

Grundlage für die Bemessung von fahrgeometrischen Bewegungsräumen und Abstellflächen für Nutzfahrzeuge mit mehr als 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht

FA 2.167

Forschungsstelle: Universität Hannover, Institut für Verkehrswissenschaft, Straßenbau und Städtebau (Prof. Dr.-Ing. R. Schnüll)
 Bearbeiter: Hoffmann, S. / Kölle, M. / Engelmann, F.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn
 Abschluss: Oktober 2000

1. Aufgabenstellung

Charakteristisch für den Bewegungsablauf eines Kraftfahrzeugs während einer Kurvenfahrt ist die sichelförmige Verbreiterung der überstrichenen Fläche durch das nachlaufende kurveninnere Hinterrad. Hierdurch ergibt sich in Abhängigkeit vom Kraftfahrzeug und der Fahrweise eine fahrzeugspezifische Schleppkurve. In den Richtlinien und Empfehlungen für den Straßenentwurf werden für eine standardisierte Dimensionierung fahrgeometrischer Bewegungsräume Bemessungsfahrzeuge definiert, die zur Überprüfung von Entwurfs-elementen bzw. Straßenverkehrsanlagen für den fließenden und den ruhenden Kraftfahrzeugverkehr herangezogen werden. Die Bemessungsfahrzeuge sind als repräsentativ für ihre jeweilige Fahrzeuggruppe zu betrachten. Die in den Richtlinien und Empfehlungen für den Straßenentwurf übliche Dimensionierung bestimmter Entwurfs-elemente mit den derzeit gültigen Bemessungsfahrzeugen wurde in der Vergangenheit häufig kritisiert, da vermehrt Fahrzeuge aus der Klasse des Bemessungsfahrzeugs die Entwurfs-elemente nicht störungsfrei durchfahren können. Die Überprüfung der Befahrbarkeit ausgewählter Entwurfs-elemente mit den bisherigen Bemessungsfahrzeugen führt in der Praxis deshalb häufig zu Problemen, da die Abmessungen der vorliegenden Bemessungsfahrzeuge nicht mehr mit den im Straßenverkehr auftretenden Fahrzeugen übereinstimmen.

Das Ziel der Forschungsarbeit war es daher, die bisherigen Bemessungsfahrzeuge auf ihre Repräsentativität zu überprüfen und gegebenenfalls neu zu definieren, die bisherigen Annahmen bei der Erstellung von Schleppkurven zu prüfen und anschließend die Befahrbarkeit ausgewählter Straßenverkehrsanlagen für den ruhenden und den fließenden Kraftfahrzeugverkehr mit den neuen Bemessungsfahrzeugen und mit den aktualisierten Grundlagen für die Schleppkurven zu überprüfen. Zusätzlich waren im Rahmen der Forschungsarbeit verlässliche Grundlagen für das Rückwärtsfahren einzelner und mehrteiliger Fahrzeuge zu ermitteln, da hierfür in der Praxis bisher keine Grundlagen zur Verfügung stehen. Schließlich war ein Verfahren zu entwickeln, mit dem auch die vertikalen Bewegungsräume der definierten Bemessungsfahrzeuge bestimmbar sind und für verschiedene Neigungswinkel (Rampen, Kuppen und Wannen) die sichere Befahrbarkeit überprüft werden kann.

2. Untersuchungsmethodik

Die Nutzfahrzeuge in Deutschland unterscheiden sich durch die Vielfalt ihrer äußeren Abmessungen, ihrer Geometrie und ihrer sehr unterschiedlichen Lenkeigenschaften deutlich. Weil eine systematische Analyse des aktuellen Bestandes von Nutzfahrzeugen in Deutschland bislang nicht vorlag, wurde für die Definition von neuen Bemessungsfahrzeugen aus dem Bereich der Nutzfahrzeuge zunächst der in Deutschland vorhandene Bestand von Nutzfahrzeugen (Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 3,5 t) analysiert und nach Grup-

pen, die sich aufgrund der Einsatzbereiche und Abmessungen ergaben, differenziert. Hierbei wurden für eine erste grobe Unterteilung die folgenden Gruppen unterschieden, die im Verlauf der Bearbeitung weiter differenziert wurden:

- Einzelfahrzeuge (Lastkraftwagen),
- Fahrzeugkombinationen (Last- und Sattelzüge),
- Busse (Reise- und Linienbusse) und
- Sonstige Fahrzeuge (Müllfahrzeuge und Wohnmobile).

