

Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 250

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are closely spaced and have a slight shadow effect, giving it a three-dimensional appearance. The 'b' and 'a' are particularly prominent.

Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw

von

Christian Lippold
Alexander Schemmel

Technische Universität Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 250

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 09.180/2011/CRB:
Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw
Dieser Forschungsbericht wurde im Rahmen der interdisziplinären wissenschaftlichen Begleituntersuchung zum Feldversuch mit Lang-Lkw erstellt.

Fachbetreuung

Marco Irzik

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-143-1

Bergisch Gladbach, Dezember 2014

Kurzfassung - Abstract

Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw

Die Bundesregierung hat zum 01.01.2012 einen deutschlandweiten Feldversuch mit Lang-Lkw gestartet. Die dafür erforderliche verkehrsrechtliche Grundlage wurde durch die LkwÜberl-StVAusnV gegeben. Untersuchungsansätze der begleitenden Forschung sind vermutete Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit, den Verkehrsablauf, die Verkehrsqualität und geänderte Anforderungen an die geometrische Gestaltung der Verkehrsanlagen.

Solche Auswirkungen sind z.B. für Rampen in planfreien Knotenpunkten, Rampen und plangleiche Teilknotenpunkte in Anschlussstellen, Nothaltebuchten in Tunneln und Parkstände auf Rastanlagen zu erwarten. Ziel der Untersuchung war es, diesbezüglich Erkenntnisse und Erfahrungen im Realbetrieb mit Lang-Lkw zu sammeln. Im Rahmen der Untersuchung wurden Fahrverhalten, Flächenbedarf und die Fahrgeometrie von Lang-Lkw erfasst. Die Untersuchungsmethodik umfasste u. a. Kameraaufzeichnungen am Lkw und photogrammetrische Vermessungen der Fahrlinien (der überstrichenen Flächen). Durch Verfolgungsfahrten und Spurhaltemessungen mittels Laserscanner wurden Lang-Lkw konventionellen Lkw vergleichend gegenübergestellt.

Die Messungen ergaben, dass Lang-Lkw in (indirekten) Rampen, Ein- und Ausfädelungstreifen und Verflechtungstrecken keine Auffälligkeiten aufwiesen. Dagegen nutzten sie bei Einbiegevorgängen an Knotenpunkten in Anschlussstellen die Bewegungsspielräume aus und überfuhren benachbarte Fahrstreifen. In Tunnelnothaltebuchten konnten 25,25 m lange Fahrzeugkombinationen nicht einparken. Das Befahren von Schrägparkständen konnte nur unter Mitbenutzung benachbarter Parkstände erfolgen.

Maneuverability of longer trucks on German motorways

The present study is a research on the attempt with long heavy goods vehicles on German motorways. The attempt started on 01 (th) January, 2012 based on a special traffic ordinance. The ordinance provided a scientific program managed by the German Bast. The study analysed effects of the new vehicles at the traffic quality, traffic safety and new standards for geometrical design.

The potential impacts that the long vehicles could have on roads, carriageways on junctions and interchange points, gateways, driveways, weaving lanes, parking in emergency rest stops (in tunnels) and parking on rest areas was also evaluated. The purpose of this study gives answers of the questions of area required, handling and geometrical requirement. The study worked with follow shot by the measuring vehicle (called UNO), photogrammetry attempt, cameras at the trucks and a laser scanner for the measure at the parking areas. The photogrammetric helps to understand the driving lines of the different long-vehicles. The follow shot by the measuring vehicle and the laser scanner help to compare to a long heavy goods vehicle with a conventional heavy goods vehicle.

The study shows that long heavy goods vehicles don't have problems in carriageways on junctions and interchange, weaving lanes, access and exit lanes. If a long heavy goods vehicle turns right into an overriding road it overruns the left turn lane there. Long heavy goods vehicles (25.25 m) aren't able to park in emergency rest stops. The parking on rest areas is only possible through overriding the neighboring parking lot.

Inhalt

1	Einleitung	6
2	Literaturanalyse	8
2.1	Verkehrsraum und Lichtraumprofil	8
2.2	Fahrzeuggrundmaße nach StVZO	9
2.3	Konzepte für überlange Fahrzeuge.....	9
2.4	Technischer Aufbau von Lang-Lkw	11
2.5	(Untersuchungs-) Bestandteile von Autobahnen	16
2.6	Schlussfolgerungen für die Untersuchung	20
3	Ziel der Untersuchung und Vorgehensweise	21
3.1	Untersuchungsziel	21
3.2	Untersuchungsablauf	222
3.3	Durchführung der Messungen.....	26
4	Auswertung	27
4.1	Befahrbarkeit von Knotenpunkten und Anschlussstellen.....	27
4.2	Befahrbarkeit von Nothaltebuchten.....	35
4.3	Befahrbarkeit von Tank- und Rastanlagen	38
5	Schlussfolgerungen für den Einsatz von Lang-Lkw	42
6	Zusammenfassung	44
7	Literaturverzeichnis	47
8	Anlagen	51

1 Einleitung

Seit einigen Jahren sind in mehreren europäischen Ländern verschiedene Kombinationen überlanger Lkw im Einsatz. Damit wird angestrebt, das transportierbare Frachtvolumen je Lastzug zu erhöhen, um in der Folge die Gesamtzahl von Lkw insgesamt reduzieren zu können.

In Deutschland wird zur Erprobung solcher überlanger Lastzug-Kombinationen vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) seit dem 1. Januar 2012 ein bundesweiter Feldversuch durchgeführt. Für die Dauer von vorerst fünf Jahren können Transport- und Logistikunternehmen somit Fahrzeugkombinationen bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 m und einem zulässigen Gesamtgewicht von 40 t einsetzen. Im Vor- und Nachlauf des Kombinierten Ladungsverkehrs (KV) sind weiterhin Beladungen bis zu maximal 44 t erlaubt.

Die Bundesregierung erhofft sich durch dieses Konzept eine effizientere Beförderung von sperrigen und voluminösen Gütern und eine Senkung der CO₂-Emissionen im nationalen Straßengüterfernverkehr.

Die Teilnahme am Feldversuch ist für die Bundesländer nicht verpflichtend vorgeschrieben. Insgesamt beteiligen aktiv sieben Länder am Versuch: Bayern, Hessen, Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Hamburg, Thüringen und Sachsen.

Der Feldversuch wird durch die Bundesanstalt für Straßenwesen BASt wissenschaftlich begleitet. Dafür wurde ein Gesamtkonzept für ein Untersuchungsprogramm entwickelt, das alle für Lang-Lkw relevanten Themenfelder umfasst (z.B. Straßenbeanspruchung / Fahrbahnkonstruktionen, Fahrzeug-Rückhalteeinrichtungen, fahrgeometrische und fahrdynamische Auswirkungen, Verkehrssicherheit, Verkehrsablauf).

Bei der BASt muss die Teilnahme am Versuch vor dem ersten Fahrtantritt schriftlich bekundet werden (vgl. §12 Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LkwÜberlStVAusV)). Die LkwÜberlStVAusV regelt die zu erfüllenden Anforderungen und Vorgaben für den Feldversuch.

Die Lang-Lkw werden auf dem Autobahnnetz und auf ausgewählten Bundesstraßen der teilnehmenden Länder getestet. Dabei sollen neben den o.g. Kriterien konkret z.B. auch die Auswirkungen auf den Fahrablauf und auf den Flächenbedarf bei

bestimmten Verkehrsanlagen (z.B. Autobahn-Knotenpunkte, Parkstände, Pannenbuchten) unter realen Fahrbedingungen untersucht werden.

Der zeitliche Ablauf des gesamten Versuches gliedert sich in folgende vier Phasen:

Die erste Phase war die Anlaufphase. Sie hat 2012 begonnen. In der Anlaufphase wurden das Untersuchungsprogramm an die Rahmenbedingungen angepasst. Aufträge an die externen Gutachter wurden vergeben und Vorgehensweisen bei den verschiedenen Untersuchungen abgestimmt. Mit Fragebögen und Pretests wurden Erfassungstechniken festgelegt und Fahrverhaltensbeobachtungen bei ausgewählten Expeditionen durchgeführt.

Die zweite Phase begann mit dem Eingang der ersten Teilnahmebekundung eines Unternehmens. Diese umfasst die Sammlung und Auswertung der im Rahmen der Meldung bei der BASt eingehenden Unterlagen. Zur Datenerhebungsphase gehört auch die Sammlung von Unfallmeldebögen bei möglichen Unfällen mit Beteiligung von Lang-Lkw und von Daten eventueller anderer besonderer Ereignisse im Zusammenhang mit dem Einsatz von Lang-Lkw (zum Beispiel Brand im Tunnel). Diese Untersuchungsphase wird sich über den gesamten Zeitraum des Feldversuchs erstrecken.

In der Analysephase sollten die umfangreichen Erhebungen ausgewertet werden. In dieser Phase wurden Aussagen über gefahrene Routen, Ladung und eingesetzte Fahrzeuge getroffen. Dafür wurden Auswertungen von Fragebögen, umfangreiche Fahrversuche und Simulationen durchgeführt.

Die Abschlussphase wird etwa ein halbes Jahr vor Beendigung des Feldversuches beginnen. Es werden letzte Nacherhebungen durchgeführt und alle Ergebnisse in einem abschließenden Bericht zusammengefasst.

Ziel des vorliegenden Teilprojektes 09.0180 ist es, die Befahrbarkeit verschiedener Verkehrsanlagen im Zuge von Autobahnen durch Lang-Lkw zu untersuchen und zu bewerten. Konkret betrifft dies

- (indirekte) Rampen in planfreien Knotenpunkten und Anschlussstellen,
- eingeschränkte Querschnitte (in Rampen)
- Ein- und Ausfädelungstreifen von Anschlussstellen (AS),

- Verflechtungsbereiche,
- ausgewählte Elemente plangleicher Knotenpunkte an Anschlussstellen zum nachgeordneten Netz,
- Nothaltebuchten und,
- Parkstände auf Tank- und Rastanlagen

Die Messungen sollen nach Möglichkeit im realen Verkehr erfolgen. Während der gesamten Messfahrt sollen sich außerdem die Fahrzeugführer möglichst unbeobachtet fühlen, um so ihren eigenen Fahrstil beizubehalten.

Im Ergebnis der Untersuchung soll der Platzbedarf von Lang-Lkw auf den o.g. Elementen bzw. Bereichen von Autobahnen erhoben werden (Rampen, Anschlussstellen, Verflechtungsbereiche, Parkstände, Knotenpunkte). Daraus ist abzuleiten, ob die vorhandenen Verkehrsanlagen für die Benutzung durch Lang-Lkw ausreichen oder ob und in welchem Umfang gegebenenfalls ein Änderungs- und Anpassungsbedarf besteht. Außerdem sind Unterschiede zu bzw. Gemeinsamkeiten mit konventionellen Lastzügen als Vergleichsfahrzeugen herauszuarbeiten.

2 Literaturanalyse

2.1 Verkehrsraum und Lichtraumprofil

Im vorliegenden Vorhaben werden vor allem Verkehrsanlagen an Autobahnen untersucht, deren uneingeschränkte Nutzung im Wesentlichen von den Fahrzeugabmessungen und vom Flächenbedarf der Lastzüge abhängt.

Die Fahrzeuggrundmaße spielen dabei eine wichtige Rolle. Sie sind durch die StVZO vorgegeben.

Für die Querschnittsabmessungen sind die Breite und die Höhe der Fahrzeuge maßgebend. Die Breite beträgt max. 2,55 m (Ausnahme: Kühlfahrzeuge 2,60 m). Die maximale Höhe liegt bei 4,00 m.

Unter Berücksichtigung zusätzlicher Bewegungsspielräume ergeben sich die Abmessungen des Verkehrsraumes nach Bild 1.

Die Längen der Fahrzeuge variieren, bei Sattelzugmaschinen betragen sie maximal 16,50 m und bei Zugmaschinen mit Anhänger 18,75 m (StVZO, siehe auch Ziffer 2.2).

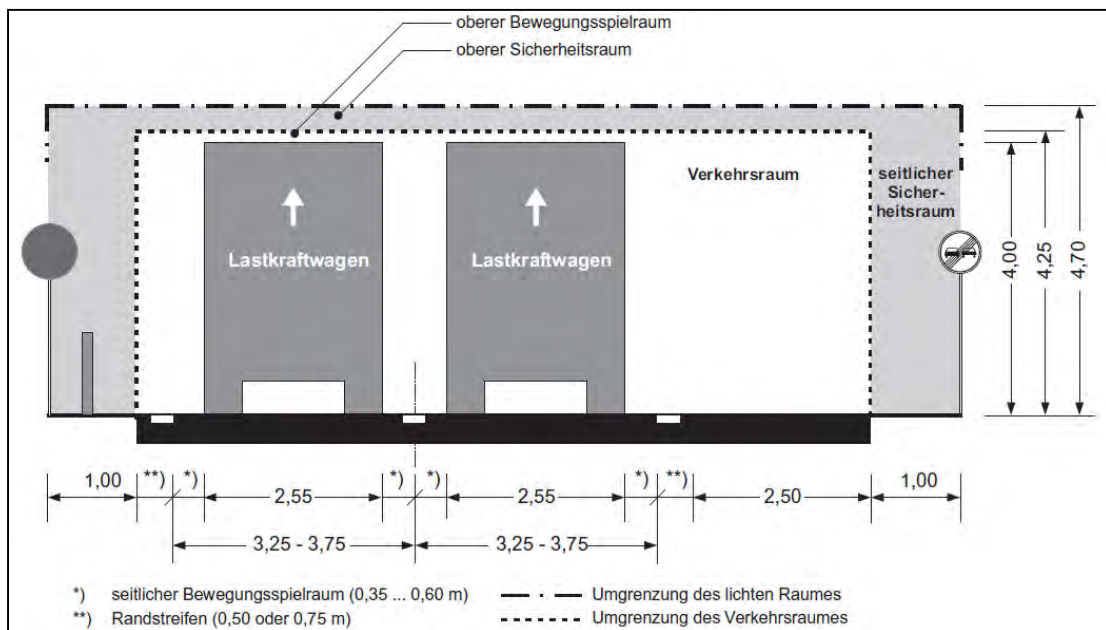


Bild 1: Grundmaße für den Verkehrsraum und den lichten Raum (Abmessungen in [m]) nach RAA (FGSV 2008)

2.2 Fahrzeuggrundmaße nach StVZO

Die aktuellen „Richtlinien für Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen“ (FGSV 2001/2005) enthalten die standardisierten fahrgeometrischen Bewegungsspielräume der nach StVZO zulässigen Bemessungsfahrzeuge. Diese Daten werden für fahrgeometrische Bemessungen von Straßenplanungen herangezogen.

Fahrzeugart	Außenabmessungen (m)						
	Länge	Radstand	Überhang vorn	Überhang hinten	Breite	Höhe	Wendekreis- radius außen
Lastzug:	18,71						
Zugfahrzeug (3-achsig) ¹⁾	9,70	5,28 ¹⁾	1,50	2,92	2,55 ⁴⁾	4,00	10,30
Anhänger (2-achsig)	7,45	4,84	1,35 ³⁾	1,26	2,55	4,00	10,30
Sattelzug:	16,50						
Zugmaschine (2-achsig)	6,08	3,80	1,43	0,85	2,55 ⁴⁾	4,00	7,90
Auflieger (3-achsig) ¹⁾	13,61	7,75 ¹⁾	1,61	4,25	2,55	4,00	7,90
Höchstwerte der StVZO (2012)							
Kraftfahrzeuge	12,00						
Anhänger	12,00						
Lastzug	18,75				2,55 ⁵⁾	4,00	12,50
Sattelzug	16,50						
¹⁾ Bei 3-achsigen Fahrzeugen ist die hintere Tandemachse zu einer Mittelachse zusammengefasst ²⁾ Bei 3-achsigen Fahrzeugen mit Nachlaufachse entspricht der Radstand dem Wert zwischen der Vorderachse und der vorderen Achse der hinteren Tandemachse ³⁾ Ohne Deichsellänge ⁴⁾ Ohne Außenspiegel ⁵⁾ Aufbauten von klimatisierten Fahrzeugen bis 2,60 m							

Tab. 1: Zulässige Fahrzeugabmessungen des Schwerverkehrs nach FGSV 2001/2005

Grundlage für die Bewegungsspielräume von Fahrzeugen über 3,5 t nach StVZO sind die Untersuchungsergebnisse von SCHNÜLL (2001).

Durch den § 32 d StVZO wird neben den Abmessungen von Fahrzeugen auch die Einhaltung des BO-Kraftkreises als Zulassungsvoraussetzung vorgeschrieben (siehe Ziffer 2.4).

2.3 Konzepte für überlange Fahrzeuge

Die Fahrzeugabmessungen von Lang-Lkw weichen von den Vorgaben der StVZO ab. Die Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LkwÜberStVAusN) ermöglicht daher im Rahmen des Feldversuches Sondermaße für diese Lkw. Nach dieser Ausnahmeregelung haben die Fahrzeugkombinationen eine Länge von bis zu 25,25 m (BMVBS 2012).

Die zu untersuchenden Fahrzeugkombinationen werden nach § 3 der LkwÜberStVAusN in fünf Typen eingeordnet (Bild 2).

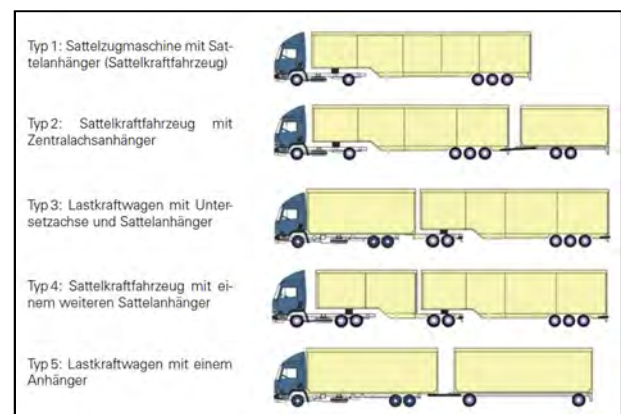


Bild 2: Mögliche Fahrzeugkombinationen nach LkwÜberStVAusN

- Typ 1 - Sattelzugmaschine mit verlängertem Sattelanhänger (Sattelkraftfahrzeug) bis zu 17,80 m (Bild 3),
- Typ 2 - Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsanhänger bis zu 25,25 m (Bild 4),
- Typ 3 - Lastkraftwagen mit Untersetzachse und Sattelanhänger bis zu 25,25 m (Bild 5),
- Typ 4 - Sattelkraftfahrzeug mit einem weiteren Sattelanhänger bis zu 25,25 m (Bild 6),
- Typ 5 - Lastkraftwagen mit einem Anhänger bis zu 24,00 m (Bild 7).

Außer der Länge dürfen gegenüber den geltenden Regelungen keine weiteren Außenmaße (Breite und Höhe) verändert werden. Durch größere Fahrzeugabmessungen, zusätzliche Kupplungs- und Knickpunkte ist bei den neuen Fahrzeugkonzepten aber von abweichenden Kurvenlaufverhalten auszugehen. Für die Zulassung der Fahrzeugkonzepte ist aber die Einhaltung des BO-Kraftkreises vorgeschrieben.

Typ 1

Lang-Lkw vom Typ 1 bestehen aus einer Sattelzugmaschine mit einem verlängerten Sattelaufleger (auch „EuroTrailer“ genannt). Dieser Typ stellt ein überlanges Sattelkraftfahrzeug dar. Zulässiges Höchstmaß für diese Variante sind 17,80 m. Hierbei ergibt sich die zusätzliche Länge von 1,30 m durch einen vergrößerten Radstand und eine Verlängerung des Fahrzeughecks um 1,00 m hinter dem Dreiachsaggregat. Der „EuroTrailer“ bietet mit seiner Länge den gleichen Palettenstauraum an wie ein konventioneller Lkw mit Anhänger, ist dabei aber rund 1,00 m kürzer. Das soll sich positiv auf die Infrastruktur und auf die Verkehrssicherheit, etwa bei Überholvorgängen, auswirken (Koegel 2013).



Bild 3: Lang-Lkw Typ 1

Typ 2

Die zweite Fahrzeugkombination Typ 2 besteht aus einem Sattelzug mit einem angehängten Tandemachsanhänger. Die Achsen des Anhängers sind zentral in der Mitte angeordnet. Dabei gibt es in Abhängigkeit von der Achslast Ausführungen mit einer, zwei oder drei Achsen. Die Richtlinie 96/53/EG sieht aber nach dem modularen Konzept nur zwei oder drei Achsen vor. Demzufolge dürfen auch nur Hänger mit dieser Achsanzahl angehängt werden. In der Praxis hat sich gezeigt, dass am häufigsten ein zweiachsiger Anhänger eingesetzt wird. In der Regel sind beide Achsen starr. Vereinzelt gibt es Modifikationen, bei

denen die Vorderachse gelenkt werden kann. Durch die Anordnung der Achsen entsteht ein zentraler Rotationspunkt. Der Tandemachsanhänger besitzt damit eine gute Wendigkeit. Er lässt sich so für den Fahrzeugführer auch leicht rückwärts rangieren.



Bild 4: Lang-Lkw Typ 2

Typ 3

Das im Feldversuch am häufigsten vertretene Fahrzeugkonzept ist der Typ 3. Die Verbindung zwischen Lastkraftwagen und Sattelanhänger geschieht mittels Untersetzachse (Dolly). Bei Typ 3 können gelenkte und un gelenkte Dolly vorkommen. Um bei un gelenktem Dolly die Kurvenlaufeigenschaften zu verbessern, werden nachlaufende Lenkachsen eingesetzt. Diese Fahrzeugkombination wurde im niederländischen Feldversuch zwischen 2001 und 2011 untersucht (ARTS 2010).



Bild 5: Lang-Lkw Typ 3

Typ 4

Typ 4 ist eine Kombination aus zwei Sattelauflegern (Bild 6). Dabei zieht eine Sattelzugmaschine einen Sattelaufleger, der eine Sattelkupplung für einen zweiten Sattelaufleger hat. Diese Variante kommt vor allem in Kanada, Australien, den USA, Schweden und Finnland zum Einsatz. In Kanada kommen solche Kombinationen als "queen city triples" mit einem zusätzlich gezogenen Sattelaufleger (mit Untersetzachse) zum Einsatz (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY 2006, COUNCIL OF MINISTERS OF TRANSPORTATION AND HIGHWAY SAFETY 2011, BUNDESVERBAND GROSSHANDEL,

AUSSENHANDEL, DIENSTLEISTUNGEN E.V. 2006). Im Feldversuch in Deutschland wird diese Fahrzeugkombination nur selten eingesetzt, sie spielt eher eine untergeordnete Rolle. In Norwegen wurde diese Bauform im Vergleich zu Typ 2 und Typ 3 häufiger verwendet (EIDHAMMER 2009). Die Fahrzeuglängen waren in Deutschland und in Norwegen identisch (ANDERSEN 2009). Diese Fahrzeugkombination wurde wie Typ 2 und 3 auch im niederländischen Feldversuch erprobt (ARTS 2010).



Bild 6: Lang-Lkw Typ 4

Typ 5

Typ 5 ist eine Zugmaschine mit Anhänger, die sich gegenüber einem herkömmlichen Gliederzug nur durch die Länge unterscheidet. In Kanada sind diese Fahrzeuge als sogenannte „Pony Trailer Combination“ oder „Full Trailer Combination“ mit Längen von 23 m bekannt (COUNCIL OF MINISTERS OF TRANSPORTATION AND HIGHWAY SAFETY 2011).



