

Auswirkungen von neuen  
Fahrzeugkonzepten auf die  
Infrastruktur des  
Bundesfernstraßennetzes

Schlussbericht

Auswirkungen von neuen  
Fahrzeugkonzepten auf die  
Infrastruktur des  
Bundesfernstraßennetzes

Schlussbericht

Langfassung

RDir Dr. Klaus-Peter Glaeser  
ORR Dipl.-Mathematiker Rolf Kaschner  
Dipl.-Geograph Markus Lerner  
RDir Dipl.-Ing. Christian Kurt Roder  
RDir Dr. Roland Weber  
Dipl.-Ing. Dipl.-Tropentechnologe Andreas Wolf  
RDir Dr. Ulf Zander

Bergisch Gladbach  
November 2006

Bundesanstalt für Straßenwesen



**Inhaltsverzeichnis:**

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>AUSWIRKUNGEN AUF DIE STRASSENSCHÄDIGUNG</b>	<b>9</b>
2.1	TECHNISCHE FRAGESTELLUNGEN	9
2.2	ERHÖHTE SPURRINNENBILDUNG IN ASPHALTDECKSCHICHTEN	10
2.2.1	Spurrinnenbildung durch geringere Belastungspausen zwischen den Radüberrollungen	10
2.2.2	Erhöhte Spurrinnenbildung in Asphaltdeckschichten an Steigungsstrecken	13
2.3	SCHÄDIGUNG DES STRASSENOBERBAUS DURCH VERÄNDERTE ACHSLASTVERTEILUNGEN	14
2.3.1	Aktuelle Zusammensetzung des Verkehrs	19
2.3.2	Schädigungspotenzial herkömmlicher Gütertransportfahrzeuge	21
	a) Sattelzug, 2+3 Achsen, 40 t zulässiges Gesamtgewicht (Typ 98 [20])	22
	b) Sattelzug, 3+3 Achsen, 40 t zulässiges Gesamtgewicht (Typ 106 [20])	23
	c) 5-achsiger Gliederzug, 3+2 Achsen, 40 t zulässiges Gesamtgewicht (Typ 41/42 [20])	25
2.3.3	Schädigungspotenzial neuer überlanger beziehungsweise über-schwerer Fahrzeugkombinationen	26
	a) Lastzugkombination Sattelzug + Zentralachsanhänger	27
	b) Lastzugkombination Lastkraftwagen + Sattelaufleger auf Dolly	29
2.3.4	Vergleichende Betrachtung der Straßenschädigung durch Fahrzeuge neuer Lastzugkonzepte	31
2.4	ZUSAMMENFASSUNG	33

<b>3</b>	<b>BEEINFLUSSUNG DES DTV<sup>(SV)</sup> DURCH NEUE LASTZUG-KOMBINATIONEN</b>	<b>35</b>
3.1	PROGNOSE DER TRANSPORTLEISTUNG VON KASTZUGKOMBINATION AUF DER BASIS DEREN WIRTSCHAFTLICHER ATTRAKTIVITÄT	35
3.2	VERÄNDERUNG DER SCHWERVERKEHRSANTEILS DURCH LASTZUGKOMBINATIONEN	37
3.2.1	Grundlagen der Untersuchung	38
3.2.2	Vorgehensweise	41
3.2.3	Ergebnisse der angenommenen Nutzlastverlagerung	42
<b>4</b>	<b>AUSWIRKUNGEN AUF DIE BRÜCKEN UND TUNNEL</b>	<b>44</b>
4.1	TECHNISCHE FRAGESTELLUNGEN	44
4.2	BRÜCKENBESTAND	44
4.3	ZUSTAND DER BRÜCKENBAUWERKE	47
4.4	LASTMODELLE FÜR VERKEHRSLASTEN AUF BRÜCKEN	49
4.5	STAND DER WISSENSCHAFT	51
4.6	AUSWIRKUNGEN VON LASTZUGKOMBINATIONEN AUF DEN BRÜCKENBESTAND IM BUNDESFERNSTRASSENNETZ	53
4.6.1	Nachrechnung des Brückenbestandes	53
4.6.2	Kostenermittlung für Ersatzneubau bzw. Ertüchtigungsmaßnahmen	58
4.7	AUSWIRKUNGEN VON LASTZUGKOMBINATIONEN AUF TUNNEL DER BUNDESFERNSTRASSEN	58
4.8	ZUSAMMENFASSUNG	60
<b>5</b>	<b>BEFAHRBARKEIT UND NUTZUNG VON VERKEHRSANLAGEN</b>	<b>62</b>
5.1	TECHNISCHE FRAGESTELLUNGEN	62
5.2	SCHLEPPKURVENSCHABLONEN NEUER LASTZUG-KOMBINATIONEN	64
5.3	BEFAHRBARKEIT VON EINMÜNDUNGEN UND KREISVERKEHREN	70
5.3.1	Rechtseinbiegen und Rechtsabbiegen an Einmündungen	70
5.3.2	Befahrbarkeit von kleinen Kreisverkehren	73

---

5.4	PLATZBEDARF UND PLATZVERFÜGBARKEIT AUF RASTPLÄTZEN	75
5.5	REALE BEFAHRUNG VON AUSGEWÄHLTEN KNOTENPUNKT-GEOMETRIEN MIT EINER FAHRZEUGKOMBINATION MIT NACHLENKACHSE	78
5.5.1	Befahrung der Einmündung	82
5.5.2	Befahrung des kleinen Kreisverkehrs	83
5.5.3	Befahrung eines Parkstandes in Schrägaufstellung (40 gon)	83
5.5.4	Befahrung eines Innerortsknotens (Kreisbogentrassierung)	84
5.6	ERMITTLUNG DES KURVENLAUFVERHALTENS EINER NEU ENTWICKELTEN LASTZUGKOMBINATION MITTELS SIMULATION	84
5.7	ZUSAMMENFASSUNG	84
<b>6</b>	<b>BEEINFLUSSUNG DES VERKEHRSABLAUFES</b>	<b>88</b>
6.1	TECHNISCHE FRAGESTELLUNGEN	88
6.2	AUTOBAHNEN UND AUTOBAHNÄHNLICHE STRASSEN	88
6.3	EINMÜNDUNGEN UND KREUZUNGEN MIT UND OHNE LICHT-SIGNALANLAGEN IM NACHGEORDNETEN STRASSENNETZ	89
6.4	BAHNÜBERGÄNGE	90
6.5	ÜBERHOLEN	91
6.6	WEITERE ÜBERLEGUNGEN HINSICHTLICH DES VERKEHRS-ABLAUFS	91
6.7	ZUSAMMENFASSUNG	92
<b>7</b>	<b>UNFALLGESCHEHEN</b>	<b>93</b>
7.1	TECHNISCHE FRAGESTELLUNGEN	93
7.2	RELEVANTES UNFALLGESCHEHEN IN BEZUG AUF NEUE LASTZUGKOMBINATIONEN	94
7.2.1	Abgrenzung des relevanten Unfallkollektives nach unfallbeteiligten Fahrzeugen	95
7.2.2	Abgrenzung des häufigkeitsrelevanten Unfallkollektives	97
7.2.3	Abgrenzung des unfallschwererelevanten Unfallkollektives	100

7.3	AUSWERTUNG VON UNFALLANZAHL UND UNFALLSCHWERE IM RELEVANTEN UNFALLKOLLEKTIV	102
7.4	ZUSAMMENFASSUNG	107
<b>8</b>	<b>ABLEITUNG FAHRZEUGTECHNISCHER AUSSTATTUNGEN UND EIGNUNG VON FAHRZEUGFÜHRERN FÜR NEUEN LASTZUG- KOMBINATIONEN</b>	<b>108</b>
8.1	TECHNISCHE FRAGESTELLUNGEN	108
8.2	ÜBERLEGUNGEN ZUM FAHRVERHALTEN VON NEUEN LASTZUGKOMBINATIONEN	108
8.3	FAHRZEUGTECHNISCHE AUSSTATTUNGEN VON NEUEN LASTZUGKOMBINATIONEN	109
8.4	EIGNUNG VON FAHRZEUGFÜHRERN FÜR NEUE LASTZUGKOMBINATIONEN	114
8.5	ZUSAMMENFASSUNG	115
<b>9</b>	<b>ERFAHRUNGEN AUS DEM AUSLAND</b>	<b>116</b>
9.1	SCHWEDEN	116
9.2	FINNLAND	117
9.3	NIEDERLANDE	118
<b>10</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>121</b>
<b>11</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>127</b>
<b>12</b>	<b>ANLAGEN</b>	<b>131</b>

## 1 Einleitung

Den Prognosen des vom Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (heute BMVBS) herausgegebenen Verkehrsberichts [1] zufolge soll ausgehend vom Stand des Jahres 1997 der Personenverkehr bis zum Jahr 2015 um rund 20 % und der Güterverkehr um rund 64 % anwachsen. Die Güterverkehrsleistung steigt demnach innerhalb dieses Zeitraums auf rund 600 Mrd. tkm – das sind rund 33 % mehr als im Ausgangsjahr. Der Zuwachs betrifft überwiegend den Straßengüterverkehr.

Teile des Transportgewerbes sehen die Möglichkeit, diese weiterhin ansteigende Güterverkehrsmenge auf den Bundesfernstraßen der Bundesrepublik Deutschland durch Einführung neuer größerer Transportfahrzeuge bzw. in einer geänderten Kombination von bereits vorhandenen Transporteinheiten zukünftig effizienter zu befördern. Konkret wird aktuell gefordert, die Längenmaße und die zulässigen Gesamtgewichte der Lastzüge zu erhöhen. Auf diese Weise ließe sich – der Argumentation folgend – ein erheblicher Teil der Lastkraftwagen einsparen und damit der Platzbedarf zur Beförderung einer bestimmten Tonnage entsprechend reduzieren. Derzeit wird nicht generell gefordert, die Maximalhöhe von 4,00 m oder die maximale Fahrzeugbreite von 2,55 m zu verändern.

Die Fahrzeuglängen, -breiten und -höhen sowie die zulässigen Gesamtgewichte und Achslasten sind in der StVZO § 32, 34 bzw. in der Richtlinie 96/53 EC festgelegt. Demnach darf für Lastzüge eine Maximallänge von 16,50 m für Sattelzüge und 18,75 m für Gliederzüge nicht überschritten werden. Basierend auf der EU-Richtlinie 96/53 besteht in Europa die rechtliche Möglichkeit, dass die Mitgliedsländer im nationalen Fernverkehr auch längere Lastzüge zulassen, als durch die allgemeine Längenbegrenzung vorgeschrieben ist. Voraussetzung ist aber, dass nur solche Module dabei zum Einsatz kommen, die in oben genannter Richtlinie beschrieben sind.

Im Zentrum der durch die Verbände präferierten Vorschläge existiert denn auch die Kombination eines konventionellen Sattelzugs mit 16,50 m Länge bzw. mit 13,60 m langem Sattelaufleger mit einem 7,80 m langen Anhänger zu einem Sattel-Gliederzug sowie die eines 12 m langen Lastkraftwagens mit einem Anhänger bestehend aus einem Dolly (Doppelachse mit Zugeinrichtung und Sattelpkupplung) und einem darauf aufgesattelten Aufleger (Abbildung 1.1). Die Gesamtlänge dieser Kombinationen liegt dann bei 25,25 m, und ein zulässiges Gesamtgewicht soll bis zu 60 t betragen. Eben diese Kombinationen werden in Finnland und Schweden bereits seit 8 Jahren betrieben, und die Länder Norwegen, Dänemark sowie die Niederlande zeigen großes Interesse an der Einführung eines solchen Konzepts beziehungsweise befinden sich im Testbetrieb.

Hinter einer solchen Forderung der Verbände stehen selbstverständlich wirtschaftliche Interessen. So wurde in verschiedenen Untersuchungen [3,4,5] wie auch im niederländischen Modellversuch [6] ermittelt, dass Speditionen von der Einführung von Lastzugkombinationen mit deutlich erhöhten Volumen und Tonnagen neben nicht unbeträchtlichen Betriebskosteneinsparungen in Höhe von mehr als 20 % vor allem Reduzierungen beim Personaleinsatz erwarten können. Allerdings zeigen Praxistests, dass beispielsweise die theoretisch ermit

telten Treibstoffeinsparungen nicht immer erreicht werden, sondern teilweise sogar höherer Verbrauch pro beförderter Tonne konstatiert werden musste [7,8].

Insgesamt sollen die betriebswirtschaftlichen Einsparungen der Spediteure zu deutlich niedrigeren Transportpreisen im Straßengüterverkehr führen. Schätzungen auf der Basis der bisherigen Erfahrungen aus dem niederländischen Großversuch mit Lastzugkombinationen und Übertragung derselben auf die Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland gehen davon aus, dass von den heute jährlich in Deutschland durchgeführten 64 Mio. Fahrten mit Lastzügen eines zulässigen Gesamtgewichts von 40 t etwa 14 Mio. durch den Einsatz von Lastzugkombinationen entfallen würden. Dies reduziert zwar nicht die Transporttonnage an sich, senkt aber bei gleichbleibenden Verhältnissen die betriebliche Lastkraftwagen-Kosten um etwa ½ Mrd. € jährlich und ließe mehr als 50 Mio. Fahrerstunden entbehrlich werden. Pro Tonnenkilometer würde damit ein Einsparpotenzial von bis zu 18 % freigesetzt [5].

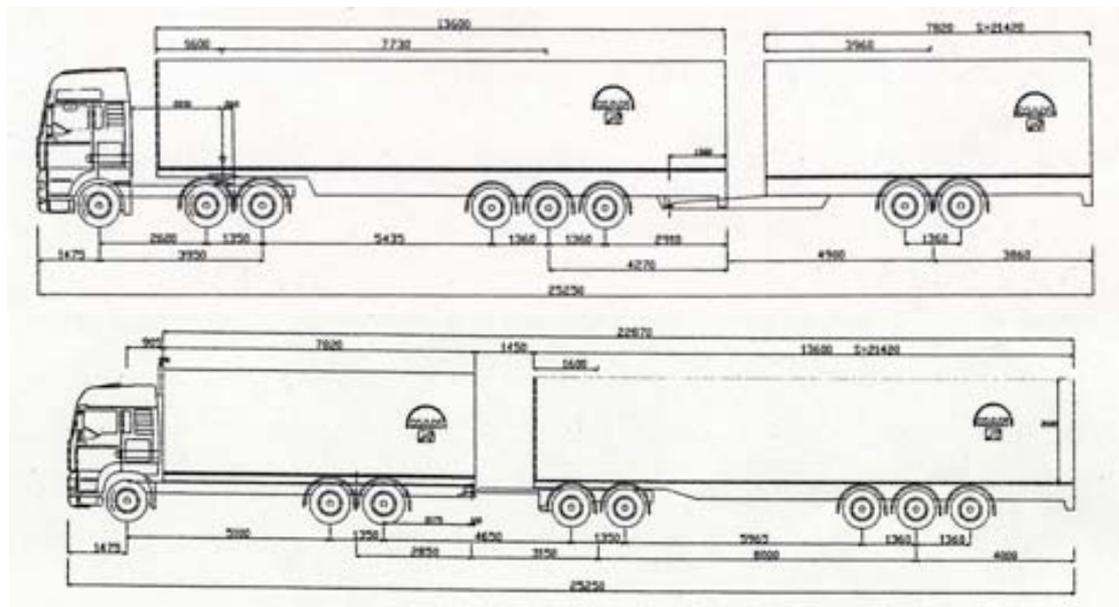


Abbildung 1.1: Ausführungen von neuartigen Lastzugkombination aus Sattelzug mit Zentralachshänger (oben) und Lastkraftwagen mit Sattelaufleger auf Dolly (unten)

Diese Schätzungen decken sich in etwa mit den Ergebnissen einer von der Bundesanstalt für Straßenwesen im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung vergebenen Forschungsprojektes [9], in dem eine Prognose der Attraktivität der Lastzugkombinationen für die Transportbranche durchzuführen war. Die hier ermittelten Kostenvorteile belaufen sich in Abhängigkeit von den Randbedingungen auf einen Anteil von 14 bis 18 %, wobei jedoch eine im Umfang noch nicht festzulegende erforderliche zusätzliche Sicherheitsausstattung der Fahrzeuge finanziell nicht angesetzt wurde. In dieser Studie wurde darüber hinaus der voraussichtliche Anteil von Lastzugkombinationen am Gesamtstraßengüterverkehr abgeschätzt. Die Prognose ergab auf den Grundlagen des Verkehrsberichts 2000, dass bei einem kurzfristig ermöglichten Einsatz der Lastzugkombinationen im Jahr

2015 etwa 45 % der Transportleistung im Fernverkehr durch Lastzugkombinationen erbracht werden würden.

Eine weitere Forschungsarbeit mit vergleichbarer Zielsetzung, die durch die Forschungsvereinigung Automobiltechnik initiiert wurde [10], kommt in ihrer Abschätzung zu Anteilen von herkömmlich eingesetzten Fahrzeugen, die durch Lastzugkombinationen ersetzt werden würden. Diese Anteile weist die Studie in einer Größenordnung aus, die sich in Abhängigkeit von unterschiedlichen Szenarien auf 4 bis knapp 22% im Fernverkehr ausprägen. Im Gegensatz zu vorgenannter Studie wurde hier nicht der wirtschaftliche Nutzen als Entscheidungskriterium zur Umstellung von herkömmlichen Nutzfahrzeugen auf Lastzugkombinationen herangezogen, sondern es wurden Unternehmen direkt nach ihrer voraussichtlichen Fahrzeugwahl unter bestimmten Bedingungen befragt.

Bei allen Fahrzeugen des Schwerverkehrs muss hinsichtlich der Auslastung zwischen der nach Volumen und der nach Gewicht unterschieden werden. Überwiegend, d.h. zu etwa 80 % fahren Lastkraftwagen und Lastzüge in Deutschland zur Zeit volumenvoll und nur zu knapp 60 % gewichtsvoll, wobei jedoch von Fahrzeugtyp zu Fahrzeugtyp durchaus größere Schwankungen auftreten. Während die größeren Längenabmessungen der Lastzugkombinationen in erster Linie Anforderungen an die Straßengeometrie, den Verkehrsfluss und das Unfallrisiko stellt, wirken sich die größeren Gesamtgewichte vorrangig auf die Belange der Straßen und Brückenbauwerke sowie die Unfallschwere aus. Aufgrund der nach der EU-Richtlinie 96/53 EC vorgegebenen Grundelemente der Lastzugkombinationen sind die Einzel- und Gesamtlängen dieser Fahrzeuge nur eingeschränkt variabel, hinsichtlich der zulässigen Gesamtgewichte jedoch sind vielfältige Möglichkeiten (zwischen 40 und 60 t) gegeben.

Die folgenden Betrachtungen zu den Auswirkungen neuer Fahrzeugkonzepte beschränken sich grundsätzlich auf die zwei in Abbildung 1.1 dargestellten Lastzugkombinationen. Es sind zwar beispielsweise im Modellversuch in den Niederlanden auch Lastzugkombinationen mit bis zu 10 Achsen zulassungsfähig, die Realität zeigt jedoch, dass die beiden angeführten Varianten dort, wie in den nordischen Ländern, die weitaus beliebtesten und folglich offenbar auch wirtschaftlichsten darstellen. Zudem werden weitere Arten von Lastzugkombinationen in den im Weiteren zu betrachtenden Problemfeldern nicht zu neuen Fragestellungen führen, sondern können zumeist durch die Hauptvertreter dieser Fahrzeugarten stellvertretend betrachtet werden. Nur in Ausnahmen wird auf die speziellen Lastzugkombinationen wie auch auf neuartige Lastzüge zusätzlich eingegangen. Dies gilt beispielsweise für die Unterscheidung in einen überlangen, 7-achsigen Volumentransporter (40 t zul. GG, Streckenlast: 1,6 t/m) und eine gleichartige Lastzugkombination mit 8 Achsen, die als überlanges und überschweres Fahrzeug (60 t zul. GG, Streckenlast: 2,4 t/m) betrieben werden kann.

Die folgenden Abschnitte betrachten die Auswirkungen der Lastzugkombinationen (Abbildung 1.1) hinsichtlich der Schädigung von Straßen und Brücken, der Behinderung des Verkehrs bis hin zur Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit sowie hinsichtlich der als erforderlich erachteten fahrzeugtechnischen Ausstattung. Anhand der Ergebnisse zu den einzelnen behandelten Fragestellungen werden abschließend Schlussfolgerungen mit dem Ziel vollzo

gen, weitere Untersuchungen auf die noch offenen Probleme zu reduzieren. Insbesondere hinsichtlich der Probleme der Brückenbauwerke kann dieser Bericht keine abschließenden Ergebnisse präsentieren, da hierzu noch laufende Forschungsprojekte von beauftragten Instituten abgeschlossen werden müssen.

In allen Ausführungen werden entsprechend dem Sprachgebrauch in der Fahrzeugtechnik folgende Definitionen gewählt:

Gliederzug	Bezeichnung für ein Lastkraftfahrzeug, das mit einem Anhänger gekuppelt ist
Sattelzug	Bezeichnung für eine Sattelzugmaschine, die mit einem Sattelaufliieger gekuppelt ist
Lastzug	Oberbegriff für Glieder- und Sattelzüge
Lastzugkombination	Bezeichnung für eine über einen Lastzug hinausgehende Kombination eines Fahrzeuges mit Anhänger(n) oder Sattelaufliieger(n)

## 2 Auswirkungen auf die Straßenschädigung

Auf dem Straßennetz der Bundesrepublik Deutschland werden Güter bewegt, die sich jährlich auf mittlerweile mehr als 380 Mrd. tkm aufsummieren. Der weitaus überwiegende Teil dieser Transporte wird über die Bundesautobahnen, deren Gesamtlänge sich auf derzeit rund 12.000 km beläuft, abgewickelt. Aufgrund der erheblich stärker ansteigenden Transportleistungen gegenüber dem Wachstum des Autobahnnetzes werden die Straßenkonstruktionen vor allem seit der Wiedervereinigung Deutschlands immer größeren Belastungen ausgesetzt, die sich in verfrüht einsetzenden Schädigungen bemerkbar machen können.

Als Schäden an Asphaltstraßen sind solche an der Fahrbahnoberfläche – hier vor allem die Spurrinnenbildung – von denen zu unterscheiden, die aufgrund nachlassender Tragfähigkeit eintreten und sich in der Entstehung eines Risses an der Unterseite des Asphaltaufbaus äußern. Dieser substanzielle Schaden eines Straßenoberbaus stellt das Ende seiner Nutzungsdauer dar, während zur Beseitigung einer Spurrinne lediglich die zumeist 4 cm dicke Asphaltdeckschicht erneuert werden muss. Bei Betonstraßen wiederum, deren Anteil bei etwa 30 % liegt, treten die Oberflächenschäden zugunsten der Substanzschäden in den Hintergrund. Charakteristisch ist für Betonstraßen die vergleichsweise lange mängelfreie Nutzungsdauer mit einem letztlich schnell verlaufenden Schadenseintritt, der eine Grunderneuerung erforderlich werden lässt.

### 2.1 Technische Fragestellungen

In den folgenden Betrachtungen zur Abschätzung der Auswirkungen einer Freigabe von Lastzugkombinationen auf die Straßenschädigung wird die Spurrinnenbildung getrennt vom Tragfähigkeitsverlust des Straßenoberbaus untersucht. Die zugehörige Fragestellung lautet entsprechend:

*Wirkt sich der Einsatz von Lastzugkombinationen mit einem Gesamtgewicht von bis zu 60 Tonnen negativ auf die Schädigung von Straßenbefestigungen hinsichtlich der Spurrinnenbildung und der Tragfähigkeit aus?*

Der Beantwortung dieser Frage widmen sich der Abschnitt 2.2 hinsichtlich der Spurrinnenbildung und der Abschnitt 2.3 bezüglich der Tragfähigkeit der Straßenkonstruktion.

Die übrigen Oberflächenmerkmale wie Griffigkeit und Längsebenheit werden hier aufgrund der sehr schwierigen Prognose der zugehörigen Zustandsgrößen nicht betrachtet. Ein nennenswerter Einfluss auf diesbezügliche Schadensverläufe ist zudem eher unwahrscheinlich.

## 2.2 Erhöhte Spurrinnenbildung in Asphaltdeckschichten

### 2.2.1 Spurrinnenbildung durch geringere Belastungspausen zwischen den Radüberrollungen

Eine schnelle Spurrinnenbildung im Asphalt wird durch hohe Materialtemperaturen, große und häufige Belastungen sowie durch eine lange Verweildauer einer Last auf dem betrachteten Straßensegment begünstigt. Keine dieser Einflussgrößen wird durch eine Freigabe der in Rede stehenden Lastzugkombinationen in Schäden erhöhender Weise verändert, vielmehr steht sogar zu hoffen, dass durch die Verteilung der transportierten Lasten auf mehr Achsen eine Vergleichmäßigung der Achslasten eintritt, die sich positiv auf die Dauerhaftigkeit der Straßenkonstruktion auswirken würde.

Dieser Ansicht wird immer wieder entgegen gehalten, dass eine zusätzliche Straßenschädigung dadurch verursacht wird, dass die Radüberrollungen durch die Anordnung der zur Beförderung von 60 Tonnen erforderlichen Achsen bei den neuen Lastzugkombinationen in dichter zeitlicher Folge auftreten. Die Begründung dieser Überlegung ist nachvollziehbar, da es sich bei Asphalt um einen elastoviskosen Baustoff handelt, ein Material also, das sich unter Be- und Entlastung nicht nur spontan sondern zusätzlich zeitabhängig verformt.

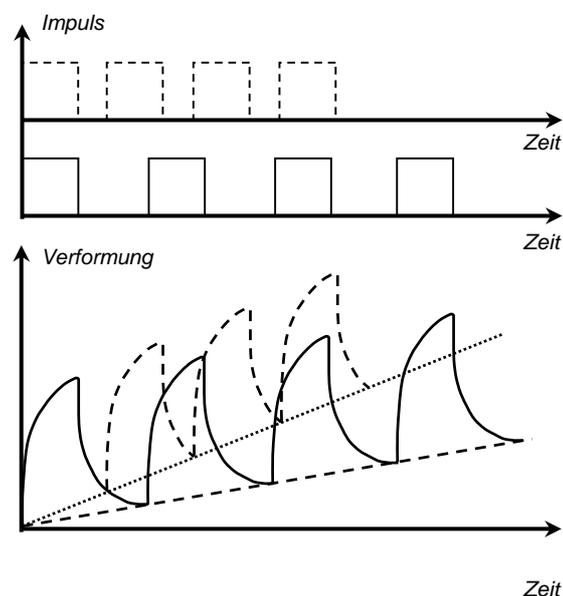


Abbildung 2.1: Verformung von Asphalt während einer dynamischen Belastung mit unterschiedlichen Entlastungszeiten

Wird dem Asphalt also nicht ausreichend Zeit zur Rückbildung der unter Belastung eingepprägten Verformung gewährt, so erwirkt der folgende Lastimpuls eine neuerliche Verfor

mung, die sich mit der noch bestehenden überlagert und somit höher als bei zwei zeitlich isolierten Einzelimpulsen ausfällt. Abbildung 2.1 verdeutlicht diesen Effekt.

Indes zeigten Laboruntersuchungen, die zur Stützung dieser These herangezogen werden könnten, ein komplett anderes Bild: sowohl anhand von Druckschwell- [11] wie auch an dynamischen Spaltzugversuchen [12] wurden mit einer Verlängerung der Lastpausen eine verfrühte Schädigung des Materials, also eine abnehmende Bruchlastwechselzahl ermittelt.

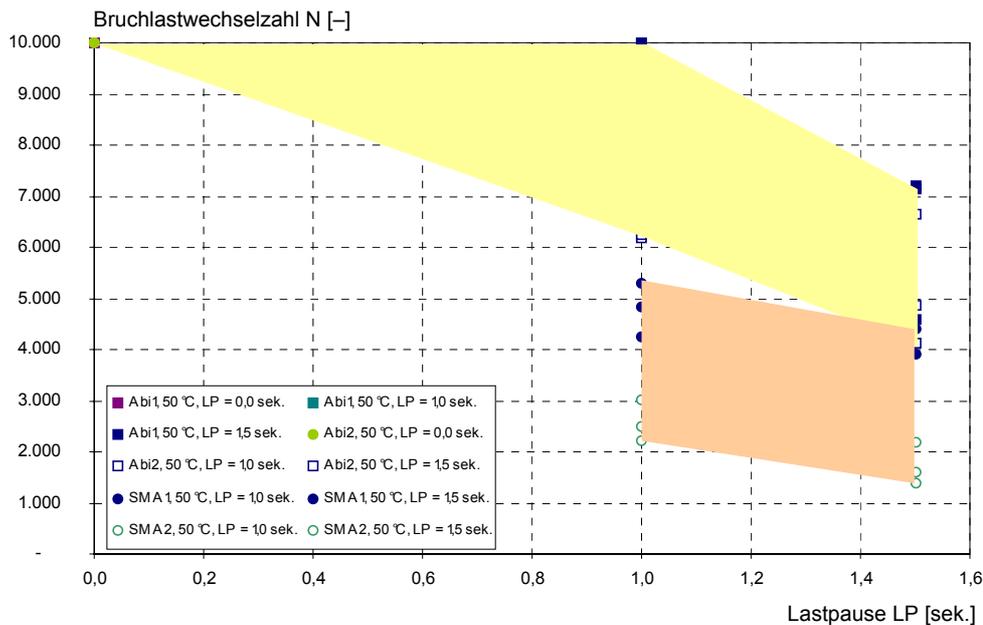


Abbildung 2.2: Im Druckschwellversuch ermittelte Bruchlastwechselzahlen  $N$  für verschiedene Splittmastixasphalte und Asphaltbinder unter Variation der Lastpause  $LP$  [11]

Für die Druckschwellversuche werden die in Abbildung 2.2 dargestellten Zusammenhänge damit erklärt, dass bei kleineren Lastpausen die zunächst größeren Verformungen frühzeitig zu einem Korn-zu-Korn-Kontakt führen, wodurch dann ein stärkerer Widerstand gegen die Zusammendrückung mobilisiert wird. Diese Herleitung scheint jedoch wenig überzeugend, da der gleiche Effekt bei längeren Lastpausen später eintreten müsste, was jedoch nicht beobachtet werden kann. Darüber hinaus dürften Versuche, die eine Zugbeanspruchung im Material erwirken, einen anderen Zusammenhang liefern. Wie Abbildung 2.3 für dynamische Spaltzugversuche jedoch zeigt, ist eben dies nicht der Fall.

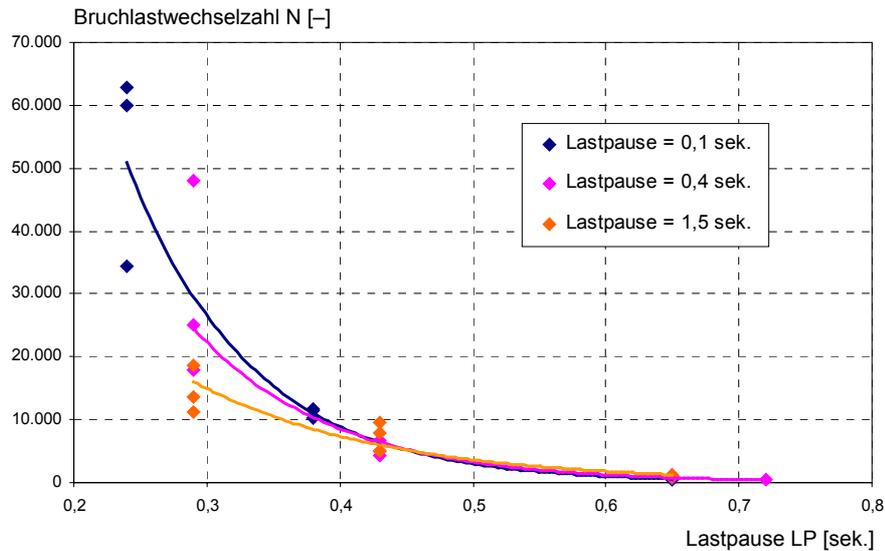


Abbildung 2.3: Im dynamischen Spaltzugversuche ermittelte Bruchlastwechselzahlen  $N$  an Asphalttragschichtmaterial unter Variation der Lastpause  $LP$  [12]

Vielmehr ist es plausibel, dass die – wenn auch nur geringe – Unterspannung bei den hohen Versuchstemperaturen und über die gesamte Versuchsdauer zu einer zusätzlichen Verformung des Probekörpers beiträgt. Da der Asphalt bei den Versuchen mit großen Lastpausen der Unterlast deutlich länger als bei kleinen Lastpausen ausgesetzt ist, führt dies zu insgesamt größeren Verformungen und entsprechenden Beanspruchungen, die die geringeren Bruchlastwechselzahlen begründen mögen.

Buseck hat in [13] Druckschwellversuche an Asphalt ohne Unterlast und mit Verklebung der Probekörper an der Belastungseinrichtung vorgestellt. Diese in Abbildung 2.4 wiedergegebenen Ergebnisse zeigen, dass durch die Dauer der Lastpause im Druckschwellversuch augenscheinlich kein Einfluss auf die Steigung der Impulskriechkurve im Wendepunkt und folglich auf die Nutzungsdauer von Asphaltsschichten erkennbar ist.

Es lässt sich also zusammenfassen, dass die aus dem Spannungs-Verformungsverhalten des Asphalts theoretisch abgeleitete Erwartungshaltung, dass durch eine Verkürzung der Lastpausen eine stärkere Schädigung des Straßenoberbaus erwirkt wird, labortechnisch nicht nachgewiesen werden kann. Es ist schwer begründbar, dass sich dieser Zusammenhang genau gegensätzlich herausbildet, wie es die Ergebnisse in [11] und [12] suggerieren, die Interpretation von Buseck, dass diese auf eine nicht saubere Versuchsanordnung zurückgeführt werden können, ist hingegen nachvollziehbar und führt zur Schlussfolgerung, dass eine Veränderung der Lastpause im Bereich von 0,1 bis 4 Sekunden in keiner Beeinträchtigung der Verformung des Asphalts resultiert.

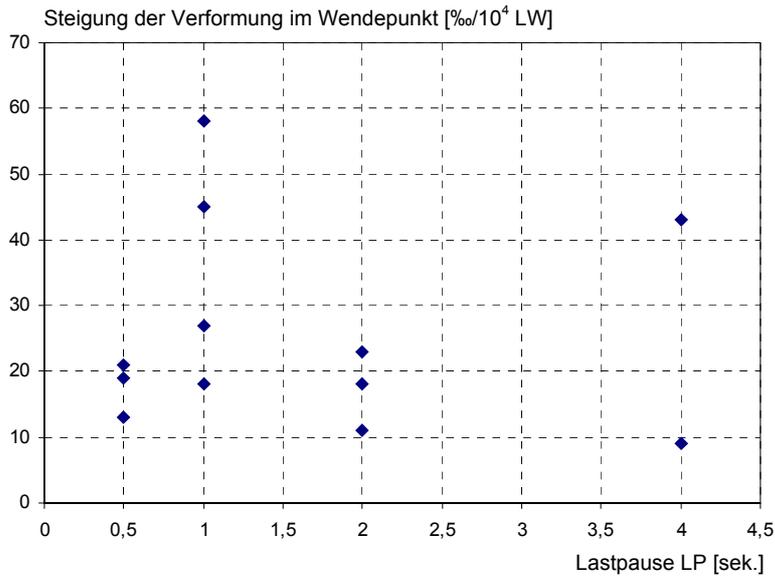


Abbildung 2.4: Im Druckschwellversuch ermittelte Steigungen im Wendepunkt der Verformungskurve an Asphalt ohne Unterspannung und unter Variation der Lastpause LP [13]

Daraus muss weiter geschlossen werden, dass die Lastzugkombinationen mit ihrer dichten zeitlichen Achsfolge voraussichtlich keine erhöhten Schädigungen der Asphaltdeckschicht verursachen werden. Bringt man zusätzlich in Ansatz, dass sich die Anzahl der Achsen, die zur Beförderung einer Tonne nötig sind, durch den Einsatz der Lastzugkombinationen erhöht, so kann die Problematik einer verstärkten Spurrinnenbildung durch die zeitlich verkürzte Achsübergangsfolge dieser Fahrzeuge ausgeschlossen werden.

## 2.2.2 Erhöhte Spurrinnenbildung in Asphaltdeckschichten an Steigungsstrecken

In den Straßenoberbau von Streckenabschnitten, auf denen die auf ihr verkehrenden Fahrzeuge beschleunigen oder bremsen, werden über die Achsen beziehungsweise Reifen erhöhte Lasten eingetragen, die im Innern der Konstruktion zu teilweise erheblich höheren Beanspruchungen führen. Dieser Effekt ist an zahlreichen Steigungs- und Gefällestrecken in Gestalt tieferer Spurrinnen erkennbar und wird bei der Bemessung der Straße auf Tragfähigkeit und bei der Rezeptierung des Asphaltmischguts in Hinblick auf einen höheren Verformungswiderstand berücksichtigt.

Es steht zu erwarten, dass dieses bautechnische Problem an Gefällestrecken weniger ausgeprägt ist als an Steigungsstrecken, denn die erforderliche Bremsleistung des Fahrzeugs wird – sofern man den Retarder außer Acht lässt – an jeder Achse entsprechend der dort wirkenden Achslast bereitgestellt, so dass sich die auf die Straße übertragenen Kräfte gleichmäßig erhöhen. An Steigungsstrecken hingegen wird die Traktionskraft allein über die zur Verfügung stehenden Antriebsachsen aufgebracht, wodurch die entsprechenden Achslasten ungleich stärker anwachsen und in Folge zu deutlich größeren Schädigungen führen müssen.

Unter Vernachlässigung von Fahrwiderständen aus Reibung, Getriebe und ähnlichen Einflüssen muss ein Lastzug mit einem Gesamtgewicht von 40 t zur Überwindung einer Höhe von 100 m bei gleichbleibender Geschwindigkeit zusätzlich die Hubenergie von  $40 \text{ t} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 100 \text{ m} \approx 40.000 \text{ KJ}$  aufwenden – hangauf durch Beschleunigung, hangab durch Bremsung. Dieser Energieaufwand ist unabhängig von der Steigung des Streckenabschnitts, jedoch steht bei doppelter Steigung (im Straßenbau relevanten Bereich) nur etwa die halbe Streckenlänge zur Überwindung der Höhe zur Verfügung, so dass pro laufenden Meter mehr Energie in die Straße eingeleitet wird und somit größere Steigungen selbstverständlich zu höheren Beanspruchungen des Straßenaufbaus führen.

Diese erforderliche Energie wird hangabwärts über fünf Achsen, also im Mittel zu jeweils 8.000 KJ, hangaufwärts allerdings im vollen Umfang über nur eine Achse auf die Straßenoberfläche und auch in den Straßenkörper eingetragen. Hieraus ergibt sich rein rechnerisch und allein auf die Überwindung der Höhendifferenz bezogen ein 125faches Schädigungspotenzial ( $40^4 / (5 \times 8^4)$ ) auf der Steigungsstrecke.

Werden diese Überlegungen zum Energieeintrag in die Straßenkonstruktion auf eine 60 t schwere Lastzugkombination mit sieben Achsen übertragen, so wird die Gefahr einer sehr viel höheren Schädigung der Strecken an Steigungen offensichtlich. Das Verhältnis zwischen den Schädigungen zur Überwindung der Höhe von 100 m auf Berg- und Talfahrt würde sich hier auf  $60^4 / (7 \times 8,57^4) = 343$ fache erhöhen. Hieraus ergibt sich eindeutig die Forderung nach einer zweiten Antriebsachse, durch die dann dieses Verhältnis auf  $(2 \times 30^4) / (7 \times 8,57^4) = 43$  und damit auf einen Wert unterhalb des für die heutigen Gegebenheiten geltenden Faktors reduzieren würde.

Dieser theoretische Gedankengang konnte bislang leider aufgrund technischer Schwierigkeiten nicht anhand von Messungen qualitativ belegt werden. Eine abschließende Bewertung bleibt somit zunächst offen.

### **2.3 Schädigung des Straßenoberbaus durch veränderte Achslastverteilungen**

Neben den Vorgängen, die bei jedem Fahrzeugübergang zur Bildung einer Spurrinne führen, bewirkt jede Überrollung durch ein Fahrzeugrad wie bei einer belasteten Platte eine Durchbiegung des gesamten gebundenen Oberbaus einer Straße, wodurch auch ein aus der Auflast resultierender Druck auf die darunter liegenden ungebundenen Schichten ausgeübt wird. Nach der klassischen Ermüdungstheorie für Straßenaufbauten kann diese dynamische Belastung eines Oberbaus über eine bestimmte Anzahl von Überrollungen hinweg ertragen werden, ehe sich von der Unterseite des gebundenen Aufbaus her ein Riss einstellt, der sich bei fortwährender Belastung nach oben fortpflanzt.

In einem in Illinois, USA durchgeführten Großversuch – dem AASHO-Road-Test [14] – wurde versucht, einen Zusammenhang zwischen der Achslast des Fahrzeugs und der resultierenden Schädigung des Straßenaufbaus zu ermitteln. Zwischen 1958 und 1960 fuhren dabei Lastkraftwagen mit bestimmten Achslasten über verschieden dicke Straßenbefestigungen,

und alle zwei Wochen wurde der Straßenzustand, der sich mit zunehmender Anzahl der Überrollungen verschlechterte, gemessen. Als Ergebnis wurde der Einfluss der Achslast auf die Straßenschädigung mit im Mittel der vierten Potenz erhalten.

Bei Annahme der Übertragbarkeit auf heutige Verhältnisse, bedeutet dies, dass die Schädigung eines LKW vielfach größer ist als die eines PKW. Setzt man einen leichten PKW als Bezugsgröße für verschiedene Arten von Lastkraftwagen, so ergibt sich der Bezugsfaktor zwischen PKW und den Lastkraftwagen innerhalb einer großen Bandbreite. Aus Abbildung 2.5 geht hervor, dass dieser Faktor für die Kombination eines leichten PKW gegenüber einem voll beladenen LKW mit 40 t bei in etwa 40.000 liegt. Bei geringeren Gewichten des LKW und höherem des PKW nimmt dieser Faktor naturgemäß stark ab und kann durchaus auf eine Größenordnung deutlich unterhalb von 10.000 fallen.

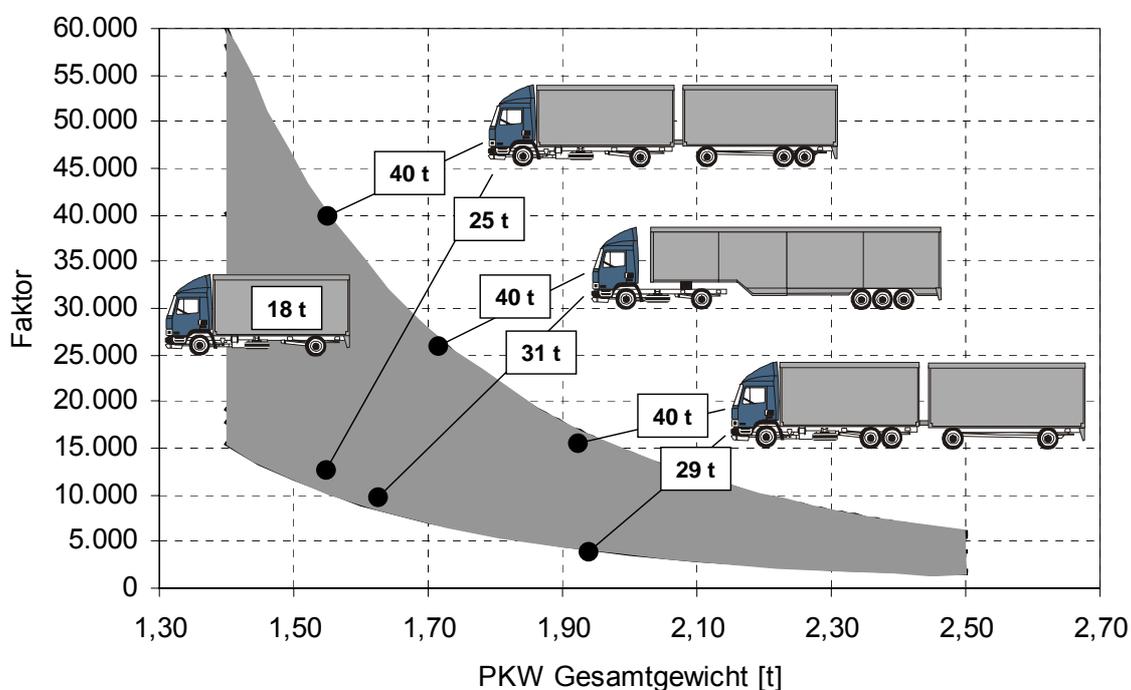


Abbildung 2.5: Abhängigkeit des Schädigungsfaktors vom PKW-Gesamtgewicht und der Art der LKW [15]

Die Kurven für den Faktor wurden mit Hilfe des Vierten-Potenz-Gesetzes vereinfachend über

$$\text{LKW: } \mathfrak{F}_{\text{LKW}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{ALKW}}} (\text{A}l_{\text{stLKW},i})^4 \quad (1)$$

und

$$\text{PKW: } \mathfrak{F}_{\text{PKW}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{APKW}}} (\text{A}l_{\text{stPKW},i})^4 \quad (2)$$

zu

$$\text{Faktor:} \quad \text{Faktor} = \frac{\vartheta_{\text{LKW}}}{\vartheta_{\text{PKW}}} \quad (3)$$

berechnet. Dabei wurde eine Achslastverteilung zugrunde gelegt, wie sie sich aus den langjährigen Achslastmessungen der Bundesanstalt für Straßenwesen auf dem Bundesautobahnnetz im Mittel ergeben hat.

In den Gleichungen (1) bis (3) bedeuten

$\vartheta_{\text{LKW}}$	Einflusszahl der Straßenbeanspruchung für LKW
$\vartheta_{\text{PKW}}$	Einflusszahl der Straßenbeanspruchung für PKW
$n_{\text{ALKW}}$	Anzahl der LKW-Achsen
$n_{\text{APKW}}$	Anzahl der PKW-Achsen
$\text{Alst}_{\text{LKW},i}$	Achslast der i-ten Achse des LKW
$\text{Alst}_{\text{PKW},i}$	Achslast der i-ten Achse des PKW

Bis heute sind sich Fachleute nicht darüber einig, ob die Vierte-Potenz-Regel den Zusammenhang zwischen Achslast und Straßenschädigung zutreffend beschreibt. Insbesondere ist hier zu berücksichtigen, dass im AASHO-Road-Test streng genommen nicht die Straßenschädigung, sondern ein Befahrbarkeitsindex ermittelt wurde. Neben dem Umstand, dass dieser Index nicht durchweg auf Messgrößen, sondern teilweise auf subjektivem Empfinden basiert, muss festgehalten werden, dass die Schädigung nicht hinsichtlich der einzelnen Schadensformen – beispielsweise Spurrinnenbildung und struktureller Tragfähigkeitsverlust – unterschieden wird. So ist es theoretisch möglich, dass für die eine Schadensform eher die zweite Potenz und für eine andere eher eine oberhalb der vierten Potenz zutreffend ist.

In [16] wurden hierzu nähere Untersuchungen durchgeführt. Die rein theoretischen Berechnungen fußen auf langjährigen Achslastmessungen im Bundesautobahnnetz und ermitteln den Schadensverlauf innerhalb einer Straßenkonstruktion hinsichtlich der Tragfähigkeit des Gesamtaufbaus bis zum Versagen. Die Analysen kommen zu dem Schluss, dass die Vierte-Potenz-Regel auch für die nach den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO) [17] bemessenen Bauweisen Gültigkeit besitzt.

Da die Tragfähigkeit von Asphaltsschichten von deren Ermüdungsbeständigkeit und hier insbesondere von der untersten Asphalttragschicht abhängt, kann der Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Nutzungsdauer des Materials auch im Laborversuch ermittelt werden. Hierzu wurde in der Bundesanstalt für Straßenwesen der Zweipunkt-Biegeversuch eingesetzt (siehe Abbildung 2.6). Für diese Untersuchungen wurden aus einer Versuchstraße mit hohen Anforderungen an die Homogenität der eingebauten Schichten Probekörper gewonnen und senkrecht in die Versuchsanlage eingebaut. Die dynamische Belastung im Versuch lenkt den Probekörperkopf in einem dynamischen Schwingungsverlauf aus und simuliert dadurch die Überrollung eines Rades über den Gesamtaufbau, aus dem der prismatische Probekörper horizontal und längs der Fahrtrichtung entnommen wurde. Dabei be

trug die maximal aufgebrauchte Kraft derjenigen, die sich unter einer 11,5 t-Achse, also der höchst zulässigen Achslast nach der Straßen-Verkehrs-Zulassungsordnung (StVZO [30]), in der Tiefe der Tragschicht auf Autobahnen einstellt. In weiteren Versuchen wurde diese Last reduziert, um die Abhängigkeit der im Versuch ermittelten Bruchlastwechselzahl, respektive der Nutzungsdauer der Schicht, von der Achslast zu bestimmen. Die Versuche wurden weiterhin bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt.

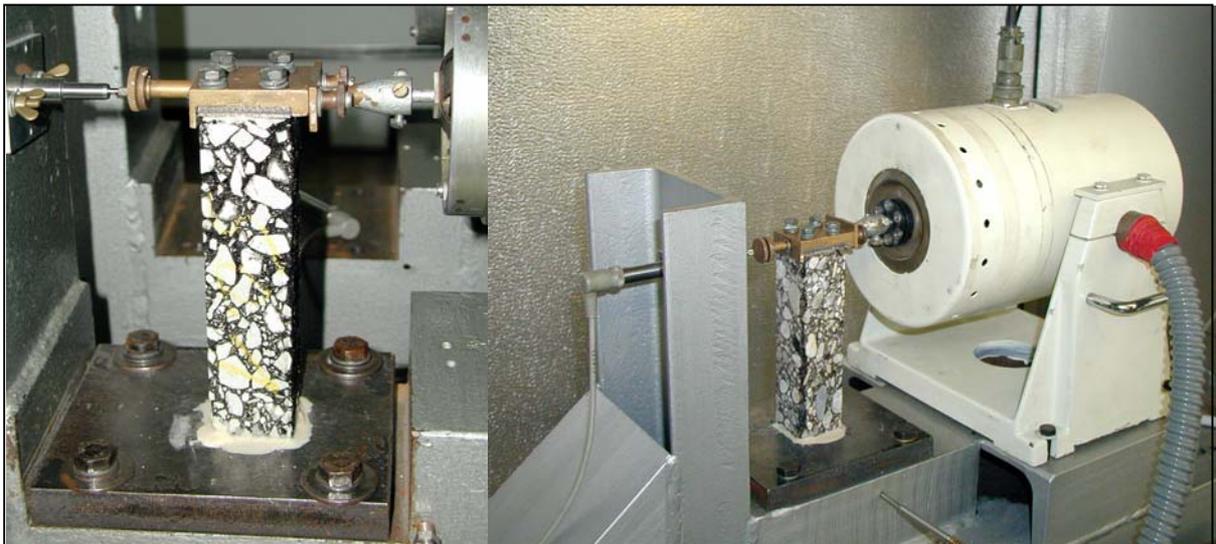


Abbildung 2.6: Versuchsanordnung beim Zweipunkt-Biegeversuch

In Abbildung 2.7 (links) sind die Einzelwerte der Bruchlastwechselzahlen als Ergebnis der Zweipunkt-Biegeversuche über den im Versuch aufgebrauchten Auslenkkräften aufgetragen worden. Zusätzlich wurden durch die jeweils größten und kleinsten Ergebniswerte einer Versuchsreihe Regressionsgraphen potenzieller Funktionen dargestellt. Ihre Bestimmtheitsmaße liegen durchweg oberhalb von 95 %, was für Ermüdungsversuche als sehr genau zu werten ist.

Bei den Versuchen wurde Wert darauf gelegt, die Probekörper bei jeder Prüftemperatur in etwa gleich zu beanspruchen, also Bruchlastwechselzahlen in vergleichbarer Größenordnung zu ermitteln. Dies ist bei der Prüftemperatur  $T_{Pr} = +10\text{ °C}$  nicht ganz gelungen. Trotzdem ist erkennbar, dass die Potenz der Regressionsfunktion von etwa  $p = 6$  bei  $T_{Pr} = +20\text{ °C}$  auf rund  $p = 10$  bei  $T_{Pr} = +5\text{ °C}$  ansteigt, d.h. je tiefer die Prüftemperatur gewählt wird, desto sensibler reagiert das Asphaltmaterial auf eine Änderung der Belastung. Ob diese Abhängigkeit als allgemeingültig angesehen werden kann und ob diese allein in der Spannungsabhängigkeit des Elastizitätsmoduls begründet liegt, ist bislang nicht geklärt, es bleibt jedoch festzuhalten, dass zumindest im Labormaßstab ein potenzieller Zusammenhang zwischen Belastung und Nutzungsdauer oberhalb einer 4. Potenz ermittelt wurde.

Gestützt werden diese Ergebnisse durch die in der gleichen Abbildung rechts wiedergegebenen Lastwechselzahlen bei Erreichen des Makrorisses im dynamischen Spaltzugversuch

[12]. Hier ergeben sich qualitativ die gleichen Abhängigkeiten, jedoch stellen sich hier tatsächlich Exponenten der Potenzfunktion von etwa 4 ein. Die unterschiedliche Größenordnung wird sicherlich auf die andere Probekörperform und dessen Beanspruchungszustand im Versuch zurückzuführen sein. Welcher der beiden Versuche die Realität jedoch besser abbildet, kann aktuell nicht abgeschätzt werden.

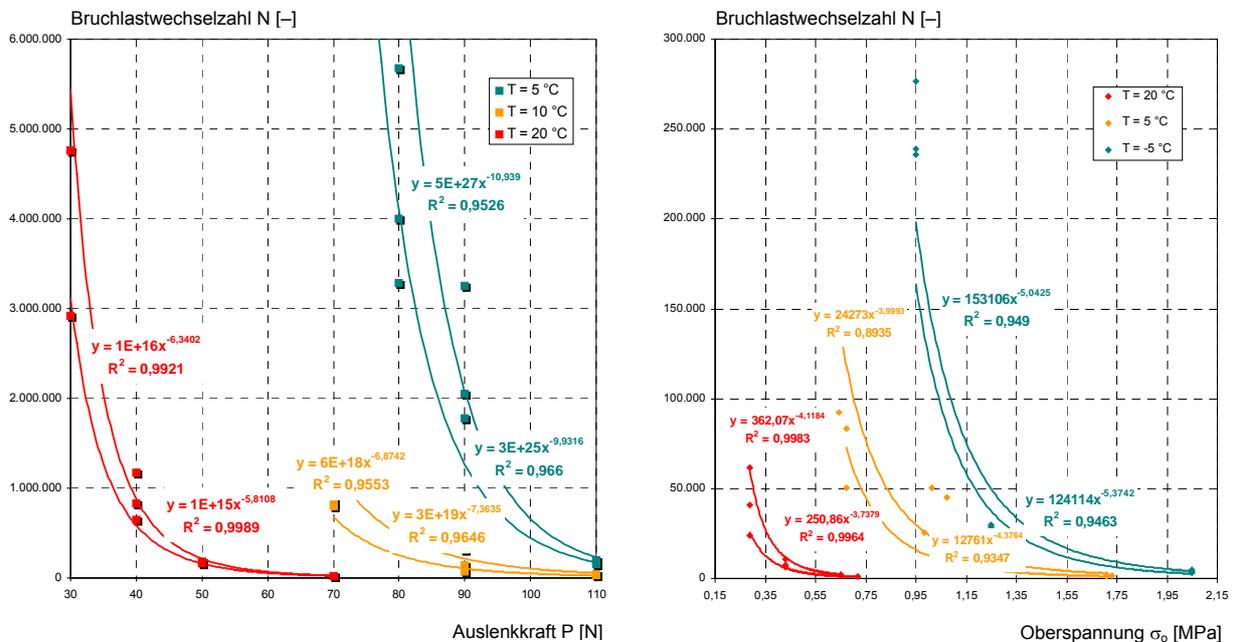


Abbildung 2.7: Abhängigkeit der Bruchlastwechselzahl von der Auslenkraft im Zweipunkt-Biegeversuch bei einer dynamischen Dauerlast [18] (links) und im dynamischen Spaltzugversuch [12] (rechts) jeweils mit einer Frequenz von  $f = 10\text{ Hz}$

Allgemein wird unter Fachleuten angenommen, dass für Asphalt wie für andere Materialien ein Belastungsniveau existiert, unterhalb dessen von einer Dauerfestigkeit ausgegangen werden kann, d.h. dass ab einer bestimmten Dicke des gebundenen Oberbaus die Beanspruchungen in der untersten Schicht so gering sind, dass eine aus den Verkehrsbelastungen resultierende Zerstörung praktisch ausgeschlossen werden kann. Es steht zu vermuten, dass die Dicke von nach den RStO bemessenen Straßen nicht allzu weit von dieser für den aktuellen Verkehr maßgeblichen Grenzdicke entfernt liegt.

Für die Betrachtungen zur relativen Substanzschädigung von 40-Tonnen-LKW nach der derzeitigen Straßen-Verkehrs-Zulassungsordnung gegenüber den schwereren und längeren Lastzugkombinationen wird auf die Vierte-Potenz-Regel zur Straßenschädigungsart „Bruch“ beziehungsweise „Rissbildung“ zurückgegriffen, da sie aus den bisher einzigen Untersuchungen an realen Straßen unter Schwerverkehrsfahrzeugen ermittelt wurde und theoretische Berechnungen sowie Auswertungen von Laborversuchen zu ähnlichen Abhängigkeiten kommen. Diese Festlegung steht im Übrigen in Übereinstimmung mit den Empfehlungen des auf europäischer Ebene erstellten COST-Berichtes 334 [33]. In dieser Forschungsarbeit wird

aber auch auf den Einfluss der Achslast auf die Spurrinnenbildung eingegangen und durch umfangreiche Tests belegt, dass für die Spurrinnenbildung ein geringerer Exponent in Höhe von „2“ als zutreffender angesehen werden muss. Bei den folgenden Betrachtungen zur Straßenschädigung wird entsprechend dieser Aspekt mit berücksichtigt, allerdings ist die Absicherung dieses Zusammenhangs bisher als nicht befriedigend zu erachten.

Zunächst sollen die Schädigungspotenziale der aktuell eingesetzten Fahrzeuge für drei Beladungszustände – leer, übliche Beladung, Volllast – berechnet und mit denen der neuen Lastzugkombinationen bei entsprechenden Achslastverteilungen verglichen werden. Dafür wird die Schädigung in Form von äquivalenten 10-t-Achsübergängen als Maß für die Beanspruchung durch einen tatsächlichen Achsübergang, normiert auf die Beanspruchung durch einen 10-t-Achsübergang auf der Basis der 4.-Potenz-Regel für die Substanz in den jeweiligen Tabellen angegeben. Auf die Schädigung in Bezug auf die Spurrinnenbildung (nach 2. Potenz) wird nur zu Vergleichszwecken jeweils im Text eingegangen.

Mit dem Ziel einer Detektierung der für das Fahrzeugkonzept verwendbaren Fahrzeuge und deren Anteil am Gesamtverkehr auf den Bundesautobahnen wird der Schädigungsberechnung eine Betrachtung der aktuell vorhandenen Verkehrszusammensetzung vorangestellt.

### **2.3.1 Aktuelle Zusammensetzung des Verkehrs**

Im Bundesautobahnnetz angeordnete Achslastwaagen messen seit beinahe zehn Jahren kontinuierlich die Lasten jeder sie überrollenden Achsen und deren Abstände. Durch die Kombination der Messgrößen wird automatisch ermittelt, welche Achsen zu einem Fahrzeug zusammengesetzt werden können, so dass auch umfangreiche Informationen über die Verteilung der Fahrzeugtypen vorliegen. In einem Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen [21] wurden diese Daten aufgearbeitet und in einem Bericht zusammengestellt. Abbildung 2.8 zeigt die in diesem Vorhaben ermittelte Verteilung der Fahrzeugtypen, wie sie sich als Mittelwert aus vier Messquerschnitten ergab.

Darin fällt auf, dass der Fahrzeugtyp 98, also das Sattelfahrzeug mit zweiachsiger Zugmaschine und dreiachsigem Auflieger, als der klassische Vierzigtonner die Verkehrszusammensetzung mit mehr als 35 % beherrscht. Mit deutlichem Abstand folgen der dreiachsige LKW mit zweiachsigem Anhänger (Typ 41 bzw. 42) sowie der zweiachsige LKW (Typ 8). Die Gliederzüge des Typs 41 und 42 werden im Folgenden stets zusammen behandelt, da sie hinsichtlich der Achslasten und somit auch der Straßenschädigung als identisch angesehen werden können. Alle übrigen Fahrzeuge besitzen einen Anteil am Schwerverkehr von weniger als 10 %.

Der Anhänger mit der Zwilligsachse (Typ 34) sowie der Sattelzug mit dreiachsiger Zugmaschine (Typ 106) und der dreiachsige LKW (Typ 9), die im modularen Fahrzeugkonzept zur Vervollständigung der maximal 25,25 m langen und bis zu 60 t schweren Lastzugkombinationen benötigt werden, besitzen aktuell sogar nur einen Anteil am Schwerverkehr von zum Teil deutlich weniger als 5 %. Dies zeigt, dass im Fall einer Zulassung dieser Fahrzeugkonzepte erhebliche Investitionen zur Beschaffung der notwendigen Ergänzungsfahrzeuge sei

tens der Spediteure aufzubringen sein werden. Auf diesen Sachverhalt weist auch der Bundesverband Güterkraftverkehr, Logistik und Entsorgung (BGL) in seinem Jahresbericht 2004/2005 hin [22].

Kenn- ziffer	Fahrzeugart		Anteil [%]	Anteil im Bereich [%]				Anteil [%]
	Beschreibung	Bild		>10%	>5% ≤10%	>1% ≤5%	≤1%	
8			LKW	(E,E)		17,0	17,0	1,4
9	(E,Dp)			1,4				
12	(Dp,Dp)			0,2				
32	LKW mit Anhänger	(E,E + E)		0,3	12,8	9,4	3,8	6,9
33		(E,E + E,E)		9,4				
34		(E,E + Dp)		3,8				
35		(E,E + E,Dp)		6,9				
41		(E,Dp + E,E)		12,8				
42		(E,Dp + Dp)		1,7				
96	Sattelfahrzeuge	(E,E + E)		1,7	35,1	6,1	1,0	0,8
97		(E,E + Dp)		6,1				
98		(E,E + Dr)		35,1				
99		(E,E + E,E)		1,0				
105		(E,Dp + Dp)		0,8				
106		(E,Dp + Dr)		0,4				
107		(E,Dp + E,E)		0,2				
120	Busse	(E,E)		0,8	0,1	0,1	0,1	0,1
121		(E,Dp)		0,1				
			Summe	64,9	22,4	8,6	3,7	
			Summe	99,6				

Abbildung 2.8: Verteilung der Fahrzeugtypen nach Auswertung von vier Querschnitten mit Achslastwaagen im Bundesautobahnnetz im Jahr 1998<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bei den Achslastwaagen werden die bei Leerfahrten hochgezogenen Liftachsen nicht als solche erfasst. Nach eigenen Zählungen im fließenden Verkehr sind ca. 15 % der Lastzüge mit hochgezogenen Liftachsen beobachtet worden. Das bedeutet, dass bei der Auswertung der Achslastwaagenüberrollungen der Anteil 4-achsiger Lastzüge überschätzt und der Anteil 5-achsiger Lastzüge unterschätzt worden ist.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass anhand der Messungen der Achslastwaagen keine Unterscheidung zwischen dem Sattelzug des Typs 97 und einem des Typs 98 möglich ist, wenn letzterer aufgrund nur geringer Ladung eine seiner Aufliegerachsen angehoben hat. Folglich muss davon ausgegangen werden, dass in dem Anteil des vierachsigen Sattelzugs in Höhe von 6,1 % eine erhebliche Anzahl von Fahrzeugen über fünf Achsen verfügen, die somit dem Fahrzeugtyp 98 zugeschlagen werden müssten.

Über die zehn Jahre der Messdatenerfassung hinweg hat es sich gezeigt, dass sich die Verkehrszusammensetzung auf den Bundesautobahnen sowohl bezüglich der Fahrzeugarten als auch hinsichtlich der Achslastverteilung erstaunlich konstant einstellt [21,23]. Selbstverständlich sind hiervon Stadtautobahnen und teilweise Streckenabschnitte in grenznahen Räumen ausgenommen. Tendenziell ist dabei festzustellen, dass der fünfachsige Sattelzug (Typ 98) weiterhin an Bedeutung gewinnt. Aufgrund der Tatsache, dass die Transportleistungen im gleichen Zeitraum beinahe ausschließlich aufgrund größerer Transportweiten angewachsen sind [24,25], erscheint dieser Trend nachvollziehbar und begründet sicherlich auch die Forderung nach größeren Transportbehältern.

### **2.3.2 Schädigungspotenzial herkömmlicher Gütertransportfahrzeuge**

Diejenigen Fahrzeuge, die die aktuelle Fernverkehrszusammensetzung in der Bundesrepublik Deutschland maßgeblich bestimmen, also vor allem die Lastkraftwagen-Anhänger-Kombinationen des Typs 41 und 42, die den Typ 9 integrieren, sowie der Sattelzug vom Typ 98, sind gleichzeitig diejenigen, die als Ausgangselemente für das modulare Fahrzeugkonzept direkt genutzt werden können. Beide Fahrzeugarten besitzen ein maximal zulässiges Gesamtgewicht von 40 t.

Im Zuge einer langfristigen Betrachtung der Entwicklung, die durch eine Einführung längerer und schwererer Lastkraftwagen angestoßen werden würde, wäre sicherlich zu erwarten, dass sich dies auch auf den Anteil weiterer Fahrzeugtypen am Gesamtverkehr auswirken würde. Diese Fahrzeuge sollen hier jedoch nicht im Detail berücksichtigt werden, da der Prozess aktuell nicht konkret abgesehen werden kann und sich das Schädigungspotenzial dieser Fahrzeuge nicht gravierend von den genannten unterscheidet. Eine Prognose der Veränderungen in der Verkehrszusammensetzung infolge einer Einführung längerer und schwererer Fahrzeugarten – auch unter Einbeziehung der von der Straße zu ertragenden Lasten – wird im Abschnitt 3 vollzogen.

Bei einer Anhebung des maximal zulässigen Gesamtgewichts für bestimmte Fahrzeuge muss stets beachtet werden, dass nach der StVZO mindestens 25 % dieses Gewichtes auf den Antriebsachsen liegen müssen. Dadurch ist das maximal umsetzbare Gesamtgewicht für einen von nur einer Achse angetriebenen Lastkraftwagen auf das Vierfache der höchstzulässigen Antriebsachslast von 11,5 t, also auf 46 t beschränkt. Für den Transport höherer Gesamtgewichte wären folglich doppelte Antriebsachsen erforderlich, wodurch der Sattelzug des Typs 98 zugunsten des sechsachsigen vom Typ 106 an Bedeutung verlieren würde. In

die Betrachtungen der fahrzeugspezifischen Straßenschädigungen wird deshalb auch dieser Typ involviert, womit nunmehr drei Fahrzeuge diesbezüglich analysiert werden:

- fünfsachsiger Sattelzug des Typs 98
- sechssachsiger Sattelzug des Typs 106
- dreiachsiger Lastkraftwagen mit zweiachsigem Anhänger des Typs 41 bzw. 42.

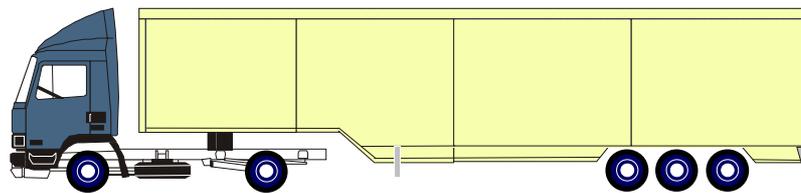
Die aus den Fahrzeugen in die Straßenkonstruktion eingeleiteten Beanspruchungen sind selbstverständlich vom Beladungsgrad und somit von der Achslast abhängig. Es wurden deshalb für alle drei betrachteten Fahrzeugtypen drei Beladungszustände, nämlich „leer“, „üblich“ und „Volllast“ angesetzt. Die Achslasten des Beladungszustandes „leer“ konnten durch Einzelradverwiegungen an Fahrzeugen der Firma DaimlerChrysler leicht ermittelt werden und dienen im Weiteren vor allem zur Ermittlung der Nutzlast eines jeden Fahrzeugs. Die Werte variieren jedoch von Fahrzeug zu Fahrzeug ein und desselben Typs stark, da die Ausstattung der Lastkraftwagen beispielsweise bezüglich der Einfassung der Transportbehälter (von Plane und Spriegel bis Container) oder mit und ohne Hebebühne zu deutlich unterschiedlichen Leergewichten führen. Die angenommenen Achslasten wurden deshalb nach umfangreichen Vergleichen bei verschiedenen Herstellern für eine durchschnittliche und häufig gewählte Ausstattung angenommen. Da die zu ermittelnden Beanspruchungspotenziale für eine vergleichende Betrachtung herangezogen werden, bei der alle Fahrzeuge gleich ausgestattet sind, kommt der Höhe des Leergewichtes eine nur untergeordnete Bedeutung zu.

Bei allen übrigen Beladungsgraden führt naturgemäß jede Ladungsverteilung auf einem Fahrzeug zu einer veränderten Achslastverteilung. Da die Achslasten jedoch bereits seit einigen Jahren an verschiedenen Querschnitten im Bundesautobahnnetz kontinuierlich erfasst werden, liegen hier ausreichende Erkenntnisse vor, um zum einen für jeden Beladungszustand eine spezifische Achslastverteilung zu ermitteln und zum anderen einen Zahlenwert für den „üblichen“ Beladungsgrad begründet festzulegen. Hierfür ergab sich aus dem Mittelwert aller gemessenen Fahrzeuggesamtgewichte ein Wert von 75 % der Volllast.

#### **a) Sattelzug, 2+3 Achsen, 40 t zulässiges Gesamtgewicht (Typ 98 [20])**

Der vielfältig eingesetzte Sattelzug des Typs 98 wird hier mit einem Leergewicht von 14,4 t angenommen, besitzt also eine maximale Nutzlast in Höhe von 25,6 t. Bei Leerfahrten liegt das größte Gewicht – resultierend aus dem Motor – auf der Lenkachse und belastet die Straßenoberfläche mit 6,2 t. Die schädigungsrelevante Substanzbeanspruchung, die wie in Abschnitt 2.3 ausgeführt über die Vierte-Potenz-Regel berechnet wird, ergibt sich für diese Einzelachse zu 0,147 äquivalente 10-Tonnen-Achsen (s. Tabelle 2.1). Mit steigender Beladung des Fahrzeugs gewinnt die Antriebsachse an Bedeutung und weist bei Volllast schließlich die größte Last und ein deutlich höheres Schädigungspotenzial als alle übrigen Achsen des Fahrzeugs aus.