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. Dieses Vorgehen ist erforderlich, weil Straßenverkehrsanlagen aus ökologischen und ökonomischen Gründen nicht mit einem selten auftretenden Maximalfahrzeug bemessen werden sollen. Da die Bemessung in der Regel mit Schleppkurven erfolgt, wurden mit den neu definierten Bemessungsfahrzeugen und mit Hilfe einer geeigneten Software für die Anwendung in der Praxis neue Schleppkurvenschablonen entwickelt. Diesen Schleppkurven liegen aufgrund der stark veränderten Kurvenlaufeigenschaften bezüglich der Leitlinien andere geometrische Annahmen zugrunde als bisher. Weiterhin wurden auf diesen Grundlagen die vorhandenen Empfehlungen für die Ausbildung von Entwurfs-elementen und Straßenverkehrsanlagen, die fahrgeometrisch bemessen werden, kritisch überprüft, um für zukünftige Entwurfsaufgaben verlässliche Grundlagen zu schaffen. Für die Ermittlung der Flächeninanspruchnahme von mehrteiligen Fahrzeugen (Lastzug, Sattelzug, Gelenkbus) während einer Rückwärtsfahrt wurden Fahrversuche durchgeführt. Die Bestimmung der erforderlichen Grundlagen zur Ermittlung vertikaler Bewegungsräume für ein- und mehrteilige Lastkraftwagen und Busse beim Befahren von Rampen, Wannen und Kuppen erfolgte in enger Anlehnung an die von DUNKER für Personenkraftwagen ermittelten Grundlagen.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Bemessungsfahrzeuge

In der Tabelle 1 sind die neuen Bemessungsfahrzeuge für den Straßenentwurf dargestellt. Hierbei wurden die Fahrzeugabmessungen für alle Fahrzeugarten zu drei Teillängen zusammengefasst.

Die neuen Bemessungsfahrzeuge in der Gruppe der Lastkraftwagen sind im Vergleich zu den bisherigen Bemessungsfahrzeugen etwas länger. Auch der Radstand und der Wendekreisradius sind größer geworden. Diese Veränderungen der Fahrzeuge führen daher insgesamt zu einem etwas ungünstigeren Kurvenlaufverhalten als bisher. Auch die Last- und Sattelzüge weisen im Vergleich zu den bisher verwendeten Bemessungsfahrzeugen deutliche Veränderungen auf. Das neue Bemessungsfahrzeug Lastzug erreicht mit einer Gesamtlänge von 18,71 m fast die nach der Straßenverkehrszulassungsordnung zulässige Gesamtlänge von 18,75 m. Aufgrund der nahezu unveränderten Radstände und des geringeren Wendekreisradius' treten zwischen dem alten und dem neuen Bemessungsfahrzeug aber nur geringe Unterschiede im Kurvenlaufverhalten auf.

Deutliche Unterschiede ergeben sich allerdings durch das neue Bemessungsfahrzeug Sattelzug. Aufgrund der größeren Gesamtlänge und des größeren Wendekreisradius' besitzt das neue Bemessungsfahrzeug Sattelzug deutlich ungünstigere Kurvenlaufeigenschaften als das bisher verwendete Fahrzeug.

