

Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 245

bast

Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs

von

Bernhard Friedrich
Stephan Hoffmann
Steffen Axer

TU Braunschweig
Institut für Verkehr und Stadtbauwesen

Wolfgang Niemeier
Dieter Tengen

TU Braunschweig
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

Christian Adams
Gerko Santel

SHP Ingenieure
Hannover

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 245

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 77.0501/2010:
Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher
Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs

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 978-3-95606-135-6

Bergisch Gladbach, November 2014

Kurzfassung – Abstract

Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs

Das übergeordnete Ziel bestand in einer vertieften Analyse der vorliegenden Defizite bzgl. der Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten. Darüber hinaus standen auch die Prüfung der Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs sowie die Prüfung ausgewählter plangleicher Knotenpunkte im Fokus der Untersuchungen.

Im Rahmen einer Online-Befragung von ca. 250 Dienststellen von Straßenbaubehörden in Ländern und Kommunen konnten nur wenige Probleme bei der Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten ermittelt werden. Der Kreisverkehr ist der am häufigsten betroffene Knotenpunkttyp. Häufig führt auch die falsche Wahl des Bemessungsfahrzeugs zu Problemen bzgl. der Befahrbarkeit.

Eine grundlegende, für Schäden an Knotenpunkten verantwortliche, Veränderung der Fahrzeugabmessungen in den letzten 15 Jahren konnte für die Fahrzeuge des Schwerverkehrs nicht ermittelt werden. Auffällig ist jedoch für die Fahrzeuggruppe der Lastzüge der deutlich gestiegene Anteil von Lastzügen mit Zentralachsanhänger. Im Rahmen der Neudefinition von Bemessungsfahrzeugen des Schwerverkehrs wurde dieser Fahrzeugtyp daher berücksichtigt.

Der Vergleich der praktisch durch Fahrversuche ermittelten Schleppkurven mit den theoretisch mittels Schleppkurvensimulationen erzeugten Schleppkurven zeigt nur sehr geringe Abweichungen. Schleppkurvensimulationen stellen somit bei richtiger Anwendung ein geeignetes Mittel zum Nachweis der Befahrbarkeit von Knotenpunkten dar.

Die auf Basis der Fahrversuche durchgeführten vergleichenden Betrachtungen zeigten deutlich, dass verschiedene Leitlinien für unterschiedliche Fahrzeuge, Geschwindigkeiten und Fahrmanöver gewählt werden. Es zeigte sich jedoch auch, dass für bestimmte Fahrzeugkombinationen (Sattelzug mit Liftachse, Sattelzug mit verlängertem Auflieger) und Fahrmanöver nur ein kleiner „Korridor“ für eine problemlose Befahrung zur Verfügung steht. Abwei-

chungen hiervon führen dann in der Praxis häufig zu Schäden.

Die Untersuchungen haben auch gezeigt, dass für eine Aussage bzgl. der Befahrbarkeit ein Schleppkurvennachweis unbedingt erforderlich ist. Allein der Nachweis der Befahrung des BO-Kraftkreises reicht hierfür nicht aus. Für selten auftretende Fahrzeugtypen bzw. Fahrzeugkombinationen gilt es abzuwägen, ob durch geeignete entwurfstechnische Maßnahmen die Befahrbarkeit verbessert werden kann, ohne die Verkehrssicherheit negativ zu beeinflussen.

Examination of the maneuverability of at grade intersections with heavy vehicles

The project focused on the examination of the maneuverability of at grade intersections with heavy goods vehicles. Therefore the aim of the research project was to analyze the deficits in geometric design of at grade junction in urban and nearby urban areas concerning the maneuverability with heavy goods vehicles. In addition to this, the dimensions of the German design vehicles (FGSV, 2001) should be proved.

Based on comprehensive on-line questioning of about 250 federal and local road authorities it could be shown, that only a small number of road authorities is involved in problems concerning the maneuverability of at grade intersections with heavy trucks. Most often small roundabouts caused problems. In some cases the wrong choice of the design vehicle is responsible for the damage at the road infrastructure.

However, the dimensions of the design vehicles for the heavy goods vehicles did not change for the past 15 years. However, more than before truck-trailer combinations with central axis were covered during the empirical studies. If the German design vehicles will be updated in the future, it is recommended, to add this special type of truck-trailer combination in the catalogue.

By comparing theoretical (by software) and practical (by road trials using differential global positioning system) turning templates it could be

shown, that software and trial swept path differ only a few centimeter. Curve simulations by software show therefore with right use suitable means to proof the practicability at grade intersections.

The systematic comparison of different heavy goods vehicles showed strong differences concerning the space consumption for example by driving into a small roundabout or an intersection. These differences are based on the different physical characteristics of the heavy goods vehicles with different length, different wheelbase and different overhang (front and rear).

The different heavy goods vehicles used different trajectories by driving through the different road facilities. The practical road trials also showed different trajectories for various driving speeds and various driving maneuvers.

For some types of heavy goods vehicles it could be shown (articulated vehicle with longer semi-trailer, articulated vehicle with trailer and lifted axle), that only a small corridor is available by using the road facility. Minor deviations from this corridor could cause damages at the infrastructure.

For unusual or unfrequent heavy goods vehicles it should be proved, if adequate design can avoid problems without making worse traffic safety.

Inhalt

1	Problemstellung und Zielsetzung . . .	7	6.2.2	Ableitung von Knotenpunkten für die Fahrversuche.	29
2	Methodisches Vorgehen	9	6.2.3	Vorbereitung der Fahrversuche	30
3	Stand der Wissenschaft und Technik	10	6.2.4	Durchführung der Fahrversuche.	32
3.1	Grundlagen für den Entwurf von Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten	10	6.3	Theoretische Ermittlung von Schleppkurven mittels Simulationssoftware	34
3.2	Bemessungsfahrzeuge in Deutschland	12	6.3.1	Grundlagen.	34
3.3	Sattelzug mit verlängertem Sattelaufleger.	14	6.3.2	Programmsystem CARD/1	34
3.4	Autotransporter.	16	6.3.3	Programmsystem VESTRA PRO	36
3.5	Zusammenfassung und Fazit	18	6.3.4	Vergleich der Programmsysteme und Auswahl einer Simulationssoftware	37
4	Umfrage zur Ermittlung problem-behafteter Knotenpunkte	18	6.3.5	Zusammenfassung	37
4.1	Methodisches Vorgehen.	18	6.4	Vergleich der praktisch und theoretisch ermittelten Schleppkurven	38
4.2	Vorbereitung und Durchführung	18	6.4.1	Methodisches Vorgehen.	38
4.3	Ergebnisse	19	6.4.2	Sattelzug.	39
4.4	Zusammenfassung und Fazit	22	6.4.3	Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse	40
5	Überprüfung der Bemessungsfahrzeuge für den Schwerverkehr.	23	6.4.4	Sattelzug mit verlängertem Auflieger	42
5.1	Methodisches Vorgehen.	23	6.4.5	Lastzug mit Zentralachsanhänger	44
5.2	Ergebnisse	23	6.4.6	Zusammenfassung und Fazit	46
5.2.1	Fahrzeugklasse Sattelzug	23	6.5	Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten auf die Befahrbarkeit von Knotenpunkten	47
5.2.2	Fahrzeugklasse Lastzug.	25	6.5.1	Methodisches Vorgehen.	47
5.3	Berechnung und Definition von Bemessungsfahrzeugen.	26	6.5.2	Einmündung 60 gon	48
5.4	Zusammenfassung und Fazit	27	6.5.3	Einmündung 80 gon	50
6	Praktische und theoretische Ermittlung von Schleppkurven	28	6.5.4	Einmündung 100 gon	50
6.1	Methodisches Vorgehen.	28	6.5.5	Kleiner Kreisverkehr.	51
6.2	Praktische Ermittlung von Schleppkurven mittels Fahrversuchen	28	6.6	Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie.	51
6.2.1	Allgemeines	28	6.6.1	Einmündung 60 gon	51
			6.6.2	Einmündung 80 gon	52
			6.6.3	Einmündung 100 gon	52
			6.6.4	Kleiner Kreisverkehr	52

6.7	Zusammenfassung und Fazit	52	8.1.7	Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie	80
7	Überprüfung der Befahrbarkeit ausgewählter plangleicher Knotenpunkte mittels Schleppkurvenprogrammen	53	8.1.8	Flächeninanspruchnahme ausgewählter Fahrzeuge des Schwerverkehrs	80
7.1	Methodisches Vorgehen	53	8.2	Empfehlungen	81
7.2	Überprüfung von Problemknotenpunkten aus der Online-Befragung	54	8.3	Ausblick	83
7.2.1	Überprüfung der Knotenpunktgeometrie	54	9	Literatur	83
7.2.2	Auswahl des Bemessungsfahrzeuges	56	Anlagen	87	
7.2.3	Überprüfung der Problemknotenpunkte aus der Online-Befragung	57			
7.2.4	Zwischenfazit	65			
7.3	Systematischer Vergleich der Flächeninanspruchnahme verschiedener Fahrzeuge des Schwerverkehrs	65			
7.3.1	Methodisches Vorgehen	65			
7.3.2	Fahrzeuge	65			
7.3.3	Knotenpunkte und Fahrbeziehungen	68			
7.3.4	Flächeninanspruchnahme	69			
7.3.5	Zwischenfazit	76			
8	Zusammenfassung, Empfehlungen und Fazit	77			
8.1	Zusammenfassung	77			
8.1.1	Ausgangslage	77			
8.1.2	Stand der Wissenschaft und Technik	77			
8.1.3	Online-Umfrage zur Ermittlung problembehafteter Knotenpunkte	78			
8.1.4	Überprüfung der Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs	78			
8.1.5	Praktische und theoretische Ermittlung von Schleppkurven	79			
8.1.6	Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten auf die Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten	79			

1 Problemstellung und Zielsetzung

In den derzeit gültigen Richtlinien und Empfehlungen für den Straßenentwurf werden für die Bemessung fahrgeometrischer Bewegungsräume standardisierte Bemessungsfahrzeuge definiert, die zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Entwurfs-elementen bzw. von Straßenverkehrsanlagen für den fließenden und den ruhenden Kraftfahrzeugverkehr herangezogen werden. Die Bemessungsfahrzeuge sind mit ihren äußeren Abmessungen als repräsentativ für ihre jeweilige Fahrzeuggruppe zu betrachten. Sie stellen in der Regel aber nicht das Maximalfahrzeug dar.

Neben den äußeren Abmessungen ist für den Bewegungsablauf eines Kraftfahrzeugs während einer Kurvenfahrt die sichelförmige Verbreiterung der überstrichenen Fläche durch das nachlaufende kurveninnere Hinterrad charakteristisch. Hierdurch ergibt sich in Abhängigkeit vom Kraftfahrzeug und der Fahrweise eine fahrzeugspezifische Schleppkurve.

Die zurzeit in Deutschland für die fahrgeometrische Bemessung geltenden Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs basieren auf umfangreichen Auswertungen und Analysen aus den Jahren 1999/2000 (SCHNÜLL, HOFFMANN, KÖLLE, ENGELMANN). Aufgrund der sehr umfangreichen Produktpaletten für die Fahrzeuggruppen der dreiachsigen Lastkraftwagen und der Fahrzeugkombinationen (Auflieger, Anhänger, Kupplungsarten) ist eine eindeutige Dokumentation der Fahrzeugabmessungen auf der Grundlage der Herstellerinformationen für diese Fahrzeuggruppen nicht möglich. Diese Vielfalt wird durch die unterschiedlichen Fahrzeugaufbauten noch vergrößert. Die Fahrzeugabmessungen für dreiachsige Lastkraftwagen und für die Fahrzeugkombinationen der verschiedenen Last- und Sattelzüge wurden deshalb seinerzeit mittels empirischer Untersuchungen auf Rastanlagen an Bundesautobahnen erhoben.

Zur Definition von Bemessungsfahrzeugen wurden anschließend aus dem Kollektiv der Fahrzeuge einer Gruppe diejenigen Fahrzeuge ausgewählt, die aufgrund ihrer Abmessungen annähernd einem „85%-Fahrzeug“ entsprechen. Als „85%-Fahrzeug“ wurde dabei dasjenige Fahrzeug definiert, welches von den 85%-Quantilen der Teillängen die geringste Abweichung besitzt. Dieses Vorgehen ist erforderlich, weil Straßenverkehrsanlagen aus ökologischen und ökonomischen Gründen sowie aus

Gründen der Verkehrssicherheit nicht mit einem selten auftretenden Maximalfahrzeug bemessen werden sollen.

In den letzten Jahren haben sich die Abmessungen der Nutzfahrzeuge über 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht durch fahrzeugtechnische Entwicklungen und neue Logistikkonzepte ständig verändert und weiterentwickelt. Der Gesetzgeber ist diesen Entwicklungen auch unter dem Aspekt der Harmonisierung innerhalb der Europäischen Union (EU) gefolgt, indem die maximalen Fahrzeugabmessungen – soweit vertretbar – entsprechend angeglichen wurden. Sie werden durch den Gesetzgeber im § 32 der Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) vorgegeben.

Die derzeit geltenden Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs (Last- und Sattelzüge) entsprechen mit ihren Abmessungen nahezu den nach der StVZO zulässigen Maximalwerten. So weist das Bemessungsfahrzeug Lastzug¹ eine Länge von 18,71 m (maximal zulässige Länge nach StVZO: 18,75 m) und das Bemessungsfahrzeug Sattelzug eine Länge von 16,50 m (maximal zulässige Länge nach StVZO: 16,50 m) auf. Ladungsüberhänge oder auch Fahrzeuge mit Ausnahmegenehmigungen (Großraum- und Schwertransporte) werden in diesem Zusammenhang nicht berücksichtigt.

Die Flächeninanspruchnahme eines Kraftfahrzeugs hängt jedoch nicht nur von den äußeren Abmessungen ab. Für das Befahren von Kurven sind neben den äußeren Abmessungen vor allem der maximale Einschlagwinkel, der Radstand sowie der vordere und hintere Überhang des Fahrzeugs von Bedeutung. Bei Lastzügen spielen zusätzlich die Kupplungsart, die Deichsellänge und der Radstand sowie der vordere und hintere Überhang des Anhängers eine entscheidende Rolle. Ähnlich verhält es sich bei den Sattelzügen oder auch Gelenkminibussen. Im § 32 der StVZO wird daher neben den zulässigen Abmessungen auch der sogenannte BO-Kraftkreis definiert, den alle Kraftfahrzeuge, die nach der StVZO zugelassen werden, durchfahren können müssen.

Die Nutzfahrzeughersteller haben durch fahrzeugtechnische Veränderungen die Kurvenlaufeigenschaften ständig verbessert. So wird heutzutage beispielsweise durch den Einsatz von Nachlauf-

¹ Lastzug oder gleichbedeutend Gliederzug

achsen bei Lastkraftwagen und Bussen die Flächeninanspruchnahme bei einer Kurvenfahrt deutlich verringert. Gleiches gilt auch für Lastzüge, bei denen mit neuen Kupplungsarten und Anhängerarten eine Verbesserung der Kurvenlaufeigenschaften erreicht wird. Durch die Einführung mehrerer aktiv gelenkter Achsen wurde auch die Flächeninanspruchnahme von drei- bzw. vierachsigen Einzelfahrzeugen verändert. Weiterhin verfügen Nutzfahrzeuge mit Liftachsen, die in Abhängigkeit vom tatsächlichen Gesamtgewicht angehoben oder auf die Fahrbahn abgesenkt werden können, über verschiedene Kurvenlaufeigenschaften. Mit vielen Nutzfahrzeugkombinationen lassen sich deshalb sehr viel bessere Kurvenlaufeigenschaften erreichen, als nach der StVZO einzuhalten sind.

Dennoch werden aus der Praxis vereinzelt immer wieder Probleme hinsichtlich der Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs berichtet. In diesem Zusammenhang ist jedoch unklar, ob dies lediglich auf ältere Knotenpunkte zutrifft, die nach den damaligen gültigen Regelwerken entworfen und gebaut wurden, oder auch auf gemäß dem gültigen Regelwerk hergestellte Knotenpunkte. Unklar ist auch, welche Nutzfahrzeuge bzw. Fahrzeuge des Schwerverkehrs Probleme bei der Befahrbarkeit haben und inwieweit diese Fahrzeuge durch die definierten Bemessungsfahrzeuge ausreichend gut repräsentiert werden.

Fazit

- Die im Regelwerk der FGSV verankerten Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs entsprechen mit ihren Längen- und Breitenabmessungen nahezu den nach der StVZO einzuhaltenden Maximalwerten. Unklar ist, inwieweit die Abmessungen der Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs aus dem Jahr 2001 noch den aktuellen Nutzfahrzeugbestand (Stand 2012) repräsentieren. Aktuelle Untersuchungen für die Gruppe der Pkw (SCHUSTER, SATTLER, HOFFMANN, 2011) zeigen hier deutliche Veränderungen der Fahrzeugabmessungen.
- Das Regelwerk für den Entwurf von plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten (FGSV, 2006c) berücksichtigt die Flächeninanspruchnahme der Bemessungsfahrzeuge bei der Kurvenfahrt. Dennoch werden aus der Praxis vereinzelt Pro-

bleme bzgl. der Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten kommuniziert. Inwieweit diese Problematik auf veränderte Fahrzeuge des Schwerverkehrs, falsch dimensionierte Straßenverkehrsanlagen oder auch auf Fehler bzw. Probleme bei der Befahrung zurückzuführen sind, kann zurzeit nicht abschließend beantwortet werden.

- Bislang nicht abschließend untersucht ist die Fragestellung, inwieweit die mittels Straßenentwurfs- bzw. Schleppkurvensoftware erzeugten Schleppkurven den in der Realität erzeugten Schleppkurven entsprechen bzw. inwieweit das Fahrverhalten in der Praxis ausreichend genau und realitätsnah von den verschiedenen Programmen abgebildet wird.
- Unklar sind in diesem Zusammenhang auch die Auswirkungen von Ladungsüberhängen sowie dem immer wieder zu beobachtenden Anheben einzelner Achsen von Sattelaufliegern (veränderte Radstände). Unklarheiten bestehen vereinzelt auch noch bzgl. der Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten mit Lang-Lkw.

Das Ziel der Forschungsarbeit ist zunächst eine detaillierte Analyse der in der Praxis auftretenden Schäden an plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten. Anschließend erfolgt die Prüfung der Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs (Fahrzeugkombinationen Last- und Sattelzug) auf ihre Repräsentativität und gegebenenfalls eine Neudefinition der bestehenden Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs.

Hieran anschließend soll die Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten mit den vorab definierten Fahrzeugen des Schwerverkehrs überprüft werden. Neben Schleppkurvenuntersuchungen sollen auch praktische Fahrversuche mit exemplarisch ausgewählten Fahrzeugen durchgeführt werden.

Sofern die Probleme bei der Befahrbarkeit lediglich bei älteren Knotenpunkten bestehen, sollen im Rahmen des Projekts geeignete entwurfstechnische Maßnahmen erarbeitet werden, mit denen eine Anpassung an die im geltenden Entwurfsregelwerk der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) beschriebenen Entwurfselemente der jeweiligen Knotenpunkte möglich ist. Sind von der beschriebenen Problematik auch Knotenpunkte betroffen, die nach dem aktuellen bzw. geltenden Regelwerk gestaltet wurden,

sollen im Rahmen des Projekts mögliche Ursachen für die Probleme bei der Befahrung evaluiert werden und hierauf aufbauend Vorschläge zum weiteren Vorgehen abgeleitet werden. Denkbar wären in diesem Zusammenhang beispielsweise die Definition von neuen Bemessungsfahrzeugen oder auch eine Modifikation der bestehenden Bemessungsfahrzeuge sowie die Überarbeitung der Entwurfsgrundlagen für innerörtliche Knotenpunkte.

2 Methodisches Vorgehen

Die im Rahmen der Forschungsarbeit gewählte Methodik ist im Bild 1 zusammenfassend dargestellt. Die einzelnen Arbeitsschritte werden im Folgenden kurz beschrieben. Weiterführende Angaben zum gewählten methodischen Vorgehen finden sich in den Darstellungen innerhalb der einzelnen Arbeitsschritte.

Im Arbeitsschritt 1 wird der aktuelle Stand der Wissenschaft und Technik der zu untersuchenden Problematik zusammenfassend dargestellt. Der Schwerpunkt der Ausführungen liegt hier in der Darstellung aktueller Fahrzeugentwicklungen und Fahrzeugkombinationen.

Zur Identifizierung von Problemen hinsichtlich der Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs müssen neben den Verkehrsanlagen (Knotenpunkte innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten) auch die Fahrzeuge des Schwerverkehrs detailliert analysiert werden (Arbeitsschritt 2). Hierauf aufbauend ist abschließend eine fundierte und abgesicherte Bewertung der Problemlage möglich.

Für die Identifizierung problembehafteter innerörtliche Knotenpunkte bzw. einzelner Entwurfs-elemente ist die Einbindung von Kommunen unbedingt erforderlich. Hierfür wird eine schriftliche Befragung (Online-Befragung) in den Straßenbauverwaltungen der Länder sowie in einer Reihe von Kommunen durchgeführt. Durch die Befragung können die Probleme sowie typische Schadensbilder im Detail identifiziert werden.

Als Ergebnis der Befragung stehen nach entsprechender Clusterung der Problemlagen bzw. Schadensbilder an den verschiedenen Knotenpunkttypen vereinzelte problembehaftete Knotenpunkte für die folgenden Arbeitsschritte zur Verfügung. Darüber hinaus sollen aus der Kurzbefragung evtl.

vorhandene Hinweise aus der Praxis bzgl. des Umgangs mit dem bestehenden Regelwerk ermittelt werden. Für die Formulierung von Entwurfsempfehlungen und die Fortschreibung des Regelwerkes sind diese Hinweise äußerst wertvoll.

Neben den entwurfstechnischen müssen auch die fahrzeugtechnischen Grundlagen erhoben werden. Hierfür ist eine Analyse der Abmessungen von Fahrzeugen des Schwerverkehrs vorzunehmen. In Anlehnung an die Methodik von SCHNÜLL, HOFFMANN und KÖLLE (2001) werden die Abmessungen für die Fahrzeugkombinationen Sattelzug und Lastzug auf der Basis von empirischen Untersuchungen gewonnen. Die Erfassung der Fahrzeugabmessungen erfolgt dabei auf Rastanlagen an Bundesautobahnen sowie bei Speditionen in Braunschweig.

Nach Zusammenführung der Ergebnisse der Städteteumfrage und der Analyse der Fahrzeugabmessungen können die Probleme bzgl. der Befahrbarkeit umfassend beschrieben und dargestellt werden.

Im Mittelpunkt des Arbeitsschrittes 3 steht die praktische und theoretische Ermittlung von Schleppkurven. Für einen Abgleich der mittels Schleppkurvensoftware ermittelten fahrgeometrischen Bewegungsräume mit dem realen Fahrverhalten von Fahrzeugen des Schwerverkehrs ist die Durchführung von Fahrversuchen mit ausgewählten Fahrzeugen vorgesehen. Die Erfassung der Schleppkurven bzw. die Bestimmung der Flächeninanspruchnahme (Hüllkurven) während der verschiedenen Testfahrten wird dabei mittels GPS-Messtechnik vorgenommen. Durch den Vergleich der modelltechnisch ermittelten Schleppkurven mit den empirisch ermittelten Schleppkurven kann anschließend bestimmt werden, inwieweit „Theorie“ und „Praxis“ aufeinander abgestimmt sind bzw. welche Probleme hieraus resultieren.

Aufbauend hierauf erfolgt im Arbeitsschritt 4 die Überprüfung der Befahrbarkeit problembehafteter plangleicher Knotenpunkte mit ausgewählten Fahrzeugen des Schwerverkehrs sowie Sonderfahrzeugen. Aus diesen vergleichenden Untersuchungen werden die wesentlichen Ergebnisse zusammengetragen und kritisch gewürdigt.

Nach Abschluss der Arbeiten in den vorangegangenen Arbeitsschritten werden die Ergebnisse zusammenfassend gegenübergestellt und bewertet (Arbeitsschritt 5). Hierauf aufbauend werden bei Bedarf Empfehlungen und Entwurfshinweise für



Bild 1: Methodisches Vorgehen im Rahmen des FE 77.0501/2010

den Entwurf und die Gestaltung von plangleichen Knotenpunkten erarbeitet, die künftig eine verbesserte Befahrung von plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten ermöglichen und bislang auftretende Schadensbilder eliminieren.

3 Stand der Wissenschaft und Technik

3.1 Grundlagen für den Entwurf von Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten

Die maßgebenden Grundlagen für den Entwurf von plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten finden sich in den Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt) (FGSV, 2006c) und dem Merkblatt für kleine Kreisverkehre (FGSV, 2006b).

Nach den RAST müssen Knotenpunkte grundsätzlich

- aus allen Knotenpunktzufahrten rechtzeitig erkennbar sein,
- begreifbar sein, um für alle Verkehrsteilnehmer die Bevorrechtigung, mögliche Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern sowie Einordnungs- und Abbiegemöglichkeiten zu verdeutlichen,
- so übersichtlich sein, dass zumindest alle Wartepflichtigen bei der Annäherung an einen Gefahrenpunkt die bevorrechtigten Verkehrsteilnehmer rechtzeitig sehen können,
- gut und sicher befahrbar bzw. begehbar sein.

Bezüglich der Befahrbarkeit führt die RAST weiter aus: Das größte nach der StVZO zulässige Fahrzeug muss – sofern es nicht das Bemessungsfahrzeug ist oder das Auftreten dieses Fahrzeugs nicht ausgeschlossen werden kann – den Knotenpunkt in

allen zugelassenen Fahrrichtungen zumindest mit geringer Geschwindigkeit und gegebenenfalls unter Mitbenutzung von Fahrstreifen des Gegenverkehrs befahren können. Kreisverkehre sollen darüber hinaus auch von Sonder- oder Militärfahrzeugen (FGSV, 1996) befahren werden können.

Bei Einmündungen und Kreuzungen sind die geometrischen Verhältnisse mit den Schleppkurven für die maßgebenden Bemessungsfahrzeuge (FGSV, 2001) zu überprüfen. Ein- und Ausfahrbereiche von Kreisverkehren sollten nach den RASt grundsätzlich mit dynamischen Schleppkurvenprogrammen auf ihre Befahrbarkeit hin überprüft werden.

Inwieweit die Mitbenutzung von Fahrstreifen des Gegenverkehrs beim Ein- und Abbiegen akzeptiert werden kann, richtet sich nach der Häufigkeit und dem Maß der dadurch verursachten Behinderungen. Dabei sollen Behinderungen von Fahrzeugen des ÖPNV vermieden werden. Auch sollte die Inanspruchnahme des Fahrraums rechtsabbiegender Radfahrer durch rechtsabbiegende Kraftfahrzeuge grundsätzlich vermieden werden.

In Knotenpunkten mit zwei sich kreuzenden Hauptverkehrsstraßen soll die Mitbenutzung von Gegenfahrstreifen durch Lastzüge und Linienbusse in der Regel vermieden werden. Kreuzungen von Erschließungsstraßen mit Hauptverkehrsstraßen sollen durch das Bemessungsfahrzeug 2-achsiges Müllfahrzeug in der Regel ohne Mitbenutzung von Gegenfahrstreifen befahren werden können. Für die Bemessungsfahrzeuge 3-achsiges Müllfahrzeug und Linienbus ist die Mitbenutzung von Gegenfahrstreifen in der untergeordneten Straße möglich. Bei der Mitbenutzung von Gegenfahrstreifen sind Warte- und Haltelinien entsprechend zurückzusetzen.

Eine Mitbenutzung von Gegenfahrstreifen durch selten auftretende Sonderfahrzeuge oder auch Sondertransporte ist in der Regel unbedenklich.

Im Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV, 2006b) werden bzgl. der Befahrbarkeit von Kreisverkehren noch zusätzliche Aspekte beschrieben.

Der Kreisverkehr muss von den größten gemäß § 32 StVZO (2012) zum Straßenverkehr zugelassenen Fahrzeugen oder von dem örtlich anzusetzenden Bemessungsfahrzeug in allen zugelassenen Fahrrichtungen befahren werden können. Auch Sonder- oder Militärfahrzeuge (FGSV, 1996) sollen

zumindest mit geringer Geschwindigkeit den Kreisverkehr befahren können. Bei regelmäßig auftretenden Schwertransporten kann in Sonderfällen die Befestigung von Flächen außerhalb der Fahrbahn erforderlich sein. Linienbusverkehr ist, soweit vorhanden, ebenfalls zu berücksichtigen. In Gebieten mit häufig auftretenden winterlichen Straßenverhältnissen sind zusätzlich die Anforderungen der Fahrzeuge des Winterdienstes zu beachten.

Bei Minikreisverkehren ist die Kreisinsel so zu gestalten, dass Fahrzeuge des Schwerverkehrs die Kreisinsel überfahren können.

Die geometrischen Verhältnisse im Ein- und Ausfahrbereich von Kreisverkehren sind grundsätzlich mit Schleppkurvenprogrammen auf ihre Befahrbarkeit hin zu überprüfen (vgl. Bild 2). Dabei soll von einer langsamen Fahrweise ausgegangen werden. Als Bewegungsspielräume sind gemäß dem Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren innerhalb bebauter Gebiete zusätzlich 0,50 m und außerhalb bebauter Gebiete 1,00 m vorzusehen (Gesamtmaß des Bewegungsspielraums).

Bei einem spitzwinkligen Zusammentreffen der Knotenpunktarme können zur Sicherstellung der Befahrbarkeit zusätzliche befestigte Flächen außerhalb der Kreisfahrbahn notwendig werden (vgl. Bild 3). Bei geringem Schwerverkehr ist zu prüfen, ob in der betreffenden Fahrbeziehung auf die Möglichkeit des indirekten Rechtsabbiegens verwiesen

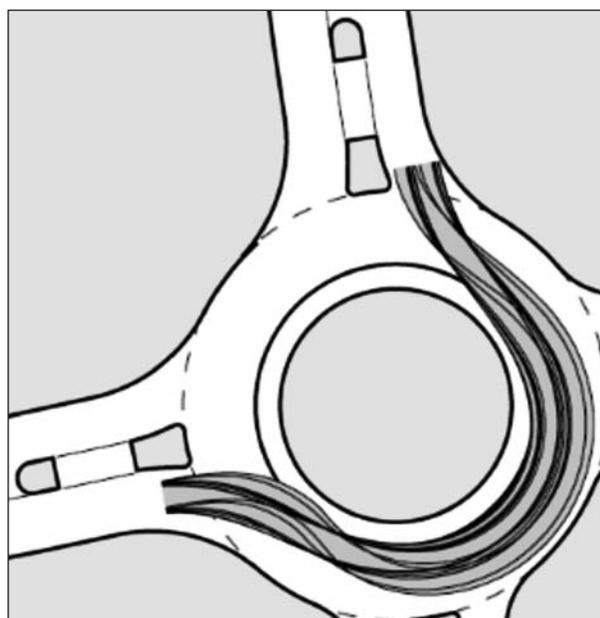


Bild 2: Überprüfen der Befahrbarkeit von Kreisverkehren mithilfe eines dynamischen Schleppkurvenprogramms (FGSV, 2006c)



Bild 3: Sicherstellung der Befahrbarkeit durch befestigte Flächen außerhalb der Fahrbahn (FGSV, 2006c)



Bild 4: Durchfahrt über die Kreisinsel für Großraum- und Schwertransporte (FGSV, 2006c)

werden kann. Hierbei ist ein Ausfahren dann nur nach einmaliger Umrundung des Kreisverkehrs möglich.

In Fällen, in denen Kreisverkehre im Zuge von Strecken für Großraum- und Schwertransporte angelegt werden, können auf der Kreisfläche gepflasterte Flächen für überbreite oder überlange Schwertransportfahrzeuge geschaffen werden (vgl. Bild 4). Diese Flächen sind durch abnehmbare Verkehrszeichen zu sperren und gegen Überfahren zu sichern.

3.2 Bemessungsfahrzeuge in Deutschland

Im Regelwerk für den Straßenentwurf in Deutschland ist die Definition von Bemessungsfahrzeugen seit langem ein fester Bestandteil. Basierend auf den Abmessungen der Bemessungsfahrzeuge und den hieraus resultierenden Schleppekurven, erfolgt der fahrgeometrische Entwurf von Verkehrsanlagen für den fließenden und ruhenden Kraftfahrzeugverkehr.

Die Abmessungen des Bemessungsfahrzeugs Lastzug haben sich in den letzten Jahren nur be-

Regelwerk	Fahrzeug	Länge [m]	Breite [m]	Radstand ¹ [m]
RAST-E (FGSV, 1971)	Lkw MB LA 2624	10,00	2,40	5,20
RAST-K (FGSV, 1973)	Lastzug	18,00	2,50	6,50 + 4,00
EAE (FGSV, 1985)	Lastzug	18,00	2,50	5,30 + 5,00
EAR (FGSV, 1991)	Lastzug	18,00	2,50	5,30 + 4,70
EAHV (FGSV, 1993)	Lastzug Sattelzug	18,00 15,39	2,50 2,50	5,30 + 5,00 3,80 + 7,06

¹ Der zweite Wert gibt den Radstand für Anhänger/Auflieger an

Tab. 1: Abmessungen ausgewählter Bemessungsfahrzeuge im Regelwerk der FGSV

dingt verändert. Die Länge hat sich von 1973 bis 1993 nicht verändert. Lediglich die Radstände des Zugfahrzeugs und des Anhängers wurden in den verschiedenen Regelwerken leicht modifiziert (vgl. Tabelle 1).

Das Bemessungsfahrzeug Sattelzug wurde erstmalig im Jahr 1993 in den Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen (FGSV, 1993) erwähnt. Die Gesamtlänge betrug seinerzeit 15,39 m. Die Tabelle 1 zeigt die Entwicklung einzelner Bemessungsfahrzeuge in ausgewählten Regelwerken der FGSV.

Auch in den derzeit gültigen Richtlinien und Empfehlungen für den Straßenentwurf werden für eine standardisierte Dimensionierung fahrgeometrischer Bewegungsräume Bemessungsfahrzeuge vorgegeben, die zur Überprüfung von Entwurfs-elementen bzw. von Straßenverkehrsanlagen für den fließenden und den ruhenden Kraftfahrzeugverkehr herangezogen werden.

Die Bemessungsfahrzeuge sind mit ihren äußeren Abmessungen als repräsentativ für ihre jeweilige Fahrzeuggruppe zu betrachten. Neben den äußeren Abmessungen ist für den Bewegungsablauf eines Kraftfahrzeugs während einer Kurvenfahrt darüber hinaus die sichelförmige Verbreiterung der überstrichenen Fläche durch das nachlaufende kurveninnere Hinterrad charakteristisch. Hierdurch ergibt sich in Abhängigkeit vom Kraftfahrzeug und der Fahrweise eine fahrzeugspezifische Schleppekurve.

Die einzelnen Typen bzw. Gruppen von Bemessungsfahrzeugen entsprechen dabei immer einem Fahrzeug, welches mit seinen Längenabmessungen aus dem Kollektiv der Fahrzeuge einer Gruppe

annähernd einem sogenannten „85%-Fahrzeug“ entsprechen. Als Bemessungsfahrzeug gilt dabei jenes Fahrzeug, welches die größte Ähnlichkeit zum sogenannten „85%-Fahrzeug“ eines Fahrzeugtyps aufweist (SCHNÜLL, HOFFMANN, KÖLLE, 2001). Neben der Gesamtlänge sind in diesem Zusammenhang auch verschiedene Teillängen zu berücksichtigen, da auch hier deutliche Unterschiede zwischen den in der Praxis auftretenden Fahrzeugen vorhanden sind. Dieses Vorgehen wird grundsätzlich als ausreichend angesehen, um Straßenverkehrsanlagen aus ökologischen und ökonomischen Gründen sowie aus Gründen der Verkehrssicherheit nicht mit einem selten auftretenden Maximalfahrzeug zu bemessen.

Die aktuellen Bemessungsfahrzeuge sowie die zugehörigen Abmessungen sind in der Tabelle 2 zusammenfassend dargestellt. Dargestellt sind neben den Abmessungen der Bemessungsfahrzeuge für

Fahrzeugart	Außenabmessungen [m]						
	Länge	Radstand	Überhang vorn	Überhang hinten	Breite	Höhe	Wendekreisradius außen
Lastzug	18,71						
Zugfahrzeug (3-achsig) ¹	9,70	5,28 ¹	1,50	2,92	2,55 ³	4,00	10,30
Anhänger (2-achsig)	7,45	4,84	1,35 ²	1,26	2,55	4,00	10,30
Sattelzug	16,50						
Zugmaschine (2-achsig)	6,08	3,80	1,43	0,85	2,55 ³	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)							
Kraftfahrzeug	12,00				2,55 3,4	4,00	12,50
Anhänger	12,00						
Lastzug	18,75						
Sattelzug	16,50						
¹ Bei 3-achsigen Fahrzeugen ist die hintere Tandemachse zu einer Mittelachse zusammengefasst ² Ohne Deichsellänge ³ Ohne Außenspiegel ⁴ Aufbauten von klimatisierten Fahrzeugen bis 2,60 m							

Tab. 2: Aktuelle Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs in Deutschland (FGSV, 2001 und FGSV, 2005)

den Schwerverkehr auch die nach der StVZO (2012) zulässigen Maximalabmessungen.

Die zurzeit in Deutschland geltenden Bemessungsfahrzeuge (FGSV, 2001/2005) mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 40 t und den nach der StVZO zulässigen Achslasten führen zu Fahrzeuglängen von bis zu 18,71 m. Für diese Fahrzeuge kann die Befahrbarkeit von richtlinienkonform entworfenen Verkehrsanlagen für den fließenden und den ruhenden Kraftfahrzeugverkehr gewährleistet werden.

Die Bemessungsfahrzeuge Last- und Sattelzug erreichen mit ihren Längenabmessungen (Gesamt und Teillängen) nahezu die nach der StVZO (2012) maximal zulässigen Werte. Auch die Breite (ohne Außenspiegel) erreicht mit 2,55 m, nahezu den nach der StVZO zulässigen Maximalwert (2,60 m für Kühlfahrzeuge).

Bezüglich des hinteren Ladungsüberhangs finden sich im § 22 der StVO die folgenden Angaben:

- Fahrzeug und Ladung dürfen zusammen nicht breiter als 2,55 m und nicht höher als 4,00 m sein. Fahrzeuge, die für land- oder forstwirtschaftliche Zwecke eingesetzt werden, dürfen, wenn sie mit land- oder forstwirtschaftlichen Erzeugnissen oder Arbeitsgeräten beladen sind, samt Ladung nicht breiter als 3,00 m sein. Sind sie mit land- oder forstwirtschaftlichen Erzeugnissen beladen, dürfen sie samt Ladung höher als 4,00 m sein. Kühlfahrzeuge dürfen nicht breiter als 2,60 m sein.
- Die Ladung darf bis zu einer Höhe von 2,50 m nicht nach vorn über das Fahrzeug, bei Zügen über das ziehende Fahrzeug hinausragen. Weiterhin darf der Ladungsüberstand nach vorn bis zu 0,50 m über das Fahrzeug, bei Zügen bis zu 0,50 m über das ziehende Fahrzeug betragen.
- Nach hinten darf die Ladung bis zu 1,50 m hinausragen, jedoch bei Beförderung über eine Wegstrecke bis zu einer Entfernung von 100 km bis zu 3,00 m.
- Das Fahrzeug oder der Zug samt Ladung dürfen grundsätzlich nicht länger als 20,75 m sein.
- Ragt das äußerste Ende der Ladung mehr als 1,00 m über die Rückstrahler des Fahrzeugs nach hinten hinaus, so ist es kenntlich zu machen (vgl. StVZO).

3.3 Sattelzug mit verlängertem Sattelaufleger

Ein Vorschlag zur Vergrößerung des Ladevolumens ist der Sattelzug mit verlängertem Sattelaufleger. Ein Sattelzug mit einem um 1,30 m verlängerten Sattelaufleger hat eine Gesamtlänge von 17,80 m. Hierdurch entsteht ca. 10 % mehr Ladevolumen, als bei einem Standard-Sattelaufleger (ca. 4 zusätzliche Palettenstellplätze). Aus der Verlängerung des Auflegers resultieren ein vergrößerter Radstand und eine Verlängerung des Fahrzeughecks um ca. 1,00 m.

Die Einführung des sogenannten „Kögel Big-Maxx“ (vgl. Bild 5) erfolgte mittels Ausnahme- bzw. Sondergenehmigung und wurde seinerzeit von der RWTH Aachen wissenschaftlich begleitet (BACHMANN, u. a., 2007).

Die wissenschaftliche Begleitung umfasste eine Bewertung des verlängerten Auflegers aus verkehrspolitischer, ökologischer und ökonomischer Sicht. Weiterhin wurden auch Aspekte der Verkehrssicherheit betrachtet. Neben einer Literaturanalyse sowie Expertenbefragungen wurden auch Untersuchungen an einem Mehr-Körper-Simulationsmodell sowie Fahrversuche auf der Teststrecke des Instituts für Kraftfahrwesen durchgeführt.

Im Bild 6 ist die simulative Überprüfung des Kurvenfahhaltens des Sattelzuges mit verlängertem Aufleger während der Befahrung des BO-Kraftkreises dargestellt.

Demnach bleibt der Aufleger innerhalb des Kreisringes und das Ausschermaß von 0,80 m wird nicht überschritten. Das zeigt, dass die Anforderungen nach § 32d StVZO erfüllt werden können. Der verlängerte Aufleger weist nach den Vorgaben der StVZO somit eine ausreichende „Wendigkeit“ für den öffentlichen Straßenverkehr auf (BACHMANN u. a., 2007).

Zusätzlich zu den Simulationen wurde das Kurvenlaufverhalten auf einer Teststrecke für die Befahrung eines kleinen Kreisverkehrs und die Befahrung eines Schrägparkstands für Lkw auf einer Rastanlage untersucht. Der untersuchte kleine Kreisverkehr hatte einen Außendurchmesser von 26 m.

Die Fahrversuche und auch die Schleppkurvensimulationen haben gezeigt, dass eine $\frac{1}{4}$ -Fahrt im Kreisverkehr (Abbiegen nach rechts) nicht ohne Überfahung der Fahrbahnbegrenzung möglich ist



Bild 5: Sattelzug mit verlängertem Aufleger „Kögel Big-Maxx“

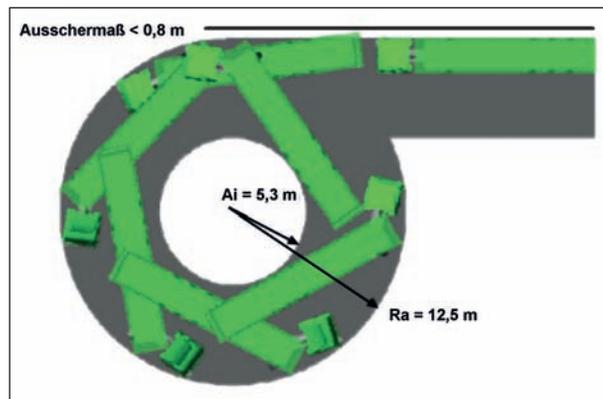


Bild 6: Simulation des Sattelzuges mit verlängertem Aufleger im BO-Kraftkreis (BACHMANN u. a., 2007)

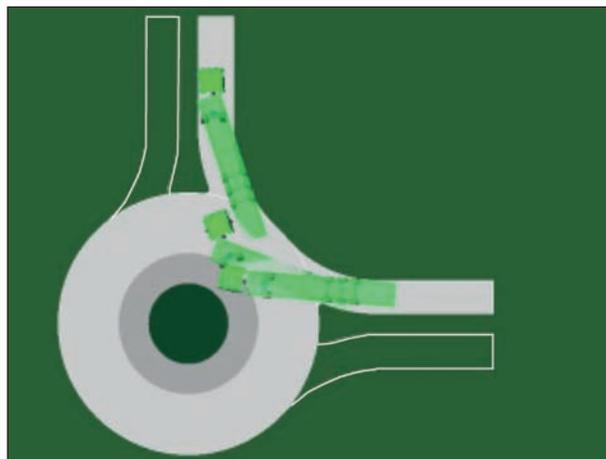


Bild 7: Überschreitung der Fahrbahnmarkierung bei $\frac{1}{4}$ -Kreisfahrt (BACHMANN u. a., 2007)

(vgl. Bild 7). Eine volle Kreisfahrt mit anschließender Ausfahrt stellt hingegen kein Problem dar (vgl. Bild 8). Im Rahmen des Gutachtens wird daher vorgeschlagen, dass für die Benutzung von Kreisverkehren die verbindliche Anordnung einer Fünf-Viertel-Fahrt ausgegeben werden könnte, sodass die Fahrer von vornherein die Engstelle umgehen können. In der Praxis ließe sich eine derartige Regelung jedoch nicht bzw. nur schwer umsetzen. Auch sind die Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit nicht abschließend abzuschätzen.

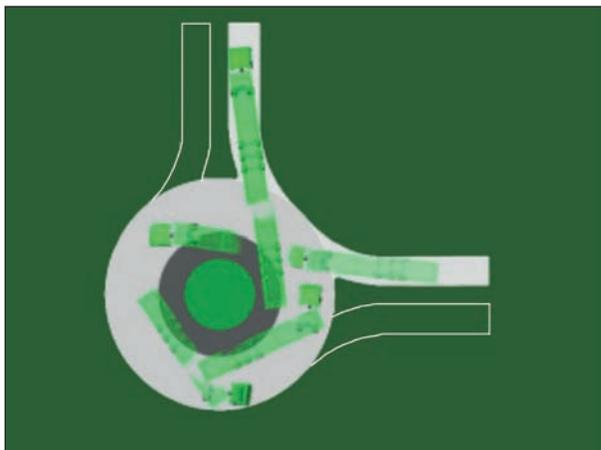


Bild 8: Rechtsabbiegen im Kreisverkehr mit Fünf-Viertel-Kreisfahrt (BACHMANN u. a., 2007)

Die Gesamtlänge des Sattelzuges mit verlängertem Auflieger ist ca. 1,00 m kürzer als die eines Lastzuges, sodass die Befahrbarkeit von Schrägparkständen auf Rastanlagen kein Problem darstellt. Zu beachten sind in diesem Zusammenhang jedoch auch die Fahrgassenbreiten im Bereich der Schrägparkstände.

Zusammenfassend stellt das Gutachten (BACHMANN u. a., 2007) fest, dass der verlängerte Auflieger in seltenen Situationen zwar erhöhte Anforderungen an die Aufmerksamkeit erfordert, negative Auswirkungen auf die Straßeninfrastruktur und des Verkehrsablaufs bei angepasster Fahrweise jedoch nicht zu erwarten sind. Wie die besondere Befahrung von kleinen Kreisverkehren in der Praxis jedoch kommuniziert bzw. umgesetzt werden könnte, lässt das Gutachten offen.

Auch die BASt untersuchte 2008 die Auswirkungen des verlängerten Sattelzuges auf die Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen (GLAESER u. a.). Entgegen den Untersuchungen von BACHMANN u. a. wurde bzgl. der Befahrbarkeit eines kleinen Kreisverkehrs (Außendurchmesser $D = 26,00$ m, Breite Kreisring $BK = 9,00$ m) festgestellt, dass bei der $\frac{1}{4}$ -Kreis-Befahrung und auch bei der $\frac{3}{4}$ -Kreis-Befahrung sowohl Flächen im Bereich der Fahrbahnteiler als auch am Fahrbahnrand überstrichen werden.

Bei Durchfahrt des $\frac{1}{4}$ -Kreises überstreicht der Sattelzug mit verlängertem Sattelaufliieger bei der Ausfahrt aus dem Kreisverkehr die Seitenbereiche auf der Kurveninnenseite um ca. 0,35 m. Auf der Kurvenaußenseite zeigt sich durch die Lenkbewegung eine starke Ausschwenkbewegung des verlängerten Fahrzeughecks bei der Einfahrt in den Kreisverkehr. Dabei überstreicht das Heck den Fahr-

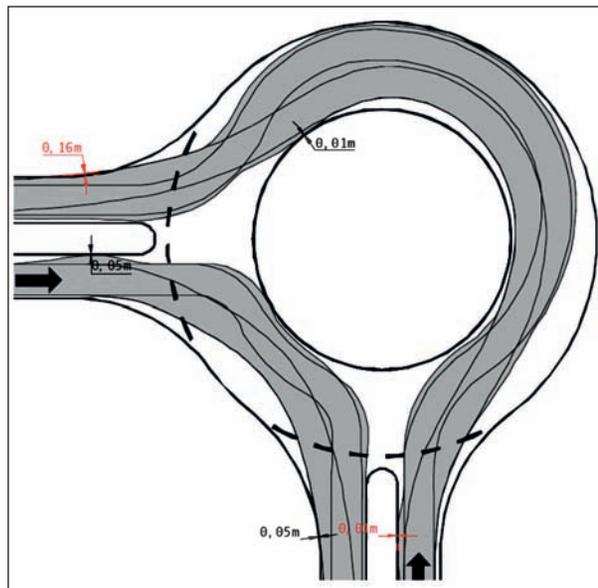


Bild 9: Simulation der Befahrung des $\frac{1}{4}$ - und $\frac{3}{4}$ -Kreises mit einem Sattelzug mit verlängertem Auflieger (GLAESER u. a., 2008)

bahnteiler bis zu einer Tiefe von maximal 1,00 m (GLAESER u. a. (2008), s. Bild 9).

Die Durchfahrt des $\frac{3}{4}$ -Kreises zeigte sich in den Untersuchungen der BASt weniger problematisch, da die Ein- und Ausfahrt in und aus der Kreisfahrbahn annähernd geradlinig verläuft und keine starken Lenkbewegungen erforderlich sind. Das Fahrzeug nutzt dennoch annähernd den kompletten Innenring des kleinen Kreisverkehrs. Die Kreisinsel wird jedoch nicht überstrichen. Das Heck des Aufliegers schwenkt jedoch bei der Einfahrt in den Kreisverkehr um ca. 0,50 m über den Fahrbahnteiler. Bei der Ausfahrt aus dem Kreisverkehr wird der Seitenraum nur minimal überstrichen (0,05 m).

Bzgl. der Befahrbarkeit kommt die BASt zu dem Fazit, dass die untersuchten kleinen Kreisverkehre, trotz Einhaltung des BO-Kraftkreises, nur unter Ausnutzung aller Sicherheitsräume befahren werden können, z. T. nur unter Verwendung von Flächen des Seitenraumes.

Zu einer ähnlichen Aussage kommt die BASt auch bzgl. der Befahrbarkeit von Einmündungen für das Fahrmanöver Rechtseinbiegen (Rechts- und Linksabbieger sind unproblematisch, s. Tabelle 3).

Das Bild 10 zeigt die simulierten Schleppekurven des Sattelzuges mit verlängertem Auflieger beim Rechtseinbiegen an einer Einmündung innerhalb (Bild 10 links) und außerhalb (Bild 10 rechts) bebauter Gebiete.

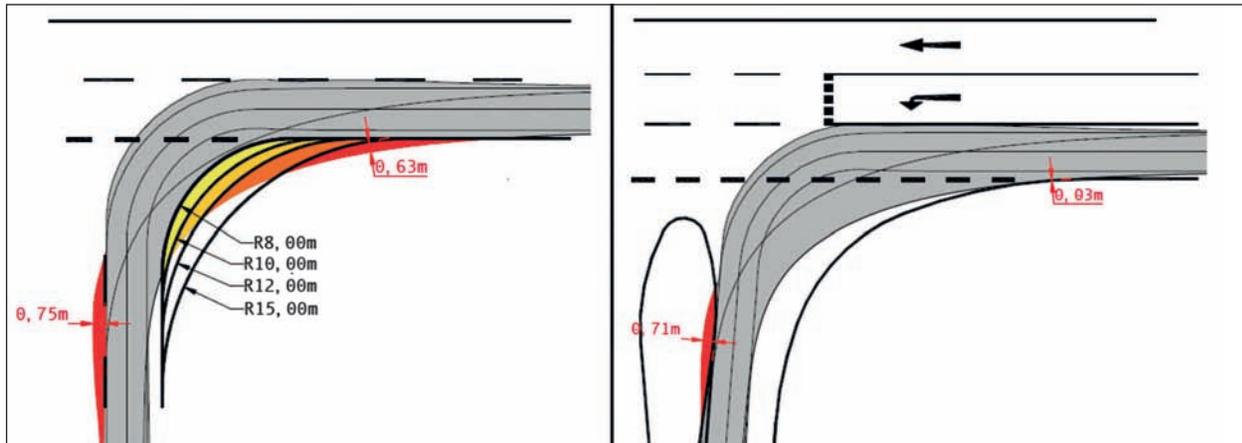


Bild 10: Simulation der Befahrbarkeit einer Einmündung innerhalb (oben) und außerhalb (unten) bebauter Gebiete (GLAESER u. a., 2008)

	Einmündung außerhalb bebauter Gebiete	Einmündung innerhalb bebauter Gebiete
Einfahrt Abbiegen	3,50 m	3,50 m
Ausfahrt Abbiegen	4,50 m	3,50 m
Einfahrt Einbiegen	4,50 m	3,50 m
Ausfahrt Einbiegen	3,50 m	3,50 m
	Eckausrundung Hauptbogenradius	Eckausrundung
Einbiegen	12,00 m	15,00 m
Abbiegen	15,00 m	15,00 m

Tab. 3: Entwurfsэлеmente der überprüften Einmündungen (GLAESER u. a., 2008)

Hier kommt die BASt zum Fazit, dass außerörtliche Einmündungen nur unter Verwendung aller zur Verfügung stehenden Sicherheitsräume befahrbar sind. Im Gegensatz dazu ist die Befahrbarkeit von innerörtlichen Einmündungen mit einem Sattelzug mit verlängertem Auflieger stark eingeschränkt (GLAESER u. a., 2008).

Um die vorliegenden Erfahrungen bzgl. des Einsatzes von Sattelzügen mit einer Gesamtlänge von 17,80 m abzusichern, sind derartige Fahrzeuge auch Bestandteil des Feldversuchs Lang-Lkw (BMVBS 2011, 2011b, 2012).

3.4 Autotransporter

Entsprechend den derzeit geltenden Regelungen bzgl. der Gesamtlänge und den Fahrzeugüberhängen nach der StVO und der StVZO darf die Gesamtlänge eines Autotransporters 20,75 m nicht überschreiten.



Bild 11: Autotransporter (Quelle: www.lkw-bilder.de)

Dieser Wert setzt sich dabei wie folgt zusammen:

- maximale Fahrzeuglänge: 18,75 m,
- maximaler hinterer Ladungsüberhang: 1,50 m,
- maximaler vorderer Ladungsüberhang ab einer Höhe vorne über 2,50 m: 0,50 m.

Die zulässigen Abmessungen eines Autotransporters entsprechen somit einem „Maximalfahrzeug“ nach StVO und StVZO.

SCHNÜLL, HOFFMANN und KÖLLE (2001) führten seinerzeit einen Schleppkurvenvergleich für die Fahrzeuge „Autotransporter²“ (vgl. Bild 12) und „Lastzug 20,00 m³“ (vgl. Bild 13) durch.

Um die Veränderungen der bei der Kurvenfahrt überstrichenen Flächen quantifizieren zu können,

- 2 Der Autotransporter mit einer Gesamtlänge von 20,75 m war zum Zeitpunkt der Untersuchungen von SCHNÜLL u. a. in Deutschland noch nicht zugelassen.
- 3 Der Lastzug 20,00 m war zum Zeitpunkt der Untersuchungen von SCHNÜLL u. a. das zulässige Maximalfahrzeug nach § 22 (4) der StVO.

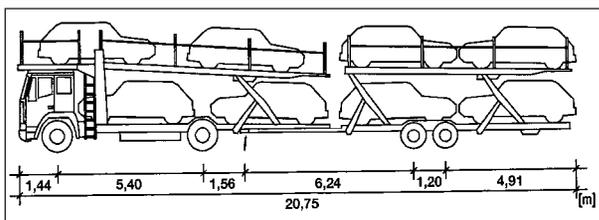


Bild 12: „Autotransporter“ (SCHNÜLL, HOFFMANN, KÖLLE, 2001)

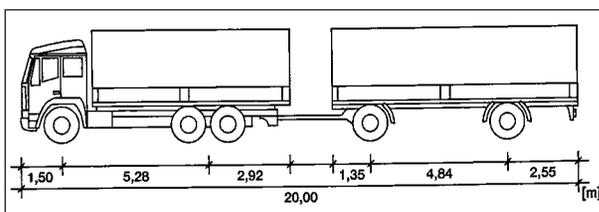


Bild 13: „Lastzug 20,00 m“ (SCHNÜLL, HOFFMANN, KÖLLE, 2001)

wurden zunächst die mittels Simulationssoftware erzeugten Schleppkurven für das Fahrzeug „Lastzug 20,00 m“ mit den Schleppkurven für das Fahrzeug „Autotransporter“ verglichen. Zusätzlich wurden die Schleppkurvenschablonen für verschiedene Richtungsänderungswinkel verglichen. Durch den Vergleich sollten insbesondere die Veränderungen der bei der Kurvenfahrt überstrichenen Flächen quantifiziert werden.

Die Ergebnisse des Vergleichs fassen SCHNÜLL, HOFFMANN und KÖLLE wie folgt zusammen:

- Die beiden vorliegenden Fahrzeugkombinationen erfüllen die Anforderungen des BO-Kraftkreises.
- Der Autotransporter hat im Vergleich zum Lastzug 20,00 m ganz allgemein ungünstigere Kurvenlaufeigenschaften. Sowohl innen als auch außen werden vom Autotransporter größere Flächen während der Kurvenfahrt in Anspruch genommen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Flächeninanspruchnahme eines Lastzuges mit Zentralachsanhänger in der Regel immer größer ist als bei einem Lastzug mit Drehschemelanhänger. Im Vergleich zu einem Sattelzug besitzt der Zentralachsanhänger auf der Kurveninnenseite allerdings günstigere Kurvenlaufeigenschaften.
- Bei einer Richtungsänderung von 40 gon und einem Wendekreisradius von 12,50 m benötigt der Autotransporter auf der Kurveninnenseite eine um maximal 0,25 m breitere Fläche als der Lastzug 20,00 m. Auf der Kurvenaußenseite

wird vom Autotransporter eine um maximal 0,50 m breitere Fläche vom hinteren Überhang überstrichen.

- Bei Richtungsänderungen von 60 bis 160 gon und einem Wendekreisradius von 12,50 m benötigt der Autotransporter auf der Kurveninnenseite eine um maximal 0,80 m breitere Fläche (Richtungsänderung 160 gon) als der Lastzug 20,00 m. Auf der Kurvenaußenseite wird vom Autotransporter eine um maximal 0,60 m breitere Fläche vom hinteren Überhang überstrichen.
- Bei einer Richtungsänderung von 40 gon und einem Wendekreisradius von 10,30 m benötigt der Autotransporter auf der Kurveninnenseite eine um maximal 0,25 m breitere Fläche als der Lastzug 20,00 m. Auf der Kurvenaußenseite wird vom Autotransporter eine um maximal 0,50 m breitere Fläche vom hinteren Überhang überstrichen.
- Bei Richtungsänderungen von 60 bis 160 gon und einem Wendekreisradius von 10,30 m benötigt der Autotransporter auf der Kurveninnenseite eine um maximal 1,00 m breitere Fläche (Richtungsänderung 160 gon) als der Lastzug 20,00 m. Auf der Kurvenaußenseite wird vom Autotransporter eine um maximal 0,75 m breitere Fläche vom hinteren Überhang überstrichen.

Der Vergleich der Schleppkurven der Bemessungsfahrzeuge „Lastzug 20,00 m“ und „Autotransporter“ zeigt demnach, dass vereinzelt deutliche Unterschiede bei der Kurvenfahrt auftreten.

Die anschließende Überprüfung der Befahrbarkeit ausgewählter Straßenverkehrsanlagen für den ruhenden und fließenden Kraftfahrzeugverkehr zeigte, dass bestimmte Verkehrsanlagen vom Autotransporter nicht bzw. nur eingeschränkt befahren werden können.

Zusammenfassend kommen SCHNÜLL, HOFFMANN und KÖLLE zu dem Ergebnis, dass die Probleme bei der Befahrbarkeit im Wesentlichen auf den Fahrzeugtyp – Zugfahrzeug mit Zentralachsanhänger – und nicht auf die Gesamtlänge von 20,75 m zurückzuführen sind, da Lastzüge mit Zentralachsanhänger ganz allgemein ungünstigere Kurvenlaufeigenschaften als Lastzüge mit Drehschemelanhänger aufweisen.

3.5 Zusammenfassung und Fazit

In den aktuell geltenden Richtlinien und Empfehlungen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen für den Straßenentwurf finden sich die Grundlagen für den Entwurf von Streckenabschnitten und Knotenpunkten. Diese Regelungen berücksichtigen die im Jahr 2001/2005 definierten Bemessungsfahrzeuge und geben darüber hinaus auch Hinweise, wenn Knotenpunkte regelmäßig von Fahrzeugen befahren werden, die länger und/oder breiter sind, als die gültigen Bemessungsfahrzeuge. Hinweise für die Wahl des „ungünstigsten“ Bemessungsfahrzeugs (Fahrzeug mit der größten Flächeninanspruchnahme während einer Kurvenfahrt bzw. während der Befahrung einer bestimmten Verkehrsanlage) finden sich in den Regelwerken so explizit jedoch nicht.

Die vereinzelt durchgeführten theoretischen und auch praktischen Untersuchungen bzgl. der Flächeninanspruchnahme mit Fahrzeugen, deren Gesamtlänge größer ist als die der definierten Bemessungsfahrzeuge sind z. T. widersprüchlich. Sie zeigen aber deutlich, dass die Befahrbarkeit von plan- gleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete nur eingeschränkt möglich ist. Für ausgewählte Straßenverkehrsanlagen und Fahrmanöver werden Flächen außerhalb der Fahrbahn überstrichen. Die Untersuchungen zeigen auch, dass trotz der Einhaltung des BO-Kraft-Kreises die Befahrbarkeit bestimmter Verkehrsanlagen nimmt immer gewährleistet werden kann.

Inwieweit die aus der Praxis berichteten Schäden auf diese Fahrzeuge zurückzuführen sind, kann auf Basis der vorliegenden Untersuchungen jedoch nicht abschließend beurteilt werden.

SCHNÜLL, HOFFMANN und KÖLLE (2001) weisen in ihrer Untersuchung nach, dass Lastzüge mit Zentralachsanhänger ganz allgemein ungünstigere Kurvenlaufeigenschaften als Lastzüge mit Drehschemelanhänger aufweisen. Aufgrund des geringen Vorkommens derartiger Fahrzeugkombinationen wurde seinerzeit im Rahmen der Definition von Bemessungsfahrzeugen im Jahr 2001 der Lastzug mit Drehschemelanhänger als Bemessungsfahrzeug definiert. Inwieweit dies auch noch im Jahr 2012 zutreffend ist, muss im weiteren Verlauf des FE- Vorhabens untersucht werden.

