

# **Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 247**

**bast**

# **Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw**

von

Christian Lippold  
Alexander Schemmel

Technische Universität Dresden  
Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 247

**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 89.0284/2013/CRB:**  
Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw  
Dieser Forschungsbericht wurde im Rahmen der interdisziplinären wissenschaftlichen Begleituntersuchung zum Feldversuch mit Lang-Lkw erstellt.

#### **Fachbetreuung**

Marco Irzik

#### **Herausgeber**

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

#### **Redaktion**

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

#### **Druck und Verlag**

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

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-132-5

Bergisch Gladbach, November 2014

## Kurzfassung - Abstract

### Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw

Die Bundesregierung hat zum 01.01.2012 einen deutschlandweiten Feldversuch mit Lang-Lkw gestartet. Die dafür erforderliche verkehrsrechtliche Grundlage wurde durch die LkwÜberlStV-AusnV gegeben. Diese Verordnung schreibt u.a. die wissenschaftliche Begleitung des Feldversuches durch die BASt vor. Gründe für den Feldversuch sind vermutete Auswirkungen durch die Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit, den Verkehrsablauf, die Verkehrsqualität und auf die geometrische Gestaltung der Verkehrsanlagen.

Solche Auswirkungen sind u.a. für plangleiche Kreuzungen und für Kreisverkehrsplätze zu erwarten. Ziel der Untersuchung war es deshalb, diese Knotenpunktformen im Realbetrieb mit Lang-Lkw zu untersuchen. Dabei wurden das Fahrverhalten, die Fahrgeometrie und der daraus resultierende Flächenbedarf von Lang-Lkw erfasst. Die Untersuchungsmethodik umfasste vor allem Kameraaufzeichnungen am Lkw und Messungen mit einem Laserscanner. Dadurch konnten die Fahrzeugkanten erfasst werden. Außerdem wurde die Geometrie der Knotenpunkte vermessungstechnisch aufgenommen. Mit einem GIS-Programm wurden die Fahrzeuggeometrien und die Knotenpunktgeometrien in ein CAD-Programm exportiert. Dadurch war es möglich, die Schleppkurven zu erstellen. Die Lang-Lkw wurden außerdem konventionellen Lkw vergleichend gegenübergestellt.

Die real gemessenen Schleppkurven der Lang-Lkw würden auf richtliniengerechte Knotenpunkte passen (Ausnahme getesteter Lang-Lkw-Typ 2). Die überstrichenen Flächen der Lang-Lkw werden durch die Knotenpunkte abgedeckt. Voraussetzung ist aber, dass die Lang-Lkw den Knotenpunkt ideal anfahren und befahren. Diese Ideallinien wurden aber nicht gemessen. Die Fahrer waren immer etwas zu weit rechts oder links im Fahrstreifen, so dass sie dann über den anderen Fahrstreifen oder über den Randstreifen (nicht Bankett) mitgefahren sind.

Im realen Betrieb unter dem realen (Zeit-)Druck muss von solchen Bewegungen und Abweichungen ausgegangen werden. Kurzfristig wäre es noch tolerierbar den Randstreifen zu überfahren – langfristig wäre aber eine Verbreiterung sinnvoll.

Bei Kreisverkehren gilt das nur eingeschränkt. Vorhandene Bewegungsspielräume in den Ausfahrquerschnitten reichen bei  $\frac{1}{4}$ -Kreisfahrten nicht aus. Bei Abweichungen von der idealen Fahrlinie werden in Kreisverkehren der Innenring und Bankette überstrichen oder überfahren.

Die geringsten Abweichungen vom Referenzfahrzeug haben Typ 1 und 5. Diese schnitten teilweise besser ab oder entsprachen dem Fahrverhalten des Referenzfahrzeuges. Am ungünstigsten verhielt sich Typ 2. Hier kam es trotz Ausnutzung der verfügbaren Bewegungsspielräume zu überfahrenen Markierungen und Randstreifen.

### Trafficability of at-grade intersections with long HGV

On January 1, 2012 the Federal Government launched a Germany-wide field trial with long heavy goods vehicles (HGV). This trial has different focuses based on a special traffic ordinance. This regulation requires a scientific monitoring for the field trial by the Federal Road Research Institute (BASt). Reasons for the field trial was to find effects of long HGV on traffic safety, traffic flow, traffic quality and on the geometric design of traffic facilities which are caused by long heavy goods vehicles.

The present study describes in this context the trafficability on at-grade intersections and roundabouts on German motorways. To this aim, the real operation on intersections of the long HGV has been analysed. Therefore the driving behavior, the driving geometry and the resulting space required was measured of each long HGV. The measuring systems were digital cameras and laser scanner. The laser scanner recorded the edge of the HGV with coordinates and save this data in a local coordinate system. The data was imported in a CAD-software, and a tractrix curve for each HGV was prepared. In the end the tractrix curve of each long HGV were compared with a normal truck.

The real measured tractrix curves of the long HGV would fit on guideline planed intersections (with exception of the tested long HGV type 2). The swept area of the long HGV is covered of the intersection. To get this result, the long HGV must drive a ideal line on the intersection. This ideal driving line was not measured in this trial. The drivers were always a bit too far to the right or left site in her driving line. So they drove over the hard shoulder or the neighboring lanes (not the banquet).

At business and under pressure of time, deviations of the ideal driving line must be accept. In the short term it would be more tolerable to drive over the hard shoulder on intersection. But in the long term is a widening of the driving lanes useful.

On roundabouts the long HGV needed all available space, to drive one or three-quarters. In a three-

quarter turn in the roundabout, the outer edges covered the hard shoulder. In a full turn in the roundabout, the long HGV overran the outer boundaries of the roundabout in the exit lane.

The lowest deviations from the reference vehicle have type 1 and 5. This long HGV are better or corresponded with the reference vehicle. The tractrix curve of the tested long HGV (except type 2) matched together with the geometric design of at-grade intersections while driving with ideal driving line. When there are small deviations from the ideal driving line, the long HGV drove over the hard shoulder.

---

## Inhalt

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>2</b> | <b>Literaturanalyse.....</b>  | <b>8</b>  |
| 2.1      | Fahrzeuggrundmaße und der<br>Bewegungsspielraum .....               | 8         |
| 2.2      | Konzept für überlange Fahrzeuge.....                                | 9         |
| 2.3      | Technischer Aufbau der Lang-Lkw .....                               | 10        |
| 2.4      | Untersuchungen zur Ausnutzung des BO-<br>Kraftkreis .....           | 13        |
| 2.5      | Untersuchungen von Kreuzungen und<br>Einmündungen .....             | 14        |
| 2.6      | Untersuchungen von Kreisverkehrsplätzen                             | 15        |
| 2.7      | Elemente plangleicher Knotenpunkte .....                            | 16        |
| 2.8      | Elemente von Kreisverkehrsplätzen.....                              | 18        |
| 2.9      | Schlussfolgerungen für die Untersuchung                             | 19        |
| <b>3</b> | <b>Ziel der Untersuchung .....</b>                                  | <b>21</b> |
| 3.1      | Untersuchungsablauf .....   | 21        |
| 3.2      | Untersuchte Knotenpunkte.....                                       | 23        |
| 3.3      | Verwendete Messtechnik .....  | 24        |
| 3.4      | Durchgeführte Messungen .....                                       | 27        |
| <b>4</b> | <b>Auswertung.....</b>  | <b>28</b> |
| 4.1      | Befahrbarkeit von plangleichen Kreuzungen<br>und Einmündungen ..... | 28        |
| 4.2      | Befahrbarkeit von Kreisverkehren.....                               | 35        |
| <b>5</b> | <b>Schlussfolgerungen für den Einsatz von<br/>Lang-Lkw.....</b>     | <b>40</b> |
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassung.....</b>   | <b>44</b> |
| <b>7</b> | <b>Literaturverzeichnis .....</b>                                   | <b>47</b> |

# 1 Einleitung

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

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

Die Bundesregierung erhofft sich durch dieses Konzept auch eine effizientere Beförderung von sperrigen und voluminösen Gütern sowie eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im nationalen Straßengüterfernverkehr. Das Ladevolumen würde es theoretisch erlauben, drei konventionelle Lkw durch zwei Lang-Lkw zu ersetzen.

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

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

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

Die Lang-Lkw werden auf dem Autobahnnetz und auf ausgewählten Bundesstraßen der teilnehmenden Länder getestet. Dabei sollen neben den o.g. Kriterien konkret z.B. auch die Auswirkungen auf den Fahrablauf und auf den Flächenbedarf bei bestimmten Verkehrsanlagen (z.B. Autobahn-Knotenpunkte, Parkstände, Pannenbuchten) unter

realen Fahrbedingungen untersucht werden.

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

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

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

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

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

Ziel des hier vorliegenden Teilprojektes 09.0284 ist es, die Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte außerhalb bebauter Gebiete durch Lang-Lkw zu untersuchen und zu bewerten. Das Teilprojekt integriert sich in das Gesamtkonzept der begleitenden Untersuchungen zum Feldversuch. So konnte auf Erfahrungen aus anderen Teilprojekten (z.B. FE 09.0180 LIPPOLD / SCHEMMEL 2014) aufgebaut werden. Dort wurden bereits einzelne Knotenpunktelemente an Einmündungen von Autobahnanschlussstellen mit erfasst. Nunmehr sind alle Knotenpunktelemente und zusätzlich Kreisverkehrsplätze mit einem insgesamt größeren Stichprobenumfang zu betrachten. Auf den Feldversuch, auf die Besonderheiten von Lang-Lkw und auf mögliche Untersuchungsmethoden wurde bereits im o.g. Teilprojekt FE 09.0180 ausführlich

eingegangen. Im Sinne eines eigenständigen geschlossenen Berichtes werden jedoch die davon maßgebenden Inhalte in gestraffter Form nochmals mit aufgenommen.

Das vorliegende Teilprojekt bezieht sich auf die Befahrbarkeit von

- Kreuzungen,
- Einmündungen,
- Kreisverkehrsplätze mit Lang-Lkw.

Die Messungen sollen im realen Verkehr und auf realen Verkehrsanlagen erfolgen.

Im Ergebnis der Untersuchung sollen der Platzbedarf von Lang-Lkw auf plangleichen Knotenpunkten und Kreisverkehren ermittelt sowie der eventuell vorhandene Anpassungs- und Änderungsbedarf aufgezeigt werden. Außerdem sind Unterschiede oder Gemeinsamkeiten zu konventionellen Lastzügen als Vergleichsfahrzeuge herauszuarbeiten.



## 2 Literaturanalyse

### 2.1 Fahrzeuggrundmaße und der Bewegungsspielraum

Im vorliegenden Vorhaben wird die Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten im Zuge von Straßen außerhalb bebauter Gebiete mit Lang-Lkw untersucht. Die entwurfstechnischen Grundlagen für die Planung von Knotenpunkten sind in den „Richtlinien für die Gestaltung von Landstraßen (RAL 2012)“ enthalten. Für einen Großteil der im Bestand vorhandenen Knotenpunkte liegen jedoch noch ältere Regelwerke, wie z.B. die „Richtlinien für die Anlage von Straßen - Teil Knotenpunkte (RAS-K 1988)“ zu Grunde.

Nach den alten und neuen Richtlinien sollen Knotenpunkte grundsätzlich

- rechtzeitig erkennbar,
- übersichtlich,
- einheitlich,
- begreifbar bezüglich Verkehrsführung und Vorfahrtregelung sowie,
- leicht und sicher befahrbar bzw. begehbar sein.

Die Befahrbarkeit von Knotenpunkten hängt von den Fahrzeugabmessungen ab. Für den Bewegungsspielraum bei Ein- und Abbiegevorgängen werden Schleppkurven zu Grunde gelegt. Schleppkurven sind sichelförmige Flächen, die durch die Grundform des Fahrzeuges bei einer Kurvenfahrt überstrichen werden. Bei einem Fahrzeug befahren die kurveninneren Räder der Hinterachse immer einen kleineren Radius als die kurvenäußeren Vorderachsräder. Schleppkurven unterscheiden sich bei unterschiedlichen Fahrzeugen. Sie werden durch die Fahrzeuggrundmaße (Radstand, vordere und hintere Überhänge, Knickpunkte) beeinflusst.

Für Querschnittsabmessungen sind die Breite und die Höhe der Fahrzeuge zuzüglich des Bewegungsspielraumes maßgebend. Die Breite beträgt max. 2,55 m (Ausnahme: Kühlfahrzeuge 2,60 m). Die maximale Höhe liegt bei 4,00 m. Die Längen der Fahrzeuge variieren, bei Sattelzugmaschinen betragen sie maximal 16,50 m und bei Zugmaschinen mit Anhänger 18,75 m (StVZO).

Die „Richtlinien für Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen“ (FGSV 2001 / 2005) enthalten die standardisierten fahrgeometrischen Bewegungsspielräume der zulässigen Bemessungsfahr-

zeuge. Diese Daten werden für fahrgeometrische Bemessungen von Straßenplanungen herangezogen.

| Fahrzeugart                            | Außenabmessungen (m) |                    |                    |                 |                    |      |                        |
|--|----------------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|------|------------------------|
|  | Länge                | Radstand           | Überhang vorn      | Überhang hinten | Breite             | Höhe | Wendekreisradius außen |
| <b>Lastzug:</b>                        | 18,71                |                    |                    |                 |                    |      |                        |
| Zugfahrzeug (3-achsiger) <sup>1)</sup> | 9,70                 | 5,28 <sup>1)</sup> | 1,50               | 2,92            | 2,55 <sup>4)</sup> | 4,00 | 10,30                  |
| Anhänger (2-achsiger)                  | 7,45                 | 4,84               | 1,35 <sup>3)</sup> | 1,26            | 2,55               | 4,00 | 10,30                  |
| <b>Sattelzug:</b>                      | 16,50                |                    |                    |                 |                    |      |                        |
| Zugmaschine (2-achsiger)               | 6,08                 | 3,80               | 1,43               | 0,85            | 2,55 <sup>4)</sup> | 4,00 | 7,90                   |
| Auflieger (3-achsiger) <sup>1)</sup>   | 13,61                | 7,75 <sup>1)</sup> | 1,61               | 4,25            | 2,55               | 4,00 | 7,90                   |
| <b>Höchstwerte der StVZO (2012)</b>    |                      |                    |                    |                 |                    |      |                        |
| Kraftfahrzeuge                         | 12,00                |                    |                    |                 |                    |      |                        |
| Anhänger                               | 12,00                |                    |                    |                 | 2,55 <sup>5)</sup> | 4,00 | 12,50                  |
| Lastzug                                | 18,75                |                    |                    |                 |                    |      |                        |
| Sattelzug                              | 16,50                |                    |                    |                 |                    |      |                        |

<sup>1)</sup> Bei 3-achsigen Fahrzeugen ist die hintere Tandemachse zu einer Mittelachse zusammengefasst  
<sup>2)</sup> Bei 3-achsigen Fahrzeugen mit Nachlaufachse entspricht der Radstand dem Wert zwischen der Vorderachse und der vorderen Achse der hinteren Tandemachse  
<sup>3)</sup> Ohne Deichsellänge  
<sup>4)</sup> Ohne Außenspiegel  
<sup>5)</sup> Aufbauten von klimatisierten Fahrzeugen bis 2,60 m

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

Grundlage für die Bewegungsspielräume von Fahrzeugen über 3,5 t sind die Untersuchungsergebnisse von SCHNÜLL (2001). SCHNÜLL hat in seinen Untersuchungen einen großen Umfang an Schwerverkehrsfahrzeugen vermessen und statistisch ausgewertet.

Verkehrsanlagen werden aus ökonomischen Gründen nicht nach den maximal auftretenden Fahrzeugen bemessen (selten auftretender Großraumtransport). Für die Überprüfung von geplanten Verkehrsanlagen werden Bemessungsfahrzeuge

herangezogen, die in ihren Abmessungen einem "85 %-Fahrzeug" eines Fahrzeugtyps entsprechen. Die Bemessungsfahrzeuge sind mit ihren Achsständen und den Fahrzeugüberhängen einem 85%-Quantil aller untersuchten Fahrzeuge eines Fahrzeugkollektives am Ähnlichsten (Tab. 1).

Zur Überprüfung der Abmessungen wurden von der TU Braunschweig erneut Untersuchungen der Abmessungen des Schwerverkehrs vorgenommen (FRIEDRICH u.A. 2013). Nach dem Vorbild von SCHNÜLL wurden Fahrzeugparameter (Achsabstände, Fahrzeugüberhänge und Gesamtlängen) untersucht und ausgewertet. Die Ergebnisse ergaben, dass sich die Abmessungen im Schwerverkehr nur minimal im Vergleich zu den Ergebnissen von SCHNÜLL (2001) verändert haben.

Neben den Abmessungen von Fahrzeugen wird durch den § 32 d StVZO auch die Einhaltung des BO-Kraftkreises als Zulassungsvoraussetzung vorgeschrieben (Ziffer 2.3).

## 2.2 Konzept für überlange Fahrzeuge

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

Die zu untersuchenden Fahrzeugkombinationen werden nach §3 der LkwÜberIStVAusN in fünf Typen (Bild 70) eingeordnet. Alle Fahrzeugkombinationen mit einer Maximallänge von bis zu 25,25 m basieren auf modularen Kombinationen (European Modular System - EMS). Eine Ausnahme bildet der verlängerte Sattelaufleger des Typs 1, er stellt eine Sonderanfertigung dar und erreicht mit Zugfahrzeug eine Gesamtlänge von bis zu 17,80 m.

EMS- ist ein Konzept, bei dem konventionelle Module zu überlangen Fahrzeugkonzepten zusammengefügt werden. Durch konventionelle Abmessungen sind Umschlagtechnologien weiterhin nutzbar. Bei gleichem Ladevolumen können zwei Lang-Lkw drei konventionelle Lkw ersetzen. Im deutschen Feldversuch sind die folgenden Lang-Lkw vertreten:

- Typ 1 - Sattelkraftfahrzeug mit bis zu 17,80 m (Bild 1),
- Typ 2 - Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsanhänger bis zu 25,25 m (Bild 2),

- Typ 3 - Lastkraftwagen mit Untersetzachse und Sattelanhänger bis zu 25,25 m (Bild 3),
- Typ 4 - Sattelkraftfahrzeug mit einem weiteren Sattelanhänger bis zu 25,25 m (Bild 4),
- Typ 5 - Lastkraftwagen mit einem Anhänger bis zu 24,00 m (Bild 5).

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

### Typ 1

Lang-Lkw vom Typ 1 bestehen aus einer Sattelzugmaschine, mit einem verlängerten Sattelaufleger (auch „EuroTrailer“ genannt). Das zulässige Höchstmaß für dieses überlange Sattelkraftfahrzeug beträgt 17,80 m. Hierbei ergibt sich eine Verlängerung des Fahrzeughecks um 1,00 m hinter dem Dreiachsaggregat und 0,3 m vor dem Königsbolzen. Das verlängerte Sattelkraftfahrzeug bietet den gleichen Palettenstauraum wie ein konventioneller Lkw mit Anhänger, ist aber rund 1,00 m kürzer. Das soll sich positiv auf die Infrastruktur und die Verkehrssicherheit, etwa bei Überholvorgängen, auswirken (KOEGL 2013).



Bild 1 Lang-Lkw Typ 1

### Typ 2

Die zweite Fahrzeugkombination besteht aus einem Sattelzug mit einem angehängten Tandemachsanhänger. Die Achsen des Anhängers sind zentral in der Mitte angeordnet. Dabei gibt es in Abhängigkeit von der Achslast Ausführungen mit einer, zwei oder drei Achsen. Die Richtlinie 96/53/EG sieht aber nach dem modularen Konzept nur zwei oder drei Achsen vor. Insofern dürfen nur diese an den Lang-Lkw angehängt werden. In der Praxis hat sich gezeigt, dass am häufigsten ein zweiachsiger Anhänger

eingesetzt wird. In der Regel sind beide Achsen starr. Vereinzelt gibt es Modifikationen, bei denen die Vorderachse gelenkt werden kann. Durch die Anordnung der Achsen entsteht ein zentraler Rotationspunkt. Der Tandemachsanhänger besitzt damit eine gute Wendigkeit.



Bild 2 Lang-Lkw Typ 2

### Typ 3

Das im Feldversuch am häufigsten vertretene Fahrzeugkonzept ist der Typ 3. Die Verbindung zwischen Lastkraftwagen und Sattelanhänger geschieht mittels Untersetzachse (Dolly). Bei Typ 3 können gelenkte und un gelenkte Dollys vorkommen. Um bei un gelenktem Dolly die Kurvenlaufeigenschaften zu verbessern, werden Lenkachsen eingesetzt.



Bild 3 Lang-Lkw Typ 3

### Typ 4

Typ 4 ist eine Kombination aus zwei Sattelauflegern (Bild 70). Dabei zieht ein Sattelkraftfahrzeug einen Sattelaufleger, der eine Sattelkupplung für einen zweiten Sattelaufleger hat. Diese Variante kommt vor allem in Kanada, Australien, den USA, Schweden und Finnland zum Einsatz. In Kanada kommen solche Kombinationen als "queen city triples" mit einem zusätzlich gezogenen Sattelaufleger (mit Untersetzachse) zum Einsatz (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY 2006, COUNCIL OF MINISTERS OF TRANSPORTATION AND HIGHWAY SAFETY 2011, BUNDESVERBAND GROSSHANDEL, AUSSENHANDEL, DIENSTLEISTUNGEN E.V. 2006). Im Feldversuch in Deutschland wird diese Fahrzeugkombination nur selten eingesetzt, sie spielt eher eine untergeordnete Rolle. In Norwegen

wurde diese Bauform im Vergleich zu Typ 2 und Typ 3 häufiger verwendet (EIDHAMMER 2009). Die Fahrzeuglängen waren in Deutschland und in Norwegen identisch. (ANDERSEN 2009). Diese Fahrzeugkombination wurde wie Typ 2 und 3 auch im niederländischen Feldversuch erprobt (Arts 2010).



Bild 4 Lang-Lkw Typ 4

### Typ 5

Typ 5 ist eine Zugmaschine mit Anhänger. Diese Fahrzeugkombination unterscheidet sich von einem herkömmlichen Gliederzug nur durch die Länge. In Kanada sind diese Fahrzeuge als „Pony Trailer Combination“ oder „Full Trailer Combination“ mit Längen von bis zu 23 m bekannt (COUNCIL OF MINISTERS OF TRANSPORTATION AND HIGHWAY SAFETY 2011). Im deutschen Feldversuch darf diese Fahrzeugkombination eine Gesamtlänge von bis zu 24 m besitzen. Die am Versuch teilnehmenden Fahrzeuge erreichten durch ihre Einsatzbestimmung nur eine Länge von 23 m. 24 m lange Fahrzeuge kamen im deutschen Feldversuch bisher nicht vor. Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf des Berichtes nur von Typ 5\* gesprochen, um die spezifische Fahrzeuglänge zu berücksichtigen.



Bild 5 Lang-Lkw Typ 5\*

## 2.3 Technischer Aufbau der Lang-Lkw

Die am Versuch teilnehmenden Fahrzeugtypen sind auf modularer Basis zusammengestellt. „Modular“ bezeichnet dabei die Kombination StVZO zulässiger Zugmaschinen und Anhänger zu Lang-Lkw. Die einzige Ausnahme stellt Typ 1 dar, bei dem es sich um einen verlängerten Sattelaufleger handelt.

In der Ausnahmeverordnung der Lang-Lkw sind

die Anzahl lenkbarer Achsen oder deren Position nicht festgelegt (BMVBS 2012). Die Notwendigkeit von zusätzlich gelenkten Achsen bei Fahrzeugen dieser Länge ergibt sich aus den Anforderungen an die Kurvenlaufeigenschaften nach §32 d StVZO (BMVBS 2011). Ohne zusätzliche Lenkachsen kann es passieren, dass ein Fahrzeug nicht den vorgeschriebenen BO-Kraftkreis nach §32 d Abs. 1 einhalten kann. Für die Zulassung zum Feldversuch muss nach §7 LkwÜberlStVAusnV die Einhaltung des BO-Kraftkreises durch ein Gutachten für die jeweilige Fahrzeugkombination mit Überlänge nachgewiesen werden. Der "BO-Kraftkreis" soll gewährleisten, dass ein Fahrzeug Kurvenfahrten im gesamten öffentlichen Straßennetz problemlos durchführen kann. (STÜRMER 2009). Fahrzeugbetreiber müssen dies dann absichern, wenn sie ihre Anhänger und Sattelaufleger individuell anfertigen lassen (Auskunft der Spediteure bei Gesprächen).

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

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

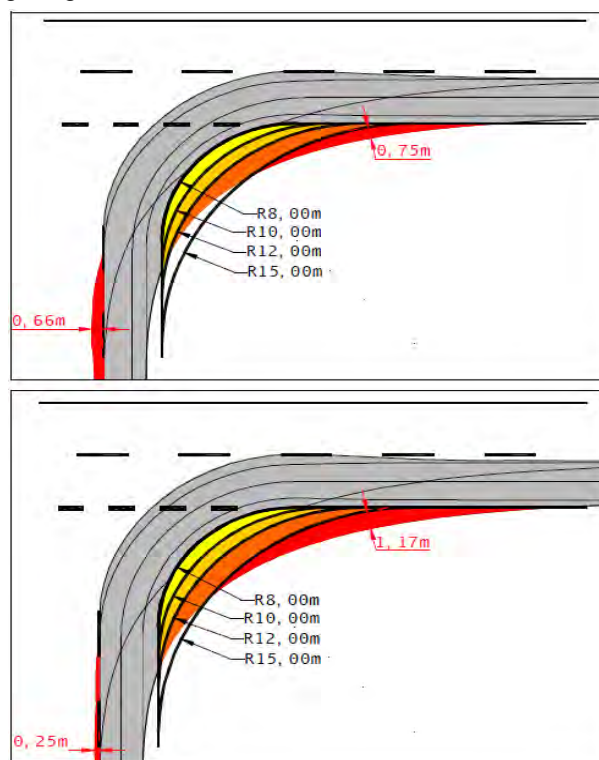
### Technische Modifikationen

Der Einfluss auf das Fahrverhalten kann durch gelenkte Untersetzachsen (Dollys), gezogene

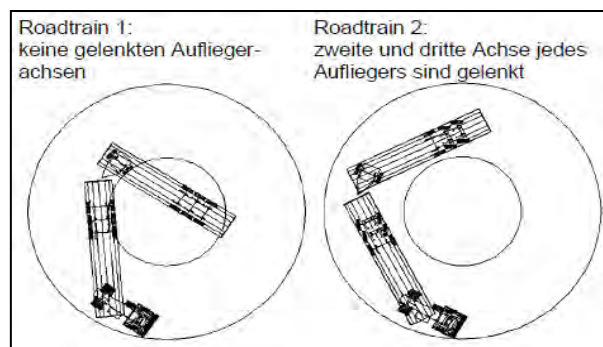
Lenkachsen (Bild 7), Liftachsen und verschiedene Positionen der Knickpunkte erreicht werden.

### Lenkbare Nachziehachsen

Gezogene Lenkachsen führen zum Ausschwenken des Aufliegerhecks auf der kurvenäußeren Seite (Bild 6 und Bild 7). Nebeneffekt ist eine kleinere Flächenbeanspruchung auf der kurveninneren Seite (GLAESER 2008). Bild 7 verdeutlicht diesen Zusammenhang. Es ist erkennbar, dass der Auflieger mit gezogener Lenkachse am Anfang des Einbiegevorganges weiter ausschwenkt. Dagegen fällt der Flächenbedarf auf der kurveninneren Seite geringer aus.



**Bild 6** Lang-Lkw Typ 3 mit (oben) und ohne (unten) gezogener Lenkachsen und jeweils starren Dolly (Glaeser 2008)



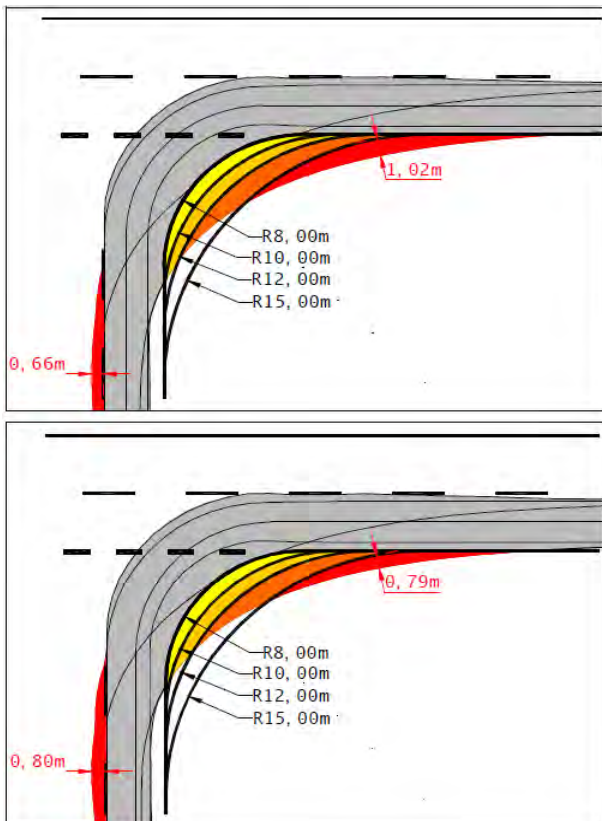
**Bild 7** Unterschied von gelenkten und nicht gelenkten Aufliegern (Fka 2005)



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

**Liftachsen**

Bei geringen Zuladungen sind Liftachsen nicht erforderlich. Sie können dann angehoben werden. Dadurch verändert sich der Drehpunkt des Anhängers. Bei einem Anhänger mit gelifteter Achse (liftbare letzte Achse) erhöht sich nach dem Liften der Überhang am Heck. Bild 8 zeigt einen Vergleich mit und ohne gelifteter Achse. Mit einer gelifteten Achse kann sich der Anhänger weiter eindrehen. Der Überhang am Heck des Fahrzeuges schwenkt weiter aus (0,8 m statt 0,7 m). Es ergibt sich eine geringere Platzbeanspruchung auf der kurveninneren Seite. Diese Eigenschaft wird unter anderem bei Lang-Lkw des Typ 2 angewandt. Bei Geschwindigkeiten von < 30 km/h wird die dritte Achse des Sattelauflegers geliftet. Der Kupplungspunkt des Tandemachsanhängers schwenkt dadurch weiter aus. Somit wird bei Abbiegevorgängen weniger Fläche auf der kurveninneren Seite benötigt (GLAESER 2008, LIENKAMP U. A. 2013).

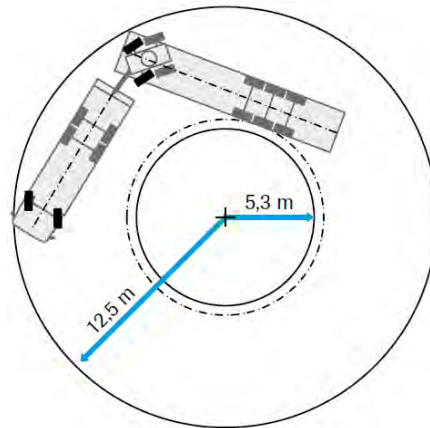


**Bild 8** Lang-Lkw Typ 2 mit abgesenkter (oben) und gelifteter (unten) 5. Achse (GLAESER 2008)

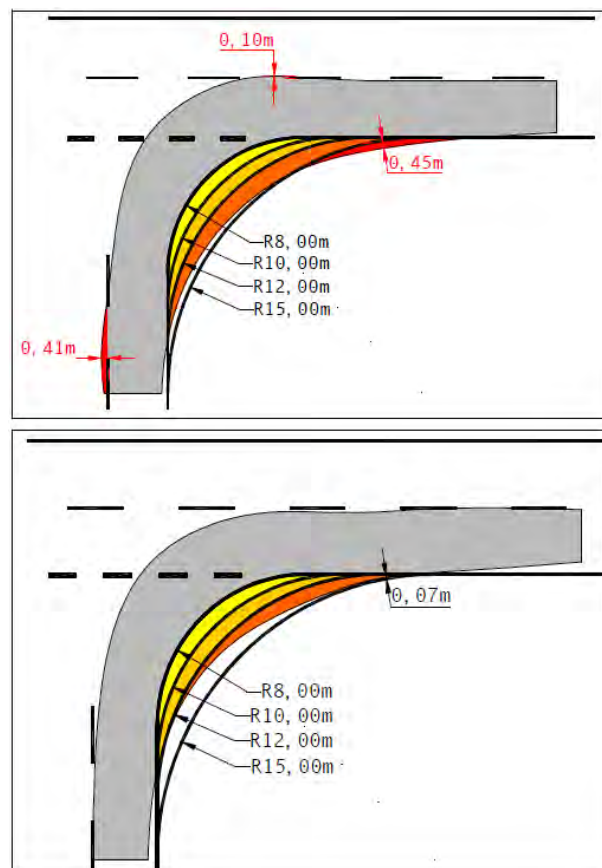
**Gelenkte und ungelenkte Dollys**

Die lenkbare Untersetzachse (Dolly) führt dazu, dass der Sattelaufleger einen weiteren Bogen als

bei einem starren Dolly überstreicht (Bild 9) (STÜRMER 2009). Dollys werden ausschließlich bei Lang-Lkw des Typ 3 verwendet. In Bild 10 ist ein Vergleich der unterschiedlichen Dollytypen enthalten. Der gelenkte Dolly zeigt eine deutlich schlankere Schleppkurve.



**Bild 9** Einhaltung des "BO-Kraftkreis" nach §32 StVZO mit gelenktem Dolly (VDA Presse 2011)

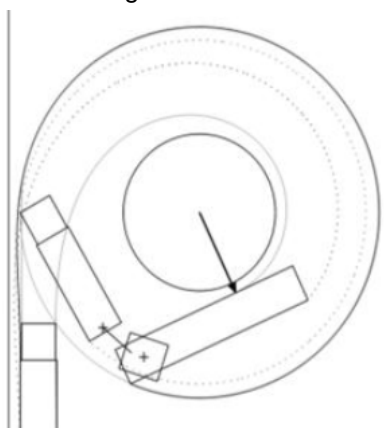


**Bild 10** Lang-Lkw Typ 3 mit starren (oben) und gelenktem (unten) Dolly (GLAESER 2008)

**Kuppelpunkt der Dollys**

Dollys werden durch die Art der Kupplung am Zugfahrzeug unterschieden. Bei tiefgekuppelten

Dollys ist der Kupplungspunkt nah an der letzten Zugfahrzeugachse. Der Kupplungsüberhang ist dadurch sehr kurz. Aus diesem Grund wird eine lange Deichsel zum Dolly notwendig. Bei einem hochgekuppelten Dolly ist ein großer Kupplungsüberhang vorhanden. Bei dieser Lösung ist eine kürzere Deichsel notwendig. Tiefgekuppelte Dollys neigen im BO-Kraftkreis weiter zum Außenrand zu schwenken. Besitzt das Zugfahrzeug zusätzlich eine gelenkte Nachziehachse, können Fahrzeugkanten über den Außenring hinausragen. Einen solchen Grenzfall zeigt Bild 11.



**Bild 11** Simulation Kreisfahrt tiefgekuppelter Dolly [LIENKAMP U. A. 2013]

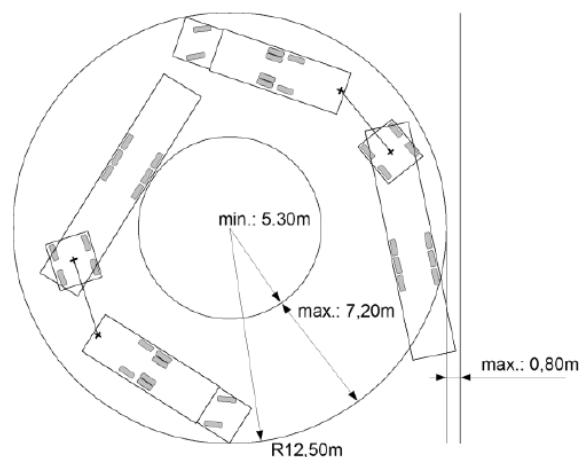
Hochgekuppelte Dollys nutzen gegenüber den tiefgekuppelten Dollys nicht die gesamte Kreisfahrbahn des BO-Kraftkreises (LIENKAMP U. A. 2013).

### Einfluss der Geschwindigkeit

Weitere Einflüsse auf das Kurvenfahrverhalten ist die Geschwindigkeit, mit der ein Fahrzeug fährt. Nach GLAESER (2008) verursachen bereits bei geringen Geschwindigkeiten und geringen Geschwindigkeitsänderungen die dabei auftretenden Zentrifugalkräfte einen größeren Bogen mit entsprechendem Platzbedarf auf der Kurvenaußenseite. Die Fahrzeugkombinationen haben durch die auftretenden Fliehkräfte eine schmalere Schleppkurve. Messfahrten im BO-Kraftkreis von GLAESER (2008) haben ergeben, dass Geschwindigkeitsunterschiede von rund 9 km/h einen Unterschied von ca. 0,4 m in der überstrichenen Ringfläche verursachen. Auch Friedrich hat in seinen Untersuchungen den Einfluss unterschiedlicher Geschwindigkeiten auf die Schleppkurven untersucht. Bei zügiger Fahrweise entstanden größere Abweichungen von den simulierten Schleppkurven von bis zu 0,30 m (FRIEDRICH U.A. 2013). Simulationen von Schleppkurven beinhalten keine fahrdynamischen Einflüsse.

## 2.4 Untersuchungen zur Ausnutzung des BO-Kraftkreis

Der BO-Kraftkreis dient zum Nachweis der Kurvenlaufeigenschaften von Fahrzeugen. Sein Außendurchmesser beträgt 12,5 m, der Innendurchmesser 5,2 m (Bild 12). Beim Befahren der Kreisfahrbahn dürfen Fahrzeugüberhänge nicht weiter als 0,8 m über die Einfahrtangente hinausragen.



**Bild 12** Darstellung BO-Kraftkreis gemäß §32 d StVZO [LIENKAMP U. A. 2013]

Der nach §32 d StVZO geforderte BO-Kraftkreis spiegelt nach GLAESER (2008) die Verhältnisse auf realen Straßen nur unzureichend wider. Trassierungsparameter von Straßen weichen von den Flächen des BO-Kraftkreises deutlich ab. Die Fahrstreifenbreite eines BO-Kraftkreises beträgt 7,2 m. Dagegen sind Fahrstreifen in Knotenpunkten nur 3,5 m bis 4,5 m breit. Außerdem berücksichtigt ein BO-Kraftkreis keine drei aufeinanderfolgenden Richtungsänderungen wie sie in Kreisverkehren vorkommen.

Studien in den Niederlanden haben beim dortigen Feldversuch gezeigt, dass einige getestete Fahrzeuge den BO-Kraftkreis nicht einhalten konnten. In den Niederlanden müssen Lang-Lkw eine Kreisfahrbahn von 14,5 m Außenradius und 6,5 m Innenradius einhalten. Der Grund für die Aufweitung sind die auf Sondertransporte ausgelegten Verkehrsanlagen, die sich mit dem Positivnetz für die Lang-Lkw deckten (AKERMAN 2007). Für die Zulassung von Lang-Lkw müssen in Schweden die Außenmaße eines BO-Kraftkreises mit 12,5 m und einem Innenradius von 2,0 m eingehalten werden (AKERMAN 2007). Länder wie Dänemark und Norwegen haben keine abweichenden Vorgaben für den BO-Kraftkreis (HONER 2010).

LIENKAMP U. A. (2013) hatten im Rahmen des Feldversuches in Deutschland Untersuchungen der

Lang-Lkw durchgeführt. Durch Simulationen und Fahrversuche wurde das Fahrverhalten unterschiedlicher Lang-Lkw untersucht.

### Typ 1

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

### Typ 2

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

### Typ 3

Bei Typ 3 entscheiden Eigenschaften wie ungelenkter oder gelenkter Dolly sowie tief- oder hochgekuppelter Dolly über die Einhaltung des BO-Kraftkreises. Generell nutzen Fahrzeuge mit tiefgekuppeltem Dolly die maximale Kreisringbreite von 7,2 m am weitesten aus. Hochgekuppelte Fahrzeuge sind vergleichsweise unkritisch. Der Hecküberhang des Kupplungspunktes am Sattelaufleger spielte dabei eine wichtige Rolle.

### Typ 4

Bei Typ 4 wurde der BO-Kraftkreis durch eine Liftachse (Achse 5) und eine Nachziehachse (Achse 4) eingehalten. Das Fahrzeug überstrich eine Kreisringbreite von 7,2 m. Bei GLAESER be-

nötigte das getestete Fahrzeug 6,8 m Kreisringbreite. Dort hatte der Typ 4 drei gelenkte Achsen (6., 7. und 10. Achse). Dadurch erreichte er besonders gute Kurvenlaufeigenschaften. Das von Glaeser seinerzeit getestete Fahrzeug entsprach den geometrischen Regularien der im deutschen Feldversuch untersuchten Lang-Lkw-Kombination Typ 4 (Bild 13).

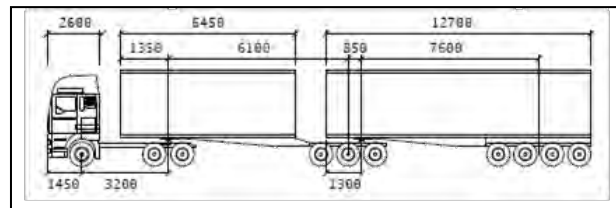


Bild 13 Lastzugkombination Typ 2 [Glaeser 2008]

### Typ 5\*

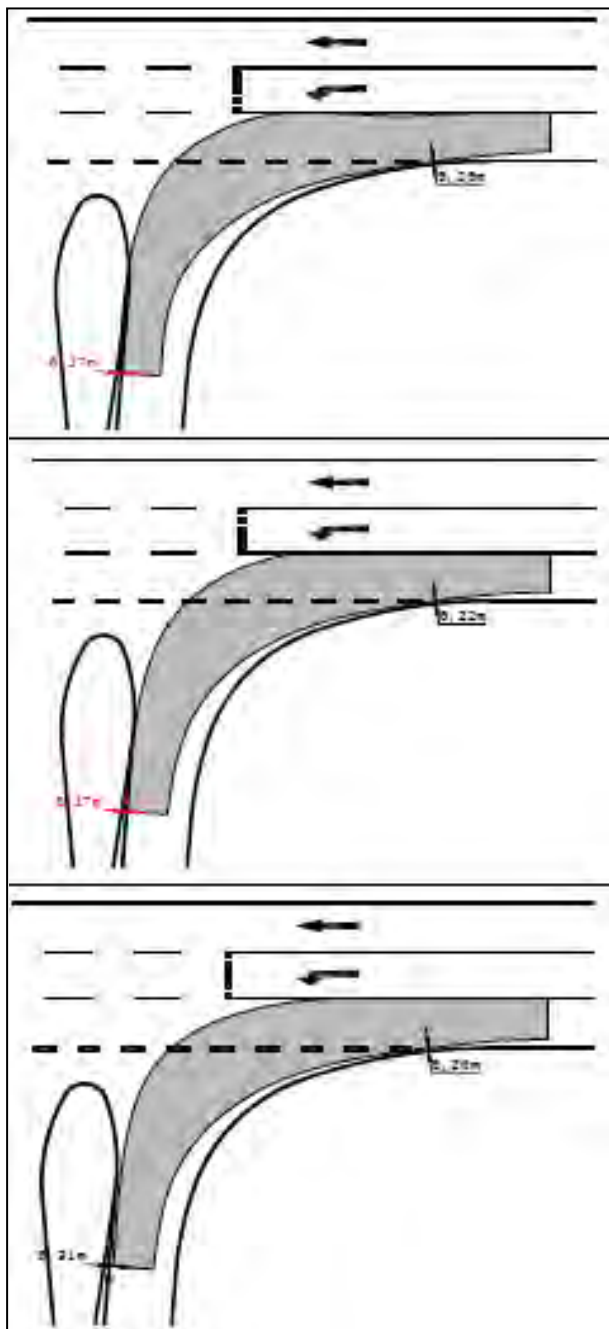
Die Untersuchungen von LIENKAMP U. A. (2013) ergaben für den verlängerten Gliederzug (Typ 5\*) eine überstrichene Kreisringbreite von 6,2 m. Der weit überhängende Kupplungspunkt des Drehdeichselanhängers ermöglichte es, dass der Anhänger in der Kreisfahrt weiter am Außenrand fuhr. Dadurch ergab sich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

## 2.5 Untersuchungen von Kreuzungen und Einmündungen

Für Einmündungen und Kreuzungen ist das Rechtseinbiegen der maßgebend kritische Fall. GLAESER hat 2008 das Rechtseinbiegen an Einmündungen Außerorts und Innerorts untersucht. Die Fahrstreifenbreiten betragen 4,5 m in der Zufahrt und 3,5 m in der übergeordneten Straße. Die Zufahrten hatten einen großen Tropfen und eine dreiteilige Eckausrundung. Alle Fahrer mussten die Einmündungen befahren, ohne die Fahrstreifen der entgegenkommenden Verkehrsteilnehmer zu überstreichen. Trotz dieser Vorgaben für die Abbiegevorgänge wurde der kurveninnere Seitenraum nicht überfahren (Bild 14) (GLAESER 2008). In der ausländischen Literatur konnten vergleichbare Fahrversuche nicht gefunden werden.

In den Untersuchungen von FRIEDRICH U. A. wurde das Ab- und Einbiegen an Kreuzungen untersucht. Für die Kreuzungswinkel 60, 80 und 100 gon wurde, wie bei der Kreisverkehrsuntersuchung,

eine Simulation durchgeführt (Bild 79 bis Bild 81). Durch große Radstände kam es auf der Kurveninnenseite zum Kurvenschneiden. Am deutlichsten zeigte sich das bei einem herkömmlichen Sattelzug mit gelifteter Aufliegerachse. Weniger deutlich trat dies beim Sattelzug mit verlängertem Auflieger, beim normalen Sattelzug sowie beim Lastzug mit Zentralachsanhänger auf. Der betrachtete Lang-Lkw (Typ 5) war ebenfalls unauffällig.



**Bild 14** Vergleich - Einbiegen an außerörtlichen Einmündungen (von Oben nach Unten) Typ 2, Typ 3, Typ 4

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

Untersuchungen von ISIKLAR (2007) zu Lang-Lkw ergaben, dass der Typ 5 (Bild 88) bei rechtwinkligen Abbiegevorgängen die schmalsten Schlepplinien hat. Dafür wurden Simulationen von Kreisfahrten und Abbiegevorgängen unterschiedlicher Lkw-Kombinationen durchgeführt. Es gab keine Hinweise auf die Positionen der gelenkten Achsen. Für die Abbiegevorgänge wurde eine Kurvenfahrt auf einem 12,8 m Radius mittig der Lenkachse angenommen (Bild 87). Die Ergebnisse ergaben entgegen AKERMAN, dass Typ 5 bessere Kurvenlaufeigenschaften als die anderen Kombinationen besaß (Tab. 13).

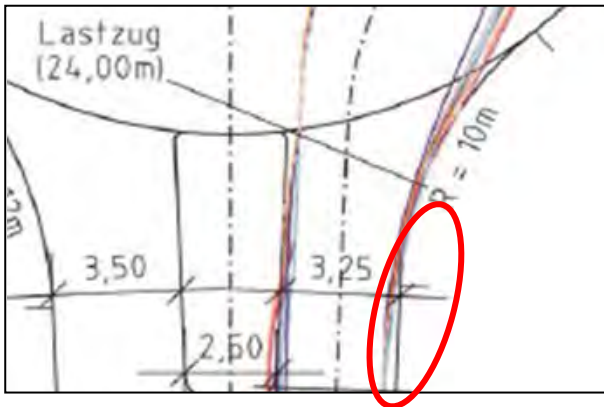
Zusammengefasst ist nach ISIKLAR (2007) das Kurvenfahrverhalten von Typ 2 und Typ 3 annähernd gleich. Typ 5 schneidet im Vergleich dazu am besten ab und Typ 4 am schlechtesten.

Die Untersuchungen von Glaeser haben gezeigt, dass der Lang-Lkw Typ 4 bei Rechtseinbiegevorgängen die besten Fahreigenschaften besitzt. Bild 14 zeigt dies an einer Einmündung außerorts. Bei Typ 4 werden die Markierungen und Randstreifen nicht überstrichen oder überfahren.

## 2.6 Untersuchungen von Kreisverkehrsplätzen

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





**Bild 15** Überstreichung Eckausrundung ,Typ 5\* [FRIEDRICH U.A. 2013]

Untersuchungen von GLAESER (2008) im Kreisverkehr ( $R=35\text{ m}$ ) ergaben, dass alle getesteten Lang-Lkw (Typ 2, 3, 4) den Kreisverkehr befahren konnten (Bild 82 und Bild 83). Allerdings wurde dabei die Fahrbahn in vollem Umfang in Anspruch genommen. Außerdem kam es bei der  $\frac{3}{4}$ -Kreisbefahrung zu Überstreichungen der inneren und äußeren Fahrbahnränder. FRIEDRICH U. A. haben in ihren Untersuchungen Simulationen mit Kreisverkehren durchgeführt. Die Kreisverkehre besaßen Durchmesser von 26 m, 30 m und 40 m. In den Simulationen wurden ein:

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

Bild 15 zeigt einen Ausschnitt der Simulationsergebnisse. FRIEDRICH U.A. haben in ihren Untersuchungen (Bild 79 bis Bild 81) festgestellt, dass Typ 1 die drei Kreisverkehre problemlos befuhr. Der von FRIEDRICH U.A. konfigurierte Typ 5, der jedoch aufgrund einer ungünstigen Achsanordnung den BO-Kraftkreis nicht einhält, hatte bei der Einfahrt in den Kreisverkehr (26 m Durchmesser) eine zum Fahrbahnrand versetzte Schleppkurve. In den Simulationen zeigte vor allem der Autotransporter großflächige Überstreichungen.



**Bild 16**  $\frac{1}{4}$  Kreisdurchfahrt Vergleich Simulation - Fahrversuch, Typ 1 [FRIEDRICH U.A. 2013]

Friedrich hat in seinen Untersuchungen Vergleiche der Simulationen mit Fahrversuchen durchgeführt. Eine vergleichende Untersuchung mit Typ 1 ergab eine gute Übereinstimmung der Simulation und des tatsächlichen Fahrversuches (Bild 16). Die Abbildung zeigt, dass die Ergebnisse der Simulationen auch bei realen Fahrversuchen erreicht werden können.

In den Untersuchungen der  $\frac{1}{4}$ -Kreisdurchfahrt von GLAESER beschränkten sich die Überstreichungen bei Typ 2 und 3 auf den linken Fahrbahnrand der Ausfahrt. Der Lang-Lkw Typ 4 schnitt bei den Fahrversuchen mit einem guten Fahrverhalten in beiden Kreisfahrten ab (Bild 72 (Fahrversuch) und Bild 73 (Simulation)).

Die Untersuchungen von FRIEDRICH U.A. ergaben keinerlei Auffälligkeiten für die betrachteten Lang-Lkw (Bild 74 bis Bild 76). Wie bei der  $\frac{1}{4}$ -Kreisdurchfahrt fiel bei der  $\frac{3}{4}$ -Kreisdurchfahrt der Autotransporter durch großflächige Überstreichungen auf.

## 2.7 Elemente plangleicher Knotenpunkte

Plangleiche Knotenpunkte werden nach den aktuellen Richtlinien (RAL) entsprechend der Entwurfsklassen (EKL) mit verschiedenen Knotenpunktbestandteilen entworfen. Unterschieden werden Linksabbieger-, Rechtsabbieger- und Zufahrtentypen. Die Einordnung der Entwurfsbestandteile soll eine Standardisierung und Wiedererkennbarkeit innerhalb der einzelnen EKL bewirken. Die Abmessungen (Fahrstreifenbreiten und Ausrundungsradien) sind für die einzelnen Entwurfsbestandteile vorgegeben. Knotenpunkte im Bestand konnten durch die Planer mit größeren Ermessensspielräumen geplant werden. Daher ist eine derart strikte Standardisierung, wie sie die RAL vorgeben, nicht vorhanden.

Es ist davon auszugehen, dass Speditionen und Logistikdienstleister nur an Landstraßen angeschlossen sind, die zukünftig nach den Vorgaben der Entwurfsklassen 1 bis 3 zu planen sind. Weiterhin ist anzunehmen, dass Straßen, die zukünftig gemäß der EKL 4 gestaltet werden, für Lang-Lkw nicht bedeutsam sind, da Straßen mit einer entsprechenden geringen Verbindungsfunktion im Positivnetz des Feldversuches nicht vorhanden waren. Nach den alten Richtlinien sind Knotenpunkte der Straßenkategorie A und B maßgebend.

Für die Abbiegevorgänge von der übergeordneten in die untergeordnete Straße kommen die Linksabbiegetypen LA 1 und LA 2 nach Tab. 2 in Frage. Die Fahrstreifenbreiten betragen jeweils 3,25 m. Linksabbiegerfahrstreifen, nach den alten Richtlinien, können eine Fahrstreifenbreite ab 3,0 m besitzen.

Für Rechtsabbiegevorgänge sind die Rechtsabbiegetypen 1 bis 5 möglich (Tab. 3). Die Einsatzbereiche der Rechtsabbiegetypen werden durch die Entwurfsklassen festgelegt. Jedem Rechtsabbiegetyp wird ein Zufahrtstyp in der untergeordneten Straße zugewiesen.

| Linksabbiegetypen | Skizze |
|-------------------|--------|
| LA 1              |        |
| LA 2              |        |

$L_z$  = Verziehungsstrecke  
 $L_v$  = Verzögerungsstrecke  
 $L_a$  = Aufstellstrecke

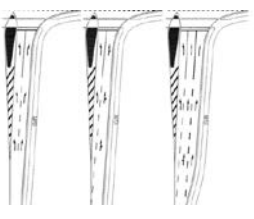
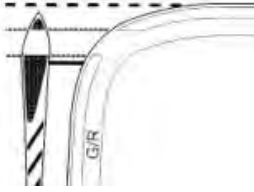
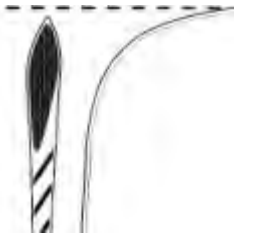
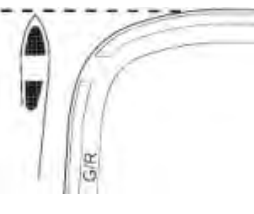
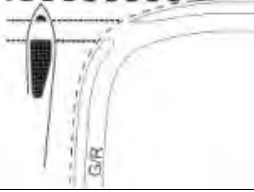
Tab. 2 Linksabbiegetypen nach RAL (FGSV 2012)

| Rechtsabbiegetypen | Skizze | Zugeordneter Zufahrtstyp |
|--------------------|--------|--------------------------|
| RA 1               |        | KE 1                     |
| RA 2               |        | KE 2                     |
| RA 3               |        | KE 3                     |
| RA 4*              |        | KE 4                     |

\* mit Auffahrkeil  
 zulässige Rad- und Fußgängerführungen sind grau dargestellt

Tab. 3 Rechtsabbiegetypen nach RAL (FGSV 2012)

Ein Einbiegevorgang erfolgt von der untergeordneten in die übergeordnete Straße. Zur Verdeutlichung der Wartepflicht sind in den untergeordneten Zufahrten Fahrbahnteiler angeordnet (Tab. 4). Die Fahrbahnbreite der übergeordneten Fahrstreifen beträgt 3,5 m.

| Zugeordneter Zufahrtstyp                                    | Skizze  | Rechtsabbiegetypen |
|---|---|--------------------|
| KE 1  |    | RA 1               |
| KE 2  |    | RA 2               |
| KE 3  |   | RA 3               |
| KE 4  |  | RA 4*              |
| KE 5  |  | RA 5               |
| zulässige Rad- und Fußgängerführungen sind grau dargestellt |   |                    |

Tab. 4 Zufahrtstypen für Kreuzen und Einbiegen nach RAL (FGSV 2012)

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

Die Form der Tropfen richtet sich nach den geometrischen Fahrverläufen der Bemessungsfahrzeuge. Die Gestaltung der Fahrbahnteiler (Tropfen) wurde von den alten Richtlinien in den Neuen übernommen.

Die Eckausrundungen der Knotenpunktzufahrten werden über Radienrelationen realisiert (Bild 17). Unterschiede der Eckausrundungen gegenüber

den alten Richtlinien sind nicht vorhanden.

Die Radienrelation beträgt:

$$R_E : R_H : R_A = 2 : 1 : 3.$$

$R_E$  [m] = Einleitender Radius

$R_H$  [m] = Hauptbogenradius

$R_A$  [m] = Ausleitender Radius.

Der Korbbogen entspricht in seinem Verlauf der Schleppkurve der Kraftfahrzeuge. Der mittlere Radius ( $R_H$ ) ist so zu wählen, dass ab- und einbiegende Fahrzeuge die Nachbarfahrstreifen nicht mitbenutzen müssen. Für die Rechtsabbiegetypen RA 2, 3 und 5 sollte der Hauptbogenradius 15 m und 12 m für die Zufahrten KE 1, 2, 3, 4 und 5 betragen.

Die Radien der Eckausrundungen waren nach den alten Richtlinien mit einem größeren Ermessensspielraum durch den Planer festgelegt worden. Durch umfangreiche Tabellen konnten in Abhängigkeit der Ein- und Ausfahrquerschnitte die Ausrundungsradien gewählt werden.

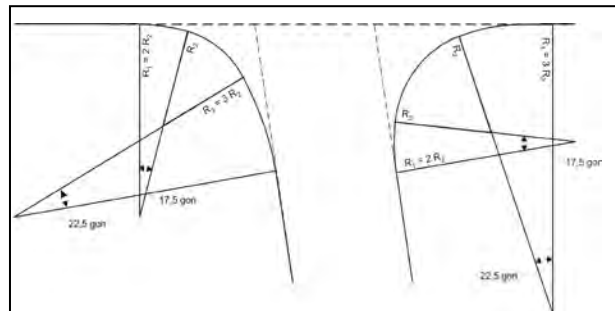


Bild 17 Radienrelationen bei Eckausrundungen nach RAL (FGSV 2012)

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

## 2.8 Elemente von Kreisverkehrsplätzen

In Abhängigkeit von der jeweiligen Entwurfsklasse sind durch die RAL neben Kreuzungen und Einmündungen auch Kreisverkehrsplätze für Knotenpunkte vorgesehen. Kreisverkehrsplätze werden bei Knotenpunkten der EKL 3 - EKL 3 und EKL 3 - EKL 4 angewendet. In Ausnahmefällen können Kreisverkehrsplätze auch bei Verknüpfungen einer EKL 2 mit einer EKL 2 oder EKL 3 angeordnet werden.

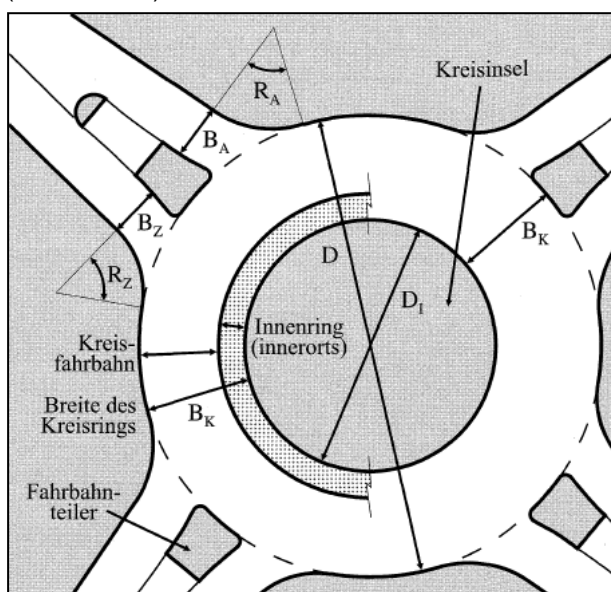
Einzelheiten zur Bemessung von Kreisverkehrsplätzen werden ergänzend zu den aktuellen Richtlinien und als Grundlage für den Entwurf von

Bestandsknotenpunkten im „Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV 2006)“ vorgekommen. In den RAS-K sind ebenfalls Angaben für den Entwurf von Kreisverkehrsplätzen als Gestaltungsgrundlage des Bestandes enthalten. Für Kreisverkehrsplätze werden außerhalb bebauter Gebiete Mindestdurchmesser von 30 m (FGSV 2001, FGSV 2006) bzw. 35 m (FGSV 2012) angegeben.

Die Fahrstreifenbreite des Kreisrings ( $B_K$  Bild 18) wird mit 7,5 m bei Durchmessern von  $35 \text{ m} \leq D < 40 \text{ m}$  angeordnet. Bei Durchmessern von  $40 \text{ m} \leq D < 50 \text{ m}$  sollte eine Kreisfahrbahnbreite von 7,0 m angeordnet werden (FGSV 2012).