Bei einer Berechnung der Schädigung hinsichtlich der Spurrinnenbildung über eine quadratische Abhängigkeit ergeben sich selbstverständlich deutlich geringere äquivalente 10-Tonnen-Achsen. Der Sattelzug besitzt diesbezüglich ein Schädigungspotenzial im üblichen Beladungsgrad von 0,01897 äq.10-t und bei Volllast 0,03291 äq.10-t. Diese Zahlenwerte dürfen keinesfalls in Relation zu denen der Substanzschädigung gestellt werden, da es sich hierbei um ein anderes Schädigungsgesetz und darüber hinaus um deutlich geringere Lebensdauern handelt.



<b>leer</b>	[t]:	6,2	3,4		1,6	1,6	1,6
	[äq.10-t]:	0,15	0,01		0,00	0,00	0,00
leer gesamt:		14,4 t					
		0,16 äq.10-t					
<b>üblich</b>	[t]:	7,1	8,2		4,9	4,9	4,9
	[äq.10-t]:	0,25	0,45		0,06	0,06	0,06
übl. gesamt:		30,0 t					
		0,88 äq.10-t					
<b>Volllast</b>	[t]:	7,4	10,7		7,3	7,3	7,3
	[äq.10-t]:	0,30	1,31		0,28	0,28	0,28
zulässig [t]:		10,0	11,5		9,0	9,0	9,0
Volllast gesamt:		40,0 t					
		2,45 äq.10-t					

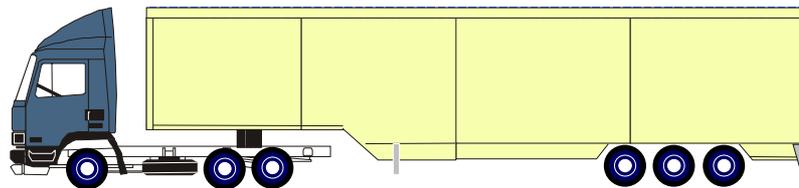
*Tabelle 2.1: Achslasten und daraus resultierende substanzielle Straßenschädigung in äquivalenten 10-Tonnen-Achsen eines Sattelzugs vom Typ 98 bei den Beladungsgraden leer, üblich und Volllast*

### **b) Sattelzug, 3+3 Achsen, 40 t zulässiges Gesamtgewicht (Typ 106 [20])**

Der sechssachsige Sattelzug des Typs 106 wird derzeit in der Bundesrepublik Deutschland nur selten eingesetzt, da das maximal zulässige Gesamtgewicht im Regelfall auf 40 t begrenzt ist und für dieses Gewicht fünf Achsen ausreichen, um die zulässigen Achslasten nach der StVZO einzuhalten. Bedeutung besitzt dieses Fahrzeug derzeit allein durch die be

sonderen Regelungen im Kombinierten Verkehr (Containertransport zu Verladestationen) [26], die bei Einsatz des sechsachsigen Sattelzuges hier eine Erhöhung des Gesamtgewichtes auf 44 t zulassen. Da aber auch für diesen Einsatzfall keine zweite Antriebsachse erforderlich ist, wird hier von einer einzelnen angetriebenen Achse in Kombination mit einer Vorläuferachse ausgegangen.

Im Vergleich der Ergebnisse zu denen des fünfsachsigen Sattelzuges zeigt sich sehr deutlich die schädigungsmindernde Wirkung einer zusätzlichen Achse. Bei fast gleicher Transportleistung verursacht das durchschnittlich beladene Fahrzeug des Typs 106 nur den halben Schaden gegenüber dem des Typs 98. Dies wird maßgeblich durch eine Vergleichmäßigung der Achslasten über den gesamten Lastzug hinweg erwirkt und ändert sich auch nicht grundlegend bei einer Anhebung des Gesamtgewichtes bis auf den maximal zulässigen Wert.



<b>leer</b>	[t]:	5,4	2,4	2,4		1,6	1,6	1,6
	[äq.10-t]:	0,09	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
leer gesamt:		15,0 t						
		0,09 äq.10-t						
<b>üblich</b>	[t]:	5,5	5,95	5,95		4,2	4,2	4,2
	[äq.10-t]:	0,09	0,13	0,13		0,03	0,03	0,03
übl. gesamt:		30,0 t						
		0,44 äq.10-t						
<b>Volllast</b>	[t]:	5,5	7,5	7,5		6,5	6,5	6,5
	[äq.10-t]:	0,09	0,32	0,32		0,18	0,18	0,18
zulässig [t]:		10,0	19,0 <sup>1)</sup>			9,0	9,0	9,0
Volllast gesamt:		40,0 t						
		1,27 äq.10-t						

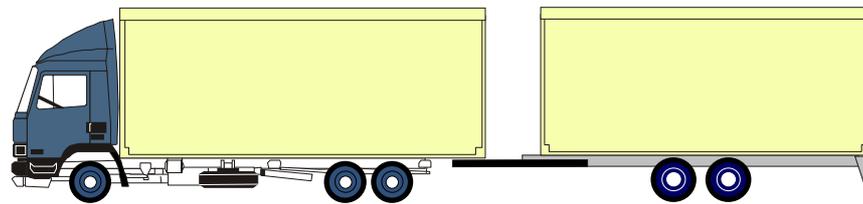
<sup>1)</sup> angetriebene Achse einzeln max. 11,5 t, Nachläuferachse einzeln max. 10 t

Tabelle 2.2: Achslasten und daraus resultierende substanzielle Straßenschädigung in äquivalenten 10-Tonnen-Achsen eines Sattelzuges vom Typ 106 bei den Beladungsgraden leer, üblich und Volllast

Hinsichtlich der Spurrinnenbildung besitzt dieses Fahrzeug nach der quadratischen Abhängigkeit von der Achslast ein Schädigungspotenzial von 0,01540 bei üblicher und von 0,02695 äq.10-t bei voller Beladung.

### c) 5-achsiger Gliederzug, 3+2 Achsen, 40 t zulässiges Gesamtgewicht (Typ 41/42 [20])

Der Gliederzug des Typs 41 unterscheidet sich von dem des Typs 42 allein durch die Achsanordnung des Anhängers. Da es sich jedoch in beiden Fällen um nur zwei Achsen und um eine jeweils symmetrische Anordnung derselben handelt, werden sich die Lasten des Transportbehälters wie auch der Ladung zu gleichen Größenanteilen auf die Achsen verteilen. Die Beanspruchung der Straße daraus unterscheidet sich folglich nicht.



<b>leer</b>	[t]:	5,5		4,7	2,1		2,9	2,9
	[äq.10-t]:	0,09		0,05	0,00		0,01	0,01
leer gesamt:		18,1 t						
		0,16 äq.10-t						
<b>üblich</b>	[t]:	6,2		7,8	4,0		6,0	6,0
	[äq.10-t]:	0,15		0,37	0,03		0,13	0,13
übl. gesamt:		30,0 t						
		0,81 äq.10-t						
<b>Volllast</b>	[t]:	7,2		10,7	6,1		8,0	8,0
	[äq.10-t]:	0,27		1,31	0,14		0,41	0,41
zulässig	[t]:	10,0		19,0 <sup>1)</sup>			9,0	9,0
Volllast gesamt:		40,0 t						
		2,54 äq.10-t						

<sup>1)</sup> angetriebene Achse einzeln max. 11,5 t, Nachläuferachse einzeln max. 10 t

Tabelle 2.3: Achslasten und daraus resultierende substanzielle Straßenschädigung in äquivalenten 10-Tonnen-Achsen eines Gliederzugs vom Typ 42 bei den Beladungsgraden leer, üblich und Volllast

Ähnlich wie beim Sattelzug wird auch bei der Kombination des Lastkraftwagen mit dem Anhänger der Antrieb nur über eine Achse übertragen; die dritte Achse des Zugfahrzeugs ist

dementsprechend eine Nachläuferachse. Grundsätzlich ist es aber selbstverständlich möglich, eine zweite Antriebsachse anzuordnen.

Die Achslasten des Gliederzugs in Tabelle 2.3 spiegeln die Erkenntnis aus den kontinuierlichen Achslastmessungen im Bundesautobahnnetz wider, dass diese Fahrzeugkombination durch häufige Überladungen der Antriebsachse auffällt. Bei ungünstiger Lastverteilung konzentrieren sich die Lasten auch bei Einhaltung des maximal zulässigen Gesamtgewichts so sehr auf dieser Achse, dass der Grenzwert von 11,5 t überschritten werden kann. Infolge dieser Konzentration dominiert die verursachte Straßensubstanzschädigung dieser Achse im voll beladenen Zustand stark und führt dazu, dass auch der gesamte Gliederzug mit 2,54 äquivalenten 10-t-Achsen eine vergleichsweise große Beanspruchung im Straßenaufbau erwirkt. Die Werte für die Spurrinnengefahr in der Deckschicht betragen 0,01873 und 0,03315 äq.10-t für die beiden oben genannten Beladungsgrade.

Im Vergleich zum fünfsichtigen Sattelzug (Typ 98) kann dieses Fahrzeug bei der vergleichsweise hohen Schädigung aufgrund seines höheren Leergewichtes nur rund 22 t Ladegut und damit immerhin etwa 3,5 t weniger befördern, was den häufigeren Einsatz des Sattelzuges im Speditionsgewerbe begründet. Auf der anderen Seite wird dieser Lastzug mit Zentralachsanhänger häufig mit kleinen Reifen ausgerüstet als Volumentransporter eingesetzt. In der Kombination als 3-achsiges Zugfahrzeug mit Deichselanhänger ist er wegen der gleichen Transportbehältergröße von Zugfahrzeug und Anhänger besonders zum Transport von Wechsellagersätzen und Containern geeignet.

### **2.3.3 Schädigungspotenzial neuer überlanger beziehungsweise überschwerer Fahrzeugkombinationen**

In zahlreichen Veröffentlichungen seitens des Transportgewerbes [27, 28] wie auch von Forschungsinstituten [29] wird durch einen Vergleich der bisher eingesetzten Fahrzeuge mit denen des modularen Nutzfahrzeugkonzeptes eine deutliche Reduzierung der Straßenschädigung bei Einführung längerer und schwererer Fahrzeuge von bis zu 30 % prognostiziert. Dabei wird allerdings stets vereinfachend von einer gleichmäßigen Verteilung der Lasten auf alle zur Verfügung stehenden Achsen ausgegangen und stillschweigend angenommen, dass für die Beförderung der deutlich höheren Tonnage keine zusätzliche und das Leergewicht des Fahrzeuges erhöhende Ausstattung notwendig ist.

In der folgenden Betrachtung soll deshalb die substanzielle Straßenschädigung der in Rede stehenden neuen Lastzugkonzepte unter weitgehend gleichbleibenden Achslastverteilungen gegenüber den Ausgangskomponenten dieser Fahrzeuge errechnet werden. Dafür wurden sämtliche Angaben zur Dolly-Trailer-Kombination, die in Deutschland derzeit nicht zugelassen ist und für die daher auch keine Daten der kontinuierlichen Achslasterfassung vorliegen, freundlicherweise von Volvo aus Schweden [19] zur Verfügung gestellt.

Da es sich bei dem modularen Nutzfahrzeugkonzept nicht um neue Fahrzeugarten sondern um bisher nicht angewendete Fahrzeugkombinationen handelt, werden alle Randbedingungen wie beispielsweise die Reifenart im Weiteren stets beibehalten. Hierzu zählt auch die

Beibehaltung des Auslastungsgrades der Fahrzeuge, d.h. es wird davon ausgegangen, dass die Lastzüge auch in ihrer Kombination weiterhin so beladen werden, wie dies derzeit für die Einzelkomponenten der Fall ist.

Aufgrund der fahrzeugtechnischen Anforderungen (Abschnitt 7.2) ist es jedoch erforderlich, die bislang verkehrenden Fahrzeuge für einen Einsatz innerhalb des Fahrzeugkonzeptes zu ertüchtigen. Dies bezieht sich neben dem Einbau sicherheitsrelevanter Ausstattungen auch auf zusätzliche Leistungsmerkmale, die eine auf dem bisherigen Niveau verbleibende Fahrgeschwindigkeit beispielsweise auch bei Steigungsstrecken gewährleisten. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass die Zugfahrzeuge mit einem Gesamtgewicht oberhalb von 46 t grundsätzlich sowohl einen Motor höherer Leistung als auch eine zweite Antriebsachse besitzen werden (s. Abschnitt 2.2.2). Hierfür werden folgende Zusatzlasten angesetzt:

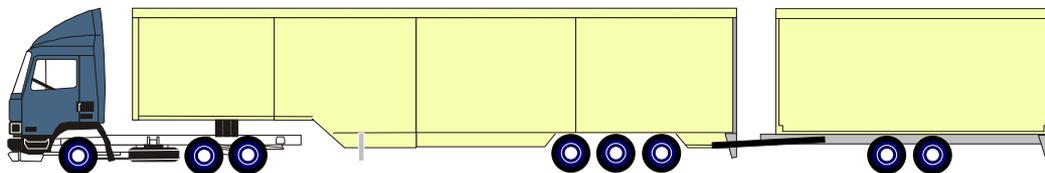
- zusätzliche nicht angetriebene Achse: + 600 kg
- zusätzlicher Achsantrieb: + 300 kg
- Motor höherer Leistung: + 400 kg

#### **a) Lastzugkombination Sattelzug + Zentralachsanhänger**

Diese Lastzugkombination setzt sich aus dem sechsachsigen Sattelzug (Typ 106) und dem Zentralachsanhänger des Typs 42 zusammen. Nach der Straßenverkehrszulassungsverordnung sind die beiden Elemente dieses Fahrzeugs in Summe auf ein Gesamtgewicht von maximal 58 t zu begrenzen. Im Gegensatz zu dem in Abschnitt 2.3.2 c beschriebenen Gliederzug ist es hier jedoch möglich, den Zentralachsanhänger so zu beladen, dass die maximal zulässigen Achslasten erreicht werden.

Im Vergleich zu den Schädigungsanteilen bisheriger Fahrzeugtypen scheint diese Lastzugkombination trotz des höheren Gesamtgewichts ein nur unwesentlich höheres Schädigungspotenzial hinsichtlich der Straßensubstanz zu besitzen. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass das Zugfahrzeug vom Typ 106 ist und somit auch als alleiniges Fahrzeug ein sehr straßenschonendes ist. Die Gefahr einer schnelleren Spurrinnenbildung wird durch die Schädigungspotenziale in Höhe von 0,02523 (üblicher Beladungszustand) und 0,04308 äq.10-t (Volllast) als nicht unerheblich bewertet.

Wie zuvor bereits erwähnt, ist diese Lastzugkombination zwar für Spediteure attraktiv, kurzfristig sind jedoch nur wenige Sattelzüge mit 3-achsiger Sattelzugmaschine in Deutschland vorhanden, die zudem aufgrund ihrer Achsabstände nicht ohne Weiteres für diesen Zwecke einzusetzen sind, so dass eine kostengünstige Lösung nicht zur Verfügung steht. Um diese Kombination allerdings auf der Basis eines fünfachsigen Sattelzugs zu nutzen, müsste das maximal zulässige Gesamtgewicht auf 46 t begrenzt werden (s. Abschnitt 2.3.2).

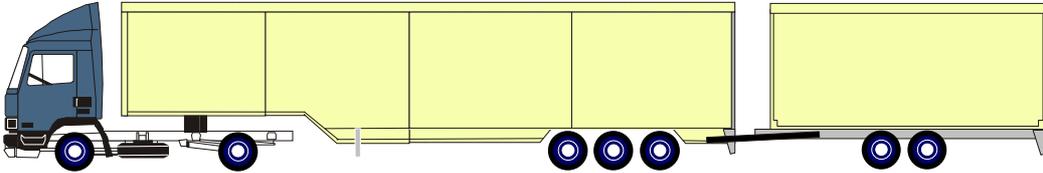


<b>leer</b>	[t]:	5,8	2,55	2,55	1,6	1,6	1,6	2,9	2,9
	[äq.10-t]:	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
leer gesamt:		21,5 t							
		0,13 äq.10-t							
<b>üblich</b>	[t]:	5,7	6,05	6,05	4,3	4,3	4,3	6,75	6,75
	[äq.10-t]:	0,11	0,13	0,13	0,03	0,03	0,03	0,21	0,21
übl. gesamt:		44,2 t							
		0,88 äq.10-t							
<b>Volllast</b>	[t]:	5,7	7,4	7,4	6,5	6,5	6,5	9,0	9,0
	[äq.10-t]:	0,11	0,30	0,30	0,18	0,18	0,18	0,66	0,66
zulässig	[t]:	10	9,5 <sup>1)</sup>	9,5 <sup>1)</sup>	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Volllast gesamt:		58,0 t							
		2,57 äq.10-t							

<sup>1)</sup> beide Achsen angetrieben

Tabelle 2.4: Achslasten und daraus resultierende substanzielle Straßenschädigung in äquivalenten 10-Tonnen-Achsen eine Lastzugkombination aus sechssachsigem Sattelzug (Typ 106) und Zentralachsanhänger bei den Beladungsgraden leer, üblich und Volllast

Angesichts der langjährigen Aufzeichnungen der Achslastwaagen ist jedoch ersichtlich, dass es durchaus einen Bedarf an solch einer Fahrzeugkombination geben mag, denn üblicherweise werden der fünfsachsige Sattelzug lediglich zu 30 t und der Zentralachsanhänger zu nur 12 t ausgelastet. Eine diesen Anforderungen angepasste Definition der maximal zulässigen Gesamtgewichte beider Lastzugkomponenten zu  $32 + 14 = 46$  t würde nicht im Widerspruch zu den derzeitigen Regelungen der Straßenverkehrszulassungsverordnung stehen und würde bezüglich der Straßenbeanspruchung eine Verbesserung darstellen, da die Achslasten aufgrund der Gewichte infolge entfallender Zugfahrzeuge reduziert werden würden. Die Begrenzung des maximal zulässigen Gesamtgewichtes auf 46 t hingegen würde selbstverständlich zu keinem Nutzen für die Straßensubstanz führen, da dieses Fahrzeug hauptsächlich für Volumentransporte eingesetzt werden würde, wie es auch derzeit bereits der Fall ist. Tabelle 2.5 zeigt das Schädigungspotenzial dieser Lastzugkombination.



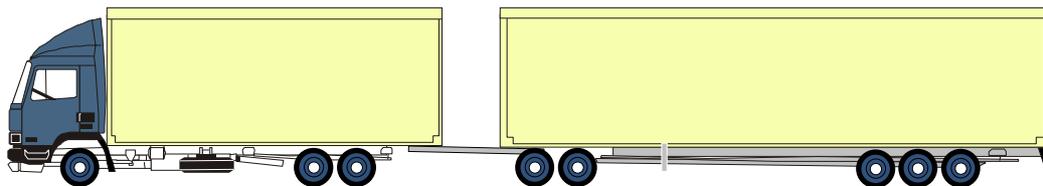
<b>Volllast</b>	[t]:	7,2	8,6	5,4	5,4	5,4	7,0	7,0
	[äq. 10-t]:	0,27	0,55	0,09	0,09	0,09	0,24	0,24
<b>Volllast gesamt:</b>		46,0 t						
		1,57 äq. 10-t						

Tabelle 2.5: Achslasten und daraus resultierende substanzielle Straßenschädigung in äquivalenten 10-Tonnen-Achsen eine Lastzugkombination aus fünfachsigem Sattelzug (Typ 98) und Zentralachsanhänger beim Beladungsgrad Volllast = 46 t

Eine weitere Möglichkeit, den Sattelzug dieser Lastzugkombination auf fünf Achsen zu reduzieren, ist rein formal auch in der Weise denkbar, dass entweder das Zugfahrzeug wie bei dem des Typs 98 nur zwei Achsen besitzt, die dann aber beide angetrieben werden (Allrad), oder dass der Auflieger nur zwei Achsen mit einem vergleichsweise großen Abstand erhält, wodurch beide jeweils 10 t tragen dürften. Insbesondere die erstgenannte der beiden Konzeptionen die Verteilung der Lasten auf die Achsen konstruktiv sehr schwierig gestalten. Aus Sicht der Straßenschädigung wären solche Konstruktionen keinesfalls wünschenswert, da dadurch jede Achse für sich ein sehr hohes Gewicht tragen würde, was durch dieses Fahrzeug verursachte Schädigung deutlich erhöhen würde. Das Fahrzeug müsste deshalb mit acht Achsen vorgeschrieben werden.

### b) Lastzugkombination Lastkraftwagen + Sattelauflieger auf Dolly

Auch diese Lastzugkombination kann derzeit mit den in Deutschland verkehrenden Fahrzeugen nicht zusammengestellt werden. Hierzu fehlt es zum einen an Lastkraftwagen mit einer doppelten Antriebsachse wie auch an notwendigen Dollies, auf die der Sattelauflieger aufgesetzt wird. Für die Beförderung von insgesamt maximal 60 t wäre darüber hinaus ein leistungsfähigerer Motor erforderlich.



<b>leer</b>	[t]:	5,9		4,7	2,4		2,0	2,0		1,8	1,8	1,8
	[äq.10-t]:	0,12		0,05	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
leer gesamt:		22,5 t										
		0,17 äq.10-t										
<b>üblich</b>	[t]:	6,9		8,5	4,6		4,7	4,7		5,4	5,4	5,4
	[äq.10-t]:	0,23		0,52	0,05		0,05	0,05		0,09	0,09	0,09
übl. gesamt:		45,6 t										
		1,17 äq.10-t										
<b>Volllast</b>	[t]:	7,4		9,2	9,2		5,4	5,4		7,8	7,8	7,8
	[äq.10-t]:	0,30		0,72	0,72		0,09	0,09		0,37	0,37	0,37
zulässig	[t]:	10		9,5 <sup>1)</sup>	9,5 <sup>1)</sup>		9	9		9	9	9
Volllast gesamt:		60,0 t										
		3,03 äq.10-t										

<sup>1)</sup> beide Achsen angetrieben

Tabelle 2.6: Achslasten und daraus resultierende substanzielle Straßenschädigung in äquivalenten 10-Tonnen-Achsen eine Lastzugkombination aus dreiachsigem Lastkraftwagen (Typ 9) und Sattelaufleger auf Dolly bei den Beladungsgraden leer, üblich und Volllast

Mit 0,02727 beziehungsweise 0,04649 äq.10-t wird das Schädigungspotenzial dieser Lastzugkombination im Hinblick auf die Gefahr einer erhöhten Spurrinnenbildung als vergleichsweise hoch eingestuft.

Auch bei dieser Lastzugkombination ist erkennbar, dass der Sattelaufleger auch bei Einsparung einer der hinteren drei Achsen noch immer über ausreichend viele Achsen verfügt, um die zulässigen Achslasten seines Gesamtgewichtes von knapp über 34 t nicht überschreiten zu müssen. Wird beispielsweise die mittlere der drei Achsen als Hubachse ausgebildet, so ist der Sattelaufleger weiterhin als konventioneller Sattelaufleger mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 40 t zu betreiben, kann aber als Lastzugkombination diese Achse anheben und in Gänze als 60-Tonnen-Fahrzeug verkehren. Die Achsen würden dann jedoch die Straße mit jeweils etwa 8,5 t belasten, was zum einen ein sehr gewissenhaftes Be- und Entladen erforderlich macht und zum anderen das substanzielle Schädigungspotenzial um mehr als 25 % auf dann 3,83 äq.10-t ansteigen ließe. Auch hier wäre deshalb die Forderung nach insgesamt 8 Achsen für die Lastzugkombination aufrecht zu erhalten.

### 2.3.4 Vergleichende Betrachtung der Straßenschädigung durch Fahrzeuge neuer Lastzugkonzepte

Für eine Beurteilung der substanziellen Straßenschädigung durch Fahrzeuge neuer Lastzugkonzepte muss ein Vergleich mit den Beanspruchungspotenzialen bisheriger Lastzüge vollzogen werden. Die in den Abschnitten 2.3.2 und 2.3.3 dargelegten Lastfälle der unterschiedlichen Fahrzeuge machen den gravierenden Einfluss der Achslast, die ihrerseits von der Achsanordnung und der Beladung des Fahrzeugs abhängt, deutlich. Die beiden wichtigsten Fahrzeuge der in Deutschland verkehrenden Lastkraftwagen mit einem maximal zulässigen Gesamtgewicht von 40 t – der fünfachsigen Sattelaufzieger und der Gliederzug gleicher Achszahl – weisen dabei vergleichbare Schädigungspotenziale für den Straßenoberbau auf. Da sich jedoch die Nutzlast der beiden Fahrzeuge um mehr als 3,5 t – das sind immerhin rund 14 % – voneinander unterscheiden, fällt eine Beurteilung der beiden Fahrzeuge im Hinblick auf die Beförderung einer bestimmten Tonnage trotzdem differenziert aus.

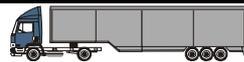
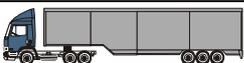
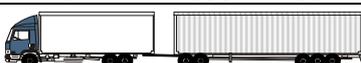
Fahrzeugtyp	zul. GG [t]	Leergew. [t]	Nutzlast [t]	Schädigung [äq. 10-t]
	40	14,4	25,6	2,45
	40	15,0	25,0	1,27
	40	18,1	21,9	2,54
	58	21,5	36,5	2,57
	60	22,5	37,5	3,03
	46	21,5	24,5	1,57

Tabelle 2.7: Zusammenstellung der Gewichte und der Straßenschädigung in äquivalenten 10-Tonnen-Achsen unterschiedlicher Lastzugkombination beim Beladungsgrad Volllast

In Tabelle 2.7 sind für die drei untersuchten bisherigen Fahrzeugtypen wie auch für die beiden Fahrzeugkombinationen eines neuen Lastzugkonzeptes die Gewichte und substanziellen Straßenschädigungspotenziale für den voll beladenen Zustand zusammengestellt (siehe Abschnitt 2.3.3). Daraus abgeleitet folgt in Tabelle 2.8 die Ermittlung der auf die Nutzlast bezogenen substanziellen Schädigungspotenziale. Für die vergleichende Bewertung der Lastzüge hinsichtlich ihrer aus der Nutzlast resultierenden Straßenbeanspruchung wurde für die drei derzeit im Verkehr befindlichen Fahrzeuge ein gewichteter Mittelwert entsprechend ihrer Häufigkeit in der Verkehrszusammensetzung gebildet und als Referenzwert zugrundegelegt. Gemessen daran trägt der Gliederzug (Typ 41 bzw. 42) also überdurchschnittlich zur substanziellen Schädigung der Straßen bei.

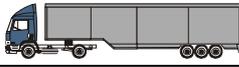
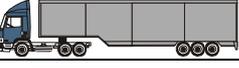
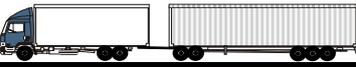
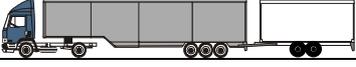
Fahrzeugtyp	Nutzlast NL [t]	Straßenschädigung		
		absolut [äq. 10-t]	NL-spezifisch [äq. 10-t/t NL]	relativ %
	25,6	2,45	0,0957	94,5
	25,0	1,27	0,0508	50,2
	21,9	2,54	0,1160	114,6
	36,5	2,57	0,0704	69,5
	37,5	3,03	0,0808	79,8
	24,5	1,57	0,0641	63,3

Tabelle 2.8: Ermittlung der Nutzlast-spezifischen und der relativen Straßenschädigung unterschiedlicher Lastzugkombination beim Beladungsgrad Volllast

Es ist auffällig, dass die beiden Lastzugkombinationen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 60 t eine geringere auf die Nutzlast bezogene Straßenschädigung aufweisen als die bisher im Verkehr zugelassenen 40-Tonnen-Fahrzeuge, wobei der sechsachsige Sattelzug als sehr seltenes Fahrzeug hier als Ausnahme gesehen werden muss. Das im Vergleich günstige Abschneiden dieser neuartigen Fahrzeugkonzepte ist nicht auf die Einsparung von Fahrzeuggewicht, etwa durch die geringere Anzahl erforderlicher Zugfahrzeuge zurückzuführen, da diese durch das Gewicht der erforderlichen Zusatzausstattung kompensiert wird. In Summe besitzen die Lastzugkombinationen einen den hier betrachteten bisherigen Fahrzeugen vergleichbaren Auslastungsgrad (mögliche Nutzlast zu maximalem Gesamtgewicht) von im Mittel etwas mehr als 60 %. Die geringere Straßenschädigung stammt folglich aus der erhöhten Anzahl von Achsen pro beförderte Tonne Ladegut, was im Schnitt zu einer um jeweils 500 kg abgeminderten Achslast führt. Dieser Effekt ließe sich jedoch unabhängig vom modularen Nutzfahrzeugkonzept auch beispielsweise durch die Forderung einer sechsten Achse am Sattelzug des Typs 98 erzielen.

Die in beiden Tabellen mit aufgeführte Lastzugkombination aus fünfsachsigem Sattelzug und Zentralachsanhänger mit einem in Gänze reduzierten zulässigen Gesamtgewicht von 46 t ist ein Fahrzeug, das für leichte, voluminöse Transportgüter konzipiert ist. Seine geringe Straßenschädigung resultiert aus den entsprechenden Achslasten und stellt insofern keine Reduzierung dar, da diese Lastzugkombination mit einem gleichen Fahrzeug im teilbeladenen Zustand verglichen werden müsste. Die absoluten Werte für die Straßenbeanspruchung liegen jedoch mit Sicherheit nicht in einem kritischen Bereich.

Die beschriebenen Zusammenhänge sind in ähnlicher Weise auf den Zustand der Teilbeladung übertragbar. In Tabelle 2.9 und Tabelle 2.10 wurden die Verhältnisse für den derzeit für

die im Verkehr befindlichen Fahrzeugkomponenten üblichen Beladungsgrad zusammenfasst.

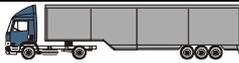
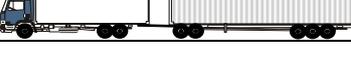
Fahrzeugtyp	zul. GG [t]	Leergew. [t]	Nutzlast [t]	Schädigung [äq. 10-t]
	40	14,4	15,6	0,88
	40	15,0	15,0	0,44
	40	18,1	11,9	0,81
	58	21,5	22,7	0,88
	60	22,5	23,1	1,17

Tabelle 2.9: Zusammenstellung der Gewichte und der Straßenschädigung in äquivalenten 10-Tonnen-Achsen unterschiedlicher Lastzugkombination beim Beladungsgrad üblich

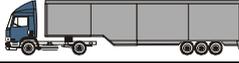
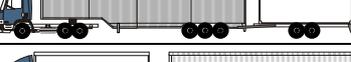
Fahrzeugtyp	Nutzlast NL [t]	Straßenschädigung		
		absolut [äq. 10-t]	NL-spezifisch [äq. 10-t/t NL]	relativ %
	15,6	0,88	0,0856	106,9
	15,0	0,44	0,0293	36,6
	11,9	0,81	0,0681	85,0
	22,7	0,88	0,0388	48,5
	23,1	1,17	0,0506	63,2

Tabelle 2.10: Ermittlung der Nutzlast-spezifischen und der relativen Straßenschädigung unterschiedlicher Lastzugkombination beim Beladungsgrad üblich

## 2.4 Zusammenfassung

Die Betrachtungen zur Schädigung von Asphaltdeckschichten infolge einer Zulassung von Lastzugkombinationen haben gezeigt, dass mit der Gefahr einer verfrühten Spurrinnenbildung bei begründetem Ausschluss von Einflüssen aus einer dichteren Folge der Radüber

rollungen (Abschnitt 2.2.1) und den Begebenheiten bei Steigungsfahrten (Abschnitt 2.2.2) nicht zu rechnen ist. Darüber hinaus kann für die Schädigung der Substanz der gesamten Straßenbefestigung angenommen werden, dass die in Rede stehenden Fahrzeuge sowohl im voll beladenen wie auch im gewichtsmäßig teilweise beladenen Zustand zu einer Reduzierung der Straßenbeanspruchung und damit zu geringeren Schäden am Straßenkörper führen werden. Die Verringerungen sind am Einzelfahrzeug durchaus erheblich und nehmen Größenordnungen von 20 bis rund 50 % an, dürfen jedoch nicht als Vorteil des Lastzugkonzeptes an sich, sondern der einer erhöhten relativen Achsanzahl angesehen werden. Konkret heißt dies, dass sich dieser positive Effekt nur dann erzielen lässt, wenn die Lastzugkombinationen mit acht Achsen ausgestattet werden.

Berücksichtigt man, dass die hier betrachteten aktuellen Fahrzeuge etwa die Hälfte des gegenwärtigen Schwerverkehrs abdecken, und geht man davon aus, dass mittelfristig etwa 30 % der heute verkehrenden 40-Tonner durch Lastzugkombinationen ersetzt würden [9, 10], kann abgeschätzt werden, dass sich daraus resultierend die Nutzungsdauern von Straßenaufbauten in etwa um  $0,3 \times 0,5 \times 35 \% = 5,25 \%$  erhöhen könnten. Dies entspräche rein rechnerisch einer Verschiebung des Eingreifzeitpunktes für eine Grunderneuerung um etwa 1,5 Jahre.

Diese theoretische Betrachtung der Schädigungen relativiert sich jedoch angesichts des ständig steigenden Schwertransports auf den Bundesfernstraßen: Durch den Einsatz von Lastzugkombinationen würde zwar die Beanspruchung der Straße bei der Beförderung ein und derselben Transportleistung wie dargestellt sinken, und gleichzeitig würde infolge der geringeren Anzahl der für die Abwicklung benötigten Fahrzeuge mehr Raum und somit Kapazität auf der Straßen frei werden. Dieser Raum aber, der als potenzielle Transportkapazität angesehen werden kann, würde über kurz oder lang infolge der allgemeinen Transportleistungssteigerung allmählich wieder schwinden, wodurch die Hauptfahrstreifen der Bundesautobahnen täglich nicht nur von mehr Fahrzeugen, sondern auch von einer größeren Tonnage überrollt werden können als zuvor. Dieser Effekt wird schließlich dazu führen, dass die Straßenbefestigungen in Zukunft absolut gesehen – also in Jahren – früher, relativ gesehen – also nach abgewickelter Transportleistung später geschädigt werden.

### **3 Beeinflussung des DTV<sup>(SV)</sup> durch neue Lastzugkombinationen**

Bereits in der Einleitung zu diesem Bericht wurde darauf verwiesen, dass es für die Quantifizierung der Auswirkungen von Lastzugkombinationen von Bedeutung ist, wie viele solcher Fahrzeuge zukünftig auf den Bundesfernstraßen verkehren würden, oder – anders ausgedrückt – wie attraktiv dieses Fahrzeugkonzept für die Speditionsbranche ist. Zur Erstellung einer Prognose der Verlagerungsfähigkeit von Transporten auf dem Bundesfernstraßennetz wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen deshalb ein Auftrag [9] vergeben, der eine vergleichende Wirtschaftlichkeitsanalyse der bisherigen Fahrzeuge mit den Lastzugkombinationen vollziehen soll. Im Ergebnis dieser in Abschnitt 3.1 vorgestellten Prognose erhält man hier also den Transportleistungsanteil, der voraussichtlich zukünftig durch Lastzugkombinationen erbracht werden würde.

Diese Transportleistung wird in Abschnitt 3.2 durch eine weitergehende Betrachtung der Verlagerung der sich ergebenden Nutzlast von den konventionellen Fahrzeugen auf die Lastzugkombinationen ergänzt, um auf diese Weise die Veränderung der Fahrzeuganzahl des Schwerverkehrs auf dem Bundesfernstraßennetz mit einem Prognosehorizont 2015 abzuschätzen.

#### **3.1 Prognose der Transportleistung von Lastzugkombination auf der Basis deren wirtschaftlicher Attraktivität (Zusammenfassung von [9])**

Die von der Fachhochschule Gelsenkirchen, Forschungsschwerpunkt Stadtverkehr durchgeführte Studie definiert zunächst eine Kostenstruktur innerhalb der heutigen Transportbranche, die sich aus den fünf Kostengruppen Personal-, Fahrzeugeinsatz-, Infrastrukturnutzungs-, Fahrzeugvorhalte- und Verwaltungskosten zusammensetzt. Innerhalb dieser Kostengruppen wird eine weitere Aufteilung in Unterkategorien vollzogen und im Weiteren eine prozentuale Verteilung ihrer Größenordnung auf der Basis von Erhebungen bei Transportunternehmen des Bundesverbandes Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) sowie eigener Berechnungen zu den Infrastrukturnutzungskosten aufgestellt (Tabelle 3.1). Da diese Kostenstruktur für den Ferntransportbereich und direkt nur für die Fahrzeuge analysiert wurde, die auch für die Zusammenstellung einer Lastzugkombination genutzt werden können, ist es im weitergehenden Schritt möglich, die Kostenvorteile, die sich durch einen Einsatz dieser Lastzugkombinationen ergeben würden, näher zu quantifizieren und so das wirtschaftliche Nutzenpotenzial, das maßgebend für die Attraktivität dieses Fahrzeugkonzeptes steht, zu ermitteln.

Für die Ertüchtigung der aktuell in Deutschland im Einsatz befindlichen Nutzfahrzeuge für die Verwendung als Lastzugkombinationen sind zunächst Investitionen auf der Seite der Transportunternehmen zu tätigen. Diese Kosten, die sich bei den Fahrzeugeinsatzkosten je nach

Kostenart	Kostenanteil in %	Kostenart	Kostenanteil in %
<b>Personalkosten</b>	<b>33,19</b>	<b>Infrastrukturnutzungskosten</b>	<b>7,87</b>
Fahrerlohn	23,85	<b>Fahrzeugvorhaltekosten</b>	<b>13,22</b>
Gesetzliche Sozialaufwendungen	5,84	Zeitliche Abschreibung	4,50
Fahrerspesen	3,31	Fremdfinanzierungskosten	1,06
Sonstige	0,19	Steuer	1,08
<b>Fahrzeugeinsatzkosten</b>	<b>35,27</b>	Versicherung	4,44
Nutzungsabhängige Abschreibung	4,50	Sonstige	2,14
Kraftstoffkosten	20,71	<b>Verwaltungskosten</b>	<b>14,39</b>
Schmierstoffkosten	0,33	Gehälter	7,62
Reparaturkosten	7,45	Sonstige	6,77
Reifenkosten	1,80		
Sonstige	0,48		
		<b>insgesamt</b>	<b><u>100,00</u></b>

Tabelle 3.1: Kostenstruktur der für die Verwendung als Lastzugkombinationen geeigneten Fahrzeuge im Ferntransportbereich [9]

Art der Lastzugkombination zunächst auf die Anschaffung eines Dolly oder die Anbringung eines Kupplungsblocks beziehen, werden durch weitere ergänzt, die sich aus technischen Anforderungen für die Beförderung eines maximal zulässigen Gesamtgewichts von 60 Tonnen ergeben. Hierzu gehören beispielsweise die Ausstattung dieser Fahrzeuge mit stärkeren Motoren sowie mit einer zusätzlichen Achse (siehe auch Abschnitt 2.2.3). Kurzfristig würden sich also die notwendigen Investitionen auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau von etwa 10.000 € (Anschaffung Dolly) oder gar nur unter 2.000 € (Anbringung Kupplungsblock) belaufen, sofern damit keine erheblich größeren Lasten befördert würden als mit den bisherigen Fahrzeugen. Längerfristig allerdings würden voraussichtlich immer mehr Spediteure über Neubeschaffungen Lastzugkombinationen zum Einsatz bringen, die auch höhere Lasten transportieren können, und müssten dafür weitere Investitionen in einer Größenordnung von zusätzlich etwa 22.500 € in Kauf nehmen. Hierin enthalten sind ausdrücklich nur diejenigen Kosten, die zur technischen Ertüchtigung der Fahrzeuge erforderlich sind. Wie in Abschnitt 8 dieses Berichts ausgeführt werden wird, werden weitere sicherheitstechnische Zusatzausstattungen, die bislang nicht oder nur sehr selten in Nutzfahrzeugen eingebaut werden, für dringend erforderlich gehalten. Die Kosten hierfür sind aktuell nur schwer abschätzbar und wurden deshalb hier nicht in die Kalkulation integriert.

Den erforderlichen Investitionen zur Bildung von Lastzugkombinationen stehen eine Reihe von Einsparungen gegenüber, von denen leicht nachvollziehbar die Personalaufwendungen den Hauptanteil beisteuern. Weitere Kostensenkungen über den gesamten Nutzungszeitraum der Fahrzeuge ergeben sich bei den Kraftstoffkosten sowie aus den geringeren Abschreibungsanteilen, die infolge der Einsparung eines Zugfahrzeugs bei Einsatz von zwei Lastzugkombinationen gegenüber bisherigen Fahrzeugarten reduziert werden.

Nach Gegenüberstellung der erforderlichen Investitionen und der zu erschließenden Kostenvorteile kommen die Abschätzungen der Studie insgesamt auf ein wirtschaftliches Einsparpotenzial der Lastzugkombinationen im Vergleich zu heutigen Fahrzeugen von etwa 14 %.

Da in Schweden Lastzugkombinationen bereits seit 1997 zum Einsatz kommen (siehe Abschnitt 9.1), gibt die dortige Entwicklung eine Orientierung, welche Transportverlagerungen durch die Einführung dieses Fahrzeugkonzeptes verursacht werden. So ist es beispielsweise bemerkenswert, dass in Schweden mittlerweile etwa 68 % der Transportleistung durch Lastzugkombinationen abgewickelt werden.

Anhand der sich für Schweden und Deutschland aus Auswertungen bestehender Statistiken von Eurostat ergebenden Verteilung von Gütergruppen auf Fahrzeugarten, Ladungsgewichte und Entfernungsstufen werden im Weiteren unter Hinzuziehung von Daten des Kraftfahrtbundesamtes und des Bundesamtes für Güterverkehr Kennziffern für den Einsatz modularer Fahrzeugkombinationen abgeleitet. Ergänzend dazu werden Fallstudien ausgewählter Gütergruppen – nämlich für Holz- und Papierprodukte, Mineralölprodukte, chemische Erzeugnisse, Stahl sowie für Steine und Erden – durchgeführt, die die Einsatzmöglichkeiten der Lastzugkombinationen im Vergleich zwischen Schweden und Deutschland überprüfen. Diese Analysen zeigen auch die Vielfältigkeit der Einsatzmöglichkeiten über die verschiedenen Gütergruppen. Obwohl sich beispielsweise gerade bei den Holztransporten die Transportleistungsanteile in den beiden Ländern deutlich voneinander unterscheiden – in Schweden nehmen sie mit 17,4 % einen bedeutenden Güteranteil ein, in Deutschland hingegen tragen sie nur mit 2,7 % zur Gesamttransportleistung bei – werden gerade auch für die Holzwirtschaft in Deutschland weitreichende Einsatzmöglichkeiten für Lastzugkombinationen gesehen. In anderen Gütergruppen, z.B. für Mineralölerzeugnisse mit einem klar strukturierten Verteilerkreis, sind zusätzliche Investitionskosten für Rangierflächen usw. zu berücksichtigen. Für einzelne Gütergruppen, z.B. Steine und Erden, ist der Einsatz von modularen Fahrzeugkombinationen auch im Nahbereich wegen sinkender Transportkosten von großer Relevanz.

Auf der Basis der Daten aus der Verkehrsprognose 2015 verknüpft mit den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungen werden schließlich die Anteile der Fahr- und Transportleistungen von Lastzugkombinationen im Straßengüterverkehr bestimmt. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen kommen somit unter Ausnahme der Gefahrguttransporte zu einem Transportleistungsanteil der Lastzugkombinationen an der gesamten Transportleistung im Fernverkehr von 45 %.

### **3.2 Veränderung des Schwerverkehrsanteils durch Lastzugkombinationen**

Im Nachfolgenden wird untersucht, welche Auswirkungen einer teilweisen Nutzlastverlagerung von relevanten Fahrzeugkombinationen des Schwerverkehrs mit einem Gesamtgewicht von mehr als 3,5 t – im Weiteren mit *relevante* Fahrzeugarten bezeichnet – auf Lastzugkombinationen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 60 Tonnen auf die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des gesamten Schwerverkehrs ( $DTV^{(SV)}$ ) zu erwarten sind. Zur Er

mittlung der Nutzlastverlagerung auf neue Lastzugkombinationen wurden externe Gutachten in Auftrag gegeben, deren Ergebnisse in die nachfolgende Betrachtung einbezogen worden sind.

### 3.2.1 Grundlagen der Untersuchung

Folgende Grundlagen liegen der Untersuchung zugrunde:

- die aus der 1998 durchgeführten Einzelfahrzeugdatenerfassung [21] abgeleitete Zusammensetzung des Schwerverkehrs auf BAB (Abbildung 2.8) und
- die relative Gesamtgewichtsverteilung in Abhängigkeit von der Fahrzeugart (Abbildung 3.1) – sie stellt sich für die einzelnen Fz-Arten des Schwerververkehrs von der Stärke des DTV<sup>(SV)</sup> unabhängig und zeitlich sehr stabil dar –

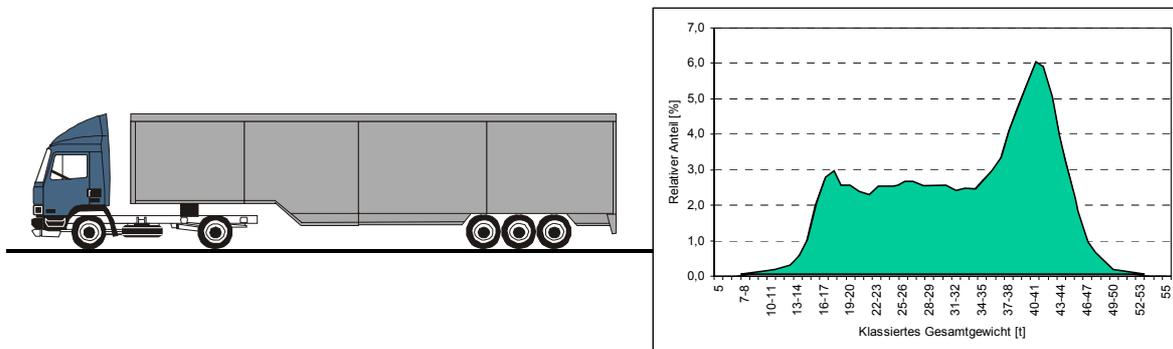


Abbildung 3.1: Beispielhafte Darstellung der relativen Gesamtgewichtsverteilung für die Fz-Art Sattelkraftfahrzeug mit zweiachsigem Kraftfahrzeug und dreiachsigem Sattelanhänger (Typ 98)

sowie

- die relevanten Fahrzeugarten (Teilmenge des Schwerverkehrs nach Abbildung 2.8) mit entsprechenden höchstzulässigen Gesamtgewichten und Leergewichten, deren Nutzlast als verlagerungsfähig angenommen wird (Abbildung 3.2) und
- zwei gewählte Fahrzeugarten der Lastzugkombinationen (Abbildung 3.3)
- Anteile der Nutzlastumlagerung auf neue Lastzugkombinationen nach den externen Gutachten [9] und [10]

zugrunde.

Kenn- ziffer	Fahrzeugart		zul. GG StVZO [t]	Leer- gewicht [t]	Anteil [%]	Anteil im Bereich [%]				
	Beschreibung					>10%	>5% ≤10%	>1% ≤5%	≤1%	
33	LKW + Anhänger	(E,E + E,E)	36	16,4	9,4		9,4			
34		(E,E + Dp)	36	16,8	3,8			3,8		
35		(E,E + E,Dp)	40	16,9	6,9		6,9			
41		(E,Dp + E,E)	40	17,7	12,8	12,8				
42		(E,Dp + Dp)	40	18,1	1,7			1,7		
96	Sattelfahrzeuge	(E,E + E)	28	13,4	1,7			1,7		
97		(E,E + Dp)	36	13,9	6,1		6,1			
98		(E,E + Dr)	40	14,4	35,1	35,1				
99		(E,E + E,E)	38	13,9	1,0				1,0	
105		(E,Dp + Dp)	40	14,5	0,8				0,8	
106		(E,Dp + Dr)	40	15	0,4				0,4	
107		(E,Dp + E,E)	40	14,5	0,2				0,2	
E Einzelachse Dp Doppelachse Dr Dreifachachse						Summe	47,9	22,4	7,2	2,3
						Summe	79,8			

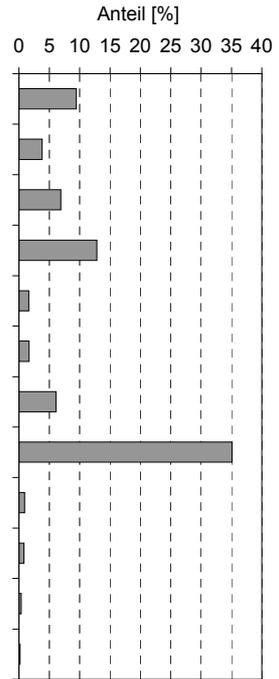


Abbildung 3.2: Fahrzeuge des Schwerverkehrs, deren Nutzlast im Rahmen der Untersuchung als verlagerungsfähig angenommen wird (Auszug aus Abbildung 2.8)

Die höchstzulässigen Gesamtgewichte der einzelnen Fahrzeugarten nach Abbildung 3.2 wurden in Abhängigkeit von der Fahrzeugart und der Achskonfiguration dem §34 StVZO [30] entnommen. Die Leergewichte der Fahrzeugtypen 35, 41, 98 und 106 wurden im Rahmen des AP-Projektes 04 342/S4 [31] ermittelt, die aller anderen Fahrzeugarten aus diesen abgeleitet.

Für die in Abbildung 3.3 dargestellte Fahrzeugart einer Lastzugkombination wird ein maximales Gesamtgewicht von 58 t angenommen. Es setzt sich unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Gesamtgewichte für die einzelnen Fahrzeugteile nach §34 StVZO [30] aus dem maximal zulässigen Gesamtgewicht des fünfsichtigen Sattelkraftfahrzeugs von 40 t und des zweiachsigen Anhängers von 18 t zusammen. Unter der Annahme eines Leergewichts für die Fahrzeugkombination von 21 t ergibt sich eine maximal mögliche Nutzlast von 37 t.



Gesamtgewicht	58,0 t
Leergewicht	21,5 t
max Nutzlast	36,5 t



Gesamtgewicht	60,0 t
Leergewicht	22,5 t
max Nutzlast	37,5 t

Abbildung 3.3: Der Untersuchung zugrunde gelegte Lastzugkombinationen

Die unten in Abbildung 3.3 dargestellte Fahrzeugart weist ein höchstzulässiges Gesamtgewicht von 60 t auf. Das Kraftfahrzeug darf dabei nach §34 StVZO ein maximales Gesamtgewicht von 26 t, der Anhänger nach Herstellerangaben eines von 36 t nicht überschreiten. Bei einem Leergewicht von 22,5 t ergibt sich für diese Lastzugkombination eine maximal mögliche Nutzlast von 37,5 t.

Weiterhin notwendig ist eine Angabe zum erwarteten Verlagerungsgrad, d. h. in welcher Stärke wird eine Nutzlastverlagerung vom herkömmlichen Schwerverkehr auf die Lastzug

kombinationen erwartet. Hier wird auf die Ergebnisse der in Abschnitt 3.1 dargestellten Untersuchung, nach der der Anteil der von Lastzugkombinationen im Fernverkehr erbrachten Transportleistung im Jahr 2015 rund 45 % beträgt, zurückgegriffen. Für die weiteren Untersuchungen wird eine Spreizung des Verlagerungsanteils von 10 bis 50 % angenommen, um auch die zeitliche Entwicklung des Verlagerungsgrades bis 2015 aufzunehmen.

Weiterhin wird der nicht verlagerungsfähige Anteil der gesamten Nutzlast – es handelt sich hierbei meist um Gefahrgüter, die aufgrund gesetzlicher Regelungen nicht mit modularen Fahrzeugkombinationen transportiert werden dürfen – zu 5% angenommen. Das deckt sich mit Angaben hierzu in [9], wo der Gefahrgutanteil an der gesamten Transportleistung zu etwa 6,6% abgeschätzt wird.

### 3.2.2 Vorgehensweise

Der komplette Berechnungsalgorithmus für eine Abschätzung der Auswirkungen einer Nutzlastverlagerung auf den  $DTV^{(SV)}$  ist im Anhang 0 aufgeführt. Hier sei nur soviel ausgeführt:

Aus der relativen Zusammensetzung des Schwerverkehrs, einem angenommenen  $DTV^{(SV)}$  und den fahrzeugartbezogenen relativen Gesamtgewichtsverteilungen wird das fahrzeugartbezogene Gesamtgewicht erhalten. Für die relevanten Fahrzeugarten erfolgt nun die Aufspaltung der Gesamtgewichte in Leergewicht und Nutzlast, da nur ihre Nutzlast auf Lastzugkombinationen verlagert werden kann. Hierfür werden die Leergewichte für die relevanten Fahrzeugarten nach Abbildung 3.2 angesetzt. Ihre jeweilige Nutzlast berechnet sich dann als Differenz aus entsprechendem Gesamt- und Leergewicht.

Die Summe der Nutzlast der relevanten Fahrzeugarten ist nicht identisch mit der potentiell zu verlagernden Nutzlast. Sie ergibt sich durch Subtraktion des nicht verlagerungsfähigen Anteils an der Nutzlast, der im Abschnitt 3.2.1 mit 5 % angenommen wurde. Die zu verlagernde Nutzlast ergibt sich dann schließlich aus der Multiplikation der potentiell zu verlagernden Nutzlast mit einem Verlagerungsgrad. Dieser wird gemäß Abschnitt 3.2.1 von 10 bis 50 % variiert.

In einem weiteren Schritt muss zunächst die jeweilige zu berücksichtigende Nutzlast der gewählten Lastzugkombinationen (Abbildung 3.3) berechnet werden. Sie ergibt sich aus der Multiplikation der jeweiligen maximalen Nutzlast von 36,5 t bzw. 37,5 t mit einem zu wählenden Auslastungsgrad der Lastzugkombinationen. Vereinfachend wird für beide Fahrzeugarten eine 50/50 Verteilung der zu verlagernden Nutzlast angesetzt. Der mittlere Auslastungsgrad des zulässigen Gesamtgewichts der Lastzugkombinationen wird im Rahmen der Untersuchung für beide Fahrzeugarten von 50 bis 80 % gespreizt, wobei der derzeitige Auslastungsgrad rund 75 % beträgt.

Aus der Division der zu verlagernden Nutzlast durch die Nutzlast der Fahrzeugkombinationen unter Berücksichtigung der fahrzeugspezifischen Verteilung der Nutzlast und des Auslastungsgrades ergibt sich dann die Anzahl der aus der Nutzlastverlagerung resultierenden Lastzugkombinationen, die die entsprechende Anzahl der relevanten Fahrzeuge im  $DTV^{(SV)}$  ersetzen.

Die Bestimmung der Anzahl der durch Lastzugkombinationen ersetzt relevanten Fahrzeuge im  $DTV^{(SV)}$  erfolgt über Summierung der Quotienten aus fahrzeugspezifischem Anteil an der zu verlagernden Nutzlast und fahrzeugspezifischem Mittelwert der Nutzlast der relevanten Fahrzeuge.

Die Summe aus der Anzahl der die zu verlagernde Nutzlast aufnehmenden Lastzugkombinationen und der durch sie ersetzt relevanten Fahrzeuge des  $DTV^{(SV)}$  stellt die absolute Veränderung des  $DTV^{(SV)}$  dar. Bezogen auf den  $DTV^{(SV)}$  ergibt sich die relative Veränderungsrate.

### 3.2.3 Ergebnisse der angenommenen Nutzlastverlagerung

Das Ergebnis der angenommenen Nutzlastverlagerung von Fahrzeugen der relevanten Fahrzeugarten nach Abbildung 3.2 auf Lastzugkombinationen nach Abbildung 3.3 mit dem in Abschnitt 3.2.1 erläuterten und im Anhang 0 im Einzelnen dargestellten Algorithmus sowie basierend auf den Annahmen gemäß Abschnitt 3.2.1 ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

Das Eigengewicht der relevanten Fahrzeugarten (Abbildung 3.2) hat einen nicht unerheblichen Einfluss auf das Resultat einer Nutzlastverlagerung. Daher sind zusätzliche Variationsrechnungen vorgenommen worden, in der die Eigengewichte der relevanten Fahrzeugarten um 1 Tonne erhöht bzw. reduziert wurden. Der Einfluss auf die relativen Veränderungsrate des  $DTV^{(SV)}$  (Abbildung 3.4, dünne Linien) ist um so größer, je größer der Verlagerungsgrad der Nutzlast der relevanten Fahrzeugarten ist.

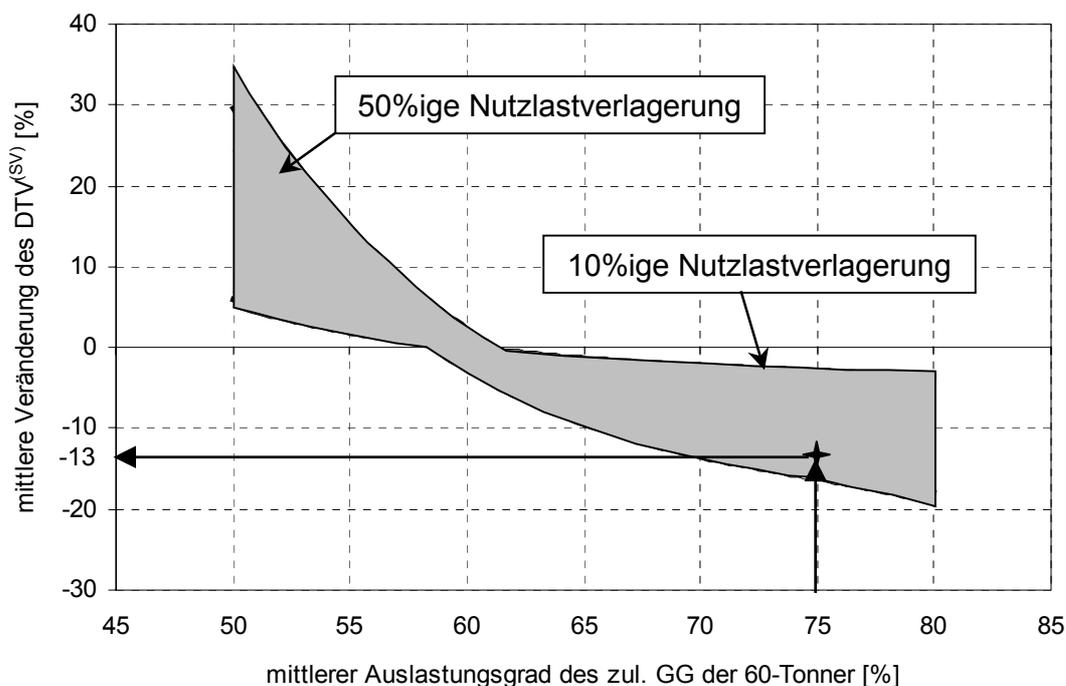


Abbildung 3.4: Relative Veränderungen des  $DTV^{(SV)}$  infolge der Verlagerung der Nutzlast von relevanten Fahrzeugen (NL Verlagerung) auf Lastzugkombinationen

Die mittlere relative Veränderungsrate des  $DTV^{(SV)}$  aufgrund einer Nutzlastverlagerung ist unabhängig von seiner absoluten Ausprägung. Wie die Einhüllende in Abbildung 3.4 (grau hinterlegte Fläche) zeigt, ist bei den angenommenen Randbedingungen eine Reduzierung des  $DTV^{(SV)}$  unabhängig vom Verlagerungsgrad der Nutzlast und je nach Eigengewicht der relevanten Fahrzeugarten erst ab einem mittleren Auslastungsgrad der zulässigen Gesamtgewichte der Lastzugkombinationen um 60 % zu erwarten.

Aus kleineren Auslastungsgraden der zulässigen Gesamtgewichte resultiert dagegen eine Zunahme des  $DTV^{(SV)}$ , die umso größer ausfällt je größer der Verlagerungsgrad der Nutzlast ist. Begründet ist das dadurch, dass mit abnehmendem Auslastungsgrad der zulässigen Gesamtgewichte die Anzahl der benötigten Lastzugkombinationen, die die zu verlagernde Nutzlast aufnehmen, größer und somit auch das Verhältnis zwischen Leergewicht und Nutzlast immer ungünstiger wird.

Die Veränderung der Schwerverkehrszusammensetzung infolge einer Einführung von Lastzugkombinationen wurde in der Weise simuliert, dass zunächst die gesamte auf Lastzugkombinationen übertragbare Nutzlast auf der Basis der heutigen Transportleistung der für dieses Fahrzeugkonzept infrage kommenden Fahrzeugkomponenten errechnet und anschließend zu einem variablen Anteil auf die neuen Lastzugkombinationen umgelegt wurde. Hieraus ergibt sich eine Anzahl von Lastzugkombinationen sowie eine reduzierte Anzahl herkömmlicher Transportfahrzeuge, woraus eine neue Schwerverkehrszusammensetzung resultiert. Diese wurde zum einen für die Ermittlung der absoluten Anzahl von Schwerverkehrsfahrzeugen genutzt und in Bezug zur bestehenden Anzahl gestellt, zum anderen wurde über die Zuweisung der einzelnen Fahrzeuggewichte die Veränderung der Gesamtbelastung der Straßenbefestigung durch den Schwerverkehr errechnet. Auf diese Weise konnte abgeschätzt werden, dass ausgehend von heutigen Verhältnissen die Gesamtbelastung der Bundesfernstraßen durch eine Einführung von Lastzugkombination nicht verringert werden würde. Unter der Annahme, dass 45 % der Transportleistung heute verkehrender 40 t-Fahrzeuge mit einer Auslastung der Beladung von durchschnittlich 75 % im Jahr 2015 durch Lastzugkombinationen erbracht würde, nähme die Anzahl der auf diesen Straßen verkehrenden Fahrzeuge des gesamten Schwerverkehrs ( $DTV^{(SV)}$ ) um etwa 13 % ab (Abbildung 3.4).

Diese Zahl deckt sich mit dem Ergebnis einer durch die Forschungsvereinigung Automobiltechnik vergebenen Studie mit ähnlicher Fragestellung [10], die in einer Fallstudie an der BAB A7 (Bad Hersfeld – Kassel) die Reduzierung der Lkw-Anzahl auf rund 12 % abschätzt. Global sieht die optimistische Prognose dieser Untersuchung den Anteil der herkömmlichen Fahrzeuge, die durch Lastzugkombinationen ersetzt werden könnten, bei bis zu etwa 22 %, d.h. unter der Annahme, dass jeweils zwei Lastzugkombinationen die Leistung von drei bisher eingesetzten Fahrzeugen übernehmen, würde der Lkw-Verkehr um etwa  $\frac{1}{3} \cdot 22 \% \approx 7 \%$  abnehmen.

## 4 Auswirkungen auf die Brücken und Tunnel

### 4.1 Technische Fragestellungen

Für die Bemessungen der Straßenbrücken in Deutschland galten, bis zur Einführung europäischer Regelungen mit den DIN-Fachberichten im Jahr 2003, die Lastansätze der DIN 1072. Untersuchungen [34] im Rahmen des EU-Projektes Bridge Management in Europe (BRIME) haben gezeigt, dass die Lastannahmen für die bestehenden Brücken nach DIN 1072 die Beanspruchungen für den vorhandenen Straßenverkehr gerade noch abdecken, in einigen partiellen Bereichen jedoch auch schon Defizite zu verzeichnen sind.

Mit der möglichen Zulassung von Lastzugkombinationen bis zu einem zulässigen Gesamtgewicht von 60 t ist zu erwarten, dass sich in Deutschland die Zusammensetzung der LKW-Flotte in relativ kurzer Zeit grundsätzlich verändert (vergleiche Abschnitt 1.3) und damit auch veränderte Verkehrslastmodelle erforderlich werden könnten.

Im Rahmen dieses Berichtes werden die Auswirkungen von Lastzugkombinationen bis zu einem zulässigen Gesamtgewicht von 60 t mit einer Fahrzeuglänge von 25,25 m auf die Lastmodelle des Brückenbaus sowie mögliche Auswirkungen dieser auf den gegenwärtigen Brückenbestand im Bundesfernstraßennetz dargestellt und analysiert.

Weiterhin werden in diesem Bericht nur die Aspekte der Tragfähigkeit von Brückenbauwerken und nicht die Fragen nach Dauerhaftigkeit behandelt.

Zur Ermittlung eines gemeinsamen Lastkollektives wurde für die Brückenbauwerke ein einheitliches Belastungskollektiv angenommen. Dieses besteht aus den im Abschnitt 1 dargestellten Fahrzeugen und deren Beladungszuständen. Als Bezugsgröße wurde dabei der derzeit auf BAB herrschende Verkehr herangezogen, der auf der Grundlage von weigh in motion Messungen im Zeitraum von August bis Dezember 2004 auf der BAB A1/A61 ermittelt wurde. Die zur Ermittlung der Auswirkungen durchgeführten Verkehrslastsimulationen beinhalten verschiedene statische Systeme mit jeweils typischen Stützweitenbereichen.

### 4.2 Brückenbestand

Zum Stichtag 31.12.2005 betrug die Anzahl der Brückenbauwerke im Netz der Bundesfernstraßen 37.445 mit einer Gesamtlänge von 1913 km und einer Brückenfläche von insgesamt 27,84 Mio. m<sup>2</sup>. Die Spannbetonbauwerke mit einem Flächenanteil von ca. 19,3 Mio. m<sup>2</sup> stellen den weitaus größten Anteil dar, gefolgt von Stahlbetonbauwerken mit einem Anteil von ca. 5,51 Mio. m<sup>2</sup>. Den restlichen Bestand bilden die beiden Bauarten Stahl bzw. Stahlverbund (Abbildung 4.1 und 4.2).

Betrachtet man die Altersstruktur so wird deutlich, dass der Großteil der Brücken eine bisherige Nutzungsdauer von rund 30 Jahren aufweist (Abbildung 4.3), wobei das Alter der Bauwerke in den neuen und alten Bundesländern sehr unterschiedlich ist. In den alten Bundes

ländern wurde der überwiegende Anteil der Brücken - bedingt durch das Wachstum der Industrie sowie den rapiden Ausbau des Straßennetzes - in den 60er und 70er Jahren errichtet. Dagegen mussten in den neuen Bundesländern sehr viele Straßenbrücken aufgrund ihres größtenteils nicht ausreichenden Erhaltungszustandes abgebrochen und neu gebaut werden; sie sind insofern jünger.

Die in Abbildung 4.4 dargestellte Aufgliederung des Bestandes nach Brückenklassen macht deutlich, dass bezogen auf die Bundesfernstraßen der überwiegende Anteil den Brückenklassen 60/30 und 60 zuzuordnen ist, die durch die Lastansätze der bis 2003 geltenden DIN 1072 definiert sind (siehe auch Abschnitt 4.3).

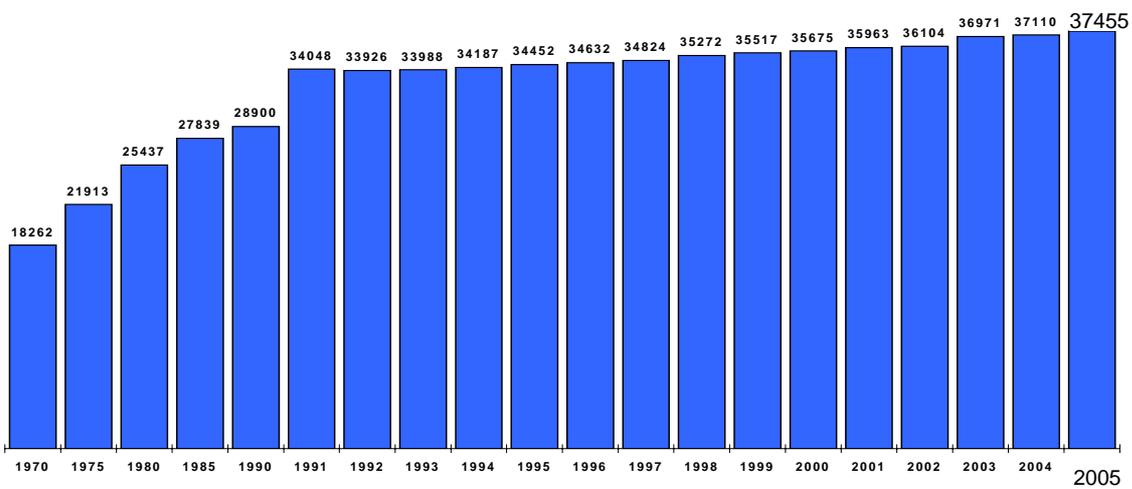


Abbildung 4.1: Brückenbestand der Brücken der Bundesfernstraßen nach Anzahl (Stand: 31.12.2005) [35].

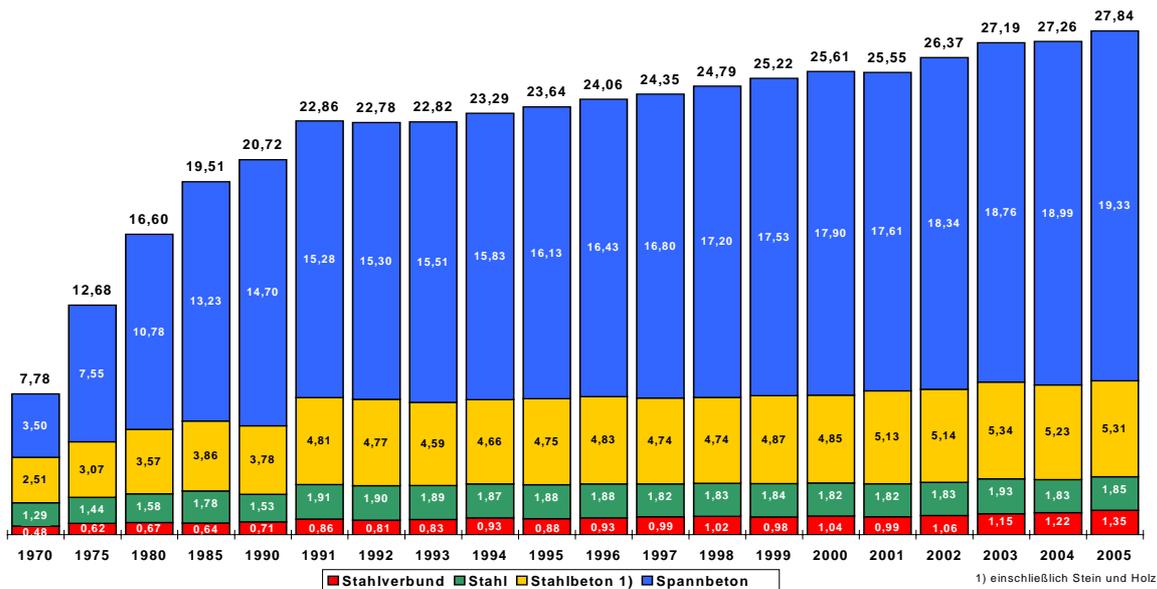


Abbildung 4.2: Brückenbestand der Bundesfernstraßen nach Brückenflächen (Mio. m²) und Bauarten (Stand: 31.12.2005) [35].