Bild 7: Lang-Lkw Typ 5

2.4 Technischer Aufbau von Lang-Lkw

Die am Versuch teilnehmenden Fahrzeugtypen werden auf modularer Basis zusammengesetzt. „Modular“ bezeichnet dabei die Kombination StVZO-zulässiger Zugmaschinen und Anhänger zu Lang-Lkw.

In der Ausnahmereverordnung der Lang-Lkw sind die Anzahl lenkbarer Achsen oder deren Position nicht festgelegt (BMVBS 2012). Die Notwendigkeit von zusätzlich gelenkten Achsen bei Fahrzeugen dieser Länge ergibt sich aus den Anforderungen

an die Kurvenlaufeigenschaften nach §32 d StVZO (BMVBS 2011). Ohne zusätzliche Lenkachsen kann es passieren, dass ein Fahrzeug den vorgeschriebenen "BO-Kraftkreis" nach § 32 d Abs. 1 nicht einhalten kann. Das ist aber für die Zulassung nach § 7 der LkwÜberlStVAusN für jeden Fahrzeugtyp im Feldversuch nachzuweisen. Der "BO-Kraftkreis" soll gewährleisten, dass ein Fahrzeug Kurvenfahrten im gesamten öffentlichen Straßennetz problemlos durchführen kann. (STÜRMER 2009). Fahrzeugbetreiber müssen dies dann absichern, wenn sie ihre Anhänger und Sattelaufleger individuell anfertigen lassen (Auskunft der Spediteure bei Gesprächen).

Erfahrungen aus der Praxis zeigen jedoch, dass der BO-Kraftkreis nicht alle vorkommenden Elementfolgen und Bewegungsvorgänge, wie z.B. die Fahrt durch einen Kreisverkehr mit verschiedenen Richtungswechseln (rechts-links-Kombination) abdeckt. Insofern werden im praktischen Straßennetz ergänzend Schleppkurven zur Berücksichtigung des tatsächlichen Platzbedarfs bei Kurvenfahrten verwendet.

GLAESER U.A. (2006) haben in ihren Untersuchungen Fahrversuche mit verschiedenen Fahrzeugtypen durchgeführt. Mit der Tropfenmethode wurden verschiedene Verkehrsanlagen auf einem Testfeld befahren und anschließend vermessen. Die Wasserflaschen an den Fahrzeugkanten markierten die überstrichenen Flächen. Zum Vergleich wurden Schleppkurven der gleichen Fahrzeuge am Rechner simuliert. Es war jedoch nicht möglich, mehrere gelenkte Achsen zu simulieren. GLAESER schlussfolgert daher, dass Schleppkurven von Simulationen und realen Fahrversuchen nicht immer übereinstimmen. Untersuchungen von FRIEDRICH U.A. haben ergeben, dass im Normalfall (bis zu einer gelenkten Achse) in Simulationen eine verhältnismäßig gute Einschätzung des Fahrverhaltens zulassen (2013). Der Vergleich zwischen Simulation und Fahrversuch zeigte, dass lediglich bei Richtungsänderungen durch die Fahrzeugverwindung kleinere Abweichungen der überstrichenen Flächen entstehen. Die Fahrstile der Testfahrer waren ein weiterer Einflussfaktor, der bei einem Vergleich zwischen Simulation und Messung berücksichtigt werden muss.

Der Einfluss von gelenkten Dollys (Lenkachsen an der Untersetzachse, Bild 8), teilweise mit verschiedenen Positionen der Knickpunkte auf das Fahrverhalten, wurde bereits mehrfach untersucht: Gezogene Lenkachsen führen zum Ausschwenken des Aufliegerhecks auf der kurvenäußeren Seite (Bild 8 und Bild 9). Nebeneffekt ist eine kleinere Flächenbeanspruchung auf der kurveninneren Seite (GLAESER 2008). Bild 9 verdeutlicht diesen

Zusammenhang. Es ist erkennbar, dass der Auflieger mit gezogener Lenkachse am Anfang des Einbiegevorgangs weiter ausschwenkt. Dagegen fällt der Flächenbedarf auf der kurveninneren Seite geringer aus.

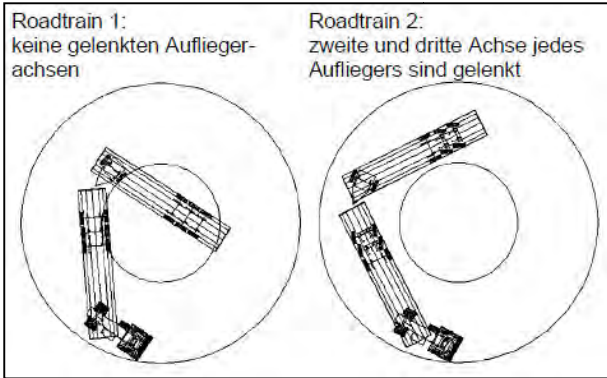


Bild 8: Unterschied von gelenkten und nicht gelenkten Aufliegern (Fka 2005)

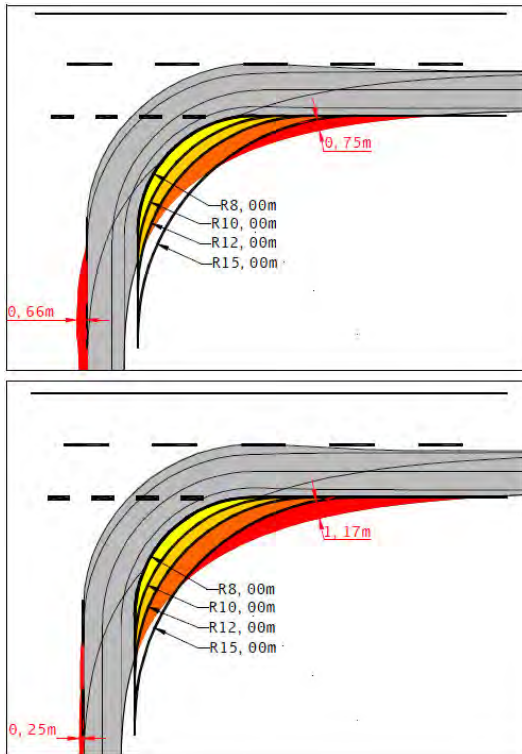


Bild 9: Lang-Lkw Typ 3 mit (oben) und ohne (unten) gezogener Lenkachsen und jeweils starren Dolly (GLAESER 2008)

Das Lenkverhalten wird durch belastete oder unbelastete Lenkachsen nur sehr geringfügig beeinflusst (GLAESER 2008).

Bei geringen Zuladungen sind Liftachsen nicht erforderlich. Sie können dann angehoben werden. Dadurch verändert sich der Drehpunkt des Anhängers. Bild 10 zeigt einen Vergleich mit und ohne

gelifeter Achse. Die Änderung des Drehpunktes bei gelifeter Achse führt dazu, dass sich der Anhänger weiter eindreht und so mehr zur Kurvenaußenseite schwenkt. Der Vorteil ist die geringere Platzbeanspruchung auf der kurveninneren Seite.

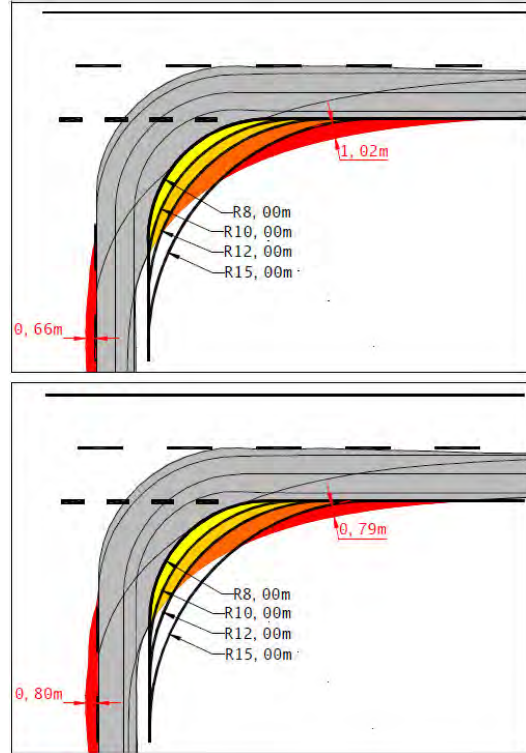


Bild 10: Lang-Lkw Typ 2 mit abgelenkter (oben) und gelifeter (unten) 5. Achse (GLAESER 2008)

Die lenkbare Untersetzachse (Dolly) führt dazu, dass der Sattelaufliieger einen weiteren Bogen als ein starrer Dolly beschreitet (Bild 11) (STÜRMER 2009). In Bild 12 ist ein Vergleich der unterschiedlichen Dollytypen enthalten. Der gelenkte Dolly zeigt eine deutlich schlankere Schleppkurve.

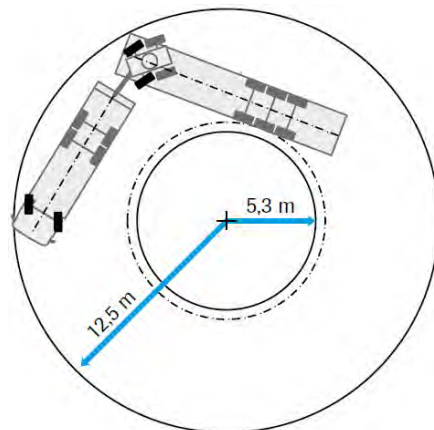


Bild 11: Einhaltung des "BO-Kraftkreis" nach §32 StVZO mit gelenktem Dolly (VDA Presse 2011)

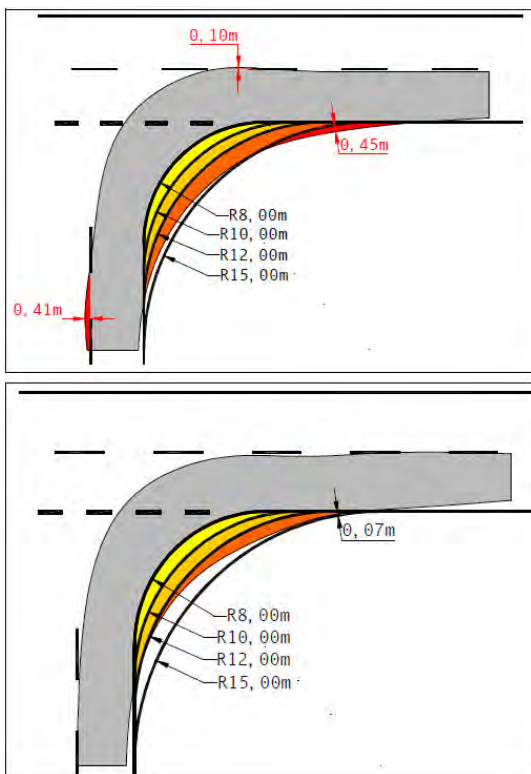


Bild 12: Lang-Lkw Typ 3 mit starren (oben) und gelenktem (unten) Dolly (GLAESER 2008)

Weitere Einflüsse auf das Kurvenfahrverhalten sind die Geschwindigkeiten, mit der ein Fahrzeug fährt. Nach GLAESER (2008) verursachen bereits bei geringen Geschwindigkeiten und bei geringen Geschwindigkeitsänderungen die dabei auftretenden Zentrifugalkräfte einen größeren Bogen mit entsprechendem Platzbedarf auf der Kurvenaußenseite. Die Fahrzeugkombinationen haben durch die auftretenden Fliehkräfte eine schmalere Schleppkurve.

Der nach § 32 d StVZO geforderte "BO-Kraftkreis" spiegelt nach GLAESER die Verhältnisse auf realen Straßen nur unzureichend wieder. Trassierungsparameter von Straßen weichen von den Flächen des "BO-Kraftkreises" deutlich ab. Die Fahrstreifenbreite eines "BO-Kraftkreises" beträgt 7,20 m. Dagegen sind Fahrstreifen in Knotenpunkten nur 3,50 m bis 4,50 m breit. Außerdem berücksichtigt ein "BO-Kraftkreis" keine drei aufeinanderfolgenden Richtungsänderungen, wie sie in Kreisverkehren vorkommen.

Studien in den Niederlanden haben beim dortigen Feldversuch gezeigt, dass einige getestete Fahrzeuge den "BO-Kraftkreis" nicht einhalten konnten. In den Niederlanden müssen Lang-Lkw eine Kreisbahn von 14,50 m Außenradius und 6,50 m Innenradius einhalten. Der Grund für die Aufweitung sind Sondertransporte, für die die Infrastruktur ausgelegt ist (AKERMAN 2007). Für die Zulassung

von Lang-Lkw müssen in Schweden die Außenmaße eines "BO-Kraftkreises" mit 12,50 m und einem Innenradius von 2,00 m eingehalten werden (AKERMAN 2007). Länder wie Dänemark und Norwegen haben keine besonderen Vorgaben für eine abweichende Prüfung im "BO-Kraftkreis" (HONER 2010).

LIENKAMP U. A. (2013) haben im Teilprojekt 82.0543/2012 des deutschen Feldversuches Untersuchungen zur Fahrdynamik von Lang-Lkw unternommen. Untersuchungsschwerpunkte von LIENKAMP U. A. waren das Bremsverhalten, Windstabilität, ausgewählte Fahrmanöver, Dieserverbrauch und das Fahrverhalten im BO-Kraftkreis. Die Untersuchungen beinhalteten Simulationen und Fahrversuche.

Typ 1

Das Fahrverhalten von Typ 1 im BO-Kraftkreis wurde mit Simulationen untersucht. Diese ergaben eine notwendige Kreisfahrbahnbreite von 7,3 m im BO-Kraftkreis. Das Zulassungsgutachten des Lang-Lkw gibt dagegen 7,1 m an. Das Fahrzeug besaß eine dynamische Radstandsveränderung. Durch gezieltes Entlüften der Luftfederbälge kann die hinterste Achse entlastet werden. Die Lastverteilung verschiebt sich dadurch zu den vorderen Achsen des Sattelauflegers. Dadurch lässt sich das Einlenkverhalten des Anhängers beeinflussen. Dieser Einfluss kann für die unterschiedlichen Ergebnisse der Simulation und des Gutachtens verantwortlich sein.

Typ 2

Der Typ 2 konnte den BO-Kraftkreis nur durch die geliftete dritte Achse des Sattelauflegers und die Ersatzdeichsellänge des Tandemachsanhängers einhalten. Dadurch ergaben sich bei dem Fahrzeugtyp sehr schmale Kreisringbreiten (6,1 m). Simulationen mit einer ungünstigeren Ersatzdeichsellänge an einem anderen Fahrzeug ergaben eine Kreisringbreite von 7,7 m. Der BO-Kraftkreis ist für diesen Typ demnach nur mit optimalen Abmessungen der Achsabstände zu bewältigen. Statt einer Liftachse am Sattelaufleger kann auch eine Lenkachse verwendet werden. Dadurch ergaben sich ebenfalls bessere Kurvenlaufeigenschaften (simuliert 6,7 m überstrichene Kreisringbreite).

Typ 3

Bei Typ 3 entscheiden Eigenschaften wie ungelenkter oder gelenkter Dolly sowie tief- oder hochgekuppelter Dolly über die Einhaltung des BO-Kraftkreises. Generell nutzen Fahrzeuge mit

tiefgekuppeltem Dolly die maximale Kreisringbreite von 7,2 m am weitesten aus. Hochgekuppelte Fahrzeuge sind vergleichsweise unkritisch. Der Hecküberhang des Kupplungspunktes am Sattelaufleger spielte dabei eine wichtige Rolle.

Typ 4

Bei Typ 4 wurde der BO-Kraftkreis durch eine Liftachse (Achse 5) und eine Nachziehachse (Achse 4) eingehalten. Das Fahrzeug überstrich eine Kreisringbreite von 7,2 m. Bei GLAESER benötigte das getestete Fahrzeug 6,8 m Kreisringbreite. Dort hatte der Typ 4 drei gelenkte Achsen (6., 7. und 10. Achse). Dadurch erreichte er besonders gute Kurvenlaufeigenschaften. Das von Glaeser seinerzeit getestete Fahrzeug entsprach den geometrischen Regularien der im deutschen Feldversuch untersuchten Lang-Lkw-Kombination Typ 4.

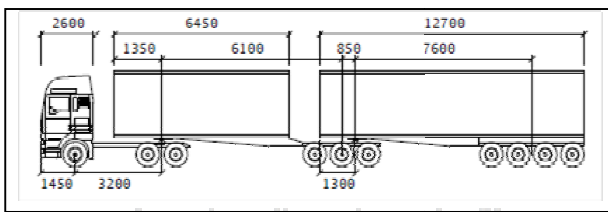


Bild 13: Lastzugkombination Typ 2 [Glaeser 2008]

Typ 5

Die Untersuchungen von LIENKAMP U. A. (2013) ergaben für den verlängerten Gliederzug (Typ 5) eine überstrichene Kreisringbreite von 6,2 m. Der weit überhängende Kupplungspunkt des Drehdeichselanhängers ermöglichte es, dass der Anhänger in der Kreisfahrt weiter am Außenrand fuhr. Dadurch ergab sich eine schmalere Schleppkurve auf der Kreisbahnnenseite. Der im Feldversuch teilnehmende Lang-Lkw Typ 5 besaß eine Länge von 23 m. Dieses Fahrzeug schaffte den BO-Kraftkreis für die Teilnahme am Feldversuch. Simulationen der TU München ergaben für ein 24 m langes Fahrzeug von Typ 5 eine Überschreitung der zulässigen Kreisringbreite bei ungünstiger Achsanordnung.

Untersuchungen von Glaeser (2008) im kleinen Kreisverkehr (R = 16 m) ergaben, dass dieser durch alle seinerzeit getesteten Lang-Lkw Typen befahren werden konnte (Bild 79 bis Bild 82). Die Befahrbarkeit mit den Lang-Lkw war nur unter Ausnutzung der Bewegungsspielräume und der Seitenräume möglich. Besonders die Befahrung des $\frac{3}{4}$ -Kreis führte bei inneren und äußeren Fahrbahnrandern zu Überstreichungen. Die Überstreichungen der $\frac{1}{4}$ -Kreisdurchfahrt beschränkt

sich bei Typ 2 und 3 auf den linken Fahrbahnrand der Ausfahrt. Der Lang-Lkw Typ 4 schnitt bei den Fahrversuchen mit einem sehr guten Fahrverhalten in beiden Kreisfahrten ab (Bild 79 Simulation und Bild 80 (Fahrversuch)).

Wie bereits festgestellt, berücksichtigt der BO-Kraftkreis nicht alle Anforderungen an die geometrische Gestaltung der Straße, die sich aus den Kurvenlaufeigenschaften der Lkw ergeben. Das ist vor allem auch an Knotenpunkten bei Ein- und Abbiegevorgängen und an Kreisverkehren von Bedeutung. So ist z.B. für den Kreisverkehr eine $\frac{3}{4}$ Kreisdurchfahrt mit drei Richtungsänderungen durch den BO-Kraftkreis nicht abgedeckt.

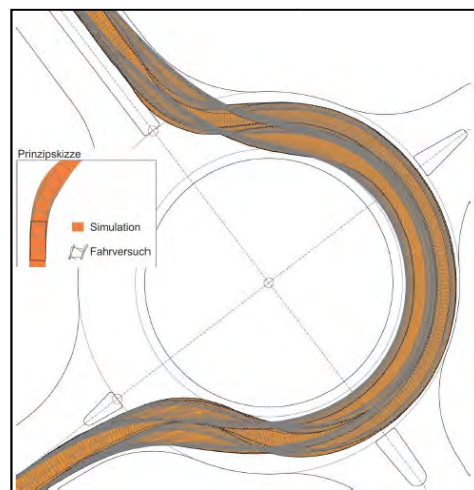


Bild 14: $\frac{3}{4}$ Kreisdurchfahrt Typ 1 [FRIEDRICH U.A. 2013]

Untersuchungen im Kreisverkehr (R = 35 m) von GLAESER ergaben, dass alle getesteten Lang-Lkw Typen (Typ 2, 3, 4) den Kreisverkehr befahren konnten (Bild 79 bis Bild 82). Allerdings wurde dabei die Fahrbahn im vollen Umfang in Anspruch genommen. Außerdem kam es bei der $\frac{3}{4}$ -Kreisbefahrung zu Überstreichungen der inneren und äußeren Fahrbahnrandern. FRIEDRICH U.A. (2013) haben in ihren Untersuchungen Simulationen in Kreisverkehren durchgeführt. Die Kreisverkehre besaßen Durchmesser von 26 m, 30 m und 40 m. Es wurden folgende Fahrzeuge untersucht:

- Sattelschlepper (16,50 m –jeweils mit / ohne geflitteter Achse),
- Autotransporter (20,75 m),
- Gliederzug (18,75 m mit Tandemachsanhänger),
- Gliederzug (18,75 m mit Drehdeichselanhänger),
- Lang-Lkw Typ 1 (17,80 m) und
- Lang-Lkw Typ 5 (24 m).

Die im deutschen Feldversuch teilnehmende Fahrzeugkombination Typ 5 besaß nur eine Länge von 23 m. Der Lang-Lkw erlangte die Zulassung zum Feldversuch im "BO-Kraftkreis". Dagegen schaffte das von FRIEDRICH U. A. simulierte 24 m Fahrzeug, durch seine Überhänge, den BO-Kraftkreis nicht.

Alle Fahrzeuge haben stets die gleiche Leitlinie verfolgt (Bild 15). FRIEDRICH U.A. haben in ihren Untersuchungen festgestellt, dass bei unterschiedlichen Fahrzeugtypen die Fahrer unterschiedliche Leitlinien wählen. (Bild 85 bis Bild 87).



Bild 15: Überstreichung Eckausrundung Typ 5 (FRIEDRICH U.A. 2013)

Der Typ 1 befuhr die drei Kreisverkehre ohne Probleme. Typ 5 hatte bei der Einfahrt in den 26 m Kreisverkehr eine zum Fahrbahnrand versetzte Schleppkurve. In den Simulationen zeigte vor allem der Autotransporter großflächige Überstreichungen.

Bei der 1/4-Kreisdurchfahrt beschränken sich die Überstreichungen bei Typ 2 und 3 auf den linken Fahrbahnrand der Ausfahrt (GLAESER 2008). Der Lang-Lkw Typ 4 schnitt bei den Fahrversuchen mit einem guten Fahrverhalten in beiden Kreisfahrten ab (Bild 79 (Simulation) und Bild 80 (Fahrversuch)).

Die Untersuchungen von FRIEDRICH U.A. (2013) ergaben, dass die betrachteten Lang-Lkw schlechte Kurvenlaufeigenschaften aufwiesen (Bild 88 bis Bild 90). Nur der Autotransporter und das Sattelkraftfahrzeug (mit gelifteter Achse) waren noch schlechter.

GLAESER hat 2008 das Rechtseinbiegen an Einmündungen Außerorts und Innerorts untersucht. Die Fahrstreifenbreiten betragen 4,50 m in der

Zufahrt und 3,50 m in der übergeordneten Straße. Die Zufahrten hatten einen großen Tropfen und eine dreiteilige Eckausrundung. Die Fahrer mussten die Einmündungen befahren, ohne die Fahrstreifen der entgegenkommenden Verkehrsteilnehmer zu befahren. Trotz dieser Vorgaben für die Abbiegevorgänge wurde der kurveninnere Seitenraum nicht überfahren (Bild 83). In der ausländischen Literatur konnten vergleichbare Fahrversuche nicht gefunden werden.

