

Kreisverkehre an Landstraßen

**Auswirkungen der Erkennbarkeit
und der Zufahrtsgestaltung
auf die Verkehrssicherheit**

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 343

bast

Kreisverkehre an Landstraßen

Auswirkungen der Erkennbarkeit und der Zufahrtsgestaltung auf die Verkehrssicherheit

von

Martin Schmotz
Bettina Schröter

Technische Universität Dresden
Professur für Integrierte Verkehrsplanung
und Straßenverkehrstechnik

Alexander Schemmel
Christian Lippold

Technische Universität Dresden
Professur für Gestaltung von
Straßenverkehrsanlagen

Christoph Schulze

Technische Universität Dresden
Professur für Verkehrspsychologie

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 343

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 Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, 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 Kommunikation.

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 02.0408

Auswirkungen der Erkennbarkeit und der Zufahrtsgestaltung auf die Verkehrssicherheit von Kreisverkehren an Landstraßen

Fachbetreuung

Caroline Rose

Referat

Straßenentwurf, Verkehrsablauf, Verkehrsregelung

Herausgeber

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

Redaktion

Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag

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

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-7961-95606-577-4

Bergisch Gladbach, Juni 2021

Kurzfassung – Abstract

Auswirkungen der Erkennbarkeit und der Zufahrtsgestaltung auf die Verkehrssicherheit von Kreisverkehren an Landstraßen

Kreisverkehre außerhalb bebauter Gebiete weisen im Vergleich zu Knotenpunkten mit und ohne LSA eine hohe Verkehrssicherheit auf. Von dem Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren abweichende Entwurfsvorgaben einzelner Bundesländer und ein hoher Anteil Fahrurfälle (insbesondere bei Dunkelheit), weisen jedoch auf ein Potential zur Erhöhung der Verkehrssicherheit durch bessere Erkennbarkeit der Kreisverkehre hin.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde das Unfallgeschehen in Deutschland und drei ausgewählten Bundesländern hinsichtlich der Unfallstruktur an außerörtlichen Kreisverkehren analysiert. Es zeigte sich, dass sich 60 % der Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren während Dämmerung und Dunkelheit ereignen und dass 40 % der Unfälle Alleinunfälle sind. Die Alleinunfälle wiesen dabei die höchste Unfallschwere auf und führen häufig zum Auffahren auf die Kreisinsel.

In einer Detailanalyse wurden für 109 Kreisverkehre Lage-, Höhen-, Beschilderungs- und Markierungspläne sowie Verkehrs- und Unfalldaten recherchiert. Unter Verwendung generalisierter linearer Modelle wurde der Einfluss verschiedener Gestaltungselemente auf das Unfallgeschehen untersucht. Dabei wurden u. a. folgende Einflussfaktoren identifiziert:

- Zufahrten mit Abkröpfung und Verschwenkung im Annäherungsbereich weisen geringere Unfallraten als Zufahrten mit gestreckter Linienführung auf.
- Zufahrten mit großem Ablenkungswinkel haben höhere Unfallraten als Zufahrten mit mittlerem Ablenkungswinkel.
- Zufahrten mit breitem Fahrbahnteiler in dreieckiger Form weisen geringere Unfallraten als Zufahrten mit schmalen Fahrbahnteiler mit gerader Bordführung auf.

Ergänzend wurden Fahrverhaltensanalysen und lichttechnische Untersuchungen an mehr als 30 Kreisverkehrszufahrten durchgeführt. Das beobachtete Geschwindigkeits- und Spurverhalten be-

stätigt die Erkenntnisse der Unfallanalyse im Hinblick auf die Linienführung im Annäherungsbereich und die Form des Fahrbahnteilers. Anhand der lichttechnischen Analysen (Leuchtdichtemessungen) konnte gezeigt werden, dass durch retroreflektierende Markierungsnägel auf den Bordsteinen der Fahrbahnteiler und der Kreisinsel die Erkennbarkeit von außerörtlichen Kreisverkehren bei Dunkelheit verbessert werden kann.

Impact of perceptibility and approach design on safety of roundabouts on rural roads

Literature consistently finds a higher level of safety at roundabouts compared to other types of intersections. However, some studies indicate that there is still a lack of safety on rural roundabouts. Particularly high approaching speeds combined with insufficient perceptibility of roundabouts can cause accidents when drivers lose control of their vehicle (especially during nighttime).

The goal of this study is to analyze correlates of safety at rural roundabouts in Germany and to investigate opportunities to improve their safety. The analysis of accident characteristics in data from official statistics shows that 60% of all accidents happen in twilight and at night time and that four out of ten accidents are single-vehicle accidents. Single-vehicle accidents have the highest severity and usually end up on the central island of roundabouts.

For detailed accident analysis of 109 roundabouts, information on road design, signage, traffic volumes, and accidents was collected for each approach. Using generalized linear models, the following effects of roundabout design on accident risk were found:

- Approaches with a curvilinear alignment or a chicane have significant lower accident rates than approaches with straight alignment.
- Approaches with high angles of deflection have higher accident rates than approaches with moderate angles of deflection.
- Wide splitter islands with triangle shape provide lower accident rates than narrow splitter islands with straight curb.

Finally, observations of driving behavior and photometric studies were conducted at more than 30 approaches of rural roundabouts. The influence of approach alignment on speed behavior and the shape of splitter islands on track behavior proved the results obtained by the accident analysis. Photometric studies showed that the usage of retroreflective elements on the curb of the splitter island increase the visibility of rural roundabouts during the night.

Summary

Impact of perceptibility and approach design on safety of roundabouts on rural roads

1 Introduction

Various research shows a high level of safety for roundabouts compared to other types of intersections in national and international studies. Roundabouts have advantages in both, severity and number of accidents compared to signalized and unsignalized intersections. Recent studies in Bavaria now indicate potential design options to further increase safety of rural roundabouts. According to this study, a high share of accidents at rural roundabouts occurs at nighttime and is related to failures in driving behavior (inappropriate high speeds in the approach combined with a late perceptibility of the roundabout). Roundabout design in Bavarian guidelines and practice differs to national standards in Germany and also other German states recommend dissenting designs for roundabouts, e.g. on signage in the approach, obstacles on the center island and entry radii and geometry of splitter islands.

Aim of this study is to provide information on designs that evidently improve perceptibility and visibility in roundabout approaches and accordingly increase safety of rural roundabout. This study first identifies characteristics (of geometric design, traffic regulation and network attributes) that affect severity and number of accidents occurring at rural roundabouts qualitatively and quantitatively by accident analysis. Special attention was paid on characteristics that improve perceptibility at daylight but also nighttime by investigating driving behavior and photometrical studies. Finally, characteristics and recommendations to provide safe rural roundabouts are deduced.

2 Methodology

The methodology has several steps, whereas the national review on rural roundabout design as a first step gives information on geometric design standards in Germany as well as shows discrepancies between guidelines on national and state level. The international literature review

focuses on rural roundabout design and safety and aspects of perception and visibility at nighttime.

Subsequently a database of rural roundabouts in selected federal states of Germany was compiled and responsible authorities were asked for layout maps, longitudinal section maps, traffic signage and marking maps and for data on traffic volumes and accident data for those roundabouts. Within this step, information on 109 roundabouts in eight German states was gathered.

The accident analysis followed in a top-down approach. First, the data of all accidents that occurred on rural roundabouts and other types of intersections in Germany was analyzed, in particular with respect to accident severity. Then data of all accidents that occurred on rural roundabouts in three federal states of Germany was analyzed concerning accident severity and other patterns (e.g., type of road use, type of collision, light conditions). The same approach was used to analyze the accident data of the 109 selected roundabouts descriptively.

To find casual relations between roundabout design and safety, the database was complemented by information on road design, signage, traffic volumes and accidents for each approach for each of the 109 roundabouts. Design and traffic variables that affect the number and severity of accidents were identified by using generalized linear models. Afterwards the effect of the significant variables was assessed by average accident rates and accident cost rates of approaches grouped by variable characteristics.

Using the results of the accident analysis, a choice of 32 roundabout approaches with low, medium and high accident rates and different design characteristics was selected and measurements of specific design characteristics were taken. Observations of driving behavior (speed and path choice) were taken for day- and nighttime (2.5 hours each) and differences in driving behavior linked to different design characteristics and between daytime and nighttime were examined. Driving behavior was also overlaid with sight distances by day and night to examine the influence of visibility at day- and nighttime. With the synoptic knowledge gathered in the accident analysis and driving behavior analysis, design characteristics that increase and decrease accident risks were determined.

Finally, photometric studies (high-resolution luminance captures) at nine roundabouts give

information on perceptibility and visibility while approaching a roundabout by night and trials with retro-reflective elements give suggestions on improving nighttime visibility of rural roundabouts.

In accordance with the synopsis of all steps, recommendations on rural roundabout design for the German guidelines were deduced.

3 Current knowledge and results

Literature consistently finds a higher level of safety at roundabouts compared to other types of intersections on rural roads. Existing research nonetheless indicates shortcomings in the perceptibility for driver approaching roundabouts (especially during nighttime). Accident analysis at roundabouts show a high share of fixed object crashes which often end up on the central island. Such accidents indicate perceptibility problems. Investigations of approaches with a high curvature indicate lower approaching speeds and lower accident rates at roundabouts compared to approaches with a low curvature. The recommendation of curved splitter islands at high speed approaches in the United States and Australia consolidates this result. These splitter islands form a sequence of small radii to lower approaching speed and increase safety. Eye tracking studies show that drivers are rather orientated towards road markings than road signs when approaching roundabouts. The early announcement of roundabouts (via signage or markings in the approach) is connected with high levels of safety. Guidance for traffic signage and markings differ greatly between countries and for specific design situation. Hence an early announcement will not be the standard solution to improve perceptibility. As perceptibility of roundabouts is an issue in many countries, they provide different recommendations to increase safety, e.g., rumble strips, bar markings or flashlights in the approach of roundabouts. LED-curbstones or LED-elements on the central island help increasing nighttime visibility at roundabouts without street lighting.

The descriptive accident analysis in Germany and three selected federal states of Germany validate the research results on accident structure: severity of accidents is lower at rural roundabouts than at other types or rural intersections. The difference in severity is higher for comparing roundabouts with intersections without traffic lights than comparing

roundabouts with intersections with traffic lights. Single-vehicle accidents (with loss of control) dominate the accident occurring at rural roundabouts with a share of 40% and have a higher severity than other types of accidents. Single-vehicle accidents in many cases lead to driving off the road and/or hitting the curb of splitter and central islands. Overall 42% of the accidents at rural roundabouts occurred at nighttime, while accidents at conventional intersections without traffic lights have a share of 26% nighttime crashes. Single-vehicle accidents at rural roundabouts even occurred by nighttime at 60%.

The detailed analysis of 109 roundabouts show significantly higher accident risks if the approach has a high linkage function according to FGSV (2008). The linkage function is presumed to operate as a substitutional variable for other design characteristics. The linkage function does not substitute curvature measures or cross-section design characteristics since no statistical connection on accident rates was found for these variables. A relation between linkage function and speed limits is presumed as well as influence of different driver collectives on different linkage function roads. Due to lack of data and impracticality of isolating the variables from other influences, it was not possible to identify one of those as the decisive variable.

Approaches with a curvilinear alignment or a chicane show significantly lower accident rates compared to approaches without curvilinear alignment or chicanes. Approaches with curvilinear alignment and long chicanes show the highest level of safety, whereas long chicanes are defined with the curvature starting 100 m in advance of the center of the roundabout and curvilinear alignment has a minimal observed length of 100 m. Approaches with short chicanes show a lower level of safety but are still safer than straight approaches.

Approaches with high angles of deflection β have higher accident rates. The angle of deflection has different effects on the accident rates: On the one hand the risk of entering-circulating accidents increases with decreasing angles of deflection. On the other hand the risk of single-vehicle accidents decreases with decreasing angles of deflection.

For splitter islands, an effect for the shape and the width was found. The highest level of safety is provided with triangle shape, a medium level of safety with shapes aligned to the entry radius and

the lowest level of safety for splitter islands with a straight curb. This result comes along with the effect of the width of splitter islands (measured approximate to the perimeter of the circulating lane) where wider splitter island are safer than narrow ones. Both design characteristics act commonly because triangle shaped and aligned shaped are usually wider than parallel shapes. The surface texture of the splitter island has an additional effect on the accident rates. Lower accident rates were found for splitter islands with green or planted surfaces compared to asphaltic, concreted or paved surfaces. Its effect is explained by an increased visibility due to the higher contrast between roadway and splitter island.

Using the results of the accident analysis, a choice of 32 roundabout approaches with low, medium and high accident rates at 19 roundabouts was chosen to investigate driving behavior. Observations of speed and path choice in the approach and entry of the roundabouts at day- and nighttime were examined to verify design characteristics that effect accident rates.

There was no effect of different linkage functions on the driving behavior as expected following the accident analysis. Approaches with a curvilinear alignment showed lower speed levels than straight approaches both in the approach (200 to 50 m in advance of the roundabout) and the entry section (50 to 0 m in advance of the roundabout). There was not found a difference in daytime and nighttime speed choice for approaches with a curvilinear alignment. At approaches with chicanes, drivers reached the approach section with comparatively high speeds and lowered their speed substantially in the approach section.

Furthermore, the influence of the shape of the splitter island (parallel, triangular and with shapes aligned to the entry radius) on the driving behavior was analyzed. In the approach section (200 to 50 m in advance of the roundabout), the shape of the splitter island has hardly any influence on the speed choice. In the entry section (50 to 0 m in advance of the roundabout), the speeds also differ only slightly, with the lowest speeds being observed at splitter islands with shapes aligned to the entry radius. The analysis of the path choice behavior showed that the lanes in the transition area between approach and the circulating lane are systematically wider at splitter islands with parallel shapes than at splitter islands with shapes aligned to the entry radius or at

triangular shapes. The path choice examination shows that the road users maintain a similar distance to the right-hand edge of the lane for all splitter island shapes. This means that on splitter islands with parallel shapes, the left 35% of the lane is generally not used when accessing the roundabout. It is assumed that in individual cases (especially in darkness), due to the large lane width at splitter islands with parallel shapes and the resulting poorer optical guidance, orientation on the left lane edge (splitter island) can lead to critical situations and provide late perceptibility of the traffic guidance.

When differentiating between radial or rather tangential entry guidance, comparable findings on driving behavior could be made as with the analysis of the shape of the splitter island, as both facts are closely related. Thus, splitter islands with parallel shapes and narrow splitter islands with shapes aligned to the entry radius generally lead to radial entry guidance and wide splitter islands with shapes aligned to the entry radius as well as triangular splitter islands to rather tangential guidance. The comparison of radial and rather tangential access designs showed that the approach speeds at radial entries are lower than at rather tangentially guided entries. However, in spite of the higher approach speeds, the same speed level is achieved at the beginning of the splitter islands as at radial guidance, both during the day and at night, with a more tangential approach. It is assumed that the influence of the more tangential guidance (especially at night), which favors the speed reduction in the entry, can explain the higher safety level of this type of guidance observed in the accident analysis.

The evaluation of driving behavior approaches with low and high accident rates showed that speeds in the approach section (200 to 50 m in advance of the roundabout) and in the entry section (50 to 0 m in advance of the roundabout) are lower for approaches with high accident rates than for approaches with low accident rates. This result supports the thesis presented in connection with the width of the splitter islands and the entry guidance in the driving behavior analysis: higher speeds do not directly indicate more dangerous behavior, they can also be an indication for a better assessment (perceptibility and visibility) of the traffic guidance.

The illumination of roundabouts outside built-up areas is a good way to improve the perceptibility and visibility of roundabouts. It has been proven

that the lighting influences the speeds in the approach and entry section. In the approach section, speeds are lower at illuminated roundabouts in darkness than in the comparison group (without lighting). In the entry section (50 m in advance of the roundabout), the speeds in darkness were slightly lower at illuminated roundabouts than at non-illuminated roundabouts. At a distance of 10 m and less in advance of the roundabout, drivers drove at almost the same speed at roundabouts with and without illumination in darkness.

Finally, photometric studies were carried out on 35 roundabout approaches with the aim of investigating the visibility of selected signage and design elements on rural roundabouts at night. For this purpose, high-resolution luminance captures were measured from a car. The results show a substantial range of visibility of all elements examined. The horizontal and vertical alignment has a clear influence on this. Traffic signs overall have the largest visible areas. The visibility of markings and constructional elements of roundabouts (curbs of splitter islands and central islands) are considerably shorter. If no additional equipment (such as stationary illumination or retroreflecting surface) is installed, the above-mentioned curbs are only visible for drivers from an average distance of 30 to 40 m. To test possibilities to increase the perceptibility and visibility distance, five approaches at three roundabouts were equipped with usual marking nails in two variants of arrangement. The photometric documentation and evaluation shows a clear increase in the visibility distances, whereby the installation of the marking nails on board showed better results than the installation at road level.

4 Recommendations

As a result of the study, recommendations were prepared for the update of the Information Sheet for the Layout of Roundabouts (FGSV, 2006).

An adaptation of the basic principles of safe roundabouts outside built-up areas is recommended. As before, the approaching roads should be perpendicular to the roundabout, i.e. the road axes should be directed radially towards the center of the central island. Approximately 50 m before the roundabout, the area between the roundabout entrance and exit should be widened by the painted (ghost) island and the splitter island (ratio width: length of approximately 1:10) so that the splitter

island at the edge of the circulating lane has a width of 4 to 6 m (larger values for larger diameters). This results in an angle of approx. 55 gon between the centerline of the approaching lane and the circulating lane and that comes to a slightly tangential entry guidance. Completely tangential or acute-angled approaches should be avoided in principle. The roundabout exits should have comparable angles. Exits with dynamic guidance (that lead to high approaching and exiting speeds) are to be avoided if pedestrians or cyclists crossings exist in the exits.

The splitter islands should be arranged in such a way that their axis is as perpendicular as possible to the edge of the circulating lane. They should have a width of 4 to 6 m at the outer edge of the circle. The edges of the lane divider should be developed as a constant curvature so that the required widths are achieved at the crossing points and at the outer edge of the circulating lane to provide a high level of perceptibility. Splitter islands in triangular shapes but also with shapes aligned to the entry radius support the described design principle. For both types of construction, the adequate deflection of vehicles by the circular island needs to be assessed. Parallel splitter islands are to be avoided outside built-up areas due to the poorer optical guidance. Splitter islands should be limited by inclined curbs or other inclined edges. For better recognition and optical guidance in the approach in darkness, it is recommended to equip the curb with reflective or self-illuminating elements (marking nails, glass markers, LED). These should be placed both at the beginning of the splitter island (if necessary also in the area of the painted (ghost) island) and on the curb of the splitter island facing the access road.

Lighting is recommended for roundabouts at roads with straight alignment and expected high approach speeds in the roundabout entrances to ensure visibility and recognition if no other measures effect reducing approach speeds. In general, for unlit roundabouts outside built-up areas, reflectors (marking nails, glass markers or similar) or LED lights should be mounted on the curb of the circular island in facing each approach road to improve visibility in the dark. In the arrangement, the circular shape of the circular island should be simulated by decreasing distances between the single elements (reflectors, LED) to the right. The installation of reflective or self-illuminating elements on the splitter island is also recommended, as explained above.

In addition, special design recommendations for roads with straight alignment should be added to the regulations. For example, a stretched road layout in the approach to a roundabout often leads to high approach speeds in the roundabout access roads, which can increase the risk of single-vehicle accidents (driving onto the circular island or leaving the road) at the roundabout, especially in the dark. The following measures against the poor perceptibility of the roundabout, can be provided both preventively and curatively: Illumination of the roundabout (curative, especially if the driving accidents occur mainly in the dark) or chicanes with a length of more than 100 m and relational radii directly in front of the roundabout or curvilinear alignment with relational radii directly in front of the roundabout (resulting in lengths > 100 m due to the radii to be used). With regard to the curvilinear alignment, extended widened splitter islands can also be used in confined spaces ($L = 100$ to 150 m), which comprise three consecutive curves with a change of direction in the access road.

Inhalt

Abkürzungen	13	2.5.5 Gestaltung der Kreisinsel	37
1 Einleitung	15	2.5.6 Führung der Zufahrt	38
1.1 Hintergrund und Zielstellung	15	2.5.7 Kurvigkeit im Annäherungsbereich. . .	38
1.2 Untersuchungsablauf	15	2.5.8 Sichtweiten	40
2 Grundlagenanalyse	16	2.5.9 Markierung und Beschilderung	41
2.1 Rechtliche Grundlagen	16	2.5.10 Beleuchtung	42
2.2 Entwurfsvorgaben für außerörtliche Kreisverkehre in Deutschland	17	2.6 Wahrnehmungspsychologische Untersuchungen	43
2.2.1 Kreisverkehrstypen und Entwurfs- grundsätze	17	2.6.1 Einordnung	43
2.2.2 Gestaltung des Annäherungs- bereichs	18	2.6.2 Fahrregulation	43
2.2.3 Außendurchmesser	19	2.6.3 Informationsträger bei Annäherung an Kreisverkehre	43
2.2.4 Kreisinsel	19	2.6.4 Befahrungsorientierte Diskussion . . .	44
2.2.5 Kreisfahrbahn	20	2.6.5 Wahrnehmungsorientierte Diskus- sion	44
2.2.6 Zufahrtsgestaltung	21	2.7 Zusammenfassung	47
2.2.7 Markierungen und Beschilderungen. . .	22	3 Unfallgeschehen an Kreisverkehren in Deutschland und ausgewählten Bundesländern	48
2.2.8 Beleuchtung	24	3.1 Methodik	48
2.3 Internationale Entwurfsvorgaben für außerörtliche Kreisverkehre	24	3.2 Ergebnisse	50
2.3.1 Schweiz	24	3.2.1 Unfallschwere und -kosten	50
2.3.2 Österreich	25	3.2.2 Unfallstruktur	51
2.3.3 Niederlande	26	4 Unfallanalyse für ausgewählte Kreisverkehre	55
2.3.4 Großbritannien	26	4.1 Methodik	56
2.3.5 Vereinigte Staaten	27	4.1.1 Recherche von Kreisverkehren	56
2.4 Ansätze zur Überprüfung des geschwindigkeitsdämpfenden Entwurfsgrundsatzes	30	4.1.2 Datenaufbereitung	57
2.5 Verkehrssicherheit außerörtliche Kreisverkehre	32	4.1.3 Verkehrsdaten	64
2.5.1 Untersuchungen zum Sicherheits- niveau	32	4.1.4 Unfalldaten	65
2.5.2 Unfallgeschehen durch Erkennbar- keitsdefizite	34	4.1.5 Unfallkenngrößen	66
2.5.3 Außendurchmesser	35	4.1.6 Unfallmodell	67
2.5.4 Ablenkung der Fahrzeuge	36	4.1.7 Systematisiertes Unfalldiagramm. . .	68
		4.2 Ergebnisse	69
		4.2.1 Unfallschwere und -kosten	69

4.2.2	Unfallstruktur	70	6	Lichttechnische Untersuchung nächtlicher Wahrnehmungs- verhältnisse	119
4.2.3	Sicherheitsgrade	73	6.1	Vorgehen und eingesetzte Technik.	119
4.2.4	Unfallmodelle	74	6.2	Sichtbarkeitskalkulation und Auswertung	121
4.2.5	Sicherheitsrelevante Gestaltungs- merkmale von Kreisverkehrszu- fahrten	77	6.3	Ergebnisse und Schlussfolge- rungen	123
4.2.6	Systematisiertes Unfalldiagramm.	85	6.4	Testanbringung Markierungsnägel.	126
4.3	Zusammenfassung.	87	6.5	Zusammenfassung.	128
5	Analyse des Geschwindigkeits- und Fahrverhaltens	88	7	Zusammenfassung, Synopse und Empfehlungen	129
5.1	Methodik.	88	7.1	Zusammenfassung.	129
5.1.1	Erhebung der Entwurfsmerkmale.	88	7.1.1	Erkenntnisse der Grundlagen- analyse.	129
5.1.2	Erhebung des Fahrverhaltens an Messquerschnitten.	89	7.1.2	Erkenntnisse aus der Unfallanalyse.	130
5.1.3	Erhebungen des linienhaften Fahr- verhaltens.	90	7.1.3	Erkenntnisse aus der Untersuchung des Fahrverhaltens.	131
5.1.4	Datenaufbereitung	91	7.1.4	Erkenntnisse aus der lichttech- nischen Untersuchung	133
5.1.5	Vergleich der Querschnittsmes- sungen und der linienhaften Messungen.	91	7.2	Synopse	134
5.1.6	Einfluss der zulässigen Höchst- geschwindigkeiten	92	7.3	Empfehlungen	136
5.2	Auswertung des Fahrverhaltens	92	8	Fazit und Ausblick	138
5.2.1	Form des Fahrbahnteilers	93	Literatur.	140	
5.2.2	Breite des Fahrbahnteilers.	96	Bilder.	144	
5.2.3	Radiale und angepasste Zufahrts- gestaltung.	99	Tabellen.	153	
5.2.4	Beleuchtung	101			
5.2.5	Verbindungsfunktionsstufe.	105			
5.2.6	Abkröpfung und Verschwenkung	105			
5.2.7	Ablenkung	109			
5.2.8	Oberflächengestaltung des Fahr- bahnteilers	111			
5.2.9	Unfallauffälligkeit von Kreis- verkehren	112			
5.2.10	Kreisverkehre mit besonderer Zufahrtsgestaltung	115			
5.3	Zusammenfassung der Ergebnisse.	116			

Der Anhang zum Bericht ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

Abkürzungen

α	Einfahrwinkel der Kreisverkehrszufahrt [°]	$KS_{U(GT)}$	Sachschadensunfallkostensatz für Unfälle mit Getöteten [€/U(GT)]
ABKR	Abkröpfung	$KS_{U(LV)}$	Sachschadensunfallkostensatz für Unfälle mit Leichtverletzte [€/U(LV)]
β	Ablenkungswinkel durch die Kreisfahrbahn [gon]	$KS_{U(SP)}$	Unfallkostensatz für Unfälle mit schwerem Personenschaden [€/U]
β_0	Modellkonstante im Unfallmodell	$KS_{U(SV)}$	Sachschadensunfallkostensatz für Unfälle mit Schwerverletzten [€/U(SV)]
β_{DTV}	Regressionsparameter des DTV im Unfallmodell	KV	Kreisverkehr
β_i	Regressionsparameter von x_i im Unfallmodell	LED	Leuchtdioden
BB	Brandenburg	LSA	Lichtsignalanlage
B	Breite	max s	Höchstlängsneigung [%]
B_K	Breite des Kreisrings [m]	MK_{Zi}	Messquerschnitt i der Radarpfosten
B_Z	Breite der Kreisverkehrszufahrt [m]	MQ_{Ki}	Definierter Messquerschnitt i im Erfassungsbereich des Laserscanners
BW	Baden-Württemberg	n_U	Anzahl der Unfälle [-]
BY	Bayern	$n_{U(GT)}$	Anzahl der Unfälle mit Getöteten [-]
Dä, Du	Dämmerung und Dunkelheit als Lichtverhältnisse bei der Verkehrsunfallanzeige	$n_{U(LP)}$	Anzahl der Unfälle mit leichtem Personenschaden [-]
D	Außendurchmesser [m]	$n_{U(SP)}$	Anzahl der Unfälle mit schwerem Personenschaden [-]
D_K	Durchmesser der Kreisinsel	$n_{U(SV)}$	Anzahl der Unfälle mit Schwerverletzten [-]
DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke, an Knotenpunkten die Summe der Verkehrsstärken aller Zufahrten [Kfz/24h]	NW	Nordrhein-Westfalen
EKL	Entwurfsklasse	R	Radius [m]
FBT	Fahrbahnteiler	R_A	Ausrundungsradius der Kreisverkehrsausfahrt [m]
HE	Hessen	R_{FBT}	Radius des Fahrbahnteilers
H_K	Kuppenhalbmesser [m]	R_Z	Ausrundungsradius der Kreisverkehrszufahrt [m]
ID	Identifikationsnummer	RAL	Richtlinien für die Anlage von Landstraßen
KS_{GT}	Kostensatz für Getöteten [€/V(GT)]	RMS	Richtlinien für die Markierung von Straßen
KS_{LV}	Kostensatz für Leichtverletzte [€/V(LV)]	RP	Rheinland-Pfalz
KS_{SV}	Kostensatz für Schwerverletzte [€/V(SV)]	SN	Sachsen
$KS_{U(P)}$	Unfallkostensatz für Unfälle mit Personenschaden [€/U]	ST	Sachsen-Anhalt

SVZ	Straßenverkehrszählung	V_{\max}	maximale Geschwindigkeit [km/h]
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung	V_{\min}	minimale Geschwindigkeit [km/h]
U	Unfall	V_{15}	Geschwindigkeit, welche von 15 % der Fahrzeuge nicht überschritten wird [km/h]
UD	Unfalldichte [U/a]	V_{50}	Geschwindigkeit, welche von 50 % der Fahrzeuge nicht überschritten wird [km/h]
U_{Erw}	Erwartungswert der Unfallanzahl aus dem Unfallmodell	V_{85}	Geschwindigkeit, welche von 85 % der Fahrzeuge nicht überschritten wird [km/h]
U(GT)	Unfall mit Getöteten (Unfallkategorie 1), bei dem mindestens ein Verkehrsteilnehmer getötet wurde	VFS	Verbindungsfunktionsstufe
U(LP)	Unfall mit leichtem Personenschaden (Unfallkategorie 3), bei dem mindestens ein Verkehrsteilnehmer leicht verletzt, aber kein Verkehrsteilnehmer getötet oder schwer verletzt wurde	v_{zul}	zulässige Höchstgeschwindigkeit
UKR	Unfallkostenrate [€/(1.000 Kfz)]	x_i	Einflussgröße i im Unfallmodell
U(P)	Unfall mit Personenschaden (Unfallkategorien 1-3), bei dem unabhängig von der Höhe des Sachschadens mindestens eine Person verletzt wurde	Z	Zufahrt eines Kreisverkehrs Z (auch als Index)
U(P, S)	Unfälle mit Personen- und Sachschaden (Unfallkategorien 1-6)	ZEB	Zustandserfassung und -bewertung von Straßen durch die Bundesanstalt für Straßenwesen
U(P, SS)	Unfälle mit Personen- und schwerem Sachschaden (Unfallkategorien 1-4 + 6)		
UR	Unfallrate [U/(10 ⁶ ·Kfz)]		
U(SP)	Unfall mit schwerem Personenschaden (Unfallkategorien 1+2), bei dem mindestens ein Verkehrsteilnehmer getötet oder schwer verletzt wurde		
U(SS)	Unfall mit schwerwiegendem Sachschaden i. e. S. (Unfallkategorie 4), bei dem als Unfallursache eine Ordnungswidrigkeit (Bußgeld) oder Straftat im Zusammenhang mit der Teilnahme am Straßenverkehr vorliegt, und bei dem gleichzeitig ein Kraftfahrzeug aufgrund eines Unfallschadens von der Unfallstelle abgeschleppt werden muss (Kfz nicht fahrbereit)		
U(SV)	Unfall mit schwerem Personenschaden (Unfallkategorie 2), bei dem mindestens ein Verkehrsteilnehmer schwer verletzt, aber kein Verkehrsteilnehmer getötet wurde		
V	Verunglückte [-]		

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Zielstellung

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche nationale und internationale Untersuchungen zur Verkehrssicherheit von Kreisverkehren durchgeführt. Alle Untersuchungen belegen für Kreisverkehre eine hohe Verkehrssicherheit, bedingt durch die geringere Unfallschwere aber auch durch geringere Unfalldichten im Vergleich zu konventionellen Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlagen. Untersuchungen an bayrischen Kreisverkehren (SPAHN & BÄUMLER, 2007) deuten jedoch auf weitere Potenziale zur Verbesserung der Verkehrssicherheit außerörtlicher Kreisverkehre hin. So wurden an den untersuchten Kreisverkehren in Bayern ein hoher Anteil an Fahr- bzw. Alleinunfällen sowie ein hoher Anteil an Unfällen bei Dunkelheit festgestellt, welche häufig mit zu hohen Geschwindigkeiten bei der Annäherung in Folge eines zu späten Erkennens des Kreisverkehrs in Zusammenhang stehen. Die Gegenüberstellung der bayrischen Untersuchung mit bundesländerspezifischen Empfehlungen und Erlässen verdeutlichen die Probleme mit der Erkennbarkeit von Kreisverkehren außerhalb bebauter Gebiete (z. B. abweichende Beschilderungsvorgaben, Vorgaben zur hindernisfreien Gestaltung der Kreisinsel zur Verminderung der Unfallfolgen). Zudem zeigen die Empfehlungen, dass hinsichtlich der Zufahrtsgestaltung Unterschiede zwischen den einzelnen Bundesländern bestehen.

Ziel dieses Forschungsprojekts ist es, belastbare Grundlagen für die Erhöhung der Verkehrssicherheit außerörtlicher Kreisverkehre, insbesondere der Gestaltung der Zufahrten und der Kreisinsel unter Berücksichtigung möglicher Erkennbarkeitsdefizite, bereitzustellen. Der bisherige Erkenntnisstand wirft in diesem Zusammenhang folgende Fragestellungen auf:

- Welche gestalterischen Merkmale wirken auf die Unfallanzahl, welche auf die Unfallschwere und inwieweit bestehen Zusammenhänge mit der Gestaltung einzelner Entwurfs-elemente außerörtlicher Kreisverkehre?
- Inwieweit haben netzplanerische Aspekte Einfluss auf das Unfallgeschehen? Bestehen Zusammenhänge zwischen dem Unfallgeschehen an Kreisverkehren und den Straßenkategorien der zu verknüpfenden Straßen oder der Gestaltung bzw. Art benachbarter Knotenpunkte?
- Wie wirken sich die unterschiedlichen Entwurfsvorgaben in den einzelnen Bundesländern generell auf die Verkehrssicherheit außerörtlicher Kreisverkehre aus?
- Welche Merkmale der Zufahrtsgestaltung begünstigen eine frühzeitige Erkennbarkeit bei Tageslicht und welche Entwurfsmerkmale sind bei Dunkelheit maßgebend?
- Welche Veränderungen von Entwurfsparametern sind zulässig unter Berücksichtigung der Anforderungen hinsichtlich der Befahrbarkeit durch den Schwerverkehr?

Zur Beantwortung der Fragestellungen werden bereits existierende Erkenntnisse im In- und Ausland ausgewertet, makroskopische und mikroskopische Unfallanalysen vorgenommen, Erhebungen zum Geschwindigkeits- und Fahrverhalten sowie wahrnehmungspsychologische Untersuchungen für ausgewählte Beispiele durchgeführt. Im Ergebnis sollen unfallbegünstigende Faktoren ermittelt und gestalterische Empfehlungen gegeben werden, um die Verkehrssicherheit an außerörtlichen Kreisverkehren zu erhöhen.

1.2 Untersuchungsablauf

Die methodische Vorgehensweise und das sich hieraus ergebende Arbeitsprogramm sehen sieben, inhaltlich aufeinander aufbauende, Arbeitsschritte vor. Struktur und Ablauf der Untersuchung zeigt Bild 1.

Im 1. Arbeitsschritt des Projektes wird die Fachliteratur zum Thema Kreisverkehre im Außerortsstraßennetz auf nationaler und internationaler Ebene recherchiert und ausgewertet. Dabei erfolgen Analysen der Entwurfsregelwerke und Forschungsarbeiten mit Schwerpunkt auf der Verkehrssicherheit sowie wahrnehmungspsychologischer Aspekte – siehe Kapitel 2.

Im 2. Arbeitsschritt wird eine Übersicht außerörtlicher Kreisverkehre in ausgewählten Bundesländern erstellt. Ausgehend von dieser Übersicht werden bei den zuständigen Behörden (i. d. R. Straßenbauverwaltung der Länder sowie untere Baubehörden) Lage-, Höhen-, Beschilderungs- und Markierungspläne sowie Verkehrsdaten für mindestens 100 Kreisverkehre recherchiert. Für die Bundesländer in denen dem Auftragnehmer keine Unfalldaten vorliegen werden außerdem Unfalldaten für einen

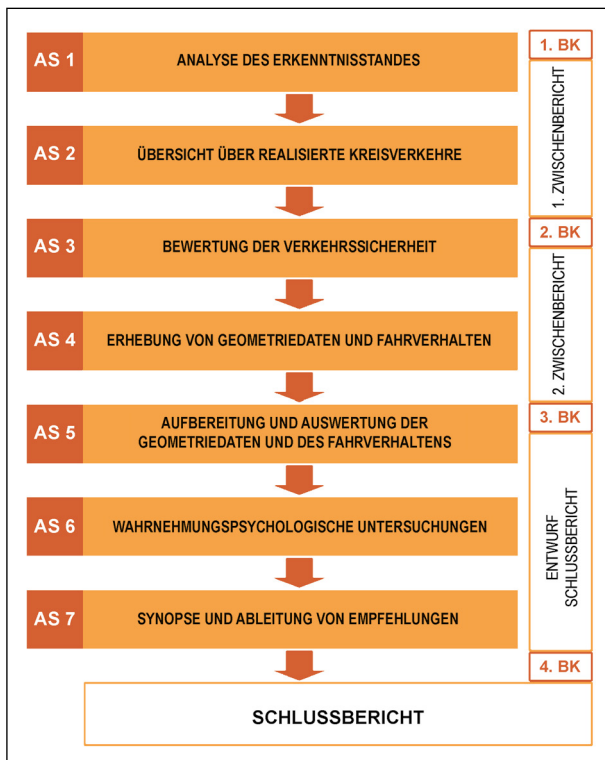


Bild 1: Arbeitsschritte des Forschungsvorhabens

Zeitraum von 5 Jahren für die betrachteten Kreisverkehre erhoben – siehe Anhang 4.