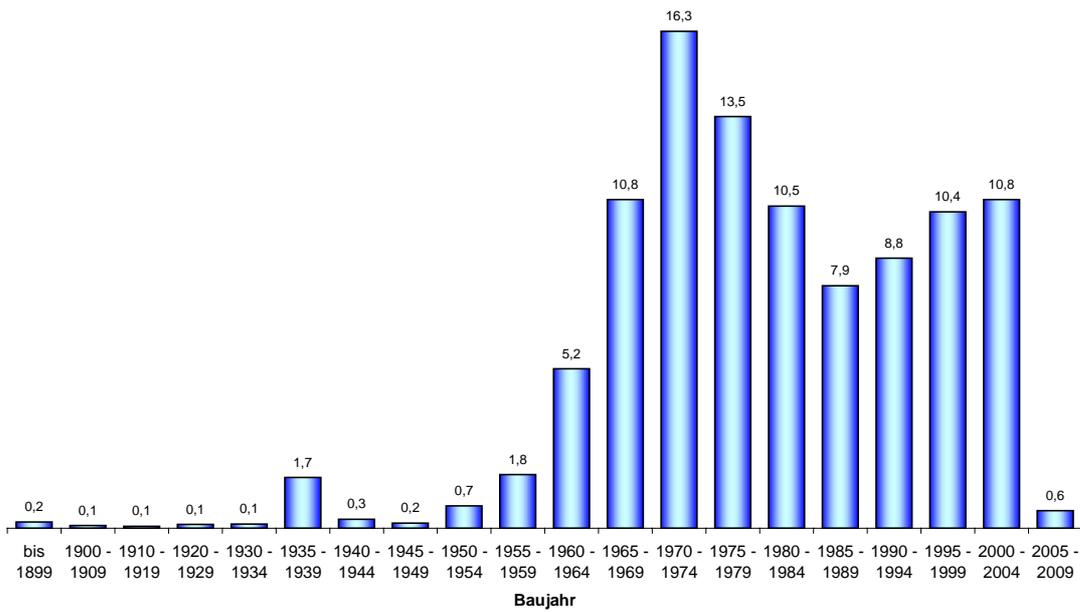


Abbildung 4.3 Altersstruktur der Brücken der Bundesfernstraßen nach Brückenfläche (Stand: 31.12.2005) [35].

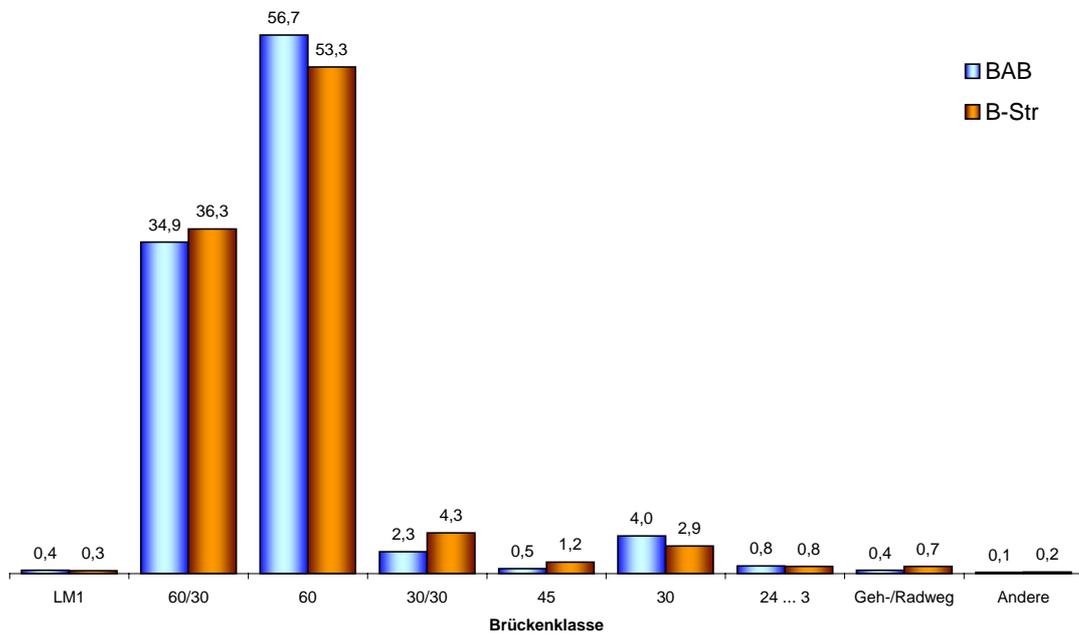


Abbildung 4.4: Brückenklassen der Brücken der Bundesfernstraßen nach Brückenfläche (Stand: 31.12.2005) [35].

### 4.3 Zustand der Brückenbauwerke

Durch die Straßenbauverwaltungen der Länder werden Informationen über den Bestand und Erhaltungszustand der Brücken und andere Ingenieurbauwerke auf der Grundlage von bundeseinheitlichen Regelwerken, die durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) bekannt gegeben und durch die Straßenbauverwaltungen der Länder eingeführt wurden, erhoben, verwaltet und bereitgestellt.

Die Bauwerksprüfung nach DIN 1076 "Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen; Überwachung und Prüfung" [36] ist für alle Brücken, Tunnel, Verkehrszeichenbrücken, Lärmschutzwände und Stützbauwerke sowie sonstige Ingenieurbauwerke alle 6 Jahre als "Hauptprüfung" und 3 Jahre danach als "einfache Prüfung" durchzuführen.

Vorhandene Schäden werden durch den verantwortlichen Bauwerksprüfingenieur direkt am Bauwerk aufgenommen und nach einem standardisierten Verfahren im Hinblick auf die Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit entsprechend den Festlegungen der "Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfung nach DIN 1076" (RI-EBW-PRÜF) [37] bewertet. Als Ergebnis der Hauptprüfung erhält das jeweilige Bauwerk eine Zustandsnote (ZN) zwischen 1 und 4, deren Bedeutung durch die Zuordnung zu den folgenden 6 Zustandsklassen veranschaulicht wird:

**„Bauwerke mit Zustandsnoten ZN 1,0 – 1,4“:**

*Die Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit des Bauwerks sind gegeben.*

**„Bauwerke mit Zustandsnoten ZN 1,5 – 1,9“:**

*Die Standsicherheit und Verkehrssicherheit des Bauwerks sind gegeben.*

*Die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes kann auf längere Sicht geringfügig beeinträchtigt sein.*

**„Bauwerke mit Zustandsnoten ZN 2,0 – 2,4“:**

*Die Standsicherheit und Verkehrssicherheit des Bauwerks sind gegeben.*

*Die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes kann auf längere Sicht beeinträchtigt sein. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung, die langfristig zu erheblichen Standsicherheits- und/oder Verkehrssicherheitsbeeinträchtigungen oder erhöhtem Verschleiß führt, ist möglich.*

**„Bauwerke mit Zustandsnoten ZN 2,5 – 2,9“:**

*Die Standsicherheit des Bauwerks ist gegeben.*

*Die Verkehrssicherheit kann beeinträchtigt sein.*

*Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann erheblich beeinträchtigt sein. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung, die mittelfristig zu erheblichen Standsicherheits- und/oder Verkehrssicherheitsbeeinträchtigungen oder erhöhtem Verschleiß führt, ist zu erwarten.*

**„Bauwerke mit Zustandsnoten ZN 3,0 – 3,4“:**

*Die Standsicherheit des Bauwerks und/oder die Verkehrssicherheit sind beeinträchtigt. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks ist u.U. nicht mehr gegeben. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung kann kurzfristig dazu führen, dass die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben sind.*

**„Bauwerke mit Zustandsnoten ZN 3,5 – 4,0“:**

*Die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit sind erheblich beeinträchtigt oder nicht mehr gegeben.*

*Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks ist u.U. nicht mehr gegeben. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung kann kurzfristig dazu führen, dass die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben sind oder dass sich ein irreparabler Bauwerksverfall einstellt.*

Die Bauwerks- und Zustandsdaten der Länder werden dem BMVBS für eigene Auswertungen und Analysen halbjährlich zur Verfügung gestellt. In Abbildung 4.5 sind die durch die Länder gemeldeten Zustandsnoten der Brücken der Bundesfernstraßen dargestellt.

Die Bereiche mit Zustandsnoten zwischen 3,0 und 4,0 machen 15,3 % des Gesamtbestandes (entspricht einer Brückenfläche von 4,3 Mio m<sup>2</sup>) aus. Ein wesentliches Ziel der künftigen Brückenerhaltung muss es sein, den Bauwerksanteil mit Zustandsnoten zwischen 3,0 bis 3,4 deutlich zu senken und Zustandsnoten über 3,5 völlig zu vermeiden.

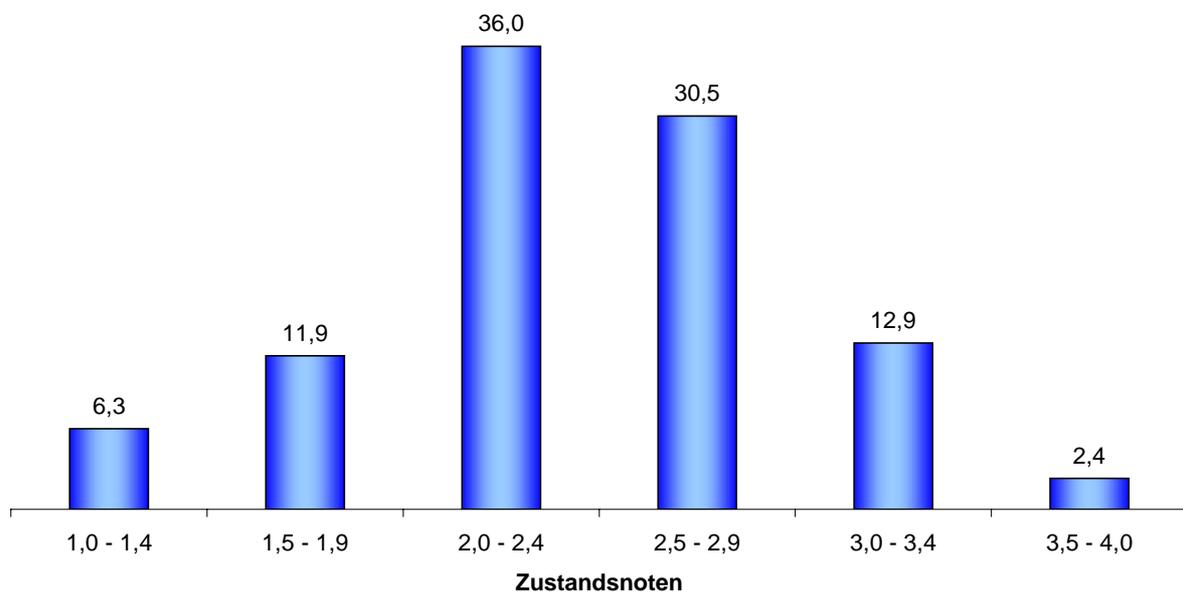


Abbildung 4.5: Zustandsbewertung der Brücken der Bundesfernstraßen in % Brückenfläche (Stand: 31.12.2005) [35].

#### 4.4 Lastmodelle für Verkehrslasten auf Brücken

Die Belastungsannahmen für Verkehrslasten auf Brücken der Bundesfernstraßen wurden bis April 2003 entsprechend der DIN 1072, Ausgabe Dezember 1985 [34] festgelegt. Seit dem 1. Mai 2003 sind die auf den europäischen Regelungen beruhenden Verkehrslasten des DIN-Fachberichts 101 "Einwirkungen auf Brücken" [38] für den Brückenneubau allein verbindlich. Bezogen auf den Gesamtbestand der Brücken stellen die nach DIN-Fachbericht bemessenen Brücken aus diesem Grund zur Zeit nur einen sehr kleinen Anteil dar. Bei der Abschätzung der Auswirkungen neuer Fahrzeugkonzepte sind deshalb insbesondere die bestehenden, nach DIN 1072 bemessenden Brücken zu betrachten.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass diese Vorschrift mehrfach im Lauf der Zeit aufgrund der Entwicklung der zugelassenen Verkehrslasten fortgeschrieben wurde. Das in der Ausgabe Juni 1952 festgelegte Lastmodell für Verkehrslasten auf Brücken besteht aus zwei Elementen: Einem „Schwerlastwagen“ mit konzentrierten Einzellasten und gleichmäßig verteilten Flächenlasten. Diese beiden Elemente finden sich - in unterschiedlichen Ausprägungen – auch im aktuellen europäischen Regelwerk (Eurocode 1, Teil 2 [39]) sowie in verschiedenen aktuellen nationalen Regelwerken wieder.

Das Verkehrslastmodell verwendet dabei fiktive Lasten, die nicht realen Fahrzeugen zuzuordnen sind. Es stellt vielmehr ein Berechnungsäquivalent für die tatsächlichen Lasten dar, die sich bei Überfahrt zugelassener Kraftfahrzeuge unter extremen, aber durchaus auftretenden Zusammensetzungen des Verkehrs mit einem hohen Lastkraftwagenanteil ergeben.

Die aus diesem Lastmodell resultierenden Beanspruchungen können also tatsächlich auftreten, wobei die Beanspruchbarkeit des Bauwerks bei der Bemessung mit Sicherheitsbeiwerten gegen Tragwerksversagen und Nutzungssicherheit im Gebrauchszustand abgesichert wird. Das Verkehrslastmodell der seit 1967 gültigen DIN 1072 verwendet für die höchste Brückenklasse einen fiktiven Schwerlastwagen (SLW) von 60 t sowie gleichmäßig verteilte Belastungen von 5 kN/m<sup>2</sup> im Hauptfahrstreifen sowie 3 kN/m<sup>2</sup> auf allen anderen Flächen (Abbildung 4.6).

In der Hauptbauzeit der Straßenbrücken des Bundesfernstraßennetzes in Deutschland von Mitte der 60iger bis Mitte der 80iger Jahre wurde dieses Lastmodell verwendet. Für geringer belastete Strecken konnte auch die niedrigere Brückenklasse 30, bei der der SLW 60 durch eine SLW 30 ersetzt wurde, zugrunde gelegt werden.

Zwischen 1952 und 1967 sah die gültige Lastvorschrift für das nachgeordnete Straßennetz noch weitere geringere Brückenklassen vor.

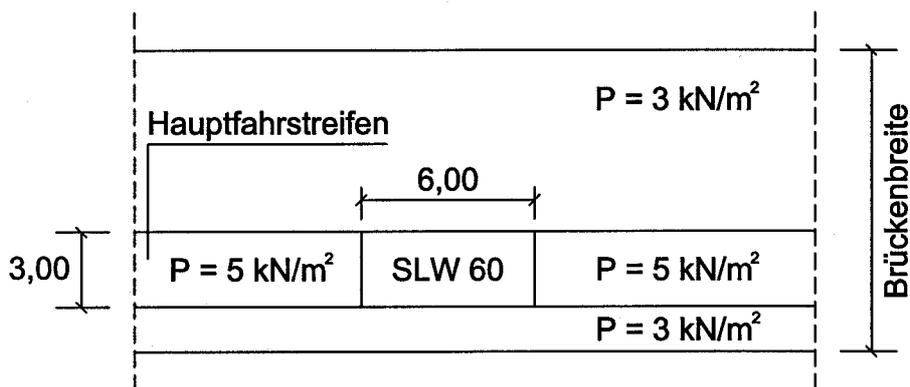


Abbildung 4.6: Verkehrslastmodell der DIN 1072, Ausgabe November 1967, für die Berechnung von Brücken der Brückenklassen 60 [34].

Es bleibt jedoch festzuhalten, dass die seit Anfang der 50er Jahre bis Mitte der 80er Jahre gebauten Straßenbrücken im Bundesfernstraßennetz nahezu ausschließlich den Brückenklassen 60 oder 30 zuzuordnen sind.

Anfang der 80er Jahre hatte die Verkehrsmenge und damit auch die Anzahl der Lastkraftwagen an der Verkehrszusammensetzung stark zugenommen. Insbesondere war ein verstärkter Überhol- und Begegnungsverkehr schwerer LKWs zu verzeichnen, der jedoch in dem bestehendem Lastmodell nicht erfasst wurde. Umfangreiche Untersuchungen mit vielen Messungen des Verkehrsflusses zeigten, dass für den Neubau von Brücken ein verändertes Lastmodell zur Erzielung des geforderten Sicherheitsniveaus und mit Blick auf die weitere Verkehrsentwicklung bezogen auf den Nutzungszeitraum der Bauwerke erforderlich wurde. Als Endergebnis wurde in der DIN 1072, Ausgabe Dezember 1985, mit Bezug auf das reale Verkehrsgeschehen in der Nebenspur ein zusätzlicher SLW 30 neben dem SLW 60 in der Hauptspur angeordnet (Abbildung 4.7). Die Flächenlasten im Hauptfahrstreifen und in den übrigen Flächen blieben unverändert. Die so neu gebildete Brückenklasse wurde mit Bezug auf die beiden Schwerfahrzeuge mit 60/30 bezeichnet. Analog dazu wurde bei der Brückenklasse 30 vorgegangen und in die Nebenspur ebenfalls ein zusätzlicher SLW 30 gestellt. Die dadurch neu entstandene Brückenklasse wurde mit 30/30 bezeichnet.

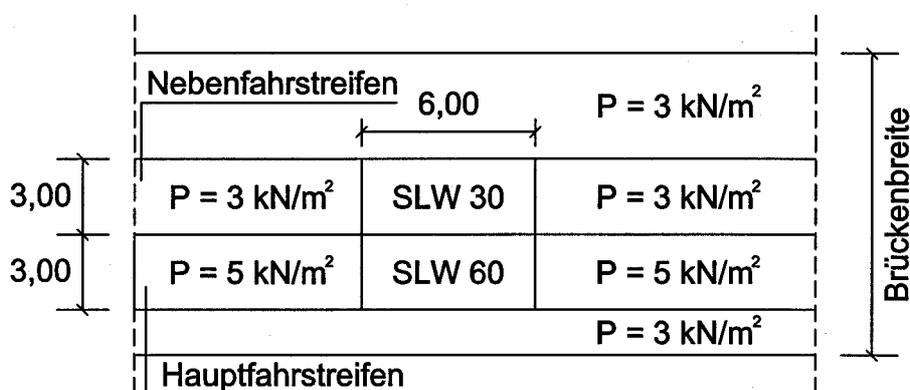


Abbildung 4.7: Verkehrslasten für Brücken entsprechend der DIN 1072, Ausgabe Dezember 1985 für die Brückenklasse 60/30 [34].

## 4.5 Stand der Wissenschaft

Im Rahmen der Harmonisierung der EU hat sich gezeigt, dass in einigen Ländern mittlerweile höhere Gesamtlasten der Lastkraftwagen zugelassen werden, um die Transportlogistik weiter zu optimieren. In Deutschland ist bislang eine Begrenzung des zulässigen Gesamtgewichts auf 40 t beziehungsweise 44 t für Fahrzeuge im Kombinierten Verkehr vorhanden. In den letzten Jahren wird immer intensiver über die Erhöhung der Gesamtgewichte auf bis zu 60 t diskutiert und diese von verschiedenen Seiten gefordert. Dies führt automatisch zur Frage nach der Auswirkung einer solchen Erhöhung der Gesamtgewichte auf die Tragfähigkeit von Brücken, die unabdingbarer Bestandteil einer funktionierenden Infrastruktur sind.

Um über die Fragen der Tragfähigkeit zu diskutieren, wird vorab auf die für die weiteren Betrachtungen im Rahmen der Antragstellung erforderlichen Anforderungen des neuen Sicherheitskonzeptes eingegangen.

Folgende Anforderungen werden an die Planung und an die Ausführung von zu errichtenden Bauwerken gestellt:

- Die Tragfähigkeit des Bauwerkes und Teilen davon muss sichergestellt sein. Dies betrifft sowohl ständige und vorübergehende als auch außergewöhnliche Situationen.
- Die Gebrauchseigenschaften dürfen während der Nutzungsdauer ein akzeptables Niveau nicht unterschreiten.
- Es muss die Dauerhaftigkeit des Bauwerks sichergestellt sein, d.h. neben den mechanischen Einwirkungen muss auch z.B. chemischen Einwirkungen ein ausreichender Widerstand während der Nutzungsdauer entgegengebracht werden.

Die Grundlage zur Erfüllung obiger Anforderungen werden über akzeptable Versagenswahrscheinlichkeiten geregelt (Tabelle 4.1).

Grenzzustände	Sicherheitsindex $\beta$ Bezugszeitraum: 1 Jahr	theoretische Versagenswahrscheinlichkeit $p_f$
Gebrauchstauglichkeit	3,0	$10^{-3}$
Tragfähigkeit	4,7	$10^{-6}$

Tabelle 4.1: Geforderte Bauwerkszuverlässigkeit [34]

Die einzusetzenden Eigenschaften der Werkstoffe und der Einwirkungen werden als charakteristische Größen wie folgt definiert:

- Mittelwerte für die ständigen Einwirkungen  $G_k$
- 98%-Quantile der Jahresmaxima der veränderlichen Eigenschaften  $Q_k$
- 5 % bzw. 95 %-Quantile für die jeweiligen Baustoffeigenschaften  $X_k$
- Mittelwerte für die Steifigkeitswerte

Hieraus lassen sich die Bemessungswerte der Einwirkungen und die der Widerstände ableiten.

Einwirkungen:

$$F_d = y_F \cdot F_k$$

Baustoffeigenschaften:

$$X_d = \frac{F_d}{Y_M}$$

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) muss der Bemessungswert des Widerstandes größer als der Bemessungswert der Beanspruchungen sein, d. h. es gilt:

$$E_d \leq R_d$$

$E_d$ : Bemessungswert der Beanspruchungen infolge Einwirkungen

$R_d$ : Bemessungswert des Widerstandes

Bei dem neuen Sicherheitskonzept – wie oben beschrieben – handelt es sich um ein Konzept, in dem den Unsicherheiten dort begegnet wird, wo sie auftreten. Demzufolge sind die Sicherheitsbeiwerte für Eigengewicht kleiner als die für Verkehrslasten. Dies bedeutet, dass die Lastmodelle mit den tatsächlichen Verkehrssituationen so korreliert sein müssen, dass die entsprechende Auftretenswahrscheinlichkeit für den ULS sichergestellt sein muss. Dies wird üblicherweise für die veränderlichen Einwirkungen mit der 98 %-Quantile in Bezug auf die Wiederkehrperiode von 1 Jahr sichergestellt, die dann über Teilsicherheitsbeiwerte auf das jeweilige Nachweisniveau angehoben wird (vgl. auch DIN FB 101). Dies bedeutet aber auch, dass bei Änderungen in Bezug auf die Einwirkungen – in diesem Falle aus Straßenverkehr – überprüft werden muss, inwieweit diese Änderungen Auswirkungen auf das Sicherheitsniveau beinhalten.

### Entwicklung der Lastmodelle nach DIN 1072 und DIN FB 101

Die bei vielen noch existierenden Brücken zur Anwendung gekommene DIN 1072 beinhaltete Lastmodelle, die rein deterministisch entwickelt wurden. Das heißt, es wurden damals mehrere tatsächlich existierende Lastkraftwagen für die Bemessung herangezogen. Für belastbare wahrscheinlichkeitstheoretische Aussagen reichte der damalige Kenntnisstand noch nicht aus. Die Entwicklung des Lastmodells erfolgte mit den damals möglichen Mitteln, der Durchführung von deterministisch basierten Vergleichsrechnungen und der Ableitung eines entsprechenden Lastmodells für die Bemessung. Dies ist im Beiblatt zu DIN 1072 auch explizit beschrieben.

Im Zuge der Entwicklung der neuen europäischen Regelungen für Bauwerke wurden auch die Verkehrslastannahmen für den Brückenbau völlig neu erarbeitet und unter Berücksichti

gung nationaler Gegebenheiten mit dem DIN Fachbericht 101 „Einwirkungen auf Brücken“ für den Bereich der Bundesfernstraßen eingeführt.

Das Lastmodell 1 (Hauptlastmodell) nach DIN Fachbericht 101 basiert u.a. auf Verkehrszählungen und Analysen, die Mitte der 80er Jahre in Deutschland durchgeführt und mit dem Auxerre-Verkehr (auf einer Umgehungsstraße nahe Paris) kalibriert wurde. Die Geometrie der Tandemachse – die als Modell stellvertretend für den schweren Lastkraftwagen steht – wurde unter Berücksichtigung der Verkehrssimulation des gemessenen Auxerre-Verkehrs entwickelt und verifiziert. Einen maßgeblichen Anteil an der gegenüber DIN 1072 veränderten Geometrie des Lastmodells hat nicht zuletzt der große Anstieg der Anzahl von Sattelzügen am gesamten Schwerverkehrsaufkommen. Die größere Gleichstreckenlast auf der Hauptspur entstand als Resultat aus der besseren Logistik des Schwerverkehrs, die Anzahl der Leerfahrten fiel im Vergleich zu früher deutlich ab.

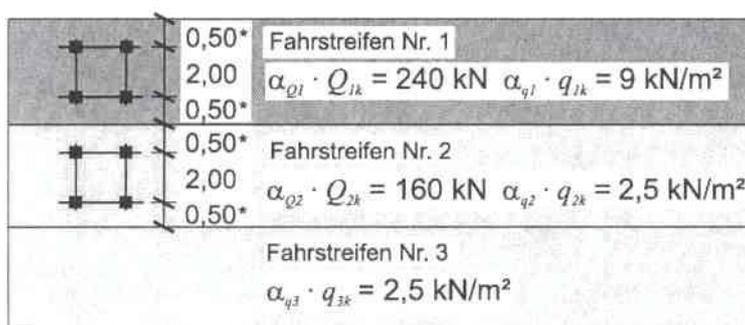


Abbildung 4.8: Verkehrslastmodell LM 1 für Brücken entsprechend DIN Fachbericht 101 [34].

Die Belastungsannahmen der im Bestand der Bundesfernstraßen vorhandenen Brückenklassen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt, wobei auf die unterhalb von Brückenklasse 30 liegenden Brückenklassen mit einem Flächenanteil von ca. 0,8% verzichtet wird (siehe auch Abbildung 4.6 bis 4.8).

Brückenklasse	Fahrstreifen Nr. 1 bzw. Hauptfahrstreifen HS		Fahrstreifen Nr. 2 bzw. Nebefahrstreifen NS		Restflächen	NORM	Gültigkeit
	Achslasten	Gleichlast	Achslasten	Gleichlast			
Lastmodell 1	2 * 240 kN	9 kN/m <sup>2</sup>	2 * 160 kN	2,5 kN/m <sup>2</sup>	2,5 kN/m <sup>2</sup>	DIN-FB 101	ab 05/2003
60/30	3 * 200 kN	5 kN/m <sup>2</sup>	3 * 100 kN	3 kN/m <sup>2</sup>	3 kN/m <sup>2</sup>	DIN 1072	1985 - 2003
30/30	3 * 100 kN	5 kN/m <sup>2</sup>	3 * 100 kN	3 kN/m <sup>2</sup>	3 kN/m <sup>2</sup>		
60	3 * 200 kN	5 kN/m <sup>2</sup>	-	3 kN/m <sup>2</sup>	3 kN/m <sup>2</sup>	DIN 1072	1952 - 1967 1967 - 1985
45	3 * 150 kN	5 kN/m <sup>2</sup>	-	3 kN/m <sup>2</sup>	3 kN/m <sup>2</sup>		
30	3 * 100 kN	5 kN/m <sup>2</sup>	-	3 kN/m <sup>2</sup>	3 kN/m <sup>2</sup>		

Tabelle 4.2: Belastungsannahmen für Brückenklassen

## 4.6 Auswirkungen von Lastzugkombinationen auf den Brückenbestand im Bundesfernstraßennetz

### 4.6.1 Nachrechnung des Brückenbestandes

Wie bereits weiter oben erwähnt, befinden sich derzeit 37.445 Brücken mit einer Brückenfläche von 27,84 Mio m<sup>2</sup> in der Baulast des Bundes [35], von denen allerdings ca. 11.000 Brücken im nachgeordneten Straßennetz (Überführungen von Landes-, Kreis-, Gemeinde- und Stadtstraßen) liegen. Es verbleiben im Bundesfernstraßennetz ca. 26.500 Brücken mit einer Brückenfläche von 23,9 Mio m<sup>2</sup>, hinsichtlich der Auswirkungen einer möglichen Zulassung neuer Lastzugkombinationen zu bewerten wären.

Um eine erste Abschätzung der Auswirkungen von 60 t-Lastzugkombinationen zu ermöglichen, wurden im Rahmen eines externen Auftrages [63] Verkehrslastsimulationsrechnungen für verschiedene statische Systeme und Stützweiten durchgeführt. Obwohl diese Analysen noch nicht abgeschlossen sind, sollen die derzeit vorliegenden Ergebnisse dieser Studie nachfolgend dargestellt und erläutert werden.

Den Berechnungen wurde das in Abbildung 4.9 dargestellte Fahrzeug mit einer Gesamtlänge von 25,25 m und einem Gesamtgewicht von 60 t zugrunde gelegt. Bei den durchgeführten Simulationen wurden verschiedene Anteile dieses Fahrzeugs in einem künftigen Verkehr untersucht (20% und 40%). Als Vergleichsbasis dienten dabei die im Zuge von Messungen an ausgewählten BAB-Querschnitten (BAB A1/A61) im Zeitraum August bis Dezember 2004 ermittelten Daten (Gesamtgewichte, Geschwindigkeiten, Abstände, Achslasten). Die Berechnungen gehen dabei von der Annahme aus, dass durch den Einsatz eines 25,25 m langen Fahrzeugs jeweils 1,5 Sattelaufleger ersetzt werden können.

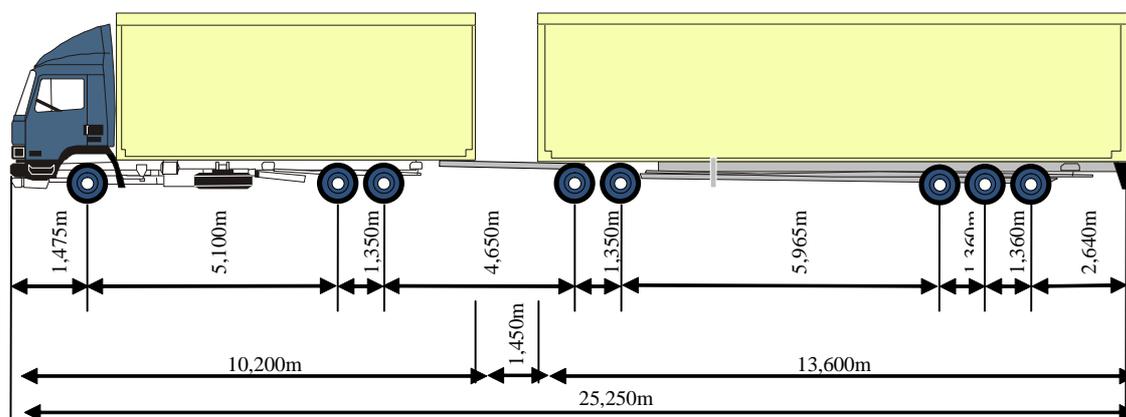


Abbildung 4.9: 60 t-Lastzugkombination.

Die untersuchten statischen Systeme sind in Abbildung 4.10 dargestellt. Neben Einfeldträgern mit Stützweiten von 10, 20 und 50 m wurden zur Abschätzung der Auswirkungen auf mehrfeldrige Bauwerke auch Zweifeldträger mit Einzelstützweiten von 10 bis 50 m in die Untersuchungen einbezogen. Um einen direkten Schnittgrößenvergleich mit den Bemessungswerten und somit eine Ermittlung von statischen Auslastungsgraden der Bauwerke zu ermöglichen, wurden die statischen Werte der jeweiligen Systeme durch Vorbemessungen ermittelt.

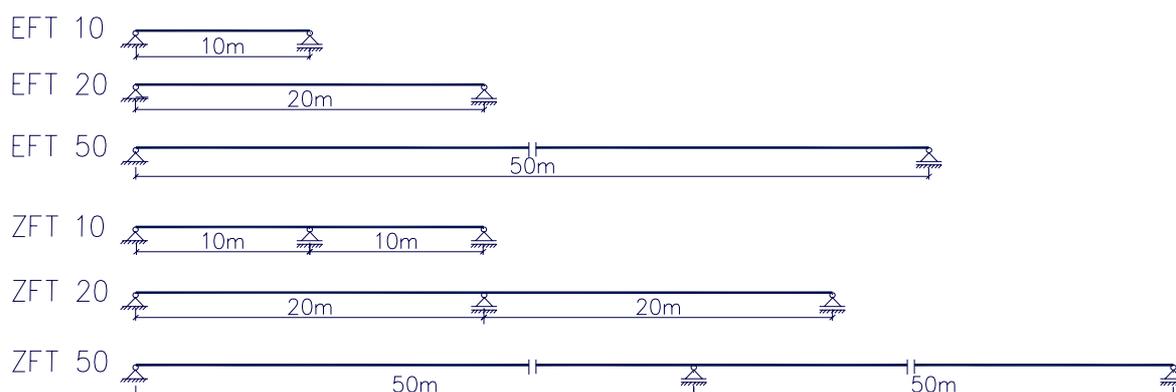


Abbildung 4.10: Statische Systeme und Stützweiten.

Alle Simulationsrechnungen wurden jeweils für einen Tag (10.000 LKWs) durchgeführt, wobei für den Vergleichsfall (derzeitiger Verkehr auf BAB) die in Abbildung 4.11 dargestellten Fahrzeugtypen und -anteile mit den jeweiligen Beladungszuständen berücksichtigt wurden.

FZ_TYP		Größen	Mittelwert A61	F(x)
8a leicht		$\mu_1$	5.96	5%
		$\sigma_1$	1.46	
8b schwer		$\mu_2$	9.17	11%
		$\sigma_2$	4.40	
33a leicht		$\mu_1$	19.03	12%
		$\sigma_1$	2.32	
33b schwer		$\mu_2$	20.84	16%
		$\sigma_2$	7.39	
41a leicht		$\mu_1$	27.68	28%
		$\sigma_1$	5.95	
41b schwer		$\mu_2$	41.45	33%
		$\sigma_2$	3.25	
97a leicht		$\mu_1$	15.67	36%
		$\sigma_1$	1.88	
97b schwer		$\mu_2$	21.14	41%
		$\sigma_2$	5.28	
98a leicht		$\mu_1$	25.96	78%
		$\sigma_1$	9.20	
98b schwer		$\mu_2$	40.53	100%
		$\sigma_2$	2.48	

Abbildung 4.11: Derzeitiger Verkehr auf BAB; Fahrzeugtypen und -anteile.

Im nachfolgenden Schritt wurden die Ergebnisse der Berechnungen mit 10.000 LKWs unter Zugrundelegung von Extremwertverteilungen Typ I (Gumbel) auf einen Zeitraum von einem Jahr extrapoliert. Die Ermittlung der charakteristischen Werte erfolgte danach für eine Wiederholungsperiode von 50 Jahren (98% Fraktilwert).

Aus den derzeit vorliegenden Ergebnissen der Simulationsrechnungen lassen sich für den Bauwerksbestand unter Berücksichtigung von 15% des Schwerverkehrs auf dem Überholstreifen folgende Schlussfolgerungen ziehen:

– Verkehrssituation "fließender Verkehr":

- Ab einer Stützweite von etwa 30 m wird der Einfluss der 60 t-Lastzugkombination für Ein- und Mehrfeldsysteme signifikant sichtbar.
- Der simulierte Verkehr mit 60t-Lastzugkombinationen führt generell zur Erhöhung der Extremwerte der Verkehrslastmomente gegenüber den Werten des auf BAB-Brücken aktuell gemessenen Verkehrs. Während für die Feldmomente am Einfeldträger bis zu 25 % größere Werte auftreten sind es für das Stützmoment am Mehrfeldträger bis zu 45 %.
- Für die Brückenklasse 30 und kleiner ergeben sich durch die 60 t-Lastzugkombination für alle untersuchten Systeme und Stützweiten Beanspruchungen, die oberhalb der Bemessungswerte liegen.
- Für die Brückenklasse 30/30 und 45 ergeben sich durch die 60 t-Lastzugkombination für Einfeldsysteme ab einer Stützweite von ca. 30 m sowie für Zweifeldsysteme – und somit auch für Mehrfeldsysteme – über den Bemessungswerten liegende Beanspruchungen.
- Für die Brückenklasse 60 und 60/30 liegen die Beanspruchungen infolge 60 t-Lastzugkombination für Zweifeldsysteme – und somit auch für Mehrfeldsysteme – oberhalb einer Stützweite von ca. 30 m bzw. 40 m über den Bemessungswerten.
- Das für den Neubau von Brücken zur Anwendung kommende Bemessungslastmodell LM1 (DIN-Fachbericht 101) deckt den fließenden Verkehr einschließlich der 60 t-Lastzugkombination ab.
- Der derzeit auf BAB-Brücken gemessene Verkehr wird von allen Brückenklassen (60/30 bis 30) bei Einfeldtragwerken uneingeschränkt abgedeckt. Bei größeren Spannweiten der Brückenklasse 30 sind nur theoretisch Defizite zu verzeichnen, da derartige Bauwerke nicht im Bestand vorhanden sind. Mehrfeldsysteme der Brückenklassen 30, 30/30 und 45 mit einer Brückenfläche von 1,5% des Gesamtbestandes weisen bis auf wenige Ausnahmen für den vorhandenen Verkehr generell Defizite im Stützenbereich auf, während für Mehrfeldsysteme der Brückenklasse 60 und 60/30 sich erst Überschreitungen ab einer Stützweite von ca. 40 m bzw. 50 m ergeben.

– Verkehr mit höherem Stauanteil:

- Diese Verkehrsszenarien wurden nur für Zweifeldsysteme im Stützbereich untersucht, sie gelten jedoch für alle Mehrfeldsysteme und führen dort für 60t-Lastzugkombinationen gleichfalls zu einer generellen bis zu 30%igen Erhöhung der Extremwerte gegenüber den Werten des auf BAB-Brücken aktuell gemessenen Verkehrs. Ferner liegen die ermittelten Beanspruchungen des Verkehrsstaus immer über denen des fließenden Verkehrs.
- Für alle Brückenklassen Brückenklassen 60/30 bis 30 ergeben sich durch die 60 t-Lastzugkombination oberhalb der Bemessungswerte liegende Beanspruchungen.
- Die nach DIN-Fachbericht 101 bemessenen Zwei- bzw. Mehrfeldsysteme weisen durch die 60t-Lastzugkombination eine volle Auslastung des Stützbereiches auf mit geringen Überschreitungen der Bemessungswerte für obere Stützweiten ab ca. 40 m.
- Für alle Brückenklassen kleiner als Brückenklasse 60 ergeben sich auch für den derzeit auf BAB-Brücken gemessenen Verkehr im Stützbereich oberhalb der Bemessungswerte liegende Beanspruchungen.
- Für die Brückenklasse 60 und 60/30 beginnen die Überschreitungen im Stützbereich infolge des auf BAB-Brücken gemessenen Verkehrs oberhalb von ca. 30 m bzw. 40 m während die nach DIN-Fachbericht 101 bemessenen Zwei- bzw. Mehrfeldsysteme keine Defizite besitzen.

Insgesamt ist auf der Grundlage des vorliegenden Kenntnisstandes festzustellen, dass bei einer möglichen Zulassung der 60 t-Lastzugkombinationen die Tragreserven des Bestandes deutlich reduziert werden. Weiterhin ist davon auszugehen, dass bei allen Bauwerken der Brückenklasse 30, 30/30 und 45 über den Bemessungswerten liegende Beanspruchungen auftreten werden. Dies ist auch der Fall für Zwei- bzw. Mehrfeldsysteme der Brückenklasse 60 und 60/30 oberhalb einer Stützweite von ca. 30 bzw. 40 m. Für Verkehrssituationen mit erhöhtem Stauanteil können bei allen Zwei- bzw. Mehrfeldsystemen kritische Bemessungssituationen eintreten. Um belastbarere Aussagen zu erhalten, sind im Rahmen weiterer Untersuchungen realistische Angaben zu Stauhäufigkeiten zu ermitteln und in den Berechnungen zu berücksichtigen.

Bei vor 1980 errichteten mehrfeldrigen Spannbetonkonstruktionen sind nach dem damaligen Kenntnis- und Vorschriftenstand Zwängungsbeanspruchungen aus Temperaturunterschied bei der Bemessung nicht beachtet worden. Aus diesem Grund besitzen diese Bauwerke größere Defizite als oben ausgeführt, deren quantitative Ermittlung jedoch in weiteren Untersuchungen noch durchzuführen ist.

Bei einer Abschätzung der durch Ersatzneubauten bzw. Verstärkungsmaßnahmen betroffenen Brücken ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass für die durchgeführten Verkehrslastsimulationen neuwertige Bauwerke ohne Einschränkungen hinsichtlich der Tragfähigkeit unterstellt wurden.

#### **4.6.2 Kostenermittlung für Ersatzneubau bzw. Ertüchtigungsmaßnahmen**

Im Rahmen der weiteren Bearbeitung der Aufgabenstellung sind, ausgehend von den Ergebnissen der weiter oben beschriebenen Simulationsrechnungen die Kosten für den Ersatzneubau bzw. für die Verstärkung von Überbauten für die verschiedenen Bauarten (Stahl, Stahlverbund, Spannbeton, Stahlbeton) zu ermitteln. Zusätzlich sind für alle Bauwerke, deren Schäden die Tragfähigkeit der Überbauten beeinträchtigen können, die entsprechenden Instandsetzungskosten abzuschätzen.

Hinzu kommen die Abbruchkosten für die zu ersetzenden Überbauten, wobei davon ausgegangen werden kann, dass Verstärkungen von Unterbauten (Widerlager, Pfeiler) von wenigen Ausnahmefällen abgesehen, nicht in Betracht kommen werden.

Bei den Kreuzungsbauwerken im Bundesfernstraßenbereich sind ggf. Kosten resultierend aus dem Ersatz bzw. der Verstärkung von Pfeilern zu berücksichtigen, da sich infolge einer möglichen Zulassung von 60 t-Lastzugkombinationen deutlich höhere Anpralllasten ergeben können. Hierzu liegen jedoch bislang keine quantitativen Angaben vor, so dass ohne weitere noch durchzuführende Untersuchungen keine Abschätzungen zu den hieraus resultierenden Kosten möglich sind.

Die Kosten für Verstärkungsmaßnahmen können in Abhängigkeit von Art und Umfang der Maßnahmen sowie von den objektspezifischen Besonderheiten eine sehr große Bandbreite aufweisen, weshalb hier lediglich eine sehr grobe Abschätzung möglich sein dürfte.

Die volkswirtschaftlichen Kosten durch Umleitungen, Verkehrseinschränkungen, Staus und erhöhte Umweltbelastung während der Bauzeit wären bei einer volkswirtschaftlichen Betrachtung zusätzlich in Ansatz zu bringen. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Kosten ein Mehrfaches der reinen Baukosten betragen. Aufgrund der Vielzahl objektspezifischer Randbedingungen, die diese Kosten wesentlich beeinflussen, sind hierzu derzeit keine weiteren Analysen vorgesehen.

#### **4.7 Auswirkungen von Lastzugkombinationen auf Tunnel der Bundesfernstraßen**

Da für die Dimensionierung von Brandlüftungen der Brand eines Lastkraftwagens zugrunde gelegt wird, ist davon auszugehen, dass sich bei einer möglichen Zulassung von 60 t-Lastzugkombinationen aufgrund des erheblich größeren Ladevolumens erhöhte Anforderungen an die Sicherheitsausstattung innerhalb von Tunnelbauwerken ergeben werden. In den "Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln" (RABT, Ausgabe 2006 [98]) als dem für die sicherheitstechnische Ausstattung von Straßentunneln maßgeblichen Regelwerk, sind die jeweils geltenden einschlägigen Vorschriften berücksichtigt. Die in den RABT getroffenen Festlegungen beziehungsweise die vorgegebene Methodik der Brandlüftungsbemessung basiert u.a. auch auf aktuellen straßenverkehrsrechtlichen Vorgaben hin

sichtlich gewichtsmäßiger als auch volumenmäßiger Grenzen bei Fahrzeugen und deren Ladungen. Inwieweit beziehungsweise in welchem Umfang eine Erhöhung dieser vorgenannten Grenzen eine Anpassung der derzeitigen sicherheitstechnischen Ausstattung (u.a. Brandlüftung, Entwässerung, Schlitzrinnen- und Rückhaltebeckendimensionierung, Löschwasserbedarf) erfordern, ist zum derzeitigen Zeitpunkt ohne ergänzende Untersuchungen nicht quantifizierbar.

Für die brandschutztechnische Bemessung und bauliche Durchbildung der Konstruktion von Straßentunneln ist eine Brandbelastung entsprechend dem in den ZTV-ING [99] angegebenen Temperatur-Zeit-Verlauf zugrunde zu legen. Der anzusetzende Verlauf wurde an Brandversuchen mit Straßenfahrzeugen verifiziert, bei denen u.a. LKW-Brandversuche mit dem Ladevolumen eines 40 t-Sattelzuges durchgeführt wurden. Realbrandversuche mit größerem Ladevolumen wurden bislang nicht durchgeführt. Die Auswirkungen einer etwaigen Änderung des Temperatur-Zeit-Verlaufs aufgrund höherer Ladevolumen auf den baulichen Brandschutz der Straßentunnelbauwerke (Bemessung, bauliche Durchbildung) sowohl im Hinblick auf die anzusetzenden Maximaltemperaturen als auch den zeitlichen und quantitativen Verlauf der Brandbelastung lassen sich ohne weitere Untersuchungen derzeit nicht angeben.

## 4.8 Zusammenfassung

Im Rahmen der bisher durchgeführten Arbeiten zu den Auswirkungen einer möglichen Zulassung von 60 t-Lastzugkombinationen wurden Simulationsrechnungen an für das Bundesfernstraßennetz typischen Bauwerken durchgeführt.

Insgesamt ist also auf der Grundlage des vorliegenden Kenntnisstandes festzustellen, dass bei einer möglichen Zulassung der 60 t-Lastzugkombinationen die **Tragreserven** des Bestandes **deutlich reduziert** werden.

Der Verkehr mit 60t-Lastzugkombinationen führt sowohl für den fließenden Verkehr als auch für Verkehr mit höherem Stauanteil generell zu größeren Extremwerten der Verkehrslastmomente gegenüber den Werten des auf BAB-Brücken aktuell gemessenen Verkehrs, im Maximum bis zu 45%.

Weiterhin ist davon auszugehen, dass bei allen Bauwerken der Brückenklasse 30, 30/30 und 45 sowie bei zwei- und mehrfeldrigen Bauwerken der Brückenklassen 60 und 60/30 oberhalb einer Stützweite von 30 bzw.40 m für die 60 t-Lastzugkombinationen über den Bemessungswerten liegende Beanspruchungen auftreten werden, wobei zusätzlich der Bauwerkszustand zu beachten ist.

Ältere vor 1980 errichtete mehrfeldrige Spannbetonbrücken weisen wegen der fehlenden Berücksichtigung von Zwängungsbeanspruchungen aus Temperaturunterschied größere Defizite auf als vergleichbare jüngere Systeme

Mehrfeldsysteme der Brückenklassen 30, 30/30 und 45 mit einer Brückenfläche von 1,5% des Gesamtbestandes weisen bis auf wenige Ausnahmen für den vorhandenen Verkehr generell Defizite im Stützenbereich auf, während sich für Mehrfeldsysteme der Brückenklasse 60 und 60/30 Überschreitungen erst ab einer Stützweite von ca. 40 m bzw. 50 m ergeben. Für die nach den DIN-Fachberichten bemessenen Brücken besteht hinsichtlich der Tragfähigkeit bei einer Zulassung von 60t-Lastzugkombinationen infolge des auf BAB-Brücken gemessenen Verkehrs kurzfristig kein Handlungsbedarf.

Auf der Grundlage der Untersuchungen im Rahmen von Verkehrslastsimulationen zum Einfluss des Überhol- und Begegnungsverkehrs schwerer LKWs und zu den Auswirkungen der Verkehrssituation „Stau“ wäre der Brückenbestand unter Beachtung des Bauwerkszustandes hinsichtlich der erforderlichen Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit bei Zulassung von 60 t-Lastzugkombinationen noch entsprechend zu differenzieren.

Erste Analysen zur Ermittlung der Ermüdungsrelevanz von 60 t-Lastzugkombinationen lassen erkennen, dass auch dieser Aspekt nicht vernachlässigt werden darf. Um die hieraus resultierenden Kosten abschätzen zu können, sind im Rahmen eines geplanten Versuchs

weitere Untersuchungen erforderlich. Hierbei sollen an zwei ausgewählten Bauwerken Messungen über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden.

Neben den Brücken ergibt sich auch für die Tunnel der Bundesfernstraßen Bedarf für weitere Untersuchungen. Aufgrund des im Vergleich zu derzeitig zugelassen Fahrzeugen erheblich höheren Ladevolumens ist davon auszugehen, dass sich erhöhte Anforderungen an die Sicherheitsausstattung innerhalb von Tunnelbauwerken ergeben werden.

## 5 Befahrbarkeit und Nutzung von Verkehrsanlagen

### 5.1 Technische Fragestellungen

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf verschiedene neue Fahrzeugkombinationen. Abseits von Ausnahmereordnungen gibt es derzeit für Güterkraftfahrzeuge wie auch für andere Fahrzeuge Höchstmaße für Länge, Breite, Höhe, Achslasten und maximal zulässiges Gesamtgewicht. Die derzeitig neu in die Diskussion eingebrachten Fahrzeugkonzepte sehen in unterschiedlicher Kombination die Überschreitung der derzeit maximal zulässigen Fahrzeuglängen und/oder zulässigen Gesamtgewichte vor. Tabelle 5.1 gibt einen beispielhaften Überblick über mögliche neue Varianten von Lastzugkombinationen. Der besseren Verständlichkeit halber wird im Folgenden von „neuen Lastzugkombinationen“ gesprochen, wengleich verschiedene Varianten nur die Maße von bestehenden Fahrzeugkombinationen ändern (z.B. überlange Sattelzüge oder sechsachsige Sattelzüge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 44 t).

Die höheren Flächenansprüche von neuen Lastzugkombinationen sind insbesondere für zwei Fragestellungen von Relevanz. Zum einen sind durch die längeren Fahrzeugabmessungen und durch zusätzliche Knickpunkte ausgeprägtere Schleppkurven zu erwarten. Zum anderen sind die derzeitigen Bemessungsgrößen für Stellplatzanlagen von Lastkraftwagen auf Rastplätzen an Autobahnen auf die bislang maximal zugelassenen Fahrzeuglängen von 18,75 m für Gliederzüge sowie 16,50 m für Sattelzüge abgestimmt. Eine weitere Fragestellung im Zusammenhang mit Rastplätzen an Autobahnen ist ein möglicher Beitrag neuer Lastzugkombinationen zur Lösung der sich verschärfenden Stellplatzknappheit auf Rastanlagen an Autobahnen bei Nacht.

Bezüglich der Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen stellt sich die Frage, ob die neuen Lastzugkombinationen die von der Straßengeometrie gestellten Anforderungen einhalten können. Maßgebend ist im Wesentlichen der Flächenbedarf bei Ein- und Abbiegevorgängen sowie bei der Befahrung von Kreisverkehrsplätzen. Für diese Fragestellung wurde untersucht, wie groß der zusätzliche Flächenbedarf der neuen Lastzugkombinationen im Vergleich zu den herkömmlichen Lastzügen ist, beziehungsweise welche geometrischen Kennwerte die neuen Lastzugkombinationen für eine sichere Straßenbenutzung benötigen würden. Sollten die neuen Lastzugkombinationen mehr Flächen bei Ein- beziehungsweise Abbiegevorgängen in Anspruch nehmen, kann es zu Schädigungen des Fahrbahnrandes von Eckausrundungen und Fahrbahnteilern sowie zu Beeinträchtigungen anderer Verkehrsströme kommen.

Der zulassungsrelevante Parameter für die Kurvenlaufeigenschaften von Kraftfahrzeugen ist die Einhaltung des BO-Kraftkreises (§32d StVZO). Demnach dürfen Kraftfahrzeuge und Lastzugkombinationen bei einer Kreisfahrt von 360° mit einem Außenradius von 12,50 m eine Ringfläche von 7,20 m Breite nicht überschreiten, d.h. ein Innenkreis mit 5,30 m Radius darf nicht überstrichen werden. Derzeit gibt es keine Lastzugkombinationen mit 25 m Länge, die in der Lage sind, den BO-Kraftkreis zu einzuhalten. Zukünftig soll dies mit gelenkten

Achsen oder Dollys erreicht werden. Die Einhaltung beziehungsweise Nicht-Einhaltung des BO-Kraftkreises gibt jedoch nur unzureichende Informationen darüber, ob und in welchem Maße die Flächeninanspruchnahme neuer Lastzugkombinationen insbesondere im Vergleich zu bestehenden Last- und Sattelzügen bei Ab- und Einbiegevorgängen die in der Praxis vorkommenden Trassierungsparameter für Straßen übersteigen. So ist bei der Befahrung des BO-Kraftkreises zwar ein deutlich kleinerer Innenkreisradius zu befahren als bei Knotenpunkten, allerdings unter Nutzung einer Kreisfläche von 7,20 m Breite befahren werden, während an Knotenpunkten eine Fahrstreifenbreite von lediglich 3,50 m bis 4,50 m zur Verfügung steht. Darüber hinaus kann aus der Befahrung des BO-Kraftkreises nicht auf den Flächenbedarf bei der Befahrung eines Kreisverkehrs mit drei aufeinanderfolgenden Richtungswechseln geschlossen werden.

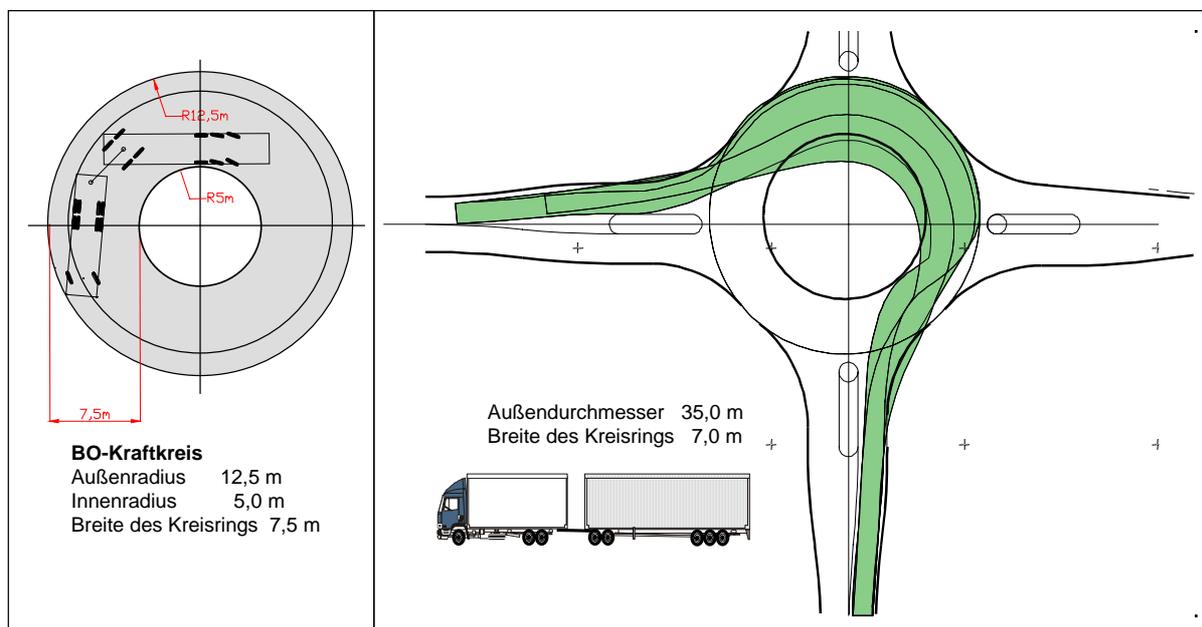


Abbildung 5.1: Prinzipieller Vergleich zwischen einer Befahrung des BO Kraftkreises und eines Kreisverkehrs mit der Lastzugkombination Variante 2

Um weitergehende Aussagen zu den Kurvenlaufeigenschaften der neuen Lastzugkombinationen und damit zu der Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen durch diese Fahrzeuge treffen zu können, wurde zunächst in Anlehnung an die vorliegenden Schleppkurvenschablonen der Bemessungsfahrzeuge [40] die Schleppkurven für neue Lastzugkombinationen berechnet. Da das Kurvenlaufverhalten der Lastzugkombinationen entscheidend durch die Anordnung der Knickpunkte sowie Länge und Überhänge der einzelnen Fahrzeugelemente beeinflusst wird, wurden zunächst beispielhaft vier verschiedene Varianten längerer Lastzugkombinationen betrachtet (Abschnitt 5.2). Anschließend wurde darauf aufbauend die Befahrbarkeit von Einmündungen und eines Kreisverkehrsplatzes geprüft [41] (Abschnitt 5.3).

Darüber hinaus wurde mit einer neu entwickelten Lastzugkombination verschiedene Straßenelemente befahren und die Schleppkurven dieser Versuchsfahrten eingemessen. Bei dem Fahrzeug handelt es sich um eine Lastzugkombination, die derzeit von DaimlerChrysler

in Vorbereitung auf einen Pilotversuch getestet wird (60 t zulässiges Gesamtgewicht; 25,165 m Gesamtlänge). Die Lastzugkombination besteht aus einem 6x4 Lastkraftwagen mit Dolly und einem Sattelaufliieger mit Nachlauflenkachse. Als zu testende Straßenelemente wurden verschieden trassierte Einmündungen, ein kleiner Kreisverkehr sowie ein Rastplatzstellplatz in Schrägaufstellung auf einem Versuchsgelände eingemessen, abmarkiert und mit dem Fahrzeug jeweils in mehreren Messfahrten befahren (Abschnitt 5.5).

In einem weiteren Schritt wurde dieselben Straßenelemente mittels Simulation getestet, um beide Verfahren gegenseitig zu validieren bzw. zu prüfen. Als Software wurde die AutoCAD-Applikation AutoTurn verwendet (Abschnitt 5.6).

## 5.2 Schleppkurvenschablonen neuer Lastzugkombinationen

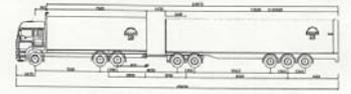
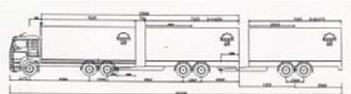
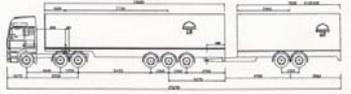
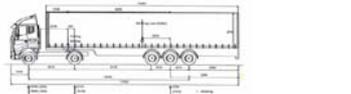
Die Schleppkurve eines Fahrzeuges beschreibt die Fläche, die von dem Fahrzeug während einer Kurvenfahrt überstrichen wird. Maßgebende Parameter für die Berechnung von Schleppkurven sind die Fahrzeugabmessungen, die Achsabstände sowie die Fahrzeugknickpunkte und letztendlich die gewählte Leitlinie<sup>2</sup>.

Für den Vergleich der Schleppkurven neuer Lastzugkombinationen mit den Bemessungsfahrzeugen „Sattelzug“ (16,50 m) und „Lastzug“ (18,75 m) wurde in Anlehnung an die vorliegenden Schleppkurvenschablonen [40] zunächst die Schleppkurven bei Richtungsänderungswinkeln von 40 bis 200 gon mit minimalen Wendekreisradien berechnet. Der Flächenmehrbedarf der neuen Lastzugkombinationen auf der Kurveninnen- als auch auf der Kurvenaußenseite lässt sich bei der Lastzugkombination der Varianten 2 und 3 in Bezug auf den Gliederzug und bei Lastzugkombination der Varianten 1 und 4 in Bezug auf den Sattelzug beziffern. Die folgende Tabelle 5.1 gibt den zusätzlichen maximalen Flächenmehrbedarf auf der Kurveninnenseite für einen Richtungsänderungswinkel von 100 gon sowie von 160 gon an. Die Schleppkurvenbegrenzungen sind in den Anhängen 1 bis 4 abgebildet. Dabei ist zu beachten, dass die Wahl anderer Achsabstände bzw. -anordnung zu deutlich anderen Schleppkurven führen kann.

Aufgrund der größeren Gesamtlängen und den z.T. zusätzlichen Knickpunkten nehmen die untersuchten Fahrzeugkombinationen zum Teil erheblich mehr Flächen auf der Kurveninnenseite in Anspruch als die bestehenden Bemessungsfahrzeuge. Am meisten Mehrfläche benötigt die Lastzugkombination der Variante 2. Am wenigsten Mehrfläche benötigt erwartungsgemäß die Lastzugkombination der Variante 4, die sich bezüglich der Abmessungen von einem Sattelzug durch einen etwas längeren Abstand zwischen Kupplungszapfen und mittlere Aufliegerachse, sowie durch einen deutlich längeres (>1,0 m) Fahrzeugheck unterscheidet.

---

<sup>2</sup> Beim Befahren einer Kurve werden die Vorderräder eines Kraftfahrzeuges jeweils auf einer im Wesentlichen durch den Lenkradeinschlag vorgegebenen Leitlinie geführt, während sich die Hinterräder in Abhängigkeit von den Kraftfahrzeugabmessungen und der Fahrweise jeweils auf einer zur Kurveninnenseite nachlaufenden Schleppkurve bewegen.

		zusätzlicher Flächenbedarf (Stichmaß [m])	
		Richtungsänderungswinkel 100 gon	Richtungsänderungswinkel 160 gon
Gliederzug [40]		-	-
Variante 2		4,20	7,00
		1,20	2,00
Variante 3			
Sattelzug [40]		-	-
Variante 1		1,25	2,25
		0,15	0,20
Variante 4			

*Tabelle 5.1: Zusätzlicher Flächenbedarf neuer Fahrzeugkombinationen bei der Kurvenfahrt für verschiedene Richtungsänderungswinkel (100 gon und 160 gon) im Vergleich zum jeweils vergleichbaren Bemessungsfahrzeug [40], (angegeben sind die Maximalwerte in [m])*

Neben dem zusätzlichen Flächenbedarf auf der Kurveninnenseite werden auch auf der Kurvenaußenseite vereinzelt „Mehrfächen“ benötigt, die durch das Fahrzeugheck entstehen. Insbesondere bei den Fahrzeugkombinationen der Varianten 1 und 4 ist ein im Vergleich zum Sattelzug deutlich stärkeres Ausschwenken des Fahrzeughecks (> 1,0 m) zu beobachten.

Die Abbildung 5.2 bis Abbildung 5.5 zeigen die Schleppkurvenbegrenzungen der neuen Lastzugkombinationen für einen Richtungsänderungswinkel von 160 gon jeweils in Farbe im Vergleich zum entsprechenden Vergleichsfahrzeug (in grau eingefärbt).