Die Eckausrundungen der Zu- und Ausfahrten werden als einfache Kreisbögen ausgebildet. Die Radien sollen bei der Kreiseinfahrt ( $R_Z$ ) 14 m bis 16 m und bei Kreisausfahrten ( $R_A$ ) 16 m bis 18 m betragen. Überschreitungen der angegebenen Radien dürfen bis zu 30 % betragen (FGSV 2012).

Die Breite in der Zufahrt ( $B_Z$ ) soll neben dem Fahrbahnteiler mindestens 4,5 m betragen, jedoch nicht mehr als 5,0 m. Die Breite des Ausfahrtstreifens ( $B_A$ ) soll an der engsten Stelle mindestens 4,75 m betragen, jedoch nicht mehr als 5,5 m (FGSV 2012).



**Bild 18** Definition einzelner Gestaltungselemente und Maße eines Kreisverkehr - Systemskizze (FGSV 2006)

## 2.9 Schlussfolgerungen für die Untersuchung

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

- Es gibt verschiedene Kombinationen von Lang-Lkw mit Längen von 17,8 m bis 25,25 m. Die unterschiedlichen Längen und der variierende Aufbau der Fahrzeuge haben offensichtlich unterschiedliche Anforderungen an die Gestaltung der zu untersuchenden Knotenpunkte (Eckausrundungen, Fahrstreifenbreiten, Knotenpunkttypen)
- Insofern sind möglichst alle am Feldversuch beteiligten Fahrzeugkombinationen zu erfassen.
- Die Ergebnisse bisheriger Simulationen lassen sich nicht immer vollständig und nicht eindeutig zur Bewertung des tatsächlichen Platzbedarfs für die verschiedenen Fahrzeugkombinationen heranziehen. Grund dafür sind in der Praxis vorkommende, individuelle Lösungen für (geschwindigkeitsabhängige) Liftachsen und gelenkte Nachziechachsen. Aus den Simulationsergebnissen ist nicht immer erkennbar, in welchem Umfang solche Besonderheiten berücksichtigt worden sind oder ob diese Besonderheiten durch Simulationen überhaupt abgebildet werden können.
- Deshalb wird als Messmethode für die vorliegende Arbeit vorzugsweise die Beobachtung im Feld, also die Aufnahme des tatsächlichen Fahrverhaltens und des tatsächlichen Platzbedarfs, gewählt.
- Die Messungen sollen den Fahrer bei den Ab- und Einbiegevorgängen nach Möglichkeit nicht ablenken oder in seinem individuellen Fahrverhalten beeinflussen. Insofern sollte ein Messsystem gewählt werden, das nur durch das Messpersonal bedient werden muss. Hierzu bieten sich am Lang-Lkw angebrachte Kameras und ein Laserscanner im Seitenraum der Knotenpunkte an.
- Die Messtechnik steht in den Einzelkomponenten (Kameras, geeignete Montagelösung) zur Verfügung. Zur Eignung und Durchführung eines vergleichbaren Messprogramms liegen aus der Literatur bisher keine Erfahrungen vor.
- Voraussetzung für die Zulassung von Lang-Lkw ist der Nachweis, dass der nach § 32 d der StVZO geforderte BO-Kraftkreis eingehalten wird. Dadurch soll abgesichert werden,

dass die realen Straßenverkehrsanlagen befahren werden können. Der BO-Kraftkreis spiegelt jedoch die Fahrbahngeometrien (Fahrstreifenbreiten, Eckausrundungen, Bewegungsvorgänge) nur unzureichend wider. Insofern ist das Fahrverhalten vor allem in geometrischen Abschnitten der Knotenpunkte zu messen, die besonders durch die Lenkgeometrie von Lkw bestimmt werden. Solche fahrgeometrisch dimensionierten Bereiche sind Kreisverkehre bei  $\frac{1}{4}$ - und  $\frac{3}{4}$ -Umrundungen und Eckausrundungen in Knotenpunkten.

- Als plangleiche Knotenpunkte kommen Einmündungen, Kreuzungen und Kreisverkehre in Betracht. In der Praxis sind solche Knotenpunkte über einen längeren zurückliegenden Zeitraum entstanden, so dass nur wenige Knotenpunkte den Vorgaben nach den aktuellen Entwurfsrichtlinien RAL (FGSV 2012) entsprechen. Insofern ist bei der Auswertung des Platzbedarfes und der geometrischen Fahrlinien auch zu berücksichtigen, ob eventuelle Diskrepanzen zwischen Fahrlinie und Knotenpunktgeometrie auch nach den neuen Entwurfsrichtlinien weiterhin bestehen würden.

### 3 Ziel der Untersuchung

Ziel des Projektes ist es, die Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte durch Lang-Lkw zu erforschen. Dabei soll vor allem untersucht werden, ob die Dimensionierung der Anlagen im Bestand nach alten und aktuellen Regelwerken ausreicht oder die angrenzenden Flächen (Fahrstreifen, Seitenraum) benutzt werden müssen.

#### Ausgewählte Fahrzeugtypen

Für die Untersuchungen stehen fünf verschiedene Lang-Lkw-Typen zur Verfügung. Entsprechend der Ergebnisse der Literaturbetrachtung hat Typ 4 die günstigsten Kurvenlaufeigenschaften. Deshalb und wegen der geringen Vorkommenshäufigkeit wurde Typ 4 aus den Betrachtungen ausgeschlossen. Der Schwerpunkt liegt ausschließlich auf den maßgebend kritischeren Fällen Typ 1, 2, 3 und 5\*.

| Lang-Lkw Typ | Anzahl Speditionen mit Typ | Anzahl am Verkehr teilnehmender Lang-Lkw |
|--------------|----------------------------|--|
| 1            | 1                          | 1  |
| 2            | 4                          | 5  |
| <b>3</b>     | <b>15</b>                  | <b>28</b>                                |
| 4            | 2                          | 2  |
| 5*           | 1                          | 3  |

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

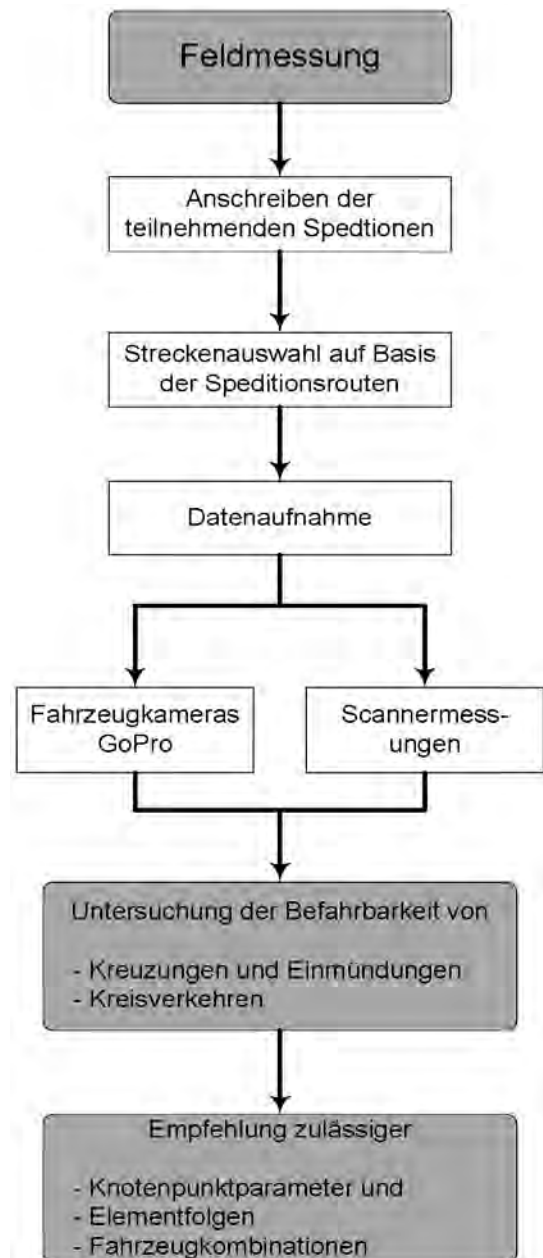
Die Fahreigenschaften der Lang-Lkw sollen mit einem konventionellem Sattelkraftfahrzeug (Bild 19) verglichen werden. Ein Sattelkraftfahrzeug besitzt schlechtere Kurvenlaufeigenschaften als eine Zugmaschine mit Anhänger (SCHNÜLL 2001, FRIEDRICH U. A. 2013). Durch den Vergleich können Unterschiede der Lang-Lkw gegenüber konventionellen Lkw untersucht werden.

Das zur Verfügung gestellte Sattelkraftfahrzeug (16,50 m) hatte eine lastabhängige Liftachse. Im Verlauf der Messungen konnte die Liftachse des Sattelauflegers nicht abgesenkt werden. Deshalb muss davon ausgegangen werden, dass das Fahrverhalten des Vergleichsfahrzeuges schlechter ausfällt als mit ungelifteter Achse.



**Bild 19** Referenzfahrzeug - Sattelkraftfahrzeug (16,50 m)

#### 3.1 Untersuchungsablauf



**Bild 20** Übersicht - Ablauf Untersuchungen



Um das Fahrverhalten von Lang-Lkw unter realen Bedingungen untersuchen zu können, wurden teilnehmende Expeditionen kontaktiert, welche die o. g. Lang-Lkw einsetzten.

Landstraßen, die von Lang-Lkw befahren werden (Positivnetz - Feldversuch), sind nach den aktuellen Richtlinien überwiegend Straßen der Kategorien EKL 1 bis 3. Im Bestandsnetz sind diese den Straßenkategorien A und B zuzuordnen. Als maßgebend kritisch wird die Befahrbarkeit der Knotenpunkte im Zuge von Straßen der EKL 3 (AIII und BIII) gesehen. EKL 1 und EKL 2 (AI-AII und BII) sind nur teilweise plangleich (Knotenpunktform nach RAL siehe Bild 21).

Im Zuge von Straßen der regionalen Verbindungsfunktionsstufe LS III (EKL 3, AIII, BIII) sind Knotenpunkte mit maßgebend kritischen Gestaltungsparametern vorhanden. Knotenpunkte auf Straßen mit höheren Verbindungsfunktionsstufen besitzen in aufgelöster Form Bestandteile der plangleichen Knotenpunkte (Eckausrundungen).

Für die Durchführung der Messungen sind die Knotenpunkte der EKL 1 und 2 jedoch ungeeignet. Daher beschränkten sich die Messungen auf Knotenpunkte im Zuge von Straßen der EKL 3. Die Ergebnisse sind auf Teilbereiche der Knotenpunkte im Zuge von höheren Verbindungsfunktionsstufen übertragbar.

| übergeordnet / untergeordnet | EKL 1 | EKL 2 | EKL 3 | EKL 4 |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| EKL 1                        |       |       |       |       |
| EKL 2                        |       |       |       |       |
| EKL 3                        |       |       |       |       |
| EKL 4                        |       |       |       |       |

**Bild 21** Regeleinsatzbereiche von Knotenpunktarten bei vierarmigen Knotenpunkten (FGSV 2012)

Die Erfahrungen aus der Literatur haben gezeigt, dass Fahrzeuge mit langen Radständen negative Kurvenlaufeigenschaften haben können. Aus den Untersuchungen von FRIEDRICH U.A. (2013) geht hervor, dass vor allem Eckausrundungen an Knotenpunkten durch den Schwerverkehr Schaden nehmen können (Bild 22 und 23).

Für die Untersuchungen wurden plangleiche Knotenpunkte (Kreuzung oder Einmündung) und Kreisverkehre in der Nähe der Lang-Lkw-Routen gesucht. Diese Knotenpunkte sind im Zuge von Straßen vorhanden, die zukünftig gemäß den Angaben der EKL 3 zu bauen sind.

Während der Messungen wurden die Lang-Lkw mit Kamertechnik an den Fahrzeugkanten ausgestattet. Die Kameras kamen bereits im Teilprojekt 09.0180/2012 zum Einsatz. Die Aufnahmen der Kameras erlaubten eine genaue Beobachtung der Fahrzeugkanten.

Für die Ermittlung der geometrischen Fahrlinien wurde ein Laserscanner verwendet. Der Scanner ermöglichte eine Erfassung der Fahrzeugkanten während der Fahrten.



**Bild 22** Beschädigung Eckausrundung an Knotenpunkten



**Bild 23** Beschädigung der Eckausrundung an einem Kreisverkehr

Die Untersuchungen fanden im realen Verkehrsgeschehen statt. Für die Dauer der einzelnen Messfahrten musste der Verkehrsablauf am Knotenpunkt kurzzeitig gestoppt werden. Dadurch war es möglich, ausschließlich den Lang-Lkw mit dem Scanner zu erfassen.

Durch einen Vergleich der Lang-Lkw mit einem konventionellen Sattelkraftfahrzeug lassen sich Aussagen über den Flächenbedarf der neuen Fahrzeugkonzepte treffen.

Anhand der im Projekt gewonnen Erkenntnisse sollen abschließend Empfehlungen zu den betrachteten Verkehrsanlagen und zu einem möglichen Änderungsbedarf erarbeitet werden.

Durch die verwendete Messtechnik dürfen Kreisverkehre keine Aufschüttung auf der Mittelinsel haben. Diese Voraussetzung schränkte die möglichen Kreisverkehre für die Untersuchungen ein.

### 3.2 Untersuchte Knotenpunkte

#### Kreuzungen und Einmündungen

Für die Ab- und Einbiegevorgänge wurde Knotenpunkt A gewählt (Bild 24). Knotenpunkt B für die Untersuchungen des Typ 5\* ist in Bild 25 dargestellt. Die Abmessungen und die einzelnen Bestandteile sind in Tab. 6 zusammengefasst. Beide Knotenpunkte entsprechen den Anforderungen an einen Knotenpunkt im Zuge einer EKL 3 Straße nach Ziffer 2.8. Die Eckausrundungen des Knotenpunktes A würden ebenfalls den Vorgaben nach RAS-K-1 entsprechen. Für Knotenpunkt B ist die Eckausrundung mit 12 m Hauptbogenradius großzügiger geplant als nach den RAS-K-1 (rund 11 m).



**Bild 24** Knotenpunkt A (Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG))



**Bild 25** Knotenpunkt B (Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation)

| Elemente                  | Abmessung Knotenpunkt |       |
|---------------------------|-----------------------|-------|
|                           | A                     | B     |
| Einteilung nach RAL       |                       |       |
| Linksabbieger             | LA 2                  | LA 2  |
| Zufahrt                   | KE 3                  | KE 3  |
| Rechtsabbieger            | RA 4*                 | RE 3  |
| Rechtseinbiegen           |                       |       |
| Ausfahrbreite             | 4,4 m                 | 5,2 m |
| Einfahrbreite             | 3,5 m                 | 3,5 m |
| Linksabbiegen             |                       |       |
| Ausfahrbreite             | 3,5 m                 | 3,5 m |
| Einfahrbreite             | 4,6 m                 | 6,0 m |
| Eckausrundung             |                       |       |
| Hauptbogenradius $R_H$    | 12 m                  | 12 m  |
| Ausleitender Radius $R_A$ | 24 m                  | 23 m  |

\*keine Radführung über den Tropfen

**Tab. 6** Parameter untersuchter Knotenpunkte

#### Kreisverkehre

Für die Untersuchungen wurde ein Kreisverkehr A ausgewählt (Bild 26). Dort war es möglich, Typ 1, 2, 3 und das Referenzfahrzeug zu untersuchen. Der Kreisverkehr besaß mehrere Bypässe. Die Lang-Lkw befuhren jeweils die innere Kreisbahn. Die Begrenzungen zwischen den Bypässen und den inneren Fahrstreifen bestanden aus gepflasterten, überfahrbaren Flächen. Die Ausfahrquerschnitte waren mit 3,7 m rund 1,0 m schmaler als von den Richtlinien empfohlen. Bei einer richtlinienkonformen Ausbildung der Eckausrundungen ( $B_A$  in Bild 18) wären Überfahrungen rein aus den gemessenen Ergebnissen (<0,53 m) nicht vorgekommen. Kreisverkehr B ist in Bild 27 dargestellt. Die Abmessungen der Kreisverkehre sind in Tab. 7 zusammengefasst.

Beide Kreisverkehre entsprachen den Anforderungen an einen Knotenpunkt der EKL 3 (bzw. dem Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren). Ihre Abmessungen stimmten, bezogen auf Eckausrundungen und Einfahrquerschnitte (Rechtseinbiegen), überein. Daher sind Vergleiche zwischen den Messungen von Typ 5\* und den anderen Fahrzeugen möglich.



| Elemente<br>(Bild 18)              | Abmessung Kreisverkehr |  |
|------------------------------------|------------------------|--|
|                                    | A                      | B                                      |
| Außendurchmesser (D)               | 35 m                   | 40 m                                   |
| Durchmesser der Kreisinsel (DI)    | 26 m                   | 27 m                                   |
| Breite des Kreisringes (BK)        | 6,5 m                  | 6,6 m                                  |
| Breite der Kreisfahrbahn           | 4,8 m                  | kein gepflasterter Innenring vorhanden |
| Radius Eckausrundung Zufahrt (RZ)  | 13 m                   | 15 m                                   |
| Radius Eckausrundung Ausfahrt (RA) | 14 m                   | 14 m                                   |
| Breite Ausfahrtstreifen            | 3,7 m                  | 4,3 m                                  |
| Breite Zufahrtstreifen             | 3,3 m                  | 3,6 m                                  |

Tab. 7 Parameter untersuchter Kreisverkehre



Bild 26 Kreisverkehr A (Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG))



Bild 27 Kreisverkehr B (Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation)

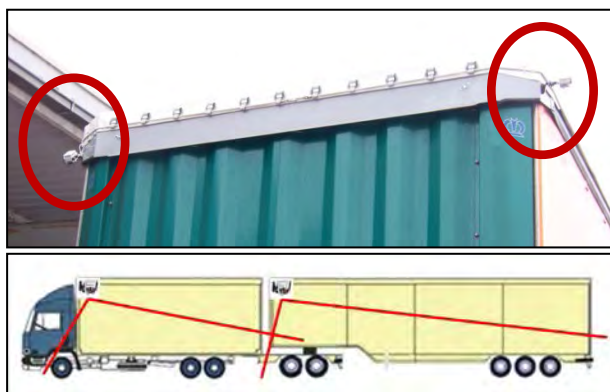
### 3.3 Verwendete Messtechnik

#### Messtechnik am Lkw

Für die Untersuchung des Fahrverhaltens von Lang-Lkw wurden diese zunächst mit der Messtechnik ausgestattet. An den maßgebenden Fahrzeugecken wurden Kameras des Helm-kamerasystems GoPro angebracht (Bild 28 und Bild 29). Aufgrund von flexiblen Befestigungssystemen konnten die Kameras nahezu an jedem festen Element angebracht werden.



Bild 28 Helmkamerasystem GoPro (<http://de.gopro.com/>)



**Bild 29** Ausrichtung der GoPro-Kameras

Die Ausrichtung der Kameras erfolgte so, dass sie alle Achsen des Fahrzeuges erfassen konnten. Die Kameras nahmen die Fahrten mit einem Auslöseintervall von 2 Bildern/Sek auf.

Um später Maße aus den erzeugten Bildern abnehmen zu können, wurde durch Tafeln mit Kreiscodierung eine Kalibrierung durchgeführt. Bild 30 zeigt exemplarisch eine Position der Kalibrierplatten für die linke Seite des Sattelauflegers. Die Anbringung, Ausrichtung und Kalibrierung erfolgten für jede Kamera am Fahrzeug.



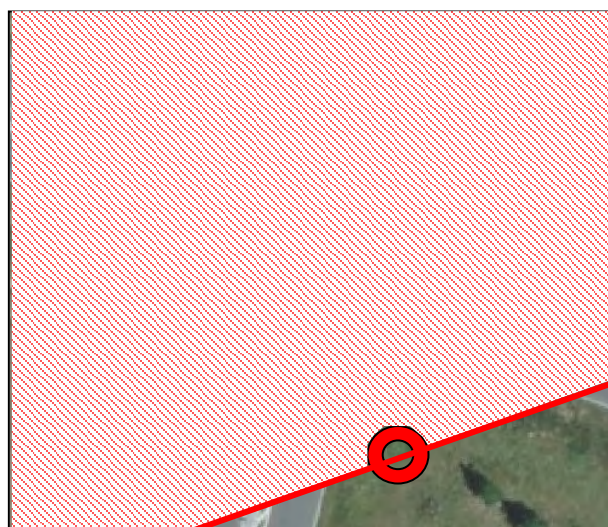
**Bild 30** Positionierung der Kalibrierplatten

### Scannermessungen

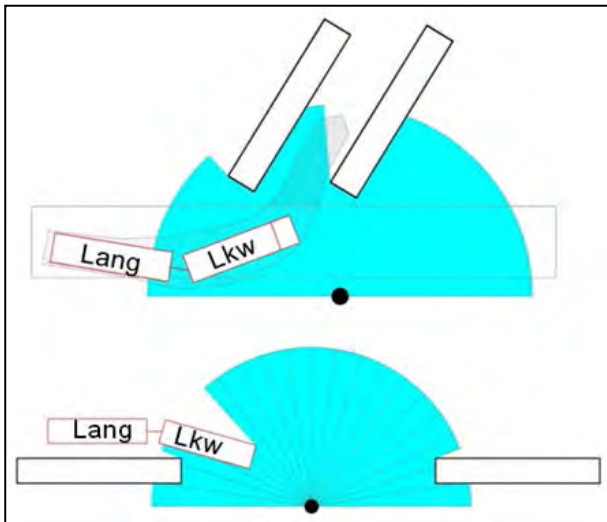
Die Fahrabläufe wurden mit einem Laserscanner (Typ SICK LMS 200, Bild 31) erfasst. Der Scanner stand im Seitenraum der Knotenpunkte (Bild 32). Der Scanner konnte einen Bereich von 80 m halbkreisförmig um seinen Standort erfassen. Damit war es möglich die Ein- und Abbiegevorgänge komplett aufzuzeichnen.



**Bild 31** Laserscanner, Typ SICK LMS 200



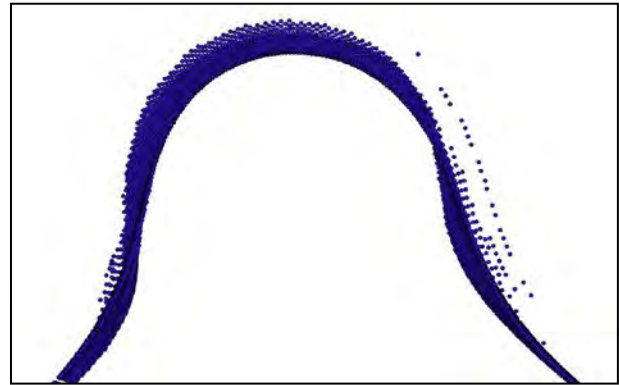
**Bild 32** exemplarische Darstellung des Scannerstandortes und des erfassten Messbereiches (Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG))



**Bild 33** Erfassung der Fahrlinie mit Laserscanner - Analogie zum Teilprojekt 09.0180 (Lippold, Schemmel 2014)

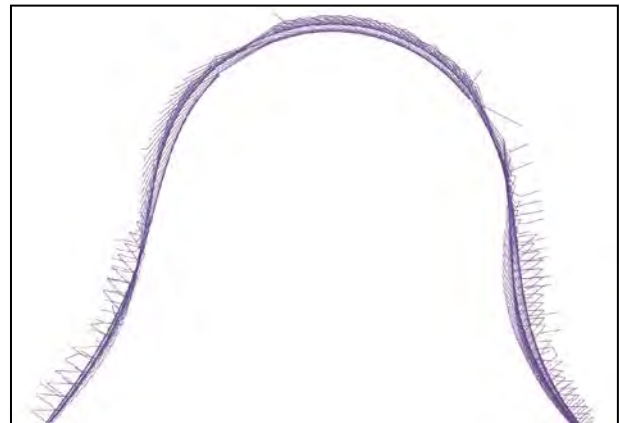
In Vorbereitung zur Aufnahme der Bewegungsvorgänge mussten Teile des Knotenpunktes eingemessen werden. Dies war notwendig, da der Scanner keinen absoluten geographischen Koordinatenbezug hat, sondern in einem lokalen Koordinatensystem arbeitet. Dieser Vorgang benötigte eine Vorlauf- oder Nachlaufzeit von etwa 45 min.

Nach Aufnahme der Messdaten wurden diese ebenfalls zur weiteren Verarbeitung in QGIS eingelesen. Systembedingt nahm der Scanner mit jedem Scanvorgang eine Vielzahl von Informationen aus der Umgebung auf, die für die Untersuchung nicht von Bedeutung waren. In einem ersten Schritt wurden daher nur die benötigten Randbereiche herausgefiltert. Die erhaltenen Punkte wurden digitalisiert, um z. B. die Eckausrundungen (anhand der Markierungen) der Knotenpunkte und die Fahrstreifen abzubilden.



**Bild 34** Punktwolke der Laserscandaten

Die Punkte konnten aus QGIS in das DXF-Format übertragen werden. Damit gelang es, die Schleppkurven der Lkw in Auto-CAD zu erstellen. Die notwendigen Fahrzeugabmessungen (Fahrzeugbreite, -länge, Abstand Anhänger-Zugfahrzeug) wurden vor der Messung aufgenommen.



**Bild 35** digitalisieren der Laserscandaten

Durch die Überlagerung der Fahrlinien mit den digitalisierten Fahrbahnrandern konnten Aussagen zum gefahrenen Schleppkurven auf den Knotenpunkten getroffen werden.

Für die Darstellung in Auto-CAD wurden die Knotenpunkte und Kreisverkehre vereinfacht gezeichnet. Die Bypässe des Kreisverkehrs A wurden nicht gezeichnet.

## 3.4

## 3.5 Durchgeführte Messungen

| Fahrzeug        | Typ1                                | Typ2  | Typ 3                               | Typ 5*                              | Referenz                            |
|-----------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Messtag         | 30.07.2013                          | 06.11.2013<br>07.11.2013  | 30.07.2013                          | 30.10.2013                          | 30.07.2013                          |
| Messzeit        | 09 <sup>00</sup> - 18 <sup>00</sup> | 08 <sup>00</sup> - 10 <sup>00</sup>                             | 09 <sup>00</sup> - 18 <sup>00</sup> | 08 <sup>00</sup> - 16 <sup>00</sup> | 09 <sup>00</sup> - 18 <sup>00</sup> |
| Messort         | Knotenpunkt A<br>Kreisverkehr A     | Knotenpunkt A<br>(06.11.2013)<br>Kreisverkehr A<br>(07.11.2013) | Knotenpunkt A<br>Kreisverkehr A     | Knotenpunkt B<br>Kreisverkehr B     | Knotenpunkt A<br>Kreisverkehr A     |
| Messumfang      |                                     |   |                                     |                                     |                                     |
| Rechtseinbiegen | 3x                                  | 3x  | 3x                                  | 3x                                  | 2x                                  |
| Linksabbiegen   | 3x                                  | 3x  | 3x                                  | 3x                                  | 3x                                  |
| ¼-Kreisfahrt    | 3x                                  | 3x  | 3x                                  | 3x                                  | 3x                                  |
| ¾-Kreisfahrt    | 3x                                  | 3x  | 3x                                  | 3x                                  | 3x                                  |

Tab. 8 durchgeführte Messungen



## 4 Auswertung

Es wurden Ein- und Abbiegevorgänge ausgewertet. Diese beinhalteten überfahrene und überstrichene Flächen. Unter überfahrenen Flächen (überfahren mit den Rädern) sind Bereiche außerhalb der Fahrstreifen zu verstehen. Werden Flächen außerhalb der Fahrstreifen überfahren, entstehen Schäden an Randstreifen, Bordsteinen und Markierungen.



**Bild 36** Überführung der Markierung im Ausgangsradius

Ausschwenkende Fahrzeugüberhänge können andere Fahrstreifen, Warteflächen und Eckausrundungen überstreichen. Unkritisch sind überstrichene Flächen wenn keine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmern auftreten (Bild 44 und Bild 45). Werden Flächen (Warteflächen für Fußgänger und Radfahrer) überstrichen ist das kritisch zu bewerten.

### 4.1 Befahrbarkeit von plangleichen Kreuzungen und Einmündungen

#### Festlegung der Kennwerte für Ab- und Einbiegevorgänge

Für die Ein- und Abbiegevorgänge wurden in Anlehnung an das Teilprojekt FE 09.0180 Kennwerte (Bild 37) festgelegt. Somit ist eine vergleichende Betrachtung vorangegangener Untersuchungen des anderen Teilprojektes möglich. Die Angaben zu Kennwert D (Fahrstreifenbreite) sind unter Ziffer 3.2 tabellarisch zusammengefasst.

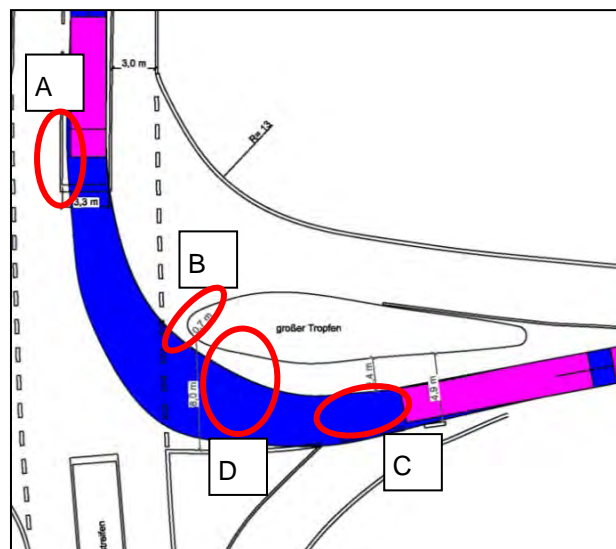
Erste Erfahrungen zu Ein- und Abbiegevorgängen an plangleichen Knotenpunkten konnten im Teilprojekt 09.0180 gesammelt werden. Bei der Untersuchung von Lang-Lkw auf Autobahnen befuhren diese verschiedene Anschlussstellen im Laufe der Messungen. Die befahrenen Knotenpunkte zum nachgeordneten Netz waren Kreuzungen und Kreisverkehre. Zur Einhaltung der Lenkzeiten wurden die Knotenpunkte nur einmal befahren, sodass sich der Umfang der messbaren Abbiegebeziehungen reduzierte. Aus den Messergebnissen konnten für die späteren Untersuchungen Verbesserungen für die Untersuchungsabläufe abgeleitet werden. Außerdem ließ sich der Umfang der Ein- und Abbiegevorgänge auf die maßgebend kritischen beschränken. Die Messergebnisse konnten durch die verwendete Messtechnik im vorangegangenen Teilprojekt nur die überstrichenen Flächen der Außenkanten wiedergeben. Daher lassen die Messergebnisse eine messtechnische Aussage der durch Räder überfahrenen Bereiche nicht zu.

ungen und Kreisverkehre. Zur Einhaltung der Lenkzeiten wurden die Knotenpunkte nur einmal befahren, sodass sich der Umfang der messbaren Abbiegebeziehungen reduzierte. Aus den Messergebnissen konnten für die späteren Untersuchungen Verbesserungen für die Untersuchungsabläufe abgeleitet werden. Außerdem ließ sich der Umfang der Ein- und Abbiegevorgänge auf die maßgebend kritischen beschränken. Die Messergebnisse konnten durch die verwendete Messtechnik im vorangegangenen Teilprojekt nur die überstrichenen Flächen der Außenkanten wiedergeben. Daher lassen die Messergebnisse eine messtechnische Aussage der durch Räder überfahrenen Bereiche nicht zu.

#### Untersuchungsergebnisse des Teilprojektes 90.0180 - Linksabbiegen von der übergeordneten Straße in die untergeordnete Straße

Für den Linksabbiegevorgang wurden folgende Punkte im Fahrverlauf betrachtet:

- Ausschwenken zur Kurvenaußenseite (Kennwert A in Bild 37),
- Abstand zum Tropfen in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt (Kennwert B in Bild 37),
- Abstand zur Dreieckinsel (Kennwert C in Bild 37),
- Breiten der Fahrstreifen (Kennwert D in Bild 37).



**Bild 37** allgemeine Zuordnung der Kennwerte beim Linksabbiegen von der übergeordneten Straße in die untergeordnete Straße

Die nachfolgenden Beobachtungen auf Knotenpunkten wurden im Teilprojekt FE 09.0180/2012 ermittelt. Die Kennwerte beziehen sich auf die Kennwerte in Bild 37.

Typ 1 überstrich die Markierung zum benachbarten Fahrstreifen in Kennwert A minimal (0,2 m). Zur Eckausrundung und dem Tropfen wurde ein Abstand von mindesten 0,7 m eingehalten.

Typ 2 schwenkte um 0,8 m über die Markierung des benachbarten Fahrstreifens (Kennwert A). Der von Typ 2 befahrene Knotenpunkt hatte keine Dreieckinsel. Der Fahrzeugführer konnte daher zum Abbiegen weit ausholen.

Typ 3 überstrich keine Markierungen zum benachbarten Fahrstreifen. Allerdings überstrich er die Randmarkierung in Kennwert C um 0,35 m (Markierungsbreite von 0,25 m inbegriffen).

Typ 5\* blieb innerhalb seines Linksabbiegefahrstreifens, nur in der untergeordneten Straße überstrich er die Markierung.

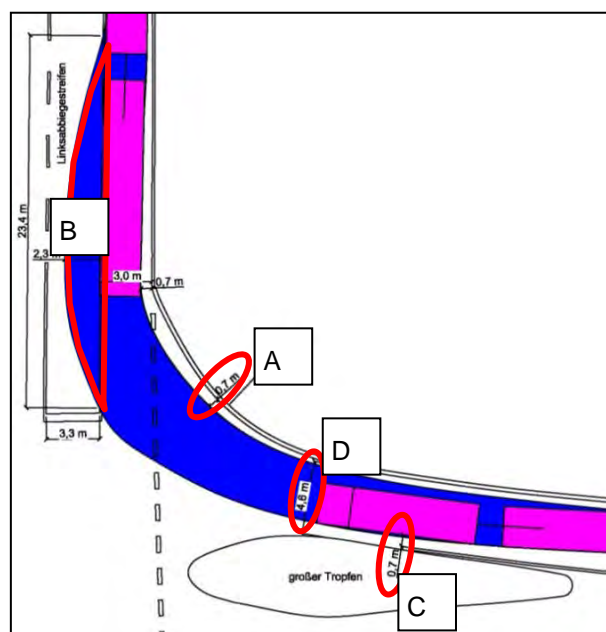
Durch das weite Ausholen bei Linksabbiegevorgängen kamen alle Fahrzeuge sehr nah an die rechte Markierung (Kennwert C) in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt.

### Untersuchungsergebnisse des Teilprojektes 90.0180 - Rechtseinbiegen von der untergeordneten Straße in die übergeordnete Straße

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

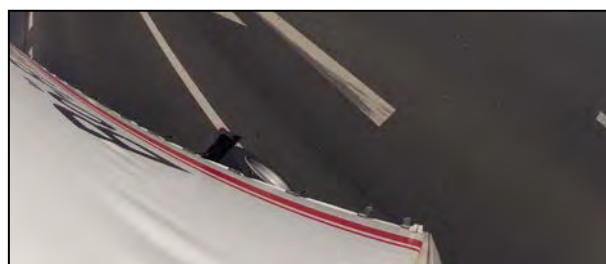
- dem Abstand zur rechten Fahrbahnmarkierung (Kennwert A in Bild 38),
- dem Überfahren des Linksabbiegefahrstreifens in der übergeordneten Knotenpunktzufahrt (Kennwert B in Bild 38),
- Abstand zur Mittelinsel in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt (Kennwert C in Bild 38),
- Breite des Einfahrquerschnittes (Kennwert D in Bild 38).

Die Kennwerte beziehen sich auf die Kennwerte in Bild 38. Die Markierung der Eckausrundungen wurde von keinem Lang-Lkw überfahren. Die Abstände zur Markierung betragen zwischen 0,1 m und 1,9 m (Kennwert A).



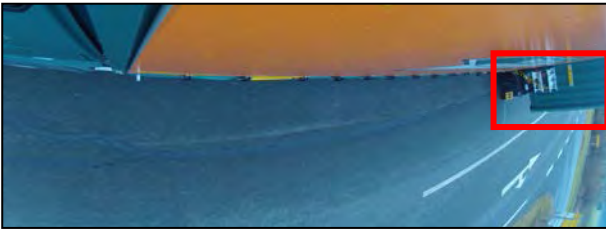
**Bild 38** allgemeine Zuordnung der Kennwerte beim Rechtseinbiegen von der untergeordneten Straße in die übergeordnete Straße

Bei Typ 2 war eine Annäherung auf 0,3 m an den Tropfen zu beobachten. Typ 2 überfuhr den Linksabbiegefahrstreifen, auf dem sich kein anderer Verkehrsteilnehmer befand. Der Lang-Lkw überstrich den Linksabbiegefahrstreifen um 0,8 m. Bild 39 verdeutlicht, dass bei Typ 2 Probleme beim Rechtseinbiegen auftraten. Auf der rechten Seite des Fahrzeuges wurde ein Abstand von 0,4 m zur Markierung eingehalten.



**Bild 39** Mitbenutzen des Linksabbiegefahrstreifens - Typ 2

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



**Bild 40** Ausschwenken des Sattelauflegers mit gelenkter Untersetzachse

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

### Untersuchungsergebnisse des Teilprojektes 89.0284 - Befahrbarkeit von plangleichen Kreuzungen und Einmündungen

Für die Kennwerte wurde jeweils der Maximalwert berechnet (Kennwerte A in Tab. 9 und B in Tab. 10). Überstreichungen von benachbarten, parallelen Fahrstreifen werden mit dem Maximalwert der Messungen angegeben (Kennwert C in Tab. 9 und Tab. 10). Kennwert D wird in der Beschreibung der betrachteten Knotenpunkte tabellarisch aufgeführt (Ziffer 3.2).

Der Fahrzeugaufbau steht seitlich nur etwa 5cm über die Räder hinaus (damit sind nicht die vorderen und hinteren Fahrzeugüberhänge gemeint). Aus diesem Grund liegen die Überfahrungen mit den Überstreichungen auf einer Linie. Eine weitere Differenzierung auf der Innenseite der Schleppkurven ist nicht weiter notwendig.

### Linksabbiegen von der übergeordneten Straße in die untergeordnete Straße

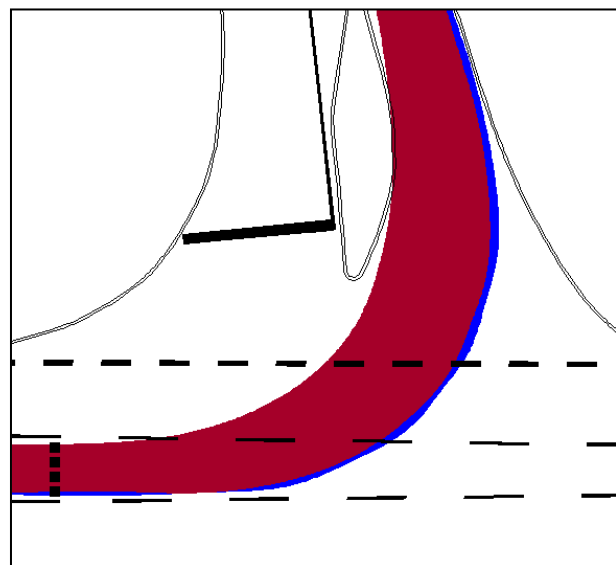
Für den Linksabbiegevorgang wurden die Kennwerte A, B und C nach Bild 37 untersucht. Für die einzelnen Kennwerte liegen jeweils drei durchgeführte Fahrten zu Grunde. In Tab. 9 sind die Messwerte zusammengefasst. Für Kennwert A wurde jeweils der Maximalwert in Tab. 9 eingetragen. Der Maximalwert als maßgebend kritischer Wert beschreibt die maximalen Überstreichungen des angrenzenden Fahrstreifens. Kennwert B und C werden jeweils als Mittelwert aus den drei Fahrten gebildet. Sie beschreiben den mittleren Abstand zu den Fahrbahnrändern.

| Kennwerte in [m] | Ref  | Lang-Lkw-Typ |      |       |      |
|------------------|------|--------------|------|-------|------|
|                  |      | 1            | 2    | 3     | 5*   |
| A                | 0,00 | 0,41         | 0,70 | 0,25  | 0,49 |
| B                | 0,09 | 0,42         | 0,66 | 0,60  | 0,69 |
| C                | 0,10 | -0,09        | 0,00 | -0,32 | 0,62 |

(Negative Werte sind Überfahrungen/ Überstreichungen)

**Tab. 9** Kennwerte der Untersuchungen von Linksabbiegevorgängen

### Referenzfahrzeug

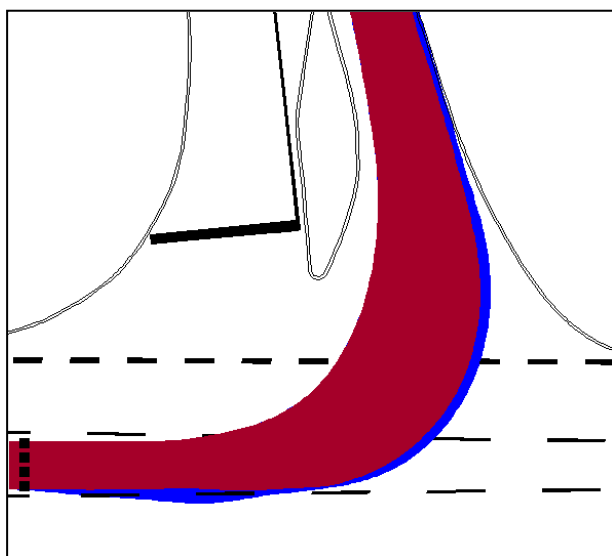


**Bild 41** Linksabbiegen Referenzfahrzeug Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

Das Fahrzeug schwenkte nicht über seinen Fahrstreifen nach rechts aus. Nur in einer Messung berührte es den Tropfen mit den Rädern des Sattelauflegers. Flächen im rechten Seitenraum wurden nicht überstrichen oder überfahren.

### Typ 1

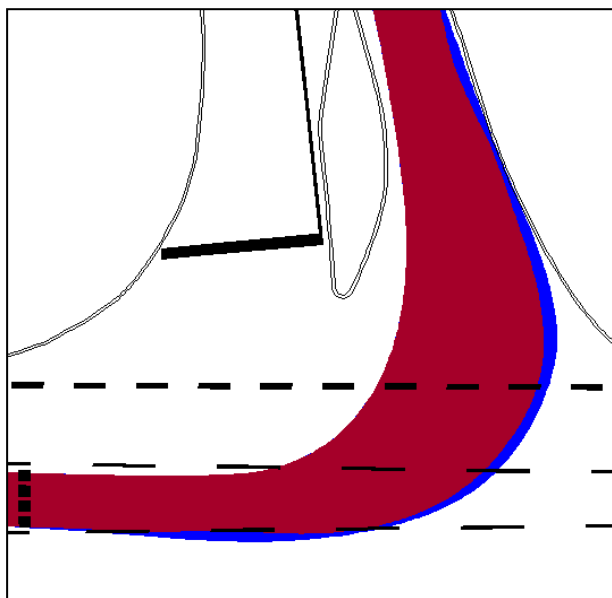
Bei Abbiegevorgängen von Typ 1 schwenkte das Heck des verlängerten Sattelauflegers deutlich aus. Das weite Ausschwenken trat vor allem in Verbindung mit einem späten Einlenken auf (Bild 42). Dadurch drehte sich der Sattelaufleger stärker ein und das Heck ragte 0,4 m über die Markierung in den Nachbarfahrstreifen. In der Zufahrt überstrich er die rechte Begrenzungsmarkierung. Bei zeitigerem Einlenken wurde die Eckausrundung nicht überstrichen. Allerdings kam es dann auf der Innenseite der Schleppkurve zu Überfahrungen des Tropfens.



**Bild 42** Linksabbiegen Typ 1 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 2

Typ 2 schwenkte bis zu 0,7 m in den benachbarten Fahrstreifen. Der Fahrer lenkte bei jedem Durchlauf spät ein, um den Tropfen nicht zu überfahren. Er überstrich oder überfuhr keine Randbereiche der Eckausrundung in der Zufahrt.



**Bild 43** Linksabbiegen Typ 2 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 3

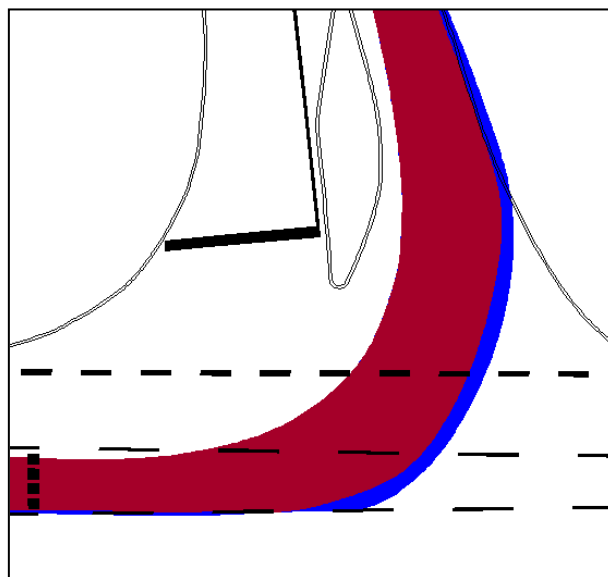
Die Abbiegevorgänge von Typ 3 zeigten keine ausschwenkenden Fahrzeugkanten in den Nachbarfahrstreifen. Durch den Dolly kam es zu Überstreichungen der Randmarkierung in der untergeordneten Zufahrt. Bild 44 zeigt, dass die Zugmaschine im gleichen Umfang wie der Sattelanhänger die Eckausrundung überstreicht Bild 45.



**Bild 44** Überstreichung des Zugfahrzeug beim Linksabbiegen - Typ 3



**Bild 45** Überstreichung des Sattelanhänger beim Linksabbiegen - Typ 3

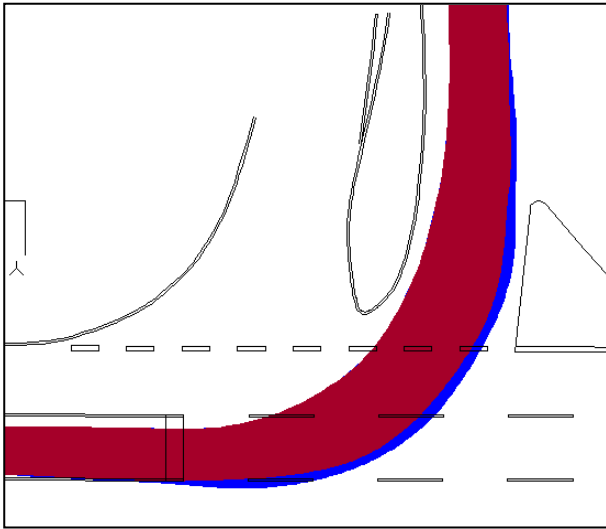


**Bild 46** Linksabbiegen Typ 3 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 5\*

Bei Typ 5\* führte der Überhang des Zugfahrzeuges zu einem deutlichen Ausschwenken in den Nachbarfahrstreifen (Bild 47). Die Überstreichung betrug mit Markierung 0,49 m. Überstreichungen und Überfahrungen wurden in der Zufahrt der untergeordneten Straße nicht erfasst. Das kann an einem breiteren Einfahrquerschnitt 6 m statt 4,6 m) in der Zufahrt liegen.





**Bild 47** Linksabbiegen Typ 5\* Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

**Rechtseinbiegen von der untergeordneten Straße in die übergeordnete Straße**

Die Untersuchungsergebnisse der Rechtseinbiegevorgänge (überstreichen des Linksabbiegefahrstreifens - Kennwert B) werden durch den Maximalwert in Tab. 10 angegeben. Der Maximalwert gibt den kritischsten Fall einer Überstreichung des übergeordneten Linksabbiegefahrstreifens an. Die Abstände zur rechten Markierungssinnenseite (Kennwert A) und zum linksliegenden Tropfen (Kennwert C) wurden als Mittelwerte der jeweiligen drei Fahrten berechnet.

| Kennwerte in [m] | Ref** | Lang-Lkw-Typ |      |       |       |  |
|------------------|-------|--------------|------|-------|-------|--|
|                  |       | 1            | 2    | 3     | 5*    |  |
| A                | 0,17  | -0,13        | 0,03 | -0,34 | -0,15 |  |
| B                | 0,3   | 0,1          | 0,1  | -0,3  | -0,1  |  |
| C                | 1,19  | 0,86         | 0,3  | 1,04  | 0,87  |  |

(Negative Werte sind Überfahrungen)

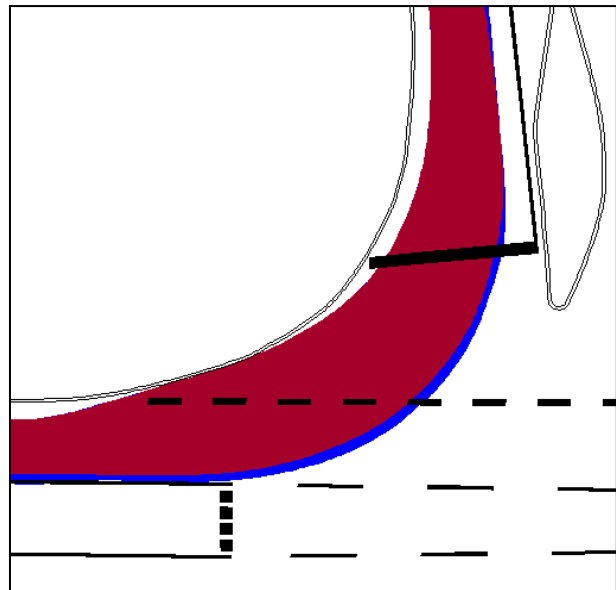
\*\*nur zwei Messfahrten durchgeführt

**Tab. 10** Kennwerte der Untersuchungen von Rechtseinbiegevorgängen

**Referenzfahrzeug**

Bei dem Referenzfahrzeug konnten nur zwei Messungen durchgeführt werden. In der ersten Messung überfuhr der Fahrer den Linksabbiegefahrstreifen für den Einbiegevorgang. Dadurch überfuhr er nicht die Eckausrundung. Bei der zweiten Messung wurde der Linksabbiegefahrstreifen nicht überfahren. Die Markierung der Eckausrundung wurde nur berührt. Das Fahrzeug benötigte für die Einbiegevorgänge die gesamte

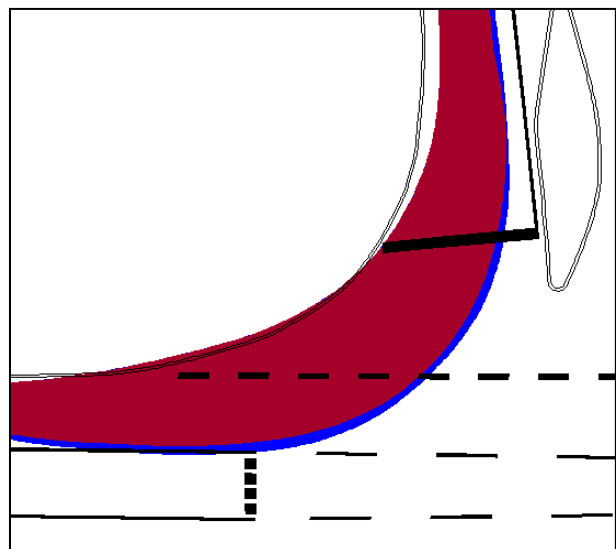
Fahrbahn zwischen Linksabbiegefahrstreifen und Eckausrundung.



**Bild 48** Rechtseinbiegen Referenzfahrzeug Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

**Typ 1**

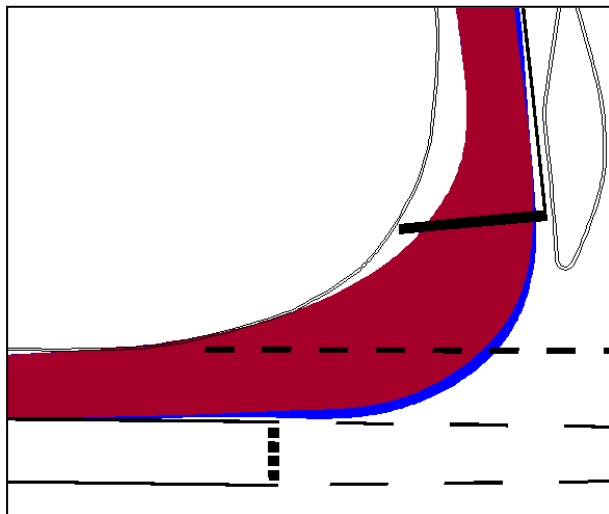
Bei der ersten Messung überfuhr Typ 1 den Linksabbiegefahrstreifen. Die Eckausrundung überfuhr er in dieser Messung nicht. In den folgenden Messfahrten wurde der Linksabbiegefahrstreifen nur minimal überstrichen. Der Fahrer hielt einen großen Abstand zum Tropfen und nutzte dadurch nicht den gesamten zur Verfügung stehenden Platz aus. Wenn der Fahrer den Linksabbiegefahrstreifen nicht zum Einbiegen nutzte, überfuhr er die Eckausrundung.



**Bild 49** Rechtseinbiegen Typ 1 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 2

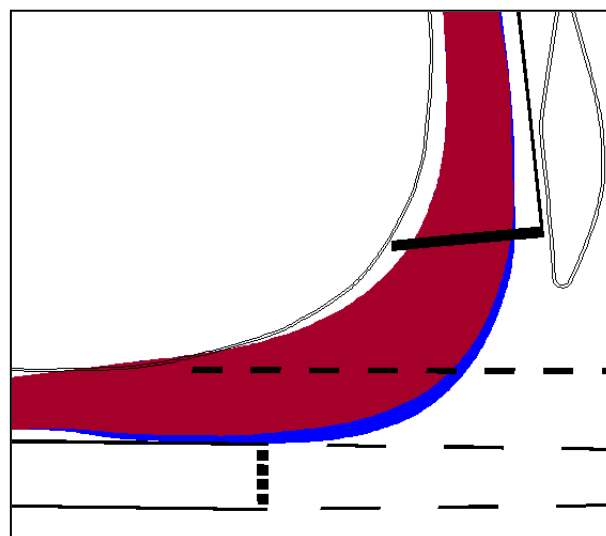
Bei der ersten Messung von Typ 2 überfuhr der Fahrer den Linksabbiegefahrstreifen. Durch das weite Ausholen wurde auf der Schleppkurveninnenseite die Eckausrundung nicht mit dem Tandemachsanhänger überfahren. Bei den weiteren Messungen überfuhr der Lang-Lkw die Markierung der Eckausrundung teilweise (kein Überfahren des Linksabbiegefahrstreifens).



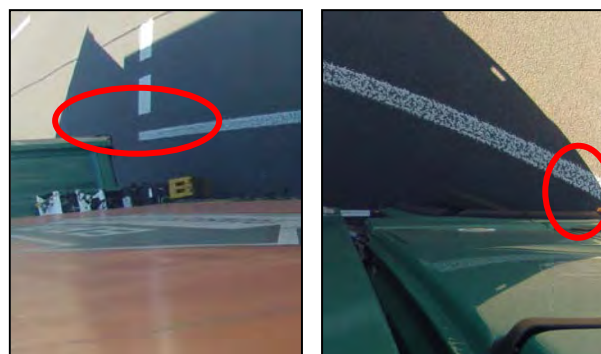
**Bild 50** Rechtslenkmanöver Typ 2 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 3

Die Eckausrundung wurde durch Typ 3 maximal um 0,4 m (mit Markierung) überfahren. Durch den Dolly schwenkte der Sattelaufleger weiter aus und überstrich bei einer Messung den Linksabbiegefahrstreifen (0,25 m mit Markierung). Gegenüber den vorangegangenen Untersuchungen zeigte sich erneut das Ausschwenken des Sattelauflegers. Allerdings schwenkte der Sattelaufleger nur so weit aus wie das Zugfahrzeug. Die Flächen der Überstreichungen durch das Zugfahrzeug und den Sattelaufleger hatten den gleichen Abstand zur Markierungslinie. Bild 52 verdeutlicht den Sachverhalt.



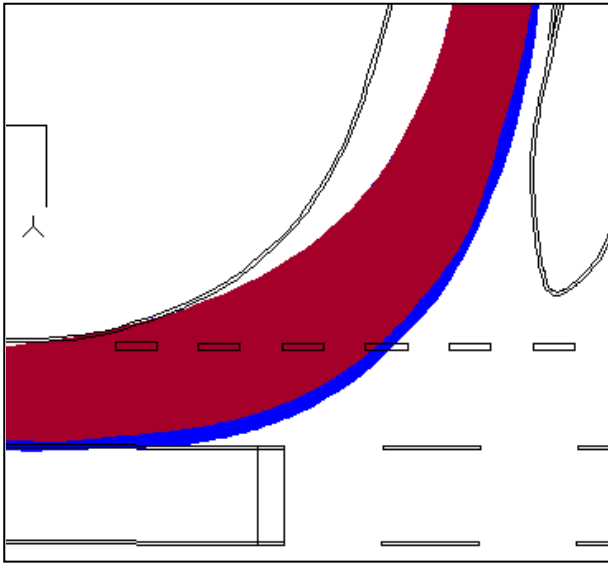
**Bild 51** Rechtslenkmanöver Typ 3 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung



**Bild 52** Vergleich Überstreichen von Flächen - Sattelanhängers und Zugmaschine - Typ 3

### Typ 5\*

Typ 5\* blieb bei den Rechtslenkmanövern innerhalb seines Fahrstreifens. Typ 5\* überstrich bei den Einlenkmanövern die Markierungen des Linksabbiegefahrstreifens leicht.



**Bild 53** Rechtseinbiegen Typ 5\* Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Beobachtungen bei Überfahrungen der Eckausrundungen

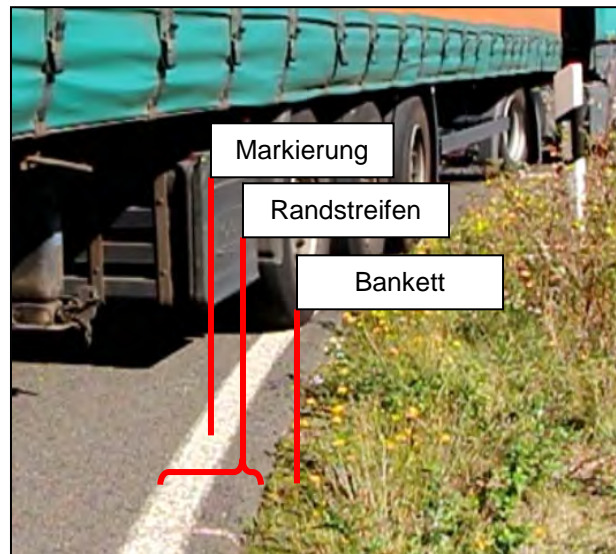
Die Rechtseinbiegevorgänge haben gezeigt, dass es deutliche Unterschiede bei den Kurvenfahrverläufen der Fahrzeuge gibt. Allgemein lässt sich festhalten, dass alle Fahrzeuge die gesamte Fahrbahn zwischen Eckausrundung und Linksabbiegefahrstreifen benötigten. Überfahrungen der Eckausrundung bezogen sich überwiegend auf die Markierung und den Randstreifen. Flächen außerhalb der befestigten Fahrbahn wurden nicht überfahren.

Die Überfahrungen der Eckausrundungen konzentrierten sich auf den Bereich mit ausleitendem Radius (Bild 54). Abgenutzte Markierungen, Randstreifen und Bankette (Bild 55) waren an den betrachteten Knotenpunkten auffällig. Am Knotenpunkt B weisen Schlaglöcher und eine nachträgliche Pflasterung des Seitenraumes auf das Defizit hin, welches auf die Auslegung der Eckausrundung oder auf Kurvenschneiden der Fahrzeugführer heute bereits zulässiger Fahrzeuge zurückzuführen ist.

Die Abnutzen können nicht auf die Lang-Lkw zurückgeführt werden, da die Knotenpunkte nicht zum Routennetz gehörten.