Im 3. Arbeitsschritt erfolgt eine mehrstufige Analyse des Unfallgeschehens. In der ersten Stufe wird eine Betrachtung des gesamtdeutschen Unfallgeschehens auf Basis der vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Daten vorgenommen. Ergänzend werden elektronische Unfalldaten aus Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt hinzugezogen – siehe Kapitel 3.

In der zweiten Stufe der Sicherheitsanalyse (AS 3, Detailbetrachtung des Unfallgeschehens) werden für 109 Kreisverkehre gestalterische und verkehrliche Merkmale in einer Datenbank aufbereitet. Das Untersuchungskollektiv wird deskriptiv auf Unfallschwere und -struktur untersucht. Weiterhin werden Sicherheitsgrade ermittelt. Anhand verallgemeinerter linearer Modelle werden Einflussgrößen bestimmt, die signifikant auf die Anzahl aller Unfälle, der Fahrnfälle und Abkommensunfälle bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen wirken. Für diese Größen wurden die Unfallraten in Abhängigkeit der Ausprägung der signifikanten Einflussgrößen ermittelt und die Ergebnisse interpretiert – siehe Kapitel 4.

Im 4. Arbeitsschritt werden die Streckengeometrie des Annäherungsbereiches und die Gestaltung der

Kreisverkehre vermessen. Außerdem wird das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmenden bei Tag und bei Nacht für je 2,5h an 32 Kreisverkehrszufahrten erhoben. Im 5. Arbeitsschritt werden die erhobenen Daten mit dem Ziel ausgewertet, mögliche Unterschiede im Fahrverhalten an unterschiedlich gestalteten Kreisverkehrszufahrten sowie bei Tag und bei Nacht unter Berücksichtigung der räumlichen Linienführung sowie der Erkennbarkeit und Sichtweiten herauszuarbeiten und mit den gestalterischen Merkmalen zu überlagern. Durch die Erhebung und Auswertung des Geschwindigkeits- und Spurverhaltens im Annäherungsbereich an den Kreisverkehrszufahrten bei Tag und bei Nacht sollen unfallbegünstigende und unfallvermeidende Gestaltungsmerkmale abgeleitet und erklärt werden – siehe Kapitel 5.

Im 6. Arbeitsschritt sind wahrnehmungspsychologische Untersuchungen an ausgewählten Kreisverkehren in Form von lichttechnischen Messungen vorgesehen. Durch orts aufgelöste Leuchtdichteaufnahmen an neun Kreisverkehren bei Dunkelheit sollen Anregungen für eine Optimierung hauptsächlich der nächtlichen Sicht- und Erkennbarkeitsverläufe in Annäherung und Befahrung von außerörtlichen Kreisverkehren abgeleitet werden – siehe Kapitel 6.

Im Rahmen der Synopse (7. Arbeitsschritt) werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsschritte zusammengefasst und mit dem Ziel verknüpft, Gestaltungshinweise und ggf. Einsatzempfehlungen für außerörtliche Kreisverkehre für die Fortschreibung der Entwurfsregelwerke abzuleiten – siehe Kapitel 7.

2 Grundlagenanalyse

2.1 Rechtliche Grundlagen

Die Benutzung von Kreisverkehrsanlagen wird in der StVO (§ 8 Absatz 1 a) geregelt. Wenn die Einmündung eines Kreisverkehrs mit Zeichen 215 (Kreisverkehr) und Zeichen 205 (Vorfahrt gewähren) ausgestattet ist, ist dem Verkehr auf der Kreisfahrbahn Vorfahrt zu gewähren (StVO, 2017). Weiterhin muss die Kreisfahrbahn in vorgeschriebener Fahrtrichtung befahren werden. In Zusammenhang mit dem Zeichen 215 wird in Anlage 2 der StVO (2017) erläutert, dass die Fahrbahnbegrenzung der Mittelinsel und die Mittelinsel selbst nicht überfah-

ren werden darf. Fahrzeuge, denen wegen ihrer Abmessungen das Befahren des Kreisverkehrs sonst nicht möglich wäre, dürfen Mittelinsel und Fahrbahnbegrenzung überfahren, wenn eine Gefährdung von anderen Verkehrsteilnehmenden ausgeschlossen ist.

Laut VwV-StVO(2017) darf Zeichen 215 (Kreisverkehr) nur dann angeordnet werden, wenn die Mittelinsel durch Zeichen 295 (Ausführung als Breitstrich) von der Kreisfahrbahn abgegrenzt ist. Außerhalb geschlossener Ortschaften ist der Kreisverkehr mit Vorwegweiser (Zeichen 438) anzukündigen. Weiterhin wird außerorts empfohlen, auf der baulich angelegten, nicht überfahrbaren Mittelinsel gegenüber der jeweiligen Einfahrt Zeichen 625 (Richtungstafel in Kurven) anzuordnen.

2.2 Entwurfsvorgaben für außerörtliche Kreisverkehre in Deutschland

Neben den aktuellen FGSV-Regelwerken verfügen einige deutsche Bundesländer über eigene Entwurfshinweise zur Gestaltung von Kreisverkehren (i. d. R. in den Einführungserlässen der Bundesländer zum Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV, 2006) und/oder den Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (FGSV, 2012) enthalten).

Eine Übersicht möglicher Abweichungen in den Vorgaben zu den einzelnen Entwurfs-elementen eines Kreisverkehrs gibt Tabelle 1. Die Übersicht beschränkt sich dabei auf die Gestaltungsmerkmale außerörtlicher Kreisverkehre. Vergleichsgrundlage bilden das Kreisverkehrsmerkblatt (FGSV, 2006) und die Entwurfshinweise der Länder. Mögliche Abweichungen werden in den Kapiteln 2.2.3 bis 2.2.8 für die einzelnen Entwurfs-elemente erläutert.

Die Ausführungen orientieren sich dabei an der Definition der Gestaltungselemente gemäß Bild 2.

2.2.1 Kreisverkehrstypen und Entwurfsgundsätze

Im Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV, 2006) werden Kreisverkehrstypen definiert und deren Einsatzkriterien festgelegt. Die Einteilung der Kreisverkehrstypen erfolgt in Abhängigkeit der Gestaltung des Kreisverkehrs. Es wird nach Minikreisverkehren, kleinen Kreisverkehren, zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren und großen Kreisverkehren unterschieden. Minikreisverkehre finden

Land	Außen-durchmesser	Kreisinsel	Kreisfahrbahn	Zufahrts-gestaltung	Markierung/Beschilderung	Beleuchtung
BW		X				
BY	X	X	X	X	X	X
BB	X		X	X	X	
HE			X			X
NW					X	
SN	(X)	X				
SH		X				

Tab. 1: Übersicht über abweichende Aussagen zur Kreisverkehrsgestaltung für ausgewählte Bundesländer

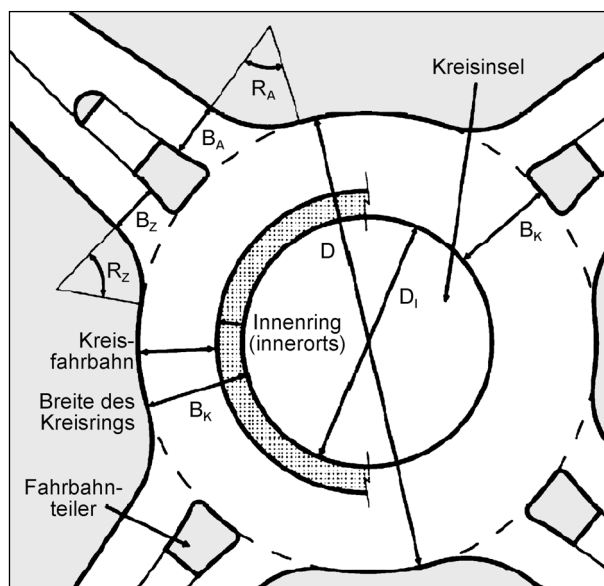


Bild 2: Definition einzelner Gestaltungselemente und Maße eines Kreisverkehrs (FGSV, 2006)

nur innerhalb bebauter Gebiete Anwendung und werden folglich in dieser Untersuchung nicht weiter betrachtet. Kleine Kreisverkehre werden innerorts und außerorts angelegt. Zur Kapazitätssteigerung können sie mit Bypässen oder mit zweistreifig befahrbarer Kreisfahrbahn und zweistreifigen Zufahrten angelegt werden. Die zweistreifig befahrbare Kreisfahrbahn wird dabei ohne markierte Fahrstreifen angelegt. Große Kreisverkehre werden mit zwei oder mehr markierten Fahrstreifen auf der Kreisfahrbahn angelegt und mit Lichtsignalanlagen betrieben. Da diese Kreisverkehre i. d. R. nur innerorts vorzufinden sind, werden sie in dieser Untersuchung nicht weiter betrachtet.

Zusätzlich zu den im Merkblatt beschriebenen Kreisverkehren beschreibt der Turbokreisverkehr

einen weiteren Kreisverkehrstyp. Diese Kreisverkehrsform wird mit (abschnittsweise) zweistreifiger Kreisfahrbahn betrieben. Vor der Zufahrt findet eine Vorsortierung im Sinne der Fahrtrichtung statt. Festlegungen zur Anwendung und Ausführung werden im Arbeitspapier Turbokreisverkehre erläutert (FGSV, 2015). Turbokreisverkehre werden vorzugsweise im Vorfeld bebauter Gebiet eingesetzt und sind daher nicht Untersuchungsgegenstand.

Einsatzbereiche für die verschiedenen Kreisverkehrstypen in Abhängigkeit der Verkehrsstärke sind in Bild 3 dargestellt.

Für die genannten Kreisverkehrstypen werden die Entwurfs-elemente und deren Gestaltung im Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren festgelegt. Grundsätzlich sollen:

- Die Knotenpunktzufahrten möglichst senkrecht an den Kreisverkehr herangeführt werden.
- Die Fahrzeuge auf der Kreisfahrbahn deutlich umgelenkt werden.

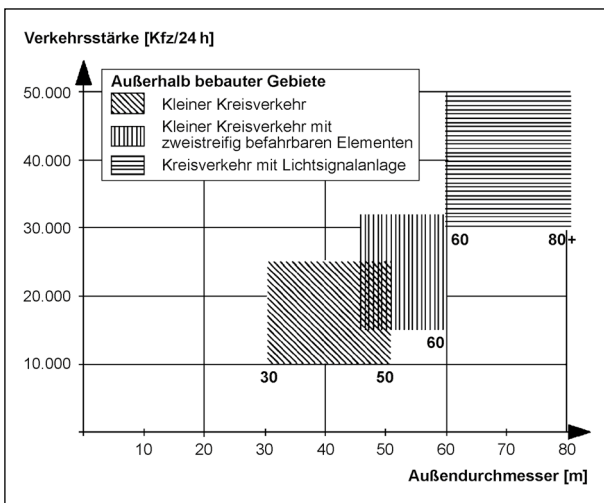


Bild 3: Orientierungswerte für die Kapazität von Kreisverkehren außerhalb bebauter Gebiete (FGSV, 2006)

übergeordnete Straße / untergeordnete Straße	EKL 1	EKL 2	EKL 3	EKL 4
EKL 1		Legende: Lichtsignalanlage mit Linksabbiegerschutz Einsatz der Lichtsignalanlage prüfen		
EKL 2			Die übergeordnete Straße ist senkrecht dargestellt. Die vorfahrtsberechtigige Straße ist als Breitschraff dargestellt. weitere Einsatzbereiche der Knotenpunktarten siehe Abschnitt 6.3.3	
EKL 3				
EKL 4	nicht zu vertreten	nicht zu empfehlen*		

Bild 4: Regeleinsatzbereiche von Knotenpunktarten bei vierarmigen Knotenpunkten (FGSV, 2012)

- Die Kreisverkehrsausfahrten einstreifig gestaltet werden.

Weiterhin bestehen die allgemeinen Anforderungen an einen Knotenpunkt hinsichtlich Erkennbarkeit, Übersichtlichkeit, Begreifbarkeit und Befahrbarkeit. Bezüglich der Erkennbarkeit verweist das Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren darauf, dass der Kreisverkehr für sich nähernde Fahrzeugführende bei Tag und Nacht rechtzeitig erkennbar sein muss. Die frühzeitige Erkennbarkeit muss vor Allem außerhalb bebauter Gebiete gewährleistet werden.

An Landstraßen kommen Kreisverkehre vor allem für Straßen der Entwurfsklasse (EKL) 3 mit Straßen gleicher oder niedrigerer EKL zum Einsatz, können aber auch zum Anschluss teilplanfreier/teilplangleicher Knotenpunkte mit Straßen höherer EKL dienen – siehe Bild 4. In begründeten Ausnahmefällen kann eine Straße der EKL2 auch mit einer Straße der EKL2 oder EKL3 durch einen Kreisverkehr verknüpft werden.

2.2.2 Gestaltung des Annäherungsbereichs

Da im Rahmen des Forschungsvorhabens auch das Verhalten bei der Annäherung an den Kreisverkehr im Fokus steht, ist eine Betrachtung der Gestaltung der freien Strecke im Vorfeld des Kreisverkehrs notwendig.

Landstraßen werden nach den Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL) (FGSV, 2012) entworfen. Für Strecken im Vorfeld außerörtlicher Kreisverkehre sind die Entwurfsparameter der EKL2 bis EKL4 laut Tabelle 2 maßgebend.

Für Knotenpunkte mit Straßen der EKL1 ist der Anschluss mittels Kreisverkehr zwar möglich, durch die teilplanfreie/teilplangleiche Umsetzung findet

Entwurfsklasse	Linienführung	empf. Radienbereich	Höchstlängsneigung	empf. Kuppenhalbmesser
[-]	[-]	R [m]	max s [%]	H _K [m]
EKL 1	sehr gestreckt	≥ 500	4,5	≥ 8.000
EKL 2	gestreckt	400 – 900	5,5	≥ 6.000
EKL 3	angepasst	300 – 600	6,5	≥ 5.000
EKL 4	sehr angepasst	200 – 400	8,0	≥ 3.000

Tab. 2: Entwurfsklassen und Grundsätze für Gestaltungselemente der Streckenführung (FGSV, 2012)

die Annäherung jedoch über die Rampen des Knotenpunktes statt. Die Rampen werden nicht mit den Parametern der Streckenführung gestaltet. Für sie sind je nach Knotenpunktart und Rampentyp Radien zwischen 30 m und 80 m vorgesehen.

Weiterhin kann die Relation der aufeinander folgenden Radien in der Annäherung von Bedeutung sein. Wenn nur regelkonforme Lösungen umgesetzt werden (Verhältnisse im guten und brauchbaren Bereich), so ergeben sich mögliche Relationen nach Bild 5. Die Vorgaben der Relationstrassierung können bei Wechsel von der freien Strecke zum Kno-

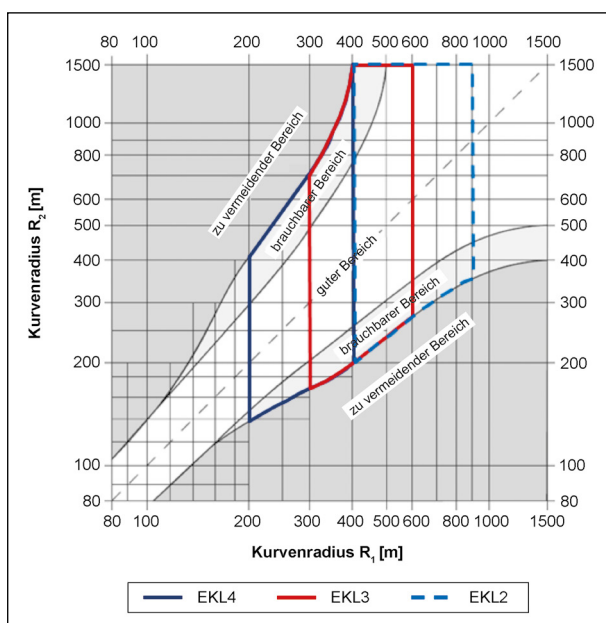


Bild 5: Verhältnis aufeinander folgender Radien mit EKL-Bereichen (angepasste Darstellung nach FGSV, 2012)

tenpunkt in der Regel nicht eingehalten werden. An Kreisverkehren gewinnt der Wechsel zwischen der Trassierung der freien Strecke und des Knotenpunktes an besonderer Bedeutung, da die Verkehrsteilnehmenden beim Einfahren in den Kreisverkehr abbiegen und dies auch rechtzeitig erkennen und begreifen müssen. In wieweit dies bei allen relevanten EKL gewährleistet ist, soll u. a. im Rahmen des Forschungsvorhabens geprüft werden.

2.2.3 Außendurchmesser

Der Außendurchmesser wird in Abhängigkeit des Kreisverkehrstyps bestimmt. Gemäß Tabelle 3 werden demnach in Bayern und Sachsen tendenziell größere Kreisverkehre gebaut.

Es ist anzumerken, dass die Vorgabe zum Mindestaußendurchmesser bei regelmäßigen Militärtransporten bundesweit für das Militärstraßengrundnetz (ARS 22/1996) gültig ist. Für Bundesländer, in denen dies in den landesspezifischen Entwurfshinweisen jedoch noch einmal hervorgehoben wird, ist mit einer gezielteren Umsetzung dieser Vorgabe zu rechnen.

2.2.4 Kreisinsel

Die Kreisinsel ist hinsichtlich Funktion und Gestaltung ein wesentliches Element des Kreisverkehrs. Außerhalb bebauter Gebiete dient sie insbesondere der Erkennbarkeit des Kreisverkehrs. Sie soll so gestaltet werden, dass die Durchsicht von einem Knotenpunktarm zum anderen unterbrochen wird. Wei-

Land	Quelle	Festlegung		
		Typ	Kleiner Kreisverkehr	zweistreifig befahrbarer Kreisverkehr
DE	FGSV (2006)	Mindestwert [m]	30	45
		Regelwert [m]	35 bis 45	55
		Obergrenze ¹⁾ [m]	50	60
	FGSV (2012)	• Außendurchmesser von 35 m bis 50 m		
BY	OBBSI (2011)	• Maße im oberen Bereich der Vorgaben aus FGSV (2006)		
BB	LSB (2011)	• Bei regelmäßigen Militärtransporten soll der Mindestaußendurchmesser 40 m betragen		
SN	LASuV (2016)	• Außendurchmesser von 35 m bis 50 m		
		• Überprüfung des Einsatzes des größtmöglichen Außendurchmessers		
		• Bei regelmäßigen Militärtransporten soll der Mindestaußendurchmesser 40 m betragen		

¹⁾ Überschreitung der Obergrenzen nur in begründeten Einzelfällen zulässig

Tab. 3: Vorgaben zu Außendurchmessern von außerörtlichen Kreisverkehren

Land	Quelle	Festlegung
DE	FGSV (2006)	<ul style="list-style-type: none"> • Geeignete Bepflanzung oder leicht ansteigende Hügelfläche • Keine starren Hindernisse gegenüber Zufahrten • Begrenzung durch Schrägborde oder schräg anlaufende Einfassungen • Ablenkung geradeausfahrender Fahrzeuge mind. zweifache Fahrstreifenbreite (Zufahrt)
	FGSV (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht überfahrbar • Leicht ansteigende Hügelfläche K • keine starren Hindernisse • Begrenzung durch Schrägborde oder schräg anlaufende Einfassungen
BW	MVI (2011)	Keine starren Hindernisse
	MVI (2013)	Alternativen zur Entfernung von starren Hindernissen im Bestand: <ul style="list-style-type: none"> • Anböschungen/Aufschüttung • Verwendung von Anpralldämpfern • Geschwindigkeitstrichter, ggf. in Kombination mit ortsfester Geschwindigkeitsüberwachung • Zusätzliche StVO-Gefahrstellenbeschilderung (Überholverbot, Gefahrenstelle, gefährlicher Knotenpunkt) • Passive Beleuchtung des Kreisverkehrsplatzes (z. B. Reflektoren) • Zusätzliche Fahrbahnmarkierung (z. B. „Vorfahrt beachten“) • Rüttelstreifen in den Zufahrtsästen • Sollbruchstellen am Kunstobjekt • Umbau des Knotenpunktes, insbesondere der Zufahrten
BY	OBBSI (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Keine starren Hindernisse • Leicht ansteigende linsenförmige Hügelfläche mit Staudenbewuchs • Begrenzung durch Schrägborde oder schräg verlegtes Pflaster
SN	LASuV (2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht überfahrbar • Leicht ansteigende Hügelfläche • Keine auffällige Kreisinselgestaltung, nur leicht umfahrbare bzw. leicht verformbare Einbauten Anforderungen an mögliche Einbauten: <ul style="list-style-type: none"> • Angemessene Größe und Proportion im Verhältnis zum Kreisverkehr • Schnelle Erfassbarkeit und Begreifbarkeit durch die Verkehrsteilnehmenden • Blendfreie Oberflächen • Keine beweglichen Elemente • Keine scharfkantigen bzw. spitzen Elemente • Keine Wechselillumination
SH	HINRICHSSEN (2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Freihaltung des Rand der Kreisinsel im Bereich von 5 m • Kunstwerke auf dem Mittelpunkt der Kreisinsel • Grundfläche Kunstwerke maximal 3 m x 3 m • Kunstwerke nicht reflektierend und nicht scharfkantig

Tab. 4: Vorgaben zur Gestaltung der Kreisinsel an außerörtlichen Kreisverkehren

terhin soll sie eine ausreichende Ablenkung für geradeaus fahrende Verkehrsströme bewirken.

Die in Tabelle 4 beschriebenen Vorgaben fokussieren vor allem die Gestaltung der Kreisinsel. Maße für den Durchmesser der Kreisinsel sind nicht festgelegt. Sie ergeben sich aus dem Außendurchmesser und der Breite des Kreisrings.

2.2.5 Kreisfahrbahn

Die Kreisfahrbahn bzw. der Kreisring ist kreisrund anzulegen. Die Breite des Kreisrings ergibt sich in

Abhängigkeit vom Außendurchmesser. Ein überfahrbarer Innenring soll außerorts nicht angebracht werden. Die abweichenden Maße zwischen dem Kreisverkehrsmerkblatt (FGSV, 2006) und den RAL in Tabelle 5 resultieren dabei aus unterschiedlichen Definitionen der Verkehrsflächen. In den RAL (FGSV, 2012) wird die Kreisfahrbahn einschließlich der Randstreifen definiert. Das Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV, 2006) definiert den Kreisring ohne ggf. erforderliche Randstreifen. Bei einer Randstreifenbreite von 0,5 m ergeben sich identische Werte im Kreisverkehrsmerkblatt und den RAL.

Land	Quelle	Festlegung						
DE	FGSV (2006)	Typ		kleiner Kreisverkehr				zweistreifig befahrbarer Kreisverkehr
		Außendurchmesser D	[m]	26	30	35	≥ 40	40 bis 60
	Breite des Kreisrings B _K	[m]	9,0	8,0	7,0	6,5	8,0 bis 10,0 ¹⁾	
	FGSV (2012)	Typ		kleiner Kreisverkehr				kleiner / zweistreifig befahrbarer Kreisverkehr
Außendurchmesser D		[m]	35 ≤ D < 40				40 ≤ D ≤ 50	
Breite des Kreisrings B _K		[m]	7,5				7,0	
BY	OBBSI (2011)	• Maße im oberen Bereich der Vorgaben aus FGSV (2006)						
BB	LSB (2011)	• Bei regelmäßigen Militärtransporten mindestens 8,50 m nutzbare Kreisfahrbahnbreite						
HE	REUTER & KÖHLER (2013)	Typ		kleiner Kreisverkehr				
		Außendurchmesser D	[m]	26	30	35	≥ 40	
		Breite des Kreisrings B _K	[m]	8,0	7,5	7,0	6,0	
¹⁾ bei hohen Schwerverkehrsanteilen empfiehlt sich die größere Breite								

Tab. 5: Vorgaben zur Breite des Kreisrings bzw. der Kreisfahrbahn an außerörtlichen Kreisverkehren

2.2.6 Zufahrtsgestaltung

Hinsichtlich der Gestaltung der Zufahrten werden die Führung der Zufahrten zum Kreis, die Zufahrtsbreiten und die Gestaltung der Fahrbahnteiler definiert.

Die Führung der Zufahrten zum Kreis beschreibt hierbei nicht die Ausrichtung der Straßenachsen zum Kreis (möglichst senkrecht), sondern die Führung in der Zufahrt selbst, welche ausschließlich in Bayern tangential, gemäß allen anderen Entwurfs-

regelwerken/-hinweisen radial erfolgt – siehe Tabelle 6.

Bild 6 verdeutlicht den Unterschied zwischen den Führungsarten. Laut BRILON & GEPPERT (2014) bestehen für die Begriffe „radial“ und „tangential“ unterschiedliche Auffassungen bei verschiedenen Autoren, was in der Literatur zu Unklarheiten führt. Für die vorliegende Untersuchung werden die Begriffe „radial“ und „angepasst“ (anstelle von tangential) verwendet.

Land	Quelle	Festlegung
DE	FGSV (2006)	<ul style="list-style-type: none"> • Radiale Zufahrten • Fahrbahnteiler in jeder Zufahrt • Zweistreifige Zufahrten bei zweistreifig befahrbaren Kreisfahrbahnen möglich • Fahrstreifenbreite einstreifige Zufahrt: 3,50 m bis 4,00 m • Fahrstreifenbreite zweistreifige Zufahrt: 6,50 m bis 7,00 m • Eckausrundung der Zufahrt: 14 m bis 16 m
	FGSV (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Radiale Zufahrten • Fahrbahnteiler in jeder Zufahrt • Einstreifige Zufahrten • Fahrstreifenbreite der Zufahrt: 4,50 m bis 5,00 m • Eckausrundung der Zufahrt: 14 m bis 16 m
BY	OBBSI (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Maße im oberen Bereich der Vorgaben aus FGSV (2006) • Tangentiale Zufahrten
BB	LSB (2011)	• Evtl. Strauchbepflanzung auf Fahrbahnteiler
HE	REUTER & KÖHLER (2013)	• Mindestlänge der Fahrbahnteiler: 5 m

Tab. 6: Vorgaben zur Zufahrtsgestaltung von außerörtlichen Kreisverkehren

Für die Fahrstreifenbreite der Zufahrt ergeben sich in den RAL um 0,5 m bis 1,0 m größere Werte als im Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren. Die RAL berücksichtigen die beidseitigen Randstreifen der Zufahrt von jeweils 0,25 m bis 0,5 m bei der Zufahrtsbreite, das Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren jedoch nicht. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache bestehen diesbezüglich keine Abweichungen zwischen den Regelwerken.

Fahrbahnteiler verbessern die Erkennbarkeit und führen den Verkehr in der Zufahrt. Im Außerortsbereich sollen die Ränder des Fahrbahnteilers wegen der besseren Erkennbarkeit aus einer möglichst gleichförmigen Krümmung der Fahrstreifenführung entwickelt werden (FGSV, 2006). Die Konstruktionshinweise für Fahrbahnteiler an Kreisverkehren im Anhang 6 der RAL scheinen hier einen Widerspruch aufzuweisen. In Fahrtrichtung gesehen, sollen ab dem Ende der Querungsstelle für Fußgänger die Ränder des Fahrbahnteilers mit Radien von 50 m ausgebildet werden. Somit unterscheiden sich

die Krümmungswerte am Fahrbahnteiler und äußeren Fahrbahnrand.

2.2.7 Markierungen und Beschilderungen

Markierungen und Beschilderungen dienen der Regelung und Verständlichkeit der Verkehrsführung. Grundsätzlich anzuordnende Elemente sind durch StVO und VwV-StVO vorgegeben (s. Kapitel 2.1). Deren Gestaltung und Positionierung wird durch die Vorgaben im Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV, 2006), die Richtlinien für die wegweisende Beschilderung außerhalb von Autobahnen (BMVBW, 2000) und die Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS) (FGSV, 1980) bestimmt.

Laut RMS sollen Kreisverkehre ohne Verflechtungsstreifen wie Einmündungen markiert werden. Bild 7 zeigt die durch das Regelwerk vorgeschriebenen Markierungen an Kreisverkehrszufahrten und auf der Kreisfahrbahn.

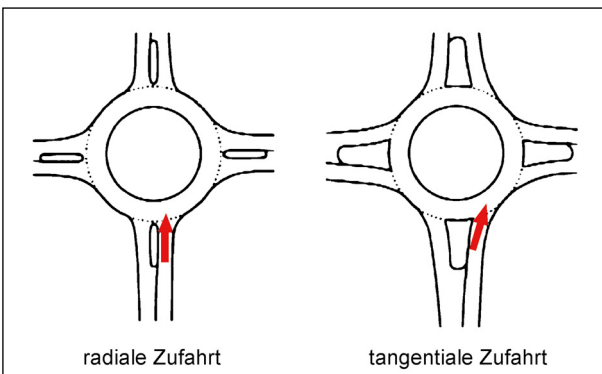


Bild 6: Schematische Darstellung radialer und tangentialer Kreisverkehrszufahrten (SPAHN & BÄUMLER, 2007)

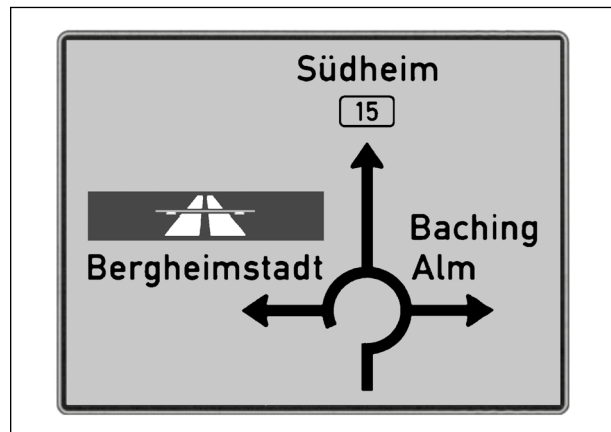


Bild 8: Beispiel für die Darstellung des Vorwegweisers – Zeichen 438 (BMVBW, 2000)

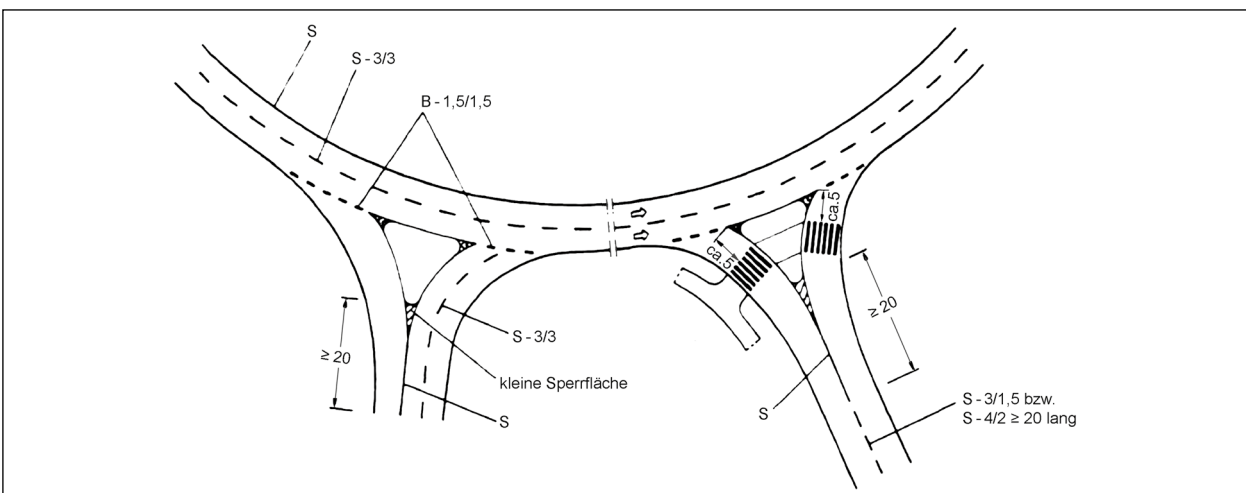


Bild 7: Markierung der Knotenpunktbereiche an Kreisverkehrsplätzen (FGSV, 1980)

Konkrete Angaben zur Markierung und Beschilderung außerörtlicher Kreisverkehre werden in den Richtlinien für die wegweisende Beschilderung außerhalb von Autobahnen (BMVBW, 2000) gegeben. Die Vorwegweisung wird mit Zeichen 438 umge-

setzt – siehe Bild 8. Einige Bundesländer geben von den FGSV-Werken abweichende Vorgaben zum Abstand des Vorwegweisers, andere zur Gestaltung des Vorwegweisers vor – siehe Tabelle 7.

Land	Quelle	Festlegung
DE	FGSV (2006)	<p>Maßgebende Empfehlungen für Markierung und Beschilderung außerörtlicher Kreisverkehre sind in der nachfolgende Darstellung aus FGSV (2006) enthalten:</p>
	BMVBW (2000)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorwegweiser 50 m bis 150 m vor dem Kreisverkehr. • In besonderen Fällen kann durch verkleinerte Wiedergabe zusätzlich auf ein StVO-Verkehrszeichen hingewiesen werden.
	VwV-StVO (2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Innere Fahrbahnbegrenzung mit Zeichen 295 (Breitstrich). • Außerorts sind Kreisverkehre mit Vorwegweiser (Zeichen 438) anzukündigen. • Zeichen 205 (Vorfahrt gewähren!) und Zeichen 215 (Kreisverkehr) an jeder Zufahrt. • Empfehlung: Zeichen 625 (Richtungstafel in Kurven) auf Mittelinsel gegenüber jeder Zufahrt.
BY	OBBSI (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Anstelle von Zeichen 625-21 (Richtungstafel in Kurven mit Abmessung 500 x 1.500 mm) auf Mittelinsel gegenüber jeder Zufahrt wird empfohlen Zeichen 625-20 (Richtungstafel in Kurven mit Abmessung 500 x 500 mm) mindestens in dreifacher Ausführung nebeneinander anzuordnen. Alternativ ist die Verwendung von Zeichen 625-22 bzw. -23 (Richtungstafel in Kurven mit der Abmessung 500 x 2.000 mm bzw. 500 x 2.500 mm) auf Mittelinsel möglich. • Anstelle des Pfeilwegweisers in der Ausfahrt (Zeichen 418-20) kann auch Zeichen 434 (Tabellewegweiser) verwendet werden. • Verwendung von Zeichen 605-24 (Beginn des Fahrbahnteilers) anstelle von Zeichen 626-20 Hinweis: Gemäß VzKat (2017) hat sich, infolge der Änderung der Nummerierung die Bezeichnung des Zeichens 605-24 auf 626-20 geändert. • Anordnung des Vorwegweisers (Zeichen 438) 150 bis 250 m vor dem Kreisverkehr. • Vorankündigung der Vorfahrtregelung (Zeichen 205: Vorfahrt gewähren!) 100 bis 150 m vor dem Kreisverkehr. • Empfehlung: Integration von Zeichen 205 (Vorfahrt gewähren!) in Zeichen 438 (Vorwegweiser). • Konkrete Ausführungshinweise zur Markierung des Annäherungsbereichs mit Warnlinie gemäß RMS und Vorankündigungspfeilen (Zeichen 297.1).
BB	LSB (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Verzicht auf Vorankündigung der Vorfahrtregelung (Zeichen 205: Vorfahrt gewähren!), da es in Vorwegweiser (Zeichen 438) integriert wird . • Anordnung des Vorwegweisers (Zeichen 438) mit integriertem Zeichen 205 (Vorfahrt gewähren!) 100 bis 250 m vor Kreisverkehr . • Verwendung von Zeichen 605-24 (Beginn des Fahrbahnteilers) anstelle von Zeichen 626-20 Hinweis: Gemäß VzKat (2017) hat sich, infolge der Änderung der Nummerierung die Bezeichnung des Zeichens 605-24 auf 626-20 geändert.
NW	SELBITSCHKA (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • Zeichen 438 (Vorwegweiser) mindestens 100 m vor dem Kreisverkehr, bei Bedarf größerer Abstand. • Warnlinie zur Einleitung des Überholverbots: mindestens 90 m; Beginn auf Höhe des Vorwegweisers. • Zeichen 205 (Vorfahrt gewähren!) mindestens 50 m vor Zeichen 438 (Vorwegweiser). • Integration Zeichen 205 (Vorfahrt gewähren!) in Zeichen 438 (Vorwegweiser) vermeiden. • Bei Bedarf Wiederholung von Zeichen 205 (Vorfahrt gewähren!) zusätzlich über Fahrbahn.

Tab. 7: Vorgaben zur Markierung und Beschilderung von außerörtlichen Kreisverkehren

Land	Quelle	Festlegung
DE	FGSV (2006)	<ul style="list-style-type: none"> • In der Regel keine Beleuchtung . • Im Vorfeld bebauter Gebiete teilweise sinnvoll.
	FGSV (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • In der Regel keine Beleuchtung. • Beleuchtung kann zur besseren Erkennbarkeit von Knotenpunkten nach DIN 13201 eingesetzt werden.
BY	OBBSI (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Einbau von Reflektoren oder Leuchtdioden (LED) an Mittelinsel und Fahrbahnteilern zur besseren Erkennbarkeit bei Nacht möglich. • Bei irritierenden Lichtquellen, häufigen Nebellagen oder nachträglich auffälligem Unfallgeschehen ist großflächige Beleuchtung möglich.
HE	REUTER & KÖHLER (2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung von Glasmarker zur besseren Erkennbarkeit Innenring möglich (Innenringe im Regelfall nur an innerörtlichen Kreisverkehren). • Beleuchtung sinnvoll, wenn in der Nähe des Kreisverkehrs starke Lichtquellen vorhanden sind. • Wird nur der Kreisverkehr, aber nicht die zuführende Straßen beleuchtet, ist eine abgestufte Beleuchtung der Knotenpunktarme bis zu einem Abstand von etwa 80 m sinnvoll.