Tabelle 1: Geometrische Kenngrößen der Bemessungsfahrzeuge

Bemessungsfahrzeuge	Außenabmessungen					
	Länge [m]	Radstand [m]	Überhanglänge		Breite [m]	Wendekreisradius außen [m]
			vorn [m]	hinten [m]		
Lastkraftwagen						
Transporter	6,89	3,95	0,96	1,98	2,17	7,35
Kleine Lkw (L < 7,50 m)	6,82	3,69	1,20	1,93	2,33	7,05
Kleine Lkw (L > 7,50 m)	9,46	5,20	1,40	2,86	2,29	9,77
Große Lkw (2-achsig)	9,90	5,55	1,35	3,00	2,50	10,50
Große Lkw (3-achsig)	10,10	5,30 ¹⁾	1,48	3,32	2,50	10,05
Lastzug (Lz)	18,71					
Zugfahrzeug (3-achsig)	9,70	5,28 ¹⁾	1,50	2,92	2,50	10,30
Anhänger (2-achsig)	7,45	4,84	1,35	1,26	2,50	10,30
Sattelzug (Sz)	16,50					
Zugmaschine (2-achsig)	6,08	3,80	1,43	0,85	2,50	7,90
Auflieger (3-achsig)	13,61	7,75 ¹⁾	1,61	4,25	2,50	7,90
Kraftomnibusse						
Reisebus 12,00 m	12,00	5,45	2,87	3,68	2,50	10,50
Reisebus 13,70 m ²⁾	13,70	6,35	2,87	4,48	2,50	11,95
Reisebus 15,00 m ²⁾	14,95	6,95	3,10	4,90	2,50	11,95
Linienbus 12,00 m	12,00	5,80	2,85	3,85	2,50	10,50
Linienbus 13,70 m ²⁾	13,70	6,35	2,87	4,48	2,50	11,25
Linienbus 15,00 m ²⁾	14,95	6,95	3,10	4,90	2,50	11,95
Gelenkbus	17,99	5,98/5,99	2,65	3,37	2,50	11,80
Müllfahrzeuge						
2-achsig (Mü2)	9,03	4,60	1,35	3,08	2,50	9,40
3-achsig (Mü3)	9,90	4,77 ¹⁾	1,53	3,60	2,50	10,25
3-achsig (Mü3N) ²⁾	9,95	3,90	1,35	4,70	2,50	8,60

¹⁾ Technischer Radstand ²⁾ Nachlaufachse

In der Fahrzeuggruppe der Reise- und Linienbusse ergibt sich aufgrund neuer Entwicklungen in der Fahrzeugtechnik eine deutlich größere Fahrzeugvielfalt als bisher. Neben den bisher in der Praxis fast ausschließlich vorkommenden und in den deutschen Richtlinien und Empfehlungen für den Straßenentwurf vorhandenen 2-achsigen Fahrzeugen werden von den Herstellern vermehrt 3- und 4-achsige Busse mit Gesamtlängen von 13,70 m bis 15,00 m angeboten. Dementsprechend mussten auch neue Bemessungsfahrzeuge definiert werden. Für die bisher in den Richtlinien enthaltenen Busse mit einer Gesamtlänge von 12,00 m sind im Vergleich zu den neuen Bemessungsfahrzeugen dieser Fahrzeuggruppe nur bedingte Veränderungen der Kurvenlaufeigenschaften zu erwarten. Aufgrund des geringeren Radstandes bei nahezu unveränderter Gesamtlänge und der kleineren Wendekreisradien werden während der Kurvenfahrt ganz allgemein weniger Flächen als bisher in Anspruch genommen. Das neue Bemessungsfahrzeug Gelenkbus unterscheidet sich nur in der Gesamtlänge von dem bisher in den Richtlinien enthaltenen Fahrzeug. Aufgrund der nahezu unveränderten Radstände und Überhänge (vorn und hinten) sind aber keine nennenswerten Veränderungen der Kurvenlaufeigenschaften zu erwarten.

Das neue Bemessungsfahrzeug 2-achsiges Müllfahrzeug ist gegenüber dem alten Bemessungsfahrzeug deutlich länger geworden. Vorrangig der Radstand sowie der hintere Überhang sind hier erheblich größer geworden, sodass deutliche Veränderungen bei der Kurvenfahrt zu erwarten sind. Entgegen dem 2-achsigen Müllfahrzeug bestehen zwischen dem

neuen und dem alten Bemessungsfahrzeug 3-achsiges Müllfahrzeug kaum Unterschiede in der Flächenanspruchnahme bei Kurvenfahrten. Das neu hinzugekommene Bemessungsfahrzeug 3-achsiges Müllfahrzeug mit Nachlaufachse besitzt aufgrund der verbesserten Lenkeigenschaften (Nachlaufachse) deutlich günstigere Kurvenlaufeigenschaften als das 3-achsige Bemessungsfahrzeug ohne Nachlaufachse.