Untersuchungen in den Niederlanden haben gezeigt, dass Lang-Lkw des Typ 3 das beste Fahrverhalten haben. Hinweise auf gelenkte Achsen sind nicht vorhanden. Dagegen zeigen Typ 2 und 4 deutlich schlechtere Kurvenfahrverhalten (AKERMAN 2007). (red.: Die Typbezeichnung in den ausländischen Untersuchungen entspricht der Typbezeichnung in Deutschland, siehe Tab. 16 im Anhang.)

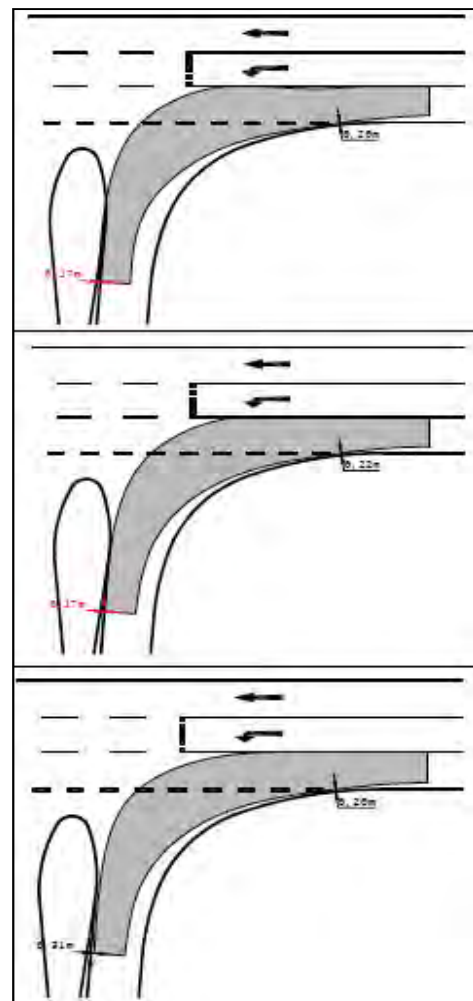


Bild 16: Vergleich - Einbiegen an außerörtlichen Einmündungen (von oben nach unten) Typ 2, Typ 3, Typ 4 [Glaeser 2008]

Untersuchungen von ISIKLAR (2007) zu Lang-Lkw

ergaben, dass der Typ 5 bei rechtwinkligen Abbiegevorgängen die schmalsten Schleppkurven hat. (Bild 92). Dafür wurden Simulationen von Kreisfahrten und Abbiegevorgängen unterschiedlicher Lkw-Kombinationen durchgeführt. Hinweise auf verschiedene Positionen der gelenkten Achsen gab es nicht. Für die Abbiegevorgänge wurde eine Kurvenfahrt auf einem 12,80 m Radius mittig der Lenkachse angenommen (Bild 91). Die Ergebnisse ergaben entgegen AKERMAN, dass der Typ 5 bessere Kurvenlaufeigenschaften als die anderen Kombinationen besaß (Bild 92). Auch bei der Kreisfahrt ergaben sich die gleichen Ergebnisse der Kurvenlaufeigenschaften. Zusammengefasst ist nach ISIKLAR das Kurvenfahrverhalten von Typ 2 und Typ 3 annähernd gleich. Typ 5 schneidet im Vergleich dazu am besten ab und Typ 4 am schlechtesten.

Die Untersuchungen von GLAESER haben gezeigt, dass der Lang-Lkw Typ 4 bei Rechtseinbiegevorgängen die besten Fahreigenschaften besitzt. Bild 16 zeigt dies an einer Einmündung außerorts. Bei Typ 4 kommt es nicht zu Überstreichungen oder Überfahrungen.

2.5 (Untersuchungs-) Bestandteile von Autobahnen

In der vorliegenden Untersuchung soll die Befahrbarkeit ausgewählter Verkehrsanlagen mit Lang-Lkw analysiert werden (siehe auch Ziffer 3.1). Dazu gehören:

- (indirekte) Rampen in Anschlussstellen und planfreien Knotenpunkten
- Engstellen in Rampenquerschnitten
- Ein- und Ausfädelungstreifen
- Verflechtungstrecken
- Ein- und Abbiegen in das nachgeordnete Netz
- Parkstände auf Tank- und Rastanlagen
- Nothaltebuchten in Tunneln und an der freien Strecke

Autobahnknotenpunkte

Autobahnknotenpunkte werden wie folgt unterschieden:

- Autobahnkreuze,
- Autobahndreiecke,

- Anschlussstellen.

Sie setzen sich aus verschiedenen Knotenpunktelementen zusammen. Für die Befahrbarkeit mit Lang-Lkw sind die Ein- und Ausfädelungstreifen, die Verflechtungsbereiche und die (besonders engen) indirekten Rampen von Bedeutung. (Bild 17). Die verschiedenen Grundformen von Autobahnkreuzen und -dreiecken sind in Bild 93 (siehe Anhang) dargestellt. Anschlussstellen binden das nachgeordnete Straßennetz an die Autobahn an. Dort sind besonders die plangleichen Knotenpunkte mit den Ein- und Abbiegevorgängen von Interesse.

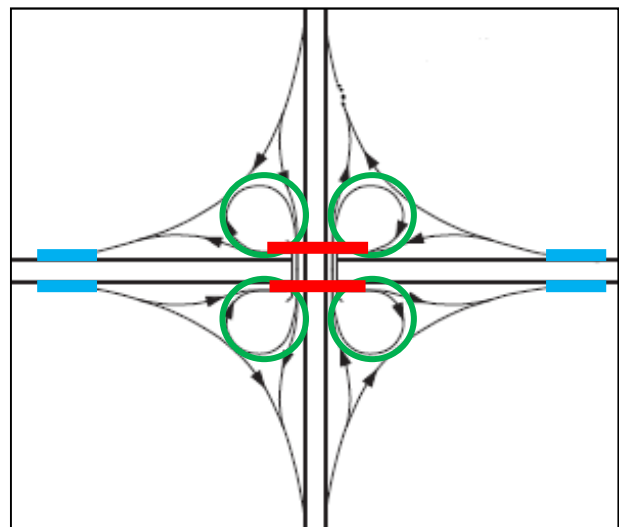


Bild 17: planfreier Knotenpunkt - Kleeblatt (rot – Verflechtungstrecke, grün - indirekte Rampe, blau – Ein- und Ausfädelungstreifen) nach RAA FGVS 2008)

Rampen

Die Rampen werden in Verteilerrampen und Verbindungsrampen unterschieden. Hinsichtlich der Rampenführung gibt es direkte, halbdirekte und indirekte Rampen. In der vorliegenden Untersuchung wird sich vorrangig auf indirekte Rampen konzentriert, da diese vor allem auch im Zusammenwirken mit schmalen Rampenquerschnitten und u.U. fehlender Fahrbahnaufweitung den maßgebend kritischen Fall darstellen. Rampen können Radien mit $R = 30$ m haben. Bei derart kleinen Radien werden in Rampen normalerweise Fahrbahnverbreiterungen angeordnet (Bild 18).

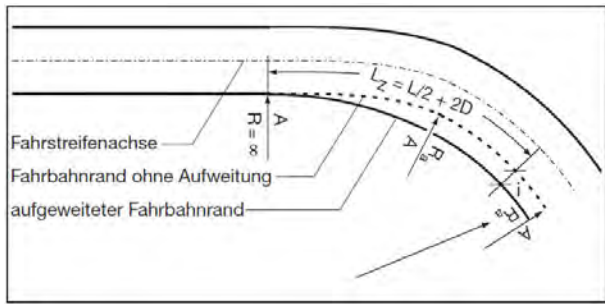


Bild 18: Fahrbahnverbreiterung in engen Kurven in Rampen nach RAA (FGSV 2008)

Bei einstreifigen Rampen vom Typ Q 1 wird in den RAA davon ausgegangen, dass der verfügbare Platz für eine problemlose Befahrbarkeit mit einem Lkw oder Lastzug ausreicht. Bei einer Breite der befestigten Fläche von $B = 6,0$ m sollte in geraden Abschnitten die Vorbeifahrt an einem Fahrzeug des Straßenbetriebsdienstes oder an einem Pannenfahrzeug gerade noch möglich sein. Dennoch kann es vor allem in Kurven auch zu Einengungen des Querschnittes kommen, bei denen eine ungehinderte oder zumindest langsame Vorbeifahrt nicht mehr möglich ist. ZIMMERMANN hat 2011 solche Vorbeifahrten bei eingeeengten Querschnitten untersucht und dabei für Rampen des Querschnitt Q 1 eine breite Streuung der Fahrbahnquerschnitte festgestellt (Bild 95).

Elemente plangleicher Knotenpunkte in Anschlussstellen

In Abhängigkeit von der jeweiligen Entwurfsklasse unterscheiden die Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL) verschiedene Typen für die Linkseinbieger, Rechtsabbieger und für die Zufahrten. Dabei ist davon auszugehen, dass Autobahnen nur an Landstraßen der Entwurfsklassen 1 bis 3 angeschlossen werden. Die für Straßen der EKL 4 vorgesehenen Typen sind im Weiteren nicht bedeutsam.

Die RAL beinhalten die Vorgaben für den Entwurf aktueller Landstraßen und ihrer Knotenpunkte. Im Bestandsnetz sind die Knotenpunktbestandteile nicht immer entsprechend der RAL anzutreffen, sondern können bezüglich der Befahrbarkeit ungünstiger sein.

Für den Abbiegevorgang von der kreuzenden Straße in die Rampe der Autobahn kommen demnach die Linksabbiegetypen LA 1 und LA 2 nach Tabelle 2 in Frage. Die Fahrstreifenbreiten betragen jeweils 3,25 m.

Linksabbiegetypen	Skizze
LA 1	
LA 2	

L_z = Verziegungsstrecke L_v = Verzögerungsstrecke
 l_A = Aufstellstrecke

Tab. 2: Linksabbiegetypen nach RAL (FGSV 2012)

Einbiegevorgänge erfolgen von der nachgeordneten Straße in die übergeordnete Straße. Zur Verdeutlichung der Wartepflicht sind in den untergeordneten Zufahrten Fahrbahnteiler angeordnet (Tab. 3).

Für Rechtsabbiegevorgänge sind die Rechtsabbiegetypen 1 bis 4 möglich (Tab. 3). Die Einsatzbereiche der Rechtsabbiegetypen werden durch die Entwurfsklassen festgelegt. Jedem Rechtsabbiegetyp wird ein Zufahrtstyp in der untergeordneten Straße zugeordnet.

Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt werden bei Einmündungen als große und kleine Tropfen ausgebildet. Der große Tropfen wird in den RA 1 und RA 4 eingesetzt. Bei allen anderen Typen kommt der kleine Tropfen zum Einsatz.

Die Geometrie der Tropfen richtet sich nach den geometrischen Fahrverläufen der Bemessungsfahrzeuge.

Die Eckausrundungen der Knotenpunktzufahrten werden über Radienrelationen realisiert. Für die Schleppkurven der Lang-Lkw sind vor allem die mittleren und seitlichen Ausrundungen von Interesse (Bild 19).

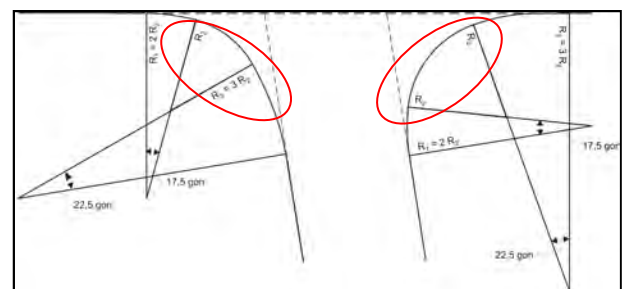


Bild 19: Radienrelationen bei Eckausrundungen (RAL)

Zugeordneter Zufahrts-typ	Skizze	Rechtsabbiege-typen
KE 1		RA 1
KE 2		RA 2
KE 3		RA 3
KE 4		RA 4*
KE 5		RA 5

zulässige Rad- und Fußgängerführungen sind grau dargestellt

Tab. 3: Zufahrtstypen für Kreuzen und Einbiegen nach RAL (FGSV 2012)

Rechtsabbiege-typen	Skizze	Zugeordneter Zufahrts-typ
RA 1		KE 1
RA 2		KE 2
RA 3		KE 3
RA 4*		KE 4

* mit Auffahrkeil
zulässige Rad- und Fußgängerführungen sind grau dargestellt

Tab. 4: Rechtsabbiegetypen nach RAL (FGSV 2012)

Demnach ist es für die vorliegende Untersuchung von Interesse, ob die vorhandene Knotenpunktgeometrie für Lang-Lkw bei Linksabbiege- und Linkseinbiegevorgängen ebenfalls ausreicht, oder ob durch Lang-Lkw vom Bestand abweichende, zusätzliche Flächen benötigt werden.

Nothaltebuchten

Nothaltebuchten kommen in Tunneln und beim Entfall der Seitenstreifen vor. Ab einer Tunnellänge von 900 m werden durch die „Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln“ (RABT, FGSV 2003) Pannenbuchten vorgeschrieben. Bild 20 zeigt den Grundriss einer Pannenbucht in Tunneln.

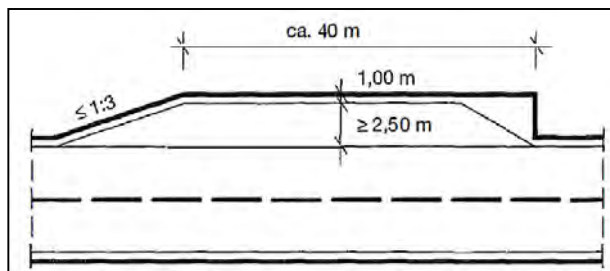


Bild 20: Grundriss einer Pannenbucht an einer Richtungsfahrbahn in Tunneln (RABT 2003)

Nothaltebuchten auf der freien Strecke sollten mindestens alle 1.000 m angeordnet sein (bei Seitenstreifenfreigaben oder fehlenden Standstreifen). Die Länge der Nothaltebucht (mit den Verziehungen) soll mindestens 80 m betragen und die Breite einschließlich des Randstreifens 3,00 m (RAA 2008).

Eine Schweizer Studie von OEHRYS (2011) kommt zum Erkenntnis, dass Nothaltebuchten auf nationalen Hochleistungsstrassen und in Tunneln nicht von Lang-Lkw befahren werden können. In der Schweiz sind Nothaltebuchten 41 m lang, wovon 8,00 m für die Ausfahrt entfallen. Nach dieser Studie können nur Lkw mit Nachlaufachse vollständig einparken. Auch die ETSC (2011) kommt zu der Ausfussung, dass besonders Nothaltebuchten in Tunneln für Lang-Lkw zu kurz sind.

Parkstände auf Tank- und Rastanlagen:

Lang-Lkw haben aufgrund ihrer Abmessungen besondere Ansprüche an die Geometrie der Parkstände auf Tank- und Rastanlagen. Die Schrägaufstellung ist der Regelfall auf Tank- und Rastanlagen (ERS, FGSV 2011). Die ERS sehen Längsaufstellungen nur auf bewirtschafteten Rastanlagen zur Nutzung von Restflächen (in den Randbereichen) oder für überlange Sondertransporte vor.

Bei Schrägaufstellungen ist der Abstand zwischen den Fahrgassen (≤ 50 gon) nach den ERS mit 6,50 m bemessen (bei alten Rastanlagen 7,00 m (SCHNÜLL 2001)). Die Parkstandstiefe beträgt bei 50 gon Aufstellwinkel 21,96 m (bei alten Rastanlagen auch 15,50 m (SCHNÜLL 2001)). Vereinzelt kommen auf Autohöfen längere Parkstände mit bis zu 27,00 m vor. In Längsrichtung werden je Parkstand 25 m angesetzt. Die Parkstände in Längsrichtung werden auf Rastanlagen häufig nicht abmarkiert.

Lang-Lkw mit Fahrzeuglängen von 25,25 m passen nicht in eine Schrägaufstellung. Bei einer Park-

standslänge von 21,96 m würde er ca. 1,65 m in die angrenzenden Fahrgassen überstehen.

Parkstände sind sowohl bei Schräg- als auch bei Längsaufstellung 3,50 m breit.

Durch einen noch spitzeren Winkel der Schrägparkstände besteht die Möglichkeit, auf vorhandenen Rastanlagen längere Parkstände auch für Lang-Lkw zur Verfügung zu stellen (Bild 21, GLAESER 2008). Problematisch sind der benötigte Platzbedarf für die Anpassung der Parkstände und damit der Entfall von Parkständen bei den erforderlichen Ummarkierungen.

Fahrversuche von SCHNÜLL mit einem Autotransporter (20,75 m) und einem Lkw mit Anhänger (20,00 m) ergaben, dass herkömmliche Parkstände nur unter Mitbenutzung der benachbarten Parkstandsflächen befahren werden konnten. Ein Autotransporter benötigte die gesamte Breite von 6,50 m der Fahrgasse zum Einparken und überstrich jeweils die Nachbarstände um 0,30 m. Bei den Messungen standen die benachbarten Lkw 4,50 m auseinander. Bei einem vorhandenen Abstand von 3,50 m (normale Parkstandbreite) konnten beide Fahrzeuge nicht aus den Parkständen ausfahren.

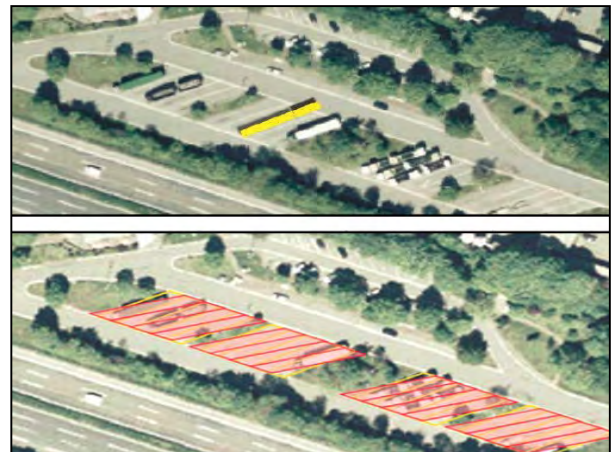


Bild 21: Beispiele für Parkstandsarrordnungen auf Raststätten mit ummarkierten Parkständen von 40 gon (unten) für neue Lastzugkombinationen (GLAESER 2008)

Auch in anderen Studien wird auf Probleme bei der Befahrbarkeit von Tank- und Rastanlagen hingewiesen. OEHRYS schlägt die Ummarkierung von sechs herkömmlichen zu vier Lang-Lkw-Parkständen vor. Übereinstimmend gehen alle Quellen von Mehrinvestitionen zur Lösung der Parkprobleme aus (Honer 2010, CEUSTER AT AL. 2008, CHRISTIDIS 2009, AKERMAN 2007, MCKINNON ET AL. 2008).

2.6 Schlussfolgerungen für die Untersuchung

Aus den Ergebnissen der Literaturanalyse wurden für den Untersuchungsansatz und für die Konzeption der hier maßgebenden Untersuchungsmethodik mehrere Schlussfolgerungen gezogen:

- Es gibt verschiedene Kombinationen von Lang-Lkw mit Gesamtlängen von 17,80 m und 25,25 m. Die unterschiedlichen Längen und der unterschiedliche Aufbau der Fahrzeugkombinationen haben offensichtlich auch unterschiedliche Anforderungen an die Gestaltung der zu untersuchenden Verkehrsanlagen (z.B. Schleppkurven, Parkstandslängen).
- Insofern sind für die Untersuchung möglichst alle am Feldversuch teilnehmenden Lastzuckombinationen zu erfassen.
- Auf Grund der mehrfach sehr guten Bewertung der Lang-Lkw vom Typ 4, die im Vergleich zu den anderen Typen (2 und 3) offensichtlich am besten abgeschnitten haben, kann dieser Typ jedoch von den Messungen ausgenommen werden.
- Die Ergebnisse bisheriger Simulationen lassen sich nicht immer vollständig und nicht eindeutig zur Bewertung des tatsächlichen Platzbedarfs für die verschiedenen Kombinationen heranziehen. Grund dafür sind in der Praxis teilweise vorkommende individuelle Lösungen für Achsanlenkungen. Aus den Simulationsergebnissen ist nicht erkennbar, in welchem Umfang solche Besonderheiten berücksichtigt worden sind oder ob diese Besonderheiten durch Simulationen überhaupt abgebildet werden können.
- Deshalb wird als Messmethode für die vorliegende Arbeit vorzugsweise die Beobachtung im Feld, also die Aufnahme des tatsächlichen Fahrverhaltens und des tatsächlichen Platzbedarfs gewählt.
- Die Messungen sollen den Fahrer nach Möglichkeit nicht ablenken oder in seinem individuellen Fahrverhalten beeinflussen. Insofern sollten Messsysteme gewählt werden, die nur durch das Messpersonal bedient werden und die den Fahrer nicht beanspruchen oder ablenken. Hierzu bieten sich separat außen am Lang-Lkw angebrachte Geräte oder Nachfolgefahrrten mit photogrammetrischer Aufnahme des vorausfahrenden Lang-Lkw an.
- Die Messtechnik steht in den Einzelkomponenten (Stereokameras, Helmkameras u.ä.) zur Verfügung. Zur Eignung und Durchführung eines vergleichbaren Messprogramms liegen aus der Literatur jedoch bisher noch keine Erfahrungen vor.
- Voraussetzung für die Zulassung von Lang-Lkw ist der Nachweis, dass der nach § 32 der StVZO geforderte „BO-Kraftkreis“ eingehalten wird. Dadurch soll abgesichert werden, dass die realen Straßenverkehrsanlagen befahren werden können. Der „BO-Kraftkreis“ spiegelt jedoch die Fahrbahngeometrien (Fahrstreifenbreiten, Bewegungsvorgänge) nur unzureichend wider. Insofern ist das Fahrverhalten vor allem in geometrischen Abschnitten bzw. Bereichen der Straßenverkehrsanlagen zu messen, die besonders durch die Lenkgeometrie von Lkw bestimmt werden. Solche fahrgeometrisch dimensionierten und an Autobahnen vorkommende Bereiche sind z.B. enge Rampen, Verflechtungsbereiche, Nothaltebuchten, Parkstände auf Rastanlagen und Eckausrundungen an Knotenpunkten bei Anschlussstellen an das nachgeordnete Netz.
- Im Rahmen der Untersuchung ist eine geometrische Modellierung der Parkstände vorzunehmen.

3 Ziel der Untersuchung und Vorgehensweise

3.1 Untersuchungsziel

Ziel des Projektes ist es, die Befahrbarkeit verschiedener Verkehrsanlagen im Zuge von Autobahnen durch Lang-Lkw zu untersuchen und zu bewerten. Dabei soll festgestellt werden, ob die Gestaltung der Verkehrsanlagen nach aktuellem Regelwerk ausreicht oder die angrenzenden Flächen (Fahrstreifen, Seitenraum) benutzt werden müssen.

Im Einzelnen sollen dabei folgende Verkehrsanlagen betrachtet werden:

- Ein- und Ausfädelungstreifen der Anschlussstellen an der Autobahn selbst, sowie die Verknüpfung zum nachgeordnete Netz (Ein-/Ausfädeln und Ein-/Abbiegen),
- Rampen in planfreien Knoten (besonders kritisch bei indirekten Rampen),
- Rampen bei eingeschränkten Querschnitten (durch Pannenfahrzeuge oder den Betriebsdienst),
- Verkehrsablauf in Verflechtungsstrecken aufgrund der Länge der Lang-Lkw von bis zu 25,25 m,
- Ein- und Ausfahren in Nothaltbuchten an Strecken, zum Beispiel in Tunneln oder bei Strecken ohne Seitenstreifen bzw. mit Seitenstreifenfreigabe,
- einzelne Verkehrsflächen, vor allem die Befahrbarkeit / Benutzbarkeit der Parkplätze bei Tank und Rastanlagen.