Tab. 8: Vorgaben zur Beleuchtung von außerörtlichen Kreisverkehren

2.2.8 Beleuchtung

Eine Beleuchtung von Kreisverkehren ist außerhalb von Ortschaften grundsätzlich nicht vorgesehen. In bestimmten Situationen kann jedoch eine Beleuchtung vorgesehen werden – siehe Tabelle 8. Neben einer möglichen ortsfesten Beleuchtung wird in einigen Bundesländern der Einsatz von Glasmarkern oder Reflektoren zur Verbesserung der Erkennbarkeit bei Dunkelheit empfohlen.

2.3 Internationale Entwurfsvorgaben für außerörtliche Kreisverkehre

2.3.1 Schweiz

Die Gestaltung von Kreisverkehren in der Schweiz ist u. a. in der VSS-Norm 640263 geregelt (VSS, 2000). Die Norm definiert die Gestaltungselemente und Anwendungsgrundsätze von Kreisverkehren. Weiterhin werden Empfehlungen für die Abmessung der Elemente, die Gestaltung der Mittelinsel und zur Beleuchtung gegeben.

Gemäß VSS (2000) dürfen Kreisverkehre in der Schweiz auch ein Verhältnis von Breite zu Länge von bis zu 1 : 1,15 aufweisen. Folglich muss die Kreisfahrbahn nicht kreisrund sein.

Für die Breite der Kreisfahrbahn werden nur Mindestwerte angegeben, die jedoch deutlich unter den Vorgaben in FGSV (2006) und FGSV (2012) liegen – siehe Bild 9. Die empfohlenen Zufahrtsbreiten liegen mit 3,00 m bis 3,50 m ebenfalls unterhalb der deutschen Vorgaben.

Grundsätzlich wird eine radiale Führung der Zufahrt empfohlen. Dabei soll der Einfahrtswinkel $\alpha = 70$

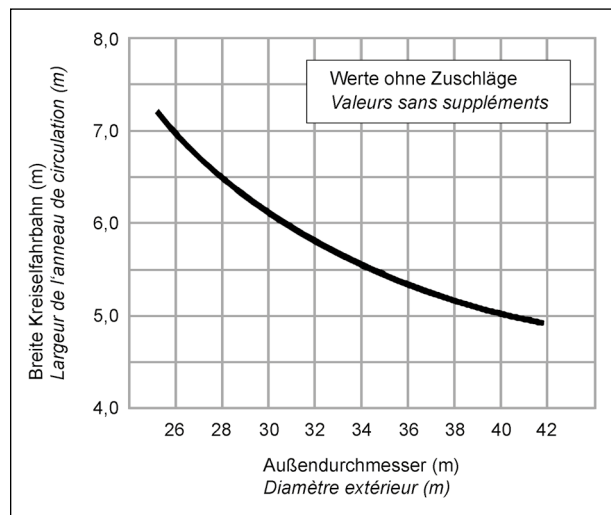


Bild 9: Mindestbreite der Kreisfahrbahn in Abhängigkeit des Außendurchmessers | Schweiz (VSS, 2000)

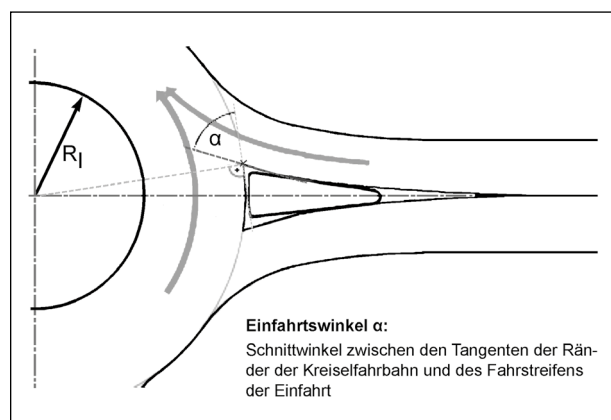


Bild 10: Einfahrtswinkel α | Schweiz (VSS, 2000)

gon nicht unterschritten werden – siehe Bild 10. Bei sehr flachen Einfahrtswinkeln soll eine deutliche Ablenkung durch die Mittelinsel erfolgen.

Die Ablenkung wird anhand des Ablenkungswinkels β bestimmt. Dieser wird für vierarmige Kreisverkehre ohne Innenring zwischen den gegenüberliegenden Knotenpunktarmen bemessen. Die Ermittlung dieses Winkels wird in Kapitel 2.4 erläutert.

Zur besseren Erkennbarkeit wird insbesondere außerorts eine deutliche Erhöhung der Mittelinsel oder eine Gestaltung der Mittelinsel mit auffälligen Schrägborden bzw. aufgewölbten Pflastersteinen empfohlen. Auf der Mittelinsel sollen bevorzugt Bepflanzung und/oder Erderhebungen aufgebracht werden. Das Aufstellen fester Hindernisse ist vor allem bei kleinen Mittelinseln kritisch zu prüfen. Senkrechte Sockelmauern sind zu vermeiden.

Eine Beleuchtung außerörtlicher Kreisverkehre ist laut Schweizer Norm nicht vorgesehen. Bei schlechter Erkennbarkeit bei Nacht kann jedoch eine Beleuchtung angeordnet werden.

Weiterhin gibt es in der Schweiz auch kantonale Gestaltungsempfehlungen für Kreisverkehre:

- Kanton Aargau: „Projektierung und Ausführung von Kreisverkehrsplätzen“ (BVU, 2014),
- Kanton Basel-Landschaft: „Projektierungsrichtlinie: Kreisel-Geometrische Abmessungen“ (BUD, 2013),
- Kanton Graubünden: „Richtlinie: Kreisel-Anordnung und Gestaltung“ (Graubünden, 2013),
- Kanton St. Gallen: „Richtlinie TBA: Anforderungen Kreisel“ (St. Gallen, 2016),
- Kanton Zürich: „Kreiselrichtlinie“ (Zürich, 2008).

Diese geben jedoch nur nähere Erläuterungen, bzw. Zusammenfassungen zu bestehenden Regelwerken und beinhalten keine abweichenden Vorgaben für Außerortskreisverkehre.

2.3.2 Österreich

Die Gestaltung von Kreisverkehren in Österreich wird in den Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS) 03.01.14 geregelt (BMVIT, 2010).

Demnach soll die Führung der Zufahrt möglichst mittig auf den Kreisverkehr erfolgen. Wenn nicht anders möglich ist eine Verschiebung nach links besser als eine Verschiebung nach rechts – siehe Bild 11. Die Führung in der Zufahrt soll radial erfolgen. Tangential geführte sowie abgekröpfte Zufahrten sind zu vermeiden.

Zur verkehrssicheren Führung wird in BMVIT (2010) eine ausreichende Ablenkung gefordert, die jedoch nicht näher bestimmt wird.

Mindestbreiten für einstreifige Zufahrten sind auf 3,75 m festgesetzt, für zweistreifige Zufahrten betragen sie 7,0 m. Die Eckausrundungen der Zufahrten sollen außerhalb bebauter Gebiete Radien von 12 m bis 16 m aufweisen.

Mittelinseln dürfen mit höherer Bepflanzung und Kunstwerken ausgestattet werden, welche sich jedoch auf das Zentrum der Insel konzentrieren sollen. Informationsträger für verkehrsfremde Zwecke (z. B. Werbung) sollen nicht auf der Kreisinsel angeordnet werden. Gegenüber den Kreiseinfahrten sind feste Einbauten zu vermeiden. Die Begrenzung der Mittelinsel soll mit Bordsteinen, bevorzugt mit Schrägborden, ausgeführt werden.

Fahrbahnteiler sollen in jeder Zufahrt angeordnet werden und dürfen nur in Ausnahmefällen entfallen. Wenn die Erkennbarkeit des Kreisverkehrs aufgrund der Topologie eingeschränkt ist, kann die Anordnung verlängerter Fahrbahnteiler sinnvoll sein.

Die Beschilderung ist gemäß Bild 12 vorzunehmen. Im Vergleich zum deutschen Regelwerk ist die umgekehrte Anordnung der Richtungstafel und des Verkehrszeichens „vorgeschriebene Fahrtrichtung“ auf Kreisinsel und Fahrbahnteiler auffällig.

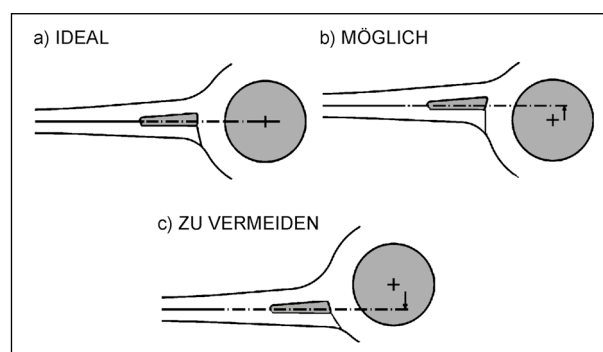


Bild 11: Lage der Achsen von Kreisverkehrsarmen | Österreich (BMVIT, 2010)

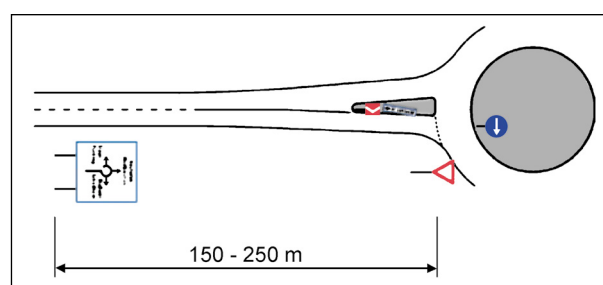


Bild 12: Beschilderung von Kreisverkehren | Österreich (BMVIT, 2010)

Eine Beleuchtung von Kreisverkehren wird grundsätzlich empfohlen. Hierbei ist eine Beleuchtung entlang des äußeren Randes des Kreisverkehrs der Beleuchtung auf Fahrbahnteilern oder Mittelinsel vorzuziehen.

2.3.3 Niederlande

In den Niederlande werden in „Roundabouts – Application and Design“ (Royal Haskoning DHV, 2009) Entwurfsempfehlungen für Kreisverkehre getroffen. Es wird die radiale Führung der Knotenpunktarme zum Kreisverkehr und die geradlinige Zuführung der Achse empfohlen.

Fahrbahnteiler sollen an jeder Zufahrt angelegt werden und können bei Bedarf mit Markierungen vergrößert werden.

Der Kreisverkehr wird mit einer Richtungstafel auf der Kreisinsel (gegenüber der Zufahrt) und dem „Vorfahrt gewähren“-Zeichen auf Höhe der Zufahrt beschildert. In der Regel wird das Zeichen „Vorfahrt gewähren“ am rechten Fahrbahnrand aufgestellt und auf dem Fahrbahnteiler wiederholt. Die Vorgaben für die Beschilderung können Bild 13 entnommen werden.

Der Standort der Vorwegweiser wird nicht definiert. Bei schlecht erkennbaren Kreisverkehren soll ca. 150 m bis 200 m vor dem Kreisverkehr eine Vorankündigung des Kreisverkehrs erfolgen – siehe Bild 13.

Kreisverkehre werden generell beleuchtet, um die Erkennbarkeit und Begreifbarkeit bei Nacht zu verbessern. Die Beleuchtung soll außerhalb des Kreis-

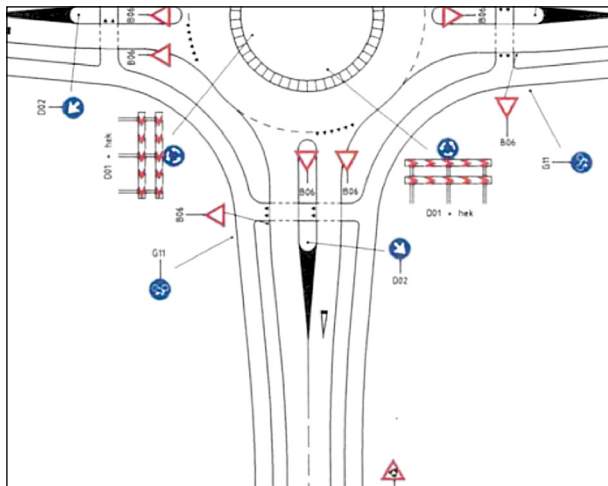


Bild 13: Beschilderung von Kreisverkehren | Niederlande (Royal Haskoning DHV, 2009)

verkehrs angebracht werden. Wenn die zuführenden Straßen nicht beleuchtet sind, sollen die Zufahrten auf einer Länge von 80 m bis 100 m vor dem Kreisverkehr beleuchtet werden. Dies dient der Adaption der Augen bei der Annäherung.

2.3.4 Großbritannien

Im Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) (The Highways Agency, 2007) sind Festlegungen zur Kreisverkehrsgestaltung in Großbritannien enthalten. In Großbritannien gilt Linksverkehr, weshalb Festlegungen und Forschungsergebnisse nur bedingt auf deutsche Kreisverkehre übertragbar sind.

Laut DMRB (Vol. 6, Sec. 2, Part 3) werden Kreisverkehre in Minikreisverkehre, kompakte Kreisverkehre (einstreifige Kreisfahrbahn sowie Zu- und Ausfahrten), normale Kreisverkehre (zwei- bis dreistreifige Kreisfahrbahn sowie Zu- und Ausfahrten), planfreie Kreisverkehre und in signalisierte Kreisverkehre untergliedert.

Im Gegensatz zu anderen europäischen Ländern erfolgt die Führung der Zufahrten auf die Kreisfahrbahnen in Großbritannien tangential.

Kreisverkehre können in der Zufahrt mit dem Zeichen Roundabout ahead (Zeichen 510 in Bild 14) und zusätzlich mit Reduce speed now (Zeichen 511 in Bild 14) beschildert werden. Diese Zeichen werden bei zulässigen Geschwindigkeiten von mehr als 70 mph (113 km/h) ca. 500 m vor dem Kreisverkehr auf dem Mittelstreifen und 450 m vor dem Kreisverkehr am Fahrbahnrand aufgestellt. Gegenüber jeder Zufahrt wird auf der Mittelinsel des Kreis-

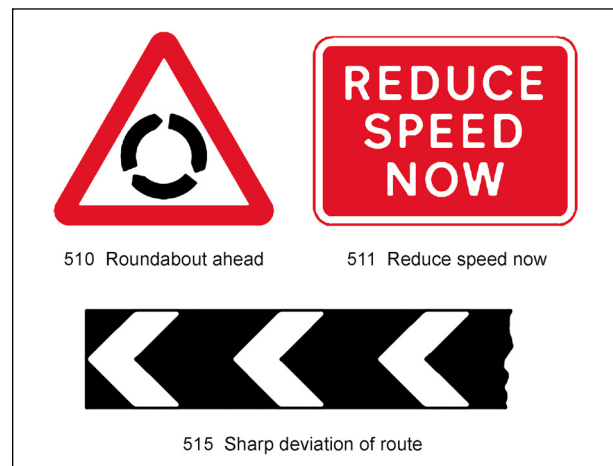


Bild 14: Verkehrszeichen an Kreisverkehren | Großbritannien (Department of Transport, 2013)

kehrs eine Kurventafel angebracht (Zeichen 515 in Bild 14).

Zusätzlich kann die Kurventafel baulich in der Aufkantung der Kreisinsel nach Bild 15 umgesetzt werden.

In der Zufahrt können zudem gelbe Streifenmarkierungen (yellow bar markings in Bild 16) aufgebracht werden. Diese sollen insbesondere Fahr- und Überschreiten-Unfälle verhindern. Diese Markierungen werden nur an Zufahrten mit auffälligem Unfallgeschehen, welches in Zusammenhang mit überhöhten Geschwindigkeiten steht, angeordnet. Der letzte Balken (in Fahrtrichtung gesehen) befindet sich 50 m vor der Wartelinie. Davor werden 90 Balken aufgebracht. Der erste Balken wird in Fahrtrichtung gesehen ca. 450 m vor dem Kreisverkehr markiert.

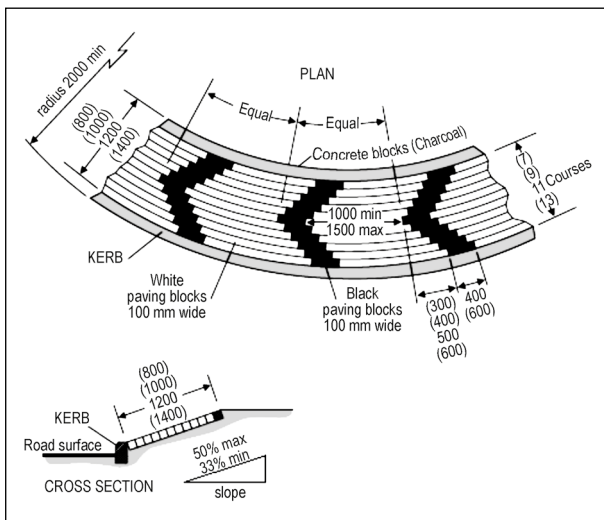


Bild 15: Bauliche Umsetzung der Kurventafel | Großbritannien (DOT, 2013)

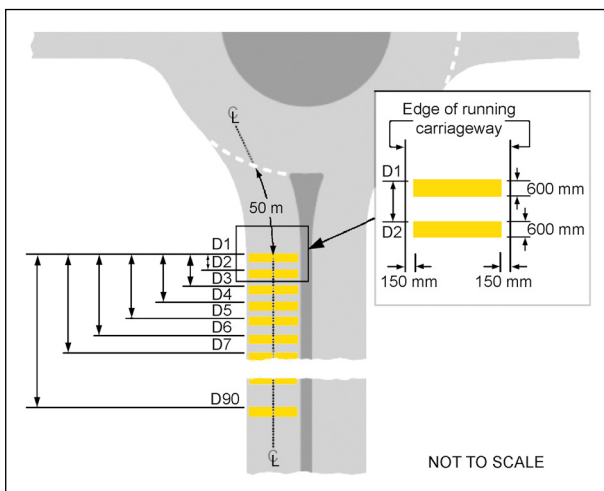


Bild 16: Gelbe Streifenmarkierungen | GB (DOT, 2003)

Die Bepflanzung der Kreisinsel wird empfohlen, da sie die Erkennbarkeit des Kreisverkehrs erhöht und einen Kontrast zu den davorstehenden Kurventafeln bietet. Die Anordnung von Bäumen, Kunstwerken oder Gesteinen ist untersagt. Mittelstreifen oder Fahrbahnteiler sollen im Bereich von 15 m vor der Wartelinie nicht bepflanzt werden, um Sicht Einschränkungen zu vermeiden (The Highways Agency, 2007).

Beleuchtung von Kreisverkehren ist in Irland, Wales und Schottland generell vorgeschrieben. In England ist die Notwendigkeit einer Beleuchtung nach DMRB (Vol. 8, Sec. 3) zu bestimmen (The Highways Agency, 2007).

2.3.5 Vereinigte Staaten

Gestaltungsempfehlungen für Kreisverkehre sind in den Vereinigten Staaten auf nationaler Ebene in „Roundabouts – an Informational Guide“ (RODEGERDTS et al., 2010) enthalten.

Gemäß RODEGERDTS et al. (2010) sollen Zufahrten senkrecht zur Kreisinsel zugeführt werden. Eine nach links versetzte Anbindung der Zufahrt ist möglich (vgl. Bild 11). Fahrbahnteiler sollen in jeder Zufahrt angeordnet werden und eine Länge von 15 m bis zu 45 m aufweisen, um eine rechtzeitige Erkennbarkeit des Kreisverkehrs zu unterstützen – siehe Bild 17. Eine Bepflanzung der Fahrbahnteiler ist möglich und kann einen „Tunnelleffekt“ erzeugen, der zur Verringerung der Geschwindigkeiten führt. Bäume, Pflanzkübel oder Lichtmasten dürfen nicht auf dem Fahrbahnteiler angeordnet werden.

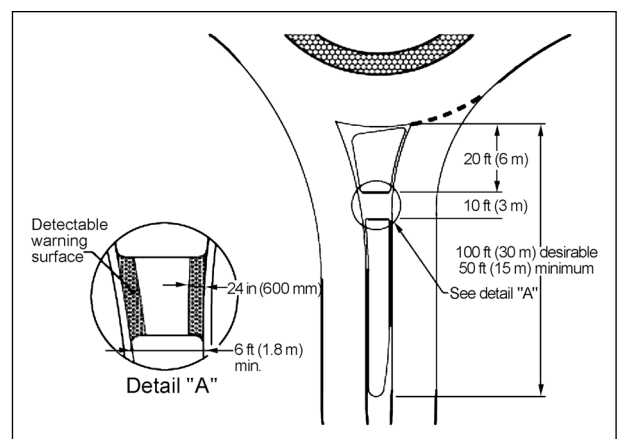


Bild 17: Minimale Abmessungen der Fahrbahnteiler | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)

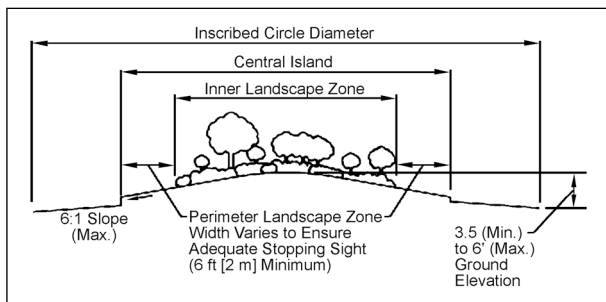


Bild 18: Gestaltung der Kreisinsel | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)

Die Breite der Zufahrt liegt für einstreifige Zufahrten zwischen 4,2 m und 5,5 m. Die Kreisfahrbahn soll mindestens so breit wie die breiteste Zufahrt sein, aber 120 % der Breite der breitesten Zufahrt nicht überschreiten. Die Eckausrundungen in den Zufahrten sollen mit Radien zwischen 15 m und 30 m ausgebildet werden.

Die Kreisinsel soll hügelig gestaltet werden, um die Erkennbarkeit zu verbessern – siehe Bild 18. Die Höhe der Aufschüttung sollte 1,0 m bis 1,80 m betragen. Objekte auf der Kreisinsel sollten vor allem im ländlichen Raum (bei hohen zulässigen Geschwindigkeiten) nicht am Rand der Kreisinsel und nicht gegenüber den Einfahrten angebracht werden, um die Folgen von Fahrurfällen gering zu halten. Grundsätzlich wird eine Bepflanzung der Kreisinsel für eine verbesserte Erkennbarkeit empfohlen. In Kombination mit Beleuchtung wird auch die Erkennbarkeit bei Dunkelheit erhöht.

Gemäß RODEGERDTS et al. (2010) muss jede Zufahrt am rechten Fahrbahnrand mit dem Zeichen „Vorfahrt beachten“ beschildert werden. Zur Verbesserung der Begreifbarkeit kann das Zeichen auf der linken Seite wiederholt werden – siehe Bild 19.

Richtungstafeln auf der Mittelinsel geben die Fahrtrichtung auf der Kreisfahrbahn vor. Alternativ kann das Zeichen „Einbahnstraße“ gegenüber der Zufahrt angebracht werden. Die Beschilderung mit Richtungstafeln ist hierbei der Variante „Einbahnstraße“ vorzuziehen. In einigen Staaten ist die Verwendung des Zeichens „Einbahnstraße“ aufgrund abweichender Gesetzeslagen erforderlich.

Im Annäherungsbereich des Kreisverkehrs kann eine Vorankündigung mit dem Zeichen „Kreisverkehr“ erfolgen – siehe Bild 19.

Die Zufahrt wird von der Kreisfahrbahn durch eine unterbrochene Fahrstreifenbegrenzung (entrance line) getrennt. Im direkten Vorfeld kann zusätzlich eine Wartelinie als Sägezahnmarkierung und/oder



Bild 19: Beschilderung einstreifiger Kreisverkehre | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)

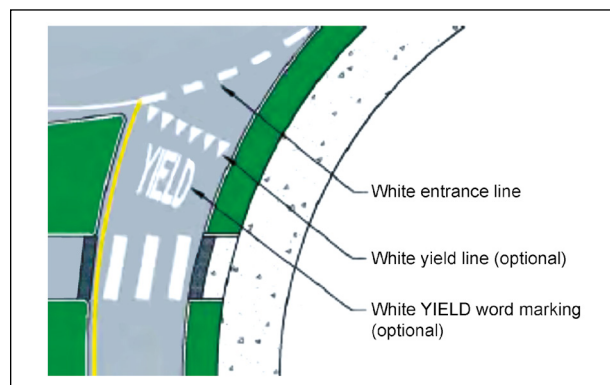


Bild 20: Markierung der Kreisverkehrszufahrt | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)

der Schriftzug „YIELD“ aufgebracht werden – siehe Bild 20.

Im Annäherungsbereich können zusätzliche Markierungen aufgebracht werden. Diese können

- als Schriftzug mit Straßennummer, Zielangabe, Straßennamen oder Himmelsrichtung,
- als „YIELD AHEAD“-Symbol bzw. -Schriftzug oder
- als „YIELD“-Schriftzug umgesetzt werden – siehe Bild 21.

An mehrstreifigen Kreisverkehren, an denen eine Vorsortierung stattfindet, müssen Richtungspfeile markiert werden. Diese können als normale Pfeile oder Pfeile in Form eines Angelhakens (fishhook arrow) gemäß Bild 22 ausgeführt werden. Bei einstreifigen Kreisverkehren sind Pfeilmarkierungen in den Zufahrten nicht erforderlich.

Die Beleuchtung von Kreisverkehren wird generell empfohlen. Besonders wirksam ist diese, wenn

- eine oder mehrere Zufahrten des Kreisverkehrs beleuchtet sind,
- sich in der Umgebung des Kreisverkehrs beleuchtete Gebiete befinden oder
- der Kreisverkehr hohe Verkehrsstärken bei Nacht/Dunkelheit aufweist.

Eine Beleuchtung des Kreisverkehrs kann gemäß RODEGERDTS et al. (2010) sowohl von Innen (Beleuchtungseinrichtung auf der Mittelinsel), als auch von außen umgesetzt werden. Laut IES (2008) wird die Beleuchtung von außen entlang des Randes des Kreisverkehrs empfohlen. Dies ermöglicht eine optimale Beleuchtung der Konfliktbereiche und somit eine gute Sichtbarkeit der Fahrzeuge auf der Kreisfahrbahn für einlaufende Fahrzeuge.

Wenn die Strecke im Vorfeld des Kreisverkehrs keine Beleuchtung aufweist, sollen die Zufahrten in einem Bereich von ca. 80 m vor dem Kreisverkehr beleuchtet werden, um eine ausreichende Adaption zu gewährleisten.

Im Guide for Roundabout Lighting (IES, 2008) werden fünf Umgebungstypen (LZ0-LZ4) abhängig von

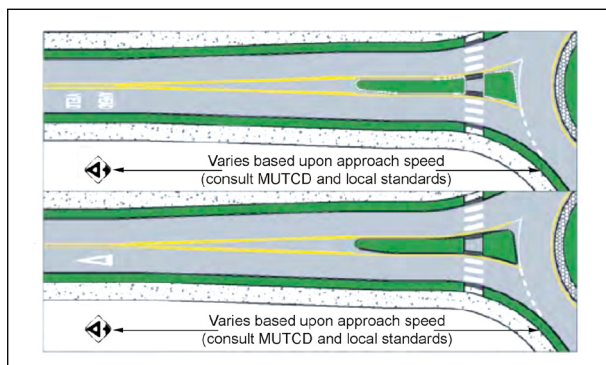


Bild 21: Beispiel für zusätzliche Markierungen | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)

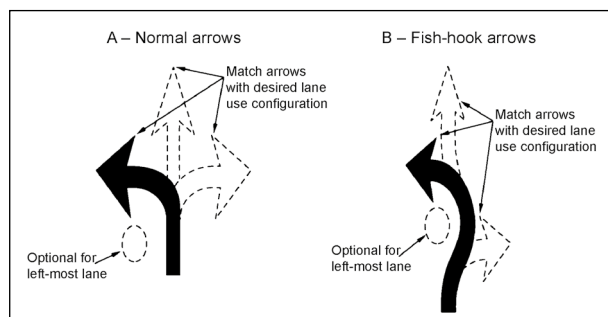


Bild 22: Möglichkeiten der Ausführung von Richtungspfeilen in der Kreisverkehrszufahrt | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)

der umliegenden Beleuchtung definiert. Der vorliegende Typ entscheidet über die Notwendigkeit der Kreisverkehrsbeleuchtung.

Laut CHRYSLER et al. (2017) nutzen 15 der 50 US-Staaten die Vorgaben in „Roundabouts – an Informational Guide“ (RODEGERDTS et al., 2010) für die Planung von Kreisverkehren. Weitere 13 Staaten beziehen sich auf die nicht mehr gültige Vorgängerversion des Planungsleitfadens (ROBINSON et al., 2000). Zwei Staaten nutzen andere Richtlinien und für 15 Staaten lagen keine Informationen zu den verwendeten Regelwerken vor.

Die Untersuchung von fünf Kreisverkehren an Landstraßen in den Vereinigten Staaten führt RITCHIE & LENTERS (2005) zu folgenden baulichen Empfehlungen für die Zufahrtsgestaltung von Kreisverkehren:

- Gewährleistung der Erkennbarkeit der Zufahrt aus einer Entfernung, die der Anhaltesichtweite entspricht, jedoch aus keiner größeren Entfernung.
- Verlängerung des Fahrbahnteilers bis zu dem Punkt, an dem die Fahrzeugführenden mit dem Verzögern beginnen müssen, um rechtzeitig anhalten zu können.
- Frühzeitige Beschilderung und Beleuchtung des Kreisverkehrs.
- Ausreichende Ablenkung der Fahrzeuge durch die Mittelinsel.

Weiterhin nennen RITCHIE & LENTERS (2005) folgende zusätzliche Elemente zur Verbesserung der Erkenn- und Begreifbarkeit. Neben den britischen yellow bar markings werden zusätzliche (und größere) Kurventafeln und beleuchtete Poller (siehe Bild 23) empfohlen. Weiterhin sollen Kreisverkehre beleuchtet werden.



Bild 23: Beleuchtete Poller | Vereinigte Staaten (RITCHIE & LENTERS, 2005)

2.4 Ansätze zur Überprüfung des geschwindigkeitsdämpfenden Entwurfsgrundsatzes

Neben der geringeren Konfliktpunktzahl bilden geringe Geschwindigkeiten im Bereich der Konfliktpunkte eine wesentliche Grundlage zur Gewährleistung einer hohen Verkehrssicherheit von Kreisverkehren. Die Ablenkung durch die Kreisinsel bildet dabei ein zentrales funktionales Element von Kreisverkehren, da sie die Geschwindigkeitsreduktion auf der Kreisfahrbahn bewirkt (HYDÉN & VÁRHELYI, 2000). Im internationalen Vergleich der Regelwerke zeigte sich, dass für die Überprüfung der Angemessenheit des Entwurfs hinsichtlich der Geschwindigkeitsdämpfung unterschiedliche Ansätze verwendet werden. Während in Deutschland die seitliche Ablenkung als Vielfaches der Zufahrtsbreite gemessen wird, weist das Schweizer Regelwerk die Bemessung eines Ablenkungswinkels aus. Im englischsprachigen Raum hingegen werden fastest-path-Radien (Einfahrradien oder Radienfolge bei der Befahrung) verwendet. Nachfolgend sind die in den einzelnen Ländern verwendeten Ansätze zur Überprüfung der geschwindigkeitsdämpfenden Wirkung des Kreisverkehrsentswurfs dargestellt.

Deutschland

Gemäß FGSV(2006) soll die Ablenkung für geradeausfahrende Fahrzeuge durch die Kreisinsel und gegebenenfalls durch den Innenring das Zweifache der Fahrstreifenbreite der Knotenpunktzufahrt nicht unterschreiten – siehe Bild 24.

Die Anwendungspraxis hat jedoch gezeigt, dass dieses Maß nur zuverlässig bestimmt werden kann, wenn sich die Zufahrten gegenüberliegen und somit der Winkel zwischen den Knotenpunktarmen näherungsweise 200 gon beträgt. Bei kleineren Winkeln zwischen den Knotenpunktarmen, kann das Ablenkmaß zwar bestimmt werden, liefert aber nur bedingt Aussagen zur geschwindigkeitsdämpfenden Wirkung des Entwurfs.

Schweiz

Gemäß VSS (2000) erfolgt die Überprüfung der geschwindigkeitsdämpfenden Wirkung des Kreisverkehrsentswurfs mithilfe des Ablenkungswinkels β .

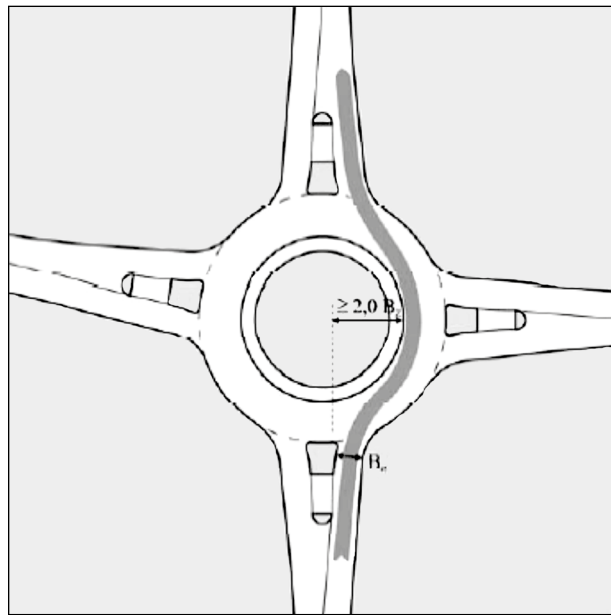


Bild 24: Ablenkung geradausfahrender Kraftfahrzeuge durch die Kreisinsel | Deutschland (FGSV, 2006)

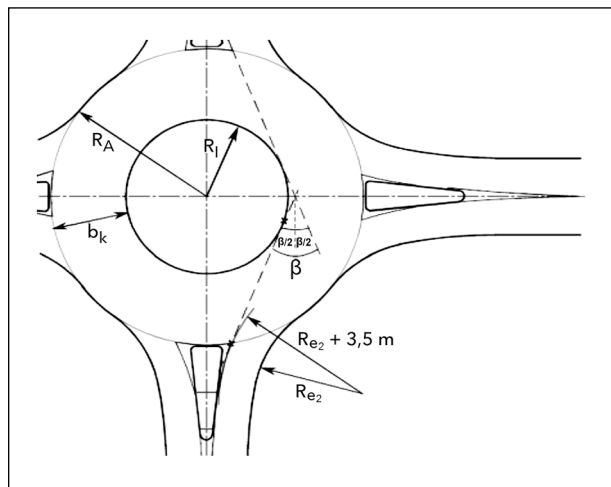


Bild 25: Ermittlung des Ablenkungswinkels β | Schweiz (VSS, 2000)

Die Bestimmung des Ablenkungswinkels β erfolgt anhand zweier Tangenten (Ein- und Ausfahrttangente). Die Einfahrttangente wird zwischen den Kreisbögen der Mittelinsel und des um ein Abrückungsmaß von 3,50 m versetzten Einfahrradius R_{e2} konstruiert. Die Ausfahrttangente wird zwischen den Kreisbögen der Mittelinsel und des um ein Abrückungsmaß von 3,50 m versetzten Ausfahrradius R_{a2} konstruiert. Der Winkel β wird wie in Bild 25 am Schnittpunkt der Tangenten bestimmt. Eine ausreichende Ablenkung der Fahrzeuge ist vorhanden, wenn $\beta \geq 45$ gon eingehalten wird.

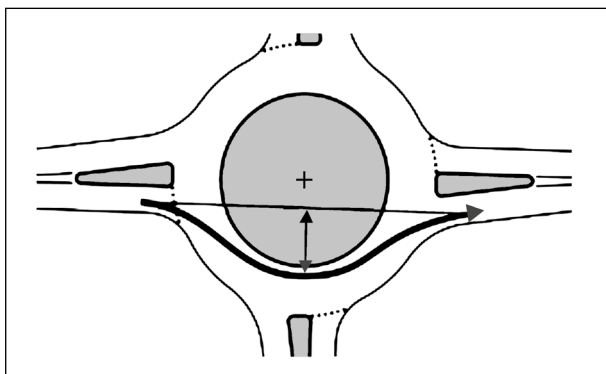


Bild 26: Ermittlung der Ablenkung geradausfahrender Fahrzeuge | Österreich (BMVIT, 2010)

Österreich

In RVS 03.01.14 (BMVIT, 2010) wird lediglich erläutert, wie die Ablenkung für geradausfahrende Fahrzeuge qualitativ überprüft werden kann – siehe Bild 26. Es werden keine Maße oder konkrete Vorgaben für eine erforderliche Ablenkung benannt.

Niederlande

Für niederländische Kreisverkehre erfolgt die Überprüfung der geschwindigkeitsdämpfenden Wirkung des Kreisverkehrsentwurfs anhand der Befahrungsgeschwindigkeit. Gemäß Bild 27 wird dazu der Radius der Fahrlinie aus der Ablenkung U als seitliche Ablenkung durch die Kreisinsel und der Länge L bestimmt. Der Radius der Fahrlinie $R_{\text{vehicle path}}$ ergibt sich zu:

$$R_{\text{vehicle path}} = \frac{(0,25 \cdot L)^2 + (0,50 \cdot (U + 2))^2}{U + 2}$$

Die zu erwartende Geschwindigkeit V wird aus dem Radius der Fahrlinie $R_{\text{vehicle path}}$ bestimmt:

$$V = 7,4 \cdot \sqrt{R_{\text{vehicle path}}}$$

Für einen ausreichend geschwindigkeitsdämpfenden Entwurf muss die Bedingung $V \leq 35 \text{ km/h}$ eingehalten werden.