3.2 Schleppkurvenschablonen

Die von einem Fahrzeug während der Kurvenfahrt überstrichene Fläche lässt sich durch die Ermittlung von Schleppkurven feststellen. Die Schleppkurven werden durch Hüllkurven begrenzt, die sich durch die Außenbegrenzungen bzw. die Eckpunkte der Fahrzeuge und die Lage der Achsen ergeben. Für die Konstruktion von Schleppkurven stehen mehrere grafische und numerische Verfahren zur Verfügung. Als Eingangsgrößen für diese Verfahren werden sowohl die geometrischen Abmessungen der Fahrzeuge als auch die so genannten Leitlinien benötigt. Der sinnvollen Wahl von Leitlinien für das Befahren von Straßenverkehrsanlagen kommt neben der richtigen Zuordnung von Bemessungsfahrzeugen deshalb besondere Bedeutung zu. Unter Leitlinien werden in der Regel einfache, aus Geraden und Kreisbögen zusammengesetzte Linien verstanden, an denen ein Punkt des Fahrzeugs (Führungspunkt) entlang geführt wird. In Abhängigkeit von der Krümmung der Leitlinien erfährt der

Führungspunkt Richtungsänderungen, aus denen sich aufgrund der Fahrzeugabmessungen die zugehörigen Lagen der anderen Fahrzeugpunkte ermitteln lassen. Die den Leitlinien zu Grunde liegenden Radien müssen gewährleisten, dass beim Entlangführen der Fahrzeuge an den Leitlinien die Wendekreisradien nicht unterschritten werden. Für die Erstellung von standardisierten Schleppkurven, die die bisherigen Schleppkurven in den Richtlinien und Empfehlungen für den Straßenentwurf ersetzen könnten, wurde zwischen zwei verschiedenen Varianten unterschieden, die zwei verschiedene Fahrweisen bei sehr geringen Geschwindigkeiten repräsentieren:

– Fahrweise 1

Die Abschnitte der Leitlinien mit Kreisbögen bzw. mit Geraden wurden tangential zusammengefügt, sodass sich an den Übergangsstellen kein Knick in den Leitlinien einstellt. Diese Vereinfachung ist zulässig, da die Übergangsbögen durch die schnelle Veränderung des Lenkwinkels während der Fahrt bei geringen Geschwindigkeiten vernachlässigbar klein sind. Die Außenradien entsprechen dabei den Wendekreisradien der jeweiligen Bemessungsfahrzeuge. Der Fahrer fährt zügig mit stetig zunehmendem Lenkradeinschlag in den Bogen ein und verlässt ihn mit ebenso stetig abnehmendem Lenkradeinschlag.

– Fahrweise 2

Wenn die Kraftfahrzeugführer bei annähernd stehenden Kraftfahrzeugen lenken und dann anfahren, ergibt sich in den Leitlinien ein Knick. Diese Fahrweise mit einer Lenkwinkeländerung bis zum Maximum im Stand wurde durch die Annahme eines abrupten Übergangs zwischen Gerade und Kreisbogen simuliert. Diese Fahrweise ist durch die erheblich verbesserten Lenkanlagen zwischenzeitlich möglich. Daraus ergibt sich ein fahrzeugtechnisch üblicher Richtungsänderungswinkel bei maximalem Lenkwinkel von 40 gon und bei Bussen von 55 gon (Ausnahme Gelenkbusse). Die Kreisbögen in den Leitlinien wurden dann in Anlehnung an die Wendekreisradien der betrachteten Bemessungsfahrzeuge festgelegt.

Die Schleppkurvenschablonen sind – solange sie für Einzelfahrzeuge erstellt wurden – sowohl für Vorwärts- als auch für Rückwärtsfahrten anwendbar. Bei Fahrzeugkombinationen gelten sie nur für die Vorwärtsfahrt, da die Rückwärtsfahrt nicht realistisch abgebildet werden kann.

3.3 Überprüfung der Befahrbarkeit ausgewählter Straßenverkehrsanlagen für den ruhenden Kraftfahrzeugverkehr

Mit der Software zur Erstellung der Schleppkurven wurden unter Berücksichtigung der neuen Bemessungsfahrzeuge die im Folgenden dargestellten Straßenverkehrsanlagen für den ruhenden Kraftfahrzeugverkehr untersucht:

- Schrägaufstellung Typ 1, Typ 2 und Typ 3 nach den EAR und den RR-1,
- Längsaufstellung nach den EAR,
- Sägezahn- und Senkrechtaufstellung.