**Bild 54** Abgenutzte Markierung im ausleitenden Radius der Eckausrundung

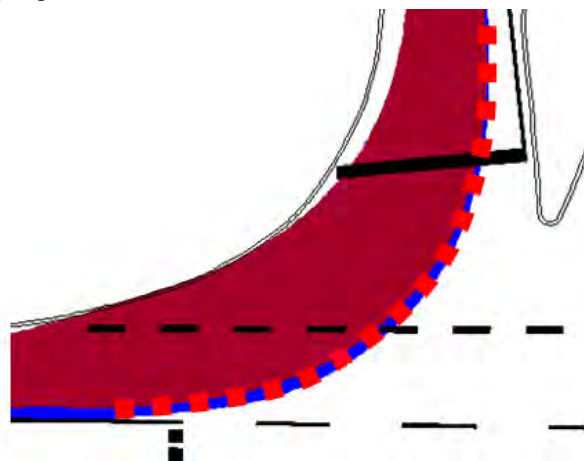


**Bild 55** Markierung, Randstreifen und Seitenraum in Knotenpunkten

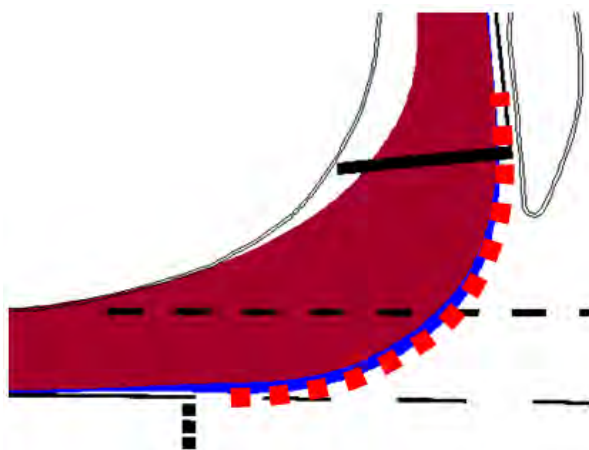
Durch zu zeitiges Einlenken bei Einbiegevorgängen kann es bei längeren Fahrzeugen zum Überfahren der Randstreifen und des Seitenbereiches kommen. Die Überfahrungen lagen im Bereich des ausleitenden Radius der Eckausrundung (Bild 17). Diese Fahrweise ermöglicht ein schnelleres Einbiegen. Charakteristisch ist ein weiter Bogen der Fahrlinie (Bild 56). Fährt der Fahrer bei einem Einbiegevorgang langsam, kann er später einlenken. Dadurch fährt er einen kleineren Bogen (Bild 57).

Die Fahrzeugführer ordneten sich bei Annäherung

in der Zufahrt überwiegend mittig ein. Die Abstände zur Markierung vor dem Tropfen betragen gemittelt über alle Messungen 0,8 m. Kein Fahrzeug überstrich den Tropfen mit den Fahrzeugüberhängen. Für Fußgänger oder Radfahrer auf Warteflächen in Knotenpunkten ist bei dieser Einordnung nicht von einer Gefährdung auszugehen. Durch den eingehaltenen Abstand hatten die Fahrer nur eine eingeschränkte Fläche der Zufahrt für die Einbiegevorgänge zur Verfügung.



**Bild 56** zeitiges Einlenken - weiter Bogen bei Einbiegevorgängen - Typ 1



**Bild 57** spätes Einlenken - kleiner Bogen bei Einbiegevorgängen - Typ 2

## 4.2 Befahrbarkeit von Kreisverkehren

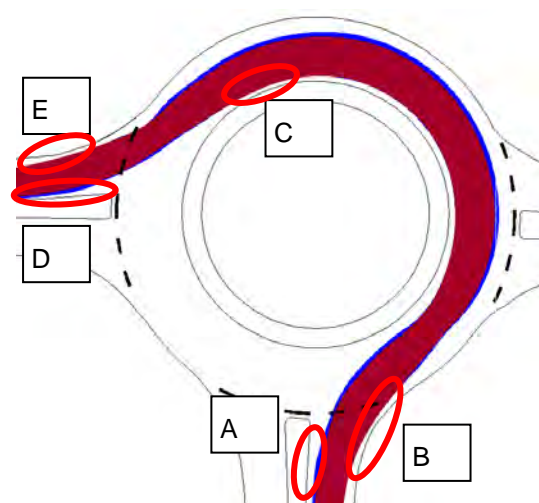
Bei den Kreisverkehren wurden die viertel und dreiviertel Kreisumrundungen ausgewertet.

### $\frac{3}{4}$ Kreisumrundung

Bei den  $\frac{3}{4}$ -Kreisdurchfahrten wurden die in Bild 58 dargestellten Kennwerte gemessen. In Tab. 11 sind die Mittelwerte der durchgeführten Messfahrten (dreimal je Lang-Lkw-Typ) eingetragen. In

der Auswertung wurden folgende Kennwerte berücksichtigt:

- Abstand zur Mittelinsel in der Zufahrt (Kennwert A in Bild 58),
- Abstand zur Randmarkierung in der Zufahrt (Kennwert B in Bild 58),
- Abstand zur Kreisinsel (Kennwert C in Bild 58),
- Abstand zur Mittelinsel in der Ausfahrt (Kennwert D in Bild 58),
- Abstand zur Randmarkierung in der Ausfahrt (Kennwert E in Bild 58).



**Bild 58** Kennwerte bei  $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundungen

| Kennwerte in [m] | Ref   | Lang-Lkw-Typ |       |      |      |
|------------------|-------|--------------|-------|------|------|
|                  |       | 1            | 2     | 3    | 5    |
| A                | 1,38  | 1,20         | 1,45  | 0,95 | 0,66 |
| B                | 0,70  | 0,30         | 0,73  | 0,15 | 0,36 |
| C                | -0,05 | -0,03        | -0,05 | 0,71 | 0,37 |
| D                | 0,20  | 0,16         | -0,11 | 0,11 | 0,21 |
| E                | 0,18  | 0,09         | 0,54  | 0,11 | 0,45 |

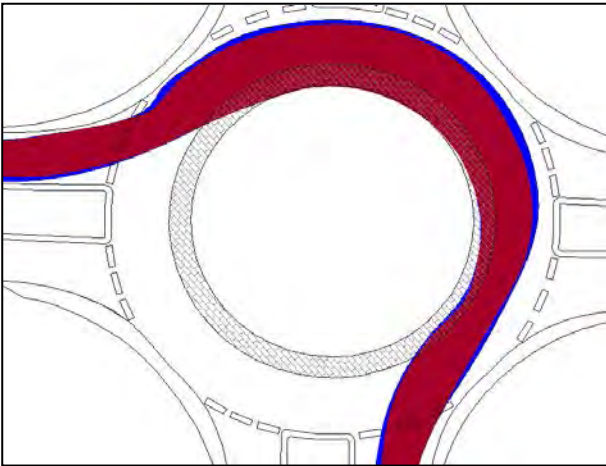
(Negative Werte sind Überfahrungen/ Überstreichungen)

**Tab. 11** Kennwerte der Untersuchungen von  $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundungen

### Referenzfahrzeug

Das Referenzfahrzeug mit gelifteter Achse überfuhr in Punkt C den Innenring des Kreisverkehrs. Durch die geliftete Achse benötigte das Sattelkraftfahrzeug die gesamte Fahrbahnbreite im Kreisverkehr.

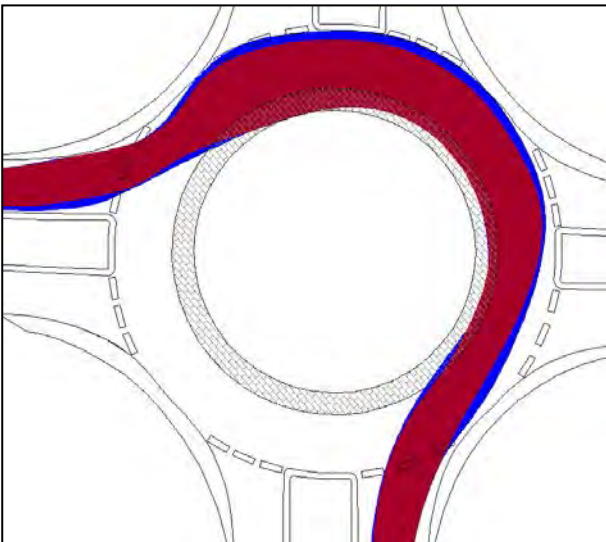




**Bild 59** 3/4-Kreisdurchfahrt Referenzfahrzeug Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 1

Typ 1 berührte bei einer Messfahrt den Innenring. Eine Überfahrung der äußeren Begrenzungen wurde nicht beobachtet. Typ 1 benötigte kurz vor dem Verlassen des Kreisverkehrs die gesamte Breite der Kreisfahrbahn. Er überfuhr den gepflasterten Innenring nur vor der Ausfahrt aus dem Kreisverkehr. Der Sattelaufleger überstrich die Mittelinsel beim Verlassen der Kreisfahrbahn (Bild 60).

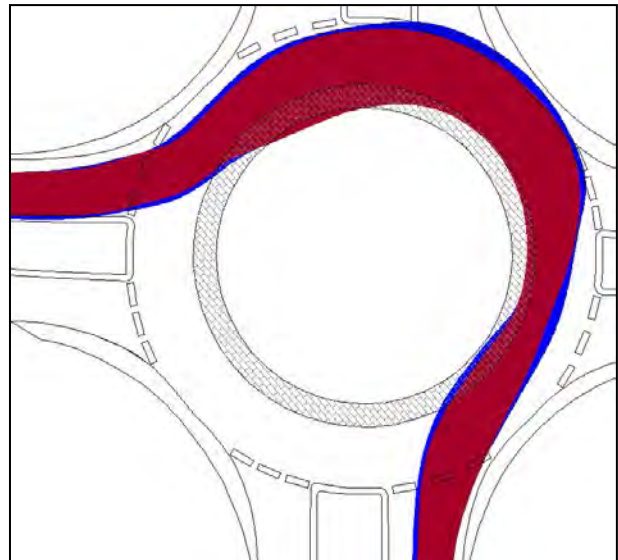


**Bild 60** 3/4-Kreisdurchfahrt Typ 1 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 2

Typ 2 benötigte die ganze Fahrbahnbreite des Kreisverkehrs. Sein Sattelaufleger schwenkte deutlich aus und überstrich große Bereiche der äußeren Begrenzungsmarkierung. Bei der Ausfahrt aus dem Kreisverkehr überstrich er die Mittelinsel. Überfahrungen der Seitenbegrenzung in der Ein-

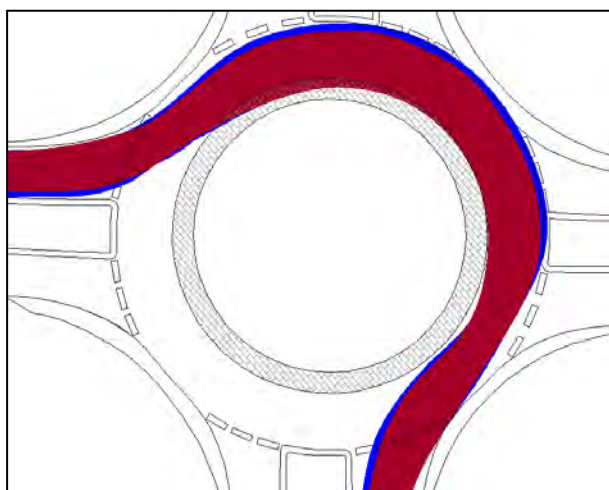
und Ausfahrt wurden nicht beobachtet. Bei den Messfahrten zeigte sich ein Übungseffekt des Fahrers. In der ersten Befahrung überfuhr er die Mittelinsel. Bei den darauffolgenden kam es zu keiner Überfahrung.



**Bild 61** 3/4-Kreisdurchfahrt Typ 2 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 3

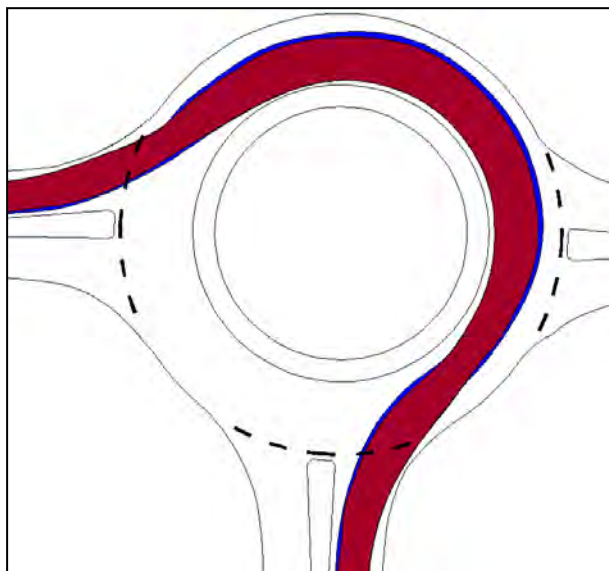
Typ 3 zeigte in der Kreisfahrbahn eine schmalere Schleppkurve als das Referenzfahrzeug. Dagegen entstand bei der Einfahrt in den Kreisverkehr durch den ausschwenkenden Sattelanhängen eine breitere Schleppkurve als beim Referenzfahrzeug. Der Sattelaufleger lenkte durch den Dolly erst später, kurz vor dem Befahren des gepflasterten Innenrings, ein. Die Lenkung des Dolly führte außerdem den Sattelaufleger weiter zum Außenring. Daher ergaben sich geringere Überfahrungen des gepflasterten Innenrings während der Kreisfahrt.



**Bild 62** 3/4-Kreisdurchfahrt Typ 3 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 5\*

Typ 5\* besaß eine schmale, gleichmäßige Schleppkurve (Bild 63). Er überfuhr keine Randbereiche und überstrich nur bei einer Messung die Mittelinsel in der Ausfahrt. Typ 5\* nutzte nicht die gesamte Fahrbahnbreite.



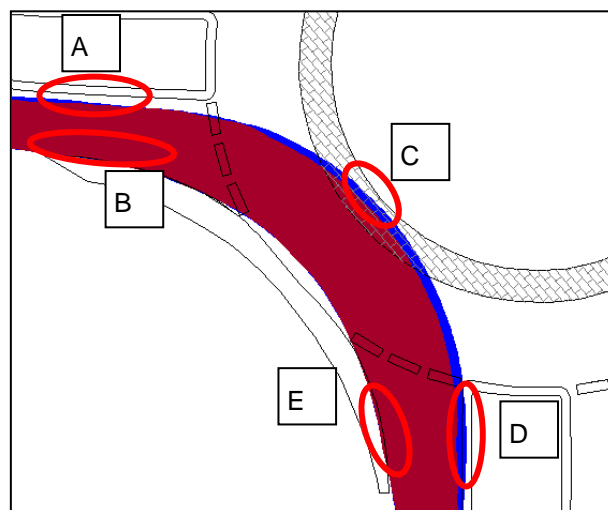
**Bild 63** 3/4-Kreisdurchfahrt Typ 5 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### 1/4 Kreisumrundung

Bei den 1/4-Kreisdurchfahrten wurden die in Bild 64 dargestellten Kennwerte vermessen. In Tab. 12 sind die Mittelwerte der durchgeführten Messfahrten (dreimal je Lang-Lkw-Typ) eingetragen. In der Auswertung wurden folgende Kennwerte berücksichtigt:

- Abstand zur Mittelinsel in der Zufahrt (Kennwert A in Bild 64),

- Abstand zur Randmarkierung in der Zufahrt (Kennwert B in Bild 64),
- Abstand zur Kreisinsel (Kennwert C in Bild 64),
- Abstand zur Mittelinsel in der Ausfahrt (Kennwert D in Bild 64),
- Abstand zur Randmarkierung in der Ausfahrt (Kennwert E in Bild 64).



**Bild 64** Kennwerte bei 1/4-Kreisumrundungen

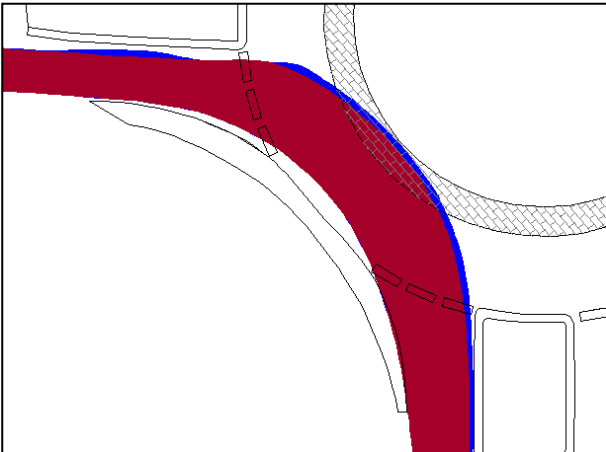
| Kennwerte in [m] | Ref   | Lang-Lkw-Typ |       |       |      |
|------------------|-------|--------------|-------|-------|------|
|                  |       | 1            | 2     | 3     | 5    |
| A                | 0,25  | 0,04         | 0,19  | 0,36  | 0,64 |
| B                | 0,18  | 0,32         | 0,14  | -0,04 | 0,14 |
| C                | 0,20  | 0,19         | 0,04  | 0,25  | 0,45 |
| D                | 0,06  | -0,21        | -0,28 | 0,01  | 0,55 |
| E                | -0,21 | -0,13        | -0,23 | -0,03 | 0,45 |

(Negative Werte sind Überfahrungen/ Überstreichungen)

**Tab. 12** Kennwerte der Untersuchungen von 1/4-Kreisumrundungen

### Referenzfahrzeug

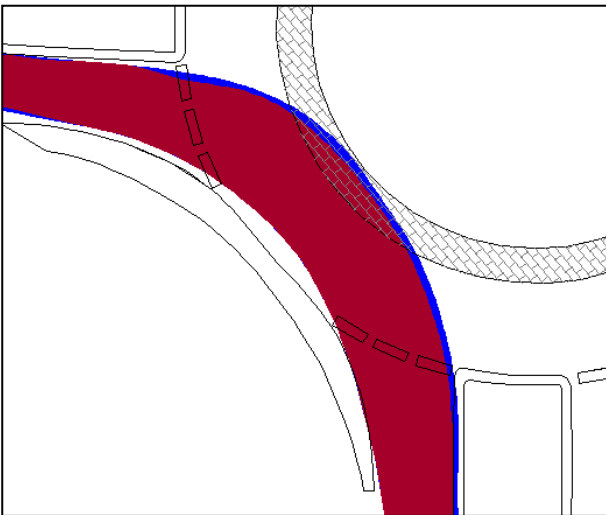
Das Fahrzeug befuhr den Kreisverkehr ohne Überstreichung der Mittelinsel. Der gepflasterte Innenring wurde überfahren. Das Sattelkraftfahrzeug überfuhr jeweils die Eckausrundung in der Ausfahrt. Nach dreimaliger Durchführung stellte sich ein Übungseffekt beim Fahrer ein. Die Überfahrungen in der Ausfahrt nahmen mit jeder Messung ab. Es gab keine Überstreichungen der kurvenäußeren Seite in der Ausfahrt.



**Bild 65** 1/4-Kreisdurchfahrt Referenzfahrzeug Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 1

Die Messungen ergaben keine Überstreichungen der Mittelinsel. Das Fahrzeug befuhr ebenfalls den gepflasterten Innenring. Beim Verlassen des Kreisverkehrs überfuhr das Fahrzeug die gepflasterte Eckausrundung. Außerdem konnten Überstreichungen der Mittelinsel in der Ausfahrt gemessen werden.

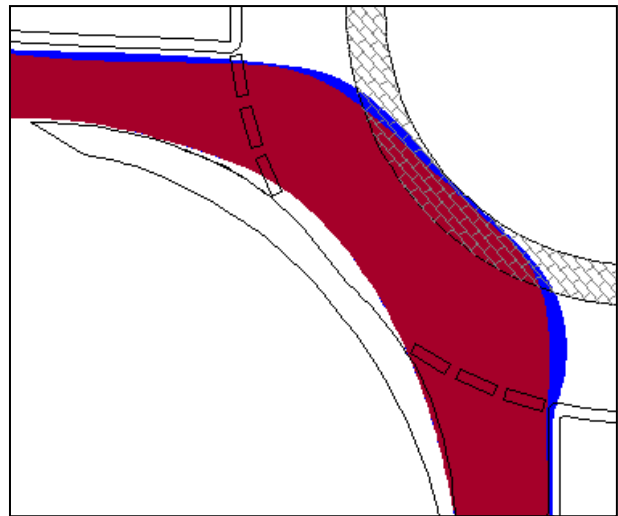


**Bild 66** 1/4-Kreisdurchfahrt Typ 1 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 2

Typ 2 überfuhr die gepflasterte Eckausrundung und überstrich die Mittelinsel in der Ausfahrt. Er nutzte große Bereiche des gepflasterten Innenrings. Gegenüber den Kurvenverläufen von Typ 1 und dem Referenzfahrzeug zeigte sich eine Abplattung der Schleppkurve. Um die 1/4-Kreisdurchfahrt zu schaffen, musste der Lang-Lkw alle Bewegungsspielräume ausnutzen. Der Fahrer

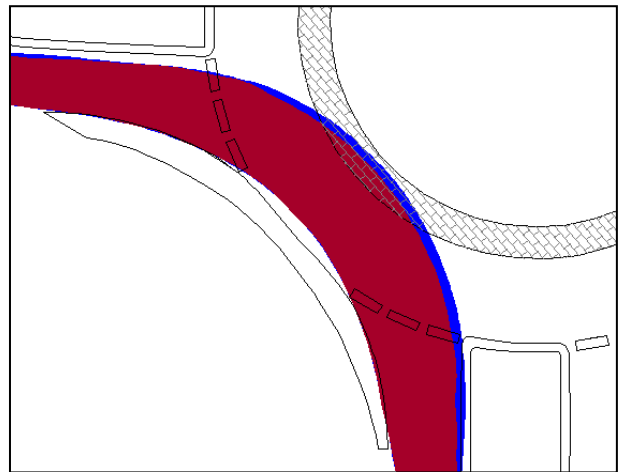
befuhr den Kreisverkehr langsam und lenkte sehr spät ein, um weitere Bögen zu fahren.



**Bild 67** 1/4-Kreisdurchfahrt Typ 2 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 3

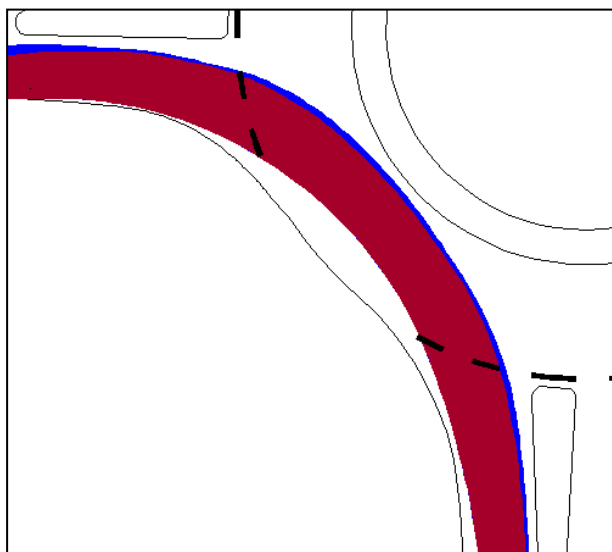
Typ 3 überfuhr die gepflasterte Eckausrundung und überstrich die Mittelinsel in der Ausfahrt. Der Lang-Lkw befuhr den Kreisverkehr in einem Bogen. Dabei nutzte die vorhandenen Bewegungsspielräume für die Kreisbefahrung vollständig aus.



**Bild 68** 1/4-Kreisdurchfahrt Typ 3 Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung

### Typ 5\*

Typ 5\* überfuhr während der 1/4-Kreisdurchfahrten keine Randbereiche. In allen Durchläufen bestand links und rechts des Fahrzeugs ein Abstand zu den Markierungen und Bordsteinen. Die Schleppkurven waren auffallend schlank.



**Bild 69** ¼-Kreisdurchführung Typ 5\* Überstreichungen - blaue Färbung/ Überfahrungen - rote Färbung



## 5 Schlussfolgerungen für den Einsatz von Lang-Lkw

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurden Ein- und Abbiegevorgänge von Lang-Lkw an plangleichen Kreuzungen und Kreisverkehren untersucht.

Nach der Ausnahmeverordnung sind im Feldversuch fünf verschiedene Lang-Lkw-Typen zugelassen. Die Lang-Lkw unterscheiden sich voneinander anhand der Zusammensetzung der Fahrzeuge. Mit Hilfe vorhandener Studien konnte eine Vorauswahl maßgebend kritischer Lang-Lkw-Typen getroffen werden. Aufgrund der Fahrzeugkonfigurationen haben die betrachteten Lang-Lkw unterschiedliche Kurvenlaufeigenschaften. Daher lassen sich aus den Messungen für die hier konkret betrachteten Lang-Lkw Aussagen treffen.

Durch vorherige Forschungsprojekte wurden die zu untersuchenden Ein- und Abbiegevorgänge eingeschränkt. Daher wurden nur das Rechts- einbiegen und das Linksabbiegen untersucht.

Die auf Knotenpunkten ermittelten Schleppkurven hängen von den Fahrern (Erfahrung, Geschicklichkeit, Fahrstil), dem Lang-Lkw-Typ sowie von den verkehrlichen und geometrischen Randbedingungen ab. Die Untersuchungsergebnisse helfen, besondere Ausprägungen des Fahrverhaltens der Typen zu beschreiben und entwerfertechnische Lösungsvorschläge zu unterbreiten.

Bei den Lang-Lkw hängt es vor allem von den Fahrern ab, ob die Randstreifen und Bankette überfahren werden oder nicht. Bei den Untersuchungen stand nur ein kleines Fahrerkollektiv zur Verfügung. Die Wahl der Fahrlinien hatte einen direkten Einfluss auf die Ergebnisse (Lkw überfuhr Markierungen oder nicht).

Für den Einsatz von Lang-Lkw ist, wie im Feldversuch (Positivnetz), ein geprüftes Straßennetz empfehlenswert. Für die Zulassung von Lang-Lkw wird der in der StVZO angegebene BO-Kraftkreis vorgeschrieben. Dieser spiegelt jedoch nicht die Anforderungen an die Kurvenlaufeigenschaften von Lang-Lkw in der Realität wider. Fahrstreifenbreiten, mehrere Richtungswechsel und kleine Eckausrundungen stellen höhere Ansprüche an die Kurvenlaufeigenschaften der Lang-Lkw als sie vom BO-Kraftkreis gefordert werden.

### Plangleiche Kreuzungen und Einmündungen

Aus den Messungen konnten folgende allgemein gültige Ergebnisse für den Einsatz von Lang-Lkw abgeleitet werden:

- Die Fahrzeugtechnik (Liftachsen, Achsabstände, Nachziechachsen) hat einen wesentlichen

Einfluss auf die Kurvenlaufeigenschaften der Lang-Lkw. Eine Vielzahl von technischen Lösungen führt dazu, dass die Lang-Lkw innerhalb ihrer Typenklasse (1, 2, 3, 4 bzw. 5) nicht mehr vergleichbar sind.

- Wenn es die Verkehrssituation erlaubt, benutzen Lang-Lkw-Fahrer bei Linksabbiegevorgängen von der übergeordneten Straße in die untergeordnete Straße, den Nachbarfahrstreifen in der übergeordneten Straße mit (weites Ausholen). Das kann andere Verkehrsteilnehmer verunsichern oder gefährden.
- Wenn es die Verkehrssituation erlaubt, benutzen Lang-Lkw-Fahrer bei Rechts- einbiegevorgängen von der untergeordneten in die übergeordnete Straße den Linksabbiegefahrstreifen. Wenn sich jedoch auf den Linksabbiegefahrstreifen Fahrzeuge befinden, überfahren die Lang-Lkw den ausleitenden Radius (ausschließlich Überfahren der befestigten Flächen). Der Hauptbogenradius sollte daher im Korbbogen mindestens einen Radius  $R_H = 14$  m haben ( $R_H$  der untersuchten Knotenpunkte  $R_H = 12$  m). Dadurch steht im ausleitenden Radius eine größere befestigte Fläche zur Verfügung.
- Zu frühes Einlenken bei Ein- und Abbiegevorgängen führte zu deutlichem "Kurvenschneiden". Dadurch konnten die Fahrer den Knotenpunkt zügig und ohne große Lenkarbeit befahren. Das Kurvenschneiden führte dazu, dass Markierungen und Randstreifen überfahren wurden.
- Die Breite der Knotenpunktzufahrt (Ausfahrquerschnitt zwischen Tropfen und Eckausrundung) sollte nicht schmaler als  $B = 4,4$  m sein. Werden die Knotenpunktzufahrten aber zu breit ausgeführt, kann es wieder zu Problemen bei der Verkehrsführung im Knotenpunkt kommen. Verkehrsteilnehmer mit Fahrzeugen könnten sich möglicherweise in der Zufahrt nebeneinander aufstellen. Dadurch kann es zu gegenseitiger Sichtbehinderung kommen.

Die jeweils typischen Besonderheiten der untersuchten Lang-Lkw-Typen sind im Einzelnen zusammengefasst:

### Referenzfahrzeug

#### Rechts- einbiegen

Wenn auf dem Linksabbiegefahrstreifen ein Verkehrsteilnehmer stand, konnte das Referenzfahrzeug den Linksabbiegefahrstreifen nicht mitbe-

nutzen. Dadurch wurde die Markierung im Bereich des ausleitenden Radius überfahren.

#### Linksabbiegen

Wenn das Referenzfahrzeug zu früh einlenkte, überfuhr es den Tropfen. Der konventionelle Lkw nutzte in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt den gesamten verfügbaren Bewegungsspielraum.

### Typ 1

#### Rechtseinbiegen

Der Fahrzeugüberhang des Typ 1 schwenkte nicht über den Tropfen. Wenn auf dem Linksabbiegefahrstreifen ein Verkehrsteilnehmer stand, konnte Typ 1 diesen nicht mitbenutzen. Dadurch wurde die Markierung im Bereich des ausleitenden Radius überfahren. Das Fahrverhalten ähnelte dem Referenzfahrzeug.

Es wird empfohlen, den ausleitenden Radius von  $R_A = 36$  m auf  $R_A = 42$  m zu vergrößern. Alternativ kann eine Verbreiterung des Einfahrquerschnittes in der übergeordneten Knotenpunktzufahrt von  $B = 3,5$  m auf  $B = 3,9$  m den verfügbaren Bewegungsspielraum vergrößern.

#### Linksabbiegen

Wird bei Linksabbiegevorgängen spät eingelenkt, schwenkt der hintere Fahrzeugüberhang über den Nachbarfahrstreifen. Der vordere Überhang des Sattelaufhängers kann die Eckausrundung im Einfahrquerschnitt überstreichen. Bei zu frühem Einlenken wird der Tropfen überfahren. Die Schleppkurven ähnelten dem Referenzfahrzeug.

Daher wird empfohlen, den Einfahrquerschnitt in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt von  $B = 4,6$  m auf  $B = 5$  m zu vergrößern. Alternativ wird eine Verbreiterung des Ausfahrquerschnittes in der übergeordneten Knotenpunktzufahrt (Breite des Linksabbiegefahrstreifens)  $B = 3,5$  m auf  $B = 3,9$  m empfohlen.

### Typ 2

#### Rechtseinbiegen

Der Fahrzeugüberhang von Typ 2 schwenkte nicht über den Tropfen. Wenn auf dem Linksabbiegefahrstreifen ein Verkehrsteilnehmer stand, konnte Typ 2 diesen nicht mitbenutzen. Dadurch wurde die Markierung im Bereich des ausleitenden Radius berührt. Das Referenzfahrzeug dagegen benötigte weniger Platz und überfuhr die Markierung nicht bei jedem Einbiegevorgang.

Es wird empfohlen, den ausleitenden Radius von  $R_A = 36$  m auf  $R_A = 42$  m zu vergrößern. Alternativ wird eine Verbreiterung des Einfahrquerschnittes

in der übergeordneten Knotenpunktzufahrt von  $B = 3,5$  m auf  $B = 3,6$  m empfohlen.

#### Linksabbiegen

Wird bei Linksabbiegevorgängen spät eingelenkt, schwenkt der hintere Fahrzeugüberhang über den Nachbarstreifen. Das Referenzfahrzeug schwenkte nicht in den benachbarten Fahrstreifen.

Daher wird eine Verbreiterung des Ausfahrquerschnittes in der übergeordneten Knotenpunktzufahrt (Breite des Linksabbiegefahrstreifens)  $B = 3,5$  m auf  $B = 4,2$  m empfohlen.

### Typ 3

#### Rechtseinbiegen

Die Fahrzeugüberhänge des Typ 3 schwenkten nicht über den Tropfen. Wenn auf dem Linksabbiegefahrstreifen ein Verkehrsteilnehmer stand, konnte Typ 3 diesen nicht mitbenutzen. Dadurch wurde der Randstreifen im Bereich des ausleitenden Radius überfahren. Der Sattelanhänger schwenkte durch die aktive Lenkung nicht weiter aus als das Zugfahrzeug. Das Fahrverhalten war schlechter als beim Referenzfahrzeug.

Es wird empfohlen, den ausleitenden Radius von  $R_A = 36$  m auf  $R_A = 42$  m zu vergrößern. Alternativ wird eine Verbreiterung des Einfahrquerschnittes in der übergeordneten Knotenpunktzufahrt von  $B = 3,5$  m auf  $B = 4,0$  m empfohlen.

#### Linksabbiegen

Bei spätem Einlenken überstrich der Lang-Lkw mit dem vorderen Überhang und dem Sattelanhänger die Eckausrundung in der untergeordneten Straße. Die Schleppkurven ähnelten, bis auf die überstrichene Eckausrundung, dem Referenzfahrzeug.

Daher wird eine Verbreiterung des Einfahrquerschnittes in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt von  $B = 4,6$  m auf  $B = 4,7$  m empfohlen.

### Typ 5\*

#### Rechtseinbiegen

Der Lang-Lkw überstrich bei allen Einbiegevorgängen die Markierung des Linksabbiegefahrstreifens in der übergeordneten Straße. Bei jeder Messfahrt überfuhr der Anhänger die Markierung der Eckausrundung. Unter Verwendung einer idealen Fahrlinie ist die Schleppkurve ähnlich dem Referenzfahrzeug.

Es wird empfohlen, den ausleitenden Radius von  $R_A = 36$  m auf  $R_A = 42$  m zu vergrößern. Alternativ ist eine Verbreiterung des Einfahrquerschnittes in der übergeordneten Knotenpunktzufahrt von

B = 3,5 m auf B = 4,0 m zu empfehlen.

#### Linksabbiegen

Der hintere Überhang des Zugfahrzeuges überstrich den Nachbarfahrstreifen in der übergeordneten Straße. Die gefahrenen Fahrlinien lagen sehr weit rechts im Linksabbiegefahrstreifen. Die Schleppkurven ähnelten, abgesehen von den überstrichenen Nachbarfahrstreifen, dem Referenzfahrzeug.

Daher wird eine Verbreiterung des Ausfahrquerschnittes in der übergeordneten Knotenpunktzufahrt (Breite des Linksabbiegefahrstreifens) B = 3,5 m auf B = 4,0 m empfohlen.

#### Kreisverkehre

Aus den Messungen konnten folgende allgemein gültige Ergebnisse für den Einsatz von Lang-Lkw in Kreisverkehren abgeleitet werden:

- Bei  $\frac{1}{4}$ - und  $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundungen haben Lang-Lkw jeweils ein unterschiedliches Kurvenfahrverhalten.
- Lang-Lkw nutzten die gesamten zur Verfügung stehenden Bewegungsspielräume auf den befestigten Flächen aus. Bei Kreisfahrbahnbreiten von  $B < 6,5$  m (einschl. Innenring) wird der innere Bordstein (außer Typ 5\*) bei  $\frac{1}{4}$ - und  $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundungen überfahren. Der innere Bordstein wird nur kurz vor der Ausfahrt aus dem Kreisverkehr überfahren.
- Die Eckausrundung des Einfahrquerschnittes oder die Mittelinsel im Ausfahrquerschnitt wurden bei keiner  $\frac{1}{4}$ - und  $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundung überfahren.
- Bei  $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundungen wurde die Eckausrundung der Ausfahrquerschnitte nicht überfahren.
- Gegenüber dem Referenzfahrzeug und Typ 2 wird bei Typ 1, 3 und 5\* der innere Kreisring bei einer  $\frac{3}{4}$ -Umrundung nur teilweise (eine Überfahung von Typ 1) überfahren.

Die jeweils typischen Besonderheiten der untersuchten Lang-Lkw-Typen in Kreisverkehren sind im Einzelnen zusammengefasst:

#### Referenzfahrzeug

##### $\frac{3}{4}$ -Umrundung

Das Referenzfahrzeug berührte oder überfuhr bei allen Messfahrten den Bordstein des Innenrings im Kreisverkehr. Durch die geliftete Achse benötigte

der Lkw für die  $\frac{3}{4}$ -Umrundung die gesamte Fahrbahnbreite.

##### $\frac{1}{4}$ -Umrundung

Das Referenzfahrzeug überfuhr bei allen Messfahrten die Eckausrundung im Ausfahrquerschnitt. Die Mittelinsel im Ausfahrquerschnitt wurde jeweils durch den vorderen Überhang des Sattelauflegers überstrichen. Der Lkw benötigte den gesamten Bewegungsspielraum für die  $\frac{1}{4}$ -Umrundung.

#### Typ 1

##### $\frac{3}{4}$ -Umrundung

Der Lkw überfuhr oder berührte bei allen Messfahrten den Bordstein des Innenrings. Wie das Referenzfahrzeug benötigte der Lkw den gesamten Bewegungsspielraum im Kreisverkehr.

Es wird eine Verbreiterung der Kreisfahrbahn  $B_K = 6,5$  m auf  $B_K = 6,75$  m empfohlen.

##### $\frac{1}{4}$ -Umrundung

Typ 1 überfuhr, wie das Referenzfahrzeug, die Eckausrundung im Ausfahrquerschnitt. Der Bewegungsspielraum in der Einfahrt und der Kreisfahrbahn wurde vollständig ausgenutzt. Der Bordstein des Innenrings wurde nicht überfahren.

Daher wird eine Verbreiterung des Ausfahrquerschnittes  $B_A = 3,7$  m auf  $B_A = 4,2$  m empfohlen. Alternativ wird eine Vergrößerung der Eckausrundung (Ausfahrt) mit einem Radius von  $R = 14$  m auf  $R = 15$  m empfohlen.

#### Typ 2

##### $\frac{3}{4}$ -Umrundung

Der Lkw überfuhr oder berührte bei allen Messfahrten den Bordstein des Innenrings. Wie das Referenzfahrzeug benötigte der Lkw den gesamten Bewegungsspielraum im Kreisverkehr. Bei allen Messfahrten wurden die Eckausrundungen der Ausfahrt nicht überfahren.

Es wird eine Anpassung der Kreisringbreite  $B_K = 6,5$  m auf  $B_K = 7,0$  m empfohlen. Zur Vergrößerung des verfügbaren Bewegungsspielraumes wird eine Anpassung des Ausfahrquerschnittes von  $B_A = 3,7$  m auf  $B_A = 4,0$  m empfohlen. Alternativ wird empfohlen, die Eckausrundung (Ausfahrt) von  $R = 14$  m auf  $R = 15$  m zu ändern.

##### $\frac{1}{4}$ -Umrundung

Typ 1 überfuhr, wie das Referenzfahrzeug, die Eckausrundung im Ausfahrquerschnitt. Der Bewegungsspielraum in der Einfahrt, der Kreisfahrbahn und dem Ausfahrquerschnitt wurde vollständig ausgenutzt. Der Bordstein des Innen-

rings wurde nicht überfahren.

Daher wird eine Verbreiterung des Ausfahrquerschnittes  $B_A = 3,7$  m auf  $B_A = 4,3$  m empfohlen. Alternativ wird eine Vergrößerung der Eckausrundung (Ausfahrt) von  $R = 14$  m auf  $R = 16$  m empfohlen.

### Typ 3

#### $\frac{3}{4}$ -Umrundung

Typ 3 überfuhr nicht den Bordstein des Innenrings oder die äußere Begrenzungsmarkierung der Kreisfahrbahn. Er benötigte beim Verlassen des Kreisverkehrs die gesamte Breite des Ausfahrquerschnittes. Die Mittelinsel wurde beim Verlassen des Kreisverkehrs nicht überstrichen. Er benötigte weniger Platz als das Referenzfahrzeug, Typ 1 und Typ 2.

#### $\frac{1}{4}$ -Umrundung

Typ 3 überfuhr die Eckausrundung im Ausfahrquerschnitt. Der verfügbare Bewegungsspielraum im Ausfahrquerschnitt wurde, trotz der überfahrenen Randstreifen, vollständig ausgenutzt.

Es wird eine Verbreiterung des Ausfahrquerschnittes von  $B_A = 3,7$  m auf  $B_A = 4,0$  m empfohlen. Alternativ wird eine Vergrößerung der Eckausrundung (Ausfahrt) von  $R = 14$  m auf  $R = 15$  m empfohlen.

### Typ 5\*

#### $\frac{3}{4}$ -Umrundung

Typ 5\* benötigte nicht die gesamten Bewegungsspielräume. Der untersuchte Knotenpunkt hatte jedoch auch einen 0,6 m breiteren Ausfahrquerschnitt als der Kreisverkehr des Referenzfahrzeuges.

Unter Ausnutzung von mehr Bewegungsspielraum sind Kreisverkehre mit Ausfahrquerschnitten  $B_A = 3,7$  m unter Umständen möglich. Eine abschließende Beurteilung kann nicht ohne vertiefende Untersuchungen erfolgen.

#### $\frac{1}{4}$ -Umrundung

Typ 5\* benötigte für die Messfahrten nicht die gesamten Bewegungsspielräume. Er schnitt besser ab als das Referenzfahrzeug.

Ausfahrquerschnitte von  $B_A = 3,7$  m sind aufgrund der Messergebnisse unter Umständen möglich. Eine abschließende Beurteilung kann nicht ohne vertiefende Untersuchungen erfolgen.

## 6 Zusammenfassung

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

In Deutschland wird zur Erprobung solcher überlanger Lastzug-Kombinationen vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) seit dem 1. Januar 2012 ein bundesweiter Feldversuch durchgeführt.

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

Ziel des hier vorliegenden Projektes war es, die Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte außerhalb bebauter Gebiete zu untersuchen und zu bewerten. Dabei sollte festgestellt werden, ob die Gestaltung der Knotenpunkte nach alten und neuen Regelwerken ausreicht oder ob die angrenzenden Flächen (Nachbarfahrstreifen, Randstreifen oder Bankette) benutzt werden müssen.

An Knotenpunkten sollten die folgenden Fahrabläufe betrachtet werden:

- Ein- und Abbiegevorgänge an plangleichen Knotenpunkten und Einmündungen
- Ein- und Abbiegevorgänge auf Kreisverkehrsplätzen

Als Ergebnis der Literaturrecherche wurden die Fahrzeugtypen 1, 2, 3 und 5\* für die Untersuchung ausgewählt. Der Lang-Lkw von Typ 5 nimmt am deutschen Feldversuch nur als 23 m langes Fahrzeug teil (daher die Bezeichnung 5\*). Referenzfahrzeug war ein Sattelkraftfahrzeug nach geltender StVZO, da es im Vergleich zu einer Zugmaschine-Anhänger-Kombination die schlechteren Kurvenlaufeigenschaften hat.

Für die Untersuchungen wurden GoPro-Kameras an den Lang-Lkw angebracht, die eine Beobachtung der Lkw-Achsen ermöglichten. Durch einen Laserscanner konnten die Fahrzeugkanten bei Ein- und Abbiegevorgängen erfasst werden.

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

ten zugeordnet.

Aus Laserscans wurden die Schleppkurven der Fahrzeuge auf den Knotenpunkten erstellt.

Die Messungen fanden während der täglichen Touren der Lang-Lkw statt. Um eine möglichst gute Vergleichbarkeit der Lang-Lkw untereinander zu schaffen, wurden die Fahrzeuge an einem Kreisverkehr und einer Kreuzung gemessen. Die Fahrer mussten die Knotenpunkte mehrmals befahren. Die ausgewählten Knotenpunkte entsprachen jeweils den gültigen Richtlinien.

An den Knotenpunkten wurden das Rechtseinbiegen und das Linksabbiegen untersucht. Das Linksabbiegen stellt eine Fahrt von der übergeordneten Straße in die untergeordnete Straße dar. Der Linksabbiegevorgang sollte klären, ob und wie weit die Fahrzeuge aus ihrem Linksabbiegefahrstreifen in den benachbarten Fahrstreifen ausschwenken. Außerdem sollten Überfahrungen und Überstreichungen der Randmarkierungen und des Tropfens untersucht werden.

Rechtseinbiegevorgänge verlaufen von der untergeordneten Straße in die übergeordnete Straße. Die Rechtseinbiegevorgänge sollten klären, ob es zu Überfahrungen der Eckausrundungen kommt. Außerdem wurde untersucht, ob übergeordnete Linksabbiegefahrstreifen überfahren oder überstrichen werden.

Die Wahl der Kreisverkehrsplätze hing von der Lage im Straßennetz ab. Kreisverkehre mit einer Aufschüttung eigneten sich nicht für die verwendete Messtechnik.

Auf den Kreisverkehren (35 m und 40 m Durchmesser) wurden die  $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundung und die  $\frac{1}{4}$ -Kreisumrundung untersucht. Die  $\frac{1}{4}$ -Kreisumrundung entsprach dem kleinsten Ein- oder Abbiegevorgang auf einem Kreisverkehr. Die  $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundung bestand aus drei Richtungsänderungen.

Das Referenzfahrzeug sowie Lang-Lkw von Typ 1, Typ 2 und Typ 3 konnten jeweils auf den gleichen Kreisverkehr und der gleichen Kreuzung gemessen werden.

Typ 5\* konnte nicht an den gleichen Knotenpunkten untersucht werden. Daher wurden vergleichbare Knotenpunkte gesucht.

### Plangleiche Kreuzungen

Für die Ein- und Abbiegevorgänge auf den plangleichen Knotenpunkten wurde festgestellt, dass es bei Lang-Lkw ähnliche und abweichende

Fahrverhalten gegenüber dem Referenzfahrzeug gibt. Während der Messungen stand für jeden untersuchten Lang-Lkw-Typ ein Fahrer zur Verfügung. Dementsprechend veranschaulichen die Ergebnisse die individuell durch die Fahrer resultierenden Fahrlinien (Schleppkurven). Das hat auf die Messergebnisse positive und negative Auswirkungen. Je nach Fahrstil, Erfahrung und Verkehrssituation hat die Wahl der Leitlinie einen direkten Einfluss auf die überfahrenen Flächen. Die Messungen und Beobachtungen sind daher immer mit einem unbestimmbaren Fehler behaftet.

Bei Rechtseinbiegevorgängen nutzten die Fahrer der Lang-Lkw teilweise die Linksabbiegefahrstreifen. Dadurch war es möglich, weiter auszuholen und auf der Schleppkurveninnenseite die Markierung und den Randstreifen nicht zu überfahren. War das Benutzen des Linksabbiegefahrstreifens nicht möglich, überfuhren die Lkw mit ihren hinteren Achsen die Randmarkierungen und den Randstreifen. Flächen im Seitenraum wurden bei den Untersuchungen nicht überfahren. Lang-Lkw benötigten im Einfahrquerschnitt den gesamten verfügbaren Bewegungsspielraum.

#### Rechteinbiegen

Bei den Rechtseinbiegevorgängen verwendeten die Fahrer unterschiedliche Leitlinien. Bei Typ 1, Typ 3 und Typ 5\* lagen die resultierenden Schleppkurven innerhalb des Bereiches, der auch durch das Referenzfahrzeug überstrichen wurde.

Typ 2 befuhr dagegen eine Leitlinie, die weiter zum Tropfen versetzt war. Trotz einer angepassten Fahrweise überfuhr der Lkw auch die Randmarkierung.

Aus den Messungen und Beobachtungen lässt sich ableiten, dass Lang-Lkw vorrangig den ausleitenden Radius überfahren. Es wird eine Verbreiterung des Einfahrquerschnittes ( $B > 3,5$  m) in der übergeordneten Straße oder eine Verbreiterung des Ausfahrquerschnittes ( $B > 4,4$  m) empfohlen. Alternativ wird eine Vergrößerung des Ausrundungsradius des dreiteiligen Korbbogens (ausleitende Radius  $R_A > 36$  m) empfohlen.

Eine Aufweitung der Zufahrten ermöglicht nicht nur das einfachere Einbiegen der Lang-Lkw. Durch eine Aufweitung der Zufahrt wird die Führung im Knotenpunkt beeinflusst. Die Parallelaufstellung von Verkehrsteilnehmern in der Zufahrt wird dadurch begünstigt. Jedoch kann das die Verkehrssicherheit am Knotenpunkt negativ beeinflussen.

#### Linksabbiegen

Bei Linksabbiegevorgängen hatte die Wahl der gefahrenen Leitlinien einen wesentlichen Einfluss auf die überstrichenen und überfahrenen Flächen. Dadurch ergaben sich überstrichene Flächen mit bis zu  $B = 0,7$  m in den Nachbarfahrstreifen. Bei den Lang-Lkw Typ 1, Typ 3 und dem Referenzfahrzeug waren die gemessenen Überstreichungen ähnlich ausgeprägt.

Bei Typ 2 und Typ 5\* wurden die Nachbarfahrstreifen immer überstrichen. Typ 2 zeigte die größten Überstreichungen. Fuhren die Lang-Lkw durch zeitiges Einlenken einen langgezogenen Bogen, berührten oder überfuhren sie den Tropfen in der untergeordneten Straße. Oftmals wurde auf den gewählten Leitlinien spät eingelenkt, um die Tropfen nicht zu überfahren. Die vorderen Überhänge (Zugfahrzeug oder Sattelauflieger) überstrichen dann die Eckausrundung. Die Überstreichungen betrug bis zu  $B = 0,5$  m (je eine Messung von Typ 1 und Typ 3). Überwiegend wird von Lang-Lkw die Eckausrundung nur berührt. Überfahrene Eckausrundungen traten nicht auf.

Es wird eine Verbreiterung der Linksabbiegefahrstreifen von  $B > 3,25$  m zur Begrenzung ausschwenkender Fahrzeugüberhänge empfohlen. Alternativ wird eine Aufweitung der Einfahrquerschnitte  $B > 4,6$  m empfohlen.

#### Kreisverkehrsplätze

Auf Kreisverkehrsplätzen wurden  $\frac{3}{4}$ - und  $\frac{1}{4}$ -Kreisumrundung untersucht.

##### $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundungen

Bei einer  $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundung beeinflusste die gewählte Fahrlinie, ob Flächen im Kreisverkehr überstrichen oder überfahren wurden. Alle Lang-Lkw (außer Typ 5\*) und das Referenzfahrzeug benötigten den gesamten Bewegungsspielraum in den Kreisverkehren. Die Eckausrundungen im Ausfahrquerschnitt wurden bei den Untersuchungen nicht überfahren. Durch das Referenzfahrzeug, Typ 1 und Typ 2 wurde der Innenring im Kreisverkehr überfahren oder berührt.

##### $\frac{1}{4}$ -Kreisumrundungen

Bei  $\frac{1}{4}$ -Kreisumrundungen benötigten die Lang-Lkw (außer Typ 5\*) und das Referenzfahrzeug den gesamten Bewegungsspielraum im Ausfahrquerschnitt. Außer Typ 2 konnten alle Fahrzeuge in einem Bogen durch den Kreisverkehr fahren. Typ 2 konnte den Kreisverkehr nur sehr langsam und



unter Ausnutzung des verfügbaren Bewegungsspielraumes befahren.

Daher wird eine Vergrößerung der Kreisfahrbahnbreite auf  $B_K = 7,3$  m (alle Lang-Lkw sind damit abgedeckt) empfohlen. Um den verfügbaren Bewegungsspielraum zu erweitern, wird die Verbreiterung der Ausfahrquerschnitte auf  $B_A = 4,3$  m empfohlen. Alternativ wird eine Vergrößerung der Eckausrundung (Ausfahrt) mit einem Radius von  $R = 14$  m auf  $R = 16$  m empfohlen.

Die real gemessenen Schleppkurven der Lang-Lkw würden auf richtliniengerechte Knotenpunkte passen (Ausnahme getesteter Typ 2). Die überstrichenen Flächen der Lang-Lkw werden durch die Knotenpunkte abgedeckt. Voraussetzung ist aber, dass die Lang-Lkw den Knotenpunkt ideal anfahren und befahren. Diese Ideallinien wurden aber nicht gemessen. Die Fahrer waren immer etwas zu weit rechts oder links im Fahrstreifen, so dass sie dann über den anderen Fahrstreifen oder

über den Randstreifen (nicht Bankett) mitgefahren sind.

Im realen Betrieb unter dem realen (Zeit-)Druck muss von solchen Bewegungen und Abweichungen ausgegangen werden. Kurzfristig wäre es noch tolerierbar den Randstreifen zu überfahren – langfristig wäre aber eine Verbreiterung sinnvoll.

Bei Kreisverkehren gilt das nur eingeschränkt. Vorhandene Bewegungsspielräume in den Ausfahrquerschnitten reichen bei  $\frac{1}{4}$ -Kreisfahrten nicht aus. Bei Abweichungen von der idealen Fahrlinie werden in Kreisverkehren der Innenring und Bankette überstrichen oder überfahren.

Die geringsten Abweichungen vom Referenzfahrzeug haben Typ 1 und 5. Diese schnitten teilweise besser ab oder entsprachen dem Fahrverhalten des Referenzfahrzeuges. Am ungünstigsten verhielt sich Typ 2. Hier kam es trotz Ausnutzung der verfügbaren Bewegungsspielräume zu überfahrenen Markierungen und Randstreifen.