4 Umfrage zur Ermittlung problembehafteter Knotenpunkte

4.1 Methodisches Vorgehen

Ein wesentliches Ziel des Forschungsprojekts ist die systematische und vollständige Analyse möglicher Ursachen, die in der Praxis zu Problemen bei der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs führen. In Anlehnung an die im Kapitel 2 erläuterte Untersuchungsmethodik sollen hierbei die in der Praxis vorhandenen Erfahrungen von Kommunen und Straßenbauverwaltungen der Länder in Erfahrung gebracht werden. Mithilfe einer web-basierten Online-Umfrage sollen daher flächendeckend differenzierte Informationen zu einzelnen problembehafteten innerörtlichen Knotenpunkten ermittelt werden.

Als Ergebnis der Befragungen stehen anschließend Knotenpunkte (Einmündungen, Kreuzungen und Kreisverkehre) zur Verfügung, die in der Praxis zu Problemen in der Befahrbarkeit führen. Weiterhin können anhand der gesammelten und geclusterten Umfrageergebnisse zu überprüfende Tendenzen möglicher Problemlagen bestimmt werden. Die zusätzliche Erhebung der Kontaktdaten bietet darüber hinaus die Möglichkeit zur Durchführung von Experteninterviews. Ermittelte Problemlagen könnten am Beispiel einzelner betroffener Knotenpunkte weiter vertieft und unter Umständen vervollständigt werden. Hierbei ist zu prüfen, inwieweit die Problemlagen auf eine nicht richtlinienkonforme Trassierung zurück zu führen sind. Die gewonnenen Erkenntnisse sowie die in den Knotenpunkten aufgetretenen Schäden dienen im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes dazu, die erkannten Problemfälle mittels Schleppkurvensimulationen sowie anhand praktischer Fahrversuche zu validieren.

4.2 Vorbereitung und Durchführung

Die Vorbereitung der Onlineumfrage umfasste neben der Erstellung eines deutschlandweiten Verteilers vor allem die Entwicklung eines klar formulierten und strukturierten Fragenkataloges. Der für die Online-Umfrage genutzte Verteiler umfasste 247 Adressen, bestehend aus kommunalen Ämtern sowie den Straßenbauverwaltungen der Länder. Auf Basis der Angaben des ELSNER (2011) wurde der Verteiler dabei wie folgt gewählt:

- 120 Straßenbauverwaltungen der Länder,
- 47 kommunale Behörden in Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern,
- 40 kommunale Behörden in Städten und Gemeinden mit mehr als 50.000 Einwohnern und
- 40 kommunale Behörden in Städten und Gemeinden mit weniger als 50.000 Einwohnern.

Die Entwicklung des Fragebogens (vgl. Anlage 1) sowie die funktionale Überprüfung der Online-Umfrage unterlagen einem vierstufigen Entwicklungsprozess:

- (1) Definition eines Fragenkatalogs,
- (2) Rückkopplung des Fragenkataloges mit dem projektbegleitenden Betreuungsausschuss und den Projektpartnern,
- (3) 14-tägiger Pretest zur Funktionsüberprüfung der Online-Umfrage,
- (4) Freischaltung der geprüften Online-Umfrage.

Die nach Freischaltung der Online-Umfrage erfassten Antwortdatensätze wurden durch Einsatz eines Tabellenkalkulationsprogramms statistisch ausgewertet und grafisch aufbereitet.

4.3 Ergebnisse

Von insgesamt 247 angeschriebenen Dienststellen umfasst die ausgewertete Statistik 73 Antwortdatensätze. Dies entspricht einer Rücklaufquote von ca. 30 %. Die Analyse der Antworten zeigt zunächst, dass ein Großteil der befragten Städte und Gemeinden tendenziell keine Probleme bzgl. der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerververkehrs hat (vgl. Bild 14).

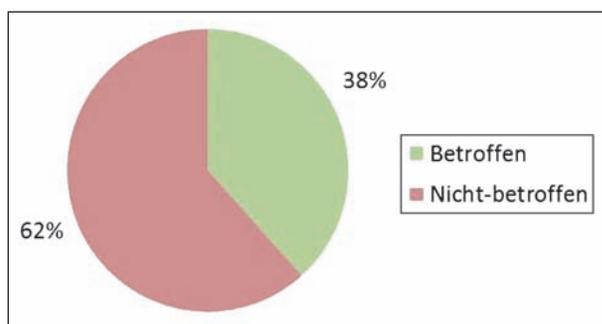


Bild 14: Relativer Anteil betroffener und nicht-betroffener Städte und Gemeinden (betroffen/nicht betroffen von Problemen bzgl. der Befahrbarkeit von Knotenpunkten mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs (N = 73))

Im weiteren Verlauf der Online-Umfrage wurden detaillierte Informationen zu 42 problembehafteten Knotenpunkten ausgewertet. Die Baujahre der als problematisch eingestuften Knotenpunkte liegen zwischen 1950 und 2011. Demnach weisen sowohl Knotenpunkte, die ursprünglich nach alten Regelwerken trassiert wurden als auch Knotenpunkte, die nach neueren Regelwerken trassiert wurden, Probleme in der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerververkehrs auf. In den Baujahren von 2001-2005 weisen die Daten ein Maximum auf (vgl. Bild 15).

Bild 16 veranschaulicht, dass an neun von insgesamt 39 als problembehaftet genannten Knotenpunkten bauliche Änderungen mit Auswirkungen auf die Befahrbarkeit durchgeführt wurden.

Im Einzelnen wurden dabei die folgenden entwurfs-technischen Anpassungen bzw. Änderungen vorgenommen:

- Vergrößerung des Radius von Eckausrundungen,
- Einbau von Mittelinseln,
- Vergrößerung des Innenkreisrings,

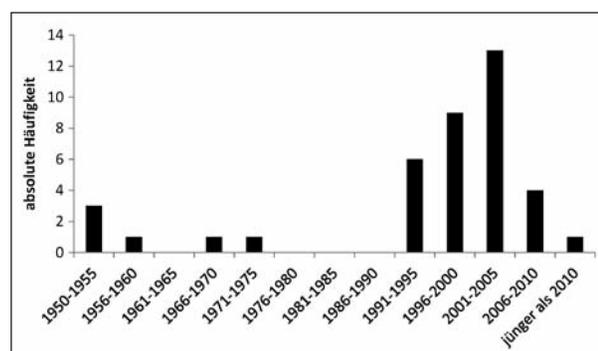


Bild 15: Baujahr problembehafteter innerörtliche Knotenpunkte (N = 39)

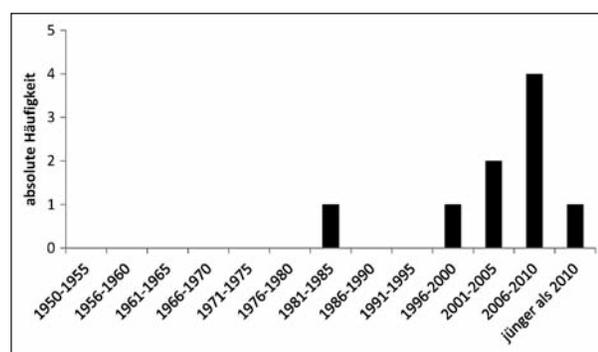


Bild 16: Umsetzung baulicher Veränderungen mit Einfluss auf die Befahrbarkeit im Zeitraum von – bis (N = 9)

- Umbau der Mittelinsel zur befahrbaren Mittelinsel (Kreisverkehr) für Großraum- und Schwertransporte,
- Rückbau von Fahrbahnteilern o. a.,
- Aufbringen von Verkehrsleitsteinen.

Die Auswertung der Online-Umfrage zeigt weiterhin, dass prinzipiell alle Knotenpunkttypen Probleme bzgl. der Befahrbarkeit aufweisen (vgl. Bild 17). Kreisverkehre sind mit 43 % tendenziell der am häufigsten betroffene Knotenpunkttyp. Bei 10 von 18 genannten Kreisverkehren handelte es sich um den Kreisverkehrstyp „kleiner Kreisverkehr“. Weitere fünf der problembehafteten Kreisverkehre sind vom Typ „großer Kreisverkehr“. Die verbleibenden Kreisverkehre wurden von den befragten Behörden keinem konkreten Kreisverkehrstypen zugeordnet.

Zwei Drittel aller problembehafteten Knotenpunkte werden neben Fahrzeugen des Schwerverkehrs regelmäßig auch von Großraum- und Schwertransporten befahren. Die eindeutige Zuordnung von vorhandenen Schäden im Bereich der Knotenpunkte zu einer hierfür verantwortlichen Fahrzeuggruppe ist somit nur bedingt möglich. Gegenüber den für die Trassierung verwendeten Bemessungsfahrzeugen weisen Großraum- und Schwertransporte,

die z. B. für den Transport von Windkraftanlagen verwendet werden, aufgrund ihrer größeren Länge und evtl. auch größeren Breite eine deutlich größere Flächeninanspruchnahme bei Kurvenfahrten auf. Insofern ist grundsätzlich davon auszugehen, dass derartige Fahrzeuge auch vermehrt für die vorhandenen Probleme verantwortlich sind.

Probleme bei der Befahrbarkeit können darüber hinaus auch durch die falsche Auswahl des für die Trassierung des Knotenpunktes verwendeten Bemessungsfahrzeuges auftreten.

Das Bild 19 zeigt, dass 26 % der als problematisch erachteten Knotenpunkte in der Vergangenheit unter Verwendung des Bemessungsfahrzeugs Lastzug trassiert wurden. Das Bemessungsfahrzeug Sattelzug wurde in 29 % der Fälle verwendet.

Nach heutiger Sicht würden dagegen 50 % der befragten Behörden die Trassierung der Knotenpunkte auf Grundlage des Bemessungsfahrzeugs Sattelzug vornehmen (vgl. Bild 20).

Einen ähnlichen Trend zeigt auch das Bild 21. Das Bild veranschaulicht die nach Meinung der befragten Behörden als problematisch erachteten Fahrzeuggruppen. Der Online-Umfrage zur Folge führen demnach vor allem die Fahrzeuggruppen Sat-

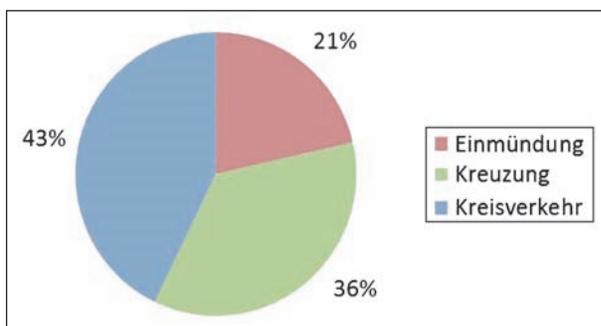


Bild 17: Anteile problembehafteter Knotenpunkttypen (N = 42)

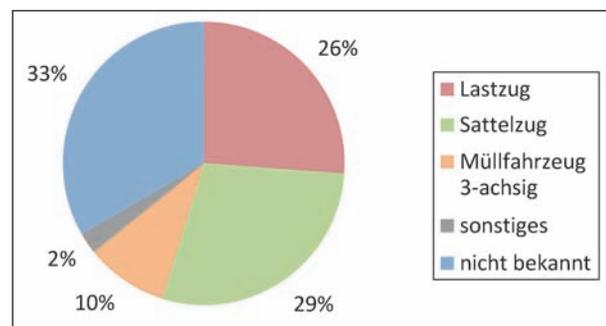


Bild 19: In der Vergangenheit für die Trassierung verwendetes Bemessungsfahrzeug (N = 42)

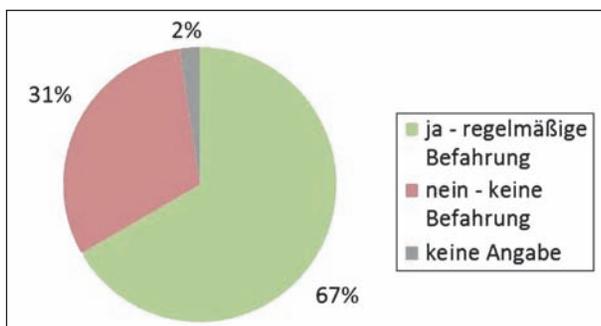


Bild 18: Anteil durch Großraum- und Schwertransporte befahrener problembehafteter Knotenpunkte (N = 21)

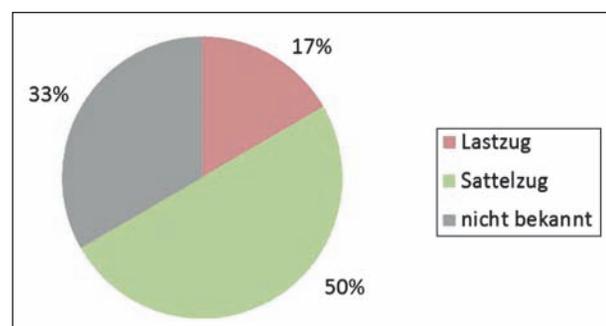


Bild 20: Heute für die Trassierung notwendiges Bemessungsfahrzeug (N = 42)

telzug (41 %), Lastzug (29 %) sowie Großraum- und Schwertransporte (21 %) zu Problemen. Eine klare Abgrenzung zu einer „problemverursachenden“ Fahrzeuggruppe ist ausschließlich auf Grundlage der subjektiven Einschätzung der befragten Behörden nicht möglich.

Neben der Analyse möglicherweise problembehafteter Fahrzeuggruppen wurden im Rahmen der Online-Umfrage zahlreiche Informationen gesammelt, die zur Identifizierung typischer Problemlagen genutzt werden können. Für jeden problembehafteten Knotenpunkt wurden ebenfalls die Kreuzungswinkel erhoben und statistisch ausgewertet.

Das Bild 22 zeigt, dass sich bei 76 % der genannten Knotenpunkte die Straßenachsen in einem richtlinienkonformen Kreuzungswinkel von 80-120 gon schneiden. Nur in 10 % der Fälle liegt der Kreuzungswinkel außerhalb dieses Bereichs. Der Online-Umfrage nach hat die Ausprägung des Kreuzungswinkels alleine demnach keinen oder nur einen geringen direkten Einfluss auf die Befahrbarkeit der genannten Knotenpunkte.

Auch die Gestaltung der Eckausrundungen beeinflusst die Befahrbarkeit eines Knotenpunktes bei Ein- und Abbiegevorgängen. Idealerweise erfolgt

die Konstruktion auf Grundlage einer dreiteiligen Kreisbogenfolge, die eine schleppkurvenoptimierte Flächeninanspruchnahme gewährleistet (FGSV 1988/1993).

Das Bild 23 veranschaulicht die im Falle der als problematisch eingestuften Knotenpunkte verwendete Form der Eckausrundung. Demnach werden für die Eckausrundung überwiegend (41 %) einfache Kreisbögen verwendet. Im weiteren Verlauf der Bearbeitung ist somit zu prüfen, inwiefern sich etwaige Schäden an der Straßeninfrastruktur auf die Verwendung einfacher Kreisbögen zurückführen lassen.

Zur weiteren Identifizierung knotenpunkttypischer Problemlagen wurden vorhandene Schäden an einzelnen baulichen Elementen erfragt, klassifiziert und ebenfalls statistisch ausgewertet.

Die Variable N im Bild 24 bis Bild 26 beschreibt in diesem Zusammenhang die Anzahl der als problematisch eingestuften Knotenpunkte eines Knotenpunkttyps. Die Variable M hingegen umfasst die Anzahl der ermittelten Schadensmeldungen eines Knotenpunkttyps.

Für den Knotenpunkttyp Einmündung entfallen die 13 Schadensmeldungen auf 9 Einmündungen. Aufgrund der verhältnismäßig geringen Anzahl insge-

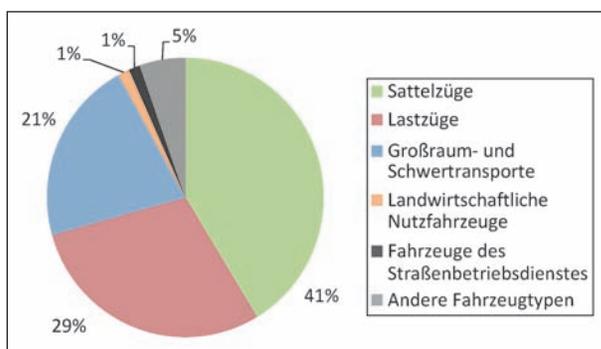


Bild 21: Problematisch erachtete Fahrzeuggruppen (N = 75)

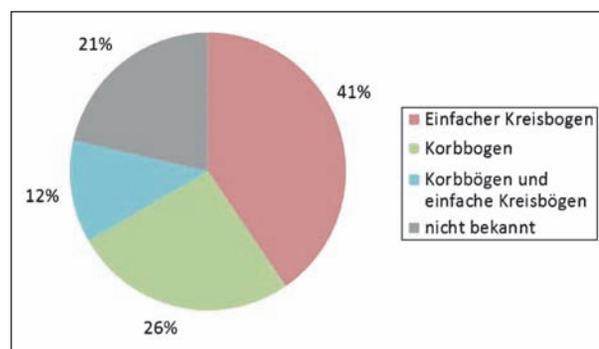


Bild 23: Eckausrundungen in problembehafteten Knotenpunkten (N = 42)

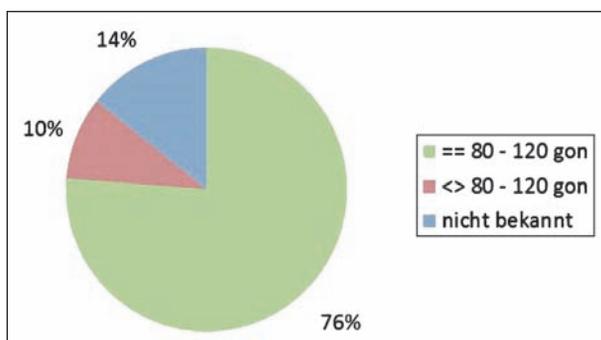


Bild 22: Trassierte Kreuzungswinkel (N = 21)

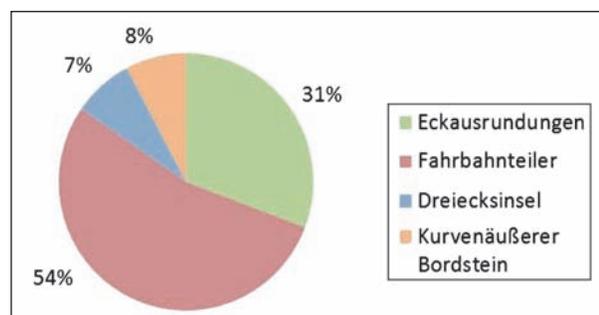


Bild 24: Relativer Anteil klassifizierter Schadensmeldungen des Knotenpunkttyps Einmündung (N = 9; M = 13)

samt betroffener Knotenpunkte kann für Einmündungen, Kreuzungen und Kreisverkehre kein typisches Schadensbild identifiziert werden. In der Tendenz scheinen die genannten Einmündungen vor allem durch Beschädigungen der Fahrbahnteiler sowie der Eckausrundungen geprägt zu sein.

Die ermittelten Kreuzungen weisen vorwiegend Beschädigungen an den Eckausrundungen auf (vgl. Bild 25).

Im Falle des Knotenpunkttyps Kreisverkehr sind maßgeblich die Eckausrundungen der Kreisein- und -ausfahrten von Beschädigungen betroffen. Tendenziell wurden Kreisausfahrten geringfügig häufiger beschädigt als Kreiseinfahrten.

Neben Schadensmeldungen der Straßeninfrastruktur wurden weiterhin auch Informationen über beschädigte Einbauten sowie Unfälle, verursacht durch das Schleppkurvenverhalten des Schwerverkehrs, gesammelt. Insgesamt gaben 38 % der befragten Behörden an, dass ihnen Schäden an Einbauten der Knotenpunkte bekannt seien. Eine genauere Spezifikation der beschädigten Einbauten erfolgte nicht. Aufgrund der geringen Anzahl von Antworten in diesem Fragenbereich der Online-Umfrage wurde von einer weiteren statistischen Auswertung im Zuge des Forschungsprojekts abgesehen.

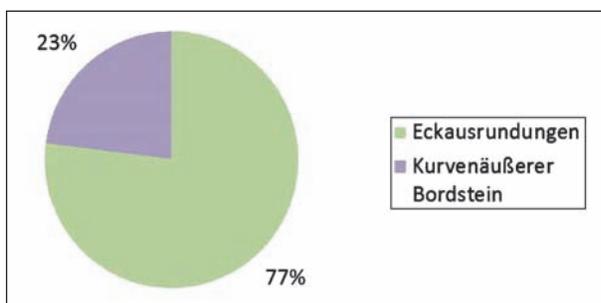


Bild 25: Relativer Anteil klassifizierter Schadensmeldungen des Knotenpunkttyps Kreuzung (N = 15; M = 13)

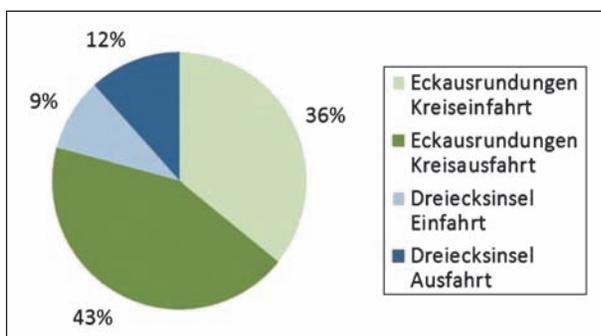


Bild 26: Relativer Anteil klassifizierter Schadensmeldungen des Knotenpunkttyps Kreisverkehr (N = 18; M = 120)

4.4 Zusammenfassung und Fazit

Aus den erfassten und ausgewerteten Antworten werden im Folgenden die wesentlichen Trends abgeleitet. Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass die statistische Auswertung der genannten Knotenpunkte eine aggregierte Sicht auf unter Umständen komplexe Problemsituationen einzelner Knotenpunkte darstellt. Für eine adäquate Einschätzung der vorliegenden Problemsituationen einzelner Knotenpunkte werden ausgewählte Knotenpunkte im Zuge des Kapitels 7 systematisch untersucht.

Die statistische Auswertung der durchgeführten Online-Umfrage liefert zusammengefasst die folgenden Ergebnisse:

- Ein Großteil (62 %) der Städte und Gemeinden, die sich an der Befragung beteiligt haben, hat keine Probleme bzgl. der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs.
- Dennoch berichten (38 %) der befragten Behörden über Probleme in der Befahrbarkeit mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs an allen drei innerörtlichen Knotenpunkttypen (Einmündung, Kreuzung, Kreisverkehr).
- Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse der Befragung, dass sowohl ältere als auch neuere Knotenpunkte Beschädigungen aufweisen.
- Zwei Drittel aller problembehafteten Knotenpunkte (67 %) werden neben Fahrzeugen des Schwerverkehrs regelmäßig auch von Großraum- und Schwertransporten befahren. Eine genaue Zuordnung von Problemen bei der Befahrbarkeit zu einer konkreten Fahrzeuggruppe ist nicht möglich.
- Der Kreisverkehr ist mit 43 % der am häufigsten betroffene Knotenpunkttyp. Unter Berücksichtigung des eher geringen Vorkommens innerörtlicher Kreisverkehre gewinnt dieses Ergebnis zusätzlich an Bedeutung.
- Die Online-Umfrage hat gezeigt, dass ein Großteil der Knotenpunkte heutzutage unter Verwendung des Bemessungsfahrzeugs Sattelzug neu trassiert werden müsste.
- Nach Meinung der befragten Behörden in den Ländern und Kommunen verursachen Sattelzüge (41 %), Lastzüge (29 %) und Großraum- und Schwertransporte (21 %) die Probleme an den betroffenen Knotenpunkten.

- Die Eckausrundungen der problembehafteten Knotenpunkte werden zu 41 % mit einfachen Kreisbögen trassiert und sind somit nicht an den typischen Verlauf der Schleppkurven angepasst (3-teiliger Korbbogen).
- Typische und statistisch gesicherte Schadensbilder können auf Grundlage der durchgeführten Online-Umfrage nicht ermittelt werden. Die Online-Umfrage zeigt lediglich Tendenzen möglicherweise typischer Schadensbilder auf.
- Tendenziell sind die genannten Einmündungen, gemessen an der Anzahl der Schadensmeldungen, vorwiegend von Beschädigungen an Fahrbahnteilern (54 %) und Eckausrundungen (31 %) betroffen.
- Analog hierzu zeigt der Knotenpunkttyp „Kreuzung“, gemessen an der Anzahl der Schadensmeldungen, überwiegend Beschädigungen an Fahrbahnteilern (77 %) und kurvenäußeren Bordsteinen (23 %).
- Die im Rahmen der Online-Umfrage genannten Kreisverkehre zeigen, gemessen an der Anzahl der Schadensmeldungen, überwiegend Schäden an den Eckausrundungen (79 %) und Dreiecksinseln (21 %). Tendenziell weisen die Kreisausfahrten gegenüber den Einfahrten geringfügig häufiger Schäden auf.



Bild 27: Messaufbau zur lasergestützten Fahrzeugvermessung

im Zuge der A 2 sowie auf der Raststätte Hannover-Wülferode im Zuge der A 7 statt.

Im Rahmen der Vermessung wurden neben der Fahrzeuggesamtlänge die für die Schleppkurvenberechnungen notwendigen Teillängen erhoben und anschließend statistisch ausgewertet. Das zur Längenmessung genutzte Messverfahren stützte sich dabei auf das Prinzip der Laser-Entfernungsmessung. Zur Gewährleistung eines möglichst präzisen, komfortablen und schnellen Messvorgangs, kamen zwei eigens für das Forschungsprojekt entwickelte Messgestelle zum Einsatz. Diese dienten zum einen als Stativ, zum anderen als „Zielscheibe“ des Laserstrahls (vgl. Bild 27). Die Messgenauigkeit des lasergestützten Messverfahrens beträgt ca. ± 5 cm.

5 Überprüfung der Bemessungsfahrzeuge für den Schwerverkehr

5.1 Methodisches Vorgehen

Die Überprüfung der bisher in den deutschen Richtlinien enthaltenen Bemessungsfahrzeuge für den Schwerverkehr basiert auf der von SCHNÜLL, HOFFMANN und KÖLLE entwickelten Untersuchungsmethodik (2001). Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes werden dabei ausschließlich die Fahrzeugklassen Last- und Sattelzug betrachtet.

In Anlehnung an die im Jahr 1997 auf diversen Rastanlagen deutscher Autobahnen durchgeführten empirischen Untersuchungen, wurden im Frühjahr 2012 erneut die Abmessungen von Last- und Sattelzügen ermittelt. Die Erhebungen fanden auf den Raststätten Zweidorfer Holz und Lehrter See

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Fahrzeugklasse Sattelzug

Analog zu der von SCHNÜLL, HOFFMANN und KÖLLE entwickelten Untersuchungsmethodik (2001) wurde die Fahrzeugklasse Sattelzug in die folgenden Fahrzeugtypen unterteilt und statistisch ausgewertet:

- 3-achsige Sattelzugmaschine – 4-achsiger Sattelauflieger (S 3-4),
- 3-achsige Sattelzugmaschine – 3-achsiger Sattelauflieger (S 3-3),
- 3-achsige Sattelzugmaschine – 2-achsiger Sattelauflieger (S 3-2),
- 2-achsige Sattelzugmaschine – 4-achsiger Sattelauflieger (S 2-4),
- 2-achsige Sattelzugmaschine – 3-achsiger Sattelauflieger (S 2-3),

- 2-achsige Sattelzugmaschine – 2-achsiger Sattelaufleger (S 2-2) und
- 2-achsige Sattelzugmaschine – 1-achsiger Sattelaufleger (S 2-1).

Die Tabelle 4 zeigt die aus 119 vermessenen Sattelzügen abgeleitete Fahrzeugtypenverteilung. Bei den Sattelzügen überwiegt eindeutig der Fahrzeugtyp S 2-3 mit einem Anteil von mehr als 90 %. Alle anderen Fahrzeugtypen traten nur sehr selten auf. Zur Prüfung der im Rahmen der Vermessung auf den Rastanlagen erhobenen Fahrzeugverteilung wurden ergänzend 506 Sattelzüge auf den Autobahnen A 2 und A 7 gezählt. Die in Bild 28 gegenübergestellten Verteilungen zeigen, dass der Fahrzeugtyp S 2-3 der am häufigsten vorkommende Fahrzeugtyp bei den Sattelzügen ist. Für die Berechnung und Definition von Bemessungsfahrzeugen stellt die aus den Vermessungen abgeleitete Verteilung demnach eine repräsentative Datengrundlage dar.

Aufgrund der Häufigkeit des Fahrzeugtyps S 2-3 wurde die statistische Auswertung der gemessenen Teillängen sowie die Berechnung und Definition des Bemessungsfahrzeugs Sattelzug lediglich für diesen Fahrzeugtyp durchgeführt.

Fahrzeugtyp	Anzahl	Anteil an Fahrzeugklasse [%]
S 3-4	2	1,68
S 3-3	3	2,52
S 3-2	0	0,00
S 2-4	1	0,84
S 2-3	109	91,60
S 2-2	3	2,52
S 2-1	1	0,84

Tab. 4: Ergebnisse der empirischen Untersuchungen – Fahrzeugtypen Sattelzüge (n = 119)

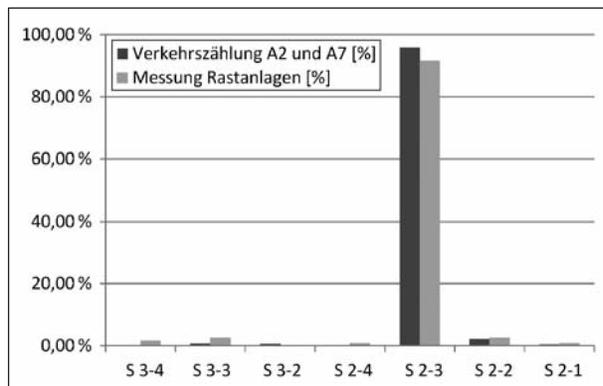


Bild 28: Gegenüberstellung der Ergebnisse der empirischen Untersuchungen – Sattelzüge

Während der Messungen auf den Rastanlagen wurde deutlich, dass ein großer Anteil der erfassten Fahrzeuge die gesetzlich zulässige Maximallänge von 16,50 m überschreitet (ca. 30 % unter Berücksichtigung des Messfehlers). Diese Überschreitungen sind in der Praxis durch das Zusammenspiel von verschiedenen Sattelzugmaschinen und Sattelauflegern mit verschiedenen Kupplungspunkten und daraus resultierenden Kupplungslängen zu erklären.

Für die Berechnung eines aktuellen Bemessungsfahrzeugs sowie für die Berechnung der in der Tabelle 5 aufgeführten Kennwerte wurden jedoch ausschließlich Sattelzüge mit einer Gesamtlänge von weniger als 16,55 m herangezogen (Maximallänge nach StVZO + Messgenauigkeit (± 5 cm)). Der Stichprobenumfang reduzierte sich somit von 119 auf 86 Fahrzeuge.

Die Fahrzeugbreite wurde im Rahmen der empirischen Untersuchungen nicht erhoben, da diese in der Regel der gesetzlich zulässigen Maximalbreite von 2,55 m entspricht (durch Stichprobe während der Erhebungen bestätigt).

Sattelzug	Sattelzugmaschine			Sattelaufleger ¹			
	Überhang vorne [m]	Radstand [m]	Überhang hinten [m]	Überhang vorne [m]	Radstand [m]	Überhang hinten [m]	Breite [m]
Fahrzeugtyp S 2-3							
Anzahl	86						
Mittelwert	1,37	3,70	0,85	1,62	7,54	4,11	2,55
Standardabweichung	0,10	0,15	0,17	0,26	0,40	0,56	2,55
Maximalwert	1,47	4,12	1,74	1,96	8,23	4,61	2,55
Minimalwert	0,98	3,41	0,63	0,65	5,52	2,22	2,55
95%-Konf.	0,02	0,03	0,04	0,05	0,09	0,12	0,00
85%-Quantil	1,44	3,81	1,05	1,74	7,70	4,39	2,55
15%-Quantil	1,32	3,56	0,72	1,59	7,48	3,98	2,55
¹ Die Angaben beziehen sich auf den Sattelzapfen und die mittlere Hinterachse des Sattelauflegers							

Tab. 5: Kenngrößen der erhobenen Teillängen des Fahrzeugtyps Sattelzug S 2-3

5.2.2 Fahrzeugklasse Lastzug

Analog den Sattelzügen wurde auch bei den Lastzügen eine Unterteilung gemäß der Methodik von SCHNÜLL, HOFFMANN und KÖLLE (2001) vorgenommen. Die bei Lastzügen verwendeten Anhänger wurden zusätzlich nach Drehschemel- und Zentralachsanhänger differenziert. Drehschemelan Anhänger verfügen dabei mit dem Kupplungspunkt sowie dem Drehpunkt der Vorderachse über zwei Knickpunkte. Zentralachsanhänger verfügen dagegen nur über einen Knickpunkt (Kupplungspunkt). Zur Unterscheidung zwischen Drehschemel- und Zentralachsanhängern kann die Größe des Radstandes herangezogen werden. Zentralachsanhänger weisen gegenüber Drehschemelanhängern in der Regel einen deutlich geringeren Radstand auf.

Für die Fahrzeuggruppe Lastzug wurden im Einzelnen die folgenden Fahrzeugtypen unterschieden:

- 3-achsiger Lastkraftwagen – 3-achsiger Drehschemelan Anhänger (Z3-H3),
- 3-achsiger Lastkraftwagen – 2-achsiger Drehschemelan Anhänger (Z3-H2),
- 3-achsiger Lastkraftwagen – 2-achsiger Zentralachsanhänger (Z3-H2z),
- 2-achsiger Lastkraftwagen – 3-achsiger Drehschemelan Anhänger (Z2-H3),
- 2-achsiger Lastkraftwagen – 3-achsiger Zentralachsanhänger (Z2-H3z),
- 2-achsiger Lastkraftwagen – 2-achsiger Drehschemelan Anhänger (Z2-H2),
- 2-achsiger Lastkraftwagen – 2-achsiger Zentralachsanhänger (Z2-H2z),
- 2-achsiger Lastkraftwagen – 1-achsiger Zentralachsanhänger (Z2-H1z).

Im Zuge der durchgeführten empirischen Untersuchung wurden auf den zuvor genannten Rastanlagen insgesamt 93 Lastzüge vermessen. Die Unterscheidung einzelner Fahrzeugtypen erfolgte wie bei den Sattelzügen anhand der Achszahl der Zugmaschinen und Anhänger.

Im Gegensatz zu den Sattelzügen konnte in der Fahrzeugklasse Lastzug kein eindeutig dominierender Fahrzeugtyp ermittelt werden. Aus der Stichprobe der vermessenen Lastkraftwagen stellen 3-achsige Lastkraftwagen mit 2-achsigem Anhänger mit

mehr als 60 % den größten Anteil innerhalb der betrachteten Fahrzeugklasse dar. Die hierbei zu unterscheidenden Varianten Drehschemel- und Zentralachsanhänger sind in der Praxis mit ca. 45 % bzw. 26 % vertreten. Einen deutlich geringeren Anteil von 15 % nehmen 2-achsige Lastkraftwagen in Kombination mit 2-achsigen Zentralachsanhängern ein.

Zur Prüfung der auf den Rastanlagen ermittelten Verteilung (vgl. Tabelle 6) wurden 105 Lastzüge auf den Autobahnen A 2 und A 7 gezählt und statistisch ausgewertet. Beide Verteilungen sind in Bild 29 vergleichend gegenübergestellt.

Aufgrund der verhältnismäßig ähnlichen Anteile der Fahrzeugtypen Lastzug Z3-H2 und Z3-H2z muss im Folgenden geprüft werden, ob aufgrund eines unterschiedlichen Kurvenlaufverhaltens und damit einer unterschiedlichen Flächeninanspruchnahme, künftig ein Fahrzeug oder beide Fahrzeugtypen als Bemessungsfahrzeuge angegeben werden sollte.

Die statistischen Auswertungen wurden im Folgenden für beide Fahrzeugtypen durchgeführt. Die Tabelle 7 und die Tabelle 8 veranschaulichen die ermittelten Kennwerte der erhobenen Teillängen.

Fahrzeugtyp	Anzahl	%-Anteil an Fahrzeugklasse
Z3-H3	2	2,15
Z3-H2	42	45,16
Z3-H2z	24	25,81
Z2-H3	2	2,15
Z2-H3z	1	1,08
Z2-H2	4	4,30
Z2-H2z	14	15,05
Z2-H1z	4	4,30

Tab. 6: Ergebnisse der empirischen Untersuchungen – Fahrzeugtypen Lastzüge (n = 93)

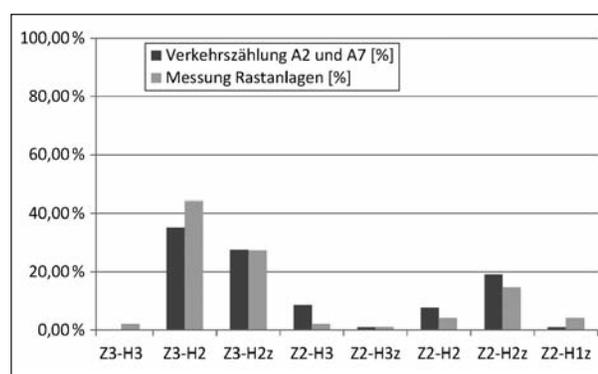


Bild 29: Gegenüberstellung der Ergebnisse der empirischen Untersuchungen – Lastzüge

Lastzug	Zugmaschine			Drehschemelanhänger			
	Überhang vorne [m]	Radstand [m]	Überhang hinten [m]	Überhang vorne [m]	Radstand [m]	Überhang hinten [m]	Breite [m]
Fahrzeugtyp Z3-H2							
Anzahl	29						
Mittelwert	1,41	5,21	2,15	1,16	4,88	1,14	2,55
Standardabweichung	0,05	0,24	0,34	0,39	0,59	0,34	2,55
Maximalwert	1,48	5,78	2,66	2,96	5,29	2,38	2,55
Minimalwert	1,30	4,56	1,32	0,74	2,05	0,87	2,55
95%-Konf.	0,02	0,09	0,12	0,14	0,21	0,13	0,00
85%-Quantil	1,48	5,06	2,43	1,29	5,16	1,23	2,55
15%-Quantil	1,48	5,04	1,93	1,12	4,79	0,96	2,55

Tab. 7: Kenngrößen der erhobenen Teillängen des Fahrzeugtyps Lastzug Z3-H2 (Drehschemelanhänger)

Lastzug	Zugmaschine			Zentralachsanhänger			
	Überhang vorne [m]	Radstand [m]	Überhang hinten [m]	Überhang vorne [m]	Radstand [m]	Überhang hinten [m]	Breite [m]
Fahrzeugtyp Z3-H2z							
Anzahl	21						
Mittelwert	1,40	5,37	2,46	2,87	2,00	2,64	2,55
Standardabweichung	0,06	0,35	0,27	0,83	1,11	0,58	2,55
Maximalwert	1,48	5,79	2,60	3,62	4,61	3,20	2,55
Minimalwert	1,30	3,98	1,35	0,99	1,30	1,45	2,55
95%-Konf.	0,02	0,15	0,12	0,36	0,47	0,25	0,00
85%-Quantil	1,46	5,53	2,59	3,41	1,84	3,00	2,55
15%-Quantil	1,33	5,21	2,47	2,08	1,32	1,69	2,55

Tab. 8: Kenngrößen der erhobenen Teillängen des Fahrzeugtyps Lastzug Z3-H2z (Zentralachsanhänger)

Auch in der Fahrzeuggruppe der Lastzüge wird deutlich, dass ein Großteil der Fahrzeuge die gesetzlich zulässige Maximallänge aufgrund verschiedener Kupplungslängen überschreitet. So überschreiten ca. 38 % (unter Berücksichtigung des

Messfehlers) des Fahrzeugtyps Z2-H3z und ca. 41 % des Typs Z2-H3 die gesetzlich zulässige Maximallänge von 18,75 m.

Die Berechnung der Bemessungsfahrzeuge sowie der in Tabelle 7 und Tabelle 8 aufgeführten Kennwerte basiert ausschließlich auf Lastzügen mit einer Maximallänge von 18,80 m. Auch in diesem Fall wurde von einer Messgenauigkeit des lasergestützten Messverfahrens von ca. ± 5 cm ausgegangen.

5.3 Berechnung und Definition von Bemessungsfahrzeugen

In den deutschen Richtlinien und Empfehlungen für den Straßenentwurf werden für eine standardisierte Dimensionierung fahrgeometrischer Bewegungsräume Bemessungsfahrzeuge definiert, die zur Überprüfung von Entwurfs-elementen oder Anlagen für den fließenden und den ruhenden Kraftfahrzeugverkehr herangezogen werden. Diese Bemessungsfahrzeuge repräsentieren jeweils eine bestimmte Gruppe von Kraftfahrzeugen, die sich in ihren Abmessungen nur bedingt voneinander unterscheiden. Durch die Auswahl dieser Kraftfahrzeuge ist gewährleistet, dass Anlagen für den fließenden und den ruhenden Kraftfahrzeugverkehr nicht mit einem selten auftretenden Sonder- oder auch Maximalfahrzeug bemessen werden. Somit wird eine unnötige Flächeninanspruchnahme so weit wie möglich reduziert.

Die Bestimmung der Bemessungsfahrzeuge beschränkt sich im Folgenden auf die bereits ausgewählten Fahrzeugtypen der zuvor analysierten Fahrzeugklassen. Methodische Grundlage ist im Folgenden das von SCHNÜLL, HOFFMANN und KÖLLE entwickelte Berechnungsverfahren (2001). Hieraus resultierenden dann auch unterschiedliche Zugmaschinen für die verschiedenen Gruppen von Lastzügen (Last- bzw. Gliederzug mit Drehschemelanhänger bzw. mit Zentralachsanhänger).

Maßgebend für die Definition der Bemessungsfahrzeuge Last- und Sattelzug sind die in den jeweiligen Gruppen am häufigsten vertretenen Fahrzeugtypen. Für die Gruppe der Sattelzüge ist dies der Fahrzeugtyp S 2-3. Für die Lastzüge sind dies die Fahrzeugtypen Z3-H2 und Z3-H2z.

Die derzeit in Deutschland gültigen Bemessungsfahrzeuge beinhalten kein Bemessungsfahrzeug Lastzug mit Zentralachsanhänger, da zum Zeitpunkt der Berechnung der Bemessungsfahrzeuge

	Außenabmessungen [m]					
	Länge	Radstand	Überhanglänge vorn	Überhanglänge hinten	Breite ³	Wendekreisradius
Lastzug¹ mit Drehschemelanhänger	18,75					
Zugmaschine	9,70	5,28 ²	1,50	2,92	2,55	10,30
Anhänger ⁴	7,49	4,84	1,35	1,30		
Lastzug¹ mit Zentralachsanhänger	18,75					
Zugmaschine	10,07	5,48 ²	1,44	3,15	2,55	10,30
Anhänger ⁴ (Zentralachse)	7,86	2	3,99	3,87		
Sattelzug	16,50					
Zugmaschine	6,11	3,95	1,43	0,76	2,55	7,90
Auflieger	13,69	7,60 ²	1,74	4,37		
Höchstwerte der StVZO						
Lastzug	18,75				2,55 ⁵	12,50
Sattelzug	16,50				2,55 ⁵	12,50
¹ Lastzug oder gleichbedeutend Gliederzug ² Tandemachsen werden zu einer Mittelachse zusammengefasst ³ Breite ohne Außenspiegel ⁴ ohne Deichsellänge ⁵ 2,60 m für Kühlfahrzeuge						

Tab. 9: Vorschlag Bemessungsfahrzeuge für den Straßenentwurf (Sattelzug und Lastzug) – Stand 30.06.2013

(2001) dieser Fahrzeugtyp nicht so häufig vertreten war, wie im Jahr 2012. Gleichwohl war auch hier schon bekannt, dass Lastzüge mit Zentralachsanhänger mehr Fläche während einer Kurvenfahrt beanspruchen.

Als Bemessungsfahrzeug gilt dabei jenes Fahrzeug, welches die größte Ähnlichkeit zum sogenannten „85%-Fahrzeug“ eines Fahrzeugtyps aufweist. Zur Bestimmung eines fahrzeuggruppenspezifischen Bemessungsfahrzeugs wird ein reales Fahrzeug innerhalb des betrachteten Kollektivs ausgewählt, dessen mittlere relative Abweichung zwischen L_{ij} und $L_{i\ 85\%}$ minimal ist.

Mathematisch lässt sich die mittlere Abweichung A_j wie folgt berechnen:

$$A_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \left(1 - \frac{L_{ij}}{L_{i\ 85\%}} \right) \right|$$

mit

n Anzahl der Teillängen

L_{ij} Teillänge i des Fahrzeugs j

$L_{i\ 85\%}$ 85%-Quantil der Teillänge i

Die im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit auf der o. a. beschriebenen Grundlage ermittelten Bemessungsfahrzeuge entsprechen in ihren Abmessungen nahezu den Bemessungsfahrzeugen von 2001. Aufgrund der nur minimalen Abweichungen einzelner Teillängen werden die vorliegenden Abmessungen der gültigen Bemessungsfahrzeuge daher im Wesentlichen beibehalten. Für die Fahrzeuggruppe der Lastzüge wird die Fahrzeuglänge (Zugmaschine + Anhänger) auf das zulässige Maximalmaß von 18,75 m verlängert. Hierfür wurde der hintere Überhang des Anhängers um 4 cm verlängert. Alle anderen Teillängen wurden nicht verändert.

Die Tabelle 9 zeigt den Vorschlag für mögliche aktualisierte Bemessungsfahrzeuge für die Fahrzeuge des Schwerverkehrs (Fahrzeuggruppe Last- und Sattelzug).

5.4 Zusammenfassung und Fazit

Die in Anlehnung an die Methodik von SCHNÜLL, HOFFMANN und KÖLLE definierten „Bemessungsfahrzeuge 2013“ unterscheiden sich in ihren Abmessungen nur minimal von den derzeit im Regelwerk der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen definierten Bemessungsfahrzeugen. Sowohl der Lastzug als auch der Sattelzug erreichen die nach der StVZO maximal zulässige Gesamtlänge. Eine grundlegende, für Schäden an Knotenpunkten verantwortliche, Veränderung der Fahrzeugabmessungen ist für die Fahrzeuge des Schwerverkehrs in den letzten 15 Jahren demnach nicht erfolgt.

Auffällig ist für die Fahrzeuggruppe der Lastzüge der deutlich gestiegene Anteil von Lastzügen mit Zentralachsanhänger. Im Vergleich zum Jahr 2001 hat sich der Anteil dieser Fahrzeuge in der Gruppe der Lastzüge deutlich erhöht. Inwieweit diese Fahrzeuge vermehrt für Schäden im Bereich von plangleichen Knotenpunkten verantwortlich sind, kann jedoch an dieser Stelle nicht abschließend beurteilt werden. Hierfür sind vergleichende Schleppkurvenuntersuchungen erforderlich. Abschließend ist dann zu definieren, ob die Bemessungsfahrzeuge der FGSV

ergänzt (Aufnahme eines weiteren Bemessungsfahrzeugs in der Gruppe der Schwerverkehrsfahrzeuge) oder auch reduziert (Angabe eines ungünstigsten Bemessungsfahrzeuges) werden sollten.

In diesem Zusammenhang ist jedoch auch zu beachten, dass eine Vielzahl von Fahrzeugen des Schwerverkehrs, die nach der StVZO maximal zulässige Gesamtlänge überschreitet. Die Frage, inwieweit diese Überschreitungen in der Praxis für Probleme in der Befahrbarkeit verantwortlich sind, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

6 Praktische und theoretische Ermittlung von Schleppkurven

6.1 Methodisches Vorgehen

Das übergeordnete Ziel der vergleichenden praktischen und theoretischen Ermittlung von Schleppkurven ist zunächst die Prüfung, inwieweit die mittels Simulationsprogrammen erzeugten Schleppkurven bzw. Flächeninanspruchnahmen die Praxis abbilden bzw. welche Unterschiede zwischen theoretisch und praktisch ermittelten Schleppkurven auftreten. Darüber hinaus soll durch die praktische Ermittlung von Schleppkurven mittels Fahrversuchen auch ermittelt werden, wie sich beispielsweise höhere Fahrgeschwindigkeiten auf die Flächeninanspruchnahme bei der Befahrung von plangleichen Knotenpunkten auswirken. Dieser Einfluss kann derzeit von den Simulationsprogrammen nicht abgebildet werden.

Voraussetzung für einen belastbaren Vergleich mit den theoretisch ermittelten Schleppkurven ist hierfür eine hochgenaue Erfassung der Flächeninanspruchnahme der Versuchsfahrzeuge während der gesamten Fahrt durch den Knotenpunkt. Im Rahmen der Fahrversuche konnte dies durch die Verwendung des differentiellen GNSS sichergestellt werden.

6.2 Praktische Ermittlung von Schleppkurven mittels Fahrversuchen

6.2.1 Allgemeines

Die praktische Ermittlung von Schleppkurven erfolgte im Rahmen des Projektes mittels Fahrversuchen. Während der Testfahrten wurde das Fahrverhalten der verschiedenen Fahrzeuge des Schwer-

verkehrs mittels GNSS- (Global Navigation Satellite System) Messtechnik erfasst. Diese Technik erlaubt Aufzeichnungsraten von 10 Positionen pro Sekunde bei einer Genauigkeit von ca. 10 mm.

Insgesamt wurden sechs geodätische Zweifrequenz-GNSS-Empfänger verwendet. Jedes Fahrzeugteil (Zugmaschine und Anhänger) wurde mit zwei GNSS-Empfängern ausgestattet (vgl. Bild 30).

Zusätzlich wurden zwei GNSS-Referenzstationen in der Nachbarschaft aufgebaut (vgl. Bild 31).

Alle Positionen werden im Landessystem bestimmt (Gauß-Krüger Abbildungskordinaten im System des Deutschen Hauptdreiecksnetz, DHDN).

Unter Verwendung des differentiellen DGNSS konnten die Positionen der Fahrzeugantennen im Bezug zu den Referenzstationen laut Handbuch der verwendeten GNSS-Empfänger mit einer Genauigkeit von 10 mm + 2 ppm (parts per million) bestimmt werden. Die Auswertung erfolgte in den Lagekomponenten, Rechts- und Hochwert, die Höhe blieb unberücksichtigt.



Bild 30: GNSS-Empfänger am Fahrzeug

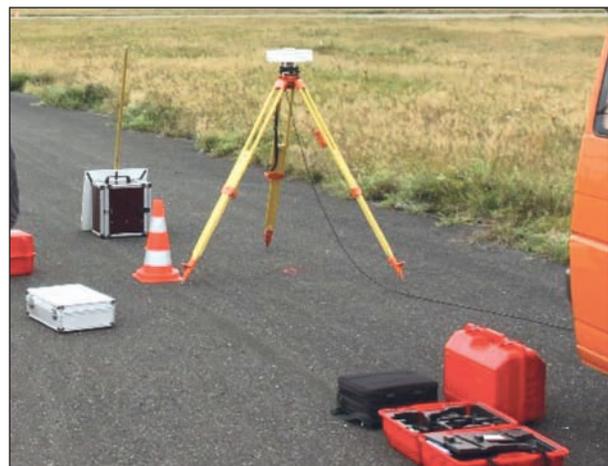


Bild 31: GNSS-Referenzstation

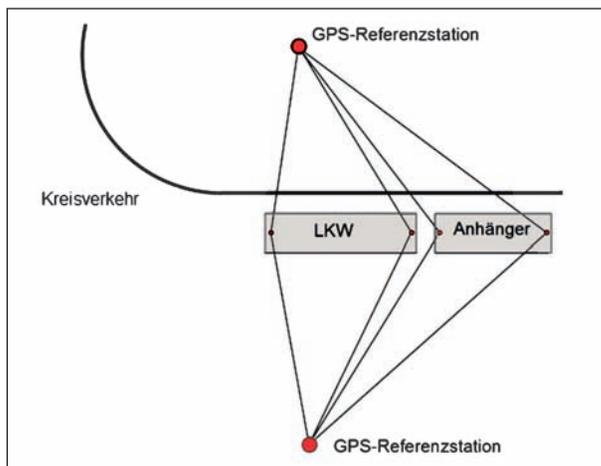


Bild 32: Messsystem zur Erfassung der Schleppkurven

6.2.2 Ableitung von Knotenpunkten für die Fahrversuche

Die Basis für die Ableitung von Knotenpunkten für die Fahrversuche bildet die Städteumfrage, in der problembehaftete plangleiche Knotenpunkte in Erfahrung gebracht wurden (vgl. Kapitel 4). Aufbauend auf den Meldungen der Kommunen wurden die Knotenpunktparameter für einzelne unterschiedliche Knotenpunktgrundformen für die Betrachtung im Rahmen der praktischen Fahrversuche abgeleitet (vgl. Kapitel 7.2 und Tabelle 16).

Betrachtet wurden die Knotenpunktgrundformen Kreisverkehr sowie Kreuzung und Einmündung. Die Knotenpunktgrundformen Kreuzung und Einmündung werden hierbei jedoch zusammengefasst, da sie sich hinsichtlich der fahrgeometrisch kritischen Fahrbeziehungen nicht unterscheiden.

Kreisverkehr

Als Grundlage für den in den Fahrversuchen zu untersuchenden Kreisverkehr dient ein auf Basis der Befragung ermittelter kleiner Kreisverkehr mit vier Knotenpunktarmen sowie mit jeweils einem Fahrstreifen in der Zu- und Ausfahrt. Der Kreuzungswinkel der Fahrbahnachsen ist rechtwinklig. Die weiteren Trassierungsparameter sind in der Tabelle 10 angegeben. Trotz des relativ großen Außendurchmessers von 40 m wurde im Rahmen der Befragung an diesem Kreisverkehr vermehrt von Schäden im Bereich der Kreisinsel berichtet (Bild 33).

Kreuzung/Einmündung

Die maßgebende Ein-/Abbiegebeziehung für die Dimensionierung von Kreuzungen und Einmündun-

Element	Abmessungen
Außendurchmesser	40,00 m
Durchmesser der Kreisinsel	26,00 m
Breite des Kreisringes	7,00 m
Breite der Kreisfahrbahn	6,00 m
Radius Eckausrundung Zufahrt (R_Z)	12,00 m
Radius Eckausrundung Ausfahrt (R_A)	14,00 m

Tab. 10: Trassierungsparameter des auf Basis der Befragungsergebnisse ausgewählten kleinen Kreisverkehrs für die praktische Ermittlung von Schleppkurven



Bild 33: Schäden am Kreisverkehr (Außendurchmesser 40 m)

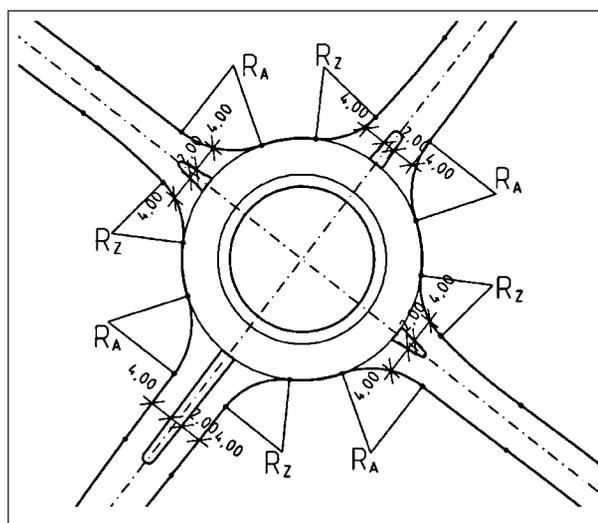


Bild 34: Ausgewählter Kreisverkehr für die Fahrversuche

gen ist das Rechtsein- bzw. -abbiegen. Für die Fahrversuche wurde daher ein Knotenpunktsegment eines Rechtsein- bzw. -abbiegers in Anlehnung an zwei im Rahmen der Städteumfrage als problembehaftete gemeldete Kreuzungen gewählt.

Die Kreuzung 2 der Städteumfrage (vgl. Kapitel 7.2) verfügt als Eckausrundung über einen einfachen Kreisbogen mit einem Radius von 15,00 m.

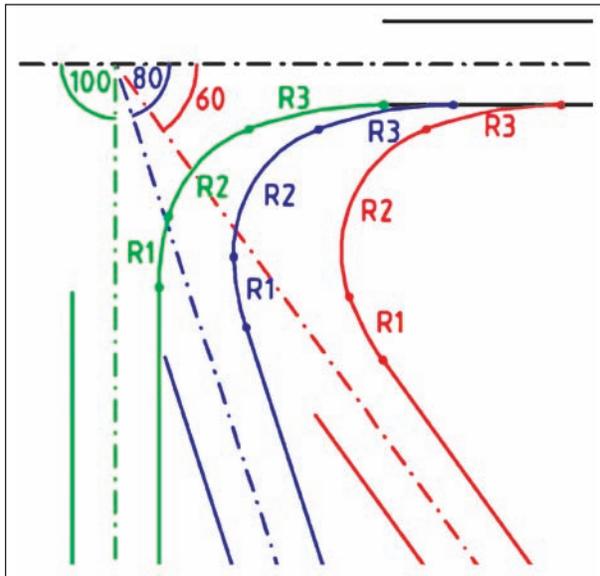


Bild 35: Kreuzungssegment für Fahrversuche (100/80/60 gon)

Element		Parameter
Kreuzungswinkel		100/80/60 gon
Bogenradius (Öffnungswinkel)	R ₁	24,00 m
	R ₂	12,00 m
	R ₃	36,00 m
Fahrstreifenbreite	Einfahrt	4,00 m
	Ausfahrt	3,75 m

Tab. 11: Trassierungsparameter der für die praktische Ermittlung von Schleppkurven ausgewählten Einmündungen

Die Kreuzung 1 (vgl. Kapitel 7.2) verfügt über Eckausrundungen in Form einer 3-teiligen Kreisbogenfolge (Korbbogen). Dieser Korbbogen entspricht in seinen Abmessungen weitestgehend der in der RAST (FGSV, 2006) geforderten Radienfolge von $R_1:R_2:R_3 = 2:1:3$ mit einem Hauptbogenradius von 12 m.

In beiden Fällen traten die gemeldeten Schäden im Bereich der Knotenpunktausfahrt auf. Die Fahrstreifenbreite der Kreuzungen beträgt hier 3,75 m (Kreuzung 1) und 3,50 m (Kreuzung 2).

Da die dreiteilige Kreisbogenfolge der Schleppkurve der Fahrzeuge besser angepasst ist als der einfache Kreisbogen, wird sie in den RAST (FGSV, 2006) vor allem für Knotenpunkte hoch belasteter Hauptverkehrsstraßen als vorteilhaft bezeichnet. Bei neu zu gestaltenden Knotenpunkten an Hauptverkehrsstraßen, welche von Lkw befahren werden, spielt der einfache Kreisbogen als Eckausrundung nur noch eine untergeordnete Rolle.

Aus diesem Grund orientiert sich das für die Fahrversuche gewählte Knotenpunktsegment an der Kreuzung 1 mit einer dreiteiligen Kreisbogenfolge (vgl. Bild 35).

In der Tabelle 11 sind die Trassierungsparameter für die drei untersuchten Varianten mit Kreuzungswinkeln von 100, 80 und 60 gon angegeben.

6.2.3 Vorbereitung der Fahrversuche

Testgelände

Als Testgelände wurde der ehemalige Flughafen Hopsten in der Nähe von Rheine ausgewählt. Mit einer ca. 90 m breiten Start- und Landebahn sowie diversen Zu- bzw. Abfahren verfügt der ehemalige Flughafen über ausreichend Platz, die konstruierten Knotenpunkte abzubilden.

Netzmessung

Die Positionen der GNSS-Referenzstationen sowie der Konstruktionspunkte der Knotenpunkte wurden in einem kombinierten GNSS-Tachymeter-Netz ausgeglichen. Die Lagerung des Netzes im DHDN erfolgte über RTK-Messungen mithilfe des Satellitenpositionierungsdienstes ascos.

Die Konstruktionspunkte der Knotenpunkte wurden rechnerisch durch eine Ähnlichkeitstransformation in das Landessystem überführt.

Einmessen der Knotenpunkte

Für die Durchführung der Fahrversuche auf dem ehemaligen Flughafen wurden die Knotenpunkte, wie in Bild 36 dargestellt, auf das Testgelände übertragen. Hierzu wurden lokale Koordinatensysteme in der Örtlichkeit festgelegt. Ausgehend von den Konstruktionselementen wurden die Knotenpunkte mithilfe eines Tachymeters in dem lokalen System abgesteckt (vgl. Bild 36). Die Absteckung erfolgte mit einer Genauigkeit von ca. 1 cm. Die Konstruktionspunkte wurden entsprechend der Vorgaben durch Geraden oder Kreisbögen verbunden und mit Sprühkreide markiert.

Zur besseren Visualisierung und Orientierung der Fahrer wurden zusätzlich Leitkegel aufgestellt (vgl. Bild 37). Um eine eindeutige Erkennbarkeit der drei Einmündungsvarianten zu gewährleisten, wurde jeweils nur die zu befahrende Variante mit Leitkegeln markiert.

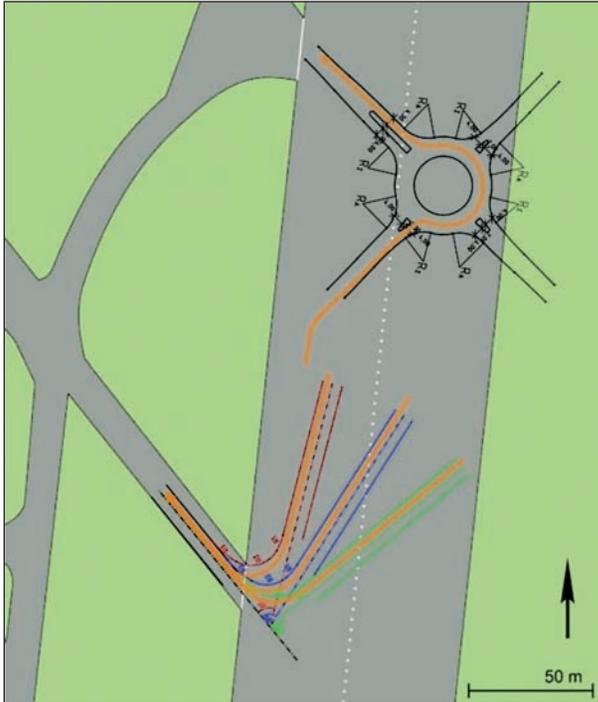


Bild 36: Versuchsaufbau, Lage der Knotenpunkte



Bild 37: Markierungen mit Sprühkreide und Leitkegeln



Bild 38: Abgesteckte und markierte Knotenpunkte

Einmessen der Versuchsfahrzeuge

Jedes Fahrzeug wurde mit zwei GPS-Empfängern ausgestattet. Die Sensoren wurden jeweils in ca.