Großbritannien

Für Kreisverkehre in Großbritannien muss für eine ausreichende Geschwindigkeitsdämpfung der Einfahrradius (entry path radius) als größter Radius, den ein Fahrzeug beim Einfahren in die Kreisfahrbahn wählen kann, gemäß Bild 28 bestimmt wer-

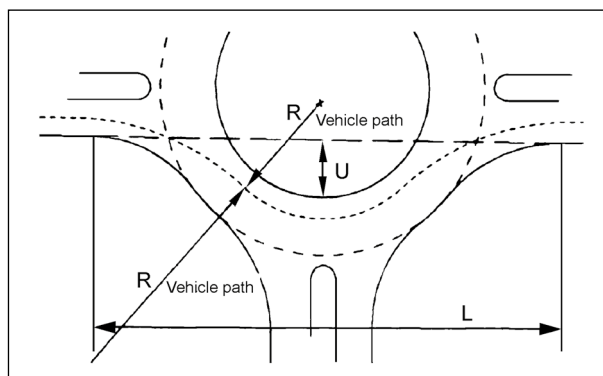


Bild 27: Ermittlung der des Ablenkmaßes U und der Länge L zur Bestimmung der Befahrungsgeschwindigkeit | Niederlande (Royal Haskoning DHV, 2009)

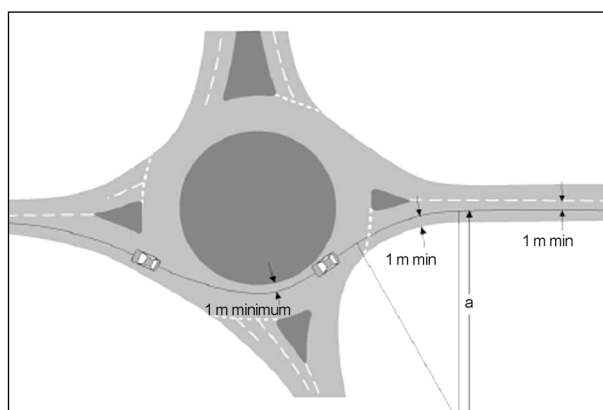


Bild 28: Ermittlung des Einfahrradius | Großbritannien (The Highways Agency, 2007)

den. Für einen ausreichend geschwindigkeitsdämpfenden Entwurf muss ein Einfahrradius $\leq 100 \text{ m}$ nachgewiesen werden.

Vereinigte Staaten

Gemäß RODEGERDTS et al. (2010) werden zur Überprüfung der Befahrungsgeschwindigkeit für jede Zufahrt fünf kritische Radien (bei vierarmigen Kreisverkehren) gemäß Bild 29 bestimmt. Die Radien entsprechen hierbei nicht den geometrischen Abmessungen des Kreisverkehrs, sondern werden wie in Bild 29 (unten) dargestellt gemessen.

Für jeden Radius R_i (in Fuß) wird unter Berücksichtigung der Querneigung e (in Fuß) die maximale theoretische Einfahrgeschwindigkeit V (in mph) bestimmt und mit den Werten in Bild 30 unter Berücksichtigung des Kreisverkehrstyps verglichen:

$$V = 3,4415 \cdot R^{0,3861} \quad \text{für } e = +0,02$$

$$V = 3,4614 \cdot R^{0,3673} \quad \text{für } e = -0,02$$

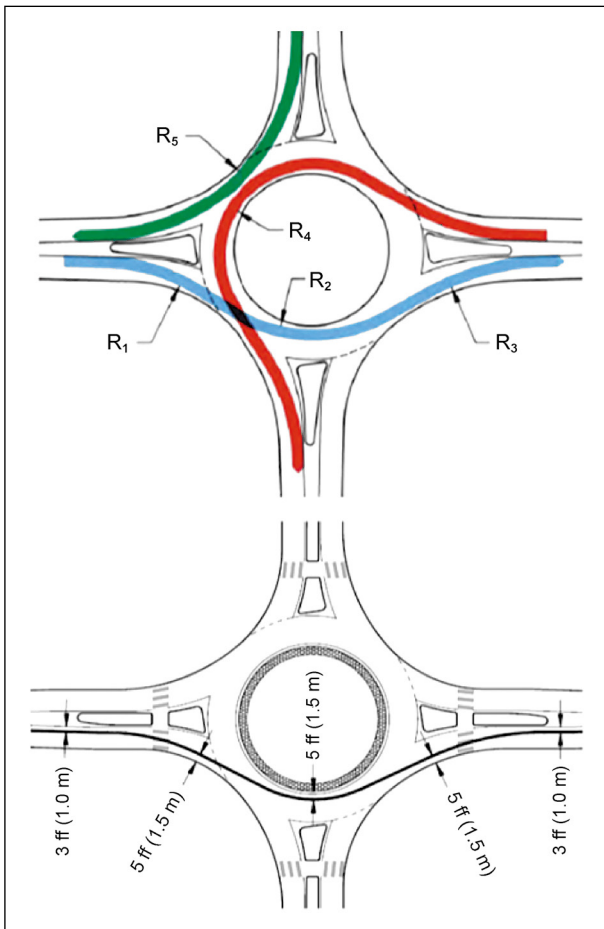


Bild 29: Ermittlung der maßgebenden Radien(-folge) | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)

Site Category	Recommended Maximum Theoretical Entry Design Speed
Mini-Roundabout	20 mph (30 km/h)
Single Lane	25 mph (40 km/h)
Multilane	25 to 30 mph (40 to 50 km/h)

Bild 30: Empfohlene maximale theoretische Einfahrtsgeschwindigkeit (RODEGERDTS et al., 2010)

Australien

Für Kreisverkehre in Australien wird zur Überprüfung einer ausreichenden Geschwindigkeitsdämpfung der größte Radius, den ein Fahrzeug beim Befahren des Kreisverkehrs wählen kann, gemäß Bild 31 bestimmt. Für einen ausreichend geschwindigkeitsdämpfenden Entwurf darf der größte Radius 100 m nicht überschreiten.

Vergleich der Ansätze

ARNDT (2008) vergleicht die Ablenkungsmaße der australischen, britischen und amerikanischen Re-

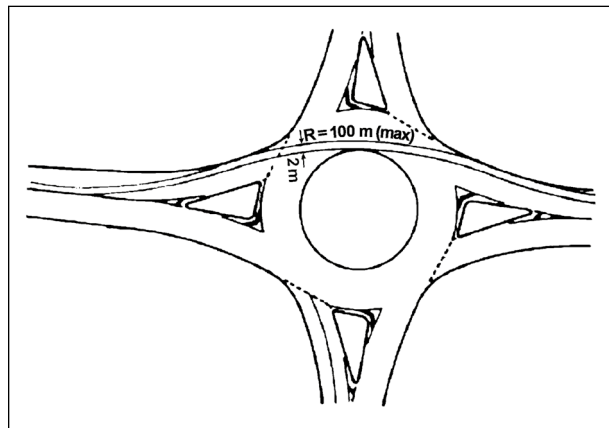


Bild 31: Ermittlung des größten Radius bei der Befahrung | Australien (Austroads, 2006)

gelwerke. Er bewertet die Methoden nach Wirksamkeit hinsichtlich des Unfallgeschehens, Rechenaufwand und möglichen subjektiven Einflüssen auf das Ergebnis. Er weist der amerikanischen Methode die höchste Wirksamkeit, aber auch den höchsten Rechenaufwand und einen signifikant subjektiven Einfluss zu. Die britische Methode ist weniger rechenaufwändig, aber auch weniger wirksam, als die amerikanische. Die australische Berechnung weist eine mittlere Wirksamkeit und einen geringen subjektiven Einfluss auf. KHOSRAVI et al. (2017) vergleichen die amerikanische Methode mit in Feldversuchen aufgenommenen Trajektorien. Sie beobachten, dass Fahrlinien im Feldversuch deutlich größere Radien besitzen als die gemäß RODEGERDTS et al. (2010) gemessenen Radien. Die Geschwindigkeitsreduktion durch die Ablenkung war in der Erhebung geringer als durch die Berechnung impliziert.

2.5 Verkehrssicherheit außerörtliche Kreisverkehre

2.5.1 Untersuchungen zum Sicherheitsniveau

Deutschland

Erste deutschlandweite Untersuchungen zur Verkehrssicherheit von kleinen Kreisverkehren stammen aus den frühen 90er Jahren. STUWE (1992) bewertet die Verkehrssicherheit von Kreisverkehren im Vergleich zu anderen Knotenpunktformen, wobei sich für Kreisverkehre das höchste Sicherheitsniveau ergab. Allerdings beschränkt sich diese Betrachtung auf innerörtliche Kreisverkehre.

		ECKSTEIN & MEEWES (2002)		SPAHN & BÄUMLER (2007)	
		UKR ¹ [€/1.000 Kfz]	UR [U/10 ⁶ Kfz]	UKR ² [€/1.000 Kfz]	UR [U/10 ⁶ Kfz]
Einmündung	Vorfahrtsbeschilderung	21	0,91	-	-
	LSA (2-/3-Phasig)	22/10	0,91/0,66	22	0,66
	Kleine Kreisverkehre	-	-	8	0,47
Kreuzung	Vorfahrtsbeschilderung	53	1,70	-	-
	LSA (2-/3-Phasig)	54/27	1,73/1,20**	32	0,79
	Kleine Kreisverkehre	10	0,90	9	0,38

¹ Kostensätze gemäß Preisstand 1995, Umrechnung in Euro gemäß BMF (2017)
² Kostensätze gemäß Preisstand 2000

Tab. 9: Unfallkenngrößen für außerörtliche Knotenpunkte in Abhängigkeit der Knotenpunktart | Deutschland

ECKSTEIN & MEEWES (2002) untersuchen die Verkehrssicherheit von Landstraßenknotenpunkten, dabei stellten sie für kleine Kreisverkehre das höchste Sicherheitsniveau (kleinste Unfallkostenrate UKR) fest. In der Untersuchung von SPAHN & BÄUMLER (2007) zur Verkehrssicherheit von Außerortsknotenpunkten in Bayern wurden Kreisverkehre und Knotenpunkte mit LSA im Außerortsbereich und in Ortsrandlage betrachtet. Der Vergleich der ermittelten Unfallraten UR und UKR in Tabelle 9 zeigt in beiden Untersuchungen für kleine Kreisverkehre die höchste Verkehrssicherheit. Die höhere Verkehrssicherheit ergibt sich dabei sowohl aus einem geringeren Unfallrisiko (geringere UR) als auch einer geringeren Unfallschwere (stärkerer Rückgang der UKR als der UR) an außerörtlichen Kreisverkehren im Vergleich zu konventionellen Knotenpunkten.

BRILON & GEPPERT (2014) untersuchen die Verkehrssicherheit an zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren und Turbokreisverkehren. Dabei wurden u. a. drei außerörtliche Kreisverkehre untersucht. Die UR war an diesen Kreisverkehren mit 0,91 U/(10⁶·Kfz) geringfügig niedriger als an innerörtlichen Kreisverkehren mit 0,99 U/(10⁶·Kfz), Die UKR lag mit 12,7 €/(1.000·Kfz) hingegen an Außerortskreisverkehren über der innerörtlicher Kreisverkehre mit 11,6 €/(1.000·Kfz), was durch eine höhere Unfallschwere an den Außerortskreisverkehren zu erklären ist.

BRILON & DOERFEL (2017) geben einen Überblick zu mittleren UKR für verschiedene Kreisverkehrstypen und Ortslagen auf Basis ausgewählter Forschungsarbeiten – siehe Bild 32. Die Gegenüberstellung zeigt für kleine außerörtliche Kreisverkehre die zweithöchste UKR.

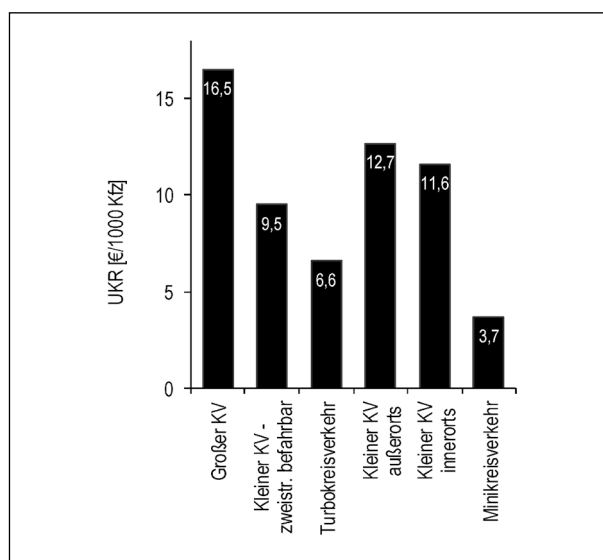


Bild 32: UKR für Kreisverkehrstypen | Deutschland (BRILON & DOERFEL, 2017)

International

HUBER & BÜHLMANN (1994) untersuchten im Auftrag der Schweizerischen Beratungsstelle für Unfallverhütung die Verkehrssicherheit von Kreisverkehren. Von den 130 untersuchten Kreisverkehren befanden sich 22 außerorts. Dabei zeigte sich vor allem für „Kleinkreisel“ (24 m ≤ D ≤ 32 m) mit einstreifigen Kreisfahrbahnen und Zufahrten Sicherheitsgewinne gegenüber konventionellen Knotenpunkten.

DOERFEL et al. (2015) analysieren die Verkehrssicherheit an 39 zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren, 50 großen Kreisverkehren (mit zwei markierten Fahrstreifen) und 8 Sonderformen (Spiral-, Turbo- oder Doppelkreisverkehr). Dabei ergab sich für Außerortskreisverkehre mit 0,37 U/(10⁶·Kfz)

eine geringere UR als für innerörtliche Kreisverkehre ($UR = 0,44 U/(10^6 \cdot Kfz)$).

Österreichische Untersuchungen bestätigen die hohe Verkehrssicherheit von Kreisverkehren. In der Steiermark untersuchten KRAINZ et al. (2007) Unfall- und Verunglücktenzahlen an 132 Kreisverkehren im Vorher-Nachher-Vergleich. Demnach sind für Knotenpunkte, die von der konventionellen Regelung zum Kreisverkehr umgebaut wurden sowohl Unfallanzahl allgemein als auch die Zahl der Unfälle mit Personenschaden gesunken. Die Zahl der Alleinunfälle hat jedoch zugenommen.

CHURCHILL et al. (2010) untersuchen die Verkehrssicherheit von Kreisverkehren im Vergleich zu konventionellen Knotenpunkten in den Niederlanden. Sowohl die Zahl der Unfälle als auch die Unfallschwere ist an Kreisverkehren geringer als an Einmündungen und Kreuzungen. Weiterhin untersuchen sie die Auswirkung der Umwandlung von Kreuzungen zu Kreisverkehren. Insgesamt wurden über 2.000 Kreisverkehre betrachtet, deren Baujahr zwischen 1999 und 2005 lag. Insgesamt konnte die Anzahl der Unfälle mit schweren Personenschaden um 46 % verringert werden.

HYDÉN & VÁRHELYI (2000) stellen bei der Untersuchung von Kreisverkehren in Schweden fest, dass die Unfallschwere von Unfällen an Kreisverkehren unter der von konventionellen Knotenpunkten liegt. So konnte die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden an Kreisverkehren um 44 % reduziert werden.

MAHDALOVÁ et al. (2010) untersuchen 86 kleine Kreisverkehre und 13 zweistreifige Kreisverkehre in Tschechien. Die kleinen Kreisverkehre weisen mit $0,50 U/(10^6 \cdot Kfz)$ eine deutlich kleinere UR auf als zweistreifige Kreisverkehre – $UR = 2,19 U/(10^6 \cdot Kfz)$. Weiterhin stellen MAHDALOVÁ et al. (2010) fest, dass die gefahrene Geschwindigkeit im Kreisverkehr vom Durchmesser der Mittelinsel sowie den Radien der Zufahrten abhängig ist und die gefahrenen Geschwindigkeit in Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen steht.

MAYCOCK & HALL (1984) untersuchen die Sicherheit vierarmiger Kreisverkehre in Großbritannien. Das Untersuchungskollektiv umfasste 36 Minikreisverkehre (Durchmesser Mittelinsel < 4 m, aufgeweitete Zufahrten) und 48 konventionelle Kreisverkehre (ein- und zweistreifige Zufahrten). Untersucht wurden die Unfallhäufigkeit ($U/(KV \cdot Jahr)$) und die UR ($U/(10^8 \cdot Kfz)$) für Unfälle mit Personenschaden.

Minikreisverkehre im Zuge von Strecken mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 50 bis 70 mph (80 bis 112 km/h) weisen hierbei die geringste Unfallhäufigkeit, jedoch nicht die geringste UR auf. Alleinunfälle treten vor allem an konventionellen Kreisverkehren auf.

RODEGERDTS et al. (2007) untersuchen die Verkehrssicherheit an neun außerörtlichen Kreuzungen in den Vereinigten Staaten, die in kleine Kreisverkehre umgebaut wurden. An den umgebauten Knotenpunkten konnte bei Betrachtung aller Unfälle eine Reduktion der Unfallzahlen um 72 % und bei Betrachtung der Unfälle mit Personenschaden eine Reduktion um 87 % festgestellt werden.

2.5.2 Unfallgeschehen durch Erkennbarkeitsdefizite

BRILON & BÄUMER (2004) untersuchten zweistreifig befahrbare Kreisverkehre sowie Kreisverkehre mit mehreren markierten Fahrstreifen im Kreis in Deutschland. Sie stellen fest, dass unabhängig von der Gestaltung der Kreisfahrbahn Fahrnfälle mit Aufprall auf die Kreisinsel auftreten. Der Anteil der Fahrnfälle lag für die untersuchten Außerortskreisverkehre bei etwa 13 %.

In der Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen in Deutschland untersuchen VIETEN et al. (2010) auch 36 Kreisverkehre. Dabei lag der Anteil von Fahrnfällen an Kreisverkehren bei 30 %, wo hingegen der Anteil der Fahrnfällen über alle Knotenpunkte bei nur 13 % lag.

Die Anzahl von Unfällen mit Personenschaden konnte durch die Umgestaltung von Kreuzungen in Kreisverkehre in der belgischen Region Flanders um durchschnittlich 34 % reduziert werden (BRABANDER et al., 2005). 59 % der Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren führten zum Aufprall auf ein Hindernis (Kreisinsel, Fahrbahnteiler, Lichtmasten). BRABANDER et al. (2005) erklären dies durch zu schnelles Zufahren auf den Kreisverkehr. Unfälle bei Dunkelheit machen 53 % dieser Unfälle aus (ANTOINE, 2005).

ISEBRANDS (2009) untersucht 17 Knotenpunkte an Landstraßen in den Vereinigten Staaten, die von Kreuzungen/Einmündungen in Kreisverkehre umgebaut wurden. Die Zahl der Getöteten konnte durch den Umbau um 100 % reduziert werden, die Zahl der Verletzten um 82 %. Durch den Umbau

nahm die Zahl der Unfälle mit Aufprall auf ein Hindernis deutlich zu. Ob dies nur Unfälle mit Aufprall auf die Kreisinsel, oder Aufprall auf andere Hindernisse umfasst, wird nicht benannt.

SCHROEDER et al. (2015) untersuchten das Unfallgeschehen an Kreisverkehren in den Vereinigten Staaten. In den Jahren 2005 bis 2013 wurden 46 Unfälle mit Getöteten an Kreisverkehren registriert. Von diesen Unfällen führten 39 Unfälle zu einem Aufprall auf ein Hindernis (z. B. Auffahren auf die Fahrbahnbegrenzung/Bordstein). 26 Unfälle standen in Zusammenhang mit überhöhten Geschwindigkeiten und 26 Unfälle ereigneten sich bei Dunkelheit. Beim Vergleich mit dem durchschnittlichen Unfallgeschehen an Landstraßenknotenpunkten in den Vereinigten Staaten sind die genannten Unfallumstände auffällig, da sie deutlich über Durchschnitt bezogen auf Unfälle mit Getöteten liegen. Aufgrund der geringen Stichprobe bei der Betrachtung der Unfälle mit Getöteten erweitern SCHROEDER et al. (2015) die Untersuchungsbasis um Unfälle mit Schwer- und Leichtverletzten für Kreisverkehre in Washington und Wisconsin. Der Anteil der Unfälle mit Schwerverletzten bei einem Aufprall auf ein Hindernis lag bei 41 % in Washington bzw. bei 59 % in Wisconsin. Der Anteil der Fahrnfälle bei Unfällen mit Schwerverletzten betrug 66 % (Washington) bzw. 54 % (Wisconsin). Der hohe Anteil an Unfällen bei Dunkelheit in Zusammenhang mit zu hohen Geschwindigkeiten und ohne Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmer deutet auf eine unzureichende Erkennbarkeit der Kreisverkehre hin. Als Maßnahmen werden in Anlehnung an RODEGERDTS et al. (2010) zusätzliche Beleuchtung, Verlängerung des Fahrbahnteilers und frühzeitige Markierung und Beschilderung empfohlen (SCHROEDER et al., 2015).

ARNDT & TROUTBECK (1998) untersuchen 100 innerstädtische und außerörtliche Kreisverkehre in Australien. Von den in fünf Jahren beobachteten 492 Unfällen waren 90 Unfälle Alleinunfälle, von diesen ereigneten sich wiederum 13 Unfälle in der Zufahrt und 13 Unfälle bei der Einfahrt in den Kreisverkehr. ARNDT & TROUTBECK (1998) entwickeln ein Unfallmodell für Alleinunfälle, welche die Anzahl der Alleinunfälle in Abhängigkeit der Verkehrsstärke und der Länge der im Kreis zu befahrenden Strecke erklärt.

2.5.3 Außendurchmesser

Der Einfluss des Außendurchmessers und des Durchmessers der Kreisinsel auf die Verkehrssicherheit von Kreisverkehren wurde in verschiedenen Studien untersucht. SPAHN & BÄUMLER (2007) ermitteln für große Außendurchmesser die höchsten UR und UKR – siehe Tabelle 10.

Auch DOERFEL et al. (2015) stellen für zweistreifige Kreisverkehre in der Schweiz bei steigenden Außendurchmessern eine Zunahme der Unfallanzahl fest – siehe Bild 33.

Auch JENSEN (2013) ermitteln für kleine Außerortskreisverkehre in Dänemark mit Außendurchmessern von 30 bis 40 m die höchste Verkehrssicherheit.

Im Gegensatz dazu beobachten MAHDALOVA et al. (2013) an tschechischen Außerortskreisverkehren für kleine Außendurchmesser größere UR. Eine mögliche Erklärung dafür bildet die Ausführung der Mittelinsel. Bild 34 zeigt die ungenügende Ablenkung durch die Kreisinsel an einem der untersuchten Kreisverkehre. Dieser Kreisverkehr weist eine UR von $3,07 \text{ U}/(10^6 \cdot \text{Kfz})$ auf.

Außen- durch- messer D	DTV [Kfz/24h]	Anzahl KV	UKR [€/1.000 Kfz]	UR [U/10 ⁶ Kfz]
D < 40 m	9.980	36	3,94	0,22
D = 40 m	10.437	80	8,96	0,38
D > 40 m	12.030	23	10,15	0,39

Tab. 10: Unfallkenngrößen für Kreisverkehre in Bayern in Abhängigkeit des Außendurchmessers D | Deutschland (SPAHN & BÄUMLER, 2007)

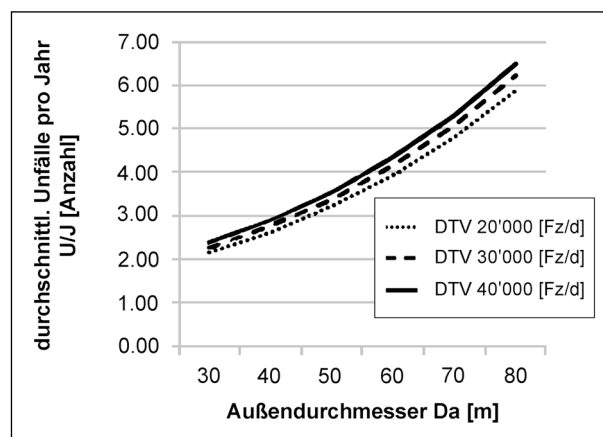


Bild 33: Unfallgeschehen in Abhängigkeit von der Größe des Außendurchmessers und dem DTV an zweistreifigen Kreisverkehren | Schweiz (DOERFEL et al., 2015)



Bild 34: Beispiel für Außerortskreisverkehr mit $D = 27\text{ m}$ | Tschechien (MAHDALOVA et al., 2013)

2.5.4 Ablenkung der Fahrzeuge

Die Sicherheitswirkung der Ablenkung durch die Kreisinsel bewerten u. a. BÜHLMANN & SPACEK (1997) an Schweizer Kreisverkehren. Es zeigt sich, dass die Größe der Ablenkung einen maßgeblichen Einfluss auf das Unfallgeschehen hat. Ablenkungswinkel $\beta > 40^\circ$ erzeugen ein hohes Maß an Verkehrssicherheit. Der Effekt wird jedoch vor allem durch den Rückgang von Einbiege-Unfällen und nicht durch vermiedene Fahrnfälle erklärt. DOERFEL et al. (2015) bestätigen den Einfluss der Ablenkung. Sie stellen mit zunehmendem Ablenkungswinkel einen Rückgang der durchschnittlichen jährlichen Unfallanzahl fest – siehe Bild 35. Vergrößert sich der Ablenkungswinkel β um 10° kann die durchschnittliche Unfallanzahl pro Jahr um 9 % reduziert werden. Folglich ist eine größtmögliche Ablenkung bei kleinstmöglichem Außendurchmesser anzustreben.

BURDETT et al. (2016) beobachten an amerikanischen Kreisverkehren, dass durch große Ablenkungswinkel die Anzahl der Auffahrunfälle in den Zufahrten vermindert werden kann.

MAYCOCK & HALL (1984) betrachten den Zusammenhang zwischen Kurvigkeit der Zufahrt (entry curvature) und Unfallgeschehen. Die Kurvigkeit der Zufahrt ergibt sich als Reziprok des Einfahrradius; Kleine Kurvigkeiten der Zufahrt bedeuten somit große Radien und somit eine geringe Ablenkung der Fahrzeuge. MAYCOCK & HALL (1984) stellen fest, dass bei größerer Kurvigkeit der Zufahrt die Anzahl der Alleinunfälle steigt – siehe Bild 36. Dies bedeutet, dass Zufahrten mit großen Radien (geringere Ablenkung) weniger Alleinunfälle aufweisen.

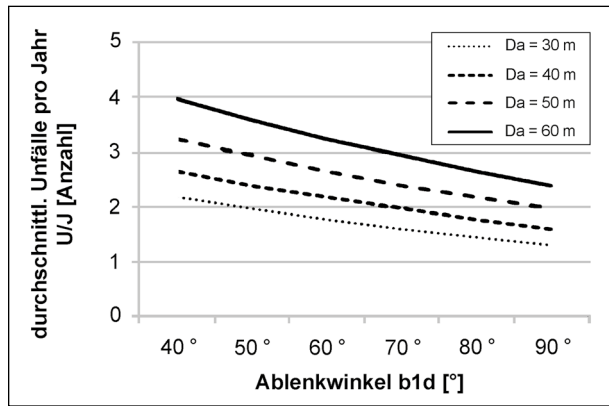


Bild 35: Unfallgeschehen in Abhängigkeit von dem Ablenkungswinkel und dem Außendurchmessern an großen Kreisverkehren | Schweiz (DOERFEL et al., 2015)

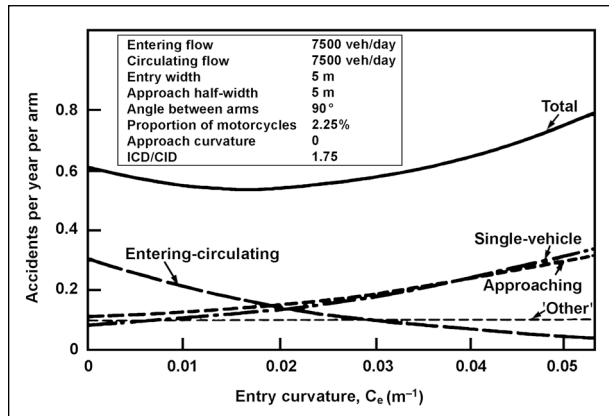


Bild 36: Einfluss der Kurvigkeit der Zufahrt auf das Unfallgeschehen an Kreisverkehren mit parallelen Zufahrten | Großbritannien (MAYCOCK & HALL, 1984)

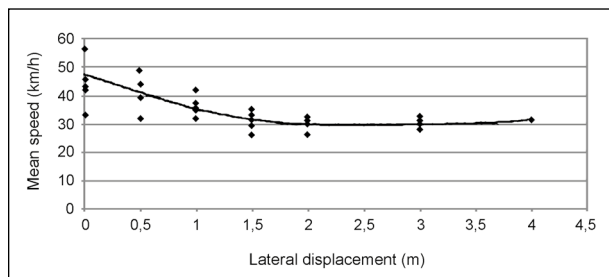


Bild 37: Ablenkungsmaß und Geschwindigkeit in der Zufahrt | Schweden (HYDÉN & VÁRHELYI, 2000)

HYDÉN & VÁRHELYI (2000) untersuchen den Einfluss des Ablenkungsmaßes auf das Geschwindigkeitsverhalten an zwölf innerstädtischen Kreisverkehren in Schweden. Das Ablenkungsmaß ist dabei wie in FGSV (2006) definiert. Bild 37 zeigt die Wirksamkeit der seitlichen Ablenkung auf das Geschwindigkeitsverhalten in der Zufahrt. Bei einem Ablenkungsmaß von 2 m ergibt sich eine mittlere Geschwindigkeitsreduktion von ca. 15 km/h im Vergleich zu einem Ablenkungsmaß von 0 m. Ablenk-

kungsmaße über 2 m haben keinen weiteren Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit in der Zufahrt.

2.5.5 Gestaltung der Kreisinsel

Der Einfluss der Gestaltung der Kreisinsel wurde hinsichtlich der Höhe der Insel und deren Gestaltung untersucht. JENSEN (2013) untersucht 265 Knotenpunkte in Dänemark, die in kleine Kreisverkehre umgebaut wurden. Die Höhe wurde dabei am höchsten Objekt auf der Kreisinsel gemessen und kann somit auch die Höhe einer Skulptur, der Bepflanzung oder Aufschüttung umfassen. Während die Bepflanzung als weitestgehend blickdurchlässig angesehen wird, werden Aufschüttungen und Skulptur als blickdicht beschrieben. Für außerörtliche Kreisverkehre ergibt sich in Tabelle 11 für die Kombination „hohe Kreisinselgestaltung“ und „blickdichter Aufbau“ der größte Rückgang der Unfallanzahl.

Gemäß JENSEN (2012) verringert sich bei höheren Kreisinseln vor allem die Unfallanzahl, nicht jedoch die Unfallschwere.

DANIELS et al. (2011) zeigen, dass Mittelinseln mit einer Höhe $\geq 0,5$ m sicherer für Motorrad- und Kradfahrende sind. Hierzu untersuchten sie 148 Kreisverkehre in Belgien. Dabei lagen 93 der untersuchten Kreisverkehre außerhalb bebauter Gebiete.

SCHURR & ABOS-SANCHEZ (2007) untersuchen das Geschwindigkeitsverhalten an einem innerstädtischen Kreisverkehr mit und ohne Bepflanzung der Kreisinsel. Die Messungen wurden an 12 Messpunkten in einem Vorher-/Nachher-Vergleich durchgeführt. An den vier Zufahrten wurden 45 m (Standorte 1, 2, 3, 4) und 3 m (Standorte 5, 6, 7, 8) vor der Überquerungsstelle auf dem Fahrbannteiler und auf Höhe des Fahrbannteilers (Standorte 9, 10, 11, 12) die Geschwindigkeiten gemessen. Durch die Bepflanzung der Kreisinsel ergaben sich in den Zufahrten signifikant niedrigere Geschwindigkeiten. Für die Messpunkte 45 m vor dem Kreisverkehr ergaben sich jedoch nur Reduktionen der Durchschnittsgeschwindigkeit um etwa 1 km/h, 3 m vor dem Kreisverkehr Reduktionen um etwa 2 km/h – siehe Bild 38.

Die Wirkung der Aufkantung der Kreisinsel untersuchen SPAHN & BÄUMLER (2007). Aufkantungen der Kreisinsel sind Aufpflasterungen von mindestens zwei Pflasterzeilen und werden vor allem in Ortsrandlage ausgebildet – siehe Bild 39.

Gestaltung	Höhe Mittelinsel	Anzahl Knotenpunkte	Unfälle vorher	Unfälle erwartet	Unfälle nachher	Vermeidungspotenzial	Signifikant
transparent	0 bis 1,9 m	24	185	120	48	60 %	ja
	2 bis 10 m	27	201	128	65	49 %	ja
blickdicht	0 bis 1,9 m	32	208	119	79	33 %	ja
	2 bis 10 m	21	166	92	26	72 %	ja

Tab. 11: Sicherheitswirkung der Umwandlung von Kreuzungen in kleine Kreisverkehre (alle Unfälle, außerorts, $20 \text{ m} \leq D < 40 \text{ m}$) in Abhängigkeit von der Höhe und Gestaltung der Kreisinsel | Dänemark (JENSEN, 2013)

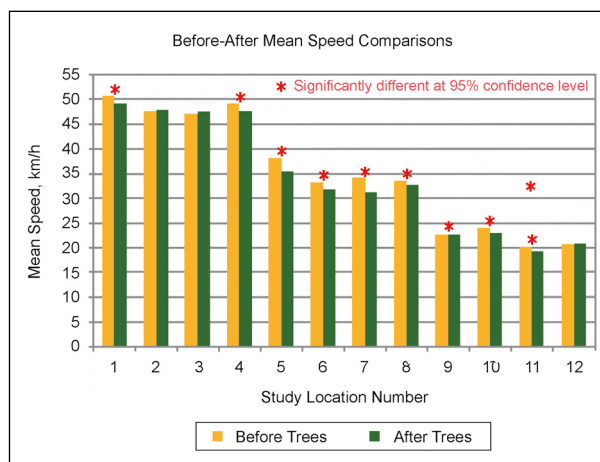


Bild 38: Vorher-/Nachher-Vergleich der Durchschnittsgeschwindigkeit in Kreisverkehrszufahrten | Vereinigte Staaten (SCHURR & ABOS-SANCHEZ, 2007)



Bild 39: Beispiel für einen Kreisverkehr mit Aufkantung zur Mittelinsel | Deutschland (SPAHN & BÄUMLER, 2007)

Die Untersuchung ergab, dass Kreisverkehre mit Aufkantung deutlich höhere UKR im Vergleich zu Kreisverkehren ohne Aufkantung aufweisen – siehe Tabelle 12. Die UR sind nahezu identisch. Dies zeigt, dass Aufkantungen kaum Einfluss auf die

Einfassung Kreisinsel	DTV [Kfz/24h]	Anzahl KV	UKR [€/1.000 Kfz]	UR [U/10 ⁶ Kfz]
mit Aufkantung	9.620	22	10,82	0,38
ohne Aufkantung	10.763	117	7,45	0,33

Tab. 12: Unfallkenngrößen für Kreisverkehre in Bayern mit und ohne Aufkantung | Deutschland (SPAHN & BÄUMLER, 2007)

Erkennbarkeit eines Kreisverkehres haben. Wenn jedoch ein Unfall mit Aufprall auf die Kreisinsel auftritt, hat dieser im Mittel bei Kreisverkehren mit Aufkantung schwerere Folgen.

2.5.6 Führung der Zufahrt

Bezüglich der Gestaltung der Zufahrt empfiehlt STUWE (1992) eine möglichst senkrechte Führung zum Kreis. Diese Empfehlung dient jedoch der Vermeidung von Auffahrunfällen in der Zufahrt, nicht der Erkennbarkeit des Knotenpunktes. Auch die Untersuchung von SPAHN & BÄUMLER (2007) zeigt, dass der Anteil an Unfällen mit Personenschaden an abgekröpften Zufahrten deutlich höher ist als bei geradliniger Führung der Zufahrt.

BRÜDE & LARSSON (2000) hingegen empfehlen auf Grundlage einer Untersuchung in Schweden die Aufweitung der Zufahrt nach links, da dies die gefahrenen Geschwindigkeiten reduziert. Zu den schwedischen Regelwerken liegen jedoch keine Informationen vor, weshalb eine Einordnung dieser Empfehlung nicht möglich ist.

Erkenntnisse zur Sicherheitswirkung des Einfahrwinkels liefern BÜHLMANN & SPACEK (1997). Sie untersuchten 32 Kreisverkehre, von denen vier außerorts liegen. Für kleine Einfahrwinkel α (vgl. Bild 10) wurden höhere Unfallzahlen festgestellt. Dies weist auf eine höhere Verkehrssicherheit bei radialer Führung der Zufahrten hin.