## 7 Literaturverzeichnis

- AKERMAN, JONSSON;  
European Modular Systems for road freight transport - experiences and possibilities: <http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=390>, 2007, (2013-03-16)
- ANDERSEN, EIDHAMMER UND Sørensen:  
Longer and heavier goods vehicles in Norway. Status by October 1<sup>st</sup> 2009;  
<https://www.toi.no/article/27945-29.html>, (2013-03-07)
- ARTS, HONER:  
Longer and Heavier Vehicles in the Netherlands; <http://www.ems-france.org/uploads/Rapport%20EN%20LHVs%20in%20the%20Netherlands%20final.pdf>; 2010, (2013-03-14)
- BACHMAN U.A.:  
Gutachten Wissenschaftliche Begleitstudie zum Feldversuch des verlängerten Aufliegerkonzeptes (Eurotrailer); Institut für Kraftwesen Aachen Geschäftsbereich Fahrwerk, Aachen, 2007
- BAST - BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN:  
Mittelfristige Forschungsplanung 2011 / 2015;  
[http://www.bast.de/nn\\_171740/DE/Publikationen/Broschueren/Dokumente/forschungsplanung-2011-2015](http://www.bast.de/nn_171740/DE/Publikationen/Broschueren/Dokumente/forschungsplanung-2011-2015), (2013-07-18)
- BAST - BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN:  
Teilnahme am Feldversuch – Ein Leitfaden;  
<http://www.muenchen.ihk.de/de/standortpolitik/Verkehrsnetze/Gueterverkehr/Bundesweiter-Feldversuch-mit-Lang-Lkw>, (2013-07-18)
- BUNDESVERBAND GÜTERKRAFTVERKEHR LOGISTIK UND ENTSORGUNG (BGL) E.V.:  
BGL-Jahresbericht 2011/2012; <http://www.bgl-ev.de/web/ueber/jahresbericht.htm>, (2013-03-16)
- BUNDESVERBAND GÜTERKRAFTVERKEHR LOGISTIK UND ENTSORGUNG (BGL) E.V.:  
Stellungnahme BGL; <http://www.euro-combi.de/publikationen.php>, (2013-03-07)
- BMVBS - BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG:  
„Feldversuch Lang-Lkw“; <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/LA/lang-lkw-feldversuch.html>, (2013-03-07)
- BMVBS - BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG:  
Strassenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO); [http://www.gesetze-im-internet.de/StVZO\\_2012/](http://www.gesetze-im-internet.de/StVZO_2012/), 2011, (2013-03-07)
- BMVBS - BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG:  
Verordnung über Ausnahmen von strassenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (Lkw-ÜberlStVAusnV); [http://www.gesetze-im-internet.de/lkw\\_berlstausnv/index.html#BJNR614410011BJNE000200000](http://www.gesetze-im-internet.de/lkw_berlstausnv/index.html#BJNR614410011BJNE000200000), 2012, (2013-03-19)
- BUNDESVERBAND GROSSHANDEL, AUSSENHANDEL, DIENSTLEISTUNGEN E.V.:  
Positionspapier: 60-Tonnen-Lkw - Das Europäische Modulare System (EMW); <http://www.euro-combi.de/publikationen.php>, (2013-03-11)
- CEUSTER AT AL.:  
Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles as established within Directive 96/53/EC;  
<http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/studies/>, 2008, (2013-03-10)
- CHRISTIDIS, LEDUC:  
Longer and Heavier Vehicles for freight transport;  
[http://ec.europa.eu/transport/modes/road/weights-and-dimensions\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/modes/road/weights-and-dimensions_en.htm), 2009, (2013-03-07)
- COUNCIL OF MINISTERS OF TRANSPORTATION AND HIGHWAY SAFETY:  
Summary Information on MOU National Standards - December 2011;  
<http://www.comt.ca/english/programs/trucking/standards.html>, (2013-03-10)
- EG - EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFTEN:  
Richtlinie 96/53/EG des Rates vom 25. Juli 1996 zur Festlegung der höchstzulässigen Abmessungen für bestimmte Strassenfahrzeuge im innerstaatlichen und grenzüberschreitenden Verkehr in der Gemeinschaft sowie zur Festlegung der höchstzulässigen Gewichte im grenzüberschreitenden Verkehr; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, Nr. L 235/59, 1996

- EIDHAMMER, SORENSEN, ANDERSEN;  
Longer an heavier goods vehicles in Norway.  
Status by October 1<sup>st</sup> 2009;  
[https://www.toi.no/getfile.php  
/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/2009/1  
040-2009/1040-2009-Sum.pdf](https://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/2009/1040-2009/1040-2009-Sum.pdf), 2009, (2013-03-  
07)
- EUROPEAN TRANSPORT SAFETY COUNCIL - ETSC;  
ETSC Position on Longer and Heavier Goods  
Vehicles on the roads of the European Union;  
<http://www.etsc.eu/documents.php?did=3>,  
2011, (2013-03-07)
- FKA FORSCHUNGSGESELLSCHAFT KRAFTFAHRWESEN  
MBH AACHEN:  
Roadtrain-Konzept für den europäischen  
Güterverkehr; [http://www.euro-  
combi.de/publikationen.php](http://www.euro-combi.de/publikationen.php), 2005, (2013-03-  
11)
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND  
VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.); ARBEITSGRUPPE  
STRASSENENTWURF:  
Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur  
Überprüfung der Befahrbarkeit von  
Verkehrsflächen; Forschungsgesellschaft für  
Straßen- und Verkehrswesen Verlag, Köln,  
2001
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND  
VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.); ARBEITSGRUPPE  
STRASSENENTWURF:  
Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren;  
Forschungsgesellschaft für Straßen- und  
Verkehrswesen Verlag, Köln, 2006
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND  
VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.); ARBEITSGRUPPE  
STRASSENENTWURF:  
Empfehlungen für Rastanlagen an Straßen  
(ERS); Forschungsgesellschaft für Straßen-  
und Verkehrswesen Verlag, Köln, 2011
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND  
VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.); ARBEITSGRUPPE  
STRASSENENTWURF:  
Richtlinien für die Anlage von Autobahnen  
(RAA); Forschungsgesellschaft für Straßen-  
und Verkehrswesen Verlag, Köln, 2008
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND  
VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.); ARBEITSGRUPPE  
STRASSENENTWURF:  
Richtlinien für die Anlage von Landstraßen  
(RAL); Forschungsgesellschaft für Straßen- und  
Verkehrswesen Verlag, Köln, 2013
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND  
VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.); ARBEITSGRUPPE  
STRASSENENTWURF:  
Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen  
(RASt); Forschungsgesellschaft für Straßen-  
und Verkehrswesen Verlag, Köln, 2006
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND  
VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.); ARBEITSGRUPPE  
STRASSENENTWURF:  
Richtlinien für die Anlage von Straßen - Teil  
Plangleiche Knotenpunkte (RAS-K-1);  
Forschungsgesellschaft für Straßen- und  
Verkehrswesen Verlag, Köln, 2001
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND  
VERKEHRSWESEN FGSV (HRSG.), ARBEITSGRUPPE  
STRASSENENTWURF:  
Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen  
an Straßen (RSA); 4. Auflage,  
Forschungsgesellschaft für Straßen- und  
Verkehrswesen Verlag, Köln, 2010
- FRIEDRICH U.A.:  
Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher  
Knotenpunkte mit Fahrzeugen des  
Schwerlastverkehrs; Schlussbericht der  
Technische Universität Braunschweig, 2013
- GLAESER U. A.:  
"Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten  
auf die Infrastruktur des  
Bundesfernstraßennetzes", im Auftrag der  
Bundesanstalt für Straßenwesen – BASt,  
Schlussbericht, Bergisch Gladbach, 2006
- GLAESER U. A.:  
"Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten  
auf die Infrastruktur des  
Bundesfernstraßennetzes", im Auftrag der  
Bundesanstalt für Straßenwesen – BASt,  
Schlussbericht, Bergisch Gladbach, 2008
- HONER:  
Experiences with Longer and Heavier Vehicles  
(LHV's) in the Netherlands;  
[http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?ite  
mid=4014](http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?ite<br/>mid=4014); Rijkswaterstaat Ministerie van  
Vekeer an Waterstaat, 2010, (2013-03-15)
- ISIKLAR:  
Simulation of complex articulated commercial  
vehicles for different driving manoeuvres;  
[http://alexandria.tue.nl/repository/-  
books/673465.pdf](http://alexandria.tue.nl/repository/-<br/>books/673465.pdf); Eindhoven University of  
Technology, 2007, (2013-03-24)

**KÖGEL:**

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

**LIENKAMP U.A.:**

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

**MCKINNON U. A.:**

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

**OEHR, LUETHI:**

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

**SCHNÜLL, HOFFMANN, KÖLLE UND ENGELMANN:**

Grundlagen für die Bemessung von fahrgeometrischen Bewegungsräumen für Nutzfahrzeuge mit mehr als 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht; Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 827, Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, 2001

**STRASSENVERKEHRS-ZULASSUNGS-ORDNUNG (STVZO):**

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

**STÜRMER, WANGRIN, WÖHRMANN:**

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

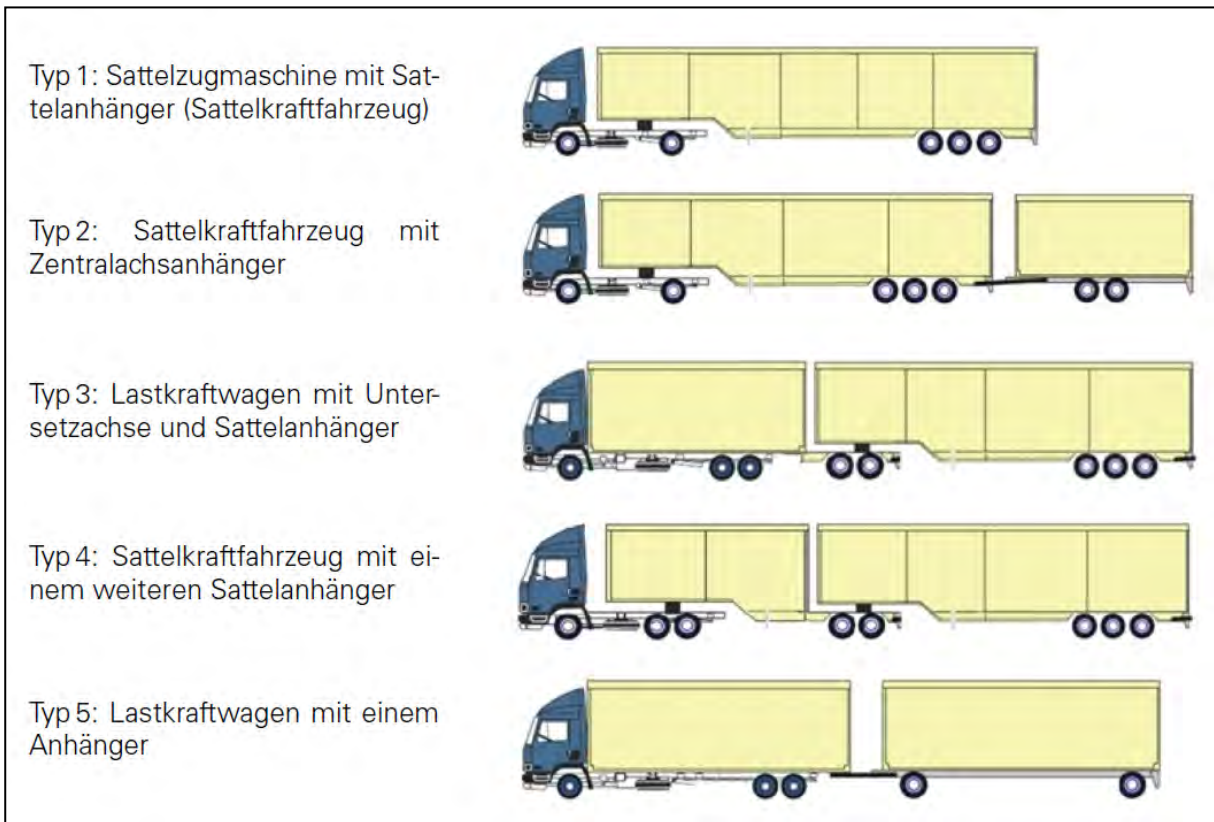
**U.S. DEPARTMENT OF ENERGY:**

States that Allow Longer Combination Vehicles;  
[http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/facts/2006\\_fcvt\\_fotw411.html](http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/facts/2006_fcvt_fotw411.html), (2013-03-07)

**VDA PRESSE:**

Fakten und Argumente zum Öko-Laster;  
[http://www.logistik-tv.net/lang-lkw-klima-schutz-verkehrswachstum-vda-verkehrstraeger\\_id186.html](http://www.logistik-tv.net/lang-lkw-klima-schutz-verkehrswachstum-vda-verkehrstraeger_id186.html) (sic), (2013-03-20)

## Anlage 1- Literaturergebnisse



**Bild 70** Mögliche Fahrzeugkombinationen nach LkwÜberStVAusnV



**Bild 71** lenkbarer Dolly


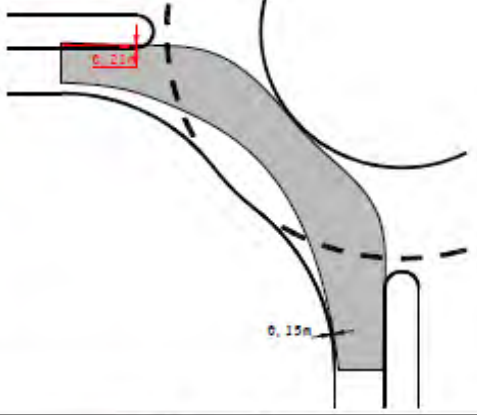

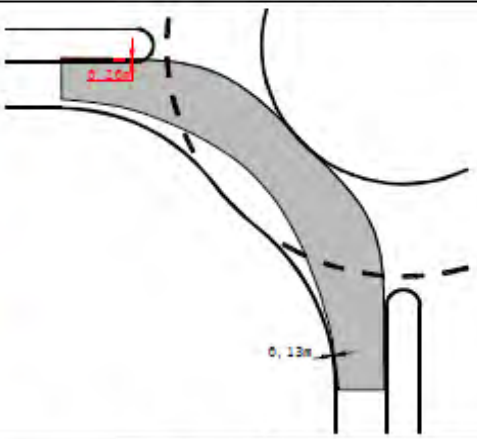

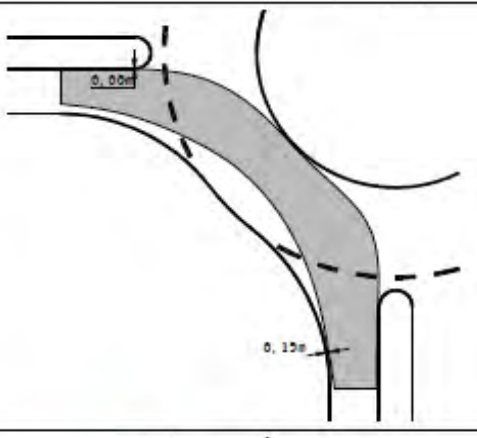

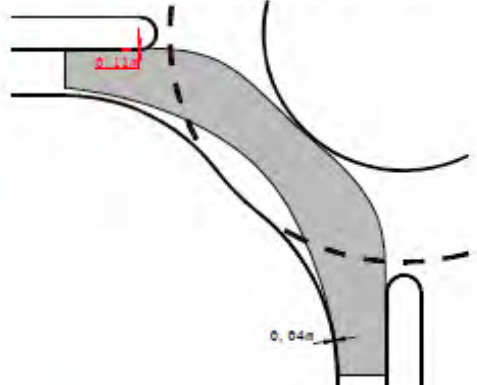
|  |  |
|--|--|
| <p>Sattelzug mit Tandemachsanhänger</p>         |    |
| <p>6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger</p>    |   |
| <p>Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern</p>  |  |
| <p>6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern</p>   |  |

Bild 72 Befahrbarkeit des kleinen Kreisverkehr ¼ Kreis - Fahrversuch (Glaeser 2008)



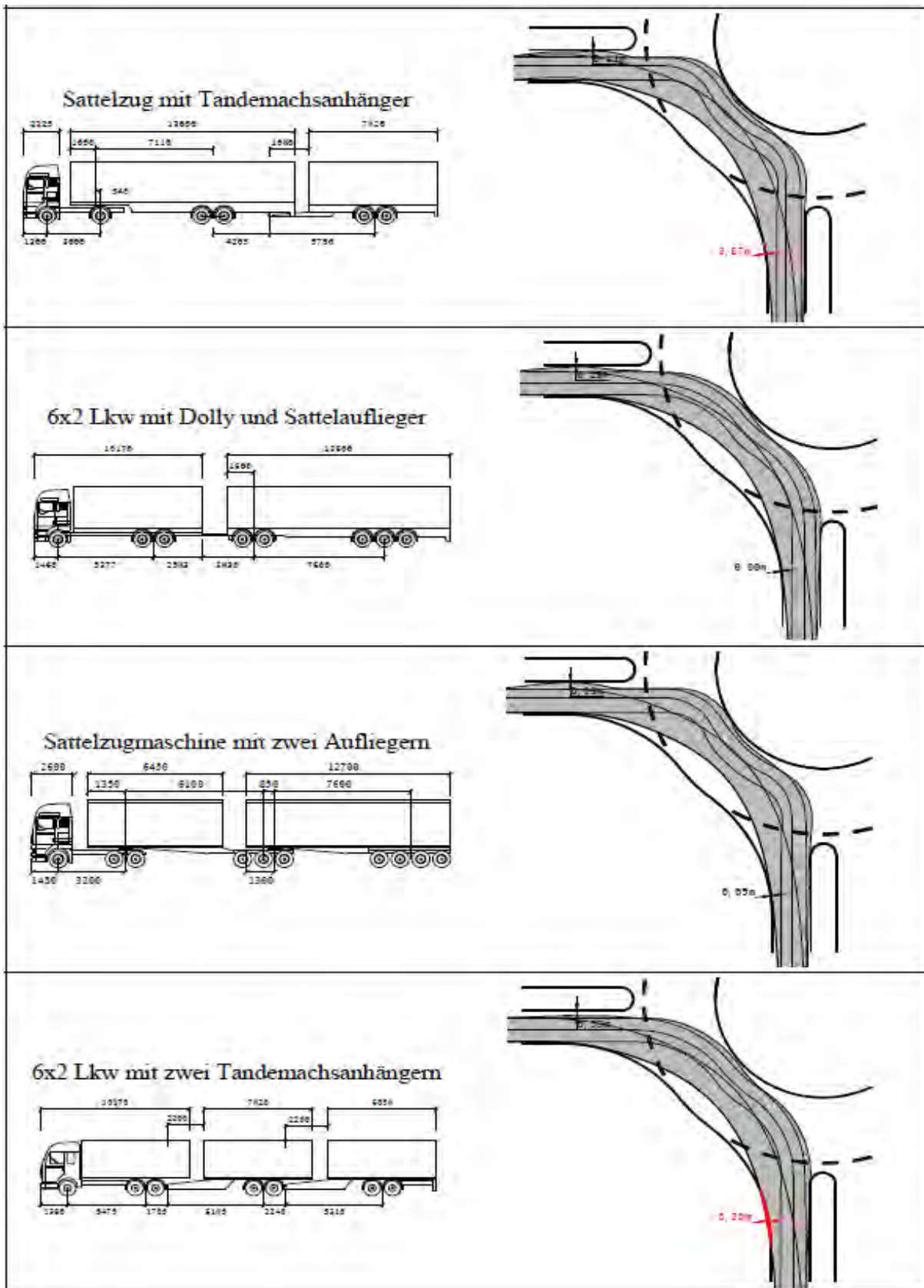
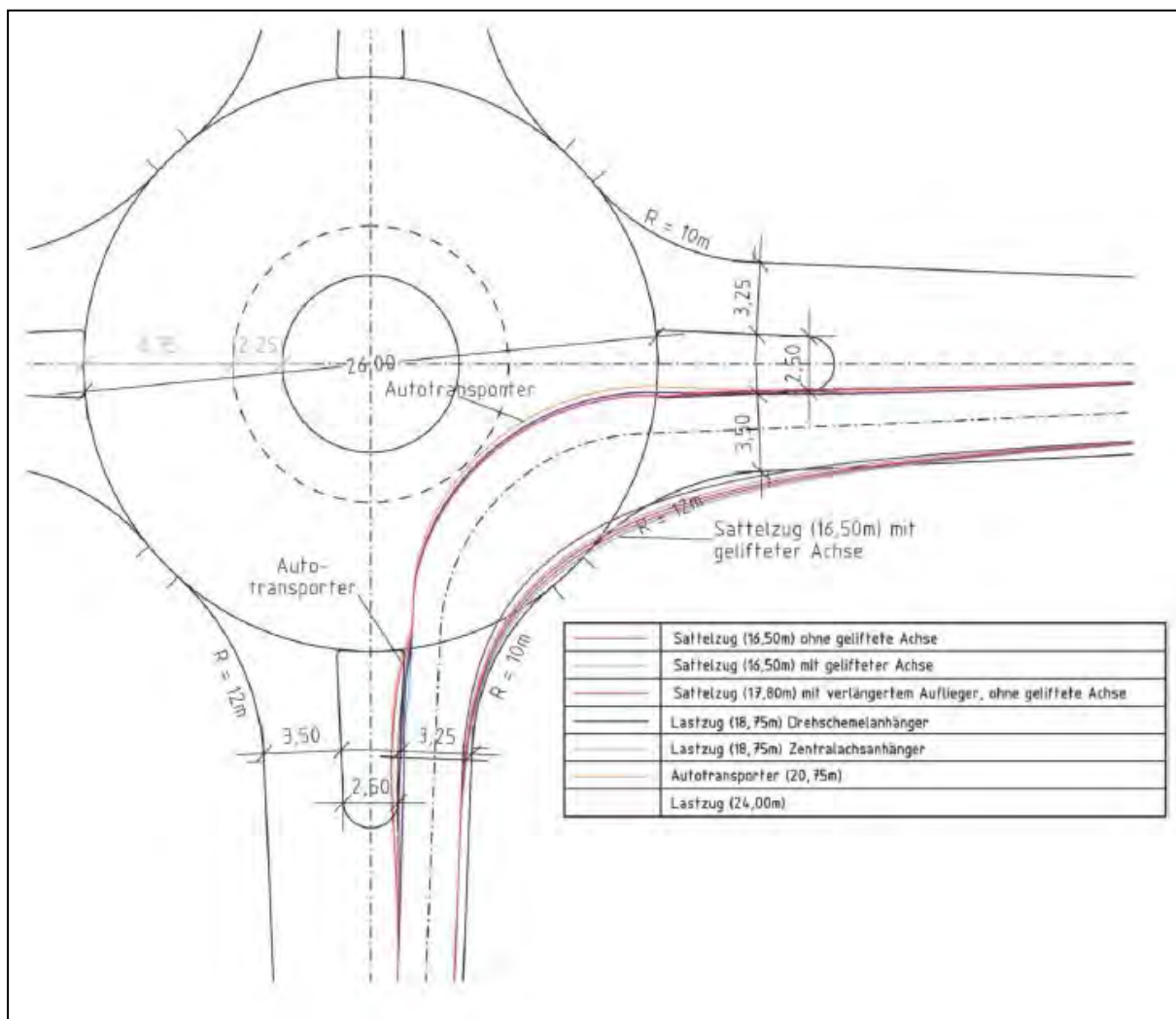
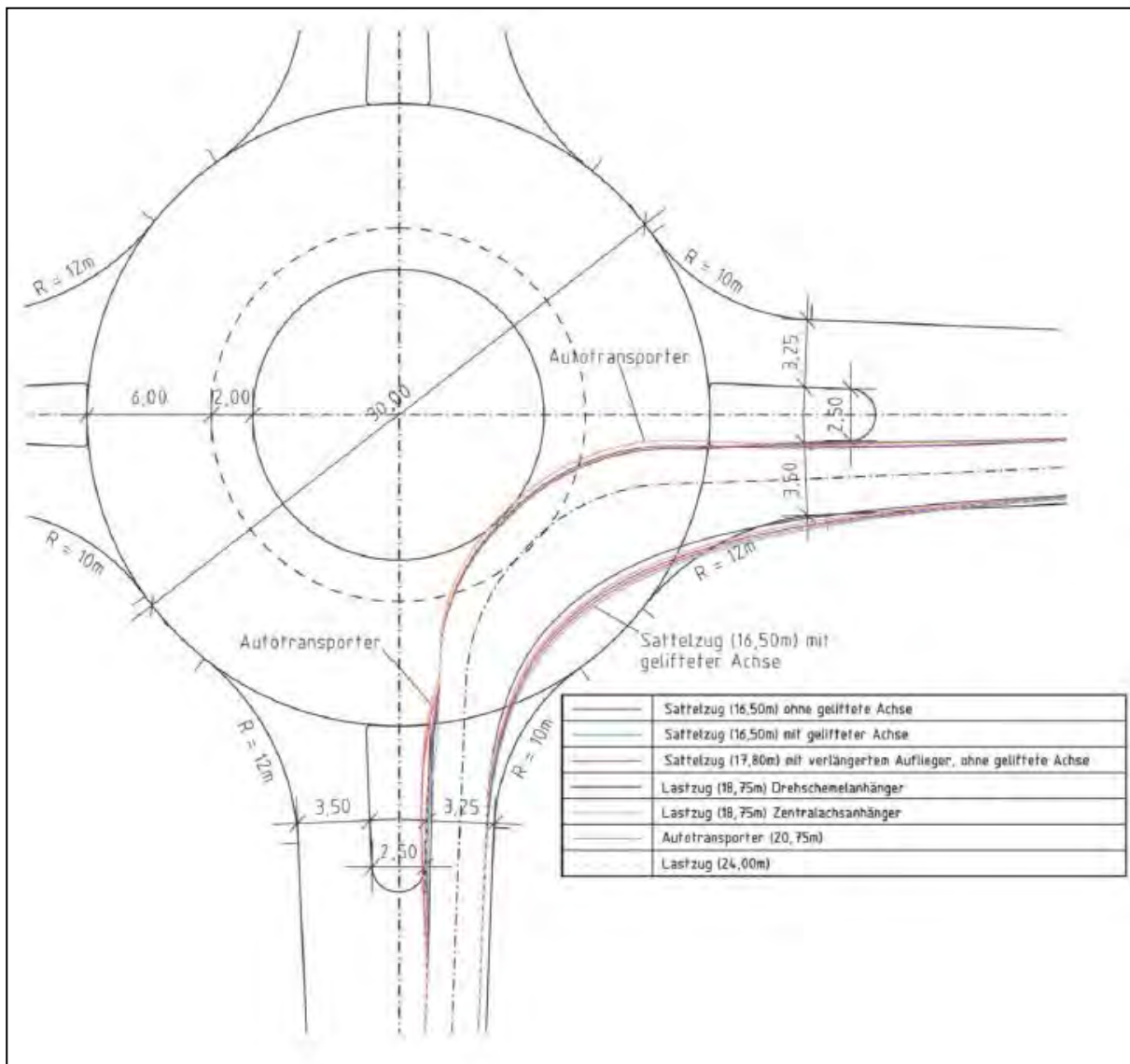


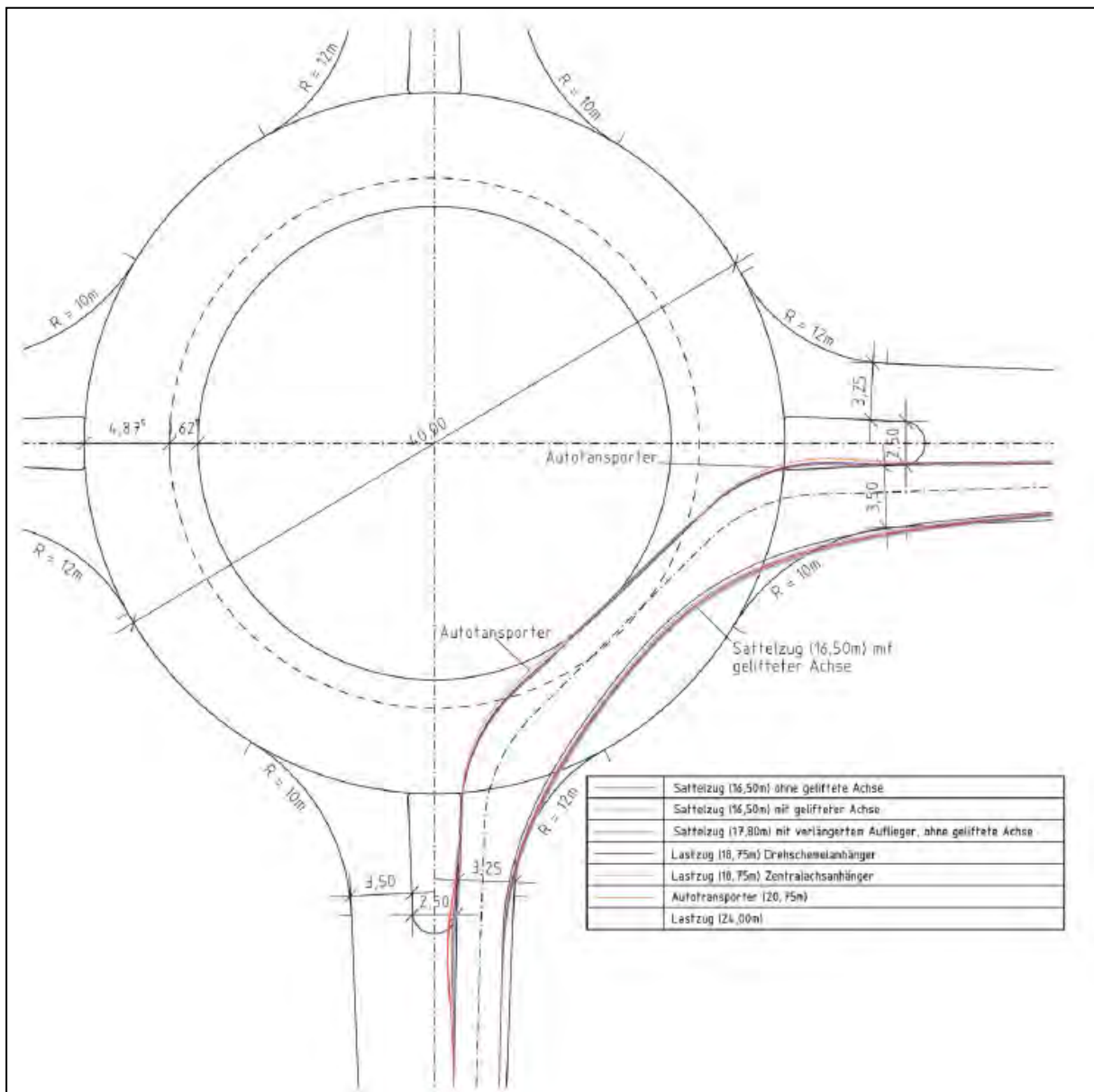
Bild 73 Befahrbarkeit des kleinen Kreisverkehr ¼ Kreis - Simulation (Glaeser 2008)



**Bild 74** Befahrung 1/4-Kreis, kleiner Kreisverkehr, Durchmesser 26,00 m [Friedrich u.a. 2013]



**Bild 75** Befahrung 1/4-Kreis, kleiner Kreisverkehr, Durchmesser 30,00 m [Friedrich u.a. 2013]



**Bild 76** Befahrung ¼-Kreis, kleiner Kreisverkehr, Durchmesser 40,00 m [Friedrich u.a. 2013]

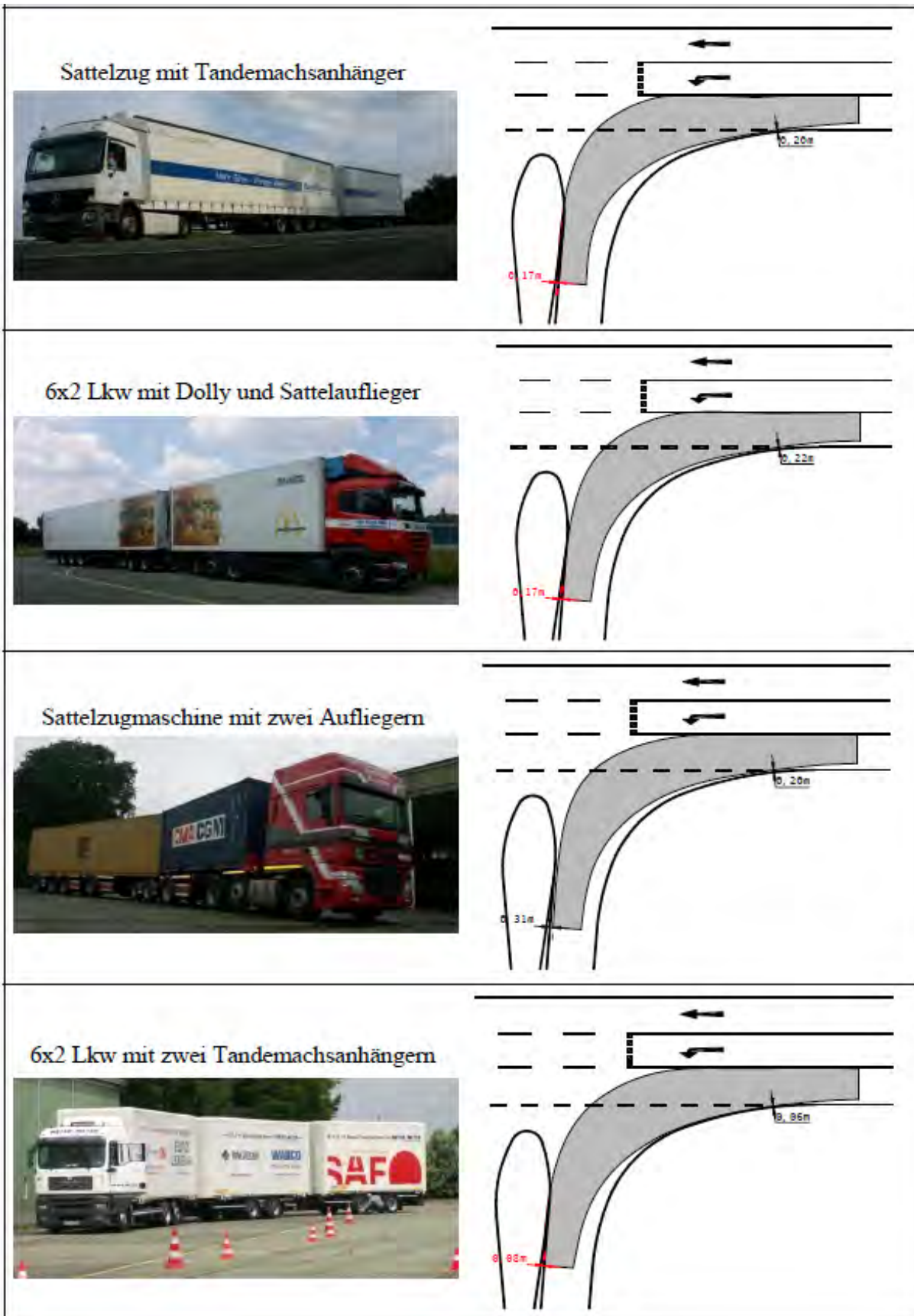


Bild 77 Befahrbarkeit von außerörtlichen Knotenpunkteinmündungen - Fahrversuch (Glaeser 2008)



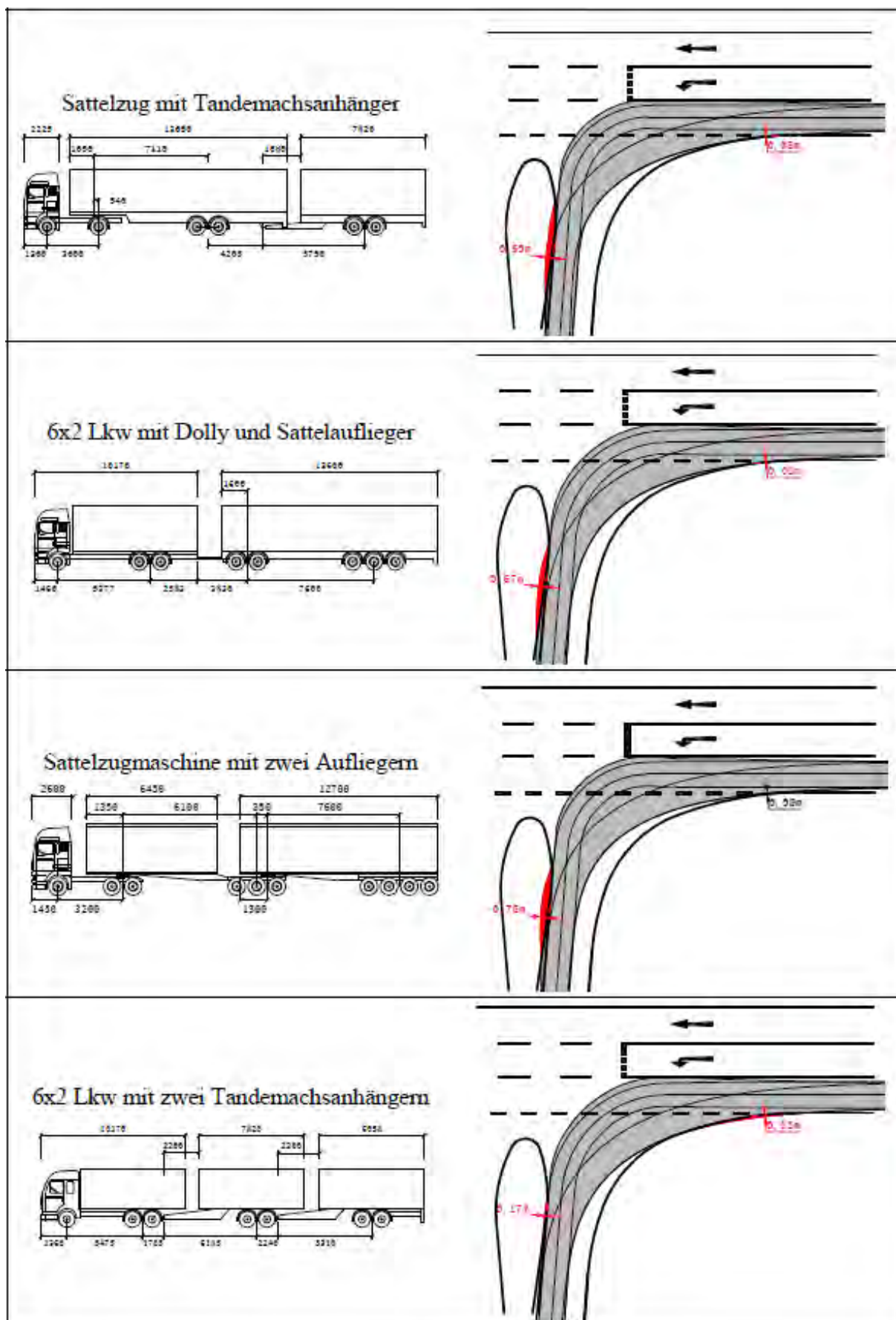
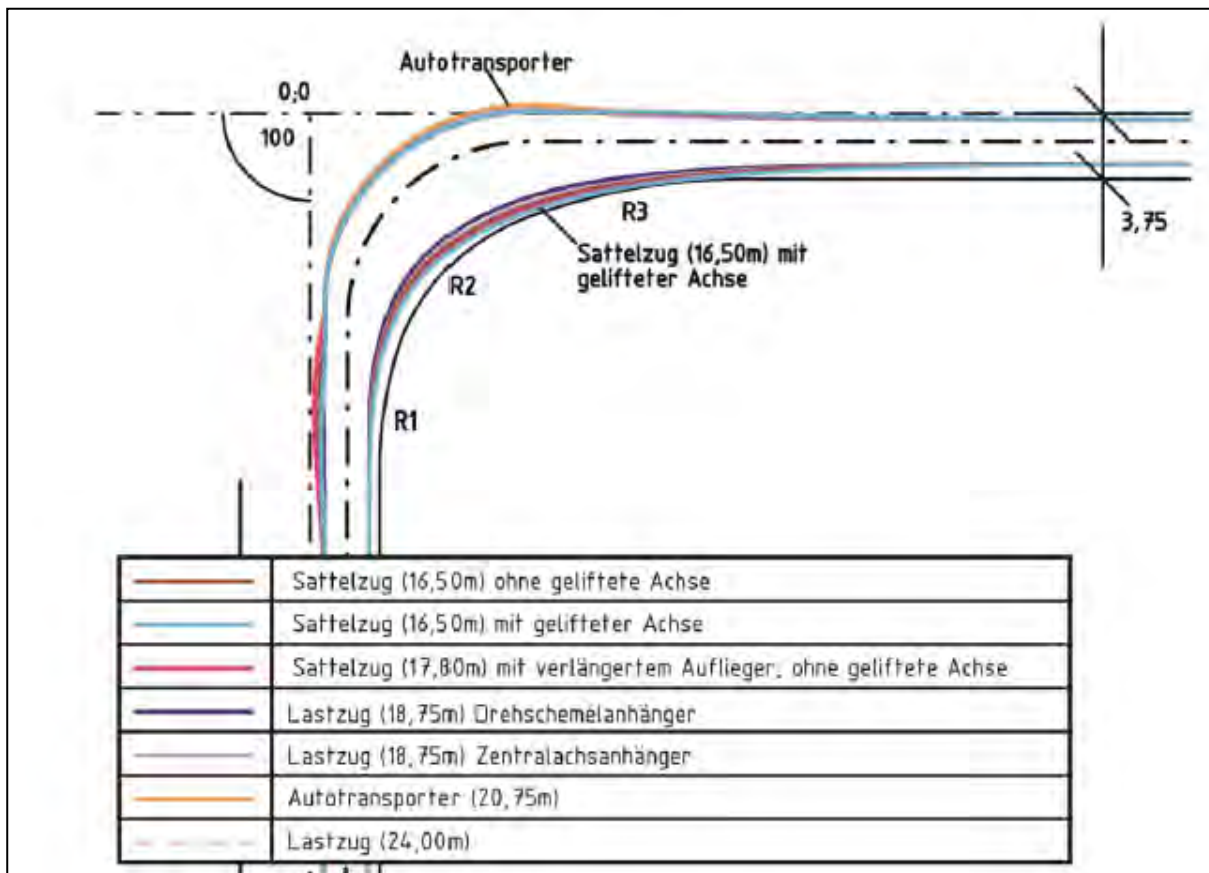
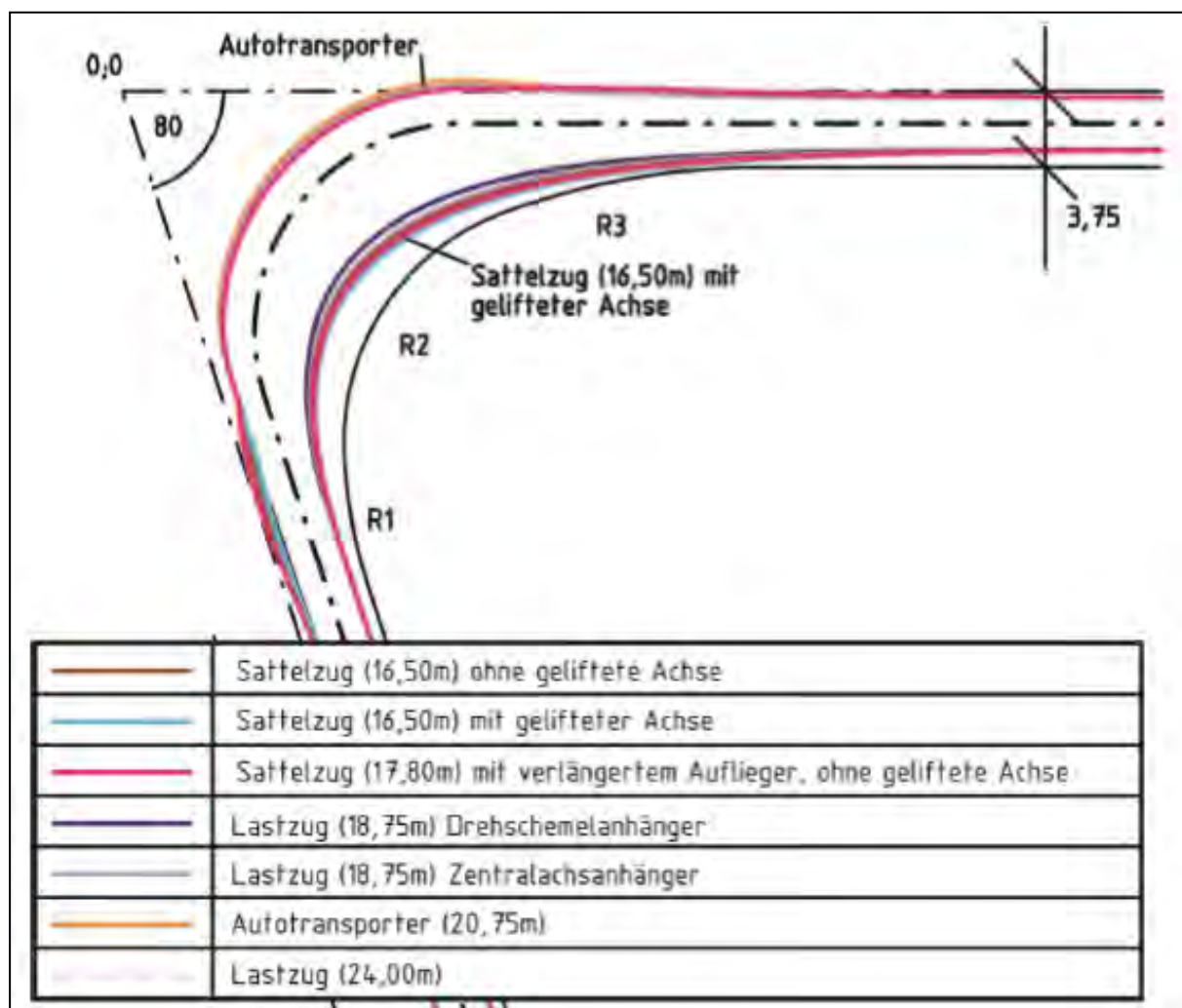


Bild 78 Befahrbarkeit von außerörtlichen Knotenpunkteinmündungen - Simulation (GLAESER 2008)





**Bild 79** Befahrung Einmündung 100 gon, Rechtseinbiegen [FRIEDRICH U.A. 2013]



**Bild 80** Befahrung Einmündung 80 gon, Rechtseinbiegen [FRIEDRICH u.a. 2013]

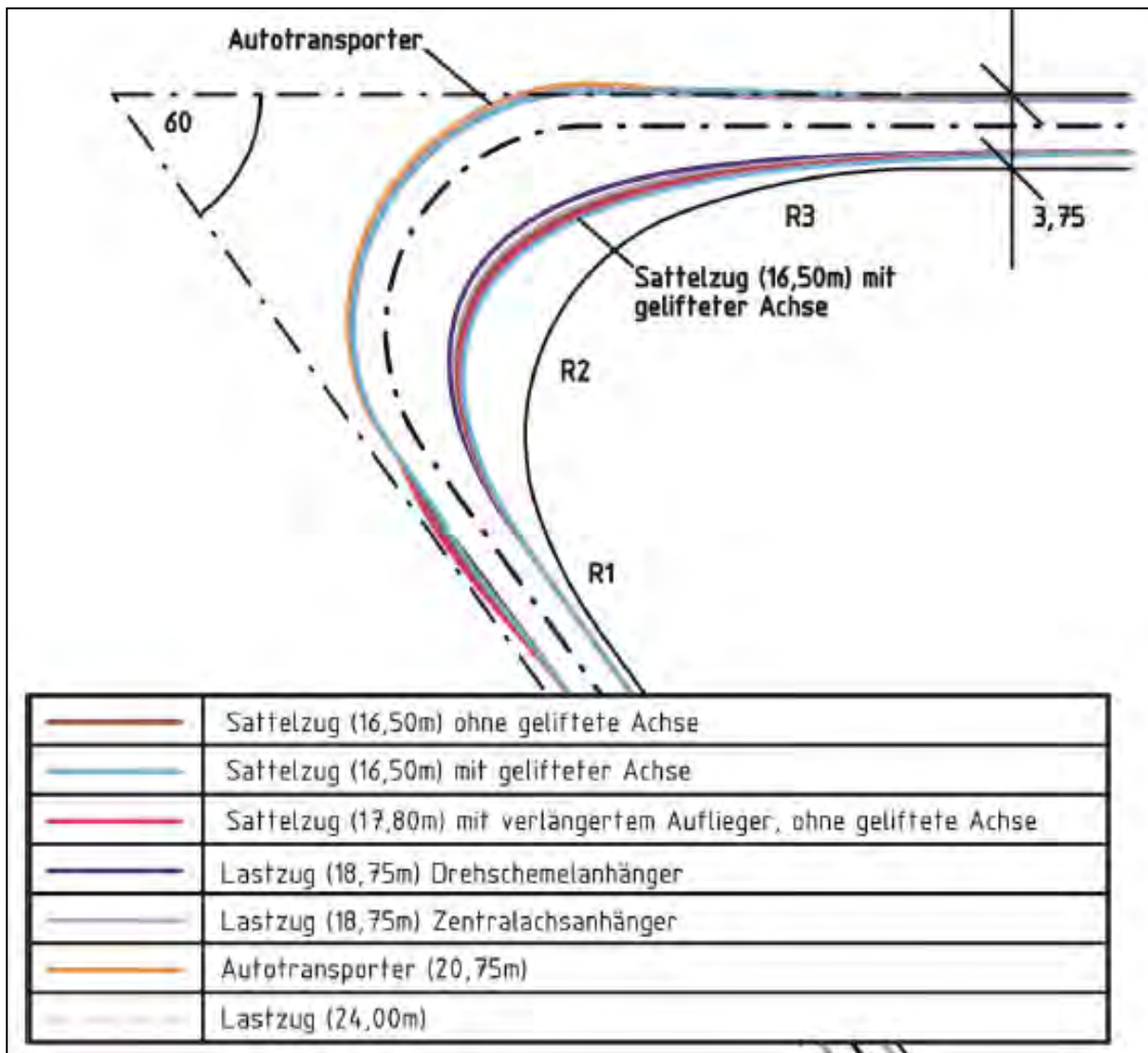


Bild 81 Befahrung Einmündung 60 gon, Rechtseinbiegen [FRIEDRICH u.a. 2013]

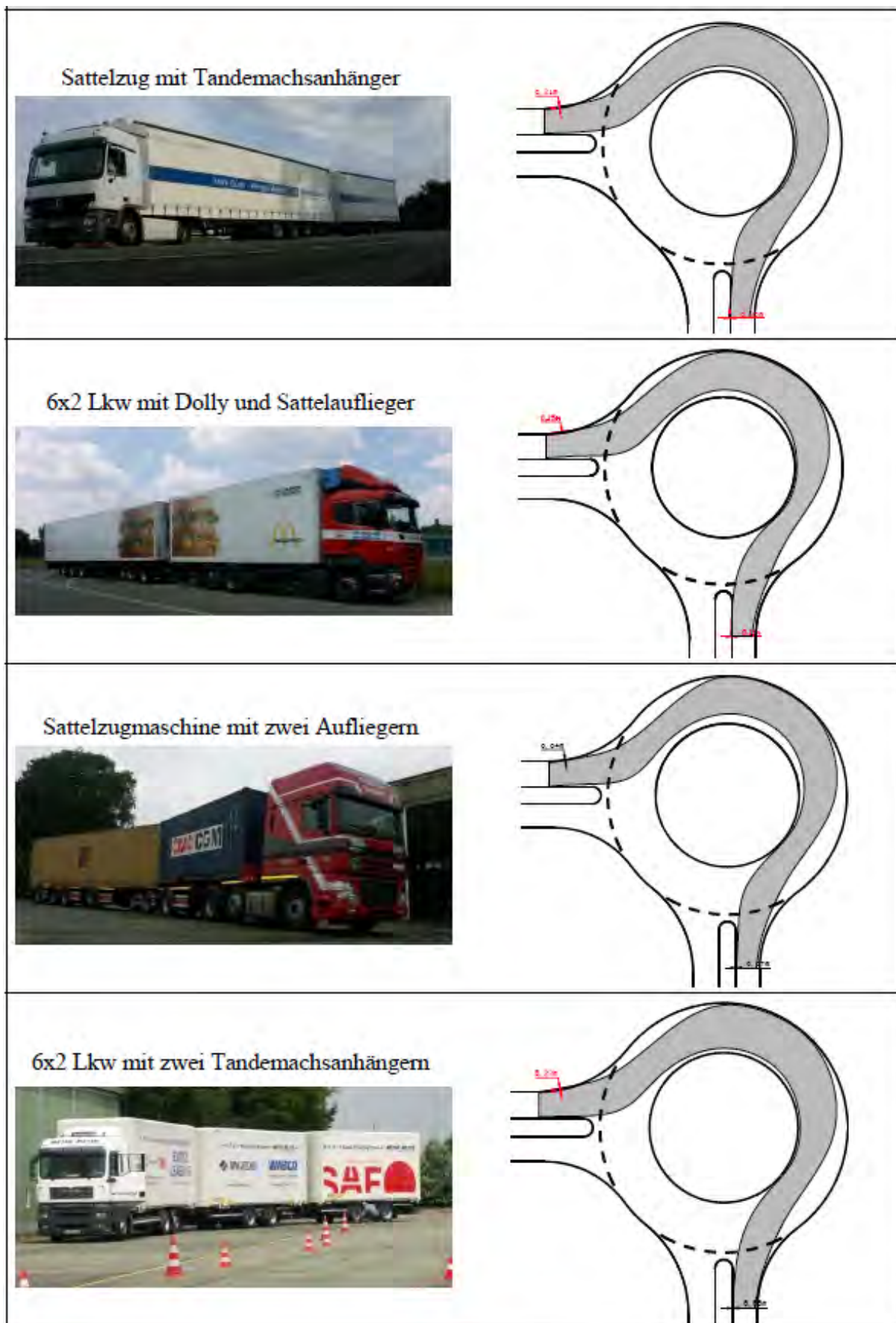


Bild 82 Befahrbarkeit des kleinen Kreisverkehr  $\frac{1}{4}$  Kreis - Fahrversuch (GLAESER 2008)



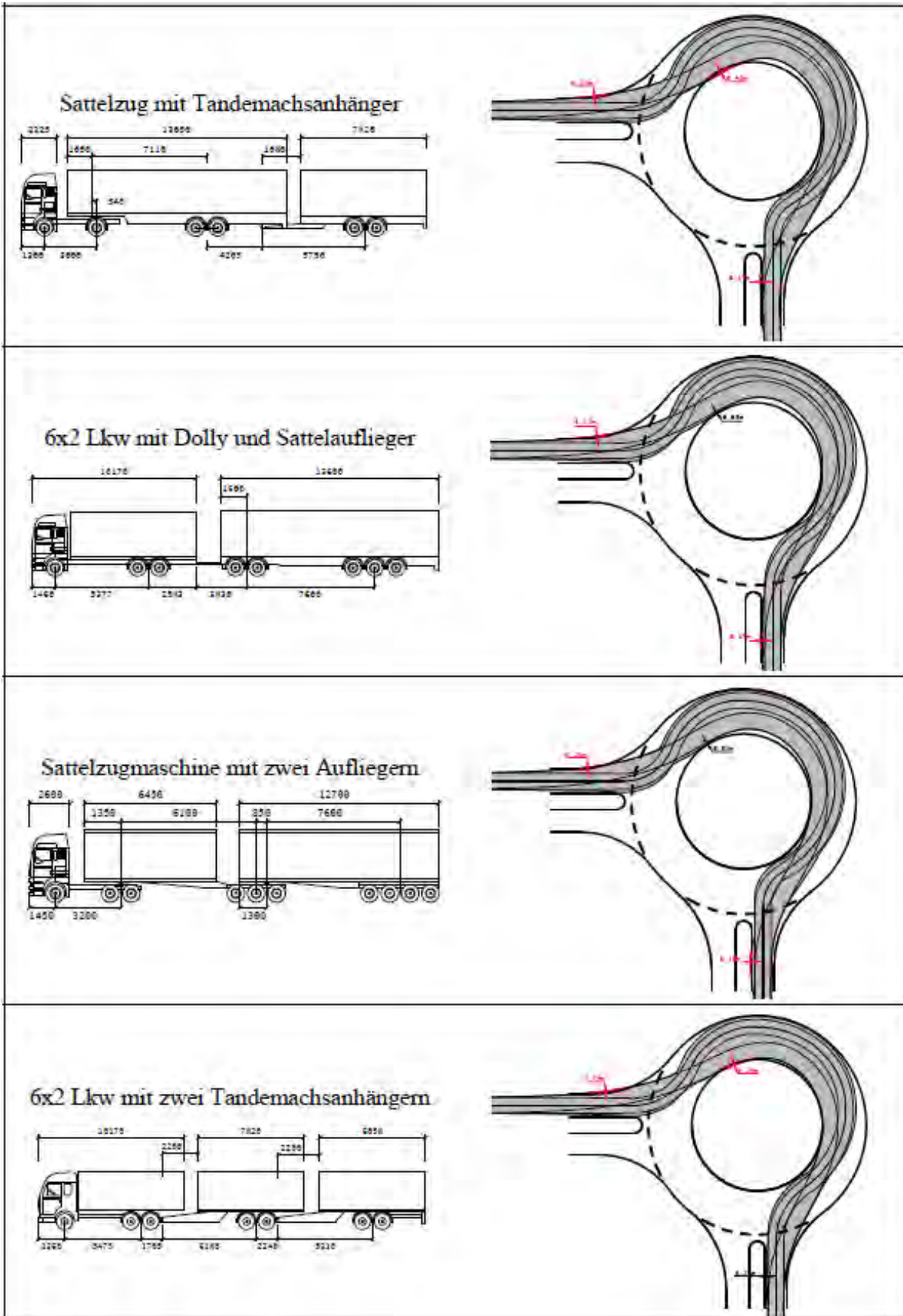
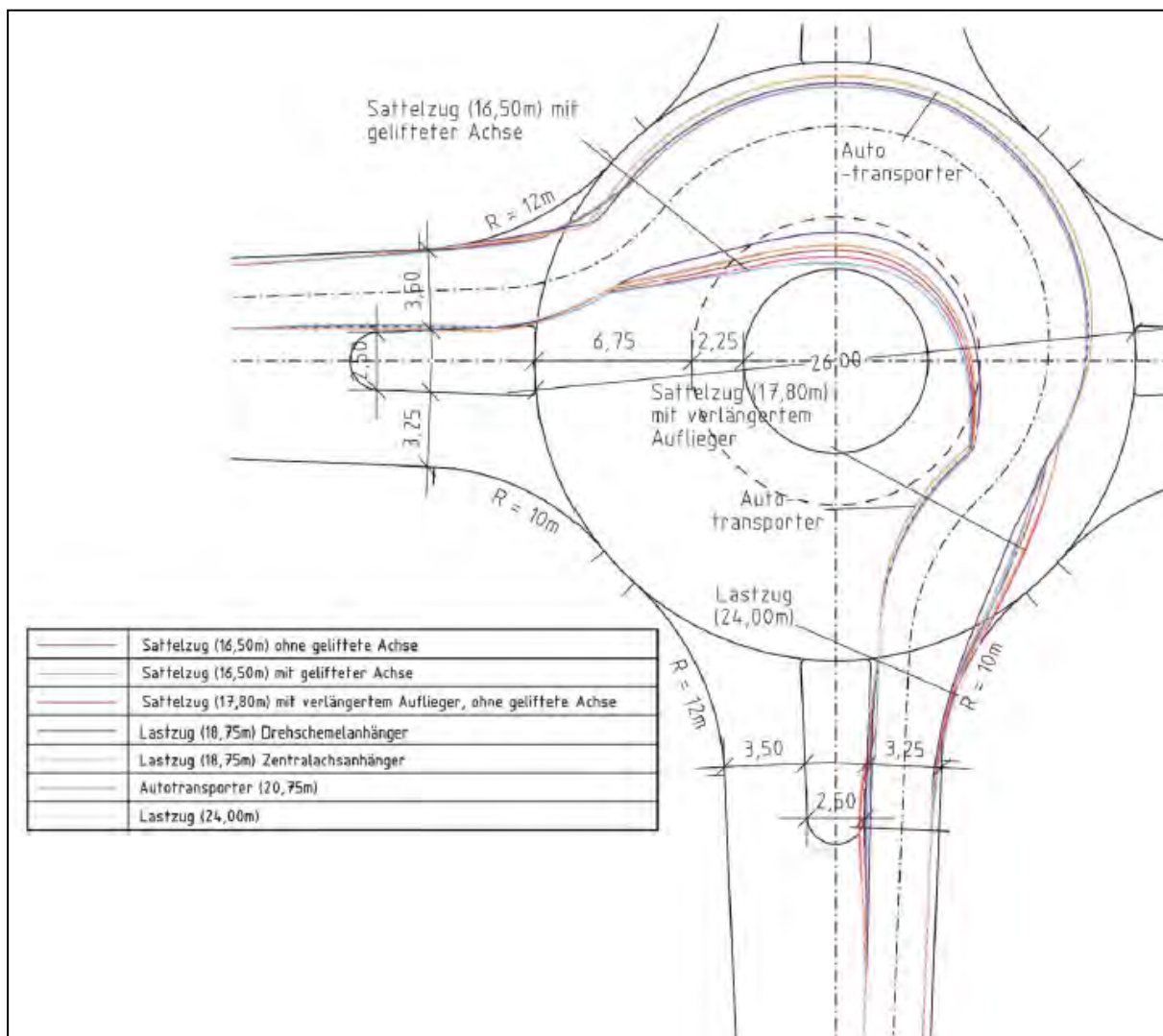
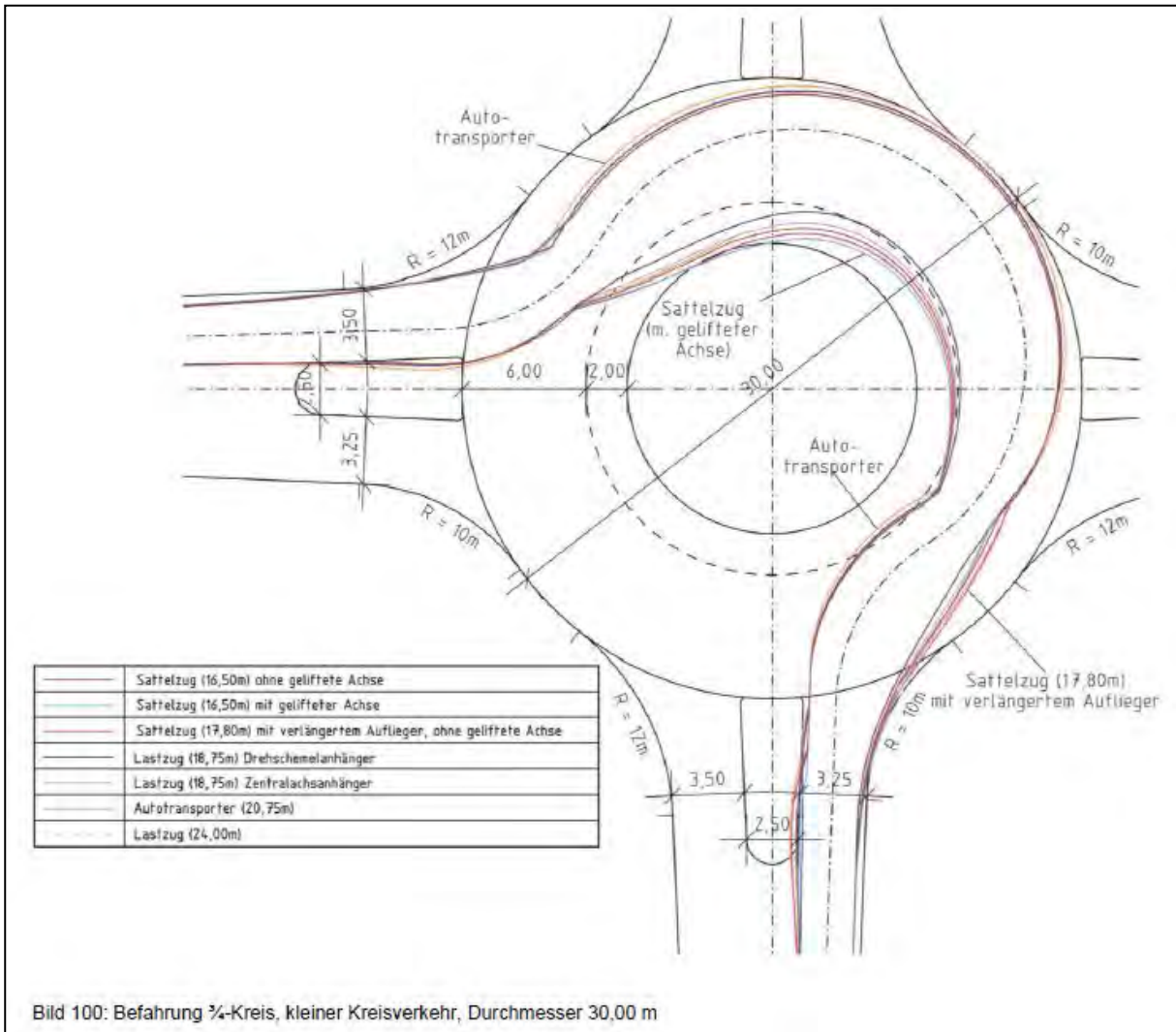


Bild 83 Befahrbarkeit des kleinen Kreisverkehr ¼ Kreis - Simulation (GLAESER 2008)