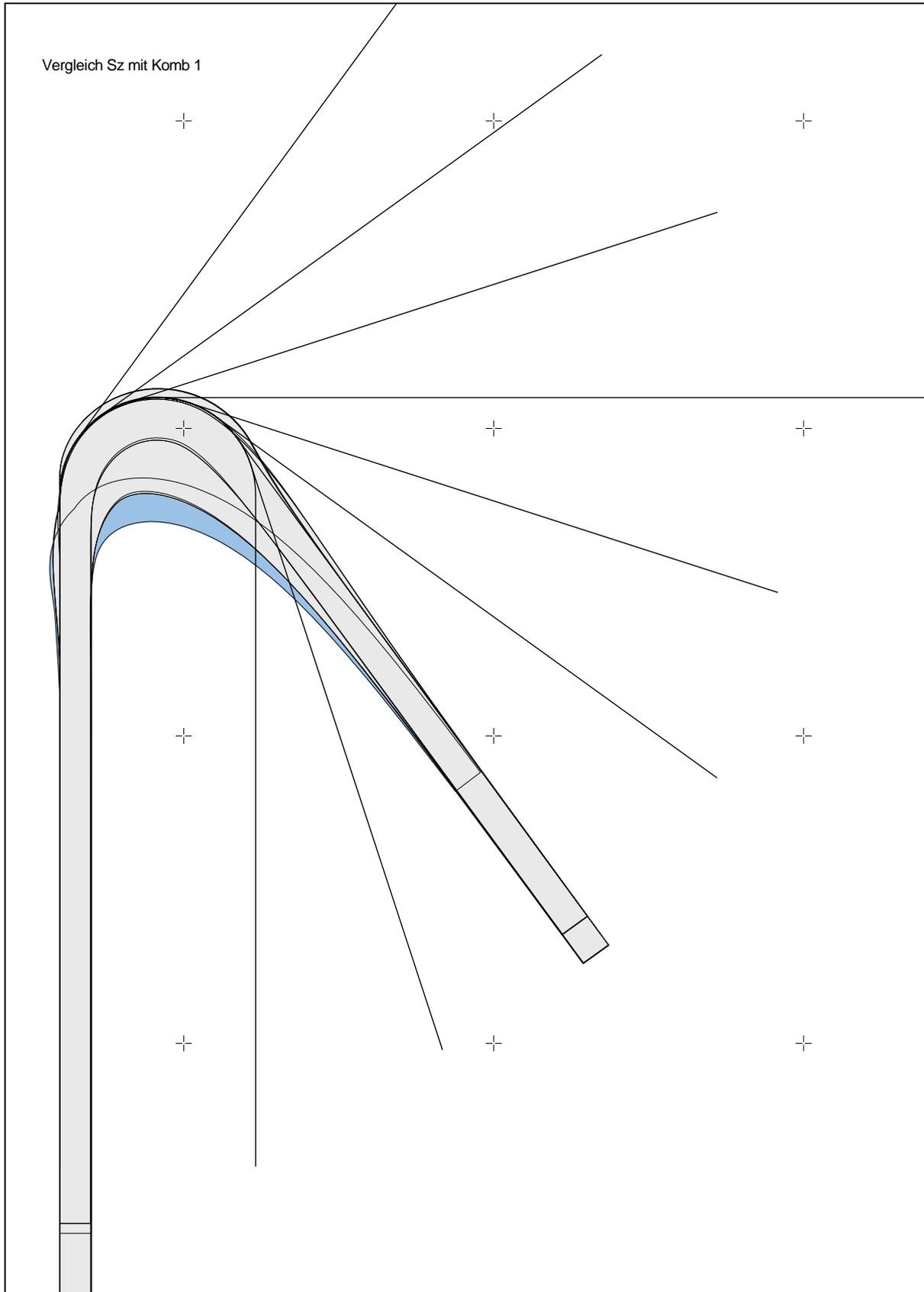


Abbildung 5.2: Vergleich Sattelzug (grau) mit der Lastzugkombination der Variante 1 (blau) für einen Richtungsänderungswinkel von 160 gon

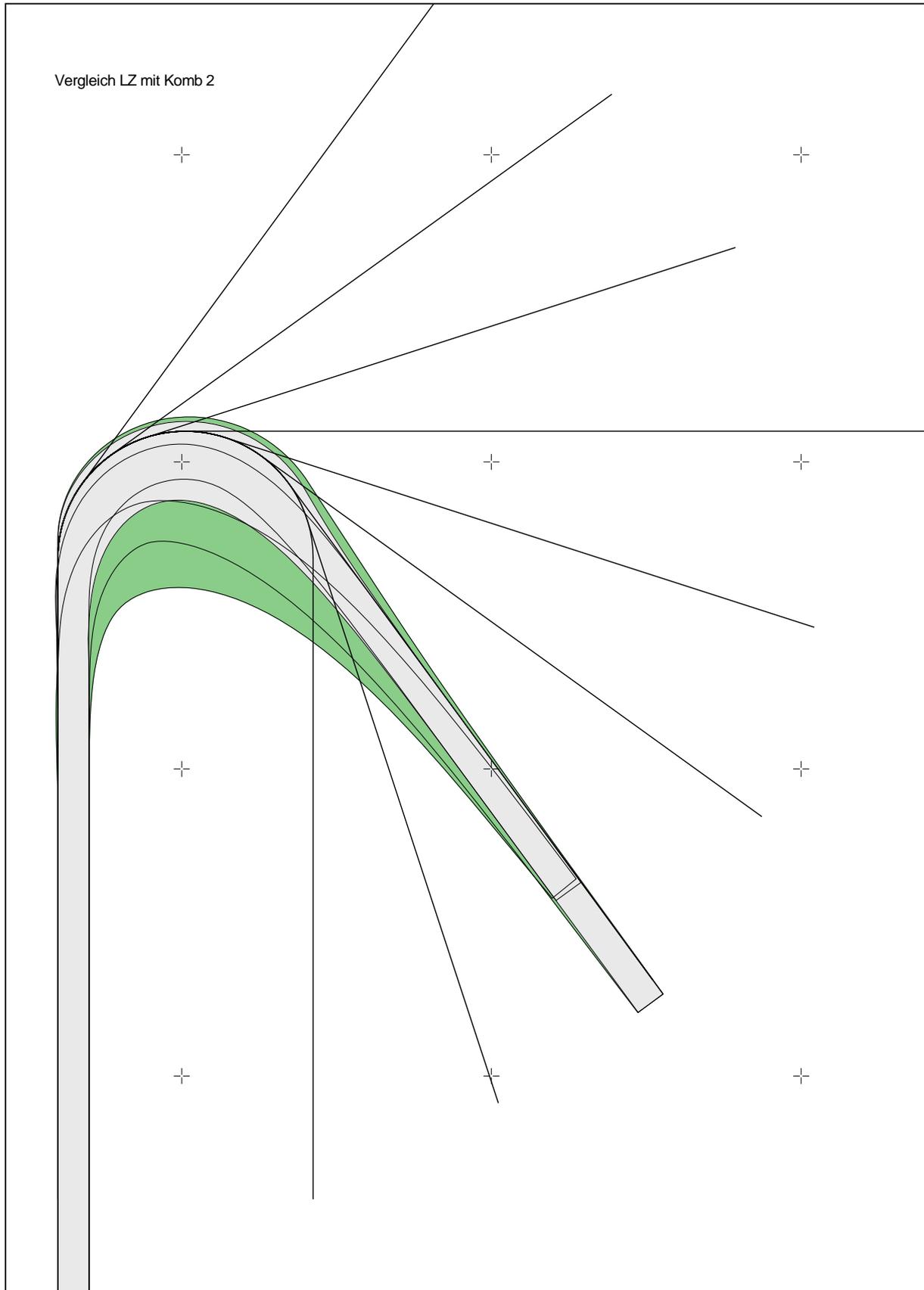


Abbildung 5.3: Vergleich „Lastzug“ (grau) mit der Lastzugkombination der Variante 2 (grün) für einen Richtungsänderungswinkel von 160 gon

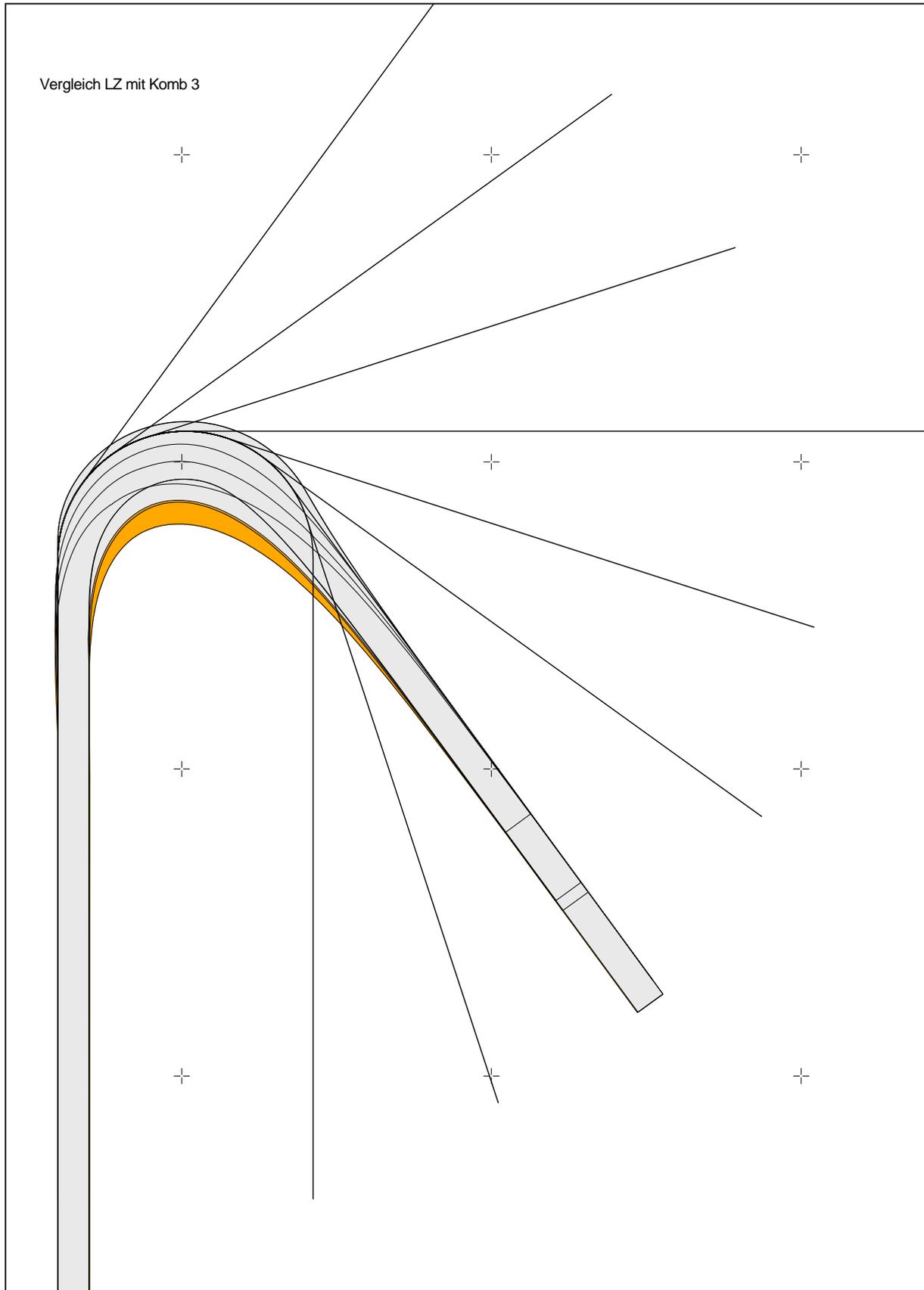


Abbildung 5.4: Vergleich „Lastzug“ (grau) mit der Lastzugkombination der Variante 3 (orange) für einen Richtungsänderungswinkel von 160 gon

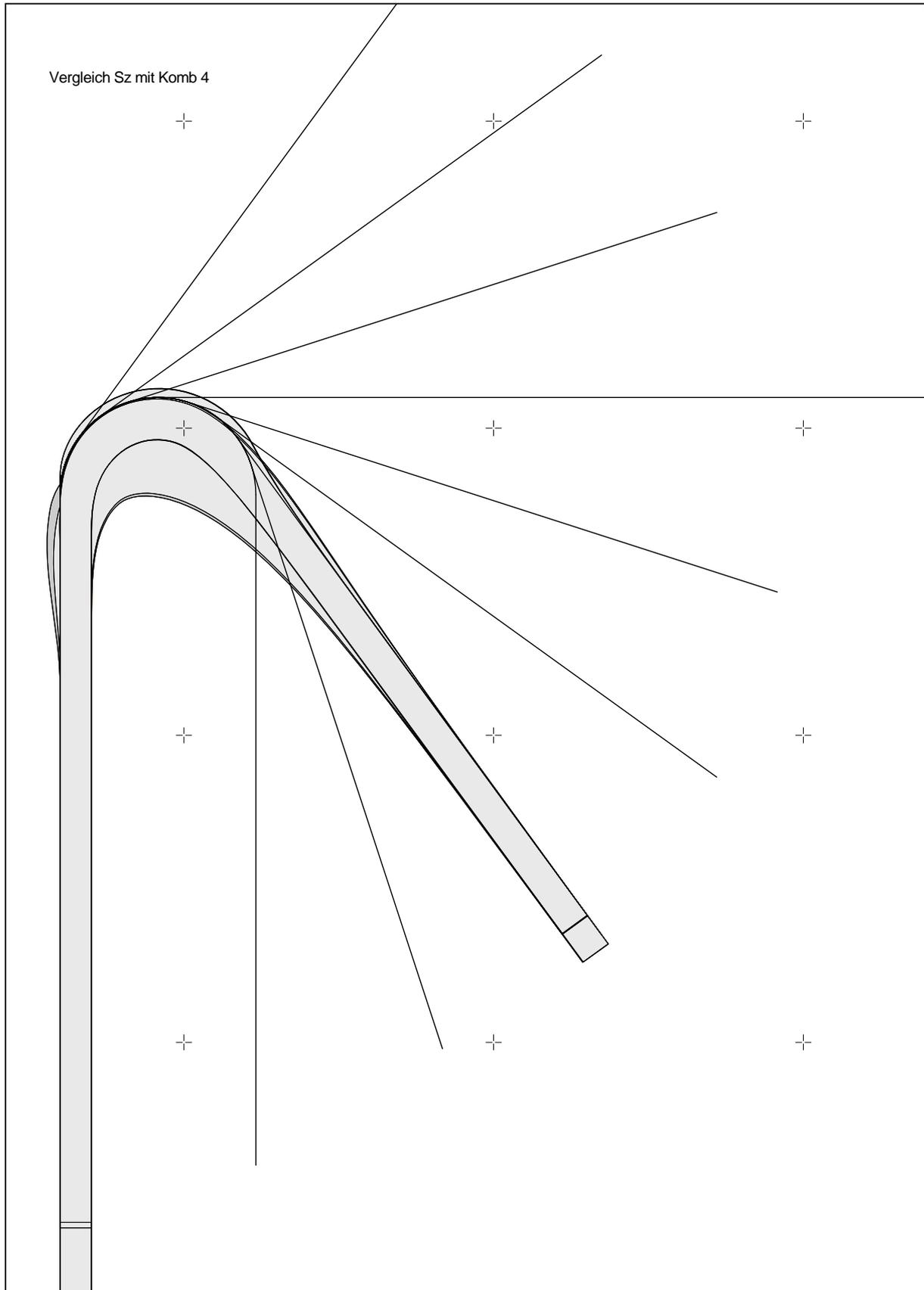


Abbildung 5.5: Vergleich „Sattelzug“ (grau) mit der Lastzugkombination der Variante 4 (dunkelgrau) für einen Richtungsänderungswinkel von 160 gon

### 5.3 Befahrbarkeit von Einmündungen und Kreisverkehren

Die Überprüfung der Befahrbarkeit von Einmündungen durch neue Lastzugkombinationen wurde an Einmündungen, die hinsichtlich Eckausrundung sowie Ein- und Ausfahrtquerschnitten entsprechend den technischen Regelwerken ausgebildet sind, durchgeführt. Dabei wurde ermittelt, in welchem Maße bei den Fahrmanövern Rechtseinbiegen und Rechtsabbiegen Flächen der benachbarten Fahrstreifen (in der Regel des Gegenverkehrs) in Anspruch genommen werden müssen, um im Kurveninnenbereich keine Flächen des Seitenraumes zu befahren beziehungsweise zu überstreichen.

Die Überprüfung der Befahrbarkeit von Kreisverkehren wurde an einem Kreisverkehr mit typischen Trassierungsparametern hinsichtlich Eckausrundung sowie Zu- und Ausfahrtquerschnitten sowie Außendurchmesser, wie sie sowohl innerorts als auch außerorts anzutreffen sind, durchgeführt.

#### 5.3.1 Rechtseinbiegen und Rechtsabbiegen an Einmündungen

Im einzelnen wurden für die Prüfung folgende Varianten von **Einmündungen** verwendet:

	Einmündung ohne Fahrbahnteiler		Einmündung mit Fahrbahnteiler in der untergeordnete Straße	
Einmündungsvariante	VAR 1	VAR 2	VAR 3	VAR 4
Winkel zwischen den sich kreuzenden Straßen	100 gon	100 gon	100 gon	100 gon
Hauptbogenradius R2 für den <b>Rechtseinbieger</b> [m]	8,00	12,00	12,00	15,00
Hauptbogenradius R2 für den <b>Rechtsabbieger</b> [m]	12,00	15,00	12,00	15,00
Fahrbahnbreite in der <b>übergeordneten</b> Straße [m]	3,50	3,50	3,50	3,50
Fahrbahnbreite in der <b>untergeordneten</b> Straße [m]	3,50	3,50	4,50	4,50

Tabelle 5.2: Trassierungsparameter der getesteten Einmündungsvarianten

Alle vier getesteten Lastzugkombinationen müssen sowohl beim Rechtseinbiegen als auch beim Rechtsabbiegen erhebliche Flächen in den Nachbarfahrstreifen in Anspruch nehmen. Aufgrund der in der Regel größeren Hauptbogenradien beim Rechtsabbiegen werden bei diesem Fahrmanöver weniger Flächen in den Nachbarfahrstreifen befahren als beim Rechtseinbiegen. Die Ergebnisse zur Flächeninanspruchnahme in der untergeordneten und in der

übergeordneten Straße ist für die beiden Fahrmanöver im Einzelnen in Tabelle 5.3 und Tabelle 5.4 dargestellt.

Die Prüfung zeigt, dass für das Fahrmanöver **Rechtseinbiegen** zum Teil erhebliche Flächen in den angrenzenden Fahrstreifen in Anspruch genommen werden müssen (Tabelle 5.3). Ohne Inanspruchnahme von Flächen in benachbarten Fahrstreifen kann keine der getesteten Lastzugkombinationen die untersuchten Einmündungen befahren. Die Wahl größerer Hauptbogenradien R2 führt erwartungsgemäß zu einer Verringerung der Flächeninanspruchnahme. Es ist in diesem Zusammenhang jedoch anzumerken, dass dadurch der Aufstellbereich erheblich aufgeweitet wird. Breite Aufstellbereiche führen dazu, dass Pkw nebeneinander aufgestellt werden können beziehungsweise dass mit höheren Geschwindigkeiten abgelenkt werden kann, was aus Gründen der Verkehrssicherheit vermieden werden soll.

Rechtseinbiegen	VAR 1		VAR 2		VAR 3		VAR 4	
	ugo-Straße	ügo-Straße	ugo-Straße	ügo-Straße	ugo-Straße	ügo-Straße	ugo-Straße	ügo-Straße
Lastzugkombination 1	2,00	2,50	0	2,00	0	1,80	0	0,60
Lastzugkombination 2	5,30	3,50	1,70	3,50	0	4,10	0	2,90
Lastzugkombination 3	1,60	2,40	0	1,30	0	0,80	0	0,70
Lastzugkombination 4	1,30	2,10	0	1,20	0	0,70	0	0,60

Tabelle 5.3: Flächeninanspruchnahme im Nachbarfahrstreifen der unter- und übergeordneten Straße für das Fahrmanöver Rechtseinbiegen (Angaben in [m])

Das ungünstigste Verhalten beim Rechtseinbiegen zeigt die Lastzugkombination der Variante 2, die zusätzlich zur Inanspruchnahme der benachbarten Fahrstreifen zum Teil erhebliche zusätzliche Flächen auf der Kurveninnenseite im Seitenraum in Anspruch nimmt. Die Befahrbarkeit aller vier Varianten mit dieser Lastzugkombination ist daher nicht möglich. Alle anderen Lastzugkombinationen können die Einmündungen mit mehr oder weniger starker Mitnutzung der benachbarten Fahrstreifen aber ohne Überfahung der Seitenräume befahren. Aufgrund der geringsten Gesamtlänge ist die Lastzugkombination der Variante 4 am positivsten zu bewerten. Kritisch ist bei dieser Lastzugkombination allerdings das starke Ausschwenken des Fahrzeughecks besonders bei kleinen Eckausrundungen zu beurteilen. Erschwerend kommt hinzu, dass der Fahrer den Bereich, den das ausschwenkende Heck überstreicht, nicht einsehen kann.

Eine geringere Flächeninanspruchnahme durch veränderte Leitlinien kann für die getesteten Lastzugkombinationen der Varianten 1-3 nur noch bedingt erreicht werden, da die auftretenden Lenkradeinschläge und Knickwinkel zwischen den Fahrzeugteilen noch größer werden.

In Einzelfällen treten jedoch bereits bei den hier gewählten Leitlinien Knickwinkel von mehr als 60° auf.

In Tabelle 5.4 ist angegeben, welche Flächen benachbarter Fahrstreifen während des Fahrmanövers **Rechtsabbiegen** in der untergeordneten und der übergeordneten Straße in Anspruch genommen werden müssen, wenn im Kurveninnenbereich der Fahrbahnrand nicht überfahren werden soll. Aufgrund der größeren Eckausrundungen werden beim Rechtsabbiegen weniger Flächen in den Nachbarfahrstreifen in Anspruch genommen als beim Rechtseinbiegen. In der übergeordneten Straße benötigt nur die Lastzugkombination 2 zusätzliche Flächen für das Rechtsabbiegen (VAR 1).

Unter Inanspruchnahme des benachbarten Fahrstreifens in der untergeordneten Straße ist bei den Einmündungsvarianten VAR 1 und VAR 2 das Fahrmanöver Rechtsabbiegen ohne Überfahung des Fahrbahnrandes im Kurveninnenbereich mit Ausnahme der Lastzugkombination der Variante 2 für alle Fahrzeuge möglich. Bei den Varianten VAR 3 und VAR 4 ist das Abbiegemanöver wiederum mit Ausnahme der Lastzugkombination 2 für alle Fahrzeuge ohne zusätzliche Flächen in der untergeordneten und der übergeordneten Straße möglich.

Rechtsabbiegen	VAR 1		VAR 2		VAR 3		VAR 4	
	ugo-Straße	ügo-Straße	ugo-Straße	ügo-Straße	ugo-Straße	ügo-Straße	ugo-Straße	ügo-Straße
Lastzugkombination 1	1,80	0	1,20	0	0	0	0	0
Lastzugkombination 2	3,60	0,40	3,00	0	2,80	0	1,70	0
Lastzugkombination 3	1,00	0	1,20	0	0	0	0	0
Lastzugkombination 4	1,00	0	0,60	0	0	0	0	0

Tabelle 5.4: Flächeninanspruchnahme im Nachbarfahrstreifen der unter- und übergeordneten Straße für das Fahrmanöver Rechtsabbiegen (Angaben in [m])

Die Lastzugkombination der Variante 2 zeigt auch für das Fahrmanöver Rechtsabbiegen das ungünstigste Fahrverhalten. Die Einmündungsvarianten VAR 1 und VAR 2 können nur mit erheblicher Überfahung der benachbarten Fahrstreifen befahren werden. Die Befahrbarkeit ist als nicht möglich zu bewerten. Die Einmündungsvarianten VAR 3 und VAR 4 könnten von der Lastzugkombination der Variante 2 nur dann ohne Überfahung des Seitenraums im Kurveninnenbereich befahren werden, wenn der Fahrbahnteiler um die in Tabelle 5.4 für die untergeordnete Straße angegebenen Werte überfahren wird. Allerdings lägen auch hier die Knickwinkel und Lenkeinschläge im Grenzbereich, was hier nicht abschließend untersucht und bewertet werden konnte.

### 5.3.2 Befahrbarkeit von kleinen Kreisverkehren

**Kleine Kreisverkehre** stellen hinsichtlich der Befahrbarkeit mit Lastzügen besondere Anforderungen an den Fahrzeugführer. Im Gegensatz zum Minikreisverkehr ist die Kreisinsel bei kleinen Kreisverkehrsplätzen nicht überfahrbar gestaltet. Aufgrund der Fahrzeuggeometrie und der dreigliedrigen Kurvenfahrt (Rechtseinbiegen – Linkskurvenfahrt – Rechtsabbiegen) im Kreisverkehr führen bereits kleine Abweichungen von der Leitlinie zur Flächeninanspruchnahme außerhalb der befestigten Fahrbahn. Schnüll et.al. [42] prüften verschiedene Kreisverkehrsplätze hinsichtlich deren Befahrbarkeit mit den Bemessungsfahrzeugen der FGSV (Sattelzug und Lastzug). Für die Überprüfung wurden die Entwurfselemente des Merkblatts für die Anlage von kleinen Kreisverkehrsplätzen zugrunde gelegt [43]. Die Überprüfung zeigte, dass eine uneingeschränkte Befahrbarkeit ohne Überstreichen der Seitenräume weder mit dem Bemessungsfahrzeug „Sattelzug“ noch mit dem Bemessungsfahrzeug „Lastzug“ möglich ist. In dem derzeit in Bearbeitung befindlichen Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehrsplätzen [45] ist eine Anpassung sowohl der Fahrstreifenbreiten in der Zu- und Ausfahrt als auch der Ausrundungsradien vorgesehen. Die nach dem alten Merkblatt gebauten Kreisverkehre sind mit den neuen Lastzugkombinationen ohne zusätzliche gelenkte Achsen nicht zu befahren.

Für eine Abschätzung der Befahrbarkeit durch neue Lastzugkombinationen wurde exemplarisch ein kleiner Kreisverkehrsplatz mit 35 m Außenradius, wie er sowohl innerorts als auch außerorts vorkommen kann, überprüft. Für die Prüfung der Befahrbarkeit von kleinen Kreisverkehren wurden die Trassierungsparameter entsprechend dem neuen Merkblatt zugrunde gelegt. Bei der Einschätzung der Kreisverkehrsgröße ist zu beachten, dass ein Kreisverkehr mit größerem Außendurchmesser nicht zwangsläufig auch besser zu befahren ist, da bei größeren Außendurchmessern geringere Kreisfahrbahnbreiten vorgesehen sind und durch den größeren Außendurchmesser sowohl bei der Ein- als auch bei der Ausfahrt größere Richtungsänderungswinkel zu fahren sind.

Entwurfselement	Trassierungsparameter
Außendurchmesser D [m]	35,00
Breite des Kreisringes $B_K$ [m]	7,00
Fahrstreifenbreite der Zufahrt $B_Z$ [m]	3,50
Fahrstreifenbreite der Ausfahrt $B_A$ [m]	3,75
Eckausrundung der Einfahrt $R_Z$ [m]	14,00
Eckausrundung der Ausfahrt $R_A$ [m]	16,00

Tabelle 5.5: Trassierungsparameter des untersuchten kleinen Kreisverkehrs

Die Wahl der Leitlinie wurde für eine flächensparende Befahrung entlang der äußeren Begrenzung des Kreisverkehrs optimiert, um abzuschätzen, welche zusätzlichen Flächen in der Kreismitte bei den verschiedenen Fahrmanövern zur Verfügung stehen müssten. Die Er

gebnisse der Überprüfung der Befahrbarkeit sind in Anhang 21 bis 24 dargestellt und können wie folgt beurteilt werden:

Die Lastzugkombination der Variante 1 kann den kleinen Kreisverkehr nur bedingt befahren. Sowohl in der Zufahrt als auch in der Ausfahrt werden Flächen im Seitenraum auf der Kurveninnenseite von dieser Lastzugkombination überfahren. Die Kreisinsel wird nicht überfahren. Sicherheitsräume sind im Kreisverkehr nicht mehr vorhanden. Kleine Abweichungen von der gewählten Leitlinie führen dazu, dass der Kreisverkehr nicht mehr befahren werden kann und auch die Kreisinsel überfahren werden muss. Ebenso würde die 360°-Fahrt zur Überfahrung der Kreisinsel führen.

Im Gegensatz dazu kann die Lastzugkombination der Variante 2 den Kreisverkehr gar nicht befahren. Im gesamten Bereich des Kreisverkehrs werden Flächen außerhalb der Fahrbahn in Anspruch genommen. Zudem wird auch die Kreisinsel deutlich überfahren. Die Befahrbarkeit ist mit dieser Untersuchungskonstellation nicht gegeben.

Die Lastzugkombination der Variante 3 kann den kleinen Kreisverkehr bedingt befahren. In der Zufahrt und im Kreisverkehr sind keine Sicherheitsräume vorhanden, in der Ausfahrt werden Flächen im Seitenraum überfahren. Zur Kreisinsel ist allerdings ein geringer Sicherheitsabstand vorhanden, so dass hier auch kleine Abweichungen von der gewählten Leitlinie nicht zur Überfahrung der Kreisinsel führen.

Auch die Lastzugkombination der Variante 4 kann den kleinen Kreisverkehr bedingt befahren. In der Zufahrt sind auch hier kaum Sicherheitsräume vorhanden, in der Ausfahrt werden geringfügig Flächen im Seitenraum überstrichen. Zur Kreisinsel ist dagegen ein geringer Sicherheitsabstand vorhanden, so dass hier auch kleine Abweichungen von der gewählten Leitlinie nicht zur Überfahrung der Kreisinsel führen. Aufgrund seiner geringeren Gesamtlänge kann die Lastzugkombination der Variante 4 den kleinen Kreisverkehr von allen Kombinationen am besten befahren. Sicherheitsräume beziehungsweise ein Sicherheitsabstand kann aber auch hier nicht eingehalten werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Lastzugkombination der Varianten 1, 3 und 4 den kleinen Kreisverkehr bedingt befahren können. Bewegungsspielräume und Sicherheitsabstände sind meist nicht mehr vorhanden, so dass bereits kleine Abweichungen von der hier gewählten Leitlinie zu Überfahrungen der angrenzenden Flächen führt. Für die Lastzugkombination der Variante 2 ist die Befahrung des Kreisverkehrs auf keinen Fall möglich.

	Kurveninnenseite beim Rechtsein- biegen	Kreisinsel	Kurveninnenseite beim Rechtsab- biegen
Lastzugkombination der Variante 1	0,10	0	0,50
Lastzugkombination der Variante 2	1,10	3,50	0,60
Lastzugkombination der Variante 3	0	0	0,60
Lastzugkombination der Variante 4	0	0	0,30

*Tabelle 5.6: Zusätzliche Flächeninanspruchnahme auf den Kurveninnenseiten bei der Befahrung mit neuen Lastzugkombinationen (Angaben in [m])*

Tabelle 5.6 gibt den zusätzlichen Flächenbedarf auf den Kurveninnenseiten für die Befahrung des Kreisverkehrs (Fahrmanöver Linksabbiegen) durch die vier getesteten Lastzugkombinationen an.

#### 5.4 Platzbedarf und Platzverfügbarkeit auf Rastplätzen

Unabhängig von der Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen im nachrangigen Straßennetz abseits von Autobahnen, muss bei einem Einsatz von überlangen Lastzugkombinationen die regelmäßige und uneingeschränkte Einhaltung der Fahr- und Ruhezeitregelungen für Berufskraftfahrer gewährleistet werden. Hierzu ist eine Abschätzung der Auswirkungen der größeren Platzbeanspruchung derartiger Fahrzeuge auf die Nutzbarkeit der gesamten Anlage erforderlich.

In den Richtlinien für Rastanlagen an Straßen (RR1) [46] sind Längen- und Breitenmaße für die Abmessungen von Stellplätzen für Lastkraftwagen aufgeführt. Der Abstand zwischen den Fahrgassen ist bei Schrägaufstellung ( $\leq 50$  gon) mit 18,00 m angegeben, die Parkstandlänge bei Längsaufstellung mit 25 m. Die Parkstandbreite soll 3,50 m betragen, und die Regelfahrgassenbreite für Lkw-Parkstände ist mit 6,50 m angegeben.

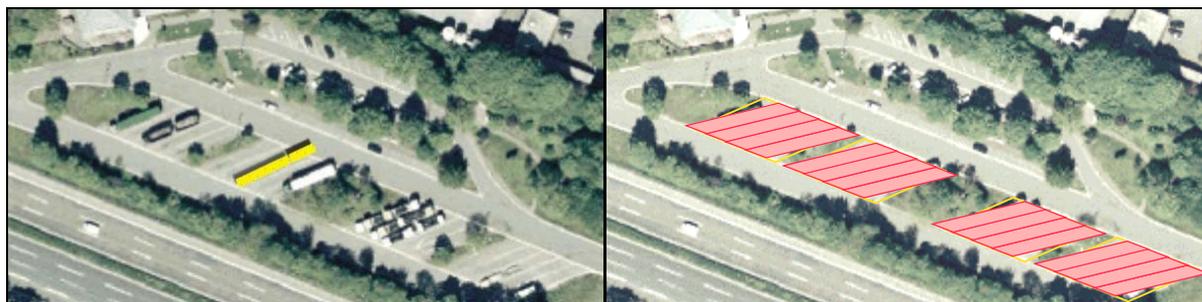


Abbildung 5.6: Beispiele für Stellplatzanordnungen auf Raststätten an Bundesautobahnen mit markiertem Stellplatzbedarf für neue Lastzugkombinationen.

Bei den üblichen Abstellanlagen an Autobahnen werden die Parkstände mit einem Winkel von  $50$  gon markiert. Bei einem Abstand zwischen den Fahrgassen von 18,00 m ergibt sich damit ein Parkstand von 21,95 m Länge auf 3,50 m Breite. Für das Ein- und Ausfahren steht bei gleichmäßiger Aufstellung der Fahrzeuge eine nutzbare Breite zwischen den benachbarten Fahrzeugen von 4,50 m zur Verfügung.

Bei einer Untersuchung der Flächeninanspruchnahme von längeren Autotransportern (maximale Fahrzeuglänge 20,75 m) ermittelten Schnüll et.al. [42], dass für das untersuchte Bemessungsfahrzeug „Autotransporter 20,75 m“ sowie ein weiteres Bemessungsfahrzeug „Lastzug 20,00 m“ die Befahrbarkeit von Standardparkständen auf Rastanlagen nur bei einer verfügbaren Breite von 4,50 m zwischen den benachbarten Fahrzeugen gewährleistet ist. Allerdings benötigt der Autotransporter selbst in diesem günstigen Fall die gesamte Fahr

gassenbreite von 6,50 m und überstreicht dabei bei der Einfahrt mit seinem hinteren und bei der Ausfahrt mit seinem vorderen Überhang eine ca. 0,30 m breiten Streifen im Seitenraum.

Für die Nutzung von nach RR1 ausgeführten Schräg-Parkständen (50 gon) auf Park- und Rastanlagen durch neue Lastzugkombinationen (Fahrzeug-Länge 25,25 m) bedeutet dies rein rechnerisch ein Überstand in die Fahrgasse von ca. 1,70 m. Bei Belegung von zu kurzen Parkständen und Überstand in die Fahrgasse ist die Nutzung auch durch kürzere Lastzüge nicht mehr möglich. Um den rein geometrischen Anforderungen hinsichtlich der Fahrzeuglänge an den Stellplatz zu genügen, müsste der Abstand zwischen den Fahrgassen vergrößert werden, oder – sofern dies bei bestehenden Anlagen (Abstand zwischen den Fahrgassen: 18 m) nicht möglich ist – deutlich geringere Aufstellwinkel ( $< 40$  gon) gewählt werden. Bei annähernd gleichbleibendem Flächenverbrauch könnten fünf bestehende 50 gon-Parkständen in vier 40 gon-Parkstände ummarkiert werden (vergleiche Abbildung 5.6).

Neben Rastanlagen an Bundesautobahnen existiert aber auch ein Netz von Autohöfen, die zwar nicht in allen Fällen direkt über Zu- und Abfahrten an Autobahnen angeschlossen sind, aber über nur kurze Anschlussknoten angefahren werden können. Diese Autohöfe verfügen bereits heute in einigen Fällen über Lastkraftwagen-Stellplätze mit Längen von 27 m.

Zur Sicherstellung der Befahrbarkeit der längeren Parkstände – sowohl beim Einfahren als auch beim Ausfahren aus dem Parkstand – müsste jedoch zusätzlich zu den geringeren Aufstellwinkeln deutlich größere Fahrgassenbreiten zur Verfügung stehen oder die Parkstände deutlich breiter ausgeführt werden (vergleiche Abbildung 5.7).

Können aufgrund der Fahrzeugabmessungen sowie der üblichen Stellplatzabmessungen keine regulären Stellplätze für neue Lastzugkombinationen zur Verfügung gestellt werden, wäre die Mitnutzung der Zufahrtsbereiche und Fahrgassen als Stellplatz die Folge, wie es bereits heute durch Überbelegungen in den Nachtstunden oft der Fall ist. Das verkehrswidrige Abstellen von Fahrzeugen führt dabei sowohl zu erheblichen Behinderungen im Betriebsablauf auf diesen Rastanlagen sowie zur Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit [47]. Wenn für die erwartete Zahl von neuen Lastzugkombinationen keine ausreichend dimensionierten Stellplätze auf Rastplätzen zur Verfügung stehen, müssten diese Lastzugkombinationen mit 2 Fahrern im Wechselbetrieb besetzt sein.

Unabhängig von der bestehenden Infrastruktur ist der Platzbedarf neuer Lastzugkombinationen auch im Hinblick auf die Auslastung von Rastanlagen von Bedeutung. Angesichts des prognostizierten Anstiegs des Güterverkehrs um 60 % bis 2015 (Basisjahr ist 1997) werden zusätzlich über 30.000 Stellplätze benötigt, damit die Lkw-Fahrer die vorgeschriebenen Ruhezeiten einhalten können. In einer aktuellen Untersuchung [49] wurde auf 25 Tank- und Rastanlagen bei Nacht eine mittlere Auslastung von 180 % ermittelt. Als Spitzenwert wurde eine Auslastung von 290 % registriert.

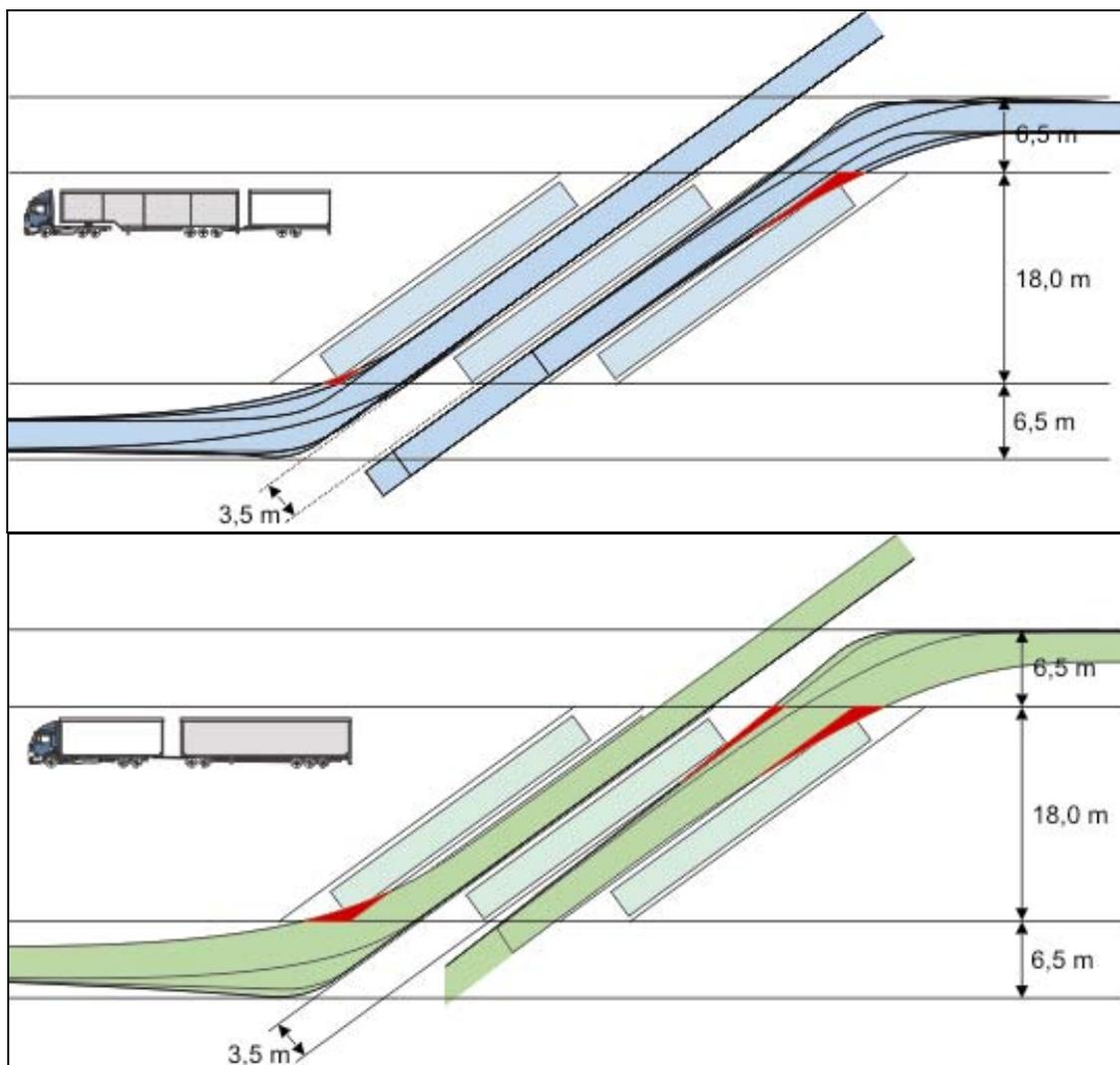


Abbildung 5.7: Befahrbarkeit von Lkw-Parkständen (Aufstellwinkel: 40 gon; Fahrgassenbreite: 6,50 m; Abstand zwischen den Fahrgassen: 18 m) durch neue Lastzugkombinationen (Variante 1 und 2) (rot markiert ist die Überfahung der benachbarten Parkstände).

Neben dem Angebot von mehr Stellplätzen durch Flächenexpansion werden als Lösungsmöglichkeiten auch telematisch gesteuerte Lkw-Parkplätze, die die Stellplatzkapazitäten durch intelligentes Stellplatzmanagement auf den vorhandenen Flächen erhöht, diskutiert. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage des Beitrags neuer Lastzugkombinationen (negativ wie positiv) zu dieser Problematik, unabhängig davon, ob die Abmessungen neuer Lastzugkombinationen zum vorhandenen Stellplatzangebot passen.

	Sattelzug 40 t zGG (Nutzlast 25,6 t) (16,50 m)	Gliederzug 40 t zGG (Nutzlast 23,1 t) (18,75 m)	neue Lastzugkombinationen 60 t zGG (Nutzlast 37,5 t) (25,25 m)
Stellplatzbedarf pro t Nutzlast [m]	0,64	0,81	0,67
Stellplatzbedarf pro 10 m <sup>3</sup> Ladung [m]	1,62	1,59	1,57

Tabelle 5.7: Stellplatzbedarf in Relation zur Nutzlast beziehungsweise Ladevolumen

Bezogen auf die maximal mögliche Nutzlast benötigt eine 25,25 m lange Lastzugkombination mit 60 t zulässigem Gesamtgewicht etwa 0,67 m pro t Nutzlast. Dieser Wert liegt zwischen dem der heute üblichen Sattel- (0,64) und Gliederzüge (0,81) (Tabelle 5.7) und bringt daher bezogen auf die Nutzlast wenig bis keine Entlastung der Stellplatzproblematik. Bezogen auf das Transportvolumen sind neue Lastzugkombinationen geringfügig im Vorteil und benötigen etwas weniger Stellplatzlänge pro Ladevolumen. Die Unterschiede sind jedoch so gering, dass die Auswirkung neuer Lastzugkombinationen auf diese Fragestellung als vernachlässigbar bewertet werden kann.

## 5.5 Reale Befahrung von ausgewählten Knotenpunktgeometrien mit einer Fahrzeugkombination mit Nachlauflenkachse

Bei der getesteten Lastzugkombination handelt es sich um eine von DaimlerChrysler derzeit im Mess- und Versuchsbetrieb getestete Fahrzeugkombination (Abbildung 5.8). Als Grundfahrzeug wird ein 6x4-Lastkraftwagen eingesetzt, der mit einem Wechselbehälter der Größe C 745 oder alternativ mit Festaufbau versehen werden kann. Damit der Sattelaufleger (Länge 13,60 m) als Anhänger gefahren werden kann, wird eine finnische Dolly ohne gelenkte Achsen eingesetzt. Der Sattelaufleger ist mit einer Nachläuferlenkachse ausgestattet.

Für die Befahrung mit der beschriebenen Fahrzeugkombination wurden analog zu den Abschnitten 5.2 bis 5.4 exemplarisch Straßenelemente ausgewählt, mit denen bei einer Befahrung des Bundesfernstraßennetzes gerechnet werden muss. Für die Ermittlung der Kurvenlaufeigenschaften bei Ein- und Abbiegemanövern wurde eine Einmündung gewählt nach RAL-K-1 [43] mit großem Tropfen und dreiteiligem Korbbogen. Dies ist – sofern nach technischem Regelwerk gebaut wurde – die Knotenpunktform mit der größten Dimensionierung bezüglich der Eckausrundungen und der Ein- und Ausfahrtquerschnitte. Zusätzlich wurde eine typische innerörtliche Einmündung mit einem Eckausrundungsradius von 8 m und 15 m mit Kreisbogentrassierung befahren.

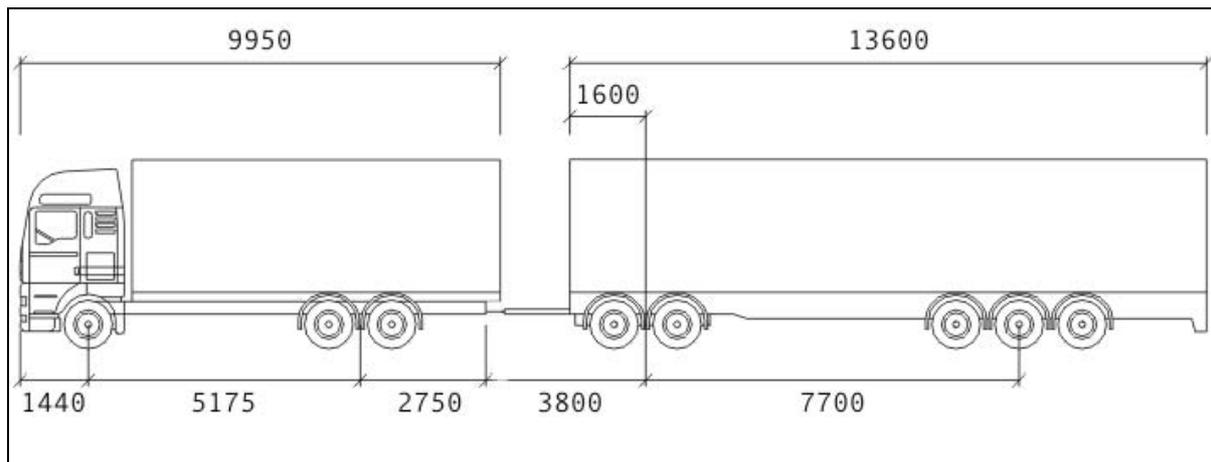


Abbildung 5.8: Im Versuchsbetrieb von DaimlerChrysler eingesetzte Lastzugkombination

Für die Befahrung eines Kreisverkehrs wurden die in Abschnitt 5.3.2 genannten Trassierungsparameter gewählt.

Für die Überprüfung der Befahrbarkeit von Stellplätzen auf Rastplätzen wurde die übliche Dimensionierung von Rastplätzen (Fahrgassenbreite: 6,50 m; Abstand zwischen den Fahrgassen: 18 m) gewählt, jedoch wurden die Parkstände in 40 gon Schrägaufstellung markiert (vgl. Abschnitt 5.4). Durch den spitzeren Zufahrtswinkel wird die Ein- und Ausfahrt in und aus dem Parkstand wesentlich erleichtert. Hauptgrund für die 40-gon Markierung ist jedoch die Schaffung eines ausreichend langen Parkstandes, damit das Fahrzeug nicht in die Fahrgasse hineinragt.

	<p><b>Einmündung</b></p> <p>Querschnitt</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfahrt Abbiegen (<math>E_1</math>): 3,50 m</li> <li>- Ausfahrt Abbiegen (<math>A_1</math>): 4,50 m</li> <li>- Einfahrt Einbiegen (<math>E_2</math>): 4,50 m</li> <li>- Ausfahrt Einbiegen (<math>A_2</math>): 3,50 m</li> </ul> <p>Eckausrundung Hauptbogenradius</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einbiegen (<math>R_E</math>): 12 m</li> <li>- Abbiegen (<math>R_A</math>): 15 m</li> </ul> <p>Trassierung mit dreiteiligem Korbbogen</p>
	<p><b>Kreisverkehr</b></p> <p>Außendurchmesser 35 m</p> <p>Querschnitt</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kreisfahrbahn 7 m</li> <li>- Knotenpunktzufahrt (<math>b_Z</math>): 3,50 m</li> <li>- Knotenpunktausfahrt (<math>b_A</math>): 3,75 m</li> </ul> <p>Eckausrundung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Knotenpunktzufahrt (<math>R_Z</math>): 14 m</li> <li>- Knotenpunktausfahrt (<math>R_A</math>): 16 m</li> </ul>
	<p><b>Stellfläche auf Rastplatz</b></p> <p>Fahrgassenbreite: 6,50 m</p> <p>Abstand zwischen Fahrgassen 18 m</p> <p>Parkstandbreite 3,50 m</p> <p>Aufstellwinkel 40 gon</p>
	<p><b>Innerortsknoten</b></p> <p>Querschnitt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfahrt Einbiegen (<math>E_2</math>): 3,50 m</li> <li>- Ausfahrt Einbiegen (<math>A_2</math>): 3,50 m</li> </ul> <p>Eckausrundung: 8 m</p> <p>15 m</p> <p>Trassierung mit Kreisbogen</p>

Tabelle 5.8: Trassierungsparameter der real befahrenen Straßenelemente

In der Tabelle 5.8 sind alle wesentlichen Trassierungsparameter der getesteten Straßenelemente zusammengefasst:

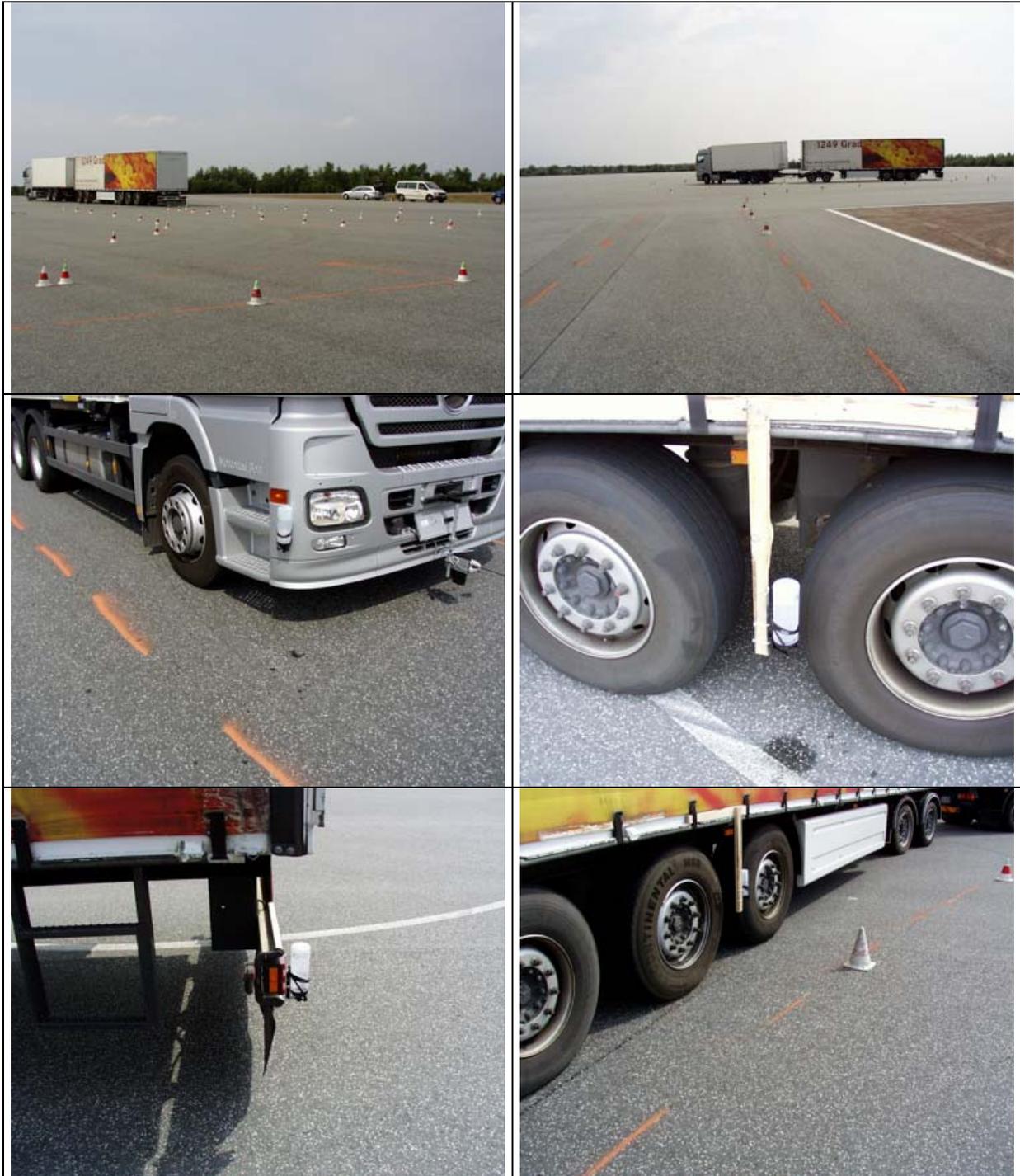


Abbildung 5.9: Fotodokumentation der Messmethode

Die Geometrien wurden auf einer Freifläche eingemessen, mit Signalfarbe abmarkiert und zur Verdeutlichung mit Pylonen abgesteckt. Für die Bewertung ist dabei zu beachten, dass der Fahrer bei den Messfahrten neben der Aufgabe der Durchfahung der vorgegebenen Geometrie keine weiteren Aufgaben (z.B. Beachtung des Gegen- oder Querverkehrs, Einschätzung von Geschwindigkeiten und Zeitlücken, Beachtung von Fußgängern und Radfah

renn) zu bewältigen hatte. Die Messfahrten wurden von einem erfahrenen Testfahrer jeweils nach zwei bis vier Probefahrten durchgeführt.

Die Ermittlung der bei den Messfahrten überstrichenen Flächen erfolgte mittels Wasserflaschen, die an den entscheidenden Stellen der Lastzugkombination angebracht wurden. Durch die Markierung an vorher definierten Messquerschnitten konnte damit die überstrichene Fläche an den maßgebenden Punkten eingemessen und dokumentiert werden. Zusätzlich zu den Messquerschnitten wurde auch das Überstreichen bzw. Überfahren von Flächen im Seitenraum eingemessen und dokumentiert.

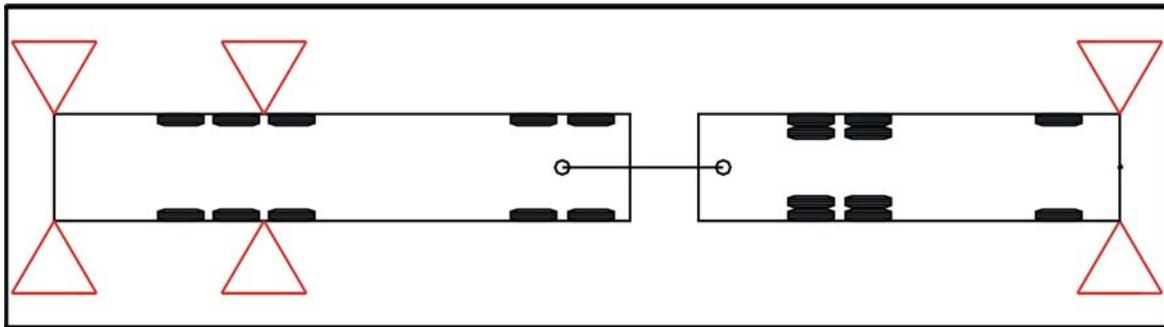


Abbildung 5.10: Anordnung der Wasserflaschen an der Lastzugkombination zur Erfassung der Schleppkurven

Bei der Interpretation der Messergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die ermittelten Maße die tatsächlich vom Fahrzeug überstrichenen Flächen begrenzen. Dies bedeutet, dass weder Bewegungsspielräume noch Sicherheitsräume berücksichtigt sind. Die Geschicklichkeit und Routine des Fahrers hat einen erheblichen Einfluss auf die Fahrlinie. Je nach Fahrgeschwindigkeit, Lenkgeschwindigkeit und Lenkeinschlag während der Kurvenfahrt entstehen sehr unterschiedliche überstrichene Flächen. Diese Abweichungen von der im Idealfall zu erwartenden Fahrlinie werden im Straßenentwurf durch die Berücksichtigung von seitlichen Bewegungsspielräumen berücksichtigt. Für Lastkraftwagen werden 0,25 m seitlicher Bewegungsspielraum für die Geradeausfahrt angesetzt, für Kurvenfahrten ist dieser Wert auf beidseitig jeweils 0,50 m zu erhöhen, um Variationen der Kurvenfahrt und Lenktoleranzen abzufedern. Je nach Fahrweise, z.B. langsame Fahrweise bei der Befahrung von Parkständen können die Bewegungsspielräume in Ausnahmefällen reduziert werden. Die Ergebnisse der einzelnen Messfahrten sind in Anhang 25-41 dargestellt.

### 5.5.1 Befahrung der Einmündung

Rechtsabbiegen:

Das Fahrmanöver „Rechtsabbiegen“ ist im Vergleich zum Fahrmanöver "Rechtseinbiegen" dadurch gekennzeichnet, dass der Ausfahrquerschnitt breiter ist und die Eckausrundung

i.d.R. größer gewählt wird (hier Hauptbogenradius=15 m). Dies ermöglicht den abbiegenden Fahrzeugen ein zügiges Verlassen des Hauptverkehrsstroms.

Die Befahrung zeigte, dass dieses Fahrmanöver mit dem Testfahrzeug auch unter Einhaltung der Bewegungsspielräume mit den gewählten Knotendimensionen gut möglich ist. Die gewählten Fahrlinien unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander, daher wurde nur eine der Messfahrten aufgezeichnet.

Rechtseinbiegen:

Das Fahrmanöver „Rechtseinbiegen“ ist hinsichtlich des Platzbedarfs aus folgenden Gründen meist kritischer:

- Aus Gründen der Verkehrssicherheit sollen durch die Wahl möglichst kleiner Eckausrundungen die Aufstellbereiche nicht zu sehr aufgeweitet werden. Hiermit soll das nebeneinander Aufstellen von wartepflichtigen Fahrzeugen verhindert werden, um gegenseitigen Sichtbehinderungen vorzubeugen.
- Im Gegensatz zum Rechtsabbiegen muss das Fahrzeug in den schmaleren Querschnitt des durchgehenden Fahrstreifens einfahren.
- An die vom Rechtseinbieger in Anspruch genommene Verkehrsfläche grenzt unmittelbar die Verkehrsfläche des Gegenverkehrs an (Linksabbiegestreifen oder durchgehender Geradeausverkehr des Hauptstromes), deren Mitbenutzung zu vermeiden ist. Hingegen grenzen beim Rechtsabbiegen Sperrflächen oder Inseln an den Fahrraum des abbiegenden Fahrzeugs an.

Die Messfahrten zeigten, dass das Rechtseinbiegen bei der gewählten Knotendimension auch bei deutlich reduzierter Komplexität der Fahraufgabe lediglich ohne Bewegungsspielräume möglich ist. In einer der drei Messfahrten musste der Seitenraum mitgenutzt werden.

## 5.5.2 Befahrung des kleinen Kreisverkehrs

Linksabbiegen ( $\frac{3}{4}$ -Kreis):

Auch hier zeigten die Messfahrten, dass die Befahrung des kleinen Kreisverkehrs mit den gewählten Dimensionen nur ohne Bewegungsspielräume und unter – wenngleich minimaler – Mitbenutzung von Flächen im Seitenraum möglich ist.

Rechtsabbiegen ( $\frac{1}{4}$ -Kreis)

Für das Rechtsabbiegen im Kreisverkehr gilt im Wesentlichen derselbe Befund wie für die Dreiviertel-Kreisdurchfahrt. Die Fahraufgabe selbst ist nach Angaben des Testfahrers aufgrund der schnell aufeinander folgenden Fahrtrichtungswechsel hingegen schwieriger zu beherrschen.

### **5.5.3 Befahrung eines Parkstandes in Schrägaufstellung (40 gon)**

Die Befahrung des Parkstandes in der gewählten Dimension ist ebenfalls nur ohne bzw. nur mit minimalen Bewegungsspielräumen möglich. Aufgrund der anzunehmenden langsamen Fahrweise können hier allerdings eingeschränkte Bewegungsspielräume angesetzt werden. Voraussetzung für die Befahrbarkeit ist jedoch, dass regelmäßig 4,50 m zwischen zwei Fahrzeugen frei bleiben. Um dies auch bei unregelmäßiger Aufstellung von Fahrzeugen zu gewährleisten, ist eine Verbreiterung der Parkstände auf 4,00 m angezeigt.

### **5.5.4 Befahrung eines Innerortsknotens (Kreisbogentrassierung)**

Die Befahrung eines innerörtlichen Knotens (Rechtseinbiegen) zeigte sich selbst unter Weglassung sämtlicher Bewegungs- und Sicherheitsräume als nicht möglich. Bei angenommenen Fahrbahnbreiten von 3,50 m müssen selbst bei einer Eckausrundung von  $R = 15$  m Flächen im Seitenraum und /oder des Gegenverkehrs in Anspruch genommen werden.

Bei einem innerörtlichen Knoten mit einer Eckausrundung von  $R = 8$  m und Nichtbenutzung von Flächen im Seitenraum des Kurveninnenbereichs müssten 3,70 m der Gegenfahrbahn bzw. des gegenüberliegenden Seitenraumes mitgenutzt werden.

## **5.6 Ermittlung des Kurvenlaufverhaltens einer neu entwickelten Lastzugkombination mittels Simulation**

Zusätzlich zu den realen Befahrungen der ausgewählten Straßenelemente wurde die selben Straßenelemente als Grundlage für die Schleppkurvenberechnung mittels Simulation verwendet. Ziel war der Vergleich der Ergebnisse beider Verfahren. Als Software wurde die AutoCAD-Applikation AutoTurn verwendet.

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass die Schleppkurvenberechnung mittels Simulation im Wesentlichen dieselben Ergebnisse liefert wie die reale Befahrung in den Messfahrten. Daraus lassen sich zwei Schlüsse ziehen:

- Da in der Simulation eine möglichst optimierte und an die Geometrie sowie an die fahrzeugtechnischen Gegebenheiten angepasste Leitlinie ermittelt wird, kann davon ausgegangen werden, dass dem Testfahrer bei der realen Befahrung bereits eine optimierte Kurvenfahrt gelungen ist.
- Das in der Simulation angewandte Verfahren ist geeignet, auch andere Fahrzeuge oder weitere Straßenelemente zu untersuchen.

Die in der Simulation errechneten Schleppkurven sind in Anhang 1-46 dargestellt.

## 5.7 Zusammenfassung

Die Überprüfung der Befahrbarkeit ausgewählter Straßenverkehrsanlagen mit den getesteten neuen **Fahrzeugkombinationen ohne Nachlauflenkachse** mittels Simulation zeigt, dass bestimmte Verkehrsanlagen von neuen Lastzugkombinationen nicht ordnungsgemäß oder nur bedingt beziehungsweise unter bestimmten Voraussetzungen befahren werden können. Obgleich sich z.T. erhebliche Unterschiede zwischen den untersuchten Lastzugkombinationen zeigen, treten die Probleme aufgrund der durch die größere Fahrzeuglänge und zusätzlichen Knickpunkte bedingten allgemein ungünstigeren Kurvenlaufeigenschaften bei allen vier getesteten Lastzugkombinationen auf.

Am günstigsten hinsichtlich der Kurvenlaufeigenschaften zeigte sich die Lastzugkombination 4, die sich im Wesentlichen nur durch ein deutlich verlängertes Fahrzeugheck vom herkömmlichen Bemessungsfahrzeug Sattelzug unterscheidet. Dadurch kommt es jedoch zu erheblichem Flächenmehrbedarf durch das ausschwenkende Fahrzeugheck insbesondere an Knoten mit relativ kleinen Eckausrundungen (Hauptbogenradius 8 m), wie sie vor allem innerorts vorkommen. Eine Beschränkung dieser Lastzugkombination auf reine Autobahnrouden beziehungsweise Außerortsstrecken scheint jedoch im Gegensatz zu den anderen Lastzugkombinationen durch die Ähnlichkeit mit dem herkömmlichen Sattelzug weder überwachbar noch aufgrund der fehlenden Modularoption praktikabel.

Die Lastzugkombinationen 1 und 3 zeigen sowohl beim Rechtseinbiegen als auch beim Rechtsabbiegen einen erheblichen Flächenmehrbedarf in den angrenzenden Fahrstreifen. Größere Hauptbogenradien führen zwar zu einer Verringerung der Flächeninanspruchnahme in den Nachbarfahrstreifen, der Aufstellbereich in der untergeordneten Straße würde dadurch jedoch erheblich aufgeweitet, was aus Gründen der Verkehrssicherheit zu vermeiden ist. Gerade die Wahl möglichst geringer Hauptbogenradien soll das Nebeneinanderaufstellen in Einmündungsbereichen verhindern und die Anpassung der Geschwindigkeit bei ab- beziehungsweise einbiegenden Fahrzeugen unterstützen.

Die Analyse der Schleppkurven der Lastzugkombination der Variante 2 zeigte, dass die Befahrung der getesteten Varianten von Einmündungen sowie die Befahrung des kleinen Kreisverkehrs ohne Überfahrung von erheblichen Flächen in den benachbarten Fahrstreifen oder Überfahrung der Seitenräume auf den Kurveninnenseiten beziehungsweise der Fahrbahnteiler nicht möglich ist.

Für die Befahrung des kleinen Kreisverkehrs mit den Lastzugkombinationen der Varianten 1, 3 und 4 müsste die Kreisfahrbahn deutlich breiter ausgeführt werden, was dazu führt, dass der Kreisverkehr für Pkw zweistreifig befahrbar wird (ab 8 m). Um die Überfahrung von Flächen im Seitenraum der Kreiszufahrt sowie der Kreisausfahrt zu vermeiden, müssten diese mindestens mit den im neuen „Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren“ für Außerorts-Kreisverkehre angegebenen Maximalmaßen für Fahrbahnbreiten und Eckausrundungen dimensioniert werden. Die Erhöhung des Außendurchmessers führt nicht zwangsläufig dazu, dass der Kreisverkehr von den neuen Lastzugkombinationen besser zu befahren ist, da bei

größeren Außendurchmessern eher geringere Kreisfahrbahnbreiten anzulegen sind, um Geschwindigkeitssteigerungen durch das „Schneiden“ der Kreisfahrbahn zu vermeiden.

Die Befahrung von kleinen Kreisverkehren mit der Lastzugkombination der Variante 2 ist nicht möglich.

Bei der Bewertung der Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung zur Befahrbarkeit von Einmündungen und Kreisverkehren ist zu berücksichtigen, dass bereits kleine Abweichungen von der optimierten Leitlinie zur Überfahung von entsprechend mehr zusätzlichen Flächen in den benachbarten Fahrstreifen oder im Seitenraum führt. Das Überfahren oder Überstreichen von Flächen im Seitenraum führt vor allem zur Gefährdung für andere Verkehrsteilnehmer (v.a. Fußgänger und Radfahrer), aber auch zur Beschädigung von Verkehrseinrichtungen sowie von Fahrbahnrandeinfassungen.

Hinsichtlich der Befahrbarkeit von Autobahnen muss vor allem im Bereich von Rastplätzen mit massiven Problemen beim Einsatz von neuen Lastzugkombinationen gerechnet werden. Da die heutigen Lkw-Stellplätze in der Regel zu kurz für derart lange Fahrzeuge sind, müssten die Fahrzeugführer bei unveränderten Rastanlagen zur Einhaltung der Lenk- und Ruhezeiten das Fahrzeug in nicht überall vorhandenen Längsparkständen nahe den Fahrgassen oder in der Zu- beziehungsweise Ausfahrt der Raststätte abstellen. Letzteres ist aus Gründen der Verkehrssicherheit zu verhindern. Wenn Stellplätze für neue längere Lastzugkombinationen nicht regelmäßig und in ausreichender Anzahl auf Rastplätzen zur Verfügung stehen, können Lenk- und Ruhezeiten nur im 2-Personen-Betrieb eingehalten werden.

Die Untersuchungen zeigen insgesamt, dass die Straßenanlagen nur mit **Lastzugkombinationen mit Nachlauflenkachse** befahren werden können. Während das Rechtsabbiegen bei Einmündungen keine Probleme bereitet, so bestehen beim Rechtseinbiegen keine Bewegungsspielräume mehr. Die Freiräume müssen voll ausgenutzt werden.

Beim Befahren kleiner Kreisverkehre zeigt sich ein ähnliches Bild. Links- und Rechtsabbiegen sind bei neuen Lastzugkombinationen mit Nachlauflenkachse möglich, jedoch werden die Bewegungsspielräume voll ausgeschöpft. Eine, wenngleich auch minimale, Mitbenutzung von Flächen im Seitenraum ist zu befürchten.

Innerörtliche Knoten können selbst unter Inanspruchnahme sämtlicher Bewegungsspielräume und Sicherheitsräume nicht befahren werden.

Die nachfolgende Tabelle soll die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse in systematischer Form zusammenstellen. Der Maßstab für den Grad der Beeinträchtigung wird in „erheblich“, „geringfügig“ und „kein“ unterschieden.

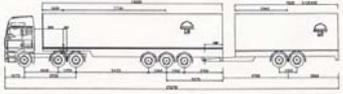
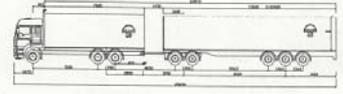
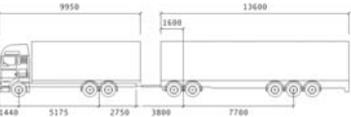
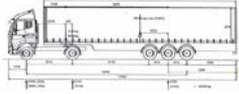
<b>Übersicht</b>	
<p><b>Variante 1</b> Sattelzug+Zentralachsanhänger</p> 	<p><b>Innerortsknoten (8-12 m Kreisbogenradius):</b> erhebliche Mitnutzung angrenzender Fahrstreifen und/oder des Seitenraumes keine Bewegungsspielräume</p> <p><b>Groß dimensionierte Knoten (12-15 m Hauptbogenradius):</b> geringfügige Mitnutzung angrenzender Fahrstreifen keine Bewegungsspielräume</p> <p><b>Kleine Kreisverkehre:</b> geringfügige Mitnutzung der Seitenbereiche keine Bewegungsspielräume</p> <p><b>Parkstände (40 gon):</b> Mitnutzung angrenzender Parkstände keine Bewegungsspielräume</p>
<p><b>Variante 2</b> Lkw+Dolly+Auflieger</p> 	<p><b>Innerortsknoten (8-12 m Kreisbogenradius):</b> erhebliche Mitnutzung angrenzender Fahrstreifen und/oder des Seitenraumes keine Bewegungsspielräume</p> <p><b>Groß dimensionierte Knoten (12-15 m Hauptbogenradius):</b> geringfügige Mitnutzung angrenzender Fahrstreifen keine Bewegungsspielräume</p> <p><b>Kleine Kreisverkehre:</b> erhebliche Mitnutzung der Seitenbereiche und der Kreisinsel keine Bewegungsspielräume</p> <p><b>Parkstände (40 gon):</b> erhebliche Mitnutzung angrenzender Parkstände und/oder der Seitenbereiche der Fahrgassen keine Bewegungsspielräume</p>
<p><b>Variante 2a</b> Lkw+Dolly+Auflieger mit Nachlaufenkachse</p> 	<p><b>Groß dimensionierte Knoten (12-15 m Hauptbogenradius):</b> geringfügige Mitnutzung angrenzender Fahrstreifen keine Bewegungsspielräume</p> <p><b>Innerortsknoten (8-12 m Kreisbogenradius):</b> erhebliche Mitnutzung angrenzender Fahrstreifen und/oder des Seitenraumes keine Bewegungsspielräume</p> <p><b>Kleine Kreisverkehre:</b> geringfügige Mitnutzung der Seitenbereiche und der Kreisinsel keine Bewegungsspielräume</p> <p><b>Parkstände (40 gon):</b> geringfügige Mitnutzung angrenzender Parkstände und/oder der Seitenbereiche der Fahrgassen keine Bewegungsspielräume</p>
<p><b>Variante 4</b> Verlängerter Sattelzug</p> 	<p><b>Groß dimensionierte Knoten (12-15 m Hauptbogenradius):</b> geringfügige Mitnutzung angrenzender Fahrstreifen geringfügige Bewegungsspielräume</p> <p><b>Innerortsknoten (8-12 m Kreisbogenradius):</b> geringfügige Mitnutzung angrenzender Fahrstreifen keine Bewegungsspielräume, kritisch: stark ausschwenkendes Heck</p> <p><b>Kleine Kreisverkehre:</b> Befahrung mit Bewegungsspielräumen möglich</p> <p><b>Parkstände (40 gon):</b> nicht untersucht, evtl. Probleme durch starkes Ausschwenken des Fahrzeughecks</p>

Abbildung 5.11: Systematische Übersicht zu Fahrzeugvarianten und der mit ihnen gegebenen Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen

## 6 Beeinflussung des Verkehrsablaufes

### 6.1 Technische Fragestellungen

Ziel dieser Betrachtungen ist es, abzuschätzen, ob neue Lastzugkombinationen bei gegebener Infrastruktur in den existierenden Verkehr zu integrieren sind, ohne den Verkehrsablauf zu stören und ohne die Sicherheit der anderen Verkehrsteilnehmer zu gefährden.

Die Wirkung auf den Verkehrsablauf im Allgemeinen (neben den fahrgeometrisch bedingten Auswirkungen in Knotenpunktbereichen) durch überlange Lastzugkombinationen ergibt sich in erster Linie in Ein- und Ausfahrtbereichen an Autobahnanschlussstellen sowie in Verflechtungsbereichen an Autobahndreiecken und -kreuzen, bei Kreuzungen und Einmündungen mit und ohne Lichtsignalanlagen im nachgeordneten Straßennetz, an Bahnübergängen sowie beim Überholen auf einbahnigen Landstraßen

### 6.2 Autobahnen und autobahnähnliche Straßen

Um zu einer Abschätzung der Wirkung auf den Verkehrsfluss auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen zu gelangen, kann eine Untersuchung über die Integrationsmöglichkeiten automatischer Lkw-Konvois in den vorhandenen Verkehr auf Bundesautobahnen herangezogen werden [49]. Ziel dieser Untersuchung war es aufzuzeigen, bei welcher Verkehrsbelastung ein Konvoibetrieb ohne Beeinträchtigung des übrigen Verkehrs auf Autobahnen möglich ist. Außerdem wurden auch Verkehrsabläufe an Ein- und Ausfahrten betrachtet.

Die kleinste Konvoiklasse ist die Kombination eines Lkw mit Anhänger mit einem Sattelzug inklusive 10 m Abstand zwischen den Fahrzeugen. Daraus ergibt sich eine Gesamtlänge von 43,50 m. Die größte Konvoiklasse 7 beinhaltet 4 Lkw mit Anhänger und 3 Sattelzüge (178,50 m). Mittels einer Simulationsuntersuchung wurde ein wahrscheinliches Konvoiszenario (Verteilung der Lkw im Konvoibetrieb auf die Konvoiklassen) für unterschiedliche Nutzungsgrade (Anteil der Schwerfahrzeuge, die im Konvoi fahren: 10 %, 20 %, 50 %) und unterschiedliche Schwerverkehrsanteile (Anteil des Schwerverkehrs am Gesamtverkehrsaufkommen: 10 %, 20 %) untersucht.

Für **Autobahnabschnitte** außerhalb von Knotenpunkten wurden sowohl auf ebenen Strecken als auch an Steigungsstrecken ( $s > 2\%$ ) keine negativen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf festgestellt. Für hohe Nutzungsgrade (50 %) und hohe Verkehrsstärken wurden sogar geringe Reisezeitgewinne für Pkw ermittelt.

Für die Bewertung der Auswirkungen an **Anschlussstellen** wurden ebenfalls Simulationsuntersuchungen an einer Anschlussstelle mit einstreifiger Einfahrt (Typ E1 [50, 51]) und einer einstreifigen Ausfahrt (Typ A1) durchgeführt.

Für **Einfahrten** zeigten sich nur bei hohen Schwerverkehrsanteilen und hohen Verkehrsbelastungen niedrigere durchschnittliche Pkw-Geschwindigkeiten; insbesondere aber bei geringen Nutzungsgraden, was darauf hinweist, dass dieser Effekt nicht konvoibedingt ist.

Bezüglich der Verkehrssicherheit bei zweistreifigen Richtungsfahrbahnen (ausgedrückt durch den Anteil der Time-to-collision-Werte (TTC)  $< 2$  s) zeigten sich Hinweise darauf, dass vor allem bei hohen Einfädelungsverkehrsstärken und hohen Nutzungsgraden die Anzahl der kritischen Fahrmanöver ansteigt. Im Durchschnitt lagen die kritischen Fahrmanöver an Einfahrten mit Konvoibetrieb um rund ein Drittel höher als ohne Konvoibetrieb. Bei dreistreifigen Richtungsfahrbahnen zeigen sich diese Effekte weniger ausgeprägt.

An **Ausfahrten** ergaben die Untersuchungen, dass die Konvois in Bezug auf die Verkehrssicherheit keinen wesentlichen Einfluss haben. Hinsichtlich des Verkehrsablaufs zeigte sich jedoch, dass mit Konvois das Geschwindigkeitsniveau auf dem rechten Fahrstreifen häufig unterhalb des Niveaus ohne Konvoibetrieb liegt. Erklärt wird dies dadurch, dass Pkw-Fahrer zur Vermeidung kritischer Fahrmanöver frühzeitig den rechten Fahrstreifen hinter dem Konvoi befahren. Insbesondere bei hohen Ausfahrtsverkehrsstärken auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen verursacht dies eine deutliche Senkung des Pkw-Geschwindigkeitsniveaus auf dem Hauptfahrstreifen, was zu einer entsprechenden Erhöhung der Reisezeiten führt. Auch hier sind diese Auswirkungen an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen weniger deutlich zu beobachten.