Unter ungünstigen Randbedingungen, die aber auch nur selten auftreten, können die verschiedenen Typen der Schrägaufstellung von ausgewählten Bemessungsfahrzeugen nicht befahren werden. Unter der Annahme eines üblichen Abstandes zwischen den benachbarten Fahrzeugen von 4,50 m treten diese Probleme nicht mehr auf. Allerdings werden bei den Schrägaufstellungstypen 1 und 3 Flächen im Seitenraum von den Überhängen der Reisebusse teilweise erheblich überstrichen. Der Aufstellwinkel von 50 gon führt zwar gegenüber größeren Aufstellwinkeln zu einer etwas größeren versiegelten Fläche je Parkstand, die erforderlichen Breiten in der Ein- und Ausfahrgasse steigen allerdings nicht so stark an wie bei dem Aufstellwinkel von 60 gon, wenn die Abstände zwischen den benachbarten Fahrzeugen verringert werden. Der Aufstellwinkel von 50 gon ist damit als optimal zu bewerten und sollte deshalb nicht variiert werden.

Für die verschiedenen Bemessungsfahrzeuge aus der Gruppe der Busse wurden Schleppkurven für eine Vorwärtsfahrt aus einer Fahrgasse in einen Längsparkstand erstellt und diejenige Länge ermittelt, die erforderlich ist, bis sich die Fahrzeuge vollständig in den äußeren Abmessungen des Längsparkstreifens mit einer Breite von 3,00 m befinden. Dabei zeigte sich, dass die bisherige Vorgabe für die Parkstandlänge von 15,00 m für einen 12,00 m langen Bus nur für den Fall gelten, dass die Busse direkt hinter ein anderes Fahrzeug fahren können. Dann benötigen sie für die Ausfahrt einen Abstand von 3,00 m zum vor ihnen stehenden Fahrzeug. Soll jedoch in eine Lücke zwischen zwei abgestellten Fahrzeugen aus einer Fahrgasse mit einer Breite von 3,50 m eingefahren werden, ist die erforderliche Parkstandlänge sehr lang. Derartig lange Lücken treten allerdings in der Praxis kaum auf.

Eine Alternative zur Längsaufstellung ist die Sägezahaufstellung, mit dem der extremen Längenentwicklung für das unabhängige Ein- und Ausfahren bei der Längsaufstellung entgegengewirkt werden kann. Für die drei verschiedenen Reisebusse wurden die erforderlichen Fahrgassenbreiten bei einer Sägezahaufstellung ermittelt. Bei überstrichenen Flächen von bis zu 1,10 m Breite an der Haltekante ist unabhängig vom Reisebusstyp eine Fahrgassenbreite von 4,00 m erforderlich, wenn bei der Ausfahrt keine weiteren Flächen im links liegenden Seitenraum überstrichen werden sollen.

Für die Reisebusse mit 12,00 m und 15,00 m Länge wurden die erforderlichen Fahrgassenbreiten für das Ein- und Ausfahren in bzw. aus einer Senkrechtaufstellung (Breite = 3,50 m und Länge = 15,00 m) bestimmt. Dabei wurde zwischen den Anlagentypen Terminal (mit Haltekante) und Abstellanlage unterschieden. Bei den Terminals sollte möglichst nahe an die Haltekante herangefahren werden, um einen attraktiven und bequemen Einstieg zu ermöglichen. Hier konnten zudem beim Ein- und Ausfahren Flächen im Seitenraum überstrichen werden. Dieses Überstreichen war bei den Abstellanlagen nicht möglich. Besonders bei den Abstellanlagen ergeben sich deshalb extrem große Breiten für die Ein- und Ausfahrgassen.

3.4 Überprüfung der Befahrbarkeit ausgewählter Straßenverkehrsanlagen für den fließenden Kraftfahrzeugverkehr

Mit der Software zur Erstellung der Schleppkurven wurden unter Berücksichtigung der neuen Bemessungsfahrzeuge die im Folgenden dargestellten Straßenverkehrsanlagen für den fließenden Kraftfahrzeugverkehr untersucht:

- Versätze und Inselversätze nach den EAE und den EAHV,
- Wendeanlagen nach den EAE und den EAHV,
- Eckausrundungen in plangleichen Knotenpunkten nach den RAS-K-1,
- Kleine Kreisverkehrsplätze nach dem Merkblatt für die Anlage von kleinen Kreisverkehrsplätzen,
- Fahrbahnverbreiterungen in Kurven nach den EAHV.