Für den Feldversuch waren vom BMVBS / BAST fünf verschiedene Lang-Lkw-Typen zugelassen, die zunächst auch für die Messungen zur Verfügung standen. Entsprechend der Ergebnisse der Literaturbetrachtung, hat Typ 4 die günstigsten Kurvenlaufeigenschaften. Es lag nahe, Typ 4 daher - und auch wegen der geringen Vorkommenshäufigkeit - aus den Betrachtungen auszuschließen. Der Schwerpunkt liegt ausschließlich auf den maßgebend kritischeren Fällen Typ 1, 2, 3 und 5.

Lang-Lkw Typ	Anzahl Speditionen mit jeweiligem Typ	Anzahl am Verkehr teilnehmender Lang-Lkw
1	1	1
2	4	5
3	15	28
4	2	2
5	1	3

Tab. 5: Bestand der am Feldversuch teilnehmenden Lang-Lkw (Stand 11.04.2013)

Vergleichend sollen die Fahreigenschaften der Lang-Lkw mit einer herkömmlichen Sattelzugmaschine (Bild 22) untersucht werden. Eine Sattelzugmaschine hat schlechtere Kurvenlaufeigenschaften als ein Lkw mit Anhänger (SCHNÜLL 2001). Durch den Vergleich können Unterschiede der Lang-Lkw gegenüber Lkw nach StVZO herausgearbeitet werden.

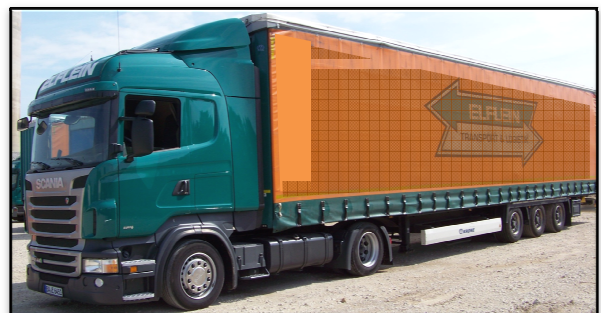


Bild 22: Referenzfahrzeug – Sattelkraftfahrzeug (16,50 m)

3.2 Untersuchungsablauf

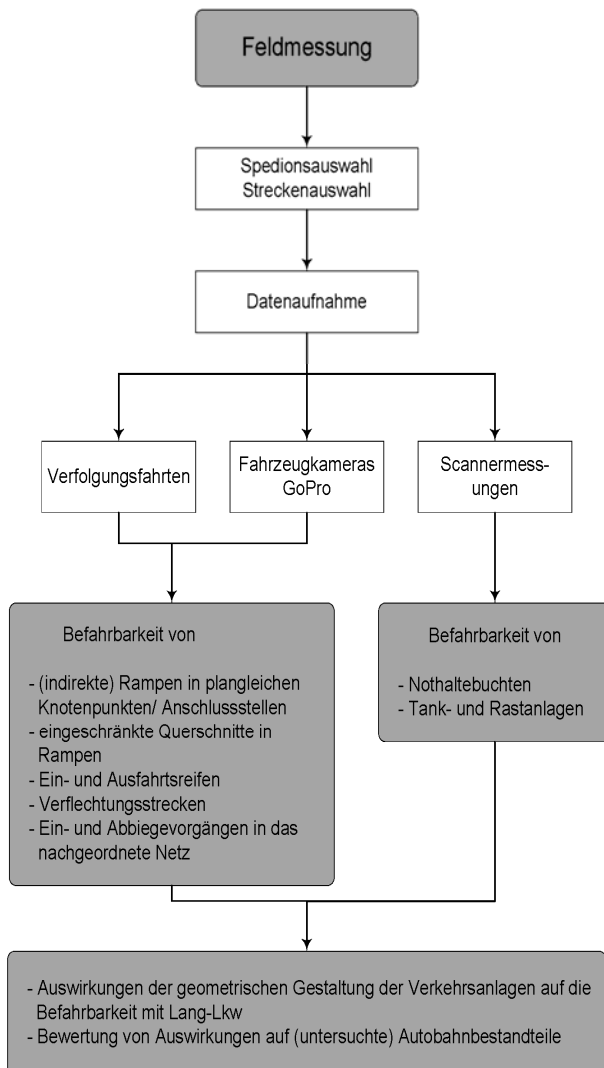


Bild 23: Übersicht - Ablauf Untersuchungen

Um das Fahrverhalten von Lang-Lkw unter realen Bedingungen untersuchen zu können, wurde Kontakt mit den ausgewählten Speditionen aufgenommen.

Zu Untersuchung des Fahrverhaltens wurden die Fahrzeuge mit Kameratechnik an den Fahrzeugkanten ausgestattet. Die Kameras waren für die spätere Breitenenerhebung zu kalibrieren. Zusätzlich wurden die Lang-Lkw mit dem Messfahrzeug UNO des Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen der TU Dresden verfolgt (Bild 24). Damit konnten photogrammetrisch kalibrierte Bilder aufgenommen werden. Zudem konnten die begleitenden Mitarbeiter besondere Situationen schon während der Fahrt festhalten.



Bild 24: Verfolgungsfahrt mit Messfahrzeug UNO

Für die Ermittlung der geometrischen Fahrlinien in den Tank- und Rastanlagen wurde ein Laserscanner verwendet. Mit dessen Hilfe ließen sich die Fahrzeugkanten beim Einparkvorgang im zeitlichen Verlauf erfassen.

Für die Pannenbuchten fanden die Untersuchungen aus Sicherheitsgründen aber auch auf abgesperrten Plätzen statt. Die Lang-Lkw mussten dort in abgesteckte Flächen (Bild 25) einparken. Die Geometrie wurde den Anforderungen an eine Pannenbucht in Tunneln (Bild 20) nachgestaltet. Dieser Versuch wurde nach Möglichkeit jeweils dreimal durchgeführt.

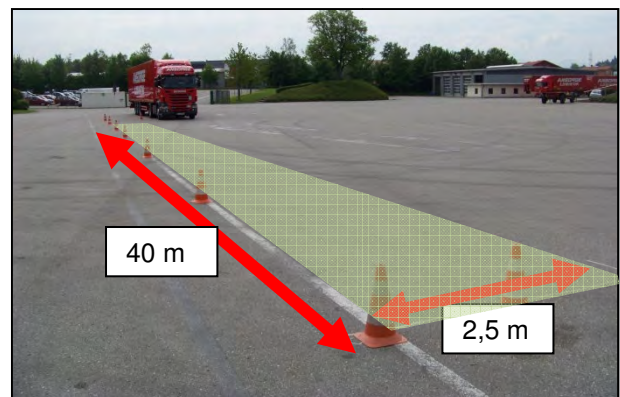


Bild 25: abgesteckte Pannenbucht

Durch den Vergleich von Lang-Lkw mit den bisherigen konventionellen Sattelkraftfahrzeugen lassen sich Aussagen zu den Unterschieden bei der Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen ableiten.

Abschließend sollen Empfehlungen zu den betrachteten Verkehrsanlagen und zu einem möglichen Änderungsbedarf erarbeitet werden.

Verfolgungsfahrten mit Messfahrzeug UNO

Mit dem Messfahrzeug UNO des Lehrstuhl „Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen“ können Straßen kinematisch vermessen werden.

Das Trägerfahrzeug ist mit mehreren Messsystemen ausgestattet:

- GPS-System von APPLANIX,
- Zentraler Messrechner,
- 2 Digitale Stereokameras,

Neben dem Positionierungssystem sind auf dem Fahrzeugdach zwei digitale 2-Megapixel-CCD Stereokameras installiert (Bild 26), mit denen weg- oder zeitbezogen synchron Bilder des vorausliegenden Fahrraums aufgenommen werden können.

Durch eine Kalibrierung der Kameras sind die Bilder für spätere Vermessungsaufgaben von Einzelobjekten, Breiten oder Entfernungen oder zur visuellen Bewertung der Straßenräume geeignet.

Dieses Stereokamera-System eignet sich auch für die Aufnahme der Bewegungsvorgänge von Lang-Lkw im Straßenraum.



Bild 26: Messfahrzeug „UNO“ der TU Dresden

Das globale Positionierungssystem von APPLANIX, welches der absoluten Positionsbestimmung dient, stellt die Hauptkomponente des Fahrzeuges dar. Das System besteht aus vier Komponenten:

- GPS- Trimble Antennen
- IMU- Inertialsystem
- DMI- Wegstreckensensor
- PC- Prozesseinheit

Die GPS-Antennen des Messfahrzeuges, die sich auf dem Fahrzeugdach befinden, leiten die empfangenen Signale zur Empfangselektronik weiter. Unter bestimmten Umständen kann es vorkommen, dass nur sehr schwache oder gar keine GPS-Signale empfangen werden (z.B. Tunnel, Brücken). Um die richtige Position des Fahrzeuges dennoch ermitteln zu können, ist es zusätzlich mit einem hochpräzisen Inertialsystem (IMU) und einem

Wegstreckensensor (DMI) ausgestattet. Aus den Daten der IMU lassen sich die Längs-, Quer- und Vertikalbeschleunigung des Fahrzeuges sowie dessen Richtung (Neigung) ableiten. Daten des zurückgelegten Wegs werden aus einem Impuls pro Radumdrehung und dem Radumfang ermittelt. Im Postprocessing kann die Positionierungsgenauigkeit durch Einrechnen von Korrekturdaten verbessert werden. Als Ergebnis haben die photogrammetrisch kalibrierte Befahrungsbilder der Stereokameras einen absoluten geographischen Bezug

Nach Durchführung der Messungen wurden die Bilder in die lehrstuhleigenen Auswertesoftware PHOROS geladen (Bild 28). Die Bilder wurden in der Maske (Bild 29) an den Bezugs-Punkten der Lang-Lkw aufgerufen und Markierungen gesetzt.



Bild 27: Verfolgungsfahrt des Messfahrzeug UNO

Diese Markierungen (rote Dreiecke) wurden in jedem Bild eingetragen, das für die Auswertung bedeutsam war. Als Beispiel ist in Bild 28 eine Markierung in einer Abfahrt gekennzeichnet. Diese ist in mehreren Bildpaaren mit unterschiedlichen Zeitstempeln vorhanden. Durch die Markierung in mehreren Bildpaaren ist eine genauere Erfassung des Ortes möglich, an dem sich die Markierung befindet. Ist der markierte Punkt vollständig erfasst, kann er an die Datenbank übergeben werden. Als Ergebnis erhält man für die Abfolge jeder Fahrsituation eine Punktwolke entlang der Verkehrsanlage (Bild 29).

Die digitalisierten Punkte aus PHOROS standen nach der Speicherung in der Datenbank für die weitere Verwendung zur Verfügung, z.B. für die Erzeugung von Schleppkurven. Damit ließ sich der Fahrverlauf genauer darstellen. Die Punkte wurden dafür in das Programm QGIS geladen und anhand einer bei der Digitalisierung vergebenen Codierung zu Linien verbunden. (Bild 30). Mit dieser Auswerterroutine konnten die Fahrverläufe in mehreren Situationen untersucht werden. Die Abstandsmessung aus den GoPro-Bildern ermöglicht zudem die Positionsbestimmung der Lkw in Situationen, in denen das Fahrzeug bei den Nachfolgefahrgängen nicht mehr vollständig erfasst wurde.

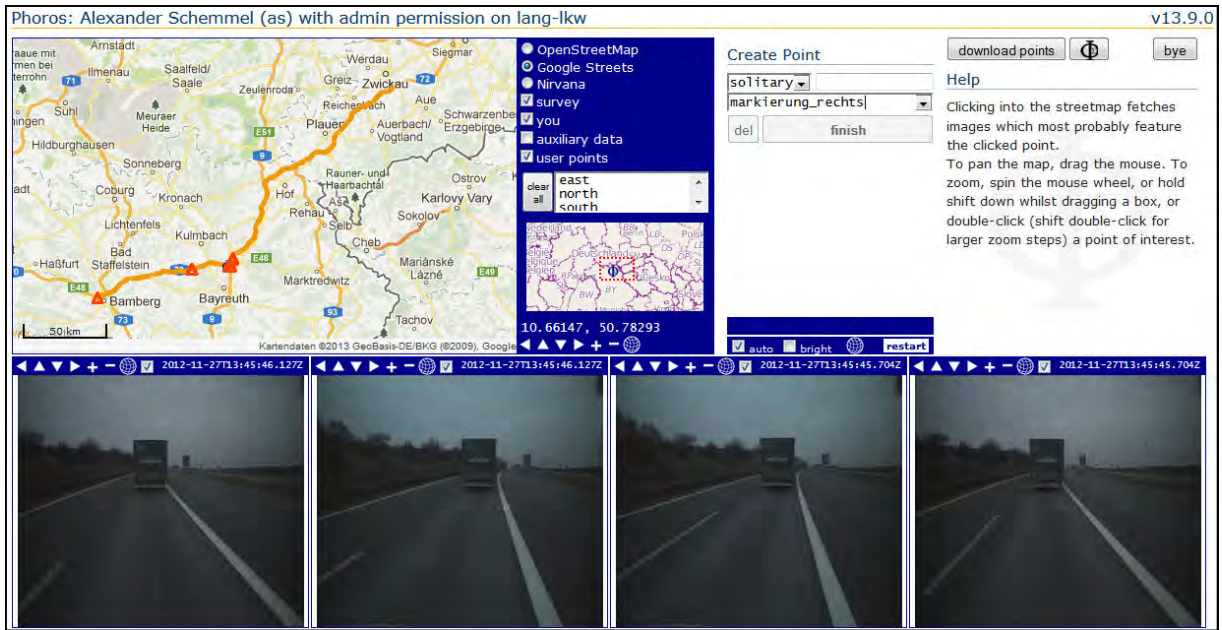


Bild 28: Bildausschnitt von PHOROS zur photogrammetrischen Auswertung



Bild 29: fotogrammetrische Erfassung von Randmarkierungen des Verkehrsraums



Bild 30: Bildausschnitt der Datenverarbeitung in QGIS

Messtechnik am Lkw

Für die Untersuchung des Fahrverhaltens von Lang-Lkw wurden diese zunächst mit Messtechnik ausgestattet. An den maßgebenden Fahrzeug-ecken wurden Kameras des Helmkamerasystems GoPro angebracht (Bild 31 und Bild 32). Aufgrund von flexiblen Befestigungssystemen konnten die Kameras nahezu an jedem festen Element angebracht werden.



Bild 31: Helmkamerasystem von GoPro (<http://de.gopro.com/>)

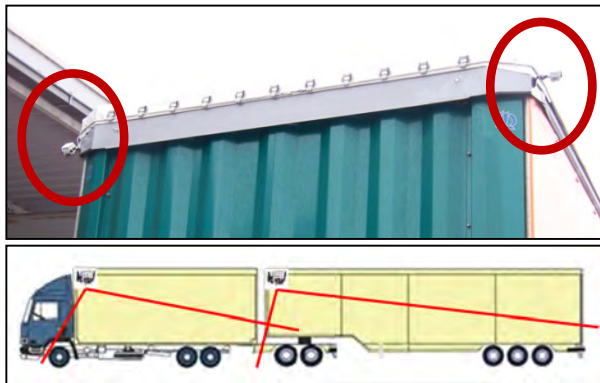


Bild 32 Ausrichtung der GoPro-Kameras

Die Ausrichtung der Kameras erfolgte so, dass die Kameras alle Achsen des Fahrzeuges erfassen konnten. Die Erfassung wurde mit einem Auslöseintervall von 0,5 Bildern/Sek. begonnen.

Um später Maße aus den erzeugten Bildern abnehmen zu können, wurde durch Tafeln mit Kreis-codierung eine Kalibrierung durchgeführt. Bild 33 zeigt exemplarisch für die linke Seite des Sattelauflegers eine Position der Kalibrierplatten. Die Anbringung, Ausrichtung und Kalibrierung erfolgten für alle Kameras am Fahrzeug.

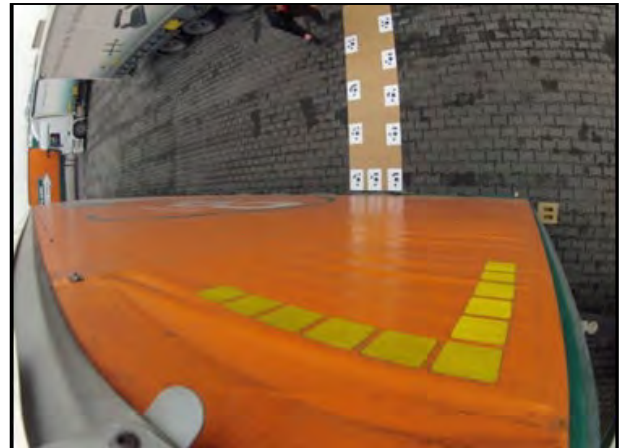


Bild 33: Positionierung der Kalibrierplatten

Scannermessungen

Auf den Tank- und Rastanlagen wurden mit Hilfe des Laserscanners (Typ SICK LMS 200, Bild 34) Messungen des Spurverhaltens durchgeführt. Der Scanner erfasste die überstrichenen Flächen und die Abstände der Fahrzeuge zu Sicherheits-einrichtungen bzw. zur Fahrbahnmarkierung.



Bild 34: Laserscanner, Typ SICK LMS 200

Dabei eignete sich diese Methode für die beiden Aufstellarten Längs- und Schrägaufstellung gleichermaßen. Die Längsaufstellung entspricht hierbei prinzipiell auch der Einfahrt in eine Nothaltebucht. Da die Anzahl der Längsaufstellflächen auf Tank- und Rastanlagen i.d. Regel stark begrenzt war, konnten diese Bewegungsvorgänge auch auf dem Betriebsgelände der Speditionen erfolgen.

In Vorbereitung zur Aufnahme der Bewegungsvorgänge mussten Teile der Fahrgasse sowie des Parkstandes eingemessen werden. Dies war not-

wendig, da der Scanner keinen absoluten geographischen Koordinatenbezug hat, sondern lediglich in einem lokalen Koordinatensystem arbeitet. Dieser Vorgang benötigte eine Vorlauf- oder Nachlaufzeit von etwa 30 min.

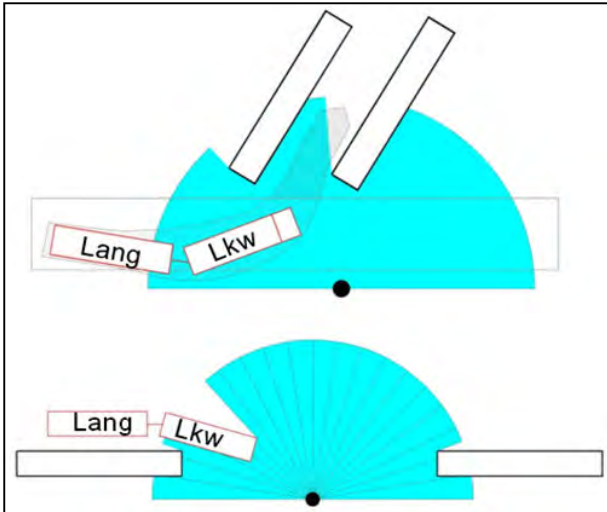


Bild 35: Erfassung der Fahrlinie mit Laserscanner

Nach Aufnahme der Messdaten wurden diese ebenfalls zur weiteren Verarbeitung in QGIS eingelesen. Systembedingt nahm der Scanner mit jedem Scannvorgang eine Vielzahl von Informationen aus der Umgebung auf, die für die Untersuchung nicht von Bedeutung waren. In einem ersten Schritt wurden daher nur die benötigten Randbereiche der Parkstände und der Fahrgasse herausgefiltert. Die erhaltenen Punkte wurden digitalisiert, um z.B. die Umrandung des Parkstandes und der Fahrgasse abzubilden. Die Punkte wurden aus QGIS in das DXF-Format übertragen. Damit gelang es, in Auto-CAD die Schleppkurven der Lkw zu erstellen. Die notwendigen Fahrzeug-Geometrien (Breite, Länge, Abstand Anhänger – Zugfahrzeug) wurden vor der Messung aufgenommen.

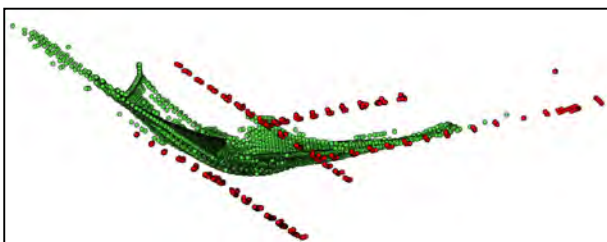


Bild 36: Punktwolke der Laserscandaten

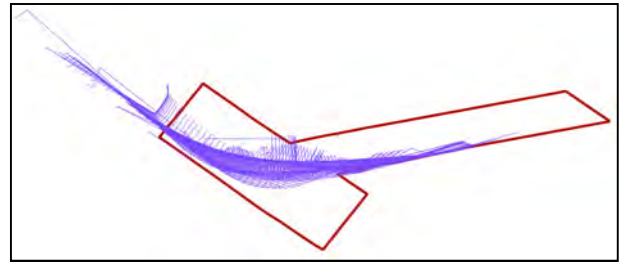


Bild 37: digitalisieren der Laserscandaten

Durch die Überlagerung der Fahrlinien mit den digitalisierten Fahrbahnranden konnten Aussagen zum tatsächlichen Platzbedarf getroffen werden.

3.3 Durchführung der Messungen

Für die Durchführung der Messungen waren neben einer schnee- und eisfreien Fahrbahn auch Temperaturen $\geq 0^\circ\text{C}$ erforderlich, um die Spezifikationen der Messgeräte einzuhalten. Tabelle 17 im Anhang enthält eine Übersicht über alle Verfolgungsfahrten. Die Messfahrten mussten ausschließlich bei Tageslicht erfolgen. Auf Grund speditioninterner Entscheidungen nahmen letztlich nicht alle vorab gemeldeten Fahrzeugtypen tatsächlich auch am Feldversuch teil. Von Typ 1 war ein Fahrzeug zur Teilnahme am Feldversuch gemeldet. Zum Zeitpunkt der Messungen fuhr dieses Fahrzeug jedoch nicht. Außerdem reduzierten der lange Winter 2013 und die Starkregenereignisse (Hochwasser 2013) die Anzahl möglicher Messtage erheblich. So mussten Speditionen auf Grund von Straßensperrungen ihren Betrieb einstellen, was zu Verschiebungen der Messungen führte (Suche nach Alternativen und neue Routenplanung). Auch wirkten sich mehrmals kurzfristig abgesagte Touren auf den Zeitplan für die Messungen aus.

Die Lenkzeiten der Fahrer beschränkten auch den angestrebten Untersuchungsumfang. Nach einer Messung auf einem Rastplatz fuhr der Lang-Lkw auf seiner Route weiter. Mehrmalige Messungen auf einem eingemessenen Parkstand waren daher nur selten möglich. Auf Rastanlagen war es wegen deren geometrischen Gestaltung nicht möglich, dass ein Lang-Lkw für weitere Einparkvorgänge die eingemessene Parkfläche nochmal erreichen konnte. Bei Fahrten des Typ 2 und 3 konnten lediglich auf einem Rastplatz bei Dresden an mehreren Tagen Scannermessungen durchgeführt werden.