Bild 39: GPS-Empfänger am Fahrzeug

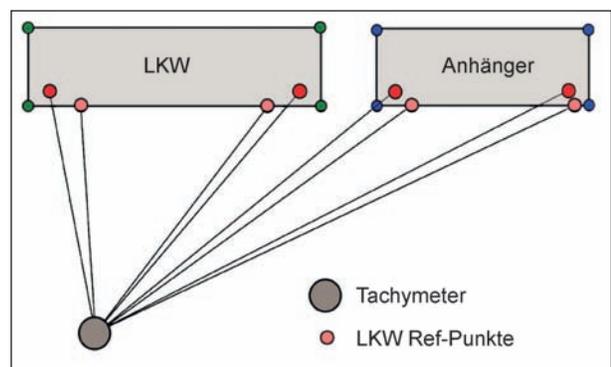


Bild 40: Bestimmung der lokalen Geometrie mittels Tachymeter

4 m Höhe am Dach der Fahrzeuge angebracht. Während die Sensoren an der Zugmaschine mit Magnetfüßen am Stahldach angebracht werden konnten, musste die Sensoren an den Anhängern teilweise mit Prismenstäben befestigt werden, da keine geeigneten Auflagen für die Magnetfüße vorhanden waren.

Der Umriss der Fahrzeuge wird grundsätzlich durch ein Rechteck modelliert. Neben den GNSS-Antennen wurden jeweils zwei Referenzpunkte auf der Längsseite angemessen. Die Aufnahme der Punkte erfolgte anschließend mit einem Tachymeter.

Die Eck- und Achspunkte der Zugmaschine und des Anhängers, sowie die Tachymeter-Referenzpunkte wurden in einem fahrzeugbezogenen Koordinatensystem aufgenommen. Für eine einfache Auswertung wurden die Eck- und Achspunkte anschließend in einem lokalen, fahrzeugabhängigen Koordinatensystem mit den GNSS-Sensoren als Koordinatenursprung/Koordinatenachse transformiert.

6.2.4 Durchführung der Fahrversuche

Fahrzeuge und Fahrer

Zur Durchführung der Fahrversuche wurde von drei ortsansässigen Speditionen jeweils für einen Tag ein Fahrzeug mit Fahrer angemietet. Die Auswahl der Fahrzeuge orientierte sich grundsätzlich an den vorab als repräsentativ ermittelten Bemessungsfahrzeugen. Darüber hinaus wurden Fahrzeugtypen ausgewählt, für die im Vorfeld keine bzw. nur wenig Erkenntnisse bzgl. der Kurvenlaufeigenschaften vorlagen.

Ausgewählt wurden die folgenden Fahrzeuge aus der Gruppe der Last- und Sattelzüge:

- Sattelzug (S 2-3),
- Sattelzug (S 2-3) mit verlängertem Auflieger,
- Lastzug mit Zentralachsanhänger (Z3-H2z).



Bild 41: Sattelzug mit liftbarer Aufliegerachse



Bild 42: Sattelzug mit verlängertem Auflieger



Bild 43: Lastzug mit Zentralachsanhänger

Am ersten Versuchstag (17.09.2012) stand ein Sattelzug mit einer Gesamtlänge von 16,50 m zur Verfügung (vgl. Bild 41). Der Sattelaufliieger verfügte über eine liftbare Aufliegerachse. Hierbei bestand die Möglichkeit die vordere der drei Aufliegerachsen anzuheben.

Am zweiten Versuchstag (18.09.2012) stand ein Sattelzug mit einem um ca. 1,30 m verlängertem Auflieger zu Verfügung (vgl. Bild 42). Die zusätzliche Länge verteilt sich hierbei auf einen um ca. 30 cm vergrößerten Abstand zwischen dem Königszapfen und den Aufliegerachsen sowie einen um ca. 1,00 m verlängerten hinteren Überhang. Die Gesamtlänge des verlängerten Sattelzuges betrug 17,78 m.

Als drittes Fahrzeug stand am letzten Versuchstag (19.09.2012) ein Lastzug mit Zentralachsanhänger zur Verfügung (vgl. Bild 43). Die Gesamtlänge dieser Fahrzeugkombination betrug 18,73 m.

Alle drei Fahrzeuge wurden von geübten Berufskraftfahrern gefahren. Die Fahrer verfügten über 18, 29 bzw. 35 Jahre Berufserfahrung als Lkw-Fahrer. Die jährliche Fahrleistung der Fahrer lag zwischen 120.000 und 150.000 km.

Aufzeichnung der Daten

Während der Versuchsfahrten wurden die GNSS-Daten automatisch in einem empängerspezifischen Format bzw. im RINEX-Format gespeichert. Die Aufzeichnungsrate betrug 10 Hz. Nach Abschluss der Fahrten eines Tages wurden die Datenspeicher ausgelesen und die Daten gesichert.

Versuchsablauf

Für alle drei Versuchsfahrzeuge und Fahrzeuge wurde grundsätzlich ein identischer Versuchsablauf gewählt. Alle Knotenpunkte wurden dabei von allen Fahrzeugen befahren. Differenziert wurden hierbei die drei Fahrweisen:

- normale/zügige Fahrt,
- langsame Fahrt und
- Fahrt mit Halt/Stopp.

Die normale/zügige Fahrweise entspricht der Befahrung eines gut einsehbaren Knotenpunktes mit normaler Geschwindigkeit. Die Fahrer wurden angehalten, den Knotenpunkt so zu befahren, wie sie

ihn auch in der Realität – also im öffentlichen Straßenraum – befahren würden. Für den Kreisverkehr ergab sich hieraus eine mittlere Fahrgeschwindigkeit von ca. 18 km/h und für die Einmündung von ca. 20 km/h (Werte aus Befahrungen berechnet).

Bei der langsamen Fahrweise wurden die Fahrer dazu angehalten, die Knotenpunkte mit Schrittgeschwindigkeit zu befahren, Für den Kreisverkehr ergab sich hieraus eine mittlere Fahrgeschwindigkeit von ca. 11 km/h und für die Einmündung von ca. 13 km/h (aus Befahrungen ermittelt).

Bei der Fahrweise „mit Halt/Stopp“ mussten die Fahrer ihr Fahrzeug vor der Einfahrt in den Knotenpunkt an einer Haltelinie zum Stillstand bringen, um dann wieder zu beschleunigen und den Knotenpunkt zu befahren.

Beim Kreisverkehr befand sich die Haltelinie unmittelbar vor dem Außenrand der Kreisfahrbahn, bei den Einmündungen wurde sie jeweils 4,00 m vor dem Fahrbahnrand der übergeordneten Straße markiert.

Diese Fahrweise soll das Szenario abbilden, dass der Fahrer nicht direkt in den Knotenpunkt einfahren kann, weil er einen bevorrechtigten Strom berücksichtigen muss. Zur Verdeutlichung der Situation und als „Erinnerung“ für den Fahrer wurde auf Höhe der Haltelinie jeweils ein Stopp-Schild aufgestellt (vgl. Bild 44).

Für jede Fahrweise wurden am Kreisverkehr 15 Fahrten und an den Einmündungen jeweils 10 Fahrten durchgeführt. Hieraus ergeben sich 45 Befahrungen des Kreisverkehrs und je 30 Befahrungen der einzelnen Einmündungen (60, 80 und 100 gon) je Fahrzeug (vgl. Tabelle 12).

Im Falle des Sattelzuges mit gelifteter Aufliegerachse wurden zusätzlich 17 Befahrungen des Kreis-



Bild 44: Fahrt mit Halt vor Knotenpunkt und Stopp-Schild

verkehrs – davon 15 in zügiger Fahrweise sowie zwei mit Halt und mit gelifteter Aufliegerachse durchgeführt. Jede der drei Einmündungsvarianten wurde fünfmal mit gelifteter Aufliegerachse befahren.

Neben der Aufzeichnung der GPS-Daten wurden die Fahrversuche mittels Foto- und Videoaufnahmen dokumentiert.

Auswertung der Daten

Nach Durchführung der Messfahrten erfolgte die Berechnung der Basislinien (Koordinatendifferenzen) zwischen Referenzstation und den GNSS-Sensoren auf den Fahrzeugen in einem Post-processing-Verfahren. Aus den Koordinaten der Referenzpunkte wurden mit den berechneten Basislinien die Positionen der Sensoren bestimmt. Mittels einer Transformation wurden aus den Antennenpositionen die Positionen der Fahrzeugecken und Achsen für jeden Messzeitpunkt im Landessystem abgeleitet.

Schleppkurvenermittlung

Während der Testfahrten wurden die Positionen der GNSS-Sensoren auf den Fahrzeugen mit einer Frequenz von 10 Hz im Landessystem bestimmt. Aufgrund der bekannten Positionen der GNSS-Sensoren relativ zu den Fahrzeugen können die Eck- und Achspunkte der Fahrzeuge ebenfalls im Landessystem bestimmt werden. Der Leitpunkt liegt mittig zwischen den Achspunkten der Vorderachse und

Knotenpunkt	Fahrweise	Anzahl Fahrten
Kreisverkehr	normale/zügige Fahrt	15
	mit Halt/Stopp	15
	langsame Fahrt	15
Einmündung 100 gon	normale/zügige Fahrt	10
	mit Halt/Stopp	10
	langsame Fahrt	10
Einmündung 80 gon	normale/zügige Fahrt	10
	mit Halt/Stopp	10
	langsame Fahrt	10
Einmündung 60 gon	normale/zügige Fahrt	10
	mit Halt/Stopp	10
	langsame Fahrt	10
Summe Versuchsfahrten		135

Tab. 12: Anzahl Versuchsfahrten je Fahrzeug

wird rechnerisch bestimmt. Die Positionen der Eckpunkte bilden ein Rechteck. Aufgrund der hohen Aufnahme Frequenz ist der Abstand zwischen den Rechtecken klein und aus der Abfolge der Rechtecke (Punkte und Seiten) kann die Hüllkurve grafisch/visuell ermittelt werden. Die berechneten Daten werden in Text- bzw. CAD-Dateien zur Weiterverarbeitung gespeichert.

Aus den Leitpunkten wird die Leitlinie abgeleitet, diese bildete anschließend die Grundlage für die softwaregestützten Schleppkurvensimulationen. Die Leitlinien bilden auch die Basis für die Aussagen bzgl. des Fahrverhaltens während der Testfahrten.

Erreichte Genauigkeiten

Da mit zwei Referenzstationen gearbeitet wurde, konnten für jeden GNSS-Sensor auch zwei Koordinaten berechnet werden. Aus der Differenz beider Koordinaten kann eine Aussage über die erreichte Genauigkeit abgeleitet werden. Die für jede Fahrt gesondert berechnete Standardabweichung für eine gemittelte Position liegt unter 10 mm.

Die Sensoren sind starr mit den Fahrzeugen verbunden. Werden Verwindungen der Zugmaschine bzw. des Anhängers vernachlässigt, so muss die Raumstrecke zwischen den Sensoren auf jedem Fahrzeug konstant sein. Für jede Fahrt wurde die mittlere Horizontalstrecke bestimmt und die Standardabweichung abgeleitet. Die Standardabweichungen für eine einzelne Strecke liegen unter 15 mm. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass Horizontalstrecken verglichen wurden und somit der Einfluss von Roll- und Nickbewegungen des Fahrzeuges nicht berücksichtigt werden konnte.

Die Sensoren befanden sich in einer Höhe von 4 m über der Fahrbahn, während die Leitlinie (Mittelpunkt auf der Vorderachse der Zugmaschine) auf der Fahrbahn- bzw. der Fahrgestellebene definiert ist. In Abhängigkeit von der Stabilität des Aufbaus und der Unebenheit der Fahrbahn können die Positionen der Sensoren systematische Abweichungen aufweisen. Dies gilt im Besonderen für die Fahrerkabine, die zur Erhöhung des Komforts für den Fahrer weich gefedert ist. Dies führt zum Beispiel bei Bremsungen zu einer Nickbewegung der Fahrerkabine.

Das Einmessen der GNSS-Sensoren erfolgte mit einem Tachymeter. Es wurden jeweils zwei Vollsät-

ze gemessen. Die Richtungsgenauigkeit beträgt 3 mgon, (entspricht einer Querabweichung von 3 mm in 50 m Entfernung) und die Streckengenauigkeit liegt bei 5 mm, sodass die Punktgenauigkeiten im Bereich von 5 mm liegen.

Die Eck- und Achspunkte wurden mit einem einfachen Verfahren aufgenommen. Die Genauigkeiten liegen im Bereich von 10 mm.

Insgesamt kann von einer ungefähren Punktgenauigkeit der Eck- und Achspunkte im Landesystem von 20 mm ausgegangen werden, hierbei sind die Bewegungen der GNSS-Sensoren relativ zum Fahrgestell vernachlässigt (limitierender Faktor für die Genauigkeiten ist die nicht bekannte Relativbewegung der Sensoren zum Fahrgestell).

6.3 Theoretische Ermittlung von Schleppkurven mittels Simulationssoftware

6.3.1 Grundlagen

Der Straßenentwurf erfolgt heute nahezu ausschließlich CAD-gestützt. In vielen Berechnungsprogrammen stehen für die Ermittlung von Schleppkurven Module zur Verfügung, mit denen die Hüllkurven unterschiedlicher Bemessungsfahrzeuge berechnet und dargestellt werden können. Nachfolgend soll am Beispiel der Entwurfssoftware CARD/1 und VESTRA PRO die Funktionsweise der Schleppkurvenermittlung mithilfe von Planungssoftware erläutert werden.

6.3.2 Programmsystem CARD/1

Grundlage für die Bestimmung einer Schleppkurve mithilfe der Programmsoftware CARD/1, Version 8.4, ist eine Leitlinie, auf der ein Führungspunkt (i. d. R. die Mitte der Vorderachse) eines Kraftfahrzeuges entlang geführt wird. Die Leitlinie besteht aus Klothoiden, Geraden und Kreisbögen, die vom Anwender sinnvoll unter Einhaltung von Mindeststrahlen zu entwerfen sind. Dabei sind Knicke in der Leitlinie, welche die Änderung des Einschlagwinkels im Stand simulieren, grundsätzlich möglich (Fahrweise 2). Die Fahrweise 2 sollte für Neuplanungen jedoch nicht zugrunde gelegt werden (FGSV, 2001).

Als Ergebnis wird von den Achs- und Eckpunkten des Bemessungsfahrzeuges sowie seiner ggf. vor-

handenen Anhänger eine einzelne Schleppkurve erzeugt. Die Hüllkurve dieser Schleppkurvenlinien stellt den Mindestflächenbedarf für diese Leitlinie und das jeweilige Bemessungsfahrzeug dar (vgl. Bild 45).

CARD/1 verfügt standardmäßig über die folgenden FGSV-Bemessungsfahrzeuge, die in der internen Programmbibliothek vorhanden sind (vgl. Bild 46):

- Pkw,
- Transporter/Wohnmobil,
- kleiner und großer Lkw (2- und 3-achsiger),
- Lastzug,
- Sattelzug,
- Müllfahrzeug (2-achsiger, 3-achsiger und 3-achsiger Nachläufer),
- Reise-/Linienbus (12 m, 13,7 m, 15 m) und
- Gelenkbus.

Da sich die geometrischen Parameter der einzelnen Fahrzeuge auch zusätzlich individuell anpassen lassen, ist mithilfe von CARD/1 auch die Bestimmung von Schleppkurven für Sonderfahrzeuge bzw. von den Bemessungsfahrzeugen abweichenden Fahrzeugen möglich (vgl. Bild 47).

Standardmäßig ermittelt das Programmsystem die Hüllkurve nach dem Algorithmus von EVERLING-SCHOSS. Darüber hinaus können aber auch die Verfahren nach

- EVERLING-SCHOSS mit Runge-Kutta-Erweiterung,
- OSTERLOH,
- HAUSKA-NEUMANN und
- HALTER

abgebildet werden. Die Simulation unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten lässt sich nicht abbilden. Auch das Rückwärtsfahren bzw. das Rangieren ist mithilfe von CARD/1 nicht möglich.

Für die Visualisierung der Ergebnisse der Schleppkurvenuntersuchungen bietet CARD/1 dem Anwender die folgenden Möglichkeiten:

- fahrendes Fahrzeug (visueller Eindruck der Fahrzeugbewegung am Bildschirm) und



Bild 45: Darstellung einer Hüllkurve (Quelle: CARD/1 Software)

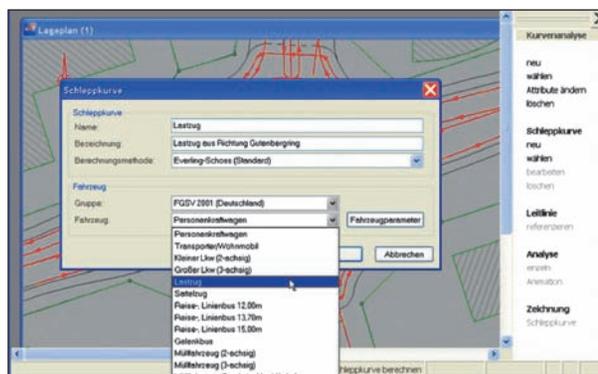


Bild 46: Auswahl der Bemessungsfahrzeuge in CARD/1 (Quelle: CARD/1 Software)

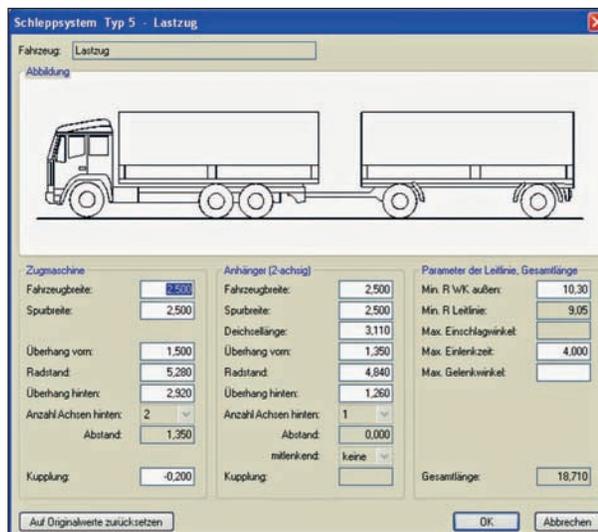


Bild 47: Eingabe der Fahrzeugparameter in CARD/1 (Quelle: CARD/1 Software)

- Einzelanimation (visueller Eindruck der Fahrbewegung am Bildschirm durch beliebiges Verschieben des Mauszeigers am Führungspunkt auf der Leitlinie).

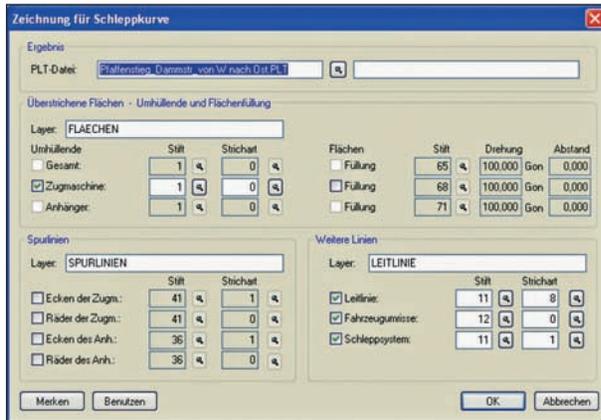


Bild 48: Optionen für die Darstellung von Schleppkurven im Lageplan (Quelle: CARD/1 Software)

Für die Darstellung in den Lageplänen lassen sich zusätzlich

- die Spurlinien der Ecken und Räder für die Zugmaschine und ggf. des Anhängers,
- die überstrichene bzw. die umhüllende Fläche des Schleppsystems und
- die Leitlinie sowie das Bemessungsfahrzeug unterschiedlich farbig darstellen (vgl. Bild 48).

6.3.3 Programmsystem VESTRA PRO

Grundlage für die Bestimmung einer Schleppkurve mit der Programmsoftware VESTRA PRO ist wiederum eine Leitlinie. Diese kann durch die Trassierung einer Achse oder einer frei einzugebenden Linie erzeugt werden. Zur Überprüfung der gewählten Leitlinie können grundsätzlich zwei Methoden gewählt werden:

- Wahl einer Linie oder Achse eines Fahrbahnrandes. Zur Berechnung der Schlepplinien bei einer Rechtskurve wird das Fahrzeug hinten links vom Fahrbahnrand geführt (bei einer Linkskurve analog vorne).
- Konstruktion einer Linie oder Achse speziell als Leitlinie. Zur Berechnung der Schlepplinien wird das Fahrzeug in der Mitte der Vorderachse geführt.

Als Ergebnis wird von jedem Fahrzeugteil die überstrichene Fläche berechnet und dargestellt (vgl. Bild 49).

Zur Auswahl eines Bemessungsfahrzeuges stehen in VESTRA PRO die folgenden FGSV-Bemes-

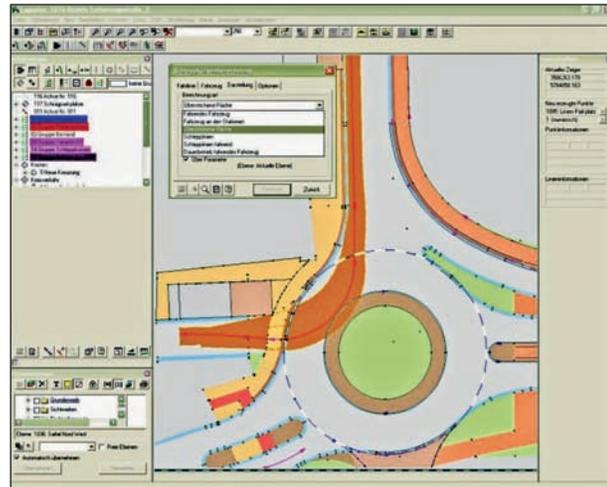


Bild 49: Darstellung einer Hüllkurve (Quelle: VESTRA PRO Software)

sungsfahrzeuge (2001) zur Verfügung (Anmerkung: In Anlehnung an die RAS-K-1 (FGSV, 1988/1993) sind diese immer noch mit dem Zusatz RAS-K-1 bezeichnet):

- RAS-K-1 Pkw,
- RAS-K-1 Transporter/Wohnmobile,
- RAS-K-1 kleiner und großer Lkw (2- und 3-achsig),
- RAS-K-1 Lastzug,
- RAS-K-1 Sattelzug,
- RAS-K-1 Müllfahrzeug (2-achsig, 3-achsig und 3-achsig Nachläufer),
- RAS-K-1 Reise-/Linienbus (12 m, 13,7 m und 15 m),
- RAS-K-1 Gelenkbus und
- RAS-K-1 großer Lkw mit überbreitem Frontpflug (3-achsig).

Zusätzlich zu den Bemessungsfahrzeugen gemäß RAS-K-1 bietet VESTRA PRO auch Bibliotheken verschiedener Automobilhersteller an. Diese können durch den Anwender mithilfe eines Texteditors beliebig erweitert und im Programm gespeichert werden (vgl. Bild 50).

Für die fahrgeometrische Schleppkurvenberechnung stehen in VESTRA PRO die Berechnungsverfahren nach OSTERLOH und SCHOUTEN zur Auswahl. Mithilfe eines Knickwinkelprotokolls lassen sich die maximal erreichten Winkel (beim Zugfahrzeug der Radeinschlagwinkel, bei Folgefahrzeugteilen der Winkel zum ziehenden Fahrzeugteil) protokollieren und prüfen.

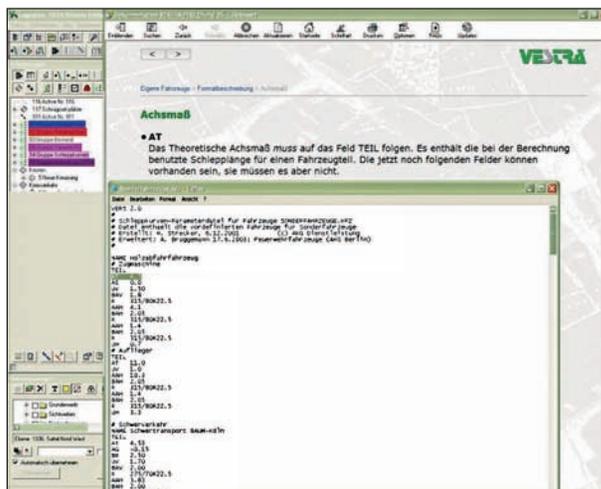


Bild 50: Ansicht Texteditor zur Anpassung der Fahrzeugparameter für Sonderfahrzeuge (Quelle: VESTRA PRO Software)

Weiterhin sind mit VESTRA PRO bedingt auch Rückwärtsfahrten simulierbar. Durch eine Option „Rückwärts aufstellen“ können die Bemessungsfahrzeuge um 180 Grad gedreht werden, um somit beispielsweise das Verlassen einer Parklücke zu simulieren. Das Finden einer Leitlinie für Rückwärtsfahrten ist aber auch mit VESTRA PRO nicht möglich.

Für die Darstellung der Berechnungsergebnisse stehen die folgenden Möglichkeiten zur Verfügung:

- Fahrendes Fahrzeug (visueller Eindruck der Fahrzeugbewegung am Bildschirm).
- Fahrzeug an den Stationen (Positionierung der Fahrzeugumrisse an definierten Stationen für die Lageplandarstellung).
- Überstrichene Fläche (Darstellung der gesamten vom Bemessungsfahrzeug überstrichenen Fläche im Lageplan).
- Schlepplinien darstellen (Darstellung der vorderen und hinteren Fahrzeugecken und der Hinterachsen von jedem Fahrzeugteil im Lageplan).
- Schlepplinien fahrend (visueller Eindruck der vom Fahrzeug gefahrenen Reifenspuren und der Fahrzeugumrandungen am Bildschirm).
- Dauerbetrieb fahrendes Fahrzeug (dauerhafter visueller Eindruck des fahrenden Fahrzeugs am Bildschirm).

Mit VESTRA PRO lassen sich ebenfalls keine unterschiedlichen Schleppkurven für unterschiedliche Fahrgeschwindigkeiten darstellen. Lediglich die

Simulationsgeschwindigkeit am Bildschirm ist veränderbar. Diese erzeugt jedoch immer die gleiche Schleppkurvenberechnung.

6.3.4 Vergleich der Programmsysteme und Auswahl einer Simulationssoftware

Als Simulationssoftware stehen im Rahmen der vorliegenden Arbeit grundsätzlich die CAD-Programme CARD/1 in der Version 8.4 sowie VESTRA PRO in der Version 7 zur Verfügung. Für die Auswahl eines Programms erfolgt vorab ein kurzer Vergleich der beiden Programmsysteme. Im Anschluss hieran erfolgt die Auswahl eines Programms für die weiteren Arbeitsschritte.

Der Vergleich der CAD-Programme erfolgt anhand der Schleppkurven für das Befahren eines kleinen Kreisverkehrs mit einem Außendurchmesser von 40 m. Geprüft wurde die Fahrbeziehung „Linksabbiegen“, wobei die Kreisfahrbahn nach ca. $\frac{3}{4}$ des Kreises verlassen wird. Diese Fahrbeziehung wird für den Vergleich als geeignet erachtet, da sie mehrere Fahrmanöver vereint. Auf das Rechtseinbiegen auf die Kreisfahrbahn folgen das Befahren der Kreisfahrbahn in einer Linkskurve und das Rechtsabbiegen in die Ausfahrt.

Als Bemessungsfahrzeug wurde in beiden Programmen ein 2,55 m breiter und 16,46 m langer Sattelzug gewählt. Die Orientierung des Fahrzeuges erfolgt in beiden Fällen entlang einer Leitlinie. Diese basiert auf einer zuvor definierten Achse und ist somit in beiden Programmen identisch.

Das Bild 51 zeigt die Schleppkurven des Sattelzuges in CARD/1 und das Bild 52 die Schleppkurve in VESTRA PRO. Unterschiede in Art und Ausdehnung der Kurven sind nicht ersichtlich. Zur detaillierten Betrachtung wurden beide Kurven in Bild 53 überlagert.

6.3.5 Zusammenfassung

Die gängigen CAD-Programme für den Straßenentwurf verwenden die aktuellen Bemessungsfahrzeuge und bilden die Basis für den Straßenentwurf.

Bezüglich der Auswahl des zu verwendenden Bemessungsfahrzeugs oder auch der Wahl einer möglichst realistischen Leitlinie für die Befahrung einer bestimmten Verkehrsanlage geben die CAD-Programme keine weiteren Hinweise. Unsicherheiten lassen sich hier lediglich durch die Hinzunahme



Bild 51: Schleppkurve in CARD/1

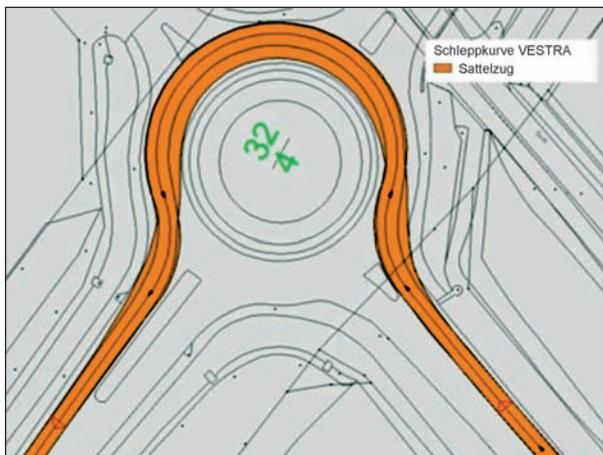


Bild 52: Schleppkurve in VESTRA PRO

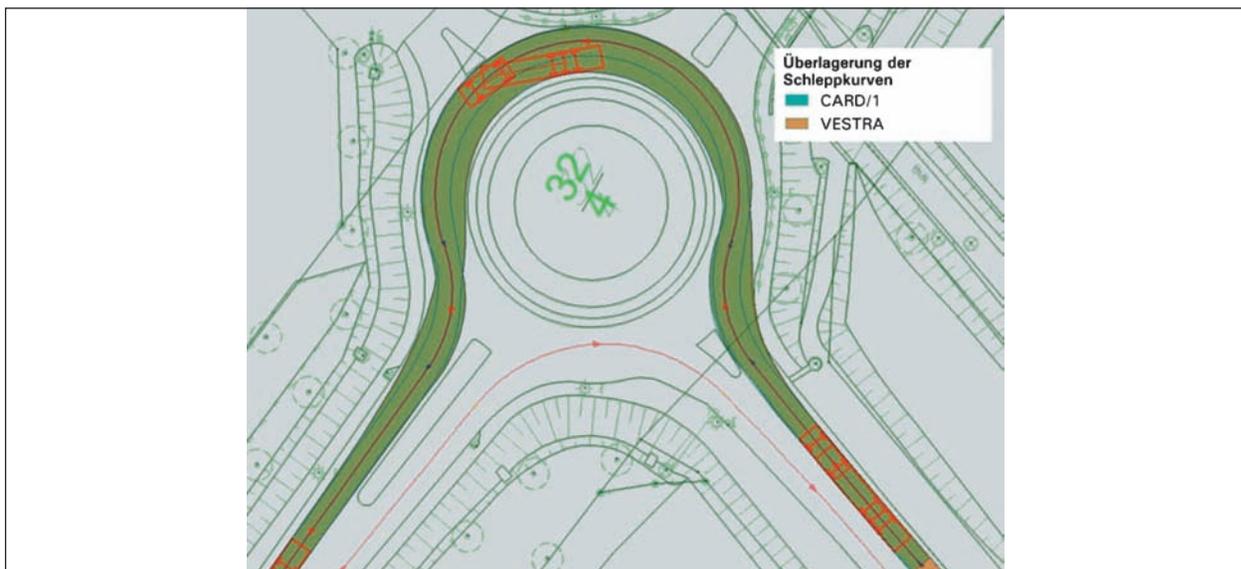


Bild 53: Überlagerung der Schleppkurven aus CARD/1 und VESTRA PRO

größerer seitlicher Bewegungsspielräume berücksichtigen.

In ausgewählten CAD-Programmen sind Fahrzeuge mit gelenkten Achsen abbildbar. Inwieweit die mit derartigen Fahrzeugen erzeugten Schleppkurven dann noch ein realistisches Fahrverhalten abbilden, kann an dieser Stelle nicht abschließend beurteilt werden, da derartige Fahrzeuge bzw. Programme nicht Bestandteil der Untersuchungen waren.

Der Vergleich der im Rahmen des Projektes zur Verfügung stehenden Programmsysteme CARD/1 und VESTRA PRO zeigt keine Unterschiede. Die geometrisch entlang der Leitlinie entstehenden Flächeninanspruchnahmen sind quasi identisch. Das weitere Vorgehen im Rahmen der Schleppkurvensimulationen erfolgt daher nur mit dem Programm CARD/1. Auf die zusätzliche Simulation mit dem Programm VESTRA PRO wird verzichtet.

6.4 Vergleich der praktisch und theoretisch ermittelten Schleppkurven

6.4.1 Methodisches Vorgehen

Der Vergleich der praktisch und theoretisch ermittelten Schleppkurven erfolgt im Folgenden fahrzeugbezogen exemplarisch für den kleinen Kreisverkehr sowie die Einmündung 60 gon.

Die theoretische Schleppkurvenberechnung erfolgt ausschließlich für eine langsame Geschwindigkeit (fahrgeometrische Berechnung). Im Rahmen der Fahrversuche wurden die Geschwindigkeiten während der Befahrung der Verkehrsanlagen variiert. Für den Vergleich der Schleppkurven werden die langsame sowie die normale/zügige Fahrt verwendet.

Die Darstellung der Ergebnisse des Schleppkurvenvergleichs erfolgt zunächst grafisch. Hierauf aufbauend werden die auftretenden Differenzen zwischen den praktisch und theoretisch ermittelten Schleppkurven auch numerisch zusammenfassend dargestellt.

Zusätzlich zu den auf der Basis von Schleppkurvensimulationen ermittelten Ergebnissen, werden abschließend auf Basis der Ergebnisse der Fahrversuche die Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten und Fahrzeuge auf die Wahl der Leitlinie während der Befahrung von plangleichen Knotenpunkten analysiert. Nur so kann abschließend beurteilt werden, wie sich verschiedene Fahrgeschwindigkeiten (in der Schleppkurvensimulation können diese nicht variiert werden) auf die Befahrbarkeit von innerörtlichen Knotenpunkten auswirken. Durch die detaillierte Analyse der Wahl der Leitlinie für verschiedene Fahrzeugkombination des Schwerverkehrs kann zusätzlich bestimmt werden, welche Zusammenhänge hier bestehen und wie sich diese u. U. auch negativ auf die Befahr-

barkeit von Kreuzungen und Kreisverkehren auswirken können.

6.4.2 Sattelzug

Kleiner Kreisverkehr

Der Vergleich der Schleppkurven aus der Befahrung des kleinen Kreisverkehrs mit langsamer Geschwindigkeit (ca. 13 km/h) ergibt für den Sattelzug eine gute Übereinstimmung von simulierten und empirisch ermittelten Schleppkurven (vgl. Bild 54). Beim Befahren der Kreisfahrbahn erreichte die Schleppkurve eine Breite von ca. 9,95 m. Geringe Abweichungen konnten nur im Bereich des Einbiegens auf die Kreisfahrbahn festgestellt werden. Die simulierte Schleppkurve liegt hier etwas weiter in Richtung der Kreisaußenseite verschoben (vgl. Bild 55). Die Abweichung bzw. Verschiebung beträgt ca. 12 cm.

Erklärt werden kann dies durch Verwindungen des Fahrzeugs während der Versuchsfahrt. Während die Zugmaschine bereits nach links eingelenkt hat, befindet sich der Auflieger noch in der Rechtskurve. Dies führt zu einer Verwindung des Sattelzuges, wodurch sich beide Fahrzeugkomponenten in unterschiedliche Richtungen neigen (vgl. Bild 56).

Bedingt durch die Montage der GPS-Empfänger auf dem Dach des Zugfahrzeugs und auf dem Aufbau des Aufliegers entstehen somit systembedingte

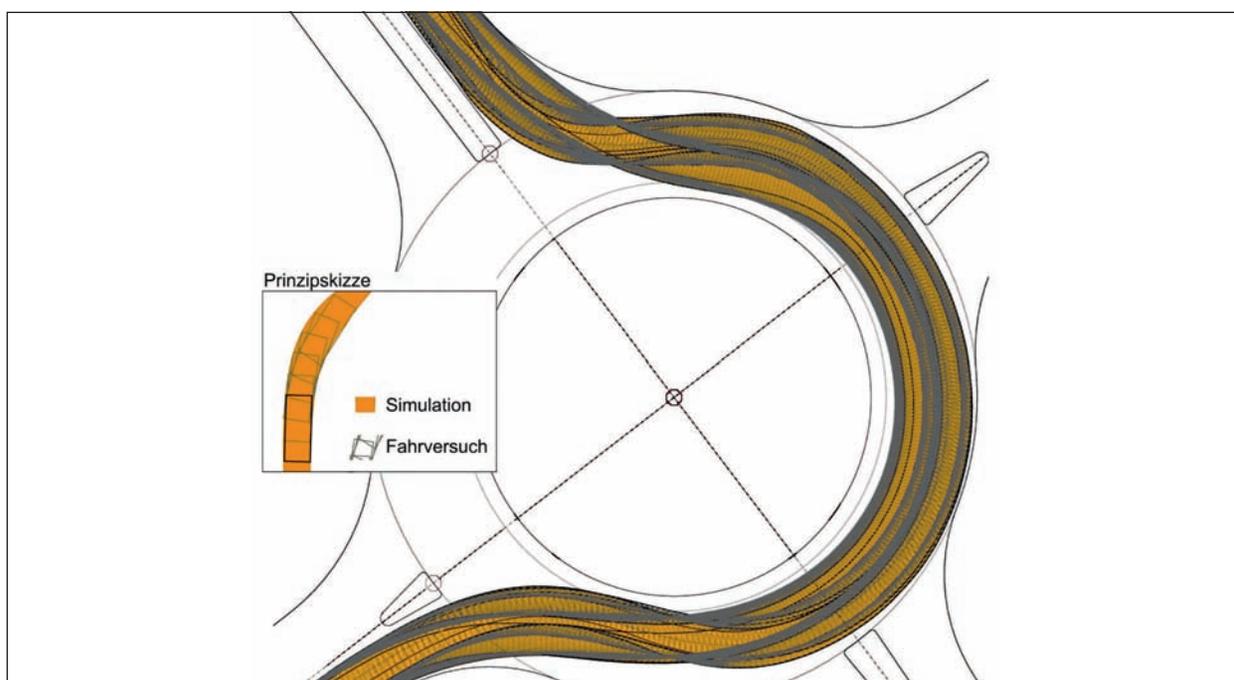


Bild 54: Vergleich Simulation – Fahrversuch, kleiner Kreisverkehr, Sattelzug, langsame Fahrweise

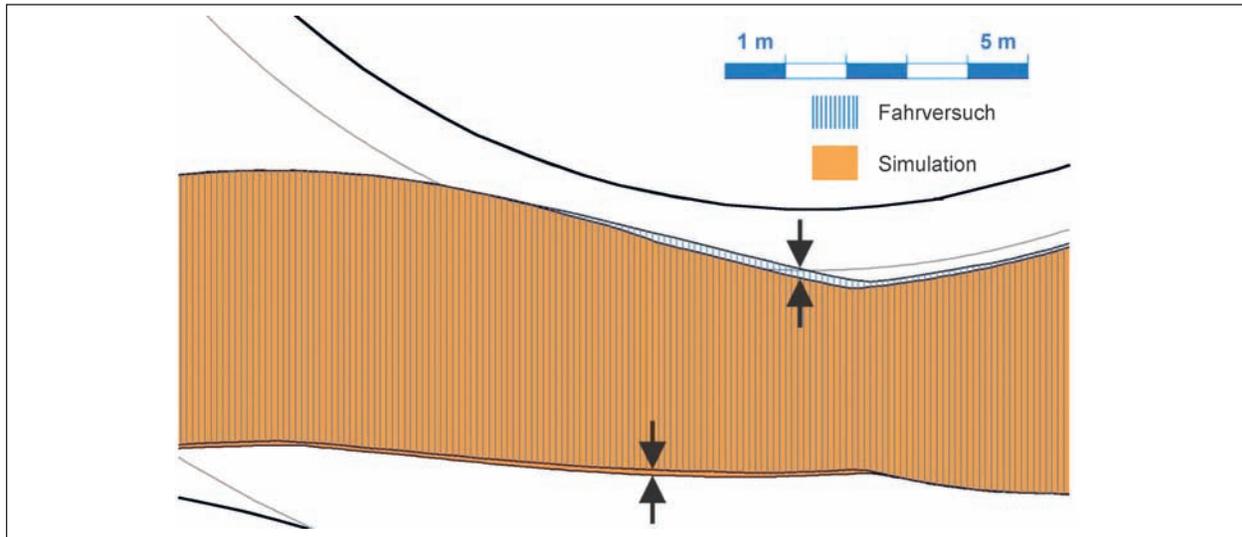


Bild 55: Detail aus Vergleich Simulation – Fahrversuch, kleiner Kreisverkehr, Sattelzug, langsame Fahrweise



Bild 56: Verwindung des Fahrzeugs bei Einfahrt in den Kreisverkehr

Ungenauigkeiten. Da die Leitlinie, welche auch Grundlage der Simulation ist, durch das Zugfahrzeug definiert wird, treten diese Ungenauigkeiten nur für den Auflieger auf. In diesem Fall überstreicht die empirisch ermittelte Schleppkurve der vorderen linken Aufliegerecke einen Bereich, der nicht durch die simulierte Schleppkurve abgedeckt wird.

Der Vergleich der Ergebnisse mit zügiger Fahrweise (ca. 20 km/h) bestätigt die Ergebnisse aus der langsamen Befahrung. Die Effekte aus der Verwindung der Fahrzeugkomponenten fallen geringfügig größer aus. Dies führt im Bereich des Einbiegens auf die Kreisfahrbahn zu Abweichungen von ca. 14 cm.

Einmündung 60 gon

Die vorab beschriebenen Ergebnisse der Befahrung des kleinen Kreisverkehrs werden durch den Vergleich der Schleppkurven für die untersuchte Einmündung bestätigt. Auch hier sind die Schlepp-

kurven aus der Simulation nahezu deckungsgleich mit den Ergebnissen der empirischen Untersuchungen aus den Fahrversuchen (vgl. Bild 57).

Abweichungen der Schleppkurven aus der Simulation und den Fahrversuchen, welche durch die Verwindungen des Fahrzeugs verursacht werden, treten bei der Befahrung der Einmündung mit dem Sattelzug nicht auf, da keine gegenläufigen Radien befahren werden müssen. Dies gilt sowohl für die Befahrung bei langsamer als auch bei normaler/zügiger Fahrweise.

6.4.3 Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse

Kleiner Kreisverkehr

Der Vergleich der Schleppkurven aus der Befahrung des Kreisverkehrs mit langsamer Geschwindigkeit (ca. 9 km/h) ergab für den Sattelzug eine gute Übereinstimmung von simulierten Schleppkurven und den empirisch ermittelten Schleppkurven (vgl. Bild 59).

Die Breite der Schleppkurve ist mit ca. 5,20 m im Bereich der Kreisfahrbahn um ca. 0,25 m größer als bei abgesetzter Aufliegerachse.

Auch hier treten Abweichungen im Bereich des Einbiegens auf die Kreisfahrbahn auf. Die simulierte Schleppkurve liegt erneut etwas weiter in Richtung der Kreisaußenseite verschoben (vgl. Bild 60). Die Abweichungen fallen mit ca. 18 cm jedoch deutlich größer aus. Ursächlich ist auch hier die Verwindung der Fahrzeugkombination, welche bei Lastverteilung auf zwei statt drei Aufliegerachsen etwas stärker auftritt.

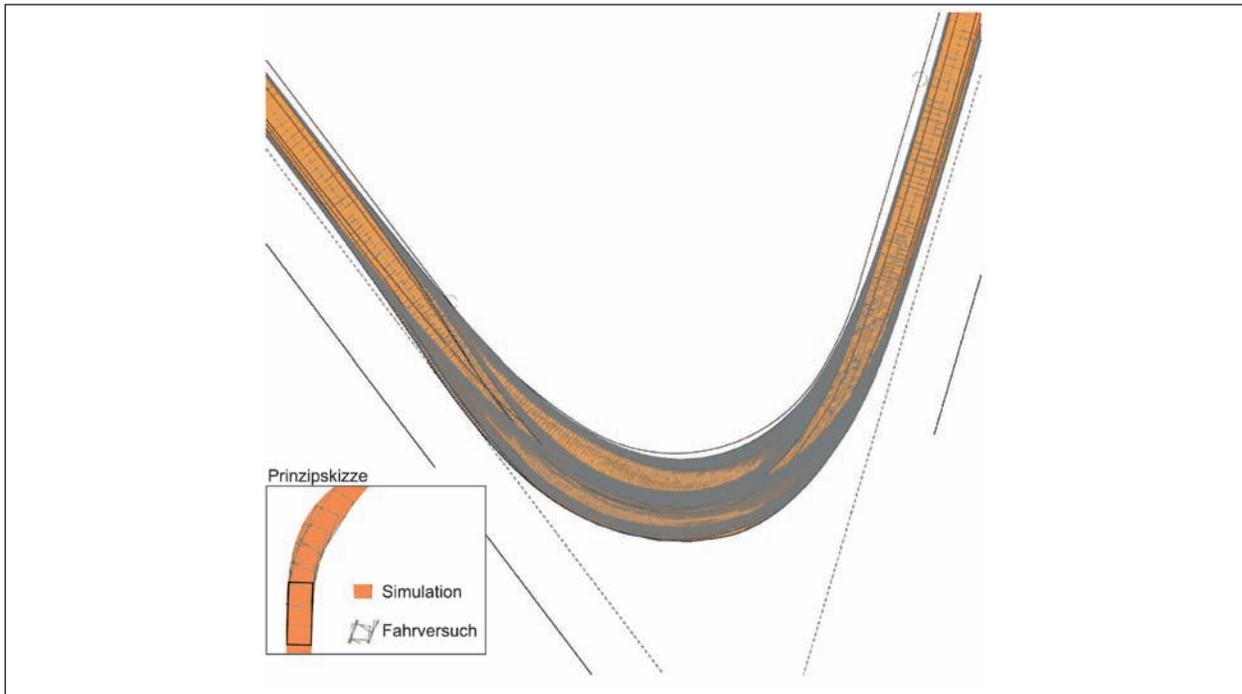


Bild 57: Vergleich Simulation – Fahrversuch, Einmündung 60 gon, Sattelzug, langsame Fahrweise

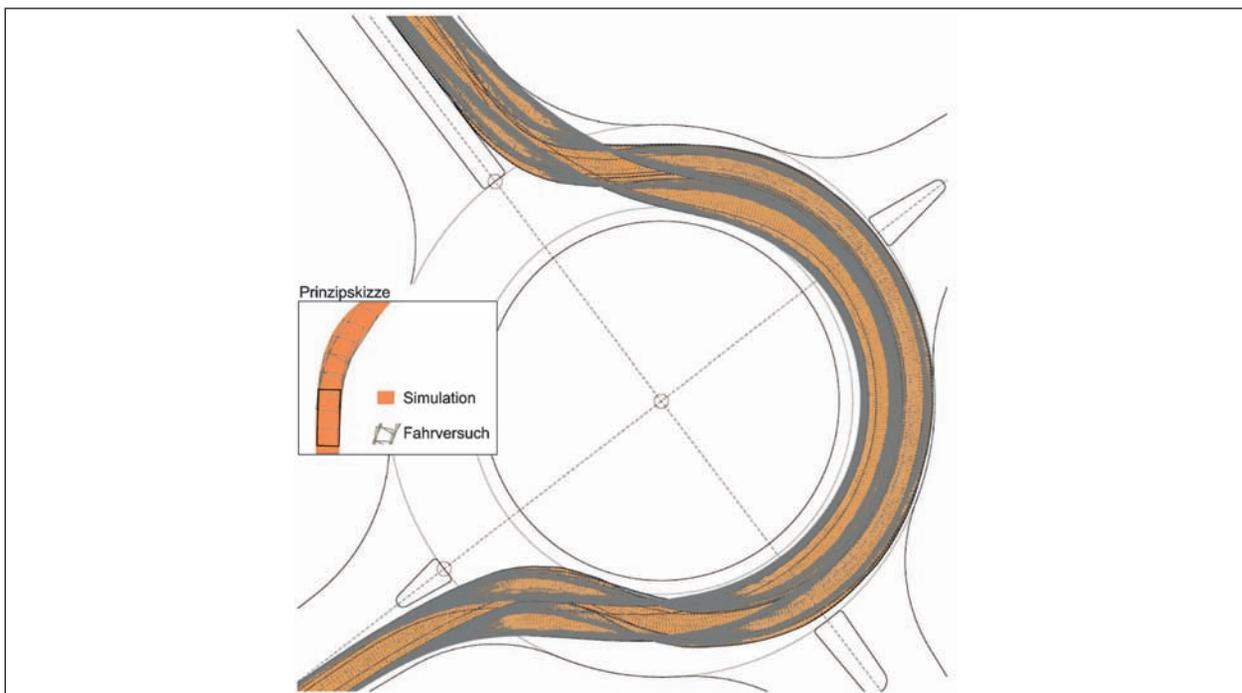


Bild 58: Vergleich Simulation – Fahrversuch, kleiner Kreisverkehr, Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse, langsame Fahrweise

Der Vergleich der Ergebnisse mit normaler/zügiger Fahrweise (ca. 18 km/h) bestätigt die Ergebnisse aus der langsamen Befahrung. Die Effekte aus der Verwindung der Fahrzeugkomponenten fallen jedoch geringfügig kleiner aus. Dies führt im Bereich des Einbiegens auf die Kreisfahrbahn zu Abweichungen von ca. 13 cm.

Einmündung 60 gon

Die Ergebnisse der Befahrung des Kreisverkehrs werden durch den Vergleich der Schlepplinien für die untersuchte Einmündung bestätigt. Auch hier sind die Schlepplinien aus der Simulation nahezu deckungsgleich mit den Ergebnissen der empiri-

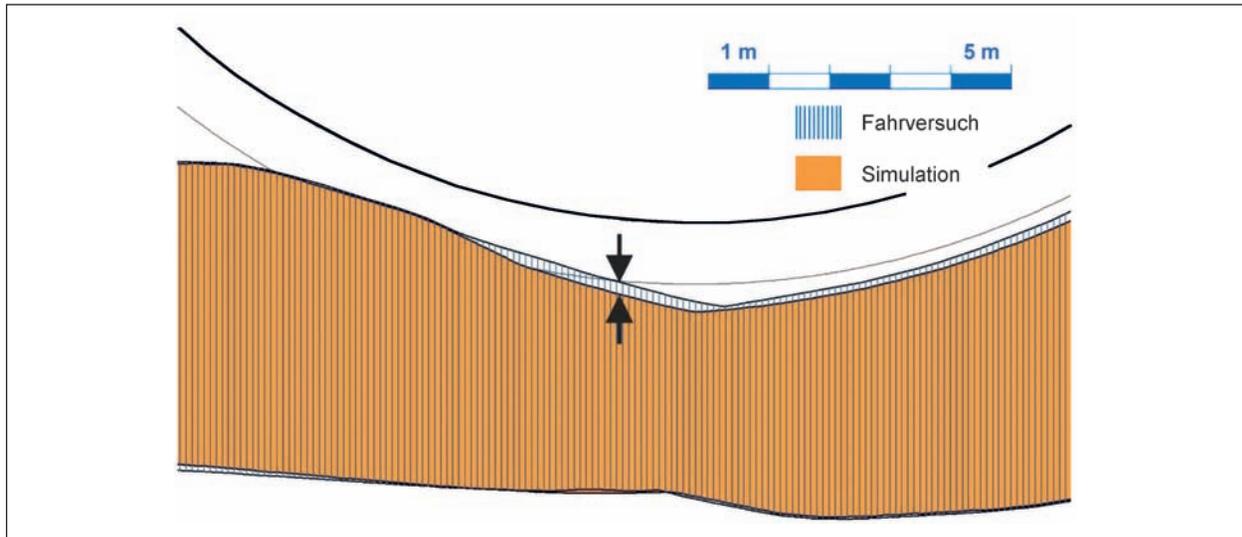


Bild 59: Detail aus Vergleich Simulation – Fahrversuch, kleiner Kreisverkehr, Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse, langsame Fahrweise

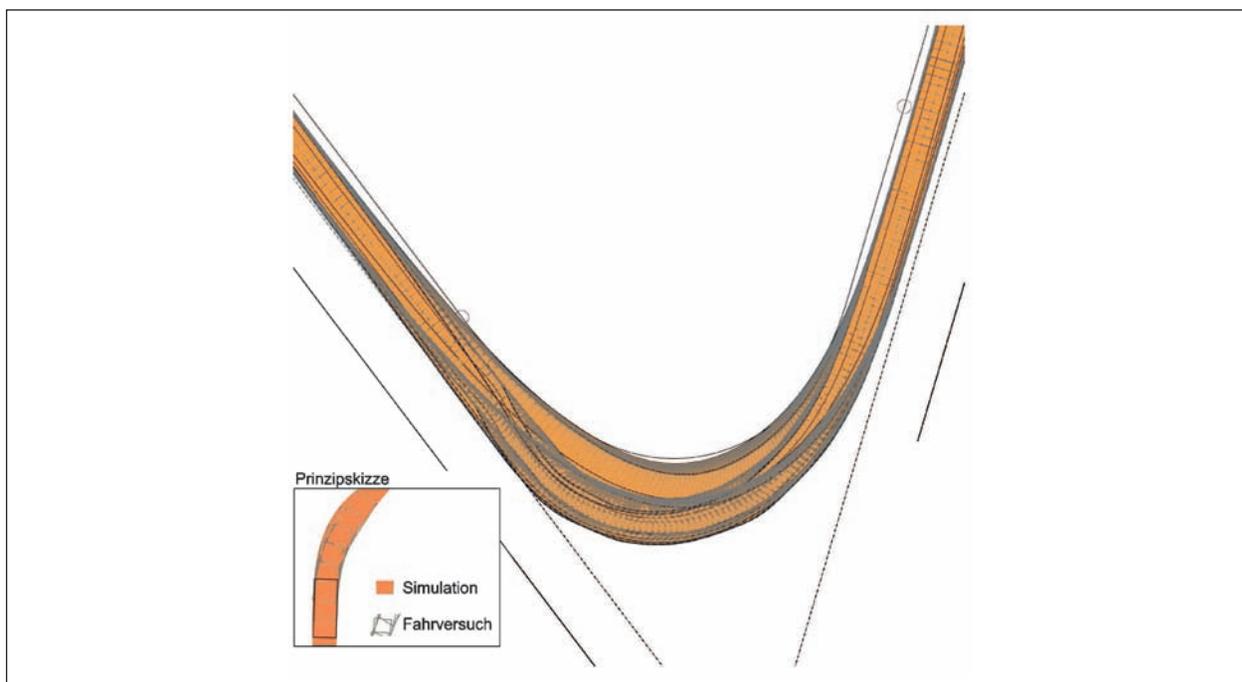


Bild 60: Vergleich Simulation – Fahrversuch, Einmündung 60 gon, Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse, langsame Fahrweise

schen Untersuchungen aus den Fahrversuchen (vgl. Bild 61).

Es treten geringe Abweichungen bedingt durch die Verwindungen des Fahrzeugs bei der Befahrung der Einmündung mit dem Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse auf. Diese sind jedoch gering und bewegen sich im einstelligen Zentimeterbereich. Dies gilt sowohl für die Befahrung bei langsamer als auch bei zügiger Fahrweise.

6.4.4 Sattelzug mit verlängertem Auflieger

Kleiner Kreisverkehr

Der Vergleich der Schleppkurven aus der Befahrung des Kreisverkehrs mit langsamer Geschwindigkeit (ca. 13 km/h) ergibt für den Sattelzug mit verlängertem Auflieger eine gute Übereinstimmung von simulierten Schleppkurven mit den empirisch ermittelten Schleppkurven (vgl. Bild 61). Die Breite der Schleppkurve ist mit ca. 5,15 m im Bereich der Kreisfahrbahn um ca. 0,20 m größer als bei dem

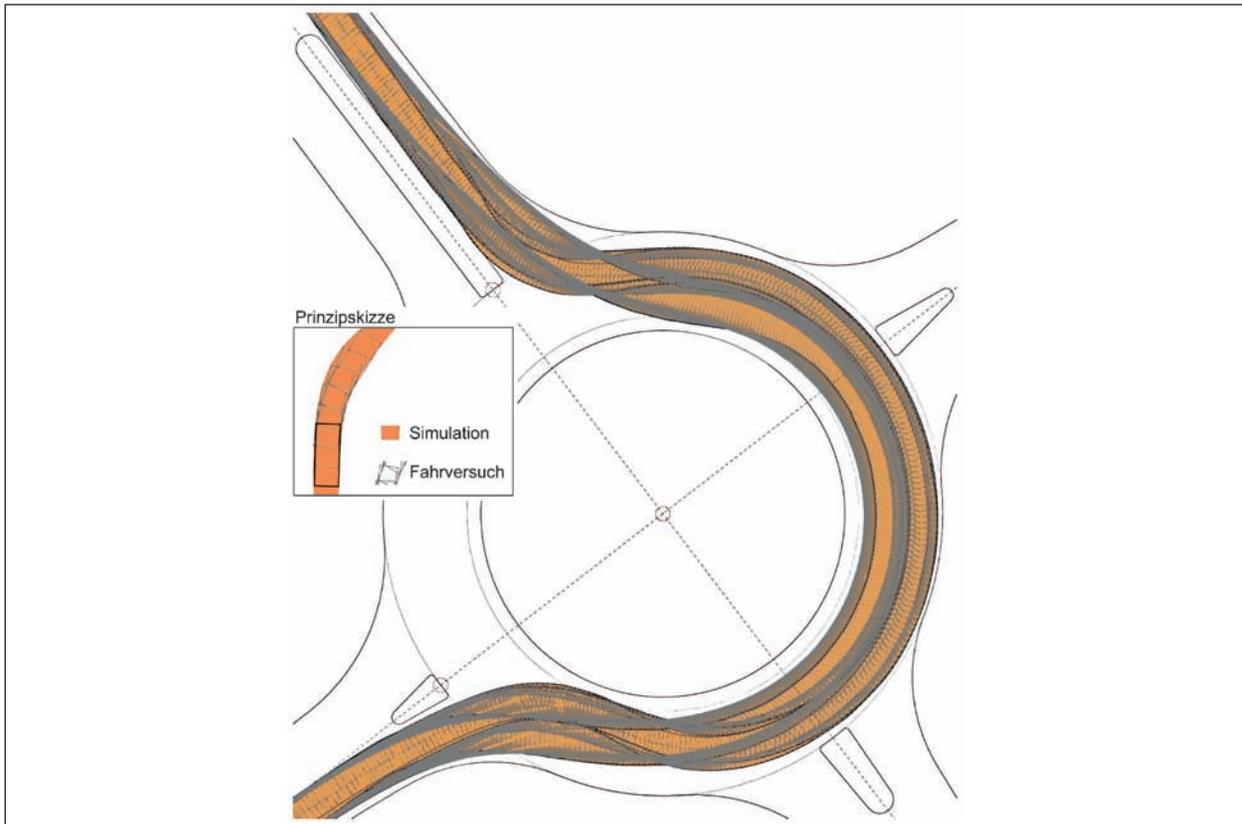


Bild 61: Vergleich Simulation – Fahrversuch, kleiner Kreisverkehr, Sattelzug mit verlängertem Auflieger, langsame Fahrweise

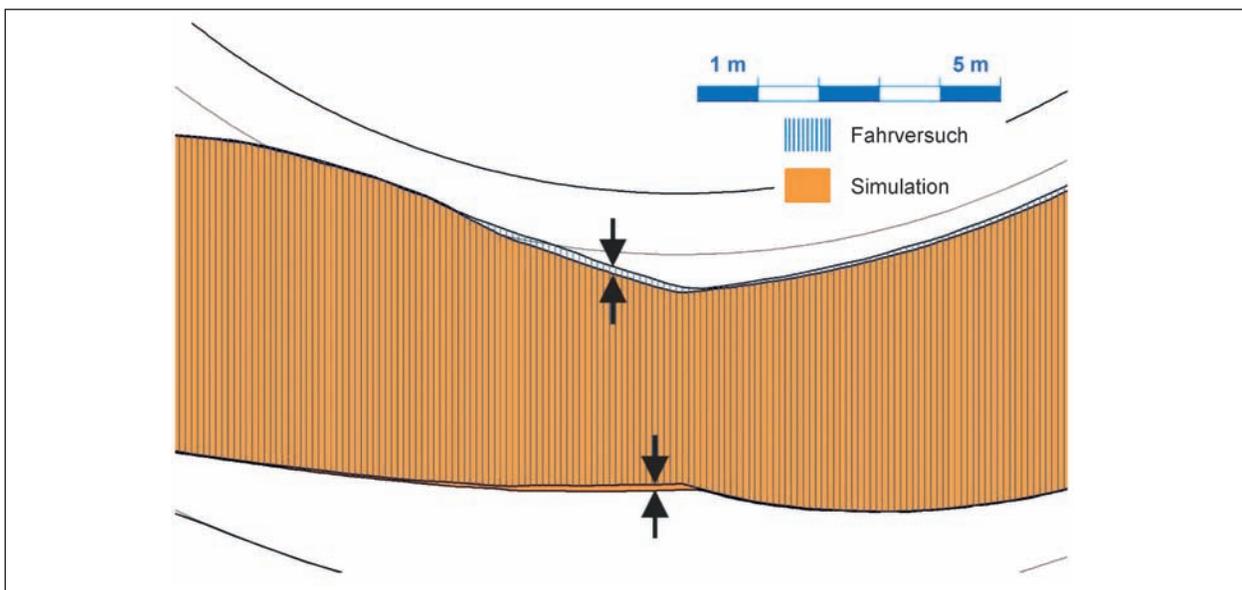


Bild 62: Detail aus Vergleich Simulation – Fahrversuch, kleiner Kreisverkehr, Sattelzug mit verlängertem Auflieger, langsame Fahrweise

zuvor betrachteten Sattelzug mit Standardlänge (16,50 m), jedoch auch kleiner als beim Sattelzug mit gelifteter Achse.