SPAHN & BÄUMLER (2007) ermitteln für Kreisverkehre in Bayern geringere UR und UKR bei tangentialer Führung der Zufahrten (kleine Einfahrwinkel) – siehe Tabelle 13. Die Schweizer Untersuchung von DOERFEL et al. (2015) unterstützt diese Erkenntnis. Je größer der Einfahrwinkel α in den Kreisverkehr ist, desto mehr Unfälle werden im Jahr erwartet. Demnach führt die tangentiale Führung der Zufahrten zu geringeren Unfallzahlen als die radiale Führung.

Führung der Zufahrt	DTV [Kfz/24h]	Anzahl KV	UKR [€/1.000 Kfz]	UR [U/10 ⁶ Kfz]
radial	10.532	87	8,75	0,39
tangential	10.677	52	6,61	0,27

Tab. 13: Unfallkenngrößen für Kreisverkehre in Bayern mit radialer und tangentialer Führung der Zufahrt | Deutschland (SPAHN & BÄUMLER, 2007)



Bild 40: Beispiele für Fahrbahnteilerformen (von links nach rechts: Parallel, Dreiecksform- und angepasste Bordführung (Elefantenfuß)) | Dänemark (JENSEN, 2013)

BÜHLMANN & SPACEK (1997) betrachten kleine Einfahrwinkel $\alpha < 50^\circ$, während DOERFEL et al. (2015) Einfahrwinkel α von 30° bis 92° untersuchen. Dies kann eine Erklärung für die abweichende Bewertung kleiner Einfahrwinkel bilden. Weiterhin ist anzumerken, dass die Untersuchung von DOERFEL et al. (2015) sich auf zweistreifige Kreisverkehre beschränkt.

JENSEN (2013) betrachtet den Einfluss der Form des Fahrbahnteilers, welche einen starken Einfluss auf den Einfahrwinkel hat. In der Untersuchung wurden parallele Fahrbahnteiler sowie Fahrbahnteiler in Dreiecksform- und mit angepasster Bordführung (Elefantenfuß) betrachtet – siehe Bild 40. Für kleine außerörtliche Kreisverkehre mit parallelen Fahrbahnteilern ergab sich die höchste Verkehrssicherheit. Die zweitsicherste Führungsform bildeten Fahrbahnteiler mit angepasster Bordführung (Elefantenfuß).

2.5.7 Kurvigkeit im Annäherungsbereich

Der Einfluss der Kurvigkeit im Annäherungsbereich (approach curvature) wird von MAYCOCK & HALL (1984) untersucht. Dazu ermitteln sie den Kurvenradius der Strecke im Bereich 400 bis 500 m vor dem Kreisverkehr – siehe Bild 41. Zur Kurvigkeit des Annäherungsbereiches werden in The Highways Agency (2007) keine konkreten Angaben gemacht, sondern auf die allgemeinen Vorschriften zur Trassierung von Strecken verwiesen.

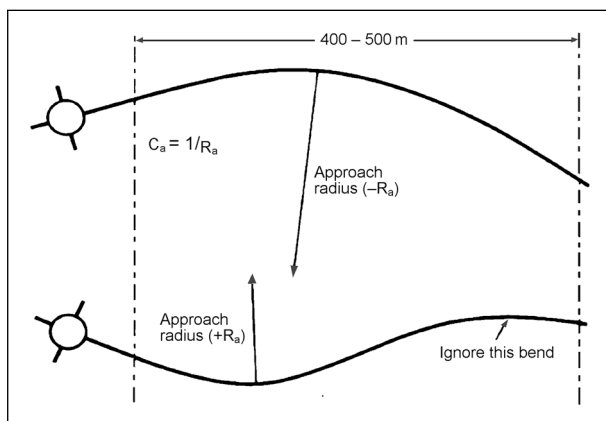


Bild 41: Ermittlung der Kurvigkeit im Annäherungsbereich von Kreisverkehrszufahrten | Großbritannien MAYCOCK & HALL (1984)

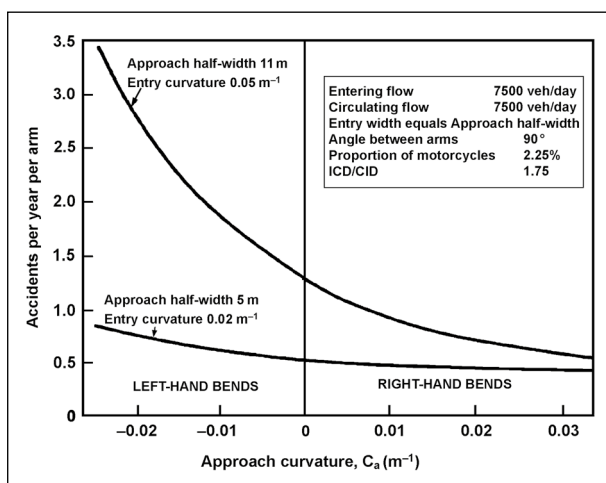


Bild 42: Einfluss der Kurvigkeit im Annäherungsbereich von Kreisverkehrszufahrten auf das Unfallgeschehen | Großbritannien (MAYCOCK & HALL, 1984)

Die Kurvigkeit ist gerichtet und hat in Abhängigkeit der Richtung des Radius ein positives (Rechtskurve) oder negatives (Linkskurve) Vorzeichen. Bild 42 zeigt, dass Zufahrten mit einer Linkskurve im Annäherungsbereich des Kreisverkehrs ein höheres Unfallaufkommen haben als Zufahrten mit einer Rechtskurve.

Weiterhin zeigen die beiden Grafiken in Bild 42 den Einfluss unterschiedlicher Fahrstreifenbreiten im Annäherungsbereich (approach half width). Für eine Kurvigkeit der Zufahrt (siehe Erläuterungen zu Bild 36) von $0,02 \text{ m}^{-1}$ und einer Fahrstreifenbreite der Zufahrt von 5 m ergibt sich die geringste mittlere Unfallanzahl über alle Unfalltypen. Bei dieser Gestaltung der Zufahrt hat die Kurvigkeit im Annäherungsbereich einen sehr geringen Einfluss auf die Unfallanzahl. Lediglich für Linkskurven mit kleinen Radien steigen die Unfallzahlen leicht an.

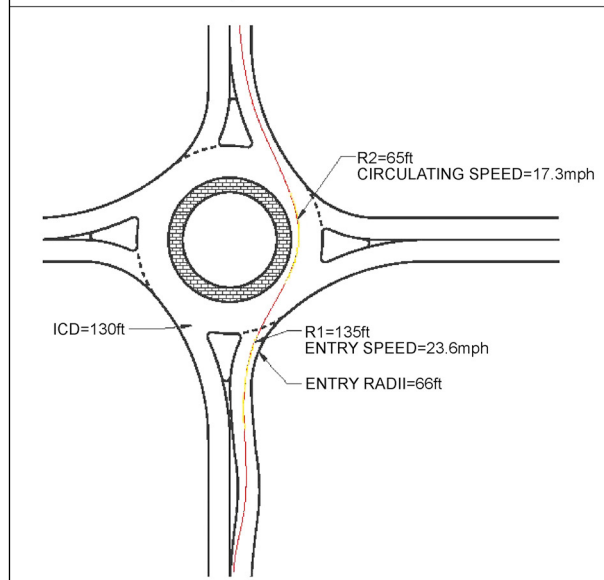
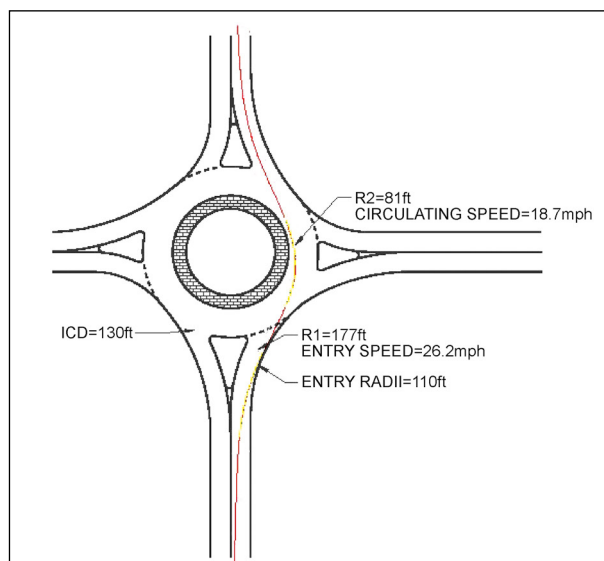


Bild 43: Schnellste Befahrungslinie ohne Aufweitung des Fahrbahnteilers in der Zufahrt (obere Grafik) und schnellste Befahrungslinie mit Aufweitung des Fahrbahnteilers in der Zufahrt (untere Grafik) | Vereinigte Staaten (RITCHIE & LENTERS, 2005)

Bei einer Kurvigkeit der Zufahrt von $0,05 \text{ m}^{-1}$ und einer Fahrstreifenbreite der Zufahrt von 11 m hat die Kurvigkeit im Annäherungsbereich einen deutlich größeren Einfluss. Für hohe Kurvigkeitwerte in Linkskurven steigen die Unfallzahlen überproportional stark an. Für Rechtskurven wirkt sich eine hohe Kurvigkeit eher positiv auf das Unfallgeschehen aus.

RITCHIE & LENTERS (2005) empfehlen auf Grundlage einer qualitativen Untersuchung von fünf Kreisverkehren an Landstraßen das Erzeugen von Radien in der Zufahrt. Dies ist durch Verlängerung und Aufweitung des Fahrbahnteilers gemäß Bild 43 möglich. Durch die Aufweitung wird eine Geschwin-

digkeitsreduktion in der Zufahrt von 2 mph (3 km/h) erwartet. Auswirkungen auf das Unfallgeschehen (z. B. mögliches Auffahren auf den aufgeweiteten Fahrbahnteiler) werden jedoch nicht diskutiert. Auch RAY et al. (2008) empfehlen diese Gestaltung. Sie erzeugt eine seitliche Ablenkung und vermindert die Geschwindigkeit schon in der Zufahrt. Zusätzlich zur Krümmung soll die zulässige Geschwindigkeit vermindert oder eine empfohlene geringere Geschwindigkeit angeordnet werden. Bei Zufahrten mit Gefälle soll diese Maßnahme nicht angewendet werden.

ARNDT & TROUTBECK (1998) untersuchen den Zusammenhang zwischen der UR von Alleinunfällen und den Kurvenradius im Annäherungsbereich. Für große Kurvenradien im Annäherungsbereich eines Kreisverkehrs ergeben sich die geringsten UR – siehe Bild 44. Auf Basis dieser Erkenntnis emp-

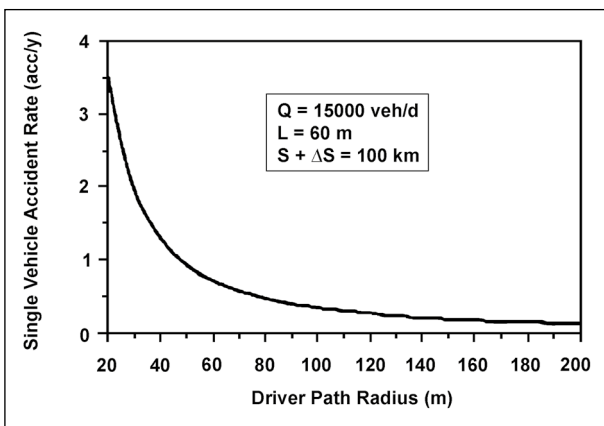


Bild 44: UR der Alleinunfälle in Abhängigkeit von dem Kurvenradius im Annäherungsbereich | Australien (ARNDT & TROUTBECK, 1998)

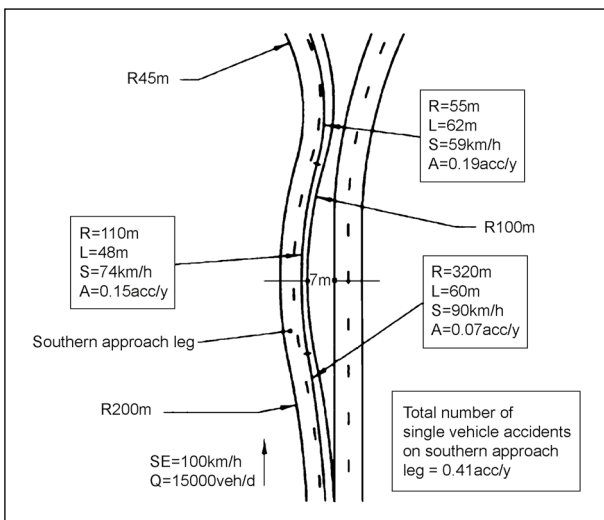


Bild 45: Aufweitung des Fahrbahnteilers mit drei Kurven | Australien (ARNDT & TROUTBECK, 1998)

fehlen ARNDT & TROUTBECK (1998) die Aufweitung des Fahrbahnteilers wie in Bild 45 dargestellt. Durch die Aufweitung durchfahren die Fahrzeugführenden drei kurze Elemente mit kleiner werdenden Radien, was zur Senkung der Geschwindigkeit und damit der Unfallzahl führt.

2.5.8 Sichtweiten

BÜHLMANN & SPACEK (1997) ermitteln keinen Zusammenhang zwischen der Sichtweite nach links (in der Kreisverkehrszufahrt) und Fahrunfällen. TURNER et al. (2009) beobachten hingegen bei geringeren Sichtweiten nach rechts einen Rückgang der Fahrunfällen. Die Sichtweite nach rechts ist in Neuseeland (Linksverkehr) dabei gleichzusetzen mit der Sichtweite nach links in der Schweiz (Rechtsverkehr). TURNER et al. (2009) erheben die Sichtweite 10 m vor der Wartelinie, während BÜHLMANN & SPACEK (1997) diese 50 m vor der Wartelinie erfassen.

Weiterhin stellen TURNER et al. (2009) bei geringen Einfahrgeschwindigkeiten einen Rückgang der Unfallzahlen fest. Für die Einfahrgeschwindigkeiten stellen sie einen Zusammenhang mit den vorhandenen Sichtweiten her – siehe Bild 46.

BÜHLMANN & SPACEK (1997) erheben den Einfluss der Sichtweiten in Bezug zur Erfassungsdistanz (in Abhängigkeit der zulässigen Geschwindigkeit). Ist die vorhandene Sichtweite kleiner als 2/3 der Erfassungsdistanz, steigt die Anzahl der Fahrunfälle. Das Vorhandensein eines Vorwegweisers in der Zufahrt hat gemäß BÜHLMANN & SPACEK (1997) in diesem Zusammenhang einen negativen Einfluss.

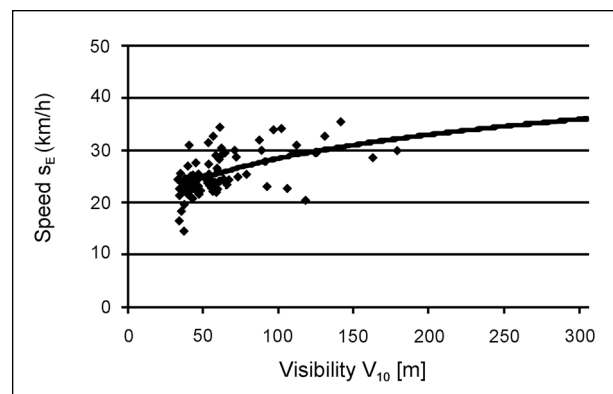


Bild 46: Zusammenhang zwischen Sichtweite und Geschwindigkeit in der Kreisverkehrszufahrt | Neuseeland (TURNER et al., 2009)

2.5.9 Markierung und Beschilderung

Zur Markierung und Beschilderung von Kreisverkehrszufahrten führt JENSEN (2013) eine Untersuchung durch. Betrachtet wird der Annäherungs- und unmittelbare Zufahrtsbereich von bis zu 340 m vor der Wartelinie. Erhoben wurden die Anzahl der Verkehrszeichen und Markierungselemente und der Abstand zwischen Wartelinie und der ersten Markierung der Zufahrt.

Mit zunehmender Anzahl an Verkehrszeichen und Fahrbahnmarkierungen nimmt die Sicherheit außerörtlicher Kreisverkehre signifikant zu – siehe Tabelle 14. Weiterhin zeigt sich eine Zunahme der Sicherheit durch frühzeitige Information der Fahrzeugführenden – siehe Tabelle 15. Mit großer Entfernung des ersten Verkehrszeichens in der Zufahrt von der Wartelinie ergibt sich ein hohes Sicherheitsniveau. Die Sicherheit steigt jedoch nicht mit

Mittlere Anzahl an Verkehrszeichen und Markierungen je Zufahrt	Anzahl Knotenpunkte	Unfälle vorher	Unfälle erwartet	Unfälle nachher	Vermeidungspotenzial	Signifikant
1	24	161	103	56	45 %	ja
1,25 bis 2	27	521	324	171	47 %	ja
2,25 bis 7	19	153	88	38	57 %	ja

Tab. 14: Sicherheitswirkung der Umwandlung von Kreuzungen in kleine Kreisverkehre (alle Unfälle, außerorts, 20 m $\leq D < 40$ m) in Abhängigkeit von der Anzahl der Verkehrszeichen und Markierung in den Zufahrten | Dänemark (JENSEN, 2013)

Abstand von der Wartelinie bis zum ersten Verkehrszeichen oder Markierung in der Zufahrt	Anzahl Knotenpunkte	Unfälle vorher	Unfälle erwartet	Unfälle nachher	Vermeidungspotenzial	Signifikant
51 bis 100 m	6	23	13	10	22 %	nein
101 bis 150 m	17	96	60	23	62 %	ja
151 bis 200 m	34	267	169	94	44 %	ja
201 bis 250 m	49	377	238	128	46 %	ja
251 bis 340 m	14	93	44	18	59 %	ja

Tab. 15: Sicherheitswirkung der Umwandlung von Kreuzungen in kleine Kreisverkehre (alle Unfälle, außerorts, 20 m $\leq D < 40$ m) in Abhängigkeit von der Anzahl der Verkehrszeichen und Markierung in den Zufahrten | Dänemark (JENSEN, 2013)

zunehmendem Abstand. Die besten Ergebnisse zeigen sich für Abstände von 100 bis 150 m und 250 m bis 340 m. Die beschriebenen Effekte ergeben sich dabei ohne Berücksichtigung des Einflusses der Höhe der Kreisinsel – vgl. Kapitel 2.5.5.

BURDETT et al. (2016) stellen für mehrstreifige Zufahrten eine Reduktion der Auffahrunfälle durch Sägezahnmarkierung (vgl. Bild 20) fest. In einstreifigen Zufahrten wirkt die „YIELD“-Markierung Auffahrunfällen entgegen.

Die Wirkung von Rüttelstreifen in Kreisverkehrszufahrten untersucht ISEBRANDS (2011). Sie bewertet das Geschwindigkeitsverhalten in den Zufahrten an vier außerörtlichen Kreisverkehren in den Vereinigten Staaten. Drei der Kreisverkehre haben Rüttelstreifen, die in der Zufahrt ca. 260 m bis 700 m vor der Wartelinie aufgebracht sind. Ein Kreisverkehr hat keine Rüttelstreifen, ist hinsichtlich der Beschilderung jedoch identisch zu den Kreisverkehren mit Rüttelstreifen. Es zeigt sich, dass Rüttelstreifen zu einer signifikanten Verringerung der Geschwindigkeiten im Annäherungs- und unmittelbaren Zufahrtsbereich führen – siehe Tabelle 16.

Auch CHRYSLER et al. (2017) untersuchen die Wirkung zusätzlicher Markierungen in der Zufahrt. Durch das Aufbringen von optical speed bars bzw. transverse pavement markings (siehe Bild 47 bzw. Bild 48) werden maximale Geschwindigkeitsreduktionen von 4,5 mph bzw. 9 mph erwartet.

Als zusätzliche Beschilderung empfehlen CHRYSLER et al. (2017) Warntafeln zur Ankündigung des Kreisverkehrs mit oder ohne Blinklicht – siehe Bild 49. Die resultierende Geschwindigkeitsreduktion wird mit 0,2 mph bis 1,8 mph (mit Blinklicht) und 1,3 mph (ohne Blinklicht) eingeschätzt. Die Anordnung der Verkehrszeichen soll in Abhängigkeit von

Entfernung zur Wartelinie	Durchschnittsgeschwindigkeit		Geschwindigkeitsdifferenz	Signifikant
	mit Rüttelstreifen	ohne Rüttelstreifen		
30 m	22,1 mph	26,4 mph	4,3 mph	ja
75 m	32,2 mph	35,5 mph	3,3 mph	ja
150 m	42,4 mph	45,3 mph	2,9 mph	ja
450 m	50,4 mph	53,9 mph	3,4 mph	ja

Tab. 16: Durchschnittliche Geschwindigkeiten in der Zufahrt an Kreisverkehren mit und ohne Rüttelstreifen | Vereinigte Staaten (Isebrands, 2011)

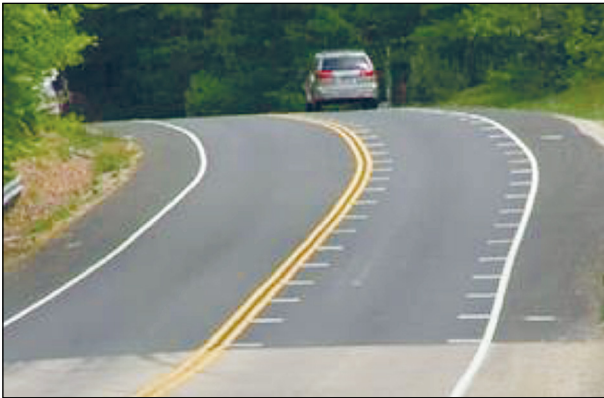


Bild 47: Beispiel für Optical speed bars | Vereinigte Staaten (CHRYSLER et al., 2017)



Bild 48: Beispiel für traverse pavement markings | Vereinigte Staaten (CHRYSLER et al., 2017)



Bild 49: Warntafel mit und ohne Blinklicht | Vereinigte Staaten (CHRYSLER et al., 2017)

Beleuchtung	DTV [Kfz/24h]	Anzahl KV	UKR [€/1000 Kfz]	UR [U/10 ⁶ Kfz]
mit	11.187	68	5,79	0,25
ohne	10.003	71	10,28	0,44

Tab. 17: Unfallkenngrößen für Kreisverkehre in Bayern mit und ohne Beleuchtung | Deutschland (SPAHN & BÄUMLER, 2007)

der zulässigen Geschwindigkeit etwa 70 bis 200 m vor dem Kreisverkehr erfolgen.

2.5.10 Beleuchtung

Den Sicherheitseinfluss von Beleuchtung an Außerortsknotenpunkten (Einmündungen und Kreuzungen) untersuchen PRESTON & SCHOENECKER (1999), ISEBRANDS et al (2004), HALLMARK et al. (2008) und DONDELL et al. (2009).

PRESTON & SCHOENECKER (1999) ermitteln eine UR von 0,47 U/(10⁶·Kfz) für beleuchtete Knotenpunkte in Minnesota (N = 259) und 0,63 U/(10⁶·Kfz) für unbeleuchtete Knotenpunkte (N = 3.236). Des Weiteren beobachten sie eine Reduktion der nächtlichen Unfälle um 25 % an beleuchteten Knotenpunkten im Vergleich zu unbeleuchteten Knotenpunkten.

ISEBRANDS et al (2004) hingegen stellten für beleuchtete Knotenpunkte in Minnesota (N = 223) mit 0,44 U/(10⁶·Kfz) eine höhere UR als für unbeleuchtete Knotenpunkte (N = 3.399) mit UR = 0,36 U/(10⁶·Kfz) fest. Eine mögliche Ursache hierfür bildet die Korrelation zwischen unfallauffälligen Knotenpunkten und der Installation einer Beleuchtung.

HALLMARK et al. (2008) bewerteten 223 außerörtliche Knotenpunkte in Iowa. Unbeleuchtete Knotenpunkte haben in der Dreijahresbetrachtung einen höheren Anteil (38 %) an nächtlichen Unfällen als beleuchtete Knotenpunkte (28 %). Durch frühzeitige Beschilderung, Leuchtbaken, retroreflektierende Verkehrsschilder und Rüttelstreifen in der Zufahrt kann laut FITZPATRICK et al. (2002) solchen Unfälle entgegengewirkt werden. HALLMARK et al. (2008) konnten dies in ihrer Untersuchung nicht belegen.

Konkrete Untersuchungen zur Sicherheitswirkung von Beleuchtung an Kreisverkehren liefen SPAHN & BÄUMLER (2007). Sie stellen für Kreisverkehre mit Beleuchtung eine Reduktion der UR und der UKR um ca. 50 % gegenüber unbeleuchteten Kreisverkehren fest – siehe Tabelle 17. Die Betrachtung erfolgt dabei unabhängig von der Lage der Kreisverkehre. Die Beleuchtung von Kreisverkehren in Deutschland wird insbesondere in Ortsrandlage und innerorts vorgesehen, weshalb die Bewertung des Kriteriums Beleuchtung ohne Differenzierung nach Ortslage kritisch einzustufen ist.

2.6 Wahrnehmungspsychologische Untersuchungen

2.6.1 Einordnung

In der wahrnehmungspsychologischen Betrachtung soll das Erkennen und Begreifen des Knotenpunktes sowie die globalen Wahrnehmungsbedingungen in Gegenüberstellung von Tag- versus Nachtsituation beschrieben werden.

Bei Tageslicht sind die geometrische Sichtbarkeit (Verdeckung usw.) sowie das visuelle Auflösungsvermögen (Sehschärfe, Lesbarkeit usw.) relevant. Für die Nachtsituation kommen lichttechnische Infrastruktur- und Fahrzeugmerkmale und die Kontrast- und Blendempfindlichkeit von Kraftfahrenden hinzu. Eine besondere Rolle kommt retroreflektierenden Oberflächen zu.

Hierzu gehören die Verkehrszeichen und weitere Straßenausstattungen wie z. B. die Nachtkennzeichen an Leitpfosten und die Fahrbahnmarkierung. Ihre Sichtbarkeit hängt vom Zusammenspiel aus Rückstrahlvermögen der Oberflächen, der Lichtstärke der Fahrzeugscheinwerfer in der relevanten Richtung sowie der komplexen Geometrie aus Augpunkt der Kraftfahrenden, Fahrzeug und Oberfläche im dreidimensionalen Verkehrsraum ab.

Schließlich können auch psychologische Aspekte wie die Erfassungsgeschwindigkeit relevant sein.

2.6.2 Fahrregulation

Verkehrsteilnehmende sind in der Annäherung und beim Befahren von Kreisverkehren mit Aufgaben mehrerer Ebenen der hierarchischen Fahrregulation konfrontiert. Grundsätzlich unterscheidet die Literatur in Navigation sowie Manöver- und Kontrollebene (z. B. MICHON, 1985 und WELLER, 2009).

Die Navigation betrifft den Abgleich zwischen eigenem Fahrtziel und Fahrweg. Die eigene Ausfahrt aus der Kreisfahrbahn kann je nach Umstand während der Annäherung oder der Befahrung der Kreisfahrbahn identifiziert werden.

Manöver sind abgrenzbare Verhaltenssequenzen im Fahrtverlauf wie etwa Kurvenfahrt versus Fahrt auf der Geraden. Wenn eine deutliche Änderung des Fahrverhaltens erforderlich ist, muss das angemessene Manöver rechtzeitig ausgewählt werden. Hierfür ist eine ausreichende Voraussicht erforderlich.

Kreisverkehre an Landstraßen erfordern grundsätzlich einen Manöverwechsel gegenüber der freien Strecke. In jedem Fall muss die Geschwindigkeit gegenüber der freien Strecke erheblich reduziert werden. Ein zu spätes Erkennen oder ungenügendes Begreifen des Knotenpunktes kann sicherheitskritisch sein.

Die Kontrollebene umfasst die unmittelbaren Bedienhandlungen des Fahrzeuges. Je nach Situation können deutliche Unterschiede in diesbezüglichen Anforderungen resultieren. Ebenfalls gehen Merkmale des Fahrzeuges ein (Zweirad, Personen- oder Lastkraftwagen bzw. Bus). Die höchsten Anforderungen auf der Kontrollebene bestehen für die Einfahrt in und die Ausfahrt aus der Kreisfahrbahn. Eine zu hohe Geschwindigkeit wirkt sich in diesen Bereichen am deutlichsten aus.

Die verschiedenen Ebenen der Fahrregulation werden als parallele Prozesse mit je nach Aufwand und Situation unterschiedlicher Schwerpunktsetzung bewältigt. Je stärker die bewusste Zuwendung auf einen bestimmten Aspekt ist, umso weniger Kapazität steht für andere Aspekte zur Verfügung (SCHNEIDER & SHIFFRIN, 1977; RANNEY, 1994).

Die Fahrzeugkontrolle ist eine permanente Aufgabe im fahrenden Fahrzeug. Sie ist für geübte Fahrzeugführende in den meisten Situationen ein hochgradig automatisiertes Verhalten. Bei geringer Voraussicht kann eine bewusste Zuwendung nötig werden.

Die Manöverauswahl benötigt bei ausreichender Voraussicht und Ortskenntnis ebenfalls nur geringe bewusste Zuwendung. Ortsunkundige Fahrzeugführende haben diesbezüglichen einen höheren Aufwand. Dies trifft ebenso auf die Navigationsaspekte zu.

2.6.3 Informationsträger bei Annäherung an Kreisverkehre

In der Annäherung benötigen Fahrzeugführende Hinweise auf einen Knotenpunkt mit Wartepflicht und auf die Knotenpunktform „Kreisverkehr“. Mehrere hundert Meter entfernt kann dies zuweilen durch die Gesamtsituation erkennbar sein. Darüber hinaus können die Gestaltung der unmittelbaren Knotenpunktzufahrt mit Fahrbahnteiler, vorgelagerter Markierung (Zeichen 298) und Beschilderung (Zeichen 222-20 mit Zeichen 605-24 beziehungsweise Zeichen 626-20) sowie die Kreisinsel selbst (z. B. als

auftragender Bereich mit rechtsweisender Richtungstafel Zeichen 625-2X) Informationsträger sein.

Von diesen ist nur die Mittelinsel eine eindeutige Informationsgrundlage zum Erkennen der speziellen Knotenpunktform. Weitere eindeutige verkehrstechnische Informationsträger sind, insofern vorhanden, der Vorwegweiser oder Zeichen 205 „Vorfahrt gewähren“ – siehe Tabelle 7. Diese können getrennt oder integriert ausgeführt sein. Die Reihenfolge ist bei getrennter Ausführung nicht einheitlich. Auch der Abstand variiert stark. Über die konkrete Knotenpunktgestalt (Anzahl der Knotenpunktarme und deren Lagebeziehung) bietet nur der Vorwegweiser Hinweise. Allerdings dürfen die auf Vorwegweisern zu Kreisverkehren dargestellten Richtungen ausschließlich 45° , 90° , 135° oder 180° zueinander abgebildet werden (BMVBW, 2000).

Schließlich ist das Zeichen 215 (Kreisverkehr) an jeder Zufahrt wenige Meter vor Erreichen der Kreisfahrbahn eine relevante Information.

2.6.4 Befahrungsorientierte Diskussion

Besondere Anforderungen können auftreten, wenn die Geschwindigkeit in der Annäherung nicht genügend reduziert wurde. Dies ist unter anderem möglich, wenn der Kreisverkehr zu spät erkannt oder falsch eingeschätzt wurde.

Oft muss nur bis zu der für die Einfahrt angemessenen Geschwindigkeit abgebremst werden. Welches die angemessene Geschwindigkeit ist, ist nur aus eigener Erfahrung sowie der aktuellen Wahrnehmung ersichtlich. Viele dafür relevante Merkmale können, wenn überhaupt nur durch Betrachtung aus kurzer Entfernung visuell eingeschätzt werden. Die infrastrukturell angemessene Befahrungsgeschwindigkeit kann sich deutlich zwischen Zufahrten eines Kreisverkehrs und zwischen Kreisverkehren unterscheiden (verschiedene Durchmesser, Neigungen und Breiten der Kreisfahrbahn (siehe Kapitel 2.2.5), von Zufahrten (vgl. Ausführungen in Kapitel 2.2.6 und 2.5.6) oder durch Anzahl, Winkel und Längsneigungsdifferenz der verbundenen Straßenachsen). Für den Fall eines vorfahrtberechtigten Fahrzeuges auf der Kreisfahrbahn kann ein Anhalten notwendig sein.

Eine mögliche Hilfestellung können Beschilderungen zulässiger Geschwindigkeiten oder sonstige geschwindigkeitsregulierende Gestaltungen darstellen. In welchem Maße und unter welchen Bedin-

gungen in der Praxis Geschwindigkeitsanordnungen im Annäherungsbereich an außerörtliche Kreisverkehre erfolgen, kann nicht abgeschätzt werden. Geeignete Hinweise auf besonders langsam oder schwierig zu befahrende Kreisverkehre könnten ebenfalls positiv wirken.

In Kreisverkehren ist eine alternative Manöverentscheidung zwischen „ausfahren“ versus „auf Kreisfahrbahn bleiben“ nötig. Parallel bestehen häufig weitere komplexe Anforderungen (Kurvenfahrt, kurz nach Einfahrt deutlicher Richtungswechsel, schräge Annäherung an die Ausfahrt usw.).

Manchmal sind Fahrzeugführende während der Befahrung auch mit der Navigation befasst. Dadurch können Ressourcen zu gewissem Teil gebunden sein, während parallel die Anforderungen der Manöver- und vor allem Kontrollebene erfüllt werden müssen.

2.6.5 Wahrnehmungsorientierte Diskussion

Dem Vorwegweiser kommt eine herausragende Bedeutung zu. Er ist Träger vieler Informationen, die fahrregulatorisch für alle Ebenen höchst relevant sein können. Daher ist der Sichtbarkeitsverlauf auf den Vorwegweiser während der Annäherung wichtig.

Die geometrische Sichtbarkeitsentfernung für ein Gesamtzeichen dieser Größe beträgt unter Tagesbedingungen mehrere hundert Meter. Verdeckungen können diese vermindern. Unter Nachtbedingungen kommt gegenüber der Tagessituation die reduzierte Beleuchtungswirkung der Fahrzeugscheinwerfer hinzu. Außerdem kann die räumliche Linienführung die Beleuchtung einschränken. ZWAHLEN (1995) stellt das Erkennen von Beschilderung in der Annäherung nach Bild 50 dar.

Die Knotenpunktform ist durch das Schema gegeben. Die Erkennungsentfernung für dieses Schema kann nur grob abgeschätzt werden. Sie dürfte höher als die Lesbarkeitsentfernung der Ortsbezeichnungen ausfallen.

Vorwegweiser vor Kreisverkehren ähneln im Gesamtschema Vorwegweisern vor Kreuzungen. Daher könnten Fahrzeugführende unter Umständen erst bei intensiverer Betrachtung in kürzerer Entfernung die Information der Knotenpunktform als solche wahrnehmen (Bild 51).

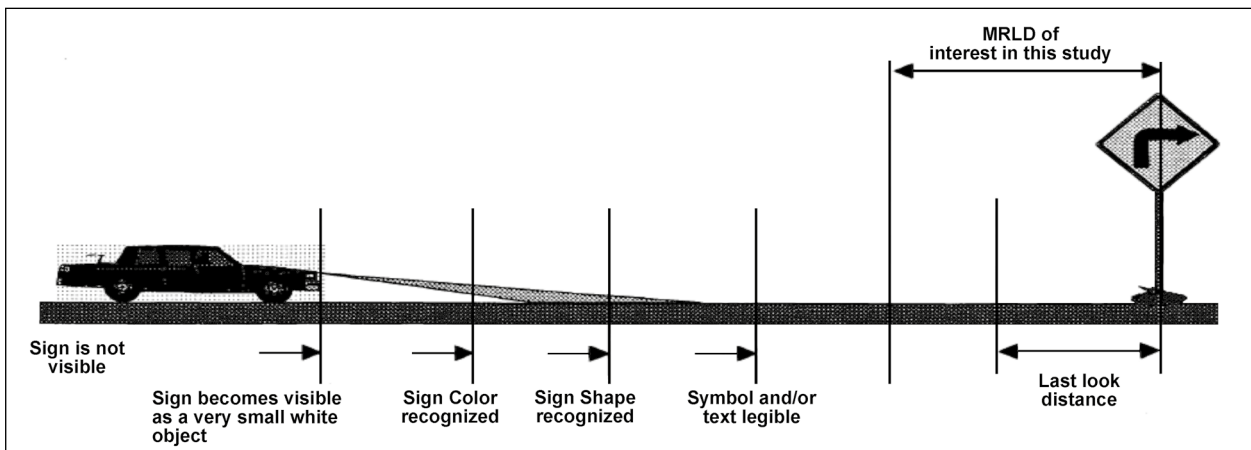


Bild 50: Zufahrt auf ein Verkehrszeichen auf einer Straße mit gestreckter Linienführung bei Nacht mit Abblendlicht (ZWAHLEN, 1995)

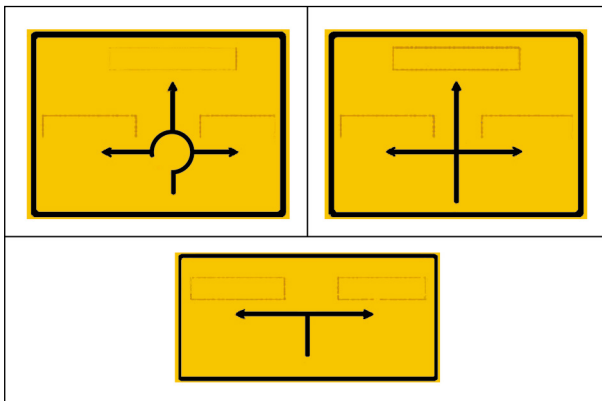


Bild 51: Schema von Vorwegweisern vor Landstraßenknoten; (oben links: Kreisverkehr, oben rechts: Kreuzung, unten: Einmündung) nach BMVBW (2000)

Für die weitere Diskussion ist die Eingrenzung auf typische Les- und Erkennbarkeitsbereiche sinnvoll (DIN 1450). Der typische Inhalt von Verkehrszeichen ist dabei als „Signalisationstext“ in gemischter Schreibweise einzuordnen.