4 Auswertung

4.1 Befahrbarkeit von Knotenpunkten und Anschlussstellen

Indirekte Rampen

Bei den Rampen wurden vor allem indirekte Rampen in planfreien Knotenpunkten und Anschlussstellen ausgewertet. Zunächst wurden die Radien der Ein- und Ausfahrbögen ermittelt, und die Fahrstreifenbreiten gemessen (Anlage 3.2). Mit diesen Werten wurden für jeden Lkw-Typ und für das Referenzfahrzeug die Fahrzeugpositionen in den Rampen mit den geringsten Radien bestimmt. Die qualitative (optische) Auswertung der Bildaufnahmen (GoPro) erfolgte für alle Rampenfahrten. Quantitativ, d.h. auch mit Zahlenangaben, wurden die insgesamt vier kleinsten Kurvenradien bei den Nacholfahrten mit dem Stereokamerasystem („UNO“) ausgewertet (siehe Anlage 3.3).

Die Abstände der Fahrzeugkanten zum Fahrbahnrand nach den Bild 38 bis 41 sind in Tab. 21 und Tab. 22 im Anhang enthalten. Die Ecken der Fahrzeuge waren die am weitesten ausschwenkenden Fahrzeugteile auf der kurvenäußeren Seite. Auf der kurveninneren Seite wurden die Maße von den Fahrzeugkanten zur Markierung gemessen. Sie hatten im Bereich der Achsen den geringsten Abstand zum Fahrbahnrand auf der kurveninneren Seite.

Die Markierung wurde von keiner Lastzugkombination überfahren. Die Fahrer orientierten sich in der Regel mit der linken vorderen Kante (AL1) des Fahrzeuges am linken Fahrbahnrand. Daher war der Abstand der Fahrzeugfront (AL1) zur linken Markierung meistens sehr klein. Da stets Rechtsbögen gefahren wurden, wurde der kleinste Abstand (AL 1 bis AL 5) zur Markierung auf der linken Seite gemessen. Je nach Fahrzeugtyp war AL 1 oder AL 2 maßgebend. Auf der rechten Seite wurden die Maße an der Fahrzeugkante gemessen (AR 1 bis AR 2).

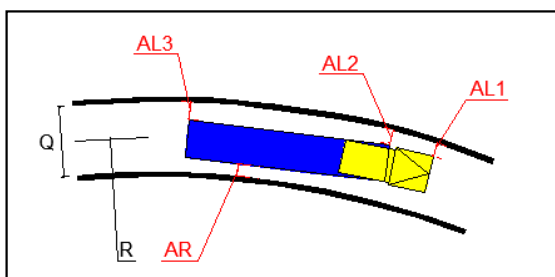


Bild 38: Kennwerte der Messpunkte am Fahrzeug zur Fahrbahnmarkierung - Typ 1/ Referenzfahrzeug

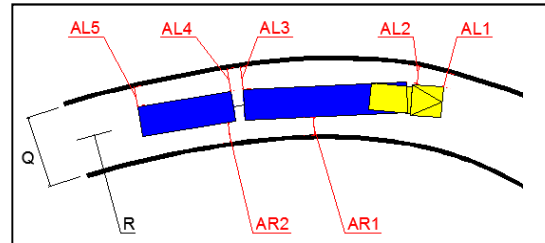


Bild 39: Kennwerte der Messpunkte am Fahrzeug zur Fahrbahnmarkierung - Typ 2

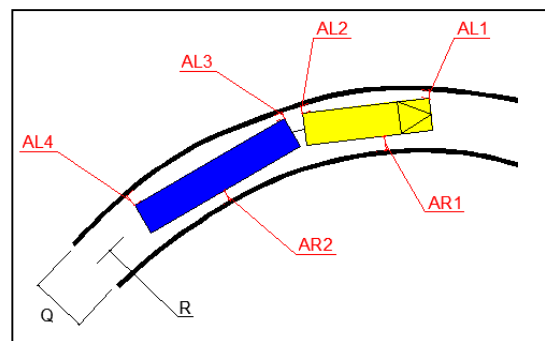


Bild 40: Kennwerte der Messpunkte am Fahrzeug zur Fahrbahnmarkierung - Typ 3

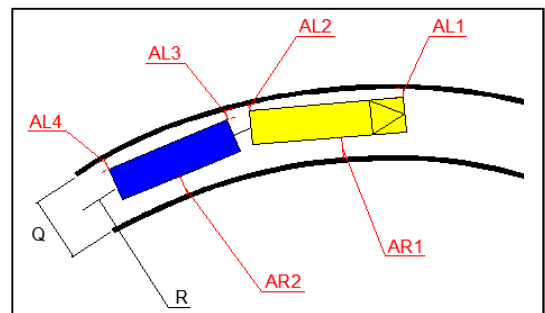


Bild 41: Kennwerte der Messpunkte am Fahrzeug zur Fahrbahnmarkierung - Typ 5

Die Messergebnisse aller Rampenfahrten ergaben, dass die Abstände der linken Fahrzeugseiten im Mittel 1,1 m und der rechten Fahrzeugseiten ca. 1,8 m betragen.

Die Betrachtung der einzelnen Typen ergab:

Bei Typ 1 (Bild 38) wurden die geringsten Abstände an der linken Ecke (AL 2) des Aufliegers gemessen. Der durchschnittliche Abstand betrug 0,5 m. Der geringste Abstand auf der rechten Fahrzeugseite (AR) war 0,8 m. Die kleinsten Rampenradien betragen 32 m und 48 m. Die Rampenquerschnitte variierten zwischen 4,1 m und 4,6 m.

Bei Typ 2 (Bild 39) war genauso wie bei Typ 1 der geringste Abstand an der vorderen Ecke des Sattelauflieger (AL 2) (durchschnittlich 1,0 m). Auf der rechten Seite war der Abstand von AR 1 und AR 2 mit 1,8 m gleich groß. Die Rampenradien bei den Verfolgungsfahrten betrug 41 m bis 65 m. Die Rampenquerschnitte variierten zwischen 5,1 m und 6,6 m.

Bei Typ 3 (Bild 40) fällt auf, dass der Anhänger durch den gelenkten Dolly mit der kurvenäußeren Seite (AL 3) zu weitem Ausschwenken neigt. Der geringste Abstand dieser Ecke wurde mit 0 m ermittelt. Durchschnittlich betrug der Abstand der Ecke (AL 3) 0,3 m zur Fahrbahnmarkierung. Auf der rechten Seite trat der geringste Abstand zur Markierung durch den Anhänger auf. Er betrug 0,7 m in AR 2. Die Rampenradien betrug 30 m bis 36 m. Die Rampenquerschnitte variierten zwischen 4,3 m und 4,9 m.

Bei Typ 5 (Bild 41) wurden die geringsten Abstände an der hinteren linken Ecke der Zugmaschine gemessen (AL 2). Dieser Eckpunkt war durchschnittlich 1,0 m von der Markierung entfernt. Am Anhänger betrug der geringste Abstand in AL 3 1,2 m. Auf der rechten Seite betrug AR 2 im Durchschnitt 1,0 m. Die Rampenradien der qualitativen Betrachtung betrug 42 m bis 60 m. Die Rampenquerschnitte variierten zwischen 4,3 und 6,1 m.

Das Referenzfahrzeug (Bild 38) besaß auf der linken Seite in AL 1 und AL 2 die geringsten Abstände. Sie betrug jeweils 0,9 m. Auf der rechten Seite betrug der Abstand in AR im Durchschnitt 0,8 m. Die Rampenradien der qualitativen Betrachtung betrug 52 m bis 60 m. Die Rampenquerschnitte variierten zwischen 4,8 m und 5,1 m.

Für den direkten Vergleich der Fahrzeugkombinationen wurde ein Radius von rund 50 m gewählt, da ein solcher Radius von allen Fahrzeugen in folgenden AS befahren wurde.

- Landsberg a. Lech-Ost,
- Döbeln-Nord,
- Thurnau-West,
- Erlangen-Tennenlohe (Rampe Süd),
- Leipzig-Messegelände (Rampe West).

Die Rampenquerschnitte hatten eine Fahrbahnbreite von 4,4 m bis 5,1 m. Der geringste Abstand in den o.g. fünf Anschlussstellen betrug 0,5 m (gemessen am Referenzfahrzeug in AR, 5,1 m Rampenquerschnitt). Der geringste Abstand auf der linken Fahrzeugseite wurde bei Typ 1 gemessen

mit 0,6 m (AL 1). Der Rampenquerschnitt betrug 4,6 m. Das Referenzfahrzeug hatte einen Abstand von 1,2 m (AL 2) bei einem Rampenquerschnitt von 5,1 m.

Auffällig war auch, dass die Fahrzeugführer der Lang-Lkw in den Rampen überwiegend versetzt ganz am linken äußeren Fahrbahnrand fuhren. Das Vergleichsfahrzeug benutzte dagegen mehr die Mitte des Fahrstreifens.

Eingeschränkte Querschnitte in Rampen

Einengungen im Querschnitt von Rampen treten bei Pannenfahrzeugen, Arbeitsstellen und haltenden Betriebsdienstfahrzeugen auf. Während der Verfolgungsfahrten kam es zu keinen Situationen, bei denen ein Lang-Lkw einen solchen eingegengten Querschnitt befuhr.

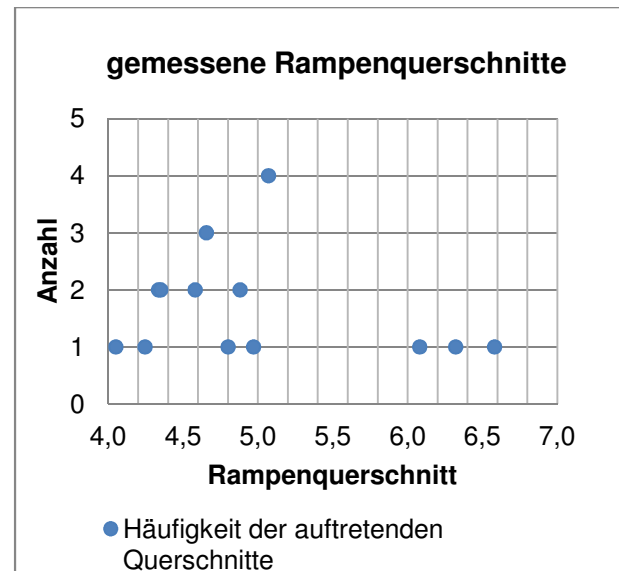


Bild 42: Streuung der Rampenquerschnitte

Die betrachteten Rampenquerschnitte Q 1 (Bild 95) unterlagen hinsichtlich der Fahrbahnbreite einer breiten Streuung (Bild 42). Die Fahrbahnbreiten lagen zwischen 4,1 m und 6,6 m. Dies entspricht auch den Erkenntnissen der Untersuchungen von ZIMMERMANN (2011).

Im Ergebnis können die geringsten Abstände der Fahrzeuge zum inneren Rand der Fahrbahn (AR) bei 0,2 m liegen. Tab. 21 und Tab. 22 enthalten die Abstände zu den Markierungen. Bei schmalen Rampenquerschnitten sind die Abstände zwischen Fahrzeug und Markierung sehr gering. Auch ZIMMERMANN hat 2011 festgestellt, dass der Verkehr an einer Engstelle zum Erliegen kommt, wenn (konventionelle) Lkw diese nicht mehr oder nur sehr langsam passieren können.

Ein- und Ausfädelungsstreifen

Für die Beurteilung des Fahrverhaltens von Lkw an Ein- und Ausfahrten wurden die Ein- und Ausfädelungsvorgänge an Anschlussstellen mit jeweils einem Ein- und Ausfädelungsstreifen betrachtet. Tab. 6 enthält die Anzahl der Überfahrungen in Ein- und Ausfädelungsstreifen.

Typ	Markierungen in Ausfahrten		Markierungen in Auffahrten	
	Anzahl	davon überfahren	Anzahl	davon überfahren
1	5	2	4	0
2	5	5	6	1
3	3	3	5	0
5	4	4	4	1
Referenz	2	2	2	1

Tab. 6: Untersuchte Anschlussstellen bei Ein- und Ausfädelungsvorgängen

Die Untersuchung der Ein- und Ausfädelungsvorgänge hat ergeben, dass Lang-Lkw wie auch das Referenzfahrzeug die Markierung bereits zu Beginn der Verziehung überfahren (Bild 43). Nicht nur die Meßergebnisse, sondern auch die abgefahrenen Markierungen zeigen, dass offensichtlich viele Fahrzeuge darüber fahren. Die Länge der Ausfädelungsstreifen spielt dabei keine Rolle.



Bild 43: Überfahrung der Markierung bei einem Ausfädelungsvorgang

Die Kameraaufnahmen zeigen, dass innerhalb der Ausfädelungsstreifen keine Markierungen mehr

überfahren wurden. Die Länge der Ausfädelungsstreifen reicht für Lang-Lkw aus.

Bei den Einfädelungsstreifen kam es nur zu wenigen Berührungen. Diese lagen am Übergang von Rampe(nende) und Einfädelungsstreifen (Bild 44). Eine Überfahrung der Fahrbahnbegrenzungslinie war nicht zu beobachten. Die Anzahl der Berührungen der Fahrbahnrandmarkierung war seltener als bei den Ausfädelungsstreifen. Wegen der geringen Häufigkeit kann davon ausgegangen werden, dass die Überfahrungen nur durch das Fahrverhalten des Fahrers hervorgerufen werden. Die Fahrer orientieren sich bei der Fahrt in der Rampe an den kurvenäußeren Markierungen. Im Bereich des Übergangs von der Rampe in den Einfädelungsstreifen führt das zu zeitige Einlenkverhalten zum Kurvenschneiden. Die kurveninneren Räder berührten oder überfahren die Markierung.



Bild 44: Überfahren der Markierung zu Beginn eines Einfädelungsstreifens (Hinterachse auf Fahrbahnmarkierung)

Lang-Lkw	AS	Aus- Ein- fädelungsstreifen - Länge [m]	
		Aus-	Ein-
Typ 2	Halle-Trotha	240	220
	Grimma	170	220
	Döbeln-Nord	200	200
	Nossen-Nord	210	250
Typ 3	Treuen	240	220
	Münchberg-Nord	200	210
	Bad-Berneck	240	290
	Thurnau-West	200	180

Tab. 7: Längen von untersuchten Ein- und Ausfädelungsstreifen

Der Mindestwert für die Länge der Ein- und Ausfädelungsbereiche beträgt nach RAA bei EKA 1/ EKA 2 250 m (mit Verziehung = 60 m). Bei

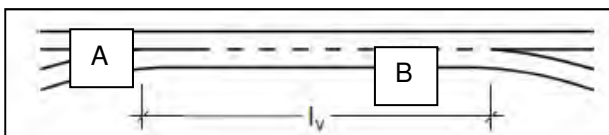
EKA 3 beträgt sie 150 m (mit Verziehung = 30 m). Für die Untersuchung wurden die Befahrungen von Ein- und Ausfädelungstreifen durch 25,25 m lange Lkw ausgewertet. Die Ein- und Ausfädelungsvorgänge erfolgten ohne Probleme. In Tab. 7 sind die Längen der untersuchten Ein- und Ausfädelungstreifen zusammengefasst.

Verflechtungsstrecken

Ein- und Ausfädelungsvorgänge finden auf Verflechtungsstrecken statt. An Autobahnen werden vier verschiedene Verflechtungsbereiche unterschieden.

- Verflechtungsbereiche in Kleeblattverteilerfahrbahnen (beide Randströme fehlen),
- Kleeblattverflechtungsbereiche mit Verflechtungstreifen an der Hauptfahrbahn (äußerer Randstrom fehlt),
- Verflechtungsbereiche in einer Verteilerfahrbahn zwischen zwei Knotenpunkten (innerer Randstrom fehlt),
- alle anderen Verflechtungsbereiche, z.B. zwischen zwei Knotenpunkten an einer Hauptfahrbahn oder an einer langen Verteilerfahrbahn zwischen mehr als zwei Knotenpunkten oder im Rampensystem eines komplexen Knotenpunktes (keine fehlenden Verkehrsströme).

Für die Befahrbarkeit mit Lang-Lkw wurden Verteilerfahrbahnen vom Typ VR 1 untersucht (Bild 45), da nur solche an den Fahrtrouten vorkamen. Aus entwurfstechnischer (geometrischer) Sicht stellen sich die anderen Verflechtungstypen aber auch nicht schwieriger dar. Die Lang-Lkw führten innerhalb kurzer Weglängen die Verflechtungsvorgänge durch. In Tab. 8 sind die Längen der untersuchten Verteilerfahrbahnen enthalten. Die Verflechtungsvorgänge wurden ab Beginn der Verflechtungsstrecke gemessen (Punkt A in Bild 45). Die letzte Spalte in Tab. 8 gibt die vom Lang-Lkw bis zum Abschluss des Verflechtungsvorgangs zurückgelegte Wegstrecke an.



Kleeblatt-Verteilerfahrbahn - VR 1

$l_v = 200 \text{ m}$

$l_v = 180 \text{ m}$ (bei $v_{zul} = 80 \text{ km/h}$)

Bild 45: Verflechtungsbereich VR1 nach RAA

Lang-Lkw	Knotenpunkt	Verflechtungslänge l_v [m]	Benötigte Strecke für Fahrstreifenwechsel [m]
Typ 2	Leipzig-Mitte	170	96
	Leipzig-Mitte	170	108
Typ 3	Bamberg	234	80
	Bamberg	234	63
Typ 5	Ingolstadt	200	72
	Ingolstadt	200	89
	Erlangen	190	80
	Erlangen	190	91

Tab. 8: Längen von untersuchten Verflechtungsstrecken

Ein- und Abbiegen in das nachgeordnete Netz

Bestandteil der Untersuchungen war auch die Befahrung der Einmündungen zum nachgeordneten Netz (Anschlussstellen). Diese Befahrungen wurden ausschließlich für das hier vorliegende Forschungsvorhaben durchgeführt. Die Anschlussstellen gehörten sonst normalerweise nicht auf den planmäßigen Routen der Fahrer. Wegen Einhaltung der Lenkzeiten konnten die Knotenpunkte nur einmal befahren werden, sodass sich der Umfang der messbaren Abbiegebeziehungen reduzierte. Alle ausgewerteten Ein- und Abbiegevorgänge sind in Tab. 9 aufgeführt. Außerdem sind in Anhang 3.4 die erstellten Schlepkkurven für die Abbiegevorgänge enthalten.

Lang-Lkw	Abbiegen nach		Einbiegen nach	
	rechts	links	rechts	links
Typ 1	x	x	x	x
Typ 2		x	x	
Typ 3	x	x	x	x
Typ 5	x	x	x	x
Referenz		x	x	

Tab. 9: Untersuchte Ein- und Abbiegevorgänge

Im Teilprojekt 89.0284 wurden ergänzende Untersuchungen zur Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten durchgeführt. Die Messungen umfassten neben Kreuzungen auch Kreisverkehrsplätze.

Rechtseinbiegen

Für die Auswertung der Rechtseinbiegevorgänge aus der untergeordneten Knotenpunktzufahrt lag der Schwerpunkt auf:

- dem Abstand zur rechten Fahrbahnmarkierung (Kennwert A in Bild 46)
- dem Überfahren des Linksabbiegefahrstreifen in der übergeordneten Knotenpunktzufahrt (Kennwert B in Bild 46)
- Abstand zur Mitteltrennung in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt (Kennwert C in Bild 46)
- Breite der Einfahrquerschnitte (Kennwert D in Bild 46)

Keiner der Lkw hatte die Markierung beim Rechtseinbiegen überfahren. Die Abstände zur Markierung betrugen zwischen 0,1 m und 1,9 m (Kennwert A). Die Annäherung auf 0,1 m war bei Typ 2 zu beobachten. Typ 2 und Typ 3 überfahren jeweils die Linksabbiegefahrstreifen (Kennwert B). Die Markierung in Punkt B wurde überfahren, weil die Lkw die Linksabbiegefahrstreifen mitbenutzten. Typ 2 überfuhr den Linksabbiegefahrstreifen um 0,8 m (Bild 47). Auf der rechten Seite des Fahrzeuges wurde so ein Abstand von 0,4 m zur Markierung eingehalten (Bild 48).

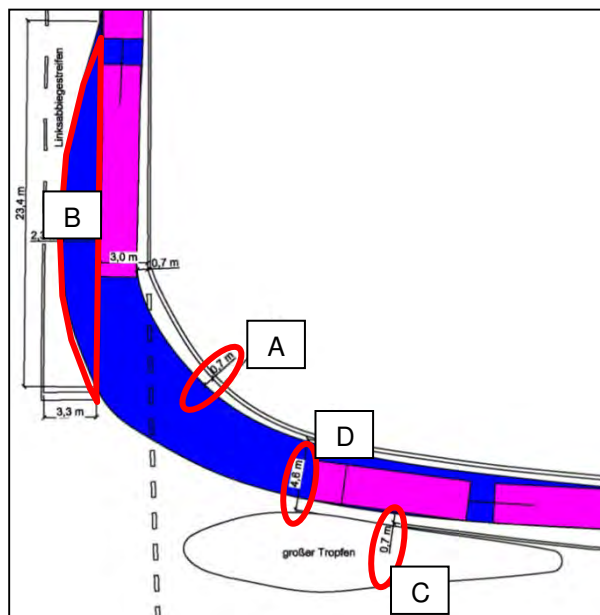


Bild 46: Kennwerte beim Rechtseinbiegen

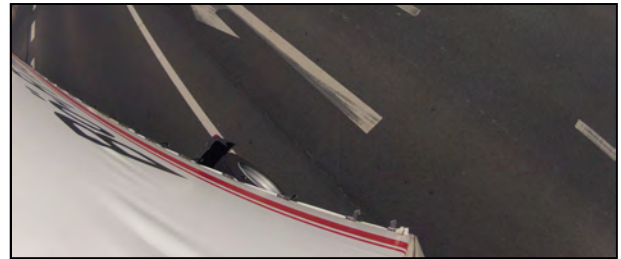


Bild 47: Mitbenutzen des Linksabbiegefahrstreifen - Typ 2



Bild 48: Rechtseinbiegen Typ 2 - Abstand rechte Fahrzeugseite

Das Beispiel (Bild 47) verdeutlicht, dass bei Typ 2 vermehrt Probleme beim Rechtseinbiegen auftreten.

Ähnlich verhielt sich Typ 3, der den Linksabbiegestreifen (Kennwert B) um 2,3 m überfuhr. Der Fahrer lenkte sehr zeitig nach rechts ein, wodurch er den Linksabbiegefahrstreifen mit dem Zugfahrzeug mitbenutzen musste. Die großflächige Überfahrung des Linksabbiegefahrstreifens erfolgte nicht vorrangig durch das Zugfahrzeug. Die Aufnahmen der Fahrzeugkamera zeigen, dass vor allem der Anhänger mit gelenktem Dolly soweit ausholt. Ein solches Lenkverhalten zeigte keine andere Fahrzeugkombination.



Bild 49: Ausschwenken des Sattelauflegers mit gelenkter Untersetzachse

Die untersuchten Knotenpunkte besaßen die folgenden Knotenpunktebestandteile entsprechend den RAL (Tab. 10).