Da die neuen Lastzugkombinationen deutlich kürzer sind als Konvois, kann davon ausgegangen werden, dass die neuen Lastzugkombinationen keine negativen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf haben. Ob die festgestellten positiven Auswirkungen auf die Reisezeiten (bei hohen Nutzungsgraden) unter bestimmten Bedingungen auf den Einsatz neuer Lastzugkombinationen übertragen werden können, muss bezweifelt werden, da mit Konvois Güter nochmals deutlich kompakter transportiert werden.

Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit könnten sich auch bei Einsatz der neuen Lastzugkombinationen zeigen, insbesondere im Bereich von Einfahrten und Ausfahrten. In welchem Ausmaß kritische Fahrmanöver ansteigen würden und ob in der Folge vermehrt Unfälle auftreten, kann jedoch nicht abschließend beantwortet werden.

### **6.3 Einmündungen und Kreuzungen mit und ohne Lichtsignalanlagen im nachgeordneten Straßennetz**

Auswirkungen auf den Verkehrsablauf an Einmündungen und Kreuzungen im nachgeordneten Straßennetz ergeben sich in erster Linie durch die größere Fahrzeuglänge und den dadurch zusätzlich benötigten Zeitbedarf, um die Konfliktfläche eines Knotens zu räumen.

An **signalisierten Knoten** ist diese Problematik hinsichtlich der Verkehrssicherheit weniger gravierend, da hier die Steuerung auf die längeren Räumzeiten – mit Ausnahme von nicht gesicherten Linksabbiegern – angepasst werden kann. Dies hätte jedoch erhebliche Auswirkungen auf die zur Verfügung zu stellenden Räumzeiten, da diese grundsätzlich länger dau

ern müssten, auch wenn der Anteil der neuen Lastzugkombinationen gering wäre. Dies wiederum hätte erheblichen negativen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit signalisierter Knoten

**An unsignalisierten plangleichen Kreuzungen und Einmündungen** kommt der Räumzeit ebenfalls eine erhebliche Bedeutung für den Verkehrsablauf sowie der Verkehrssicherheit zu. Durch die größere Fahrzeuglänge benötigt eine Lastzugkombination mit 25,25 m bei einem mittleren Beschleunigungswert von  $0,5 \text{ m/s}^2$  über eine Sekunde länger als ein Gliederzug mit 18,75 m, um die Konfliktfläche einer Kreuzung mit einem Fahrstreifen je Zufahrt zu räumen.

Für Überlegungen zum Verkehrsablauf beziehungsweise zu Kapazitätsbetrachtungen im Zusammenhang mit längeren Lastzugkombinationen sind die Anfahrsicht<sup>3</sup> sowie die Grenzzeitlücke<sup>4</sup> maßgebliche Kennwerte. Die für Lastzüge ermittelten Grenzzeitlücken [52] für das Kreuzen beziehungsweise Einbiegen in die übergeordnete Straße sind bei den gegebenen Anfahrsichtweiten in der Regel kaum einzuhalten. Dies heißt, dass bevorrechtigte Kraftfahrzeuge abbremsen müssen, um eine Kollision zu vermeiden. Sollen die Ausgangsbedingungen für den bevorrechtigten Strom beibehalten werden (also time to collision (TTC) = konstant), müssten längere Fahrzeuge eine entsprechend längere Zeitlücke abwarten. Die Zeitlücken im Hauptstrom nehmen jedoch mit zunehmender Verkehrsstärke ab. In der Folge nimmt die Kapazität des nachgeordneten Stroms ab. Die Akzeptanz geringerer TTC-Werte hätte negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit (vergleiche Abschnitt 7.2.2).

## 6.4 Bahnübergänge

Die Problematik an Bahnübergängen ist mit der an Knotenpunkten vergleichbar. Durch die größeren Fahrzeuglängen sind die Räumzeiten für den Gleisbereich entsprechend länger. Eine vorhandene Signalisierung und Schrankensteuerung muss darauf abgestimmt werden. Mit der Zulassung längerer Fahrzeuge geht somit eine Verlängerung der Sperrzeiten einher.

Bei unbeschränkten Bahnübergängen sind entsprechende Sichtweiten für den kreuzenden Verkehr freizuhalten. Die Räumzeit ist von der gefahrenen Geschwindigkeit und der Fahrzeuglänge abhängig. Bei einer angenommenen Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h verlängert sich die Räumzeit gegenüber einem Lastzug (18,75 m) um ca. 1 Sekunde.

Differenzierter ist die Situation zu bewerten, wenn an unbeschränkten Bahnübergängen die derzeit diskutierte Kombination von Zeichen 201 (Andreaskreuz) und Zeichen 206 (Halt!

<sup>3</sup> Die Anfahrsicht ist die Sichtweite, die einem vor dem Fahrbahnrand der übergeordneten Straße wartenden Kraftfahrer zur Verfügung stehen muss, um mit einer zumutbaren Behinderung der bevorrechtigten Kraftfahrzeuge aus dem Stand in die übergeordnete Straße einfahren zu können. Diese Anfahrsicht ist in den technischen Regelwerken (RAS K1, [43]) mit 110 m für  $v_{zul}=70 \text{ km/h}$  beziehungsweise 200 m für  $v_{zul}=100 \text{ km/h}$  angegeben (für Straßen mit großem Anteil einbiegender Schwerlastfahrzeuge sogar 175 m beziehungsweise 300m).

<sup>4</sup> Der aus der Kapazitätsermittlung von Fahrzeugströmen kommende Grenzzeitlückentheorie liegt folgende Überlegung zugrunde: Ein Fahrzeug fährt nur dann in einen Nebenstrom ein (oder kreuzt diesen), wenn eine ausreichend große Lücke vorhanden ist. Die Grenzzeitlücke ist die im Mittel (oder Median) kleinste annehmbare Lücke und wird empirisch ermittelt [52, 53]. Die Grenzzeitlücke für Lastzüge liegt für  $v_{zul}=100 \text{ km/h}$  zwischen 10,6 s für das Linksabbiegen aus der Hauptverkehrsstraße und 14,6 s für das Linkseinbiegen in die Hauptverkehrsstraße. Für  $v_{zul}=70 \text{ km/h}$  sind die Werte entsprechend geringer zwischen 6 s und 9 s [52].

Vorfahrt gewähren) angeordnet wird.<sup>5</sup> Zwar liegt auch hier der Zeitmehrbedarf längerer Lastzugkombination zum Räumen der Konfliktfläche bei ca. 1,0 - 1,5 Sekunden. Durch das Anfahren aus dem Stand sind die anzusetzenden Räumzeiten jedoch grundsätzlich 2 bis 3 mal so hoch. Um diese Räumzeiten zu gewährleisten, sind deutlich größere Sichtweiten freizuhalten, welche bei Einsatz von längeren Lastzugkombinationen zusätzlich noch größer zu wählen wären. Ob derart große Entfernungen von Fahrzeugführern richtig eingeschätzt werden können, kann derzeit nicht beurteilt werden.

Diese Problematik wird in dem derzeit laufenden Pilotversuch in den Niederlanden dadurch gelöst, dass Strecken mit Bahnübergängen von den Lastzugkombinationen nicht befahren werden dürfen.

## 6.5 Überholen

Durch die größere Fahrzeuglänge ist ein entsprechend höherer Zeitbedarf für den Überholvorgang anzusetzen. Soll ein mit 60 km/h (zulässige Höchstgeschwindigkeit außerhalb geschlossener Ortschaften für Kraftfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 7,5 t; StVO §3, Absatz 3, Satz 2b) fahrender Lastkraftwagen durch ein dahinter fahrendes Fahrzeug des Personenverkehrs überholt werden, ist bei 25,25 m langen Fahrzeugen mit einem Zeitmehrbedarf von ca. 0,8 s gegenüber herkömmlichen Sattelzügen zu rechnen.<sup>6</sup> Bei einer Fahrgeschwindigkeit des Gegenverkehrs von 100 km/h ist dabei eine zusätzliche Sichtweite von mindestens 50 m notwendig, um einen Überholvorgang gefahrlos abschließen zu können.

## 6.6 Weitere Überlegungen hinsichtlich des Verkehrsablaufs

Eine weitere Konsequenz der Überlegungen zum Verkehrsablauf betrifft die zulässige Höchstgeschwindigkeit beziehungsweise die zu fahrende Geschwindigkeit von neuen Lastzugkombinationen. Um den Verkehrsablauf nicht erheblich zu stören, muss gewährleistet sein, dass die entsprechenden Fahrzeuge in der Lage sind, die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten des Schwerverkehrs – insbesondere auch an Steigungsstrecken – zu erreichen. Kann dies nicht gewährleistet werden, würde das zu einem Anstieg der Überholvorgänge durch herkömmliche Lastzüge, und damit zur erheblichen Verminderung der Kapazität und der Verkehrsqualität auf Autobahnen führen.

Eine klare Definition der Anforderungen an die Leistung des Fahrzeugs sowie an die notwendige Anzahl und Anordnung von Antriebsachsen wird auch aus diesen Gründen für unbedingt erforderlich angesehen.

<sup>5</sup> Bundestagsbeschluss, diese Kombination als Möglichkeit in der StVO umzusetzen

<sup>6</sup> Bei einer konstanten Beschleunigung des Pkw von  $a = 1 \text{ m/s}^2$

## 6.7 Zusammenfassung

Hinsichtlich des Verkehrsablaufes sind durch den Einsatz neuer, längerer Lastzugkombinationen auf Autobahnen keine gravierenden Probleme zu erwarten. Bezogen auf die höheren Fahrzeuggewichte müssen neue Lastzugkombinationen jedoch entsprechend motorisiert sowie mit zuverlässigen Bremsanlagen ausgerüstet sein, um an Steigungs- und Gefällestrecken den Verkehrsfluss nicht erheblich zu stören.

Im nachgeordneten Straßennetz sind negative Auswirkungen durch den Einsatz neuer, längerer Lastzugkombinationen vor allem an unsignalisierten plangleichen Knotenpunkten sowie auf einbahnigen zweistreifigen Landstraßen zu erwarten. Durch die längeren Räumzeiten, die für das Abbiegen, Einbiegen und Kreuzen durch längere Lastzugkombinationen an Knotenpunkten und beim Passieren von Bahnübergängen durch längere Lastzugkombinationen benötigt werden, sind insbesondere negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit im nachgeordneten Straßennetz zu erwarten (vergleiche Abschnitt 7.2.2).

Beim Überholen von langen Lastzugkombinationen ist ein Zeitmehrbedarf von etwa 0,8 s anzusetzen. Auf die Strecke umgerechnet bedeutet dies eine zusätzlich benötigte Sichtweite von 50 m gegenüber dem Überholvorgang eines gängigen Sattelzuges.

Sollen längere Räumzeiten an signalisierten Knotenpunkten und an gesicherten Bahnübergängen in den Lichtsignalsteuerungen berücksichtigt werden, muss mit deutlichen Einbußen bei der Leistungsfähigkeit gerechnet werden.

## 7 Unfallgeschehen

### 7.1 Technische Fragestellungen

In Deutschland ereigneten sich im Jahr 2004 insgesamt 339.310 Unfälle mit Personenschäden. An ca. 10,8 % (36.525) dieser Unfälle waren Güterkraftfahrzeuge beteiligt. Als Güterkraftfahrzeuge zählen alle Liefer- und Lastkraftwagen sowie Sattel- und andere Zugmaschinen. Der Großteil der unfallbeteiligten Güterkraftfahrzeuge sind Kleintransporter und kleinere Lkw bis 12 t zulässigem Gesamtgewicht. Lediglich an 3,5 % aller Unfälle mit Personenschäden waren Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs (Güterkraftfahrzeuge mit mehr als 12 t zGG) beteiligt (11.914).

Es ist davon auszugehen, dass sich die Fahrzeugflotte mit dem Angebot an neuen Lastzugkombinationen in seiner Zusammensetzung und Struktur ändern wird. Welche Wirkung auf die Verkehrssicherheit die Einführung neuer Lastzugkombinationen haben wird, kann erst dann abgeschätzt werden, wenn hinreichend differenzierte Erkenntnisse oder Annahmen über Umfang und Art des Einsatzes dieser neuen Lastzugkombinationen sowie daraus resultierende Auswirkungen auf die Struktur des Güterkraftverkehrs, auf die Transportleistung und auf den Modal Split vorliegen. Für die Abschätzung von Unfallrisiken sind insbesondere Kenntnisse über Veränderungen der Flottenstruktur sowie der Fahrleistungen wichtige Eingangsgrößen.

Folgende Überlegung verdeutlicht diesen Zusammenhang: Bei einer angenommenen gleichbleibenden Transportleistung und gleicher Auslastung der Fahrzeuge könnten neue Lastzugkombinationen durch höhere Nutzlasten und größeres Volumen eine bestimmte Anzahl bisheriger 40-Tonnen-Fahrzeuge ersetzen, wodurch weniger Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs im Fernverkehr im Einsatz auf der Straße wären. Wenn anstelle des bisher mit den herkömmlichen Fahrzeugen möglichen direkten Quelle-Ziel-Verkehrs aufgrund der größeren Fahrzeugabmessungen die neuen Lastzugkombinationen ausschließlich zwischen autobahnnahe Güterverteilzentren verkehren können, stünde den Einsparungen von Fahrzeugen und Fahrleistungen im Güterfernverkehr ein entsprechender Zuwachs im regionalen und kleinräumigen Verteilerverkehr durch kleinere Fahrzeuge gegenüber. Die Auswirkungen neuer Lastzugkombinationen auf die Verkehrssicherheit und das Unfallgeschehen sind also davon abhängig, in welcher Weise und in welchem Ausmaß das Gesamtsystem Gütertransport dadurch verändert wird. Grundsätzlich muss daher angenommen werden, dass sich mögliche Veränderungen im Unfallgeschehen auf das Gesamtkollektiv der Unfälle mit Beteiligung von Güterkraftfahrzeugen beziehen werden.

Alternativ zur ex post-Analyse des realen Unfallgeschehen kann hinsichtlich der Wirkung neuer Lastzugkombinationen auf die Verkehrssicherheit anhand des heutigen Unfallgeschehens abgeleitet werden, bei welchen Unfallkollektiven beziehungsweise Unfallkonstellationen durch die Erhöhung der zulässigen Fahrzeuglängen und/oder -gewichte mit Auswirkungen auf das Unfallgeschehen und insbesondere die Unfallfolgen gerechnet werden muss. In dieser Betrachtung werden allerdings Veränderungen im Unfallgeschehen durch Veränderun

gen in der Flotte der Güterkraftfahrzeuge sowie ihrer Fahrleistungen ebenso wenig berücksichtigt, wie eine mögliche Abnahme der Unfallzahlen durch weniger Fahrzeuge bei isolierter Betrachtung des Bereiches der schweren Güterkraftfahrzeuge. Allerdings lässt die Bezifferung der so ermittelten Teilunfallkollektive eine Abschätzung zu, in welchem Ausmaß diese Unfallkollektive beziehungsweise Unfallkonstellationen bereits heute ein relevantes Verkehrssicherheitsproblem darstellen.

## 7.2 Relevantes Unfallgeschehen in Bezug auf neue Lastzugkombinationen

Die folgende Analyse der aktuellen Unfallstatistik soll dazu beitragen, die Unfallkollektive und Unfallkonstellationen, die durch die Einführung neuer Lastzugkombinationen prinzipiell betroffen sein könnten, zu identifizieren und zu bewerten. Nicht betrachtet wird an dieser Stelle das durch die Einführung neuer Lastzugkombinationen potenziell beeinflusste Unfallkollektiv, das sich je nach Verlagerungswirkung (vergleiche oben genanntes Beispiel) möglicherweise auf den gesamten Güterkraftverkehr beziehen würde. Grundlage für Rückschlüsse aus der Betrachtung der relevanten Unfallkollektive auf die Verkehrssicherheitwirkung neuer Lastzugkombinationen ist folgende Prämisse:

*Es ist davon auszugehen, dass sich durch die Erhöhung des zulässigen Gesamtgewichtes und/oder der zulässigen Länge von Fahrzeugen beziehungsweise Fahrzeugkombinationen keine Risiken grundlegend neuer Art gegenüber den derzeitigen ergeben. Es ist allerdings auch davon auszugehen, dass eine Zunahme der Anzahl kritischer Verkehrssituationen durch größere Fahrzeuglängen, z.B. im Bereich von Verflechtungen, möglich ist und durch höhere Fahrzeuggewichte die Unfallschwere ausgewählter Unfallkollektive zunehmen kann.*

Die schwerwiegenderen Unfallfolgen sind dabei beispielsweise im Hinblick auf Auffahrunfälle sowie im Hinblick auf das Aufhaltevermögen von Schutzeinrichtungen von Bedeutung. (Derzeit gibt es nur wenige Systeme, die für den Fahrzeuganprall mit einem 38 t schweren Fahrzeug geprüft sind<sup>7</sup>. Die Auslegung von Schutzeinrichtungen auf den Anprall von 60 t, insbesondere im Bereich von Brücken ist als technisch sehr schwierig und kostenintensiv einzuschätzen. Eine Sicherung sowohl der Fahrzeugführer, der Ladung als auch von Dritten könnten nicht erfolgen).

Aufbauend auf der Identifikation der relevanten Unfallkollektive können für den Komplex der Sicherheitsbeurteilung von neuen Lastzugkombinationen neben fahrzeugspezifischen Anforderungen auch spezielle Anforderungen an die Fahrzeugführer – analog zu Gefahrguttransporten – abgeleitet werden, die gegebenenfalls zur Reduzierung des konzeptspezifischen Risikos beitragen können (Abschnitt 8).

<sup>7</sup> Bei einer Kollisionsgeschwindigkeit von 65 km/h und einem Anprallwinkel von 20°

Die Identifikation des relevanten Unfallkollektives erfolgt in mehreren Stufen und anhand mehrerer Unfallmerkmale, die alleine oder in Kombination Aufschluss über die Relevanz für die Einführung neuer Lastzugkombinationen geben.

### **7.2.1 Abgrenzung des relevanten Unfallkollektives nach unfallbeteiligten Fahrzeugen**

Der Güterkraftverkehr kann nach Fahrtzwecken in drei Gruppen eingeteilt werden. Die erste Gruppe ist die des inner- und überörtlichen Schnelllieferverkehrs bis ca. 50 km mit Kleintransportern und Lieferwagen. Hierzu gehören zum Großteil Güterkraftfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht bis zu 3,5 t. Eine weitere Gruppe ist der Güternahverkehr über Distanzen von ca. 100 bis 150 km, der großenteils mit Fahrzeugen bis 7,5 t, maximal bis 12 t abgewickelt wird. Zur dritten Gruppe schließlich gehört der Güterfernverkehr mit Fahrzeugen über 12 t zulässigem Gesamtgewicht und mit Distanzen über 150 km. Verlagerungspotenziale bei der Einführung neuer Lastzugkombinationen sind vor allem in dieser dritten Gruppe des Güterfernverkehrs zu sehen.

Für die Abgrenzung des Untersuchungskollektives sind folgende Überlegungen maßgebend:

- Für internationale Vergleiche bietet sich die Abgrenzung durch die Fahrzeugklasse N3 gemäß der Klassifizierung nach EG-Richtlinie 70/156/EWG „Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 12 t“ an.
- Als potenziell auf neue und leistungsfähigere (durch höhere Tonnagen beziehungsweise Volumina) Lastzugkombinationen verlagerungsfähige Transportgüter können all diejenigen gezählt werden, die aktuell mautpflichtig transportiert werden. Mautpflichtig sind derzeit alle Fahrten auf Bundesautobahnen mit schweren Nutzfahrzeugen eines zulässigen Gesamtgewichts ab 12 t. Die Gewichtsabgrenzung bezieht sich auf den gesamten Zug. Beim mautpflichtigen Gütertransport handelt es sich zum größten Teil um Fahrten im Güterfernverkehr auf Bundesautobahnen mit Transportdistanzen von über 150 km.
- Bei der Analyse von Unfalldaten der amtlichen Unfallstatistik ist zu beachten, dass es sich bei den fahrzeugtechnischen Angaben zu den Unfallbeteiligten um eine Ergänzung der Unfalldaten bei deutschen Fahrzeugen durch das Kraftfahrtbundesamt handelt. Dadurch bezieht sich die Angabe zum zulässigen Gesamtgewicht des Unfallbeteiligten nicht auf die gesamte Fahrzeugkombination, sondern nur auf das Motorfahrzeug. Bei unfallbeteiligten Sattelzügen heißt das, dass die Angaben zum zulässigen Gesamtgewicht lediglich das Fahrzeuggewicht der Sattelzugmaschine plus das maximal zulässige Auflagegewicht an der Sattelkupplung angibt. Eine Sattelzugmaschine mit 12 t zulässigem Gesamtgewicht kann als Sattelzug mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 40 t gefahren werden. Allerdings sind diese leichteren Sattelzugmaschinen in der Regel nur für ein Zuggesamtgewicht von max. 28 t zugelassen. Bei einem Lkw mit 12 t zulässigem Gesamtgewicht ist ein Gliederzug von max. 30 t möglich. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist die fehlende Ergänzung von fahrzeugtechnischen Angaben bei ausländischen Güterkraftfahrzeugen.

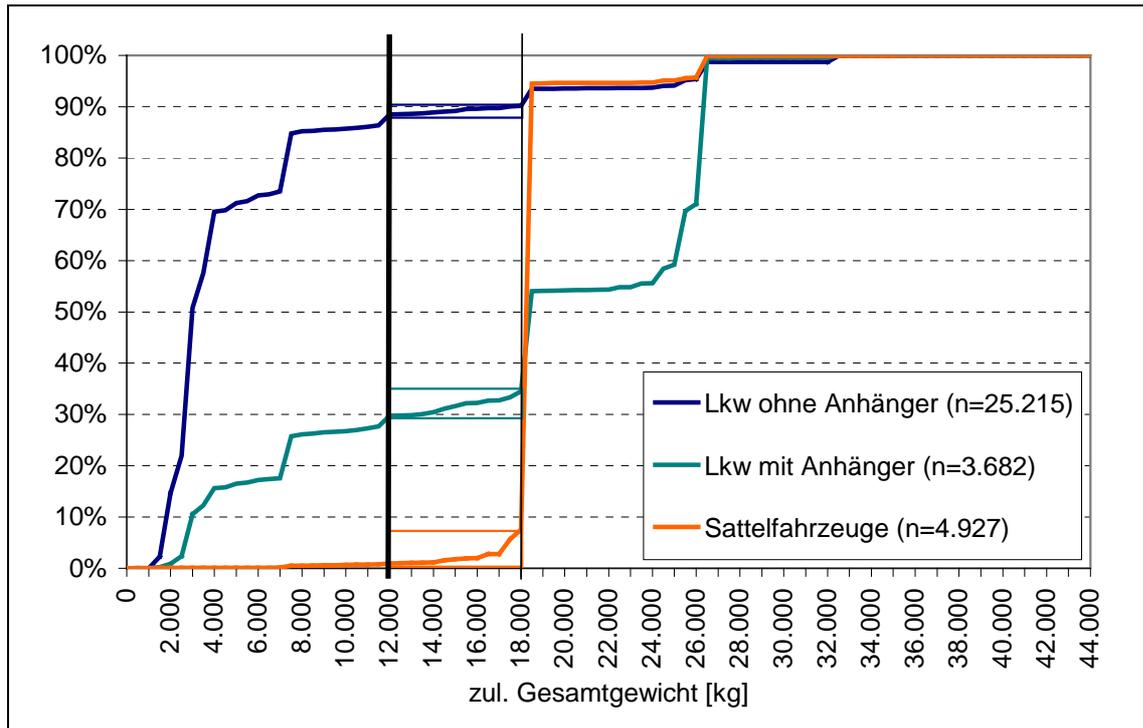


Abbildung 7.1: Summenkurven der unfallbeteiligten Güterkraftfahrzeuge nach zulässigem Gesamtgewicht des Motorfahrzeuges

Angesichts der angestellten Überlegungen wird die Abgrenzung „>12 t“ für sinnvoll erachtet. Zusätzlich sollen auch alle ausländischen sowie andere Sattelzugmaschinen ohne Angaben zum zulässigen Gesamtgewicht in die Betrachtung mit einbezogen werden, da hier in der Regel davon auszugehen ist, dass es sich um Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs handelt. Die Summenkurve der unfallbeteiligten Sattelzugmaschinen nach zulässigem Gesamtgewicht in Abbildung 7.1 bestätigt dies, da das Teilkollektiv der Sattelzüge zwischen 12 und 18 t vernachlässigbar klein ist. Für unfallbeteiligte Lastkraftwagen mit und ohne Anhänger zeigt sich ein größerer Anteil von Fahrzeugen unter 12 t als bei den Sattelfahrzeugen. Allerdings ist auch hier das Teilkollektiv zwischen 12 und 18 t zu vernachlässigen.

**Konvention:**

Für den Bereich der Analyse des aktuellen Unfallgeschehens sind als „relevante Fahrzeuge“ diejenigen Güterkraftfahrzeuge mit zulässigem Gesamtgewicht über 12 t sowie ausländische Sattelzugmaschinen und Sattelzugmaschinen ohne Angabe zum zulässigen Gesamtgewicht zu verstehen.

Für die Abschätzung eines durch die Einführung von neuen Lastzugkombinationen beeinflussten Unfallkollektives werden die Unfälle mit Beteiligung mindestens eines relevanten Fahrzeuges als das relevante Unfallkollektiv bezeichnet.

In dem relevanten Unfallkollektiv lassen sich wie oben beschrieben Teilkollektive identifizieren, die entweder häufigkeitsrelevant oder unfallschwererelevant oder möglicherweise beides sind. Dabei zeigt sich bis auf wenige Ausnahmen eine Zuordnung der größeren Fahrzeuglänge als häufigkeitswirksam, sowie der höheren zulässigen Gesamtgewichte als unfallschwererelevant. Die Analyse der im Folgenden zu betrachtenden Teilkollektive erfolgt auf der Grundlage der in der amtlichen Unfallstatistik enthaltenen Unfallmerkmale:

- Anzahl der Unfallbeteiligten
- Unfalltyp (Er beschreibt die Konfliktsituation, die zum Unfall führte, d.h. die Phase des Verkehrsgeschehens, in der ein Fehlverhalten oder eine sonstige Ursache den weiteren Ablauf nicht mehr kontrollierbar machte. Im Gegensatz zur Unfallart geht es also beim Unfalltyp nicht um die Beschreibung der wirklichen Kollision, sondern um die Art der Konfliktauslösung vor einem eventuellen Zusammenstoß.)
- Unfallart (Sie beschreibt vom gesamten Unfallablauf die Bewegungsrichtung der beteiligten Fahrzeuge zueinander beim ersten Zusammenstoß auf der Fahrbahn oder, wenn es nicht zum Zusammenstoß gekommen ist, die erste mechanische Einwirkung auf einen Verkehrsteilnehmer.)
- Unfallursachen (Sie werden von den unfallaufnehmenden Beamten entsprechend ihrer Einschätzung am Unfallort aufgenommen. Neben den allgemeinen Unfallursachen die den Unfällen und nicht den einzelnen Beteiligten zugeordnet werden, können je Unfall bis zu sechs „personenbezogene Fehlverhalten“ angegeben werden. Beim ersten Beteiligten (Hauptverursacher) sowie einem weiteren Beteiligten sind jeweils bis zu drei Angaben möglich.)
- Charakteristik der Unfallstelle (Bei der Unfallaufnahme durch die Polizei können maximal drei Angaben zur Charakteristik der Unfallstelle – Einmündung, Kreuzung, Ein-/Ausfahrt, Steigung, Gefälle, Kurve – aufgenommen werden)

### **7.2.2 Abgrenzung des häufigkeitsrelevanten Unfallkollektives**

Elemente des häufigkeitsrelevanten Unfallkollektives sind diejenigen Unfälle, die als Resultat von solchen kritischen Verkehrssituationen zu bewerten sind, die durch höhere Fahrzeuggewichte oder größere Fahrzeuglängen in ihrer Anzahl ansteigen können. Bis auf eine Ausnahme handelt es sich hierbei um Unfälle mit mindestens 2 Beteiligten. Als häufigkeitsrelevant werden folgende Unfälle bewertet:

- **Unfälle im Bereich von Autobahnanschlüssen, -dreiecken und -kreuzen.** Durch die größere Fahrzeuglänge kann es im Bereich von Ein- und Ausfahrten sowie im Verflechtungsbereich zu kritischen Verkehrssituationen kommen, wenn gleich Störungen im Verkehrsfluss quantitativ kaum nachweisbar sind (vergleiche Abschnitt 5.7).



Abbildung 7.2: Beispiel für kurzen Verflechtungsbereich an einem Autobahnknoten

- **Unfälle im Bereich von Einmündungen und Kreuzungen mit Unfalltyp Abbiegen (Typ 2) oder Einbiegen/Kreuzen (Typ 3).** Dies gilt vor allem an unsignalisierten Knotenpunkten, da bei signalisierten Knotenpunkten die Steuerung auf die längeren Räumzeiten der neuen Lastzugkombinationen abgestimmt werden könnten. Wie in Abschnitt 6.2 beschrieben, dürften längere Fahrzeuge nur in längere Zeitlücken

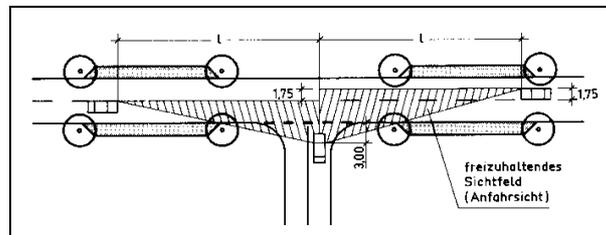


Abbildung 7.3: Anfahrtsichtweite an unsignalisierten Landstraßenknoten

einfahren, um die Ausgangsbedingungen für den bevorrechtigten Strom beizubehalten (TTC = konstant). Da diese langen Zeitlücken mit zunehmender Verkehrsstärke des Hauptstroms abnehmen, ist davon auszugehen, dass kürzere Zeitlücken genutzt werden, d.h. die TTC-Werte für längere Fahrzeuge kleiner werden. Diese Überlegung gilt analog auch für das Kreuzen bevorrechtigter Verkehrsströme sowie für Linksabbiegevorgänge. Daraus wiederum kann geschlossen werden, dass bei längeren Fahrzeugen die Anzahl der kritischen Situationen beim Einbiegen, Kreuzen und Abbiegen zunehmen und damit die Zahl der Unfälle dieses Typs eher steigt.

- **Unfälle an Bahnübergängen.** Hier kommt dasselbe Problem zum Tragen, wie bei vorgenanntem Punkt. Durch die größeren Fahrzeuglängen sind die Räumzeiten für den Gleisbereich entsprechend länger. Eine vorhandene Signalisierung und Schrankensteuerung muss darauf abgestimmt werden. Bei unbeschränkten Bahnübergängen ist eine entsprechende Sichtweite erforderlich. (Diese Problematik wird in dem derzeit laufenden Pilotversuch in den Niederlanden dadurch gelöst, dass Strecken mit Bahnübergängen von den Lastzugkombinationen nicht befahren werden dürfen.)
- **Unfälle, die auf Fehler beim Überholen (Unfallursache 17-22) zurückzuführen sind und bei denen das relevante Fahrzeug nicht Hauptverursacher war.** Durch die größere Fahrzeuglänge und den entsprechend höheren Zeitbedarf für den Überholvorgang

ist die Gefahr der Fehleinschätzung erheblich höher anzunehmen. Soll ein mit 60 km/h fahrender Lkw durch ein dahinter fahrendes Fahrzeug überholt werden, ist bei 25,25 m langen Fahrzeugen mit einem Zeitmehrbedarf von ca. 0,8 s gegenüber herkömmlichen Sattelzügen zu rechnen.<sup>8</sup>

- **Unfälle, bei denen es – insbesondere auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen – zum Durchbruch der Schutzeinrichtung kommt.** Die Gefahr des Durchbruchs der Schutzeinrichtung im Mittelstreifen infolge der höheren Fahrzeugmassen und / oder Mehrgliedrigkeit des Anpralls ist als deutlich erhöht zu bewerten. Bei Durchbrüchen im Mittelstreifen handelt es sich in der Regel um besonders schwere Unfälle, da hierbei meist Kollisionen mit Fahrzeugen der Gegenrichtung erfolgen. Gegenwärtig sind im Mittelstreifen größtenteils Schutzeinrichtungen der Aufhaltstufe H1 (Anprallversuch mit 10 t LKW, 70 km/h und 15° Anprallwinkel) vorhanden, im Zuge von Um- und Neubaumaßnahmen werden diese auf Schutzeinrichtungen der Aufhaltstufe H2 (Anprallversuch mit 13 t Bus 70 km/h und 20° Anprallwinkel) umgerüstet. Bei schmalen Mittelstreifen besteht darüber hinaus die Gefahr, dass Fahrzeuge z.B. an Brückenpfeiler anprallen und dies aufgrund der höheren Anprallenergie (Fahrzeugmasse) zu einer Gefährdung der Standicherheit des Bauwerks bis hin zur Einsturzgefahr führen kann. An Stellen, an denen neben der Fahrbahn von einer besonderen Gefährdung Dritter (z.B. explosionsgefährdete Chemieanlagen, einsturzgefährdete Bauwerke) auszugehen ist, werden derzeit Schutzeinrichtungen der Aufhaltstufe H2 beziehungsweise bei erhöhter Abkommenswahrscheinlichkeit und einem hohen Schwerverkehrsanteil H4b (s.u.) gefordert. Dies gilt ebenso für Straßen im Bereich von Wasserschutzgebieten sowie für Stellen, an denen von einer besonderen Gefährdung Dritter auszugehen ist, z.B. bei Brücken über intensiv bebautem Gebiet. Diese Schutzeinrichtungen der Aufhaltstufe H4b sind in der Lage, einen 38 t-Sattelzug bei einem Anprallwinkel von 20° und einer Anprallgeschwindigkeit von 65 km/h aufzuhalten. Für den Einsatz auf Brücken stehen Schutzeinrichtungen der Aufhaltstufe H4b erst seit 2003 zur Verfügung. Hier müssen sie unter den genannten Prüfbedingungen Fahrzeuge aufhalten, ohne dass die in die Brücke eingeleiteten Kräfte zu einer Beschädigung der Brückenkonstruktion (beispielsweise Versagen des Kragarms) führen. Die Gefahr des Durchbruchs der Schutzeinrichtungen infolge der höheren Fahrzeuggewichte und / oder Mehrgliedrigkeit des Anpralls ist auch hier als deutlich erhöht zu bewerten. Bei Durchbrüchen kommt es dann zu einer besonderen Gefährdung Dritter. Darüber hinaus muss damit gerechnet werden, dass beim Anprall (auch an noch stärkere Schutzeinrichtungen) deutlich höhere Kräfte in die Brückenkonstruktion eingeleitet werden, die beispielsweise zum Versagen des Kragarms führen können. Hierbei ist zu beachten, dass es sich bei der Frage der Absturzsicherung sowohl am Fahrbahnrand als auch am Brückenrand um eine punktuelle Fragestellung mit einer besonderen Gefährdung Dritter handelt, während sich die Durchbruchproblematik im Mittelstreifen linienhaft auf das gesamte Autobahnnetz bezieht. Die Entwicklung von Schutzeinrichtungen, die in der Lage sind, 60 t-Fahrzeuge aufzuhalten und dabei an den vorhandenen Straßen errichtet

<sup>8</sup> Bei einer konstanten Beschleunigung des Pkw von  $a = 1 \text{ m/s}^2$

werden können (vorhandener Raum für die Schutzeinrichtung und deren Verformungsraum), ist als sehr schwierig und kostenintensiv einzuschätzen.

- **Unfälle im Bereich von Arbeitsstellen insbesondere auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen.** Durch die höheren Flächenanforderungen bei Kurvenfahrten können in Überleitungsbereichen kritische Situationen auftreten. Eine bislang ungeklärte Frage ist die Spurhaltefähigkeit der neuen Lastzugkombinationen, was für die beengte Verkehrsführung in Arbeitsstellen (2,50 m + 3,25 m) von besonderer Bedeutung ist.
- **Unfälle mit Beteiligung von ungeschützten Verkehrsteilnehmern, insbesondere innerorts.** Durch den höheren Flächenbedarf bei Kurvenfahrt – vor allem beim Rechtsabbiegen – sowie der größeren Fahrzeuglänge ist die Übersicht des Fahrers über den Aktionsradius seines Fahrzeuges in geringerem Maße gegeben als bisher.

### 7.2.3 Abgrenzung des unfallschwererelevanten Unfallkollektives

Elemente des unfallschwererelevanten Unfallkollektives sind diejenigen Unfälle, bei denen aufgrund der höheren Fahrzeugmassen oder der größeren Fahrzeuglängen von einer Zunahme der Unfallschwere – insbesondere bei den Unfallgegnern – auszugehen ist.

Als unfallschwererelevant werden folgende Unfälle bewertet:

- **Auffahrunfälle, bei denen das relevante Fahrzeug auf ein anderes Fahrzeug auffuhr.** Aufgrund des größeren Gewichtes der neuen Lastzugkombinationen ist insbesondere bei Auffahrunfällen am Stauende mit erheblich höheren Unfallfolgen der ohnehin schon meist schweren Unfälle auszugehen. Aber auch bei Auffahrunfällen im fließenden Verkehr wirkt sich das höhere Fahrzeuggewicht negativ auf die zu erwartenden Unfallfolgen aus.
- **Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn, insbesondere mit Anprall gegen die Schutzeinrichtung auf Autobahnen.** Sowohl bei Unfällen mit zwei oder mehr Beteiligten als auch bei Alleinunfällen relevanter Fahrzeuge mit der Unfallart „Abkommen von der Fahrbahn“ kommt es oftmals nachfolgend zu einem Anprall an Schutzeinrichtungen. Dabei ist die Gefahr des Durchbruchs der Schutzeinrichtung durch das höhere Fahrzeuggewicht und / oder die Mehrgliedrigkeit des Anpralls deutlich erhöht (siehe dazu auch Abschnitt 7.2.2).
- **Unfälle, bei denen es zum Zusammenstoß des relevanten Fahrzeuges mit einem entgegenkommenden Fahrzeug kommt.** Dies gilt für alle Straßen ohne Fahrtrichtungstrennung, sowie das Gros der Arbeitsstellen auf Autobahnen.

Für die Bewertung der weiteren Ausführungen ist zu beachten, dass es sich in den beiden Teilkollektiven nicht um disjunkte Teilkollektive handelt, da einzelne Unfallkonstellationen sowohl häufigkeits- als auch unfallschwererelevant sind. Eine Aufsummierung von einzelnen Teilkollektiven ist daher unzulässig (vergleiche Abbildung 7.4).

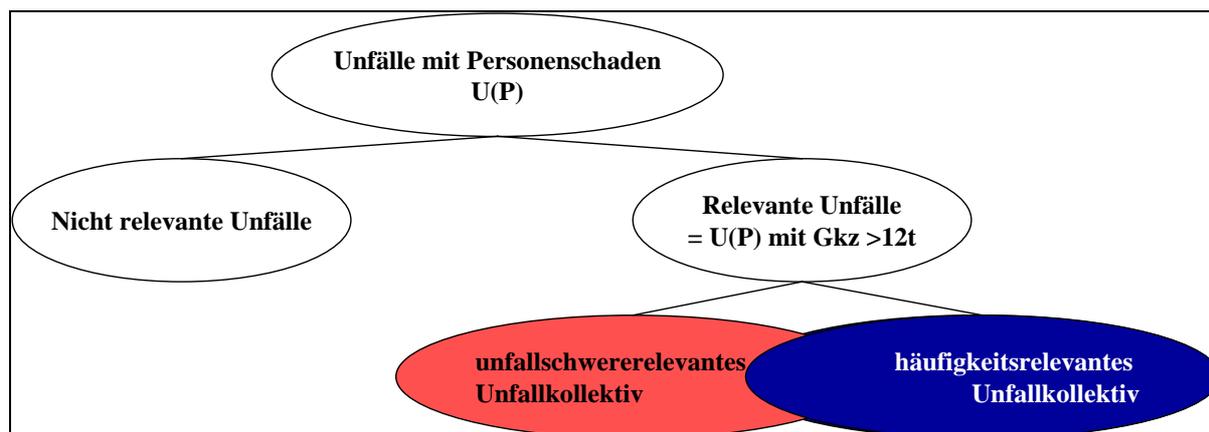


Abbildung 7.4: Betrachtete Unfallkollektive

### 7.3 Auswertung von Unfallanzahl und Unfallschwere im relevanten Unfallkollektiv

Für die folgenden Ausführungen wurde auf die amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik von Deutschland zurückgegriffen. Weitere Quellen sind zwei Untersuchungen, die das Unfallgeschehen und die Unfallursachen von Güterkraftfahrzeugen untersuchten [54, 55].

	innerorts			außerorts ohne BAB			BAB			Gesamt		
	alle U(P) n	relevante U(P) n	%	alle n	relevante U(P) n	%	alle n	relevante U(P) n	%	alle n	relevante U(P) n	%
U(P)	223.314	4.273	1,9	94.538	3.653	3,9	21.458	3.988	18,6	339.310	11.914	3,5
dabei												
Getötete	1.484	155	10,4	3.664	313	8,5	694	255	36,7	5.842	723	12,4
schwer Verletzte	39.701	964	2,4	34.991	1.388	4,0	6.109	1.510	24,7	80.801	3.862	4,8
leicht Verletzte	232.335	4.205	1,8	100.072	3.602	3,6	26.918	4.399	16,3	359.325	12.206	3,4

Tabelle 7.1: Alle Unfälle U(P) und Unfälle mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen im Jahr 2004 nach Ortslagen

Im Jahr 2004 ereigneten sich in Deutschland 339.310 Unfälle mit Personenschaden. Davon waren ca. 10,8 % (36.525) Unfälle mit Beteiligung von Güterkraftfahrzeugen allgemein und ca. 3,5 % (11.914) Unfälle mit Beteiligung relevanter Fahrzeuge (schwere Güterkraftfahrzeuge (zGG > 12t) oder Sattelzugmaschinen). Bei Unfällen mit relevanten Fahrzeugen wurden 723 Personen getötet, 3.862 schwer und 12.206 leicht verletzt. Dies sind 12,4 % aller Getöteten, 4,8 % aller schwer Verletzten und 3,4 % aller leicht Verletzten im Jahr 2004. Die Unfälle mit Beteiligung relevanter Fahrzeuge sind fast gleichmäßig über die Ortslagen verteilt; 36 % der Unfälle ereigneten sich auf Innerortsstraßen, 31 % auf Landstraßen und 34 % auf

Autobahnen (Tabelle 7.1). Die Verteilung der Zahl der Getöteten auf die Ortslagen (43 % auf Landstraßen, 21 % innerorts und 35 % auf Bundesautobahnen) verdeutlicht die hohe Unfallschwere auf Landstraßen.

Obgleich es sich bei den Unfällen mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen um einen vergleichsweise kleinen Ausschnitt des gesamten Unfallgeschehens handelt, zeigt sich die Bedeutung des relevanten Kollektivs vor allem in den besonders schwer wiegenden Unfallfolgen. Die mittlere Unfallschwere dieser Unfälle ist außerorts etwa doppelt so hoch wie die aller Unfälle mit Personenschaden (Tabelle 7.2).

	Getötete pro 1.000 U(P)	
	alle U(P)	relevante U(P)
alle Unfälle mit Personenschaden (P)	17	60
dabei: innerorts	7	36
außerorts ohne BAB	39	85
auf BAB	32	63

*Tabelle 7.2: Unfallschwere (Getötete pro 1.000 U(P)) von allen Unfällen mit Personenschaden und von Unfällen mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen im Jahr 2004 nach Ortslagen*

**Unfälle im Bereich von Autobahnanschlussstellen, -dreiecken und -kreuzen:** Als Unfälle im Bereich von Autobahnanschlussstellen, -dreiecken und -kreuzen lassen sich in der amtlichen Statistik diejenigen Unfälle abgrenzen, bei denen als Unfallstellencharakteristik „Einmündung“ angegeben ist. Im Jahr 2004 ereigneten sich insgesamt 1.169 dieser Unfälle. An etwa 15,6 % (183 U(P)) dieser Unfälle waren relevante Fahrzeuge beteiligt. Dies sind etwa 1,5 % aller Unfälle mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen.

**Einbiegen-Kreuzen-Unfälle und Abbiege-Unfälle:** Differenziert nach innerorts und außerorts ohne BAB zeigt sich, dass es sich bei 34 % beziehungsweise 29 % aller Unfälle mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen um Einbiegen-Kreuzen oder Abbiegen-Unfälle handelt. Davon müssen Auffahrunfälle und andere nichtrelevante Unfalltypen und -arten abgezogen werden, um nur die fahrzeuگلängen-relevanten Unfälle herauszufiltern. Innerorts sind es 25 % (1.076 U(P)) und außerorts 24 % (895 U(P)) aller Unfälle mit relevanten Fahrzeugen, die nach Unfalltyp (infolge eines Konfliktes beim Einbiegen-Kreuzen beziehungsweise Abbiegen) und nach Unfallart (als Zusammenstoß mit einem Fahrzeug das einbiegt oder kreuzt beziehungsweise entgegenkommt) als relevantes Unfallkollektiv in der Konfliktfläche von Kreuzungen beziehungsweise Einmündungen identifiziert werden kann. In Bezug auf alle Unfälle mit Personenschaden sind damit innerorts an 1,4 % und außerorts an 4,3 % der Unfälle dieser Konstellation relevante Fahrzeuge beteiligt. Die Zahl der dabei Getöteten zeigt jedoch auch bei diesem Unfallkollektiv die deutlich höhere Unfallschwere, wenn relevante Fahrzeuge beteiligt sind.

	innerorts		außerorts ohne BAB	
	alle U(P)	relevante U(P)	alle U(P)	relevante U(P)
Unfälle im Knotenbereich	78.773	1.076	20.835	895
dabei Getötete	282	41	560	62

Tabelle 7.3: *Unfälle mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen im Knotenbereich – ermittelt nach Unfalltyp und Unfallart (2004)*

**Bahnübergänge:** Unfälle an Bahnübergängen lassen sich in der amtlichen Statistik anhand des Merkmals „Besonderheiten an der Unfallstelle“ (schiengleicher Wegeübergang) ermitteln. Im Jahr 2004 waren dies insgesamt 196 U(P) auf Landstraßen und 884 U(P) innerhalb geschlossener Ortschaften. Etwa 2 % dieser Unfälle an Bahnübergängen sind Unfälle mit relevanten Fahrzeugen (Innerorts: 20 U(P), Landstraßen: 4 U(P)).

**Überholen-Unfälle:** Für dieses Unfallkollektiv kann sich die Betrachtung auf die Landstraßen beschränken. Betrachtet wurden hier die Unfälle, bei denen beim Hauptverursacher die Unfallursache 17, 18, 19 oder 21 (Überholen trotz Gegenverkehrs, Überholen trotz unklarer Verkehrslage, Überholen trotz unzureichender Sichtverhältnisse, Fehler beim Wiedereinordnen nach rechts) genannt wurde. Insgesamt ereigneten sich 4.398 solcher Unfälle im Jahr 2004, bei denen 317 Personen ums Leben kamen. Bei 333 dieser Überholen-Unfälle (8 %) handelt es sich um Unfälle mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen, bei denen das relevante Fahrzeug nicht Hauptverursacher war; dabei wurden 42 Personen (13 %) getötet. In den meisten Fällen (219 U(P)) kam es dabei zur Kollision mit einem entgegenkommenden Fahrzeug. 40 Personen starben bei Frontalzusammenstößen infolge von Fehlern beim Überholen von relevanten Fahrzeugen.

**Unfälle mit Anprall an die Schutzeinrichtung und/oder Durchbruch der Schutzeinrichtung:** In der amtlichen Unfallstatistik findet sich über das Merkmal Anprall diejenigen Unfälle, bei denen es im Verlauf des Unfalls zu einem Anprall gegen ein Hindernis im Seitenraum (Baum, Mast, Widerlager, Schutzeinrichtung, sonstiges Hindernis) kam. Bei diesem Merkmal handelt es sich um ein Unfallmerkmal, d.h. bei Unfällen mit mehr als einem Beteiligten ist keine Aussage darüber möglich, ob es sich dabei um ein relevantes Fahrzeug oder einen Unfallgegner (z.B. auch Pkw oder Motorrad) handelt. Im Jahr 2004 gab insgesamt 13.345 Unfälle mit Personenschaden mit Anprall an die Schutzeinrichtung. Davon ereigneten sich 7.865 Unfälle (59 %) auf Autobahnen. Insgesamt sind 13 % der Unfälle mit Anprall an die Schutzeinrichtung Unfälle mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen (1.686 U(P)), auf Autobahnen sind es sogar 18 % (1.398 U(P)).

Damit kommt es bei etwa 35 % aller Unfälle auf BAB mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen zu einem Anprall gegen die Schutzeinrichtung. Bei 213 Unfällen auf Autobahnen ist sichergestellt, dass es sich um einen Anprall eines relevanten Fahrzeuges handelt, da es sich um Alleinunfälle handelt.

Hinsichtlich der Unfallfolgen zeigen sich auch bei Unfällen mit Anprall an Schutzeinrichtungen ein deutlich höhere mittlere Unfallschwere wenn relevante Fahrzeuge beteiligt sind. Ge

genüber allen Unfällen auf Autobahnen sind Unfälle mit Anprall an Schutzeinrichtungen geringfügig schwerwiegender.

Neben der in der amtlichen Unfallstatistik enthaltenen Merkmale erheben einzelne Länder, Regierungsbezirke oder Polizeidienststellen darüber hinausgehende Unfall oder Beteiligtenmerkmale, die einen tieferen Einblick in spezielle Sachverhalte ermöglichen. Ein Beispiel dafür ist der Regierungsbezirk Düsseldorf. Die Autobahnpolizei erhebt hier neben dem Unfallmerkmal „Anprall gegen ein Hindernis neben der Fahrbahn“ ein weiteres Merkmal „Durchbruch der Schutzeinrichtung“. Der Überwachungsbereich der Autobahnpolizei ist deckungsgleich mit dem Regie-

regierungsbezirk Düsseldorf mit 5,3 Millionen Einwohner auf einer Fläche von 5.300 km<sup>2</sup>. Mit 1001 Einwohnern pro km<sup>2</sup> ist dies der dichtbesiedelste und einwohnerstärkste Regierungsbezirk in Deutschland. Er erstreckt sich zwischen Emmerich im Norden, Wuppertal im Osten, Niederkrüchten im Westen und Opladen im Süden (vgl. Abbildung 7.5). In diesem Bereich gibt es

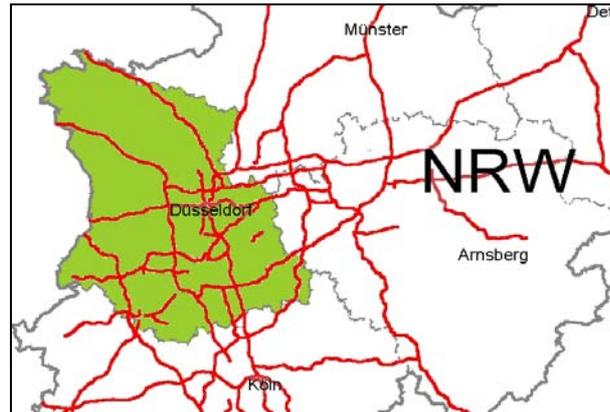


Abbildung 7.5: Regierungsbezirk Düsseldorf mit BAB-Netz

688 km Straßen, die von der Autobahnpolizei überwacht werden, wobei 655 km auf Bundesautobahnen<sup>9</sup> und 33 km auf autobahnähnliche Straßen entfallen. Die Bundesautobahnen im Regierungsbezirk Düsseldorf sind außerdem überdurchschnittlich stark belastet, so dass alles in allem nicht von einer repräsentativen Region gesprochen werden kann. Trotzdem lassen die Daten einen Rückschluss auf die Größenordnung der Problematik zu.

Unfälle (Kat. 1-6) im Regierungsbezirk Düsseldorf auf BAB			
	Unfälle mit Lkw-Beteiligung und Anprall gegen Schutzplanke 1	Unfälle mit Lkw-Beteiligung und Schutzplankendurchbruch 2	Anteil in % 2 von 1
2002	308	7	2,3%
2003	407	9	2,2%
2004	424	7	1,7%
2005	373	8	2,1%

Tabelle 7.4: Unfälle mit Lkw-Beteiligung (> 3,5 t) und Anprall gegen die Schutzeinrichtung auf BAB im Regierungsbezirk Düsseldorf in den Jahren 2002-2005

<sup>9</sup> Das sind etwa 5 % des Bundesautobahnnetzes

Danach kommt es in etwa zwei Prozent der Lkw-Unfälle mit Anprall gegen die Schutzeinrichtung zu einem Durchbruch der Schutzeinrichtung.

Bei schweren Unfällen mit Lkw-Beteiligung steigt der Anteil der Durchbrüche von Schutzeinrichtungen deutlich an. Bei der im Rahmen der Untersuchung von Evers durchgeführten dreimonatigen Vollerhebung [55] von schweren Lkw-Unfällen (Unfälle mit mindestens einem schwer Verletzten oder Getöteten unter Beteiligung eines Lkw mit zul. Gesamtgewicht > 7,5 t) kam es bei 80 von 219 Unfällen (37 %) zu einem Anprall gegen die Schutzeinrichtung. Bei 22 dieser 80 Unfälle – also etwa 10 % aller schweren Lkw-Unfälle – wurde dabei die Schutzeinrichtung durchbrochen.

**Unfälle im Bereich von Arbeitsstellen:** Im Jahr 2004 ereigneten sich insgesamt 1.003 U(P) im Bereich von Arbeitsstellen auf Autobahnen, dabei starben 33 Personen. Bei 25 % dieser Unfälle waren relevante Fahrzeuge beteiligt (251 U(P)), dabei kamen 17 Personen ums Leben (50 %). In 22 % (54 U(P)) dieser Unfälle kam es zu einem Zusammenstoß mit einem seitlich in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeug.

**Unfälle mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern:** Ein großes Problem bereits heute sind die sogenannten Tote-Winkel-Unfälle mit Fußgängern und Radfahrern. Dabei geraten Fußgänger oder Radfahrer in Knotenbereichen – meist bei Abbiege-Vorgängen von großen Lkw – in den Aktionsbereich des Lastzuges, ohne dass der Fahrer dies wahrnehmen und erkennen kann. In der Mehrzahl handelt es sich dabei um äußerst schwere Unfälle. Sie sind zwar zahlenmäßig nicht auffällig, aufgrund ihrer schwer wiegenden Folgen für den ungeschützte Verkehrsteilnehmer jedoch von besonderer Bedeutung. Im Jahr 2004 ereigneten sich im Innerortsbereich 846 Unfälle mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen und Fußgängern oder Radfahrern. Dabei wurden 93 Personen getötet, was ca. 11 % aller getöteten Fußgänger und Radfahrer innerorts entspricht. Von diesen 846 Unfällen waren 239 Unfälle des Unfalltyps Abbiegen, bei denen es zu einem Zusammenstoß mit einem Fußgänger oder Fahrradfahrer kam und die im weitesten Sinne als Tote-Winkel-Unfälle betrachtet werden müssen. Bei diesen Unfällen kamen 30 Personen ums Leben. In geringerem Umfang ereignen sich diese Unfälle auch außerorts. In 2004 ereigneten sich 126 U(P) mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen und Fußgängern oder Radfahrern, dabei starben 16 Personen. Mit ca. 125 Getöteten pro 1.000 U(P) sind diese Unfälle sowohl innerorts als auch außerorts besonders schwer.

**Auffahrunfälle:** Bei höheren Fahrzeuggesamtgewichten sind bei Auffahrunfällen durch relevante Fahrzeuge erheblich schwerere Unfallfolgen zu erwarten. In die Schlagzeilen und in die öffentliche Diskussion gelangen dabei insbesondere Auffahrunfälle auf stehende Fahrzeuge am Stauende durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs, die sich fast ausschließlich auf Autobahnen ereignen. Um die Größenordnung dieses Kollektives zu ermitteln, wurden in der amtlichen Unfallstatistik diejenigen Unfälle selektiert, bei denen das relevante Fahrzeug der Hauptverursacher war und als Unfallart „Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet“ angegeben war. Im Jahr 2004 ereigneten sich 1.778 solcher Unfälle, wobei 57 Personen getötet und 420 Personen schwer verletzt wurden. Das sind 15 % aller Unfälle mit relevanten Fahrzeugen und 8 % aller bei diesen Unfällen Getöteten. Auf Auto

bahnen sind sogar 19 % aller Unfälle mit relevanten Fahrzeugen solche Auffahrunfälle durch relevante Fahrzeuge. 19 % aller bei Unfällen mit relevanten Fahrzeugen Getöteten sind auf diese Unfälle zurückzuführen.

U(P)	innerorts	außerorts ohne BAB	BAB	gesamt
Unfallart: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet	686	317	775	1.778
dabei				
Getötete	2	7	48	57
schwer Verletzte	58	65	297	420

*Tabelle 7.5: Auffahrunfälle mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen*

Das Gros der Auffahrunfälle durch relevante Fahrzeuge ereignete sich auf Autobahnen, dies gilt vor allem für die schweren Unfälle. Aus den Angaben in der amtlichen Unfallstatistik erschließt sich dabei jedoch nicht, ob es sich dabei um einen Auffahrunfall auf ein stehendes oder anhaltendes Fahrzeug am Stauende oder um einen Auffahrunfall im fließenden Verkehr handelt. Hinweise darauf können aus anderen Untersuchungen abgeleitet werden. Aus der Untersuchung von Evers [55] ergibt sich, dass sich knapp die Hälfte aller Auffahrunfälle durch Lkw über 7,5 t auf Autobahnen am Ende von Staus ereignen und nur vereinzelt im Stau. Die andere Hälfte der Auffahrunfälle ereignen sich im fließenden Verkehr.

Unabhängig von den beschriebenen Unfallkollektiven ist für die Bewertung der Unfallgefahren die Fahrstabilität neuer Lastzugkombinationen sowie die Kipp-Sicherheit beziehungsweise Kipp-Gefahr von Lastzügen von Relevanz. Diese Merkmale sind in der amtlichen Statistik nicht enthalten. Die Bezifferung der relevanten Unfälle im heutigen Unfallgeschehen ist daher nicht möglich. Eine Studie von Köfalvi [56] schätzt jedoch, dass es sich bei etwa der Hälfte der Unfälle mit Lkw um Kippunfälle oder um Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn handelt. Eine der Hauptursachen bei diesen Unfällen ist nach Köfalvi oftmals, dass das Fahrzeug durch plötzliche Lenk- und Bremsmanöver „in eine die Stabilität gefährdende Situation gerät. Das Fahrzeug kommt dann aus der Spur, knickt ein oder kippt um.“ Hauptgrund dafür ist der Stabilitätsverlust, der insbesondere bei mehrgliedrigen Lastzügen bei Geschwindigkeiten über 70 km/h stark ansteigt [57].

## 7.4 Zusammenfassung

Die Unfallanalyse für das Jahr 2004 macht deutlich, dass Unfälle mit Beteiligung von relevanten Fahrzeugen besonders schwer wiegend sind. So kamen auf Autobahnen 37 % (255 Personen) aller Getöteten bei Unfällen mit Beteiligung eines schweren Güterkraftfahrzeugs ums Leben. Besonders zu betonen sind Auffahrunfälle von schweren Güterkraftfahrzeugen, bei denen 7 % (48 Personen) aller auf Autobahnen Getöteten ums Leben kamen.

Abseits von Autobahnen sind es vor allem Unfälle an plangleichen Knoten sowie Überholen-Unfälle, die im Zusammenhang mit neuen Lastzugkombinationen relevant sind. Bei Überho-

len-Unfällen auf Landstraßen sind 13 % aller Getöteten (42 Personen) auf Unfälle beim Überholen von schweren Güterkraftfahrzeugen zurückzuführen. Bei Unfällen in Knotenbereichen sind es innerorts 15 % (41 Personen) und außerorts 11 % (62 Personen) der Getöteten, die bei Unfällen mit Beteiligung von schweren Güterkraftfahrzeugen ums Leben kamen.

Innerorts sind darüber hinaus Unfälle mit Beteiligung von schweren Güterkraftfahrzeugen und Fußgängern beziehungsweise Fahrradfahrern besonders hervorzuheben. Ca. 11 % (93 Personen) aller getöteten, nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer kamen bei Unfällen mit schweren Güterkraftfahrzeugen ums Leben. 239 Unfälle mit 30 getöteten Personen ereigneten sich dabei im Zusammenhang mit Abbiegevorgängen.

Neben Unfällen, die durch größere Fahrzeuglängen in ihrer Zahl ansteigen würden, wie z.B. Unfälle an unsignalisierten planfreien Knotenpunkten sowie Unfälle im Zusammenhang mit dem Überholen von Lastzügen ist daher ein besonderes Augenmerk auf diejenigen Unfallkonstellationen zu richten, die durch höhere Fahrzeuggewichte in der Unfallschwere zunehmen, wie z.B. Auffahrunfälle oder Unfälle mit Anprall an Schutzeinrichtungen. Bislang sind keine Systeme für Schutzeinrichtungen an Straßen verfügbar, die in der Lage sind, einem Anprall mit längeren und/oder schwereren Fahrzeugen standzuhalten. Die Gefahr des Durchbruchs der Schutzeinrichtungen infolge der höheren Fahrzeuggewichte und/oder Mehrgliedrigkeit des Anpralls ist als deutlich erhöht zu bewerten.

Unabhängig von den ermittelten und in der Unfallanalyse dargestellten Unfallkollektiven ist grundsätzlich bei allen Unfällen mit Zusammenstößen von Fahrzeugen mit schwereren Lastzugkombinationen im Mittel mit schwereren Unfallfolgen zu rechnen.

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass sich mögliche Veränderungen im Unfallgeschehen durch den Einsatz neuer Lastzugkombinationen auf das Gesamtkollektiv der Unfälle mit Beteiligung von Güterkraftfahrzeugen beziehen. Der Einsatz von weniger Fahrzeugen mit höherer Transportkapazität würde zwar zunächst zu einem Rückgang der Unfallbeteiligung von schweren Güterkraftfahrzeugen am Unfallgeschehen führen. Es muss allerdings auch berücksichtigt werden, dass sich Veränderungen des Modal Split einstellen könnten, die diesen Rückgang kompensieren würden. Zudem würde der Einsatz neuer Lastzugkombinationen die Güterverkehrsstruktur verändern, wodurch auch Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und das Unfallgeschehen abseits des Güterfernverkehrs mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs zu erwarten wären.

Unabhängig davon lassen sich – wie in der obigen Unfallanalyse aufgezeigt – Unfallkollektive identifizieren, die sich durch größere Fahrzeuglängen beziehungsweise höhere Fahrzeuggewichte betroffen wären. Dies würde maximal die Gesamtheit aller Unfälle mit Beteiligung von schweren Güterkraftfahrzeugen (zGG > 12 t) betreffen, also ca. 3,5 % aller Unfälle mit Personenschaden. Die besondere Schwere dieser Unfälle – insbesondere auf Autobahnen – verlangt trotz des auf den ersten Blick kleinen Anteils am Gesamtunfallgeschehen eine besonders kritische Bewertung von höheren Fahrzeuglängen und -gewichten.

## **8 Ableitung fahrzeugtechnischer Ausstattungen und Eignung von Fahrzeugführern für neue Lastzugkombinationen**

### **8.1 Technische Fragestellungen**

Bei der Einführung neuer überlanger und/oder überschwerer Fahrzeugkombinationen sind hinsichtlich der Länge und/oder Mehrgliedrigkeit der Fahrzeugkombinationen Fragestellungen zur Fahrstabilität und Fahrdynamik der Fahrzeuge zu berücksichtigen. Um einen möglichst sicheren Betrieb und Verkehrsablauf zu gewährleisten, sind besondere Anforderungen an die Fahrzeuge und deren Ausrüstung sowie an die Fahrzeugführer zu stellen.

### **8.2 Überlegungen zum Fahrverhalten von neuen Lastzugkombinationen**

Das Fahrverhalten von neuen überlangen und/oder überschweren Fahrzeugkombinationen in der Geradeausfahrt dürfte im Regelfall keine Komplikationen mit sich bringen. Es besteht aber möglicherweise ein Problem beim Seitenwindverhalten.

Problematischer scheint das Kurvenverhalten bzw. das Fahrverhalten beim Einbringen verschiedener Lenkmanöver zu sein.

Das Fahrverhalten von Lastzügen wird anhand von Fahrmanövern nach ISO/ DIS 14791 (Road vehicles – Heavy commercial vehicle combinations and articulated busses – lateral stability test procedures) bewertet. Darin sind drei Fahrmanöver mit unterschiedlichen Lenkbewegungen von Bedeutung: „willkürliche und zufällige Steuerbewegungen zwischen 0,1 und 1 Hz (Pseudo random input)“, „Lenkwinkleingabe Spurwechsel (Single lane change)“ und „Lenkimpulseingabe (Puls input)“. Erfahrungen zum Fahrverhalten neuer Fahrzeugkombinationen liegen der BASt jedoch derzeit nicht vor.

Das rückwärtige Aufschaukeln (rearward amplification) soll möglichst klein gehalten werden, einzuhaltende Grenzwerte gibt es jedoch nicht. Dieses gilt ebenfalls für die Kriterien „dynamischer Spurversatz (dynamic offtracking)“, „Anklinggeschwindigkeit (zero damping speed)“ und „Gierdämpfung“ (yaw damping)“.

Das Kipp- bzw. Ausbrechverhalten oder Einknicken (jack-knifing) einer Fahrzeugkombination wird am besten durch die Einfahrt in einen „J-turn“ beschrieben. Das Fahrverhalten bei diesem Fahrmanöver hängt stark von der Schwerpunkthöhe ab, bzw. ist besonders kritisch beim Transport von schwappenden Flüssigkeiten oder schwingenden Lasten (z.B. Transport von an der Decke hängenden Schweinehälften). Mit etablierten Rechenprogrammen, wie z.B. ADAMS, lassen sich solche Fahrmanöver auch für die möglichen Lastzugkombinationen simulieren. Den Nachweis über eine ausreichende Sicherheit (d.h. nicht schlechter als bei derzeit erlaubten Kombinationen) liegt zunächst einmal bei den Fahrzeugherstellern und kann erst dann von dritter Seite begutachtet werden, wenn die nötigen Erfahrungen, Simulationsergebnisse und Ergebnisse von durchgeführten Fahrmanövern vorliegen. Das gleiche gilt auch für den Fall des Bremsens in der Kurve.

Um die Auswirkungen problematischer Fahrmanöver und Lenkwinkleingaben zu minimieren, werden im Folgenden eingreifende Regeleinheiten als obligatorische Fahrzeugausstattung vorgeschlagen.

### 8.3 Fahrzeugtechnische Ausstattungen von neuen Lastzugkombinationen

Eine Definition von erforderlichen fahrzeugtechnischen Ausstattungen für Lastzugkombinationen und entsprechender Anforderungen an dieselben ist derzeit nicht in allen Punkten zu vollziehen, da hierfür zum einen die Erfahrungen aus praktischen Einsätzen dieser Fahrzeuge im Verkehr vorliegen müssen, und zum anderen einige als wesentlich angesehene Einrichtungen noch nicht so weit entwickelt worden sind, dass sie serienmäßig und von mehreren Herstellern zu erwerben sind. Insofern stellt die Festlegung der fahrzeugtechnischen Anforderungen aktuell einen laufenden Prozess dar, dessen Stand hier in Form einer Auflistung derzeit als erforderlich angesehener Ausstattungsmerkmale von Lastzugkombinationen dargelegt wird. Die Begründungen für die einzelnen vorgesehenen Maßnahmen sind dabei stets kursiv dargestellt. Die Erarbeitung genauerer Spezifikationen bleibt einer weiteren Analyse der Fahreigenschaften und der Verkehrssicherheit.

1. Die Lastzugkombination soll aus einem Zugfahrzeug (LKW oder Zugmaschine) mit maximal 2 Anhängern (Deichselanhänger oder Sattelaufleger) bestehen. Die Kombination darf maximal 2 Drehpunkte (Anhängerkupplung, Drehschemel oder Sattelkupplung) besitzen.

Die Fahrzeugkombination darf jedoch nicht aus zwei aneinander gekoppelten Sattelauflegern (B-Double) oder aus einem LKW mit 2 Anhängern bestehen.

Die Fahrzeugkombination darf aus einem LKW mit Sattelaufleger auf einem 2-Achs-Dolly mit Sattelkupplung als Anhänger oder aus einem Sattelzug mit angekoppelten Zentralachsanhänger bestehen. Alle Teile der Fahrzeugkombination (LKW, Sattelzugmaschine, Anhänger und Aufleger) müssen Standardmaße und -gewichte haben, so dass bei Trennung der Kombination nur Fahrzeuge bzw. Anhänger gemäß 96/53 EG entstehen. Kombinationen, die nicht auf Standardmaßen beruhen, sind ausgeschlossen.

2. Die maximale Länge der Lastzugkombinationen von 25,25 m sowie die maximale Breite von 2,55 m und Höhe von 4 m dürfen nicht überschritten werden.

*Die bisherigen gesetzlichen Breiten- und Höhenvorgaben für LKW sollen nicht geändert werden. Die Länge setzt sich aus den Längen der o.g. möglichen Module zusammen.*

3. Ein Sattelaufleger auf einem Dolly darf (ohne Deichsellänge gemessen) 13,60 m Länge nicht überschreiten. Ein hinter einem Sattelzug mitgeführter Zentralachsanhänger darf (ohne Deichsellänge gemessen) eine maximale Länge von 7,82 m nicht überschreiten.

4. Eine 25,25 m lange Fahrzeugkombination kann mit einem zulässigen Gesamtgewicht (zGG) von 40 t oder 60 t (oder Werten zwischen 40 t und 60 t) ausgeführt werden. Eine Kombination < 46 t zGG soll mindestens 7 Achsen, eine Kombination > 46 t zGG soll mindestens 8 Achsen besitzen, davon müssen mindestens 2 Achsen Antriebsachsen sein.

*Diese Forderung dient der Begrenzung der Achslasten zur Straßenschonung (s. Abschnitt 2). Die Forderung von 2 Antriebsachsen bei einem zulässigen Gesamtgewicht von 60 t ist notwendig, um eine ausreichende Traktion zu gewährleisten. Die Summe der Antriebsachslasten soll mindestens 25 % der zulässigen Zuggesamtmasse betragen.*

5. Eine 25,25 m lange 40 t-Kombination soll über eine Motorleistung von mindestens 265 KW (entsprechend 360 PS oder 6,6 KW/t), eine 60 t-Kombination soll über eine Motorleistung von 396 KW (entsprechend 540 PS oder ebenfalls 6,6 KW/t) verfügen.