Auch hier treten geringe Abweichungen im Bereich des Einbiegens auf die Kreisfahrbahn auf. Die simulierte Schleppkurve liegt etwas weiter in Rich-

tung Kreisaußenseite verschoben (vgl. Bild 62). Die Abweichungen sind mit ca. 10 cm jedoch geringer. Ursächlich ist auch hier die Verwindung der Fahrzeugkombination.

Der Vergleich der Ergebnisse mit zügiger Fahrweise (ca. 16 km/h) bestätigt die Ergebnisse aus der

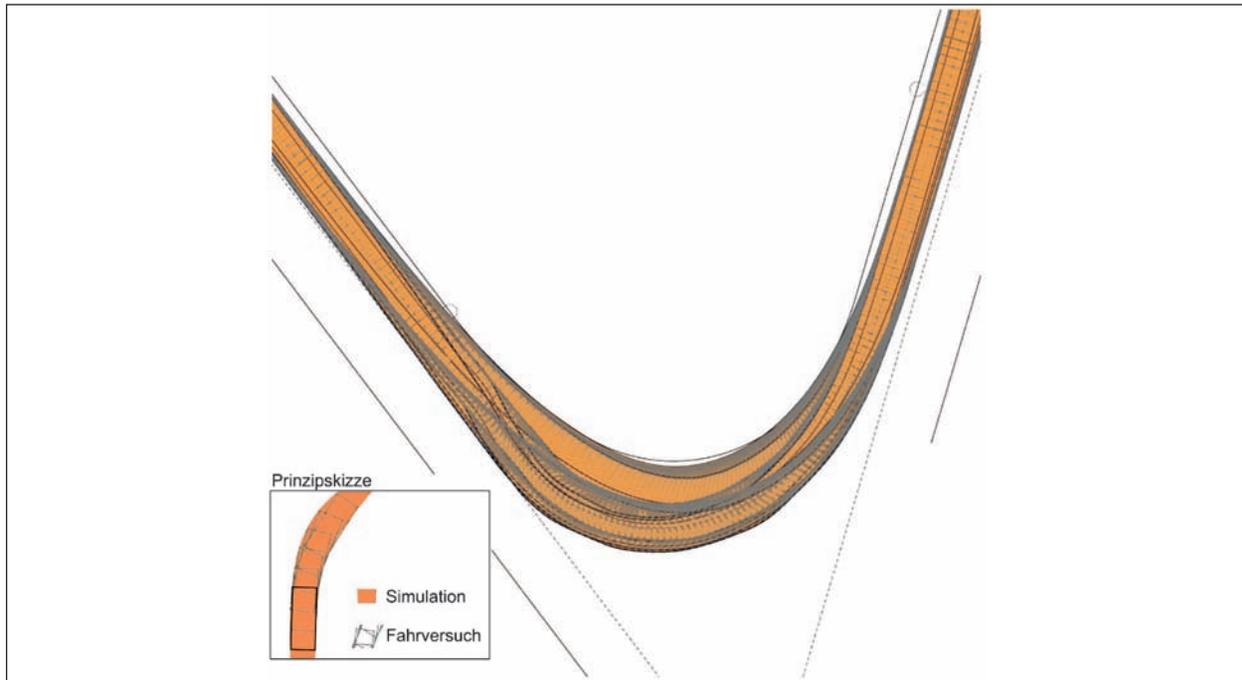


Bild 63: Vergleich Simulation – Fahrversuch, Einmündung 60 gon, Sattelzug mit verlängertem Auflieger, zügige Fahrweise

langsamen Befahrung. Die Effekte aus der Verwindung der Fahrzeugkomponenten fallen geringfügig größer aus. Dies führt im Bereich des Einbiegens auf die Kreisfahrbahn zu Abweichungen von ca. 13 cm.

Einmündung 60 gon

Die Ergebnisse der Befahrung des Kreisverkehrs werden durch den Vergleich der Schleppkurven für die untersuchte Einmündung bestätigt. Auch hier sind die Schleppkurven aus der Simulation nahezu deckungsgleich mit den Ergebnissen den empirischen Untersuchungen aus den Fahrversuchen (vgl. Bild 63).

Es treten geringe Abweichungen bedingt durch die Verwindungen des Fahrzeugs bei der Befahrung der Einmündung mit dem verlängerten Sattelzug auf. Trotz zügiger Fahrweise sind diese jedoch gering und bewegen sich im einstelligen Zentimeterbereich.

6.4.5 Lastzug mit Zentralachsanhänger

Kleiner Kreisverkehr

Der Vergleich der Schleppkurven aus der Befahrung des Kreisverkehrs mit langsamer Geschwindigkeit (ca. 9 km/h) ergibt für den Lastzug eine gute Übereinstimmung von simulierten Schleppkurven

und den empirisch ermittelten Schleppkurven (vgl. Bild 64). Die Breite der Schleppkurve ist mit ca. 5,05 m im Bereich der Kreisfahrbahn um ca. 10 cm größer als beim betrachteten Sattelzug mit abgesetzter Aufliegerachse.

Geringe Abweichungen treten nur beim Befahren der Kreisfahrbahn auf. Auch hier treten Abweichungen im Bereich des Einbiegens auf die Kreisfahrbahn auf. Die simulierte Schleppkurve liegt hier etwas weiter in Richtung der Kreissinnenseite verschoben (vgl. Bild 65). Die Abweichungen sind jedoch gering und bewegen sich noch im einstelligen Zentimeterbereich.

Der Vergleich der Ergebnisse mit normaler/zügiger Fahrweise (ca. 18 km/h) bestätigt die Ergebnisse aus der langsamen Befahrung. Die Abweichungen beim Befahren der Kreisfahrbahn fallen mit ca. 30 cm jedoch deutlich größer aus. Die Geschwindigkeitsabhängigkeit dieser Abweichung deutet erneut auf eine Verwindung der Fahrzeugkombination hin.

Der innere Schleppkurvenrand in Richtung Kreismitte wird von den Achsen des nachlaufenden Zentralachsanhängers beschrieben. Dieser ist nur bedingt torsionssteif mit dem Zugfahrzeug verbunden und neigt sich bei der Kurvenfahrt nach außen. Die Montage der GPS-Empfänger auf dem Anhängerdach führt somit zu einer verschobenen Schleppkurve des Zentralachsanhängers.

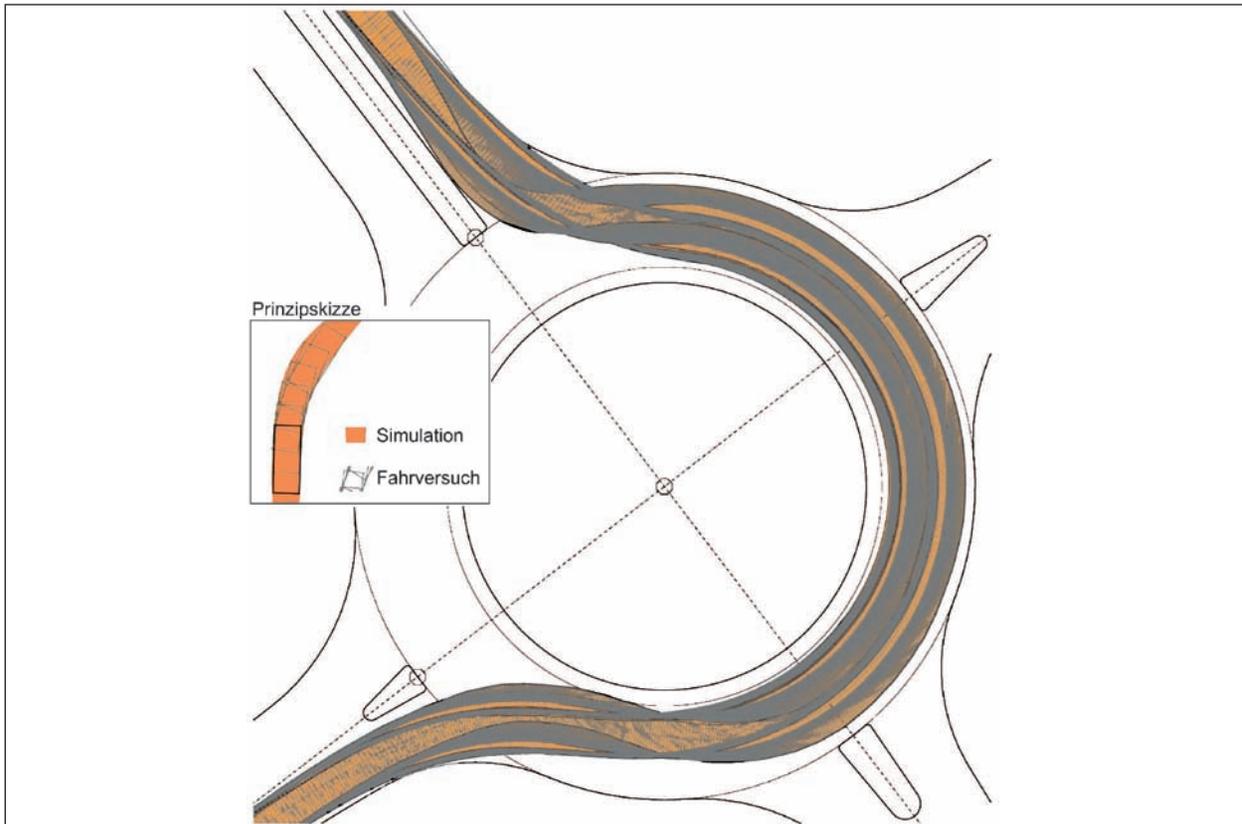


Bild 64: Vergleich Simulation – Fahrversuch, kleiner Kreisverkehr, Lastzug mit Zentralachsanhänger, langsame Fahrweise

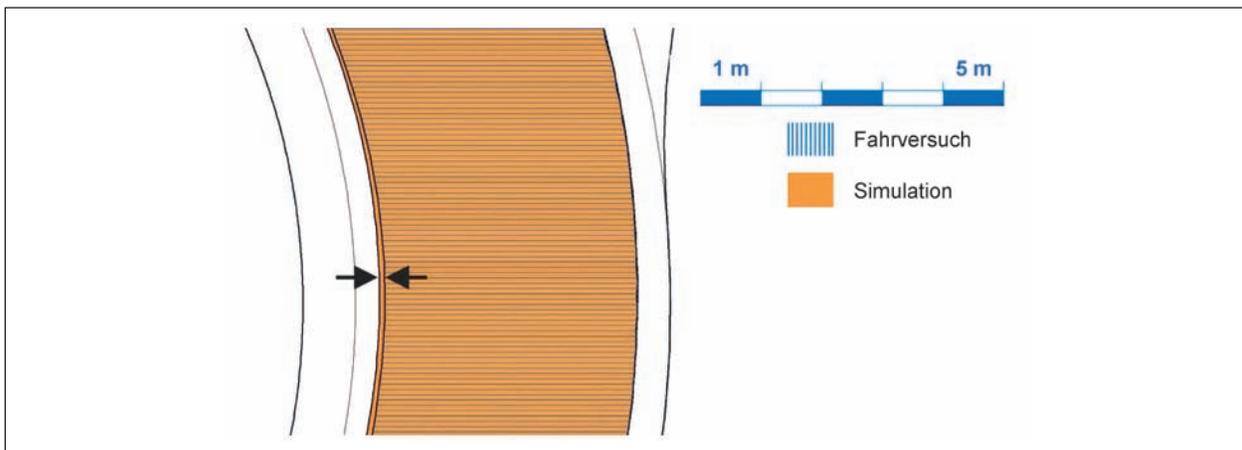


Bild 65: Detail aus Vergleich Simulation – Fahrversuch, kleiner Kreisverkehr, Lastzug mit Zentralachsanhänger, langsame Fahrweise



Bild 66: Verwindung der Fahrzeugkombination Lastzug mit Zentralachsanhänger

Einmündung 60 gon

Die Ergebnisse der Befahrung des Kreisverkehrs werden durch den Vergleich der Schleppkurven für die untersuchte Einmündung bestätigt. Auch hier sind die Schleppkurven aus der Simulation nahezu deckungsgleich mit den Ergebnissen den empirischen Untersuchungen aus den Fahrversuchen (vgl. Bild 67).

Auch für den Lastzug mit Zentralachsanhänger treten geringe Abweichungen bedingt durch die

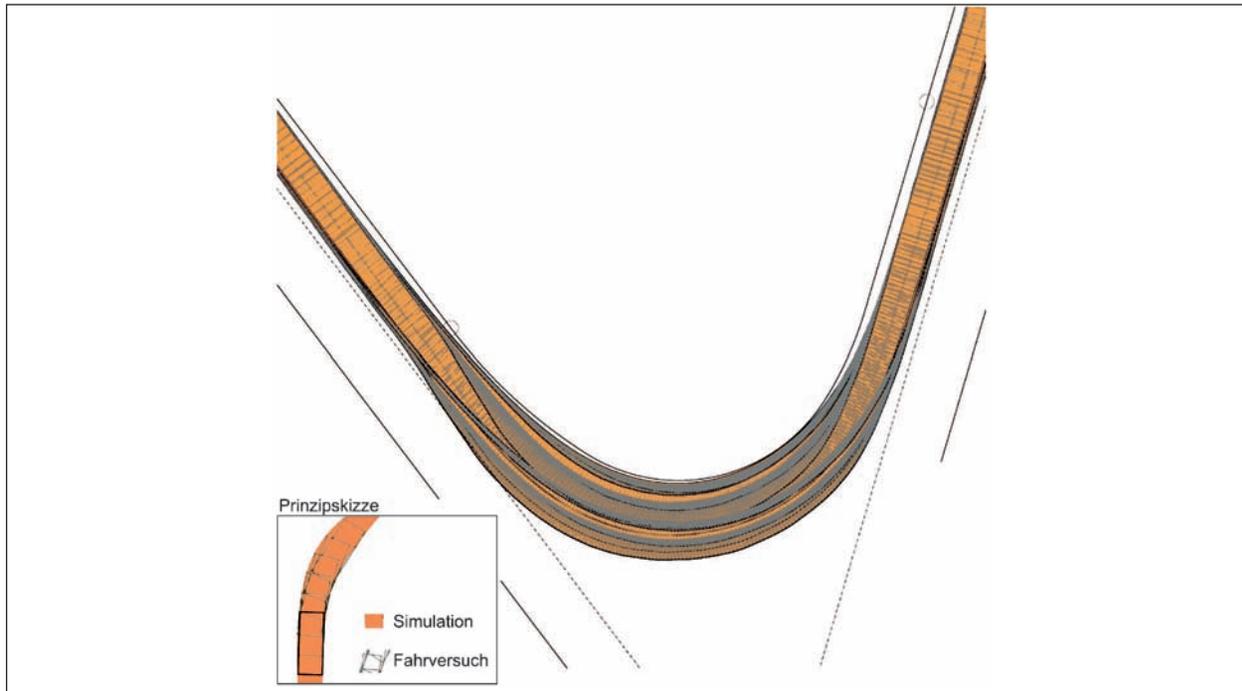


Bild 67: Vergleich Simulation – Fahrversuch, Einmündung 60 gon, Lastzug mit Zentralachsanhänger, langsame Fahrweise

Verwindungen des Fahrzeugs bei der Befahrung der Einmündung auf. Diese sind jedoch gering und bewegen sich im einstelligen Zentimeterbereich. Dies gilt sowohl für die Befahrung bei langsamer als auch bei normaler/zügiger Fahrweise.

6.4.6 Zusammenfassung und Fazit

Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit den im Rahmen der Fahrversuche empirisch ermittelten Schleppkurven zeigt geringfügige Abweichungen der Schleppkurven. Nennenswerte Abweichungen treten lediglich bei der Befahrung des kleinen Kreisverkehrs auf. Mehrfache Richtungswechsel führen zu Verwindungen der Fahrzeugkombination. Dies gilt sowohl für die betrachteten Sattelzüge als auch für den Lastzug mit Zentralachsanhänger. Mit zunehmender Geschwindigkeit nehmen der Grad der Verwindung und somit auch die Größe der Abweichung zwischen Simulation und Fahrversuch zu.

In der Tabelle 13 sind die Ergebnisse für die betrachteten Fahrzeuge, Knotenpunkte und Fahrweisen zusammenfassend dargestellt.

Die Simulation der Schleppkurven beruht auf fahrgeometrischen Berechnungen. Fahrdynamische Einflüsse können in der Simulation nicht berücksichtigt werden. Hierzu zählen insbesondere das seitliche Neigen der Fahrzeugkomponenten und das dadurch verursachte Verwinden der Fahrzeug-

Fahrzeug	Knotenpunkt	Langsame Fahrweise	Zügige Fahrweise
Sattelzug	Kleiner Kreisverkehr	ca. 12 cm	ca. 14 cm
	Einmündung 60 gon	< 10 cm	< 10 cm
Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse	Kleiner Kreisverkehr	ca. 18 cm ¹	ca. 13 cm
	Einmündung 60 gon	-	< 10 cm
Sattelzug mit verlängertem Auflieger	Kleiner Kreisverkehr	ca. 10 cm	ca. 13 cm
	Einmündung 60 gon	< 10 cm	< 10 cm
Lastzug mit Zentralachsanhänger	Kleiner Kreisverkehr	< 10 cm	ca. 30 cm
	Einmündung 60 gon	< 10 cm	< 10 cm

¹ nur eine Versuchsfahrt

Tab. 13: Abweichungen zwischen den praktisch und theoretisch ermittelten Schleppkurven für die verschiedenen Knotenpunkte, Fahrzeuge und Fahrweisen

kombination. Dies führt dazu, dass Fahrzeugaufbauten bei Kurvenfahrten in Richtung Kurvenaußenseite über die achsbezogene Schleppkurve hinausragen. Mit zunehmender Geschwindigkeit nehmen diese dynamischen Einflüsse zu.

Abschließend lässt sich feststellen, dass bezogen auf die Fahrzeugachsen die fahrgeometrische Simulation den tatsächlichen Fahrverlauf korrekt abbildet.

6.5 Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten auf die Befahrbarkeit von Knotenpunkten

6.5.1 Methodisches Vorgehen

In den vorangegangenen Arbeitsschritten wurde die Befahrbarkeit ausgewählter plangleicher Knotenpunkte mittels Schleppkurvensimulationen überprüft. Grundlage dieser Simulationen ist eine langsame Fahrweise. Während der Simulationen kann die Fahrgeschwindigkeit nicht verändert werden. Die Auswirkungen höherer Fahrgeschwindigkeiten (fahr-dynamische Einflüsse) können somit mit den Schleppkurvensimulationen nicht berechnet werden.

Um die Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten auf die Befahrbarkeit von Einmündungen und Kreisverkehren dennoch abschätzen zu können, wurden die einzelnen Fahrten während der Fahrversuche (vgl. Kapitel 6.2.4) entsprechend der vorgegebenen Geschwindigkeit (langsam, normal/zügig, mit Halt/Stopp) detailliert ausgewertet.

Für den Vergleich wurden die Leitlinien aus den während der Fahrversuche erfassten GNSS-Daten

für alle einzelnen Messfahrten mittels Post-processing-Verfahren berechnet. Hier erfolgte zunächst eine gemeinsame Auswertung der in den GPS-Empfängern aufgezeichneten Daten zur Bestimmung von Basislinien zwischen den Referenzstationen und GPS-Empfängern auf den Fahrzeugen. Da zwei Referenzstationen verfügbar waren, konnten immer zwei Positionen für jeden GPS-Empfänger auf den Fahrzeugen bestimmt werden. Die Positionen wurden gemittelt und die Koordinatendifferenzen wurden kontrolliert, um eine Aussage über die Zuverlässigkeit der Position zu erhalten. Die Positionen wurden abschließend im Bezugssystem DHDN Deutschen Hauptdreiecksnetz (1990) dargestellt.

Anschließend wurden die Leitlinien über die Bogenlänge, d. h. für eine vollständige Fahrt durch den jeweiligen Knotenpunkt aufbereitet. Dargestellt werden im Folgenden die Abstände der Leitlinien (60%-Quantile) nach außen (links) und innen (rechts) bezogen auf eine Referenzlinie. Als Referenz wurde für alle Knotenpunkte der rechte Fahrbahnrand verwendet (vgl. Bild 68).

Der Bereich zwischen den äußeren und inneren Linien zeigt die Abweichungen (60%-Quantile) vom

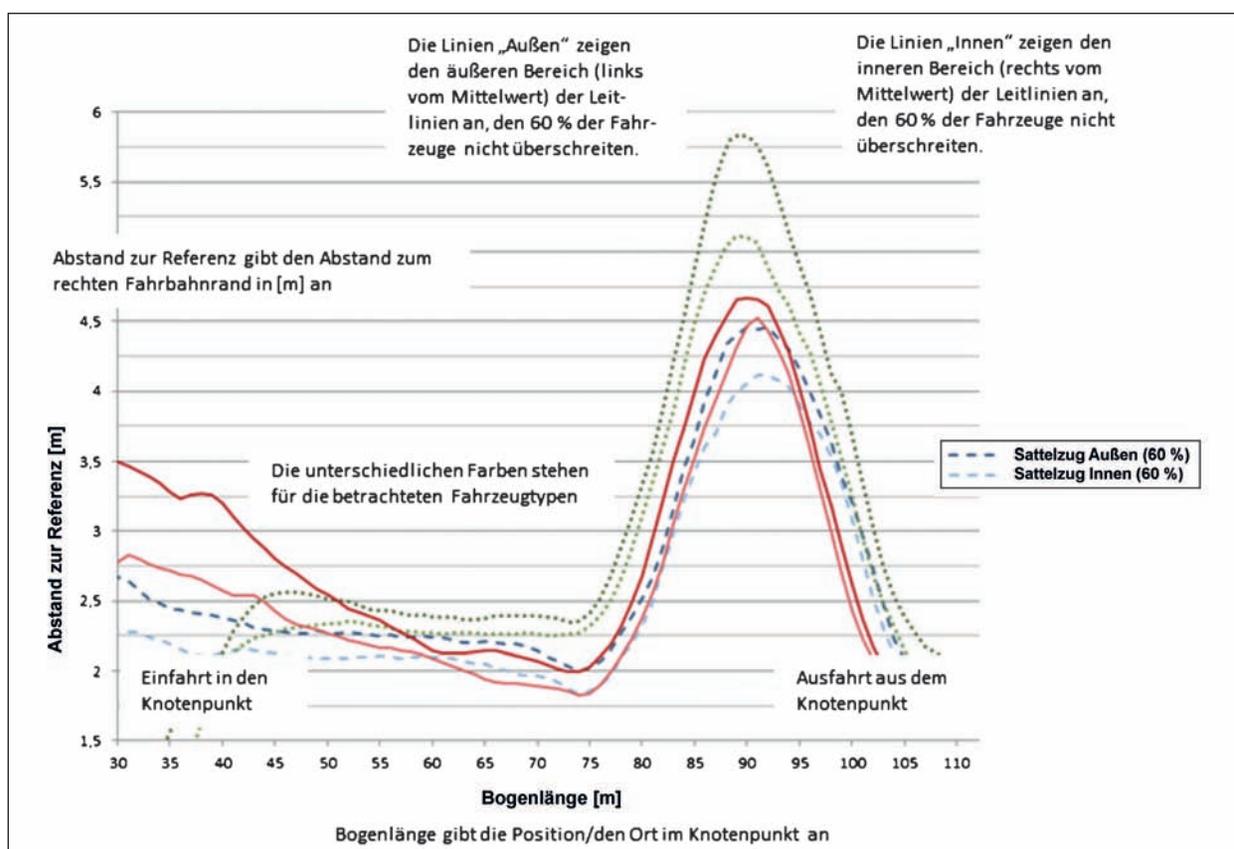


Bild 68: Erläuterung zu den Darstellungen der Leitlinien dargestellt über die Bogenlänge

Mittelwert der Leitlinie nach links (außen) und rechts (innen) für beliebige Punkte während der Befahrung des Knotenpunktes (Angabe der Bogenlänge in [m]). Die Bereiche zwischen den inneren und äußeren Linien zeigen die Band- bzw. Schwankungsbreite der Abweichungen vom Mittelwert der jeweiligen Leitlinie (Maximalwerte sind nicht dargestellt).

Mithilfe dieser Darstellungen kann ermittelt werden, inwieweit verschiedene Fahrgeschwindigkeiten und auch Fahrzeugtypen zu einer unterschiedlichen Wahl der Leitlinie führen und welche Abweichungen vom Mittelwert der Leitlinien nach innen und außen aufgetreten sind. Hierauf aufbauend kann abschließend beurteilt werden, inwieweit die in den Regelwerken der FGSV empfohlenen Zuschläge für die seitlichen Bewegungsräume ausreichen, um die aus den verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten sowie den verschiedenen vorkommenden Fahrzeugen resultierenden Flächeninanspruchnahmen abzudecken.

Zur besseren Orientierung bzgl. der Lage der Bogenlänge in den betrachteten Knotenpunkten zeigen die Bilder 69 bis 72 die Bogenlängen für die Einmündungswinkel 60 gon, 80 gon und 100 gon sowie für den kleinen Kreisverkehr.

6.5.2 Einmündung 60 gon

In der Anlage 5 bis Anlage 7 sind die Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten für die betrachteten Fahrzeuge (Sattelzug, Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse, Sattelzug mit verlängerter Auflieger, Lastzug mit Zentralachsanhänger) jeweils fahrzeugbezogen für den Einmündungswinkel von 60 gon dargestellt.

Für den Sattelzug zeigen sich für die langsame und die normale Fahrt nur geringe Unterschiede zwischen den Abständen nach außen. Die Fahrt mit Stopp zeigt geringere Abstände. Auch die Fahrt mit gelifteter Aufliegerachse (nur langsame Fahrt) unterscheidet sich nur unwesentlich von der langsamen Fahrt ohne geliftete Aufliegerachse. Nach innen treten hier etwas größere Unterschiede auf. Die geringsten Bandbreiten treten für den Sattelzug ohne geliftete Aufliegerachse auf. Für den aufgrund des vergrößerten Radstandes eigentlich ungünstigeren Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse ist die beobachtete Bandbreite etwas geringer.

Der Sattelzug mit verlängerter Auflieger zeigt für alle Fahrmanöver nur geringe Unterschiede in der Wahl der Leitlinie nach innen und außen. Die schmalen Bandbreiten machen deutlich, dass für die Befahrung der Einmündung 60 gon grundsätzlich wenig Fläche zur Verfügung steht.

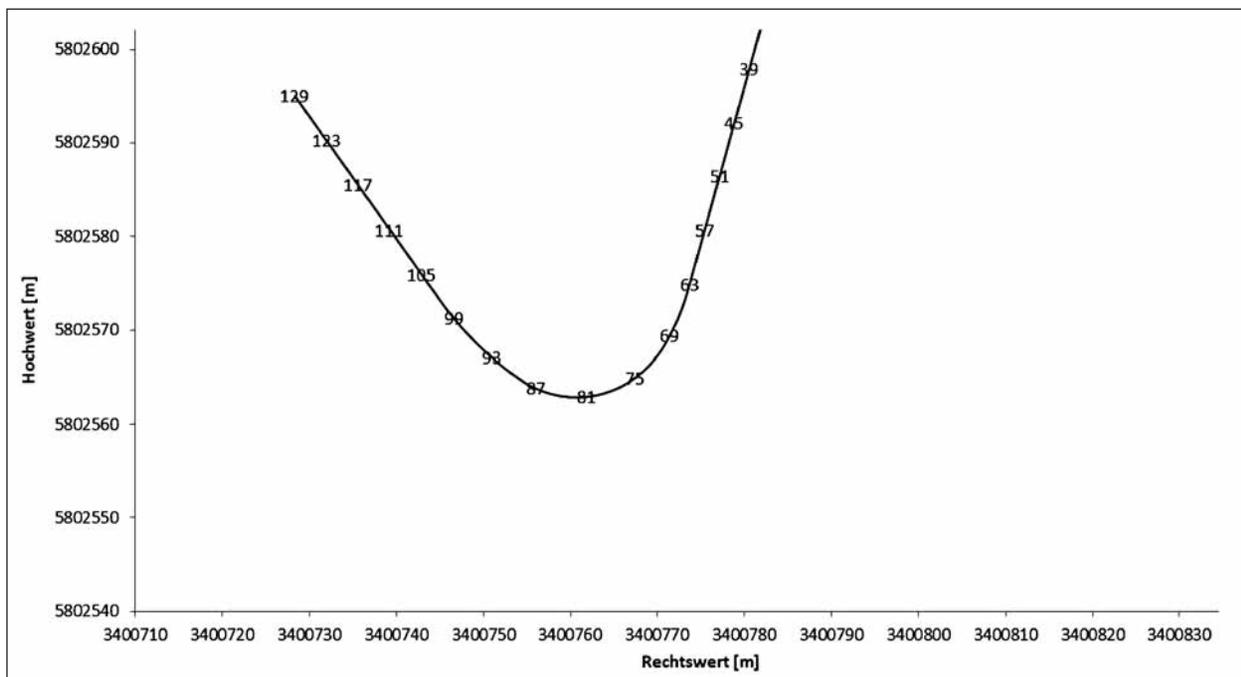


Bild 69: Bogenlänge Einmündung 60 gon

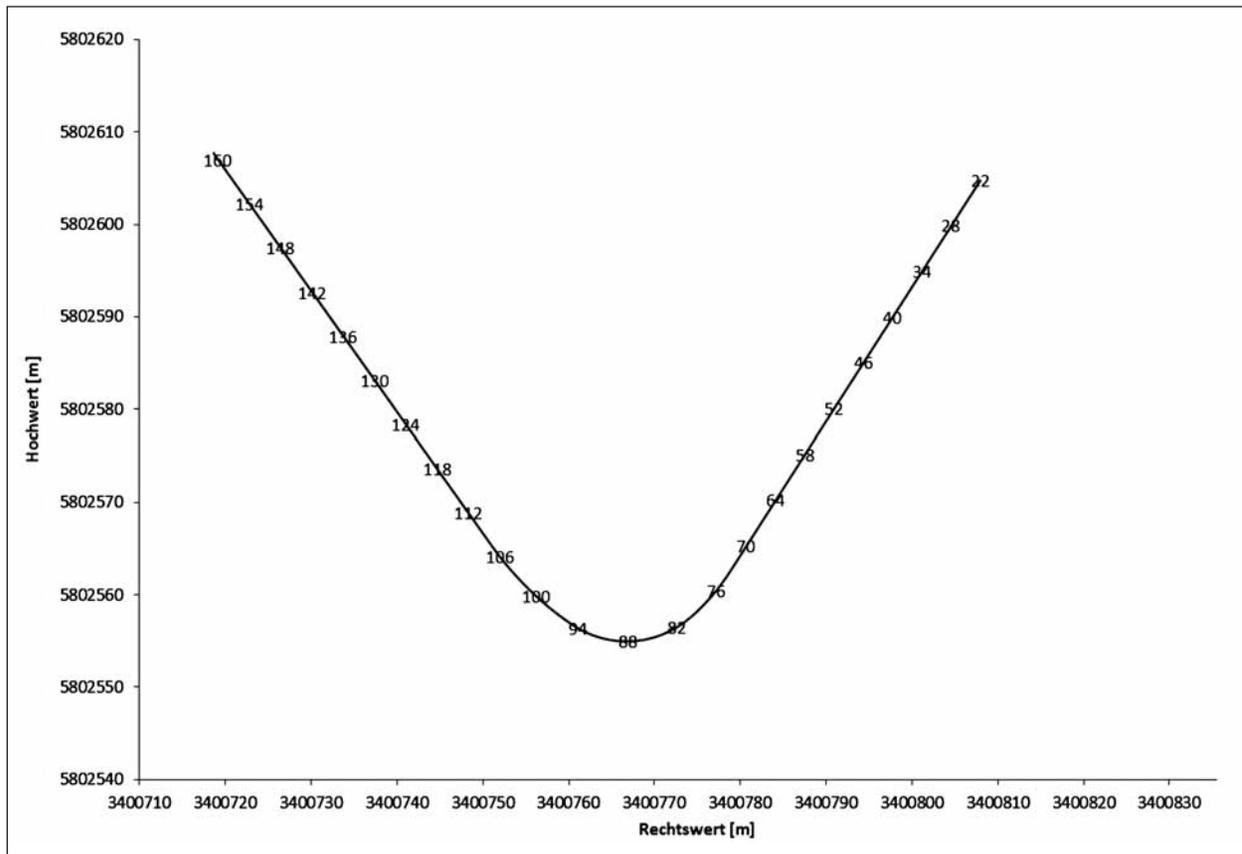


Bild 70: Bogenlänge Einmündung 80 gon

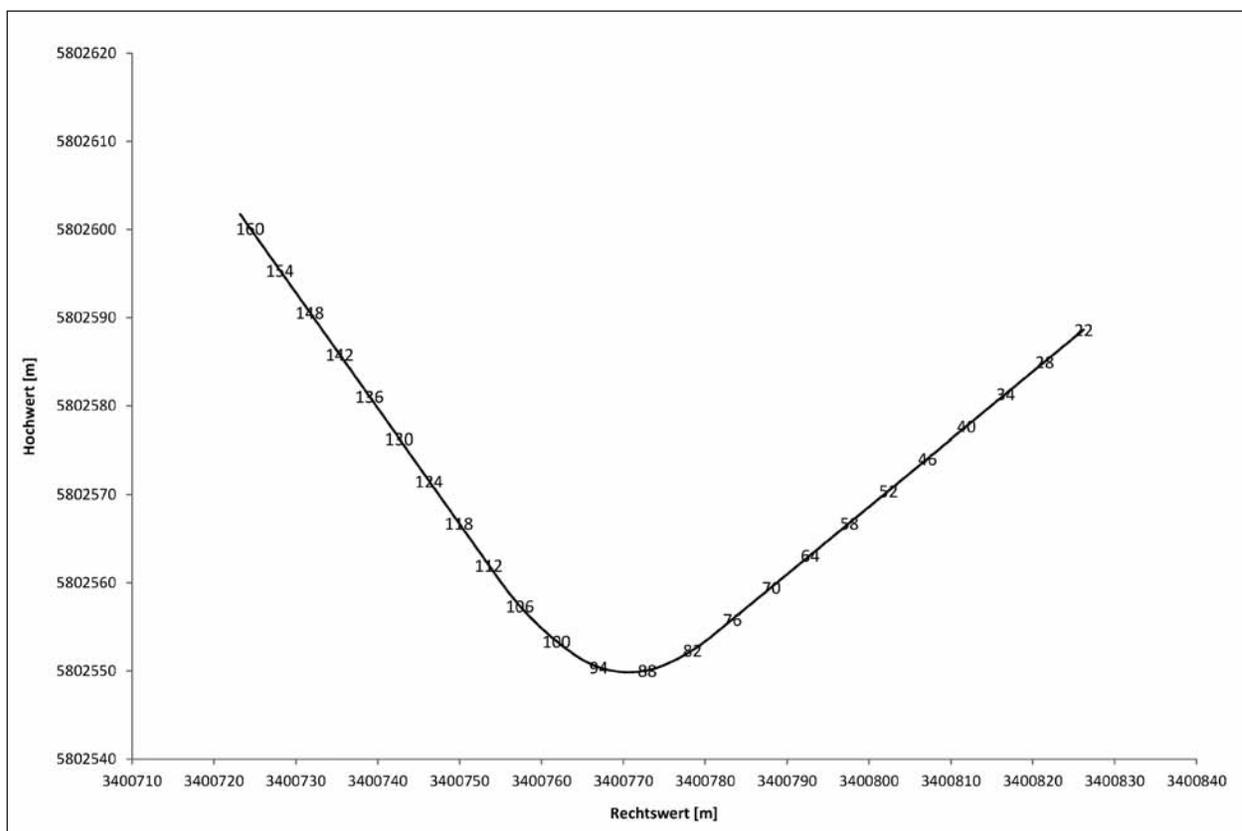


Bild 71: Bogenlänge Einmündung 100 gon

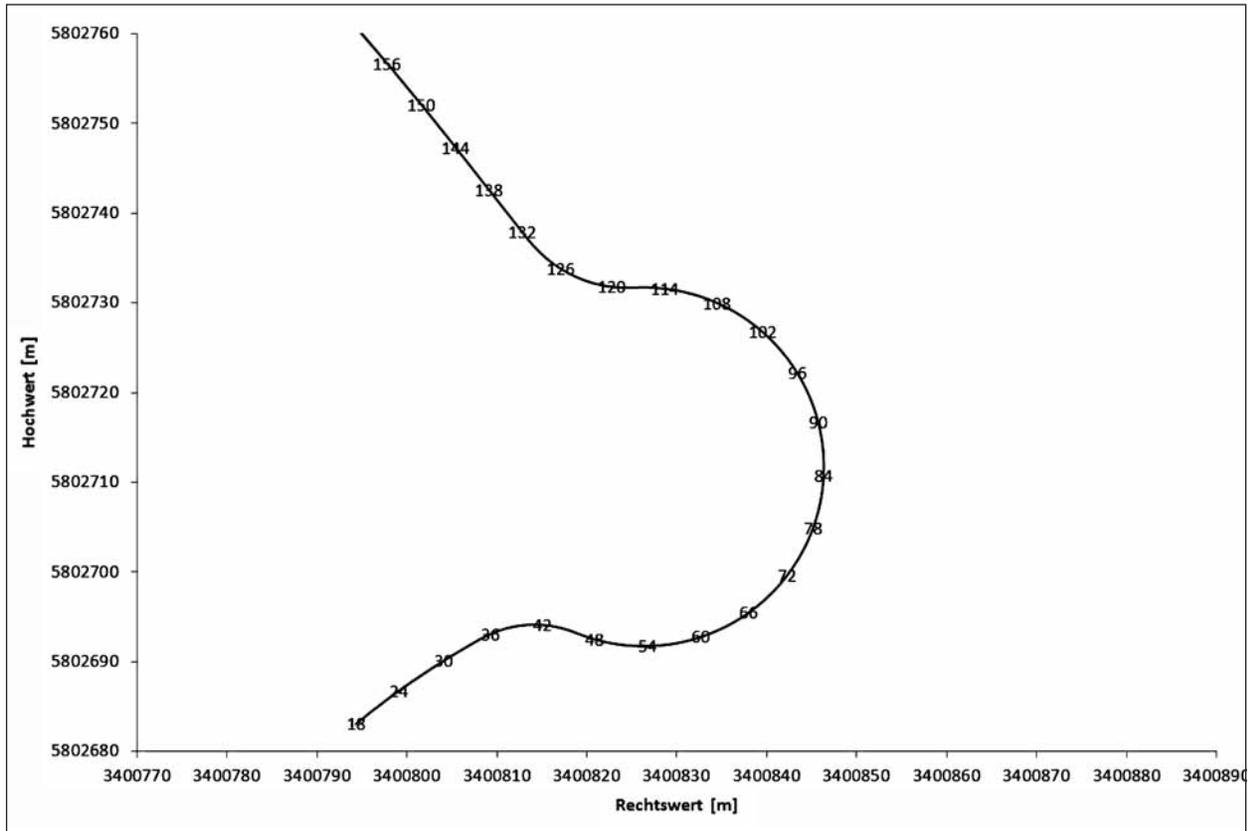


Bild 72: Bogenlänge kleiner Kreisverkehr

Für den Lastzug mit Zentralachsanhänger konnten deutliche Unterschiede zwischen den betrachteten Fahrweisen ermittelt werden. Die größten Abweichungen konnten für die Fahrt mit Halt/Stopp ermittelt werden. Im Vergleich zur langsamen Fahrt traten hier Abweichungen nach außen/innen von ca. 100 cm auf.

6.5.3 Einmündung 80 gon

In der Anlage 8 bis Anlage 10 sind die Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten für die betrachteten Fahrzeuge (Sattelzug, Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse, Sattelzug mit verlängertem Auflieger, Lastzug mit Zentralachsanhänger) jeweils fahrzeugbezogen für den Einmündungswinkel von 80 gon dargestellt.

Für den Sattelzug und den Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse zeigt der Vergleich der Leitlinien zwischen langsamer, normaler/zügiger Fahrt und Fahrt mit Halt/Stopp Unterschiede bzgl. der Leitlinien innen und außen. Bei normaler/zügiger Fahrt treten dabei die größten Abstände zur Referenzlinie auf. Die Differenzen zur langsamen Fahrt bzw. Fahrt mit Halt/Stopp liegen im Bereich von ca. 30 cm bzw. ca. 15 cm.

Für den Sattelzug mit verlängertem Auflieger zeigt der Vergleich der Leitlinien für die verschiedenen Fahrmanöver ein anderes Bild. Die größten Abweichungen von der Referenzlinie wurden hier für die langsame Fahrweise ermittelt. Die Differenzen zur normaler/zügigen Fahrweise lagen hier im Bereich von ca. 30-40 cm (außen). Im Vergleich zur Fahrt mit Halt/Stopp wurden Differenzen von ca. 100 cm nach außen ermittelt.

Für den Lastzug mit Zentralachsanhänger wurden die größten Abweichungen für die Fahrt mit Halt/Stopp berechnet. Für die normale/zügige Fahrt traten die geringsten Abweichungen von der Referenzlinie auf. Die maximalen Differenzen zwischen der langsamen Fahrt und der Fahrt mit Halt/Stopp lagen im Bereich von ca. 60 cm (außen).

6.5.4 Einmündung 100 gon

In der Anlage 11 bis Anlage 13 sind die Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten für die betrachteten Fahrzeuge (Sattelzug, Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse, Sattelzug mit verlängertem Auflieger, Lastzug mit Zentralachsanhänger) jeweils fahrzeugbezogen für den Einmündungswinkel von 100 gon dargestellt.

Der Vergleich der Leitlinien für den Sattelzug und den Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse zeigt Unterschiede bzgl. der Leitlinien innen und außen zwischen langsamer, normaler/zügiger Fahrt und Fahrt mit Halt/Stopp. Bei normaler/zügiger Fahrt treten dabei die größten Abstände zur Referenzlinie auf. Die Differenzen zur langsamen Fahrt bzw. Fahrt mit Halt/Stopp liegen im Bereich von ca. 60 cm bzw. ca. 85 cm (jeweils außen). Bei normaler/zügiger Fahrt konnten zudem deutliche Unterschiede zwischen Fahrten ohne und mit gelifteter Aufliegerachse ermittelt werden.

Für den Sattelzug mit verlängertem Auflieger zeigt der Vergleich der Leitlinien für die verschiedenen Fahrmanöver ein anderes Bild. Die größten Abweichungen von der Referenzlinie wurden hier für die Fahrweise mit Halt/Stopp ermittelt. Die Differenzen zur normalen/zügigen bzw. langsamen Fahrweise lagen hier im Bereich von 50 bzw. 80 cm (außen).

Für den Lastzug mit Zentralachsanhänger wurden die größten Abweichungen für die Fahrt mit Halt/Stopp ermittelt. Für die langsame Fahrt traten die geringsten Abweichungen von der Referenzlinie auf. Die maximalen Differenzen zwischen der langsamen Fahrt und der Fahrt mit Halt/Stopp lagen im Bereich von ca. 50 cm (außen).

6.5.5 Kleiner Kreisverkehr

In der Anlage 14 bis Anlage 16 sind die Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten für die betrachteten Fahrzeuge (Sattelzug, Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse, Sattelzug mit verlängertem Auflieger, Lastzug mit Zentralachsanhänger) jeweils fahrzeugbezogen für den kleinen Kreisverkehr dargestellt.

Für den Sattelzug zeigen sich im Bereich der Zufahrt nahezu keine Unterschiede zwischen den betrachteten Fahrmanövern (Breite der Zufahrt stellt Zwangspunkt dar). Während der Fahrt durch den Kreisverkehr zeigen sich Unterschiede in der Wahl der Leitlinie für die langsame Fahrt, die Fahrt mit Halt und die normale Fahrt. Die Fahrten mit gelifteter Aufliegerachse (nur normale Fahrt) zeigen bei Einfahrt in den Kreisverkehr nahezu keine Unterschiede zur Fahrt mit nicht gelifteter Aufliegerachse. Bei Ausfahrt aus dem Kreisverkehr konnten dagegen deutliche Unterschiede ermittelt werden.

Die Fahrten des Sattelzuges mit verlängertem Auflieger und auch die Fahrten mit Lastzug mit Zen-

tralachsanhänger zeigen ein ähnliches Bild. Im Bereich der Zufahrt in den Kreisverkehr sowie dem ersten Drittel der Befahrung treten kaum Unterschiede in der Wahl der Leitlinie für die verschiedenen Fahrmanöver auf. Größere Unterschiede konnten dagegen im zweiten Drittel der Befahrung ermittelt werden.

6.6 Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie

Neben der Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten auf die Befahrbarkeit von ausgewählten Einmündungen und kleinen Kreisverkehren wurden auch die Auswirkungen der verschiedenen Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie noch einmal näher betrachtet. Hierfür wurden die berechneten Leitlinien entsprechend der Fragestellung entsprechend neu gruppiert. Bzgl. der Berechnung und der Darstellung der Leitlinien in Bezug auf die Bogenlänge gibt es keine Unterschiede zu der vorab beschriebenen Vorgehensweise. Auch die Darstellung der verschiedenen Quantile der Leitlinien erfolgt analog.

6.6.1 Einmündung 60 gon

Die Ergebnisse für die Einmündung 60 gon sind in der Anlage 17 bis Anlage 19 dargestellt.

Für die langsame Fahrt wurden die größten Abstände zur Referenz für den Sattelzug mit Überlänge beobachtet. Im Vergleich zum Lastzug mit Zentralachsanhänger wurde Differenzen bei der Wahl der Leitlinie von mehr als 125 cm ermittelt (außen). Ein vergleichbares Bild zeigt sich für die normale bzw. zügige Fahrt. Auch hier wurden wiederum die größten Abstände zur Referenz für den Sattelzug mit Überlänge ermittelt. Die im Vergleich zum Lastzug mit Zentralachsanhänger berechneten Differenzen bei der Wahl der Leitlinie sind noch größer als bei der langsamen Fahrt (> 150 cm nach außen).

Bei der Fahrt mit Halt/Stopp konnten nur kleine Differenzen zwischen den Fahrzeugen Lastzug mit Überlänge und Lastzug mit Zentralachsanhänger ermittelt werden. Im Vergleich zum Sattelzug wurden jedoch Unterschiede in der Wahl der Leitlinie von mehr als 100 cm nach außen ermittelt (vgl. Anlage 20).

6.6.2 Einmündung 80 gon

Die Ergebnisse für die vergleichenden Betrachtungen für die Einmündung 80 gon sind in der Anlage 20 bis Anlage 22 dargestellt.

Die ermittelten Ergebnisse für die langsamen sowie die normalen bzw. zügigen Fahrten sind vergleichbar mit den entsprechenden Fahrten für die Einmündung 60 gon. Die größten Abstände zur Referenz wurden wiederum für den Sattelzug mit Überlänge ermittelt.

Die Fahrten mit Halt/Stopp zeigen im Vergleich zur Einmündung 60 gon ein anderes Bild. Für die Einmündung 80 gon wurden die größten Abstände zur Referenz für den Lastzug mit Zentralachsanhänger ermittelt. Die ermittelten Abstände der Sattelzüge (ohne/mit gelifteter Aufliegerachse, mit verlängertem Sattelauflieger) zur Leitlinien liegen dagegen alle in der gleichen Größenordnung.

6.6.3 Einmündung 100 gon

Für die Einmündung 100 gon sind die Ergebnisse der vergleichenden Betrachtungen in der Anlage 23 bis Anlage 25 dargestellt.

Die Ergebnisse für die Fahrten mit langsamer Geschwindigkeit sind wiederum vergleichbar mit den Fahrten für die Einmündungen 60 gon und 80 gon. Der Sattelzug mit Überlänge weist auch für die Einmündung 100 gon den größten Abstand zur Referenzlinie auf. Für die normalen bzw. zügigen Fahrten weist dagegen der Sattelzug mit Liftachse unten/oben den größten Abstand zur Referenz auf. Die Abstände des Sattelzuges mit Überlänge sind hier für die Einmündung 100 gon deutlich geringer, jedoch größer als die Abstände des Lastzugs mit Zentralachsanhänger. Die Fahrten mit Halt/Stopp zeigen dann wiederum die größten Abstände für den Sattelzug mit verlängertem Auflieger.

6.6.4 Kleiner Kreisverkehr

Für den betrachteten kleinen Kreisverkehr sind die Ergebnisse der vergleichenden Betrachtungen in der Anlage 26 bis Anlage 28 zusammenfassend dargestellt.

Im Bereich der Zufahrt sowie im ersten Drittel der Befahrung treten nur geringe Unterschiede in der Wahl der Leitlinie zwischen den betrachteten Fahrzeugen auf. Die größten Abstände von der Referenzlinie wurden hier für den Lastzug mit Zentral-

achsanhänger und für den Sattelzug ermittelt. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch für die Fahrten mit Halt/Stopp bei Einfahrt in den Kreisverkehr. Der Sattelzug mit Überlänge weist für alle untersuchten Fahrmanöver die kleinste Bandbreite bei der Befahrung auf. Dies lässt wiederum vermuten, dass den Fahrern bewusst ist, dass größere Abweichungen von einer „idealen“ Leitlinie u. U. zu Problemen bei der Befahrung führen. Während der Befahrung des zweiten Drittels des Kreisverkehrs treten zwischen den betrachteten Fahrzeugen deutlich größere Unterschiede auf.

6.7 Zusammenfassung und Fazit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Schleppkurvensimulation die fahrgeometrischen Zusammenhänge korrekt wiedergibt. Sie stellen somit ein geeignetes Mittel zum Nachweis der Befahrbarkeit von Knotenpunkten dar. Die durch höhere Fahrgeschwindigkeiten entstehenden größeren Abweichungen von der zugrunde gelegten Leitlinie bzw. der theoretisch berechneten Schleppkurve (vgl. Tabelle 13) liegen in Größenordnungen, die durch die üblichen Zuschläge für die seitlichen Bewegungsspielräume abgedeckt werden (vgl. FGSV, 2001).

Die vergleichende Betrachtung der analysierten Fahrzeuge Sattelzug ohne/mit gelifteter Aufliegerachse, Sattelzug mit verlängertem Auflieger und Lastzug mit Zentralachsanhänger zeigt deutlich, dass verschiedene Leitlinien für unterschiedliche Geschwindigkeiten bzw. Fahrmanöver gewählt werden. Aufgrund der relativ geringen Anzahl von Testfahrten und den Randbedingungen auf dem Testgelände zeigt sich bei der Interpretation der Ergebnisse keine klare Tendenz bzgl. eines ungünstigsten Fahrmanövers oder auch Fahrzeugs.

Es wird jedoch deutlich, dass die Bandbreite in der Wahl der Leitlinie für die Sattelauflieger in der Regel geringer ist, als die Bandbreite für den betrachteten Lastzug mit Zentralachsanhänger (i. W. für die Einmündungen 60 gon und 80 gon). Hieraus lässt sich ableiten, dass für die Befahrung der Knotenpunkte nur ein relativ schmaler Korridor für die Wahl der Leitlinie zur Verfügung steht. Dieser Korridor muss von den Fahrern genutzt werden, da ansonsten Probleme während der Befahrung der Verkehrsanlage zu erwarten sind. Für die Befahrung mit dem Lastzug mit Zentralachsanhänger ist der

zur Verfügung stehende Korridor etwas größer, da aufgrund der Fahrzeugkonstellation grundsätzlich ein etwas günstigeres Kurvenlaufverhalten zu erwarten ist.

Die zum Teil beobachteten großen Bandbreiten in der Wahl der Leitlinien haben während der Fahrversuche zu keinen Problemen bzgl. der Befahrbarkeit der ausgewählten Knotenpunkte geführt. Die in Anlehnung an die aus der Städteumfrage abgeleiteten problembehafteten Knotenpunkte konnten während der Testfahrten alle befahren werden. Die aus der Städteumfrage berichteten Probleme bei der Befahrung konnten somit nicht bestätigt werden. Inwieweit die Versuchsbedingungen auf dem Testgelände oder auch die kleine Anzahl von Testfahrten hierfür verantwortlich sind, kann nicht abschließend beurteilt werden. Auch inwieweit noch höhere Fahrgeschwindigkeiten als die während der Fahrversuche ursächlich für die in der Praxis aufgetretenen Schäden sind, kann aus den Ergebnissen der Fahrversuche nicht abschließend beurteilt werden.

Die vergleichenden Betrachtungen bzgl. der Wahl der Leitlinie von verschiedenen Fahrzeugtypen und Fahrgeschwindigkeiten zeigen deutlich, dass verschiedene Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen auch unterschiedliche Leitlinien für die Befahrung der verschiedenen Verkehrsanlagen wählen. In der Wahl der Leitlinie zeigen sich deutliche Unterschiede. Vereinzelt wurden Unterschiede zwischen den ausgewerteten Quantilen (innen bzw. außen) von mehr als 100 cm beobachtet. Für die überwiegende Anzahl der Testfahrten konnten für den Sattelzug mit verlängertem Auflieger die größten Abstände zur Referenzlinie ermittelt werden. Gleichzeitig war die Bandbreite bzgl. der Wahl der Leitlinie für den Sattelzug mit verlängertem Auflieger am kleinsten.

Da während der Testfahrten für kein Fahrzeug und kein Fahrmanöver ein Problem bzgl. der Befahrbarkeit der betrachteten Knotenpunkte ermittelt werden konnte, ist die Befahrbarkeit des für die Fahrversuche gewählten Kreisverkehrs mit einem Außendurchmesser von 40 m somit auch für den Sattelzug mit verlängertem Auflieger grundsätzlich gegeben. Die geringe Bandbreite in der Wahl der Leitlinien zeigt jedoch auch, dass der Fahrer dieser Fahrzeugkombination während der Testfahrten den kleinsten Korridor für eine problemlose Befahrung zur Verfügung hatte. Kleine Abweichungen von diesem Korridor können dann in der Praxis schnell zu Problemen bei der Befahrbarkeit führen.

7 Überprüfung der Befahrbarkeit ausgewählter plangleicher Knotenpunkte mittels Schleppkurvenprogrammen

7.1 Methodisches Vorgehen

Der Vergleich der praktisch und theoretisch ermittelten Schleppkurven hat gezeigt, dass Schleppkurvensimulationen die fahrgeometrischen Zusammenhänge und damit die Flächeninanspruchnahme bei der Befahrung von Straßenverkehrsanlagen korrekt wiedergeben. Für eine verlässliche Prüfung der Befahrbarkeit ausgewählter plangleicher Knotenpunkte stehen somit die erforderlichen Grundlagen bzw. Werkzeuge zur Verfügung.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Online-Befragung erfolgt im Folgenden zunächst die Überprüfung der im Rahmen der Befragung ermittelten problembehafteten Knotenpunkte (vgl. Kapitel 7.2). Hierfür wurden aufbauend auf den Umfrageergebnissen für ausgewählte Knotenpunkte weitere Details zu den entstandenen Schäden abgefragt. Die Prüfung mittels Schleppkurvensoftware erfolgte anschließend auf eventuelle typische Schadensbilder für die unterschiedlichen Knotenpunkttypen. Nach Abschluss dieses Arbeitsschrittes kann beurteilt werden, inwieweit einzelne Schadensbilder auf Trassierungsfehler und/oder auch die falsche Wahl des Bemessungsfahrzeugs ursächlich für die Schäden sind.

Da im Rahmen der Online-Befragung nur wenige problemhaftete Knotenpunkte ermittelt werden konnten, aus der Praxis jedoch vereinzelt von Schäden aufgrund bestimmter Fahrmanöver oder auch Fahrzeugkombinationen berichtet wird, erfolgt in einem zweiten Arbeitsschritt die systematische Überprüfung der Flächeninanspruchnahme ausgewählter Fahrzeuge des Schwerverkehrs für ausgewählte plangleiche Knotenpunkte (kleine Kreisverkehre und Kreuzungen mit unterschiedlichen Trassierungsparametern).

Neben den vorab aktualisierten Bemessungsfahrzeugen des Schwerverkehrs wurden auch ein Autotransporter mit einer Gesamtlänge von 20,75 m, ein Lastzug mit Drehschemelanhänger und einer Gesamtlänge von 24,00 m (Fahrzeugkombination 5 des Feldversuchs Lang-Lkw (BMVBS, 2011)) sowie ein Sattelzug mit einem verlängertem Auflieger für die systematische Überprüfung berücksichtigt. Aus

den Ergebnissen kann abschließend abgeleitet werden, welche Fahrzeugkombination und welches Fahrmanöver in den betrachteten kleinen Kreisverkehren u. U. zu Problemen führt.

7.2 Überprüfung von Problemknotenpunkten aus der Online-Befragung

Im Rahmen der Online-Befragung wurden von den befragten Behörden einige problembehaftete innerörtliche Knotenpunkte gemeldet. Problembehaftet bedeutet in diesem Fall, dass Probleme bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs aufgetreten sind und zu Schäden geführt haben.

Die Online-Befragung ergab insgesamt 42 problembehaftete Knotenpunkte. Darunter befinden sich 9 Einmündungen, 15 Kreuzungen und 18 Kreisverkehre. Für diese 42 Knotenpunkte wurden Details zu den entstandenen Schäden angefordert.

Der Rücklauf mit detaillierter Beschreibung von Schadensart und -ort beläuft sich auf 21 Knotenpunkte. Eine regionale Konzentration dieser Knotenpunkte ist nicht ersichtlich (vgl. Bild 73).

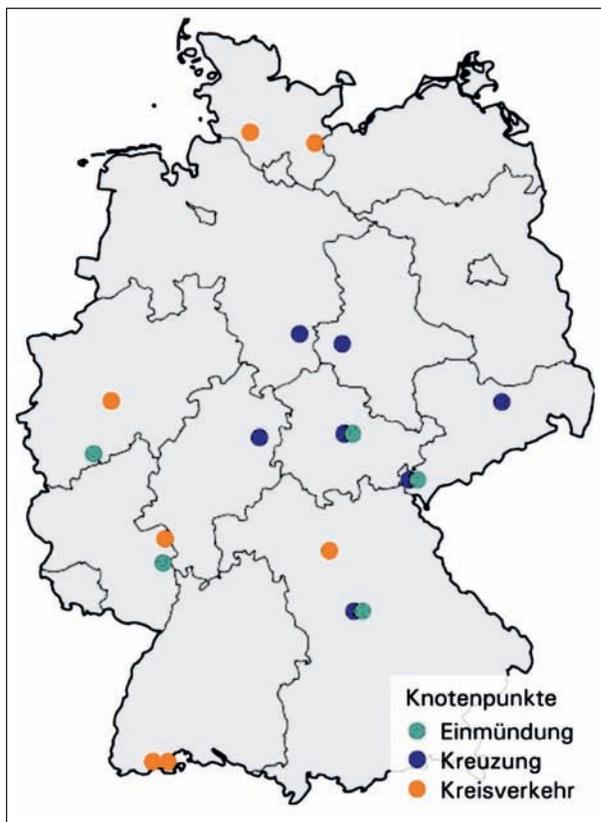


Bild 73: Lage der gemeldeten problembehafteten Knotenpunkte in Deutschland

Ausgehend von diesen Knotenpunkten wurden ungeeignete Knotenpunkte aussortiert. Als ungeeignet gelten diesbezüglich untypische Knotenpunkte (z. B. mit mehr als 4 Zu- und Ausfahrten) bzw. verschachtelte Knotenpunkte oder Knotenpunkte, bei denen die falsche Knotenpunktgrundform gewählt wurde. Nach dieser Auswahl verbleiben noch 13 Knotenpunkte; darunter 4 Einmündungen, 5 Kreuzungen und 4 Kreisverkehre.

Dies macht deutlich, dass Probleme bzgl. der Befahrbarkeit vorwiegend bei den „untypischen Knotenpunkten“ aufgetreten sind.

7.2.1 Überprüfung der Knotenpunktgeometrie

Eine erste Überprüfung der Knotenpunktgeometrie erfolgt anhand der in den derzeit gültigen Regelwerken angegebenen Empfehlungen und Trassierungsparameter. Als Regelwerke standen hierfür die Richtlinie zur Anlage von Stadtstraßen (FGSV, 2006c) sowie das Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV, 2006b) zur Verfügung. In den Richtlinien selbst werden nur wenige Parameter zur geometrischen Dimensionierung beziffert. Dies dürfte vor allem der Tatsache geschuldet sein, dass die Dimensionierung innerörtlicher Knotenpunkte oft mit beschränkten Freiheitsgraden erfolgt. In der Regel findet hier eine „Planung im Bestand“ statt, welche durch Zwangspunkte wie beispielsweise der bestehenden Bebauung eingeschränkt wird.

Als Knotenpunktparameter werden in den RAS 06 Angaben zu Radien der Eckausrundungen, Fahrstreifenbreiten im Bereich der Knotenpunktzufahrten sowie zu Abmessungen der Fahrbahnteiler gemacht (vgl. Tabelle 14).

Im Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren werden generell die Kreisverkehrstypen „Minikreis-

Entwurfselement		Maß
Hauptbogenradius Eckausrundung (R oder R ₂)	Rechtseinbieger	8,00 m
	Rechtsabbieger	8,00-12,00 m ¹ (15,00 m bei Tropfen)
	neben Dreiecksinsel	20,00-25,00 m ¹
Fahrstreifenbreite		≥ 3,00 m (≥ 2,75 m) ²
¹ in Abhängigkeit des Richtungsänderungswinkels ² in Ausnahmefällen und bei inneren Fahrstreifen		

Tab. 14: Dimensionierungsparameter gemäß RAS 06 (FGSV)

Entwurfselement		Maß
Außen durchmesser	Minikreisverkehr	13,00-22,00 m
	kleiner Kreisverkehr	26,00-40,00 m
	zweistreifig befahrbarer Kreisverkehr	40,00-60,00 m
Durchmesser der Kreisinsel		≥ 4,00 m
Breite des Kreisringes	Minikreisverkehr	4,00-6,00 m ¹
	kleiner Kreisverkehr	6,50-9,00 m ¹
	zweistreifig befahrbarer Kreisverkehr	8,00-10,00 m ¹
Breite der Kreisfahrbahn		2/3 des Kreisringes
Breite des Kreisinnenringes		1/3 des Kreisringes
Breite der Zufahrt	Minikreisverkehr	3,25-3,75 m
	kleiner Kreisverkehr	3,25-3,75 m
	zweistreifig befahrbarer Kreisverkehr	6,50 m
Breite der Ausfahrt		3,50-4,00 m
¹ in Abhängigkeit des Außendurchmessers		

Tab. 15: Dimensionierungsparameter gemäß dem Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV, 2006b)

verkehr“, „kleiner Kreisverkehr“ und „zweistreifig befahrbarer Kreisverkehr“ unterschieden. Für alle drei Typen werden Angaben zu Außendurchmesser, Durchmesser der Kreisinsel, Breite des Kreisringes (unterteilt in Kreisfahrbahn und Kreisinnenring) sowie zur Breite der Zu- und Ausfahrten gemacht (vgl. Tabelle 15).