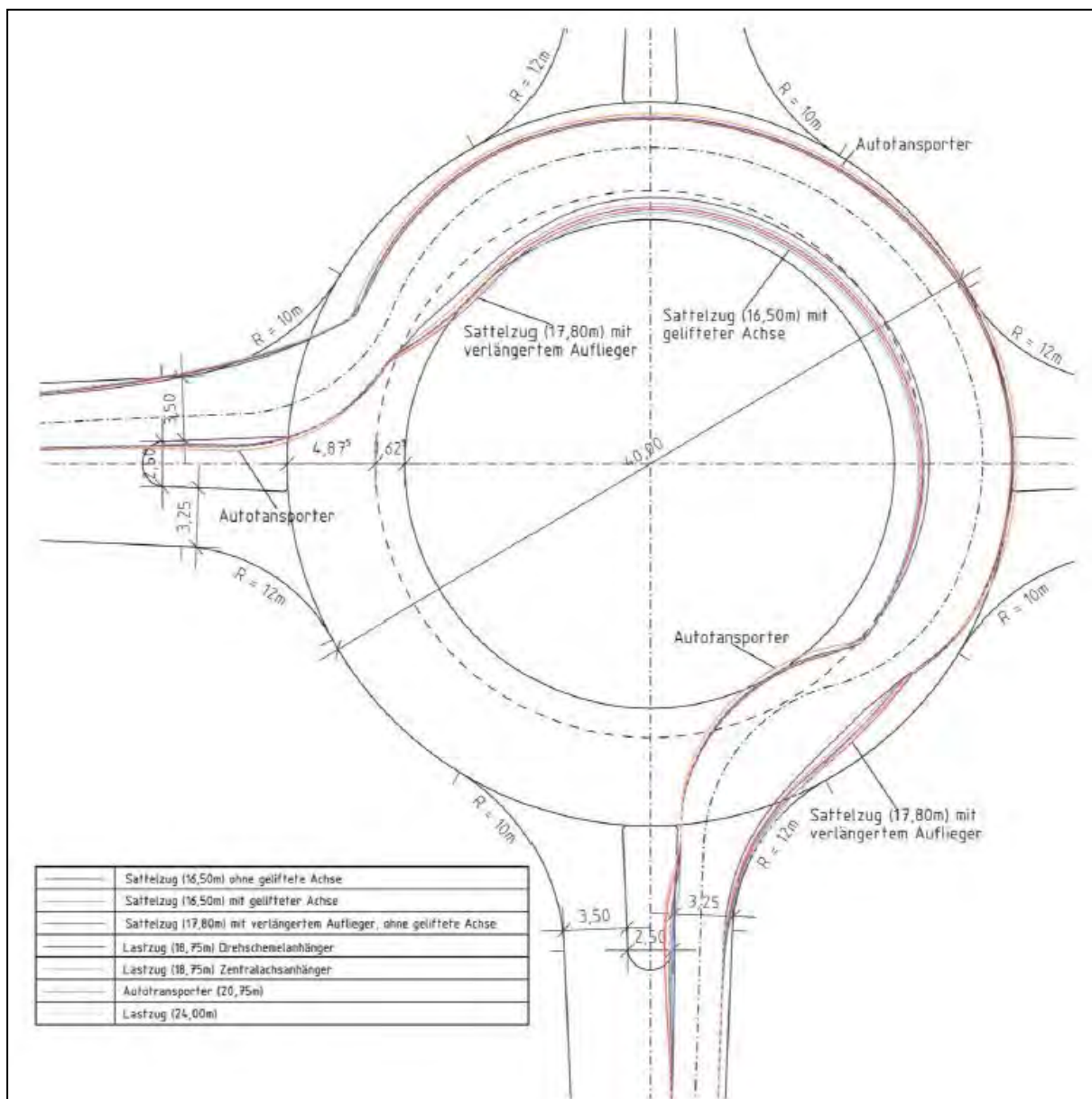




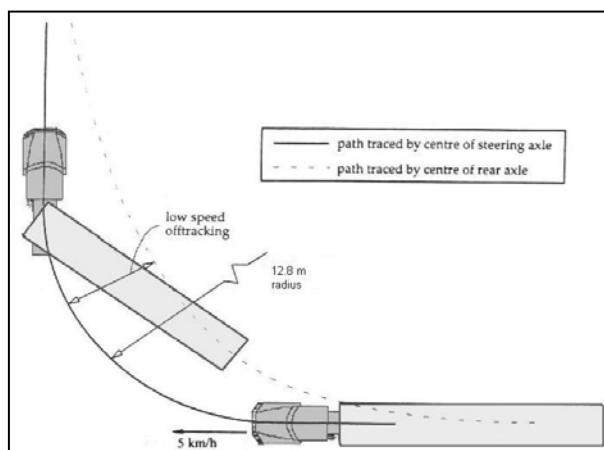
**Bild 84** Befahrung  $\frac{1}{4}$ -Kreis, kleiner Kreisverkehr, Durchmesser 26,00 m [FRIEDRICH U.A. 2013]










**Bild 85** Befahrung ¾-Kreis, kleiner Kreisverkehr, Durchmesser 30,00 m [FRIEDRICH U.A. 2013]



**Bild 86** Befahrung  $\frac{3}{4}$ -Kreis, kleiner Kreisverkehr, Durchmesser 40,00 m [FRIEDRICH U.A. 2013]



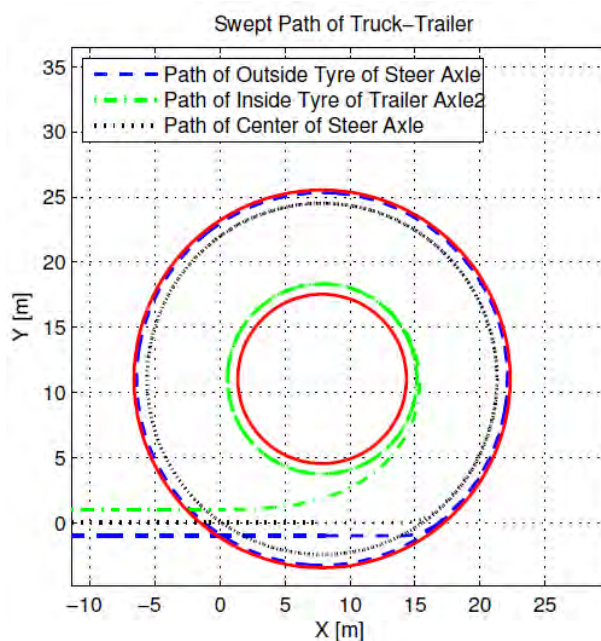
**Bild 87** Low speed offtracking manoeuvre for Tractor-Semitrailer (ISIKLAR 2007)

| Configuration | Components  | Figure  |
|---------------|---|---|
| A             | Tractor – Semitrailer –<br>2 Axle Drawbar Trailer             |   |
| B             | Tractor – Semitrailer –<br>Semitrailer (B-double)             |   |
| C             | Truck – Trailer   |   |
| D             | Truck – Dolly –<br>Semitrailer                                |   |
| E             | Truck – 2 Axle Drawbar<br>Trailer – 2 Axle Drawbar<br>Trailer |   |
| F             | Truck-Semitrailer   |   |
| G             | Truck – 3 Axle Drawbar<br>Trailer                             |  |

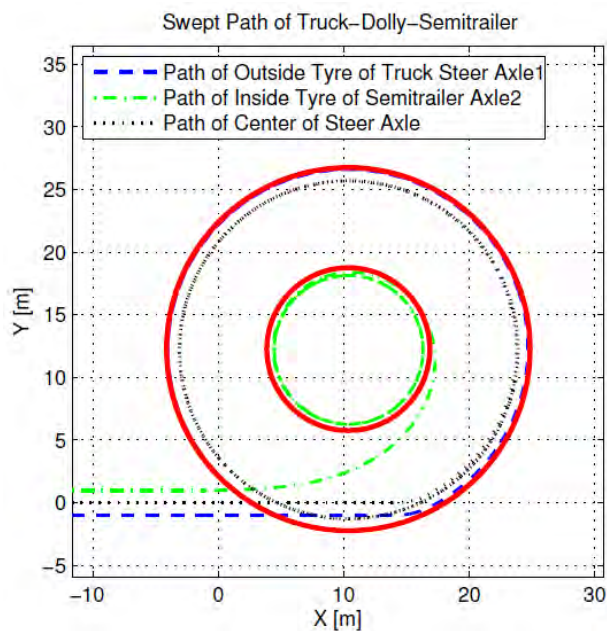
**Bild 88** Typen der Niederländischen Lang-Lkw Feldversuch (ISIKLAR 2007)

**Tab. 13** Zuordnung niederländische Lang-Lkw zu deutschen Lang-Lkw

| Niederländischer Lkw-Typ | vergleichbarer Lkw-Typ in Deutschland | Swept Path Wight = Breite bei Kreisfahrt (m) | Slow Offtracking = Rechtsabbiegevorgang (m) |
|--------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Referenz                 |                                       | 4,92   | 2,58  |
| A                        | Typ 2                                 | 8,38   | 4,45  |
| B                        | Typ 4                                 | 10,47  | 5,10  |
| C                        | Typ 5                                 | 7,03 (Bild 89)                               | 4,04  |
| D                        | <b>Typ 3</b>                          | <b>8,49</b> (Bild 90)                        | <b>4,46</b>                                 |
| E                        | <i>nicht vorhanden</i>                | 5,71   | 3,31  |
| F                        | <i>nicht vorhanden</i>                | 9,63   | 4,92  |
| G                        | <i>nicht vorhanden</i>                | 8,49   | 4,57  |



**Bild 89** Schleppkurve Kreisfahrt Lang-Lkw Typ 5 (Deutschland) (ISIKLAR 2007)



**Bild 90** Schleppkurve Kreisfahrt Lang-Lkw Typ 3 (Deutschland) (ISIKLAR 2007)

## Anlage 2- Messergebnisse

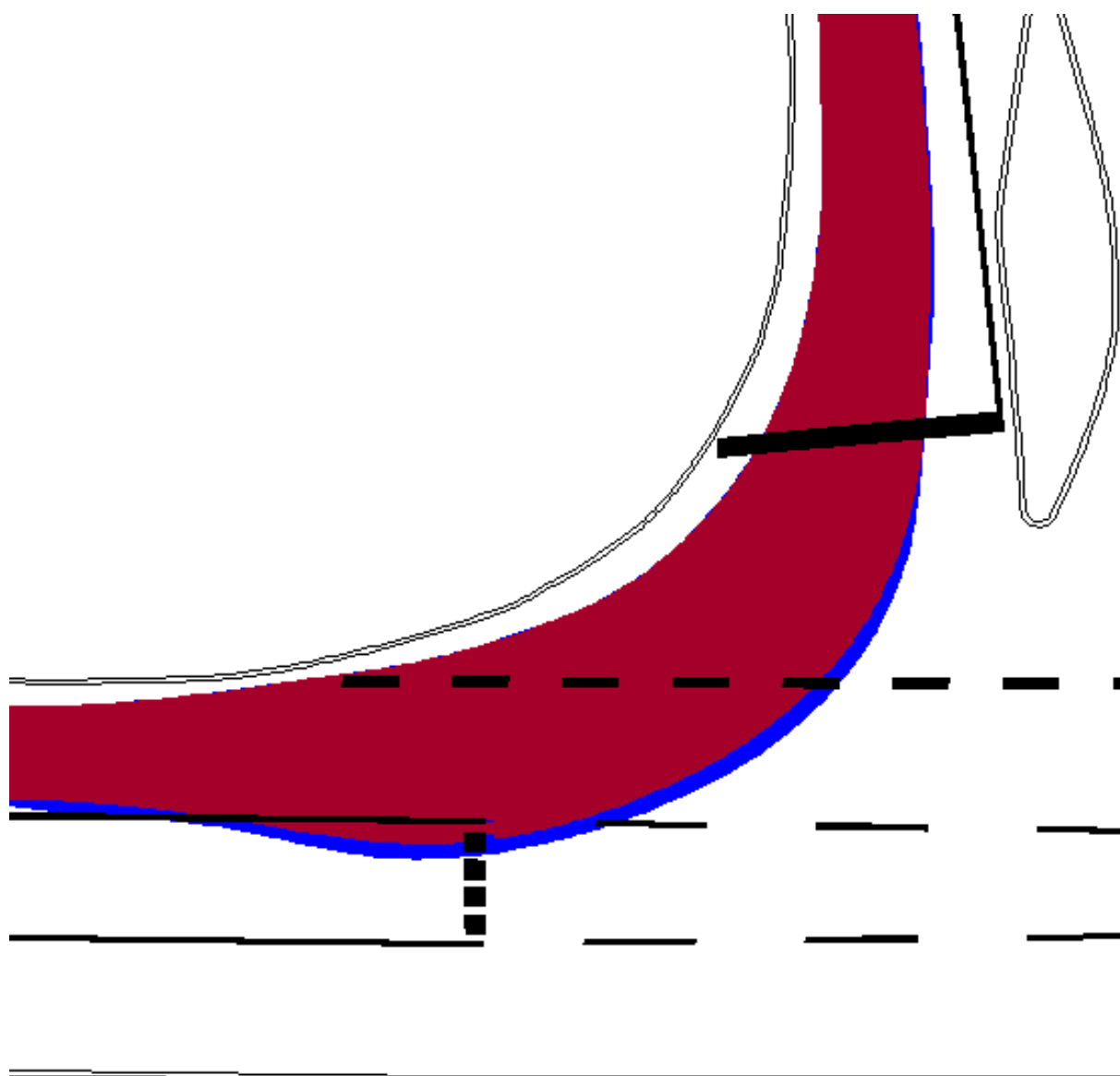
### 2.1 Schleppkurven der Messfahrten auf plangleichen Knotenpunkten

#### 2.1.1. Rechteinbiegevorgänge

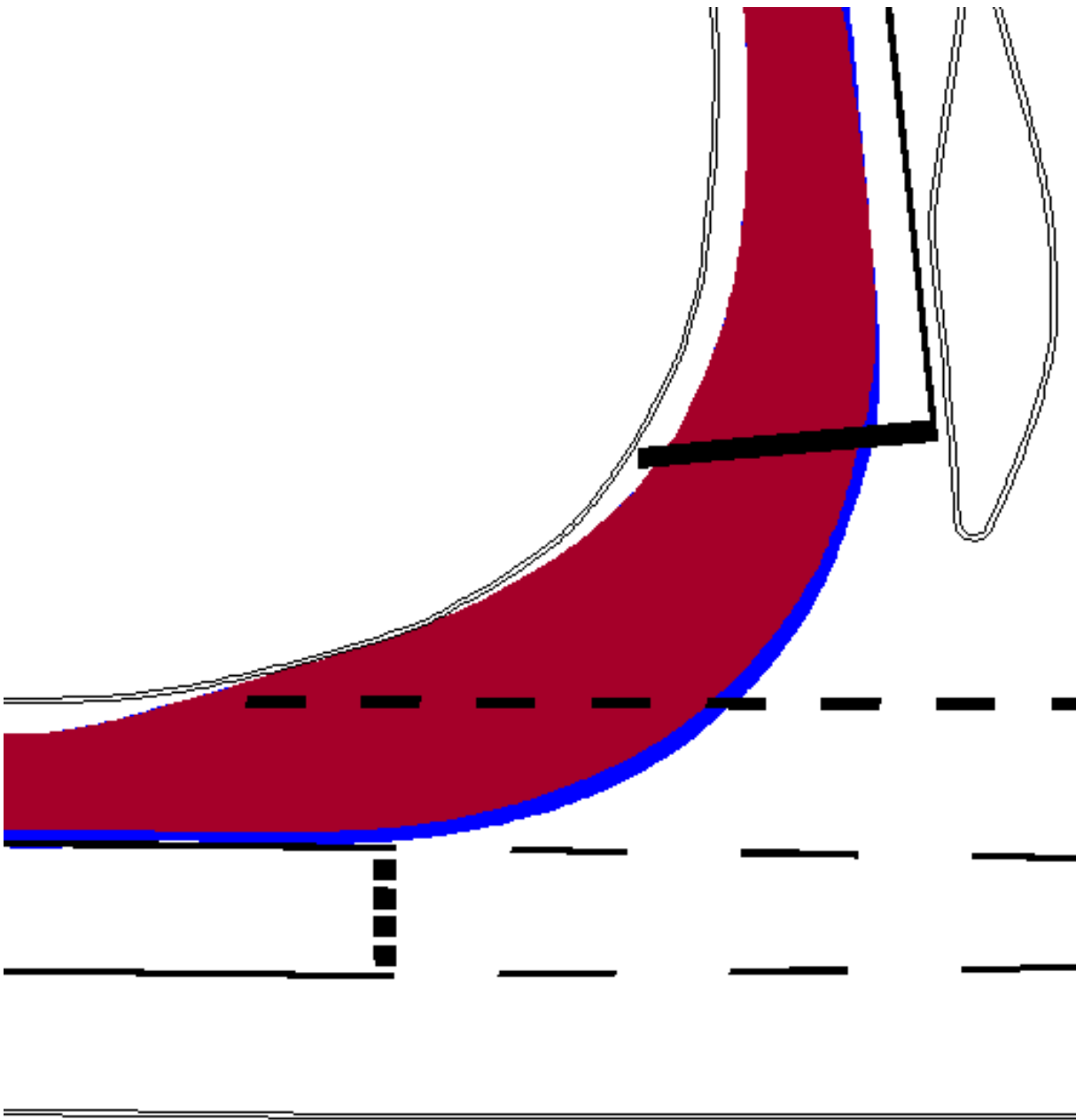
|    |   | Typen mit Abständen in [m] |       |       |       |       |
|----|---|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|    |   | Referenz                   | 1     | 2     | 3     | 5*    |
| m1 | Abstand zum rechten Fahrbahnrand                              | 0,34                       | 0,13  | 0,10  | -0,42 | -0,10 |
| m2 |   | 0,00                       | -0,38 | 0,00  | -0,31 | -0,10 |
| m3 |   | -0,13                      | 0,00  | -0,30 | -0,25 |       |
| m1 | Ausschwenken des Fahrzeuges über den Linksabbiegefahrstreifen | 1,11                       | 1,03  | 1,18  | 0,15  | 0,17  |
| m2 |   | 0,00                       | 0,20  | 0,00  | 0,00  | 0,19  |
| m3 |   | 0,00                       | 0,00  | 0,24  | 0,20  |       |
| m1 | Abstand zum Tropfen links vom Fahrzeug                        | 1,27                       | 1,12  | 0,31  | 0,98  | 0,60  |
| m2 |   | 1,11                       | 0,91  | 0,24  | 0,81  | 0,57  |
| m3 |   | 0,56                       | 0,35  | 1,33  | 1,43  |       |

Tab. 14 Messwerte Rechtseinbiegen auf Knotenpunkten

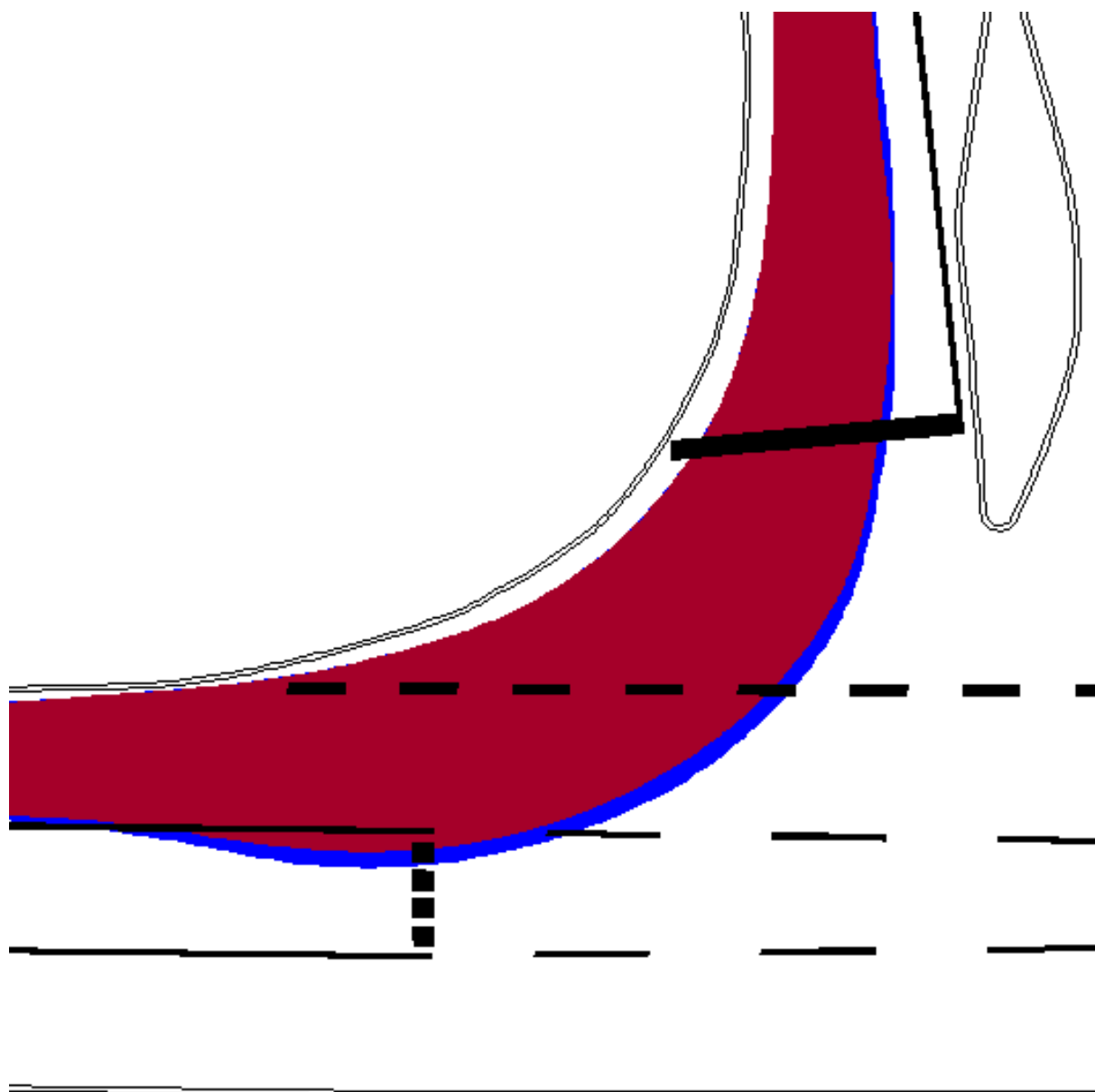




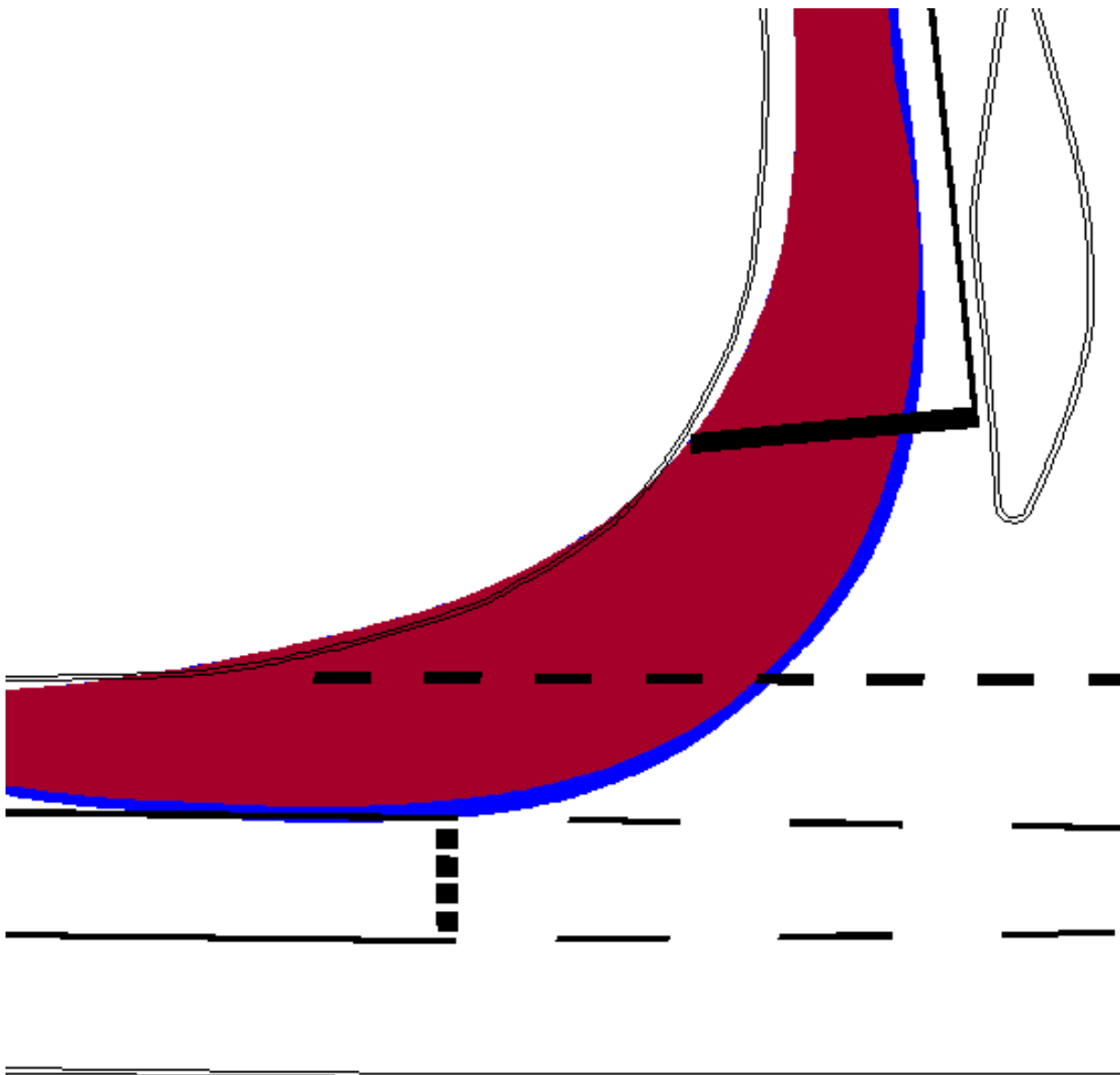
**Bild 91** Rechtseinbiegen Referenzfahrzeug - Messung 1



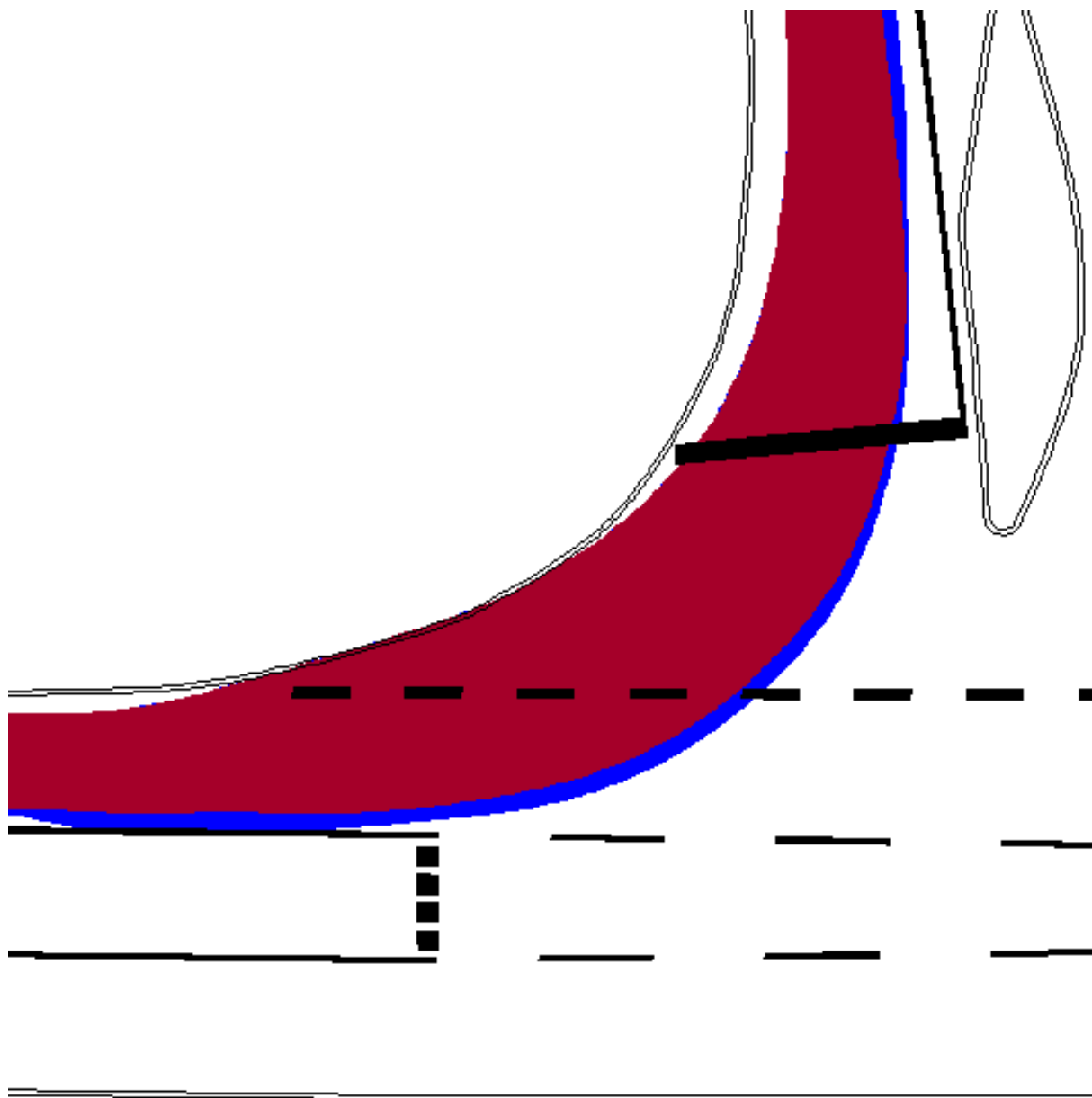
**Bild 92** Rechtseinbiegen Referenzfahrzeug - Messung 2



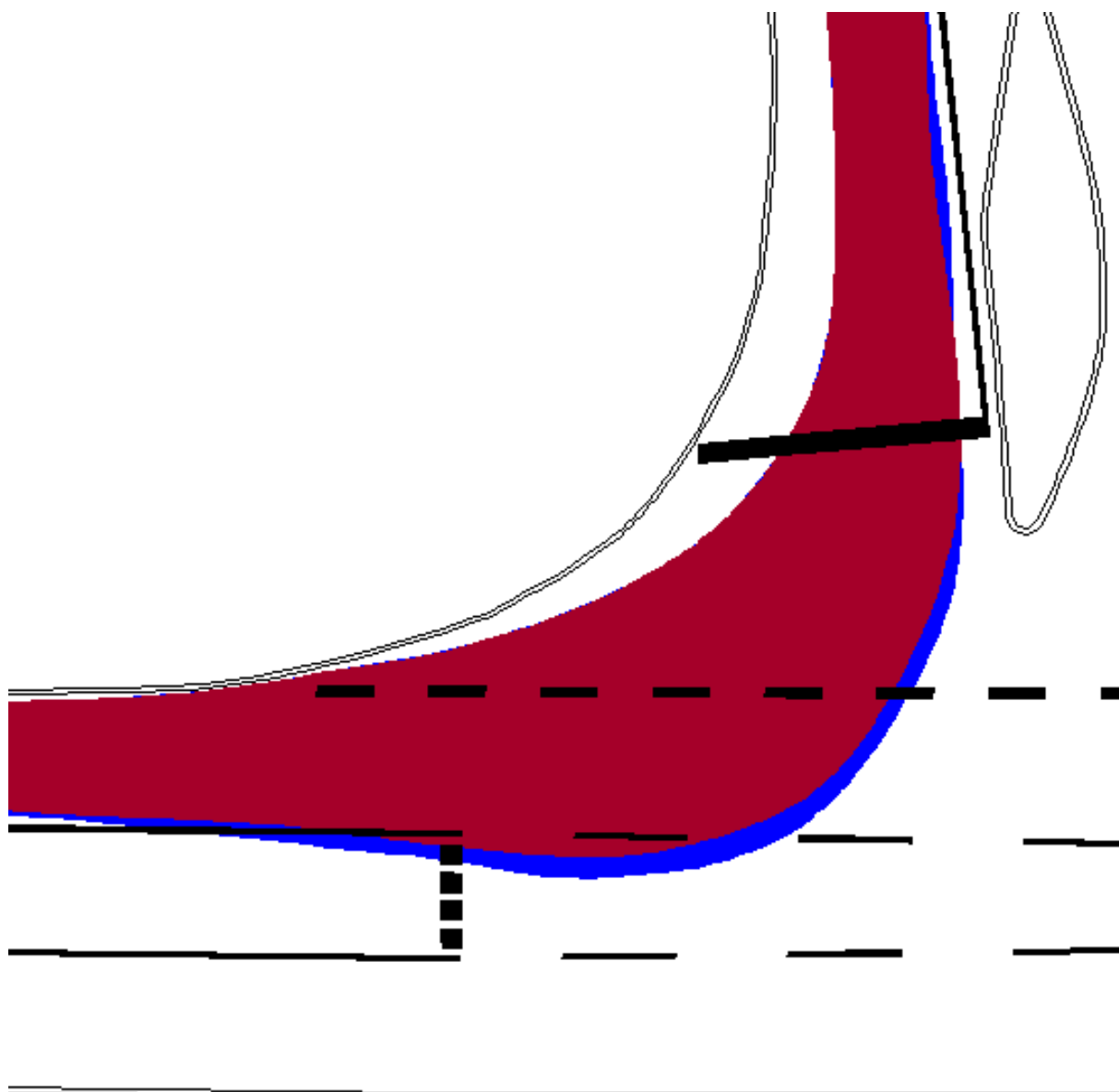
**Bild 93** Rechtseinbiegen Typ 1 - Messung 1



**Bild 94** Rechtseinbiegen Typ 1 - Messung 2

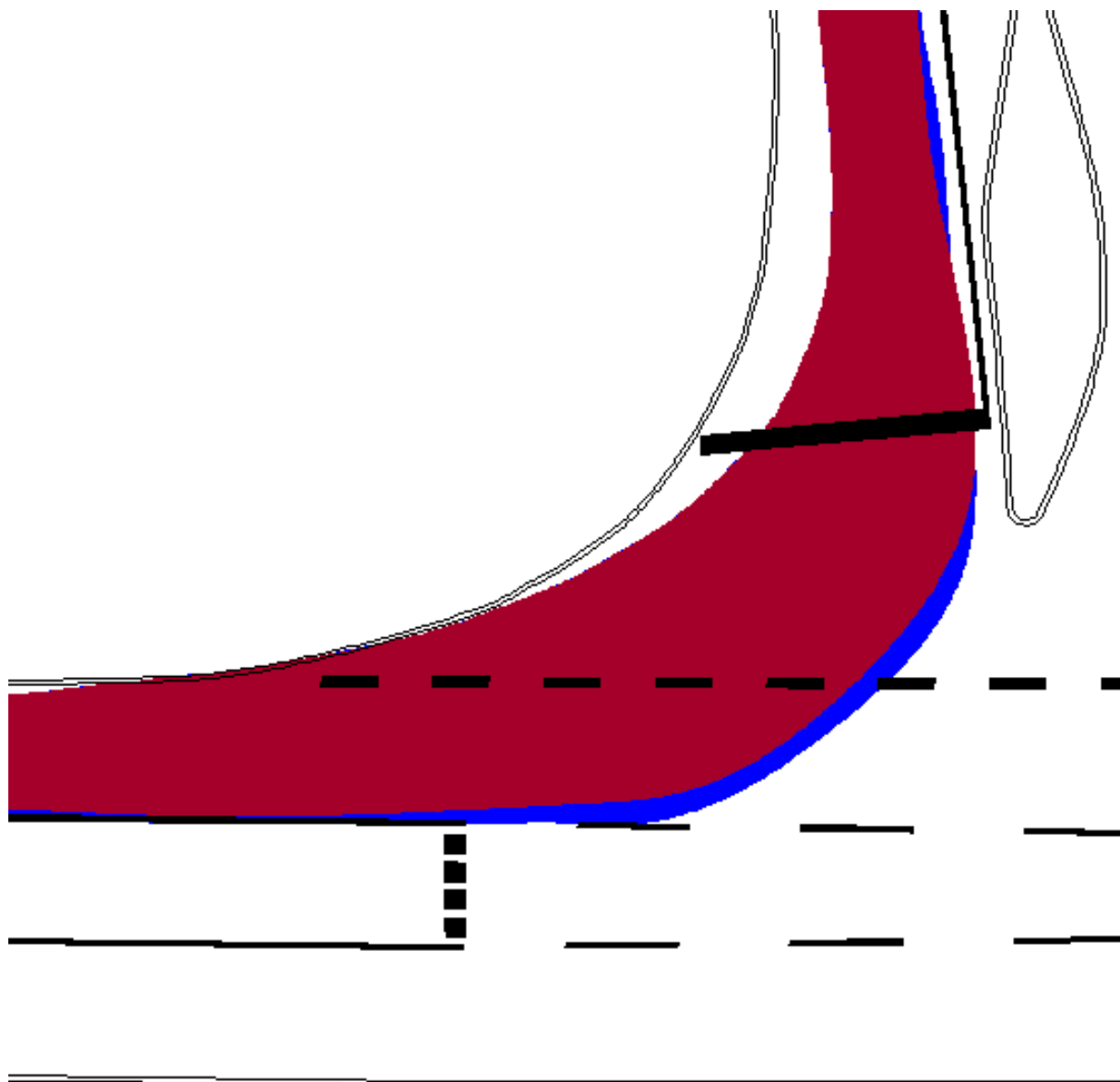


**Bild 95** Rechtseinbiegen Typ 1 - Messung 3

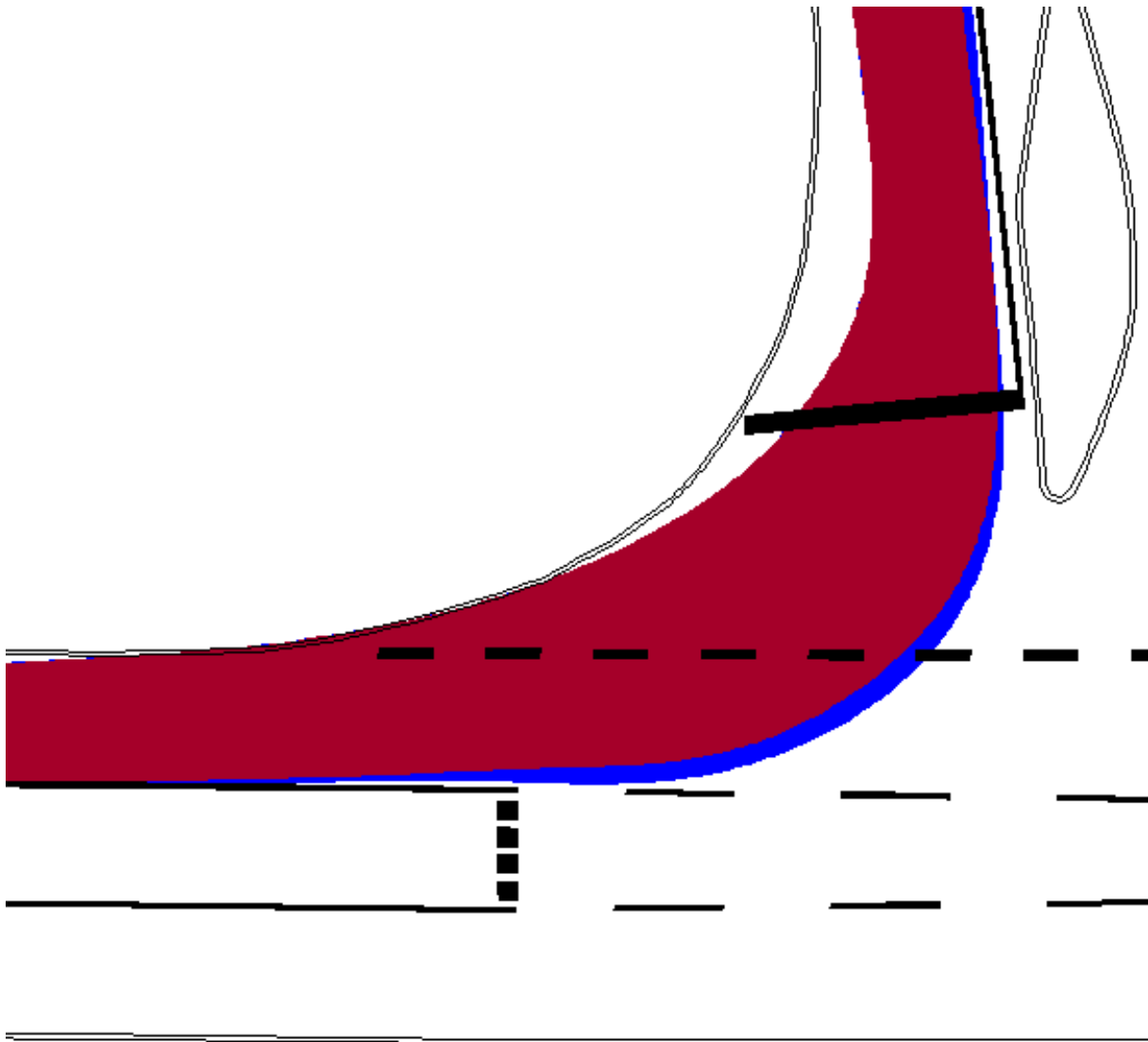


**Bild 96** Rechtseinbiegen Typ 2 - Messung 1

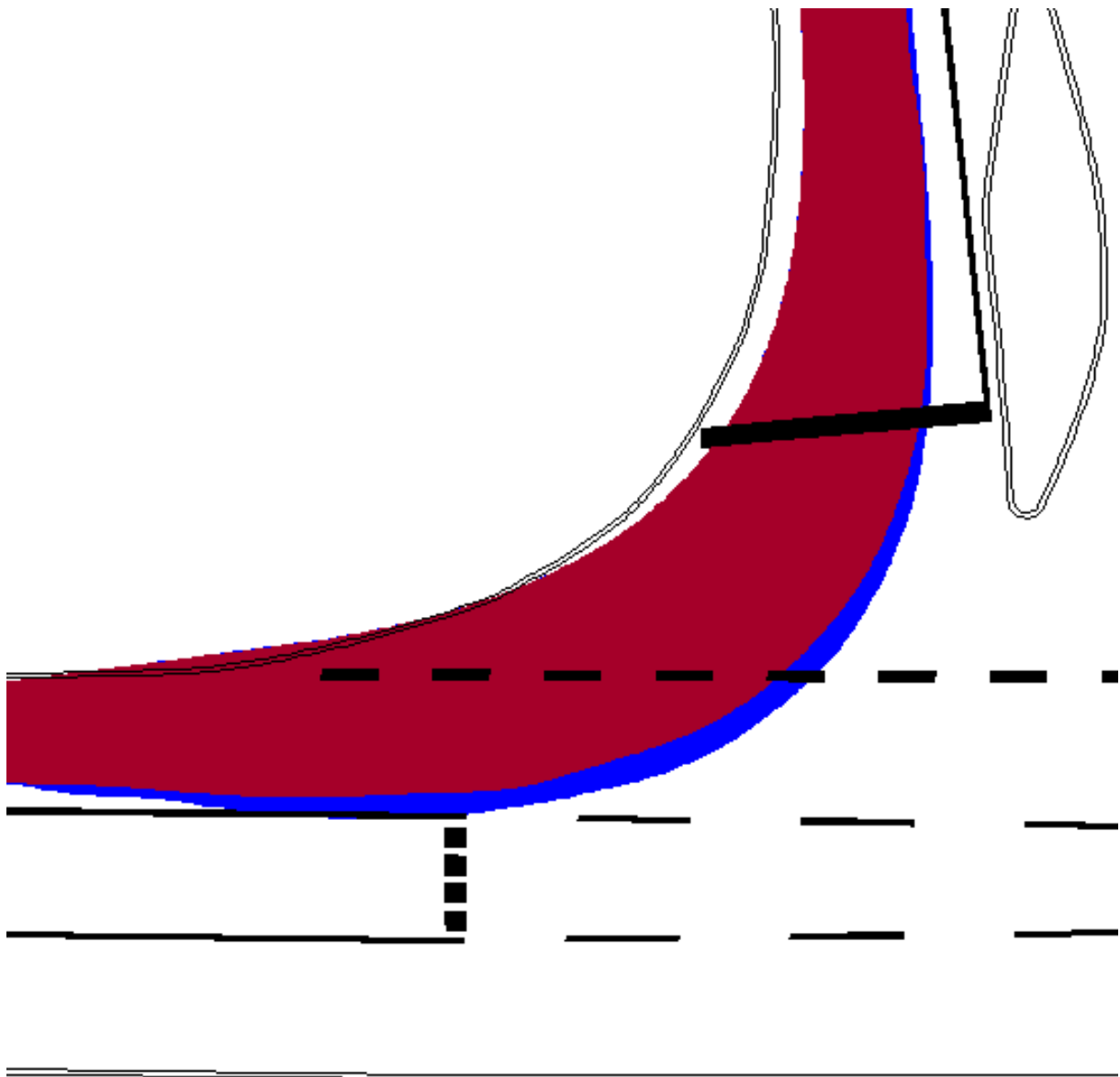




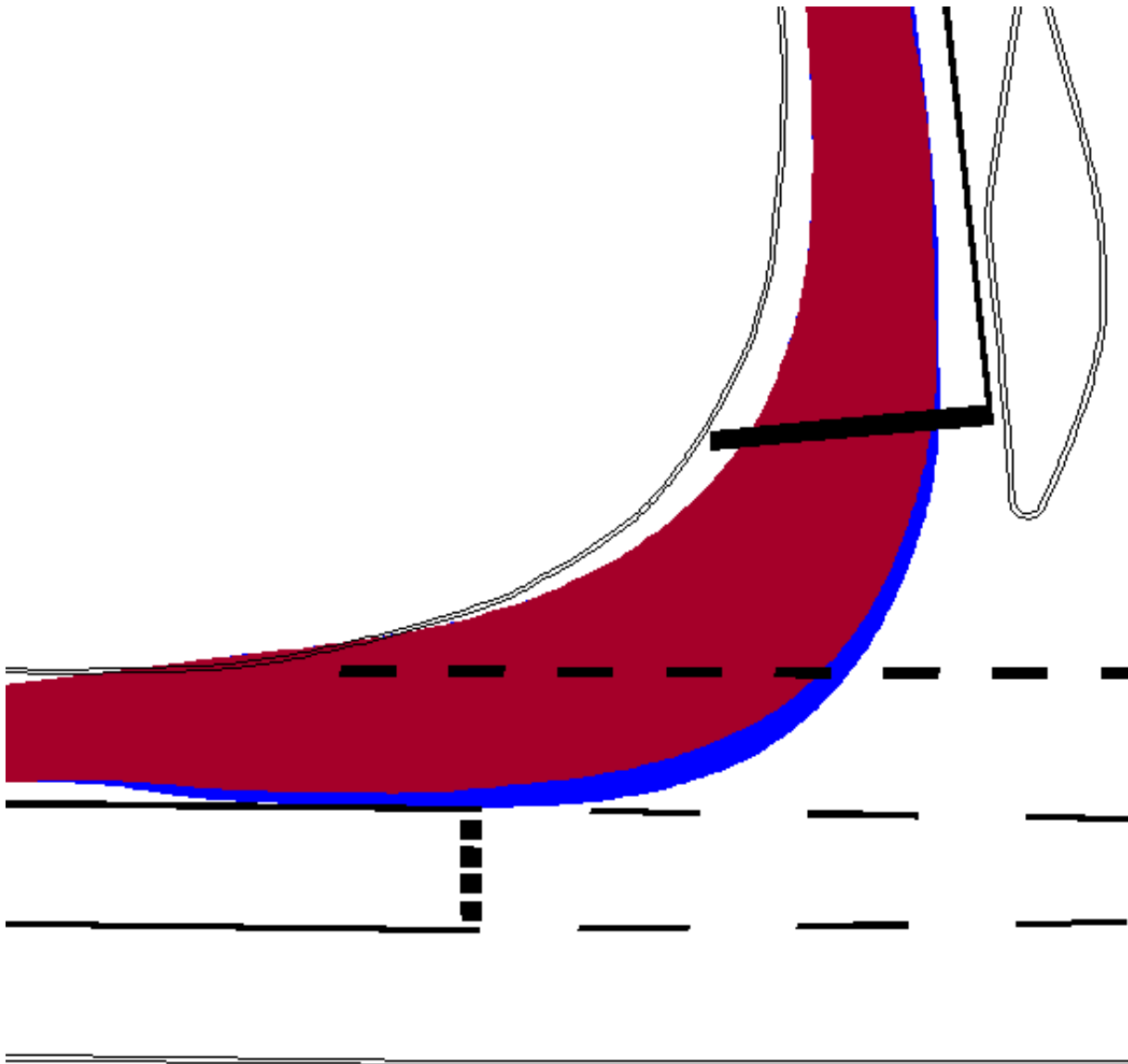
**Bild 97** Rechtseinbiegen Typ 2 - Messung 2



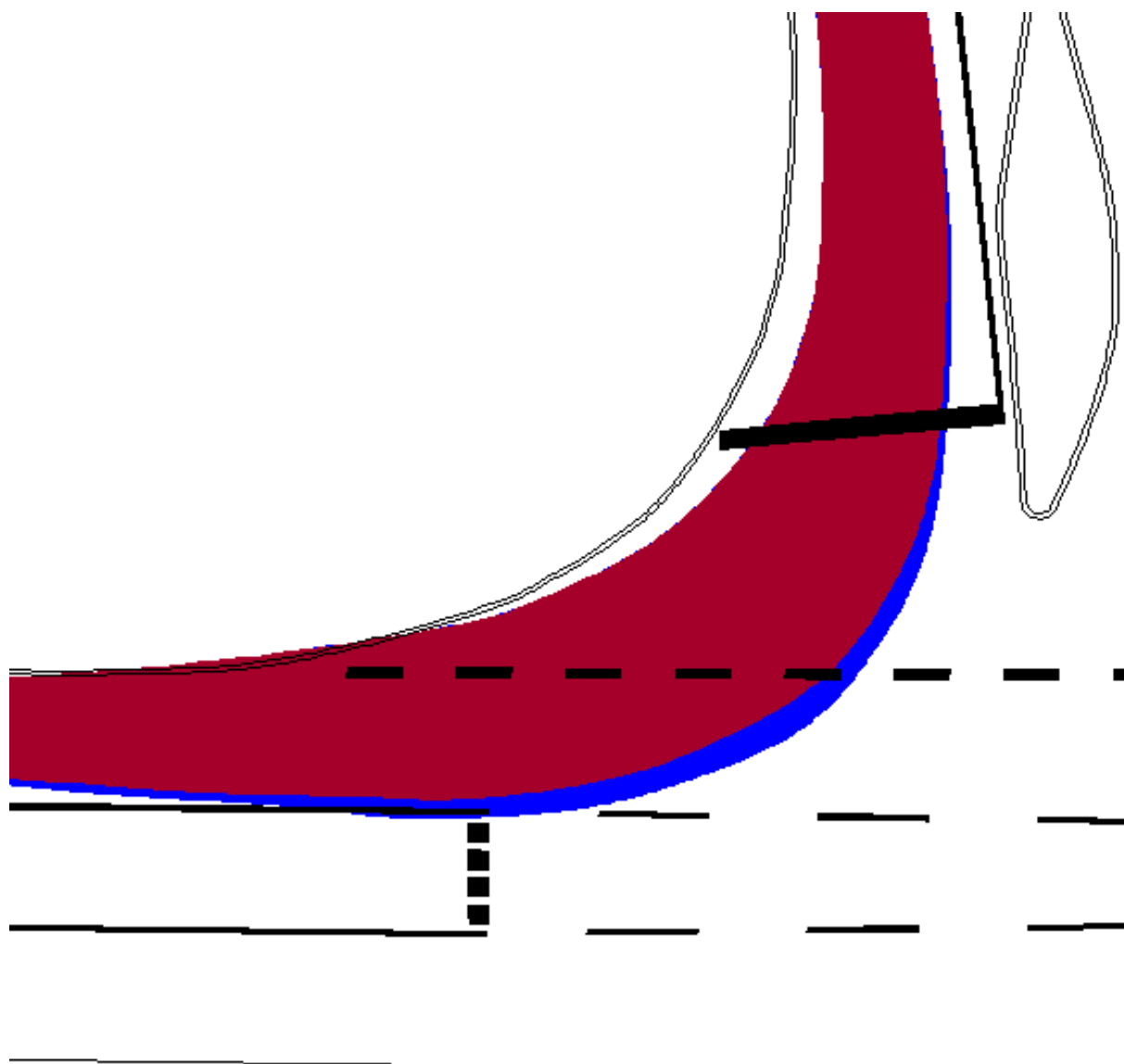
**Bild 98** Rechtseinbiegen Typ 2 - Messung 3



**Bild 99** Rechtseinbiegen Typ 3 - Messung 1



**Bild 100** Rechtseinbiegen Typ 3 - Messung 2



**Bild 101** Rechtseinbiegen Typ 3 - Messung 3

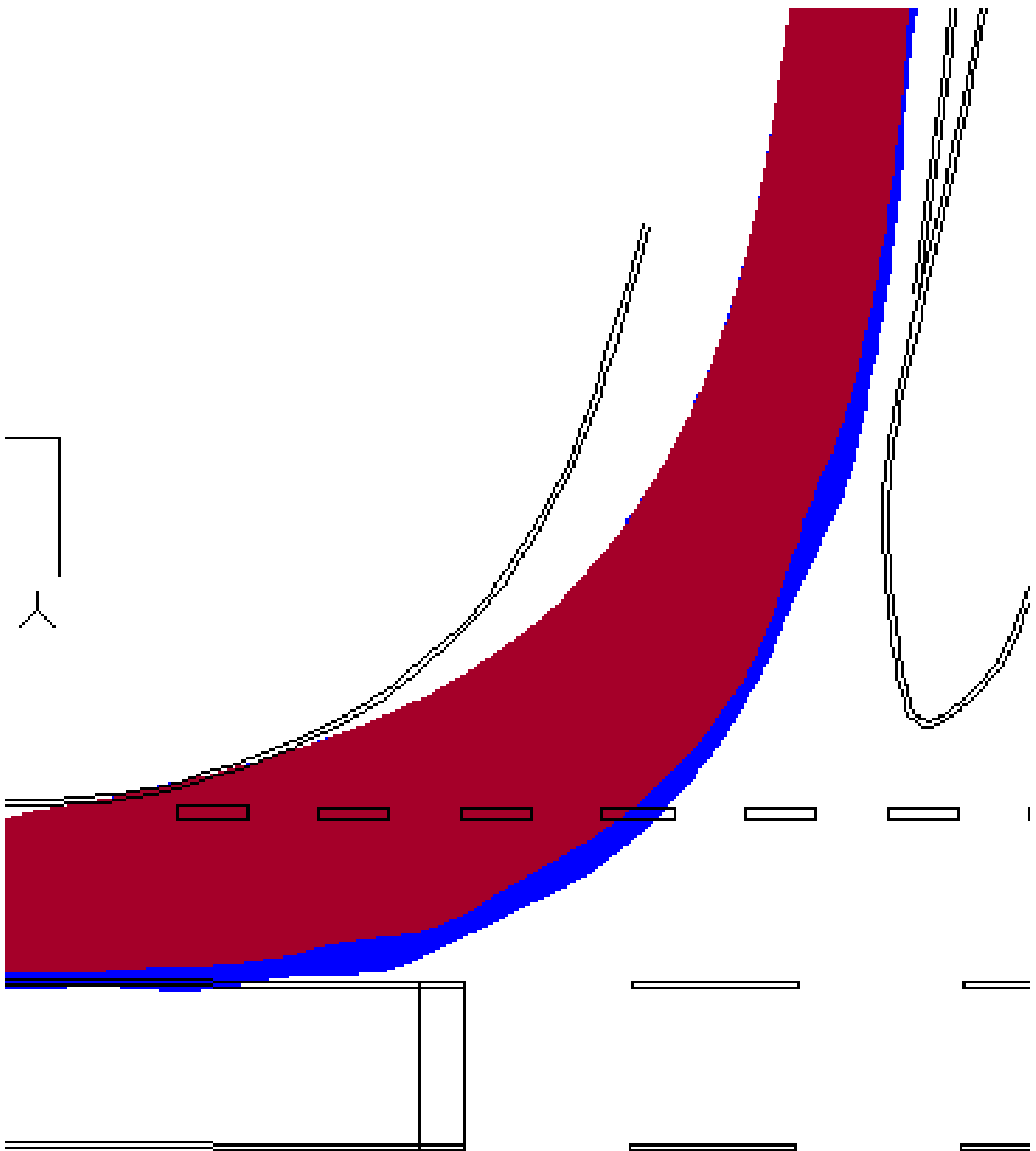


Bild 102 Rechtseinbiegen Typ 5\* - Messung 1



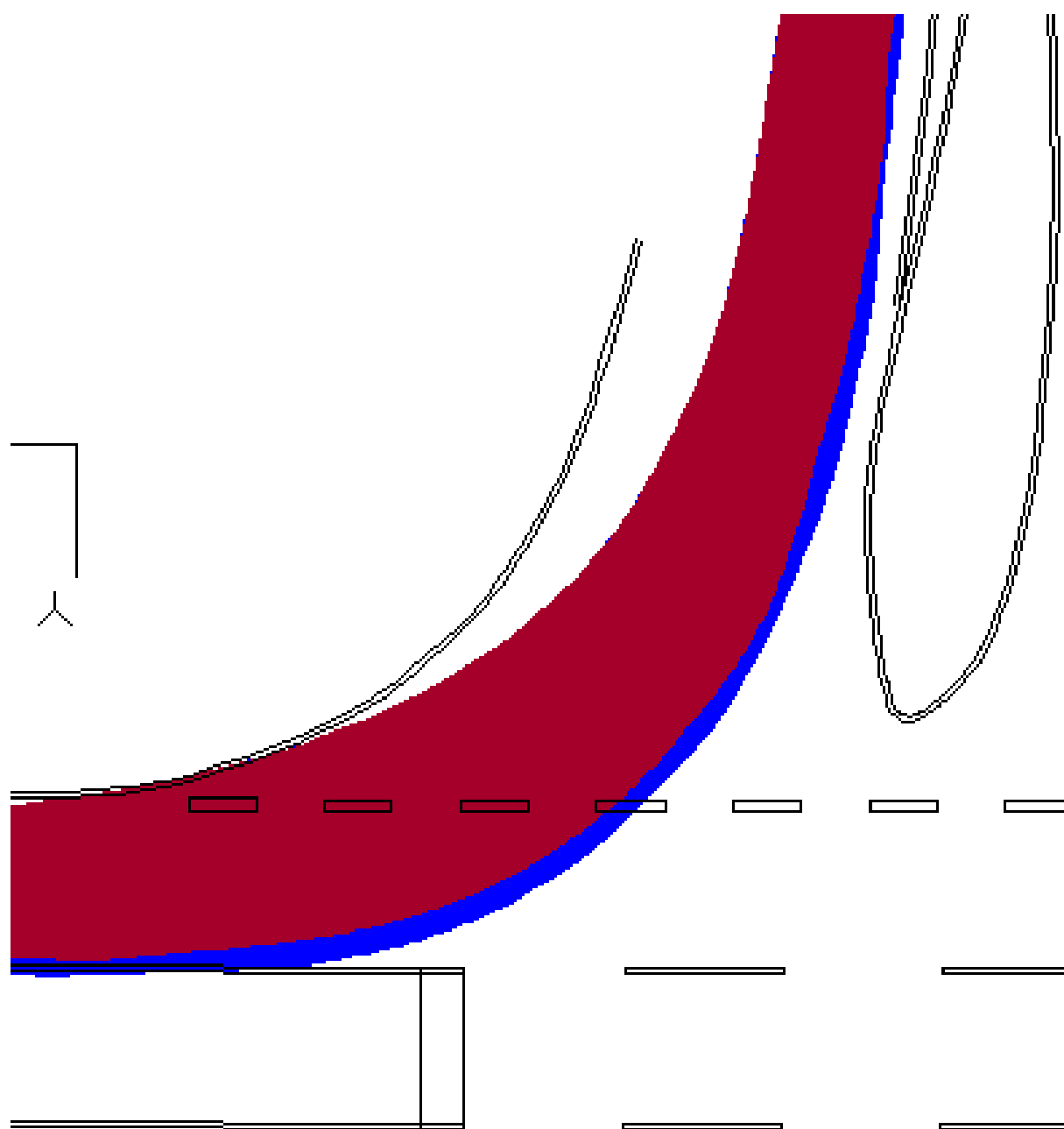


Bild 103 Rechtseinbiegen Typ 5\* - Messung 2

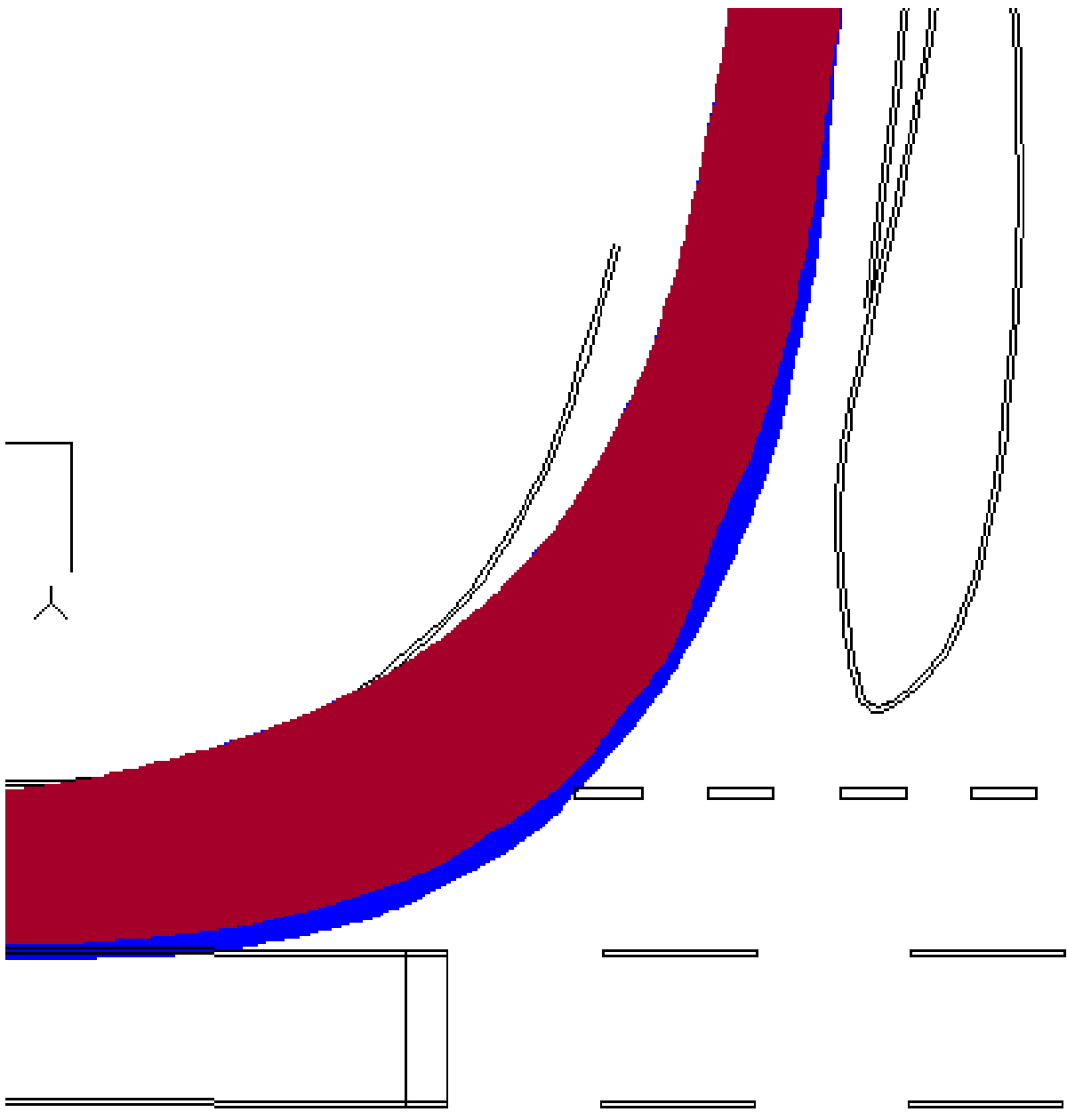


Bild 104 Rechtseinbiegen Typ 5\* - Messung 3

### 2.1.2. Linksabbiegevorgänge

|    |   | Typen mit Abständen in [m] |       |       |       |      |
|----|---|----------------------------|-------|-------|-------|------|
|    |   | Referenz                   | 1     | 2     | 3     | 5*   |
| m1 | Ausschwenken<br>des Fahrzeuges<br>über den<br>Linksabbiege-<br>fahrstreifen | 0,00                       | 0,00  | 0,58  | 0,25  | 0,25 |
| m2 |   | 0,00                       | 0,41  | 0,70  | 0,00  | 0,26 |
| m3 |   | 0,00                       | 0,00  | 0,60  | 0,00  | 0,49 |
| m1 | Abstand zum<br>rechten<br>Fahrbahnrand                                      | -0,10                      | -0,17 | 0,72  | 0,75  | 0,68 |
| m2 |   | 0,19                       | 0,73  | 0,51  | 0,60  | 0,69 |
| m3 |   | 0,17                       | 0,70  | 0,74  | 0,45  | 0,70 |
| m1 | Abstand zum<br>Tropfen links<br>vom Fahrzeug                                | 0,11                       | 0,32  | -0,04 | -0,54 | 0,52 |
| m2 |   | 0,11                       | -0,12 | 0,00  | -0,22 | 0,70 |
| m3 |   | 0,09                       | -0,46 | 0,00  | -0,21 | 0,63 |