Typ	Name Knotenpunkt	Zufahrts- typ	Linksab- biegetyp
1	Eching/ Freising	KE1*	LA1
2	AS Grimma	KE4	LA2
3	AS Thurnau	KE4	LA2
5	AS Denkendorf	KE4	LA2
Referenz	AS Leipzig-Ost	KE1	LA1

*mit Bypass für Rechtseinbiegerstrom

Tab. 10: Knotenpunktbestandteile – Rechtseinbiegen nach RAL

Typ 5 überfuhr den Linksabbiegefahrstreifen nicht. Er überstrich keine Flächen im Seitenraum. Die Schleppkurve zeigt einen schlanken Verlauf. Durch den Kupplungsüberhang wurde der Anhänger auf eine weiter außenliegende Fahrlinie gebracht. Dadurch hatte die Schleppkurve auf der Innenseite einen größeren Abstand zum Fahrbahnrand.

Linkseinbiegen

Für den Linkseinbiegevorgang standen die Daten der Lang-Lkw vom Typ 1, 3 und 5 zur Verfügung. In Bei Linkseinbiegevorgängen wurden folgenden Punkte ausgewertet.

- Überfahren von Markierungen rechts der Fahrtrichtung (Kennwert A in Bild 50)
- Überfahren von Linksabbiegefahrstreifen oder Markierungen links der Fahrtrichtung (Kennwert B in Bild 50)
- Abstand zur Mitteltrennung (Kennwert C in Bild 50)
- Nähe zur rechten Markierung in der Zufahrt (Kennwert D in Bild 50)
- Querschnittsbreiten der Fahrstreifen

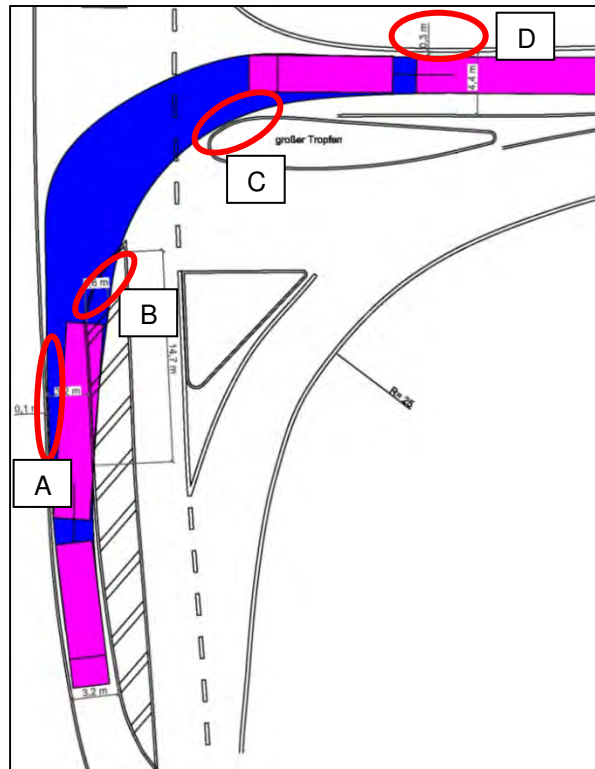


Bild 50: Kennwerte beim Linkseinbiegen

Die untersuchten Knotenpunkte besaßen die folgenden Knotenpunktebestandteile entsprechend den RAL (Tab. 11).

Typ	Name Knotenpunkt	Zufahrts- typ	Linksab- biegetyp
1	AS Buchloe	KE4	LA2
3	AS Münchberg	KE4	-
5	AS Denkendorf	KE4	-

Tab. 11: Knotenpunktbestandteile - Linkseinbiegen nach RAL

Bei Typ 1 wurde ein vierarmiger Knoten befahren. Typ 3 und 5 befahren jeweils eine Einmündung. Typ 1 überstrich die Markierung der gegenüberliegenden Knotenpunktzufahrt (Kennwert A) um 0,5 m (Bild 51). Die Zugmaschine berührte die Innenseite der Markierung, während der Sattelaufleger über die Markierung hinaus ausschwenkte. Bei einem konventionellen Sattelzug (Referenzfahrzeug) zeigte sich das gleiche Lenkverhalten (Bild 52).



Bild 51: Rechtseinbiegen Typ 1



Bild 52: Ausschwenken des Sattelauflieger beim Referenz-Lkw

Alle Fahrverläufe zeigen, dass die Fahrer sich bei der Annäherung an den Knotenpunkt an den rechten Markierungen (Kennwert D) orientieren (Annäherung auf 0,3 m). Die Querschnitte der Knotenpunktzufahrten weisen unterschiedliche Querschnittsbreiten auf. In der Zufahrt von Typ 1 beträgt die Zufahrtsbreite 3,9 m. Dadurch ergibt sich die starke Annäherung des Fahrers an die rechte Markierung um den Tropfen nicht zu überfahren. Bei Typ 5 ist die Zufahrtsbreite (4,5 m) breiter. Im Ergebnis wurden im Fahrverlauf von Typ 5 größere Abstände gemessen. Typ 3 befuhr eine 4,4 m breite Zufahrt. Das zeitigere Einlenken des Fahrers führte dazu, dass der Tropfen fast berührt wurde (Kennwert C in Bild 50). Der übergeordnete Einbiegequerschnitt betrug 3,2 m. Die hinteren Räder überrollten die Sperrfläche (Kennwert B) in der übergeordneten Straße (Bild 53).

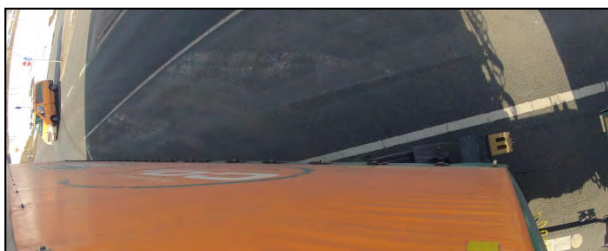


Bild 53: Überfahren der Sperrfläche - Typ 3

Typ 3 befuhr ein- und denselben Knotenpunkt an zwei unterschiedlichen Messtagen (Bild 54 und Bild 55).

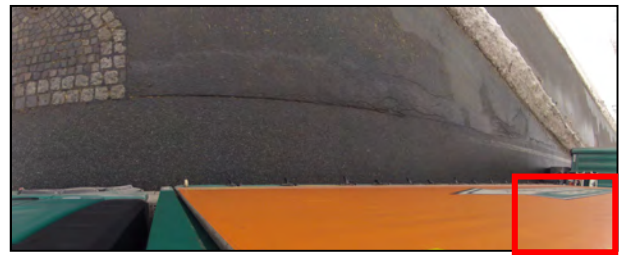


Bild 54: Einbiegen - Münchberg mit Ausschwenken

Das Lenkverhalten des Anhängers war bei beiden Befahrungen unterschiedlich, obwohl sich das Zugfahrzeug jeweils an der gleichen Stelle befand (siehe Abstand zur Pflasterdecke). Auch der Abstand zur Markierung war annähernd gleich. Die Geschwindigkeiten bei beiden Einbiegevorgängen betragen rund 24 km/h.



Bild 55: Einbiegen - Münchberg ohne Ausschwenken

Rechtsabbiegen

Bei den Rechtsabbiegevorgängen wurde besonders geachtet auf:

- Abstände zur Mittelmarkierung in der untergeordneten Zufahrt (Kennwert A in Bild 56),
- Abstände zu den Markierungen (Kennwert B, C in Bild 56),
- Fahrstreifenbreiten.

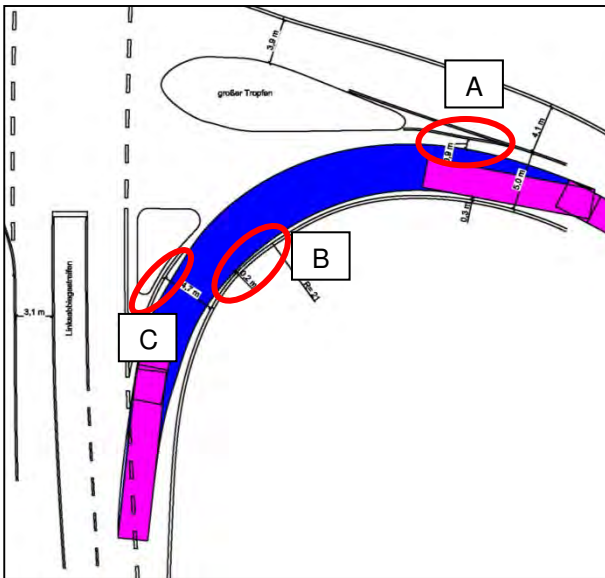


Bild 56: Kennwerte beim Rechtsabbiegen

Die untersuchten Knotenpunkte besaßen die folgenden Knotenpunktebestandteile entsprechend den RAL (Tab. 12).

Typ	Name Knotenpunkt	Rechtsabbiegetyp	Zufahrtstyp
1	AS Buchloe	RA 5	KE4
3	AS Münchberg	RA 5	KE4
5	AS Denkersdorf	RA 5	KE4

Tab. 12: Knotenpunktebestandteile - Rechtsabbiegen nach RAL

Bei keiner Fahrt führten die Abbiegevorgänge zu Überfahrungen der Markierung. Jedoch waren die Annäherungen an die Markierungen, besonders bei Typ 3, sehr nah. In der untergeordneten Zufahrt wurde die Markierung (Kennwert A) von Typ 3 berührt (Bild 57). Typ 1 und Typ 5 hielten einen Abstand von 0,2 m bis 0,6 m ein.



Bild 57: Annäherung an die Markierung beim Rechtsabbiegen - Typ 3

Auf der innenliegenden Seite (Kennwert B) nähert sich der Typ 1 in einem weiten Bereich der Markierung auf 0,2 m an. Typ 5 nähert sich nur im hinteren Bereich der Ausrundung auf 0,2 m der Markierung. Typ 5 zeigt im Vergleich zu den beiden anderen Lkw die schlankeste Schleppkurve im Abbiegevorgang. Der Einfahrquerschnitt des Typ 5 wies mit 4,3 m die geringste Breite gegenüber den anderen Zufahrtsbreiten auf. Bei Typ 3 kam es durch das Ausschwenken des Anhängers zu einem größeren Flächenbedarf. Die Fahrstreifenbreiten lagen mit 4,42 m zwischen denen von Typ 1 (4,7 m) und Typ 5 (4,8 m).

Linksabbiegen

Für den Linksabbiegevorgang wurden folgende Punkte im Fahrverlauf betrachtet:

- Ausschwenken zur Kurvenaußenseite (Kennwert A in Bild 58)
- Abstand zum Tropfen in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt (Kennwert B in Bild 58)
- Abstand zur Dreieckinsel (Kennwert C in Bild 58)
- Breiten der Fahrstreifen

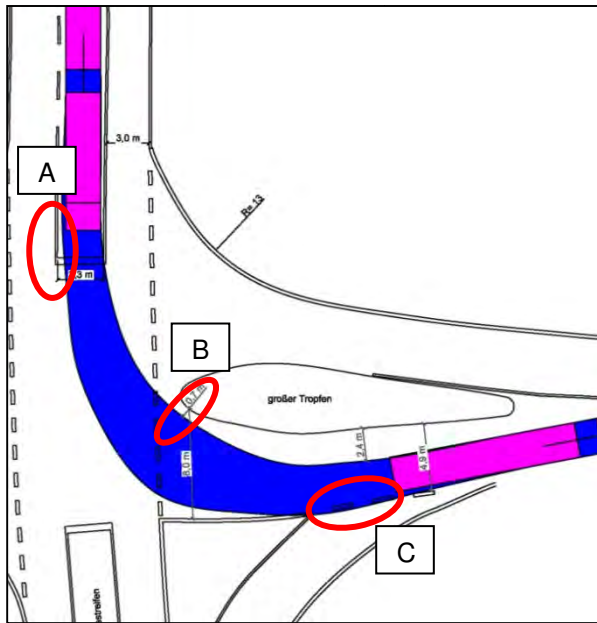


Bild 58: Kennwerte beim Linksabbiegen

Die untersuchten Knotenpunkte besaßen die folgenden Knotenpunktebestandteile entsprechend den RAL (Tab. 13).

Typ	Name punkt	Knoten- punkt	Linksab- biegetyp	Zufahrtstyp
1	B12/B16		LA2	KE4
2	AS Grimma		LA2	KE4
3	AS Thurnau		LA2	KE4
5	AS Denkendorf		LA2	KE4
Referenz	AS Leipzig-Ost		LA1	KE1

Tab. 13: Knotenpunktebestandteile -Linksabbiegen nach RAL

Bei keinem Lkw konnte ein so deutliches Ausschwenken nach rechts wie bei Typ 2 beobachtet werden (Anlage 3.4, Bild 114). Der Typ 2 schwenkte um 0,8 m über die Markierung (Kennwert A) aus. Typ 1 und das Referenzfahrzeug überstrichen die Markierung nur minimal. Die Breite der Linksabbiegestreifen schwankte zwischen 3,2 m und 3,5 m. Bei Dreieckinseln lagen die Einfahrweiten zwischen 6,0 m und 8,0 m. Die von Typ 2 befahrenen Knotenpunkte/ Einmündungen hatten keine Dreieckinseln. Die Lkw überfuhren die Markierungen nicht (Kennwert C). Lediglich die Aufbauten schwenkten über die Markierungen aus (Typ 3 und 5). Die Abstände der Fahrzeuge

zur Mitteltrennung lagen im Schnitt bei 0,7 m. Typ 2 nutzte den vorhandenen Platz bei seinem Abbiegevorgang und hatte so einen Abstand von 3,8 m zum Tropfen (Kennwert B). Durch das weite Ausholen bei Linksabbiegevorgängen kamen alle Fahrzeuge sehr nah an die rechte Markierung (Kennwert C) in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt.

4.2 Befahrbarkeit von Nothaltebuchten

Die Befahrbarkeit von Pannenbuchten in Tunneln und auf der freien Strecke war ebenfalls zu untersuchen. Aus Sicherheitsgründen wurden die Nothaltebuchten auf freien Plätzen abgesteckt. In Abhängigkeit von der verfügbaren Zeit hatten die Fahrer teilweise mehrere Versuche, um in die abgesteckte Nothaltebucht zu fahren. In Anhang 3.5 sind die gemessenen Schleppkurven enthalten.

Im Gegensatz zu Pannenbuchten in Tunneln sind Nothaltebuchten auf der freien Strecke wesentlich länger (80 m inkl. Verziehungen). Die Länge der Buchten in Tunneln beträgt 40 m einschließlich der Verziehungen. Die Breite beträgt einschließlich des Randstreifens B = 3,0 m. Die Ergebnisse der Befahrung von Pannenbuchten in Tunneln können teilweise im Analogieschluss auf die Befahrbarkeit der größeren Nothaltebuchten an der freien Strecke übertragen werden.

Referenzfahrzeug war ein 16,50 m langes Sattelkraftfahrzeug mit fünf Achsen (Bild 60). Der Fahrer konnte aus Zeitgründen nur einen Einparkversuch durchführen. Der Einparkversuch ordnet sich in die Ergebnisse der Einfahrversuche von Lang-Lkw Typ 1 ein.

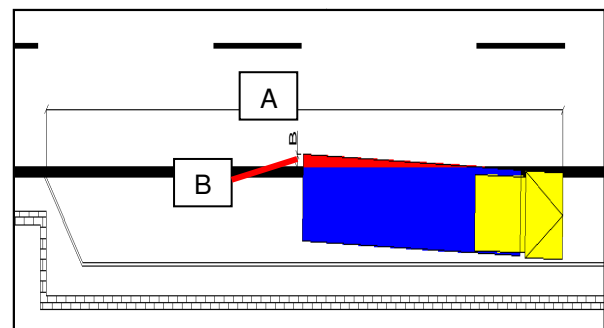


Bild 59: Kennwerte Typ 1 und Referenzfahrzeug in der Nothaltebucht

Beide Fahrzeuge haben die Pannenbucht befahren, ohne vorher über die links davon liegende Mittelmargierung (zwischen rechtem und linkem Fahrstreifen) zu schwenken. Der Sattelaufleger

des Lang-Lkw Typ 1 ragte in der Endposition maximal 0,4 m über die Markierung in die Fahrbahn, die des Referenzfahrzeuges 0,3 m (Kennwert B in Bild 59). Der Überhang des Typ 1 variierte im Kennwert B zwischen 0,2 m und 0,4 m (Anlage 3.5, Bild 118).



Bild 60: Endposition Einparken in Pannenbucht Referenzfahrzeug

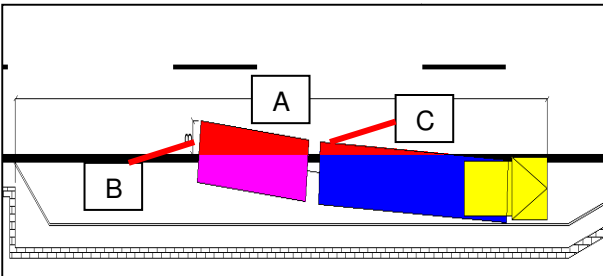


Bild 61: Kennwerte Typ 2 in der Nothaltebucht

Bei der Befahrung des Lang-Lkw Typ 2 ist der Fahrer 0,4 m über die links davon liegende Mittelmarkierung geschwenkt. Der Sattelaufleger ragte 0,7 m (Kennwert C) und der Anhänger 1,40 m (Kennwert B) in die Hauptfahrbahn (Bild 61). Das war insgesamt das kritischste Ergebnis. Bei einer Fahrstreifenbreite von 3,5 m würden die anderen Verkehrsteilnehmer im eigenen Fahrstreifen nicht mehr am Lang-Lkw vorbeifahren können. In Bild 62 ist der Überhang von 1,4 m des Fahrzeuges im Verhältnis zur 2,5 m breiten Nothaltebucht dargestellt.

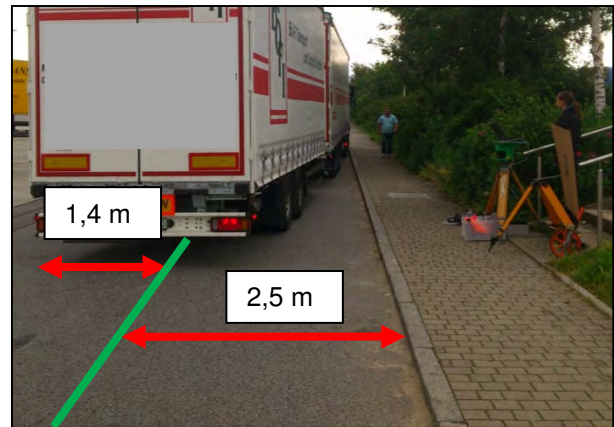


Bild 62: Endposition Einparken in Pannenbucht von Typ 2

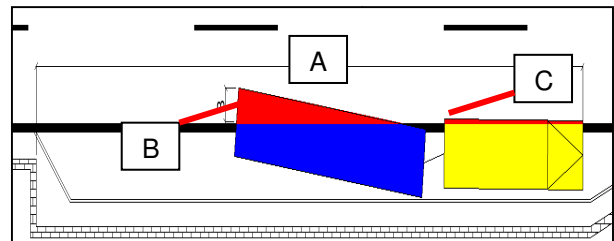


Bild 63: Kennwerte Typ 3 in der Nothaltebucht

Mit 0,1 m überschreitet der Lang-Lkw Typ 3 die links davon liegende Markierung nur wenig. In der Endposition steht der Sattelaufleger minimal 0,9 m und maximal 1,9 m über der Markierung auf der Fahrbahn (Kennwert B). Während das Zugfahrzeug direkt in die Pannenbucht einlenken kann, fährt der gelenkte Dolly einen längeren Weg parallel versetzt zum Zugfahrzeug (Bild 64).

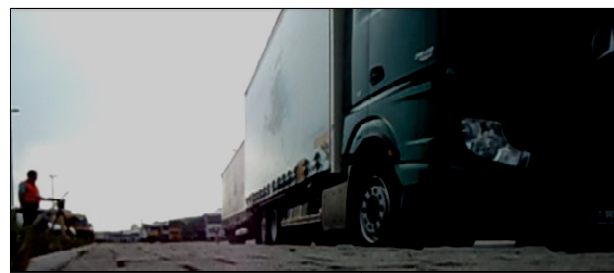


Bild 64: Versatz zwischen Anhänger und Zugmaschine bei Typ 3 durch den gelenkten Dolly

Dadurch ragt der Anhänger mit gelenktem Dolly in den Hauptfahrstreifen (Bild 65).

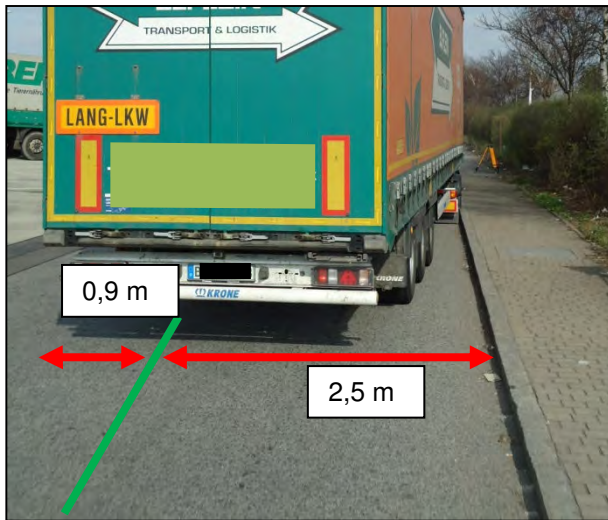


Bild 65: überstehender Typ3 in simulierter Pannenbucht

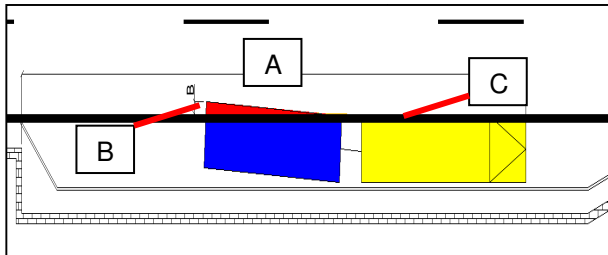


Bild 66: Kennwerte Typ 5 in der Nothaltebucht

Das Zugfahrzeug von Lang-Lkw Typ 5 überfuhr die links davon liegende Mittelmarkierung im ersten Versuch um 1,8 m. Bei den anderen Versuchen überfuhr er die Markierung um maximal 0,2 m. Sein Anhänger ragte, über alle Versuche betrachtet, jeweils 0,5 m über die rechte Fahrbahnmarkierung (Kennwert B) in den Hauptfahrstreifen (Bild 67). Das Zugfahrzeug ragte maximal 0,2 m über die Fahrbahnmarkierung in Hauptfahrstreifen (Kennwert C).

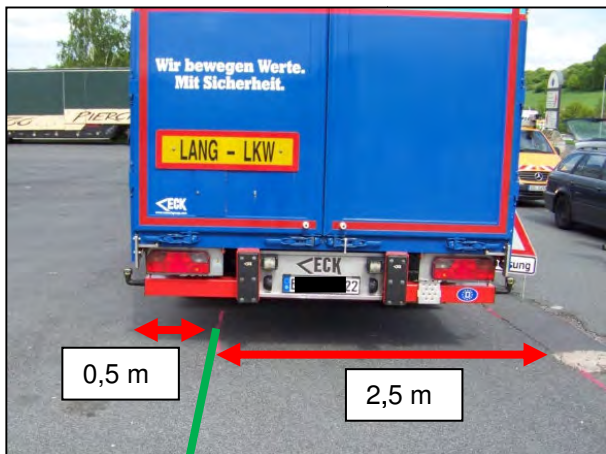


Bild 67: Endposition Einparken in Pannenbucht von Typ 5

Alle Fahrer haben die Pannenbucht äußerst vorsichtig befahren. Höhere Geschwindigkeiten sowie eine tatsächliche Notsituation würden vermutlich zu schlechteren Ergebnissen führen als hier erzielt. Es ist davon auszugehen, dass die Anhänger der Lang-Lkw bis zu 2 m in die Fahrbahn ragen können. Pannenbuchten mit minimalen Abmessungen können daher für bestimmte Lastzugkombinationen nicht ohne Gefährdung der Verkehrsteilnehmer befahren werden.