Neben den genannten Parametern wird in den Regelwerken auch auf den Nachweis der Befahrbarkeit mittels Schleppkurven verwiesen.

Die Überprüfung hinsichtlich dieses Kriteriums wird nachfolgend beschrieben. Die 13 verbleibenden Knotenpunkte wurden auf Grundlage dieser Parameter geprüft. Betrachtet wurde hierbei insbesondere die Fahrbeziehung, in deren Verlauf es zu Schäden am Knotenpunkt gekommen ist. Die Ergebnisse dieser Prüfung sind in der Tabelle 16 dargestellt. Aus Gründen der in der Umfrage zugesicherten Wahrung der Anonymität wird auf eine detaillierte Bezeichnung der Knotenpunkte verzichtet. Es wird lediglich die Knotenpunktgrundform unterschieden.

Für 6 der 13 Knotenpunkte kann demnach die nicht dem Regelwerk entsprechende geometrische Dimensionierung als ursächlich für die aufgetretenen Schäden vermutet werden. Die übrigen 7 Knotenpunkte entsprechen hinsichtlich der genannten

Knotenpunkt	Eckausrundungen	Fahrfstreifenbreiten	Außendurchmesser	Durchmesser Kreisinsel	Breite Kreisring	Breite Zu-/Ausfahrt
Einmündung 1	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten
Einmündung 2	nicht eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten
Einmündung 3	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten
Einmündung 4	nicht eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten
Kreuzung 1	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten
Kreuzung 2	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten
Kreuzung 3	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten
Kreuzung 4	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten
Kreuzung 5	nicht eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten
Kreisverkehr 1	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	nicht eingehalten	eingehalten
Kreisverkehr 2	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten
Kreisverkehr 3	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	nicht eingehalten
Kreisverkehr 4	eingehalten	eingehalten	eingehalten	eingehalten	nicht eingehalten	eingehalten
	eingehalten	eingehalten	nicht eingehalten	nicht eingehalten	nicht eingehalten	nicht eingehalten

Tab. 16: Knotenpunkte und Trassierungsparameter der Online-Befragung

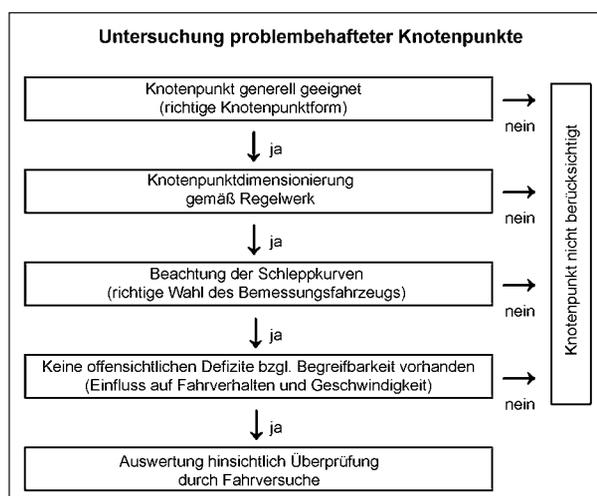


Bild 74: Vorgehen bezüglich problembehäfteter Knotenpunkte

Parameter den gültigen Regelwerken und werden nachfolgend mittels Schleppkurvensimulationen auf ihre Befahrbarkeit geprüft.

7.2.2 Auswahl des Bemessungsfahrzeuges

Als maßgebende Bemessungsfahrzeuge im Rahmen dieser Untersuchung kommen Last- und Sattelzüge in Frage. Grundlage bilden die Bemessungsfahrzeuge gemäß der FGSV-Veröffentlichung „Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen“ (FGSV, 2001).

Die empirischen Erhebungen zur Überprüfung der Bemessungsfahrzeuge (vgl. Kapitel 5) ergaben, verglichen mit der Untersuchung von 2001 (SCHNÜLL, R., HOFFMANN, S., KÖLLE, M., ENGELMANN, F., 2001), für die Fahrzeugklasse Sattelzug keine wesentlichen Änderungen der Fahrzeuglängen bzw. Teillängen. Lediglich die Fahrzeugbreite sollte auf 2,55 m angepasst werden.

Für die Fahrzeugklasse Lastzug sind Anpassungen der Gesamtlänge um plus 4 cm auf 18,75 m erforderlich. Diese werden dem hinteren Überhang des Anhängers zugeschlagen. Auch die Breite der Lastzüge sollte auf 2,55 m heraufgesetzt werden.

Einen wesentlichen Aspekt stellt die Art und Achsanordnung des Anhängers dar. Die empirischen Erhebungen ergaben eine wesentliche Zunahme des Anteils an Lastzügen mit Zentralachsanhänger. Die unterschiedliche Achsgeometrie und der Verzicht auf einen Drehschemel haben ein abweichendes Fahrverhalten in Kurven zur Folge.

Mit dem Ziel, die für die Bemessung innerörtlicher Knotenpunkte ungünstigste Fahrzeugklasse herauszufinden, werden die Schleppkurven der ein-

zelnen Fahrzeugtypen miteinander verglichen. Hierzu wurden die drei Fahrzeugtypen Sattelzug, Lastzug mit Drehschemelanhänger und Lastzug mit Zentralachsanhänger gemäß den obigen Annahmen und den Ergebnissen der empirischen Erhebung in der Simulation generiert (vgl. Tabelle 17).

Wie zuvor der Vergleich der CAD-Programme erfolgt auch der Vergleich der drei Fahrzeugtypen anhand der Schleppkurven für das Befahren eines kleinen Kreisverkehrs mit einem Außendurchmesser von 40 m. Geprüft wurde aus den bereits genannten Gründen (vgl. Kapitel 6.3.4) die Fahrbezie-

Fahrzeugtyp		Abmessungen [m]					
		Länge	Radstand	Überhang vorn	Überhang hinten	Breite	Wendekreisradius
Lastzug (Z3-H2)	Zugfahrzeug	18,75	5,28 ¹	1,50	2,92	2,55	10,30
	Anhänger		4,84	1,35 ²	1,30		
Lastzug (Z3-H2z)	Zugfahrzeug	18,75	5,48	1,44	3,15	2,55	10,30
	Anhänger		1	3,99 ²	3,87		
Sattelzug	Zugmaschine	16,50	3,95	1,43	0,76	2,55	7,90
	Auflieger		7,60 ¹	1,74	4,37 ¹		

¹ Tandemachsen werden zu einer Mittelachse zusammengefasst
² ohne Deichsellänge

Tab. 17: Fahrzeuggeometrie der untersuchten Fahrzeuge



Bild 75: Vergleich der Schleppkurven unterschiedlicher Fahrzeugtypen (CARD/1)

hung „Linksabbiegen“, wobei die Kreisfahrbahn nach ca. $\frac{3}{4}$ des Kreises verlassen wird.

Erneut erfolgt die Simulation aller Schleppkurven entlang der gleichen Leitlinie. Das Bild 75 zeigt die Überlagerung der einzelnen Schleppkurven.

Die Schleppkurven der drei Fahrzeugtypen unterscheiden sich deutlich voneinander. Der kurvenäußere Rand ist für alle Fahrzeuge quasi deckungsgleich. Dieser wird von der jeweils kurvenäußeren vorderen Fahrzeugecke beschrieben (Überstreichung). Da alle drei Fahrzeuge über die gleiche Fahrzeugbreite verfügen, basieren mögliche Unterschiede auf den unterschiedlichen vorderen Überhängen der Zugfahrzeuge. Diese sind jedoch bis auf wenige Zentimeter identisch und die Auswirkungen dementsprechend vernachlässigbar.

Auffällig sind insbesondere die großen Abweichungen im kurveninneren Bereich. Den ungünstigsten Fall stellt hier der Sattelzug dar. Die geringste Abweichung in Richtung Kurvenmitte weist der Lastzug mit Drehschemelanhängen auf. Die kurveninnere Linie wird bei allen drei Fahrzeugtypen vom kurveninneren Rad des Anhänger bzw. Aufliegers beschrieben (Überfahren). Das Maß des „Kurvenschneidens“ des kurveninneren Rades steht dabei in Abhängigkeit der Länge des Anhängers oder Aufliegers.

Der Lastzug mit Drehschemelanhängen stellt diesbezüglich den günstigsten Fall dar. Er besteht mechanisch betrachtet aus drei gelenkig miteinander verbundenen Elementen. Das vorderste Element ist das Zugfahrzeug mit seinen Aufbauten. Das zweite Element besteht aus der Deichsel und dem Drehschemel. Das dritte Element bildet der restliche Anhänger, bestehend aus Chassis und hinterer Achse (vgl. Bild 76).

Der Lastzug mit Zentralachsanhänger hingegen besteht lediglich aus zwei Systemteilen; dem Zugfahr-

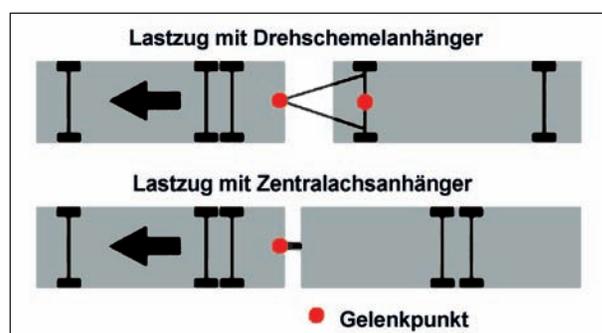


Bild 76: Schematische Darstellung der Fahrzeugelemente

zeug und dem in sich starren Anhänger. Dies entspricht vom System her dem eines Sattelzuges. Jedoch unterscheiden sich beide Fahrzeugtypen deutlich in den Abmessungen der Teilelemente.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für die Bemessung innerörtlicher Knotenpunkte der Sattelzug in der Regel das ungünstigste Bemessungsfahrzeug darstellt. Sofern die erste Achse am Sattelaufleger geliftet wird, vergrößert sich der technisch wirksame Radstand des Aufliegers. Die Flächeninanspruchnahme auf der Kurveninnenseite wird noch einmal größer.

Für das Bemessungsfahrzeug Lastzug muss hinsichtlich der Anhänger differenziert werden. Der Lastzug mit Zentralachsanhänger stellt einen ungünstigeren Fall dar, als das bis dahin gültige Bemessungsfahrzeug (Lastzug mit Drehschemelanhängen). Soll eine Verkehrsanlage auf die Befahrbarkeit mit einem Lastzug bemessen werden, empfiehlt es sich demnach, den Lastzug mit Zentralachsanhänger als Bemessungsfahrzeug zu wählen. Im Rahmen der Planung bzw. dem Entwurf von Straßenverkehrsanlagen ist dann vom Planer abzuwägen, inwieweit der Lastzug mit Zentralachsanhänger als bemessungsrelevant angenommen werden soll (Häufigkeit des Auftretens derartiger Fahrzeuge sollte abgewogen werden).

Die nachfolgende Überprüfung der Befahrbarkeit der Einzelknotenpunkte erfolgt mit dem Bemessungsfahrzeug Sattelzug (vgl. Tabelle 17).

7.2.3 Überprüfung der Problemknotenpunkte aus der Online-Befragung

Die sieben, auf Einhaltung der Richtlinienparameter positiv geprüften, Knotenpunkte aus Kapitel 7.2.1 werden nachfolgend hinsichtlich der Befahrbarkeit mit Schleppkurven überprüft. Untersucht wird jeweils die Fahrbeziehung, welche vermeintlich schadensursächlich ist. Die gemeldeten Schäden werden hierzu kurz dargestellt. Als maßgebendes Bemessungsfahrzeug wurde nach Kapitel 7.2.2 der 2,55 m breite und 16,50 m lange Sattelzug gewählt. Die Fahrlinie des Bemessungsfahrzeugs wurde so gewählt, dass die Fahrstreifen der anderen Knotenströme nach Möglichkeit nicht mitgenutzt werden. Dies entspricht der Angabe in der RAS 06, wonach in Knotenpunkten zweier Hauptverkehrsstraßen die Mitbenutzung von Gegenfahrstreifen durch Lastzüge und Linienbusse in der Regel vermieden werden soll.

Die Befahrbarkeit eines Knotenpunktes ist theoretisch dann gewährleistet, wenn die Schleppkurve des maßgebenden Fahrzeugs den Abmessungen des Fahrstreifens entspricht. Da jedoch nicht alle Fahrzeuge auf einer idealen Leitlinie den Knotenpunkt befahren, ist ein zusätzlicher Bewegungsspielraum vorzusehen. Bei eingeschränkten Bewegungsspielräumen ist nach FGSV (2001) eine Toleranz von beidseitig jeweils 0,50 m (bei eingeschränkten Bewegungsspielräumen 0,25 m) zu berücksichtigen.

Einmündung 1

An der Einmündung 1 traten wiederholt Beschädigungen im Bereich der Inselspitze sowie der Einbauten (Poller) am Fahrbahnrand im Bereich der Knotenausfahrt auf (vgl. Bild 77). Verursacht werden diese durch linksabbiegende Fahrzeuge.

Die Schleppkurve eines linksabbiegenden Sattelzuges bestätigt das gemeldete Schadensbild. Es wird sowohl die Inselspitze überrollt als auch der Fahrbahnrand in der Knotenpunktausfahrt vom vorderen Fahrzeugüberhang überstrichen (vgl. Bild 78).

Schadensursächlich ist im Fall der Einmündung 1 die nicht mehr zutreffende Wahl des Bemessungsfahrzeugs. Ursprünglich für 3-achsige Müllfahrzeuge bemessen wird der Knotenpunkt heute auch von Sattelzügen befahren.



Bild 77: Gemeldete Schäden an Einmündung 1



Bild 78: Schleppkurve Sattelzug Einmündung 1

Einmündung 3

An der Einmündung 3 traten wiederholt Beschädigungen im Bereich des kurveninneren Fahrbandes auf (vgl. Bild 79). Verursacht werden diese durch rechtseinbiegende Fahrzeuge.

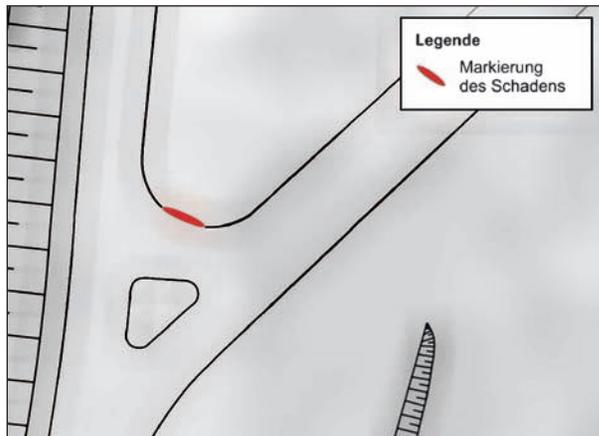


Bild 79: Gemeldete Schäden an Einmündung 3

Die Schleppkurve eines rechtseinbiegenden Sattelzuges bestätigt das gemeldete Schadensbild. Schließt man die Nutzung der gegenläufigen Fahrstreifen aus, wird der kurveninnere Fahrbandrand von den Achsen des Sattelauflegers überrollt (vgl. Bild 80).

Schadensursächlich ist somit der nicht durchgeführte Schleppkurvennachweis mit Sattelzug bzw. die falsche Wahl des Bemessungsfahrzeugs und die Annahme, dass die Gegenfahrbahn der Straße in die man einbiegt, mitbenutzt werden kann.



Bild 80: Schleppkurve Sattelzug Einmündung 3

Kreuzung 1

An der Kreuzung 1 traten wiederholt Beschädigungen im Bereich des kurveninneren Fahrbahnrandes auf (vgl. Bild 81). Verursacht werden diese durch Fahrzeuge, welche der abknickenden Vorfahrt folgen.

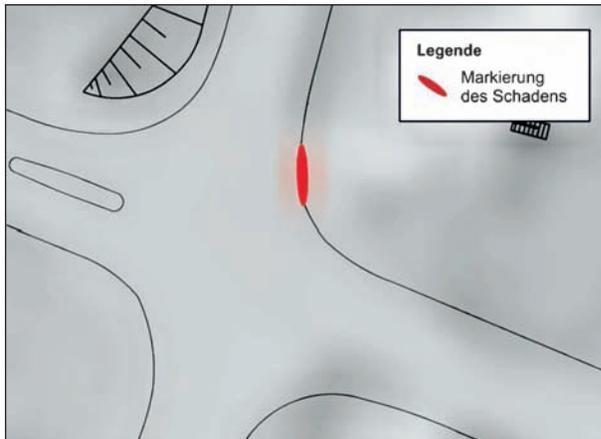


Bild 81: Gemeldete Schäden an Kreuzung 1

Die Schleppkurve eines Sattelzuges bestätigt das gemeldete Schadensbild. Die Schleppkurve berührt bei optimaler Fahrweise den kurveninneren Fahrbahnrand (vgl. Bild 82). Diese Fahrweise führt nicht zwangsläufig zu einer Überrollung durch die hinteren Achsen des Sattelauflegers. Es handelt sich jedoch um eine idealisierte Fahrlinie. In Realität muss davon ausgegangen werden, dass diese Fahrlinie nicht immer getroffen wird oder Einflüsse, wie das Vorhandensein anderer Verkehrsteilnehmer zu abweichenden Fahrlinien führen.

Schadensursächlich sind hier also vor allem die nicht berücksichtigten Sicherheitszuschläge für Bewegungsspielräume im Zusammenspiel mit einer komplexen Verkehrsanlage und den Wechselwirkungen mit anderen Verkehrsteilnehmern.

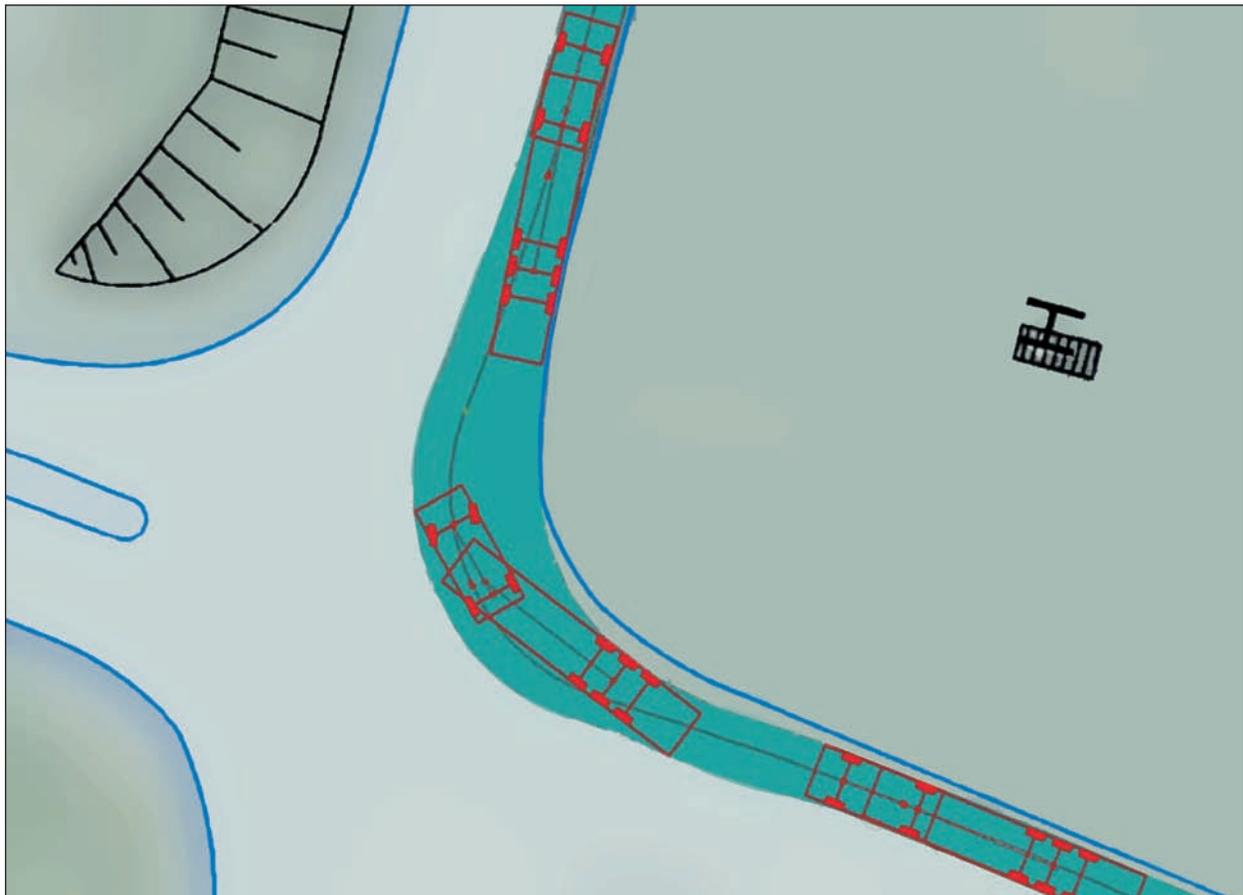


Bild 82: Schleppkurve Sattelzug in Kreuzung 1

Kreuzung 2

An der Kreuzung 2 traten wiederholt Beschädigungen im Bereich des kurveninneren Fahrbahnrandes auf (vgl. Bild 83). Verursacht werden diese durch Fahrzeuge, welche der abknickenden Vorfahrt folgen.

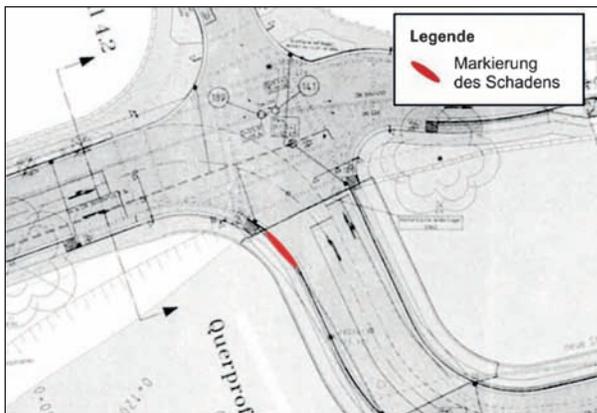


Bild 83: Gemeldete Schäden an Kreuzung 2

Die Schleppkurve eines Sattelzuges bestätigt generell das gemeldete Schadensbild. Schließt man die Nutzung der gegenläufigen Fahrstreifen aus, wird der kurveninnere Fahrbahnrand von den Achsen des Sattelauflegers berührt oder geringfügig überrollt (vgl. Bild 84).

Ebenso wie bei der Kreuzung 1, sind hier also vor allem die nicht berücksichtigten Sicherheitszuschläge für Bewegungsspielräume im Zusammenspiel mit einer komplexen Verkehrsanlage und den Wechselwirkungen mit anderen Verkehrsteilnehmern schadensursächlich.

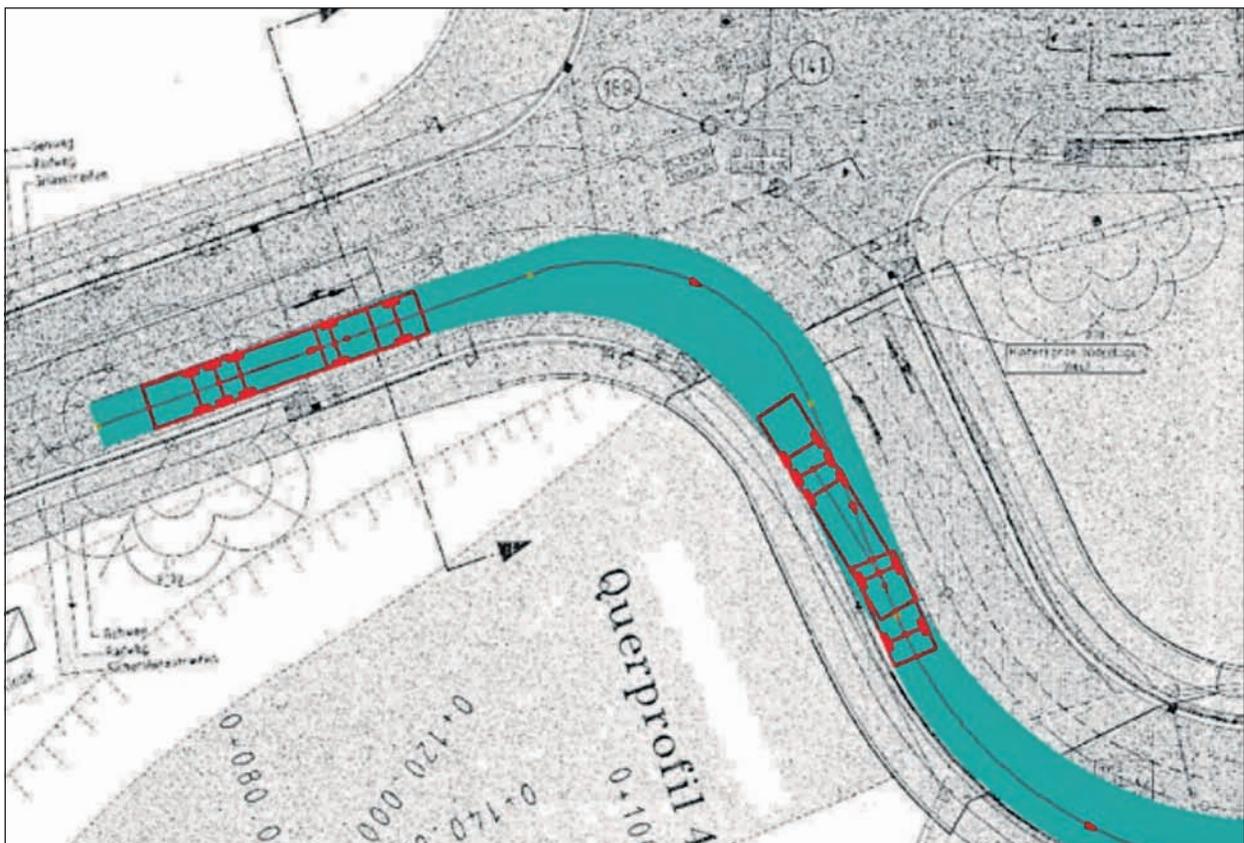


Bild 84: Schleppkurve Sattelzug in Kreuzung 2

Kreuzung 3

An der Kreuzung 3 traten wiederholt Beschädigungen im Bereich der Inselfspitze sowie der Einbauten (Singalmast) am Fahrbahnrand im Bereich der Knotenpunktausfahrt auf (vgl. Bild 85). Verursacht werden diese durch linksabbiegende Fahrzeuge auf dem zweistreifigen Linksabbiegestreifen.

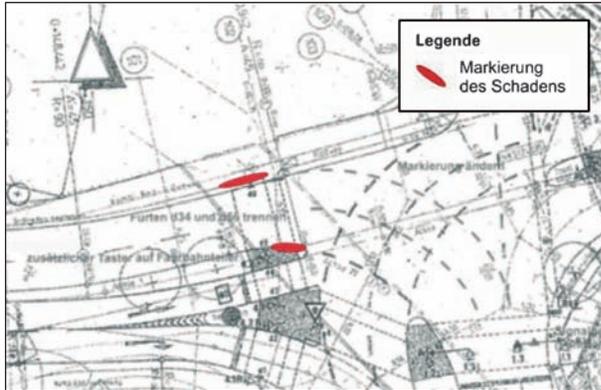


Bild 85: Gemeldete Schäden an Kreuzung 3

Die Schleppkurve eines linksabbiegenden Sattelzuges auf dem rechten Fahrstreifen bestätigt das gemeldete Schadensbild im Bereich des äußeren Fahrbahnrandes. Schließt man die Nutzung des linken Fahrstreifens aus, wird der Fahrbahnrand in der Knotenpunktausfahrt vom vorderen Überhang des Zugfahrzeuges überstrichen (vgl. Bild 86/unten).

Die Schleppkurve eines linksabbiegenden Sattelzuges auf dem linken Fahrstreifen bestätigt das gemeldete Schadensbild im Bereich der Inselfspitze. Schließt man die Nutzung des rechten Fahrstreifens aus, wird die Inselfspitze von den Achsen des Sattelauflegers überrollt (vgl. Bild 86/oben).

Ebenso wie bei der Kreuzung 1 und der Kreuzung 2 sind hier also vor allem die nicht berücksichtigten Sicherheitszuschläge für Bewegungsspielräume im Zusammenspiel mit einer komplexen Verkehrsanlage und den Wechselwirkungen mit anderen Verkehrsteilnehmern schadensursächlich.

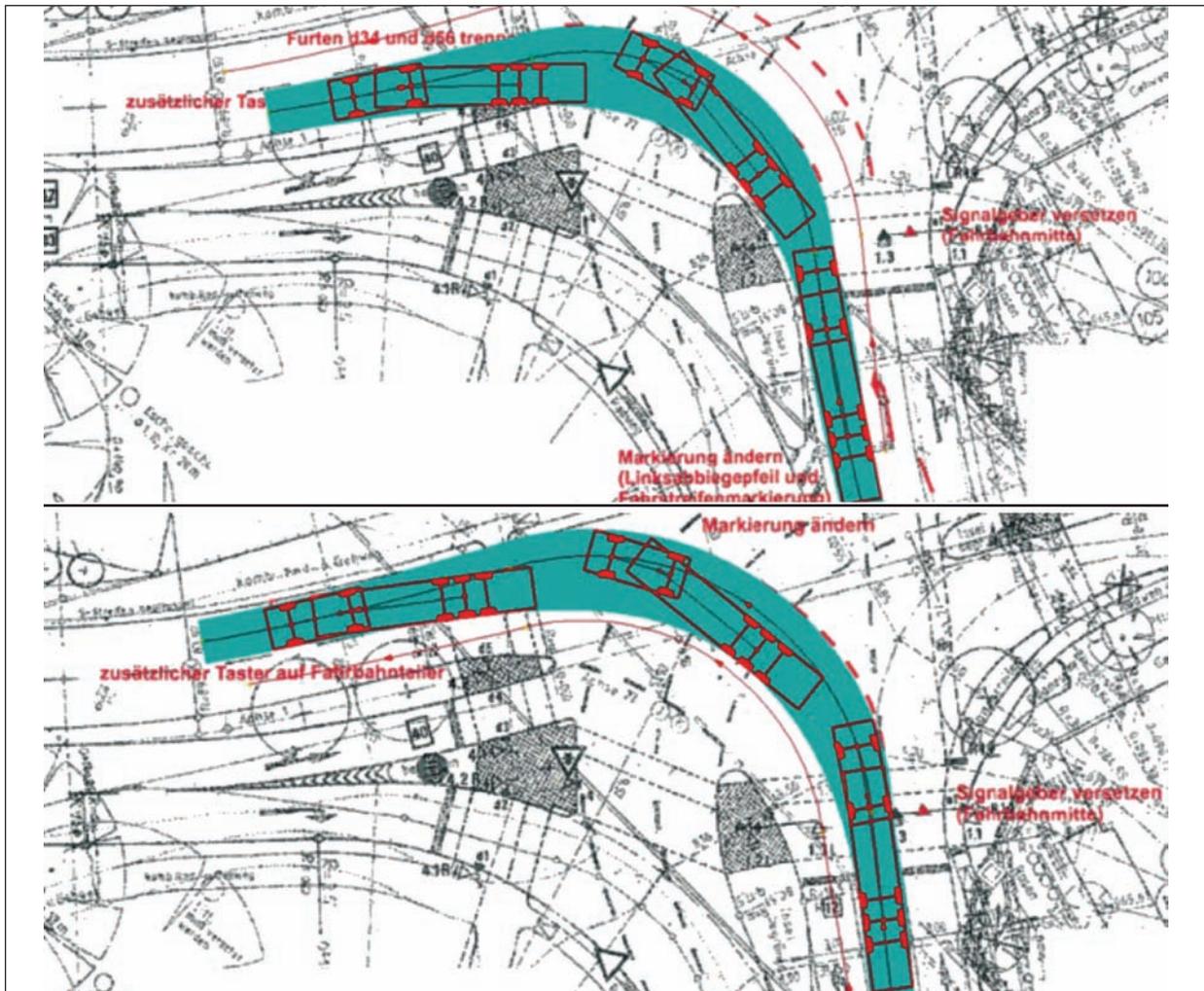


Bild 86: Schleppkurve Sattelzug in Kreuzung 3 (rechter (unten) und linker (oben) Fahrstreifen)

Kreuzung 4

An der Kreuzung 4 traten wiederholt Beschädigungen im Bereich des kurveninneren Fahrbahnrandes auf (vgl. Bild 87). Verursacht werden diese durch rechtsabbiegende Fahrzeuge.

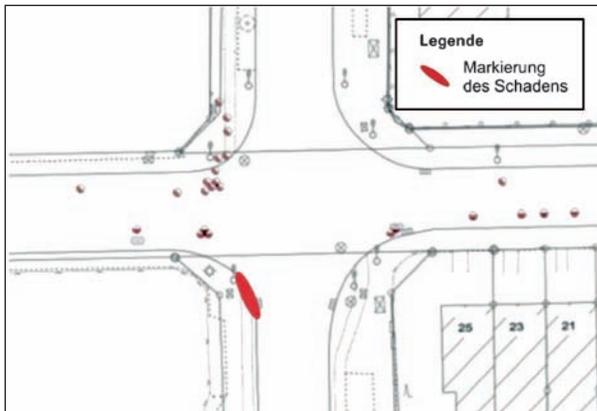


Bild 87: Gemeldete Schäden an Kreuzung 4

Die Schleppkurve eines rechtsabbiegenden Sattelzuges bestätigt das gemeldete Schadensbild. Das Befahren des Knotenpunktes ist nur dann möglich, wenn der Fahrstreifen des Gegenverkehrs vollständig mitgenutzt wird (vgl. Bild 88).

Ebenso wie bei den Kreuzungen 1 bis 3 sind hier also vor allem die nicht berücksichtigten Sicherheitszuschläge für Bewegungsspielräume im Zusammenspiel mit einer komplexen Verkehrsanlage und den Wechselwirkungen mit anderen Verkehrsteilnehmern schadensursächlich.



Bild 88: Schleppkurve Sattelzug in Kreuzung 4

Kreisverkehr 2

Am Kreisverkehr 2 traten wiederholt Beschädigungen im Bereich der Kreisinsel und an den Eckausrundungen im Bereich der Ausfahrten auf (vgl. Bild 89).

Das gemeldete Schadensbild kann anhand der Schleppkurvenanalyse nicht nachvollzogen werden. Die Befahrung eines $\frac{3}{4}$ -Kreises führt weder zur Überrollung der Kreisinsel noch zur Überrollung der Fahrbahnränder im Bereich der Eckausrundungen (vgl. Bild 91).

Die mittels Schleppkurven nachgewiesene, generelle Befahrbarkeit des Kreisverkehrs ist demnach nicht schadensursächlich. Die Gründe für die vorliegenden Beschädigungen sind somit in der mangelnden Begreifbarkeit des Knotenpunktes, Fehlinterpretationen der Fahrer oder der Befahrung mit Großraum- und Schwertransporten zu suchen.

Die mangelnde Begreifbarkeit des Knotenpunktes kann zu fehlerhaften Fahrverhalten, wie zum Beispiel einer zu hohen Geschwindigkeit oder ungünstigem Einlenkverhalten führen.

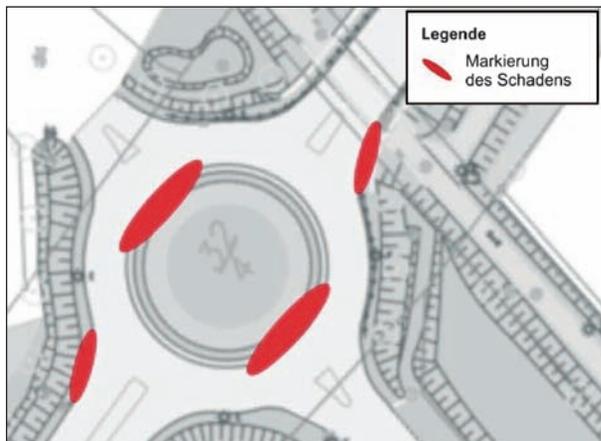


Bild 89: Gemeldete Schäden am Kreisverkehr 2



Bild 90: Schadensbild am Kreisverkehr 2

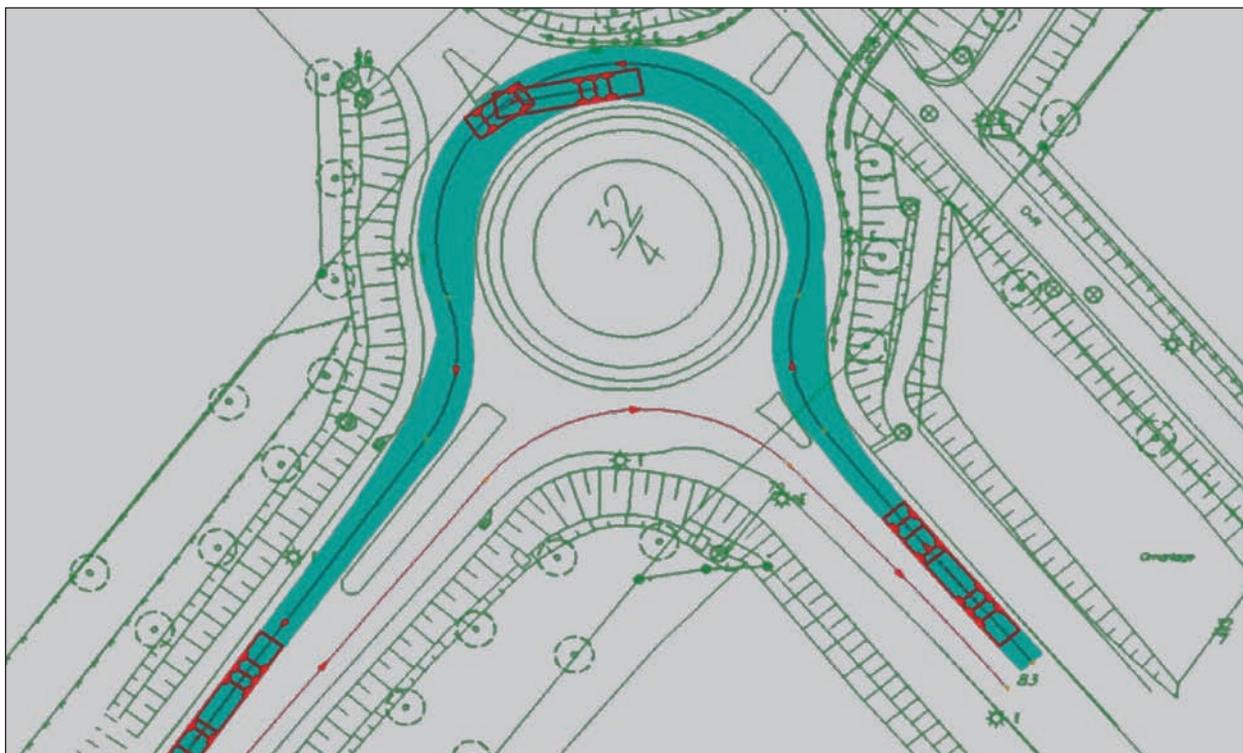


Bild 91: Schleppkurve Sattelzug in Kreisverkehr 2

7.2.4 Zwischenfazit

Die Überprüfung der einzelnen aus der Online-Befragung gemeldeten problembehafteten Knotenpunkte zeigt, dass in den meisten Fällen die Befahrbarkeit mittels Schleppkurvensimulation mit dem Bemessungsfahrzeug nicht gegeben ist (vgl. Tabelle 18). Die diesbezüglich unzureichende Dimensionierung führt offensichtlich zu den in der Praxis aufgetretenen Schadensbildern.

Die Kreuzungen 1 und 2 sind ausgehend von der idealen Fahrlinie und der darauf beruhenden Schleppkurve theoretisch von einem Sattelzug befahrbar. In der Realität kann jedoch davon ausgegangen werden, dass diese Fahrlinie nicht immer gefahren wird oder Einflüsse wie das Vorhandensein anderer Verkehrsteilnehmer zu abweichenden Fahrlinien führen. Diese Abweichungen werden in der Regel durch zusätzliche Bewegungsspielräume ausgeglichen. In beiden Knotenpunkten konnten derartige Spielräume auf Grund bestehender Zwangspunkte bzw. der Planung im Bestand nicht berücksichtigt werden. Die gemeldeten Schäden können somit durch die geringe Querschnittsbreite in den Knotenpunktausfahrten begründet werden.

Einzig der großzügig dimensionierte Kreisverkehr 2 weist keine Mängel hinsichtlich der Dimensionierung für das Bemessungsfahrzeug Sattelzug auf. Neben der entsprechenden Schleppkurve wurden auch die erforderlichen Bewegungsspielräume eingehalten. Die Schäden im Bereich der Kreisinsel sowie der Eckausrundungen in den Ausfahrten müssen demnach auf mangelnde Begreifbarkeit des Knotenpunktes oder das Befahren mit Großraum- und Schwertransporten zurückgeführt werden.

Knotenpunkt	Schleppkurve	Bewegungsspielräume
Einmündung 1		
Einmündung 3		
Kreuzung 1		
Kreuzung 2		
Kreuzung 3		
Kreuzung 4		
Kreisverkehr 2		
Befahrbarkeit möglich		Befahrbarkeit nicht möglich

Tab. 18: Ergebnisse der Schleppkurvenüberprüfung

7.3 Systematischer Vergleich der Flächeninanspruchnahme verschiedener Fahrzeuge des Schwerverkehrs

7.3.1 Methodisches Vorgehen

Unabhängig von der Prüfung der Befahrbarkeit der seitens der Länder und Kommunen als problembehaftet genannten Knotenpunkte, wird nachfolgend die Flächeninanspruchnahme von sieben verschiedenen Last- und Sattelzugkombinationen bei der Befahrung ausgewählter kleiner Kreisverkehre ermittelt. Das übergeordnete Ziel der vergleichenden systematischen Betrachtungen ist der Vergleich der durch die Fahrzeuge „überrollten“ bzw. überstrichenen Flächen.

Die Abbildung der Schleppkurven erfolgt analog zu den vorangegangenen Betrachtungen der Schleppkurven mit dem Simulationsprogramm CARD/1. Die ausgewählten Fahrzeugkombinationen werden hierfür nachgebildet. Anschließend werden die Schleppkurven für die einzelnen Knotenpunkte erzeugt und dargestellt.

Um eine Vergleichbarkeit der „überrollten“ bzw. überstrichenen Flächen sicherstellen zu können, erfolgt die Simulation der Schleppkurven für jeden betrachteten Knotenpunkt auf Basis der gleichen Leitlinie. Diese Linie beschreibt die Position der Mitte der vorderen Fahrzeugachse beim Befahren des Knotenpunktes. In den Ergebnissen (Grafiken) wird neben der Leitlinie zusätzlich jeweils die umhüllende Linie der Schleppkurven dargestellt.

7.3.2 Fahrzeuge

Zusätzlich zu den bereits als maßgebende Bemessungsfahrzeuge identifizierten Last- und Sattelzügen (vgl. Kapitel 5) werden auch

- ein Lastzug mit Drehschemelanhängen (Gesamtlänge: 24,00 m),
- ein Autotransporter (Lastzug mit Zentralachsanhänger, Gesamtlänge: 20,75 m),
- ein Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse (Gesamtlänge: 16,50 m) und
- ein Sattelzug mit verlängertem Auflieger (Gesamtlänge: 17,80 m)

betrachtet.

Fahrzeugtyp		Länge	Radstand	Überhanglänge ¹		Breite	Wendekreisradius
				vorn	hinten		
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Lastzug mit Drehschemelanhänger	Zugfahrzeug	18,75	5,28	1,50	2,92	2,55	10,30
	Anhänger		4,84	1,35 ²	1,30		
Lastzug mit Drehschemelanhänger	Zugfahrzeug	24,00	6,50 ²	1,50	4,00 ²	2,55	10,30
	Anhänger		6,09 ²	1,35 ³	3,23 ²		
Lastzug mit Zentralachsanhänger	Zugfahrzeug	18,75	5,48	1,46	3,31	2,55	10,30
	Anhänger		-2	3,99 ³	5,81		
Autotransporter mit Zentralachsanhänger	Zugfahrzeug	20,75	5,48	1,96	3,31	2,55	10,30
	Anhänger		-2	3,99 ³	5,31		
Sattelzug	Zugmaschine	16,50	3,61	1,43	0,77	2,55	7,90
	Auflieger		7,63 ^{2,4}	1,64	4,51 ²		
Sattelzug mit gelifteter Achse	Zugmaschine	16,50	3,61	1,43	0,77	2,55	7,90
	Auflieger		8,26 ^{2,4}	1,64	3,88 ²		
Sattelzug mit verlängertem Auflieger	Zugmaschine	17,80	3,56	1,40	1,04	2,55	7,90
	Auflieger		7,96 ^{2,4}	1,70	5,40 ²		

¹ Fahrzeugüberhänge beziehen sich auf die Achsmittle
² Tandemachsen werden zu einer Mittelachse zusammengefasst
³ ohne Deichsellänge
⁴ entspricht dem Abstand vom Königszapfen zur Tandemachse

Tab. 19: Fahrzeuggeometrie der im Rahmen des systematischen Schleppkurvenvergleichs betrachteten Fahrzeuge

Lastzug mit Drehschemelanhänger (L = 18,75 m)

Der Lastzug mit Drehschemelanhänger und einer Gesamtlänge von 18,75 m entspricht dem bis dato üblichen Bemessungsfahrzeug „Lastzug“. Als Fahrzeugbreite wird die nach StVZO für Fahrzeuge ohne Kühllaufbau maximal zulässige Breite von 2,55 m angenommen.

Lastzug mit Drehschemelanhänger (L = 24,00 m)

Der 24,00 m lange Lastzug entspricht der zulässigen Maximallänge für Lastzüge gemäß Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LKWÜberStVAusnV) vom 19.12.2011. Da in Deutschland bis dato keine Lastzugkombinationen mit einer Länge von 24,00 m zugelassen worden sind, handelt es sich hierbei um ein frei konstruiertes Fahrzeug. Die Basis bildet eine 23,00 m lange Lastzugkombination, die am Feldversuch Lang-Lkw teilnimmt.

Drei dieser Fahrzeuge mit Drehschemelanhänger mit hinterer Tandemachse befinden sich derzeit in Deutschland im Einsatz. Diese verfügen über ein 11,79 m langes Zugfahrzeug sowie einen 9,70 m langen Anhänger mit einer Deichsellänge von 2,88 m. Mit den entsprechenden Überhängen ergibt sich die Gesamtlänge von 23,00 m.

Für die Konstruktion des 24,00 m langen Lastzuges wurde der zusätzliche Meter auf die Fahrzeugkomponenten verteilt. Das Zugfahrzeug wurde mit der maximal zulässigen Länge von 12,00 m angenommen. Die verbleibenden 0,97 m wurden anteilig auf den Radstand sowie den hinteren Überhang des Drehschemelanhängers aufgeteilt.

Ein separater Vergleich der Schleppkurven für den 23,00 m langen Lastzug und den 24,00 m langen Lastzug ergab nur geringe Abweichungen beim Befahren enger Radien. Bedingt durch den größeren Radstand des Anhängers schneidet der 24,00 m lange Lastzug die Kurve stärker, als die 23,00 m lange Fahrzeugkombination. Bezüglich des ausschlaggebenden hinteren Überhangs ergeben sich keine Unterschiede bei den Schleppkurven.

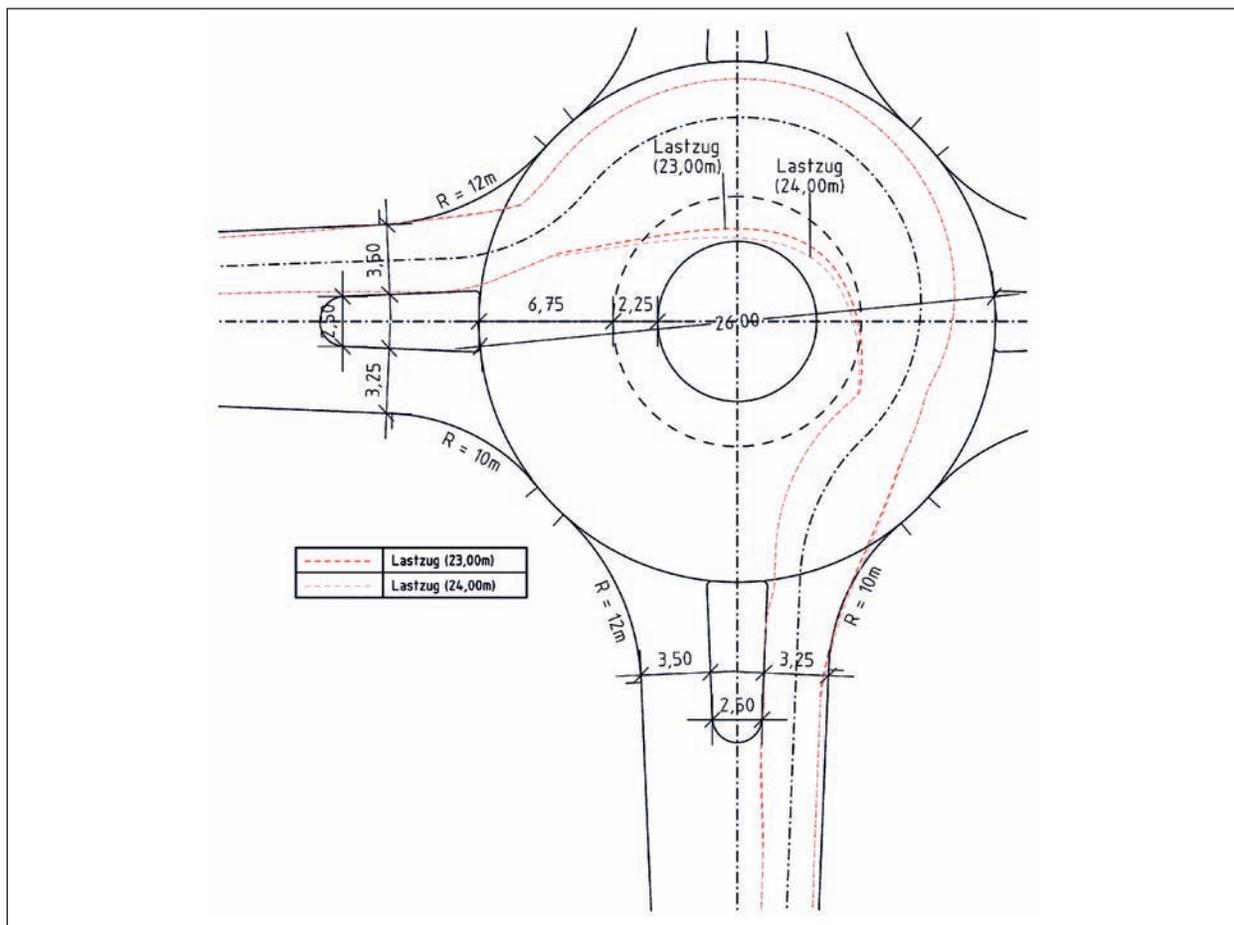


Bild 92: Schleppkurven der 23,00 m und 24,00 m langen Lastzüge mit Drehchemelanhängern

Lastzug mit Zentralachsanhänger (L = 18,75 m)

Der Lastzug mit Zentralachsanhänger und einer Gesamtlänge von 18,75 m entspricht der gängigen Fahrzeugkombination, welche auch im Rahmen der empirischen Erhebungen (vgl. Kapitel 5) ermittelt wurde. Als Fahrzeugbreite wird die nach StVZO für Fahrzeuge ohne Kühlaufbau maximal zulässige Breite von 2,55 m angenommen.

Autotransporter (L = 20,75 m)

Prinzipiell treten in der Praxis mehrere verschiedenen Typen von Autotransportern auf. Basis ist entweder eine Sattelzugmaschine mit Aufbau und entsprechendem Auflieger oder ein Lastzug mit Zentralachsanhänger und entsprechenden Aufbauten.

Der Autotransporter mit einer Gesamtlänge von 20,75 m entspricht im Grundsatz dem zuvor genannten Lastzug mit Zentralachsanhänger. Die zusätzliche Länge von 2,00 m begründet sich durch den vorderen und hinteren Ladungsüberhang. Berücksichtigt werden hierbei ein hinterer Ladungs-

überhang von 1,50 m sowie ein vorderer Ladungsüberhang von 0,50 m, welche nach StVZO (§ 22) maximal zulässig sind. Der vordere Ladungsüberhang darf jedoch erst ab einer Höhe von mehr als 2,50 m über das Zugfahrzeug nach vorne hinausragen.

Sattelzug (L = 16,50 m)

Der Sattelzug mit einer Gesamtlänge von 16,50 m entspricht dem bis dato üblichen Bemessungsfahrzeug „Sattelzug“ und der Fahrzeugkombination, welche auch im Rahmen der empirischen Erhebungen (vgl. Kapitel 5) ermittelt wurde. Als Fahrzeugbreite wird die nach der StVZO für Fahrzeuge ohne Kühlaufbau maximal zulässige Breite von 2,55 m angenommen.

Sattelzug (L = 16,50 m) mit gelifteter Achse

Viele der im Straßenverkehr vorkommenden Sattelzüge verfügen über eine Liftachse am 3-achsigen Fahrgestell des Sattelaufliers. In der Regel kann

bei diesen Fahrzeugen die vordere der Aufliegerachsen angehoben werden, um so den Verschleiß und den Verbrauch von Betriebsstoffen zu reduzieren.

Das Anheben einer Achse hat Auswirkungen auf die fahrgeometrischen Eigenschaften eines Sattelzuges. Wird die vordere Aufliegerachse angehoben, verschiebt sich der Achsdrehpunkt des Aufliegers nach hinten. Der vergrößerte Abstand zwischen Königszapfen und Achsdrehpunkt führt zu einem geringfügig stärkeren Schneiden der Kurveninnenseite. Das Fahrzeugheck schwenkt etwas weniger weit aus, als im normalen Betrieb.

Sattelzug mit verlängertem Auflieger (L = 17,80 m)

Eine Sonderform des Sattelzuges stellt der Sattelzug mit verlängertem Auflieger mit einer Gesamtlänge von 17,80 m dar. Auch diese Fahrzeugkombination entspricht prinzipiell dem normalen Sattelzug. Lediglich der Auflieger wurde um 1,30 m verlängert. Davon entfallen 0,30 m auf den Abstand zwischen Königszapfen und Aufliegerachsen und 1,00 m auf den hinteren Überhang des Aufliegers.

Nach Angaben des Herstellers ist es derzeit nicht möglich eine Achse des verlängerten Aufliegers anzuheben bzw. zu liften.

7.3.3 Knotenpunkte und Fahrbeziehungen

Die Darstellung der Schleppkurven erfolgt für zwei unterschiedliche Knotenpunktformen. Für die Knotenpunktform Kreuzung bzw. Einmündung wird das auch schon für die Fahrversuche genutzte Knotenpunktsegment verwendet. Zusätzlich wird ein kleiner Kreisverkehr mit unterschiedlichen Außendurchmessern und Trassierungsparametern abgebildet. Die Knotenpunktformen Kreuzung und Einmündung werden hierbei jedoch zusammengefasst, da sie sich hinsichtlich der betrachteten Fahrbeziehung nicht unterscheiden.

Die maßgebende Ein-/Abbiegebeziehung für die Dimensionierung von Kreuzungen und Einmündungen ist das Rechtsein- bzw. -abbiegen. Dargestellt wird daher die Flächeninanspruchnahme für ein Knotenpunktsegment eines Rechtseinbiegers bzw. Rechtsabbiegers.

Das betrachtete Segment verfügt über die in Tabelle 20 angegebenen Trassierungsparameter.

Trassierungselement		Maß
Kreuzungswinkel		100/80/60 gon
Bogenradius (Öffnungswinkel)	R ₁	24,00 m
	R ₂	12,00 m
	R ₃	36,00 m
Fahrstreifenbreite	Einfahrt	4,00 m
	Ausfahrt	3,75 m

Tab. 20: Trassierungsparameter der untersuchten Kreuzungen

Element	Abmessungen		
	Kreisverkehr 1	Kreisverkehr 2	Kreisverkehr 3
Außendurchmesser	26,00 m	30,00 m	40,00 m
Durchmesser der Kreisinsel	8,00 m	14,00 m	27,00 m
Breite des Kreisringes	9,00 m	8,00 m	6,50 m
Breite der Kreisfahrbahn	6,75 m	6,00 m	4,88 m
Breite der Zufahrten	3,25 m	3,25 m	3,25 m
Breite der Ausfahrten	3,50 m	3,50 m	3,50 m

Tab. 21: Trassierungsparameter der untersuchten kleinen Kreisverkehre

Untersucht werden drei Varianten mit Kreuzungswinkeln von 100, 80 und 60 gon.

Weiterhin wurden drei Kreisverkehre mit Außendurchmessern von 26,00 m, 30,00 m und 40,00 m für die Prüfung der Befahrbarkeit ausgewählt. Alle Kreisverkehre entsprechen in ihren Abmessungen eher den Mindestanforderungen gemäß dem Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren. Alle drei kleinen Kreisverkehre haben vier Knotenpunktarme mit jeweils einer Zu- und Ausfahrt. Der Kreuzungswinkel ist rechtwinklig. Die weiteren Trassierungsparameter sind in der Tabelle 21 angegeben.

Die Ausrundung der Zufahrten erfolgt jeweils mit einem Radius von 10,00 m. Die Ausfahrten sind mit einem Radius von 12,00 m ausgerundet.

Abgebildet wird für alle drei Kreisverkehre die Befahrung eines $\frac{1}{4}$ -Kreises (Rechtabbiegen) und eines $\frac{3}{4}$ -Kreises (Linksabbiegen). Für jedes Knotenpunktsegment und jeden Kreisverkehr wird eine Linie gewählt, welche als Leitlinie für alle Fahrzeugkombinationen verwendet wird. Dies dient ins-

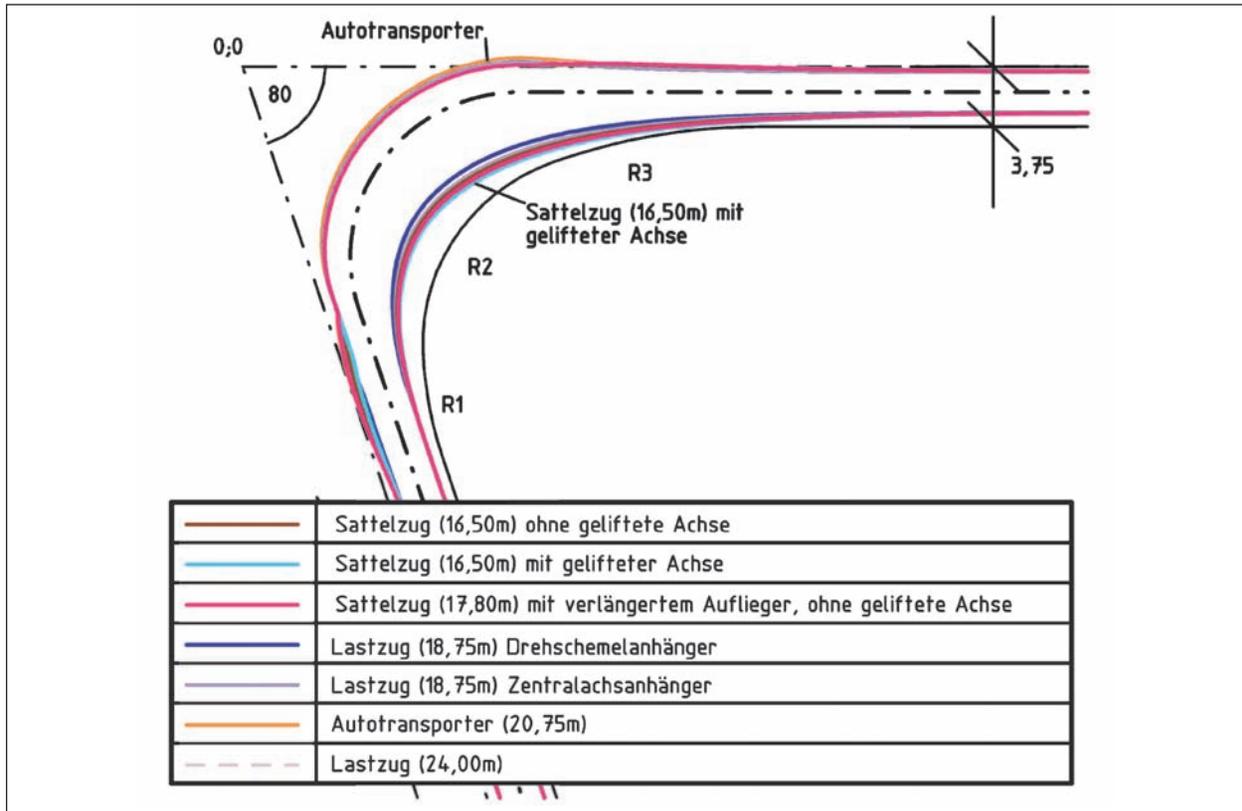


Bild 94: Befahrung Einmündung 80 gon

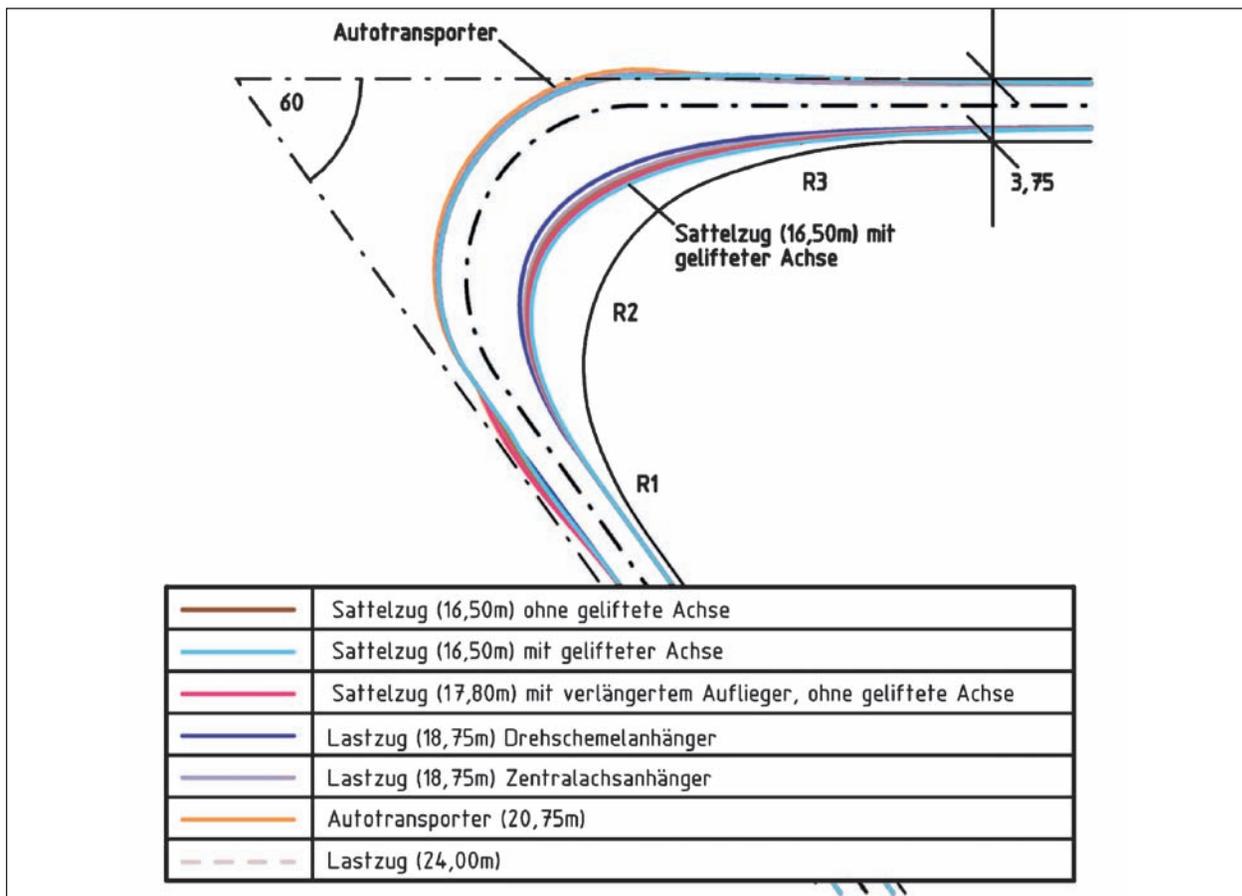


Bild 95: Befahrung Einmündung 60 gon

Aussagen zur Quantität des „Ausscherens“ bzw. „Ausholens“ in Richtung Kurvenaußenseite und zum „Kurvenschneiden“ in Richtung Kurveninnenseite sind in der Tabelle 22 zusammengestellt. An-

Fahrzeugtyp	Abstand von Leitlinie	
	„Ausscheren“ [m]	„Schneiden“ [m]
Lastzug mit Drehschemelhänger	1,40	3,79
Lastzug mit Drehschemelhänger (L = 24 m)	1,93	4,71
Lastzug mit Zentralachsanhänger	1,54	4,23
Autotransporter mit Zentralachsanhänger	1,92	4,23
Sattelzug	1,65	4,41
Sattelzug mit gelifteter Achse	1,48	4,82
Sattelzug mit verlängertem Auflieger	1,90	4,62

Tab. 22: Maximalmaß des „Ausscherens/Ausholens“ und „Schneidens“ an unterschiedlichen Stellen bei Befahrung der Einmündung 60 gon

gegeben ist der Abstand der fahrzeughüllenden Linie von der Leitlinie. Je größer dieser Abstand ist, desto stärker schert das Fahrzeugheck aus oder desto deutlicher schneidet die Fahrzeugkombination in Richtung Kurveninnenseite. Angegeben sind die Werte für die Befahrung des Knotenpunktsegments bei einem Kreuzungswinkel von 60 gon. Hier treten die größten Werte auf.