*Die geforderte Mindest-Motorisierung ist höher als derzeit in der StVZO gefordert (5 KW/t). Sie stellt aber den Stand der Technik dar und stellt sicher, dass beim Bergauffahren der überschwere Lastzug nicht zum (Überhol-)Hindernis für andere Lastkraftwagen wird. Außerdem ist diese Motorleistung nötig, um z.B. an Knoten die Räumzeit nicht übermäßig zu verlängern (s. Abschnitt 6).*

6. Die Achslast von Lenkachsen und gezogenen Achsen ist auf 8 t, die Achslast von Antriebsachsen auf 11,5 t und die von luftgefederten Doppelachsen auf 19 t begrenzt. Bei einer Achslast der Lenkachse von mehr als 6 t muss diese mit Super-Single-Bereifung (Reifenbreite  $\geq 385$  mm) ausgerüstet sein. Die Antriebsachse(n) müssen zwillingsbereift sein.

*Die höchste Straßenbeanspruchung wird durch die Lenkachse eines Lastkraftwagen verursacht. Allgemein kann die Straßenbeanspruchung durch eine geforderte Mindest-Reifenbreite reduziert werden, weshalb hier das Maß von 385 mm vorgesehen ist. Dieser Wert ist derzeit nicht vorgeschrieben, entspricht aber dem Stand der Technik.*

*Die nicht zulässige Verwendung von Wide Base Single Reifen (Reifenbreite = 495 mm) beziehungsweise die Forderung nach einer Zwillingsbereifung an der(n) Antriebsachse(n) könnte bei Vorliegen neuer Erkenntnisse zu einem späteren Zeitpunkt neu überdacht werden.*

7. Alle Achsen bis auf die Lenkachse müssen mit Luftfedern ausgerüstet sein.

*Diese Anforderung reduziert die dynamischen Achslastschwankungen und dient der Straßenschonung.*

8. Alle Aufbauten von LKW, Anhängern und Aufliegern müssen seitlich und rückwärtig Konturmarkierungen gemäß ECE Reg. 104 besitzen.

*Die Anforderung dient einer besseren Sichtbarkeit bei Dunkelheit.*

9. Das Zugfahrzeug muss einen Frontunterfahrschutz gemäß ECE Reg. 93 aufweisen.

Die Seiten des Lastzuges (Zugfahrzeug, Anhänger und Auflieger) müssen an beiden Seiten mit Seitenunterfahrschutz nach 89/297 EG ausgerüstet sein.

Die Lastzugkombination muss einen Heckunterfahrschutz gemäß ECE Reg.58 bzw. 70/221/EG haben.

*Hierbei handelt es sich um übliche fahrzeugtechnische Maßnahmen, um die Unfallschwere bei einem Aufprall eines Fahrzeuges auf einen LKW beziehungsweise bei einem Aufprall eines LKW auf ein anderes Fahrzeug zu mindern.*

10. Die Radhäuser müssen mit anti splash and spray devices nach 91/226/EG ausgerüstet sein.

*Die Radhausausrüstung mit Systemen zur Sprühfahnenminderung dienen der besseren Sicht im Zuge von Überholvorgängen bei Nässe.*

11. Eine Lastzugkombination von einer Länge von mehr als 18,75 m muss am Heck mit einem orangen Schild (RAL 2020) von mindestens 1,5 m Länge und mit einer Höhe von mindestens 40 cm aus retroreflektierendem Material ausgerüstet sein. Auf diesem muss in schwarzer Schrift mit der Buchstabenhöhe von 20 cm „Achtung Überlänge! (z.B.) 25 m“ stehen. Unter dem Schriftzug soll stilisiert die seitliche Silhouette der Lastzugkombination dargestellt werden.

*Dieser Warnhinweis ist notwendig, um auf die Überlänge der Lastzugkombination bei geplanten Überholvorgängen hinzuweisen.*

12. Die Lastzugkombination muss an allen Achsen mit Anti-Blockier-System (ABS) ausgerüstet sein (ESP und Roll-over sensing).

*Diese Anforderung soll sicherstellen, dass einzelne Achsen ohne fahrdynamische Auswirkungen über- oder unterbremst werden und soll einen minimalen Bremsweg garantieren. ESP und Roll-over sensing sind derzeit für Kombinationen nicht verfügbar, eine Beschleunigung der Entwicklung solcher Systeme für Lastzüge ist jedoch wünschenswert. Die Entwicklung dieser Technologien könnte somit forciert werden.*

13. Die Lastzugkombination muss über ein Adaptive Cruise Control System (ACC) mit automatischem Bremseneingriff (bis hin zur Vollbremsung) im Fall eines drohenden Auffahrunfalles verfügen.

14. Die Anforderungen an Retarder und/oder Motorbremsen sind den größeren zulässigen Gesamtgewichten anzupassen.

*Diese technische Ausrüstung von ACC ist auf dem Markt vorhanden. Es ist zu verhindern, dass überlange oder überschwere Fahrzeugkombinationen z.B. auf Stauenden auffahren und einen erheblich größeren Schaden als die bisher üblichen Lastzüge anrichten.*

15. Die Lastzugkombination muss mit einem Spurhalteassistenten (lane departure warning system) ausgerüstet sein.

*Da bauseits derzeit keine Rückhaltesysteme für derartig schwere Fahrzeuge zur Verfügung stehen, könnte so das Problem „Absturz von Brücke“ oder „Durchbrechen von Schutz- und Leiteinrichtungen“ durch eine Erhöhung der aktiven Fahrzeugsicherheit entschärft werden.*

16. Ein Dolly muss die gleiche lichttechnische Ausrüstung (rückwärtiges Signalbild) wie ein Anhänger (und Nummernschild) aufweisen.

*Die lichttechnische Ausrüstung muss auch auf die alleinige Führung eines Dolly hinter einem LKW abgestimmt sein. Solche „Leer“-Fahrten sind beispielsweise für das Abholen eines Aufliegers notwendig.*

17. Der Motor des Zugfahrzeuges muss die Abgas-Emissionsbedingungen von EURO IV erfüllen.

*Diese Anforderung hat keine direkte sicherheitsrelevante Bedeutung, sondern soll sicherstellen, dass nur neue Fahrzeuge eingesetzt werden, die über allen aktuellen Sicherheitsfeatures verfügen. Auf diese Weise soll verhindert werden, dass alte Fahrzeuge für den Einsatz als Lastzugkombinationen nachgerüstet werden.*

18. Wenn eine Lastzugkombination mit einer Länge von über 18,75 m den BO Kraftkreis mit einem äußeren Durchmesser von 12,50 m und einem inneren Durchmesser von 5,30 m nicht einhält, dürfen diese Kombinationen nur auf speziell ausgewiesenen und freigegebenen Fahrtrouten zugelassen bzw. bewegt werden.

*Wegen der in Abschnitt 5 dargestellten Problematik der größeren Schleppkurven können diese Fahrzeuge ohne zusätzlich gelenkte Achsen, Kurvenbereiche nicht schadensfrei befahren d.h. die Straßeninfrastruktur kann beschädigt werden. Inwieweit es gelingt, eine Anordnung von gelenkten Achsen derart anzuordnen, dass der BO Kraftkreis eingehalten werden kann, muß sich zeigen. Dann könnte der nachfolgende Punkt 18 ggf. entfallen.*

19. Um sicherzustellen, dass nur freigegebene Routen befahren werden, muss das Zugfahrzeug mit einem GPS-Signalempfangssystem ausgerüstet sein. Die Routenrückverfolgung für eine Kontrolle durch Ordnungsbehörden muss über die letzten 48 Stunden mit einfachen technischen Hilfsmitteln möglich sein.

*Wenn ein bestimmtes Streckennetz für überlange und/oder überschwere Fahrzeuge festgelegt werden sollte, muss sichergestellt werden, dass vorgegebene Strecken – beispielsweise bei Vollsperrung der vorgegebenen Autobahn – auch eingehalten werden.*

20. Einrichtungen für die indirekte Sicht (Spiegel) müssen der Richtlinie 2003/97/EG entsprechen. Die Sicht hinter die Lastzugkombination muss durch eine Videokamera mit Monitor im Blickfeld des Fahrers sichergestellt sein. Bei einer stationären Kreisfahrt muss die zum Kreiszentrum gerichtete, hinterste Kante des letzten Anhängers im Blickfeld des Fahrers (Spiegel) zu sehen sein.

*Durch eine größere Fahrzeuglänge kann es nach hinten zu verminderter Erkennbarkeit von Fahrzeugen bzw. Objekten kommen. Inwieweit Verschmutzungen von am Fahrzeugheck angebrachten Kamerasystemen vermieden oder andere Systeme (z.B. Ultraschallsensoren) eingesetzt werden können, muss sich in der Praxis zeigen.*

*Die Sicht auf die hinterste Innenkante des Anhängers muss gegeben sein, um sicherzustellen, dass andere Verkehrsteilnehmer oder Teile der Straßeninfrastruktur bei einer Fahrt durch eine enge Kurve nicht zu Schaden kommen.*

21. Die Lastzugkombination muss mit Kraftaufnehmern an jeder Achse ausgerüstet sein. Die Achslast an jeder Achse und das aus allen Achsen durch Aufsummieren errechnete Gesamtgewicht ist dem Fahrer am Armaturenbrett anzuzeigen.

*Die Forderung ist technisch leicht umsetzbar. Die Messgrößen sind schon derzeit bei den meisten LKW vorhanden. Sie dient der Vermeidung von Überladung und damit zur Vermeidung überhöhter Fahrbahnbeanspruchung.*

22. Wenn eine Überladung oder eine noch zu definierende, unsichere Beladungsverteilung auftritt, soll das Zugfahrzeug nicht schneller als Schrittgeschwindigkeit fahren dürfen.

*Eine unsichere Ladungsverteilung liegt zum Beispiel vor, wenn hinter einem leeren Sattelzug ein voll beladener Anhänger geführt wird. Bei plötzlichem Lenkeinschlag würde das Zugfahrzeug über den Anhänger umgeworfen. Solche Ladungszustände sind zu verhindern, jedoch muss ein Rangieren auf Betriebshöfen möglich sein. Insofern wurde die Anforderung „maximal Schrittgeschwindigkeit“ eingeführt.*

23. Es dürfen keine Gefahrgüter gemäß Gefahrgutverordnung (GGVSE) der EG mit diesen Lastzugkombinationen befördert werden.

*Gefahrgutunfälle sind oft mit schwerwiegenden Unfallfolgen, nicht nur aus Umweltsicht, verbunden. Eine Verlagerung von Gefahrguttransporten auf überlange oder überschwere Gespanne sollte aus diesem Grund nicht stattfinden. Eine genaue Beschreibung des Gefahrgutes muss definiert werden.*

24. Überlange und/oder überschwere Lastzugkombinationen dürfen nicht bei Schnee oder Eis betrieben werden. Die Kombinationen sind in diesem Fall auseinanderzunehmen, und der Transport der Anhänger oder Auflieger hat separat zu erfolgen.

*Blockierungen des Verkehrs auf Bundesfernstraßen bei extremen winterlichen Straßenverhältnissen werden hauptsächlich von Lastkraftwagen beziehungsweise Gespannen verursacht. Es sollte keine unnötige Verschlechterung der Situation eintreten, insofern sind überlange beziehungsweise überschwere Gespanne rechtzeitig auseinanderzunehmen und einzeln zu bewegen.*

25. Die Zugfahrzeuge überlanger oder überschwerer Gespanne dürfen an der Fahrzeugfront nicht mit „aggressiv wirkenden“ Frontschutzbügeln (bull bars) o.ä. ausgerüstet sein.

*Diese Maßnahme dient der Akzeptanz bei anderen Verkehrsteilnehmern, die sich sonst „eingeschüchtert“ fühlen könnten.*

#### **8.4 Eignung von Fahrzeugführern für neue Lastzugkombinationen**

Hinsichtlich der zu erwartenden besonderen Gefahren von längeren und schwereren Lastzugkombinationen ist zu erwägen, an Fahrzeugführer von neuen Lastzugkombinationen – ähnlich wie an die Fahrer von Gefahrguttransporten – besondere Anforderungen zu stellen. Diese beziehen sich einerseits auf die technischen Fertigkeiten und die Gesundheit der Fahrzeugführer, andererseits aber auch und insbesondere auf deren Zuverlässigkeit, Sorgfalt und Integrität. Solche Anforderungen an die Zuverlässigkeit von Fahrzeugführern werden auch in anderen sensiblen Bereichen wie etwa für Führer von Luftfahrzeugen formuliert.

In dem niederländischen Großversuch (s. Abschnitt 9.3) wird von den Fahrzeugführern überlanger und/oder überschwerer Lastzugkombinationen beispielsweise eine mindestens fünfjährige Erfahrung auf Gliederzügen gefordert, wobei in den letzten 3 Jahren die Fahrerlaubnis nicht eingezogen worden sein darf. Darüber hinaus muss der Fahrzeugführer eine eintägige Sonderausbildung in der Theorie und Praxis in der Handhabung der zu fahrenden Kombination (mit Prüfung) absolvieren und der Fahrer muss das erhaltene Zertifikat im Weiteren immer bei sich führen. Diese Anforderungen haben sich in den Niederlanden als angebracht erwiesen und zeigen zunehmend, dass nur ein vergleichsweise geringer Anteil von

Fahrern als Fahrzeugführer von neuen Lastzugkombinationen geeignet ist. Es scheint daher angeraten, das Vorgehen der Niederlande gegebenenfalls zu übernehmen. Weitergehende Anforderungen wie beispielsweise Altersbeschränkungen, keine Eintragungen im Verkehrszentralregister, Beschränkungen hinsichtlich des Alkoholkonsums wären dann zusätzlich zu überdenken.

## 8.5 Zusammenfassung

Die technischen Voraussetzungen, neue überlange und/oder überschwere Fahrzeugkombinationen (auch kurzfristig) auf den Markt zu bringen, sind seitens der Nutzfahrzeughersteller grundsätzlich vorhanden, wie die Beispiele aus Schweden und den Niederlanden belegen. Es handelt sich vornehmlich um die Zusammenstellung bereits vorhandener Komponenten, die allerdings den BO Kraftkreis nicht einhalten. Um kritische bzw. unfallträchtige Fahrsituationen zu minimieren, müssen zusätzliche Ausstattungen in den Fahrzeugen (Assistenzsysteme) vorgesehen werden. Diese sind weit entwickelt, so dass mittelfristig mit entsprechend ausgestatteten Fahrzeugen gerechnet werden kann. Eine fahrzeugseitige Achslasterfassung wäre sinnvoll, einerseits um zu gewährleisten, dass bei angestrebten 60 t z GG keine Überladungen mehr auftreten, und andererseits um zu verhindern, dass Fahrzeuge mit unsicheren Beladungszuständen (z.B. voll beladener Anhänger hinter einem leeren Sattelzug) in Verkehr gebracht werden können. Auch Adaptive Cruise Control Systeme (ACC) mit automatischem Bremseneingriff und Spurhalteassistenten sollten von Anfang an vorgesehen werden.

Besondere Anforderungen an Fahrer von Lastzugkombinationen sind im einzelnen noch zu formulieren und beziehen sich neben der Ausbildung in der Theorie und Praxis in der Handhabung der jeweils zu fahrenden Art von Lastzugkombination auf weitergehende Anforderungen wie beispielsweise Altersbeschränkungen, keine Eintragungen im Verkehrszentralregister und generelle Beschränkungen hinsichtlich des Alkoholkonsums.

## 9 Erfahrungen aus dem Ausland

### 9.1 Schweden

Lastzugkombinationen nach dem modularen Konzept werden in Schweden genauso wie in Finnland seit 1997 eingesetzt. Seither hat sich die Verkehrszusammensetzung so stark verschoben, dass in Schweden heute mehr als 90 % der Transportleistung von Fahrzeugen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von >40 t erbracht wird. Der Anteil von Lastzugkombinationen an dieser Verkehrsleistung beträgt schätzungsweise mehr als 65 % [9].

Eine eingehendere Analyse der Transportverhältnisse in Schweden erbringt keine gravierenden Unterschiede zu denen in Deutschland. Zwar ist auffällig, dass die Transportleistung für Holzgüter in Schweden das mehr als Sechsfache des deutschen Wertes beträgt, die sonstige Güterverteilung und auch die Transportweiten ähneln aber durchaus denen aus Deutschland [9]. Die diesen Aussagen zugrunde liegende Statistik stützt sich jedoch lediglich auf Transporte mit Fahrzeugen, die im jeweiligen Land angemeldet sind.

Sowohl Schweden als auch Finnland berufen sich bei der Einführung dieser Fahrzeuge hauptsächlich auf das Kyoto-Protokoll aus dem selben Jahr, da der Transportsektor maßgeblich für den Ausstoß der umweltschädlichen Emissionen, die entsprechend dem Protokoll bis zum Jahr 2012 deutlich gesenkt werden sollen, verantwortlich gemacht wird. Entsprechend konzentrieren sich die schwedischen Untersuchungen der Vor- und Nachteile der Lastzugkombinationen stets auf die umweltrelevanten Aspekte und belassen die technischen, wie beispielsweise die Straßen- und Brückenbeanspruchung im Hintergrund.

Transportrelation	Transportweite
West-Belgien – Nord-Frankreich	400 km
Deutschland (Ruhrgebiet) – Nordwest-Frankreich	650 km
Nord-England – Nordwest-Frankreich	750 km
Süd-Niederlande – Südost-Frankreich	850 km
Süd-Schweden – Nordwest-Frankreich	1.750 km
Süd-Niederlande – Belgien	437 km
Süd-Niederlande – Dänemark	541 km
Niederlande – Schweiz	670 km
Süd-Niederlande – Zentral-Frankreich	805 km
Süd-Schweden – Niederlande	700 km
Niederlande – Nord-Deutschland	316 km
Niederlande – Nordwest-Frankreich	840 km

Tabelle 9.1: In einer schwedischen Studie auf ökonomische und ökologische Nutzen untersuchte Transportrelationen mit unterschiedlichen Transportweiten

In einer Studie des Instituts für Transportforschung [2, 58] wurden eine Vielzahl von CMR-Frachtbriefen schwedischer, finnischer und niederländischer Transportunternehmen mit dem Ziel ausgewertet, die ökologischen und ökonomischen Einsparvolumen der Lastzugkombinationen zu ermitteln. Dabei wurden die in Tabelle 9.1 dargestellten Transportrelationen und -weiten erfasst.

Die Auswertung der CMR-Frachtbriefe kommt zu dem Ergebnis, dass durch den Einsatz von Lastzugkombinationen des modularen Konzepts erhebliche ökonomische und ökologische Nutzen erzielt werden. So wurden die in [2] zusammengestellten Reduzierungen beim Transport mit Lastzugkombinationen gegenüber bisher eingesetzten Fahrzeugen ermittelt.

<b>Fartenanzahl</b>	<b>Treibstoffverbrauch</b>	<b>Betriebskosten</b>
27 – 38 %	10 – 23 %	19 – 26 %
im Mittel: 32,2 %	im Mittel: 15,4 %	im Mittel: 23,3 %

*Tabelle 9.2: In der schwedischen Studie durch Auswertung von Frachtbriefe ermittelte Einsparungen durch den Einsatz von Lastzugkombinationen gegenüber bisher eingesetzten Fahrzeugen*

Hinsichtlich der Straßenbeanspruchung geht die Studie von einer Minderung um 15 bis 25 % aus, wobei diese Zahlen theoretisch nach der AASHO-Road-Formel mit einem Exponenten von 4 (s. Abschnitt 2.3) und bei vergleichsweise geringen Gesamtgewichten hergeleitet wurde.

Zur Verkehrssicherheit von Lastzugkombinationen beschränkt sich die Untersuchung auf einen kurzen Hinweis, dass die Länge eines Fahrzeugs einen Einfluss auf den Überholvorgang hat und somit eine Beeinträchtigung des Unfallgeschehens durchaus gesehen werden kann. Eine ältere Studie aus dem Jahre 1976, in dem eine auf einem 18 und einem 24 m langen Lastzug installierte Kamera die Überholvorgänge während einer achtwöchigen Untersuchungsdauer über 13.640 km hinweg aufzeichnete, zeigte eine leichte, statistisch aber nicht absicherbare Erhöhung des Unfallrisikos für den längeren Lastzug. Als Maß für das Unfallrisiko wurde die verbleibende TTC-Zeitlücke (time to collision) genutzt.

## **9.2 Finnland**

Der Großteil des Straßengüterfernverkehrs wird in Finnland mit Fahrzeugen abgewickelt, die die in der EU üblichen Längen- und Gewichtsbeschränkungen (18,75 m; 44 t) deutlich überschreiten. Im Großteil der Fälle handelt es sich um Lastzugkombinationen mit einer Länge von 22 m, zugelassen sind Lastzugkombinationen bis 25,25 m Länge und 60 t zulässigem Gesamtgewicht.

Im Durchschnitt ereignen sich in Finnland jährlich etwa 270 Unfälle mit Personenschaden unter Beteiligung von Lastzugkombinationen. Dabei kommen 55 Personen ums Leben, 230 Personen werden schwer verletzt.

Auf den meisten Landstraßen wird im Winter die Geschwindigkeitsbeschränkung von 100 km/h auf 80 km/h gesenkt. Aktuell wurde in Finnland diskutiert, für Lkw das Tempolimit auf Landstraßen für die Wintermonate von 80 km/h auf 70 km/h zu reduzieren. Auslöser dafür war ein folgenschwerer Unfall im März 2004, bei dem es zu einem Frontalzusammenstoß zwischen einem Bus und einer Lastzugkombination kam, in deren Folge 23 Personen ums Leben kamen und 13 Personen schwer verletzt wurden.

Für den Entscheidungsprozess wurden zwei Studien durchgeführt, die die Sicherheitswirkungen von winterzeitlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen generell sowie im speziellen für Lastzugkombinationen untersuchen und bewerten sollten. Dabei wurde unter anderem das Fahrverhalten verschiedener Lastzugkombinationen bei einem Ausweichmanöver bei unterschiedlichen Straßenverhältnissen hinsichtlich ihrer Stabilität simuliert. Als Ergebnis wurde festgehalten, dass die Art der Lastzugkombination – und hier weniger die Gesamtlänge als vielmehr die Achs- und Knickpunktanordnung – einen größeren Einfluss auf die Fahrstabilität haben, als die Fahrgeschwindigkeit [59]. Insgesamt wurde der mögliche Einfluss einer Absenkung des Tempolimits für Lastzugkombinationen auf das Unfallgeschehen aber positiv eingeschätzt, überwiegend durch die dadurch bewirkte generelle Verlangsamung des Verkehrsflusses. Bei der Kosten-Nutzen-Betrachtung standen den Einsparungen bei den Unfallkosten jedoch volkswirtschaftliche Kosten durch Zeitverluste und höhere Transportkosten in annähernd gleicher Höhe gegenüber. Als Ergebnis wurde die Geschwindigkeitsbeschränkung nur auf ausgewählten besonders gefährdeten Streckenabschnitten – zunächst versuchsweise – für alle Fahrzeuge von 80 km/h auf 70 km/h reduziert [60].

### **9.3 Niederlande**

In den Niederlanden sind seit den 90er Jahren staatliche Bemühungen zur Einführung neuer (längerer und schwererer) Fahrzeugkombinationen zu beobachten. Hintergrund sind Bestrebungen zur Produktivitätssteigerungen in der Verkehrswirtschaft, insbesondere durch den Export von Verkehrsleistung. Ein wichtiger Sektor ist dabei der Straßengüterverkehr zwischen den niederländischen Welthäfen und Süd- und Osteuropa. Durch Stärkung der „economies of scale“ – also Kostenersparnisse aufgrund von Größenvorteilen – können dabei betriebswirtschaftliche Produktivitätsvorteile ausgebaut werden.

Vor diesem Hintergrund wurden in den Niederlanden im Jahr 1994 50 t-Lastkraftwagen probeweise zugelassen.

In den Jahren 2000 bis 2003 wurde ein Versuch mit überlangen (25,25 m) und schwereren (60 t) Fahrzeugen durchgeführt. Aufgrund der sehr strengen Restriktionen (ausgewählte Fahrstrecken unter 50 Kilometer, Transporte nur in Verbindung mit intermodalen Transporten, Fahrverbot zwischen 06:00 und 10:00 Uhr) nahmen nur vier Teilnehmer an diesem Versuch teil. Die Erfahrungen daraus waren aber zu gering, um eine endgültige Entscheidung

treffen zu können. Die Ergebnisse wurden jedoch als ausreichend positiv angesehen, um eine zweite Versuchsphase zu beschließen.

Seit 2004 bis zum Jahr 2006 läuft daher in den Niederlanden die zweite Stufe der Erprobung.

Um die möglichen Risiken im Hinblick auf die Verkehrssicherheit zu minimieren, wurde für die zweite Versuchsstufe die Anzahl der Unternehmer auf max. 100 mit max. 300 Nutzfahrzeugen beschränkt und weitere restriktive Bestimmungen festgelegt:

- Autobahnen sind generell nutzbar. Die gewünschten Strecken zur und von der Autobahn dürfen höchstens 20 km lang sein und müssen für die Nutzung mit den neuen Fahrzeugkombinationen von den jeweiligen Baulastträgern freigegeben werden. Tempo 30-Zonen, Wohngebiete und urbane Zentrumsanlagen dürfen nicht befahren werden. Auf den Strecken dürfen sich keine Bahnübergänge befinden.
- Der Transport von Flüssigkeit, Gefahrgut, 45-foot Container sowie von über die Fahrzeugabmessungen herausragender Ladung ist von dem Versuch ausgenommen.
- Der Fahrer muss mindestens 5 Jahren Erfahrung auf Gliederzügen nachweisen, wobei in den letzten 3 Jahren seine Fahrerlaubnis nicht eingezogen worden sein darf. Außerdem benötigt der Fahrzeugführer ein Zertifikat, das ihm die nötige Zuverlässigkeit und mentalen Fähigkeiten bescheinigt.
- Fahrzeugtechnische Voraussetzungen sind: ABS, Toter Winkel-Spiegel oder Kamera, Geschlossene Seitenverkleidung, Konturmarkierung, Unterfahrschutz an der Vorderseite, Warnschild an der Fahrzeugrückseite, Motorleistung mindestens 5 KW/t.
- Verkehrsregelnde Einschränkungen: Generelles Überholverbot für neue Fahrzeugkombinationen. Fahrverbot bei Glatteis und dichtem Nebel (Anmerkung: Eine Realisierung und Überwachung von witterungs- oder straßenzustandsabhängigen verkehrsregelnden Einschränkungen ist für Deutschland als nicht praktikabel einzuschätzen).

Ziel dieses Großversuches ist es, die Konsequenzen des Einsatzes neuer Fahrzeugkombinationen hinsichtlich der folgenden Themenkomplexe zu untersuchen:

- Betriebswirtschaft, Logistik
- Konkurrenzverhältnisse zwischen Modalitäten
- Straßenbau und Umwelt
- Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit (objektiv und subjektiv)

Bis zum heutigen Zeitpunkt sind auf niederländischen Straßen etwas über 100 neue Fahrzeugkombinationen im Einsatz. 130 Fahrzeugführer haben die Schulung absolviert und ein Zertifikat erhalten.

Hinsichtlich einer Entscheidung über den zukünftigen Einsatz neuer Fahrzeugkombinationen sollen aus dem Großversuch die Voraussetzungen für eine generellen Freigabe für den Straßenverkehr abgeleitet werden.

In einer begleitenden Untersuchung werden die Erfahrungen der Spediteure und Fahrer, die Wirkung auf andere Verkehrsteilnehmer sowie Zwischenfälle dokumentiert und untersucht. Bislang ereignete sich ein Unfall unter Beteiligung eines dieser etwa 100 Fahrzeuge an einer Autobahnanschlussstelle, als ein Pkw beim Wechsel vom Einfädelungsstreifen auf die Hauptfahrbahn mit einer auf der Hauptfahrbahn fahrenden Lastzugkombination kollidierte.

Hinsichtlich der Wirkung der neuen Fahrzeugkombinationen auf andere Verkehrsteilnehmer wurde im Rahmen der Begleituntersuchung eine Befragung von etwa 1.000 Personen über die subjektive Wahrnehmung der längeren und schwereren Fahrzeuge sowie deren Reaktion darauf durchgeführt. Erste Zwischenergebnisse deuten an, dass die neuen Fahrzeugkombinationen lediglich als etwas längere Lkw wahrgenommen wurden.

Für den Pilotversuch wurde die erforderliche Fahrzeugausstattung aus ökonomischen Gründen vergleichsweise gering angesetzt. Hintergrund dieser Festlegung war die Überlegung, dass sich die finanzielle Investition innerhalb der Pilotphase amortisieren sollte. Bei einer Ausweitung der Zulassungen von Lastzugkombinationen wird es in den Niederlanden zu einer Diskussion der zusätzlichen fahrzeugtechnischen Ausstattungskomponenten kommen. Ebenso wird über Anhebung der erforderlichen Motorleistung und über eine generelle Forderung nach einer zweiten Antriebsachse nachgedacht.

Eine abschließende Bewertung der Ergebnisse wird Ende des Jahres 2006 in einer Entscheidung über die generelle Einführung von Lastzugkombinationen eingehen. Bereits jetzt werden jedoch Maßnahmen ergriffen, die diesen Einsatz der Lastzugkombinationen lancieren. So werden bereits offizielle Fahrerschulungszulassungen vergeben und die Schulungen selbst im großen Umfang angeboten.

## 10 Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund ständig steigender Transportleistungen auf dem bundesdeutschen Fernstraßennetz wird in jüngster Zeit in Fachkreisen wie in der Öffentlichkeit darüber diskutiert, ob durch neuartige Kombinationen von bestehenden Güterverkehrsfahrzeugen, Anhängern und Aufliegern ein effizienterer Verkehr organisiert werden könnte. Hierzu sind Lastzugkombinationen im Gespräch, die über eine Gesamtlänge von bis zu 25,25 m verfügen und von denen das Transportgewerbe wünscht, dass für sie maximale Gesamtgewichte von bis zu 60 t zugelassen werden.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung damit beauftragt, die technischen Fragen derartiger Lastzugkombinationen auf dem Bundesfernstraßennetz zu untersuchen. Entsprechend der zu bearbeitenden vorwiegend technischen Fragestellung waren weder die speditionsseitig zu erwartenden Nutzen, noch die ökologisch prognostizierten Erwartungen einer Einsparung von Treibstoff und einer Verringerung der Abgasemissionen Gegenstand der Untersuchungen.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen hat eine Arbeitsgruppe eingerichtet, die mit diesem Bericht die Ergebnisse ihrer Bearbeitung vorgelegt hat.

Die Untersuchungen konzentrierten sich im Einzelnen auf die folgenden Themenschwerpunkte:

- Auswirkungen auf die Straßenschädigung
- Auswirkungen auf die Brücken und Tunnel
- Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen
- Beeinflussung des Verkehrsablaufs
- Unfallgeschehen

Bei der Abschätzung der Auswirkungen von Lastzugkombinationen mit erhöhten Gesamtgewichten auf die **Straßenschädigung** wurden zunächst die Aspekte der Spurrinnenbildung analysiert. Hier konnte aufgrund von Laborversuchen geschlossen werden, dass die Lastzugkombinationen mit ihrer dichten zeitlichen Achsfolge voraussichtlich keine erhöhten Schädigungen der Asphaltdeckschicht verursachen werden. Berücksichtigt man zusätzlich die Überlegung, dass sich die Anzahl der Achsen, die zur Beförderung einer Tonne nötig sind, durch den Einsatz von Lastzugkombinationen vergrößert und damit die Achslasten sinken, so kann die Problematik einer verstärkten Spurrinnenbildung durch die zeitlich verkürzte Achsübergangsfolge dieser Fahrzeuge ausgeschlossen werden. Aufgrund der hohen Antriebskräfte, die bei Bergauffahrt in die Fahrbahnkonstruktion eingeleitet werden, ist es aber auch in Zukunft dringend erforderlich, dass oberhalb zulässiger Gesamtgewichte von 46 t eine zweite Antriebsachse vorgesehen wird.

Im Gegensatz zur Schädigung in Form von Spurrinnenbildung, die allein die Asphaltdeckschicht in Mitleidenschaft zieht, wird bei einem Substanzschaden ein Riss an der Unterseite

der Asphalttragschicht ausgelöst, der sich in vergleichsweise kurzer Zeit bis zur Straßenoberfläche fortentwickeln kann und somit die Gesamtkonstruktion des Oberbaus reparaturbedürftig werden lässt.

Die hierzu durchgeführten Untersuchungen führten insgesamt zu dem Ergebnis, dass die in Lastzugkombinationen sowohl im voll beladenen wie auch im gewichtsmäßig teilweise beladenen Zustand zu einer Reduzierung der Straßenbeanspruchung und damit zu geringeren Schäden am Straßenkörper führen als bei den heute üblichen Fahrzeugtypen. Rein rechnerisch lässt sich mit den Ergebnissen zur Straßenschädigung und unter Hinzuziehung der Zusammensetzung des gegenwärtigen Schwerverkehrs abschätzen, dass sich die Nutzungsdauern von Straßenaufbauten bei einem angenommenen mittelfristigen 30%igen Ersatz der heute verkehrenden 40-Tonner durch Lastzugkombinationen in etwa um 5,25 % erhöhen könnten.

Gleichzeitig zeigten Abschätzungen **der Verkehrszusammensetzung** infolge einer Einführung von Lastzugkombinationen, dass trotz Einsparung einzelner Zugfahrzeuge die täglich über das Straßennetz fahrende Gesamttonnage (Fahrzeuggewichte + Nutzlasten) unverändert bleiben würde. Für die Anzahl der Fahrten konnte herausgearbeitet werden, dass sich unter der Annahme, dass im Jahr 2015 etwa 45 % der Transportleistung durch Lastzugkombinationen erbracht werden würde, der durchschnittliche tägliche Schwerverkehr (Fz/d) auf Bundesautobahnen in einer Größenordnung von etwa 13 % verringern könnte.

Diese theoretischen Betrachtungen zu den Belastungen und Schädigungen von Straßen infolge einer Einführung von Lastzugkombinationen relativieren sich jedoch angesichts des ständig steigenden Schwertransports auf den Bundesfernstraßen: Durch den Einsatz von Lastzugkombinationen würde zwar die Beanspruchung der Straße bei der Beförderung ein und derselben Transportleistung sinken, und gleichzeitig würde infolge der geringeren Anzahl der für die Abwicklung benötigten Fahrzeuge mehr Raum und somit Kapazität auf der Straßen frei werden. Dieser Raum aber, der als potenzielle Transportkapazität angesehen werden kann, würde über kurz oder lang infolge der allgemeinen Transportleistungssteigerung allmählich wieder schwinden, wodurch die Hauptfahrstreifen der Bundesautobahnen täglich nicht nur von mehr Fahrzeugen, sondern auch von einer größeren Tonnage überrollt werden können als zuvor. Dieser Effekt wird schließlich dazu führen, dass die Straßenbefestigungen in Zukunft absolut gesehen – also in Jahren – früher, relativ gesehen – also nach abgewickelter Transportleistung später geschädigt werden.

Für die Auswirkungen einer möglichen Zulassung von Lastzugkombinationen bis zu einem Gesamtgewicht von 60 t auf die **Brückenbauwerke** muss eine generelle Überprüfung für den Gesamtbestand der Brücken der Bundesfernstraßen hinsichtlich der Tragfähigkeit für erhöhte Fahrzeuggesamtgewichte durchgeführt werden.

Anhand der zurzeit vorliegenden Ergebnisse durchgeführter Simulationsrechnungen ist festzustellen, dass bei einer möglichen Zulassung der 60 t-Lastzugkombinationen die Tragreserven des Bestandes reduziert werden. Darüber hinaus muss davon ausgegangen werden,

dass bei allen Bauwerken der Brückenklasse 30, 30/30 und 45 sowie bei zwei- und mehrfeldrigen Bauwerken der Brückenklassen 60 und 60/30 oberhalb einer Stützweite von 30 bzw. 40 m für die 60 t-Lastzugkombinationen über den Bemessungswerten liegende Beanspruchungen auftreten können, wobei zusätzlich der Bauwerkszustand zu beachten ist.

Ältere, vor 1980 errichtete mehrfeldrige Spannbetonbrücken weisen wegen der fehlenden Berücksichtigung von Zwängungsbeanspruchungen aus Temperaturunterschied größere Defizite auf als vergleichbare jüngere Systeme.

Neben den Brücken ergibt sich auch für die **Tunnel** der Bundesfernstraßen Bedarf für weitere Untersuchungen. Aufgrund des im Vergleich zu derzeitig zugelassen Fahrzeugen erheblich höheren Ladevolumens ist davon auszugehen, dass sich erhöhte Anforderungen an die Sicherheitsausstattung innerhalb von Tunnelbauwerken (z.B. wegen erhöhter Brandlast) ergeben würden.

Hinsichtlich der **Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen** lässt sich allgemein feststellen, dass durch die größeren Fahrzeuglängen und zusätzlichen Knickpunkte ungünstigere Kurvenlaufeigenschaften bei den betrachteten neuen Lastzugkombinationen auftreten.

Bei Einmündungen und Kreisverkehren ist zu berücksichtigen, dass bereits kleine Abweichungen von der optimierten Leitlinie zur Überfahung von entsprechend mehr zusätzlichen Flächen in den benachbarten Fahrstreifen oder im Seitenraum führen. Das Überfahren oder Überstreichen von Flächen im Seitenraum kann andere Verkehrsteilnehmer (v.a. Fußgänger und Radfahrer) gefährden, kann aber auch zur Beschädigung von Verkehrseinrichtungen sowie von Fahrbahnrandeinfassungen führen.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Straßenanlagen nur mit Lastzugkombinationen mit Nachlaufenkachse befahren werden können. Während das Rechtsabbiegen bei Einmündungen keine Probleme bereitet, so bestehen beim Rechtseinbiegen keine Bewegungsspielräume mehr. Die Freiräume müssen voll ausgenutzt werden.

Beim Befahren kleiner Kreisverkehre zeigt sich ein ähnliches Bild. Links- und Rechtsabbiegen sind bei neuen Lastzugkombinationen mit Nachlaufenkachse möglich, jedoch werden die Bewegungsspielräume voll ausgeschöpft. Eine, wenngleich auch minimale, Mitbenutzung von Flächen im Seitenraum ist zu befürchten.

Innerörtliche Knoten können selbst unter Inanspruchnahme sämtlicher Bewegungsspielräume und Sicherheitsräume nicht befahren werden.

Ebenfalls Probleme bereiten die neuen Lastzugkombinationen im Bereich von Rastplätzen. Da die heutigen Lkw-Stellplätze in der Regel zu kurz für derart lange Fahrzeuge sind, müssten die Fahrzeugführer bei baulich unveränderten Rastanlagen das Fahrzeug in den nicht überall vorhandenen Längsparkständen nahe den Fahrgassen oder in der Zu- beziehungsweise Ausfahrt der Raststätte abstellen. Letzteres ist aus Gründen der Verkehrssicherheit zu verhindern.

Hinsichtlich des **Verkehrsablaufes und der Verkehrssicherheit** wären durch den Einsatz neuer, längerer Lastzugkombinationen auf Autobahnen keine gravierenden Probleme zu erwarten. Bezogen auf die höheren Fahrzeuggewichte müssten neue Lastzugkombinationen jedoch entsprechend motorisiert sowie mit zuverlässigen Bremsanlagen ausgerüstet sein, um an Steigungs- und Gefällestrrecken den Verkehrsfluss nicht zu stören.

Im nachgeordneten Straßennetz wären negative Auswirkungen durch den Einsatz neuer, längerer Lastzugkombinationen vor allem an unsignalisierten, plangleichen Knotenpunkten sowie auf einbahnigen zweistreifigen Landstraßen zu erwarten. Durch die längeren Räumzeiten, die für das Abbiegen, Einbiegen und Kreuzen durch längere Lastzugkombinationen an Knotenpunkten und beim Passieren von Bahnübergängen benötigt werden, wären insbesondere negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit, aber auch auf die Leistungsfähigkeit zu erwarten.

Beim Überholen von langen Lastzugkombinationen ist aufgrund eines Zeitmehrbedarf von etwa 0,8 s mit einer zusätzlich benötigten Sichtweite von 50 m gegenüber dem Überholvorgang eines gängigen Sattelzuges zu rechnen.

Ein weiteres Problem sind die bestehenden Schutzeinrichtungen an Straßen, die einen Anprall mit längeren und/oder schwereren Fahrzeugen nicht standhalten würden. Rückhaltesysteme für 60 t-Lastzugkombinationen sind derzeit nicht verfügbar. Eine flächendeckende Ausstattung des Netzes ist wirtschaftlich nicht vertretbar. Moderne Fahrerassistenzsysteme (Bremsassistent mit Active Cruise Control, Spurhalteassistent) könnten dazu beitragen, das Unfallrisiko und die Unfallschwere zu minimieren.

Unterstellt man, dass das Unfallrisiko von Lastzugkombinationen dem heutiger schwerer Güterkraftfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von über 12 t entspricht, müsste man davon ausgehen, dass Lastzugkombinationen in 1,2 % aller Unfälle mit Personenschaden (entsprechend 255 Getötete) auf Bundesautobahnen verwickelt würden. Durch den obligatorischen Einsatz von Fahrerassistenzsystemen würde sich sowohl das Unfallrisiko als auch die Unfallschwere verringern.

Abschließend werden die Auswirkungen einer Einführung von Lastzugkombinationen auf die Untersuchungsbereiche der Infrastruktur, Fahrzeugausstattung und Fahrzeugführer aufgelistet:

### **Infrastruktur**

- Besondere überörtliche Routen festlegen
- Innenstädte meiden
- Kreisverkehre meiden
- Verkehrsknoten ohne Lichtsignalanlagen meiden

- 
- Bei Verkehrsknoten mit Lichtsignalanlagen neue Umlaufzeiten berücksichtigen (Reduzierung der Kapazität!)
  - Bahnübergänge meiden
  - Rückhaltesysteme verbessern (derzeit keine technischen Lösungen, Risikominderung durch Spurhalteassistent)
  - Umgestaltung von Rastanlagen
  - Brücken
    - Tragfähigkeit unter Beachtung des Bauwerkszustandes sicherstellen
    - Reduzierung der Restnutzungsdauer aus Materialermüdung beachten
    - Auswirkungen auf Ausstattungsteile prüfen (Lager, Rückhaltesysteme)
  - Baulichen Brandschutz und ausreichende Dimensionierung der Brandlüftung in Tunneln sicherstellen

### **Fahrzeug**

- Zwei angetriebene Achsen bei acht Achsen am Fahrzeug
- Zusätzliche Lenkachse
- Mindest-Motorisierung (6,6 kW/t entsprechen 360 PS)
- Oranges Warnschild
- Kontourmarkierung
- Toter-Winkel-Spiegel (Blindspotmirror)
- Antiblockiersystem (ABS) und Elektronisches Stabilitäts-Programm (ESP)
- Bremsassistent mit Active Cruise Control
- Spurhalteassistent (lane departure warning)
- Achslastsensorik zur Überprüfung und Überwachung der Ladungsverteilung<sup>\*</sup>
- GPS zur Routenverfolgung<sup>\*</sup>

### **Fahrer**

- Spezielle Ausbildung
- Zusätzliche Anforderungen (0 Promille, 0 Punkte im VZR, Altersbeschränkung) vergleichbar zu Gefahrguttransporten

---

<sup>\*</sup> Diese Vorschläge dienen dazu, möglichem Fehlverhalten vorzubeugen.



## 11 Literatur

- [1] BMVBW: Verkehrsbericht 2000: Integrierte Verkehrspolitik – Unser Konzept für eine mobile Zukunft. Berlin 2000
- [2] Ramberg, K.: Three Short Become Two Long, if the EU Follows the Example Set by Sweden and Finland; Fewer Trucks Improve the Environment. Confederation of Swedish Enterprise 2004
- [3] Smit, A.: Großversuch mit Super-Lkw's in den Niederlanden. Transport en Logistiek Nederland, Oktober 2004
- [4] Kampfraath, C.: Project longer and/or heavier lorries. Vortrag 23.10.2004
- [5] Binnenbruck, H. H.: Niederländische Initiative eines Modellversuchs mit 60 t-Lkw. Internationales Verkehrswesen, (57) 11/2005, S. 495-497
- [6] Friedrich, M.: Analyse des Schwerkraftverkehrs und Quantifizierung seiner Auswirkungen auf die Straßenbeanspruchung mit Hilfe der Potenzregel. Dissertation an der TU München, München 1998
- [7] Haefs, M.: Erhöhte Aufmerksamkeit. Transport 07/2005, S. 10
- [8] Zeizen, F.: Riese auf Reisen. trans aktuell 18/2005, S. 12
- [9] Keuchel, S., Ernst, H.: Abschätzung der Entwicklung der Straßengüterverkehrszusammensetzung infolge einer Einführung von Fahrzeugkonzepten mit höheren Gesamtgewichten und/oder Fahrzeuglängen. Schlussbericht zum Forschungsprojekt 03.400/2005/ARB, Institut für Lehrgebiet Volkswirtschaftslehre, insb. Verkehrswirtschaft und Verkehrspolitik, FH Gelsenkirchen 2006
- [10] Kienzler, H.-P.: Innovative Nutzfahrzeugkonzepte, Teilprojekt „Verkehr und Logistik“. Projektentwurf der Forschungsvereinigung Automobiltechnik, Frankfurt 2005
- [11] Grätz, B., Hou, X.: Festlegung von einheitlichen Prüf- und Auswertekriterien im dynamischen Druckschwellversuch im Hinblick auf die Entwicklung eines standardisierten dynamischen Prüfgerätes. Band 3 des Schlussberichts zum Forschungsprojekt 07.142 G 88 E, Karlsruhe 1992
- [12] Lorenzl, H., Schmoeckel, K., Wellner, F., Werkmeister, S., Grätz, B.: Weiterentwicklung von Stoffmodellen zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen. Schlussbericht zum Forschungsprojekt 04.187/2001/AGB, Braunschweig 2005
- [13] Buseck, H.: Der dynamische Druckschwellversuch. Schlussbericht zum Forschungsprojekt AP 88 215, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 1991
- [14] Betonstraßen Jahrbuch: Der AASHO-Straßentest – Dokumente und Auswertung. Fachverband Zement e.V. Köln, Beton Verlag GmbH, Düsseldorf
- [15] Wolf, A.: Zusammenhang zwischen dem Schädigungspotenzial von PKW und LKW nach der 4. Potenzregel. Stellungnahme zu diversen Anfragen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 2002
- [16] Friedrich, M.: Analyse des Schwerkraftverkehrs und Quantifizierung seiner Auswirkungen auf die Straßenbeanspruchung mit Hilfe der Potenzregel. Dissertation an der TU München, München 1998
- [17] Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, RStO 01. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2001

- 
- [18] Zander, U.: Ermittlung des Einflusses von Eingangsgrößen im Zweipunkt-Biegeversuch auf die Beurteilung des Ermüdungsverhaltens von Asphalt. Forschungsprojekt 04 343 der Bundesanstalt für Straßenwesen, in Bearbeitung
- [19] Volvo: Achslasten der Dolly-Trailer-Kombination für den leeren, üblichen und vollen Beladungszustand. Email von Ulf Ehrning, Göteborg, 2005
- [20] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen. Aufgestellt vom gleichnamigen Arbeitskreis, Entwurf Ausgabe 1997, Bundesanstalt für Straßenwesen.
- [21] Wolf, A.: Analyse der im 1. Quartal 1998 im Rahmen des Probebetriebs von 13 Achslastwaagen auf Bundesautobahnen in Hessen erfassten Achslasten und Einzelfahzeugdaten im Hinblick auf straßenbautechnische Fragestellungen. Forschungsprojekt 98 341/S4 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2000, unveröffentlicht
- [22] Bundesverband Güterkraftverkehr, Logistik und Entsorgung (BGL): Jahresbericht 2004/2005, Frankfurt am Main, 2005
- [23] Wolf, A.: Auswertung von Messungen von Achslastwaagen im Zuge des Ausbaus des Achslasterfassungsnetzes auf Bundesautobahnen. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 2005, unveröffentlicht
- [24] Helmke, B.: Straßengüterverkehr: Zweifel am Boom. Deutsche Logistik-Zeitung, 10. November 2005
- [25] BMVBW: Verkehr in Zahlen 2004/2005. Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg 2004
- [26] BMVBW: Bericht des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen zum Kombinierten Verkehr. Berlin, 2001
- [27] BGA: Das Modulare Nutzfahrzeugkonzept – 60 Tonnen Lkw. Bundesverband des Deutschen Gross- und Außenhandels e.V., Berlin 2004
- [28] Zeizen, F.: Riese auf Reisen. trans aktuell 18/2005, S. 12, Stuttgart 2005
- [29] Neunzig, D.: Roadtrains für Europa – Wie werden sie möglich? Institut für Kraftfahrwesen der RWTH Aachen (ika), Aachen 2005
- [30] Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO). Grundwerk mit 32. Ergänzungslieferung, Stand 1. Januar 2003, ISBN 3 7812 1578 4, Kirschbaum Verlag GmbH, Fachverlag für Verkehr und Technik, Siegfriedstraße 28, 53179 Bonn.
- [31] Rabe, R.: Messtechnische Erfassung der Beanspruchungen im Straßenaufbau infolge LKW-Überfahrten über eine Modellstraße in Asphalt-Bauweise. Schlussbericht zum BAST-AP-Projekt 04 342/S4, Bergisch Gladbach 2006
- [32] Straßenbaubericht 2004. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.
- [33] European Commission: Effect of wide single tyres and dual tyres. Final Report of the Action 334, Brüssel 2000
- [34] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 1072, Dezember 1985, Straßen- und Wegbrücken – Lastannahmen, Beuth Verlag, Berlin, 1985
- [35] Bundesanstalt für Straßenwesen: Statistik 2005 der Brücken und anderen Ingenieurbauwerke. Bergisch Gladbach 2005 (unveröffentlicht)
- [36] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 1076, Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen; Überwachung und Prüfung. Beuth, Verlag, Berlin
- [37] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Richtlinien zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF), Bonn, 2004

- 
- [38] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN-Fachbericht 101 – Einwirkungen auf Brücken. Beuth Verlag, Berlin, 2003
- [39] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN V ENV 1991-2 , Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Bauwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken, Deutsche Fassung. Beuth Verlag, Berlin, 1995
- [40] FGSV: Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2001
- [41] Hoffmann, Stephan: Ermittlung von Schleppkurven von neuartigen Lastzugkombinationen. Schlussbericht zum FE 89.0165/2005/AP, Hannover 2006 (unveröffentlicht)
- [42] Schnüll, R.; Hoffmann, S.; Kölle, M. und F. Engelmann: Grundlagen für die Bemessung von fahrgeometrischen Bewegungsräumen für Nutzfahrzeuge mit mehr als 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 827, Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn 2001
- [43] FGSV: Richtlinie für die Anlage von Straßen (RAS). Teil: Knotenpunkte (RAS-K), Abschnitt 1 : Plangleiche Knotenpunkte (RAS-K-1). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1988
- [44] FGSV: Hinweise für die Anlage von Kreisverkehren. Entwurf 11/05, unveröffentlicht, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2005
- [45] FGSV: Merkblatt für die Anlage von kleinen Kreisverkehrsplätzen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1998
- [46] FGSV: Richtlinie für Rastanlagen an Straßen (RR1). Teil 1: Allgemeine Planungsgrundsätze – Landschaftsgestaltung – Ergänzende Planungsgrundsätze für unbewirtschaftete Rastanlagen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1981.
- [47] Gerlach, Jürgen; Huber, Felix; Vieten, Michael und Dirk Böhm: Sicherheits- und Betriebserfordernisse beim Bau von Rastanlagen an BAB. Schlussbericht zum FE 02.201/2000/MRB (unveröffentlicht)
- [48] Breßler, Dierk und Jürgen Follmann: Kolonnenparken für Lkw auf Rastanlagen. In Straßenverkehrstechnik 2005, S. 522-525.
- [49] Schuckließ, W.; Baier, M.M. und R. Trapp: Vorbereitende Maßnahmen für den praktischen Einsatz von Fahrerassistenzsystemen im Güterverkehr. Anforderungen der Straßeninfrastruktur zur Umsetzung automatisch geführter LKW-Konvois auf Bundesautobahnen, (unveröffentlicht) 2002
- [50] FGSV: Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL). Teil: Knotenpunkte (RAL-K). Abschnitt 2: Planfreie Knotenpunkte (RAL-K-2). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1976
- [51] FGSV: Aktuelle Hinweise zur Gestaltung planfreier Knotenpunkte außerhalb bebauter Gebiete. Ergänzung zu den RAL-K-2 (AH-RAL-K-2). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1993
- [52] Harders, J.: Grenz- und Folgezeitlücken als Grundlage für die Berechnung der Leistungsfähigkeit von Landstraßen. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 216, Hrsg.: Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau, Bonn 1976
- [53] Brilon, Werner und Thorsten Miltner: Verkehrsqualität unterschiedlicher Verkehrsteilnehmerarten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V100, Bremerhaven 2003
- [54] Assing, Kai: Unfallgeschehen mit schweren Lkw über 12 t. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M156, Bergisch Gladbach 2004

- [55] Evers, Claudia: Verhaltensbezogene Ursachen schwerer Lkw-Unfälle. Schriftenreihe der BASt, Heft M174, Bergisch Gladbach 2005
- [56] Köfalvi, Gyula: Verkehrsunfälle mit mehrgliedrigen Nutzfahrzeugen infolge Stabilitätsverminderung. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 3, März 2005.
- [57] Köfalvi, Gyula: Verkehrsunfälle mit mehrgliedrigen Nutzfahrzeugen infolge Stabilitätsverminderung (Teil2). Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 4, April 2005.
- [58] Backman, H.; Nordström, R.: Improved Performance of European Long Haulage Transport. Transport Research Institute (TfK), Stockholm 2002
- [59] Räsänen et.al.; 2004:  
Räsänen, Jukka; Kallberg, Veli-Pekka; Kiviniemi, Tero und Juha Tapio: Impacts of reduced speed limits of large articulated trucks during wintertime. Publications of the ministry of transport and communication 68/2004, Helsinki, 2004.
- [60] Räsänen, Peltola; 2005:  
Räsänen, Jukka und Harri Peltola: Seasonal Speed Limits and Heavy Vehicles. In: Nordic Road and Transport Research; No. 2/3 2005; S. 22f.
- [61] FGSV: Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT) – Ausgabe 2006. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2006
- [62] BASt: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Teil 5 Tunnelbau (Ausgabe 2003).Hrsg.: Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund, 2003.
- [63] FE 15.0409 „Auswirkungen der Erhöhung der zulässigen Fahrzeuggesamtwichte auf 60t hinsichtlich der Tragfähigkeit von Brücken im Zuge von Bundesfernstraßen“, Zwischenbericht vom 6.11.2006, TU Berlin (unveröffentlicht).

## 12 Anlagen

Anhang 0: Berechnungsalgorithmus für die Abschätzung der Auswirkung einer Nutzlastverlagerung auf den DTV<sup>(SV)</sup>

(Anhang 1-24 ohne Maßstab)

Anhang 1: Schleppkurvenschablonen – Lastzugkombination der Variante 1

Anhang 2: Schleppkurvenschablonen – Lastzugkombination der Variante 2

Anhang 3: Schleppkurvenschablonen – Lastzugkombination der Variante 3

Anhang 4: Schleppkurvenschablonen – Lastzugkombination der Variante 4

Anhang 5: Befahrung der Einmündung VAR 1 mit der Lastzugkombination der Variante 1

Anhang 6: Befahrung der Einmündung VAR 1 mit der Lastzugkombination der Variante 2

Anhang 7: Befahrung der Einmündung VAR 1 mit der Lastzugkombination der Variante 3

Anhang 8: Befahrung der Einmündung VAR 1 mit der Lastzugkombination der Variante 4

Anhang 9: Befahrung der Einmündung VAR 2 mit der Lastzugkombination der Variante 1

Anhang 10: Befahrung der Einmündung VAR 2 mit der Lastzugkombination der Variante 2

Anhang 11: Befahrung der Einmündung VAR 2 mit der Lastzugkombination der Variante 3

Anhang 12: Befahrung der Einmündung VAR 2 mit der Lastzugkombination der Variante 4

Anhang 13: Befahrung der Einmündung VAR 3 mit der Lastzugkombination der Variante 1

Anhang 14: Befahrung der Einmündung VAR 3 mit der Lastzugkombination der Variante 2

Anhang 15: Befahrung der Einmündung VAR 3 mit der Lastzugkombination der Variante 3

Anhang 16: Befahrung der Einmündung VAR 3 mit der Lastzugkombination der Variante 4

Anhang 17: Befahrung der Einmündung VAR 4 mit der Lastzugkombination der Variante 1

Anhang 18: Befahrung der Einmündung VAR 4 mit der Lastzugkombination der Variante 2

Anhang 19: Befahrung der Einmündung VAR 4 mit der Lastzugkombination der Variante 3

Anhang 20: Befahrung der Einmündung VAR 4 mit der Lastzugkombination der Variante 4

Anhang 21: Befahrbarkeit eines Kreisverkehrs mit der Lastzugkombination der Variante 1

Anhang 22: Befahrbarkeit eines Kreisverkehrs mit der Lastzugkombination der Variante 2

Anhang 23: Befahrbarkeit eines Kreisverkehrs mit der Lastzugkombination der Variante 3

Anhang 24: Befahrbarkeit eines Kreisverkehrs mit der Lastzugkombination der Variante 4

Anhang 25: Messung Schleppkurve, Einmündung Rechtsabbieger

Anhang 26: Messung Schleppkurve, Einmündung Rechtseinbieger (1)

Anhang 27: Messung Schleppkurve, Einmündung Rechtseinbieger (2)

- Anhang 28: Messung Schleppkurve, Einmündung Rechtseinbieger (3)
- Anhang 29: Messung Schleppkurve, Kreisverkehr  $\frac{1}{4}$  Kreis (1)
- Anhang 30: Messung Schleppkurve, Kreisverkehr  $\frac{1}{4}$  Kreis (2)
- Anhang 31: Messung Schleppkurve, Kreisverkehr  $\frac{1}{4}$  Kreis (3)
- Anhang 32: Messung Schleppkurve, Kreisverkehr  $\frac{3}{4}$  Kreis (1)
- Anhang 33: Messung Schleppkurve, Kreisverkehr  $\frac{3}{4}$  Kreis (2)
- Anhang 34: Messung Schleppkurve, Kreisverkehr  $\frac{3}{4}$  Kreis (3)
- Anhang 35: Messung Schleppkurve, Innerortsknoten Kreisbogen 8 m maßgebend
- Anhang 36: Messung Schleppkurve, Innerortsknoten Kreisbogen 15 m maßgebend
- Anhang 37: Messung Schleppkurve, Innerortsknoten Gegenfahrbahn maßgebend (1)
- Anhang 38: Messung Schleppkurve, Innerortsknoten Gegenfahrbahn maßgebend (2)
- Anhang 39: Messung Schleppkurve, Stellfläche (1)
- Anhang 40: Messung Schleppkurve, Stellfläche (2)
- Anhang 41: Messung Schleppkurve, Stellfläche (3)
- Anhang 42: Berechnung Schleppkurve, Einmündung Rechtseinbieger
- Anhang 43: Berechnung Schleppkurve, Kreisverkehr  $\frac{1}{4}$  Kreis
- Anhang 44: Berechnung Schleppkurve, Kreisverkehr  $\frac{3}{4}$  Kreis
- Anhang 45: Berechnung Schleppkurve, Innerortsknoten Rechtseinbiegen
- Anhang 46: Berechnung Schleppkurve, Stellfläche

## Anhang 0: Berechnungsalgorithmus für die Abschätzung der Auswirkung einer Nutzlastverlagerung auf den DTV<sup>(SV)</sup>

Zunächst werden aus der relativen Zusammensetzung des Schwerverkehrs (Abbildung 2.8 im Haupttext) und dem durchschnittlichen täglichen Schwerverkehr (DTV<sup>(SV)</sup>) die absoluten Anzahlen der einzelnen Fahrzeugarten des Schwerverkehrs und somit auch die der relevante Fahrzeugarten ermittelt (1).

$$nFzArt_i = relAFzArt_i \cdot DTV^{(SV)} \quad (1)$$

mit

$nFzArt_i$	Anzahl der Fahrzeuge der Fahrzeugart i [Fz/24h]
$relAFzArt_i$	relativer Anteil der Fahrzeugart i nach (Abbildung 2.8 im Haupttext)
$DTV^{(SV)}$	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs [Fz/24h]

Aus der Multiplikation der absoluten Fahrzeuganzahlen mit den relativen Fahrzeuganteilen in den einzelnen Gesamtgewichtsklassen der zugehörigen Gesamtgewichtsverteilung werden die jeweiligen Fahrzeuganzahlen in den einzelnen Gesamtgewichtsklassen erhalten (2).

$$nFzArt_iGGKl_j = relAFzArt_iGGKl_j \cdot nFzArt_i \quad (2)$$

mit

$nFzArt_iGGKl_j$	Anzahl der Fahrzeuge der Fahrzeugart i in der Gesamtgewichtsklasse j [Fz/24h]
$relAFzArt_iGGKl_j$	relativer Anteil der Fahrzeugart i in der Gesamtgewichtsklasse j (vergleiche Abbildung 2.9 im Haupttext)
$nFzArt_i$	Anzahl der Fahrzeuge der Fahrzeugart i nach Gleichung (1) [Fz/24h]

Die Aufsummierung der Produkte aus Fahrzeuganzahl in einer Gesamtgewichtsklasse und dem jeweiligen Klassenmittelwert des Gesamtgewichtes über die Anzahl der Gesamtgewichtsklassen führt für die Fahrzeugart i zum Gesamtgewicht pro Tag (3).

$$GGFzArt_i = \sum_{j=1}^k nFzArt_iGGKl_j \cdot MWGGKl_j \quad (3)$$

mit

$GGFzArt_i$	Gesamtgewicht der Fahrzeuge der Fahrzeugart i [t/24h]
$nFzArt_iGGKl_j$	Anzahl der Fahrzeuge der Fahrzeugart i in der Gesamtgewichtsklasse j nach Gleichung (2) [Fz/24h]
$MWGGKl_j$	Klassenmittelwert in der Gesamtgewichtsklasse j [t]
$k$	Anzahl der Gesamtgewichtsklassen (vergl. Bild 1.2)

Das Gesamtgewicht des DTV<sup>(SV)</sup> wird über die Aufsummierung der einzelnen Gesamtgewichte aller Fahrzeugarten  $i$  erhalten (4).

$$\text{GGDTV}^{(SV)} = \sum_{i=1}^n \text{GGFzArt}_i \quad (4)$$

mit

$\text{GGDTV}^{(SV)}$	Gesamtgewicht des DTV <sup>(SV)</sup> [t/24h]
$\text{GGFzArt}_i$	Gesamtgewicht der Kraftfahrzeuge der Fahrzeugart $i$ nach Gleichung (3) [t/24h]
$n$	Anzahl der Fahrzeugarten im DTV <sup>(SV)</sup> (Abbildung 2.8 im Haupttext) [Fz/24h]

Nur für die relevante Fahrzeugarten erfolgt nun die Aufspaltung der Gesamtgewichte in Leergewicht und Nutzlast, da nur ihre Nutzlast im Rahmen des Szenarios auf Lastzugkombinationen verlagert wird. Hierfür werden die Leergewichte für die relevanten Fahrzeugarten nach Abbildung 2.10 im Haupttext angesetzt.

Ihre jeweilige Nutzlast berechnet sich dann als Differenz aus Gesamtgewicht und Leergewicht (5).

$$\text{NLrelvFzArt}_i = \text{GGrelvFzArt}_i - \text{nrelvFzArt}_i \cdot \text{LGrelvFzArt}_i \quad (5)$$

mit

$\text{NLrelvFzArt}_i$	Nutzlast der Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart $i$ [t/24h]
$\text{GGrelvFzArt}_i$	Gesamtgewicht der Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart $i$ nach Gleichung (3) [t/24h]
$\text{nrelvFzArt}_i$	Anzahl der Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart $i$ nach Gleichung (1) [Fz/24h]
$\text{LGrelvFzArt}_i$	Leergewicht eines Fahrzeugs der relevanten Fahrzeugart $i$ nach Abbildung 2.10 im Haupttext [t]

Die Aufsummierung der einzelnen Nutzlasten einer relevanten Fahrzeugart führt zur Nutzlast aller Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugarten pro Tag (6).

$$\text{NLrelvFz} = \sum_{i=1}^{\text{nrelvFzArt}} \text{NLrelvFzArt}_i \quad (6)$$

mit

NLrelvFz	Nutzlast aller relevanten Fahrzeuge im DTV <sup>(SV)</sup> (Abbildung 2.10 im Haupttext) [t/24h]
NLrelvFzArt <sub>i</sub>	Nutzlast der Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i nach Gleichung (5) [t/24h]
nrelvFzArt	Anzahl der relevanten Fahrzeugarten (Abbildung 2.10 im Haupttext)

Die so berechnete Summe der Nutzlast der relevanten Fahrzeugarten ist nicht identisch mit der potentiell zu verlagernden Nutzlast. Hierzu sind zunächst die nicht verlagerungsfähigen Anteile an der Nutzlast zu subtrahieren. Hierzu gehören beispielsweise die Warengruppe der Gefahrgüter. Die Berücksichtigung der nicht verlagerungsfähigen Anteile an der Nutzlast erfolgt im Rahmen des Szenarios über einen prozentualen Abzug, so dass sich die potentiell zu verlagernde Nutzlast zu

$$\text{PNLrelvFz} = \text{NLrelvFz} \cdot \left[ 1 - \frac{\text{relAnVNL}}{100} \right] \quad (7)$$

mit

PNLrelvFz	Potentiell zu verlagernde Nutzlast aller relevanten Fahrzeuge im DTV <sup>(SV)</sup> (Abbildung 2.10 im Haupttext) [t/24h]
NLrelvFz	Nutzlast aller relevanten Fahrzeuge im DTV <sup>(SV)</sup> (Abbildung 2.10 im Haupttext) nach Gleichung (6) [t/24h]
relAnVNL	relativer Anteil der nicht verlagerungsfähigen Nutzlast [%]

ergibt. Unter Annahme eines relativen Verlagerungsanteils ergibt sich die zu verlagernde Nutzlast nach Gleichung (8)

$$\text{VNLrelvFz} = \text{PNLrelvFz} \cdot \frac{\text{relAVNL}}{100} \quad (8)$$

mit

VNLrelvFz	zu verlagernde Nutzlast aller relevanten Fahrzeuge im DTV <sup>(SV)</sup> (Abbildung 2.10 im Haupttext) [t/24h]
PNLrelvFz	Potentiell zu verlagernde Nutzlast aller relevanten Fahrzeuge im DTV <sup>(SV)</sup> (Abbildung 2.10 im Haupttext) nach Gleichung (7) [t/24h]
relAVNL	relativer Anteil der zu verlagernden Nutzlast [%]

In einem weiteren Schritt muss zunächst die jeweilige zu berücksichtigende Nutzlast der im Rahmen des Szenarios gewählten Fahrzeugarten der Lastzugkombination (Abbildung 2.11 im Haupttext) berechnet werden. Sie ergibt sich aus der Multiplikation der jeweiligen maximalen Nutzlast von 36,5 t bzw. 37,5 t mit einem zu wählenden Auslastungsgrad der Lastzugkombinationen (9). Vereinfachend wird für beide Fahrzeugarten ein gleicher Auslastungsgrad angesetzt.

$$NL60t_i = \max NL60t_i \cdot \frac{AGrd60t}{100} \quad (9)$$

mit

$NL60t_i$	zu berücksichtigende Nutzlast der Lastzugkombination der Fahrzeugart i [t/Fz]
$\max NL60t_i$	maximale Nutzlast der Lastzugkombination der Fahrzeugart i nach Abbildung 2.11 im Haupttext [t]
$AGrd60t$	Auslastungsgrad der Lastzugkombination [%]

Für beide Fahrzeugarten der Lastzugkombination nach Abbildung 2.11 im Haupttext wird vereinfachend ein gleicher Anteil an der zu verlagernden Nutzlast angenommen. Aus der Division der mit dem spezifischen Verlagerungsgrad multiplizierten Nutzlast aller relevanten Fahrzeuge im  $DTV^{(SV)}$  nach Gleichung (8) durch die Nutzlast der betrachteten Lastzugkombination nach Gleichung (9) ergibt sich als Quotient die Anzahl der aus der Nutzlastverlagerung resultierenden Lastzugkombinationen der Fahrzeugart i, die die entsprechende Anzahl der relevanten Fahrzeuge im  $DTV^{(SV)}$  ersetzen (10).

$$nFz60t_i = \frac{VGrd60t_i \cdot VNLrelFz}{NL60t_i} \quad (10)$$

mit

$nFz60t_i$	Anzahl der aus der Nutzlastverlagerung resultierenden der Lastzugkombinationen der Fahrzeugart i [Fz/24h]
$VGrd60t_i$	spezifischer Verlagerungsgrad der Lastzugkombination der Fahrzeugart i [%]
$VNLrelFz$	zu verlagernde Nutzlast aller relevanten Fahrzeuge im $DTV^{(SV)}$ (Abbildung 2.10 im Haupttext) nach Gleichung (8) [t/24h]
$NL60t_i$	zu berücksichtigende Nutzlast der Lastzugkombination der Fahrzeugart i nach Gleichung (9) [t/Fz]

Dabei muss die Bedingung

$$\sum_{i=1}^{n60} VGrd60t_i = 100 \quad (11)$$

mit

$n60$  Anzahl der Fahrzeugarten der Lastzugkombinationen

erfüllt sein.