Auf die Leserlichkeit und Lesbarkeit wirken sich Merkmale der Zeichen, des Textes, Zeichenträgers, der Produktion (Herstellung) sowie des Betrachters und der Situation (z. B. Betrachtungsabstand und Lesezeit, nächtliche Lichtverhältnisse) aus.

Für Buchstaben und Zahlen in „Verkehrsschrift“ (DIN 1451) sind Zeichenhöhen im Sehwinkel von $\alpha = 6'$ (entsprechend $0,1^\circ$) zur Erkennbarkeit erforderlich (vgl. DIN 5340, VELHAGEN, 1972). Für die mittlere Zeichenhöhe der Großbuchstaben von 17,5 cm bei Vorwegweisern an Landstraßen mit $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ (BMVBW, 2000) ergibt sich eine theoretische Erkennbarkeitsentfernung von etwa 100 m. Dieser Wert wird auch durch praktische Versuche gestützt (FÄRBER u. a., 2007). Daraus ergibt

sich eine verfügbare Zeitspanne von etwa $t = 3,6 \text{ s}$ bei $v = 100 \text{ km/h}$.

DIN 1450 fordert für die Leserlichkeit gegenüber der Erkennbarkeit ein Verhältnis der Sehwinkel von etwa 1,5:1. Bekannte Ortsbezeichnungen können somit etwa in $d \approx 100 \text{ m}$ erkannt, unbekanntes jedoch erst bei $d \approx 50 \text{ m}$ gelesen werden. DIN 1450 liefert auch Anhaltspunkte für den Einfluss nächtlicher Sichtbedingungen auf die Leserlichkeit, die jedoch die speziellen Verhältnisse bei Fahrzeugbeleuchtung nicht abbilden.

Unter allen Bedingungen endet die Lesbarkeit im Bereich ca. 10 bis 15 m vor dem Passieren des Verkehrszeichens (Verdeckung durch das Fahrzeug, große Winkelgeschwindigkeiten der Details).

Die Wahrnehmung vertikaler Verkehrszeichen erfordert eine Blickzuwendung der Fahrzeugführenden (COSTA et al., 2014). Daher ist die zur Verfügung stehende Aufnahmezeit zu diskutieren. Bei moderaten Anforderungen der Fahraufgabe können etwa ein bis zwei Blicke je Sekunde den Vorwegweiser anschauen (CASTRO & HORBERRY, 2004). Bei hoher Anforderung können etwa ein oder zwei Blicke innerhalb mehrerer Sekunden erfolgen (SCHULZ, 2012). Für die Aufnahme aller potenziellen Informationen (Knotenpunktform, Anzahl der Knotenpunktarme, eigene Ausfahrt) müssen mehrere Blickzuwendungen erfolgen. Gelingt dies nicht, müssen diese anhand anderer Merkmale erkannt werden.

In weiterer Annäherung kann die tatsächliche Voraussicht auf Verkehrszeichen im Seitenraum und den Fahrbahnteiler deutlich von der Haltesichtweite (FGSV, 2012) abweichen. Bei Nacht sind primär re-

troreflektierenden Oberflächen sichtbar. Andere Oberflächen reflektieren in aller Regel nicht ausreichend oder werden in größerer Entfernung zu gering beleuchtet. MUNEHIRO (2017) zeigt, dass bei Dunkelheit Kurventafeln und Pfosten häufiger betrachtet werden als bei Helligkeit.

Bild 52 zeigt die Situation schematisch etwa im Verhältnis der typischen Reflexionsintensitäten. Die Kreisfahrbahn sowie die Mittelinsel werden in aller Regel unvollständig durch die fahrzeugeigenen Scheinwerfer beleuchtet. Die genauen Verhältnisse können nur im Einzelfall untersucht werden.

FINDLEY et al. (2015) untersuchen das Blickverhalten von 21 Proband*innen, die auf einer Strecke mit mehreren Kreisverkehren fahren. Die Auswertung zeigt, dass mehr Blicke auf Markierungen als auf Verkehrszeichen gerichtet werden (Bild 53).

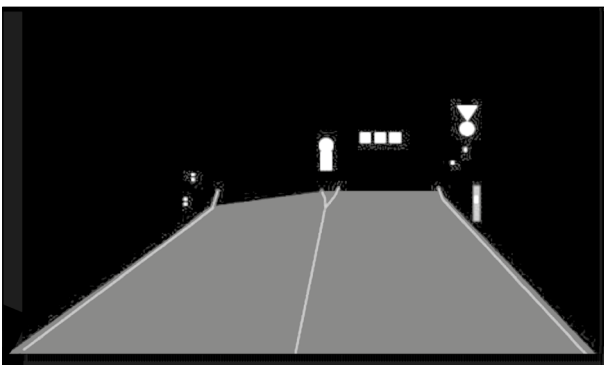


Bild 52: Lichttechnisch nicht verhältnisgetreues Schema bei nächtlicher Annäherung an einen außerörtlichen Kreisverkehr

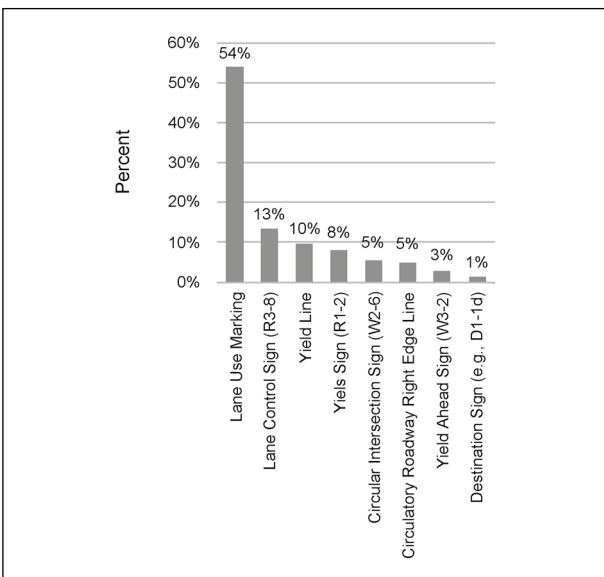


Bild 53: Prozentualer Anteil der Blicke auf Markierungen und Beschilderungen in der Kreisverkehrszufahrt; modifizierte Darstellung nach FINDLEY et al. (2015)

Allerdings werden Verkehrszeichen länger betrachtet (Bild 54). Diese Befunde müssen vor dem Hintergrund amerikanischer Kreisverkehrsgestaltungen mit zweistreifiger Zuführung bewertet werden. Sie zeigen dennoch die enge Verbindung von Fahraufgabe und visueller Wahrnehmung in Annäherung an Kreisverkehre.

Abschließend ist auf die ortsfeste Beleuchtung von Kreisverkehren einzugehen. Sie hat das Potenzial, nachts qualitativ (nicht quantitativ) eine der Tagessituation ähnliche Wahrnehmungskonstellation zu erzeugen. Ortsfeste Beleuchtung kann Kreisverkehre bereits aus größerer Entfernung erkennbar machen, aber auch viele Details sichtbar werden lassen. Dadurch wird das zentrale Sehen verbessert, aber auch das periphere Sehen unterstützt. Schließlich wird die Blendwirkung der Scheinwerfer anderer Fahrzeuge erheblich vermindert.

Ortsfeste Beleuchtung ist in verschiedenen internationalen Regelwerken standardmäßig vorgesehen. Bild 55 und Bild 56 veranschaulichen Varianten solcher Beleuchtung, wobei diese qualitativ und quantitativ nicht gleichwertig sind.

Schließlich berichtet BULLOUGH (2014) eine reduzierte Beleuchtung für Kreisverkehre, bei der gezielt ausgewählte Aspekte erhellt werden (Bild 57).

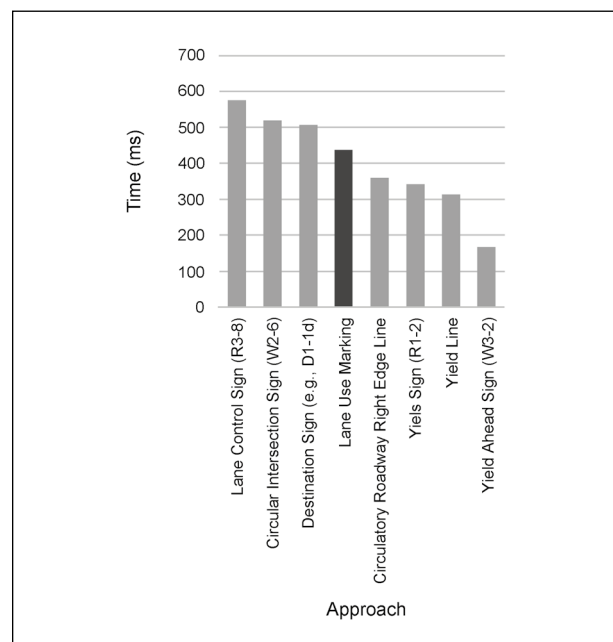


Bild 54: Durchschnittliche Verweilzeit auf Markierungen und Beschilderungen in der Kreisverkehrszufahrt; modifizierte Darstellung nach FINDLEY et al. (2015)

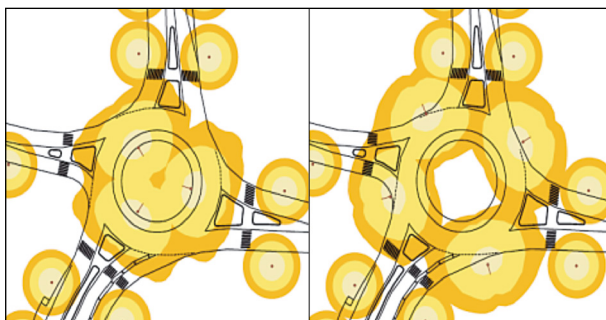


Bild 55: Photometrische Darstellung: Beleuchtung der Kreisinsel (links) und Beleuchtung des Kreisverkehrsrandes (rechts) | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)



Bild 56: Beleuchtung der Kreisinsel (links) und Beleuchtung des Kreisverkehrsrandes (rechts) | Vereinigte Staaten (IES, 2008)



Bild 57: Grafische Darstellung der Ecoluminance (BULLOUGH, 2014)

2.7 Zusammenfassung

Kreisverkehre weisen sowohl im nationalen als auch im internationalen Vergleich gegenüber konventionellen Knotenpunktformen ein hohes Maß an Verkehrssicherheit auf. Das Unfallgeschehen an außerörtlichen Kreisverkehren deutet jedoch auf Probleme der Erkennbarkeit bei der Annäherung an Kreisverkehre hin. Hinweise auf Defizite in der Erkennbarkeit bildet der erhöhte Anteil an Unfällen, die zum Aufprall auf ein Hindernis, z. B. die Kreisinsel führen.

Anhand der Grundlagenanalyse können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Eine kurvige Linienführung der Strecken im Annäherungsbereich führt zu geringeren Annäherungsgeschwindigkeiten und geringerem Unfallgeschehen am Kreisverkehr.
- Fahrzeugführende orientieren sich in der Annäherung und Zufahrt – bezogen auf die Anzahl der Blicke – eher an Markierungen als an Verkehrszeichen, wobei Verkehrszeichen aber geringfügig höher Blickverweildauern aufweisen als Markierungen.
- Zum Einfluss der an Kreisverkehren und im Annäherungsbereich üblichen Beschilderung auf das Unfallgeschehen liegen nur Aussagen aus Dänemark und den Vereinigten Staaten vor, wobei das frühzeitige Ankündigen des Kreisverkehrs mittels Verkehrszeichen einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit hat. Aufgrund landespezifischer Regelungen aber auch der örtlichen Randbedingungen (z. B. Entfernung benachbarter Knotenpunkte) können diese Erkenntnisse nur bedingt verallgemeinert werden.
- Kurativ sowie präventiv werden in verschiedenen Ländern Rüttelstreifen, Längsmarkierungen und Blinklichter im Annäherungsbereich von Kreisverkehren angeordnet, welchen eine geschwindigkeitsreduzierende Wirkung nachgewiesen werden konnte.
- Die Erkennbarkeit von Kreisverkehren kann durch eine hohe blickdichte Gestaltung der Kreisinsel verbessert werden. Unter hoher Gestaltung wird dabei eine Kreisinselausführung verstanden, bei der der höchste Punkt der Kreisinsel einschließlich blickdichter Bepflanzung mehr als 2 m über dem Fahrbahnniveau der zuführenden Straßen liegt, jedoch kein starres Hindernis darstellt.
- Unfallbegünstigend auf Fahr- und Auffahrunfälle wirkt eine Kreisverkehrsgestaltung mit geringer Ablenkung der Fahrzeuge, da diese höhere Annäherungs- und Befahrungsgeschwindigkeiten begünstigen, wie Untersuchungen in den Vereinigten Staaten, der Schweiz, Großbritannien und Schweden zeigen.
- Zur Reduktion nächtlicher Fahr- und Auffahrunfälle ist der Einsatz von ortsfester Beleuchtung wirksam.

Es hat sich gezeigt, dass Erkennbarkeitsprobleme an Kreisverkehren flächenhaft diskutiert und verein-

zelt durch Maßnahmen verbessert werden. So wird in den Vereinigten Staaten und Australien der Einsatz aufgeweiteter Fahrbahnteiler empfohlen, welche eine Kurvenfahrt im Vorfeld des Kreisverkehrs erzeugen. Besonders die Abfolge dreier aufeinanderfolgender Kurven mit kleiner werdenden Radien, vermindert die Zahl von Alleinunfällen.

Blinklichter im Annäherungsbereich des Kreisverkehrs werden in den Vereinigten Staaten und vereinzelt auch in Deutschland eingesetzt.

Zur Erhöhung der Erkennbarkeit bei Dunkelheit werden innovative Lösungen, wie LED-Steine in der Randeinfassung der Kreisinsel oder energiesparende LED auf der Kreisinsel selbst eingesetzt.

3 Unfallgeschehen an Kreisverkehren in Deutschland und ausgewählten Bundesländern

3.1 Methodik

Zur generellen Einordnung des Unfallgeschehens außerörtlicher Kreisverkehre werden nachfolgend das gesamtdeutsche Unfallgeschehen, welches jährlich vom Statistischen Bundesamt (Destatis) veröffentlicht wird, sowie Einzelunfalldaten aus den Bundesländern Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt, welche in elektronischen Unfalltypenkarten vorliegen, analysiert. Die Einzelunfalldaten der Bundesländer werden hinzugezogen, da diese spezifischere Auswertungen ermöglichen als die Daten des Statistischen Bundesamtes.

Unfälle an Kreisverkehren werden in der polizeilichen Unfallmeldung mittels Charakteristik der Unfallstelle: „Kreisverkehr“ vermerkt. Dieses Merkmal wird (mit regionalen Abweichungen) seit 2015 erhoben und erschien erstmals im Jahresbericht für das Jahr 2016 (Destatis, 2017). Aus diesem Grund wird die Betrachtung für die Jahre 2016 und 2017 vorgenommen. Relevante Unfälle in den Bundesländern Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt werden anhand folgender Kriterien in den elektronischen Unfalltypenkarten selektiert:

- Zeitraum: 01.01.2016 bis 31.12.2017,
- Ortslage: Außerorts,
- Straßenklassen: alle außer Autobahnen,
- Charakteristik der Unfallstelle: Kreuzung, Einmündung und Kreisverkehr,

- weitere Merkmale: ohne Lichtzeichenanlage.

In Destatis (2017) werden Angaben zu Straßenverkehrsunfällen und Unfallfolgen u. a. in Abhängigkeit von der Ortslage und der Charakteristik der Unfallstelle (Einmündung, Kreuzung und Kreisverkehr) gemacht. Ein direkter Vergleich der Anzahl der Unfälle bzw. Verunglückten an Einmündungen, Kreuzungen und Kreisverkehren ist dabei nicht zielführend, da keine Informationen zur Häufigkeit der einzelnen Knotenpunktarten im Außerortsstraßennetz verfügbar sind. Die Unfallschwere kann hingegen auch ohne den Bezug zur Häufigkeit des Merkmals verglichen werden, weshalb sich nachfolgend auf diese konzentriert wird.

Zur Ermittlung der Unfallschwere werden die Anzahl der Unfälle und Verunglückten für die Ortslage „Außerhalb von Ortschaften, ohne Autobahn“ mit der Charakteristik der Unfallstelle „Kreisverkehr“ aus Destatis (2017) verwendet. Vergleichend werden die Daten für Kreuzungen und Einmündungen berücksichtigt.

Neben der Betrachtung der Unfallschwere- und Verunglücktenstruktur werden Unfallkosten für Kreuzungen, Einmündungen und Kreisverkehre als angepasste Unfallkosten berechnet. In Destatis (2017) sind keine Information zur Anzahl der Leichtverletzten bei Unfällen mit schwerem Personenschaden enthalten, weshalb eine Anpassung für Unfälle mit schwerem Personenschaden nicht möglich ist. Folglich werden nur die Unfallkosten für Unfälle mit Personenschaden gemäß FGSV (2017) angepasst:

$$KS_{U(P)} = \frac{(n_{GT} \cdot KS_{GT} + n_{SV} \cdot KS_{SV} + n_{LV} \cdot KS_{LV} + n_{U(GT)} \cdot KS_{S,U(GT)} + n_{U(SV)} \cdot KS_{S,U(SV)} + n_{U(LV)} \cdot KS_{S,U(LV)})}{n_{U(P)}}$$

mit

$KS_{U(P)}$ Kostensatz für Unfälle mit Personenschaden [€/U]

$KS_{GT}, KS_{SV}, KS_{LV}$ Kostensatz für Getötete, Schwer- verletzte und Leichtverletzt gemäß Tabelle 18 [€/V]

$KS_{S,U}$ Kostensatz für Sachschaden je Unfallkategorie gemäß Tabelle 19 [€/U]

n_U Unfallanzahl der jeweiligen Kategorie [-]

$n_{GT/SV/LV}$ Anzahl der Verunglückten der jeweiligen Kategorie [-]

Laut FGSV (2017) können angepasste Unfallkostensätze ab einer Kollektivgröße von 100 Unfällen mit Personenschaden angewendet werden. Die verwendeten Kostensätze für Personenschaden und Sachschaden bei Unfällen mit Personenschaden sind in Tabelle 18 und Tabelle 19 angegeben.

Da für die Einzelunfalldaten in den Bundesländern Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt auch Informationen zur Anzahl der Leichtverletzten bei Unfällen mit schwerem Personenschaden vorliegen, können auch angepasste Unfallkosten für Unfälle mit schwerem Personenschaden berechnet werden. Die Berechnung ergibt sich gemäß FGSV (2017):

$$KS_{U(SP)} = (n_{GT} \cdot KS_{GT} + n_{SV} \cdot KS_{SV} + n_{LV,U(SP)} \cdot KS_{LV} + n_{U(GT)} \cdot KS_{(U)GT} + n_{U(SV)} \cdot KS_{U(SV)}/n_{U(SP)})$$

mit

$KS_{U(SP)}$ Kostensatz für Unfälle mit schwerem Personenschaden [€/U]

$KS_{GT}, KS_{SV}, KS_{LV}$ Kostensatz für Getötete, Schwerverletzte und Leichtverletzt gemäß Tabelle 18 [€/V]

$KS_{S,U}$ Kostensatz für Sachschaden je Unfallkategorie gemäß Tabelle 19 [€/U]

Verunglückte	Getötete	Schwerverletzte	Leichtverletzte
V	GT	SV	LV
Kostensatz je verunglückte Person KS_V [€/V]	1.191.937	123.510	5.139

Tab. 18: Kostensätze Personenschadenkosten KS_U – Preisstand 2015 (BASt, 2016)

Unfallkategorie	Unfall mit Getöteten	Unfall mit Schwerverletzten	Unfall mit Leichtverletzten
	U(GT)	U(SV)	U(LV)
Kostensatz für Sachschaden je Unfall $KS_{S,U(V)}$ [€/U]	48.495	22.756	14.919

Tab. 19: Kostensätze Sachschadenkosten bei Personenschaden $KS_{S,U}$ – Preisstand 2015 (BASt, 2016)

n_U Unfallanzahl der jeweiligen Kategorie [-]

$n_{GT/SV/LV}$ Anzahl der Verunglückten der jeweiligen Kategorie [-]

Anhand der exportierten Einzelunfalldaten können zudem die weiteren Unfallmerkmale (Unfalltyp, Unfallart, Unfallursache, Aufprall auf Hindernis und Unfallbeteiligte) analysiert werden. Hierzu werden die Unfälle aller Kategorien an außerörtlichen Kreisverkehren jeweils auf die Verteilung der Ausprägungen des ausgewählten Merkmals untersucht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Unfallursachen in allgemeine Ursachen und personenbezogenes Fehlverhalten unterschieden werden. Während allgemeine Ursachen äußere Einflüsse (z. B. Straßenverhältnisse oder Witterungseinflüsse) beschreiben, wird personenbezogenes Fehlverhalten einzelnen Beteiligten zugeschrieben (z. B. Vorfahrtsmissachtung, unangepasste Geschwindigkeit). Bei jedem Unfall können bis zu zwei allgemeine Ursachen und für die ersten zwei Unfallbeteiligten bis zu drei weitere personenbezogene Ursachen angegeben werden. In dieser Untersuchung werden nur personenbezogene Ursachen betrachtet, da äußere Umstände, wie Lichtverhältnisse separat analysiert werden.

Für die Unfallstruktur in den Bundesländern werden die Auswertungen getrennt nach Alleinunfällen und Unfällen mit mehreren Beteiligten vorgenommen. Weiterhin werden die Ergebnisse für Unfälle mit Personenschaden separat ausgewiesen. Die Ergebnisse sind im Anhang 2 dargestellt.

SPAHN & BÄUMLER (2007) stellen an außerörtlichen Kreisverkehren einen hohen Anteil an Unfällen mit motorisierten Zweirädern fest, weshalb auch die Verteilung dieser Verkehrsbeteiligungsart untersucht wird.

SPAHN & BÄUMLER (2007) betrachten außerdem die Unfallsauffälligkeit von Kreisverkehren bei Dunkelheit, weshalb die Unfalldaten in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt auch auf das Merkmal Lichtverhältnisse untersucht werden. Hierzu werden die Anteile der Unfälle mit der Angabe zu Lichtverhältnissen „Hell“, „Dämmerung“ und „Dunkelheit“ an außerörtlichen Kreisverkehren berechnet und verglichen. Zum Vergleich werden auch die Unfälle an Kreuzungen und Einmündungen auf das Merkmal Lichtverhältnisse untersucht und mit dem Unfallgeschehen an Kreisverkehren verglichen.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Unfallschwere und -kosten

Die Betrachtung der Unfallschwere an Außerortsnotenpunkten in Deutschland (Bild 58) zeigt, dass Kreuzungen und Einmündungen bezüglich der Anteile der Unfälle mit Getöteten, Schwer- und Leichtverletzten eine ähnliche Verteilung aufweisen. Dass die Gesamtzahl der Unfälle an Einmündungen etwa doppelt so hoch ist wie an Kreuzungen kann nicht weiter interpretiert werden, da keine Informationen zur Anzahl der Kreuzungen und Einmündungen im bundesweiten Außerortsstraßen-

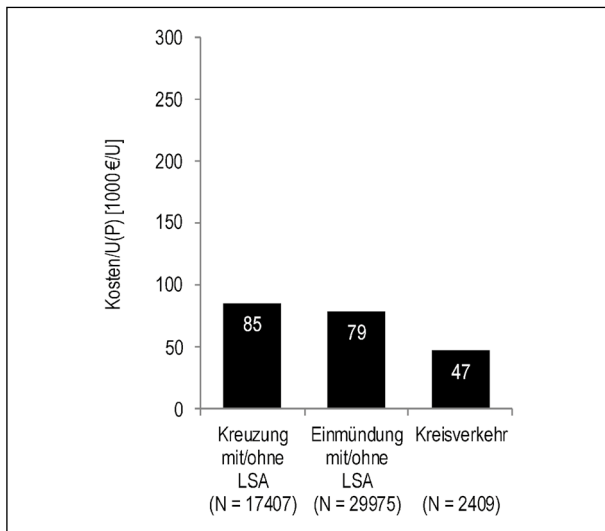


Bild 59: Angepasste Unfallkosten für Unfälle mit Personenschaden an außerörtlichen Knotenpunkten in Deutschland für 2016 und 2017 (Preisstand 2015)

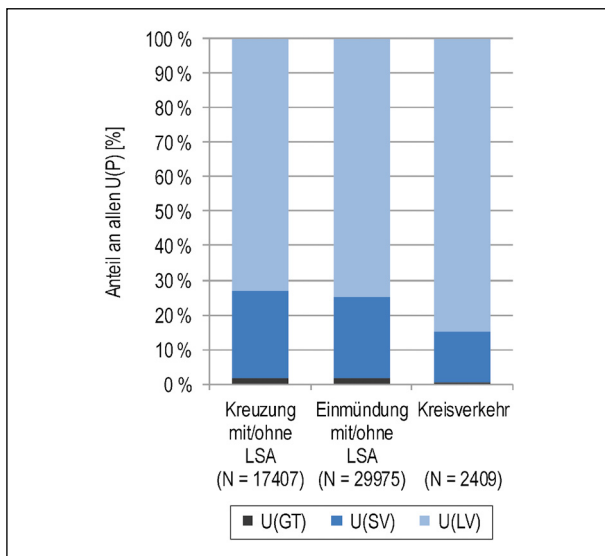


Bild 58: Unfallschwerestruktur für Unfälle mit Personenschaden an außerörtlichen Knotenpunkten in Deutschland für 2016 und 2017

netz vorliegen. Festzustellen ist aber, dass Kreisverkehre eine geringere Unfallschwere aufweisen als Kreuzungen und Einmündungen. Der Anteil der Unfälle mit Getöteten ist mit 0,5 % ca. 1%-Punkt niedriger, der Anteil der Unfälle mit Schwerverletzten mit 15 % ca. 10%-Punkte niedriger als bei Kreuzungen und Einmündungen.

Anhand der angepassten Unfallkosten ist ein unmittelbarer Vergleich von Unterschieden in der Unfallschwere- und Verunglücktenstruktur möglich. Die Unfallkosten für Unfälle mit Personenschaden sind an Kreuzungen mit ca. 85.000 €/U(P) um 10 % höher, als für Unfälle an Einmündungen – siehe Bild 59. Dies ist durch den höheren Anteil an Getöteten und Schwerverletzten an Kreuzungen zu erklären. Die Unfallkosten an Kreisverkehren sind mit ca. 50.000 €/U(P) am niedrigsten und belegen damit die geringere Unfallschwere.

Die Unfallschwerestruktur in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt zeigt, dass die Unfallschwere in den drei betrachteten Bundesländern höher als bei der gesamtdeutschen Betrachtung ist – siehe Bild 60 und Bild 58. Der Anteil an Unfällen mit schwerem Personenschaden an Kreisverkehren ist mit ca. 20 %, ebenso wie in der gesamtdeutschen Betrachtung, um etwa 10%-Punkte niedriger als an Kreuzungen und Einmündungen.

Die Unfallkostenbetrachtung ergibt für die angepassten Unfallkosten der Unfälle mit Personenschaden – wie bei der gesamtdeutschen Betrachtung – an Kreuzungen und Einmündungen höhere

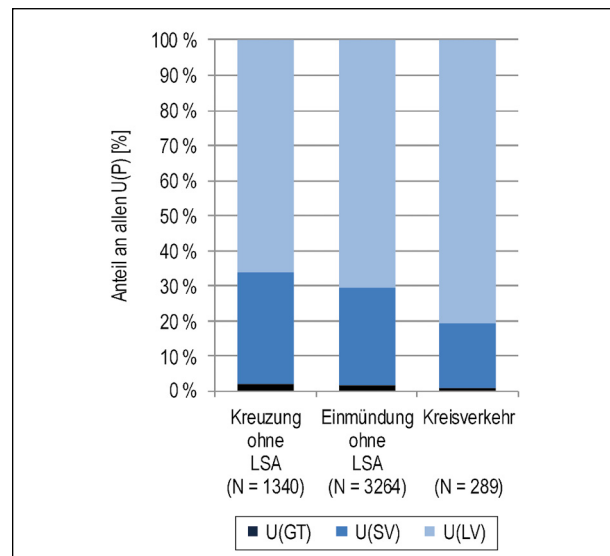


Bild 60: Unfallschwerestruktur für Unfälle mit Personenschaden an außerörtlichen Knotenpunkten in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

Unfallkosten als an Kreisverkehren – siehe Bild 61. Dabei sind die Unfallkosten für Knotenpunkte in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt in allen Fällen höher als die der gesamtdeutschen Betrachtung (Bild 59).

Bei der Betrachtung der angepassten Unfallkosten für Unfälle mit schwerem Personenschaden in Bild 62 ergeben sich (relativ gesehen) geringere Unterschiede zwischen Kreisverkehren, Einmündungen und Kreuzungen als bei der Betrachtung der Unfälle mit Personenschaden. Dabei ist jedoch anzumerken, dass die Anzahl der Unfälle mit schwerem Personenschaden an außerörtlichen Kreisverkehren mit 56 Unfällen deutlich unter dem für die Methodik

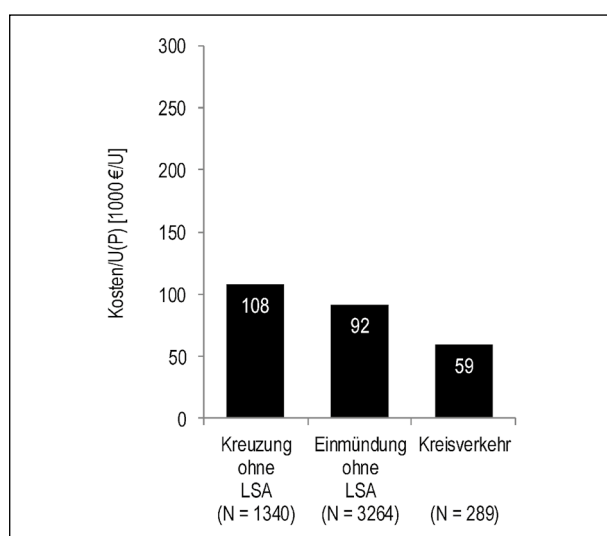


Bild 61: Angepasste Unfallkosten für U(P) an außerörtlichen Knotenpunkten in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017 (Preisstand 2015)

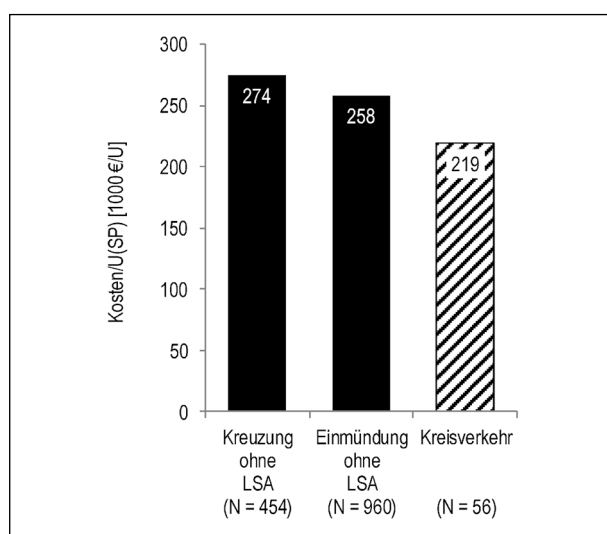


Bild 62: Angepasste Unfallkosten für U(SP) an außerörtlichen Knotenpunkten in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017 (Preisstand 2015)

vorgeschriebenen Grenzwert von 100 Unfällen liegt und die Ergebnisse somit nur bedingt aussagekräftig sind.

3.2.2 Unfallstruktur

Die Unfallstruktur beschreibt die Ausprägung der Merkmale Unfalltyp, Unfallart, Unfallursache, Anzahl der Beteiligten und Unfallbeteiligung.

Der Unfalltyp beschreibt die Konfliktsituation, die zum Unfall geführt hat. Mit 39 % sind Fahrurfälle der häufigste Unfalltyp an außerörtlichen Kreisverkehren – siehe Tabelle 20. Einbiegen/Kreuzen-Unfälle sind mit 26 % der zweithäufigste Unfalltyp.

SPAHN & BÄUMLER (2007) beobachten für Kreisverkehre in Bayern ebenfalls einen Anteil an Fahrurfällen von ca. 40 %. Eine Diskrepanz zwischen der Untersuchung in Bayern und den auf Grundlage der Unfalldaten in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt ermittelten Werten bildet der Anteil der Abbiege-Unfälle. Dieser liegt bei SPAHN & BÄUMLER (2007) bei etwa 27 % und in den untersuchten Bundesländern bei 1 %. Eine mögliche Erklärung für die Differenz kann eine abweichende Verwendung der Unfalltypendefinition bei SPAHN & BÄUMLER (2007) sein, sodass der Begriff Abbiege-Unfall die Unfalltypen Abbiege-Unfall und Einbiegen/Kreuzen-Unfall umfasst.

Für die Betrachtung der Unfalltypen differenziert nach Unfällen mit einem und mehr als einem Beteiligten liegt bei den Alleinunfällen (1. Bet.) der Anteil des Unfalltyps 1 bei 83 %, während Unfälle mit

Unfalltyp	alle Unfälle (N = 1.178)	Unfälle mit 1 Bet. (N = 516)	Unfälle mit > 1 Bet. (N = 662)
Fahrurfälle (F)	39 %	83 %	4 %
Abbiege-Unfall (AB)	1 %	0 %	2 %
Einbiegen/Kreuzen-Unfall (EK)	26 %	0 %	47 %
Überschreiten-Unfall (ÜS)	0 %	0 %	0 %
Unfall durch ruhenden Verkehr (RV)	0 %	0 %	0 %
Unfall im Längsverkehr (LV)	24 %	0 %	42 %
Sonstiger Unfall (SO)	10 %	16 %	5 %

Tab. 20: Verteilung der Unfalltypen aller Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt

Unfallart	Anteil an allen Unfällen (N = 1.178)
1: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das anfährt, anhält oder im ruhenden Verkehr steht	3 %
2: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet	18 %
3: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt	4 %
4: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das entgegenkommt	1 %
5: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt	25 %
6: Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger	0 %
7: Aufprall auf ein Hindernis auf der Fahrbahn	3 %
8: Abkommen von der Fahrbahn nach rechts	15 %
9: Abkommen von der Fahrbahn nach links	17 %
10: Unfall anderer Art	12 %

Tab. 21: Verteilung der Unfallarten aller Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

mehreren Beteiligten (> 1 Bet.) vorrangig die Unfalltypen Einbiegen-Kreuzen-Unfälle und Unfälle im Längsverkehr aufweisen. Die beschriebene Verteilung in Abhängigkeit von der Anzahl der Unfallbeteiligten folgt somit den definierten Eigenschaften der Unfalltypen.

Die Unfallschwerestruktur für die vier häufigsten Unfalltypen ist in Bild 63 dargestellt. Da Unfälle mit Personenschaden in diesem Kollektiv nur in geringer Anzahl vorliegen, wird die Analyse der Unfallschwerestruktur einer Unfallkostenbetrachtung vorgezogen.

Gemäß Bild 63 haben Fahrurfälle die schwersten Unfallfolgen. Aus Tabelle 20 und Bild 63 kann geschlossen werden, dass die Unfallkosten an außerörtlichen Kreisverkehren zu einem hohen Anteil aus Fahrurfällen resultieren, da diese am häufigsten auftreten und die schwersten Unfallfolgen haben.

Für Fahrurfälle mit Personenschaden (N = 116) werden zusätzlich die angepassten Unfallkosten berechnet. Mit ca. 92.000 €/U(P) liegt der Kostensatz um etwa ein Drittel höher, als der über alle Unfalltypen an Kreisverkehren ermittelte Kostensatz (59.000 €/U(P) in Bild 61). Dies belegt die hohe Unfallschwere von Fahrurfällen im Vergleich zu Unfällen anderer Unfalltypen an Kreisverkehren.

Die Unfallart gibt Aufschluss über die Bewegungsrichtung der beteiligten Fahrzeuge beim Unfall. Die Verteilung der Unfallarten ist in Tabelle 21 dargestellt. In den drei untersuchten Bundesländern weist die Unfallart 5 (Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt) mit 25 % den höchsten Anteil auf. Dies ist die typische Kollisionsart für

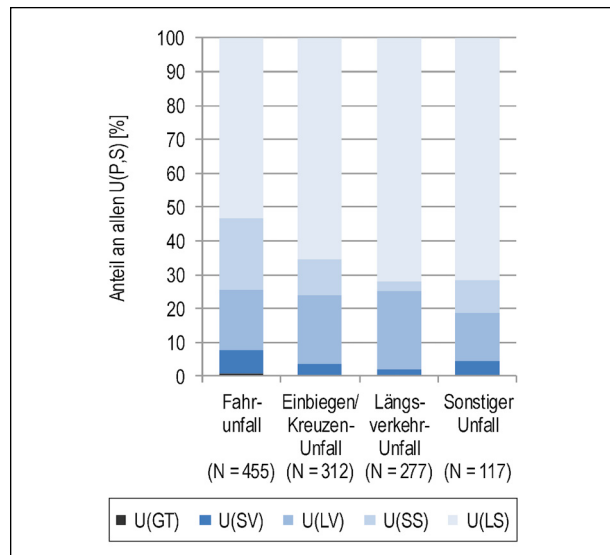


Bild 63: Unfallschwerestruktur (Unfallkategorie 1 bis 6) nach Unfalltyp an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

Einbiegen/Kreuzen-Unfälle, welche in der Verteilung der Unfalltypen einen vergleichbaren Anteil aufweisen. Bei 32 % der Unfälle kamen Unfallbeteiligte von der Fahrbahn ab (Unfallart 8 und Unfallart 9). Die Unfallart 9 umfasst definitionsgemäß auch Unfälle bei denen Fahrzeugführende auf die Kreisinsel auffahren (Abkommen von der Kreisfahrbahn nach links).