Kleine Kreisverkehre

Für die kleinen Kreisverkehre wurden neben unterschiedlichen Außendurchmessern auch verschiedene Fahrmanöver betrachtet. Es wurde die Befahrung eines $\frac{1}{4}$ -Kreises und eines $\frac{3}{4}$ -Kreises simuliert.

Befahrung $\frac{1}{4}$ -Kreis

Die Bilder 96 bis 98 zeigen die Flächeninanspruchnahme bei der $\frac{1}{4}$ -Kreisbefahrung kleiner Kreisverkehre mit unterschiedlichen Durchmessern. Dargestellt sind jeweils die umhüllenden Linien der Schleppkurven für die einzelnen Fahrzeugkombinationen.

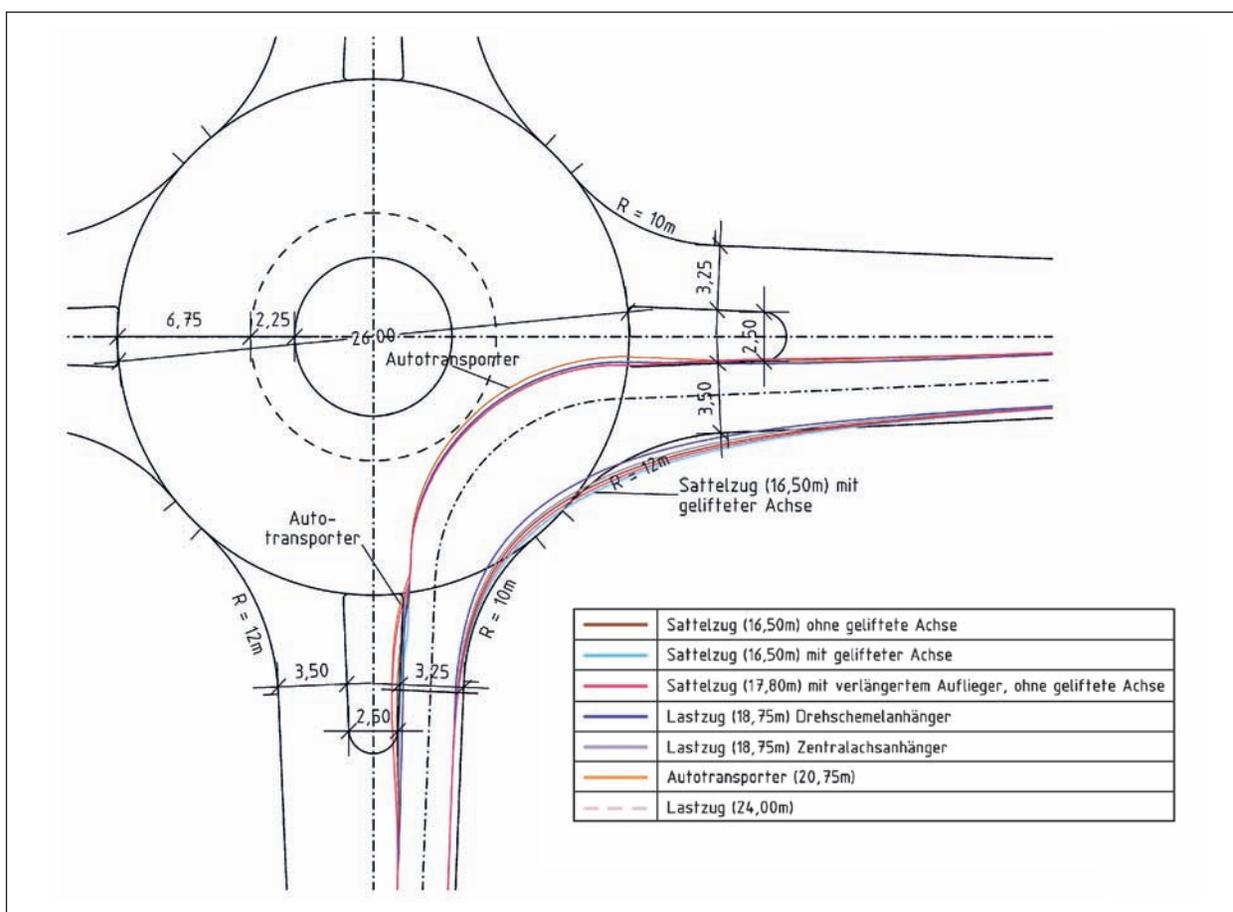


Bild 96: Befahrung $\frac{1}{4}$ -Kreis, kleiner Kreisverkehr, Durchmesser 26,00 m

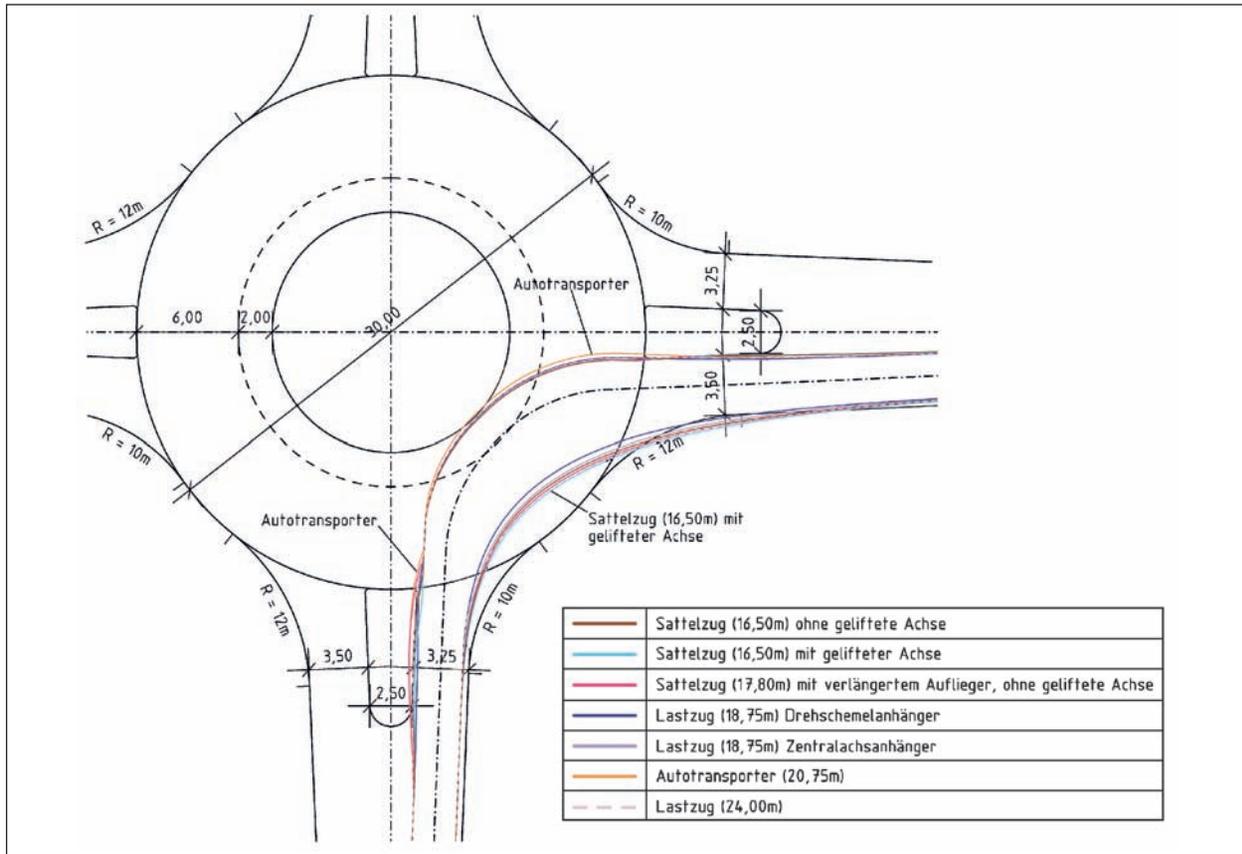


Bild 97: Befahrung ¼-Kreis, kleiner Kreisverkehr, Durchmesser 30,00 m

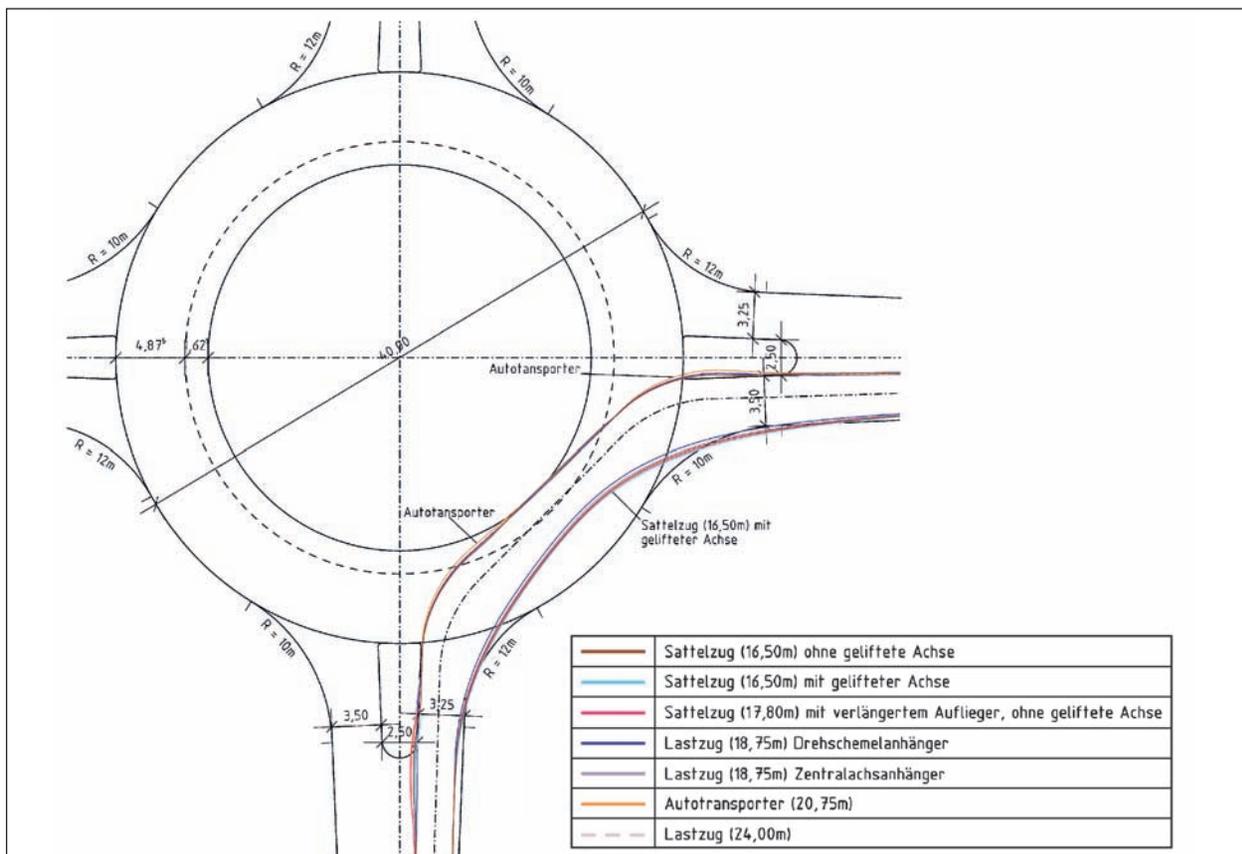


Bild 98: Befahrung ¼-Kreis, kleiner Kreisverkehr, Durchmesser 40,00 m

Für alle drei kleinen Kreisverkehre ergibt sich qualitativ das gleiche Bild. Die unterschiedlichen Elementlängen und Drehpunkte führen zu unterschiedlich stark ausgeprägtem Ausscheren sowie Kurvenschneiden.

Auffallend sind in dieser Hinsicht das Ausscheren des Fahrzeughecks des Autotransporters, sowie des Sattelzuges mit verlängertem Auflieger. Die längeren Fahrzeugüberhänge im Bereich des Hecks führen zu einer größeren Flächeninanspruchnahme beim Einfahren in den Kreisverkehr.

Im Kreisverkehr selbst führt ein großer Radstand der Fahrzeugkombinationen zum stärkeren Kurvenschneiden. Am deutlichsten kommt dies beim Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse zum Tragen. Weniger deutlich tritt dies beim Sattelzug mit verlängertem Auflieger, beim normalen Sattelzug sowie beim Lastzug mit Zentralachsanhänger auf. Der Lastzug mit Drehschemelanhänger am wenigsten in Richtung Kurveninnenseite.

Im Bereich der Kurvenaußenseite führt der vordere Ladungsüberhang des Autotransporters zu einer größeren Flächeninanspruchnahme. Hierbei handelt es sich um eine Fläche, die ab einer Höhe von 2,50 m von der nach vorne über die Fahrerkabine hinausragenden Ladung überstrichen wird.

Aussagen zur Quantität des Ausscherens im Bereich der Kreisverkehrszufahrt und zum Kurvenschneiden im Bereich der Kreisfahrbahn sind in der Tabelle 23 zusammengestellt. Angegeben sind die

Fahrzeugtyp	Abstand von Leitlinie	
	„Ausscheren“ [m]	„Schneiden“ [m]
Lastzug mit Drehschemelanhänger	1,39	3,67
Lastzug mit Drehschemelanhänger (L = 24 m)	1,88	4,40
Lastzug mit Zentralachsanhänger	1,56	4,02
Autotransporter mit Zentralachsanhänger	1,96	4,02
Sattelzug	1,70	4,14
Sattelzug mit gelifteter Achse	1,52	4,46
Sattelzug mit verlängertem Auflieger	1,96	4,30

Tab. 23: Maximalmaß des „Ausscherens/Ausholens“ und „Schneidens“ an unterschiedlichen Stellen bei Befahrung $\frac{1}{4}$ -Kreis, kleiner Kreisverkehr, Außendurchmesser 26,00 m

Werte für die Befahrung des Kreisverkehrs mit einem Durchmesser von 26,00 m. Hier treten die größten Unterschiede auf.

Bei allen drei Kreisverkehren würde die Befahrung mit den Fahrzeugkombinationen entlang der gewählten Leitlinie zu Schadensbildern durch das Überfahren oder Überstreifen der Seitenräume führen.

Eine Optimierung der Flächeninanspruchnahme und eine bessere Befahrbarkeit bzw. eine Reduzierung der Schadensbilder kann gegebenenfalls durch eine individuell je Fahrzeugtyp gewählte Leitlinie erreicht werden.

Befahrung $\frac{3}{4}$ -Kreis

Die Bilder 99 bis 101 zeigen die Flächeninanspruchnahme bei der $\frac{3}{4}$ -Kreisbefahrung kleiner Kreisverkehre mit unterschiedlichen Durchmessern. Dargestellt sind jeweils die umhüllenden Linien der Schleppkurven für die einzelnen Fahrzeugkombinationen.

Für alle drei kleinen Kreisverkehre ergibt sich auch für die $\frac{3}{4}$ -Kreisbefahrung qualitativ das gleiche Bild. Die unterschiedlichen Elementlängen und Drehpunkte führen zu unterschiedlich stark ausgeprägtem Ausscheren sowie Kurvenschneiden.

Die größten Abweichungen der einzelnen Schleppkurven treten auch hier im Bereich der Zufahrt in den Kreisverkehr („Ausscheren“) und beim Befahren der Kreisfahrbahn („Schneiden“) auf. Auffallend sind auch hier das Ausscheren des Fahrzeughecks des Autotransporters sowie des Sattelzuges mit verlängertem Auflieger. Die längeren Fahrzeugüberhänge im Bereich des Hecks führen zu einer größeren Flächeninanspruchnahme beim Einfahren in den Kreisverkehr. Im Kreisverkehr selbst führt ein großer Radstand der Fahrzeugkombinationen zum stärkeren Kurvenschneiden. Am deutlichsten kommt dies beim Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse zum Tragen. Weniger deutlich tritt dies beim Sattelzug mit verlängertem Auflieger, beim normalen Sattelzug sowie beim Lastzug mit Zentralachsanhänger auf. Der Lastzug mit Drehschemelanhänger schneidet am wenigsten in Richtung Kurveninnenseite. Im Bereich der Kurvenaußenseite führt der vordere Ladungsüberhang des Autotransporters zu einer größeren Flächeninanspruchnahme. Hierbei handelt es sich um eine Fläche, die von der nach vorne über die Fahrerkabine hinausragenden Ladung überstrichen wird.

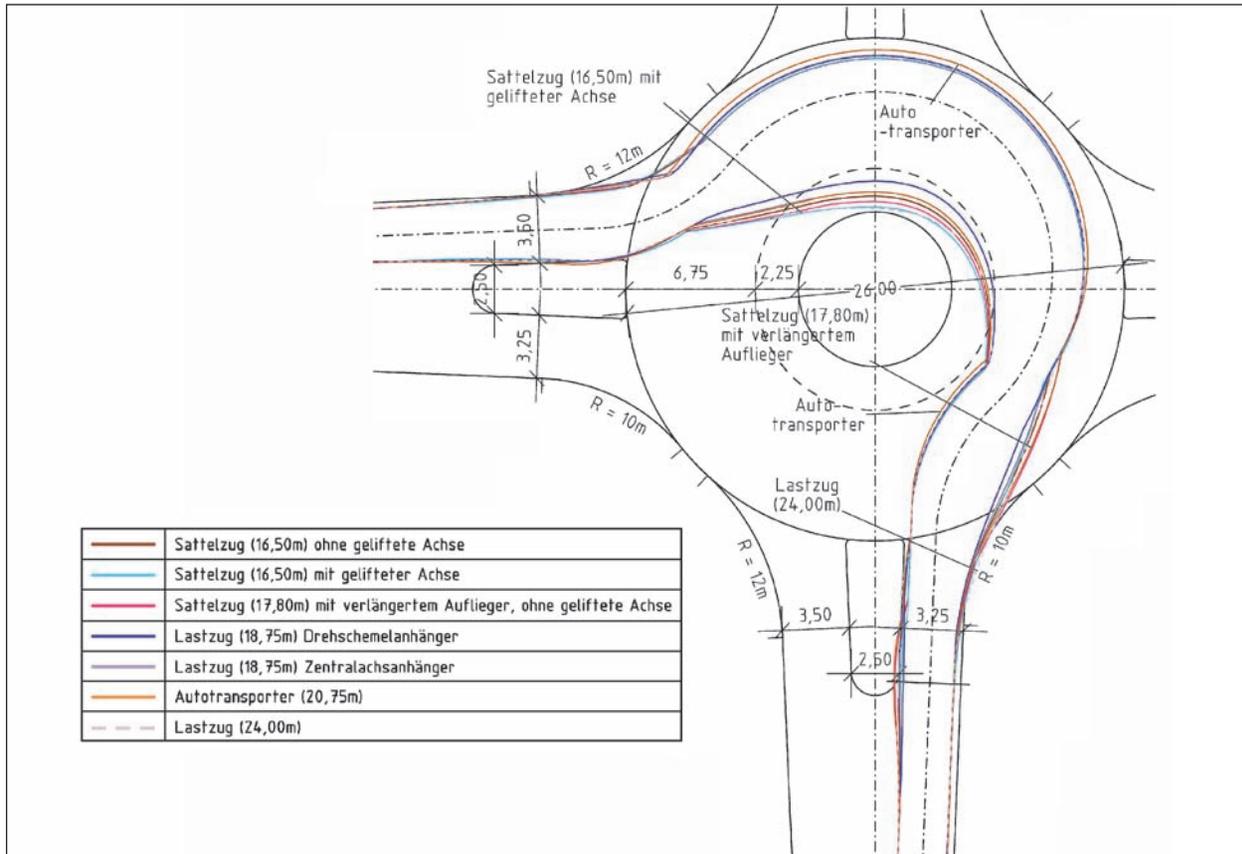


Bild 99: Befahrung $\frac{3}{4}$ -Kreis, kleiner Kreisverkehr, Durchmesser 26,00 m

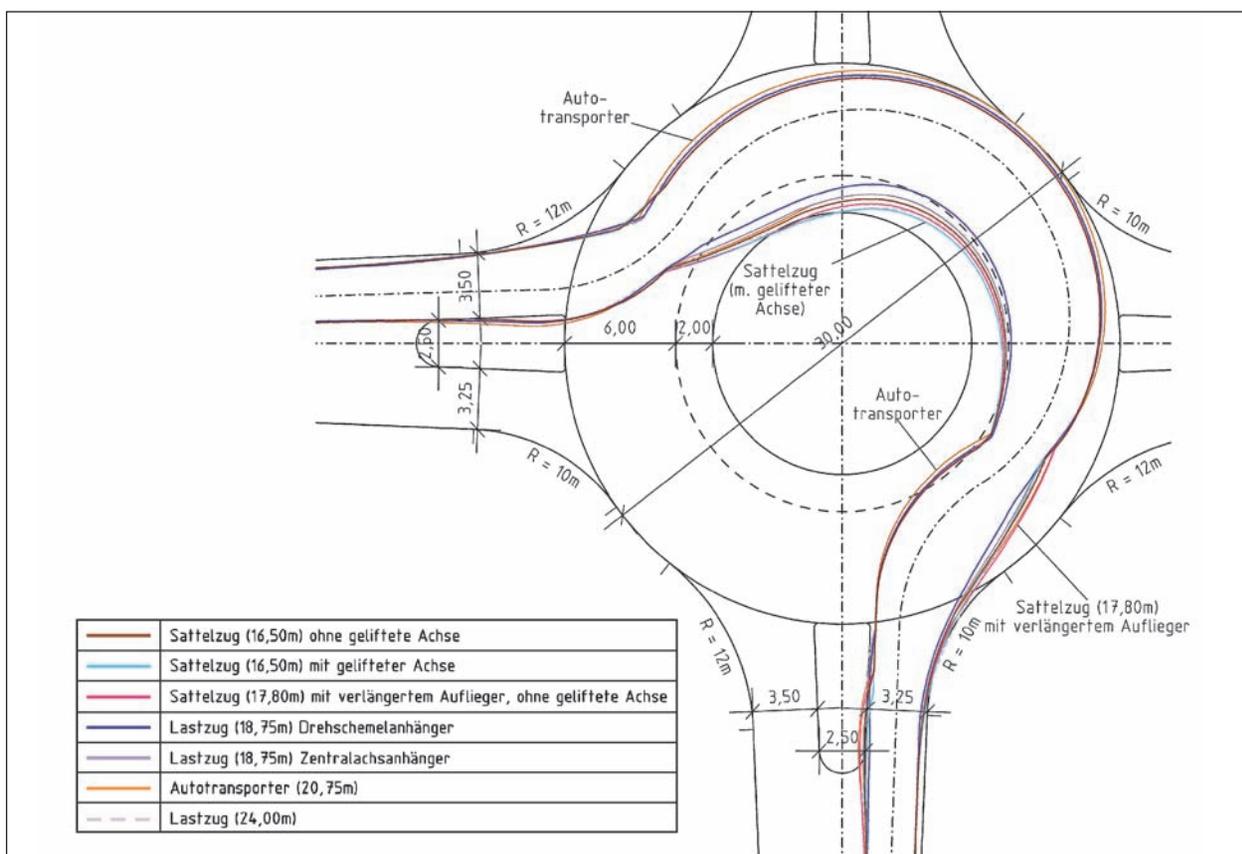


Bild 100: Befahrung $\frac{3}{4}$ -Kreis, kleiner Kreisverkehr, Durchmesser 30,00 m

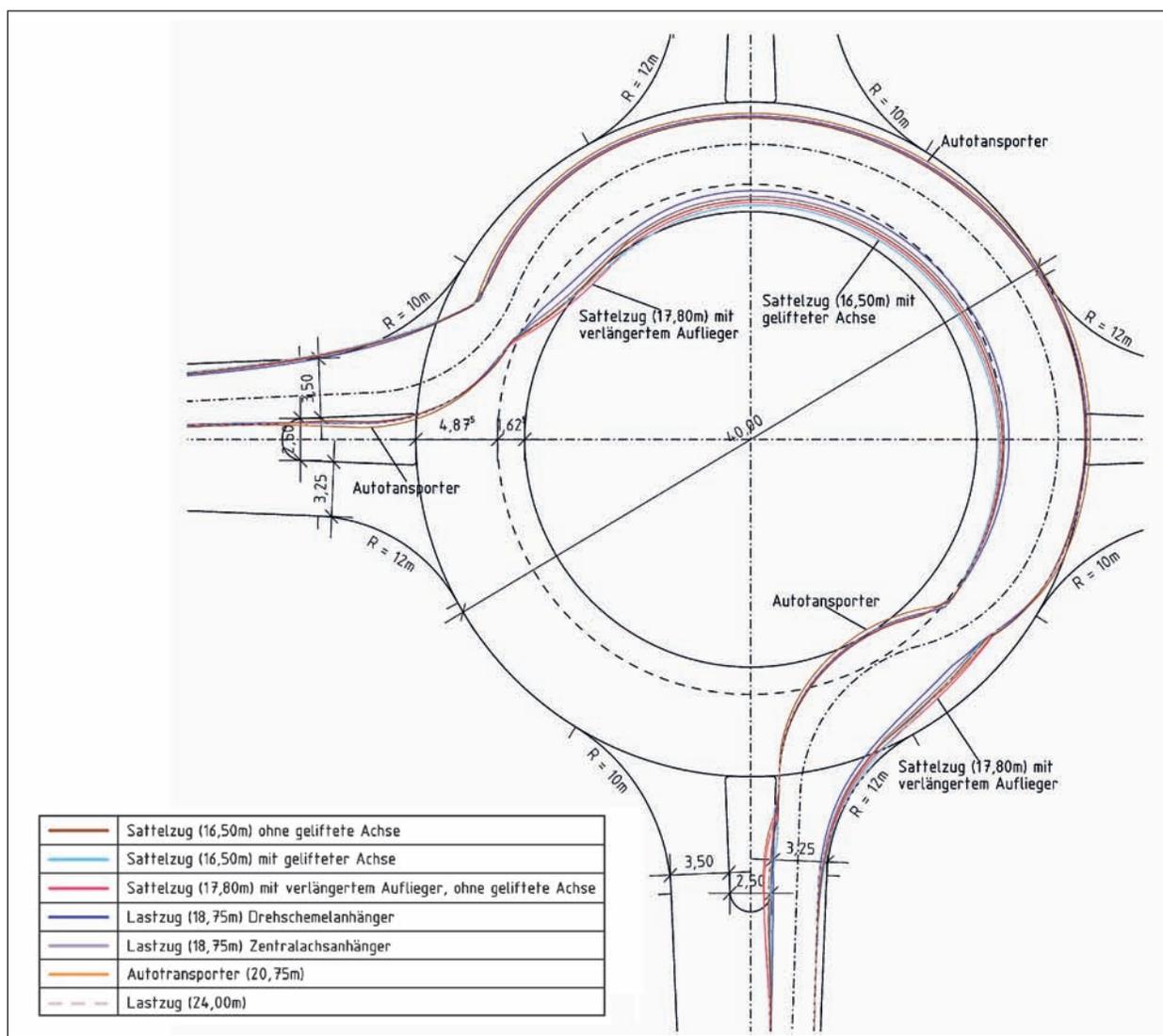


Bild 100: Befahrung $\frac{3}{4}$ -Kreis, kleiner Kreisverkehr, Durchmesser 40,00 m

Aussagen zur Quantität des Ausscherens im Bereich der Kreisverkehrszufahrt und zum Kurvenschneiden um Bereich der Kreisfahrbahn sind in der Tabelle 24 zusammengestellt. Angegeben sind die Werte für die Befahrung des Kreisverkehrs mit einem Durchmesser von 26,00 m. Hier treten die deutlichsten Unterschiede auf.

Bei allen drei Kreisverkehren würde die Befahrung mit den Fahrzeugkombinationen entlang der gewählten Leitlinie zu Schadensbildern durch das Überfahren oder Überstreifen der Seitenräume führen.

Eine Optimierung der Flächeninanspruchnahme und eine bessere Befahrbarkeit bzw. eine Reduzierung der Schadensbilder kann gegebenenfalls durch eine individuell je Fahrzeugtyp gewählte Leitlinie erreicht werden.

Fahrzeugtyp	Abstand von Leitlinie	
	„Ausscheren“ [m]	„Schneiden“ [m]
Lastzug mit Drehschemelanhänger	1,36	4,61
Lastzug mit Drehschemelanhänger (L = 24 m)	1,53	5,69
Lastzug mit Zentralachsanhänger	1,56	5,17
Autotransporter	1,86	5,17
Sattelzug	1,62	5,39
Sattelzug mit gelifteter Achse	1,51	5,94
Sattelzug mit verlängertem Auflieger	1,81	5,67

Tab. 24: Maximalmaß des „Ausscherens/Ausholens“ und „Schneidens“ an unterschiedlichen Stellen bei Befahrung $\frac{3}{4}$ -Kreis, kleiner Kreisverkehr, Außendurchmesser 26,00 m

7.3.5 Zwischenfazit

Der Vergleich der betrachteten Fahrzeugkombination in Bezug auf ihre Flächeninanspruchnahme bei gleicher Leitlinie zeigt deutliche Abweichungen. Ausschlaggebend hierfür ist die zum Teil grundsätzlich unterschiedliche Fahrzeuggeometrie. Während ein Lastzug mit Drehschemelanhängen in der Regel aus drei gelenkig miteinander verbundenen Elementen besteht (Zugfahrzeug – Deichsel und vordere Anhängerachse – Anhänger), bestehen Sattelzüge und Lastzüge mit Zentralachsenanhänger lediglich aus zwei Elementen (Zugmaschine – Auflieger/Zugfahrzeug – Anhänger mit starrer Deichsel). Weitere Unterschiede sind auf die unterschiedlich großen vorderen und hinteren Fahrzeugüberhänge zurückzuführen.

„Schneiden“

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass Fahrzeuge mit großen Elementlängen und großen Achsabständen die Kurve weiter in Richtung Kurveninnenseite schneiden, als Fahrzeuge mit kürzeren Elementlängen und geringeren Achsabständen. Der große Abstand zwischen Königszapfen und Aufliegerachsen beim Lastzug mit gelifteter Achse führt diesbezüglich zur größten Flächeninanspruchnahme.

„Ausholen/Ausscheren“

Verantwortlich für die beim Ausscheren überstrichenen Flächen sind neben der Achsgeometrie insbesondere die Fahrzeugüberhänge. Der vordere Ladungsüberhang des Autotransporters von 0,50 m führt zu einer größeren Flächeninanspruchnahme im Bereich der Kurvenaußenseite. Bei Einlenken führt der hintere Fahrzeugüberhang insbesondere bei den Fahrzeugkombinationen Autotransporter und Sattelzug mit verlängertem Auflieger zu einer größeren Flächeninanspruchnahme in diesem Bereich.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass es „ein“ ungünstigstes Fahrzeug nicht gibt. Auffällig ist jedoch, dass der Standard-Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse die größten Flächen im Bereich der Kurveninnenseite in Anspruch nimmt. Der Auflieger mit gelifteter Achse schneidet die Kurve stärker, als der Sattelzug mit verlängertem Auflieger.

Durch eine vom Fahrer individuell gewählte Fahrlinie kann „das Schneiden“ ebenso wie „das Aus-

holen/Ausscheren“ einerseits verstärkt und somit andererseits kompensiert werden.

Im Rahmen der Fahrversuche zeigte sich (vgl. Kapitel 6.6), dass ein Fahrer zum Befahren einer Verkehrsanlage ganz unterschiedliche Fahr- bzw. Leitlinien wählt. Insgesamt ist zu erwarten, dass sich daraus aber die Flächeninanspruchnahme nicht reduziert, jedoch aber der Einfluss auf mögliche Schadensbilder.

Bei den Einmündungen 100 gon, 80 gon und 60 gon zeigt sich, dass für alle simulierten Fahrzeuge trotz gleicher Fahrlinie die Eckausrundungen nahezu schadlos befahrbar sind. Wesentliches Maß bei der Befahrung dieser Einmündung ist für alle Fahrzeuge das „Ausholen/Ausscheren“. Hieraus lässt sich ableiten, dass der Planer beachten muss, ob der Fahrstreifen in den die Fahrzeuge einbiegen breiter als 3,75 m gewählt werden kann oder die Verkehrsstärke der Gegenrichtung dieses Fahrmanöver problemlos zulässt.

Im Vergleich der Schleppkurven bei gleicher Fahrlinie der $\frac{1}{4}$ -Befahrung und der $\frac{3}{4}$ -Befahrung des kleinen Kreisverkehrs wird bestätigt, dass bei der Trassierung von Kreisverkehren eine Kombination von Mindestmaßen vermieden werden sollte.

Bei allen drei $\frac{1}{4}$ -befahrenen Kreisverkehren wird die Mittelinsel in der Kreisverkehrszu- und -ausfahrt überstrichen. Auch die Eckausrundung aller Kreisverkehrsausfahrten wird von nahezu allen Fahrzeugen überstrichen. Dahingegen ist die Dimensionierung der Kreisinsel und der Kreisfahrbahn für den 26 m Kreisverkehr unter zu Grunde legen dieser einen Fahrlinie und der Mindestwerte für alle Fahrzeuge möglich.

Bei den $\frac{3}{4}$ -befahrenen Kreisverkehren zeigt sich, dass die Knotenpunktzu- und -ausfahrten im Bereich der Mittelinsel und beim Fahrbahnrand und die Eckausrundung der Knotenpunktzufahrt von nahezu allen Fahrzeugen überstrichen werden. Auffällig ist auch hier, dass der 26 m Kreisverkehr bezüglich der Dimensionierung der Kreisfahrbahn und der Kreisinsel mit Mindestwerten von allen Fahrzeugen befahren werden kann.

8 Zusammenfassung, Empfehlungen und Fazit

8.1 Zusammenfassung

8.1.1 Ausgangslage

In den derzeit gültigen Richtlinien und Empfehlungen für den Straßenentwurf werden für die Bemessung fahrgeometrischer Bewegungsräume standardisierte Bemessungsfahrzeuge herangezogen. Die Bemessungsfahrzeuge sollen mit ihren äußeren Abmessungen als repräsentativ für ihre jeweilige Fahrzeuggruppe gelten. Hierauf aufbauend werden im Regelwerk für den Entwurf von plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten Entwurfselemente und Entwurfsparameter definiert, die eine Befahrung mit den Bemessungsfahrzeugen erlauben.

Dennoch sind aus der Praxis vereinzelt Probleme bzgl. der Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten bekannt. Neben Einmündungen und Kreuzungen sind hier vor allem kleine Kreisverkehre auffällig. Inwieweit die in der Praxis auftretenden Schäden auf in den letzten Jahren veränderte Abmessungen der Fahrzeuge des Schwerverkehrs, falsch dimensionierte Straßenverkehrsanlagen, Fahrfehler bei der Befahrung oder eine Kombination der vorgenannten Aspekte zurückzuführen sind, kann gegenwärtig nicht abschließend beantwortet werden.

Das übergeordnete Ziel der vorliegenden Untersuchung bestand daher in einer vertieften Analyse der vorliegenden Auffälligkeiten bzgl. der Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten. Darüber hinaus stand auch die Prüfung der derzeit geltenden Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs im Fokus der Untersuchungen. Hierauf aufbauend sollte anschließend mittels praktischer und theoretischer Schleppkurvenuntersuchungen (Fahrversuche und Schleppkurvensimulationen) im Detail untersucht werden, ob bestimmte Fahrzeugkombinationen in Verbindung mit besonderen Entwurfselementen Probleme bei der Befahrung verursachen. Durch einen Vergleich der Fahrversuche mit den Schleppkurvensimulationen soll zusätzlich ermittelt werden, ob die Simulationen identisch mit dem tatsächlichen Fahrverlauf sind. Weiterhin soll untersucht werden, welche Auswirkungen unterschiedliche Fahrgeschwindigkeiten auf die Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen haben.

Untersucht wurden ausschließlich Fahrzeuge des Schwerverkehrs, Busse waren nicht Bestandteil der vorliegenden Untersuchung.

8.1.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Im Regelwerk der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen finden sich die Grundlagen für den Entwurf von plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten. Die Regelungen basieren auf den im Jahr 2001 definierten Bemessungsfahrzeugen und Schleppkurven für den Straßenentwurf (FGSV, 2001).

Hinweise für die Wahl des „ungünstigsten“ Bemessungsfahrzeugs (Fahrzeug mit der größten Flächeninanspruchnahme während einer Kurvenfahrt bzw. während der Befahrung einer bestimmten Verkehrsanlage) finden sich in den Regelwerken so explizit jedoch nicht. Auch der Hinweis, dass eine mögliche Befahrung des BO-Kraftkreises mit einem Fahrzeug des Schwerverkehrs nicht gleichzusetzen ist mit der Befahrung von Straßenverkehrsanlagen in der Praxis, findet sich im Regelwerk nicht.

SCHNÜLL, HOFFMANN und KÖLLE (2001) weisen in ihrer Untersuchung nach, dass Lastzüge mit Zentralachsanhänger ganz allgemein ungünstigere Kurvenlaufeigenschaften als Lastzüge mit Drehschemelanhänger aufweisen. Aufgrund des geringen Vorkommens derartiger Fahrzeugkombinationen wurde seinerzeit im Rahmen der Definition von Bemessungsfahrzeugen dennoch der Lastzug mit Drehschemelanhänger als Bemessungsfahrzeug definiert.

Die in den letzten Jahren vereinzelt durchgeführten theoretischen und auch praktischen Untersuchungen bzgl. der Flächeninanspruchnahme mit Fahrzeugen, deren Gesamtlänge größer ist als die der definierten Bemessungsfahrzeuge sind z. T. widersprüchlich. Diese Untersuchungen zeigen aber deutlich, dass einzelne Straßenverkehrsanlagen mit ausgewählten Fahrzeugen (Sattelzug mit verlängertem Auflieger) nur dann befahren werden können, wenn Flächen außerhalb der Fahrbahn überstrichen werden.

Die Untersuchungen zeigen auch, dass trotz der Einhaltung des BO-Kraft-Kreises die Befahrbarkeit bestimmter Verkehrsanlagen nicht immer gewährleistet werden kann.

8.1.3 Online-Umfrage zur Ermittlung problembehafteter Knotenpunkte

Zur Ermittlung problembehafteter innerörtlicher Knotenpunkte wurden insgesamt 247 Dienststellen von Straßenbaubehörden in Ländern und Kommunen im Rahmen einer Online-Umfrage befragt. Von den angeschriebenen Dienststellen antworteten insgesamt 73 Ämter. Dies entspricht einer Rücklaufquote von ca. 30 %.

Die Analyse der erhaltenen Antworten zeigt zunächst, dass ein Großteil (ca. 62 %) der befragten Städte und Gemeinden tendenziell keine bzw. nur wenig Probleme mit der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs haben. Der Kreisverkehr ist im Rahmen der Umfrage mit 43 % der am häufigsten betroffene Knotenpunkttyp. Dieses Ergebnis gewinnt unter Berücksichtigung des eher geringen Vorkommens innerörtlicher Kreisverkehre zusätzlich an Bedeutung. Für Einmündungen wurde vereinzelt von Schäden im Bereich der Fahrbahnteiler und an den Eckausrundungen berichtet.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen auch, dass sowohl ältere als auch neuere Knotenpunkte Beschädigungen aufweisen. Darüber hinaus wurden vor allem „untypische bzw. nicht standardisierte“ Knotenpunkte (aufgrund von örtlich vorhandenen Zwangspunkten bzw. Restriktionen) als problembehaftet gemeldet. Hier traten vermehrt Probleme bei der Befahrung auf.

Ca. 67 % der aus der Praxis angegebenen problembehafteten Knotenpunkte werden neben Fahrzeugen des Schwerverkehrs regelmäßig auch von Großraum- und Schwertransporten befahren. Eine genaue Zuordnung von Problemen bei der Befahrbarkeit einzelner Knotenpunkte zu einer konkreten Fahrzeuggruppe ist daher auf Basis der Befragungsergebnisse nicht möglich. Gleiches gilt auch für die Ableitung von typischen Schadensbildern bzgl. bestimmter Fahrzeugtypen bzw. Fahrzeugkombinationen.

Probleme bei der Befahrbarkeit können auch durch eine falsche Auswahl des für die Trassierung maßgebenden Bemessungsfahrzeuges auftreten. Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass gut ein Viertel der als problematisch erachteten Knotenpunkte in der Vergangenheit unter Verwendung des Bemessungsfahrzeugs Lastzug trassiert wurden, der aber in der Regel günstigere Kurvenlaufeigenschaften als ein Sattelzug aufweist. Das Bemessungsfahrzeug Sattelzug wurde in ca. 29 % der Fälle verwendet.

Nach heutigen Erkenntnissen würden dagegen ca. 50 % der befragten Behörden die Trassierung der Knotenpunkte auf Grundlage des Bemessungsfahrzeugs Sattelzug vornehmen. Hieraus wird deutlich, dass aufgrund fehlender Hinweise im Regelwerk der FGSV auf das Bemessungsfahrzeug mit der größten Flächeninanspruchnahme (ungünstigstes Fahrzeug) eine gewisse Unsicherheit in der Praxis vorhanden ist. In Einzelfällen führt dies dann zu Problemen bei der Befahrbarkeit.

8.1.4 Überprüfung der Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs

Bemessungsfahrzeuge repräsentieren jeweils eine bestimmte Gruppe von Kraftfahrzeugen, die sich in ihren Abmessungen nur bedingt voneinander unterscheiden. Durch die Auswahl dieser Kraftfahrzeuge ist gewährleistet, dass Anlagen für den fließenden und den ruhenden Kraftfahrzeugverkehr nicht mit einem selten auftretenden Sonder- oder auch Maximalfahrzeug bemessen werden. Somit wird eine unnötige Flächeninanspruchnahme so weit wie möglich reduziert. Maßgebend für die Definition der Bemessungsfahrzeuge Last- und Sattelzug sind die in den jeweiligen Gruppen am häufigsten vertretenen Fahrzeugtypen.

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens in Anlehnung an die Methodik von SCHNÜLL, HOFFMANN und KÖLLE (2001) neu definierten Bemessungsfahrzeuge unterscheiden sich in ihren äußeren Abmessungen nur minimal von den derzeit im Regelwerk der FGSV (2001) definierten Bemessungsfahrzeugen. Sowohl der Lastzug als auch der Sattelzug erreichen die nach der StVZO maximal zulässige Gesamtlänge von 18,75 m bzw. 16,50 m. Eine grundlegende, für Schäden an Knotenpunkten verantwortliche, Veränderung der Fahrzeugabmessungen ist für die Fahrzeuge des Schwerverkehrs in den letzten 15 Jahren demnach nicht erfolgt.

Auffällig ist jedoch für die Fahrzeuggruppe der Lastzüge der deutlich gestiegene Anteil von Lastzügen mit Zentralachsanhänger. Im Vergleich zum Jahr 2001 hat sich der Anteil dieser Fahrzeuge in der Gruppe der Lastzüge deutlich erhöht.

Für die im Rahmen des FE-Vorhabens untersuchten Verkehrsanlagen und Fahrmanöver ist die Flächeninanspruchnahme des Lastzugs mit Zen-

tralachsanhänger während einer Kurvenfahrt größer als die Flächeninanspruchnahme des Lastzugs mit Drehschemelanhänger. Der Sattelzug weist jedoch eine noch größere Flächeninanspruchnahme während der Kurvenfahrt auf. Das ungünstigste und damit in der Regel für die Dimensionierung der Verkehrsanlage maßgebende Bemessungsfahrzeug sollte demnach immer der Sattelzug sein.

Während der Messungen auf den Rastanlagen wurde auch deutlich, dass ein Großteil der erfassten Fahrzeuge die gesetzlich zulässige Maximallänge von Last- und Sattelzügen (18,75 m bzw. 16,50 m) überschreitet. Diese Überschreitungen sind in der Praxis u. a. durch das Zusammenspiel von verschiedenen Sattelzugmaschinen und Sattelaufliegern mit verschiedenen Kupplungspunkten zu erklären.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die im Straßenentwurf verwendeten Bewegungs- und Sicherheitszuschläge durch die erhobenen häufigen Überschreitungen der maximal zulässigen Gesamtlängen und den hieraus resultierenden Flächeninanspruchnahmen während Kurvenfahrten in bestimmten Maß reduziert werden. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten bestimmter Schadensbilder nimmt so zu.

8.1.5 Praktische und theoretische Ermittlung von Schleppkurven

Der Vergleich der praktisch bzw. empirisch durch Fahrversuche ermittelten Schleppkurven mit dem theoretisch mittels Schleppkurvensimulationen erzeugten Schleppkurven zeigt nur sehr geringe Abweichungen. Nennenswerte Abweichungen konnten im Rahmen des Vergleichs lediglich für die Befahrung des kleinen Kreisverkehrs ermittelt werden. Mehrfache Richtungswechsel führten hier im Rahmen der Fahrversuche zu Verwindungen der Fahrzeugkombinationen. Mit zunehmenden Geschwindigkeiten nahmen der Grad der Verwindung und somit auch die Größe der Abweichungen zwischen Simulation und Fahrversuchen zu.

Zusammenfassend lässt sich aber feststellen, dass die Schleppkurvensimulationen die fahrgeometrischen Zusammenhänge korrekt wiedergeben. Schleppkurvensimulationen stellen somit ein geeignetes Mittel zum Nachweis der Befahrbarkeit von Knotenpunkten dar.

8.1.6 Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten auf die Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten

Die vergleichende Betrachtung der analysierten Fahrzeuge Sattelzug ohne/mit gelifteter Aufliegerachse, Sattelzug mit verlängertem Auflieger und Lastzug mit Zentralachsanhänger zeigt deutlich, dass verschiedene Leitlinien für unterschiedliche Geschwindigkeiten bzw. Fahrmanöver gewählt werden. Aufgrund der geringen Anzahl von Testfahrten und den Randbedingungen auf dem Testgelände zeigt sich bei der Interpretation der Ergebnisse keine klare Tendenz bzgl. eines ungünstigsten Fahrmanövers oder auch Fahrzeugtyps.

Es wird deutlich, dass die Bandbreite in der Wahl der Leitlinie für die Sattelaufliieger in der Regel geringer ist, als die Bandbreite für den betrachteten Lastzug mit Zentralachsanhänger (i. W. für die Einmündungen 60 gon und 80 gon). Hieraus lässt sich ableiten, dass für Fahrzeugtypen mit großer Flächeninanspruchnahme für die Befahrung der Knotenpunkte nur ein relativ schmaler Korridor für die Wahl der Leitlinie zur Verfügung steht. Dieser Korridor muss von den Fahrern genutzt werden, da ansonsten Probleme während der Befahrung der Verkehrsanlage zu erwarten sind und setzt somit bei der Fahrern eine gewisse Erfahrung voraus. Für die Befahrung mit dem Lastzug mit Zentralachsanhänger ist der zur Verfügung stehende Korridor etwas größer, da aufgrund der Fahrzeugkonstellation in der Regel ein etwas günstigeres Kurvenlaufverhalten zu erwarten ist.

Die durch höhere Fahrgeschwindigkeiten entstehenden größeren Abweichungen von der theoretisch berechneten Schleppkurve liegen in Größenordnungen, die durch die üblichen Zuschläge für die seitlichen Bewegungsspielräume von 50 cm (im Ausnahmefall 25 cm abgedeckt werden (vgl. FGSV, 2001)).

Die zum Teil beobachteten großen Bandbreiten in der Wahl der Leitlinien haben während der Fahrversuche zu keinen Problemen bzgl. der Befahrbarkeit der ausgewählten Knotenpunkte geführt. Die in Anlehnung an die aus der Städteumfrage abgeleiteten problembehafteten Knotenpunkte konnten während der Testfahrten alle befahren werden. Die aus der Städteumfrage berichteten Probleme bei der Befahrung konnten somit nicht bestätigt werden. Inwieweit die Versuchsbedingungen auf dem Testgelände oder auch die kleine Anzahl von

Testfahrten hierfür verantwortlich sind, kann nicht abschließend beurteilt werden. Auch inwieweit noch höhere Fahrgeschwindigkeiten als die während der Fahrversuche ursächlich für die in der Praxis aufgetretenen Schäden sind, kann aus den Ergebnissen der Fahrversuche nicht abschließend beurteilt werden.

8.1.7 Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie

Die vergleichenden Betrachtungen bzgl. der Wahl der Leitlinie von verschiedenen Fahrzeugtypen und Fahrgeschwindigkeiten zeigen deutlich, dass verschiedene Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen auch unterschiedliche Leitlinien für die Befahrung der verschiedenen Verkehrsanlagen wählen. In der Wahl der Leitlinie zeigen sich deutliche Unterschiede. Vereinzelt wurden an ausgewählten Stellen im Knotenpunkt Abweichungen zwischen den ausgewerteten Quantilen (innen bzw. außen) von mehr als 100 cm beobachtet. Für die überwiegende Anzahl der Testfahrten konnten für den Sattelzug mit verlängertem Auflieger die größten Abstände zur Referenzlinie ermittelt werden. Gleichzeitig war die Bandbreite bzgl. der Wahl der Leitlinie für den Sattelzug mit verlängertem Auflieger am kleinsten.

Während der Testfahrten wurden die Borde (im Rahmen der Fahrversuche durch Leitkegel simuliert bzw. dargestellt) von keinem der Testfahrzeuge überfahren. Beschädigungen sind hier für die abgebildeten Knotenpunkte in der Regel auszuschließen. Für den Sattelzug mit verlängertem Auflieger lässt die geringe Bandbreite in der Wahl der Leitlinie jedoch auch vermuten, dass der Fahrer dieser Fahrzeugkombination während der Testfahrten den kleinsten Korridor für eine problemlose Befahrung zur Verfügung hatte.

Neben Beschädigungen durch Überfahren bzw. Überrollen können Probleme bzgl. der Befahrbarkeit auch auftreten, wenn Flächen außerhalb der Fahrbahn von Fahrzeugüberhängen überstrichen werden. In diesem Zusammenhang kann es zudem zu Problemen mit Verkehrsteilnehmern kommen, die beispielsweise im Bereich von Fahrbahnteilern warten, um die Fahrbahn zu überqueren (Überstreichen durch den hinteren Fahrzeugüberhang).

8.1.8 Flächeninanspruchnahme ausgewählter Fahrzeuge des Schwerverkehrs

Der Vergleich der betrachteten Fahrzeugkombination in Bezug auf ihre Flächeninanspruchnahme zeigt deutliche Unterschiede. Ursächlich hierfür ist vor allem die zum Teil grundsätzlich unterschiedliche Fahrzeuggeometrie bzw. die Zusammensetzung/Kupplung der verschiedenen Fahrzeuge des Schwerverkehrs. Darüber hinaus sind weitere Unterschiede auf die unterschiedlich großen vorderen und hinteren Fahrzeugüberhänge zurückzuführen.

Grundsätzlich konnte ermittelt werden, dass Fahrzeuge mit großen Element- bzw. Fahrzeugteillängen und großen Achsabständen die Kurve weiter in Richtung Kurveninnenseite schneiden, als Fahrzeuge mit kürzeren Elementlängen und geringeren Achsabständen. Der große Abstand zwischen Königszapfen und Aufliegerachsen beim Sattelzug mit gelifteter Achse führt diesbezüglich bei Wahl der gleichen Leitlinie zur größten Flächeninanspruchnahme.

Verantwortlich für die beim Ausscheren bzw. Ausholen überstrichenen Flächen sind neben der Achsgeometrie vor allem die Fahrzeugüberhänge. Der vordere Ladungsüberhang des Autotransporters von 0,50 m führt hier zu einer größeren Flächeninanspruchnahme im Bereich der Kurvenaußenseite. Beim Einlenken führt der hintere Fahrzeugüberhang besonders bei den Fahrzeugkombinationen Lastzug mit 24,00 m Gesamtlänge, Autotransporter und Sattelzug mit verlängertem Auflieger zu einer größeren Flächeninanspruchnahme in diesem Bereich.

So wurde beispielsweise beim Befahren (alle Fahrzeuge wurden an der gleichen Leitlinie geführt) des im Rahmen dieser Untersuchung definierten kleinen Kreisverkehrs (Durchmesser: 26 m, Breite der Knotenpunktzufahrt: 3,25 m, Breite der Knotenpunktausfahrt; 3,50 m) ermittelt, dass bei der ¼-Befahrung nahezu alle Fahrzeuge die Querungshilfe von Fußgängern und Radfahrer sowohl in der Knotenpunktein- als auch -ausfahrt überstreichen. Besonders deutlich überstreichen der 24-m-Lastzug und der Sattelzug mit verlängertem Auflieger (ohne geliftete Achse) die Querungshilfe der Einfahrt und der Autotransporter die der Knotenpunktausfahrt.

Insgesamt kann auf Basis der vergleichenden Betrachtungen festgehalten werden, dass es „ein“ ungünstigstes Fahrzeug nicht gibt. Auffällig ist jedoch, dass der Standard-Sattelzug mit gelifteter

Aufliegerachse die größten Flächen im Bereich der Kurveninnenseite in Anspruch nimmt. Der Auflieger mit gelifteter Achse schneidet die Kurve stärker als der Sattelzug mit verlängertem Auflieger.⁴ Für den Lastzug mit 24,00 m Gesamtlänge, den Autotransporter und den Sattelzug mit verlängertem Auflieger führt dagegen beim Einlenken der hintere Fahrzeugüberhang zu einer deutlich größeren Flächeninanspruchnahme in diesem Bereich.

8.2 Empfehlungen

Aufbauend auf den Ergebnissen im Rahmen des FE-Vorhabens wird eine Aktualisierung der Typen und Abmessungen der Bemessungsfahrzeuge für den Schwerverkehr empfohlen.

Für eine Aktualisierung der derzeit gültigen Bemessungsfahrzeuge der FGSV stehen grundsätzlich zwei Alternativen zur Verfügung:

- (1) Angabe der Außenabmessungen des ungünstigsten Bemessungsfahrzeugs Sattelzug, d. h. Reduzierung der Anzahl der Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs
- (2) Ergänzung der Anzahl der Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs um den Lastzug mit Zentralachsanhänger

Vor dem Hintergrund, dass im Rahmen von Abwägungsprozessen vereinzelt auch Planungen berücksichtigt werden, in denen unterschiedliche Bemessungsfahrzeuge Eingang finden, wird die Aufnahme des Lastzugs mit Zentralachsanhänger als zusätzliches Bemessungsfahrzeug für den Schwerverkehr empfohlen.

Die Abmessungen der bestehenden Bemessungsfahrzeuge Sattelzug und Lastzug (mit Drehschemelanhänger) werden auf Basis der Ergebnisse der empirischen Untersuchungen geringfügig modifiziert. Beide Fahrzeuge erreichen jetzt mit ihrer Gesamtlänge das nach der StVZO zulässige Höchstmaß. Die Abmessungen der aktualisierten Bemessungsfahrzeuge (Stand: 30.06.2013) für den Straßenentwurf sind in der Tabelle 25 zusammenfassend dargestellt.

Zusätzlich zur Tabelle sollte im Rahmen der Fortschreibung des FGSV-Regelwerkes auch ergänzt werden, dass der Sattelzug die größte Flächeninanspruchnahme während einer Kurvenfahrt aufweist und damit in der Regel das Bemessungsfahrzeug darstellt. Dieses sollte in der Regel für die fahrgeometrische Dimensionierung von plangleichen Knotenpunkten verwendet werden.

In diesem Zusammenhang sollte auch vermerkt werden, dass durch das Liften der vorderen Achse des Sattelauflegers, und den hierdurch entstehenden größeren Radstand des Sattelauflegers, eine noch größere Flächeninanspruchnahme auf der Kurveninnenseite erfolgt. Dieser Aspekt sollte vor allem immer dann berücksichtigt werden, wenn für die Befahrung mit dem Sattelzug ohne geliftete Achse nur wenig bzw. keine Bewegungsspielräume zur Verfügung stehen.

Sofern im Einzelfall Verkehrsanlagen nur für Lastzüge dimensioniert werden sollen, ist aufgrund der größeren Flächeninanspruchnahme der ungünstigere Lastzug mit Zentralachsanhänger zugrunde zu legen. Aufgrund der im Straßenverkehr häufig vorkommenden Lastzüge mit Drehschemelanhänger wird dennoch empfohlen, dieses Fahrzeug weiter als Bemessungsfahrzeug anzugeben.

Ist in bestimmten Bereichen mit einem erhöhten Aufkommen von Fahrzeugen mit größerer Gesamtlänge (z. B. Autotransporter, Fahrzeuge mit größeren Fahrzeugüberhängen als die Bemessungsfahrzeuge) zu rechnen, sollte auch hier das entsprechende Fahrzeug der Bemessung für den fahrgeometrischen Entwurf des Knotenpunktes berücksichtigt werden, um Probleme bzgl. der Befahrbarkeit auf ein Minimum zu reduzieren.

Die im Rahmen des FE-Vorhabens durchgeführte Befragung zeigte vielfach Schäden an untypischen bzw. nicht standardisierten Knotenpunkten, die aufgrund von örtlich vorhandenen Zwangspunkten bzw. Restriktionen umgesetzt wurden. Aufgrund der im Vergleich zu den Standardknotenpunkten relativ hohen Anzahl von Schäden ist zu empfehlen, auf derartige Sonderknotenpunkte zu verzichten, da Schäden aufgrund schwieriger Befahrbarkeit oder auch mangelnder Begreifbarkeit von Beginn an zu erwarten sind.

Die Ergebnisse der Befragung sowie die praktisch und theoretisch durchgeführten Schleppkurvenuntersuchungen haben auch gezeigt, dass die im Regelwerk der Forschungsgesellschaft für Straßen-

⁴ Der Auflieger des Sattelzugs mit verlängertem Auflieger verfügt nach Herstellerangaben (Stand 2013) über keine Liftachse. Dies sei technisch nicht möglich.

	Außenabmessungen [m]									
	Länge	Radstand	Überhanglänge vorn	Überhanglänge hinten	Breite ³	Wendekreis- radius				
Lastzug¹ mit Drehschemelanhänger		18,75			2,55	10,30				
Zugmaschine							9,70	5,28 ²	1,50	2,92
Anhänger							7,49	4,84	1,35	1,30
Lastzug¹ mit Zentralachsanhänger		18,75			2,55	10,30				
Zugmaschine							10,07	5,48 ²	1,44	3,15
Anhänger (Zentralachse)							7,86	2	3,99 ⁴	3,87
Sattelzug		16,50			2,55	7,90				
Zugmaschine							6,11	3,95	1,43	0,76
Auflieger							13,69	7,60 ²	1,74	4,37
Höchstwerte der StVZO										
Lastzug	18,75				2,55 ⁵	12,50				
Sattelzug	16,50				2,55 ⁵	12,50				

1 Lastzug oder gleichbedeutend Gliederzug

2 Tandemachsen werden zu einer Mittelachse zusammengefasst

3 Breite ohne Außenspiegel

4 ohne Deichsellänge

5 2,60 m für Kühlfahrzeuge

Tab. 25: Vorschlag für aktualisierte Bemessungsfahrzeuge für den Straßenentwurf (Stand 30.06.2013)

und Verkehrswesen angegebenen Entwurfparameter für den Entwurf von plangleichen Knotenpunkten im Vorfeld und innerhalb bebauter Gebiete zu Verkehrsanlagen führen, die grundsätzlich mit den Bemessungsfahrzeugen des Schwerverkehrs befahren werden können.

Eine Vergrößerung einzelner Entwurfparameter könnte dazu führen, dass der Bewegungsspielraum für einzelne Fahrzeuge (Lkw-Einzelfahrzeuge, Lastzug mit Drehschemelanhänger) u. U. zu groß wird und somit durch eine zu schnelle oder auch unkonzentrierte Fahrweise die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Schäden ansteigt bzw. der Einfluss auf die Verkehrssicherheit nachteilig ist.