Für ausgewählte Versätze wurde mit dem 2-achsigen großen Lastkraftwagen die Befahrbarkeit überprüft. Lediglich bei einer Versatztiefe von 3,00 m können die Versätze von diesem Fahrzeug besonders bei großen Fahrgassenbreiten nicht befahren werden. Bei größeren Versatztiefen ist das Befahren bei kleinen Fahrgassenbreiten schwierig, aber möglich. Mit dem Sattelzug wurden Versätze untersucht, deren Längen um 50 % über den in den EAE angegebenen Abmessungen lagen. Unter diesen Annahmen ergaben sich keine Einschränkungen bei der Befahrbarkeit von Versätzen durch den Sattelzug.

Dem Wendehammer vom Typ 2 liegt nach den EAE der Lieferwagen als Bemessungsfahrzeug zugrunde. Das neue Bemessungsfahrzeug Transporter kann wegen seiner erheblich größeren Werte für die Gesamtlänge und für den Radstand in diesem Wendehammer nur mit mehrmaligem Zurücksetzen wenden.

Der Wendehammer vom Typ 3a nach den EAE kann mit dem neuen 3-achsigen Müllfahrzeug knapp und unter Berücksichtigung

sichtigung der zwischenzeitlich weit verbreiteten Fahrzeuge mit Nachlaufachse uneingeschränkt befahren werden. Ähnliche Ergebnisse erbrachte die Überprüfung des Wendehammers vom Typ 3b.

Die Wendekreise vom Typ 4 und 5 nach den EAE können von den zugeordneten Bemessungsfahrzeugen (Transporter und 2-achsiger Müllfahrzeug) nur noch durch einmaliges Zurücksetzen passiert werden. Die notwendige Fahrweise entspricht damit derjenigen in einem Wendehammer.

Die Wendeschleife vom Typ 6 nach den EAE hat eine deutlich größere Ausdehnung als die bisher angesprochenen Wendeanlagen, weil eine zentrale Fläche mit Pkw-Parkständen vom wendenden Fahrzeug umfahren werden muss. Der Dimensionierung dieser Wendeanlage liegt das 3-achsige Müllfahrzeug zugrunde. Die Überprüfung ergab, dass lediglich das 3-achsige Müllfahrzeug mit Nachlaufachse in dieser Straßenverkehrsanlage noch wenden kann. Allerdings überstreichen der vordere bzw. der hintere Überhang auch Flächen im Seitenraum, die außerhalb der Freihaltezone liegen.

Die Überprüfung der Befahrbarkeit der Wendeschleife vom Typ 7 nach den EAE erfolgte mit dem Sattelzug, da sich im Rahmen der Bearbeitung der Forschungsarbeit herausgestellt hat, dass die Flächeninanspruchnahme durch einen Sattelzug bei einer Kreisfahrt größer ist als diejenige durch den Lastzug oder den Gelenkbus. Dabei zeigte sich, dass sie von dem Sattelzug ohne Einschränkungen befahren werden kann.

Im Rahmen der Überprüfung der bisherigen geometrischen Annahmen bei der Konstruktion von Eckausrundungen in plangleichen Knotenpunkten wurden die Wertepaare Einfahrtbreite/Ausfahrtbreite für verschiedene Bemessungsfahrzeuge ermittelt. Dabei wurden mit Ausnahme des Sattelzuges nur diejenigen Bemessungsfahrzeuge berücksichtigt, die schon in den RAS-K-1 verwendet werden. Die Überprüfung wurde für unterschiedliche Hauptbogenradien beim nach den RAS-K-1 größten Kreuzungswinkel von 120 gon durchgeführt, da sich hier auch die größten Werte für die Breite in der Ausfahrt ergeben. Die Ergebnisse für die neuen Bemessungsfahrzeuge zeigen dabei deutliche Unterschiede zu den bisherigen Werten.