Die Summe der Anzahl der 60-Tonner nach Gleichung (10) über die Fahrzeugarten hinweg führt schließlich zur notwendigen Anzahl der Lastzugkombinationen, um die zu verlagernde Nutzlast nach Gleichung (8) aufzunehmen (12).

$$nFz60t = \sum_{i=1}^{n60} nFz60t_i \quad (12)$$

mit

$nFz60t$	Anzahl der die zu verlagernde Nutzlast aufnehmenden Lastzugkombinationen [Fz/24h]
$nFz60t_i$	Anzahl der aus der Nutzlastverlagerung resultierenden Lastzugkombinationen der Fahrzeugart i [Fz/24h]
$n60$	Anzahl der Fahrzeugarten der Lastzugkombinationen

Für die Bestimmung der Anzahl der durch Lastzugkombinationen ersetzt relevanten Fahrzeuge im  $DTV^{(SV)}$  ist zunächst der relative Anteil der Nutzlast der relevanten Fahrzeuge der Fahrzeugart i nach Gleichung (13) zu ermitteln.

$$relNLrelvFzArt_i = \frac{NLrelvFzArt_i}{NLrelvFz} \cdot 100 \quad (13)$$

mit

$relNLrelvFzArt_i$	relativer Anteil der Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i an der Nutzlast aller relevanten Fahrzeuge [%]
$NLrelvFzArt_i$	Nutzlast der Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i nach Gleichung (5) [t/24h]
$NLrelvFz$	Nutzlast aller relevanten Fahrzeuge im $DTV^{(SV)}$ (Abbildung 2.10 im Haupttext) nach Gleichung (6) [t/24h]

Mit diesem relativen Anteil wird im Weiteren der Anteil der relevanten Fahrzeugart i an der verlagerungsfähigen Nutzlast gemäß Gleichung (8) bestimmt (14).

$$VNLrelvFzArt_i = VNLrelvFz \cdot \frac{relNLrelvFzArt_i}{100} \quad (14)$$

mit

$VNLrelvFzArt_i$	Anteil der Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i an der zu verlagernden Nutzlast [t/24h]
$VNLrelvFz$	verlagerungsfähige Nutzlast aller relevanten Fahrzeuge im $DTV^{(SV)}$ (Bild 1.3) nach Gleichung (8) [t/24h]
$relNLrelvFzArt_i$	relativer Anteil der relevanten Fahrzeugart i an der Nutzlast aller relevanten Fahrzeuge nach Gleichung (13) [%]

Mit dem Mittelwert der Nutzlast für die Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i nach Gleichung (15)

$$MWNLrelvFzArt_i = \frac{NLrelvFzArt_i}{nrelvFzArt_i} \quad (15)$$

mit

$MWNLrelvFzArt_i$	Mittelwert der Nutzlast für die Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i [t/Fz]
$NLrelvFzArt_i$	Nutzlast der Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i nach Gleichung (5) [t/24h]
$nrelvFzArt_i$	Anzahl der Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i nach Gleichung (1) [Fz/24h]

wird dann die Anzahl der durch Lastzugkombinationen ersetzten Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i erhalten (16).

$$rednrelvFzArt_i = \frac{VNLrelvFzArt_i}{MWNLrelvFzArt_i} \quad (16)$$

mit

$rednrelvFzArt_i$	Anzahl der durch Lastzugkombinationen ersetzten Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i [Fz/24h]
$VNLrelvFzArt_i$	Anteil der Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i an der zu verlagerten Nutzlast nach Gleichung (14) [t/24h]
$MWNLrelvFzArt_i$	Mittelwert der Nutzlast für die Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i nach Gleichung (15) [t/Fz]

Die Aufsummierung der Anzahl der durch Lastzugkombinationen ersetzten Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i ergibt schließlich die Anzahl der gesamten relevanten Fahrzeuge, die durch Lastzugkombinationen ersetzt werden (17).

$$rednrelvFz = \sum_{i=1}^{nrelvFzArt} rednrelvFzArt_i \quad (17)$$

mit

$rednrelvFz$	Anzahl der durch Lastzugkombinationen ersetzten relevanten Fahrzeuge [Fz/24h]
$rednrelvFzArt_i$	Anzahl der durch Lastzugkombinationen ersetzten Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart i nach Gleichung (16)
$nrelvFzArt$	Anzahl der relevanten Fahrzeugarten (Abbildung 2.10 im Haupttext)

Der neue  $DTV^{(SV)}$  unter Berücksichtigung der reduzierten Anzahl der relevanten Fahrzeuge und der hinzukommenden Anzahl der Lastzugkombinationen berechnet sich nach Gleichung (18).

$$\text{newDTV}^{(\text{SV})} = \text{DTV}^{(\text{SV})} - \text{rednrelvFz} + \text{nFz60t} \quad (18)$$

mit

$\text{newDTV}^{(\text{SV})}$	nach der Nutzlastverlagerung sich einstellender $\text{DTV}^{(\text{SV})}$ [Fz/24h]
$\text{DTV}^{(\text{SV})}$	Ausgangs $\text{DTV}^{(\text{SV})}$ [Fz/24h]
$\text{rednrelvFz}$	Anzahl der durch Lastzugkombinationen ersetztten relevanten Fahrzeuge nach Gleichung (17) [Fz/24h]
$\text{nFz60t}$	Anzahl der die zu verlagernde Nutzlast aufnehmenden Lastzugkombinationen nach Gleichung (12) [Fz/24h]

Die Veränderungsrate des  $\text{DTV}^{(\text{SV})}$  ergibt sich dann mit Gleichung (19).

$$\text{VDTV}^{(\text{SV})} = \frac{\text{rednrelvFz} - \text{nFz60t}}{\text{DTV}^{(\text{SV})}} \cdot 100 \quad (19)$$

mit

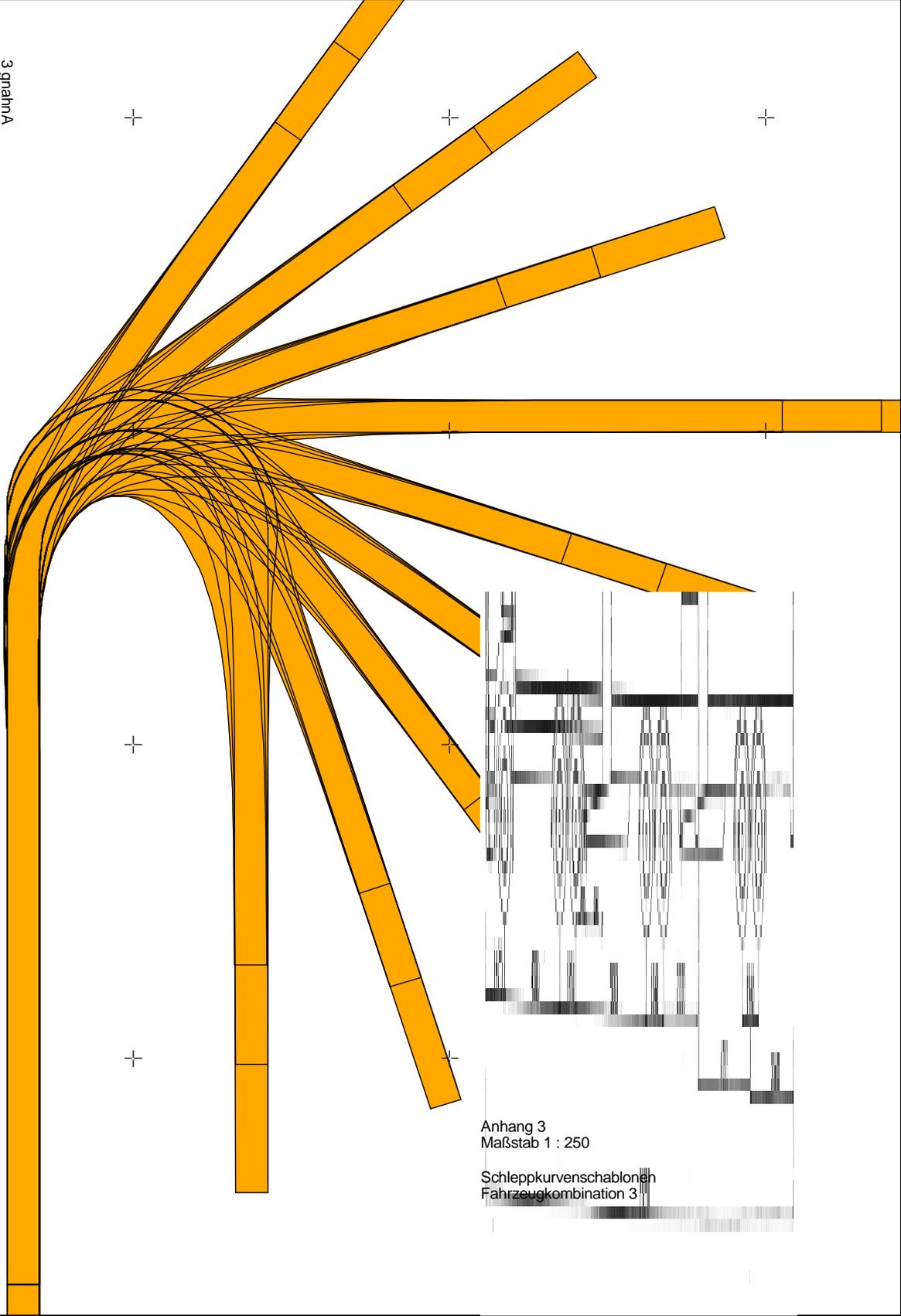
$\text{VDTV}^{(\text{SV})}$	Veränderungsrate des $\text{DTV}^{(\text{SV})}$ [%]
$\text{DTV}^{(\text{SV})}$	Ausgangs $\text{DTV}^{(\text{SV})}$ [Fz/24h]
$\text{rednrelvFz}$	Anzahl der durch Lastzugkombinationen ersetztten relevanten Fahrzeuge nach Gleichung (17) [Fz/24h]
$\text{nFz60t}$	Anzahl der die zu verlagernde Nutzlast aufnehmenden Lastzugkombinationen nach Gleichung (12) [Fz/24h]







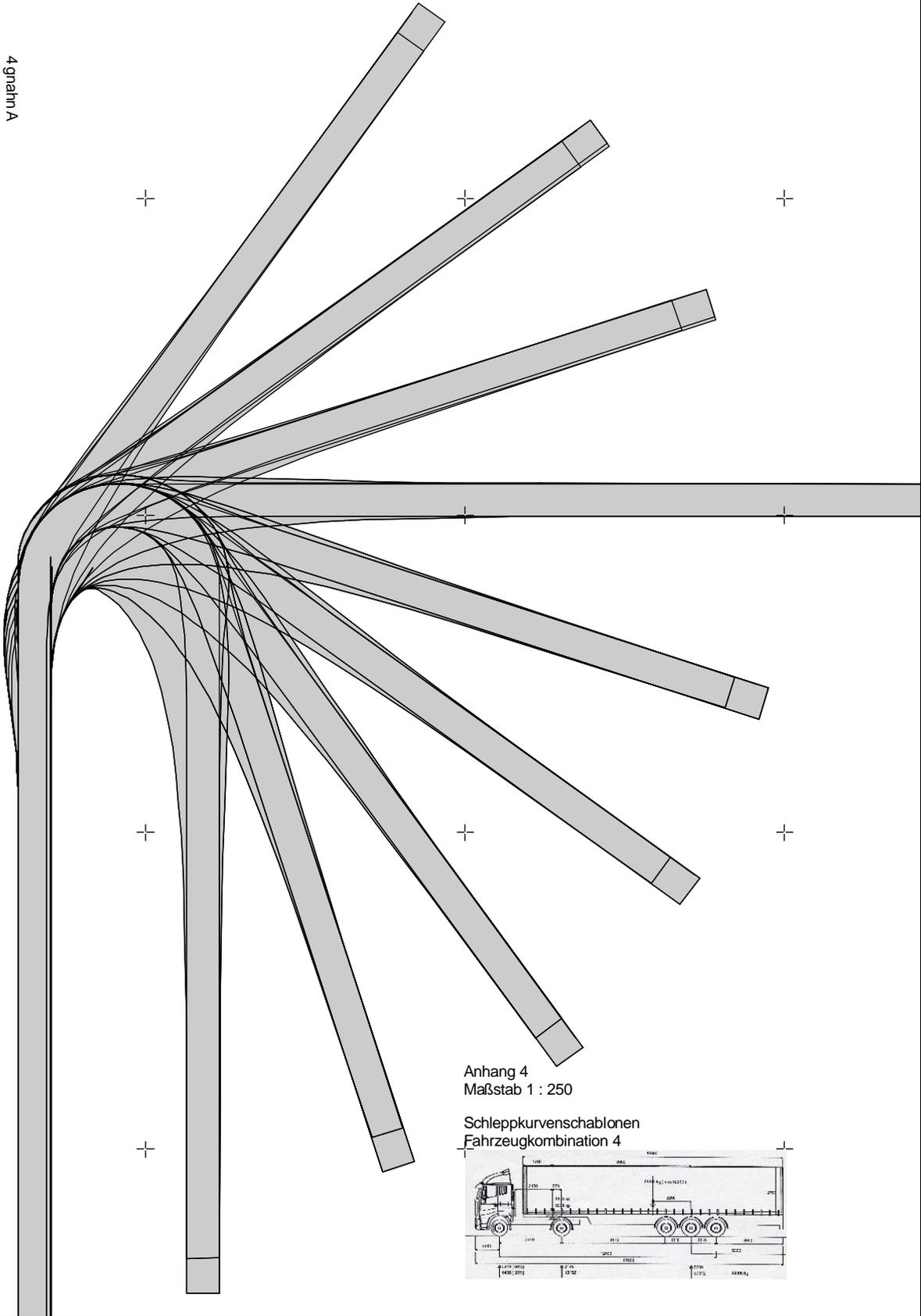
3 gnahhA



Anhang 3  
Maßstab 1 : 250

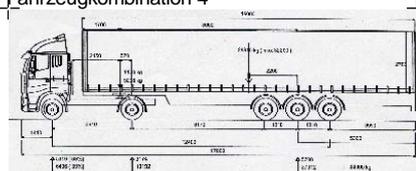
Schleppkurvenschablonen  
Fahrzeugkombination 3

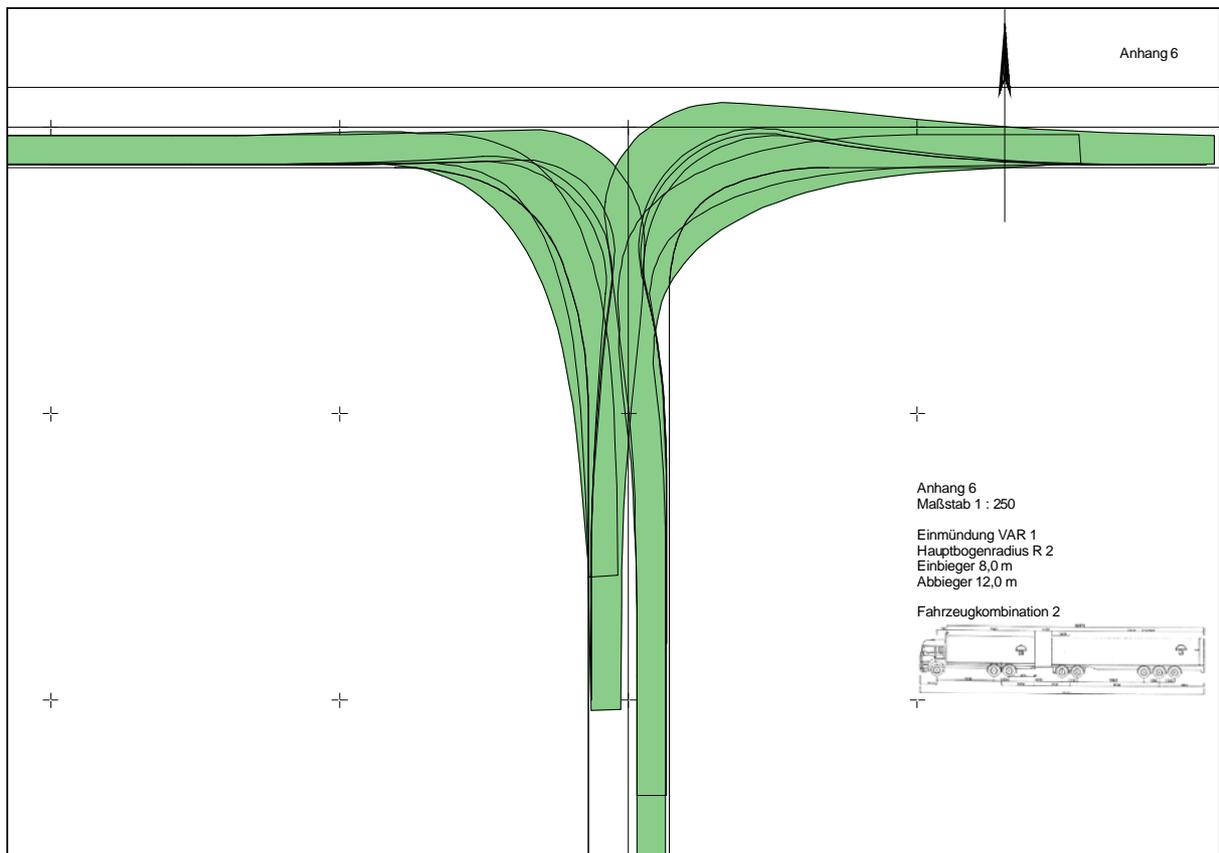
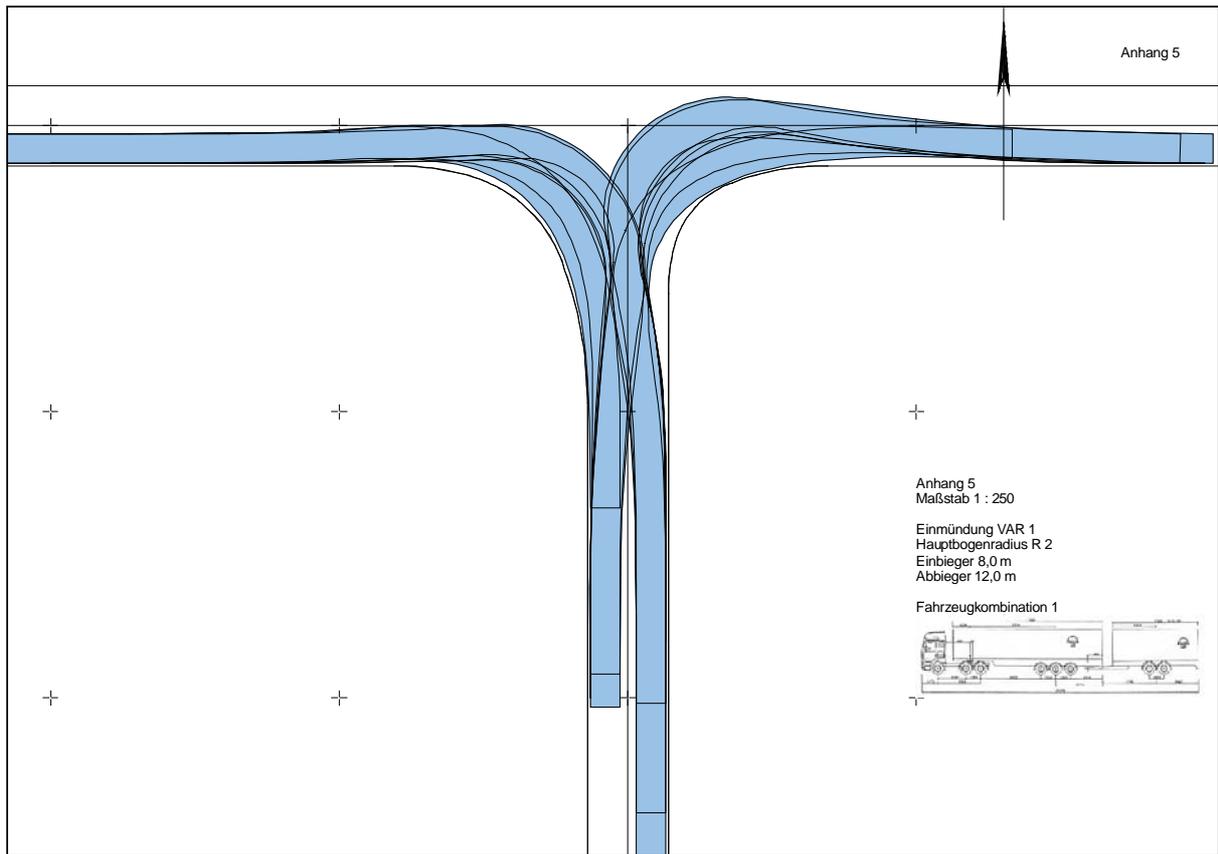
4 gnahm A

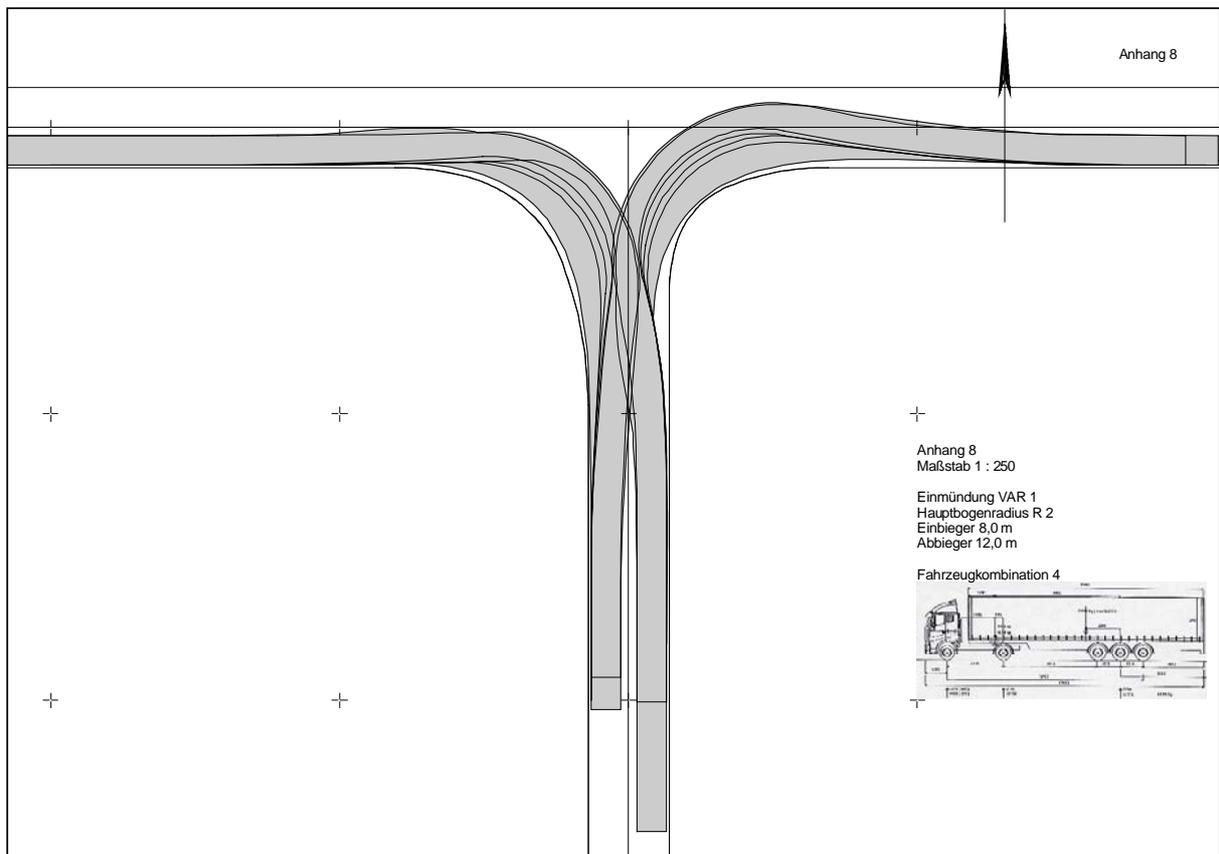
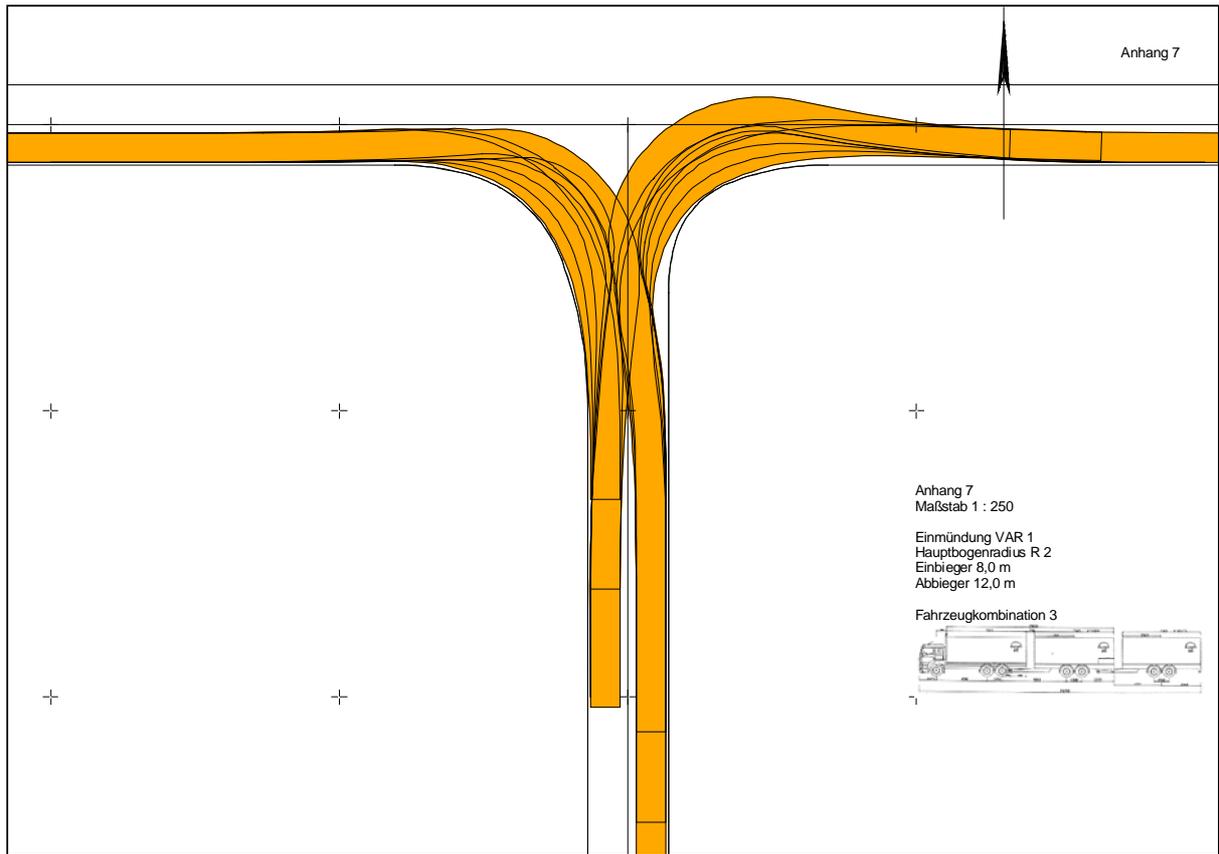


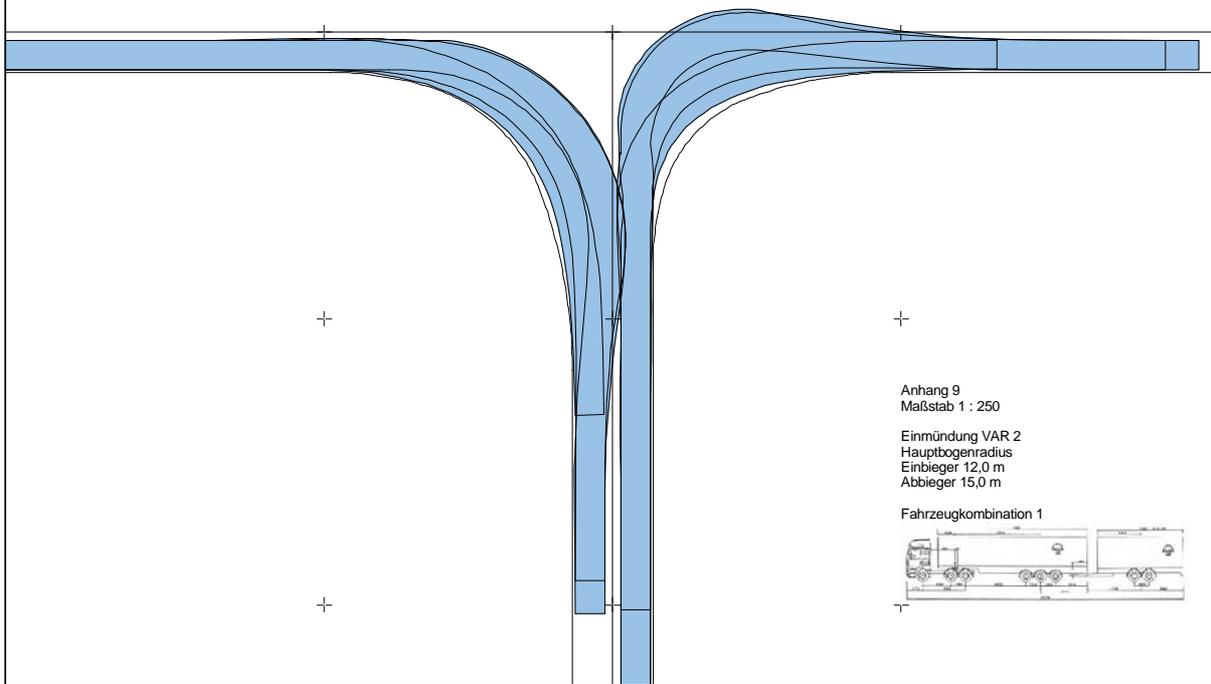
Anhang 4  
Maßstab 1 : 250

Schleppkurvenschablonen  
Fahrzeugkombination 4





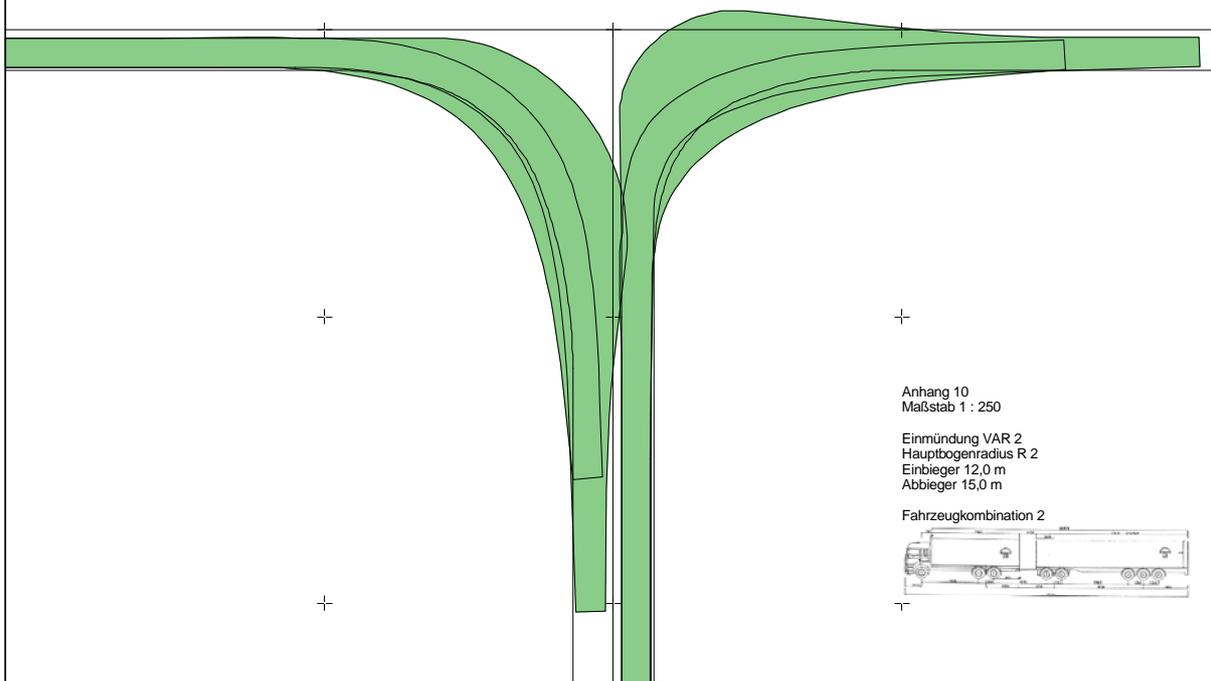
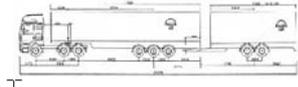




Anhang 9  
Maßstab 1 : 250

Einmündung VAR 2  
Hauptbogenradius  
Einbieger 12,0 m  
Abbieger 15,0 m

Fahrzeugkombination 1

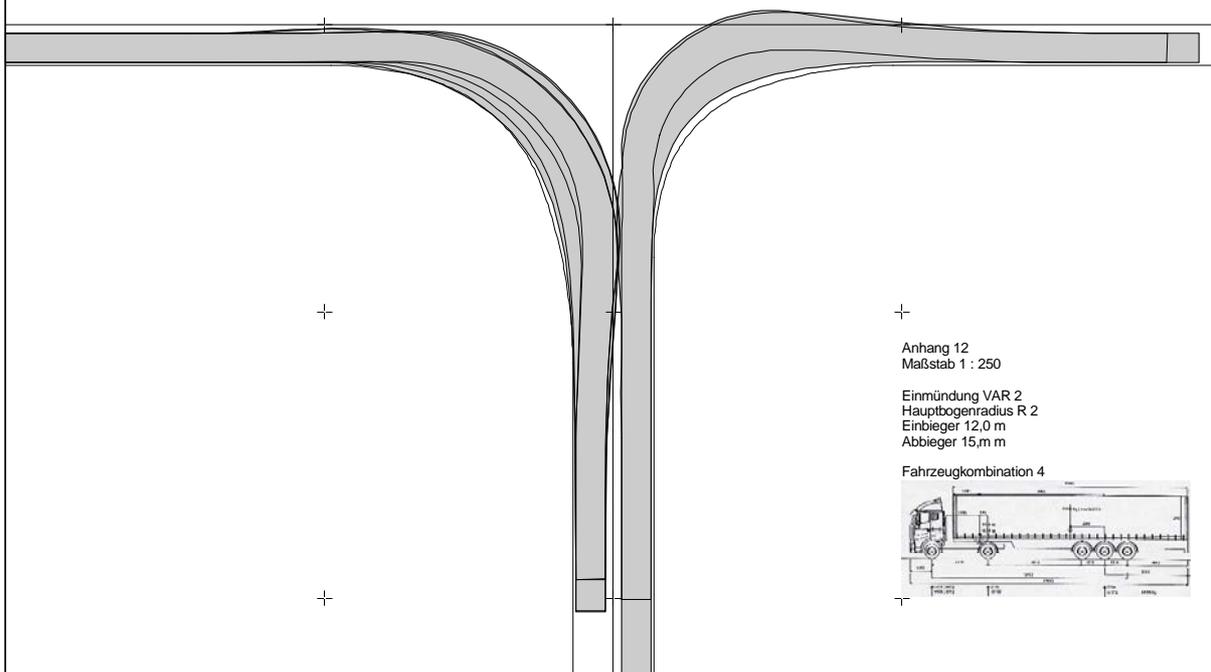
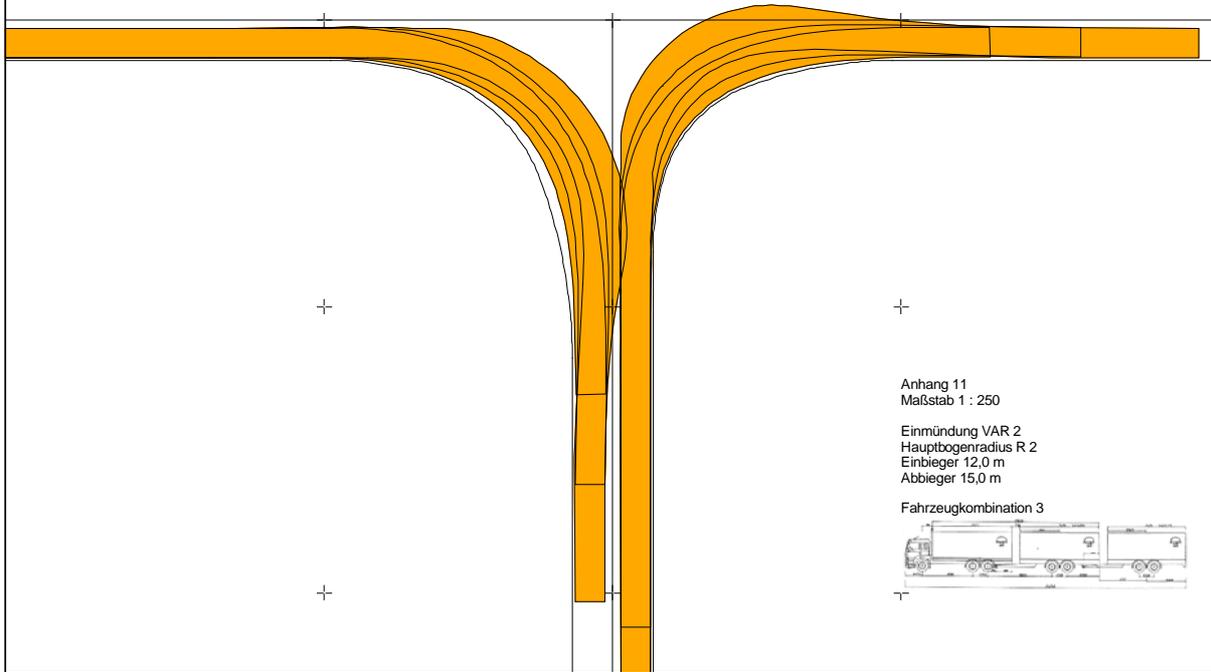


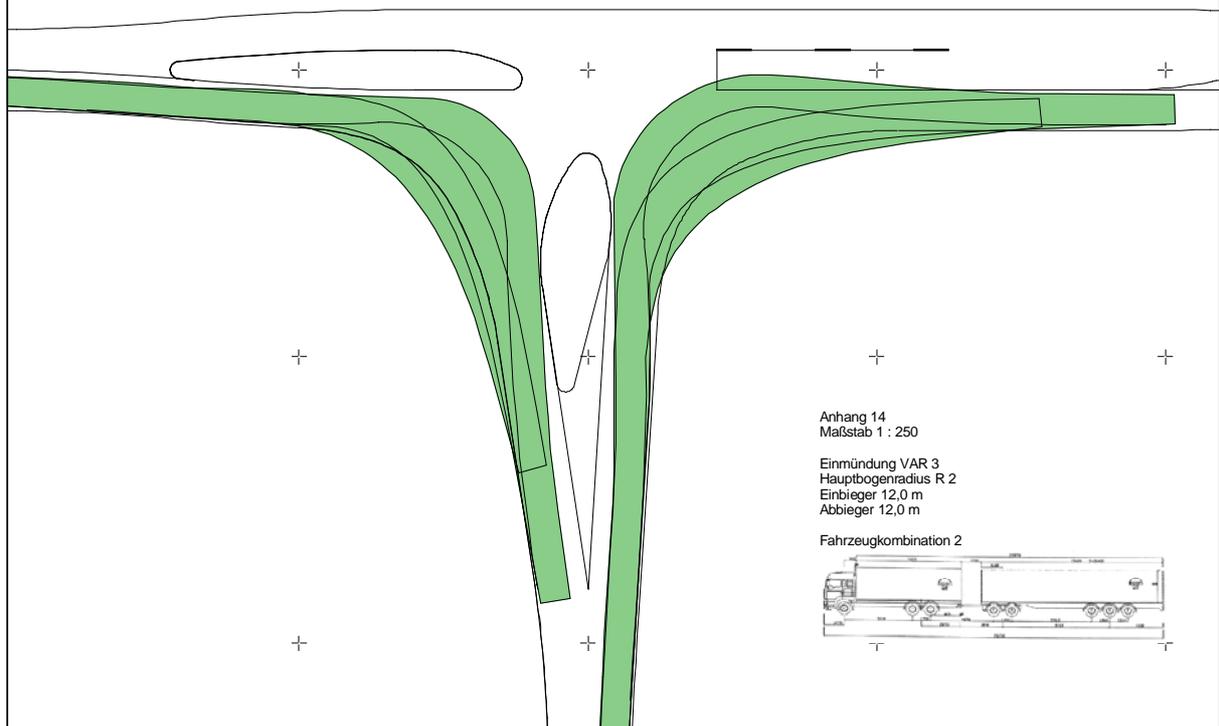
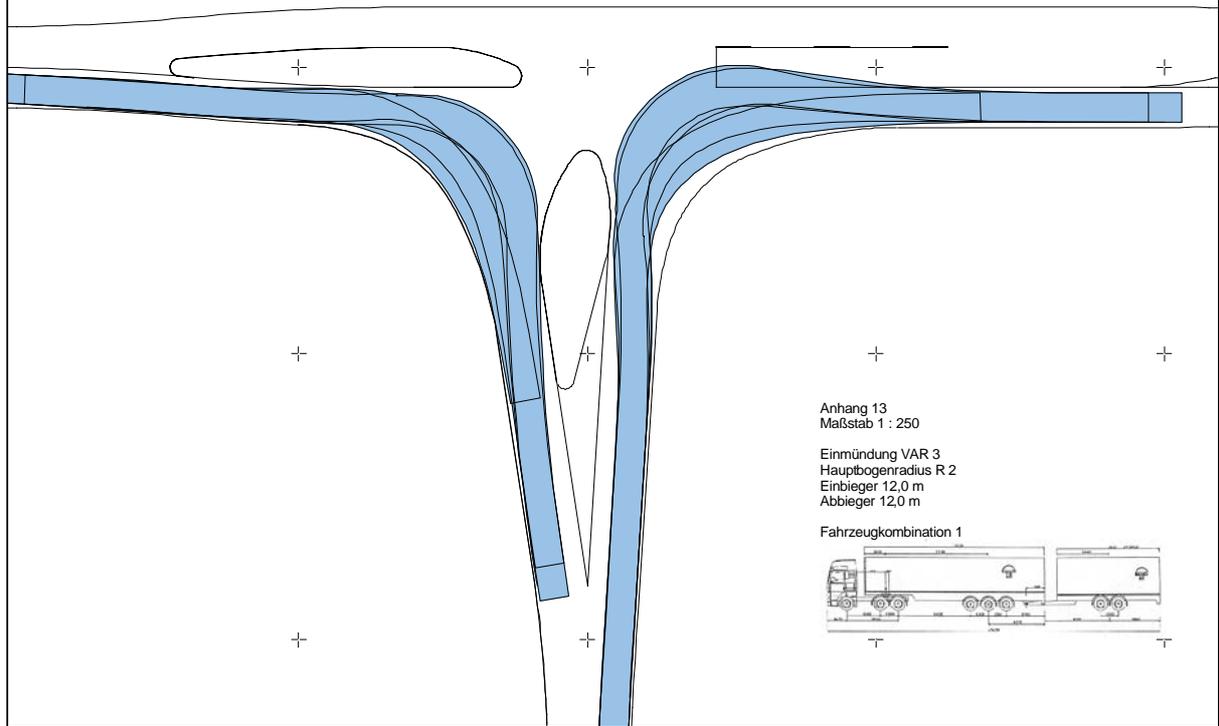
Anhang 10  
Maßstab 1 : 250

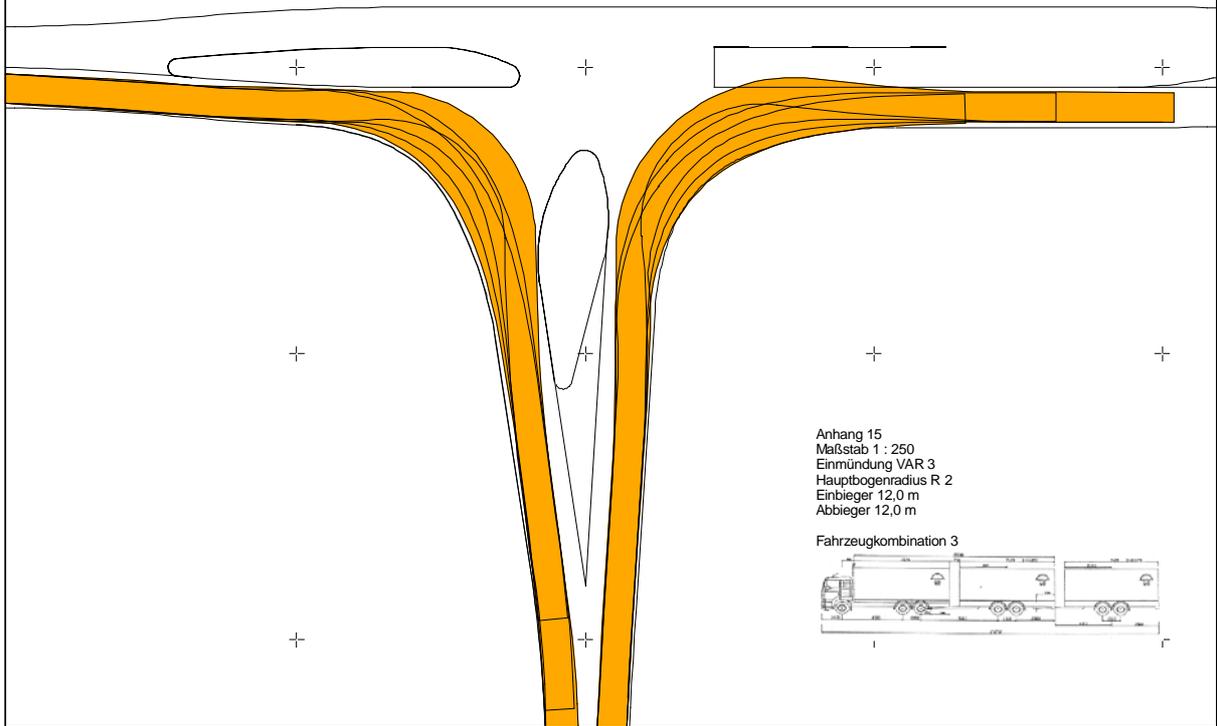
Einmündung VAR 2  
Hauptbogenradius R 2  
Einbieger 12,0 m  
Abbieger 15,0 m

Fahrzeugkombination 2



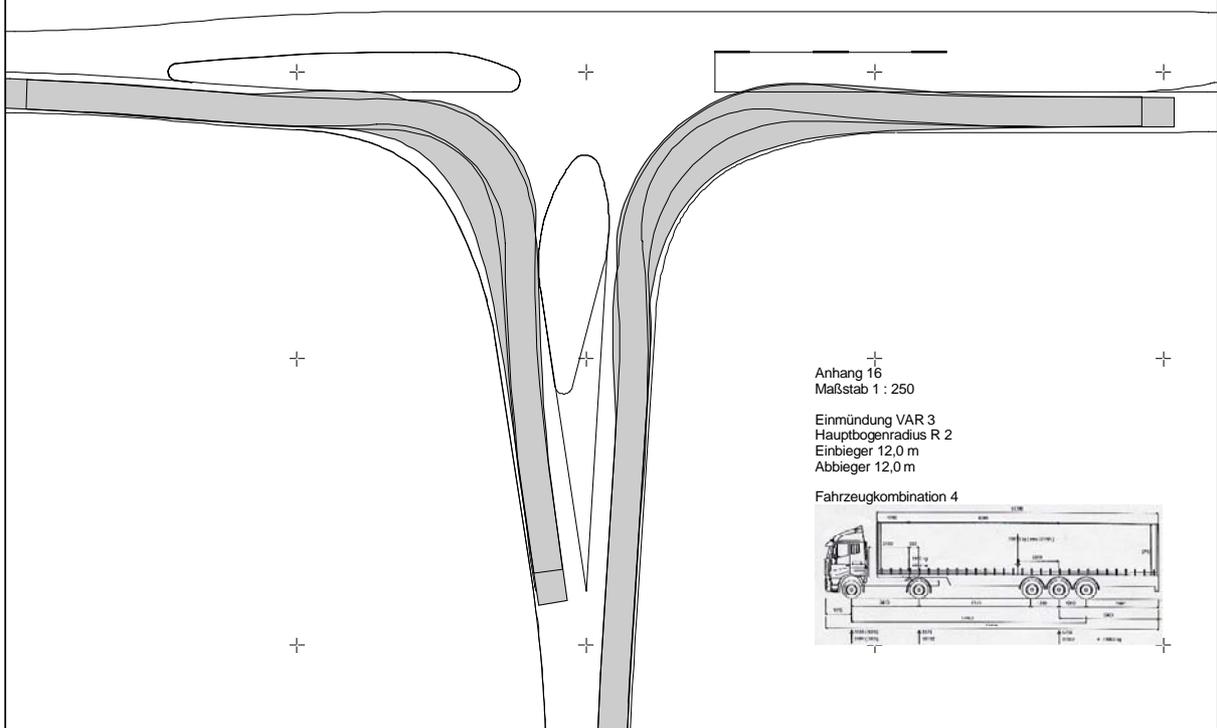
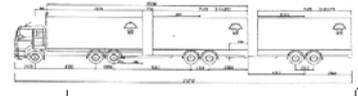






Anhang 15  
Maßstab 1 : 250  
Einmündung VAR 3  
Hauptbogenradius R 2  
Einbieger 12,0 m  
Abbieger 12,0 m

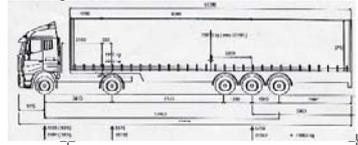
Fahrzeugkombination 3

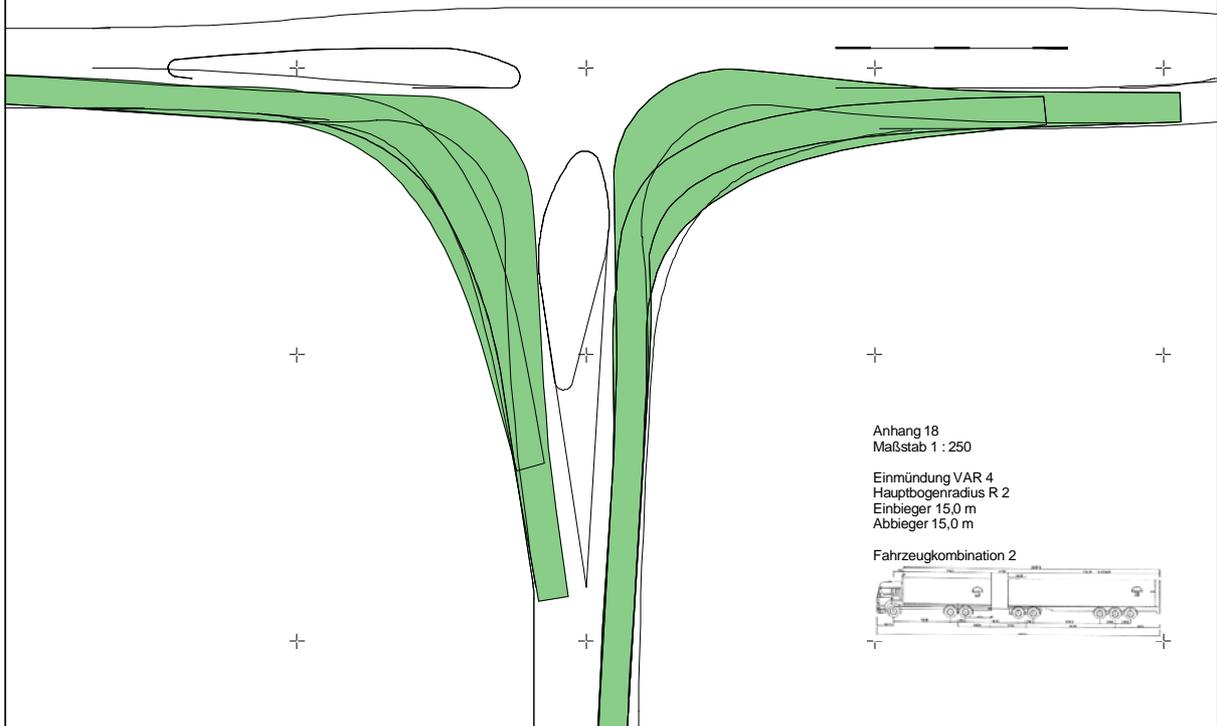
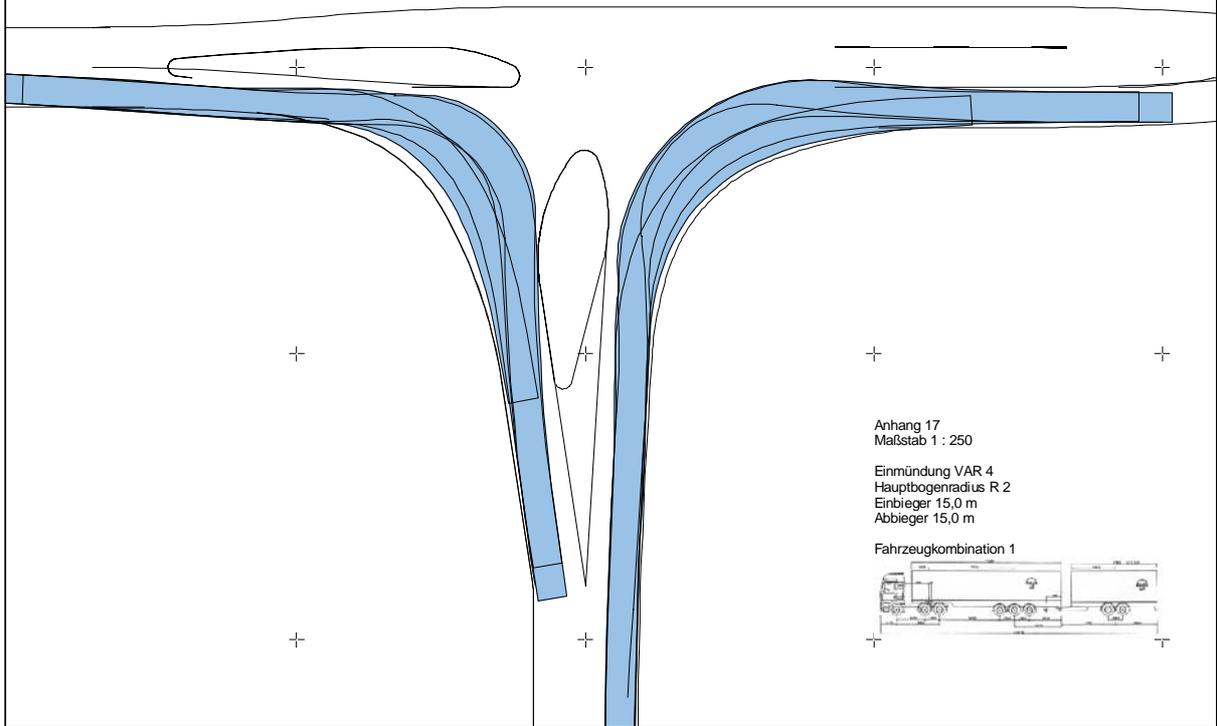


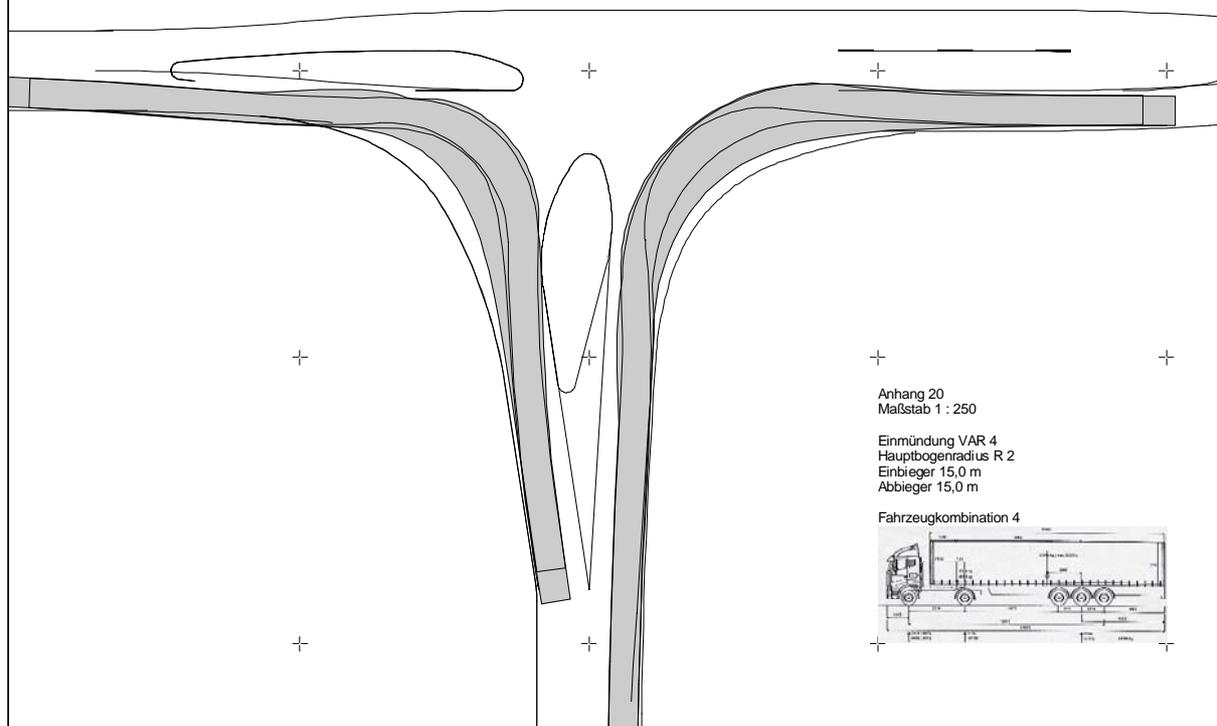
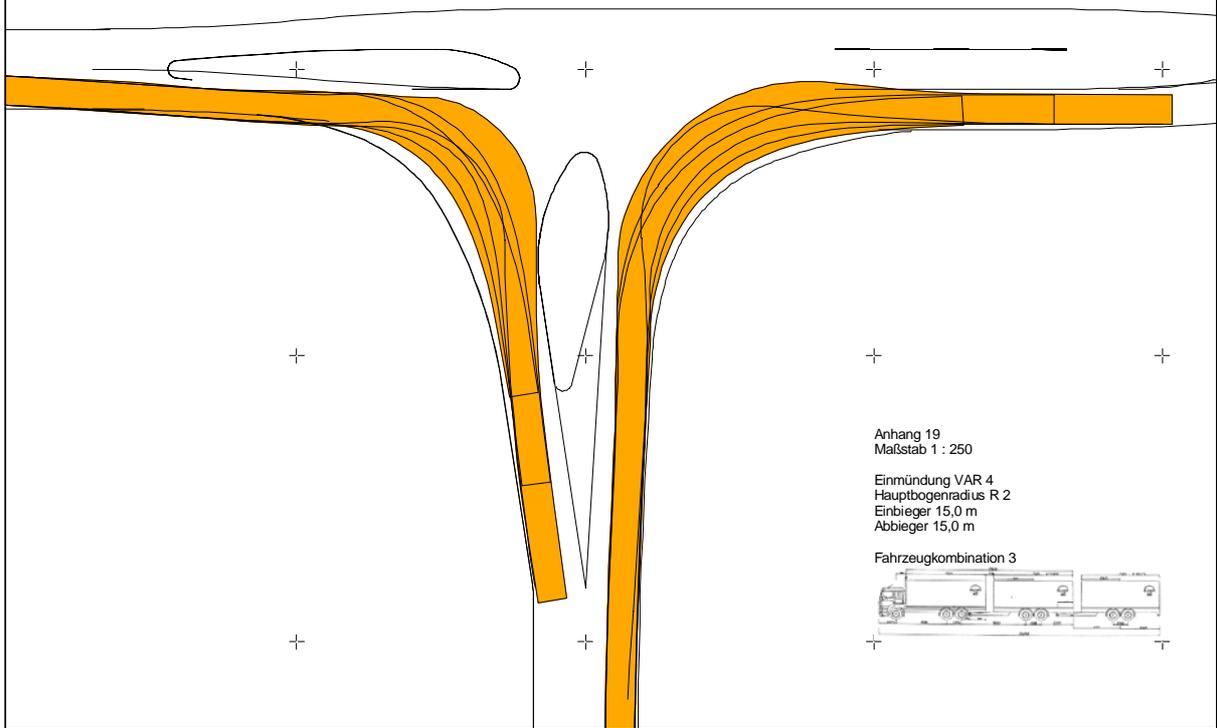
Anhang 16  
Maßstab 1 : 250

Einmündung VAR 3  
Hauptbogenradius R 2  
Einbieger 12,0 m  
Abbieger 12,0 m

Fahrzeugkombination 4





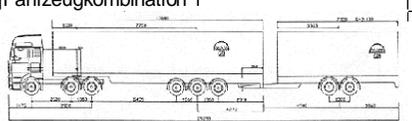


Anhang 21

Anhang 21  
Maßstab 1 : 250

Kleiner Kreisverkehr  
Außendurchmesser 35,0 m  
Breite des Kreisrings 7,00 m

„Fahrzeugkombination 1

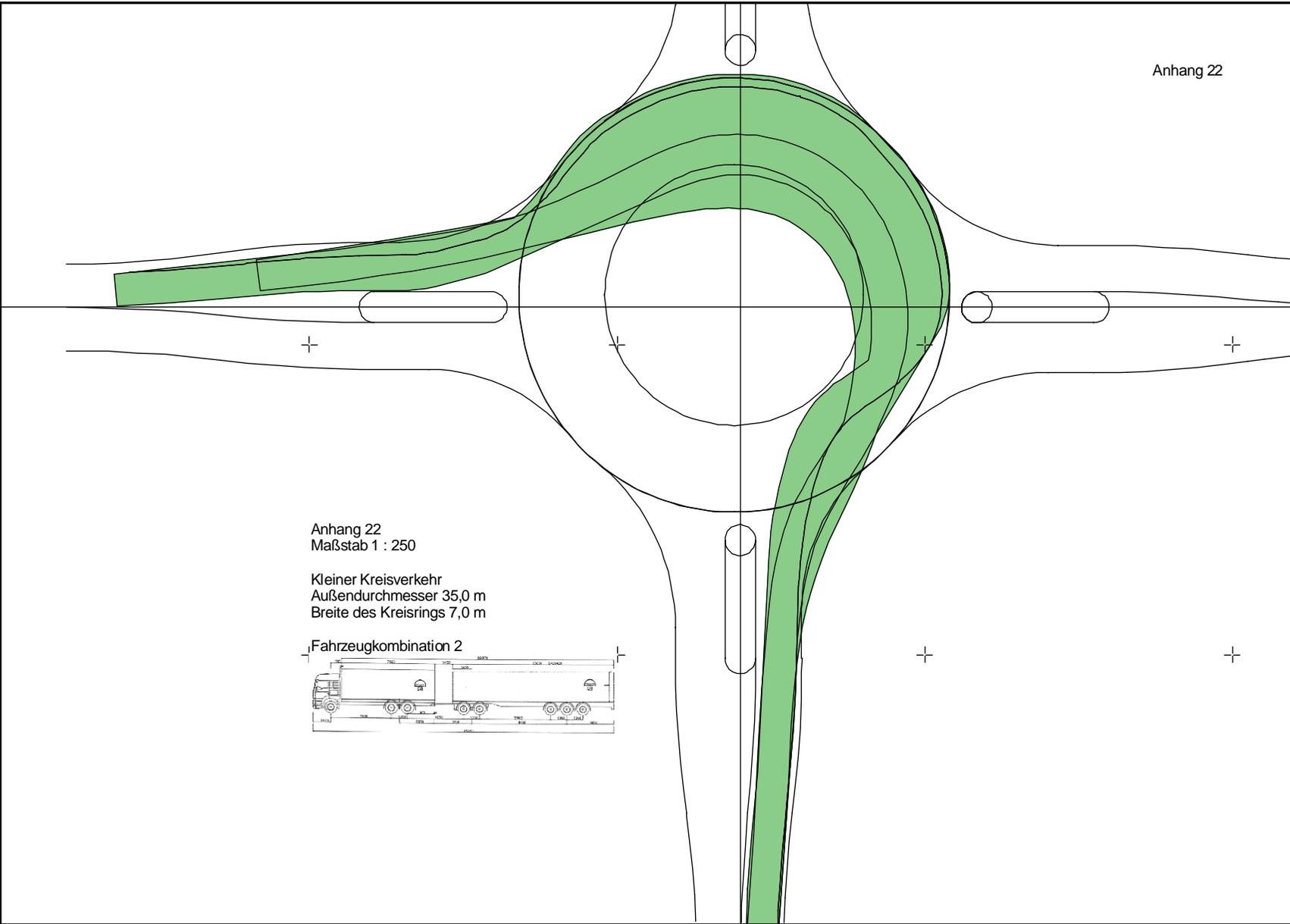
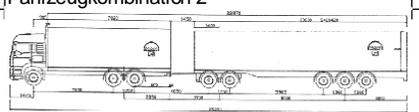


Anhang 22

Anhang 22  
Maßstab 1 : 250

Kleiner Kreisverkehr  
Außendurchmesser 35,0 m  
Breite des Kreisrings 7,0 m

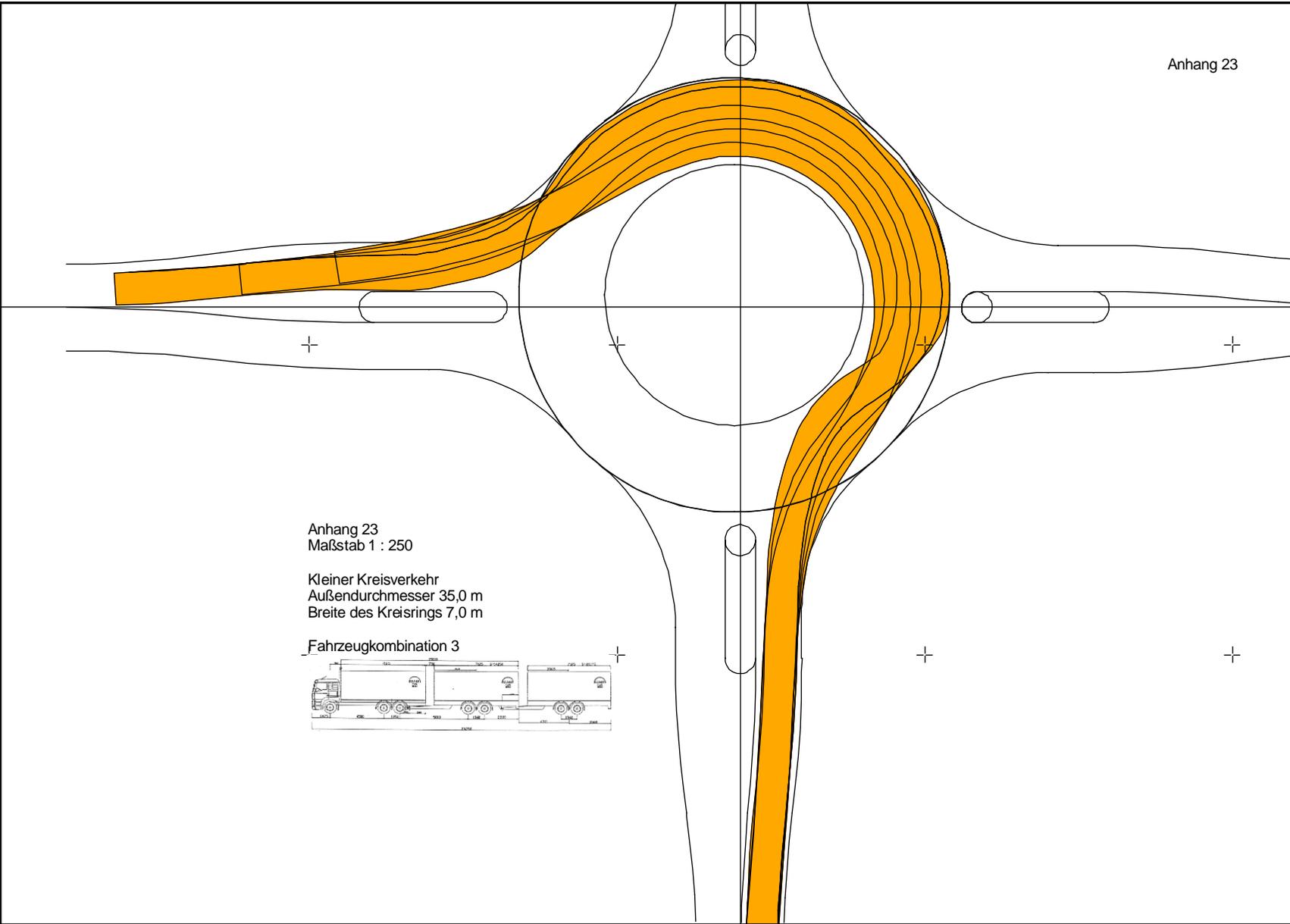
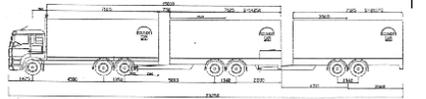
Fahrzeugkombination 2



Anhang 23  
Maßstab 1 : 250

Kleiner Kreisverkehr  
Außendurchmesser 35,0 m  
Breite des Kreisrings 7,0 m

Fahrzeugkombination 3

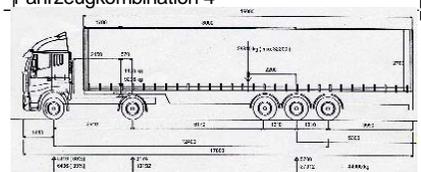


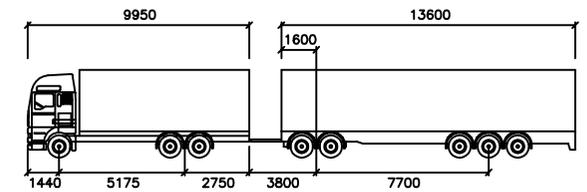
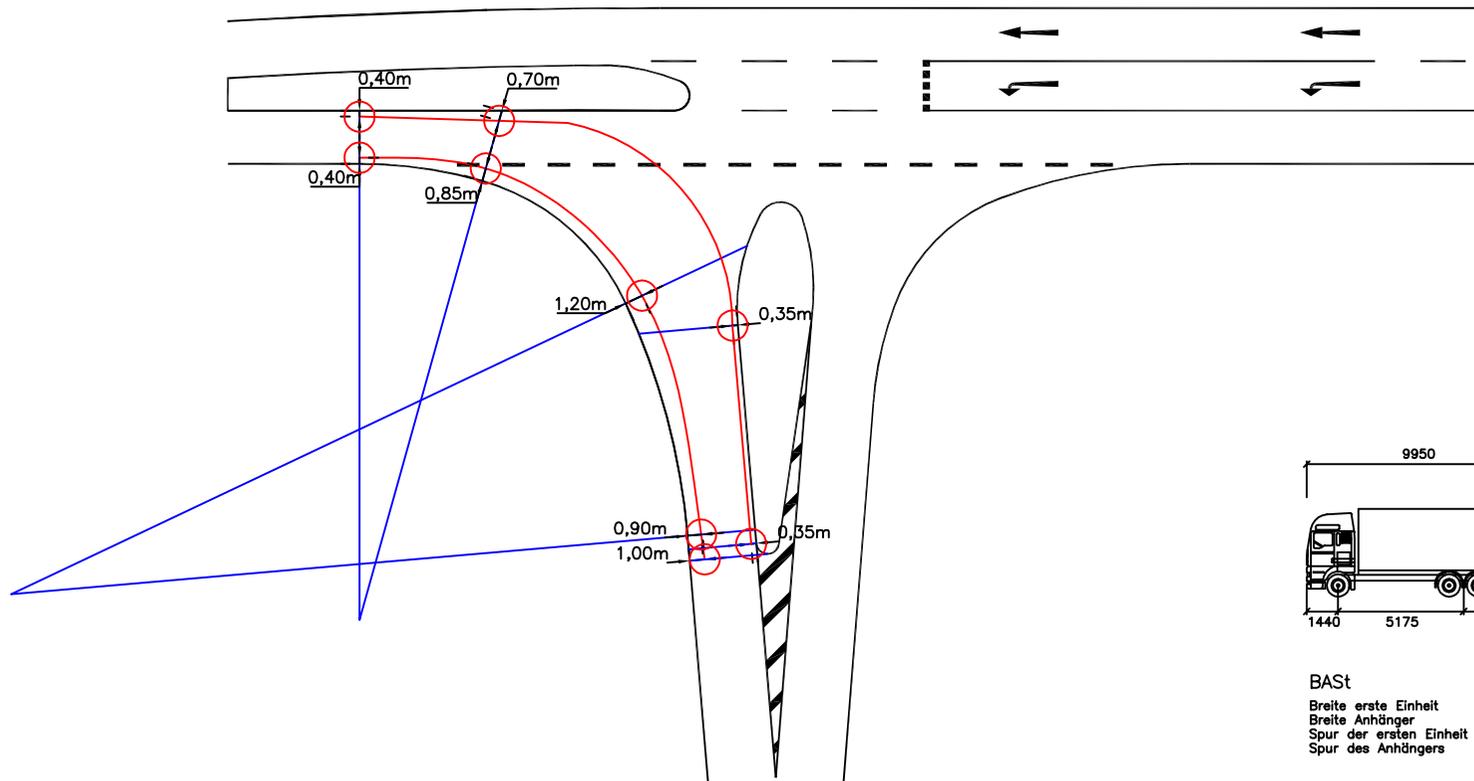
Anhang 24