Bei der Dimensionierung einer Verkehrsanlage ist weiterhin zu beachten, inwiefern bestimmte Fahrmanöver ausgeschlossen werden können bzw. sollten. So ist beispielsweise für das Einbiegen in eine übergeordnete Straße die Breite des Fahrstreifens,

in den eingebogen wird, ganz maßgeblich. Durch die Breite kann sichergestellt werden, dass nicht in den Verkehrsraum des Gegenverkehrs eingegriffen wird. Im Rahmen dieser Untersuchung zeigte sich, dass an den gewählten Einmündungen der Fahrstreifen der Knotenpunktausfahrt aus Gründen der Befahrbarkeit breiter als 3,75 m ausgeführt werden sollte. Dies gilt jedoch nur für das Fahrmanöver des Einbiegens und betrifft lediglich die Befahrbarkeit. Ein Einfluss auf den Verkehrsablauf der übergeordneten Straße, die Verkehrssicherheit und andere Ziele der Verkehrsplanung kann aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung abschließend nicht beurteilt werden.

Die Untersuchungen haben weiterhin gezeigt, dass für eine Aussage bzgl. der Befahrbarkeit ein Schleppkurvennachweis unbedingt erforderlich ist. Für selten auftretende Fahrzeugtypen bzw. Fahrzeugkombinationen gilt es abzuwägen, ob durch geeignete Maßnahmen die Befahrbarkeit verbes-

sert werden kann, ohne die Verkehrssicherheit negativ zu beeinflussen. Eine Befahrbarkeit für die selten vorkommenden Fahrzeuge muss hierbei nicht unbedingt durch breiter und größer dimensionierte Verkehrsanlagen erreicht werden. Stattdessen kann die Befahrbarkeit für diese Fahrzeuge auch durch zusätzlich vorzuhaltende Flächen (z. B. Rumpelpflaster) erreicht werden. Derartige Flächen werden von den „normalen“ Bemessungsfahrzeugen ungern befahren, sodass hierdurch für diese Fahrzeuge keine Nachteile bzgl. der Befahrbarkeit zu erwarten sind.

8.3 Ausblick

Die Grundlagen für die Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen bilden die auf den Abmessungen der Einzelfahrzeuge bzw. Fahrzeugkombinationen resultierenden Schleppkurven bzw. Flächeninanspruchnahmen während einer Kurvenfahrt. Hierauf abgestimmt werden im Regelwerk für den Straßenentwurf der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Entwurfsparameter für die verschiedenen Verkehrsanlagen definiert, die unter Berücksichtigung von Bewegungsspielräumen und Sicherheitszuschlägen eine problemlose und sichere Befahrbarkeit gewährleisten.

Die Untersuchungen im Rahmen des FE-Vorhabens haben auf der einen Seite gezeigt, dass die Befahrbarkeit bestimmter Verkehrsanlagen grundsätzlich mit den betrachteten Fahrzeugen möglich ist. Auf der anderen Seite zeigte sich aber auch deutlich, dass für Fahrzeuge, die sich deutlich von den Bemessungsfahrzeugen unterscheiden, die Befahrbarkeit vereinzelt nur unter Ausnutzung aller Sicherheitsräume möglich ist. Wenn hier in Zukunft, beispielsweise durch das Anbringen von Luftleitvorrichtungen am hinteren Teil des Fahrzeugs (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2013) der hintere Fahrzeugüberhang von Lastkraftwagen deutlich verlängert wird, sind Probleme im Bereich von Fahrbahnteilern durch das Überstreichen des Fahrzeughecks häufiger als bisher zu erwarten. Neben Schäden an der Straßenausstattung sind hier dann auch Sicherheitsprobleme zu erwarten. Gleiches gilt an dieser Stelle auch für fahrzeugseitige Einrichtungen, welche über die bisher zulässige Fahrzeugbreite von 2,55 m bzw. 2,60 m bei Kühlfahrzeugen überschreiten.

Grundsätzlich sollte in diesem Zusammenhang beachtet werden, dass die für die Anwendung von

Schleppkurvenuntersuchungen üblichen Bewegungsspielräume bzw. seitlichen Toleranzen von 50 cm (FGSV, 2001) deutlich reduziert oder auch im Extremfall nicht mehr vorhanden sind. Eine deutliche Zunahme von Problemen bei der Befahrung bestimmter Verkehrsanlagen ist demnach zu erwarten.

Inwieweit mögliche Entwicklungen im Bereich der Fahrzeugtechnik bzgl. der Anzahl lenkbarer Achsen das Kurvenlaufverhalten derart beeinflussen, dass zusätzliche Flächeninanspruchnahmen weiter reduziert werden, kann an dieser Stelle nicht abschließend beurteilt werden. Kritisch anzumerken bleibt hierzu, dass gelenkte Achsen immer zu höheren Investitions- und Wartungskosten führen, wodurch der Einsatz derartiger Systeme in den kommenden Jahren nicht flächendeckend vorhanden sein wird. Somit sollte auch der Entwurf von Straßenverkehrsanlagen für den fließenden und ruhenden Kraftfahrzeugverkehr nicht auf Bemessungsfahrzeugen mit gelenkten Achsen basieren. Für einzelne Sonderfahrzeuge, die deutlich länger sind als die Bemessungsfahrzeuge, kann durch den Einsatz von einer oder mehreren gelenkten Achsen jedoch auch heute schon die Befahrbarkeit ausgewählter Verkehrsanlagen erleichtert werden.

9 Literatur

- AASHTO (2004): A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (5th edition). Washington D.C.
- BACHMANN, C., WALLENTOWITZ, H., WÖHRMANN, M. (2007): Wissenschaftliche Begleitstudie zum Feldversuch des verlängerten Aufliegerkonzeptes (Eurotrailer). Gutachten des Instituts für Kraftfahrwesen im Auftrag der Kögel Fahrzeugwerke, Aachen
- BAST (2011a): Feldversuch Lang-Lkw. http://www.bast.de/nn_42254/DE/Aufgaben/abteilung-v/referat-v1/lang-lkw/lang-lkw.html, abgerufen am 13. März 2012
- BAST (2011b): Leitfaden für potenzielle Teilnehmer des Feldversuchs mit Informationen zu den Teilnahmebedingungen
- BINNENBRUCK, H. H. (2005): Niederländische Initiative eines Modellversuchs mit 60 t-Lkw. Internationales Verkehrswesen, Heft 11

- BENDEL, W., PFLUG, H.-C., SCHOCH, D., SCHRÖTER, H. (2009): Endbericht zum Pilotversuch „Ecocombi“. Drucksache 14/5207 Landtag Baden-Württemberg, Stuttgart
- BMVBS (2000): Verkehrsbericht 2000. Integrierte Verkehrspolitik: Unser Konzept für eine mobile Zukunft
- BMVBS (2010a): Lkw-Parken in einem modernen, bedarfsgerechten Rastanlagensystem
- BMVBS (2010b): Aktionsplan Güterverkehr und Logistik-Logistikinitiative für Deutschland
- BMVBS (2011): Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LKWÜberlStVAusV). <https://www.ebundesanzeiger.de> unter „Amtlicher Teil des Bundesanzeigers“, Veröffentlichungsdatum 21.12.2011
- BAST (2011b): Leitfaden für potenzielle Teilnehmer des Feldversuchs mit Informationen zu den Teilnahmebedingungen
- BMVBS (2012): Erste Verordnung zur Änderung der Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge. <https://www.ebundesanzeiger.de> unter „Amtlicher Teil des Bundesanzeigers“, Veröffentlichungsdatum 11.07.2012
- BORLOZ, E., ROLLAND, F. (2010): Kontrolle der Befahrbarkeit von Straßen und Nebenanlagen (Viabilité des Projets et des Installations Annexes). Schlussbericht zum Forschungsauftrag 2000-543, Bundesamt für Straßen, Bern
- DUNKER, L. (1971): Untersuchungen zur Bemessung von Verkehrsflächen und Abfertigungsanlagen für Personenkraftwagen in Anlagen für den ruhenden Verkehr. Heft 123 der Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des Bundesministeriums für Verkehr, Bonn
- ELSNER (2011): Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen. Planung, Bau, Erhaltung, Verkehr, Betrieb. Otto ELSNER Verlagsgesellschaft, Berlin
- EVERLING, W., SCHOSS, W. (1966): Die elektronische Berechnung von Fahrbahnverbreiterungen nach der Schleppkurve. Brücke und Straße, Heft 6
- FGSV (1971): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen. Teil: Erschließung (RAST-E). Köln
- FGSV (1973): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen. Teil: Knotenpunkte. Abschnitte 1: Plangleiche Knotenpunkte (RAST-E). Köln
- FGSV (1988/1993): RAS-K-1 – Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Knotenpunkte (RAS-K) Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte, Köln
- FGSV (1985): Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen (EAE 85). Köln
- FGSV (1991): Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR 91). Köln
- FGSV (1993): Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen (EAHV 93). Köln
- FGSV (1996): Richtlinien für die Anlage und den Bau von Straßen für militärische Schwerfahrzeuge, Köln
- FGSV (2001): Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen, Köln
- FGSV (2005): Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR), Köln
- FGSV (2006a): Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT), Köln
- FGSV (2006b): Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren, Köln
- FGSV (2006c): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt), Köln
- FGSV (2011): Empfehlungen für Rastanlagen an Straßen (ERS), Köln
- FRIEDRICH, B., HOFFMANN, S., BRÄCKELMANN, F. (2007): Auswertung des niedersächsischen Modellversuchs zum Einsatz von „GigaLinern“. Untersuchung im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Leibniz Universität Hannover
- GLAESER, K.-P., ZANDER, U., LERNER, M., RODER, K., WEBER, R. WOLF, A., ZANDER, U. (2006): Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

- GLAESER, K.-P., ZANDER, U., KASCHNER, R., RODER, K., LERNER, M., HEGEWALD, A., LÖHE, U. (2008): Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- GRÄFE, G., HEISTER, H., MESCHIK, M., NUßRAINER, C., SOBOTTA, R., WIRTH, W. (2001): Schleppkurven-Symposium 2001. Heft 145 der Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen und Raumplanung der Universität der Bundeswehr, München
- HALLER, W. (1983): Fahrgeometrische Bemessung von Verkehrsanlagen mit Schleppkurven. Straße und Autobahn, Heft 11
- HILS, P., ADLER, U. (2010): 40 t-EuroCombi – Eine mögliche Alternative im Volumentransportbereich. Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Pilotprojektes in Thüringen. Fachhochschule Erfurt, Verkehrs- und Transportwesen
- HOFFMANN, S., UPHOFF, K., SATTLER, J. (2009): Erfahrungen beim Einsatz von Großfahrzeugen (Lkw und Busse). Arbeitspapier des AK 2.6.4 „Großraumfahrzeuge“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (unveröffentlicht), Köln
- JOHANNES, L., DEGENER, J., NIEMEIER, W. (2010): Setup of a combined indoor and outdoor positioning solution and experimental results, Proceedings of the 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), MAUTZ, R., KUNZ, M. and INGENSAND, H. (eds.), IEEE Xplore
- KEUCHEL, S., ERNST, H. (2006): Abschätzung der Entwicklung der Straßengüterverkehrszusammensetzung infolge einer Einführung von Fahrzeugkonzepten mit höheren Gesamtgewichten und/oder Fahrzeuglängen. Institut für Volkswirtschaftslehre, Verkehrswirtschaft und Verkehrspolitik, Gelsenkirchen
- KIENZLER, H.-P. (2005): Innovative Fahrzeugkonzepte, Teilprojekt „Verkehr und Logistik“. Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT), Frankfurt
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft (1996): 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. Brüssel
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft (2012): Verordnung (EU) Nr. 1230/2012 der Kommission vom 12. Dezember 2012 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern bezüglich ihrer Maße und Abmessungen und zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. Brüssel
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft (2013): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 96/53/EG 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. Brüssel
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft (2001): Weißbuch. Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft
- KRONE (2006): Innovativ: Lenkbare Dolly-Achse. Krone Drivers Club, Heft 1, Werlte
- MESCHIK, M. (1992): Simulation von Schleppkurven verschiedener Fahrzeuge. Heft 22 der Mitteilungen des Instituts für Verkehrswesen der Universität für Bodenkultur, Wien
- NIEMEIER, W., TENGEN, D., ELKHRACHY, I., JUNGMICHEL, M. (2006): Zur automatischen Extraktion von Geometrieinformationen aus Punktwolken bei der Erfassung von Unfallstellen. Terrestrisches Laserscanning 2006, DVW Schriftenreihe Nr. 51, Wißner Verlag
- NUßRAINER, C. (2001): Global Positioning System (GPS) in der Verkehrsplanung – empirische Ermittlung von Fahrkurven. Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau, Heft 12
- NUßRAINER, C. (2002): Die Anwendung von Schleppkurven für Sonderfahrzeuge in der Planungspraxis. Straßenverkehrstechnik, Heft 10

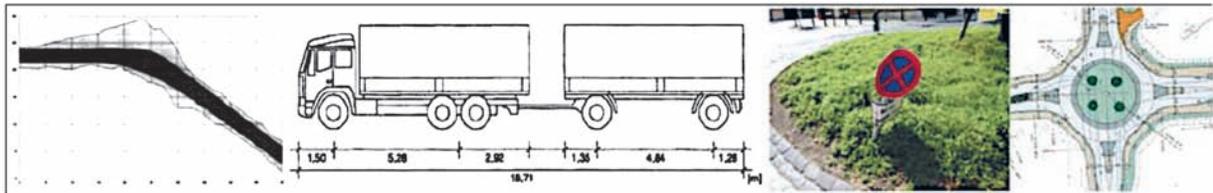
- NUßRAINER, C. (2002a): Fahrkurvenermittlung mittels GPS (Global Positioning System) – Testfahrten mit Gelenklinienbussen. Der Nahverkehr, Heft 2
- OSTERLOH, H. (1988): Die Schleppkurve – Berechnung und Darstellung der überstrichenen Fläche zweiachsiger Fahrzeuge. Heft 50 der Schriftenreihe „Vermessungswesen und Raumordnung“
- OSTERLOH, H. (1991): Straßenplanung mit Klothoiden und Schleppkurven – Einrechnung von Trasse und Gradienten. Bauverlag, Wiesbaden
- RAMBERG, K. (2004): Three Short become Two Log, if the EU follows the example set by Sweden and Finland. Fewer trucks improve the Environment. Confederation of Swedish Enterprise
- RÄSÄNEN et al. (2004): Impacts of reduced speed limits of large articulated trucks driving wintertime. Publications of the Ministry of Transportation and Communication 68/2004, Helsinki
- RÄSÄNEN, J., PELTOLA, H. (2005): Seasonal speed limits and heavy vehicles. Nordic Road and Transport Research. No. 2/3, 2005, S. 22 ff.
- SCHNÜLL, R., HOFFMANN, S., KÖLLE, M., ENGELMANN, F. (2001): Grundlagen für die Bemessung von fahrgeometrischen Bewegungsräumen für Nutzfahrzeuge mit mehr als 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht. Heft 827 der Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Bonn
- SCHNÜLL, R., HALLER, W. (1981): Ansätze zur Berücksichtigung umfeldorientierter Kriterien in den Entwurfsrichtlinien für Knotenpunkte. Heft 382 der Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des Bundesministeriums für Verkehr, Bonn
- SCHULT, R., HOLZWARTH, J. (1998): Der Flächenbedarf repräsentativer Lastzug- und Sattelzugkombinationen im Straßenverkehr. Straßenverkehrstechnik, Heft 1
- SCHUSTER, A., SATTLER, J., HOFFMANN, S. (2011): Bestimmung der aktuellen Abmessungen differenzierter Personen-Bemessungsfahrzeuge. Studie im Auftrag des Bundesverbandes Parken e. V., Zwickau, Braunschweig (unveröffentlicht)
- SCHUSTER, A., SATTLER, J., HOFFMANN, S. (2012): Ruhender Verkehr: Benötigen wir ein neues Pkw-Bemessungsfahrzeug für den Entwurf von Anlagen des ruhenden Verkehrs? Straßenverkehrstechnik, Heft 1
- SCHRÖDER, A. (2001): Schleppkurven im Straßenentwurf – Vergleich verschiedener Programmsysteme. Studienarbeit am Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Leibniz Universität Hannover
- SOBOTTA, R. (2006): Überprüfung von Entwurfsparametern für Kreisverkehre mit empirisch ermittelten Schleppkurven. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität der Bundeswehr München, Neubiberg
- Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) vom 16. November 1970 (BGBl. I S. 1565), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 1. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1737) geändert worden ist
- Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) in der 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
- WANGRIN, G., STÜRMER, B., WÖHRMANN, M. (2009): Technische Erprobung von Fahrzeugkombinationen mit einer Gesamtlänge bis 25,25m („GigaLiner“). Abschlussbericht NRW Modellversuch. TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH. Köln
- WIRTH, W., CALISKAN, S., GLABSCH, J., SCHUHBÄCK, S. (2012): Schleppkurven von Lang-Lkw. Internationales Verkehrswesen, Heft 5

Anlagen

- Anlage 1: Fragebogen der Online-Umfrage
- Anlage 2: Vergleich Simulation – Fahrversuche;
Untersuchte Schleppkurven: Sattelzug: Befahrung Kreisverkehr: Langsame Fahrweise
- Anlage 3: Vergleich Simulation – Fahrversuche;
Untersuchte Schleppkurven: Sattelzug: Befahrung Kreisverkehr – zügige Fahrweise
- Anlage 4: Vergleich Simulation – Fahrversuche;
Untersuchte Schleppkurven: Befahrung Einmündung 60 gon: Langsame Fahrweise
- Anlage 5: Einmündung 60 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten –
Sattelzug/Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse
- Anlage 6: Einmündung 60 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten –
Sattelzug mit verlängertem Auflieger
- Anlage 7: Einmündung 60 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten –
Lastzug mit Zentralachsanhänger
- Anlage 8: Einmündung 80 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten –
Sattelzug/Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse
- Anlage 9: Einmündung 80 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten –
Sattelzug mit verlängertem Auflieger
- Anlage 10: Einmündung 80 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten –
Lastzug mit Zentralachsanhänger
- Anlage 11: Einmündung 100 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten –
Sattelzug/Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse
- Anlage 12: Einmündung 100 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten –
Sattelzug mit verlängertem Auflieger
- Anlage 13: Einmündung 100 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten –
Lastzug mit Zentralachsanhänger
- Anlage 14: Kleiner Kreisverkehr – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten –
Sattelzug/Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse
- Anlage 15: Kleiner Kreisverkehr – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten –
Sattelzug mit verlängertem Auflieger
- Anlage 16: Kleiner Kreisverkehr – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten –
Lastzug mit Zentralachsanhänger
- Anlage 17: Einmündung 60 gon – Langsame Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen
auf die Wahl der Leitlinie
- Anlage 18: Einmündung 60 gon – Normale/zügige Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen
auf die Wahl der Leitlinie
- Anlage 19: Einmündung 60 gon – Fahrt mit Halt/Stop: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen
auf die Wahl der Leitlinie

- Anlage 20: Einmündung 80 gon – Langsame Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie
- Anlage 21: Einmündung 80 gon – Normale/zügige Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie
- Anlage 22: Einmündung 80 gon – Fahrt mit Halt/Stopp: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie
- Anlage 23: Einmündung 100 gon – Langsame Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie
- Anlage 24: Einmündung 100 gon – Normale/zügige Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie
- Anlage 25: Einmündung 100 gon – Fahrt mit Halt/Stopp: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie
- Anlage 26: Kleiner Kreisverkehr – Langsame Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie
- Anlage 27: Kleiner Kreisverkehr – Normale/zügige Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie
- Anlage 28: Kleiner Kreisverkehr – Fahrt mit Halt/Stopp: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie

Anlage 1: Fragebogen der Online-Umfrage



Sehr geehrte Damen und Herren,

wir möchten uns bereits jetzt für Ihr Interesse an dieser Onlineumfrage bedanken!

Die Onlineumfrage verfolgt das Ziel, innerörtliche Knotenpunkte zu identifizieren, an denen Probleme hinsichtlich der Befahrbarkeit mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs existieren. Trotz Einhaltung aktuell gültiger Regelwerke treten in der Praxis bei regulärer Befahrung unterschiedlichste Beeinträchtigungen oder Schädigungen aufgrund des Schleppkurvenverhaltens der den Knotenpunkt passierenden Fahrzeuge auf.

Im Zuge der Umfrage können Sie Angaben für bis zu fünf Knotenpunkte abgeben, an denen die Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs besonders problematisch ist. Nicht von Interesse sind Schadensbilder, die eindeutig auf Grund einer unsachgemäßen Bauausführung resultieren (z.B. defekter befahrbarer Innenkreisring eines Kreisverkehrs!). Die identifizierten Knotenpunkte dienen im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts als Ausgangsgrundlage für eine detaillierte Ursachenanalyse.

Für die Beantwortung der Onlineumfrage benötigen Sie in etwa 10-15 min. Pflichtfragen sind mit einem Stern (*) versehen. Die Veröffentlichung der Befragungsergebnisse erfolgt anonymisiert in einer Form, die keine Rückschlüsse auf einzelne Ämter oder Personen zulässt.

Möchten Sie mehr über unser Projekt in Erfahrung bringen?

[Link zur Projektbeschreibung](#)

Beauftragt von der Bundesanstalt für Straßenwesen:



Ansprechpartner zur Onlineumfrage:

Institut für Verkehr und Stadtbauwesen
Technische Universität Braunschweig
Rebenring 31
38106 Braunschweig

Betreuender wissenschaftlicher Mitarbeiter:

Diese Umfrage enthält 137 Fragen.

Allgemeine Fragen

1 [1_3] Bitte geben Sie Ihre Kontaktdaten an. (Nur für eventuelle Rückfragen) *

Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

Amt/Behörde:	<input type="text"/>
Ansprechpartner:	<input type="text"/>
Telefon:	<input type="text"/>
E-Mail:	<input type="text"/>

2 [1_2] Wie heißt die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde? *

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

3 [1_1] Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage) *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
 Nein

Zu möglichen Problemen gehören:

- Schädigungen der Straßeninfrastruktur im Knotenpunktbereich (ausgenommen Installations- bzw. Einbaumängel)
- Häufige Meldungen über eine unzureichende Befahrbarkeit von Knotenpunkten

4 [2_1] Bitte definieren Sie einen innerörtlichen Knotenpunkt, an dem Ihnen Probleme hinsichtlich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs bekannt sind. Die Verortung des Knotenpunktes erfolgt durch Angabe mindestens zweier kreuzender Straßen. (Trennen Sie die Straßen mit einem Semikolon. Bsp. Cellerstraße;Neustadtring) *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Angaben zu weiteren Knotenpunkten können Sie im späteren Verlauf der Befragung abgeben.

5 [2_2] Bitte geben Sie das Baujahr des Knotenpunktes an.

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

6 [2_18] Wurden seit dem Bau des Knotenpunktes bauliche Änderungen vorgenommen, die sich auf die Befahrbarkeit auswirken?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
 Nein

7 [2_19] In welchem Jahr wurde die letzte bauliche Änderung vorgenommen?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage)) und Die Antwort war 'Ja' bei Frage 6 [2_18] (Wurden seit dem Bau des Knotenpunktes bauliche Änderungen vorgenommen, die sich auf die Befahrbarkeit auswirken?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

8 [2_20] Bitte beschreiben Sie die durchgeführten Änderungen stichpunktartig.

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage)) und Die Antwort war 'Ja' bei Frage 6 [2_18] (Wurden seit dem Bau des Knotenpunktes bauliche Änderungen vorgenommen, die sich auf die Befahrbarkeit auswirken?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

9 [2_3] Bitte geben Sie den Knotenpunkttyp an. *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort 'Nein' beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Einmündung
 Kreuzung
 Kreisverkehr

Einmündung:



Kreuzung:



Kreisverkehr:



10 [2_21] Liegt der Kreuzungswinkel des Knotenpunktes im Bereich zwischen 80-120 Gon (entspricht 72-108 Grad)? *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort 'Nein' beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
 Nein
 Nicht bekannt

11 [2_14] Klassifizieren Sie bitte den vorliegenden Kreisverkehrstypen

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort 'Nein' beendet die Onlineumfrage)) und Die Antwort war 'A3 Kreisverkehr' bei Frage 9 [2_3] (Bitte geben Sie den Knotenpunkttyp an.)

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Minikreisverkehr (Außendurchmesser: 13-25m)
 Kleiner Kreisverkehr (Außendurchmesser: 26-40m)
 Großer Kreisverkehr (Außendurchmesser: >41m)

12 [2_17] Wird dieser Knotenpunkt regelmäßig neben Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs (Lastzüge, Sattelzüge etc.) auch von Sonderfahrzeugen befahren (Großraum- und Schwertransporte)?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort 'Nein' beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
 Nein

13 [2_15] Besitzt der Kreisverkehr einen befahrbaren Innenkreisring?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort 'Nein' beendet die Onlineumfrage)) und Die Antwort war 'A3 Kreisverkehr' bei Frage 9 [2_3] (Bitte geben Sie den Knotenpunkttyp an.)

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
 Nein

14 [2_4] Welches Bemessungsfahrzeug ist Grundlage für die Auslegung des Knotenpunktes gewesen?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Müllfahrzeug 3-achsig
- Lastzug
- Sattelzug
- Anderes Bemessungsfahrzeug (bitte angeben)

15 [2_5] Welches Bemessungsfahrzeug müsste aktuell Grundlage für die Auslegung des Knotenpunktes sein?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Müllfahrzeug 3-achsig
- Lastzug
- Sattelzug
- Anderes Bemessungsfahrzeug (bitte angeben)

16 [2_25] Können Sie die auftretenden Probleme einem oder mehreren Fahrzeugtypen zuordnen?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- Sattelzüge
- Lastzüge
- Großraum- und Schwertransporte
- Landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge
- Fahrzeuge des Straßenbetriebsdienstes
- Anderer Fahrzeugtyp (z.B. Langholzfahrzeuge, Autotransporte mit Überlänge):

Mögliche Probleme:

Schädigungen an Straßeninfrastruktur oder Einbauten, beeinträchtigte Befahrbarkeit, Unfälle oder Gefährdungen von Verkehrsteilnehmern

17 [2_6] Wie sind die Eckausrundungen an diesem Knotenpunkt trassiert?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Korbbogen (Dreiteilige Kreisbogenfolge)
- Einfacher Kreisbogen
- sowohl Korbbögen als auch einfache Kreisbögen

18 [2_7] Welches Regelwerk liegt der Knotenpunkttrassierung zugrunde?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- EAE 85/95 (Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen)
- EAHV 93 (Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen)
- RAS 06 (Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen)
- weiteres Regelwerk

19 [2_8] Wurde der vorliegende Knotenpunkt für die Fahrweise/Fahrkurve 1 trassiert? Diese stellt die übliche Fahrweise zur Überprüfung der Befahrbarkeit dar.

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage '3 [1_1]' (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
 Nein

Fahrkurve 1 (Standard):

Der Kraftfahrer fährt zügig mit stetig zunehmendem Lenkradeinschlag in den Bogen ein und verlässt ihn mit ebenso stetig abnehmendem Lenkradeinschlag.

Fahrkurve 2 (nicht mehr aktuell):

Der Kraftfahrer fährt langsam mit schnell zunehmendem Lenkradeinschlag in den Bogen ein und verlässt ihn mit ebenso schnell abnehmendem Lenkradeinschlag.

Fahrkurve 3 (nicht mehr aktuell):

Der Kraftfahrer fährt sehr langsam mit schnell zunehmendem Lenkradeinschlag in den Bogen ein und verlässt ihn mit ebenso schnell abnehmendem Lenkradeinschlag.

20 [2_17] Für welche Fahrkurve wurde der Knotenpunkt trassiert? Bitte begründen. (siehe Kommentarfeld) *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage '3 [1_1]' (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage)) und Die Antwort war 'Nein' bei Frage '19 [2_8]' (Wurde der vorliegende Knotenpunkt für die Fahrweise/Fahrkurve 1 trassiert? Diese stellt die übliche Fahrweise zur Überprüfung der Befahrbarkeit dar.)

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Fahrkurve 2
 Fahrkurve 3

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

21 [2_9] Können Sie mögliche Schäden an der Straßeninfrastruktur konkreten baulichen Elementen zuordnen? *

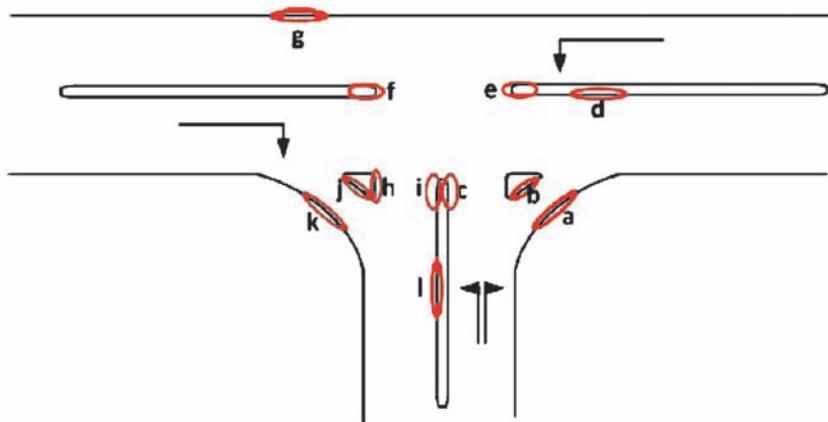
Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage '3 [1_1]' (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
 Nein

22 [2_10_1] Um welche baulichen Elemente des Knotenpunktes handelt es sich?



*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

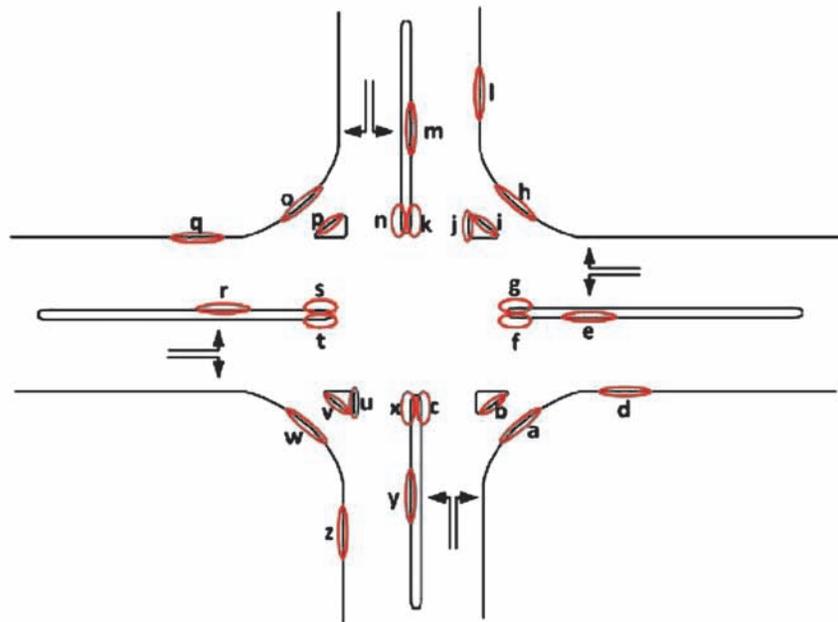
* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage)) und Die Antwort war A1 'Einmündung' bei Frage 9 [2_3] (Bitte geben Sie den Knotenpunkttyp an.) und Die Antwort war 'Ja' bei Frage 21 [2_9] (Können Sie mögliche Schäden an der Straßeninfrastruktur konkreten baulichen Elementen zuordnen?)

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)
- f)
- g)
- h)
- i)
- j)
- k)
- l)

sonstiger Schaden:

23 [2_10_2] Um welche baulichen Elemente des Knotenpunktes handelt es sich?



*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

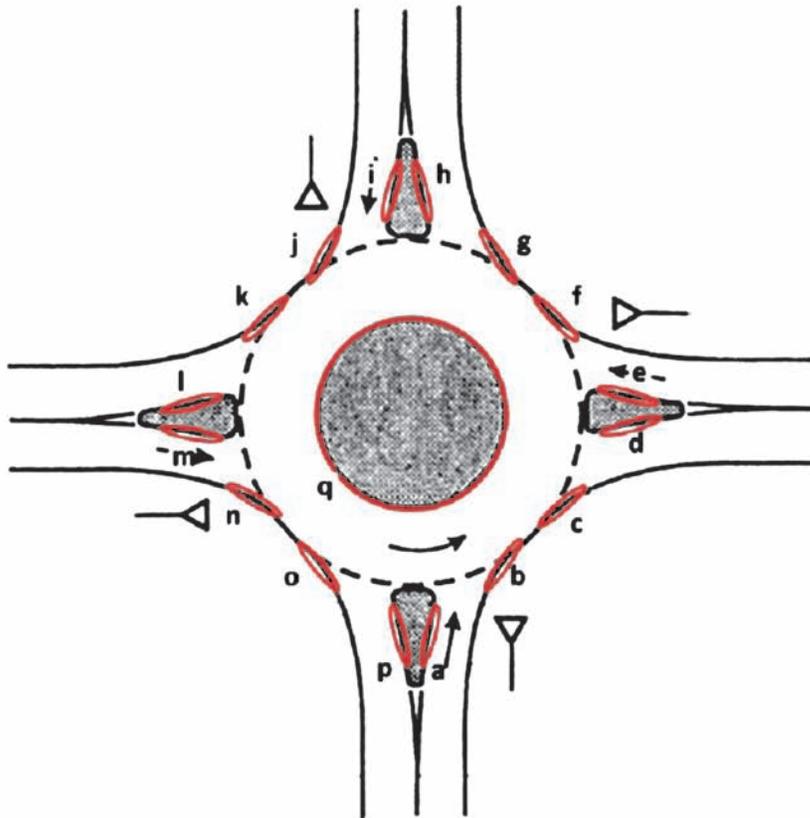
* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (Ist die von Ihnen befragte Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort 'Nein' beendet die Onlineumfrage)); und Die Antwort war 'A2-Kreuzung' bei Frage 9 [2_3] (Bitte geben Sie den Knotenpunkttyp an.) und Die Antwort war 'Ja' bei Frage 21 [2_9] (Können Sie mögliche Schäden an der Straßeninfrastruktur konkreten baulichen Elementen zuordnen?)

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)
- f)
- g)
- h)
- i)
- j)
- k)
- l)
- m)
- n)
- o)
- p)
- q)
- r)
- s)
- t)
- u)
- v)
- w)
- x)
- y)
- z)

sonstiger Schaden:

24 [2_10_3] Um welche baulichen Elemente des Knotenpunktes handelt es sich?



*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage 3 [1_1] (ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort 'Nein' beendet die Onlineumfrage*)) und Die Antwort war 'A3-Kreisverkehr' bei Frage 9 [2_3] (Bitte geben Sie den Knotenpunkttyp an.) und Die Antwort war 'Ja' bei Frage 21 [2_9] (Können Sie mögliche Schäden an der Straßeninfrastruktur konkreten baulichen Elementen zuordnen?)

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)
- f)
- g)
- h)
- i)
- j)
- k)
- l)
- m)
- n)
- o)
- p)
- q)

sonstiger Schaden:

25 [2_11]Bitte wählen Sie allgemeine Schäden der Straßeninfrastruktur aus, die auf den beschriebenen Knotenpunkt zutreffen. *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Y'Ja' bei Frage '3 [1_1]' (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort 'Nein' beendet die Onlineumfrage)) und Die Antwort war 'N'Nein' bei Frage '21 [2_9]' (Können Sie mögliche Schäden an der Straßeninfrastruktur konkreten baulichen Elementen zuordnen?)

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- Eckausrundungen beschädigt
- Dreiecksinseln beschädigt
- Fahrbahnteiler beschädigt
- Kurvenäußerer Bordstein oder Bankett beschädigt
- sonstiger Schaden:

26 [2_22]Sind Ihnen neben Schäden an der Straßeninfrastruktur auch Schäden an Einbauten (LSA, Straßenschilder, etc.) bekannt? *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Y'Ja' bei Frage '3 [1_1]' (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort 'Nein' beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein

27 [2_23]Welche Einbauten sind beschädigt? *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Y'Ja' bei Frage '3 [1_1]' (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort 'Nein' beendet die Onlineumfrage)) und Die Antwort war 'Y'Ja' bei Frage '26 [2_22]' (Sind Ihnen neben Schäden an der Straßeninfrastruktur auch Schäden an Einbauten (LSA, Straßenschilder, etc.) bekannt?)

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- LSA-Mast
- LSA-Signalgeber
- Straßenschild-Mast
- Straßenschild
- Sonstiges:

28 [2_21]Sind Ihnen neben baulichen Schäden auch Unfälle, verursacht durch Schleppkurven des Schwerlastverkehrs, bekannt? *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Y'Ja' bei Frage '3 [1_1]' (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort 'Nein' beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein

29 [2_24]Bitte wählen Sie die Unfallgegner. *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

* Die Antwort war 'Ja' bei Frage '3 [1_1]' (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage)) und Die Antwort war 'Ja' bei Frage '28 [2_21]' (Sind Ihnen neben baulichen Schäden auch Unfälle, verursacht durch Schleppkurven des Schwerlastverkehrs, bekannt?)

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

Fußgänger

Radfahrer

Kraftfahrzeug

Sonstiges:

30 [2_16]Möchten Sie Angaben zu einem weiteren Knotenpunkt abgeben? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage) *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

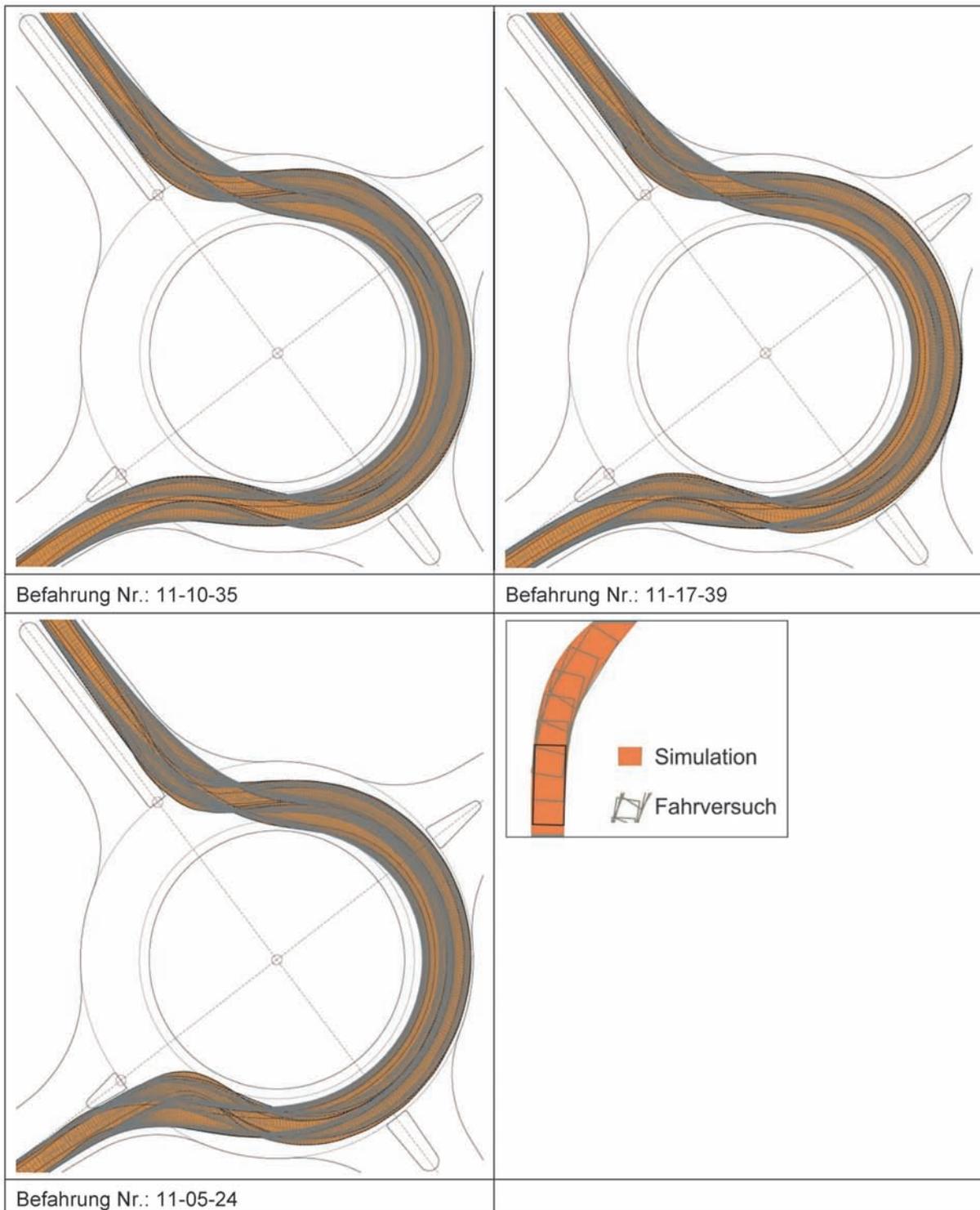
* Die Antwort war 'Ja' bei Frage '3 [1_1]' (Ist die von Ihnen geplante Stadt bzw. Gemeinde von Problemen bezüglich der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge des Schwerlastverkehrs an innerörtlichen Knotenpunkten betroffen? (Antwort "Nein" beendet die Onlineumfrage))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

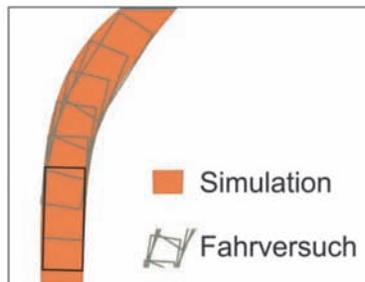
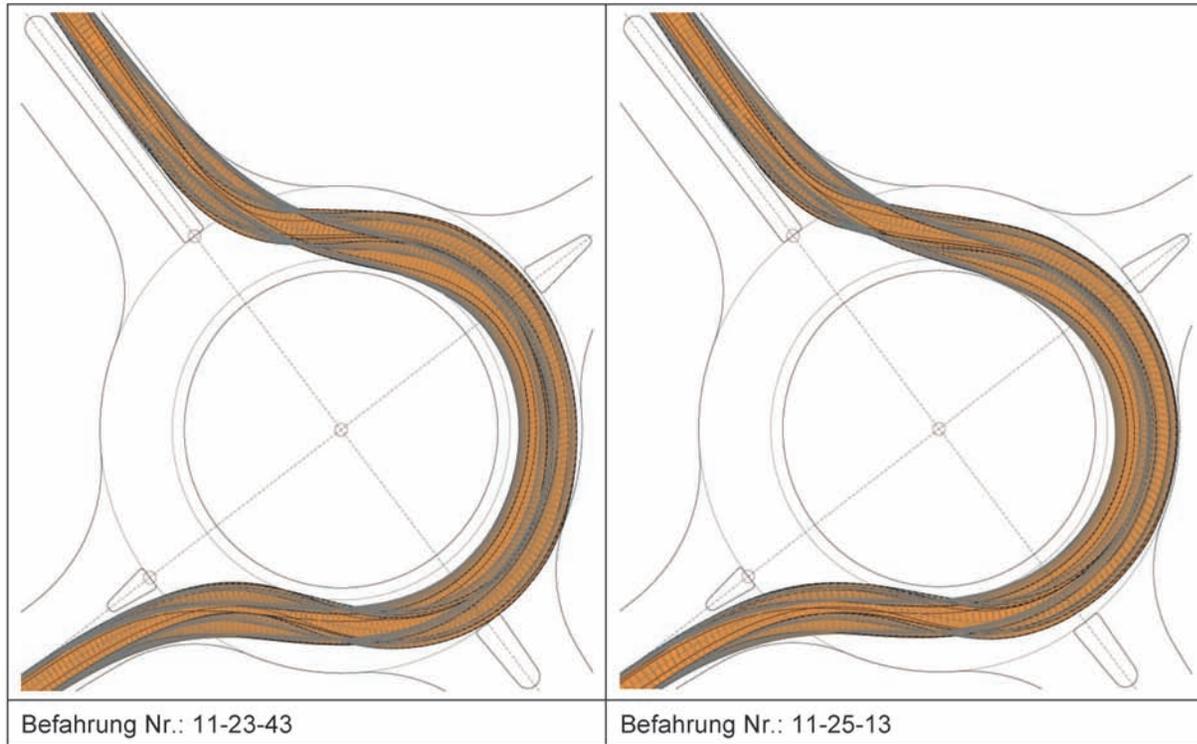
Ja

Nein

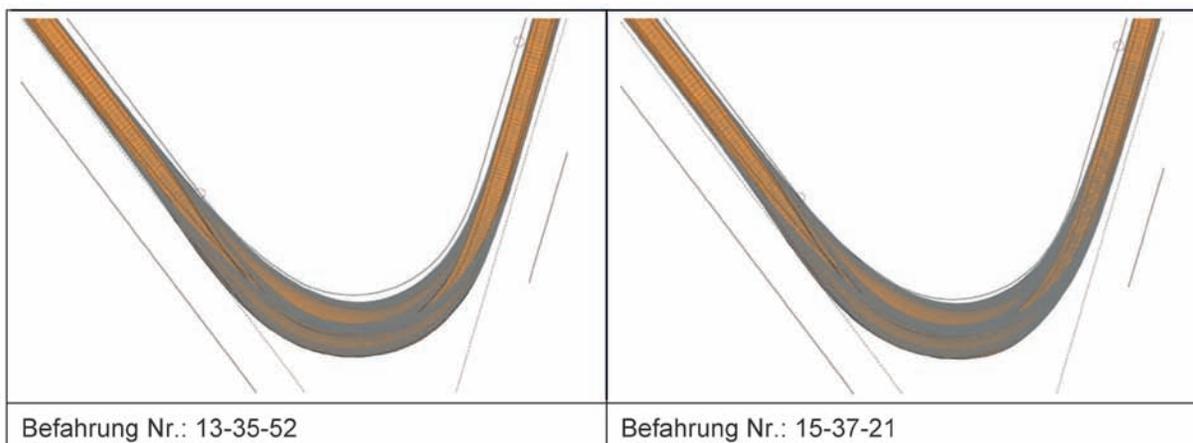
Anlage 2: Vergleich Simulation – Fahrversuche; Untersuchte Schleppkurven:
Sattelzug: Befahrung Kreisverkehr: Langsame Fahrweise:



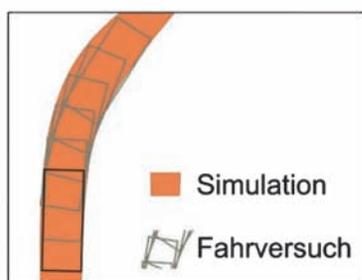
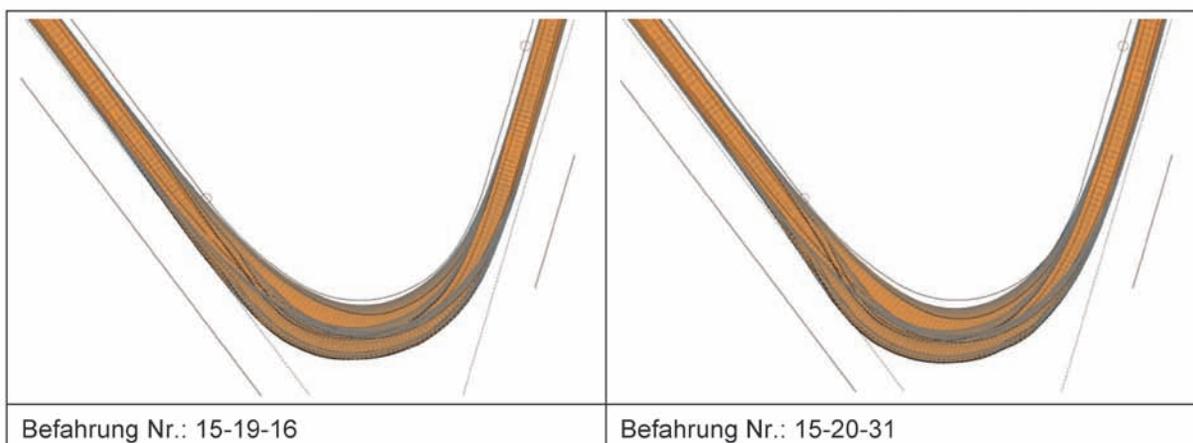
Anlage 3: Vergleich Simulation – Fahrversuche; Untersuchte Schleppkurven:
Sattelzug: Befahrung Kreisverkehr – zügige Fahrweise:



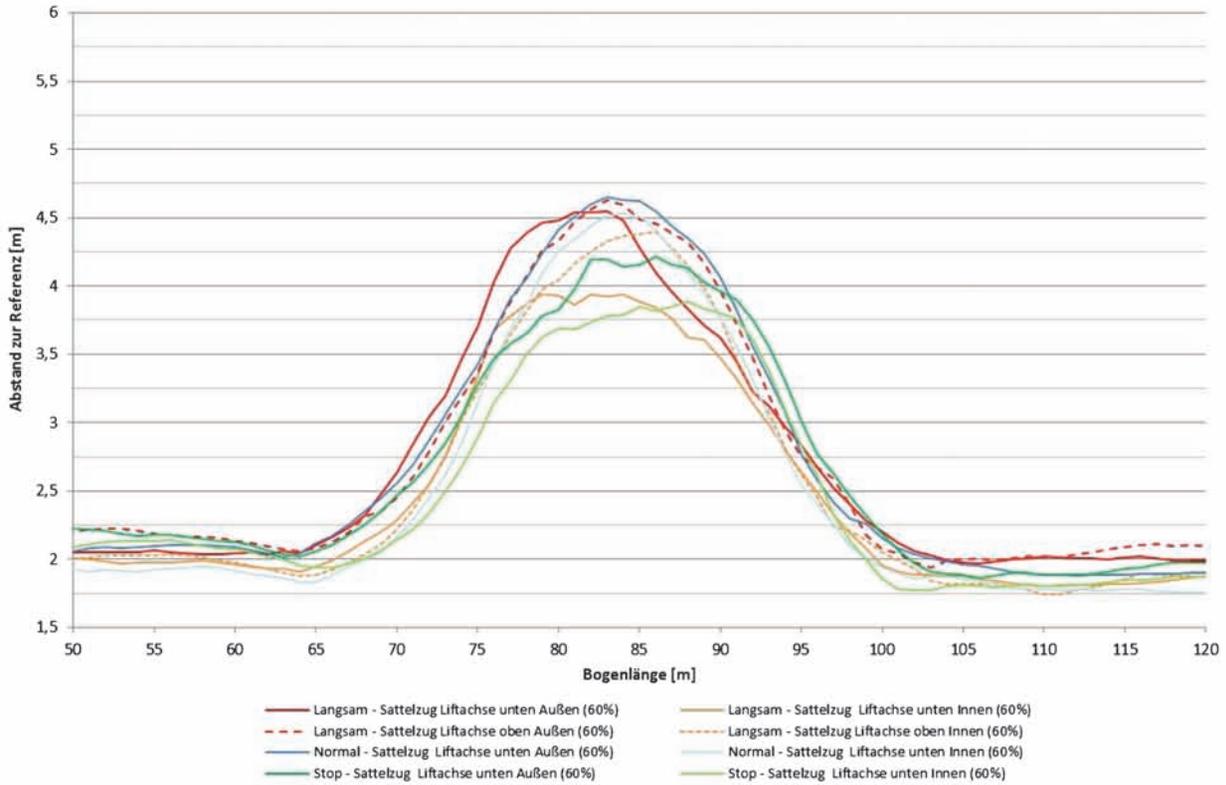
Anlage 4: Vergleich Simulation – Fahrversuche; Untersuchte Schleppkurven:
Befahrung Einmündung 60 gon: Langsame Fahrweise:



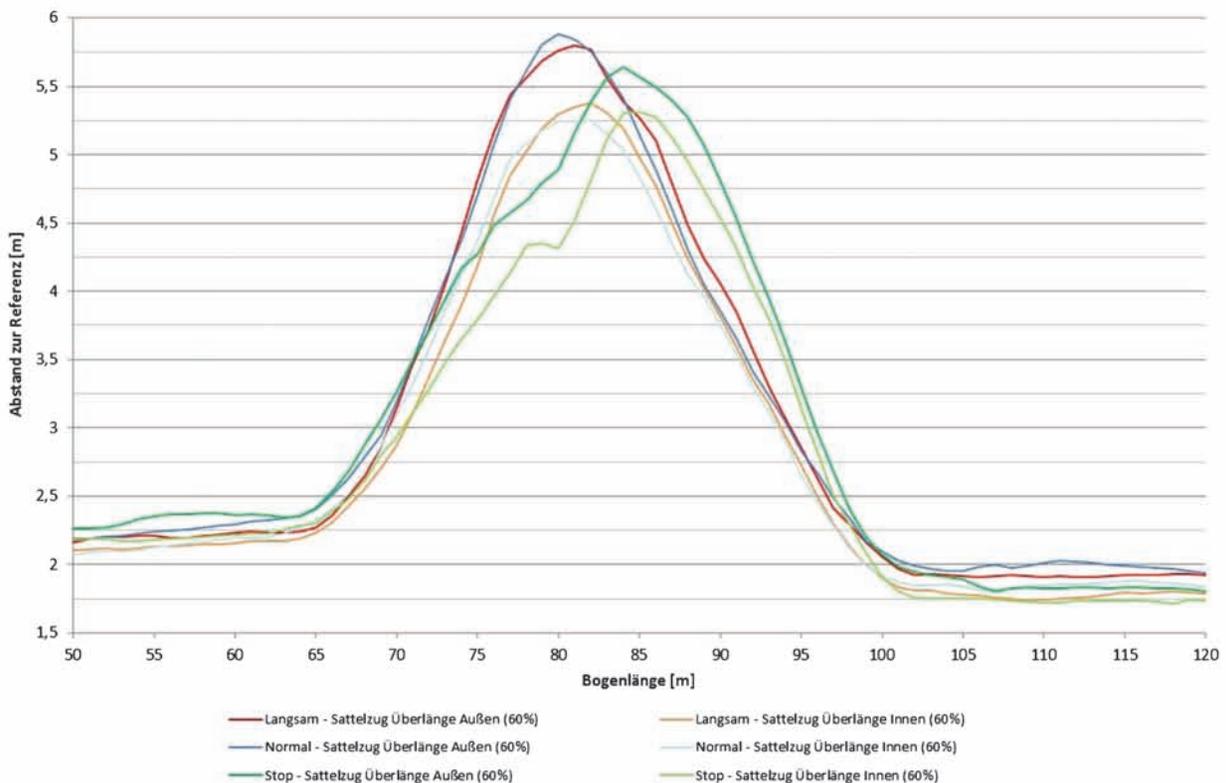
Befahrung Einmündung 60 gon: Zügige Fahrweise:



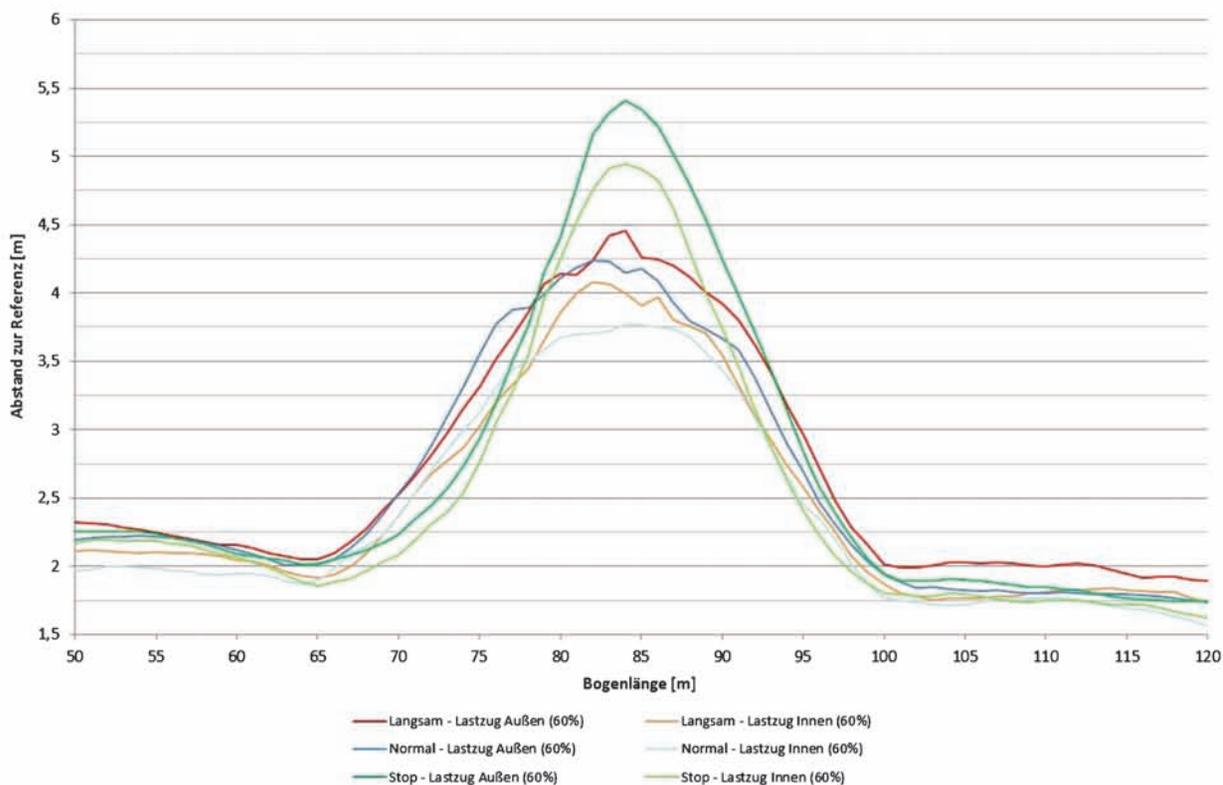
Anlage 5: Einmündung 60 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten – Sattelzug/Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse



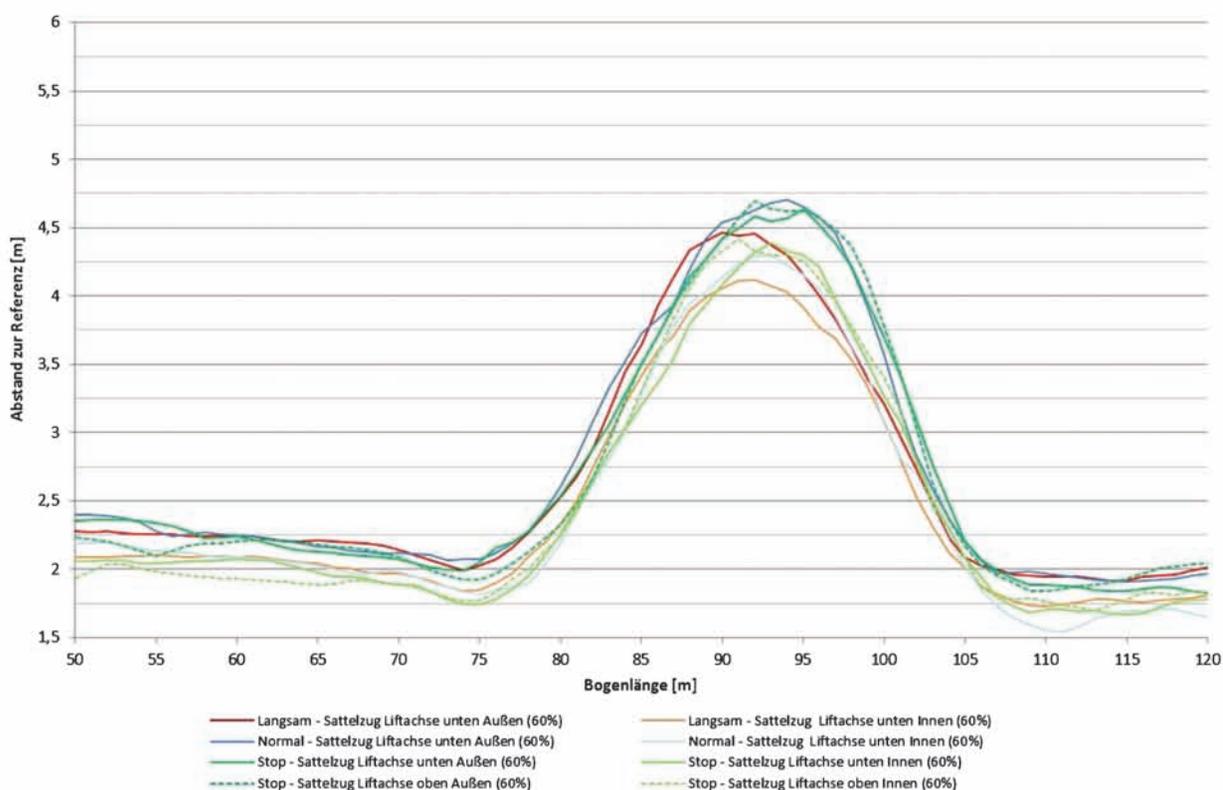
Anlage 6: Einmündung 60 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten – Sattelzug mit verlängertem Auflieger