Tab. 15 Messwerte Linksabbiegen auf Knotenpunkten

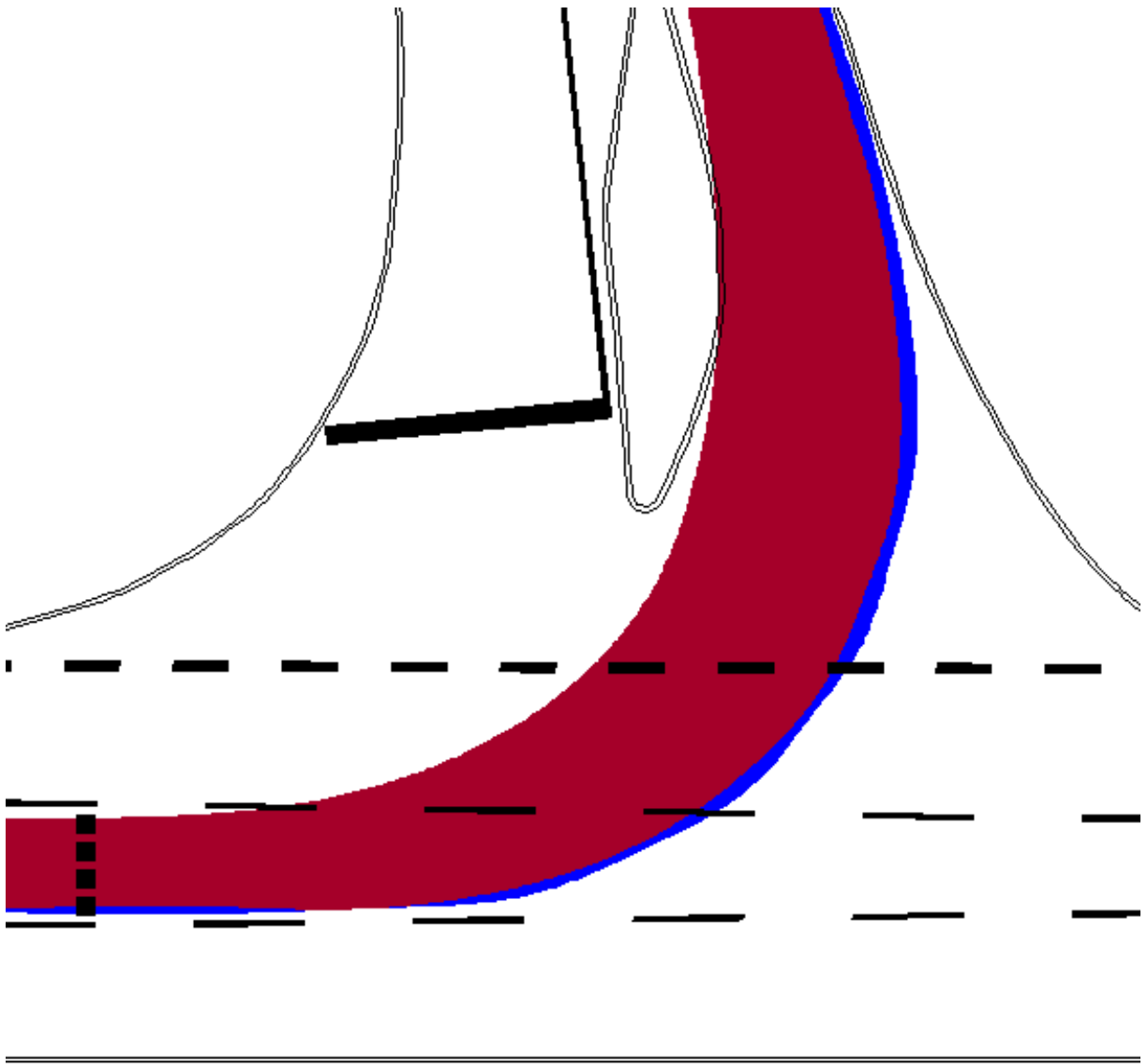
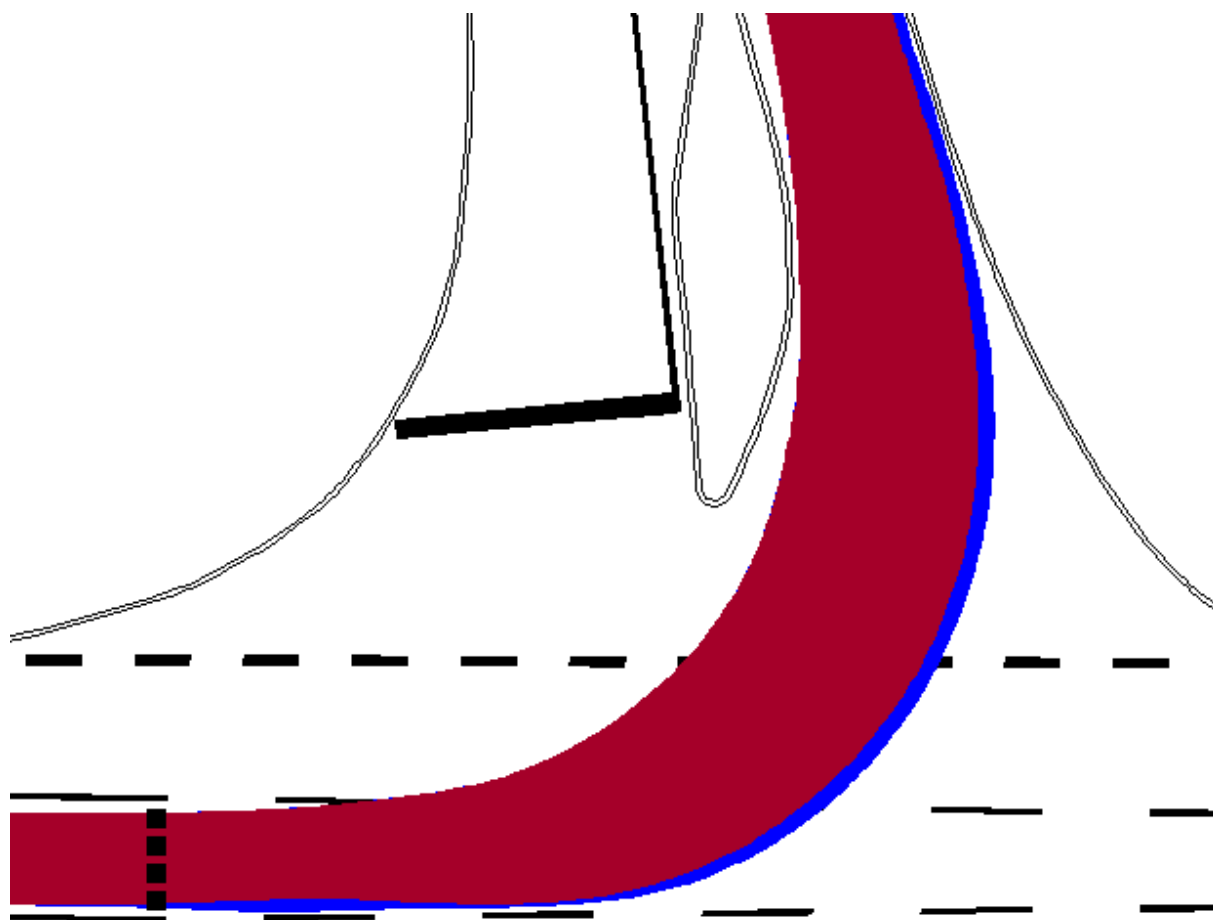


Bild 105 Linksabbiegen Referenzfahrzeug - Messung 1



**Bild 106** Linksabbiegen Referenzfahrzeug - Messung 2



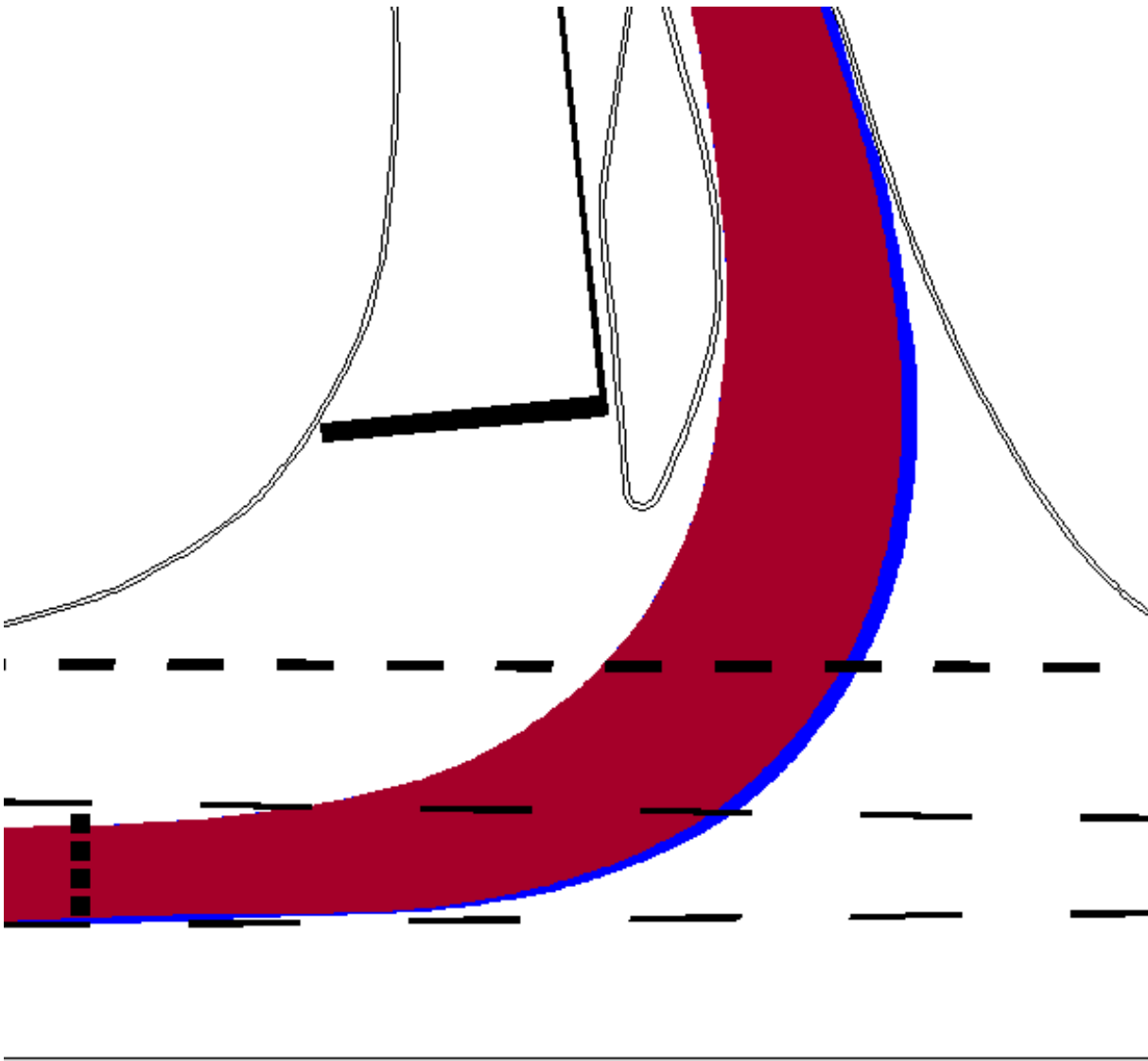
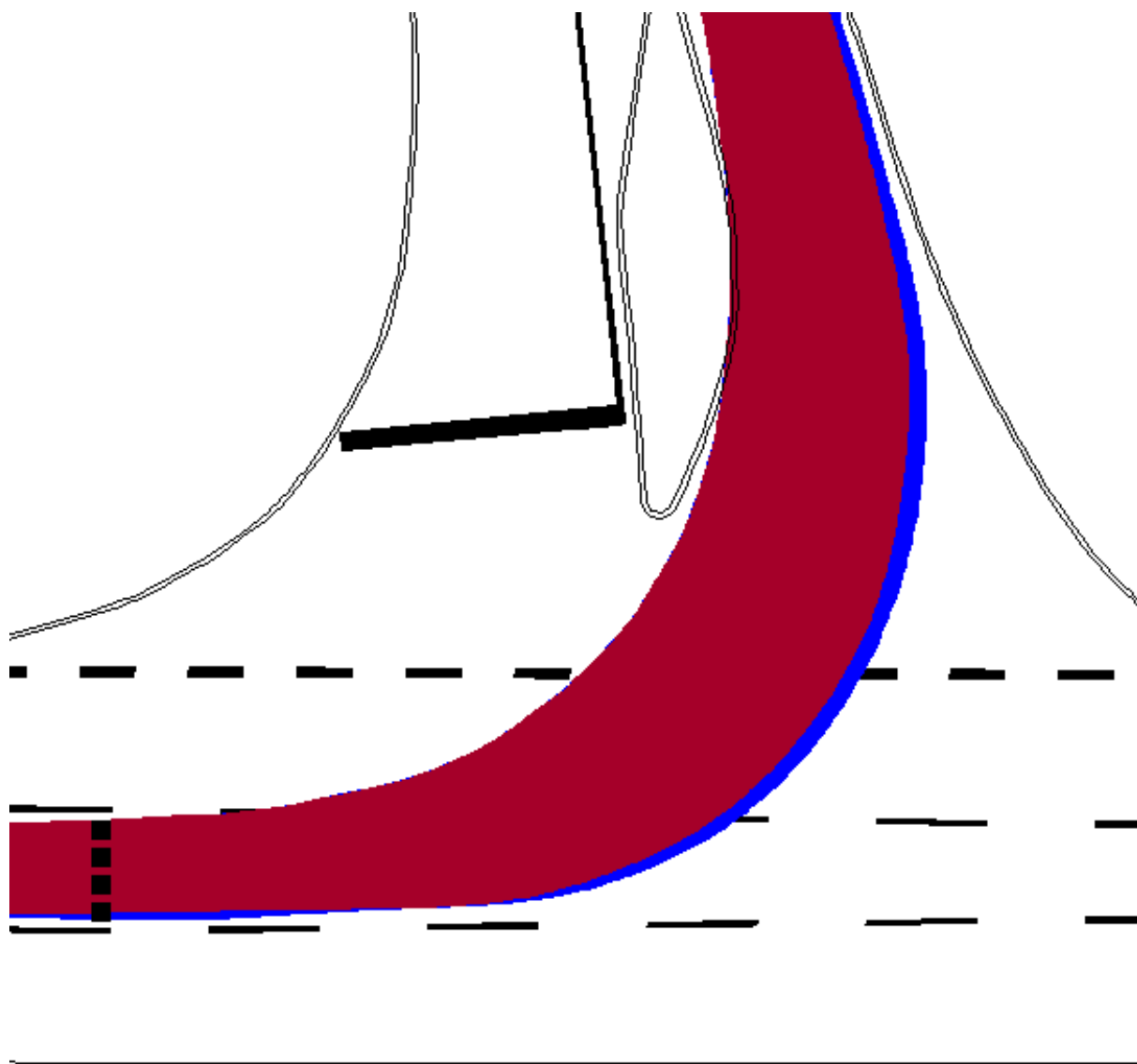
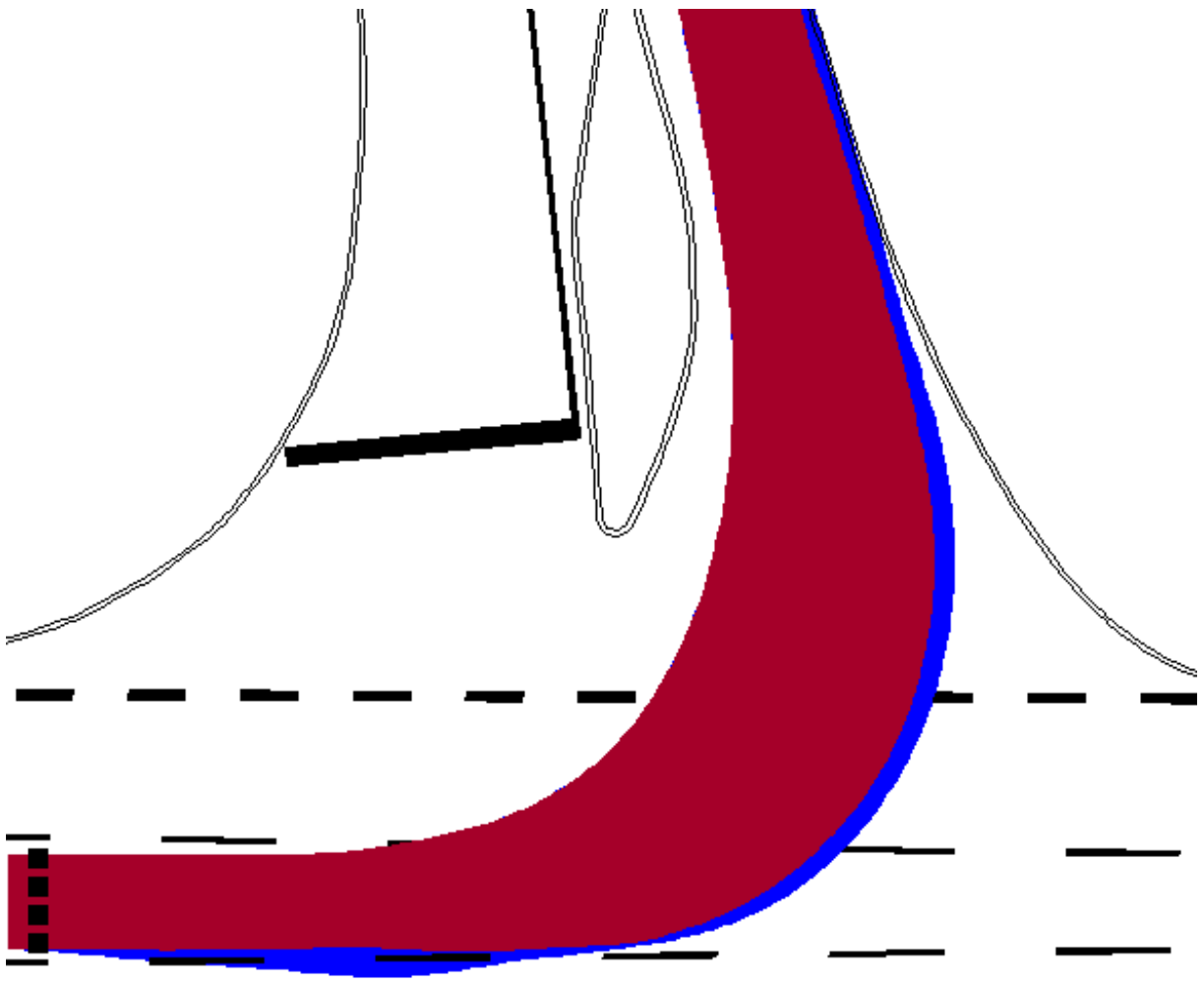


Bild 107 Linksabbiegen Referenzfahrzeug - Messung 3

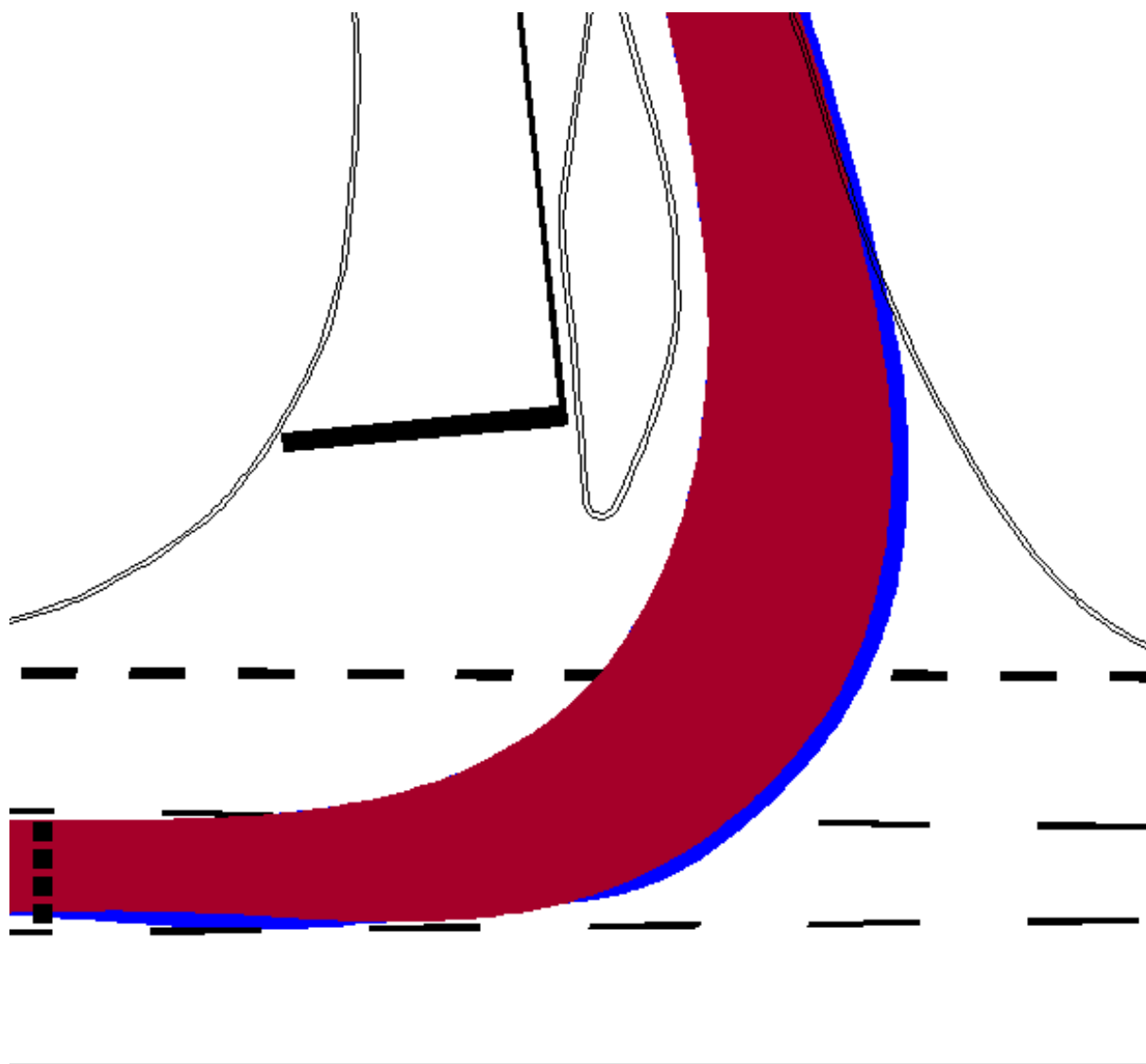


**Bild 108** Linksabbiegen Typ 1 - Messung 1

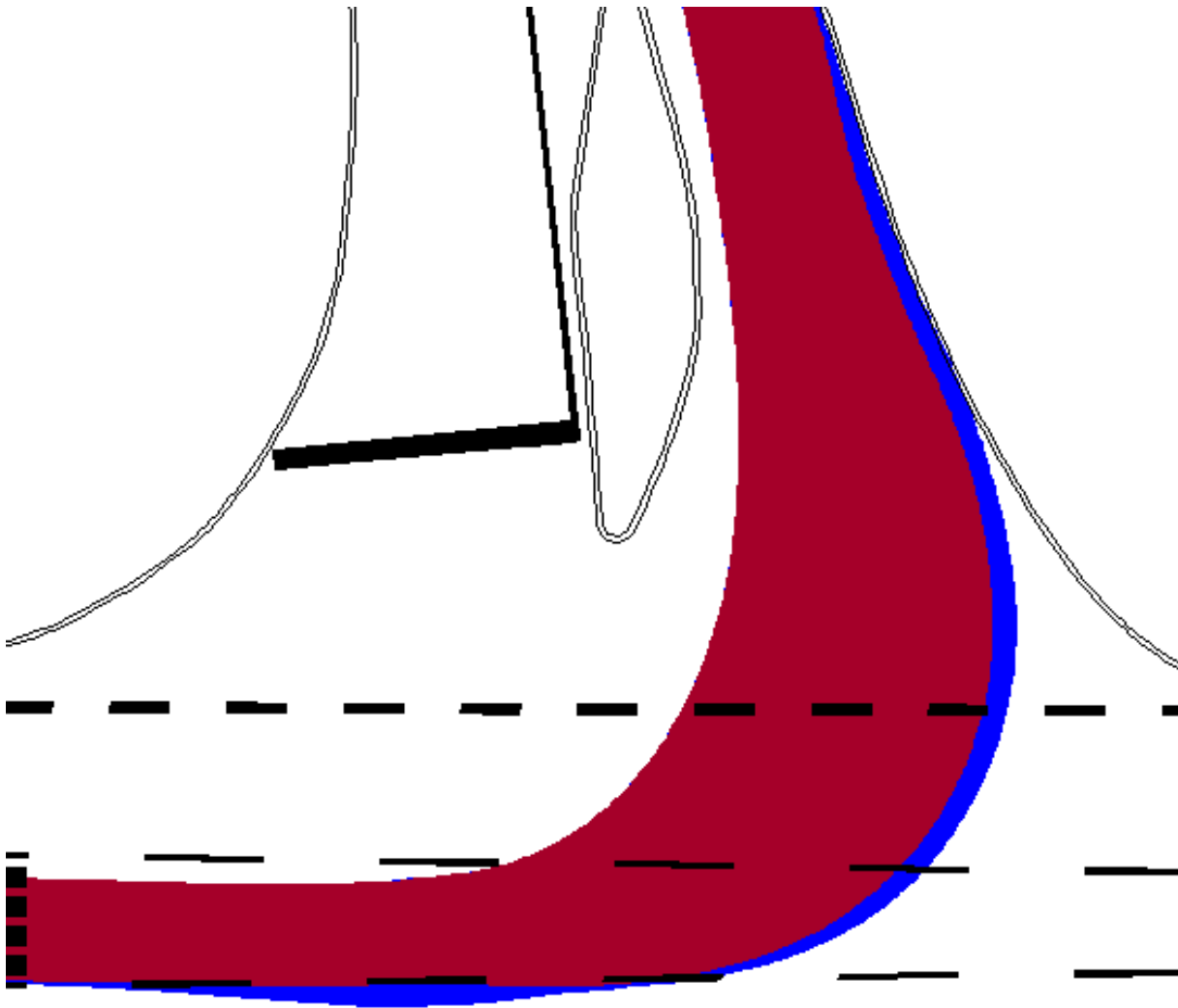


---

Bild 109 Linksabbiegen Typ 1 - Messung 2



**Bild 110** Linksabbiegen Typ 1 - Messung 3



---

Bild 111 Linksabbiegen Typ 2 - Messung 1

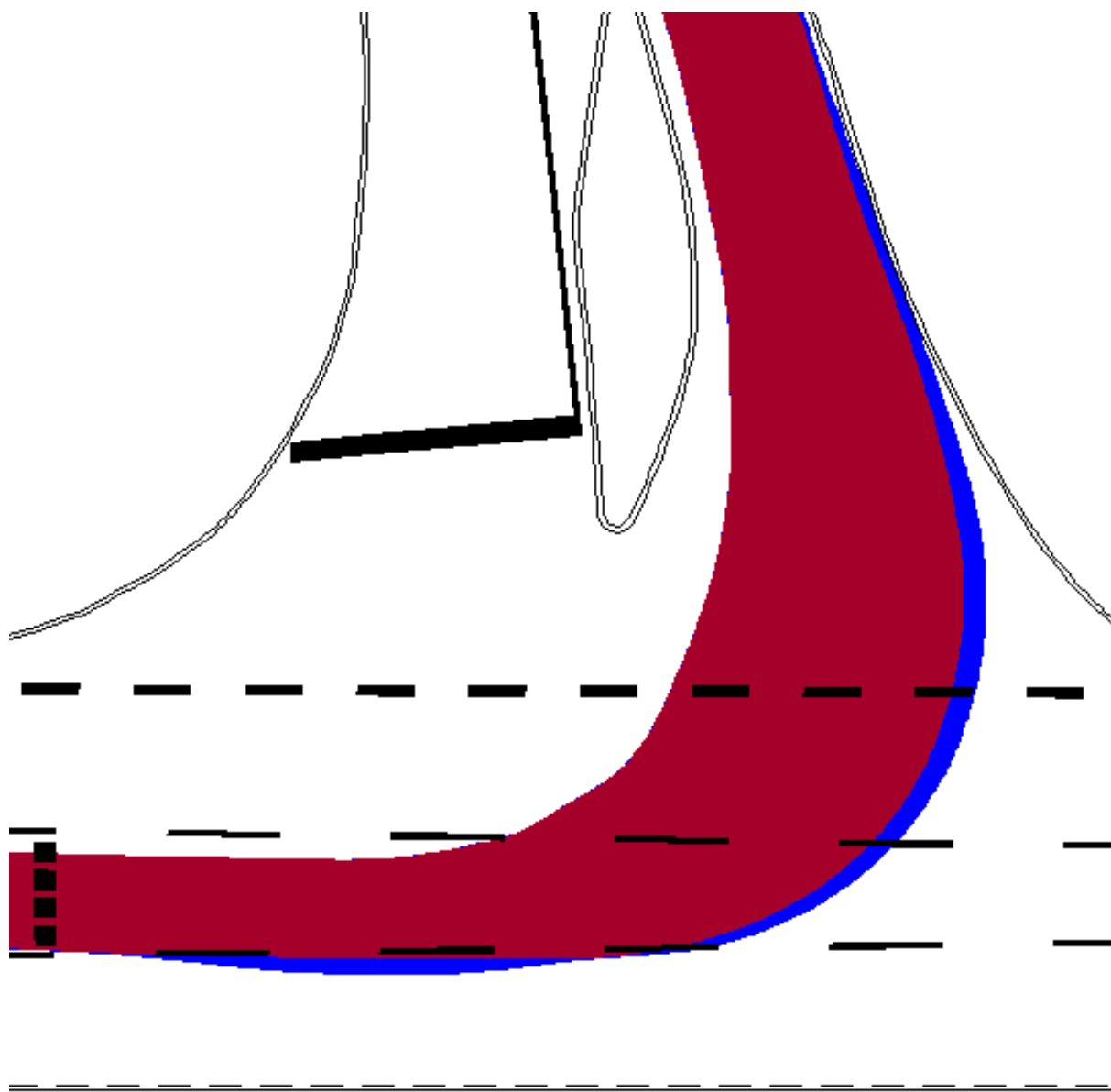


Bild 112 Linksabbiegen Typ 2 - Messung 2



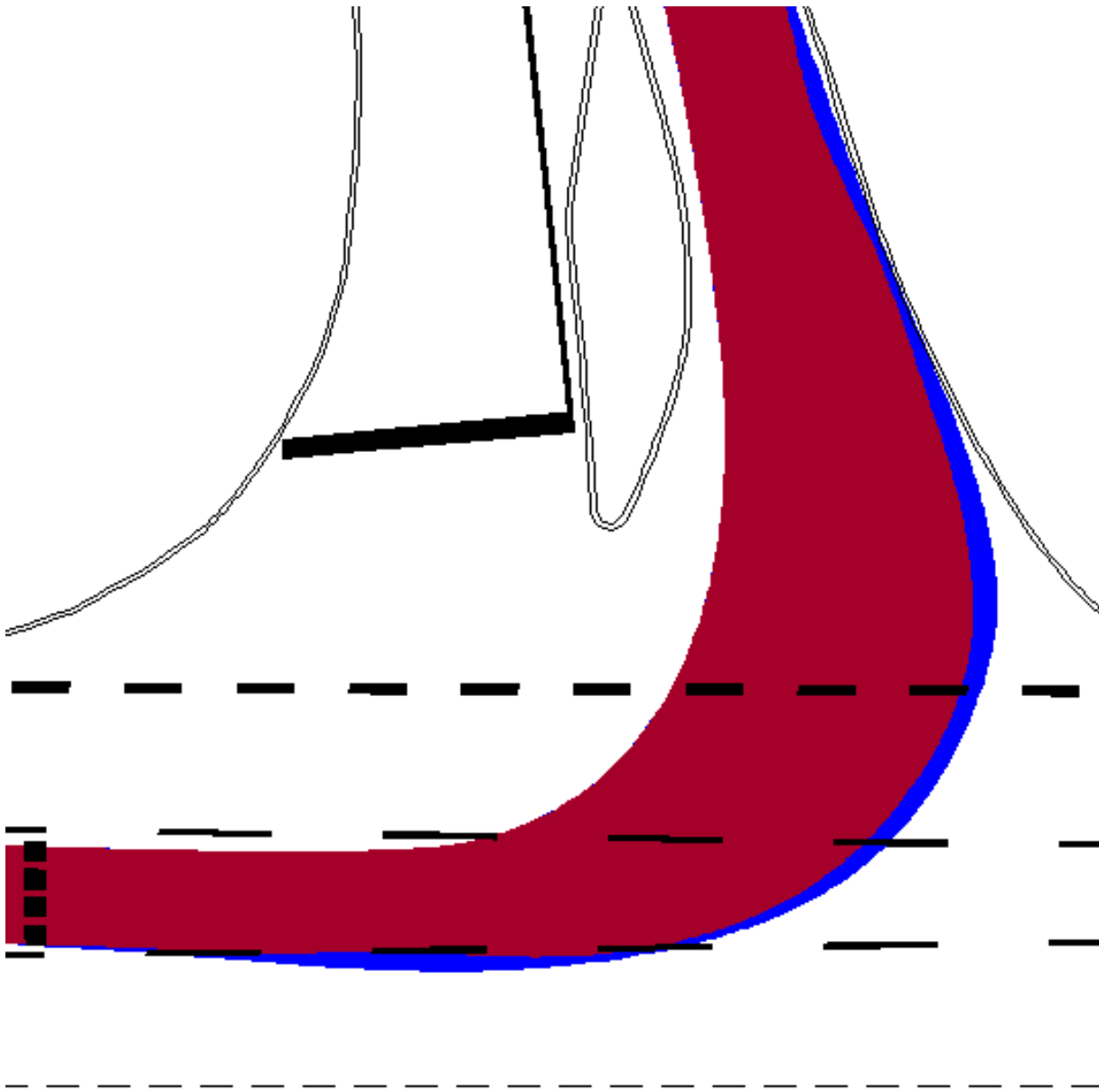
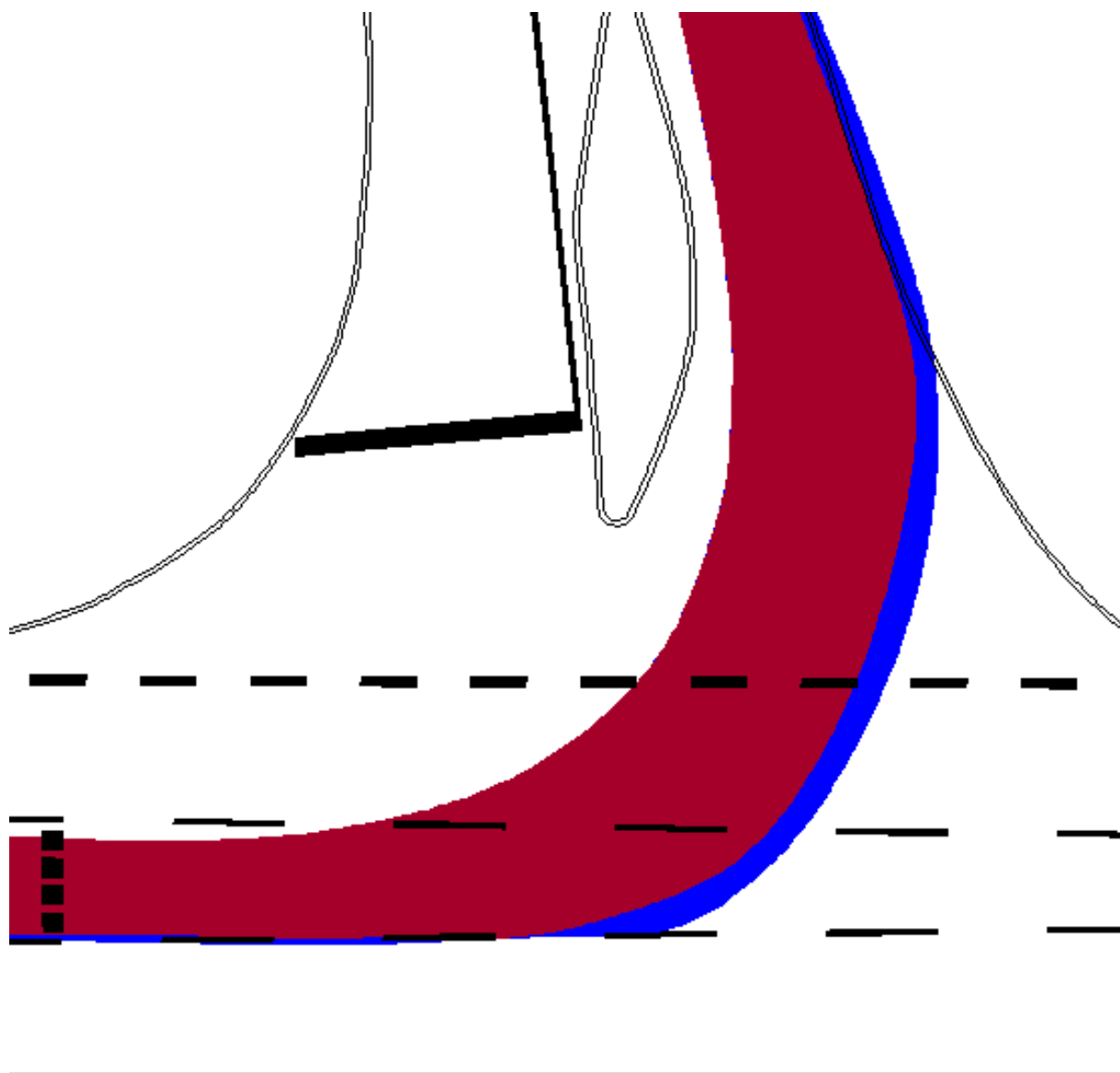
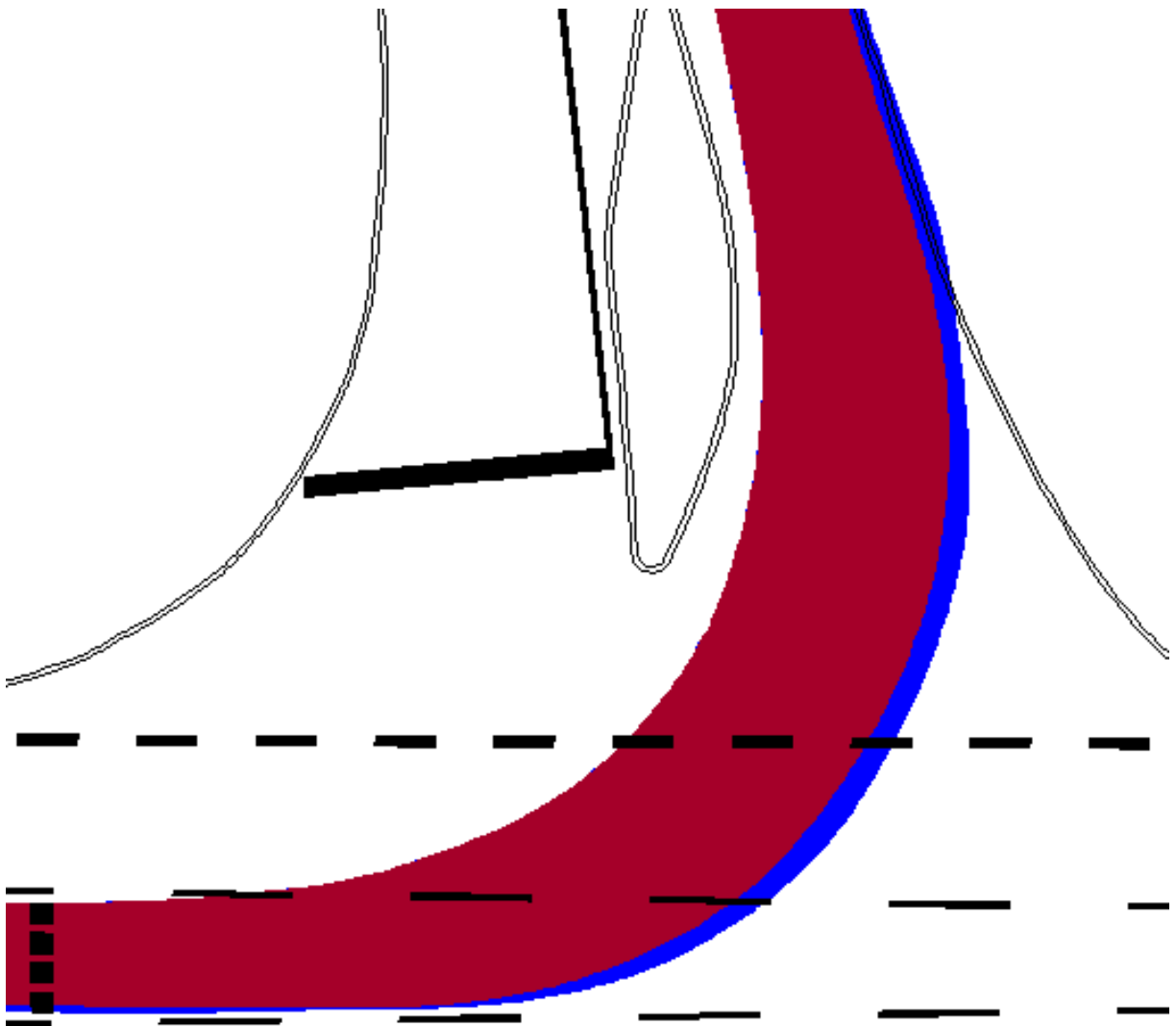


Bild 113 Linksabbiegen Typ 2 - Messung 3



**Bild 114** Linksabbiegen Typ 3 - Messung 1



---

Bild 115 Linksabbiegen Typ 3 - Messung 2

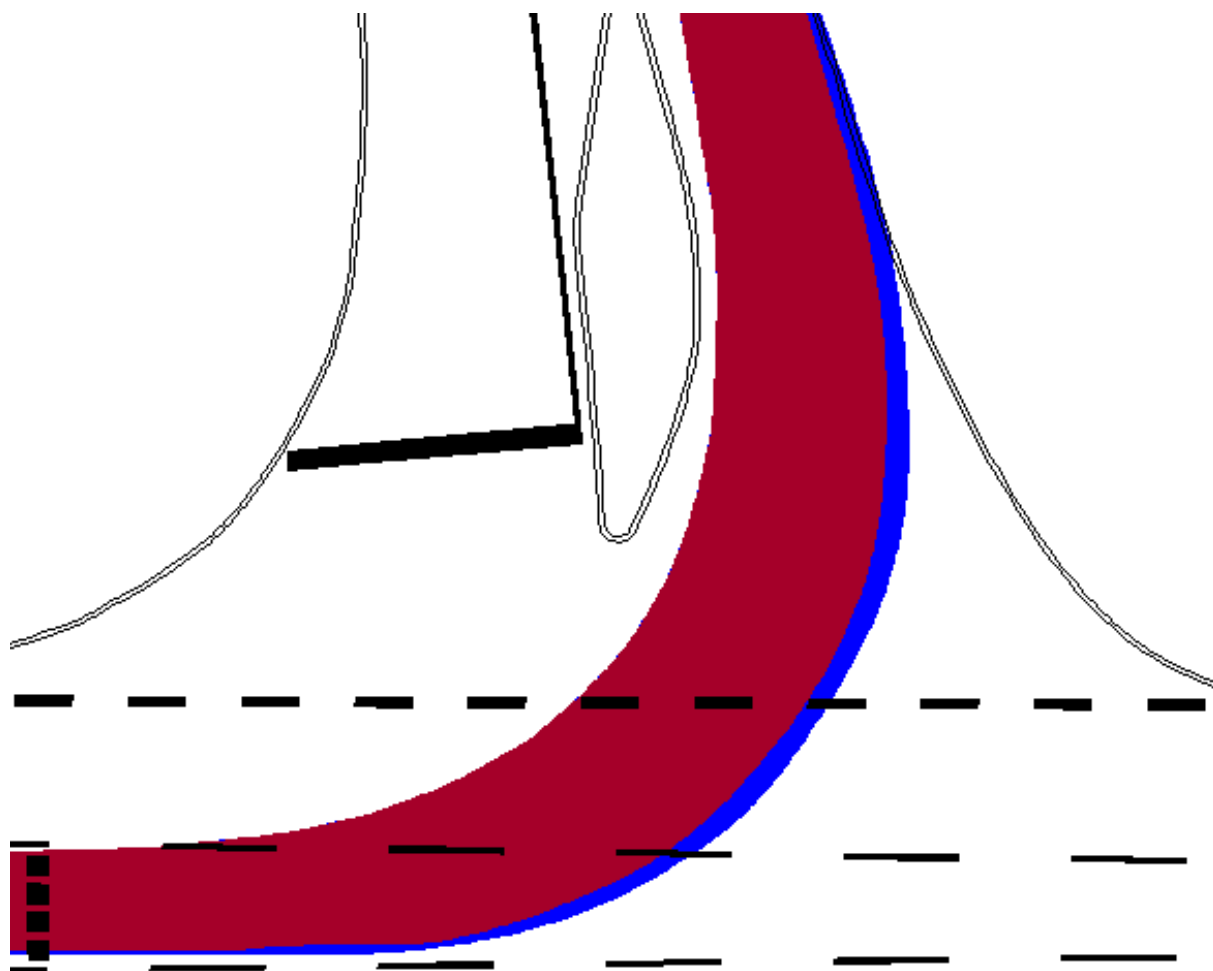
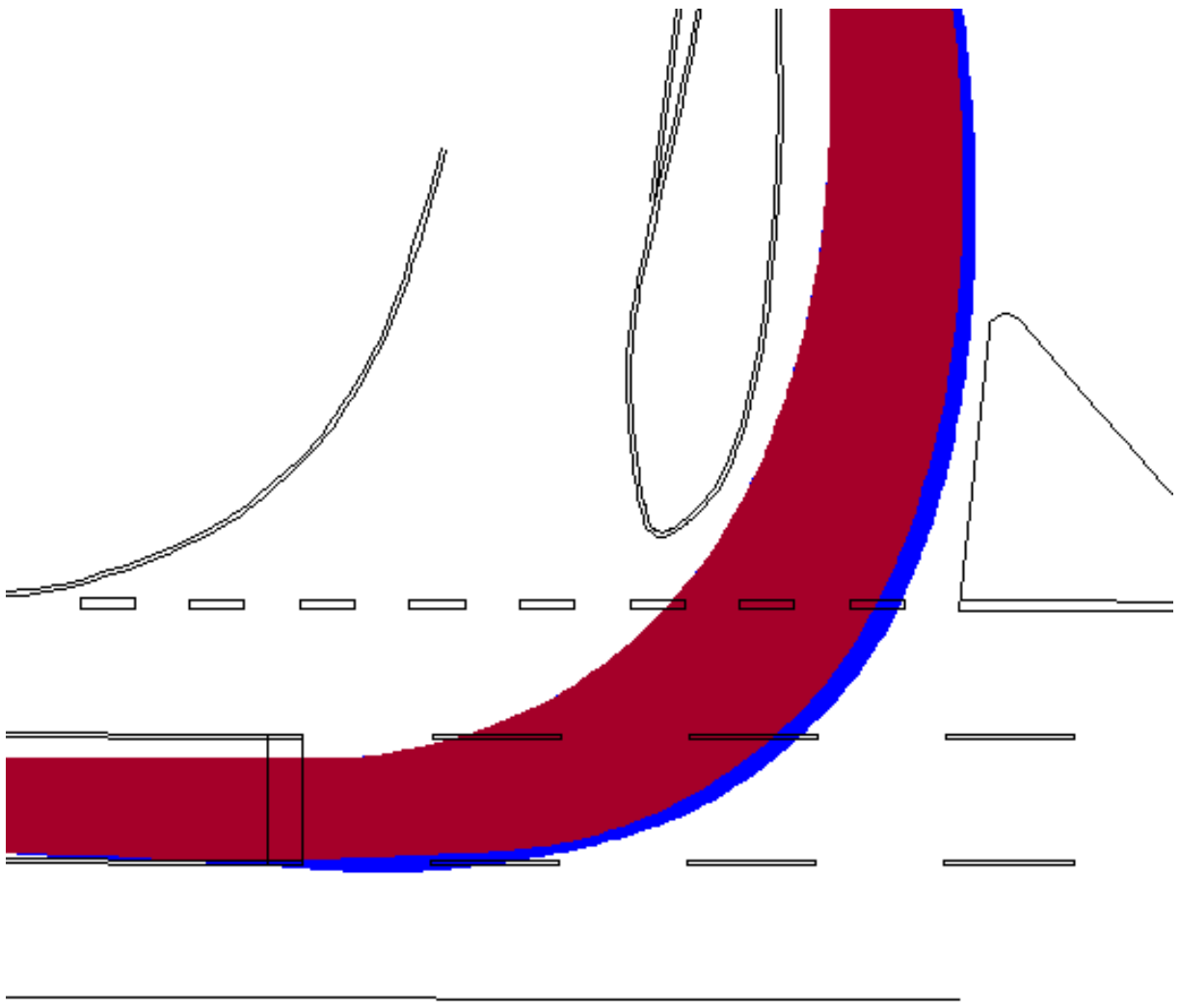
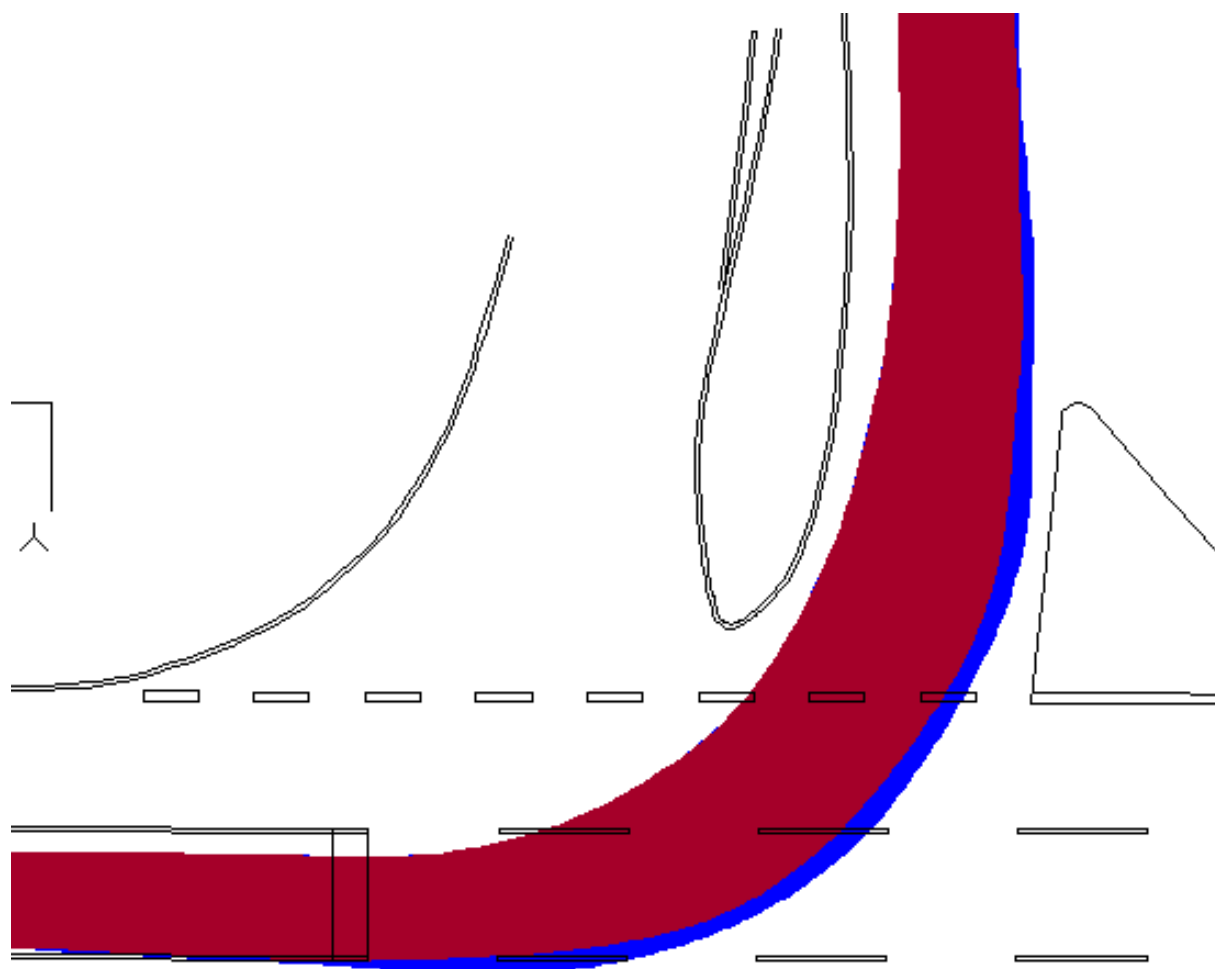


Bild 116 Linksabbiegen Typ 3 - Messung 3



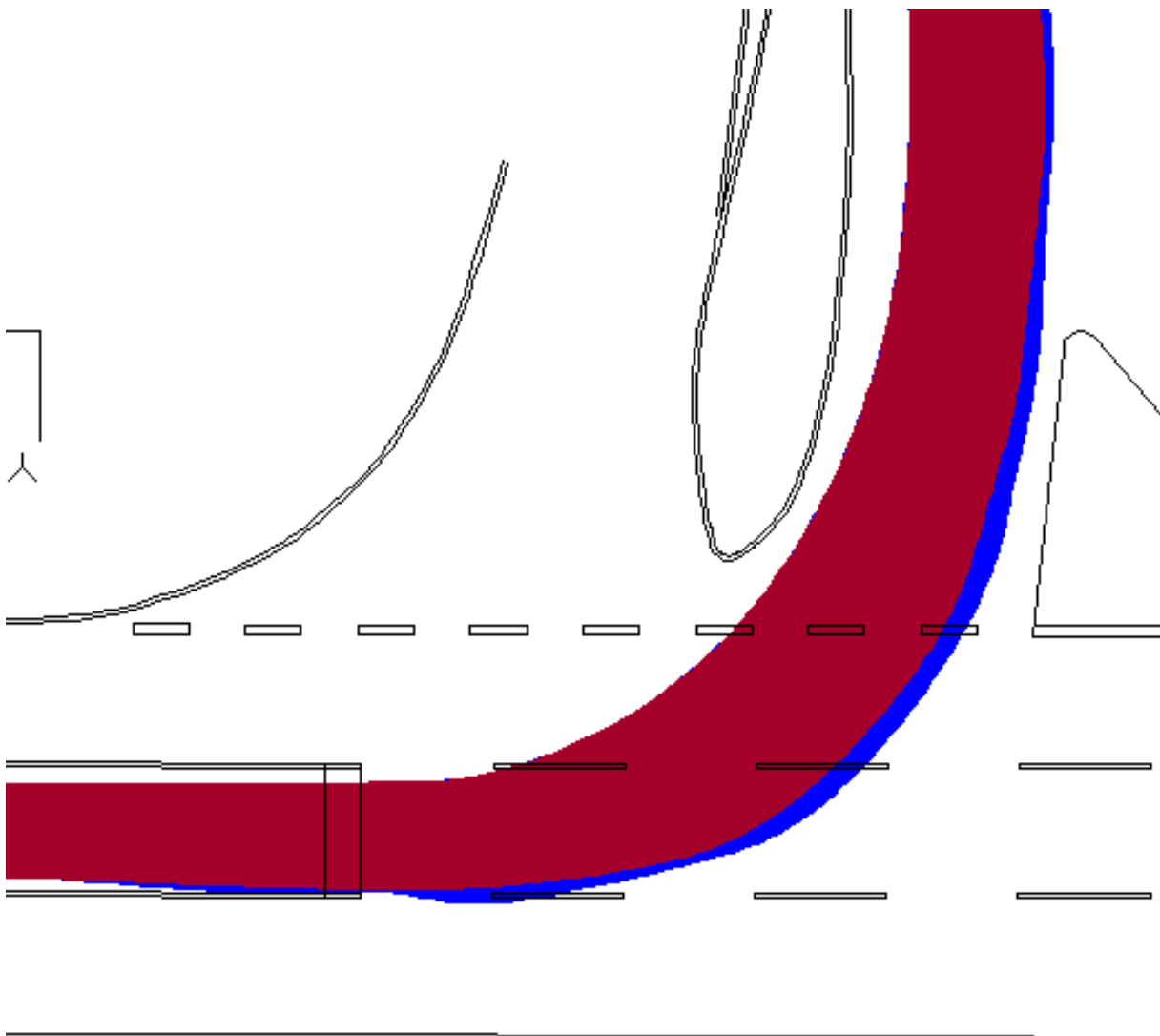
**Bild 117** Linksabbiegen Typ 5\* - Messung 1