Für die Überprüfung der Befahrbarkeit von kleinen Kreisverkehrsplätzen wurden 4 Kreisverkehrsplätze nach dem Merkblatt für die Anlage von kleinen Kreisverkehrsplätzen ausgewählt. Die den Kreisverkehrsplätzen zugeordneten Breiten in den Knotenpunktzu- und -ausfahrten orientieren sich an aus Gründen der Verkehrssicherheit anzustrebenden Mindestwerten. Der Kreuzungswinkel wurde mit 100 gon angenommen. Die Befahrbarkeitsprüfung erfolgte mit dem Last- und Sattelzug. Dabei zeigte sich, dass Probleme bei der Befahrbarkeit vorwiegend in den Ausfahrten auftreten. Einzelne Kreisverkehrsplätze können mit dem Sattelzug nur bedingt bzw. nicht befahren werden.

3.5 Vertikale Bewegungsräume

In Anlehnung an die von DUNKER für Personenkraftwagen ermittelten vertikalen Bewegungsräume beim Befahren von Rampen, Wannern und Kuppen wurde im Rahmen der Forschungsarbeit die Grundlage für die Ermittlung vertikaler Bewegungsräume für einteilige und mehrteilige Lastkraftwagen und

Busse bestimmt. Die Entwurfselemente wurden dabei in Rampen, Wannern und Kuppen unterteilt. Auf Grund der Herstellerinformationen wurde als Grenzwert für die sichere Befahrung von Rampen eine Längsneigung von 25 % festgesetzt. Größere Längsneigungen sollen vermieden werden. Für die Gestaltung der Neigungswechsel im Bereich von Kuppen und Wannern wurden die Abmessungen der Entwurfselemente ermittelt. In Abhängigkeit vom gewählten Bemessungsfahrzeug sowie der Bodenfreiheit wurden die erforderlichen Abschrägungslängen, die erforderlichen Ausrundungshalbmesser sowie die lichten Durchfahrthöhen von bzw. über Wannern und Kuppen bestimmt. Dynamische Einflüsse wurden im Rahmen der Berechnungen nicht berücksichtigt.

3.6 Schleppkurven rückwärts fahrender mehrteiliger Fahrzeuge

Entgegen Einzelfahrzeugen, bei denen die Flächeninanspruchnahme während einer Rückwärtsfahrt annähernd mit der Flächeninanspruchnahme der entsprechenden Vorwärtsfahrt gleichgesetzt werden kann, kann die Rückwärtsfahrt von mehrteiligen Fahrzeugen bislang analytisch nicht abgebildet werden. Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden die erforderlichen Grundlagen für die Rückwärtsfahrt mehrteiliger Fahrzeuge (Lastzug, Sattelzug, Gelenkbus) daher mittels Fahrversuchen ermittelt. Die im Rahmen der Fahrversuche ermittelten Hüll- bzw. Schleppkurven für die Rückwärtsfahrt zeigen deutliche Unterschiede zu den im Rahmen der Forschungsarbeit ermittelten Schleppkurven für die Vorwärtsfahrt. Alle untersuchten mehrteiligen Fahrzeuge benötigen im Vergleich zur Vorwärtsfahrt während einer Rückwärtsfahrt mit vergleichbarem Richtungsänderungswinkel deutlich mehr Fläche. Es wird daher empfohlen, bei der Planung und der Dimensionierung von Fahr- und Stellflächen, die von mehrteiligen Fahrzeugen rückwärts befahren werden, nach Möglichkeit größere Flächen im Seitenraum freizuhalten, die von den Fahrzeugen während der Rückwärtsfahrt in Anspruch genommen werden können.

4. Folgerungen für die Praxis

Die teilweise deutlichen Veränderungen bei den geometrischen Abmessungen und den daraus resultierenden Veränderungen bei den Kurvenlaufeigenschaften von Nutzfahrzeugen machen die Einführung von neuen Bemessungsfahrzeugen und standardisierten Schleppkurvenschablonen in Deutschland erforderlich. Aufgrund neuer Entwicklungen in der Fahrzeugtechnik muss die Gruppe der Bemessungsfahrzeuge darüber hinaus erweitert werden. Auf der Basis der neuen Bemessungsfahrzeuge müssen einzelne Straßenverkehrsanlagen in den Richtlinien und Empfehlungen für den Straßenentwurf modifiziert werden, andere Straßenverkehrsanlagen (besonders des ruhenden Kraftfahrzeugverkehrs) können auf der Grundlage der Forschungsergebnisse erstmals verlässlich dimensioniert werden.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit sollten in die entsprechenden Richtlinien und Entwurfshinweise für den Straßenentwurf integriert werden. □