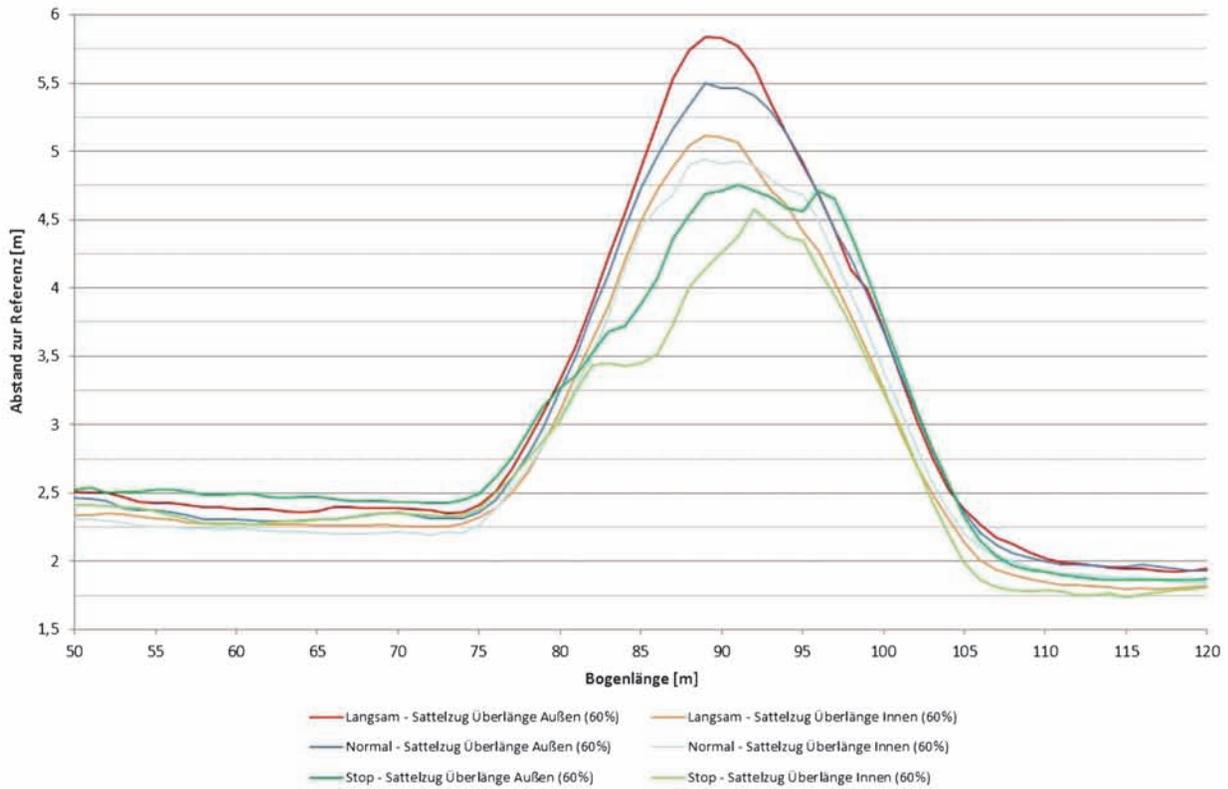
Anlage 7: Einmündung 60 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten – Lastzug mit Zentralachsanhänger



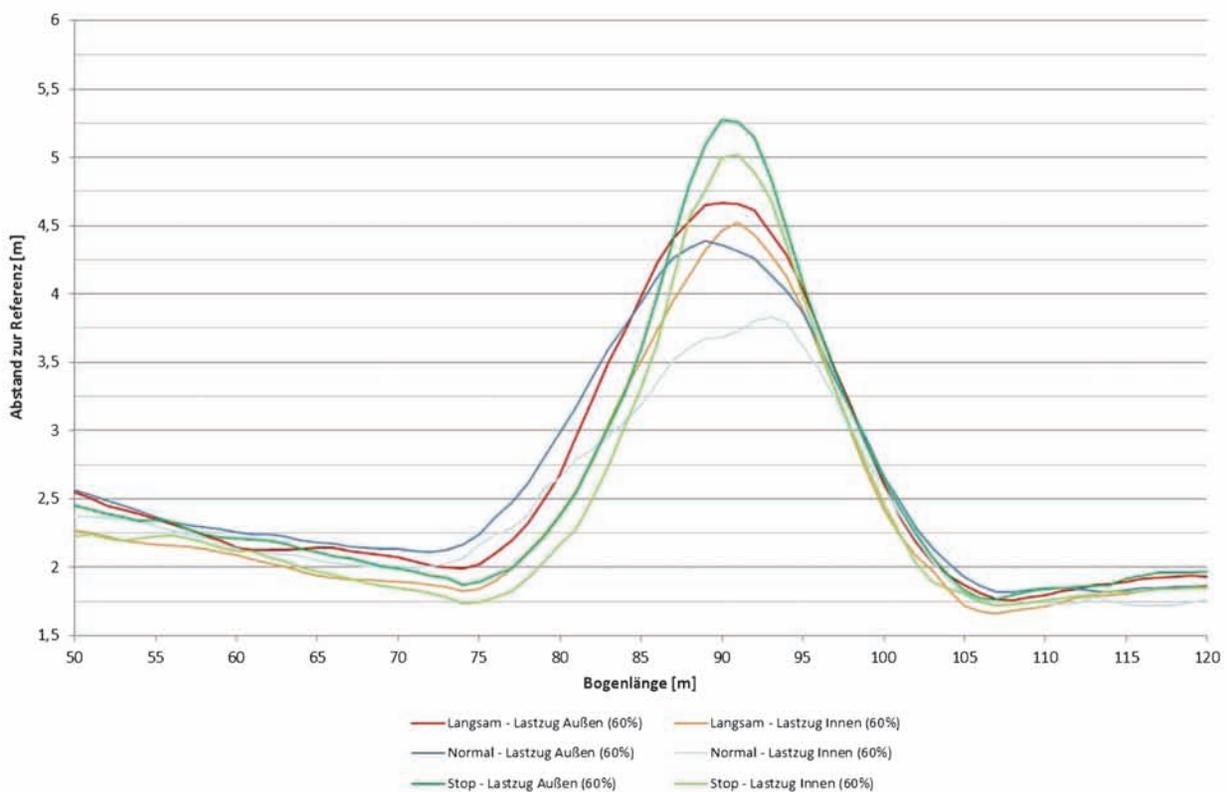
Anlage 8: Einmündung 80 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten – Sattelzug/Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse



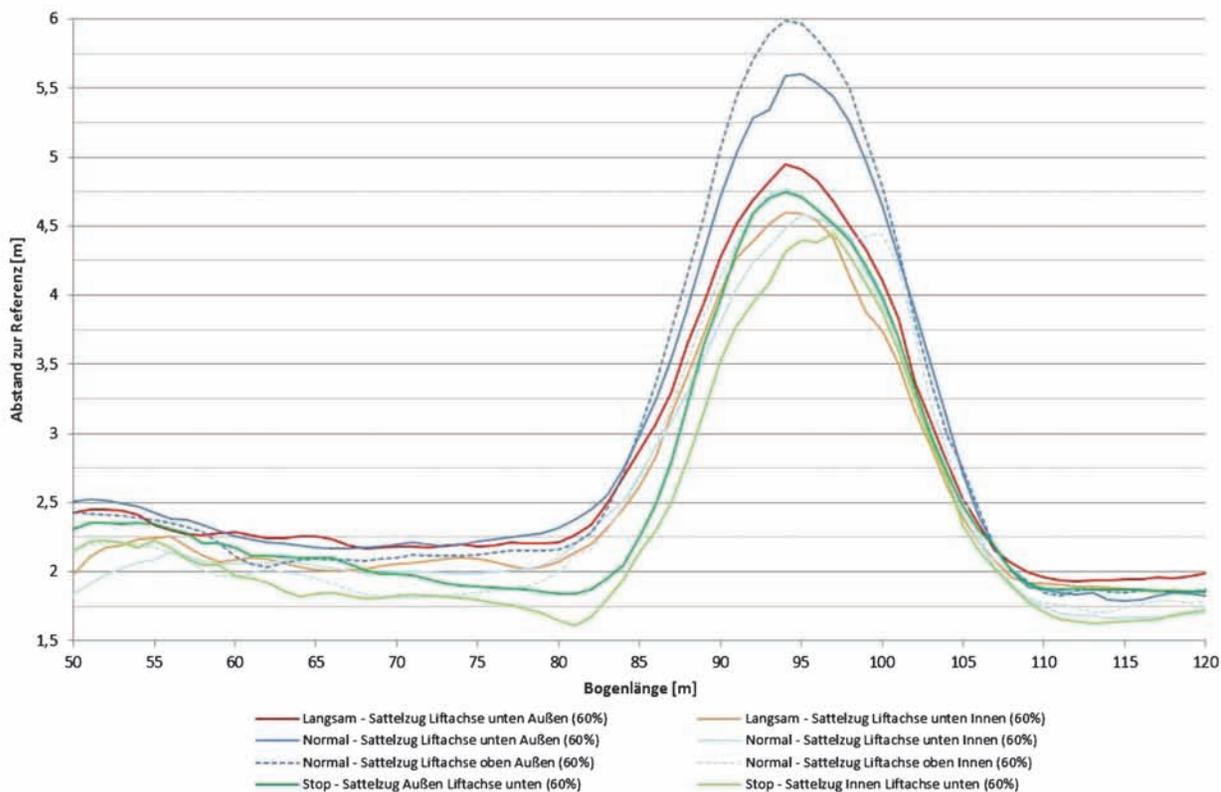
Anlage 9: Einmündung 80 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten – Sattelzug mit verlängertem Auflieger



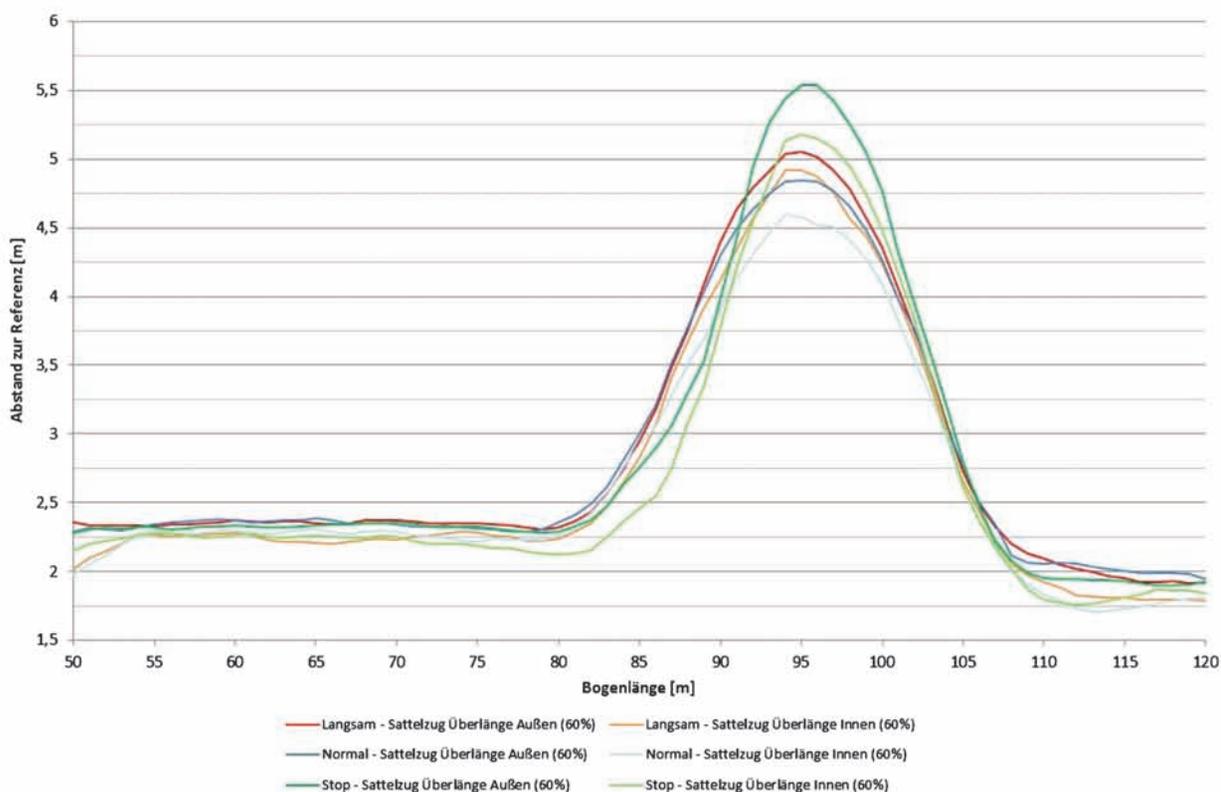
Anlage 10: Einmündung 80 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten – Lastzug mit Zentralachsanhänger



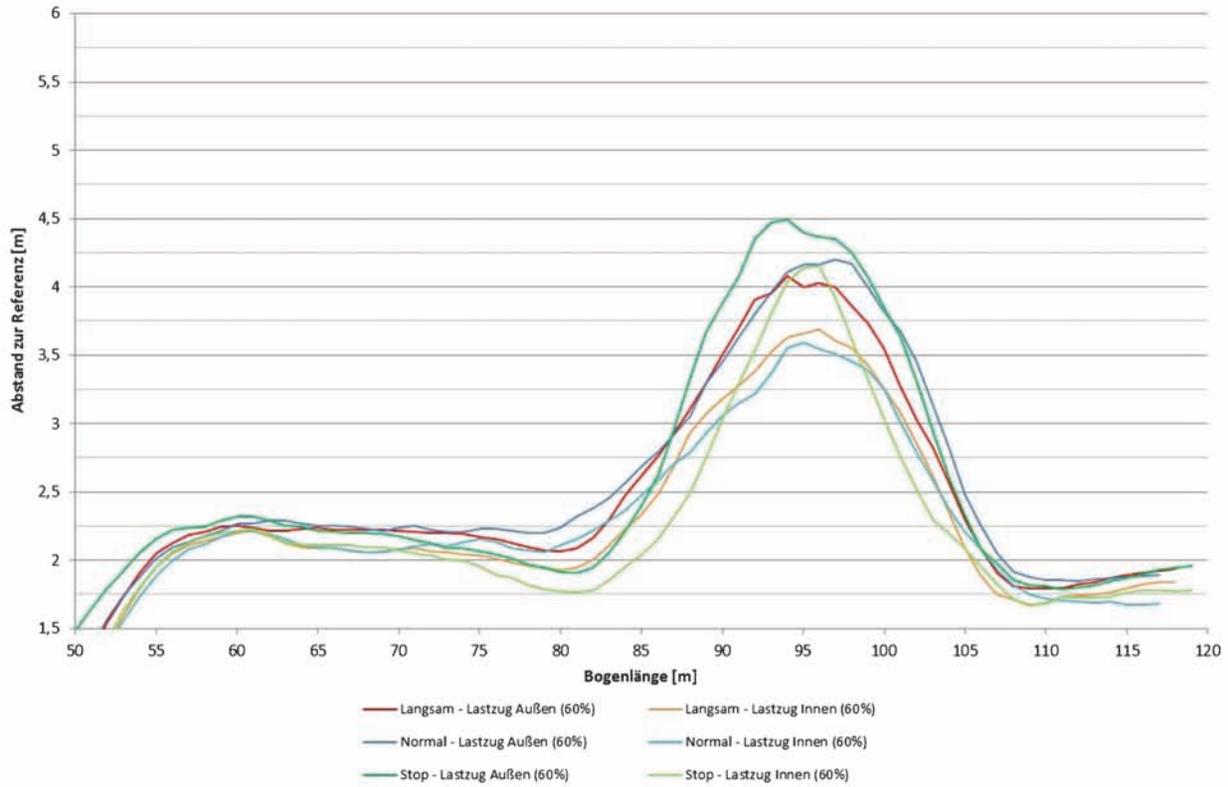
Anlage 11: Einmündung 100 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten – Sattelzug/Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse



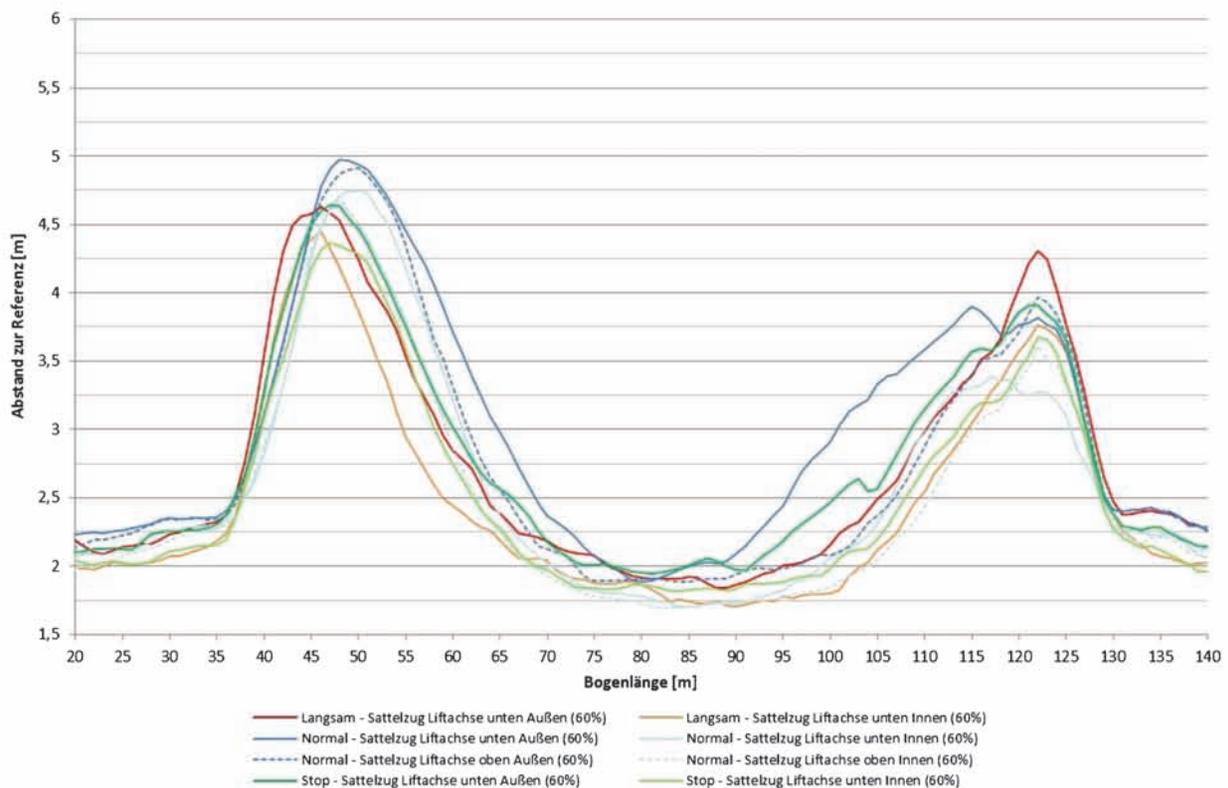
Anlage 12: Einmündung 100 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten – Sattelzug mit verlängertem Auflieger



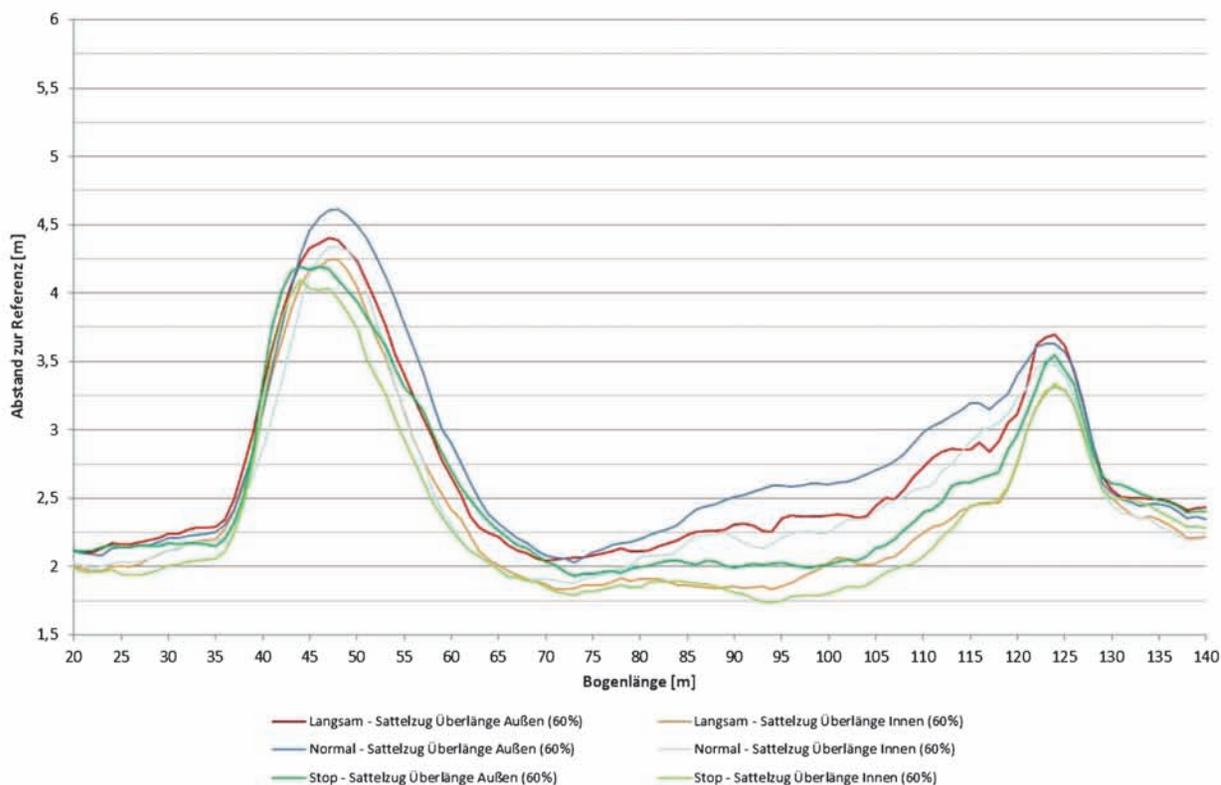
Anlage 13: Einmündung 100 gon – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten – Lastzug mit Zentralachsanhänger



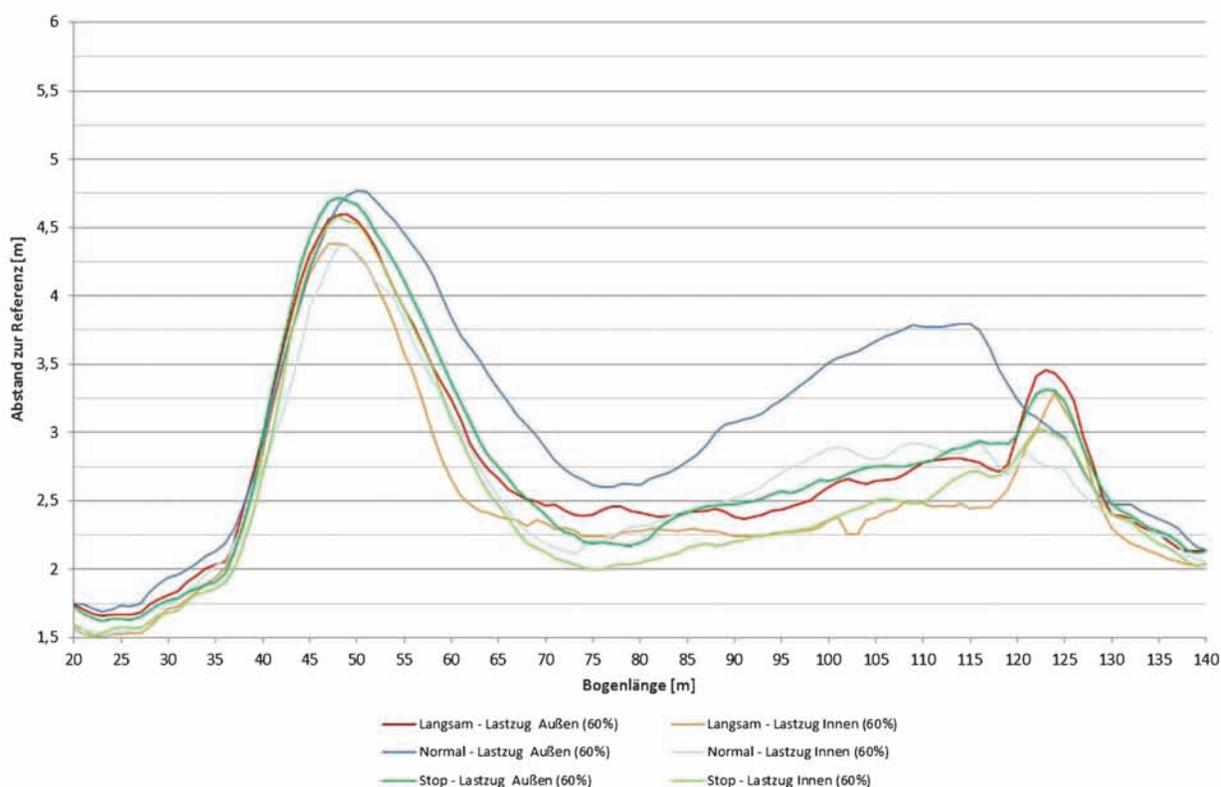
Anlage 14: Kleiner Kreisverkehr – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten – Sattelzug/Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse



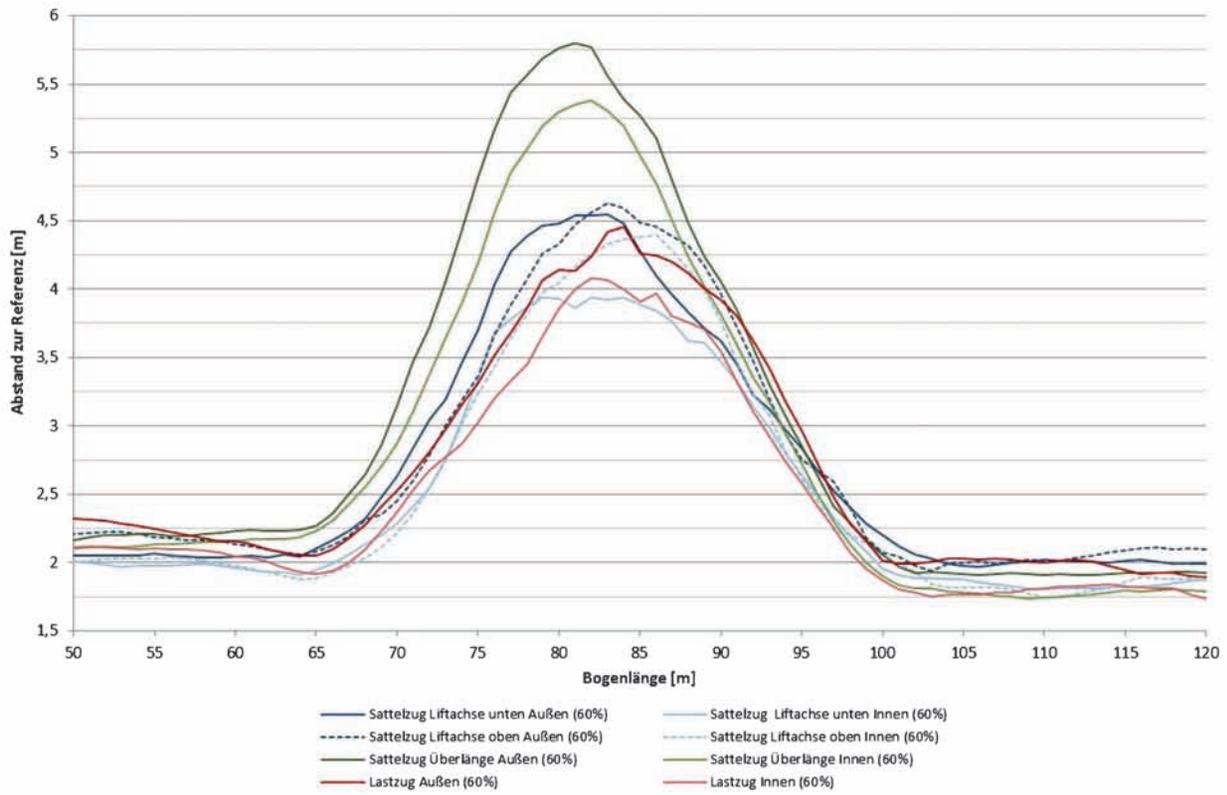
Anlage 15: Kleiner Kreisverkehr – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten – Sattelzug mit verlängertem Auflieger



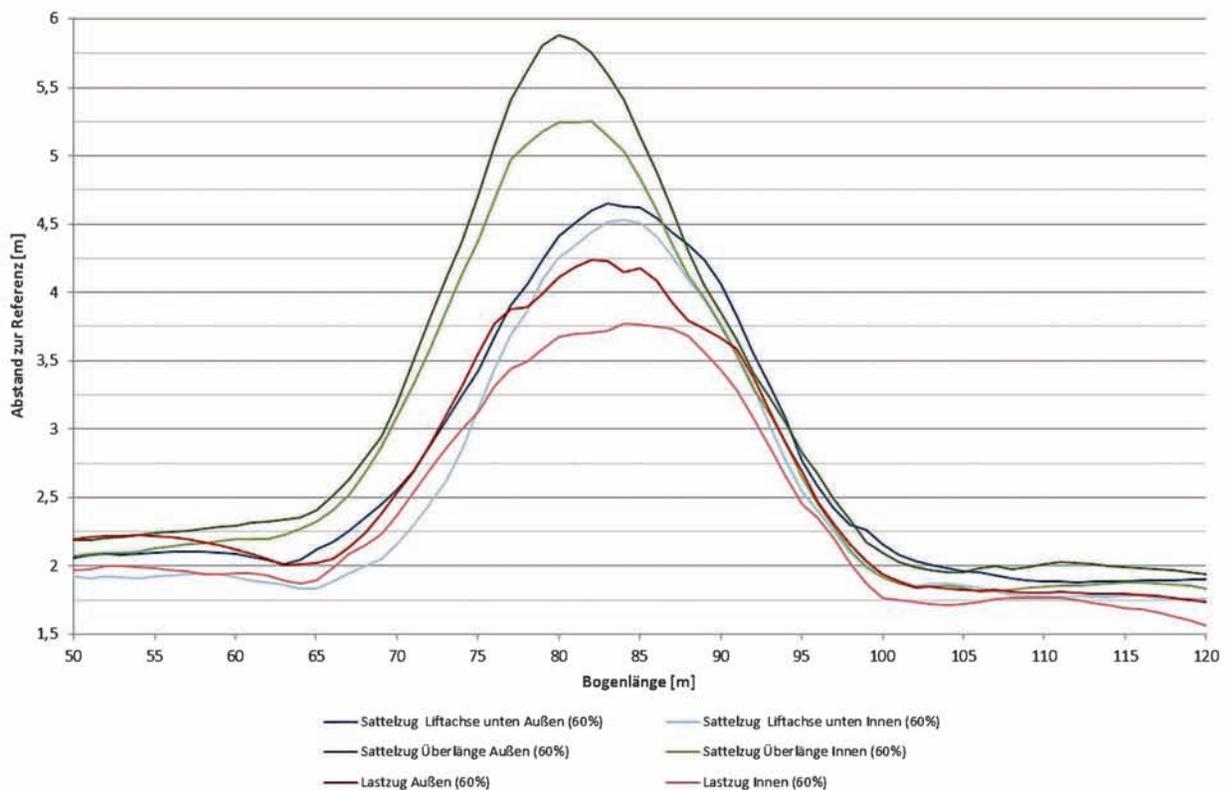
Anlage 16: Kleiner Kreisverkehr – Auswirkungen unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten – Lastzug mit Zentralachsanhänger



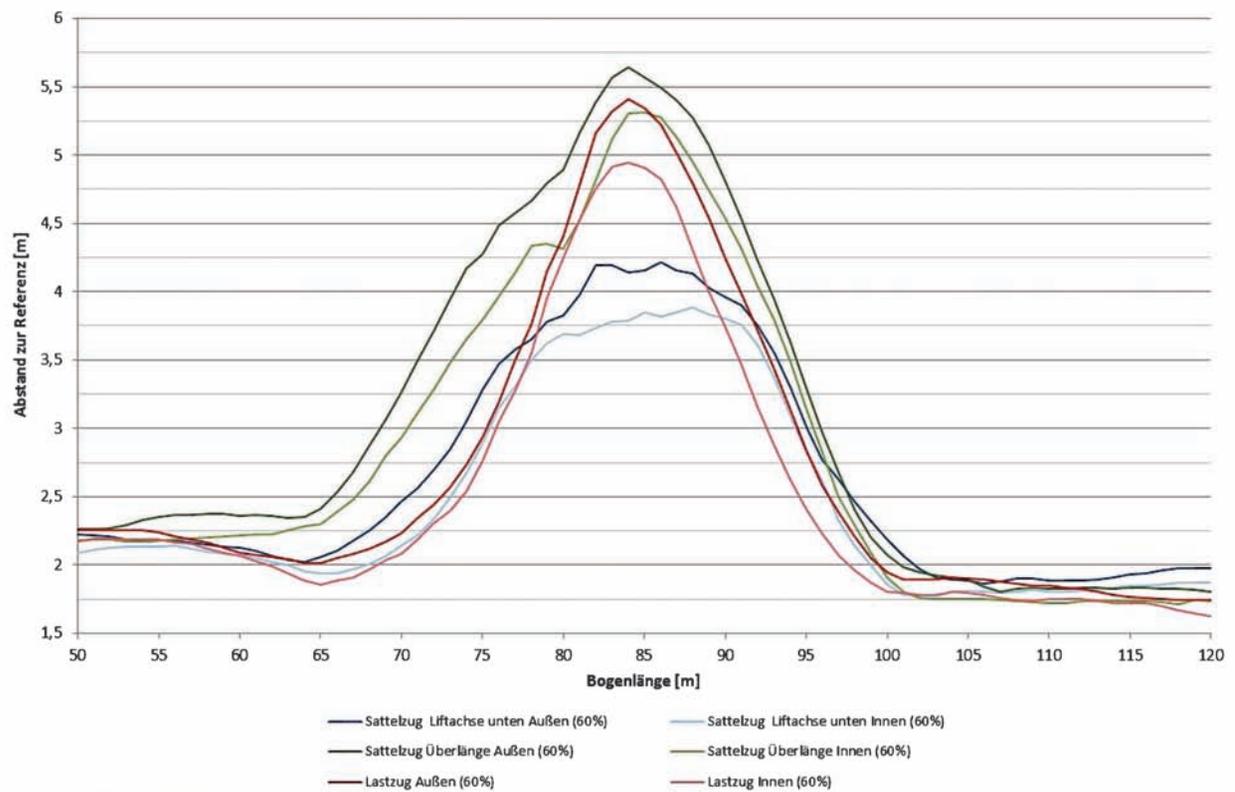
Anlage 17: Einmündung 60 gon – Langsame Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie



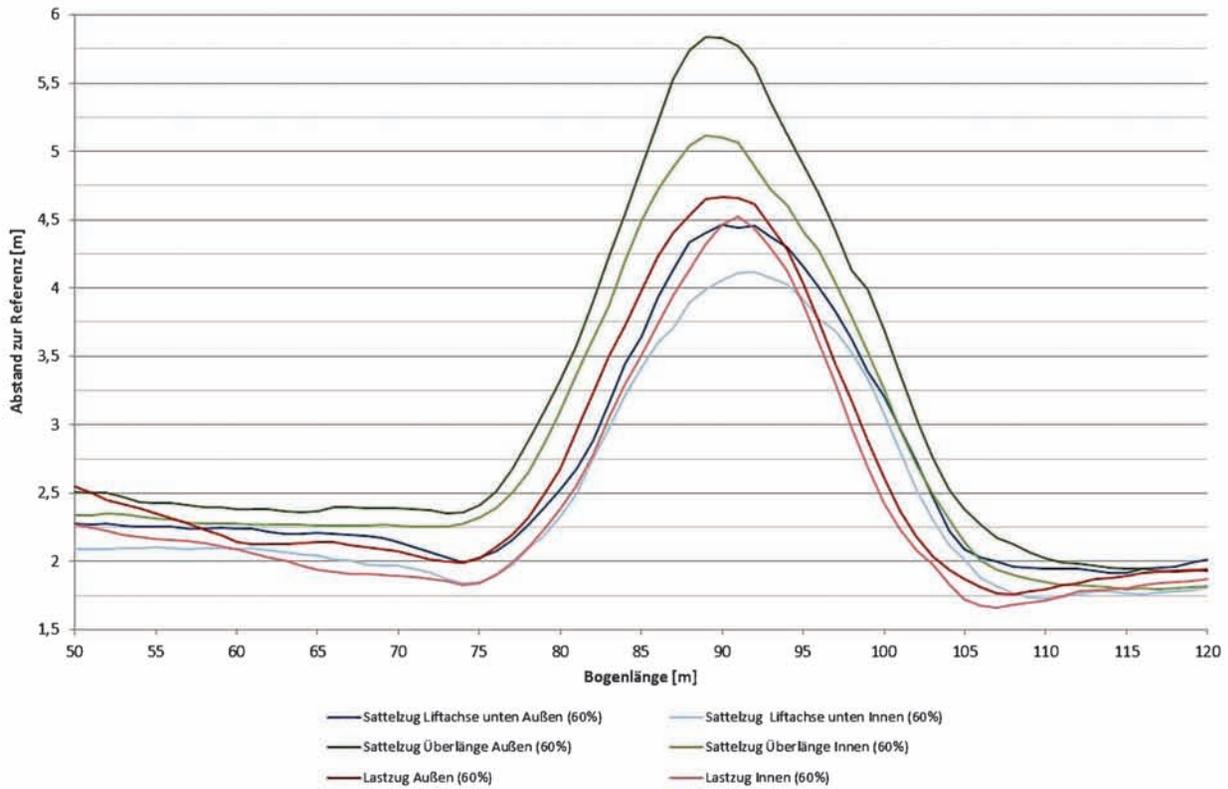
Anlage 18: Einmündung 60 gon – Normale/zügige Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie



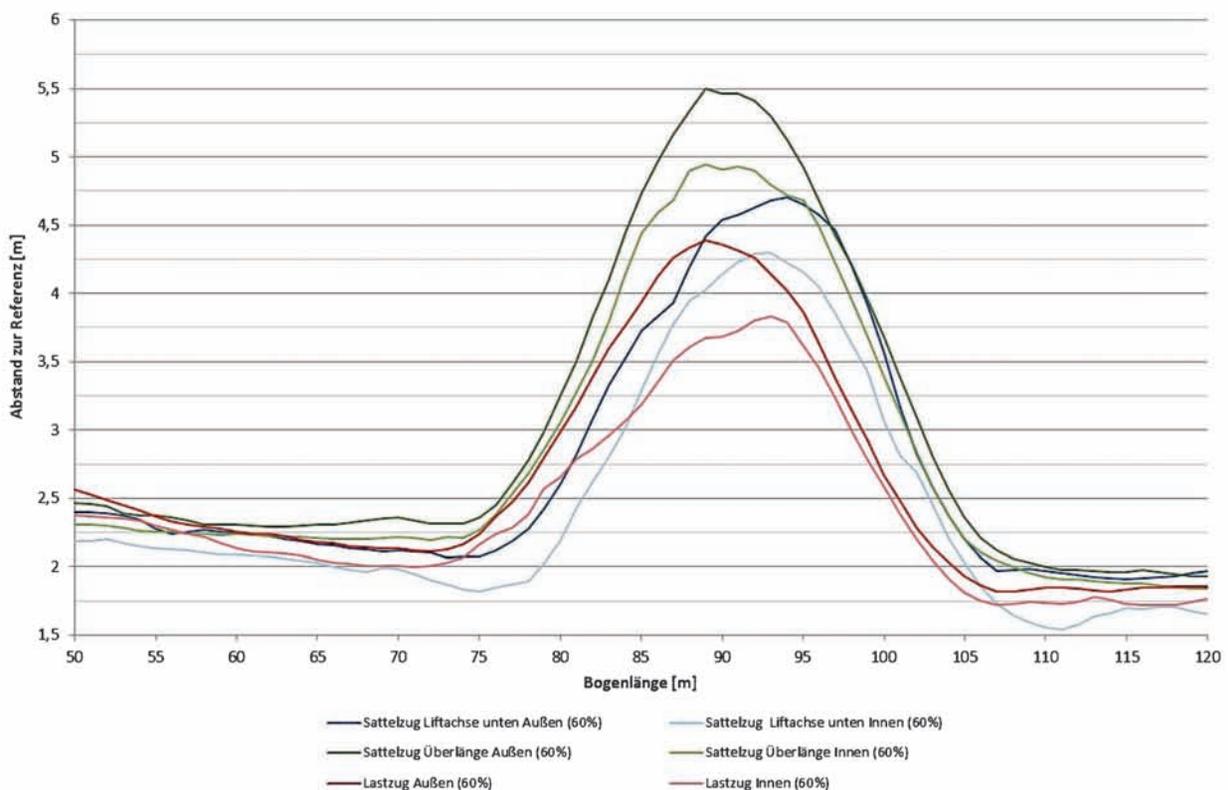
Anlage 19: Einmündung 60 gon – Fahrt mit Halt/Stopp: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie



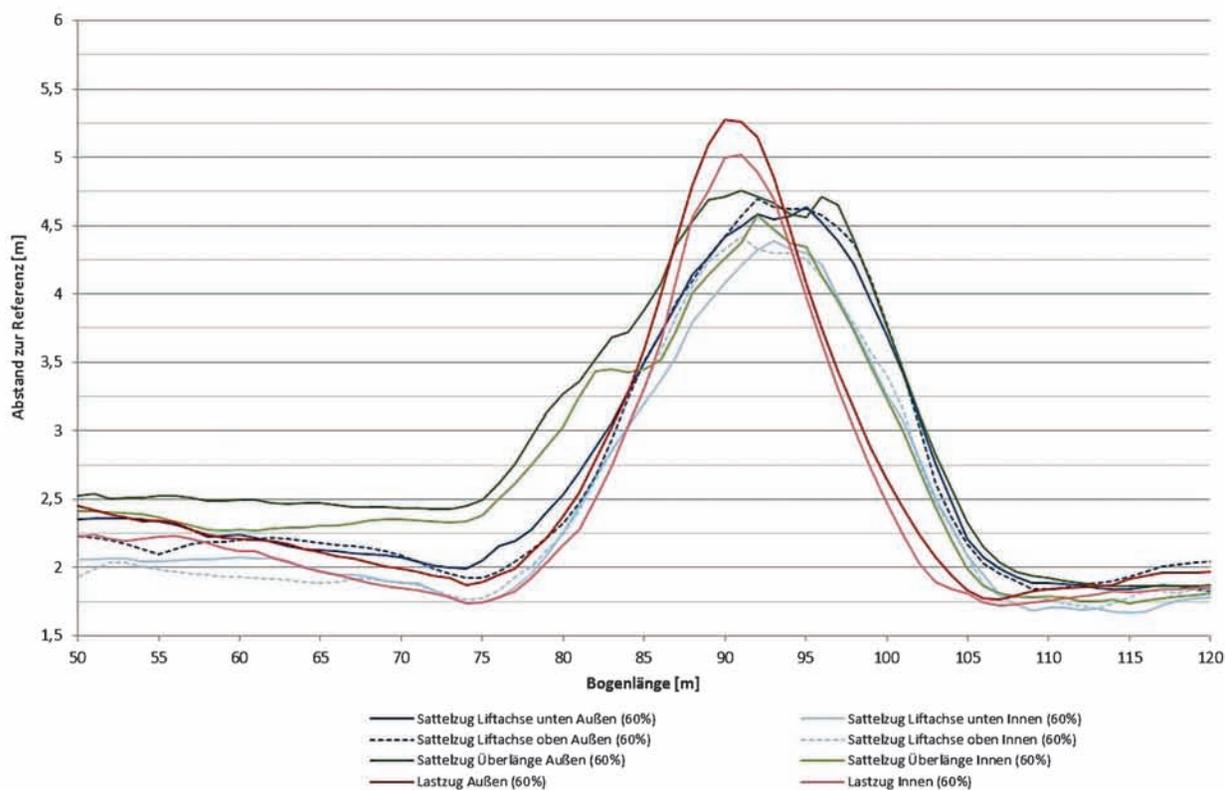
Anlage 20: Einmündung 80 gon – Langsame Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie



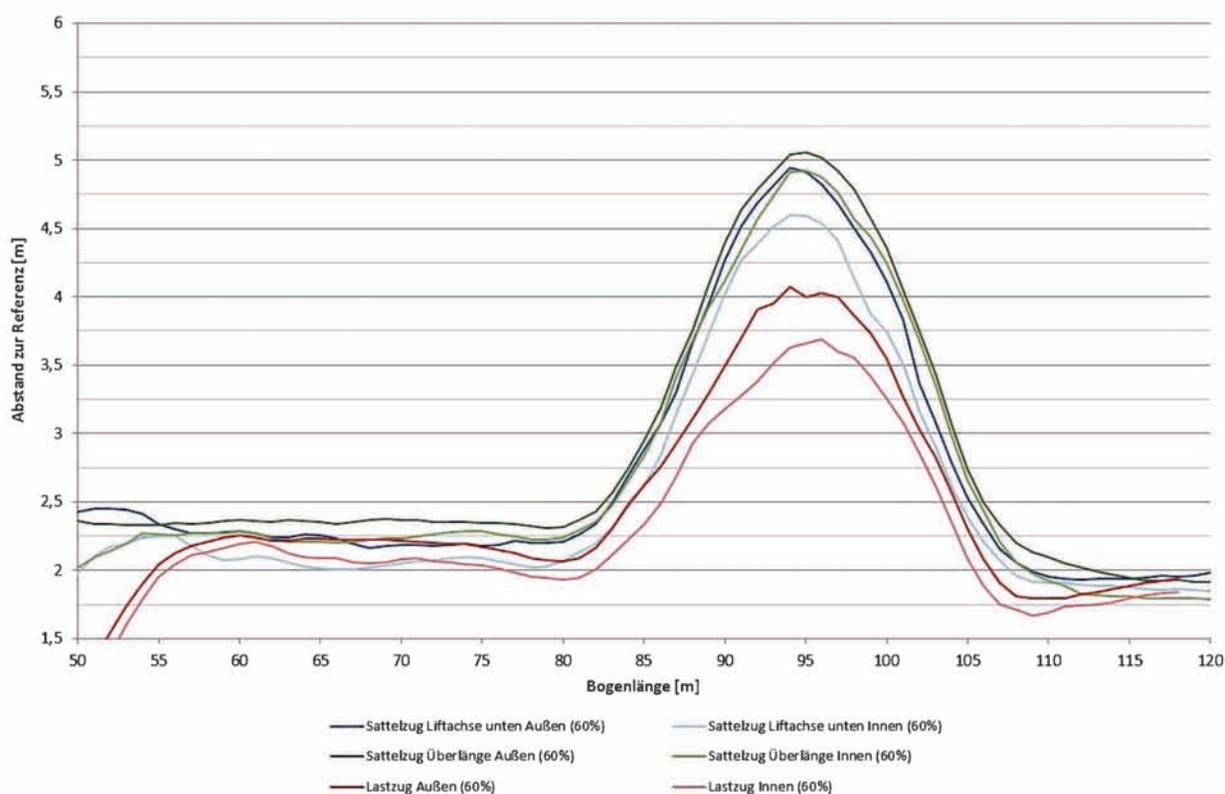
Anlage 21: Einmündung 80 gon – Normale/zügige Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie



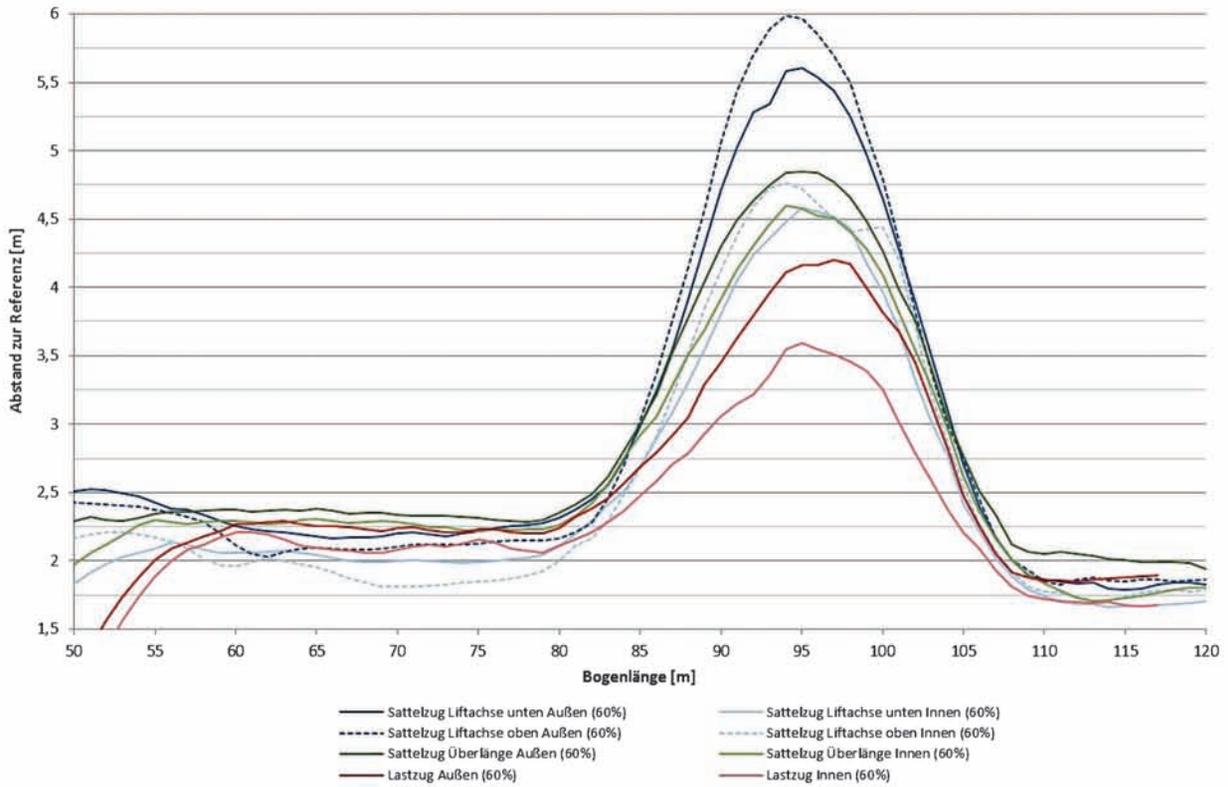
Anlage 22: Einmündung 80 gon – Fahrt mit Halt/Stopp: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie



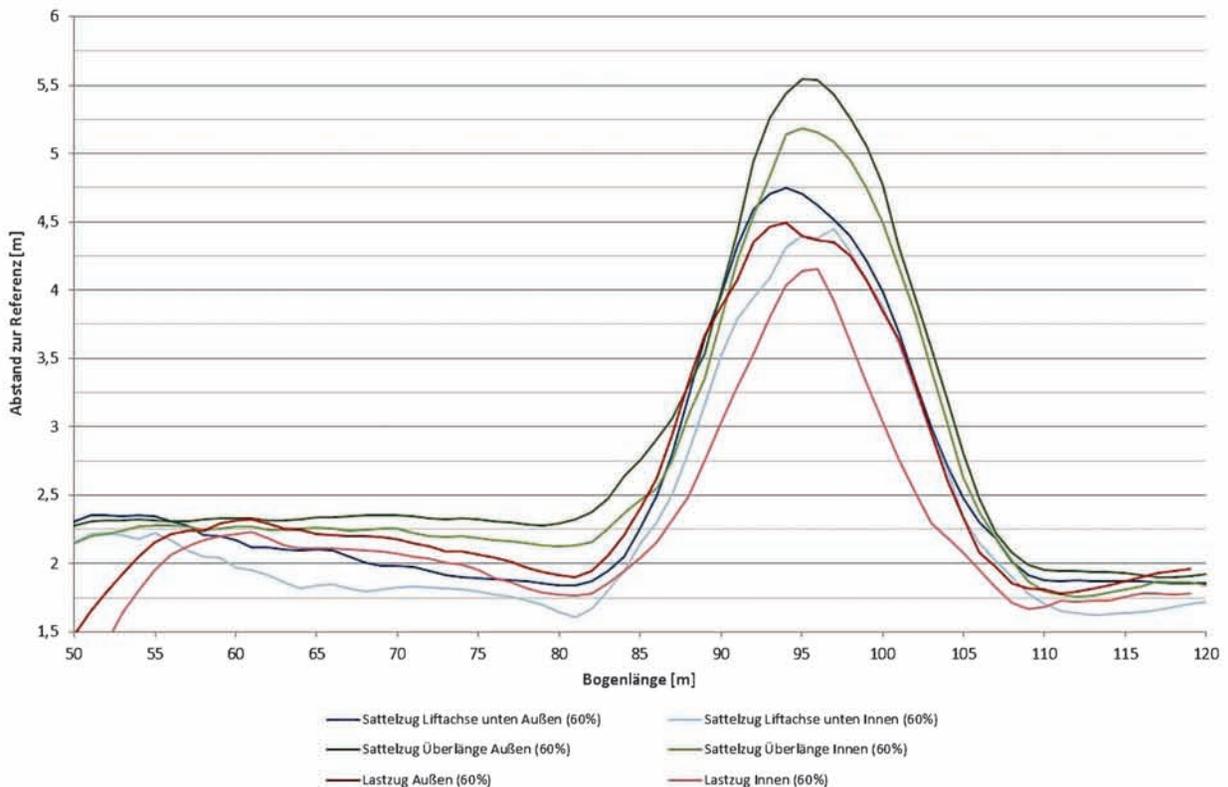
Anlage 23: Einmündung 100 gon – Langsame Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie



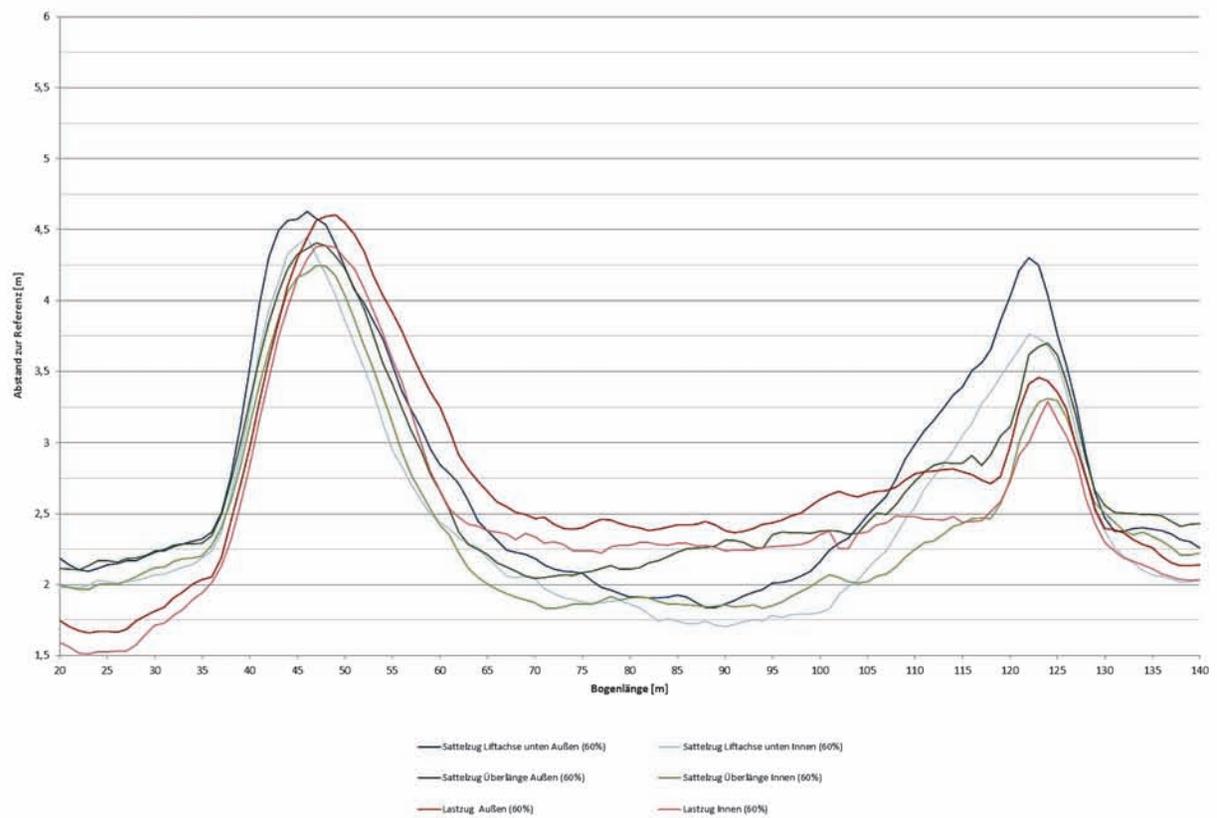
Anlage 24: Einmündung 100 gon – Normale/zügige Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie



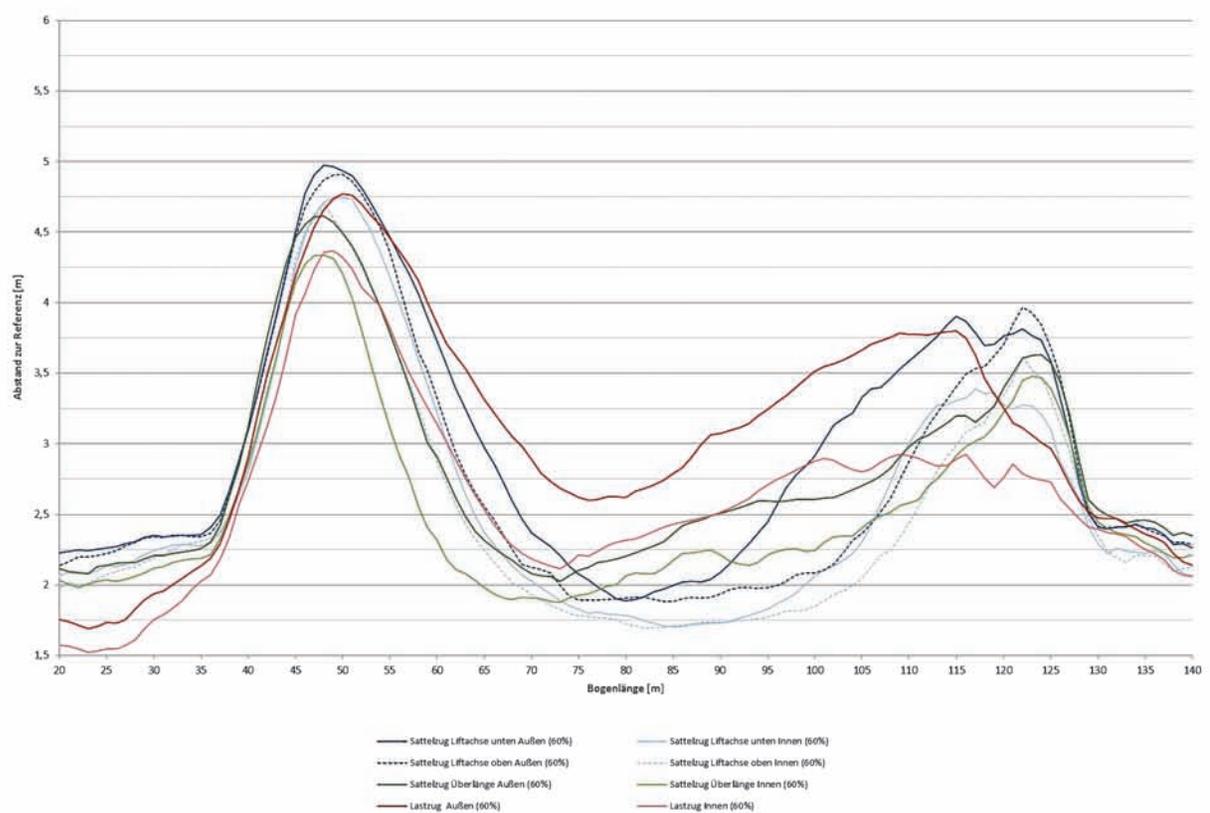
Anlage 25: Einmündung 100 gon – Fahrt mit Halt/Stopp: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie

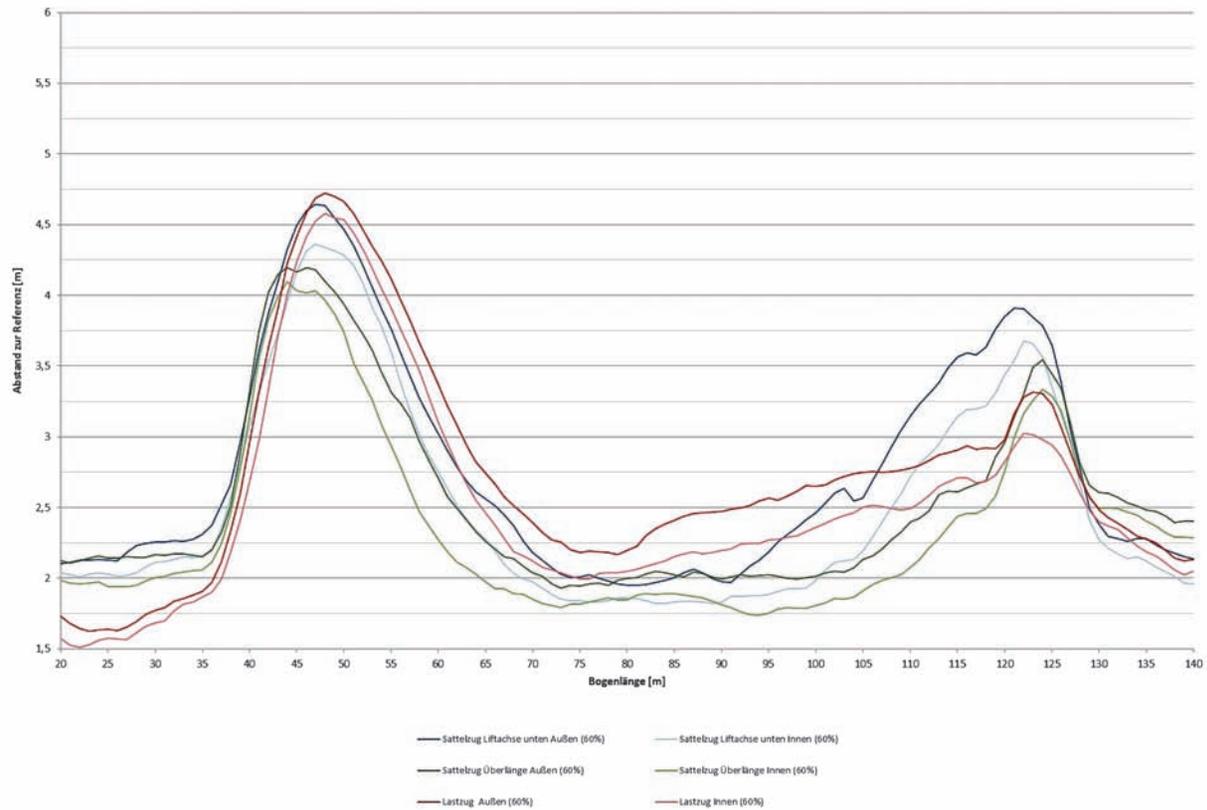


Anlage 26: Kleiner Kreisverkehr – Langsame Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie



Anlage 27: Kleiner Kreisverkehr – Normale/zügige Fahrt: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie



Anlage 28: Kleiner Kreisverkehr – Fahrt mit Halt/Stopp: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen auf die Wahl der Leitlinie

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 Aufhaltestufe 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 Landstraßen
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-Systemen
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 Nachstreumittelgemischen 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
- V 239: Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen
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 Bodenindikatoren 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 Knotenpunkte 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/> heruntergeladen werden.

2014

- V 235: Dynamische Messung der Nachsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen 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 außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- V 237: Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nachweis 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/> heruntergeladen werden. Der Anhang ist interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.
- V 238: Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebsdienst – Sommerdienst
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

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.