Tabelle 22 zeigt die Verteilung der fünf häufigsten Unfallursachen. Die vollständige Auflistung befindet sich in Anhang 2. Häufigste Ursachen sind zu jeweils etwa einem Viertel der Unfälle nicht angepasste Geschwindigkeit und das Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen.

Unfallursache	Anteil an allen Unfallursachen (N = 1.291)
Alkoholeinfluss	7 %
Nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen	24 %
Ungenügender Sicherheitsabstand	17 %
Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen (§ 8)	23 %
Andere Fehler beim Fahrzeugführer	17 %

Tab. 22: Verteilung der fünf häufigsten Unfallursachen aller Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

Aufprall auf Hindernis	Anteil an allen Unfällen (N = 1.178)
Kein Aufprall (Alleinunfälle ohne Aufprall und Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden)	67 %
Baum	1 %
Mast	2 %
Widerlager	0 %
Schutzplanke	7 %
Sonstiges Hindernis	23 %

Tab. 23: Verteilung des Merkmals „Aufprall auf Hindernis“ aller Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

Die Verteilung des Merkmals „Aufprall auf Hindernis“ in Tabelle 23 zeigt, dass Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren zu 67 % ohne Aufprall auf ein Hindernis enden. Bei ca. einem Viertel der Unfälle tritt ein Aufprall auf ein sonstiges Hindernis auf. Dieses Merkmal beinhaltet den Aufprall auf die Kreisinsel, welcher insbesondere durch die Unfallart 9 charakterisiert wird. Aufprälle auf Bäume und Masten treten nur zu geringen Anteilen (1 % bis 2 %) auf. Eine mögliche Erklärung dafür bildet, dass diese Hindernisse selten auf Kreisinseln und im direkten Umfeld von Kreisverkehren zu finden sind.

Bild 64 zeigt die Unfallschwereverteilung für Unfälle mit Aufprall auf Schutzplanken und sonstige Hindernisse, sowie ohne Aufprall auf ein Hindernis. Unfälle mit Aufprall auf sonstige Hindernisse weisen dabei einen hohen Anteil an Unfällen mit Personenschaden (ca. 25 %), ebenso wie Unfälle ohne Aufprall auf ein Hindernis auf. Der Anteil der Unfälle mit schweren Personenschaden liegt für Unfälle mit Aufprall auf Schutzplanken und sonstigen Hindernisse bei ca. 8 %. Dabei treten Unfälle mit Getöteten nur bei Unfällen mit Aufprall auf sonstige Hindernisse oder ohne Aufprall auf.

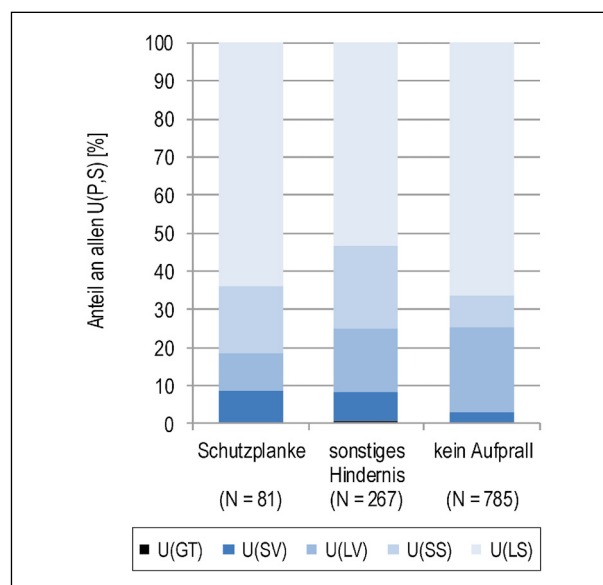


Bild 64: Unfallschwereverteilung des Merkmals „Aufprall auf Hindernis“ an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

Anzahl Beteiligte	Anteil an allen Unfällen (N = 1.178)
1	46 %
2	52 %
≥ 3	2 %

Tab. 24: Verteilung der Beteiligtenanzahl aller Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

Unfälle, bei denen Fahrzeugführende auf die Kreisinsel auffahren, werden i. d. R. mit dem Merkmal „Aufprall auf sonstiges Hindernis“ dokumentiert. Inwieweit diese Unfälle die hohe Unfallschwere der Unfälle mit „Aufprall auf sonstiges Hindernis“ begünstigen, kann in diesem Schritt nicht weiter untersucht werden.

Tabelle 24 zeigt die Verteilung der Anzahl der an Unfällen beteiligten Verkehrsteilnehmenden. In 54 % der Unfälle waren zwei oder mehr Verkehrsteilnehmende beteiligt. Der Anteil der Alleinunfälle beträgt 46 %. In der Untersuchung außerörtlicher Kreisverkehre in Bayern lag der Anteil der Alleinunfälle bei ca. 50 % (SPAHN & BÄUMLER, 2007).

Bild 65 und Bild 66 zeigen die Art der Verkehrsbeteiligung, differenziert nach Unfällen mit einem oder mehr als einem Beteiligten.

Unfälle mit Beteiligung von Schwerverkehr und Bussen haben einen Anteil von 9,1 % bei Alleinunfällen, was etwa dem Schwerverkehrsanteil am Ver-

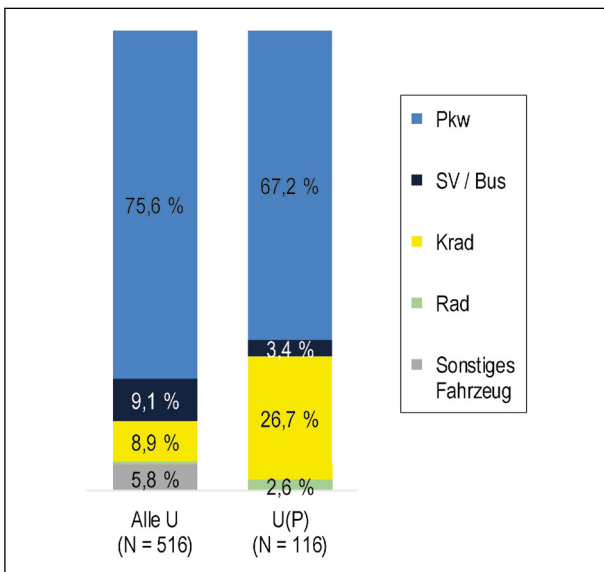


Bild 65: Verteilung der Art der Verkehrsbeteiligung bei Unfällen mit einem Beteiligten an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

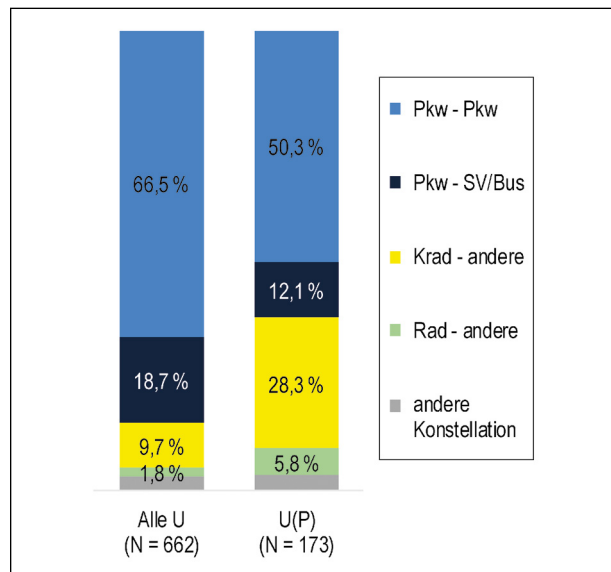


Bild 66: Verteilung der Unfallkonstellation bzw. der Art der Verkehrsbeteiligung bei Unfällen mit mehr als einem Beteiligten an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

kehrsaufkommen auf Landstraßen entspricht. Mit 18,7 % sind Schwerverkehrsunfälle bei Unfällen mit mehreren Beteiligten überdurchschnittlich häufig beteiligt. Dabei sind größtenteils (13,9 %) Lkw-Fahrende die Hauptverursachenden der Einbiegen/Kreuzen-Unfälle (ca. 2/3) und Längsverkehrsunfälle (ca. 1/3).

Der Anteil motorisierter Zweiräder beträgt bei Alleinunfällen 8,9 %, bei Alleinunfällen mit Personenschaden sind motorisierte Zweiradfahrende zu 26,7 % beteiligt. Bei Unfällen mit zwei und mehr Beteiligten liegt der Anteil motorisierter Zweiräder bei 9,7 %, wobei Zweiradfahrende bei 1,1 % der Unfälle Hauptverursachende und bei 8,5 % weitere Beteiligte sind. Dieses Ergebnis weicht leicht von SPAHN & BÄUMLER (2007) ab, nach deren Analyse der Anteil der Unfälle, bei denen motorisierte Zweiradfahrende als zweite bzw. weitere Beteiligte aufgenommen wurde, etwa 13 % beträgt.

Unfälle mit Radfahrenden haben einen geringen Anteil im Unfallkollektiv, was u. a. durch das geringe Verkehrsaufkommen dieser Verkehrsteilnehmenden im Landstraßenbereich erklärt werden kann. Unfälle mit zu Fußgehenden treten nicht auf.

Die Auswertung der Unfälle in Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen in Bild 67 zeigt, dass der Anteil der Unfälle bei Dunkelheit an Kreisverkehren mit knapp 40 % fast doppelt so hoch ist wie an Kreuzungen und Einmündungen. Der Anteil an Dämmerungsunfällen liegt bei allen Knotenpunktformen

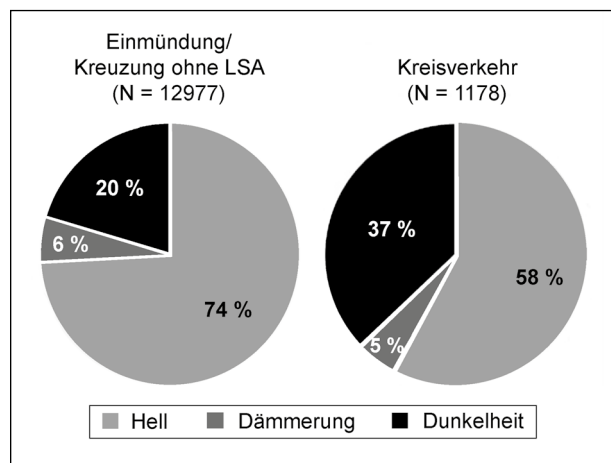


Bild 67: Lichtverhältnisverteilung bei Unfällen an außerörtlichen Knotenpunkten in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

zwischen 5 % und 6 %. Laut FGSV (2012) liegt der Erwartungswert für Unfälle auf Landstraßen bei Nacht (Dunkelheit und Dämmerung) bei 35 %. Dieser Wert wird an Kreisverkehren deutlich überschritten, an Kreuzungen und Einmündungen unterschritten.

Weiterhin sind die angepassten Unfallkosten für Unfälle mit Personenschaden an Kreisverkehren bei Dämmerung und Dunkelheit (N = 103) mit 67.000 €/U(P) um ca. 20 % höher, als bei Tageslicht (N = 186) mit 55.000 €/U(P).

SPAHN & BÄUMLER (2007) stellen an außerörtlichen Kreisverkehren in Bayern einen Anteil an Dun-

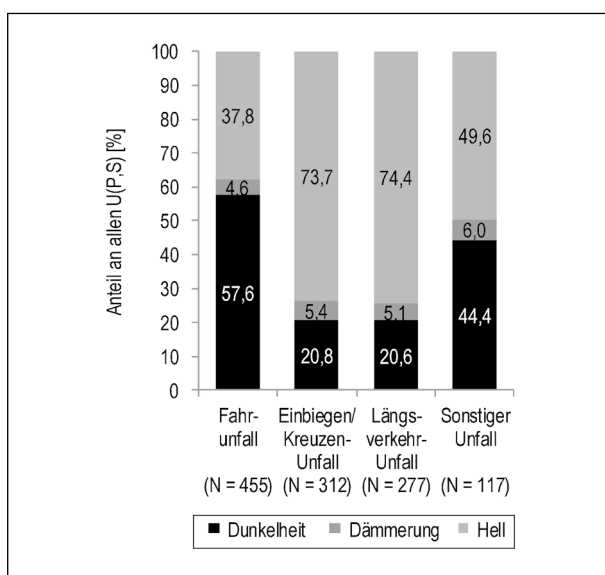


Bild 68: Lichtverhältnisse nach Unfalltyp bei Unfällen an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

kelheitsunfällen von 50 % fest. Dieser Wert überschreitet ebenso den Erwartungswert, ist jedoch höher, als der für Kreisverkehre in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt ermittelte Wert. Mögliche Erklärungen für die Abweichungen bilden unterschiedliche Untersuchungszeiträume und Gestaltungen der Kreisverkehre – vgl. Kapitel 2.2.

Bild 68 zeigt, dass sich knapp 60 % der Fahrurfälle bei Dunkelheit ereignen. Sonstige Unfälle treten in der Untersuchung zur Hälfte bei Dämmerung und Dunkelheit auf. Bei den übrigen Unfalltypen ist dieser Anteil deutlich niedriger. Berücksichtigt man die hohe Unfallschwere der Fahrurfälle (vgl. Bild 63) bestätigen sich die Erkenntnisse aus der Literatur, dass nächtliche Fahrurfälle an außerörtlichen Kreisverkehren einen maßgebenden Anteil des Unfallgeschehens an außerörtlichen Kreisverkehren ausmachen.

Bild 69 zeigt, dass Fahrurfälle bei Helligkeit einen höheren Anteil an Unfällen mit Personenschaden aufweisen. Die Unfallschwere für Fahrurfälle ist jedoch bei Dunkelheit sowohl für Personenschaden als auch für Sachschadenunfälle höher.

Aufgrund der hohen Unfallschwere nächtlicher Fahrurfälle an außerörtlichen Kreisverkehren wird die Verbesserung der Erkennbarkeit von Kreisverkehren vor allem bei Dämmerung und Dunkelheit als Untersuchungsschwerpunkt für die folgenden Arbeitsschritte bestätigt. Allerdings darf auch das übrige Unfallgeschehen bei der Untersuchung möglicher

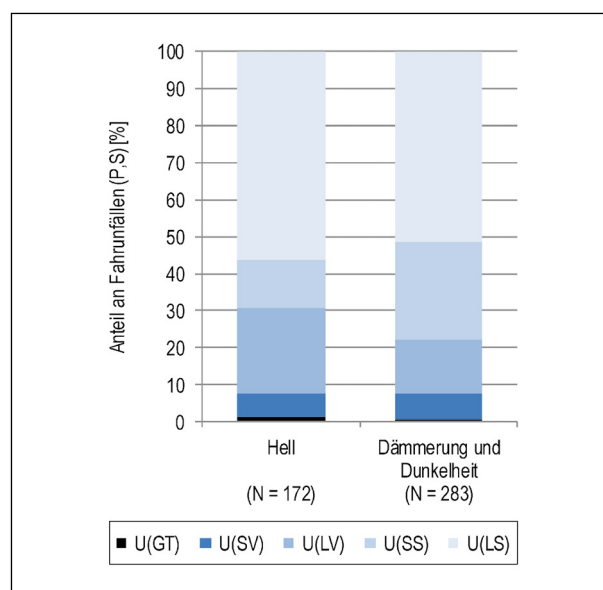


Bild 69: Unfallschwerestruktur der Fahrurfälle nach Lichtverhältnis an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

cher Erkennbarkeitsdefizite nicht vernachlässigt werden, da Maßnahmen, welche die Erkennbarkeit bzw. Befahrbarkeit verbessern, sich ggf. negativ auf andere Unfallereignisse (z. B. Einbiegen/Kreuzen-Unfälle) auswirken.

4 Unfallanalyse für ausgewählte Kreisverkehre

Für die detaillierte Unfalluntersuchung wird im ersten Schritt eine Auswahl von Kreisverkehren auf Landstraßen in acht deutschen Bundesländern getroffen und Planungsunterlagen für die Kreisverkehre recherchiert. Anschließend werden die Unterlagen und Daten aufbereitet. In der ersten Stufe der Unfallanalyse werden deskriptive Auswertungen zur Unfallstruktur, zur Unfallschwere und zu weiteren Merkmalen für die 109 recherchierten Kreisverkehre vorgenommen. Weiterhin werden Sicherheitsgrade in Form von UR und UKR ermittelt und die recherchierten Kreisverkehre kategorisiert. In der zweiten Stufe erfolgt eine zufahrtsbezogene Detailanalyse. Dazu werden die Unfälle den einzelnen Zufahrten anhand von Unfallhergangstexten, Unfallskizzen, dreistelligen Unfalltypen oder Kollisionssymbole zugeordnet, mit dem Ziel, mögliche Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Merkmalen der Zufahrtsgestaltung und dem Unfallgeschehen zu beschreiben.

4.1 Methodik

4.1.1 Recherche von Kreisverkehren

Das Untersuchungskollektiv setzt sich aus drei- und vierarmigen kleinen Kreisverkehren (einschließlich zweistreifig befahrbarer Kreisverkehre) zusammen. Kreisverkehre mit fünf oder mehr Armen werden aus der Untersuchung ausgeschlossen, da sie außerhalb bebauter Gebiete kaum vorkommen. Große Kreisverkehre und Turbokreisverkehre werden ebenfalls nicht berücksichtigt, da sie eher im innerstädtischen Raum oder im Vorfeld bebauter Gebiete vorzufinden sind. Kreisverkehre mit zwei markierten Fahrstreifen auf der Kreisfahrbahn sind gemäß FGSV(2006) und FGSV(2012) nicht vorgesehen, existieren aber in der Praxis (BRILON/GEPPERT, 2014). Aufgrund der geringen Anzahl dieser Kreisverkehre werden sie in der vorliegenden Untersuchung nicht weiter betrachtet.

Auf Grundlage der Erkenntnisse aus Kapitel 2.2 werden folgende Bundesländer für die Untersuchung ausgewählt:

- Abmessungen der Entwurfselemente auf. Weitere für das Projekt relevante Besonderheiten sind hinsichtlich der Beschilderung im Annäherungsbereich (z. B. Lage und Ausführung der Vorwegweiser) vorhanden (OBBSI, 2011).
- Kreisverkehre in Brandenburg und Nordrhein-Westfalen können gemäß LSB (2011) bzw. SELBITSCHKA (2007) vom Merkblatt abweichende Beschilderungen (Lage und Ausführung der Vorwegweiser) aufweisen, deren Auswirkungen auf die Erkennbarkeit des Kreisverkehrs zu prüfen sind.
- Kreisverkehre in Hessen können im Einzelfall Kreisfahrbahnbreiten unterhalb der Merkblattvorgaben aufweisen (REUTER & KÖHLER, 2013), wodurch sich ggf. geringere Befahrungsgeschwindigkeiten ergeben (Relevanz: ggf. Auswirkungen auf Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich und Unfallgeschehen/-struktur).
- Kreisverkehre in Baden-Württemberg werden gemäß Merkblatt ausgeführt und wurden gemäß MVI (2011) in jüngerer Vergangenheit i. d. R. vor allem in Hinblick auf die Kreisinselgestaltung auditiert (Relevanz für das Forschungsprojekt wird im Hinblick auf die bessere Datengrundlage gesehen).

- Weitere merkblattgerechte Lösungen werden in Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt als Vergleichsobjekte ausgewählt.

Um Planungsunterlagen und Verkehrs- sowie Unfalldaten in den acht ausgewählten Bundesländern recherchieren zu können, wurde zunächst eine Übersicht außerörtlicher Kreisverkehre auf Grundlage von Daten aus OpenStreetMap erstellt.

Durch visuelles Überprüfen der Kreisverkehre wurden diese im Satellitenbild auf ihre Lage in Bezug zu Ortschaften geprüft. Ziel war es, nur isolierte außerörtliche Kreisverkehre in die Betrachtung einzubeziehen. Als isoliert werden Kreisverkehre angesehen, die einen Mindestabstand zu bebauten Gebieten von 750 m in der Hauptrichtung und 500 m in der Nebenrichtung aufweisen (Haupt- und Nebenrichtung werden i. d. R. aus der Straßenwidmung abgeleitet). Im Rahmen dieser Überprüfung wurden auch Kreisverkehre ausgeschlossen, die zwar gemäß Geoinformationssystem schon vorhanden, im Satellitenbild aber noch nicht enthalten sind. Weiterhin wurden Kreisverkehre, die sich auf dem Satellitenbild im Bau befanden ausgeschlossen. Diese Vorgehensweise wird gewählt, da an den Kreisverkehren Unfallanalysen über einen Zeitraum von 5 Jahren beabsichtigt sind und dieser Betrachtungszeitraum nicht durch Baumaßnahmen oder Eingewöhnungszeiten überlagert werden soll.

Für die so ausgewählten Kreisverkehre wurden verschiedene Merkmale (Kreisverkehrstyp, Anzahl Zufahrten, Straßenwidmung, Vorhandensein umliegender Kreisverkehre) erfasst. Weiterhin wurden zur Erleichterung der Bearbeitung in den Straßenbauverwaltungen die Straßennamen der Zufahrten und (wenn verfügbar) die Netzknotennummer dokumentiert. Die Auswahl des Kreisverkehrskollektivs erfolgt somit unabhängig von Unfallhäufigkeiten, wobei Empfehlungen und Hinweise aus Straßenbauverwaltungen zu konkreten Kreisverkehren berücksichtigt wurden.

Anschließend wurden die Straßenbauverwaltungen der Bundesländer angeschrieben und in einer ersten Anfrage um Ihre Unterstützung gebeten. In der Regel wurde ein zentraler Ansprechpartner angeschrieben und um die Zusammenstellung von

- Lage-, Höhen-, sowie Beschilderungs- und Markierungsplänen und
- Verkehrsdaten (Spitzenstundenbelastung und DTV-Werte sowie ggf. verkehrstromfeine Verkehrsstärken)

zu den ausgewählten Kreisverkehren gebeten. Anhand dieses Vorgehens wurden für insgesamt 218 außerörtliche Kreisverkehre in acht Bundesländern konkrete Planungsunterlagen und Verkehrs- sowie ggf. Unfalldaten angefragt.

Mithilfe der Straßenbauverwaltungen konnten Unterlagen zu 119 Kreisverkehren zusammengetragen werden. Auf Grundlage der erhaltenen Unterlagen wurde eine Auswahl an 109 Kreisverkehren getroffen. Hierbei wurden Kreisverkehre ausgeschlossen, die keinen ausreichend langen Untersuchungszeitraum aufweisen (Baujahr) oder die aufgrund gestalterischer Merkmale nicht oder weniger gut in das Kollektiv passten, als andere Kreisverkehre.

In Bild 70 sind die Kreisverkehre des Untersuchungskollektivs hinsichtlich ihrer Lage dargestellt. Eine tabellarische Übersicht der 109 ausgewählten Kreisverkehre befindet sich in Anhang 4. Das Kollektiv setzt sich aus 102 kleinen Kreisverkehren und 7 kleinen Kreisverkehren mit zweistreifig befahrbare Kreisfahrbahn zusammen.

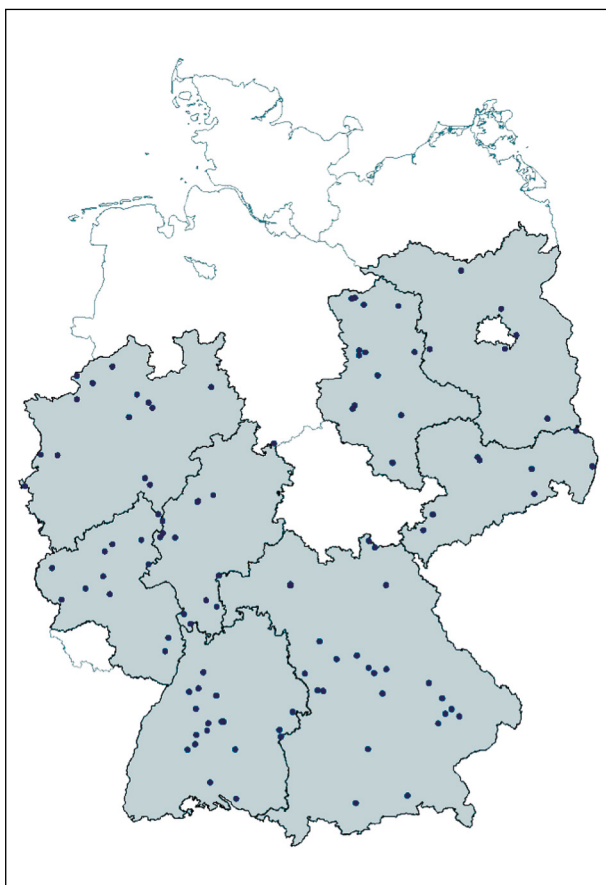


Bild 70: Lage der Kreisverkehre im Untersuchungskollektiv

4.1.2 Datenaufbereitung

Für die Kreisverkehre wird anhand der Lage-, Höhen- und Beschilderungspläne, Orthobilder und Befahrungsfotos der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) sowie der institutsinternen Software PHOROS Gestaltungsmerkmale erfasst und in einer Datenbank dokumentiert.

Die erhobenen Gestaltungsmerkmale gliedern sich in kreisverkehrs- und zufahrtsspezifische Merkmale. Die Geometrie der Zufahrt und des Fahrbahnteilers, die Markierung und Beschilderung, die Gestaltung der Annäherungsstrecke und netzplanerische Elemente variieren über die Zufahrten eines Kreisverkehrs und werden deshalb zufahrtsfein erfasst.

Kreisverkehr

Die Gestaltungsmerkmale des Kreisverkehrs und die erfassten Ausprägungen sind in Tabelle 25 dokumentiert. Die Bezeichnung der geometrischen Maße erfolgt nach Bild 2 (FGSV, 2006). Die Bestimmung des Kreisverkehrstyps erfolgt über die Bewer-

Merkmal	Ausprägung/Einheit
Anzahl Zufahrten	[-]
Außendurchmesser D	[m]
Durchmesser der Kreisinsel D_K	[m]
Breite des Kreisrings B_K	[m]
Kreisverkehrstyp	<ul style="list-style-type: none"> • einstreifig befahrbar • zweistreifig befahrbar
Gestaltung des Innenrings	<ul style="list-style-type: none"> • nicht vorhanden • markiert • baulich
Breite des Innenrings	[m]
Einfassung der Kreisinsel	<ul style="list-style-type: none"> • Flachbord • Aufkantung
Durchsicht Kreisinsel	<ul style="list-style-type: none"> • möglich • unterbunden
Oberfläche Kreisinsel	<ul style="list-style-type: none"> • begrünt • nicht begrünt
Einbauten Kreisinsel	<ul style="list-style-type: none"> • Baum • Sonstiges • nicht vorhanden
Markierung Z 295 (Breitstrich)	<ul style="list-style-type: none"> • vorhanden • nicht vorhanden
Querneigung Kreisfahrbahn	<ul style="list-style-type: none"> • außen • anders
Beleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> • vorhanden • nicht vorhanden

Tab. 25: Übersicht der kreisverkehrsfeinen Gestaltungsmerkmale

tung des Verhältnisses von Außendurchmesser und Breite des Kreisrings (vgl. Tabelle 5).

Für die Kreisinselgestaltung wird die Einfassung als Bord oder mit Natursteinpflaster (Aufkantung) dokumentiert. Weiterhin wird die Ausbildung der Kreisinsel als energieverzehrender Erdhügel überprüft. In der Datenaufbereitung ist zunächst auch die Erfassung der Höhe des Erdhügels vorgesehen, jedoch zeigt die Sichtung der Planungsunterlagen, dass nur für 20 Kreisverkehre Informationen zur Hügelhöhe vorliegen. An Kreisverkehren, für die Befahrungsbilder oder alternatives Bildmaterial vorliegen, wird anstelle der Höhe der Kreisinsel das Merkmal „Durchsicht“ erfasst. Dabei wird überprüft, ob der Erdhügel – bezogen auf die Blickhöhe der Pkw-Fahrzeugführenden – die Sicht auf die gegenüberliegende Kreisverkehrsseite unterbindet.

Als Einbauten auf der Kreisinsel werden Bäume und sonstige Einbauten anhand von Befahrungsbildern oder Luftbildern erfasst. Bäume werden dabei von Sträuchern unterschieden, sodass Sträucher nicht als Einbauten auf der Kreisinsel bewertet werden. Sonstige Einbauten beinhalten Kunstwerke, Gestein oder andere nichtpflanzliche Gegenstände.

Für die Kreisfahrbahn wird das Vorhandensein der Fahrstreifenbegrenzung (Z 295) als Breitstrich und die Querneigung aufgenommen.

Gestaltungsmerkmale, welche die Erkennbarkeit des Kreisverkehrs bei Dunkelheit erhöhen, betreffen je nach Anlage den gesamten Kreisverkehr oder nur einzelne Zufahrten und werden deshalb in beiden Betrachtungen analysiert. Als Gestaltungsmerkmale, welche die Erkennbarkeit verbessern, werden sowohl aktiv leuchtende Anlagen (z. B. Straßenbeleuchtung) als auch retroreflektierende Elemente (z. B. Beschilderung, Markierung) erfasst.

Kreiszufahrt

Die Lage der Zufahrten eines Kreisverkehrs zueinander wird durch den Winkel zur benachbarten Zufahrt beschrieben. Dieser wird jeweils zur nächsten Zufahrt im Uhrzeigersinn gemessen. Die Schenkel beschreiben jeweils die Linie vom Beginn des Fahrbahnteilers zum Mittelpunkt des Kreisverkehrs. Die Definition des Winkels $\bar{\alpha}$ ist für die südliche Zufahrt in Bild 71 dargestellt.

Weiterhin werden die Maße Fahrstreifenbreite B_Z und Eckausrundungsradius R_Z der Kreiszufahrt gemäß Bild 72 erfasst.

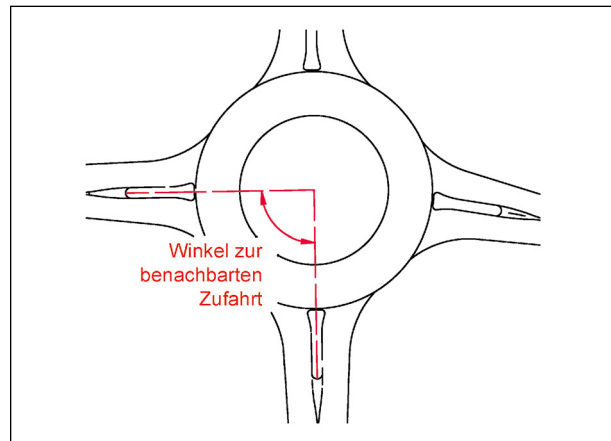


Bild 71: Definition des Winkels zur benachbarten Zufahrt

Kreisverkehrszufahrten, an denen ein Bypass angelegt ist, werden aufgrund der geringen Fallzahl und der gestalterischen Besonderheiten nicht weiter berücksichtigt.

Fahrbahnteiler

Die Form des Fahrbahnteilers wird in Anlehnung an die Erkenntnisse aus Kapitel 2.5.6 in Abhängigkeit von der Bordführung der Ränder des Fahrbahnteilers unterschieden:

- „Parallel“ (parallel zueinander verlaufende Geraden),
- „Dreiecksform“ (Geraden, deren Abstand in Richtung des Kreisverkehrs wächst),
- „angepasste Bordführung“ (teilweise als Kreisbogen ausgeführt; auch: Elefantenfuß).

Dabei werden Fahrbahnteiler in Dreiecksform und Fahrbahnteiler mit angepasster Bordführung als angepasste Führungen zusammengefasst. Für differenzierte Betrachtungen werden die Formen explizit benannt.

Neben der Form des Fahrbahnteilers wird dessen Länge und Breite erfasst. Die Breite beschreibt die größte Ausdehnung des Fahrbahnteilers, die sich i. d. R. am äußeren Rand der Kreisfahrbahn befindet.

Die Oberfläche der Fahrbahnteiler kann unterschiedlich gestaltet sein. So ist eine begrünte (Rasen), bepflanzte (Strauchbepflanzung) oder befestigte (Beton/Pflastersteine) Ausführung möglich.

Ist auf dem Fahrbahnteiler eine Überquerungsstelle für den nichtmotorisierten Verkehr angelegt, wird die Verkehrsführung dokumentiert. Dabei wird un-

terschieden, ob der nichtmotorisierte Verkehr merkblattgerecht gegenüber dem motorisierten Verkehr wartepflichtig oder entgegen der Empfehlungen bevorrechtigt geführt wird. Dies ermöglicht Rückschlüsse auf Unfälle zwischen querendem nichtmotorisierten und motorisiertem Verkehr.

Kreiseinfahrt und -einfahrwinkel

Die Führung der Kreiseinfahrt wird mit den Ausprägungen „radial“, „eher angepasst“ und „angepasst“ anhand des optischen Eindrucks erfasst. Kriterien für die optische Einordnung bilden die Form und Breite des Fahrbahnteilers und der Radius der Kreiseinfahrt.

Zur Ermittlung des Einfahrwinkels werden ausgewählte Ansätze überprüft. Die Untersuchung des aktuellen Erkenntnisstandes gibt keinen Aufschluss darüber, ob Fahrzeugführende sich bei der Kreiseinfahrt am rechten oder linken Fahrbahnrand orientieren. Die in der Literatur betrachteten Verfahren zur Bemessung des Einfahrwinkels nach VSS (2000) und The Highways Agency (2007) beziehen sich jeweils auf den rechten Fahrbahnrand. Aufgrund der Erkenntnisse zur radialen und angepassten Führung von SPAHN & BÄUMLER (2007) wird vermutet, dass der Radius des linken Fahrbahnrandes ebenso einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit hat. Aus diesem Grund wird die Analyse des Einfahrwinkels sowohl für den Radius des rechten Fahrbahnrandes (Radius der Kreiszufahrt R_Z) als auch für den Radius des linken Fahrbahnrandes (Radius des Fahrbahnteilers R_{FBT}) durchgeführt. Zur endgültigen Festlegung des in dieser Untersuchung zu verwendenden Verfahrens wurden die Methoden nach VSS (2000) und The Highways Agency (2007) an einem reduzierten Untersuchungskollektiv auf ihre Sensitivität überprüft. Beide Methoden wurden mit dem Radius des rechten und linken Fahrbahnrandes geprüft. Die Untersuchungsergebnisse wurden mit der optischen Einschätzung der Führung der Kreiseinfahrt abgeglichen. Die nach britischem Verfahren ermittelten Winkel erwiesen sich als geeigneter zur Charakterisierung der Kreiseinfahrt. Die in der Untersuchung verwendete Bemessung ist in Bild 72 dargestellt. Die Maße der südlichen Zufahrt zeigen die Bemessung des Einfahrwinkels anhand des linken Fahrbahnrandes, die der nördlichen Zufahrt für den Einfahrwinkel des rechten Fahrbahnrandes.

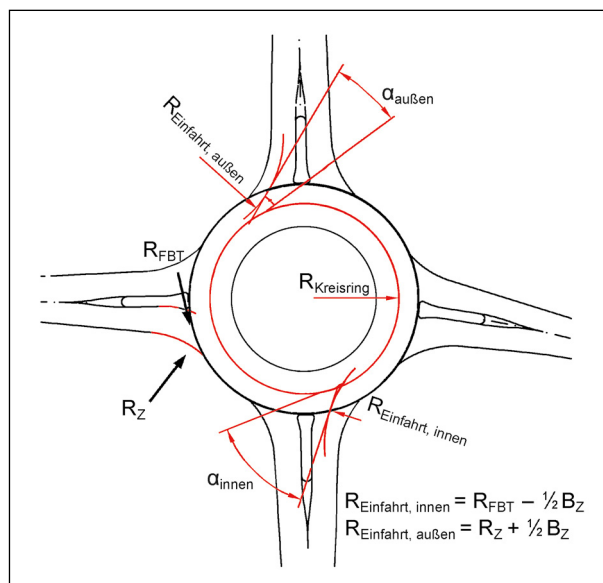


Bild 72: Definition der Einfahrwinkel

Ablenkung

Eine ausreichende Ablenkung der Fahrzeuge kann, wie in Kapitel 2.4 erläutert, anhand von Breitenmaßen, Winkeln oder Radien(-folgen) überprüft werden.

Die Methoden der Bemessung mittels Breitenmaß definieren keine eindeutigen Bezugslinien und werden daher nicht weiter betrachtet. Die Bemessung mittels Radien unterliegt teilweise subjektiven Einschätzungen und ist damit nur bedingt verallgemeinerbar, weshalb auch dieser Ansatz nicht weiterverfolgt wird.