3

**Bild 118** Linksabbiegen Typ 5\* - Messung 2





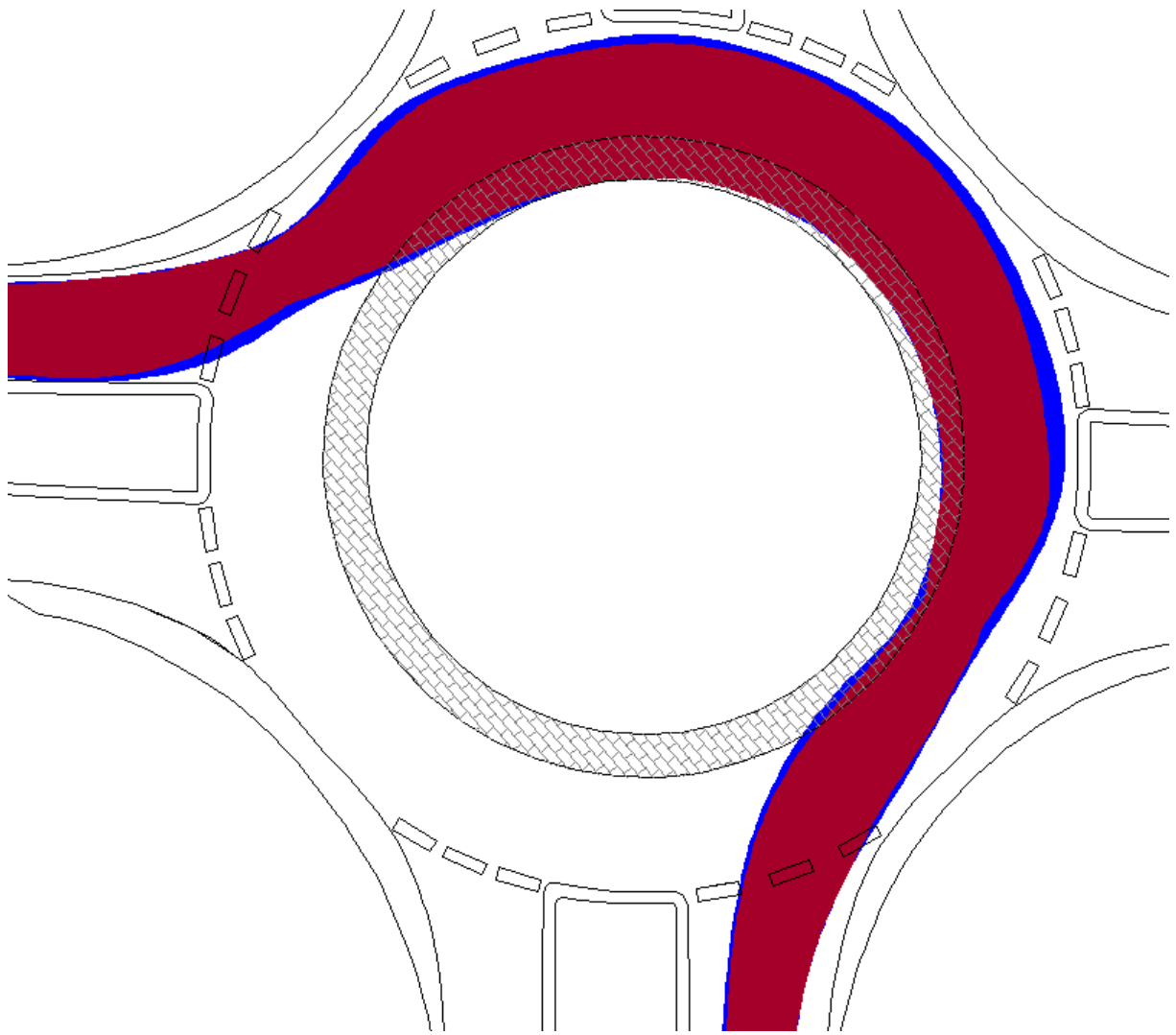
**Bild 119** Linksabbiegen Typ 5\* - Messung 3

## 2.2 Schleppkurven der Messfahrten im Kreisverkehr

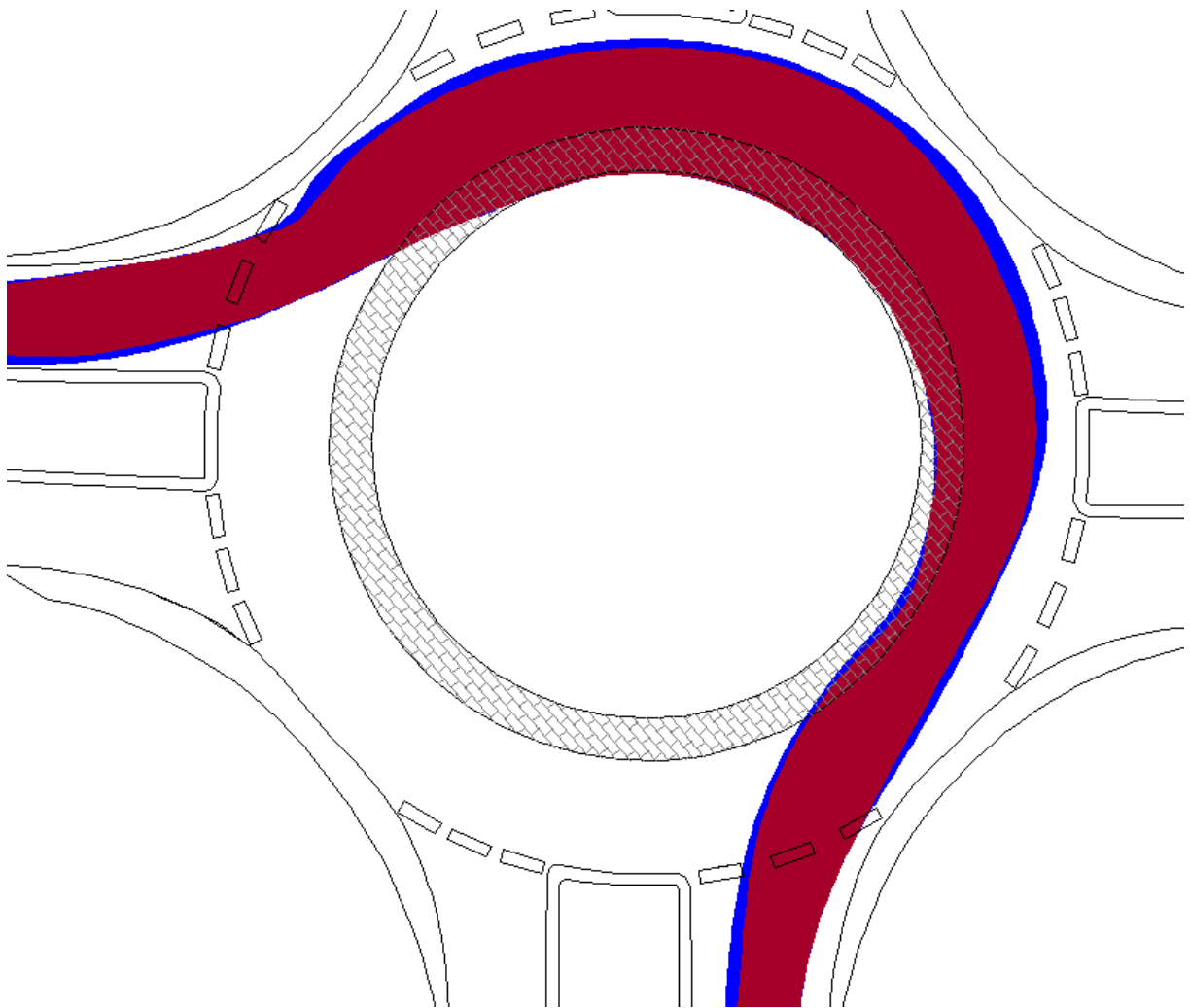
### 2.2.1. $\frac{3}{4}$ Kreisdurchfahrung

|    |                                       | Typen mit Abständen in [m] |       |       |      |       |
|----|---------------------------------------|----------------------------|-------|-------|------|-------|
|    |                                       | Referenz                   | 1     | 2     | 3    | 5*    |
| m1 | Einfahrt Abstand links zum Tropfen    | 1,21                       | 0,98  | 1,86  | 1,06 | 0,62  |
| m2 |                                       | 1,42                       | 1,29  | 1,24  | 1,04 | 0,68  |
| m3 |                                       | 1,52                       | 1,34  | 1,25  | 0,74 | 0,60  |
| m1 | Abstand rechter Fahrbahnrand Einfahrt | 0,61                       | 0,37  | 0,46  | 0,25 | 0,36  |
| m2 |                                       | 0,76                       | 0,22  | 0,92  | 0,20 | 0,36  |
| m3 |                                       | 0,73                       | 0,30  | 0,80  | 0,00 | 0,36  |
| m1 | Abstand zum Innenring                 | 0,00                       | 0,00  | -0,55 | 0,70 | 0,23  |
| m2 |                                       | -0,15                      | 0,10  | 0,07  | 0,65 | 0,48  |
| m3 |                                       | 0,00                       | -0,20 | 0,34  | 0,79 | 0,40  |
| m1 | Ausfahrt Abstand links zum Tropfen    | 0,00                       | 0,22  | 0,28  | 0,13 | 0,42  |
| m2 |                                       | 0,16                       | 0,00  | -0,30 | 0,21 | -0,07 |
| m3 |                                       | 0,45                       | 0,27  | -0,30 | 0,00 | 0,22  |
| m1 | Abstand rechter Fahrbahnrand Ausfahrt | 0,28                       | 0,10  | 0,75  | 0,07 | 0,36  |
| m2 |                                       | 0,26                       | 0,16  | 0,50  | 0,13 | 0,54  |
| m3 |                                       | 0,00                       | 0,00  | 0,38  | 0,14 | 0,41  |

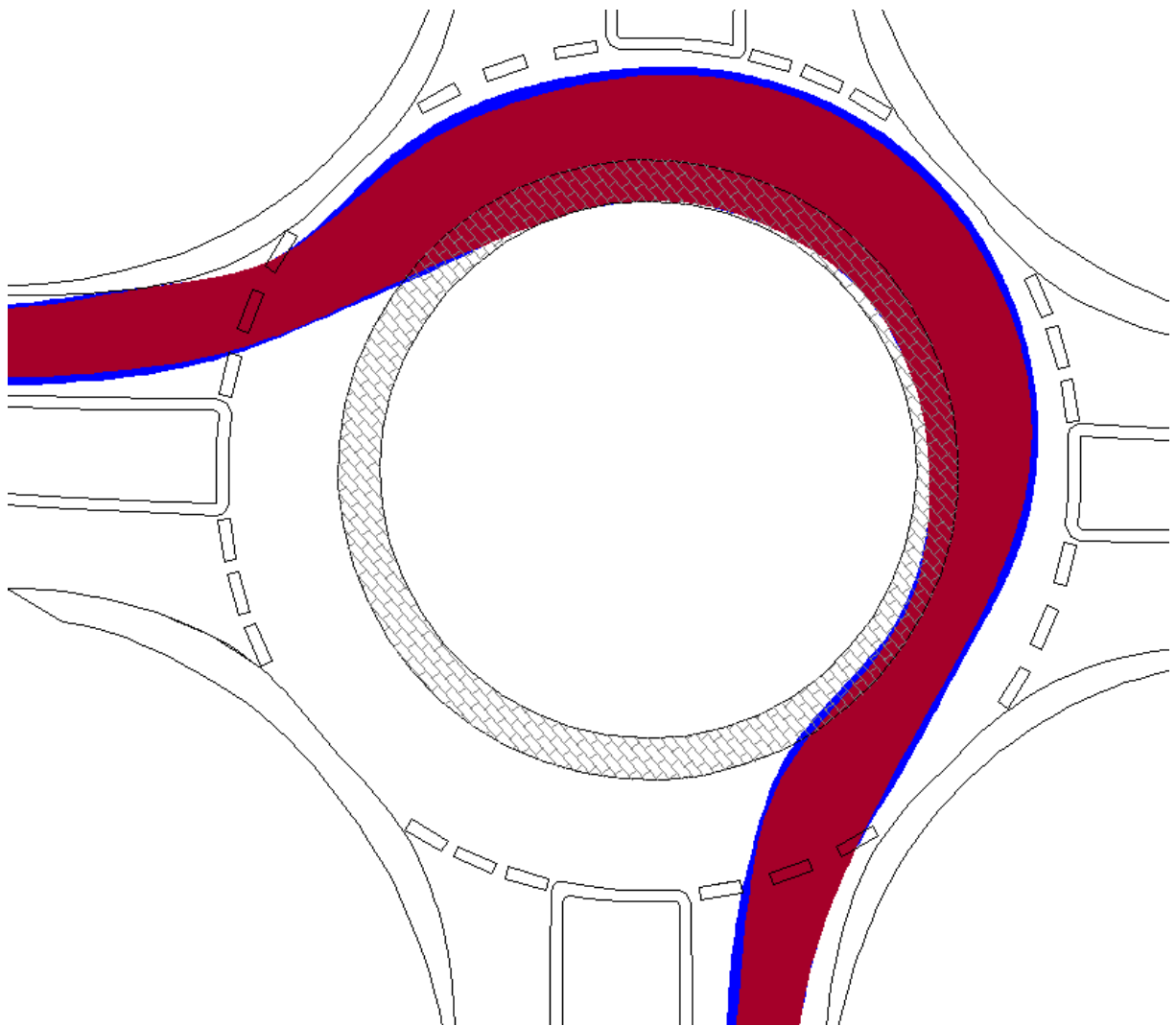
Tab. 16 Messwerte  $\frac{3}{4}$ -Kreismrundung (Überfahrungen sind in Rot dargestellt)



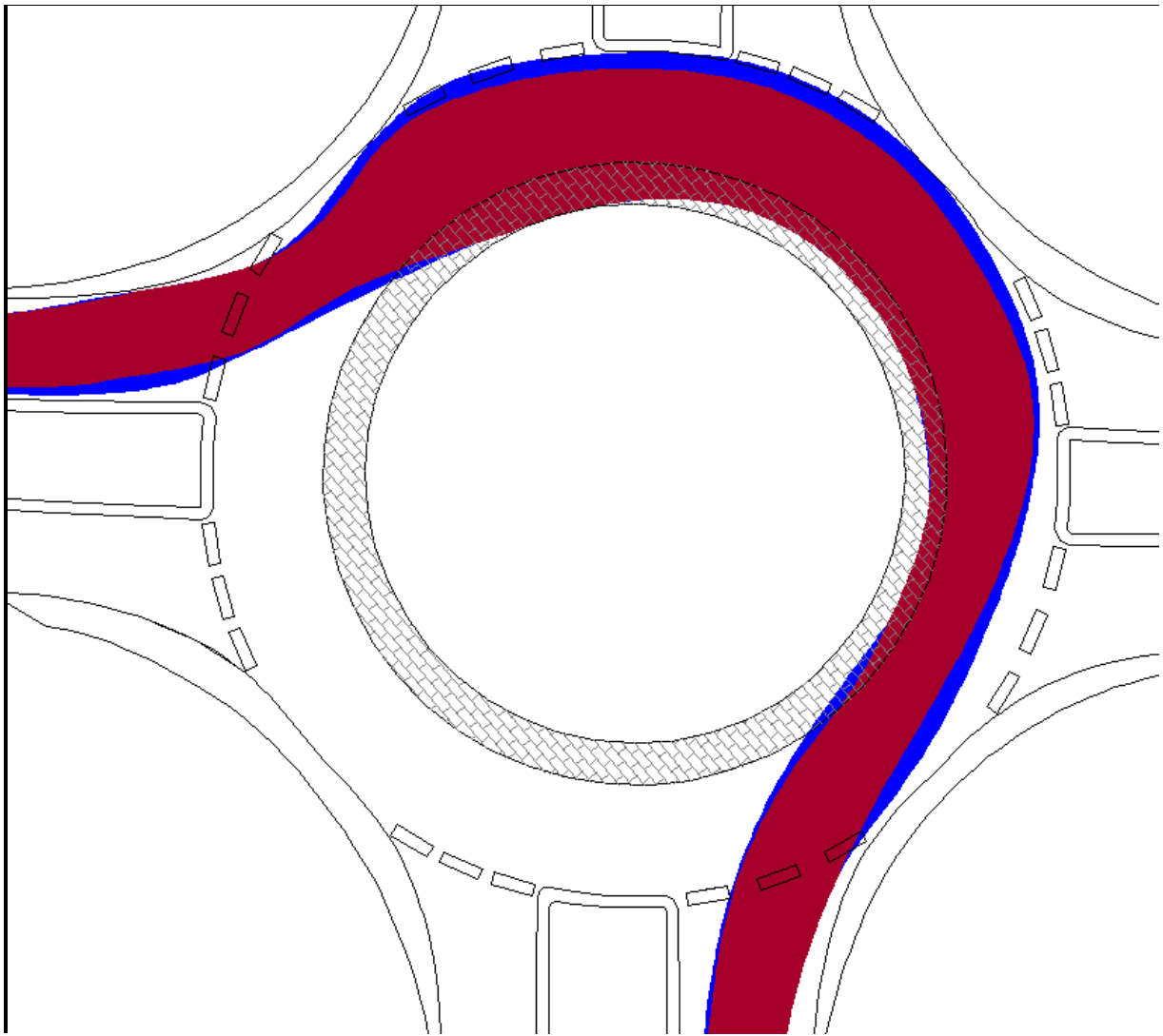
**Bild 120** ¾ Kreisumrundung - Referenzfahrzeug - Messung 1



**Bild 121**  $\frac{3}{4}$  Kreisumrundung - Referenzfahrzeug - Messung 2

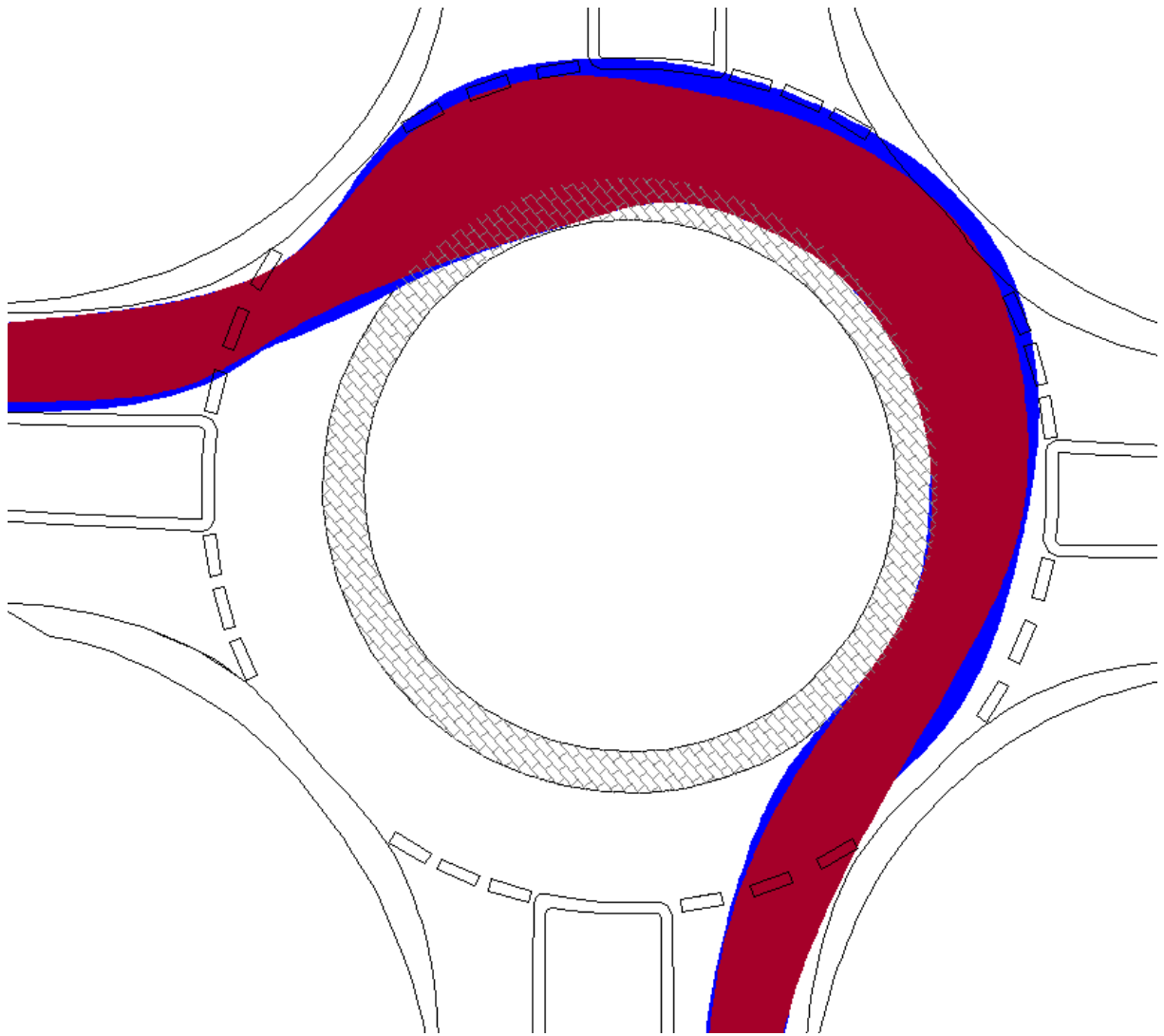


**Bild 122** ¼ Kreisumrundung - Referenzfahrzeug - Messung 3

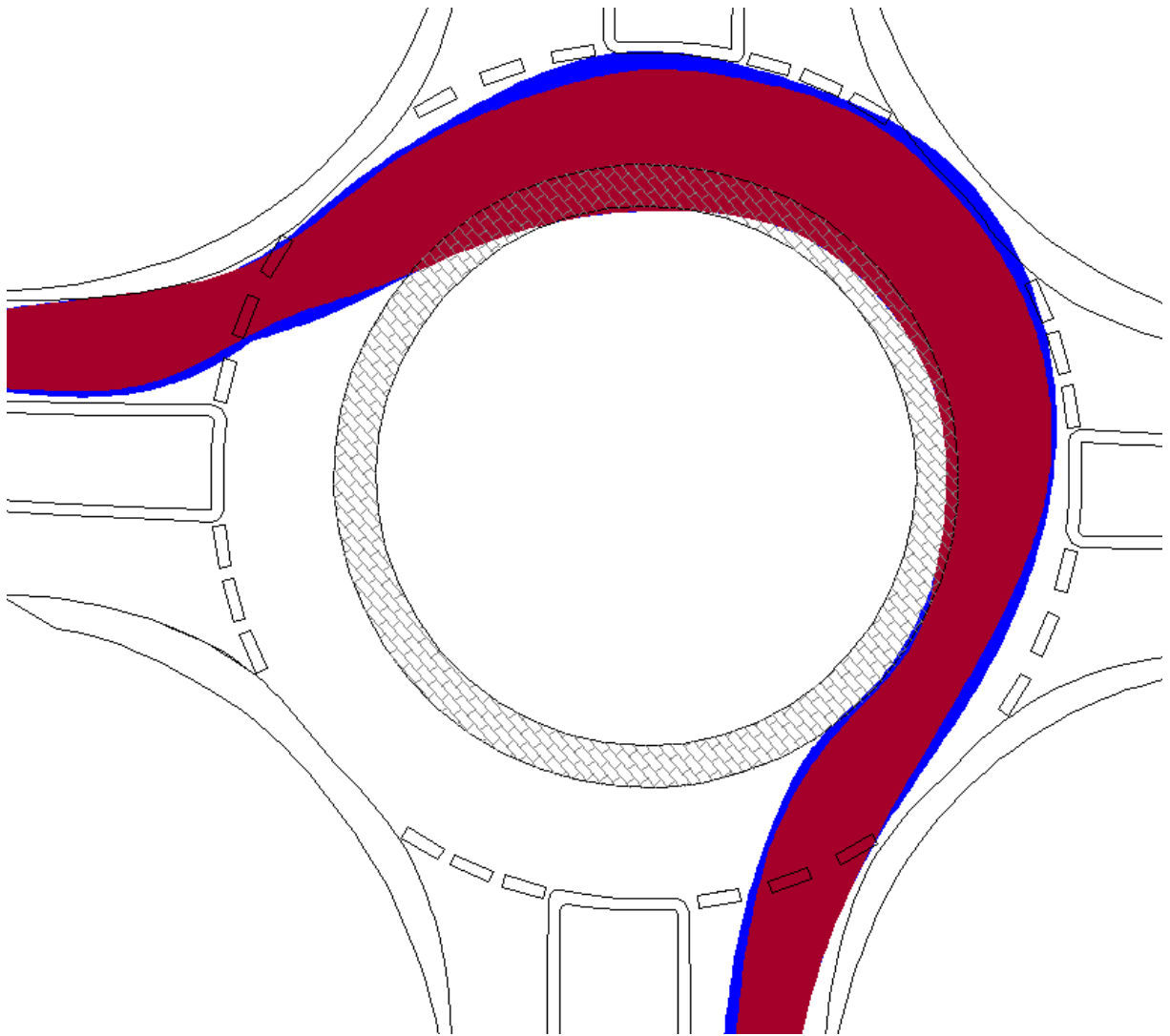


**Bild 123** ¼ Kreisumrundung - Typ 1- Messung 1

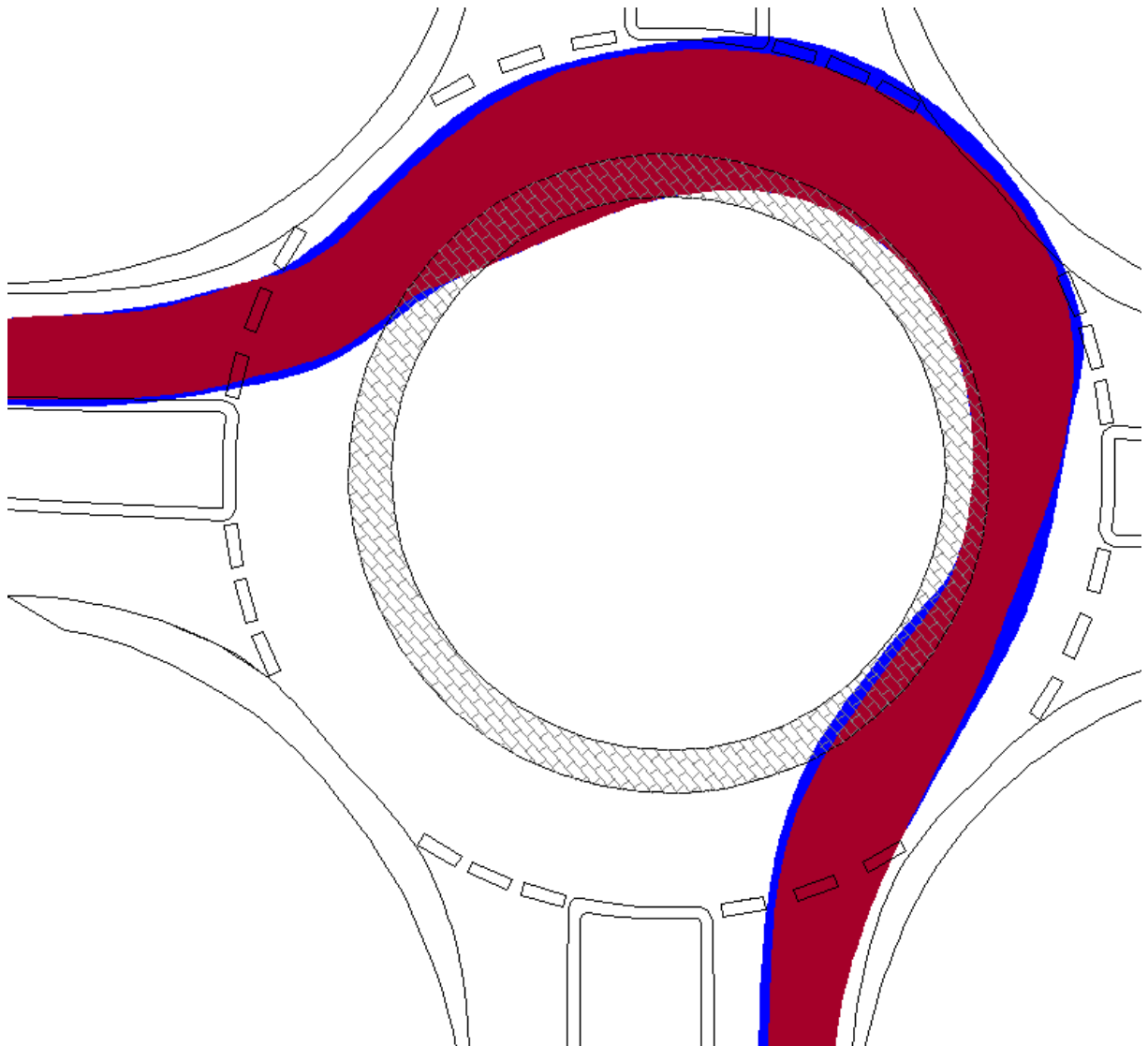




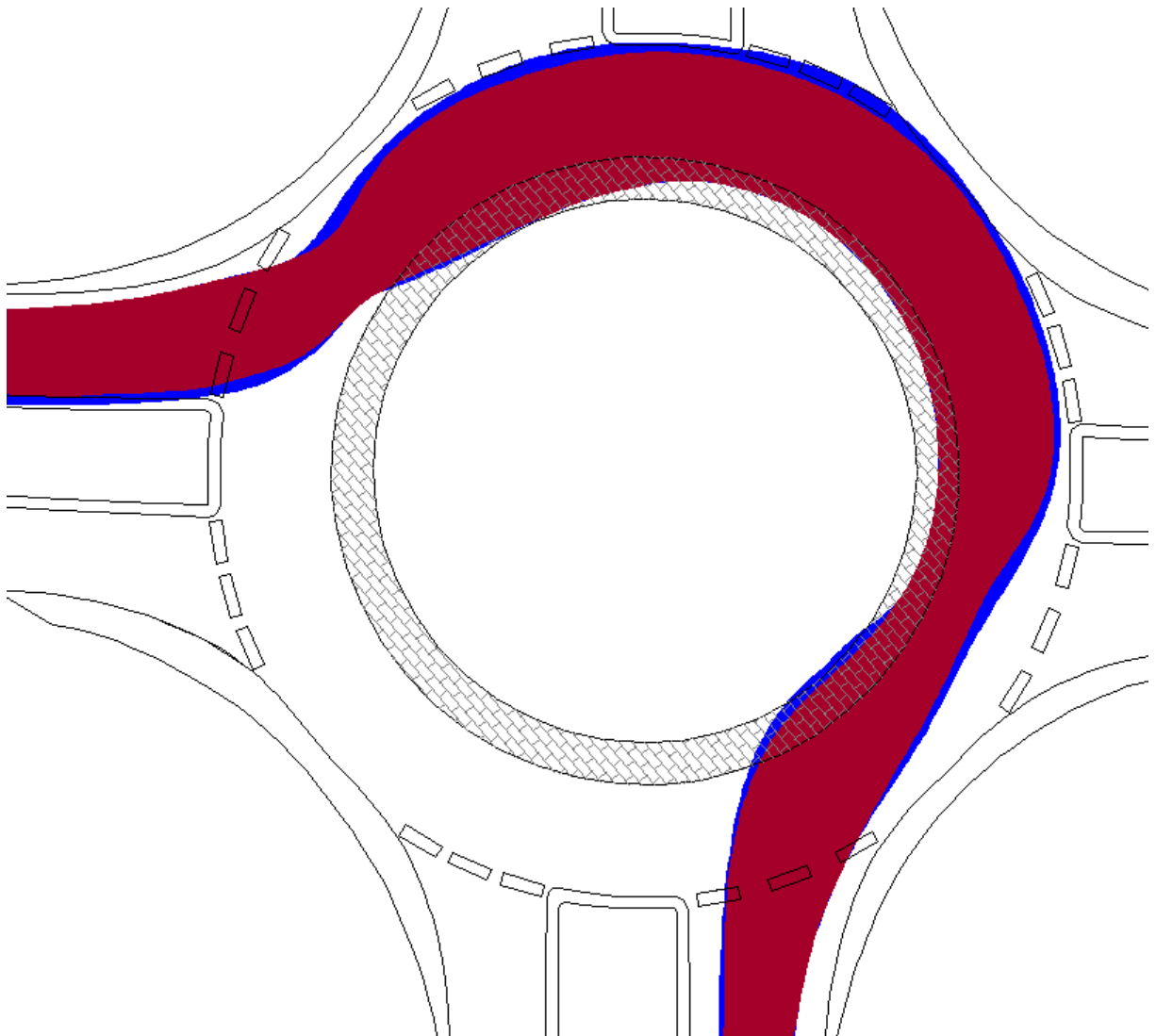
**Bild 124** ¾ Kreisumrundung - Typ 1- Messung 2



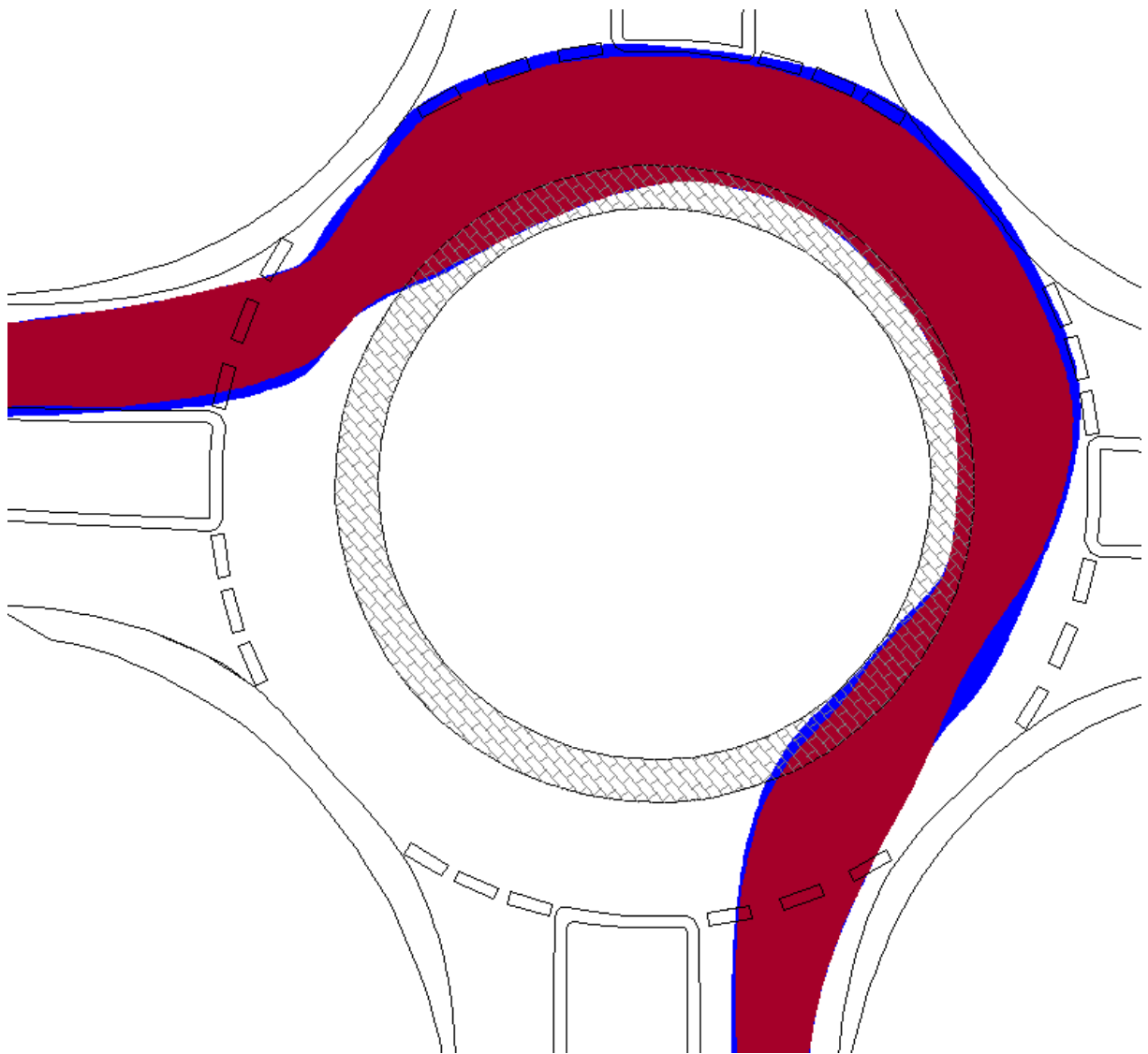
**Bild 125** ¼ Kreisumrundung - Typ 1- Messung 3



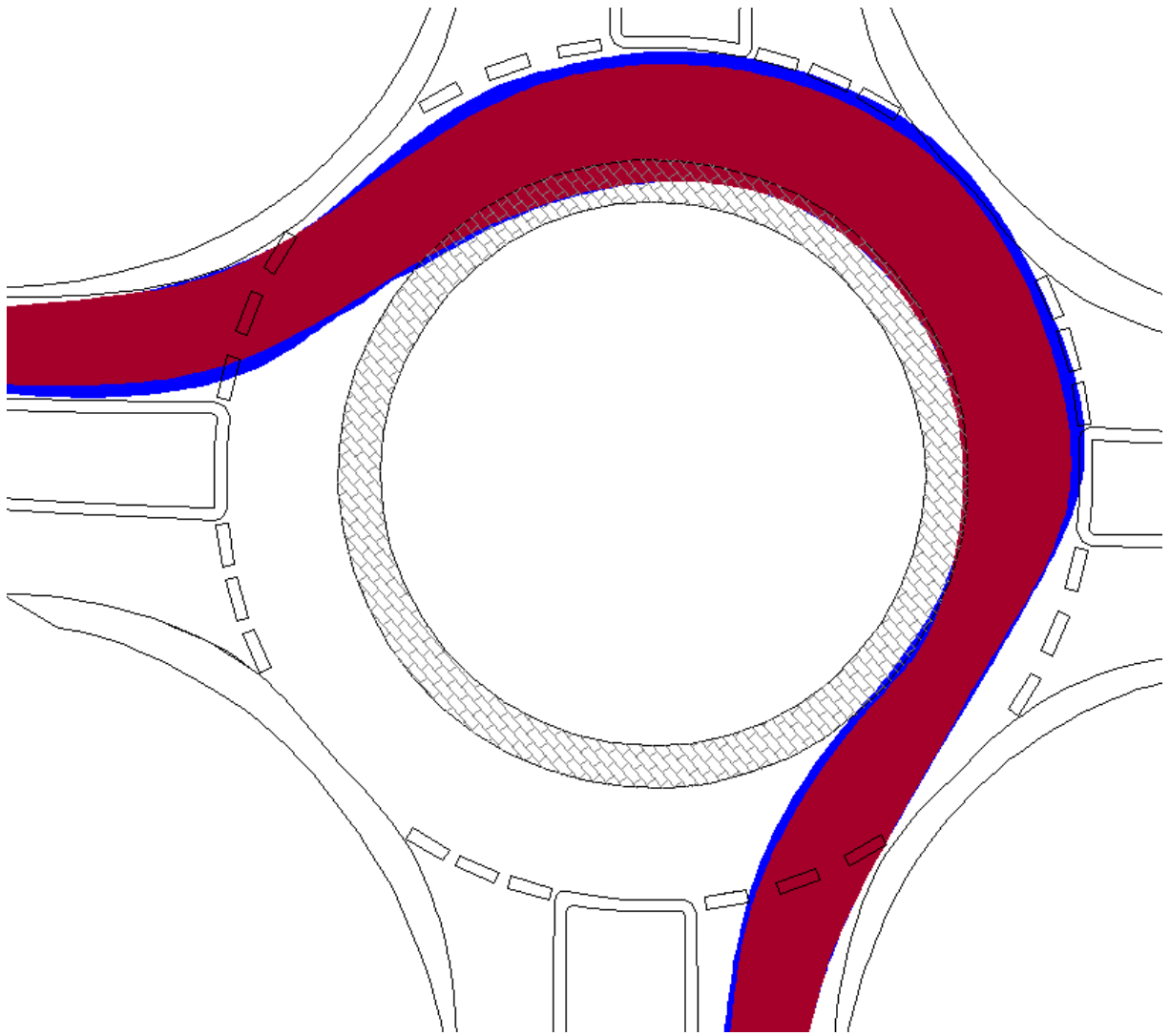
**Bild 126** ¼ Kreisumrundung - Typ 2- Messung 1



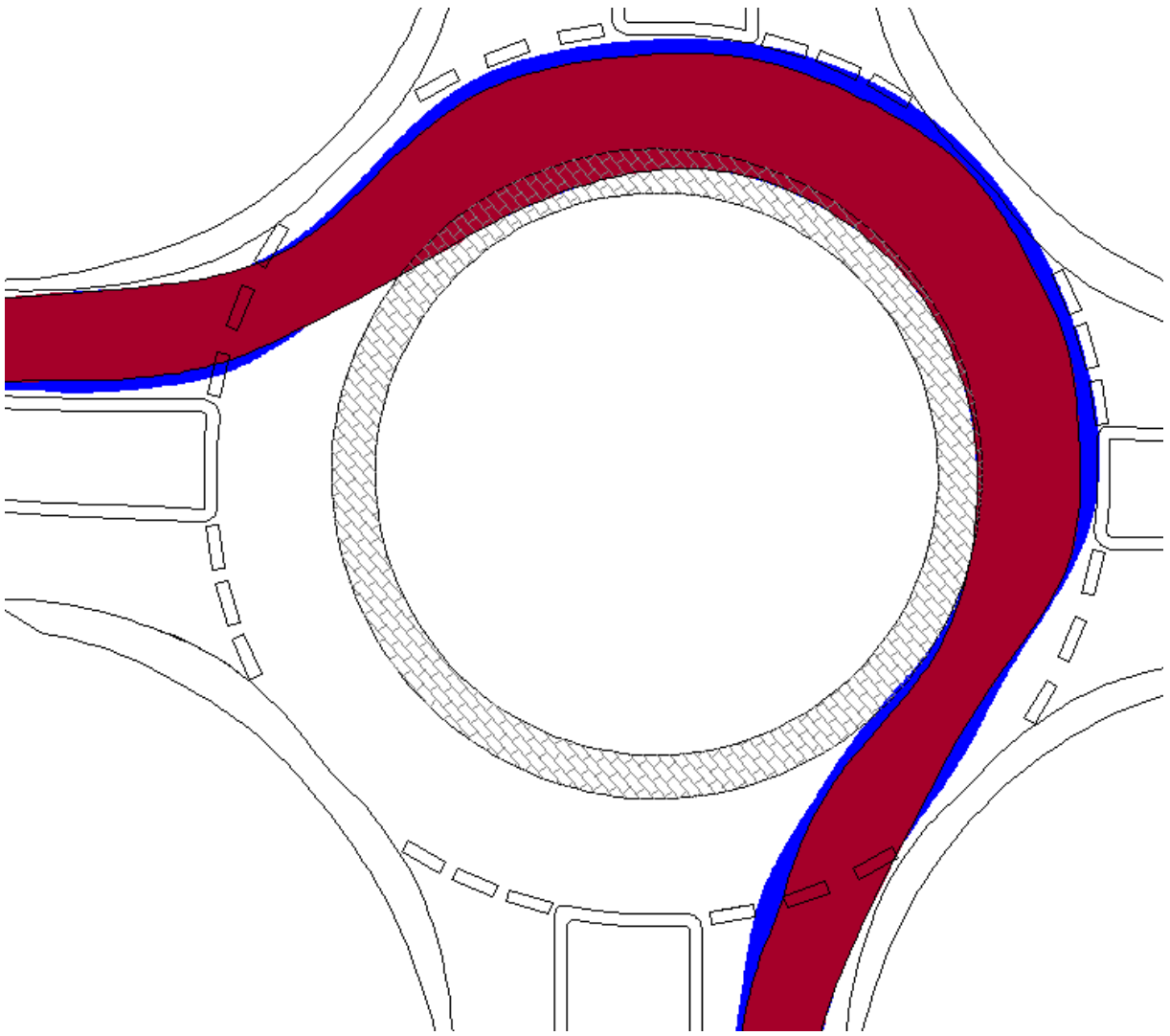
**Bild 127**  $\frac{1}{4}$  Kreisumrundung - Typ 2- Messung 2



**Bild 128**  $\frac{3}{4}$  Kreisumrundung - Typ 2- Messung 3

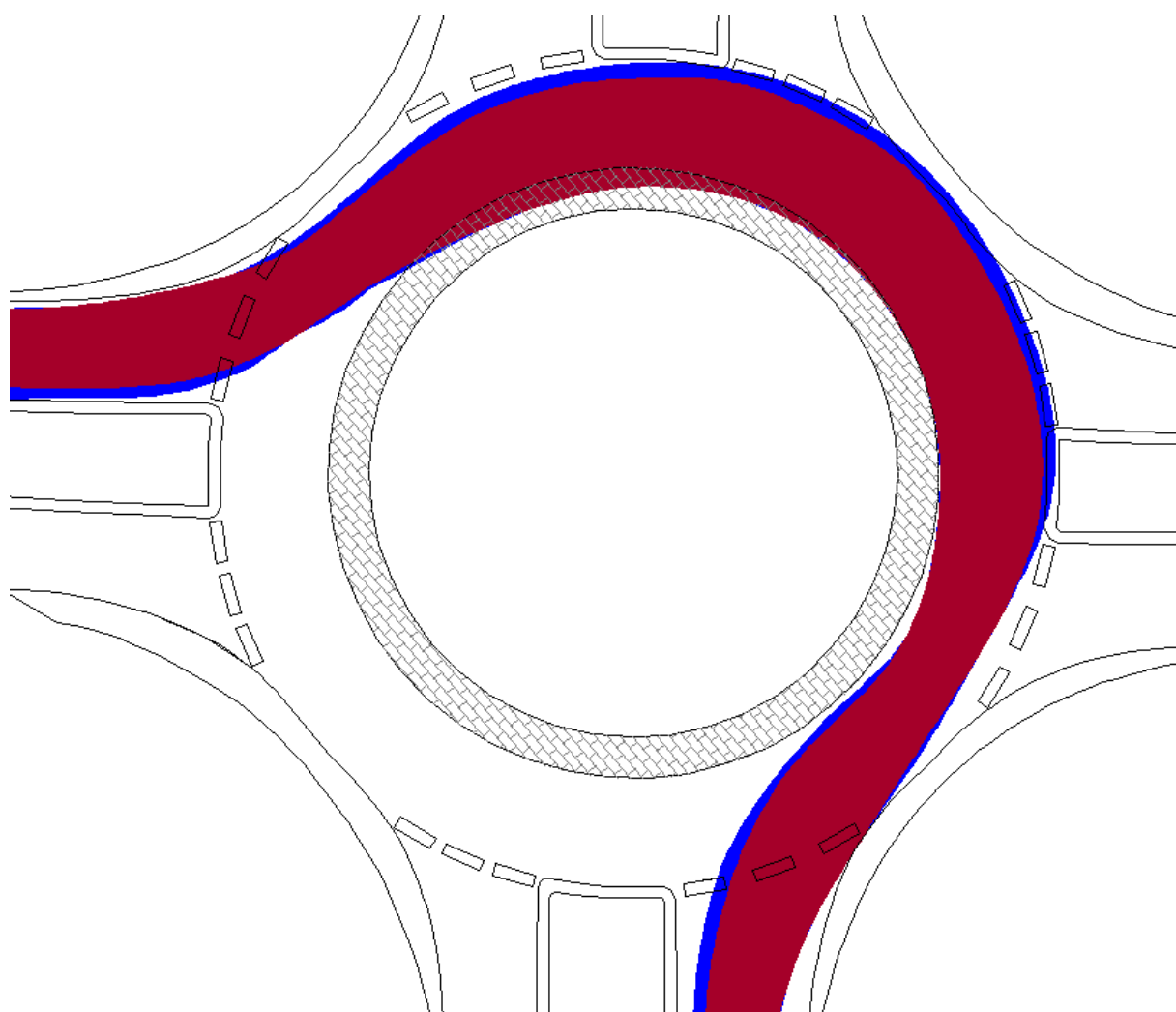


**Bild 129**  $\frac{3}{4}$  Kreisumrundung - Typ 3- Messung 1

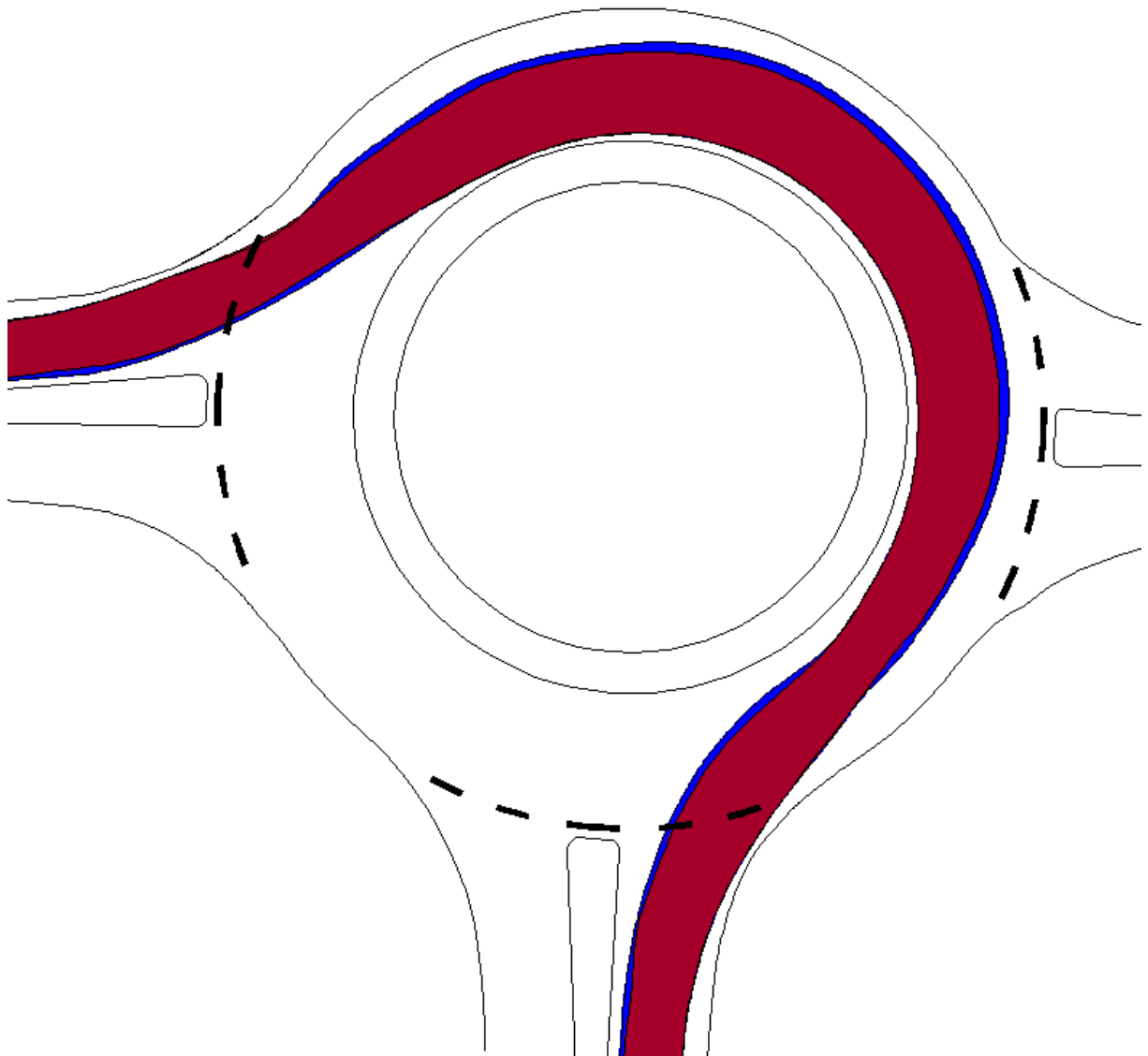


**Bild 130**  $\frac{1}{4}$  Kreisumrundung - Typ 3- Messung 2

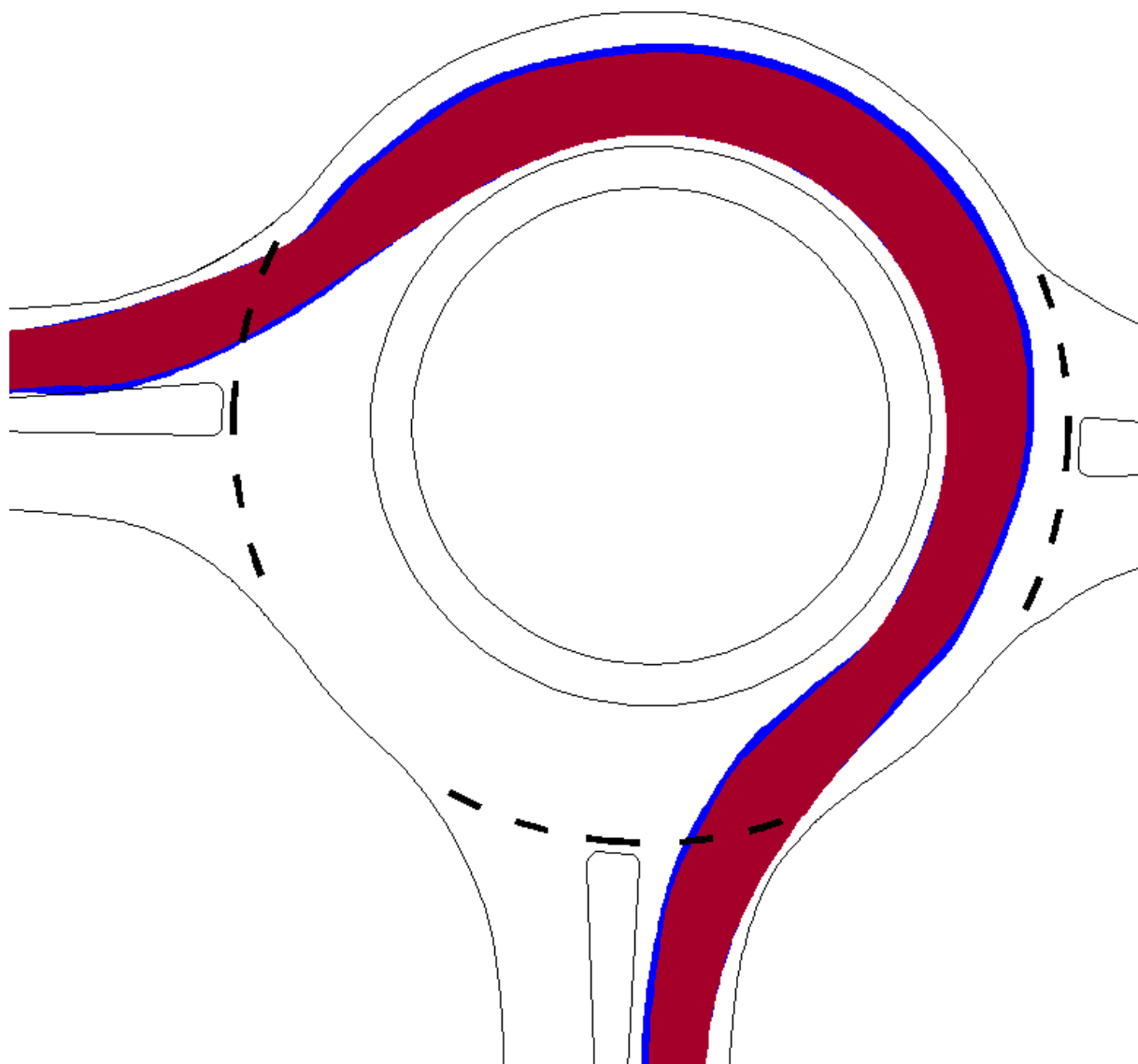




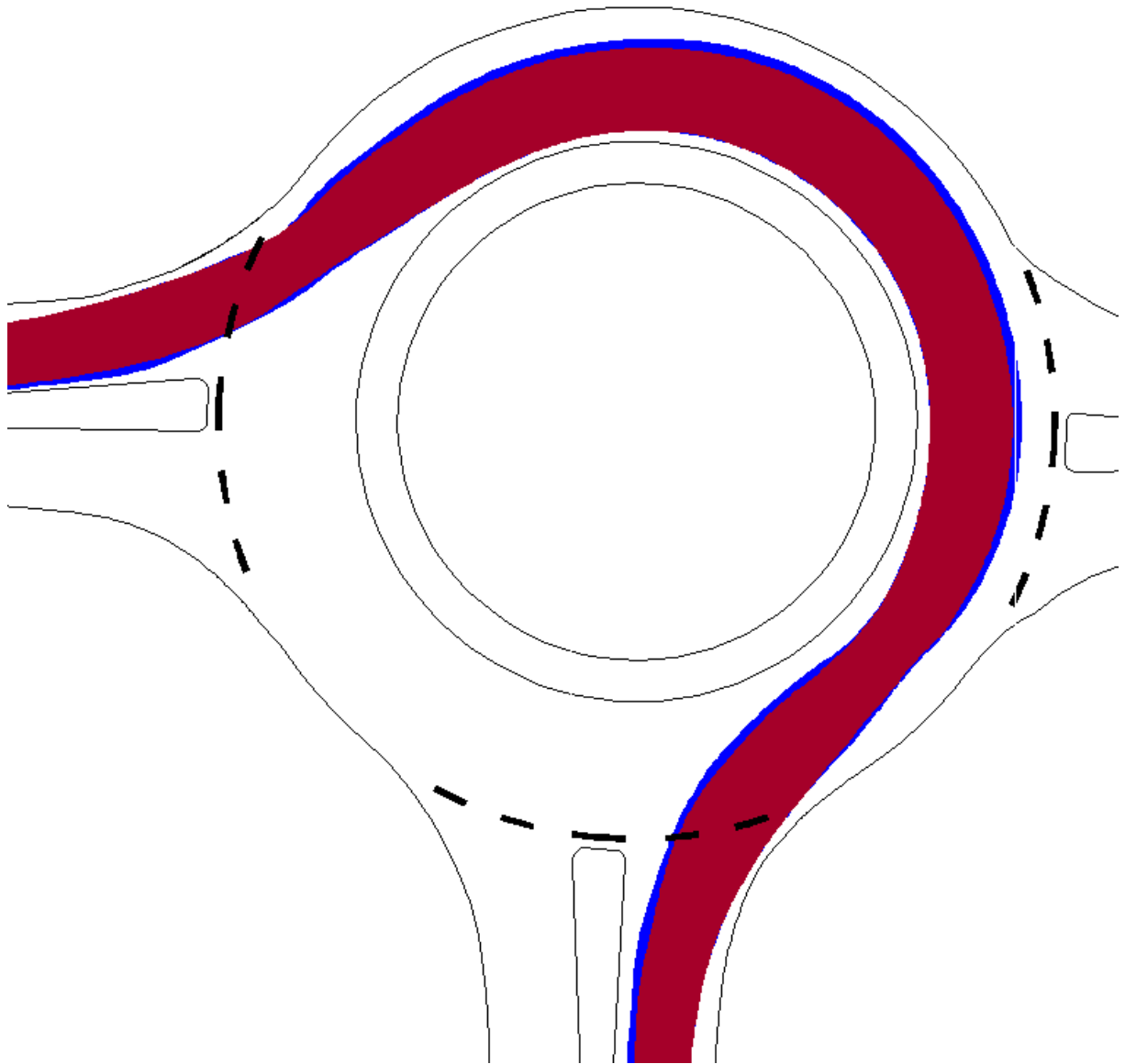
**Bild 131**  $\frac{1}{4}$  Kreisumrundung - Typ 3- Messung 3



**Bild 132** ¾ Kreisumrundung - Typ 5\*- Messung 1



**Bild 133** ¼ Kreisumrundung - Typ 5\*- Messung 2



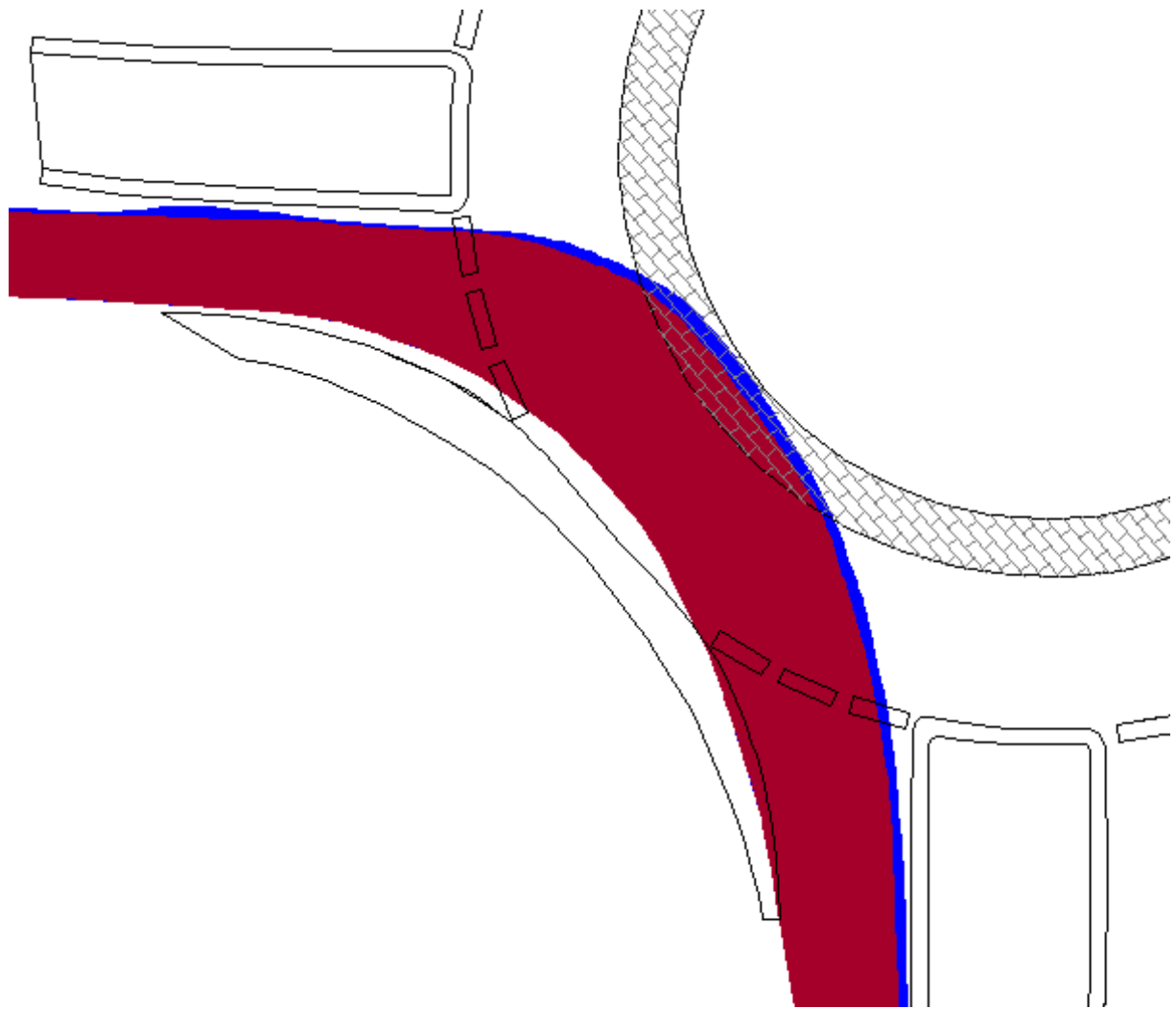
**Bild 134** ¼ Kreisumrundung - Typ 5\*- Messung 3

## 2.2.2. ¼ Kreisdurchfahrung

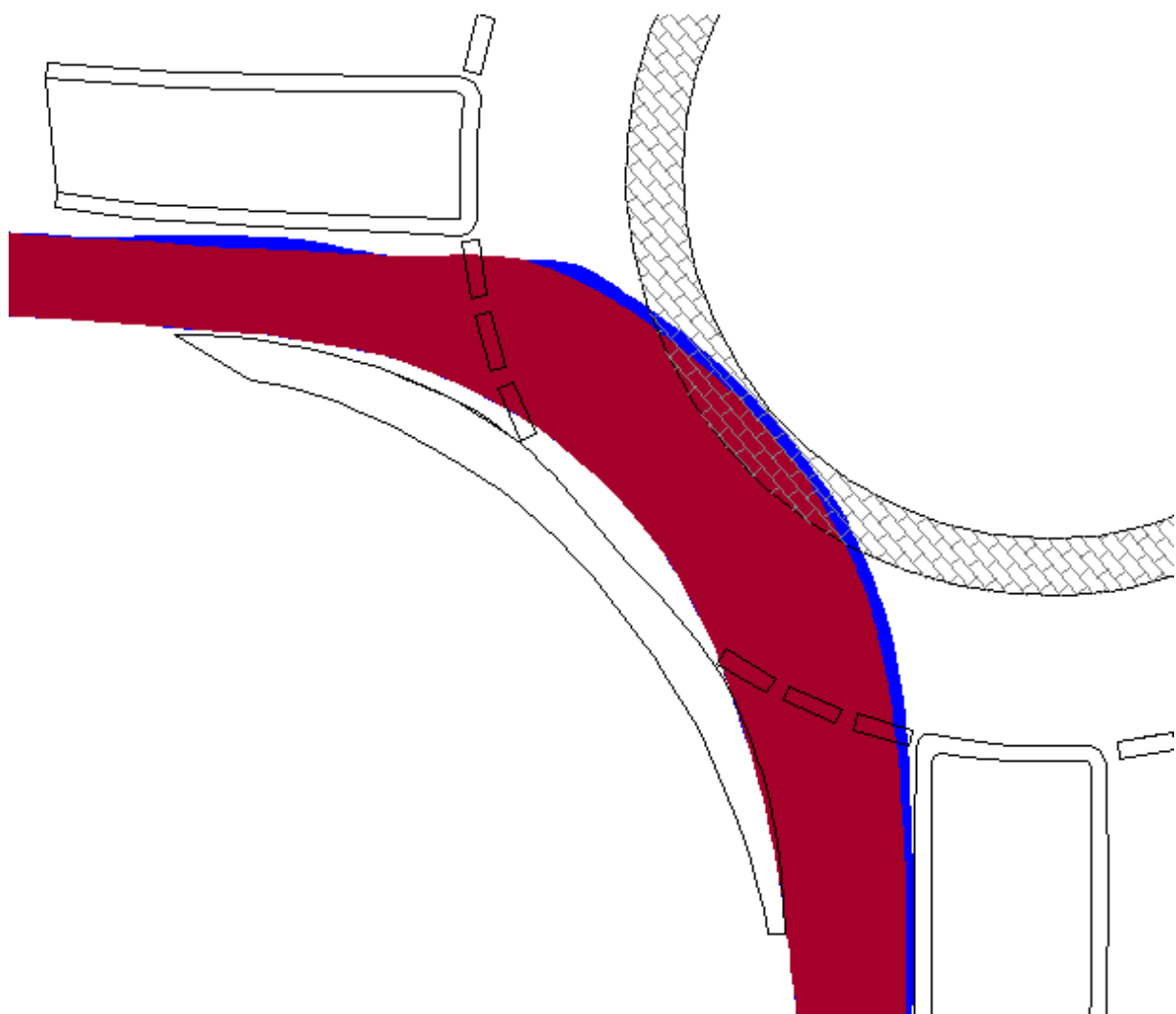
|    |                                       | Typen mit Abständen in [m] |       |       |       |       |
|----|---------------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|    |                                       | Referenz                   | 1     | 2     | 3     | 5*    |
| m1 | Einfahrt Abstand links zum Tropfen    | 0,20                       | 0,00  | 0,13  | 0,38  | 0,50  |
| m2 |                                       | 0,31                       | 0,07  | 0,18  | 0,31  | 0,68  |
| m3 |                                       | 0,24                       | 0,05  | 0,25  | 0,38  | 0,73  |
| m1 | Abstand rechter Fahrbahnrand Einfahrt | 0,30                       | 0,31  | 0,15  | 0,00  | 0,14  |
| m2 |                                       | 0,18                       | 0,31  | 0,16  | -0,07 | 0,21  |
| m3 |                                       | 0,06                       | 0,33  | 0,10  | -0,06 | 0,08  |
| m1 | Abstand zum Innenring                 | 0,10                       | 0,16  | 0,11  | 0,23  | 0,57* |
| m2 |                                       | 0,12                       | 0,17  | 0,00  | 0,33  | 0,39* |
| m3 |                                       | 0,37                       | 0,25  | 0,00  | 0,19  | 0,40* |
| m1 | Ausfahrt Abstand links zum Tropfen    | 0,19                       | -0,18 | -0,21 | 0,00  | 0,54  |
| m2 |                                       | 0,00                       | -0,24 | -0,27 | 0,20  | 0,58  |
| m3 |                                       | 0,00                       | -0,22 | -0,35 | -0,17 | 0,54  |
| m1 | Abstand rechter Fahrbahnrand Ausfahrt | -0,34                      | 0,00  | -0,25 | -0,23 | 0,39  |
| m2 |                                       | -0,13                      | -0,22 | -0,23 | 0,14  | 0,52  |
| m3 |                                       | -0,16                      | -0,16 | -0,21 | 0,00  | 0,44  |

\*Es gab keinen gepflasterten Innenring. Maße beziehen sich auf den Bord mit anschließender Bepflanzung.