Anhang 24  
Maßstab 1 : 250

Kleiner Kreisverkehr  
Außendurchmesser 35,0 m  
Breite des Kreisrings 7,0 m

Fahrzeugkombination 4





BAST		mm	
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Abteilung V - Straßenverkehrstechnik  
Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

---

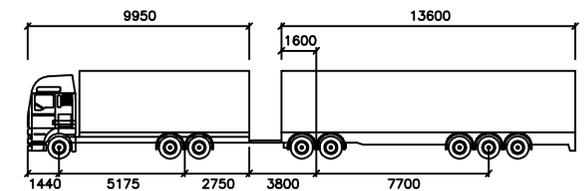
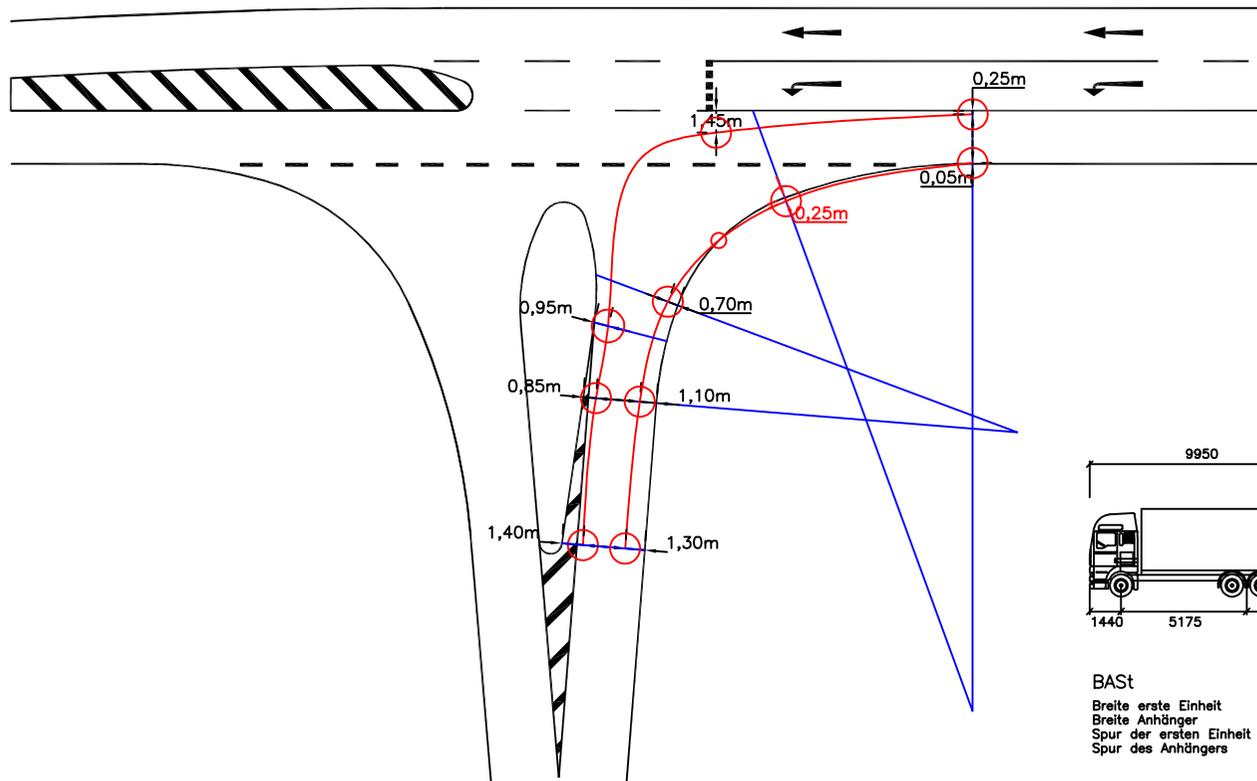
Titel:  
Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

---

Anhang 25:  
Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
Einmündung - Rechtsabbieger

---

Maßstab 1 : 500



BAST		mm	
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

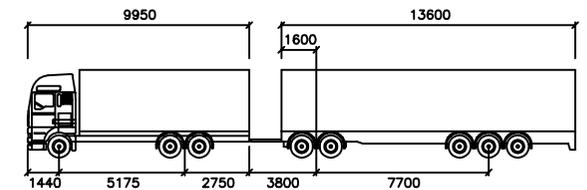
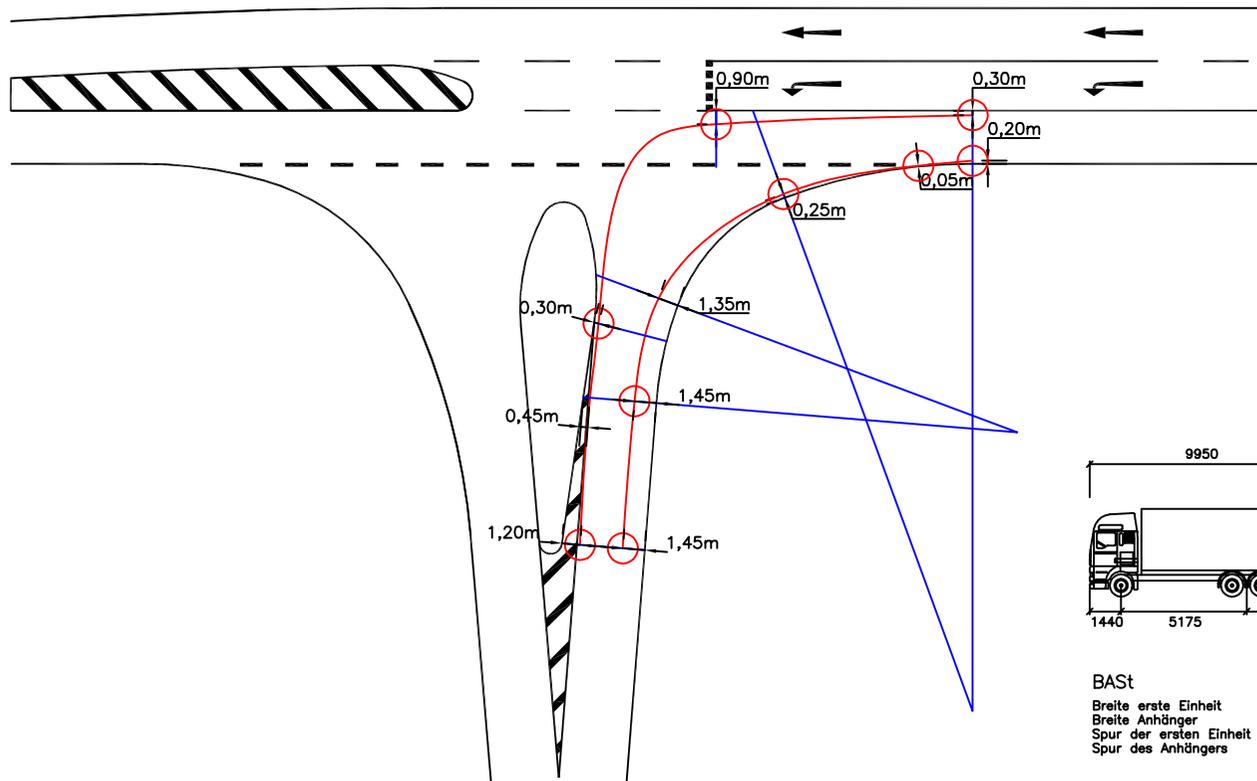
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Abteilung V - Straßenverkehrstechnik

Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

Anhang 26:  
Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
Einmündung - Rechtseinbieger (1)

Maßstab 1 : 500



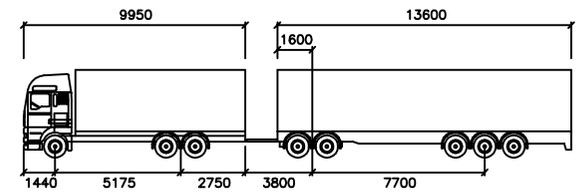
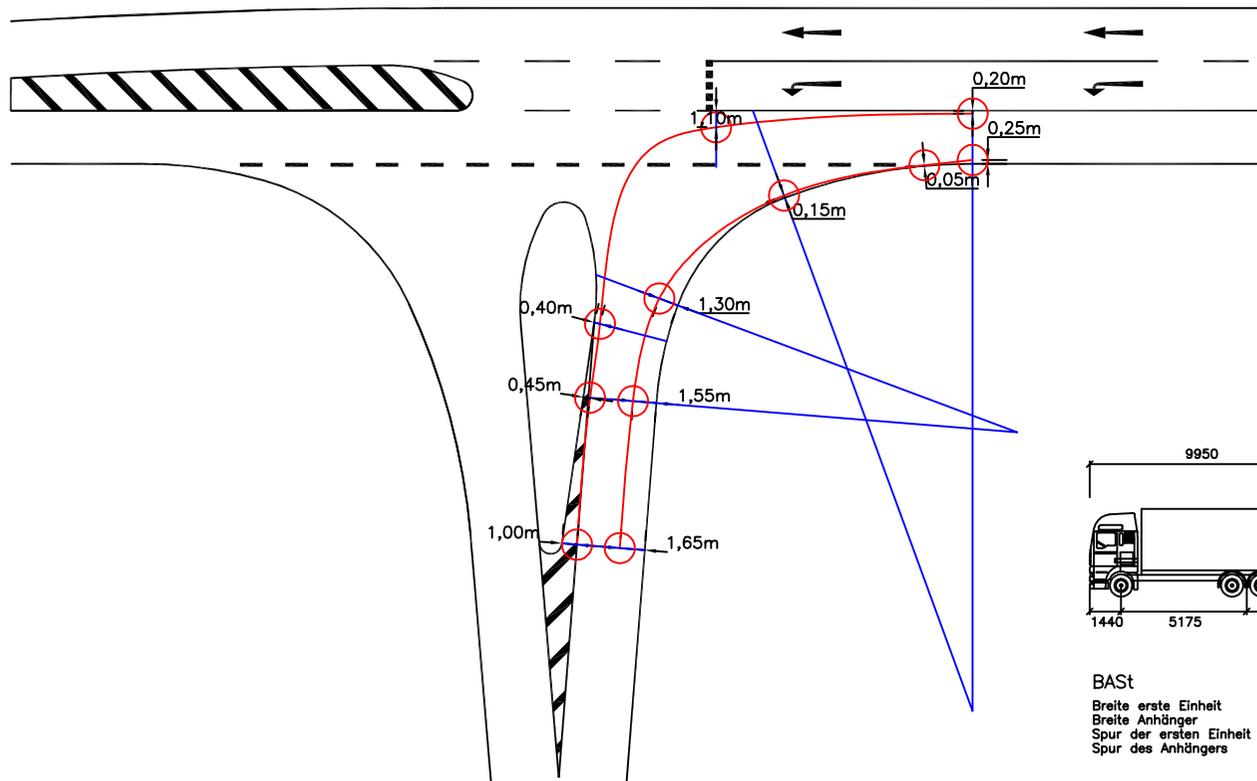
BAST		mm	
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

Bundesanstalt für Straßenwesen  
 Abteilung V - Straßenverkehrstechnik  
 Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
 Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
 Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

Anhang 27:  
 Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
 Einmündung - Rechtseinbieger (2)

Maßstab 1 : 500



BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Abteilung V - Straßenverkehrstechnik  
Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

---

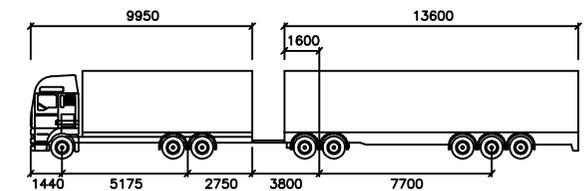
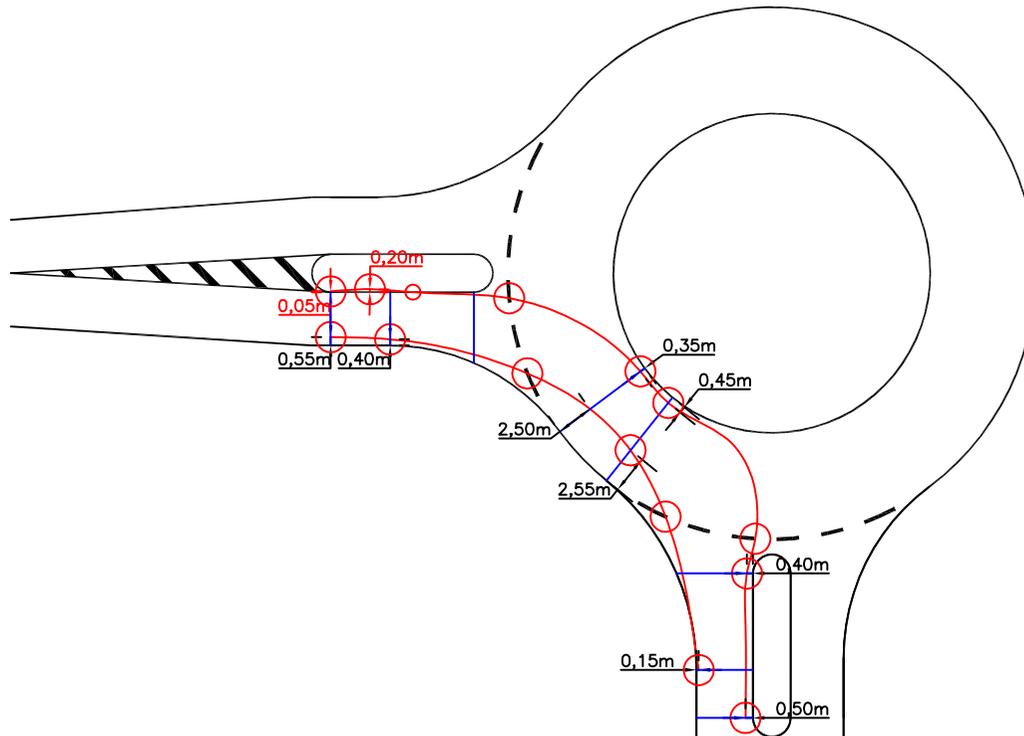
Titel:  
Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

---

Anhang 28:  
Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
Einmündung - Rechtseinbieger (3)

---

Maßstab 1 : 500



BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

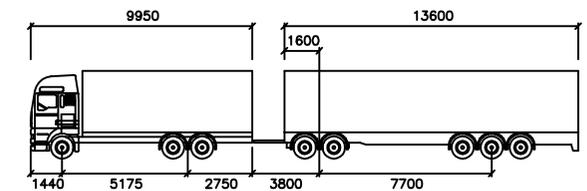
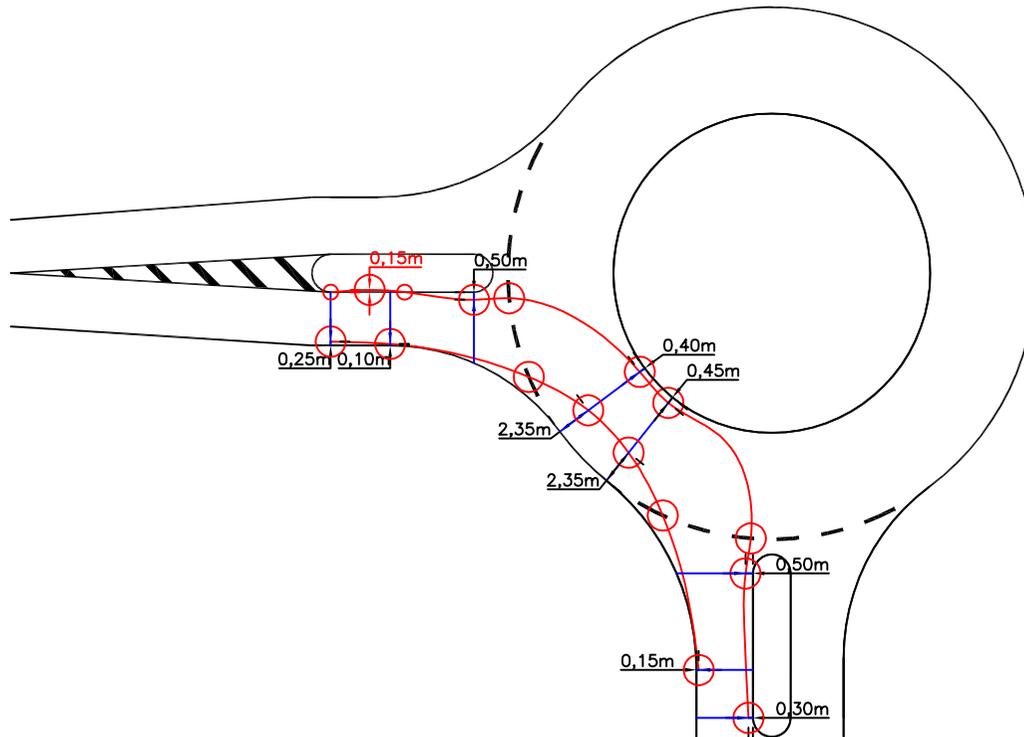
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Abteilung V - Straßenverkehrstechnik

Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

Anhang 29:  
Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
Kreisverkehr - 1/4 Kreis (1)

Maßstab 1 : 500



BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

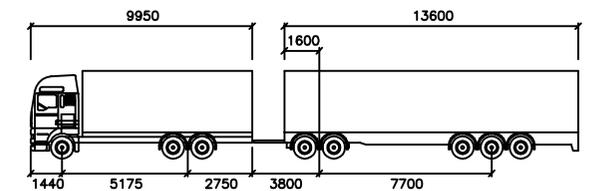
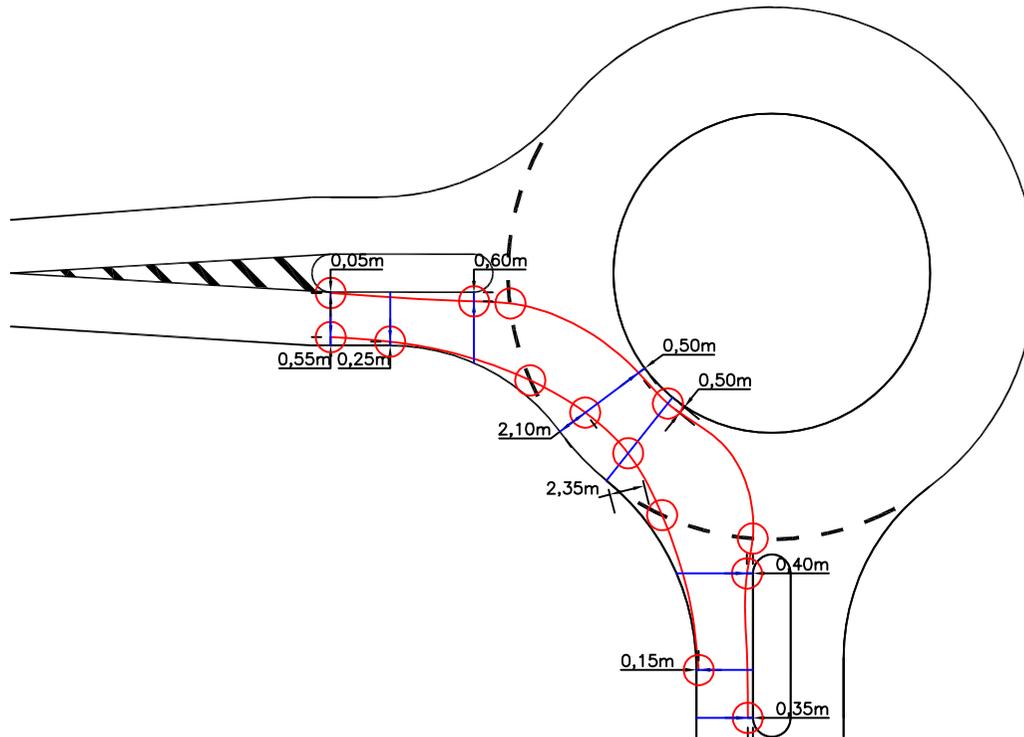
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Abteilung V - Straßenverkehrstechnik

Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

Anhang 30:  
Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
Kreisverkehr - 1/4 Kreis (2)

Maßstab 1 : 500



BAST		mm	
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

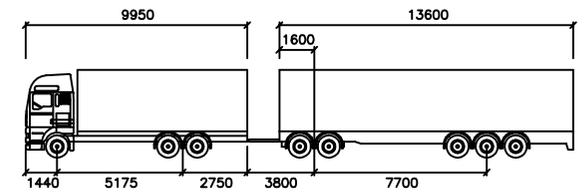
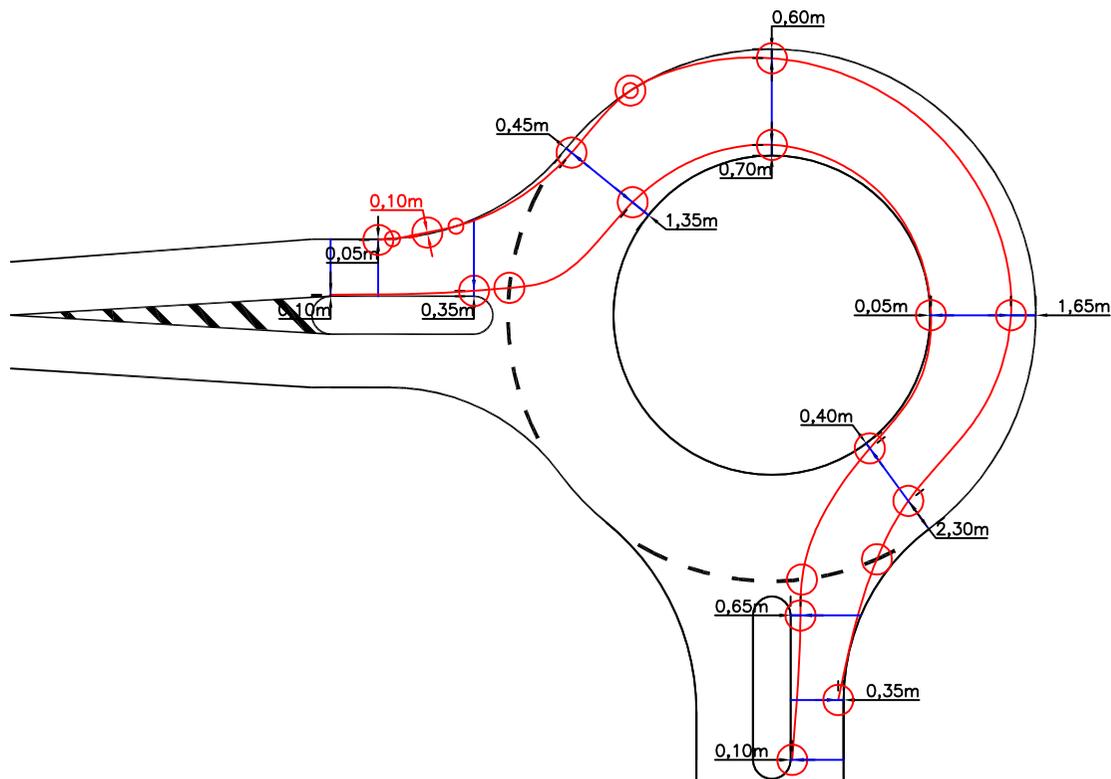
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Abteilung V - Straßenverkehrstechnik

Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

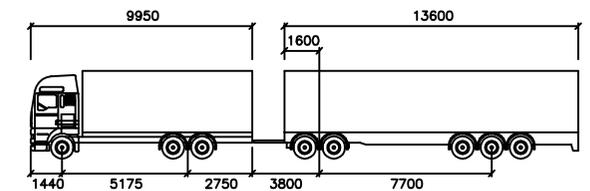
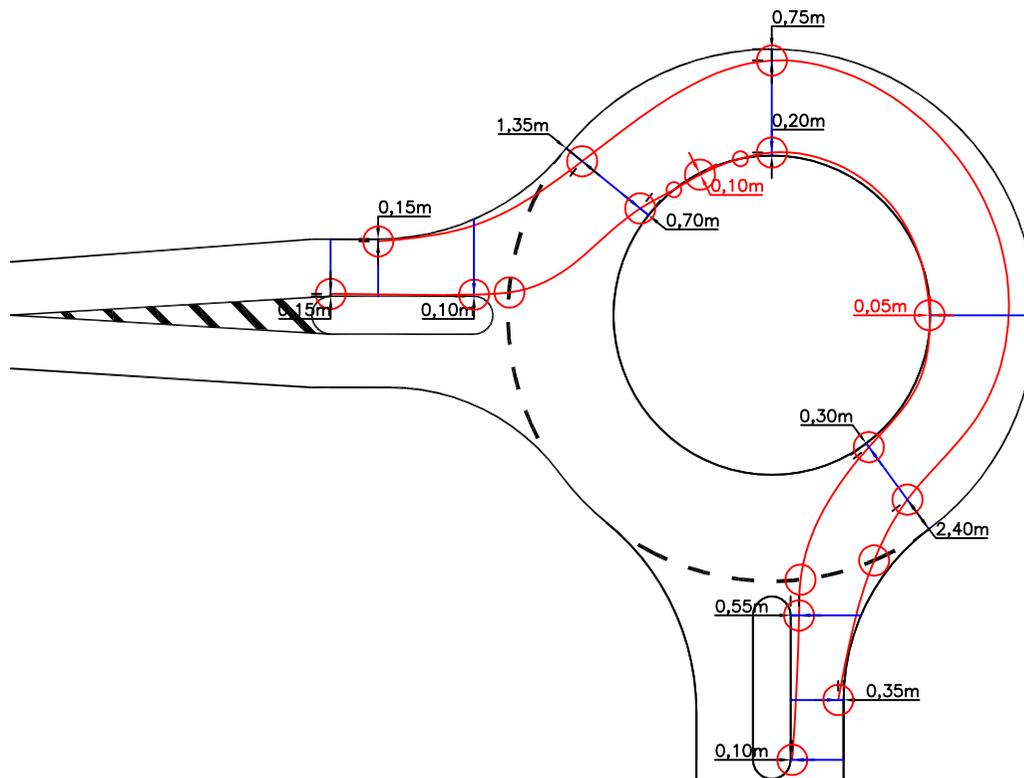
Anhang 31:  
Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
Kreisverkehr - 1/4 Kreis (3)

Maßstab 1 : 500



BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

<p>Bundesanstalt für Straßenwesen Abteilung V - Straßenverkehrstechnik Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen</p>
<p>Titel: Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz</p>
<p>Anhang 32: Messung Schleppkurve Testfahrzeug Kreisverkehr - 3/4 Kreis (1)</p>
<p>Maßstab 1 : 500</p>



BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

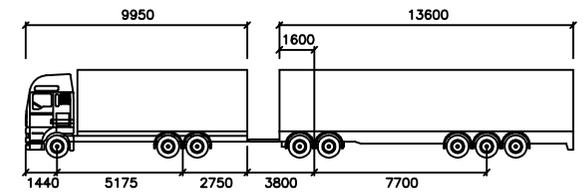
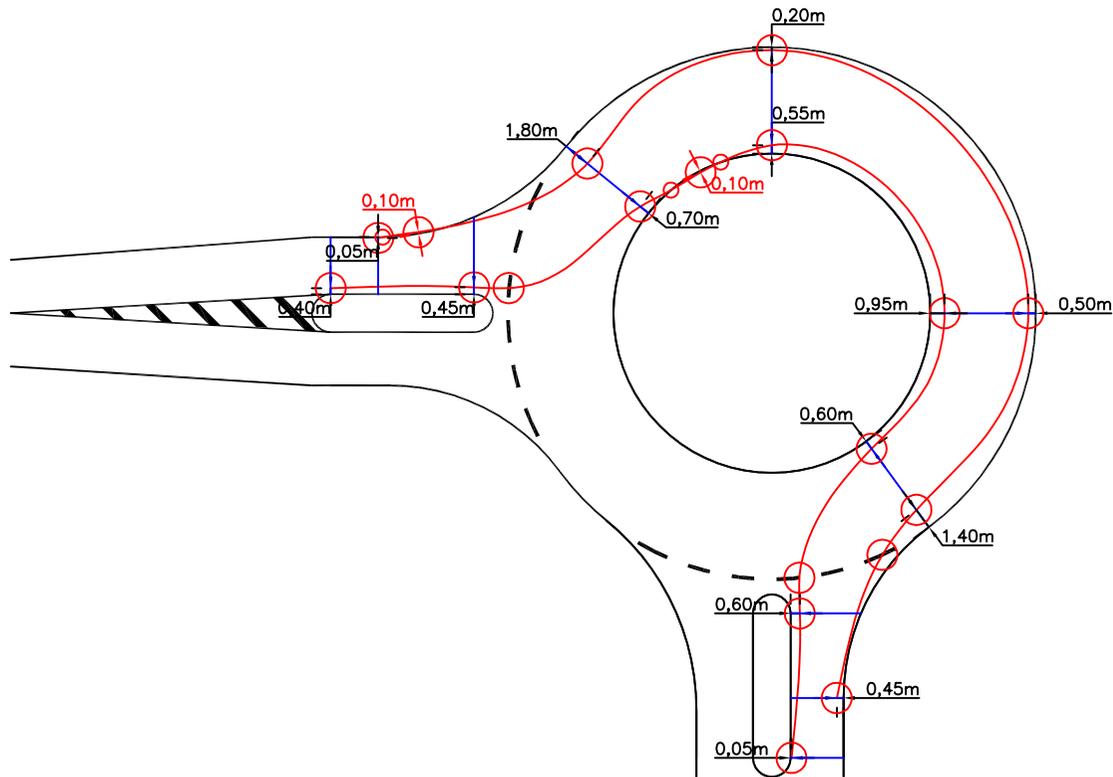
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Abteilung V - Straßenverkehrstechnik

Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

Anhang 33:  
Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
Kreisverkehr - 3/4 Kreis (2)

Maßstab 1 : 500



BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

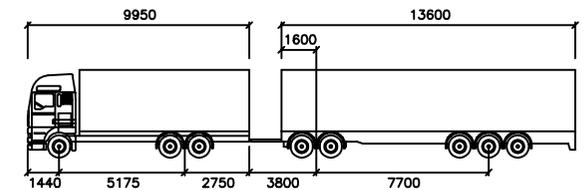
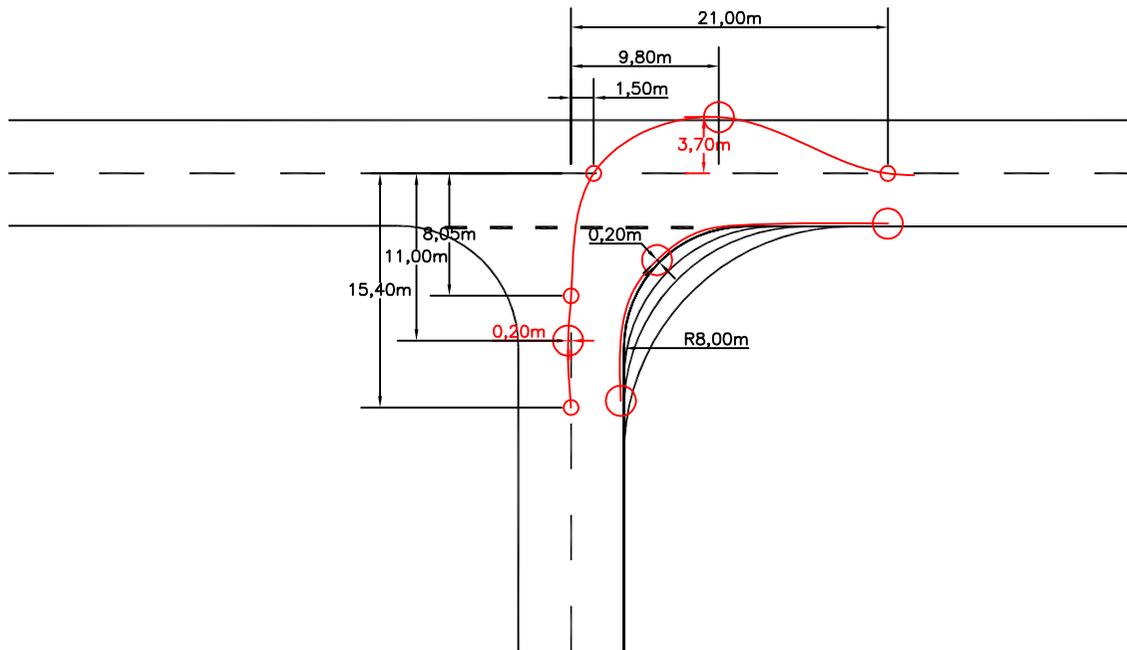
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Abteilung V - Straßenverkehrstechnik

Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

Anhang 34:  
Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
Kreisverkehr - 3/4 Kreis (3)

Maßstab 1 : 500



BAST		mm	
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

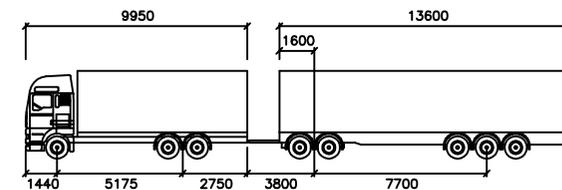
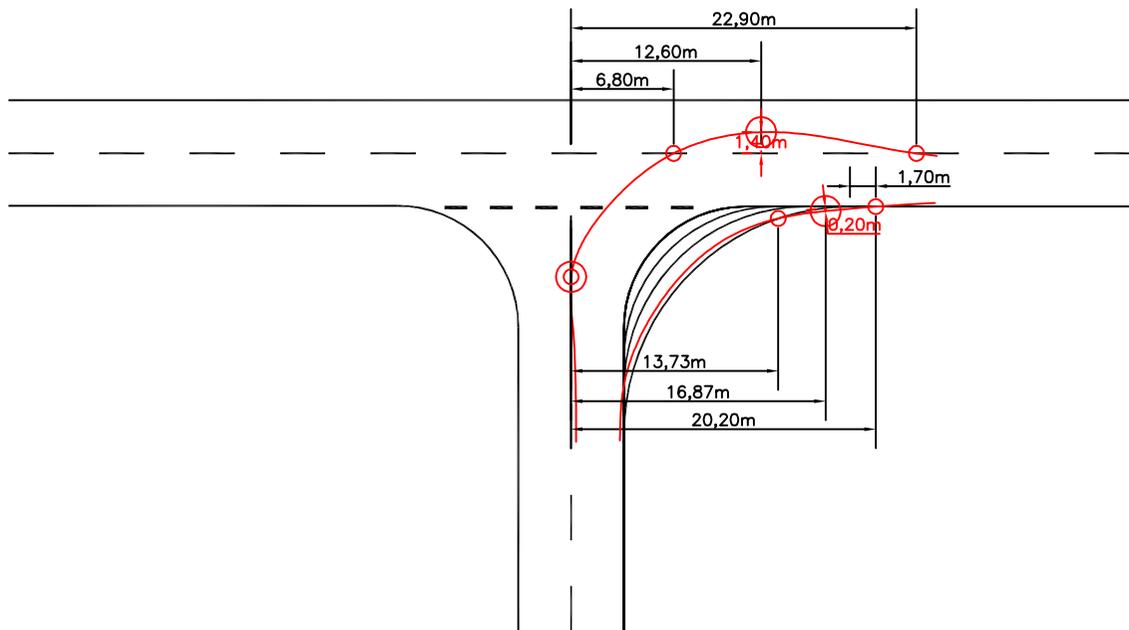
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Abteilung V - Straßenverkehrstechnik

Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

Anhang 35:  
Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
Innerortsknoten - Kreisbogen 8m maßgebend

Maßstab 1 : 500



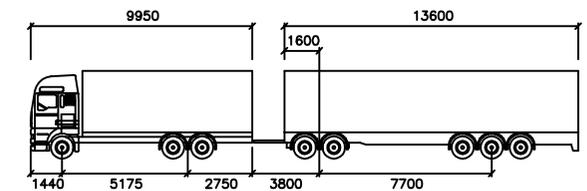
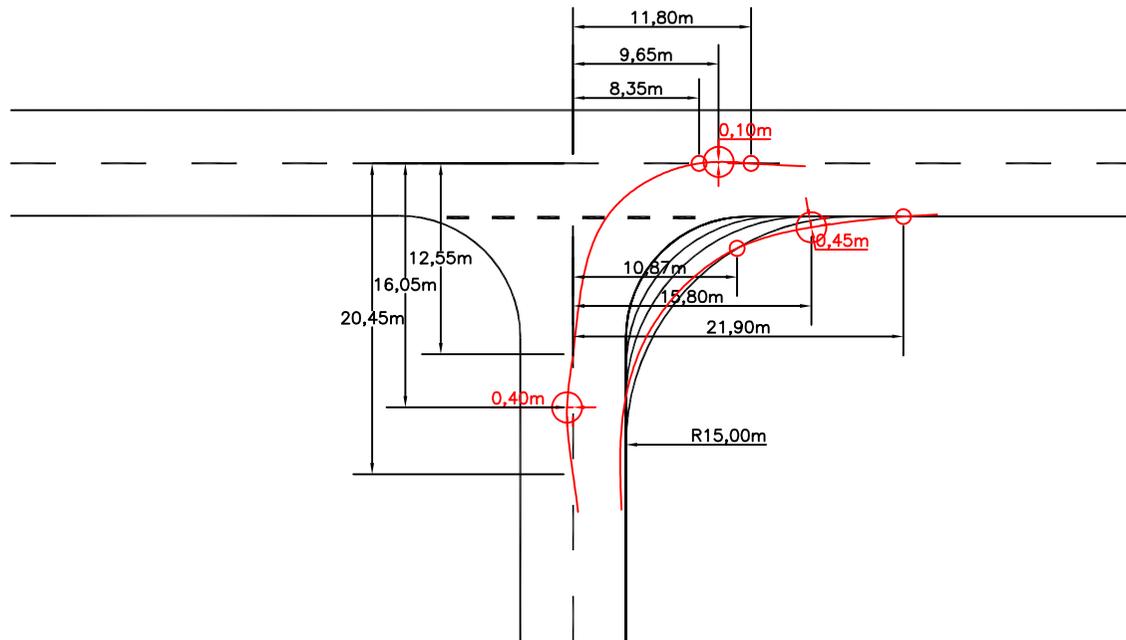
BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

Bundesanstalt für Straßenwesen  
 Abteilung V - Straßenverkehrstechnik  
 Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
 Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
 Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

Anhang 36:  
 Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
 Innerortsknoten - Kreisbogen 15m maßgebend

Maßstab 1 : 500



BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

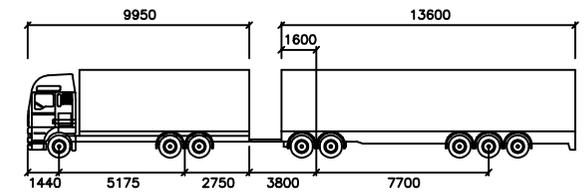
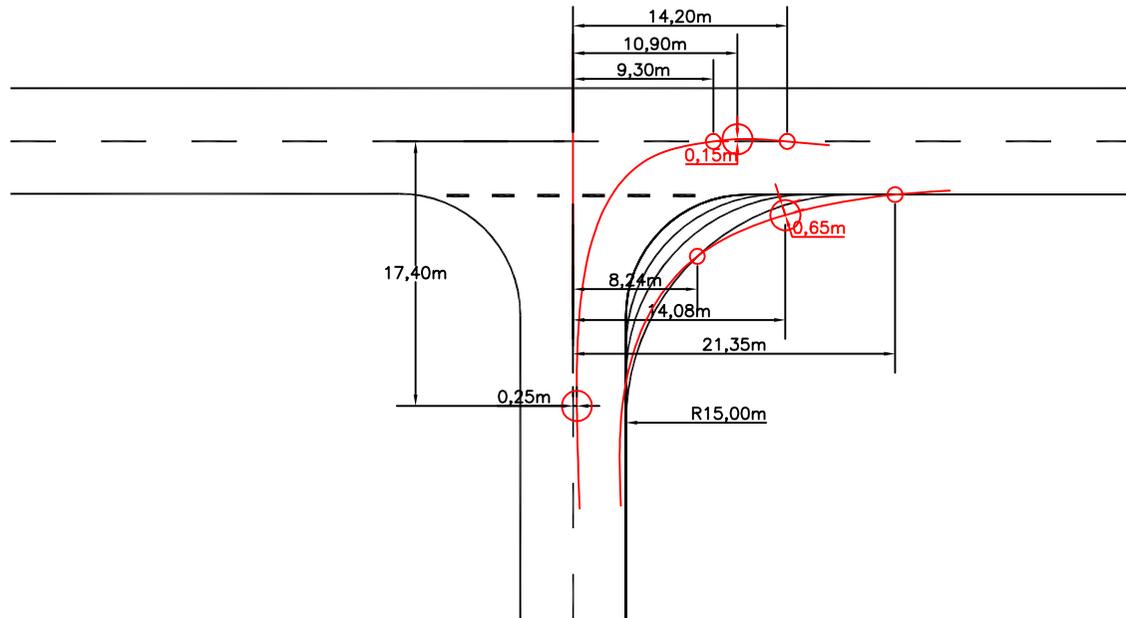
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Abteilung V - Straßenverkehrstechnik

Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

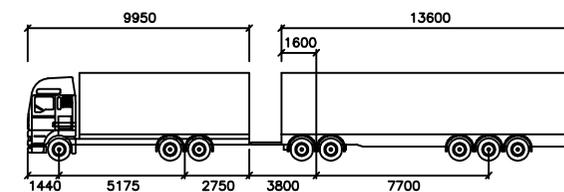
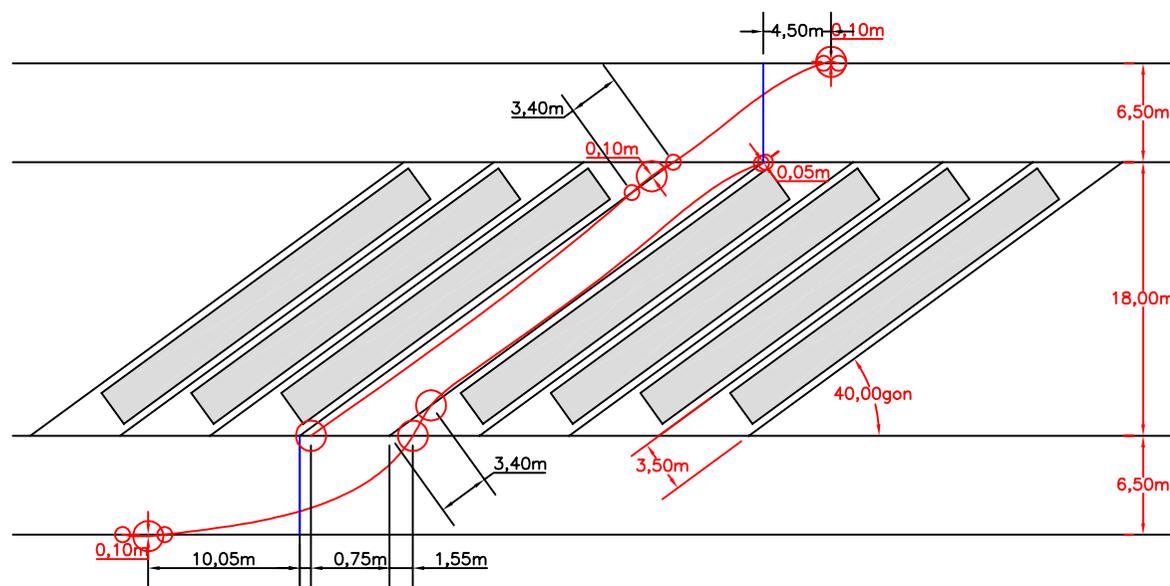
Anhang 37:  
Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
Innerortsknoten - Gegenfahrbahn maßgebend (1)

Maßstab 1 : 500



BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

Bundesanstalt für Straßenwesen Abteilung V - Straßenverkehrstechnik Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen
Titel: Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz
Anhang 38: Messung Schleppkurve Testfahrzeug Innerortsknoten - Gegenfahrbahn maßgebend (2)
Maßstab 1 : 500



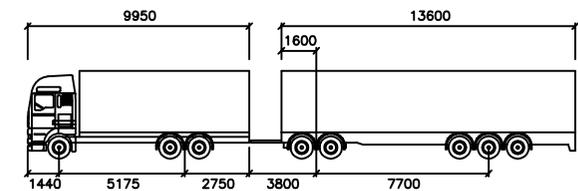
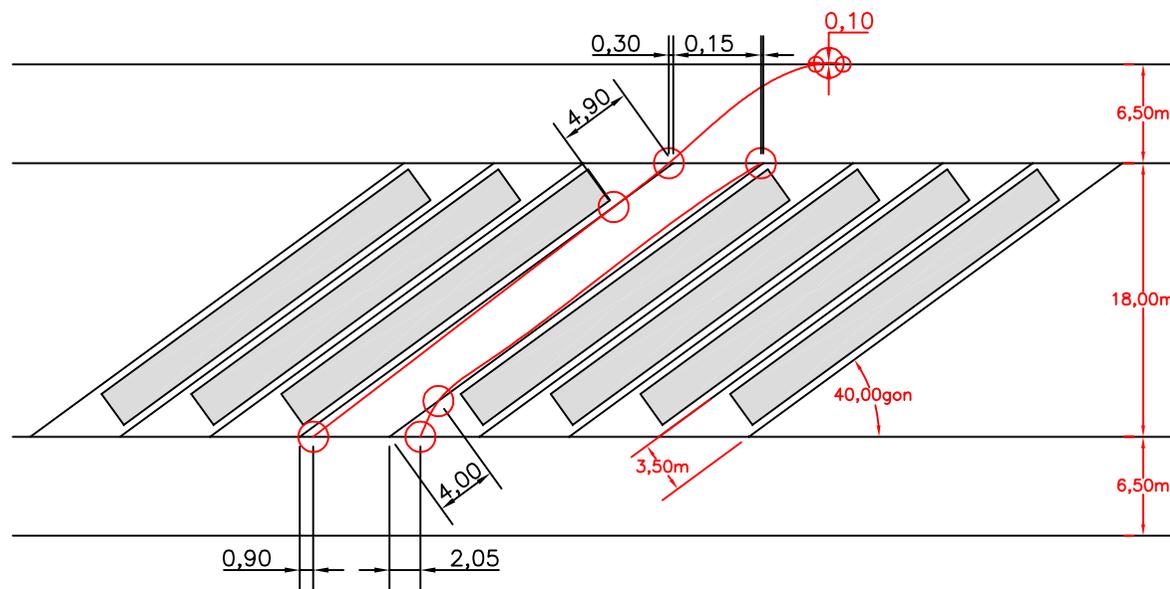
BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

Bundesanstalt für Straßenwesen  
 Abteilung V - Straßenverkehrstechnik  
 Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
 Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
 Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

Anhang 39:  
 Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
 Stellfläche (1)

Maßstab 1 : 500



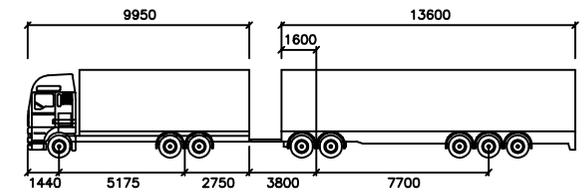
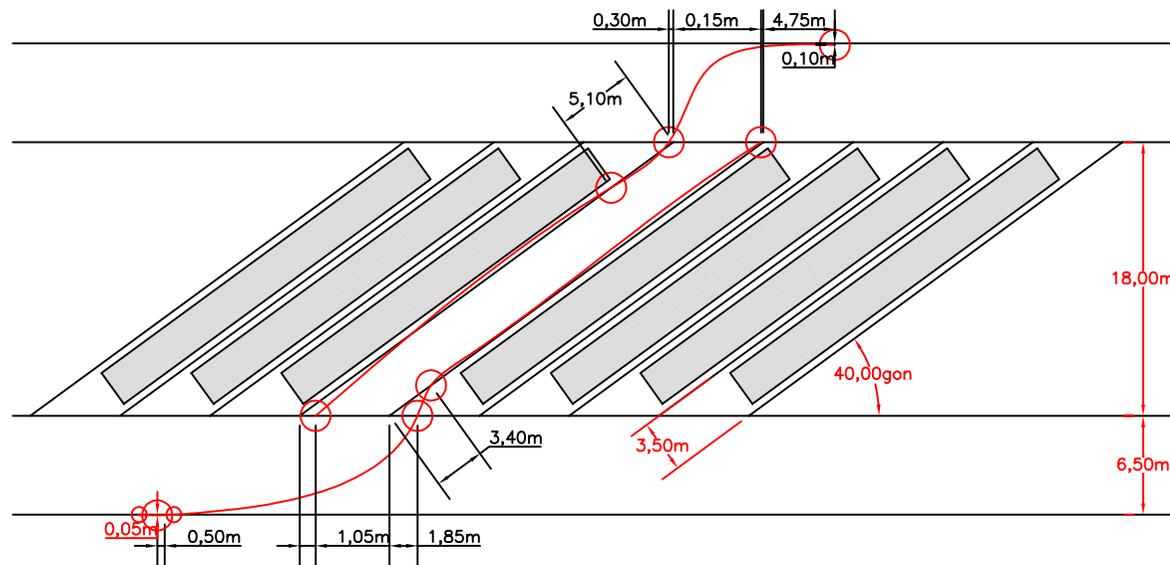
BAST		mm	
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

Bundesanstalt für Straßenwesen  
 Abteilung V - Straßenverkehrstechnik  
 Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
 Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
 Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

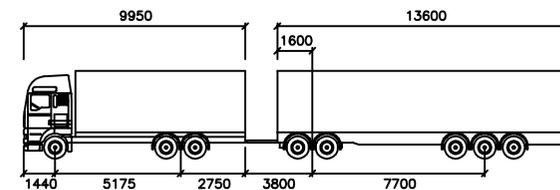
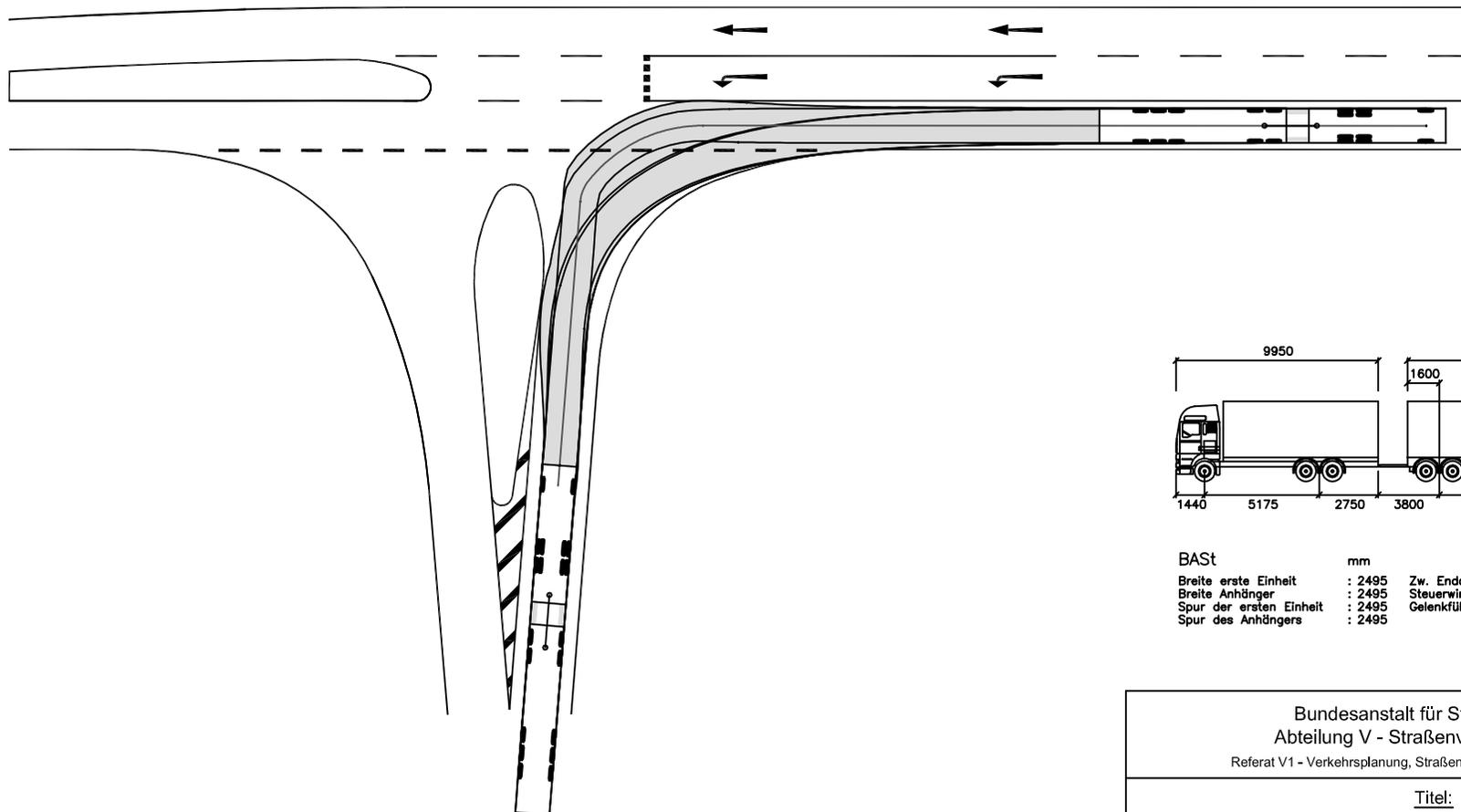
Anhang 40:  
 Messung Schleppkurve Testfahrzeug  
 Stellfläche (2)

Maßstab 1 : 500



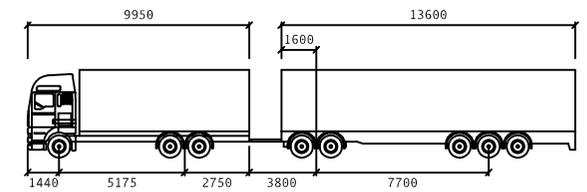
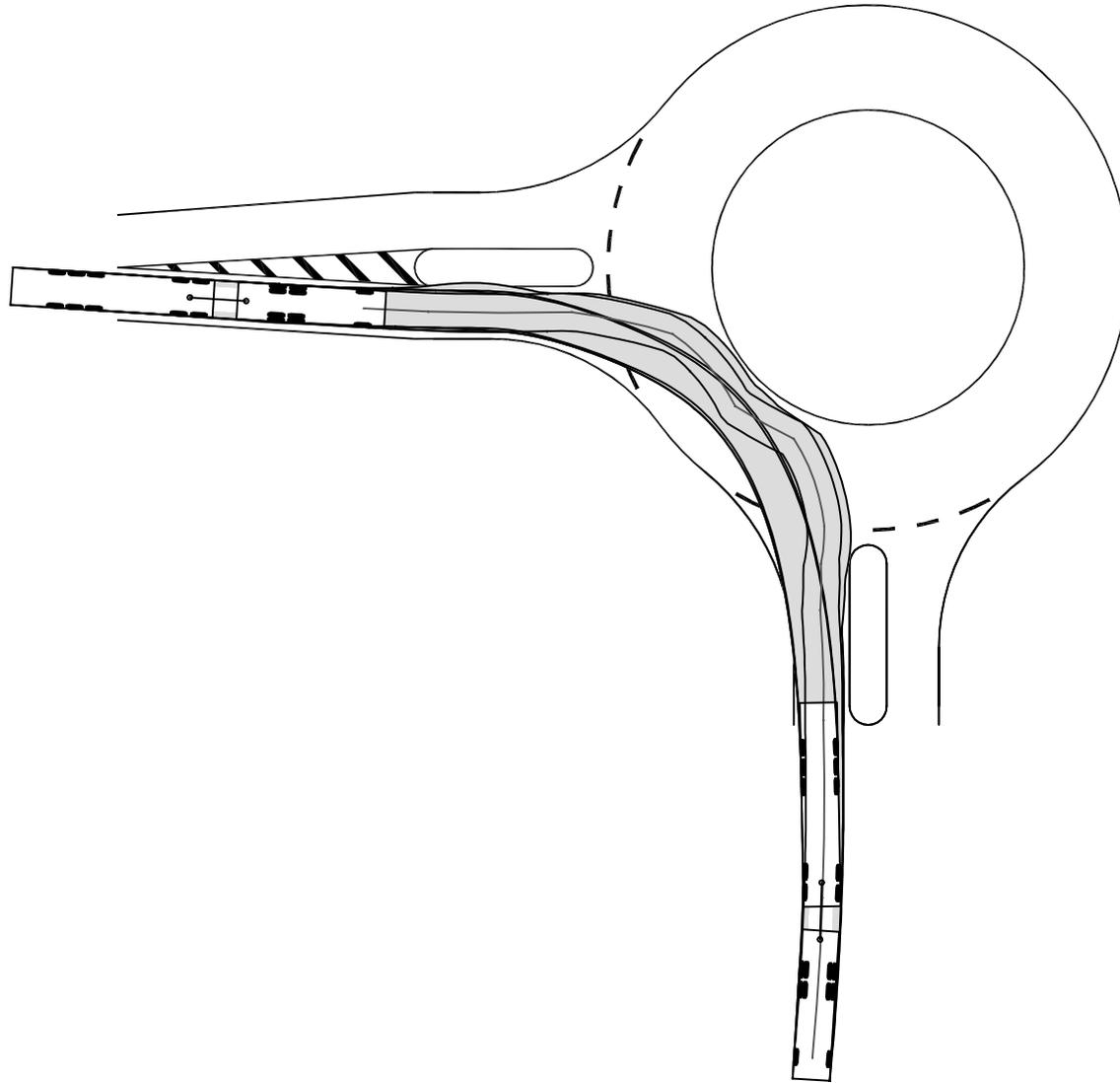
BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

Bundesanstalt für Straßenwesen Abteilung V - Straßenverkehrstechnik Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen
Titel: Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz
Anhang 41: Messung Schlepplurve Testfahrzeug Stellfläche (3)
Maßstab 1 : 500



BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

<p>Bundesanstalt für Straßenwesen Abteilung V - Straßenverkehrstechnik Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen</p>
<p>Titel: Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz</p>
<p>Anhang 42: Berechnung Schleppkurve Testfahrzeug Einmündung - Rechtseinbieger</p>
<p>Maßstab 1 : 500</p>



BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

**Bundesanstalt für Straßenwesen**  
**Abteilung V - Straßenverkehrstechnik**  
 Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

---

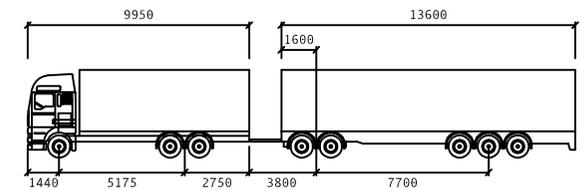
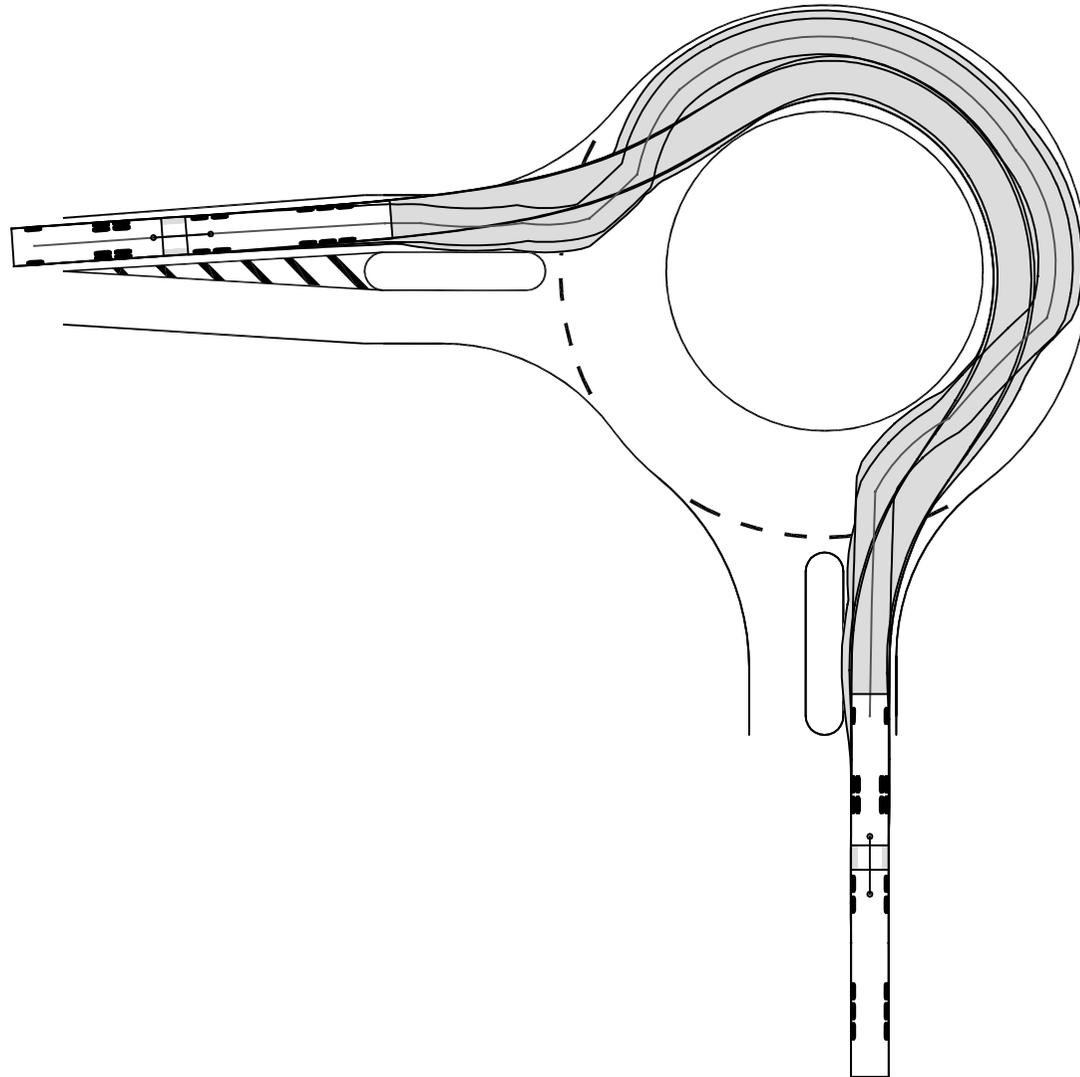
**Titel:**  
 Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
 Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

---

**Anhang 43:**  
 Berechnung Schleppkurve Testfahrzeug  
 Kreisverkehr - 1/4 Kreis

---

Maßstab 1 : 500



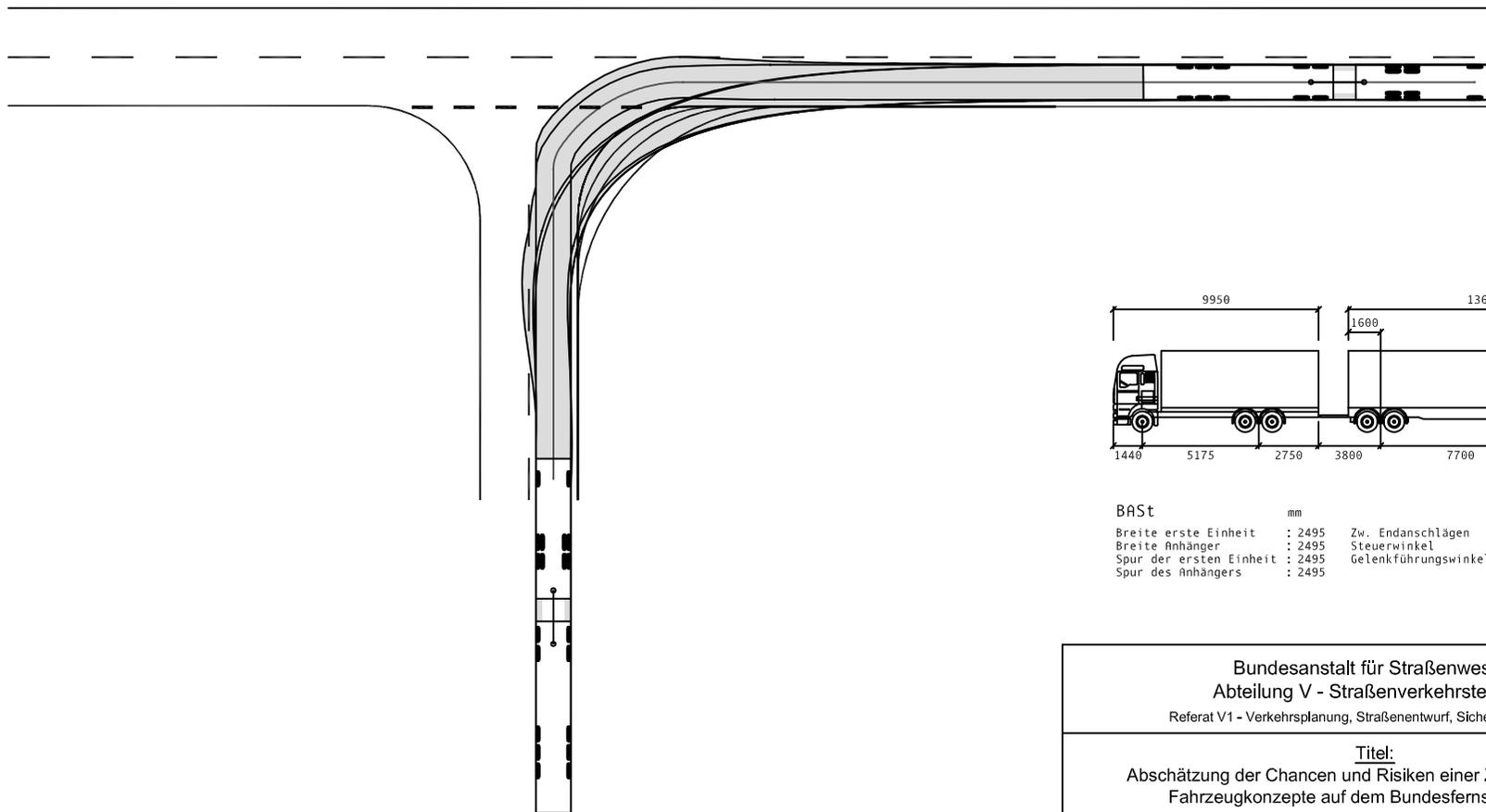
BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

Bundesanstalt für Straßenwesen  
 Abteilung V - Straßenverkehrstechnik  
 Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
 Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
 Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

Anhang 44:  
 Berechnung Schleppkurve Testfahrzeug  
 Kreisverkehr - 3/4 Kreis

Maßstab 1 : 500

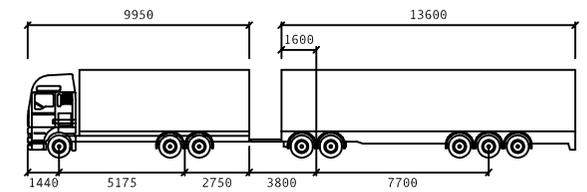
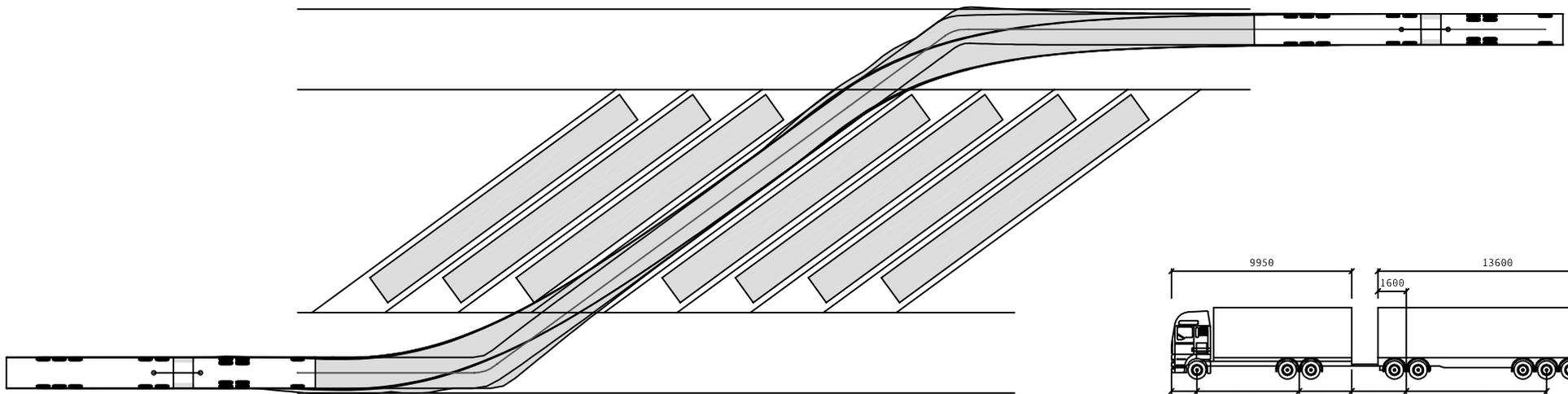


Bundesanstalt für Straßenwesen  
 Abteilung V - Straßenverkehrstechnik  
 Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

Titel:  
 Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
 Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

Anhang 45:  
 Berechnung Schleppkurve Testfahrzeug  
 Innerortsknoten - Rechtseinbieger

Maßstab 1 : 500



BAST	mm		
Breite erste Einheit	: 2495	Zw. Endanschlägen	: 6
Breite Anhänger	: 2495	Steuerwinkel	: 30
Spur der ersten Einheit	: 2495	Gelenkführungswinkel	: 70
Spur des Anhängers	: 2495		

**Bundesanstalt für Straßenwesen**  
**Abteilung V - Straßenverkehrstechnik**  
 Referat V1 - Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Sicherheitsanalysen

---

**Titel:**  
 Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer  
 Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz

---

**Anhang 46:**  
 Berechnung Schleppkurve Testfahrzeug  
 Parkplatz - Stellfläche

---

Maßstab 1 : 500