Nach den Einparkversuchen wurden die Fahrer gebeten so weit in der Pannenbucht geradeaus zu fahren, bis das Fahrzeug nach Einschätzung des Fahrers vollständig in der Bucht stand. Da der Fahrer des Referenzfahrzeuges sehr spät eingelenkt hatte, konnte er in der Nothaltebucht nicht mehr weiterfahren. Deshalb stand das Fahrzeug über. Aus diesem einen Versuch kann jedoch keine allgemeingültige Aussage über die erforderliche Mehrlänge der Nothaltebucht getroffen werden. Die in den Richtlinien enthaltenen Maße der Pannenbuchten entsprechen jedoch nur dem Flächenbedarf der Bemessungsfahrzeuge die nach StVZO im Straßenverkehr regulär zulässig sind.

Typ	benötigte Länge des besten Versuches aus Anhang 3.5 in [m] Kennwert A	Zusatzlänge bis das Fahrzeug komplett eingeparkt wäre in [m]
1	39	8
2	39	18,5
3	40	12,5
5	36	9

Tab. 14: zusätzlich benötigte Längen von Pannenbuchten für neue Fahrzeugkonzepte

Bei detaillierter Auswertung der Schleppekuren hat sich gezeigt, dass alle Fahrzeuge beim Befahren von Pannenbuchten einen Großteil der Länge zum Einfahren benötigen. Sie haben dann nicht mehr genug Restlänge zur Verfügung, um das Fahrzeug parallel zur Tunnelwand auszurichten. Die Verziehungslänge ist in Bild 68 mit einer roten Fläche dargestellt. Nachteilig ist, dass die Verziehungen in die Tunnelpannenbuchten aus wirtschaftlichen Gründen steil ausgebildet sind.

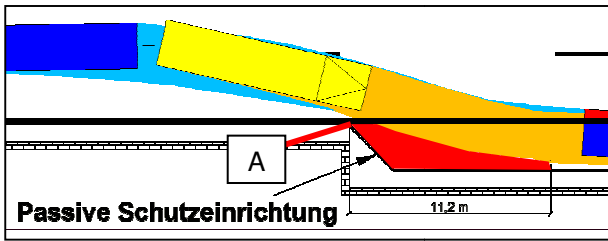


Bild 68: Verziehungslänge (rote Fläche) des Typ 5 beim Befahren der Pannenbucht

In Tab. 15 sind die Verziehungslängen der Lang-Lkw zusammengefasst. Als Anfangspunkt wurde der Beginn der Pannenbucht gewählt (Kennwert A in Bild 68). Der Endpunkt wird durch den Abstand angegeben, in dem der Lkw eine parallele Position zur seitlichen Tunnelwand hat.

Lang-Lkw Typ	Durchschnittliche Verziehungslänge aller Messungen in [m]
1	16,8 (drei Messungen)
2	21,2 (zwei Messungen)
3	17,9 (drei Messungen)
5	14,0 (drei Messungen)
Referenz	18,7 (eine Messung)

Tab. 15: Verziehungslängen der Lang-Lkw beim Befahren der Pannenbuchten

Die Ergebnisse in Tab. 15 zeigen, dass Typ 2 über die Hälfte der Pannenbuchtlänge benötigt, um sich der seitlichen Schutzeinrichtung anzunähern. Die kürzeste Länge wird durch Typ 5 benötigt. Die gute Lenkgeometrie des Fahrzeugs erlaubt es dem Fahrer frühzeitig, in die Pannenbucht einzufahren.

4.3 Befahrbarkeit von Tank- und Rastanlagen

Auf Tank- und Rastanlagen wurde die Befahrbarkeit der Parkstände durch Lang-Lkw untersucht. Die "Empfehlungen für Rastanlagen an Straßen" (FGSV 2011) unterscheiden zwischen Längs- und Schrägaufstellung. Schrägaufstellungen ermöglichen eine bessere Flächenausnutzung als Längsaufstellungen. Sie sind daher die Regelaufstellung für Lkw, Last- und Sattelzüge. Die Längsaufstellung wird nur für Schwerlasttransporte in den Randlagen vorgesehen (roter Bereich in Bild 69, Bild 70).

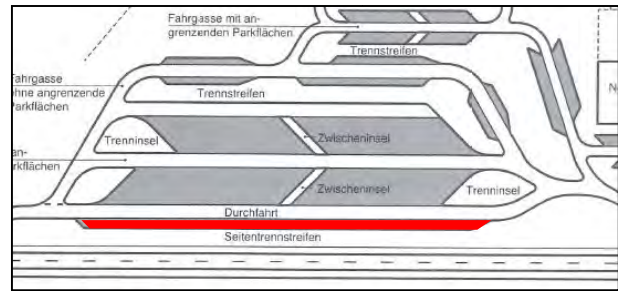


Bild 69: typischer Aufbau der Lkw-Parkstände einer Rastanlage (rot dargestellt - Längsparkstände) nach ERS (FGSV 2011)



Bild 70: Längsparkstand für den Schwerverkehr

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag also auf der Befahrbarkeit von Schrägaufstellungen. Die dafür aufgenommenen Schleppkurven sind im Anhang 3.6 in Bild 123 ff enthalten.

Für jeden Lang-Lkw wurde bei den Verfolgungsfahrten eine Befahrung der Parkstände mit Schrägaufstellung durchgeführt.

Bei den Einparkvorgängen wurden Überfahrungen der nebenliegenden Parkstände, die Ausnutzung der Fahrgasse und die Endposition des Lkw untersucht. Die Endposition eines Lang-Lkw hat vor allem Einfluss auf die Befahrbarkeit der benachbarten Parkstände für andere Lkw.

Der Lang-Lkw Typ 1 befuhr einen 3,31 m breiten und 25,7 m langen Parkstand. Nach dem Einparkvorgang kam das Fahrzeug innerhalb der Markierung zum Stehen. Der Sattelaufleger schwenkte 0,6 m nach rechts über die Fahrgasse. Der benachbarte Parkstand wurde um 1,1 m auf der linken Seite überfahren. Die Sattelzugmaschine überfuhr keine Markierungen sondern blieb zwischen den Linien (Bild 123) Das Fahrzeug passte vollständig auf den Parkstand (Bild 71).



Bild 71: Endposition Typ 1 in der Schrägaufstellung

Der Parkstand für den Lang-Lkw Typ 2 war 3,4 m breit und 25,5 m lang. Das Fahrzeug überfuhr keine Markierung der Fahrgasse. Die Schleppkurve der Zugmaschine und des Sattelauflegers überstrich die linke Markierung, zum Nachbarparkstand, um 1,6 m. Zuletzt überfuhr der Anhänger die rechte Markierung, zum Nachbarparkstand, um 0,4 m. In der Endposition ragt die Front um 1,8 m in die Fahrgasse.



Bild 72: Endposition Typ 2 in der Schrägaufstellung

Der Lang-Lkw Typ 3 parkte in einen 3,3 m breiten und 25,6 m langen Parkstand ein. Er überstrich den Rand der 6,6 m breiten Fahrgasse um 0,2 m. Die Schleppkurve des Lastkraftwagens überschritt die rechte Markierung der Parkfläche um 0,6 m. Der Sattelaufleger überfuhr die Markierung auf der linken Seite um 0,9 m. Rechnerisch ergibt sich aus der Länge des Parkstandes und der Fahrzeuglänge ein Überstand von 1,5 m. Dabei wird aber vorausgesetzt, dass der Fahrer das Fahrzeug mittig und parallel zwischen der Markierung abstellt. Tatsächlich befuhr aber der Fahrer die Parkfläche und setzte anschließend zurück (Bild 73), um die Endposition zu erreichen. Das Fahrzeug ragte dann mit der Front 0,5 m und mit dem Heck 0,2 m in die Fahrgassen. Der Sattelaufleger stand um 0,4 m auf dem links benachbarten Parkstand.



Bild 73: Ausrichten des Typ 3 durch Rückwärtsfahren

Der Lang-Lkw Typ 5 befuhr einen 3,6 m breiten und 25,0 m langen Parkstand. Die Markierungen der 6,2 m breiten Fahrgasse wurden für diesen Vorgang nicht überfahren. Der Lang-Lkw überfuhr die Markierung zum linken benachbarten Parkstand um nur 0,34 m. In seiner Endposition stand der Lang-Lkw innerhalb der Markierung.



Bild 74: Endposition Typ 5 in der Schrägaufstellung

Das Referenzfahrzeug befuhr einen 3,3 m breiten und 25,7 m langen Parkstand. Die Breite der Fahrgasse betrug 6,5 m. Die Sattelzugmaschine schwenkte 0,6 m und der Sattelaufleger 0,4 m über die Markierung der Fahrgasse. Der Auflieger überfuhr die Markierung um 0,8 m. Der Fahrer parkte den Lkw innerhalb der vorgesehenen Parkfläche.

In der Literaturanalyse wurde bereits darauf hingewiesen, dass Lang-Lkw für die Parkstände zu lang sind. Überstehende Fahrzeugecken können zu Beeinträchtigungen anderer Fahrer führen. Auf diese Probleme hatten sich die Fahrer entsprechend eingestellt. Ihnen sind die jeweiligen Rastanlagen und die tageszeitabhängige Auslastungen sowie die Platzverhältnisse überwiegend bekannt. Deshalb weigerten sich die Fahrer auch, bestimmte Rastanlagen anzufahren, da diese sehr stark ausgelastet waren. Die Spediteure halten ihre Fahrer außerdem an, die Schwerlastparkstände zu nutzen (Längsaufstellung).

Beim Ausfahren aus den Parkständen (Schrägaufstellung) haben Lang-Lkw eine ähnliche Schleppkurve wie beim Einfahren. Die Lkw überfahren beim Ausfahren die Markierungen der benachbar-

ten Parkstände. Um das Überfahren der angrenzenden Parkstände zu vermeiden, holten die Fahrer teilweise weit aus. Dadurch überfahren sie aber die Markierung der 6,5 m breiten Fahrgassen zu den gegenüberliegenden Parkständen. Selbst beim vollen Ausnutzen der Fahrgassenbreite besteht das Problem, dass die hinteren Räder über die benachbarten Parkstände fahren und andere Fahrzeuge beschädigt werden können. Bild 75 zeigt einen solchen Ausparkvorgang. In der Abbildung ist deutlich zu sehen, dass der benachbarte Parkstand zur Hälfte überfahren wurde.

Nach Auskunft der Kraftfahrer werden Parkstände deshalb i.d.R. nur dann angefahren, wenn die Nachbarparkstände frei sind. Die Fahrer meiden Parkstände mit benachbarten Lkw. Als Begründung werden eben diese Probleme beim Verlassen des Parkstandes genannt.



Bild 75: Überfahren des Nachbarparkstand mit den hinteren Achsen

Viele Fahrer weichen mit Lang-Lkw auf Rastanlagen mit längeren Parkständen aus. So sind z.B. auf Rasthöfen vereinzelt Parkstandslängen von mehr als 25 m vorhanden. Bild 76 zeigt einen Parkstand mit Überlänge. Die "Empfehlungen für Rastanlagen an Straßen (ERS)" (FGSV 2011) geben dagegen für Lkw, Last- und Sattelzüge nur eine Parkstandstiefe von rund 22 m vor.



Bild 76: Überlanger Parkstand mit eingeparktem Typ 4

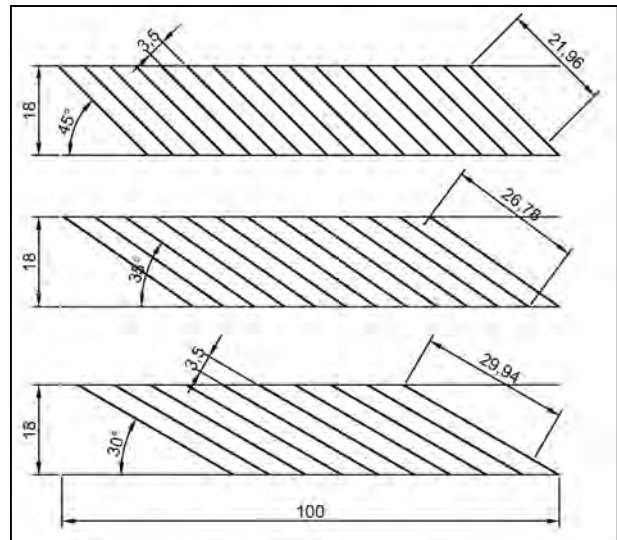


Bild 77: Änderung der Anstellwinkel in (m)

Eine Möglichkeit, die Länge der Parkstände zu vergrößern, besteht in der Änderung des Aufstellwinkels. Bild 77 zeigt zwei flachere Aufstellwinkel von 30° und 35° statt 45° für die Schrägaufstellung. Bei gleichbleibender Parkstandstiefe von 18 m ergibt sich bei einem Aufstellwinkel von 30° eine Parkstandslänge von rund 30 m. Bei einem Aufstellwinkel von 35° ergibt sich eine Parkstandstiefe von 26,8 m, die für die Lang-Lkw mit bis zu 25,25 m ausreichend ist.

Je flacher ein Aufstellwinkel ist umso leichter ist der Parkstand für einen Lang-Lkw befahrbar. Die Fahrzeuge haben durch die geringere Richtungsänderung eine schmalere Schleppkurve. Das Überfahren der Nachbarparkstände kann damit beseitigt werden. Allerdings verursachen die flacheren Aufstellwinkel eine schlechtere Flächenausnutzung. Auf 100 m Länge können bei 45° Aufstellwinkel 16 Parkstände markiert werden. Bei 35° ergibt sich ein Parkraumangebot von 12 Parkstände, was einer Kapazitätsminderung von 25 % entspricht. Bei 30° reduziert sich die Anzahl der Parkstände auf 9 Stück, was einer Kapazitätsminderung um rund 44 % entspricht.

Es ist davon auszugehen, dass Parkstände, die nur wenig länger sind als die Lang-Lkw mit bis zu 25,25 m, durch Fahrzeuge vollständig belegt werden. Steilere Aufstellwinkel verursachen Überfahrungen der Nachbarparkstände beim Einparken. Bei belegten Nachbarparkständen und steilen Aufstellwinkeln ist das Einparken für Lang-Lkw nicht möglich.

Im Rahmen des Feldversuches wird auch diskutiert, dass durch den verstärkten Einsatz von Lang-Lkw die absolute Zahl von Lkw auf Autobahnen deutlich verringert werden kann und

sich konventionelle Lkw wohlmöglich langfristig ersetzen lassen.

Allein die Kapazitätsbetrachtung der Parkstandsflächen auf vorhandenen Rastanlagen zeigt, dass bei einem (theoretisch) vollständigen Ersatz der konventionellen Lkw durch Lang-Lkw der heute zur Verfügung stehende Platz für die Parkstände nicht ausreichen würde. Es ist davon auszugehen, dass

in einer Übergangszeit Lang-Lkw Parkstände durch konventionelle Lkw belegt werden.

Entlang der Routen von Lang-Lkw sollte eine Erweiterung bestehender Parkstandsflächen einer Ummarkierung vorgezogen werden.

5 Schlussfolgerungen für den Einsatz von Lang-Lkw

In der vorliegenden Untersuchung sollte das Fahrverhalten von Lang-Lkw auf den nachstehenden Verkehrsanlagen betrachtet werden:

- Rampen in planfreien Knoten (besonders indirekte Rampen),
- Rampen bei eingeschränkten Querschnitten,
- Ein- und Ausfädelungstreifen der Anschlussstellen,
- Verkehrsablauf in Verflechtungsstrecken,
- Knotenpunkte (Anschlussstellen) zum nachgeordnete Netz (Ein-/Abbiegen),
- Parkstände auf Tank und Rastanlagen,
- Ein- und Ausfahren in Nothaltbuchten.

Dafür werden im Folgenden die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst und – soweit erforderlich – Hinweise zu Einschränkungen für Lang-Lkw oder zur Anpassung von Verkehrsanlagen gegeben.

(indirekte) Rampen

- Die Lang-Lkw können Rampen im Zuge von Anschlussstellen und planfreien Knotenpunkten ohne Probleme befahren. Es wurden keine Überfahrungen der Fahrbahnrandmarkierung festgestellt.
- Die Fahrbahnbreiten des untersuchten Rampenquerschnittes Q 1 hatten eine große Streuungen, trotz vergleichbarer Radien. Die erforderliche Fahrbahnverbreiterung nach RAA reichte dennoch auch für Lang-Lkw aus.
- Unterschiede zwischen den einzelnen Lang-Lkw-Typen konnten nicht festgestellt werden.

Eingeengte Querschnitte in Rampen

- Querschnittseinengungen in Rampen können durch Pannenfahrzeuge, durch Betriebsdienstfahrzeuge oder durch Arbeitsstellen entstehen.
- Bei haltenden Lkw (z.B. Betriebsdienstfahrzeuge) können Lang-Lkw - wie das Referenzfahrzeug (Sattelschlepper) auch – nicht mehr vorbeifahren.

- Auf Grund der Schleppkurven von Lang-Lkw verbleiben in (indirekten) Rampen mit einem
- Rampenquerschnitt Q 1 eine Restnutzungsbreite von 1,1 m.

Ein- und Ausfädelungstreifen

- Die Länge der Ein- und Ausfädelungstreifen nach RAA reicht für Lang-Lkw aus.
- Bei Ausfädelungstreifen wurden - wie beim Referenzfahrzeug auch - nur geringfügige Überfahrungen der Markierung festgestellt.
- Bei Einfädelungstreifen gab es keine Überfahrungen der Fahrbahnrandmarkierung.

Verflechtungsstrecken

- Verflechtungsstrecken in planfreien Knotenpunkten können mit Lang-Lkw ohne Probleme befahren werden.
- Die Verflechtungsvorgänge werden in der Regel in der ersten Hälfte der Verflechtungstreifen abgeschlossen.
- Unterschiede zum Referenzfahrzeug waren nicht feststellbar.

Knotenpunkte / Einmündungen (Anschlussstellen) zum nachgeordneten Netz

- Rechtseinbiegevorgänge von der Autobahnausfahrt in die übergeordnete kreuzende Straße erfolgten teilweise unter Mitbenutzung der Linksabbiegefahrstreifen (detailliertere Untersuchungen im Teilprojekt 89.0284).
- Zu zeitiges Einlenken bei Ein- und Abbiegevorgängen führte zu deutlichem "Kurvenschneiden".
- Bankette wurden nicht überfahren.
- Schmale Einfahrquerschnitte bei Rechtseinbiegevorgängen verursachen die Mitbenutzung von Linksabbiegefahrstreifen. Die Einfahrquerschnitte sollten > 4,1 m sein. Die RAL gibt für die Einfahrquerschnitte eine Mindestbreite von 3,5 m aus der Fahrstreifenbreite der übergeordneten Straße.

- Bei Linksabbiegevorgängen von der übergeordneten kreuzenden Straße in die Autobahnauffahrt kam es zu keinen Überfahrungen von Markierungen mit den Rädern. Die Fahrzeugkanten überstrichen dagegen bei Ein- und Abbiegevorgängen die Markierungen.
- Plötzlich ausschwenkende Anhänger bei Typ 3 können für andere Verkehrsteilnehmer ein Sicherheitsrisiko darstellen. Nach dem Scheitelpunkt der Kurvenfahrt befindet sich das Zugfahrzeug vollständig in seinem Fahrstreifen. Der Lenkdolly kann bei Kurvenfahrten einen weiteren Bogen fahren als das Zugfahrzeug.
- Ergänzende Untersuchungen zu Ein- und Abbiegevorgängen wurden im Teilprojekt 89.0284 vorgenommen.

Parkstände auf Tank- und Rastanlagen

- Lang-Lkw sind für, nach ERS regelgerecht gestaltete, Parkstände auf Tank- und Rastanlagen zu lang.
- Aufstellwinkel von 45° führen bei Lang-Lkw sowohl bei Einpark- als auch bei Ausparkvorgängen zu Überfahrungen der Nachbarparkstände. Das gilt unabhängig von der Länge des Parkstandes.
- Flachere Aufstellwinkel für die Schrägaufstellung würden bei gleichbleibender Parkstandstiefe zu einer Vergrößerung der Parkstandslänge führen.
- Aufstellwinkel z.B. von 30° ermöglichen eine Parkstandslänge von ca. 30 m. Die Breite der Schleppkurven ist dann auch geringer.
- Bei einem langfristigen (theoretisch optimalen) Ersatz konventioneller Lkw durch

Lang-Lkw reichen die zur Verfügung stehenden Parkstandsflächen wegen der erforderlichen Ummarkierung trotzdem nicht aus. Eine Ummarkierung würde immer eine Verringerung der bestehenden absoluten Parkstandsanzahl bedeuten.

- Eine Ausweitung der Parkflächen ist einer Ummarkierung bestehender Parkflächen bei nachfragestarken Rastanlagen immer vorzuziehen.

Nothaltebuchten

- Lang-Lkw ragen über Pannenbuchten in Tunneln mit Mindestmaßen nach RABT (FGSV, 2003) hinaus.
- Am kritischsten sind Lang-Lkw vom Typ 2 und 3, sie stehen bis zu 1,9 m in den durchgehenden Hauptfahrstreifen.
- Eine flacherer Einfahrtwinkel (längere Anfangsverziehung) der Nothaltebuchten würde ein besseres Einfahren ermöglichen und die volle Ausnutzung der Länge der Nothaltebucht erlauben.
- In eine Nothaltebucht mit einer Länge von rund 60 m könnten alle Lang-Lkw-Typen vollständig einfahren (maßgebend kritischer Fall: Typ 2).
- Nothaltebuchten auf der freien Strecke sind länger als Nothaltebuchten in Tunneln. Die Nothaltebuchten auf der freien Strecke haben eine flachere Anfangsverziehung. Im Analogieschluss zu den Ergebnissen der Nothaltebuchten in Tunneln können Nothaltebuchten auf der freien Strecke offensichtlich ohne Einschränkungen von Lang-Lkw genutzt werden.

6 Zusammenfassung

Seit einigen Jahren sind in mehreren europäischen Ländern verschiedene Kombinationen überlanger Lkw im Einsatz. Damit wird angestrebt, das transportierbare Frachtvolumen je Lastzug zu erhöhen, um in der Folge die Gesamtzahl von Lkw insgesamt reduzieren zu können.

In Deutschland wird zur Erprobung solcher überlanger Lastzug-Kombinationen vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) seit dem 1. Januar 2012 ein bundesweiter Feldversuch durchgeführt.

Der Feldversuch wird durch die Bundesanstalt für Straßenwesen BASt wissenschaftlich begleitet. Dafür wurde ein Gesamtkonzept für ein Untersuchungsprogramm entwickelt, das alle für Lang-Lkw relevanten Themenfelder der Straßenverkehrsanlagen umfasst (z.B. Straßenbeanspruchung / Fahrbahnkonstruktionen, Fahrzeug-Rückhalteeinrichtungen, fahrgeometrische und fahrdynamische Auswirkungen, Verkehrssicherheit, Verkehrsablauf).