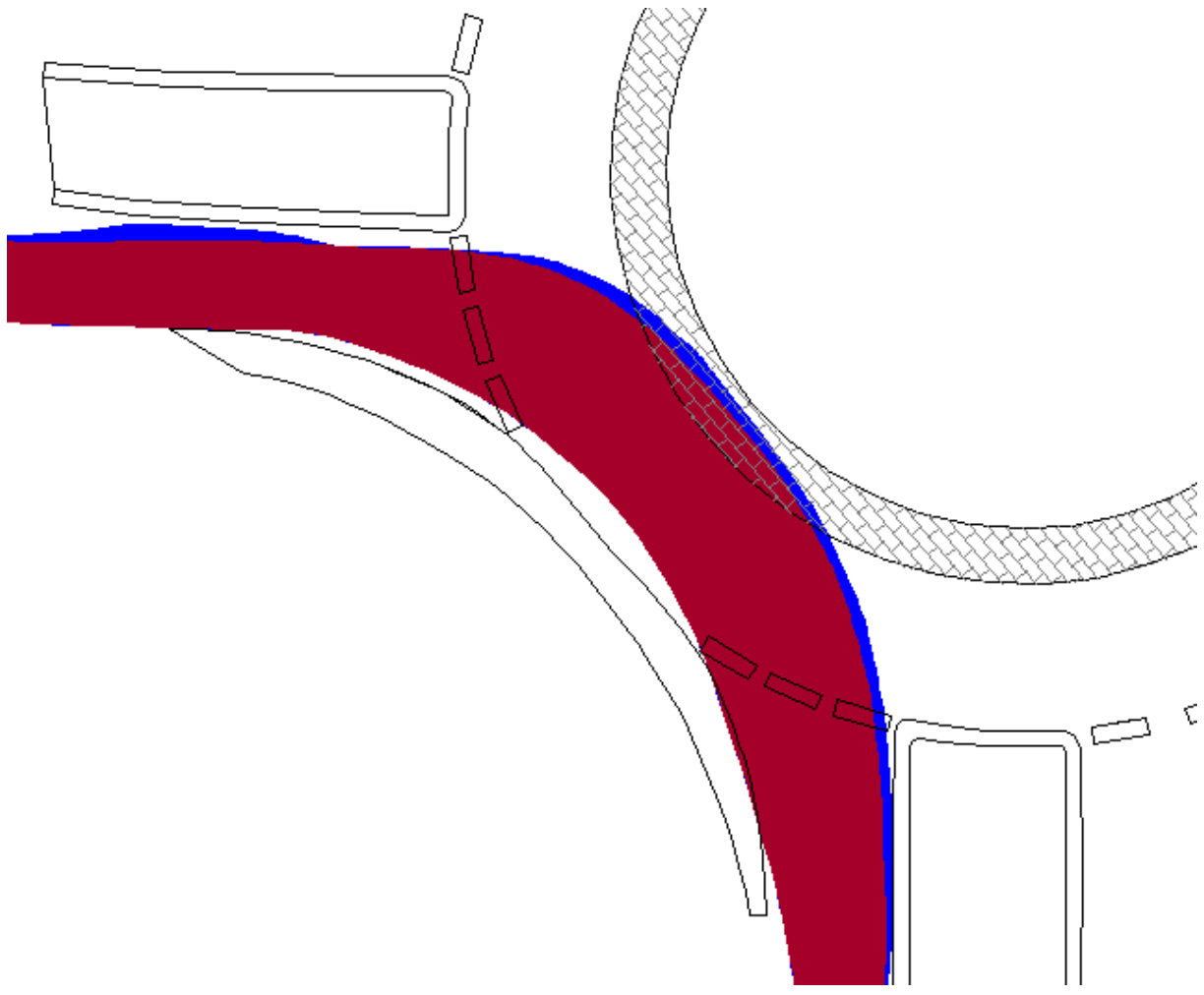
**TAB. 17** Messwerte ¼-Kreisumrundung (Überfahrungen sind in Rot dargestellt)



**Bild 135** ¼ Kreisumrundung - Referenzfahrzeug - Messung 1

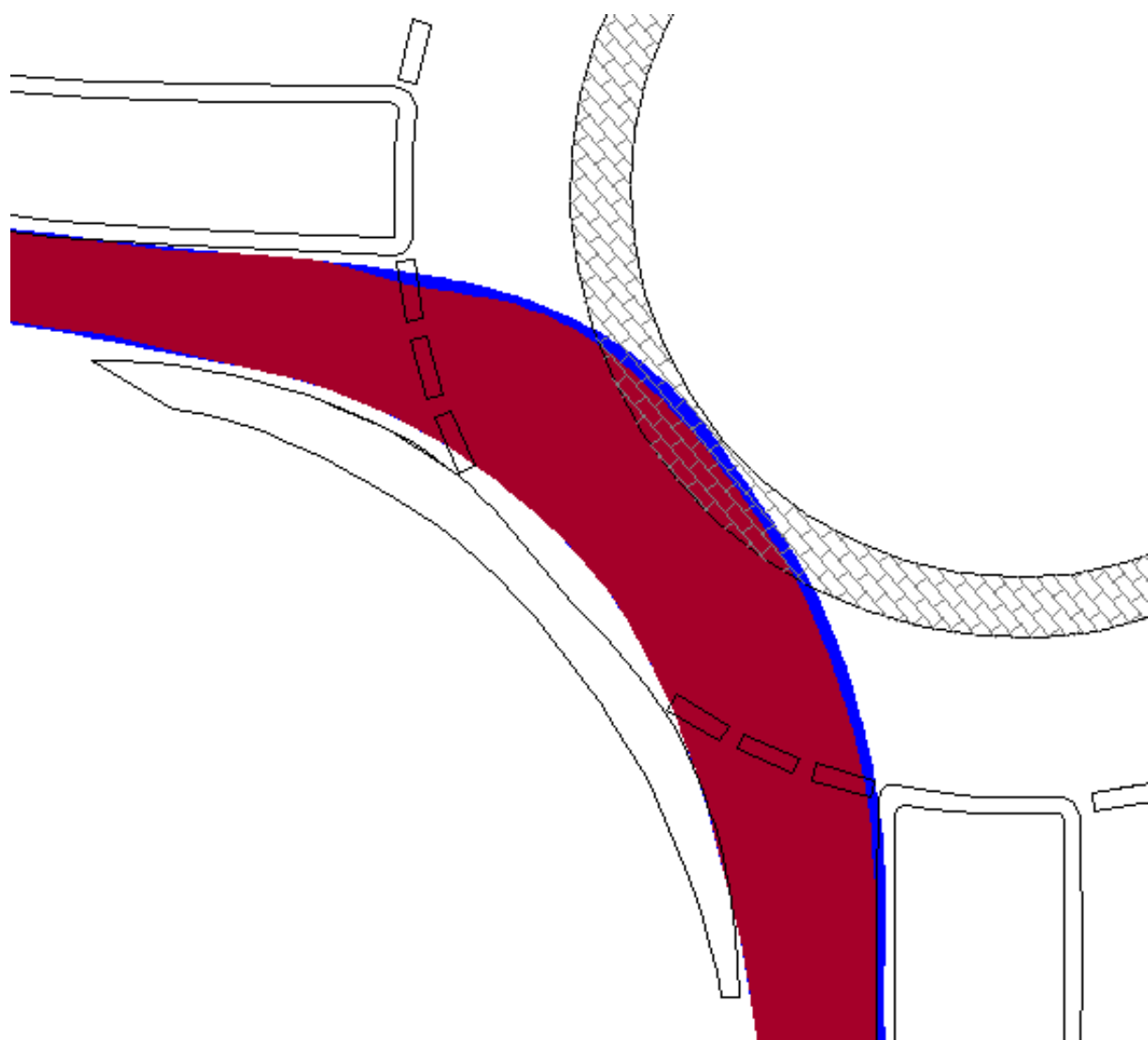


**Bild 136** ¼ Kreisumrundung - Referenzfahrzeug - Messung 2

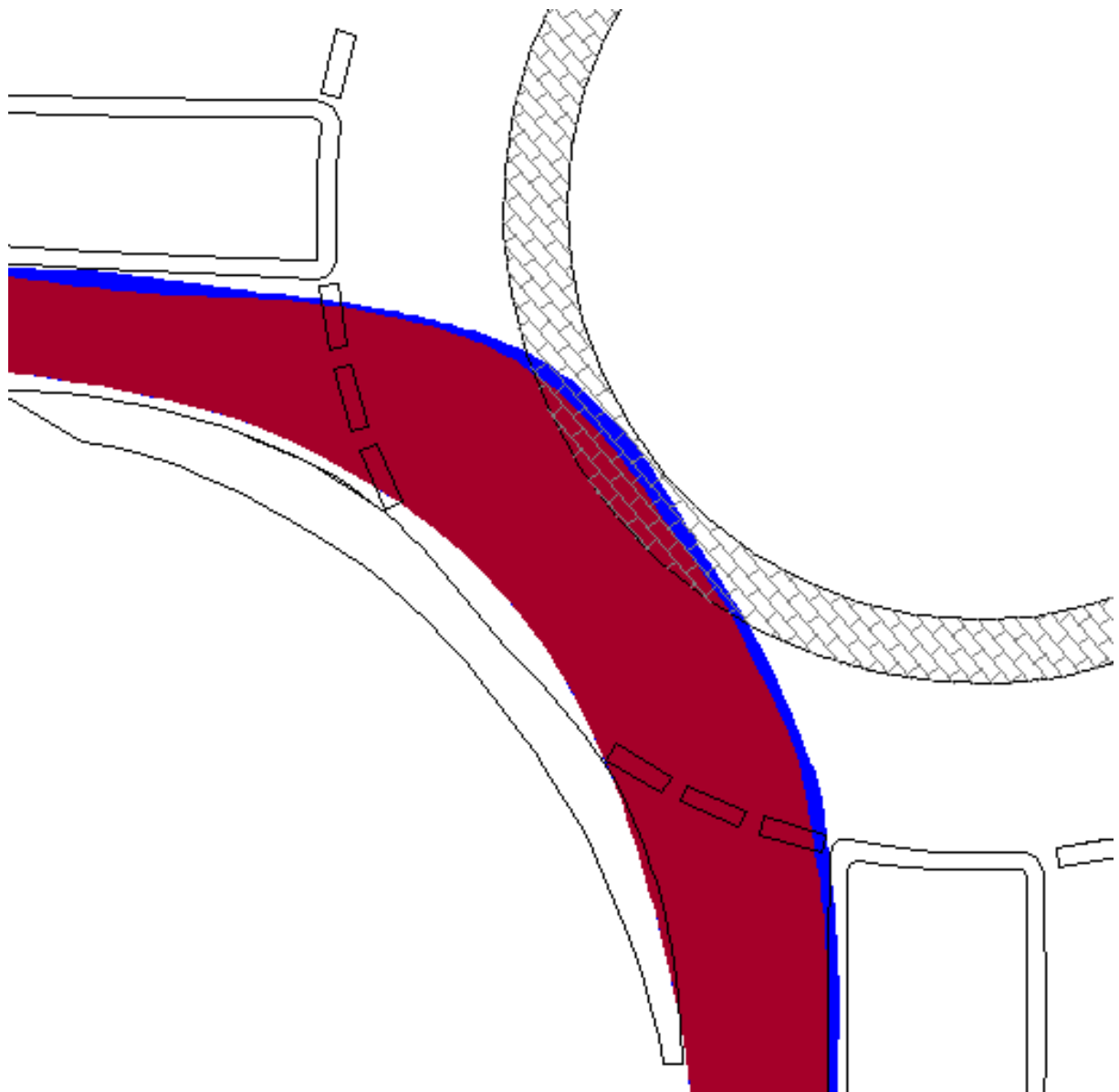


**Bild 137** ¼ Kreisumrundung - Referenzfahrzeug - Messung 3

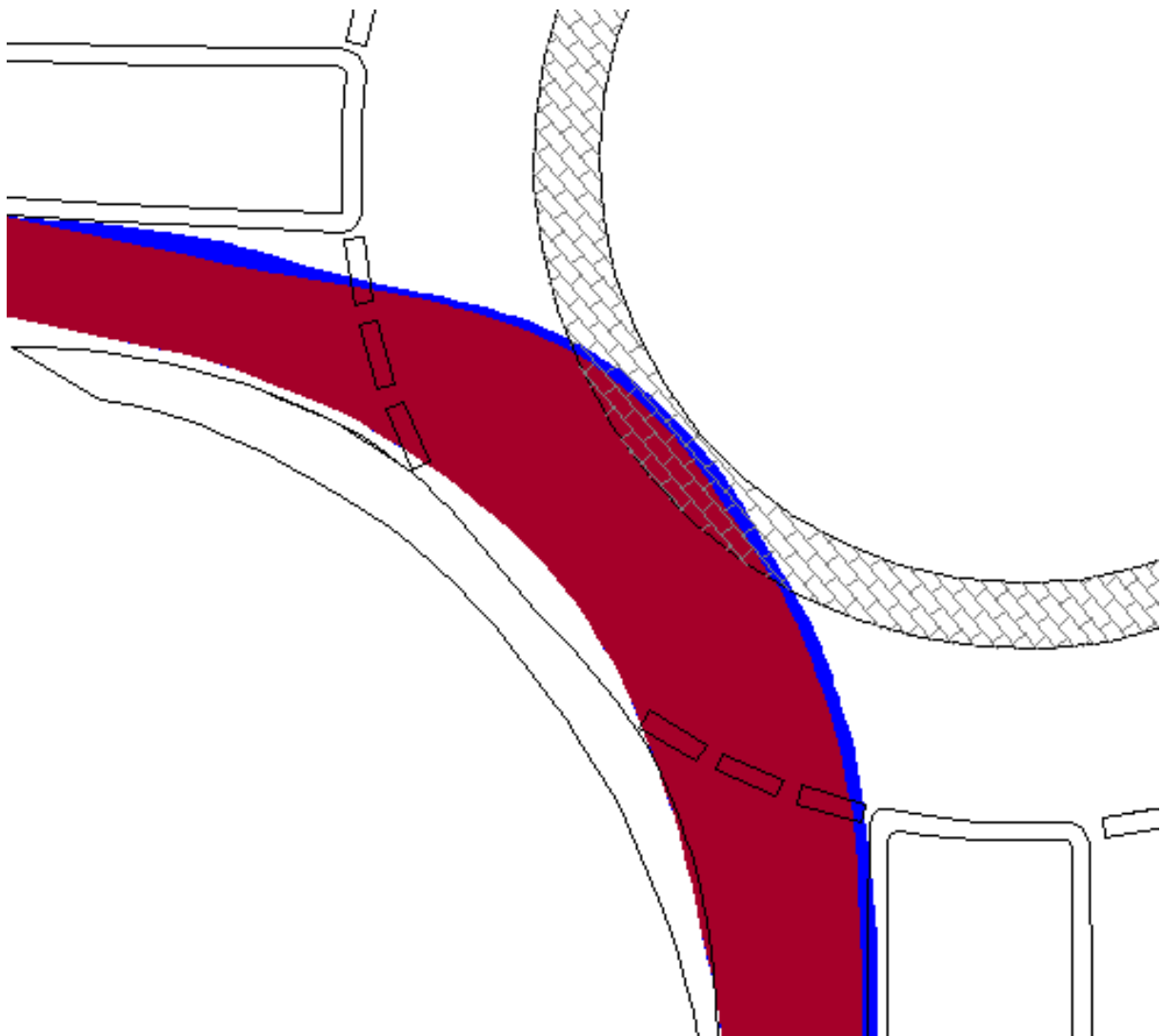




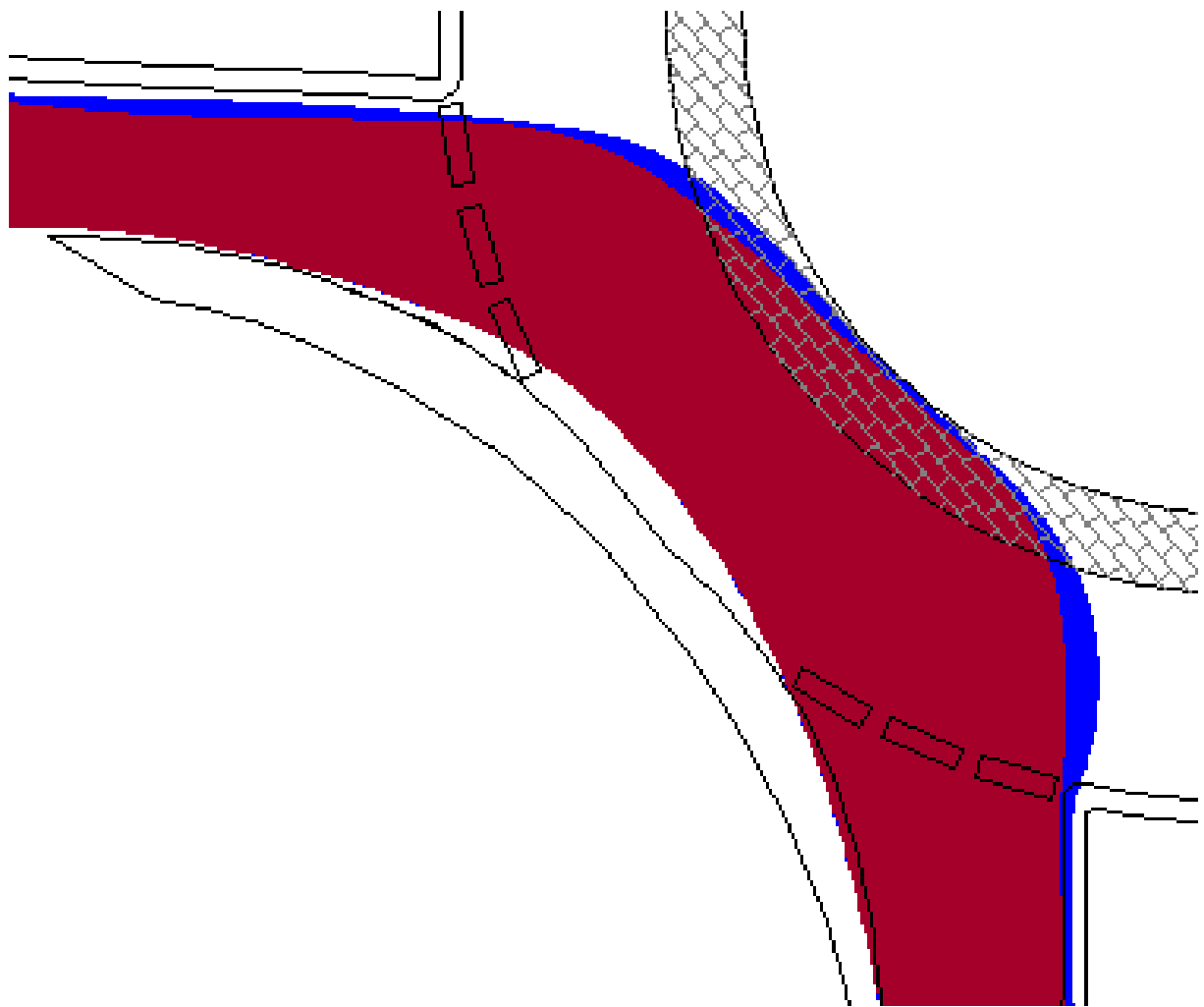
**Bild 138** ¼ Kreisumrundung - Typ 1 - Messung 1



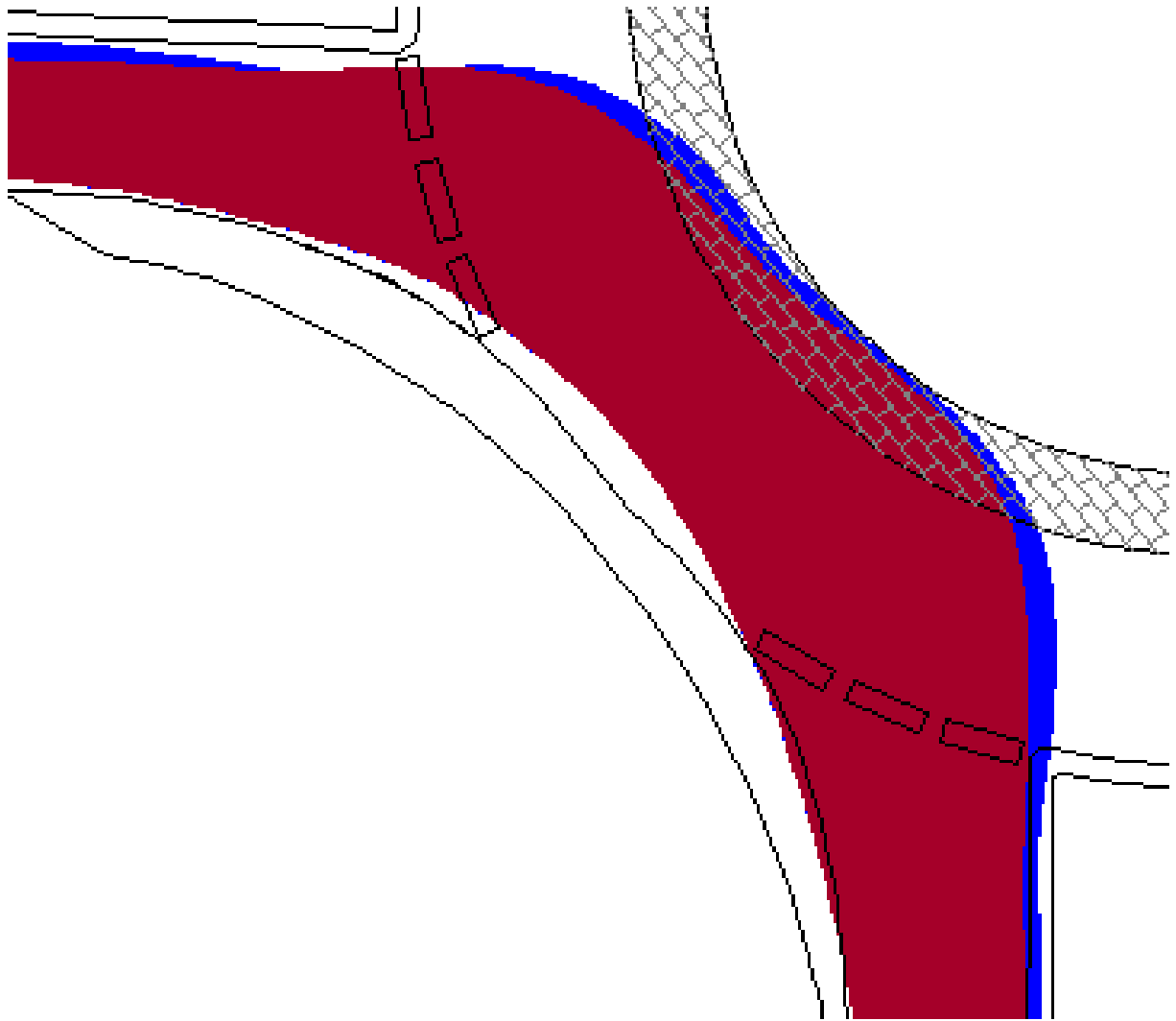
**Bild 139** ¼ Kreisumrundung - Typ 1 - Messung 2



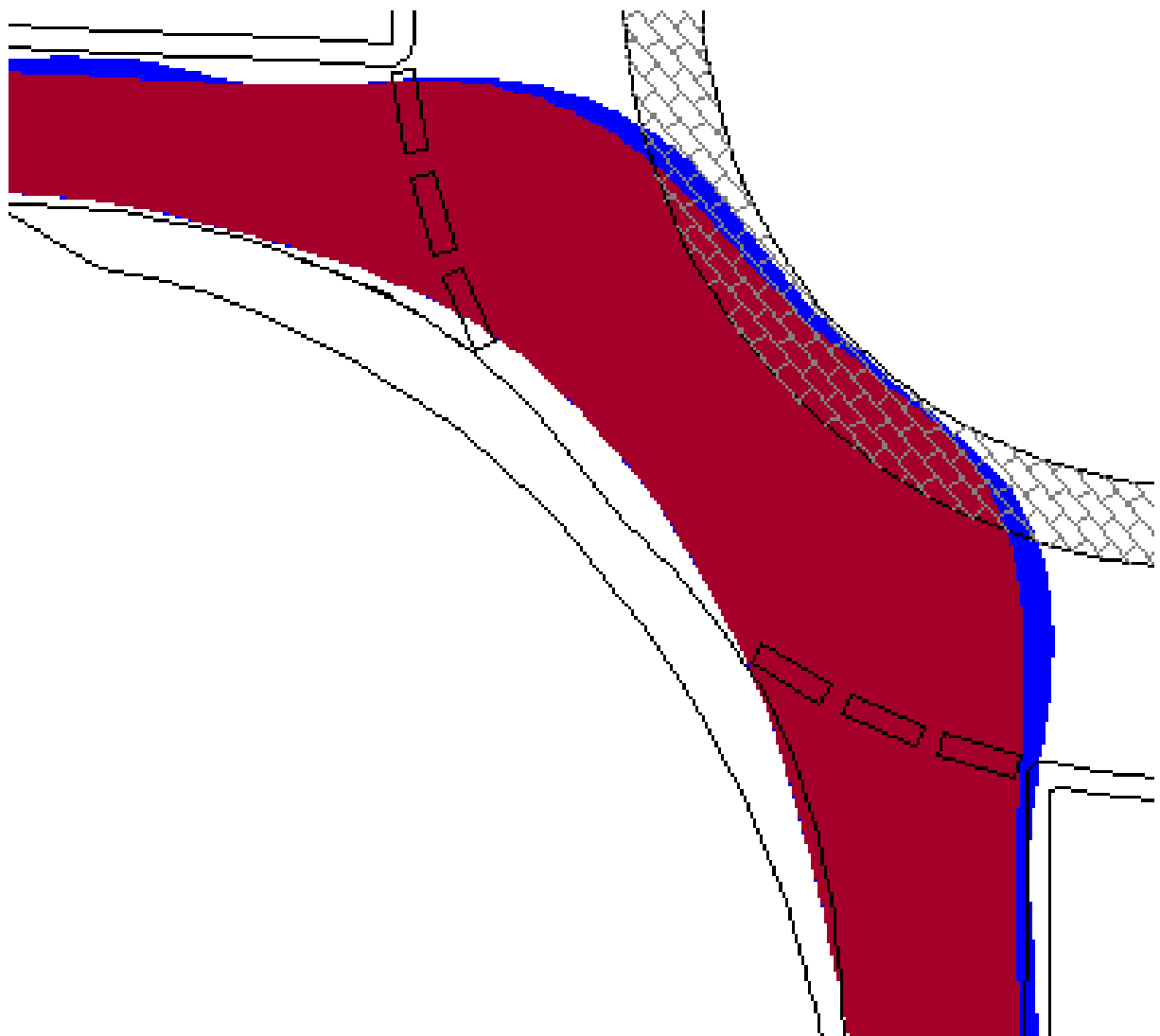
**Bild 140** ¼ Kreisumrundung - Typ 1 - Messung 3



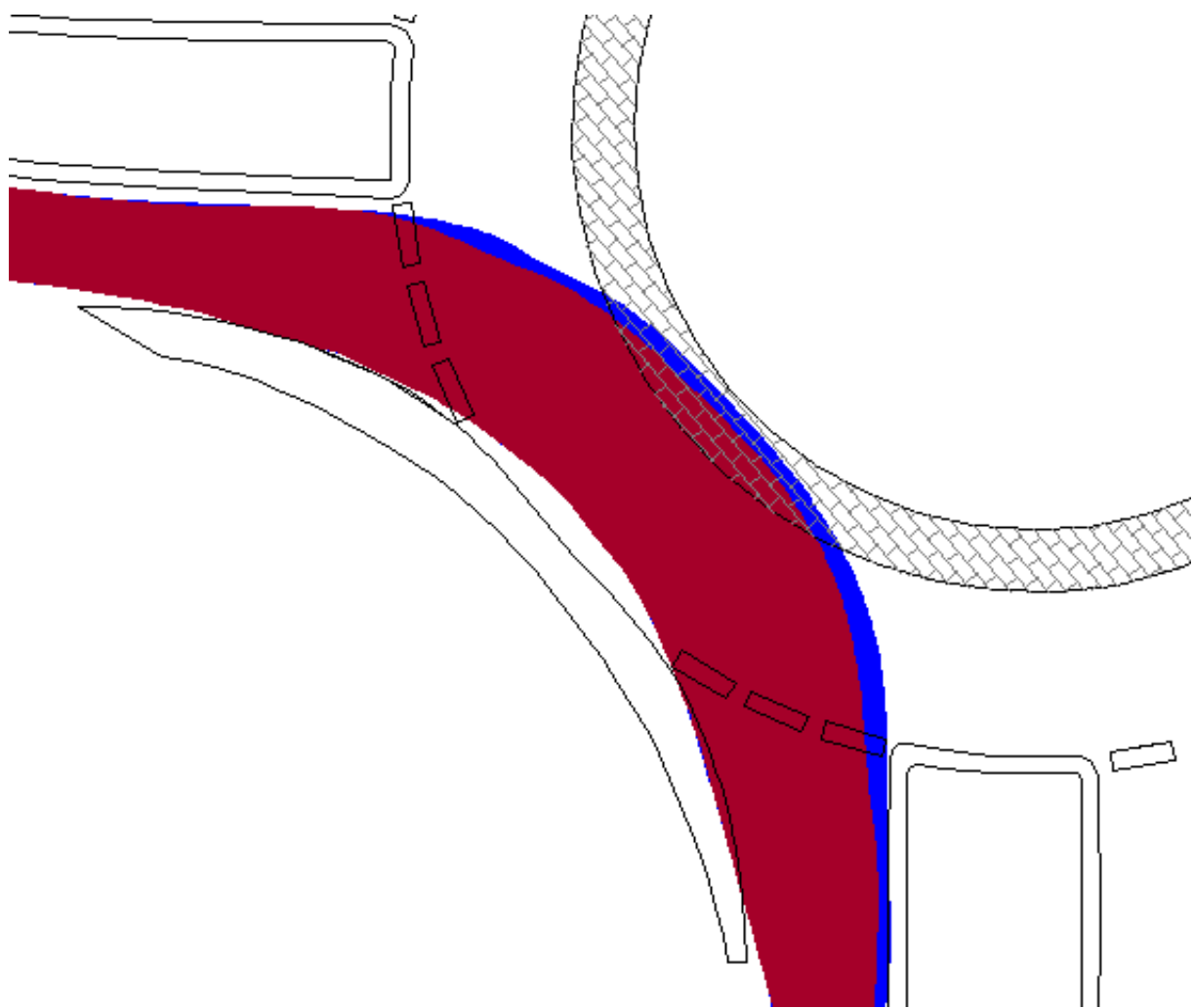
**Bild 141** ¼ Kreisumrundung - Typ 2 - Messung 2



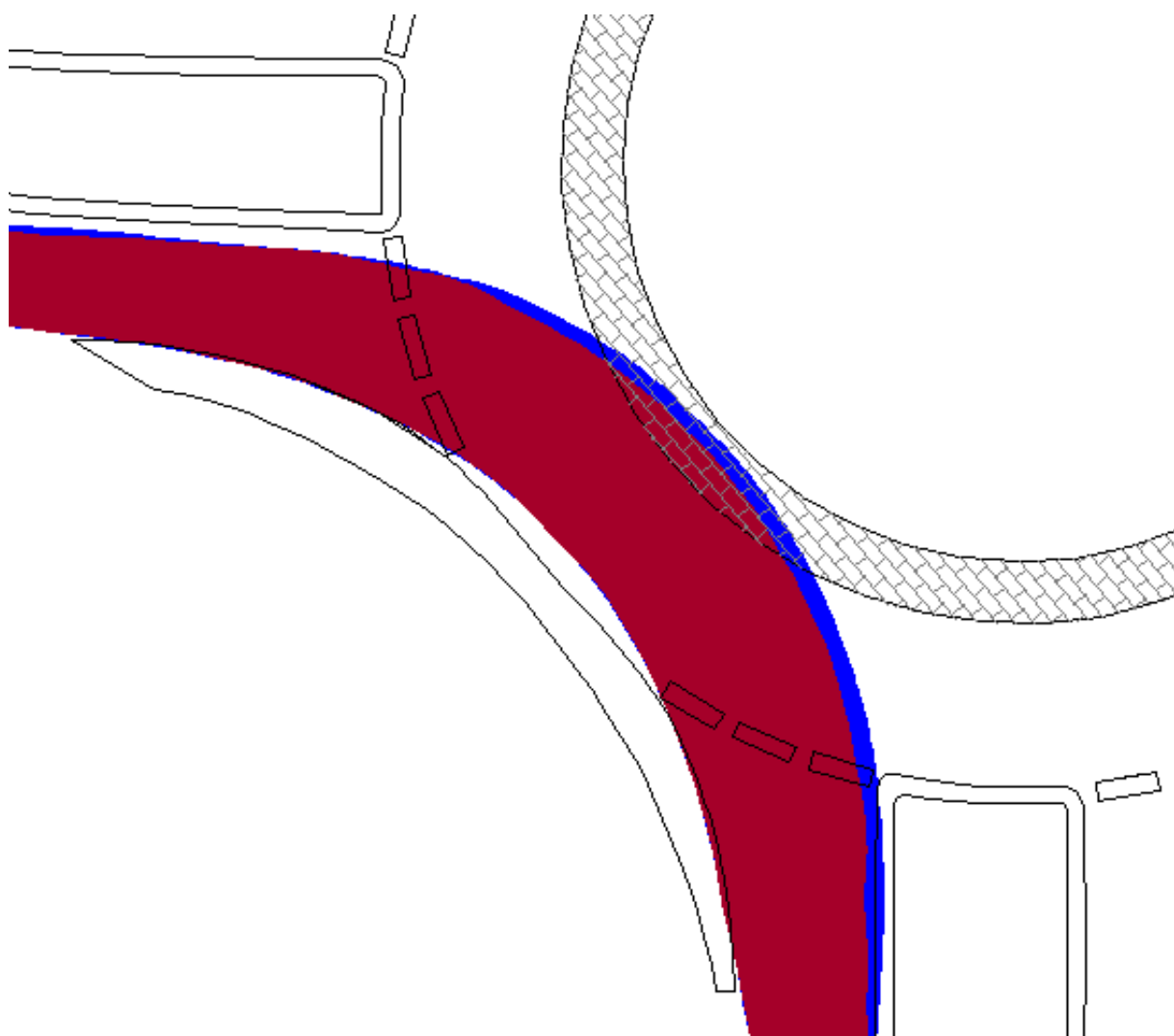
**Bild 142** ¼ Kreisumrundung - Typ 2 - Messung 3



**Bild 143** ¼ Kreisumrundung - Typ 2 - Messung 4

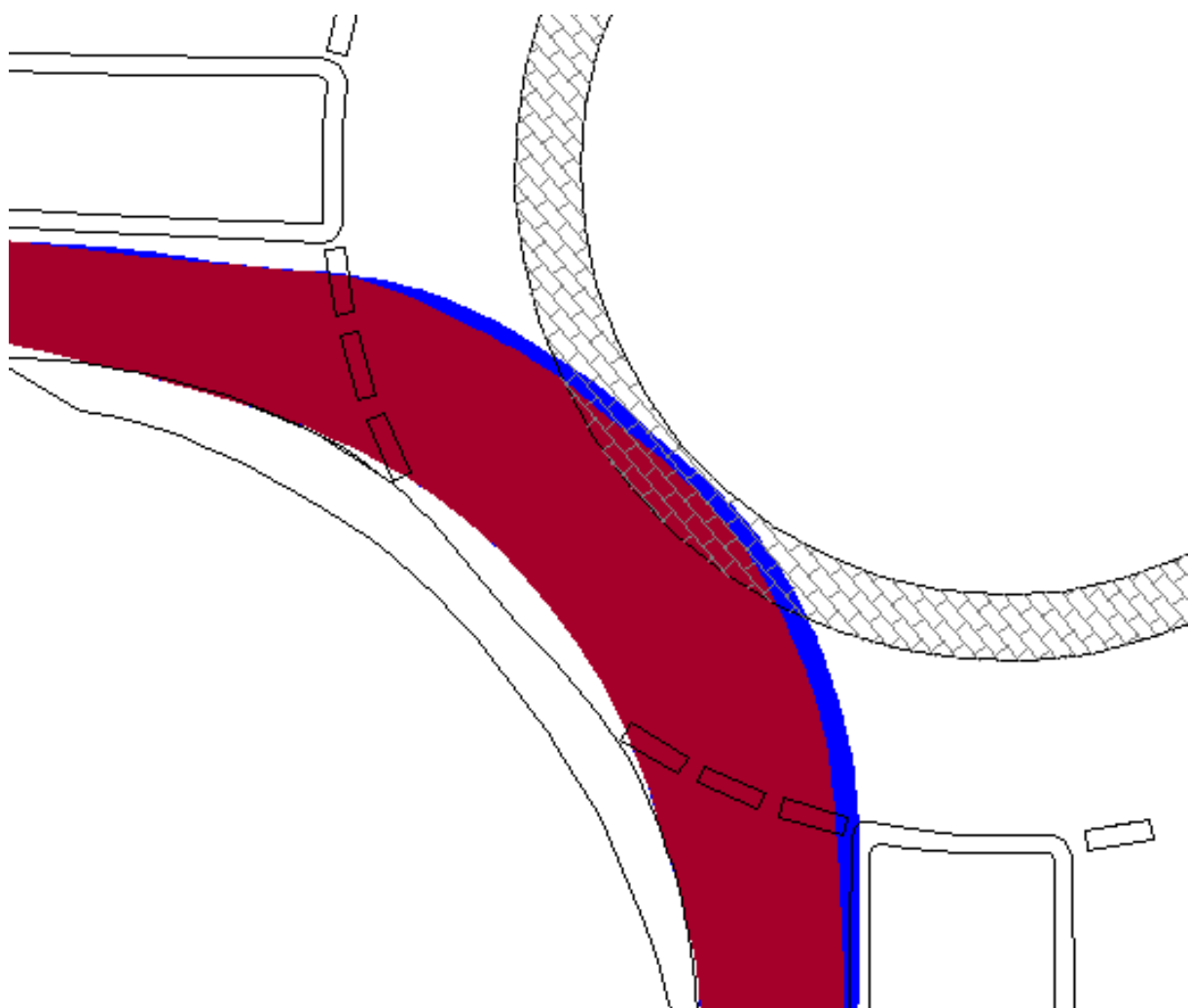


**Bild 144** ¼ Kreisumrundung - Typ 3 - Messung 1

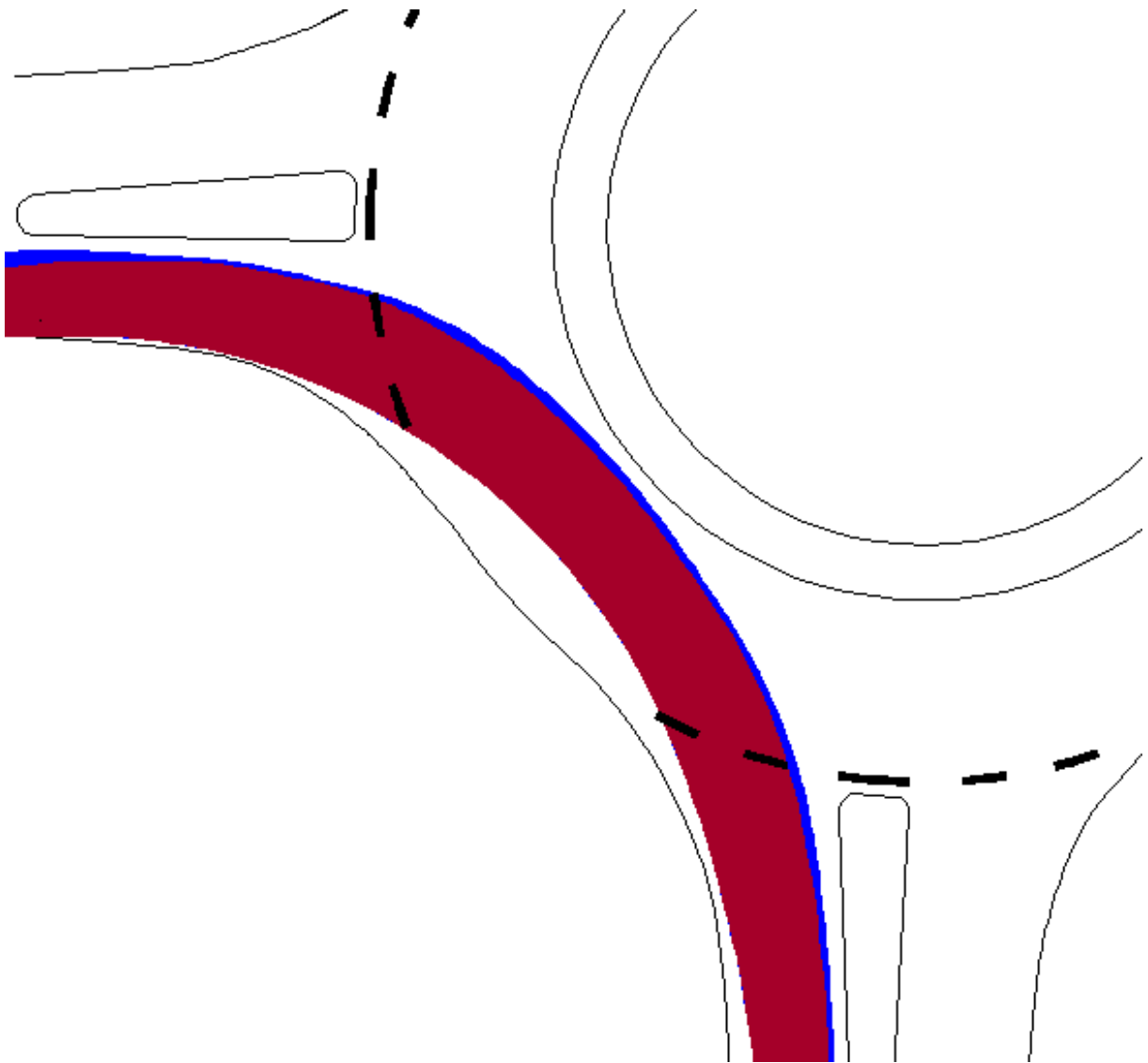


**Bild 145** ¼ Kreisumrundung - Typ 3 - Messung 2

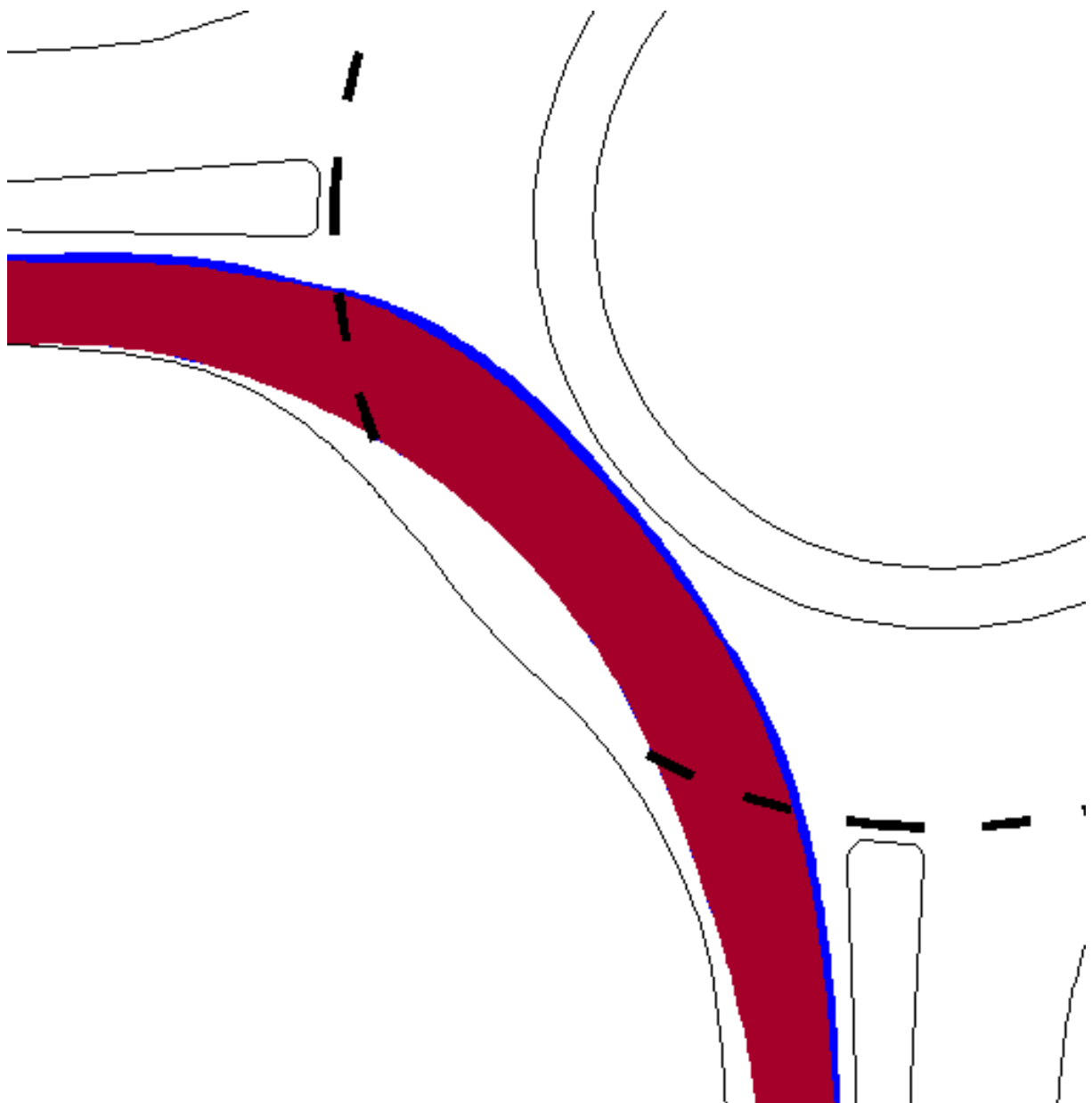




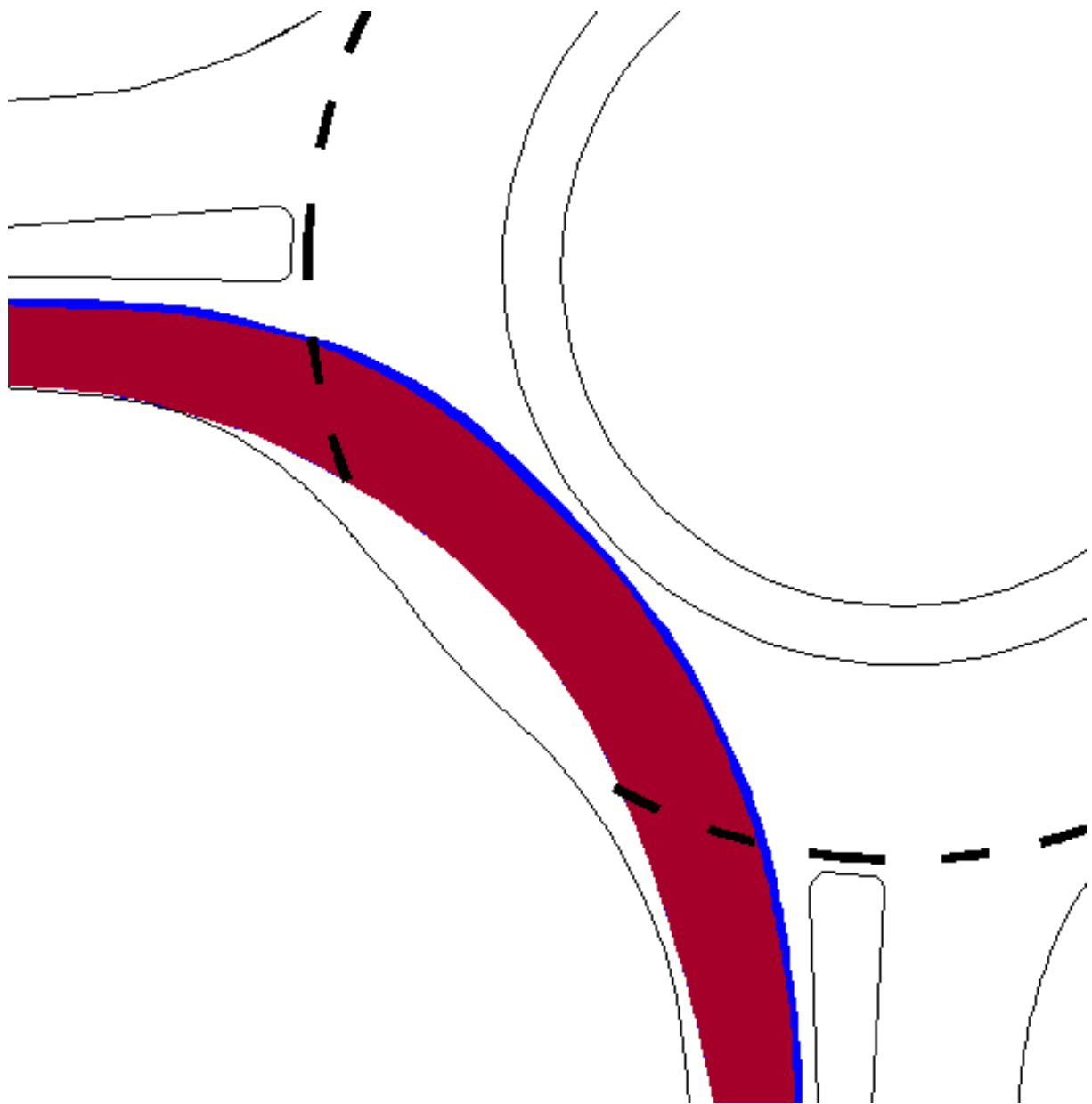
**Bild 146** ¼ Kreisumrundung - Typ 3 - Messung 3



**Bild 147** ¼ Kreisumrundung - Typ 5\* - Messung 1



**Bild 148** ¼ Kreisumrundung - Typ 5\* - Messung 2



**Bild 149** ¼ Kreisumrundung - Typ 5\* - Messung 3

## 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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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 Tausalzölösungen  
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](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.
- V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Auf-  
haltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2  
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00
- V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst –  
Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken  
Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst  
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50
- V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Land-  
straßen  
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00
- V 227: Radpotenziale im Stadtverkehr  
Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann,  
Mahlau, Gässler € 17,00
- V 228: Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr  
Baier, Göbbels, Klemps-Kohnen € 15,50
- V 229: Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Mess-  
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](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.
- V 232: Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelge-  
mischen für Markierungssysteme  
Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50
- V 233: Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse  
Lensing € 16,00
- V 234: Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik  
Lensing € 17,50
- V 239: Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmar-  
kierungen  
Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00
- V 240: Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und  
Einsatzgrenzen  
Baier, Leu, Klemps-Kohnen, Reinartz, Maier, Schmotz € 23,50
- V 241: Rastanlagen an BAB – Verbesserung der Auslastung und  
Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme  
Kleine, Lehmann, Lohoff, Rittershaus € 16,50
- V 242: Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhöhe und Bodenin-  
dikatoren an Überquerungsstellen  
Boenke, Grossmann, Piazzolla, Rebstock,  
Herrnsdorf, Pfeil € 20,00
- V 243: Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen  
über den gesamten Lebenszyklus  
Balmberger, Maibach, Schüller, Dahl, Schäfer € 17,50
- V 244: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013  
Fitschen, Nordmann € 28,50
- V 245: Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunk-  
te mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs  
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.
- V 246: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in  
Einfahrten auf Autobahnen  
Kathmann, Roggendorf, Kemper, Baier  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 247: Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw  
Lippold, Schemmel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2014

- V 235: Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahr-  
bahnmarkierungen bei Nässe  
Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00
- V 236: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2012  
Fitschen, Nordmann € 28,50  
Die Ergebnisdateien sind auch als CD erhältlich oder können au-  
ßerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)  
heruntergeladen werden.
- V 237: Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nach-  
weis der Wirksamkeit von Grünbrücken für die Wiedervernetzung  
im Rahmen der KP II – Maßnahmen  
Bund-Länder Arbeitskreis  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden. Der Anhang ist  
interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.
- V 238: Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebs-  
dienst – Sommerdienst  
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

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](http://www.schuenemann-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.