Ziel des hier vorliegenden Projektes war es, die Befahrbarkeit verschiedener Verkehrsanlagen im Zuge von Autobahnen durch Lang-Lkw zu untersuchen und zu bewerten. Dabei sollte festgestellt werden, ob die Gestaltung der Verkehrsanlagen nach aktuellem Regelwerk ausreicht oder die angrenzenden Flächen (Fahrstreifen, Seitenraum) benutzt werden müssen.

Im Einzelnen sollten dabei folgende Verkehrsanlagen betrachtet werden:

- Rampen in planfreien Knoten (besonders kritisch bei indirekten Rampen),
- Rampen bei eingeschränkten Querschnitten (durch Pannenfahrzeuge oder den Betriebsdienst),
- Ein- und Ausfädelungstreifen der Anschlussstellen an der Autobahn selbst, sowie die Verknüpfung zum nachgeordnete Netz (Ein-/Ausfädeln und Ein-/Abbiegen),
- Verkehrsablauf in Verflechtungstrecken aufgrund der Länge der Lang-Lkw von bis zu 25,25 m,
- einzelne Verkehrsflächen, vor allem die Befahrbarkeit / Benutzbarkeit der Parkstände bei Tank und Rastanlagen.
- Ein- und Ausfahren in Nothaltbuchten in Tunneln oder bei Strecken ohne Seitenstreifen bzw. mit Seitenstreifenfreigabe,

Als Ergebnis einer Literaturrecherche wurden die Fahrzeugtypen 1, 2, 3 und 5 für die Untersuchung ausgewählt. Referenzfahrzeug war ein Sattelkraftfahrzeug, da er im Vergleich zu einer Zugmaschine-Anhänger-Kombination die schlechteren Kurvenlaufeigenschaften hat (SCHNÜLL 2001, FRIEDRICH 2013).

Die Untersuchungen umfassten zwei methodisch unterschiedliche Ansätze. Zum einen wurden Verfolgungsfahrten mit dem Messfahrzeug UNO des Lehrstuhls „Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen“ durchgeführt. Zusätzlich wurden Kameras an den Lang-Lkw angebracht, die eine Beobachtung der Lkw-Achsen ermöglichten.

Das Messfahrzeug UNO war mit Stereokameras und einem inertialgestützten GPS ausgestattet. In einer webbasierten Auswertesoftware wurden die Daten der Verfolgungsfahrt ausgewertet und als Punktwolken in ein GIS-Programm übertragen. Damit konnten die Fahrbahnkanten dargestellt und Abstände ausgemessen werden. Die weitere Verarbeitung erfolgte im DXF-Format.

Die Bilder der GoPro-Kameras dienten unterstützend zur Auswertung der Abstände der Fahrzeuge zum Straßenraum. Den Bildern wurden GPS-Koordinaten zugeordnet.

Die Messungen der Fahrlinien in Pannengebieten und auf Parkständen wurden mit einem Laserscanner durchgeführt. Dieser erfasste die Fahrzeugkanten und die Geometrie der jeweiligen Verkehrsanlagen. Dadurch konnten die Schleppkurven der Fahrzeuge und die Bewegungsvorgänge auf den Verkehrsflächen dargestellt werden.

Die Messungen der Bewegungsvorgänge in Rampen, auf Ein- und Ausfädelungstreifen, in Verflechtungsbereichen und die Ein-/Abbiegevorgänge in den Anschlussstellen wurden während der täglichen Touren der Lang-Lkw durchgeführt.

Auch die Ein- und Ausparkvorgänge auf Tank- und Rastanlagen erfolgten auf den Routen, die von den Expeditionen täglich befahren wurden.

Abweichend davon wurden ausschließlich für die Versuchsdurchführung auch indirekte Rampen in Autobahnknotenpunkten befahren und Einparkvorgänge in (aus Sicherheitsgründen simulierten) Nothaltbuchten von Tunneln durchgeführt.

Die Ergebnisse sind für die jeweiligen Verkehrs-

anlagen getrennt bewertet und im Folgenden zusammengefasst. Soweit erforderlich, wurden Hinweise zu Einschränkungen für Lang-Lkw oder zur Anpassung von Verkehrsanlagen gegeben.

(indirekte) Rampen

- Die Lang-Lkw können Rampen im Zuge von Anschlussstellen und planfreien Knotenpunkten ohne Probleme befahren. Es wurden keine Überfahrungen der Fahrbahnrandmarkierung festgestellt.
- Die Fahrbahnbreiten des untersuchten Rampenquerschnittes Q 1 hatten eine große Streuungen, trotz vergleichbarer Radien. Die erforderliche Fahrbahnverbreiterung nach RAA reichte dennoch auch für Lang-Lkw aus.
- Unterschiede zwischen den einzelnen Lang-Lkw-Typen konnten nicht festgestellt werden.

Eingeengte Querschnitte in Rampen

- Querschnittseinengungen in Rampen können durch Pannenfahrzeuge, durch Betriebsdienstfahrzeuge oder durch Arbeitsstellen entstehen.
- Bei haltenden Lkw (z.B. Betriebsdienstfahrzeuge) können Lang-Lkw - wie das Referenzfahrzeug (Sattelschlepper) auch - nicht mehr vorbeifahren.
- Auf Grund der Schleppkurven von Lang-Lkw verbleiben in (indirekten) Rampen mit einem Rampenquerschnitt Q 1 eine Restnutzungsbreite von 1,1 m.

Ein- und Ausfädelungstreifen

- Die Länge der Ein- und Ausfädelungstreifen nach RAA reicht für Lang-Lkw aus.
- Bei Ausfädelungstreifen wurden - wie beim Referenzfahrzeug auch - nur geringfügige Überfahrungen der Markierung festgestellt.
- Bei Einfädelungstreifen gab es keine Überfahrungen der Fahrbahnrandmarkierung.

Verflechtungsstrecken

- Verflechtungsstrecken in planfreien Knotenpunkten können mit Lang-Lkw ohne Probleme befahren werden.
- Die Verflechtungsvorgänge werden in der Regel in der ersten Hälfte der Verflechtungstreifen abgeschlossen.
- Unterschiede zum Referenzfahrzeug waren nicht feststellbar.

Knotenpunkte / Einmündungen (Anschlussstellen) zum nachgeordneten Netz

- Rechtseinbiegevorgänge von der Autobahnausfahrt in die übergeordnete kreuzende Straße erfolgten teilweise unter Mitbenutzung der Linksabbiegefahrstreifen (detailliertere Untersuchungen im Teilprojekt 89.0284).
- Zu zeitiges Einlenken bei Ein- und Abbiegevorgängen führte zu deutlichem "Kurvenschneiden".
- Bankette wurden nicht überfahren.
- Schmale Einfahrquerschnitte bei Rechtseinbiegevorgängen verursachen die Mitbenutzung von Linksabbiegefahrstreifen. Die Einfahrquerschnitte sollten > 4,1 m sein. Die RAL gibt für die Einfahrquerschnitte eine Mindestbreite von 3,5 m aus der Fahrstreifenbreite der übergeordneten Straße.
- Bei Linksabbiegevorgängen von der übergeordneten kreuzenden Straße in die Autobahnauffahrt kam es zu keinen Überfahrungen von Markierungen mit den Rädern. Die Fahrzeugkanten überstrichen dagegen bei Ein- und Abbiegevorgängen die Markierungen.
- Plötzlich ausschwenkende Anhänger bei Typ 3 können für andere Verkehrsteilnehmer ein Sicherheitsrisiko darstellen. Nach dem Scheitelpunkt der Kurvenfahrt befindet sich das Zugfahrzeug vollständig in seinem Fahrstreifen. Der Lenkdolly kann bei Kurvenfahrten einen weiteren Bogen fahren als das Zugfahrzeug.

Parkstände auf Tank- und Rastanlagen

- Lang-Lkw sind für, nach ERS regelgerecht gestaltete, Parkstände auf Tank- und Rastanlagen zu lang.
- Aufstellwinkel von 45° führen bei Lang-Lkw sowohl bei Einpark- als auch bei Ausparkvorgängen zu Überfahrungen der Nachbarparkstände. Das gilt unabhängig von der Länge des Parkstandes.
- Flachere Aufstellwinkel für die Schrägaufstellung würden bei gleichbleibender Parkstandstiefe zu einer Vergrößerung der Parkstandslänge führen.
- Aufstellwinkel z.B. von 30° ermöglichen eine Parkstandslänge von ca. 30 m. Die Breite der Schleppkurven ist dann auch geringer.
- Bei einem langfristigen (theoretisch optionalen) Ersatz konventioneller Lkw durch Lang-Lkw reichen die zur Verfügung stehenden Parkstandsflächen wegen der erforderlichen Ummarkierung trotzdem nicht aus. Eine Ummarkierung würde immer eine Verringerung der bestehenden absoluten Parkstandsanzahl bedeuten.
- Eine Ausweitung der Parkflächen ist einer Ummarkierung bestehender Parkflächen bei nachfragestarken Rastanlagen immer vorzuziehen.

Nothaltebuchten

- Lang-Lkw ragen über Pannenbuchten in Tunneln mit Mindestmaßen nach RABT (FGSV, 2003) hinaus.
- Am kritischsten sind Lang-Lkw vom Typ 2 und 3, sie stehen bis zu 1,9 m in den durchgehenden Hauptfahrstreifen.

- Eine flacherer Einfahrtwinkel (längere Anfangsverziehung) der Nothaltebuchten würde ein besseres Einfahren ermöglichen und die volle Ausnutzung der Länge der Nothaltebucht erlauben.
- In eine Nothaltebucht mit einer Länge von rund 60 m könnten alle Lang-Lkw-Typen vollständig einfahren (maßgebend kritischer Fall: Typ 2).
- Nothaltebuchten auf der freien Strecke sind länger als Nothaltebuchten in Tunneln. Die Nothaltebuchten auf der freien Strecke haben eine flachere Anfangsverziehung. Im Analogieschluss zu den Ergebnissen der Nothaltebuchten in Tunneln können Nothaltebuchten auf der freien Strecke offensichtlich ohne Einschränkungen von Lang-Lkw genutzt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei den untersuchten Verkehrsanlagen eine differenzierte Bewertung hinsichtlich der Befahrbarkeit durch Lang-Lkw vorgenommen werden muss:

Verflechtungsbereiche, Ein- und Ausfädelungstreifen, Rampen in planfreien Knotenpunkten und in Anschlussstellen können weitgehend ohne Einschränkungen befahren werden.

Teilknotenpunkte (an Anschlussstellen) können weitgehend nur mit geringen Einschränkungen befahren werden. Hier sind kaum Unterschiede zu einem Sattelzug als Vergleichsfahrzeug erkennbar.

Dagegen reichen die Parkstandslängen auf Tank- und Rastanlagen sowie die Längen von Nothaltebuchten in Tunneln für Lang-Lkw nicht aus.

7 Literaturverzeichnis

- AKERMAN, JONSSON;
European Modular Systems for road freight transport - experiences and possibilities: <http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=390>, 2007, (2013-03-16)
- ANDERSEN, EIDHAMMER UND Sørensen:
Longer and heavier goods vehicles in Norway. Status by October 1st 2009; <https://www.toi.no/article/27945-29.html>, (2013-03-07)
- ARTS, HONER:
Longer and Heavier Vehicles in the Netherlands; <http://www.ems-france.org/uploads/Rapport%20EN%20LHVs%20in%20the%20Netherlands%20final.pdf>; 2010, (2013-03-14)
- BAST - BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN:
Mittelfristige Forschungsplanung 2011 / 2015; http://www.bast.de/nn_171740/DE/Publikationen/Broschueren/Dokumente/forschungsplanung-2011-2015, (2013-07-18)
- BAST - BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN:
Teilnahme am Feldversuch – Ein Leitfaden; <http://www.muenchen.ihk.de/de/standortpolitik/Verkehrsnetze/Gueterverkehr/Bundesweiter-Feldversuch-mit-Lang-Lkw>, (2013-07-18)
- BACHMAN U.A.: Gutachten Wissenschaftliche Begleitstudie zum Feldversuch des verlängerten Aufliegerkonzeptes (Eurotrailer); Institut für Kraftwesen Aachen
Geschäftsbereich Fahrwerk, Aachen, 2007
- BUNDESVERBAND GÜTERKRAFTVERKEHR LOGISTIK UND ENTSORGUNG (BGL) E.V.:
BGL-Jahresbericht 2011/2012; <http://www.bgl-ev.de/web/ueber/jahresbericht.htm>, (2013-03-16)
- BUNDESVERBAND GÜTERKRAFTVERKEHR LOGISTIK UND ENTSORGUNG (BGL) E.V.:
Stellungnahme BGL; <http://www.euro-combi.de/publikationen.php>, (2013-03-07)
- BMVBS - BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG:
„Feldversuch Lang-Lkw“; [http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/ Artikel/LA/lang-lkw-feldversuch.html](http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/LA/lang-lkw-feldversuch.html), (2013-03-07)
- BMVBS - BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG:
Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO); http://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/, 2011, (2013-03-07)
- BMVBS - BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG:
Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (Lkw-ÜberlStVAusV); http://www.gesetze-im-internet.de/lkw_berlstausnv/index.html#BJNR614410011BJNE000200000, 2012, (2013-03-19)
- BUNDESVERBAND GROSßHANDEL, AUßENHANDEL, DIENSTLEISTUNGEN E.V.:
Positionspapier: 60-Tonnen-Lkw - Das Europäische Modulare System (EMW); <http://www.euro-combi.de/publikationen.php>, (2013-03-11)
- CEUSTER AT AL.:
Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles as established within Directive 96/53/EC; <http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/studies/>, 2008, (2013-03-10)
- CHRISTIDIS, LEDUC:
Longer and Heavier Vehicles for freight transport: http://ec.europa.eu/transport/modes/road/weights-and-dimensions_en.htm, 2009, (2013-03-07)

- COUNCIL OF MINISTERS OF TRANSPORTATION AND HIGHWAY SAFETY:
Summary Information on MOU National Standards - December 2011;
<http://www.comt.ca/english/programs/trucking/standards.html>, (2013-03-10)
- EG - EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFTEN:
Richtlinie 96/53/EG des Rates vom 25. Juli 1996 zur Festlegung der höchstzulässigen Abmessungen für bestimmte Straßenfahrzeuge im innerstaatlichen und grenzüberschreitenden Verkehr in der Gemeinschaft sowie zur Festlegung der höchstzulässigen Gewichte im grenzüberschreitenden Verkehr; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, Nr. L 235/59, 1996
- O. EIDHAMMER, M. SORENSEN, J. ANDERSEN;
Longer an heavier goods vehicles in Norway. Status by October 1st 2009;
<https://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/2009/1040-2009/1040-2009-Sum.pdf>, 2009, (2013-03-07)
- EUROPEAN TRANSPORT SAFETY COUNCIL - ETSC;
ETSC Position on Longer and Heavier Goods Vehicles on the roads of the European Union;
<http://www.etsc.eu/documents.php?did=3>, 2011, (2013-03-07)
- FKA FORSCHUNGSGESELLSCHAFT KRAFTFAHRWESEN MBH AACHEN:
Roadtrain-Konzept für den europäischen Güterverkehr; <http://www.euro-combi.de/publikationen.php>, 2005, (2013-03-11)
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.),
Arbeitsgruppe Straßenentwurf: Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Verlag, Köln, 2001
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRABEN- UND VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.),
Arbeitsgruppe Straßenentwurf: Empfehlungen für Rastanlagen an Straßen (ERS); Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Verlag, Köln, 2011
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRABEN- UND VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.),
Arbeitsgruppe Straßenentwurf: Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA); Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Verlag, Köln, 2008
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRABEN- UND VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.),
Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit: Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT); Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Verlag, Köln, 2003
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRABEN- UND VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.),
Arbeitsgruppe Straßenentwurf: Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt); Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Verlag, Köln, 2006
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRABEN- UND VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.),
ARBEITSGRUPPE STRABENENTWURF: Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA); 4. Auflage, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Verlag, Köln, 2010
- GLAESER U A.:
"Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes", im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen – BAST, Schlussbericht, Bergisch Gladbach, 2006

GLAESER U A.:

"Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes", im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen – BASt, Schlussbericht, Bergisch Gladbach, 2008

HONER:

Experiences with Longer and Heavier Vehicles (LHV's) in the Netherlands;
<http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=4014>; Rijkswaterstaat Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2010, (2013-03-15)

ISIKLAR:

Simulation of complex articulated commercial vehicles for different driving manoeuvres;
<http://alexandria.tue.nl/repository/books/673465.pdf>; Eindhoven University of Technology, 2007, (2013-03-24)

KÖGEL:

Vorteile des Kögel Euro Trailer;
<http://www.koegel-trailer.com/de/produkte/speditionsgewerbe/koegel-euro-trailer/vorteile.html>, (2013-03-19)

LIENKAMP U.A.: Lang-Lkw: Auswirkung auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt; Schlussbericht der Technische Universität München, 2013

MCKINNON ET AL.:

Longer and/or Longer and Heavier Goods Vehicles (LHVs) - a Study of the Likely Effects if Permitted in the UK: Final Report;
www.nomegatrucks.eu/deu/service/download/trl-study.pdf, 2008, (2013-03-24)

OEHRH, LUETHI:

Gigaliner Verkehrstechnische Beurteilung; Rapp Trans im Auftrag Bundesanstalt für Strassen (ASSTRA)
<http://www.astra.admin.ch/themen/schwerverkehr/04298/index.html?lang=de> Basel, 2011, (2013-03-15)

SCHNÜLL, HOFFMANN, KÖLLE UND 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

STRASSENVERKEHRS-ZULASSUNGS-ORDNUNG (StVZO):

Fassung der Bekanntmachung vom 28. September 1988 (BGBl. I S. 1793), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 13. Januar 2012 (BGBl. I S. 103) geändert worden ist.

STÜRMER, WANGRIN, WÖHRMANN:

Abschlussbericht NRW Modellversuch - Technische Erprobung von Fahrzeugkombinationen mit einer Gesamtlänge bis 25,25 m ("Gigaliner"); 2009,
<http://www.allianz-pro-schiene.de/entgleist/abschlussbericht-nrw-modellversuch-gigaliner.pdf>, (2013-03-20)

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY:

States that Allow Longer Combination Vehicles;
http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/facts/2006_fcvt_fotw411.html, (2013-03-07)

VDA PRESSE:

Fakten und Argumente zum Öko-Laster;
http://www.logistik-tv.net/lang-lkw-klima-schutz-verkehrswachstum-vda-verkehrstraeger-_id186.html (sic), (2013-03-20)

ZIMMERMANN, CINDRIC-MIDDENDORF:

Festlegung der Einsatzbereiche für Rampentypen gemäß RAA unter Berücksichtigung der Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und Geschwindigkeit sowie anhand der Verkehrssicherheit (Schlussbericht); Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Karlsruhe, 2011

Die Anlagen 1 bis 3.6 auf den Seiten 51-159 befinden sich in der zweiten pdf-Datei

1 - Fahrzeugtechnik/ Untersuchungen

2 - Verkehrsanlagen auf Autobahnen

3 – Messergebnisse

3.1 Durchgeführte Verfolgungsfahrten

3.2 Untersuchte Rampen

3.3 Rampen in planfreien Knotenpunkten und Anschlussstellen

3.4 Ein- und Abbiegen in das untergeordnete Netz

3.5 Befahrbarkeit von Nothaltebuchten

3.6 Befahrbarkeit von Tank- und Rastanlagen

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2010

V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00

V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50

V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl
Lank, Steinauer, Busen € 29,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008
Fitschen, Nordmann € 27,00
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme
Gärtner, Egelhaaf € 14,00

V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen
Klöckner € 14,50

V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50

V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Londong, Meyer € 29,50

V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung
Bark, Kutschera, Baier, Klemp-Kohnen € 16,00

V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008
Lensing € 16,50

V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50

V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2006/2007
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

V 200: Ermittlung von Standarts für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen
Bäumer, Hautzinger, Kathmann, Schmitz, Sommer, Wermuth € 18,00

V 201: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen
Vieten, Dohmen, Dürhager, Legge € 16,00

2011

V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM10-Belastung
Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann, Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00

V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit
Dohmen, Vieten, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM10-Belastung
Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009
Fitschen, Nordmann € 27,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN
Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50

V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen
Becker € 16,00

V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten
Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50

V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2008/2009
Beer, Surkus, Kocher € 14,50

2012

V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)
Maier, Berger € 18,50

V 211: Innliegende Linkseinfädelungstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete
Richter, Neumann, Zierke, Seebo € 17,00

V 212: Anlagenkonzeption für Meisteregehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB
Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00

V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren
Schmellekamp, Tegethof
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 215: Stauprävention auf BAB im Winter
Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00

V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)
Lippold, Weise, Jähig € 17,50

V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen
Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase, Fohlmeister, Häckelmann € 18,50

V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzungen
Hausmann € 16,00

V 219: Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter
Roos, Zimmermann, Schulz, Riffel € 16,50

2013

V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie
Pöpping, Pollack, Müller € 16,00

V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS
Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil, Rehberger € 19,50

V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010
Fitschen, Nordmann € 16,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Auf-
haltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00

V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst –
Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken
Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50

V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Land-
straßen
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00

V 227: Radpotenziale im Stadtverkehr
Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann,
Mahlau, Gässler € 17,00

V 228: Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr
Baier, Göbbels, Klemps-Kohnen € 15,50

V 229: Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Mess-Sys-
temen
Schmidt, Frenken, Hellebrandt, Regniet, Mahmoudi € 20,50

V 230: Verkehrsadaptive Netzsteuerungen
Hohmann, Giuliani, Wietholt € 16,50

V 231: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011
Fitschen, Nordmann € 28,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 232: Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelge-
mischen für Markierungssysteme
Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50

V 233: Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse
Lensing € 16,00

V 234: Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik
Lensing € 17,50

2014

V 235: Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahr-
bahnmarkierungen bei Nässe
Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00

V 236: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2012
Fitschen, Nordmann € 28,50
Die Ergebnisdateien sind auch als CD erhältlich oder können au-
ßerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de
heruntergeladen werden.

V 237: Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nach-
weis der Wirksamkeit von Grünbrücken für die Wiedervernetzung
im Rahmen der KP II – Maßnahmen
Bund-Länder Arbeitskreis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden. Der Anhang ist
interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.

V 238: Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebs-
dienst – Sommerdienst
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 239: Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmar-
kierungen
Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00

V 240: Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und
Einsatzgrenzen
Baier, Leu, Klemps-Kohnen, Reinartz, Maier, Schmotz € 23,50

V 241: Rastanlagen an BAB – Verbesserung der Auslastung und
Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme
Kleine, Lehmann, Lohoff, Rittershaus € 16,50

V 242: Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhöhe und Bodenin-
dikatoren an Überquerungsstellen
Boenke, Grossmann, Piazzolla, Rebstock,
Herrnsdorf, Pfeil € 20,00

V 243: Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen
über den gesamten Lebenszyklus
Balmberger, Maibach, Schüller, Dahl, Schäfer € 17,50

V 244: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013
Fitschen, Nordmann € 28,50

V 245: Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunk-
te mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs
Friedrich, Hoffmann, Axer, Niemeier, Tengen, Adams, Santel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 246: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in
Einfahrten auf Autobahnen
Kathmann, Roggendorf, Kemper, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 247: Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw
Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 248: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlage-
ermittlung
Burg, Röhling
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2015

V 249: Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsge-
richteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen
Schlag, Voigt, Lippold, Enzfelder in Vorbereitung

V 250: Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen
mit Lang-Lkw
Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.