Der in VSS (2000) definierte Ablenkungswinkel kann unter Berücksichtigung der nachfolgend erläuterten Randbedingungen anhand der verfügbaren Daten objektiv bestimmt werden. Dabei wird das in VSS (2000) definierte Vorgehen wie folgt modifiziert:

- Die Einfahrttangente wird zwischen den Kreisbögen der Mittelinsel und des um die Fahrstreifenbreite der Kreiszufahrt B_Z versetzten Eckausrundungsradius der Kreiszufahrt R_Z konstruiert.
- Die Ausfahrttangente wird zwischen den Kreisbögen der Mittelinsel und des um die Fahrstreifenbreite der Kreisausfahrt B_A versetzten Eckausrundungsradius der Kreisausfahrt R_A konstruiert.
- Der Winkel β wird wie in Bild 73 am Schnittpunkt der Tangenten bestimmt.

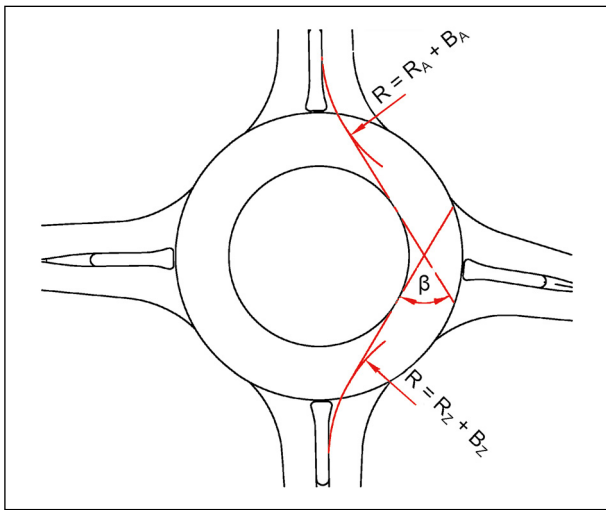


Bild 73: Ermittlung des Ablenkungswinkels in Anlehnung an VSS (2000)

An Kreisverkehren mit Innenring werden die Tangenten nicht an den Kreisbögen der Mittelinsel, sondern an den Kreisbögen des Innenrings konstruiert.

Die Bemessung des Ablenkungswinkels bezieht sich in den untersuchten Methoden jeweils auf die Ablenkung eines geradeausfahrenden Fahrzeuges. Die Ablenkung für andere Fahrbeziehungen wird nicht ermittelt.

Bei großen Eckausrundungsradien und/oder Fahrstreifenbreiten der Kreiseinfahrt ist der Ablenkungswinkel nicht konstruierbar.

Aus diesen Einschränkungen ergibt sich die Erkenntnis, dass die Bemessung mittels Ablenkungswinkel ein objektives, leicht umsetzbares Verfahren zur Bewertung der geschwindigkeitsdämpfenden Wirkung bildet, jedoch nicht für jede geometrische Konstellation anwendbar ist.

Markierung

Folgende Markierungen werden im Annäherungsbereich bis zur Wartelinie erfasst:

- Länge der Warnlinie (Zeichen 340),
- Länge der Fahrstreifenbegrenzung (Zeichen 295),
- Sperrfläche (Zeichen 298),
- Wartelinie (Zeichen 341).

Die Länge der Warnlinie und Fahrstreifenbegrenzung werden gemäß Bild 74 in Metern erfasst. Die Fahrstreifenbegrenzung wird dabei (aus Sicht eines

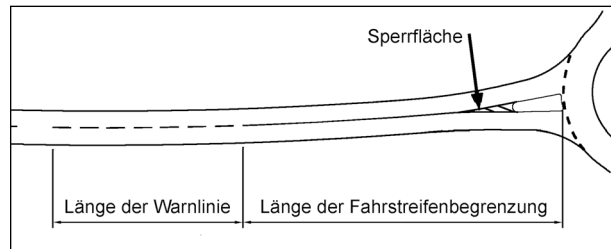


Bild 74: Erfassung der Markierung im Annäherungsbereich

nähernden Fahrzeugs) von Beginn der Fahrstreifenbegrenzung bis zum Beginn des Fahrbahnteilers bestimmt. Wenn eine Sperrfläche markiert ist, wird deren Länge in der Fahrstreifenbegrenzung berücksichtigt. Die Gestaltung der Sperrfläche wird in Anlehnung an die RMS als kleine oder große Sperrfläche erfasst.

An einzelnen Zufahrten ist im Bereich des Fahrbahnteilers eine zusätzliche Fahrstreifenbegrenzung markiert. Diese Markierung wird je nach Entfernung vom Bord in „nah“ und „weit“ unterschieden.

Die Markierung der Wartelinie wird dokumentiert, wenn sie von der Standardvorgabe (B1,5/1,5 in FGSV, 2006) abweicht.

Beschilderung

Es werden folgende Verkehrszeichen erfasst:

- Vorwegweiser (Zeichen 438) im Annäherungsbereich,
- Vorankündigung der Vorfahrtregelung (Zeichen 205 mit Zusatzzeichen 1004) im Annäherungsbereich,
- Beschilderung des Fahrbahnteilers (Zeichen 222 mit Zeichen 626),
- Verkehrsregelnde Beschilderung (Vorschriftzeichen) (Zeichen 205 mit Zeichen 215) an der Wartelinie der Kreiseinfahrt,
- Richtungstafeln in Kurven (Zeichen 625) auf der Kreisinsel,
- Zulässige Höchstgeschwindigkeit (Zeichen 274).

Für den Vorwegweiser und die Vorankündigung der Verkehrsregelung werden jeweils die Standorte im Sinne der Entfernung von der Wartelinie der jeweiligen Zufahrt erfasst (vgl. Bild 75). Sind in einer Zufahrt mehrere Vorwegweiser oder Vorankündigungen der Vorfahrtregelung aufgestellt, werden die jeweiligen Standorte erfasst.

Neben dem Standort der Verkehrszeichen wird deren Ausführung betrachtet. Vorwegweiser sind standardmäßig wie in Bild 7 ausgeführt. In Autobahnnähe können sie auch einen blauen Hintergrund besitzen. Eine weitere Ausführungsform ist der Vorwegweiser mit verkleinerter Wiedergabe des Zeichens 205 (vgl. Bild 76).

Die Vorankündigung der Vorfahrtregelung kann entweder einseitig (rechts der Fahrbahn) oder beidseitig (links und rechts der Fahrbahn) beschildert sein.

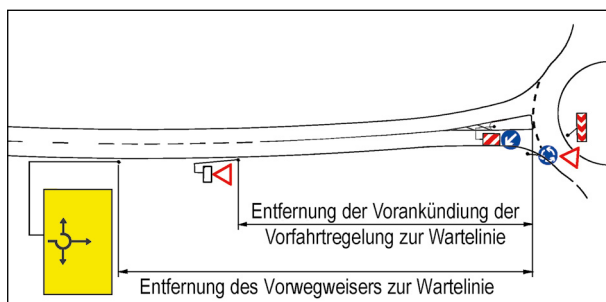


Bild 75: Erfassung der Beschilderung auf der Annäherungsstrecke

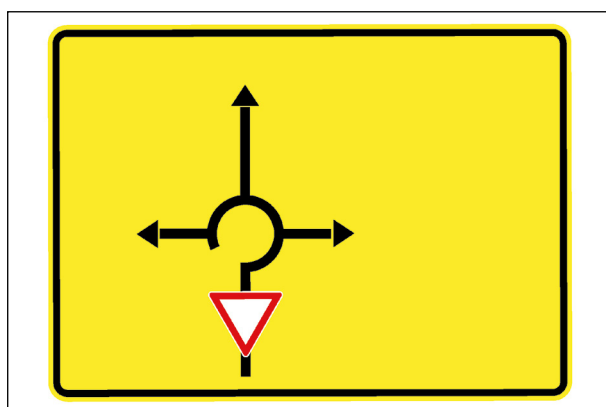


Bild 76: Ausführung des Vorwegweisers mit integrierter verkleinerter Wiedergabe des Zeichens 205



Der Fahrbahnteiler ist außerorts mit Zeichen 222 und Zeichen 626 zu beschildern. Ist abweichend von der Vorgabe nur Zeichen 222 oder keine Beschilderung vorhanden, wird dies erfasst.

Ein Kreisverkehr ist an der Wartelinie mit Zeichen 205 mit Zeichen 215 beschildert. Dabei stehen die Verkehrszeichen standardmäßig rechts von der Fahrbahn, können aber auch beidseitig (zusätzlich links von der Fahrbahn auf dem Fahrbahnteiler) angeordnet sein. In Einzelfällen wird Zeichen 205 zusätzlich als Überkopf-Zeichen angebracht.





Für die Richtungstafeln in Kurven auf der Kreisinsel gibt es verschiedene Aufstellungsformen. Grundsätzlich kann das Verkehrszeichen 625 ein- oder mehrfach in der Abmessung 500 x 500 mm oder 500 x 1.500 mm gegenüber der Kreiseinfahrt aufgestellt werden. Das Zeichen 211 ist laut Entwurfsbestimmungen nur an innerörtlichen Kreisverkehren anzuordnen, wird in der Praxis jedoch auch außerorts angeordnet. Die verbreiteten Aufstellungsformen sind in Tabelle 26 abgebildet. Dabei variieren die Aufstellungsformen über die Art des Verkehrszeichens, deren Anzahl, die Abmessungen und die Anordnung der Verkehrszeichen zueinander.

Zusätzlich zu den genannten Varianten gibt es an zwei Kreisverkehren kombinierte Aufstellungen der Zeichen 625 und Zeichen 211. Diese Aufstellung kann aufgrund der geringen Fallzahl nicht näher untersucht werden.

Für Annäherungsbereiche, für die Streckenbefahrungsbilder vorliegen, werden die zulässige Höchstgeschwindigkeit und die Gestaltung des Geschwindigkeitstrichters erfasst. Dazu werden für die Zeichen 274 die angegebene zulässige Höchstgeschwindigkeit und die Entfernungen der Verkehrszeichen zur Wartelinie dokumentiert. Die Betrachtung

Verkehrszeichen	Anzahl	Aufstellung		Beispielbild
		Abmessung	Anordnung	
Z 625	1	500 x 500 mm	-	
Z 211	1	Ø 600 mm bis 750 mm	-	

Tab. 26: Varianten der Aufstellung der Richtungstafeln in Kurven auf der Kreisinsel (Bilder: BAST)

Verkehrszeichen	Anzahl	Aufstellung		Beispielbild
		Abmessung	Anordnung	
Z 625	2	500 x 500 mm	aufgelöst	
Z 625	2	500 x 500 mm	nicht aufgelöst	
Z 625	3	500 x 500 mm	aufgelöst	
Z 625	1	500 x 1500 mm	-	

Tab. 26: Fortsetzung

tung bezieht sich auf die Strecke vom vorherigen Knotenpunkt im Netz bis zur Kreiseinfahrt.

Informationen zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit werden daher in den ZEB-Befahrungsbildern (Stand: 2015) erfasst und liegen nur für 50 Zufahrten vor, sodass das Kriterium in den statistischen Analysen nicht weiter untersucht werden kann.

Annäherungsbereiche

Zur Klassifizierung der verknüpften Straßen wird die Verbindungsfunktionsstufe (VFS) für jede Zufahrt nach den Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (FGSV, 2008) bestimmt.

Die Strecke im Vorfeld des Kreisverkehrs wird in Anlehnung an das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (FGSV, 2015) für eine Länge von 800 m betrachtet. Dabei wird der Streckenquerschnitt, Lageplan- und Höhenplanelemente sowie die Lage im Straßennetz evaluiert.

Der Querschnitt wird anhand der Streckenmarkierungen kategorisiert. Eine Einteilung der Querschnitte in die Regelquerschnitte nach FGSV (2012) ist nicht umsetzbar, da die Strecken im Bestand i. d. R. nach älteren Regelwerken geplant wurden. Kreisverkehre werden laut FGSV (2012) vorwiegend an Strecken mit einbahnig zweistreifigen

Querschnitten gebaut. Ist im Annäherungsbereich ein davon abweichender Querschnitt vorhanden, wird dieser dokumentiert. Mögliche vorliegende Querschnitte sind einbahnige Querschnitte ohne Trennung der Fahrrichtungen oder einbahnige Querschnitte mit Überholfahrstreifen. Ist ein Kreisverkehrsarm eine Rampe, die als Zubringer zu einer höherklassigen Straße dient, wird dies gesondert ausgewiesen.

Liegt in der Annäherung zum Kreisverkehr eine Abkröpfung oder Veschwenkung vor, so wird deren Länge (Abstand der letzten Richtungsänderung zum Kreismittelpunkt) und Breite erfasst.

Die Linienführung im Lageplan wird mithilfe der Kurvigkeit KU beschrieben. Die Kurvigkeit ist gemäß FGSV (2012) definiert als die Summe der absoluten Beträge der Winkeländerung bezogen auf die Länge des Streckenabschnitts (hier: 800 m). Für Strecken, bei denen innerhalb dieses Bereiches die Ortslage wechselt oder die Längen von weniger als 800 m aufweisen (z. B. aufgrund benachbarter Einmündungen), werden keine Kurvigkeiten bestimmt.

Für die Betrachtung des Höhenplans wird eine Streckenlänge von 50 bis 100 m festgelegt. Als Grundlage dieser Festlegung wurden die gelieferten Höhenpläne betrachtet und festgestellt, dass nur in

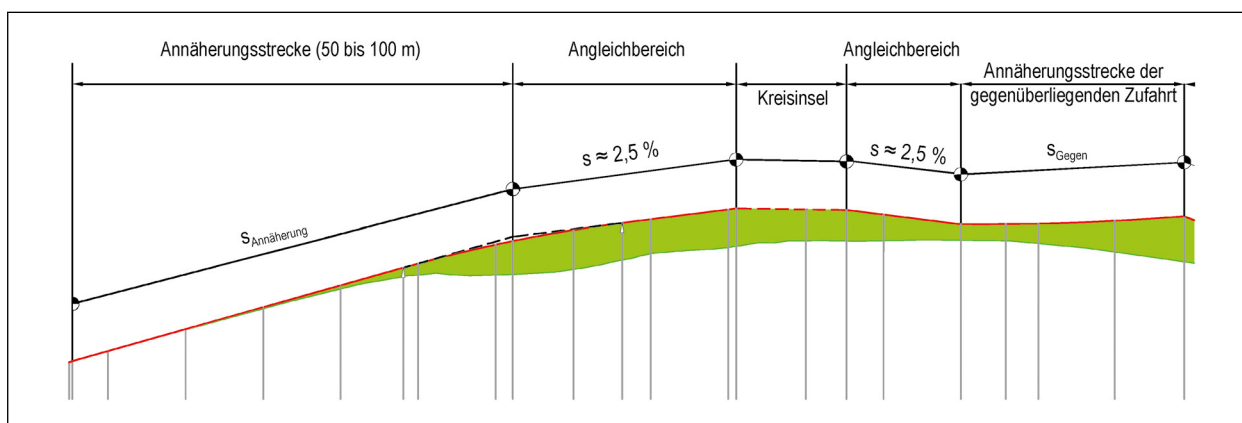


Bild 77: Systemskizze Höhenplan

Charakteristik der Höhenplanelemente	Längsneigung der Annäherungsstrecke	Längsneigung der Annäherungsstrecke der gegenüberliegenden Zufahrt
	$s_{\text{Annäherung}}$	$s_{\text{Annäherung}}$
Ebene	$-2,5 \% < s < +2,5 \%$	nicht relevant
Kuppe	$s \geq +2,5 \%$	$s \geq -2,5 \%$
Wanne	$s \leq -2,5 \%$	$s \leq +2,5 \%$
Steigung	$s \geq +2,5 \%$	$s \geq +2,5 \%$
Gefälle	$s \leq -2,5 \%$	$s \leq -2,5 \%$

Tab. 27: Lage des Kreisverkehrs im Bezug zum Höhenplan

Ausnahmen Höhenplandaten für mehr als 100 m Streckenlänge im Vorfeld des Kreisverkehrs vorliegen. Die Mindestlänge von 50 m wird festgelegt, um fehlerhafte Bewertungen auf Grundlage geringer Datenbasis zu vermeiden.

An vielen Kreiszufahrten ist unmittelbar vor der Kreisfahrbahn ein Bereich mit 2,5 % Steigung (\cong Querneigung Kreisfahrbahn) angelegt, welcher nachfolgend als Angleichbereich bezeichnet wird (Bild 77). Dieser wird nicht in die Bewertung einbezogen, weil er keine Information zur Linienführung der Annäherungsstrecke liefert.

Die Einordnung der Führung im Höhenplan erfolgt auf Grundlage der Längsneigung der Annäherungsstrecke der betrachteten Zufahrt $s_{\text{Annäherung}}$ und der Längsneigung der gegenüberliegenden Zufahrt s_{Gegen} . Die Kriterien zur Auswertung der relevanten Höhenplanelemente sind in Tabelle 27 aufgeführt (Die Angaben zur Längsneigung in Tabelle 27 der betrachteten und der gegenüberliegenden Zufahrt beziehen sich dabei durchgängig auf die Fahrtrichtung aus der der Kreisverkehr befahren wird).

Weiterhin wird das Umfeld der Zufahrten erfasst. Die Kategorisierung erfolgt optisch auf Grundlage

von Luftbildern. Das Umfeld wird in die nachfolgenden Kategorien eingeteilt:

- Feld,
- Wald,
- Gewerbe und
- lockere Bebauung.

Lage im Netz

Um den Grad der Isolation des Kreisverkehrs zu bestimmen, wird die Entfernung zur nächsten Ortschaft bestimmt. Bis 800 m Entfernungen wird die Entfernung in Metern bestimmt, bei Entfernungen ≥ 800 m wird nur die Information „Ortschaft ≥ 800 m entfernt“ aufgenommen. Maßgebend ist dabei der Beginn der Bebauung.

Weiterhin wird der Abstand zum nächsten Knotenpunkt auf der Strecke festgehalten. Auch für diese Betrachtung wird der 800 m lange Annäherungsbereich verwendet. Für Knotenpunkte außerhalb des 800 m Radius wurde die Art des Knotenpunkts, jedoch nicht die Entfernung erfasst.

Es werden nur Knotenpunkte betrachtet, die eine Markierung aufweisen, womit Wirtschaftswege und Grundstückszufahrten ausgeschlossen werden. Die Art des Knotenpunktes wird unterschieden nach „Einmündungen und Kreuzungen mit Vorfahrtsbeschilderung“, „Kreisverkehr“, „Lichtsignalanlage“ und „planfreier Knotenpunkt“ (Rampen mit Ein- und Ausfädelungsbereichen). Liegt der Knotenpunkt innerhalb einer Ortschaft, so wird davon ausgegangen, dass die Art des Knotenpunktes aufgrund der Innerorts Lage für die Untersuchung nicht relevant ist, weshalb die Ausprägung „Ortsdurchfahrt“ dokumentiert wird.

Im Zuge des Pretests der Datenaufbereitung zeigt sich, dass zusätzlich zur Erhebung des nächsten Knotenpunktes (über alle Straßenkategorien) die Erhebung des nächsten Knotenpunktes im klassifizierten Netz sinnvoll ist, da nicht klassifizierte Straßen im Untersuchungskollektiv i. d. R. vorfahrtrechtlich untergeordnet sind und von den Fahrzeugführenden ggf. nur eingeschränkt wahrgenommen werden. Auch für den Knotenpunkt im klassifizierten Netz wird die Art des Knotenpunktes dokumentiert.

4.1.3 Verkehrsdaten

Verkehrsdaten werden in Form von DTV-Werten und verkehrstromfeinen Belastungen in der Untersuchung erhoben.

DTV-Werte an den zuführenden Strecken liegen in Form von Straßenverkehrszählungen (SVZ) des Bundes bzw. der Länder vor. Zusätzlich wurden für einzelne Kreisverkehre Verkehrsstärken aus Zählungen von den Straßenbauverwaltungen zur Verfügung gestellt. Die SVZ wurde im Jahr 2015 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur auf allen Bundesfernstraßen im gesamten Bundesgebiet vorgenommen. In den acht untersuchten Bundesländern wurde die Untersuchung zusätzlich auf Landesstraßen, in einigen Ländern auch auf Kreisstraßen ausgedehnt.

Außerhalb der bundesweiten SVZ wird die Zählung von Verkehrsstärken an Knotenpunkten i. d. R. im Zuge der Vorplanung von Umbaumaßnahmen, z. B. beim Umbau einer Kreuzung in einen Kreisverkehr vorgenommen. Die Zählungen werden vor der Baumaßnahme durchgeführt. Die von den Straßenbauverwaltungen erhaltenen Verkehrsdaten entsprechen somit häufig den Verkehrsstärken der vor dem Umbau zum Kreisverkehr vorliegenden Knoten-

punktform und wurden 10 bis 15 Jahre vor der Untersuchung erhoben.

Im Hinblick auf die Datengüte der Verkehrsstärken, wird für die Betrachtung des DTV die Nutzung der SVZ 2015 angestrebt, da:

- Der Erhebungszeitpunkt der Verkehrszählungen an vielen Kreisverkehren weit in der Vergangenheit liegt, sodass Verkehrsstärkenänderungen z. B. durch Änderungen im angrenzenden Netz wahrscheinlich sind.
- Diese eine einheitliche Datenbasis im Sinne des Erhebungszeitpunktes und der Erhebungsmethodik bilden.

Nachteil der landesweiten Straßenverkehrszählung ist, dass diese sich nur auf ausgewählte Zählstellen bezieht, welche häufig nicht in direkter Umgebung der untersuchten Kreisverkehre liegen. Die Verkehrsstärken werden für Streckenabschnitte angegeben, auf denen teilweise (i. d. R. nachgeordnete) Straßen einmünden, sodass die tatsächlichen Verkehrsstärken auf den Strecken abweichen können. Da an den nachgeordneten Straßen die Verkehrsstärken i. d. R. gering sind, wird diese Abweichung in der Untersuchung akzeptiert.

Für die Unfallmodelle und Kennwerte werden die Verkehrsstärken der Zufahrten über den gesamten Querschnitt betrachtet, womit die zu- und ausfahrenden Ströme in die Modelle einfließen. Die Verkehrsstärke des Kreisverkehrs wird als Summe der Verkehrsstärken über alle Zufahrten ermittelt. Hierbei ist für jede Zufahrt die halbe Querschnittsverkehrsstärke maßgebend. Für einen Großteil der Kreis-, Gemeinde- und landwirtschaftliche Straßen sowie für einzelne Zufahrten auf Bundes- und Landesstraßen liegen keine Verkehrsdaten der SVZ vor. Für diese wurde (falls vorhanden) auf die Zählungen der Knotenpunktzählungen zurückgegriffen.

Zufahrten, für die keine Verkehrsdaten zur Verfügung stehen, werden in der zufahrtsfeinen Unfallanalyse (2. Stufe) nicht berücksichtigt. Um für die 1. Stufe der Unfallanalyse die Anzahl der Kreisverkehre aufgrund fehlender Verkehrsdaten einer (i. d. R. nachgeordneten) Zufahrt nicht zu stark reduzieren zu müssen, werden pauschale DTV-Werte zur Ermittlung der Gesamtbelastung eines Kreisverkehrs angesetzt. Die angenommenen Verkehrsstärken betragen:

- Wirtschaftsweg: 0 Kfz/24h

- Gemeindestraße: 1.000 Kfz/24h
- Kreisstraße: 1.000 Kfz/24h

Liegen für Zufahrten von Bundes- und Landesstraßen keine Verkehrsstärken vor, werden keine pauschalen DTV-Werte angesetzt, da die Verkehrsstärken nicht abschätzbar sind. Diese Kreisverkehre können nicht in die verkehrsstärkenabhängige Unfalluntersuchung einbezogen werden.

Verkehrsstromfeine Verkehrsstärken liegen nur für eine sehr geringe Anzahl an Kreisverkehren vor, sodass keine verkehrsstromfeinen Betrachtungen durchgeführt werden können.

4.1.4 Unfalldaten

Zur Erhebung der Unfalldaten wird zuerst die zeitliche und räumliche Ausdehnung des Untersuchungsraumes festgelegt.

Der Betrachtungszeitraum für die Auswertung von Unfalldaten muss laut FGSV (2012) mindestens drei Jahre betragen. Die Erkenntnisse aus Kapitel 2.5.1 zeigen, dass Unfälle an Kreisverkehren außerhalb bebauter Gebiete sehr seltene Ereignisse sind. Durch die vergleichsweise geringen Unfallzahlen ist eine Ableitung von sicherheitsrelevanten Einflussfaktoren für kurze Analysezeiträume nur eingeschränkt möglich. Für die Unfallanalyse wird folglich ein über die Mindestdauer hinausgehender Betrachtungszeitraum von 5 Jahren festgelegt. Der angestrebte Auswertungszeitraum erstreckt sich vom 01.01.2012 bis zum 31.12.2016. Ein längerer Betrachtungszeitraum ist nicht sinnvoll, da:

- die Wahrscheinlichkeit einer Veränderung des Verkehrsaufkommens sowie der Infrastrukturmerkmale hoch ist und
- generelle Trends in der Unfallentwicklung (Rückgang der Unfälle mit schweren Personenschäden, Verlagerungen innerhalb der Unfallkategorien) die Aussagefähigkeit der Ergebnisse mindern könnten.

Für Kreisverkehre, die nach 2012 für den Verkehr freigegeben wurden, wird der Untersuchungszeitraum um ein Vielfaches von 12 Monaten verkürzt, sodass der Beginn der Untersuchung auf den 01.01. des ersten Jahres nach der Verkehrsfreigabe festgelegt wird. Der Mindestzeitraum von drei Jahren wird dabei nicht unterschritten. Bei ausreichender Datenverfügbarkeit wird der Betrachtungszeitraum für einzelne Kreisverkehre auf das Jahr 2017 erwei-

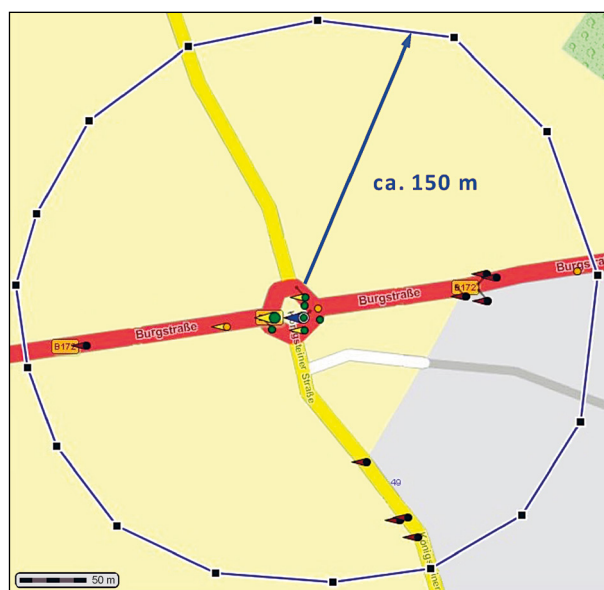


Bild 78 : Untersuchungsraum für das Unfallgeschehen

tert, um einen möglichst langen Betrachtungszeitraum zu gewährleisten.

Für die Festlegung der räumlichen Ausdehnung werden in Anlehnung an die Untersuchungen von SPAHN & BÄUMLER (2007) und VIETEN et al. (2010), die Unfälle im Umkreis von 150 m einbezogen (vgl. Bild 78). Um diese Annahme zu überprüfen, wurde eine Sensitivitätsprüfung an 20 Kreisverkehren durchgeführt. In dieser wurden zusätzlich auch alle Unfälle in 250m-Umkreis betrachtet. Es zeigte sich, dass die Mehrheit der relevanten Unfälle im Umkreis von 50 m um den Kreisverkehr verortet werden. Ein geringerer Anteil der relevanten Unfälle liegt im Umkreis von 50 m bis 150 m. Die Unfälle im Abstand von mehr als 150 m zum Kreisverkehr standen in nur wenigen Einzelfällen mit dem Kreisverkehr in Zusammenhang.

Mit diesen Festlegungen werden die Unfalldaten aus der Unfalldatenbank exportiert oder bei den zuständigen Behörden der Länder um das Übermitteln der Unfalldaten gebeten.

Die erhaltenen Unfalldaten werden anschließend aufbereitet, indem

- Wildunfälle, Unfälle die nach dem Verlassen des Kreisverkehrs auftreten und Unfälle an anderen Knotenpunkten oder sonstigen Verkehrsanlagen entfernt und
- jeder Unfall einer Kreisverkehrszufahrt zugeordnet wird.

Für die Zuordnung und Plausibilisierung der Daten werden zwei verschiedene Ansätze genutzt:

- Die Unfalldaten in Hessen, Sachsen-Anhalt, Sachsen und z. T. in Baden-Württemberg liegen dem Auftragnehmer vollständig inklusive Unfallhergangstexten und ggf. Unfallskizzen vor. Für diese Daten wird die Zuordnung der Unfälle durch das Erstellen von Unfalldiagrammen oder durch Erschließen der Unfallsituation aus Texten und Skizzen vorgenommen.
- In Brandenburg, Bayern, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz liegen die Unfalldaten in Form von Unfalldaten mit Georeferenz (Koordinaten) vor. Die Unfälle werden den Zufahrten anhand ihrer Position zum Kreisverkehr zugewiesen. Bei nicht eindeutig verorteten Unfällen werden zusätzlich die Straßenbezeichnung und Fahrtrichtung (aufsteigend/absteigend) betrachtet.

Kann ein Unfall keiner Zufahrt zugeordnet werden, so wird er in der kreisverkehrs-, jedoch nicht in der zufahrtsfeinen Unfallanalyse betrachtet.

Zusätzlich zur Zufahrtszuordnung werden die Merkmale „Unfall in der Annäherung“ und „Unfall in der Kreisausfahrt“ vergeben. Als Annäherungsunfälle werden jene bezeichnet, die im Abstand von mehr als 20 m von der Kreisfahrbahn auftreten. Ausfahr-runfälle sind Unfälle, die beim Verlassen des Kreisverkehrs auftreten. Da Unfälle im Annäherungsbe-reich und beim Verlassen des Kreisverkehrs nur einen geringen Anteil am Gesamtunfallgeschehen ausmachen, werden in den Modellen der Zufahrten alle Unfälle des betrachteten Arms gemeinsam betrachtet.

Ergebnis der Unfalldatenaufbereitung ist eine Liste aller an den Untersuchungsstellen aufgetretenen Unfälle mit kreisverkehrs- und zufahrtsfeiner Zuordnung.

Die Erfassung der Unfalldaten erfolgt durch die Polizeidienststellen und liegt damit in Verantwortlichkeit der Länder, was zu verschiedenen Datenerfassungen führt. Unfälle mit leichten Sachschaden (Bagatellschäden) werden in Bayern gesondert als Unfallkategorie 0 aufgenommen, für welche auf die Aufnahme z. B. des Unfalltyps verzichtet wird. Da diese Unfälle für die Untersuchung keinen Erklärungsgewinn bringen, werden sie nicht betrachtet. Auch in Nordrhein-Westfalen werden Unfälle der Kategorie 5 nicht konsequent erfasst.

4.1.5 Unfallkenngrößen

Die Unfallstruktur der ausgewählten Kreisverkehre wird analog zu der Untersuchungsmethodik des Unfallgeschehens in Deutschland und ausgewählten Bundesländern (siehe Kapitel 3.1) analysiert.

Zur Bewertung der Verkehrssicherheit werden UR und UKR der Kreisverkehre und der einzelnen Zufahrten ermittelt.

Die Berechnung der Unfallkosten erfolgt für die einzelnen Kreisverkehre aufgrund der geringen Unfallzahlen mit pauschalen Unfallkostensätzen. Pauschalen Unfallkosten können laut FGSV (2012) nachfolgender Gleichung ermittelt werden:

$$UK_{U(P,S)} = n_{U(P)} \cdot KS_{U(P)} + n_{U(SS)} \cdot KS_{U(SS)} + n_{U(LS)} \cdot KS_{U(LS)}$$

mit

$UK_{U(P,S)}$ Unfallkosten für Unfälle mit Personen- und Sachschaden [€]

$KS_{U(P)}, KS_{U(SS)}, KS_{U(LS)}$ Kostensatz für Unfälle mit Personenschaden, schwerem und leichtem Sachschaden gemäß Tabelle 28 [€/U]

n_U Unfallanzahl der jeweiligen Kategorie [-]

Eine Unterscheidung nach schweren und leichten Personenschaden erfolgt somit nicht. Die verwendeten Unfallkostensätze sind in Tabelle 28 dargestellt.

Die Ermittlung von UR und UKR wird für alle Unfälle, Fahr-runfälle, Einbiegen-Kreuzen-Unfälle und Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach links (Unfallart 9) durchgeführt. Zusätzlich wird die Untersuchung der Unfalltypen und -arten auf Unfälle bei Dämmerung und Dunkelheit spezifiziert.

Um Aussagen zu unfallbegünstigenden Gestaltungsmerkmalen zu treffen, werden die Kreisver-

Unfallkategorie	Unfall mit Personenschaden U(P)	Unfall mit schwerem Sachschaden U(SS)	Unfall mit leichtem Sachschaden U(LS)
Kostensatz je Unfall KS_U [€/U]	100.000	17.900	4.190

Tab. 28: Unfallkostensätze KS_U – Preisstand 2009 (FGSV, 2012)

kehrer und Kreisverkehrszufahrten über ein Merkmal zu Klassen zusammengefasst und deren UR und UKR gemittelt – siehe Kapitel 4.2.5.

4.1.6 Unfallmodell

Für die Kreisverkehre und Kreisverkehrszufahrten werden Unfallmodelle (Verallgemeinerte lineare Modelle) erstellt. Ziel der Modellbildung ist weniger das Unfallmodell selbst (z. B. zur Vorhersage des Unfallgeschehens), als vielmehr die Ableitung signifikant auf das Unfallgeschehen wirkender Einflussgrößen.

Die Auswahl möglicher Teilmodelle¹ erfolgt anhand der abhängigen Variablen (Unfälle). Grundsätzlich werden Modelle für Kreisverkehrszufahrten und Kreisverkehre unterschieden. In der ersten Modellstufe wird das Gesamtunfallgeschehen U(P,S) sowie das Unfallgeschehen ohne Berücksichtigung leichter Sachschadensunfälle U(P,SS) betrachtet. Um Rückschlüsse auf Defizite in der Erkennbarkeit von Kreisverkehren zu ziehen, werden anschließend Teilmodelle für den Unfalltyp 1 (Fahrunfall) und die Unfallart 9 (Abkommen von der Fahrbahn nach links) erstellt. Zusätzlich wird nach dem Merkmal „Lichtverhältnisse“ differenziert, sodass Teilmodelle über alle Lichtverhältnisse und für Unfälle bei Dämmerung und Dunkelheit erstellt werden.

Aufgrund der geringen Anzahl an Unfällen können keine Teilmodelle für Unfälle mit Personenschaden U(P) oder Unfälle mit schwerem Personenschaden U(SP) erstellt werden. Modelle für Unfälle mit Personenschaden und schwere Sachschaden U(P,SS) können für Unfälle bei Dämmerung und Dunkelheit und für Unfälle des Unfalltyps 1 erstellt werden, bei den übrigen Unfallkollektiven ist die Anzahl der U(P,SS) zu gering.

Tabelle 29 zeigt eine Übersicht der erstellten Teilmodelle. Für die Erstellung eines Teilmodells wird die durchschnittliche Unfallanzahl mit $\geq 0,5$ Unfälle je Zufahrt bzw. ≥ 2 Unfälle je Kreisverkehr als Grenzwert festgelegt.

Die Einflussgrößen werden vor der Modellierung auf ihren Besetzungsgrad im Kollektiv überprüft. Ausprägungen, welche in weniger als 5 % der Fälle

Nr.	Teilmodell nach Unfallgeschehen			
	Typ/Art	Licht	Kategorie	
Kreisverkehrszufahrt	01	Alle	Alle	U
	02		Dä+Du	U
	03		Dä+Du	U(P;SS)
	04	Typ 1	Alle	U
	05		Alle	U(P;SS)
	06		Dä+Du	U
	07	Art 9	Alle	U
Kreisverkehr	08	Alle	Alle	U
	09		Dä+Du	U
	10		Dä+Du	U(P;SS)
	11	Typ 1	Alle	U
	12		Alle	U(P;SS)
	13		Dä+Du	U
	14	Art 9	Alle	U

Tab. 29: Übersicht über Teilmodelle

aufzutreten, werden entweder anders kategorisiert (Zusammenfassung mit anderen Merkmalsausprägungen) oder das Merkmal aus der Modelluntersuchung ausgeschlossen.

Weiterhin werden die Einflussgrößen auf Korrelationen überprüft. Es werden bivariate Korrelationen mithilfe von Spermanns Rangkorrelationskoeffizienten betrachtet. Einflussgrößen, deren Korrelationskoeffizient höher als 0,6 ist, werden nicht in dasselbe Modell aufgenommen.

Straßenverkehrsunfälle sind seltene Ereignisse, weshalb für deren zufälliges Auftreten eine Poissonverteilung angenommen wird. Durch die Verwendung verallgemeinerter linearer Modelle wird diesem Aspekt Rechnung getragen, da die Überprüfung signifikanter Einflussgrößen bei der Modellierung unter der Annahme poissonverteilter Erwartungswerte für die abhängige Variable erfolgt. Die Schätzung der Regressionskoeffizienten der signifikanten Einflussgrößen erfolgt in der nachfolgenden Modellierungsstufe auf Basis einer negativen Binomialverteilung, da diese eine bessere Anpassung der Modelle an das Untersuchungskollektiv ermöglicht.

Im Unfallmodell wird der Erwartungswert der Unfallanzahl anhand folgender Gleichung beschrieben:

$$U_{Erw} = e^{\beta_0 + \sum \beta_i \cdot x_i}$$

mit

¹ Der Begriff Teilmodell wird verwendet, da in den Unfallmodellen nur Teile des Gesamtunfallgeschehens berücksichtigt werden (vgl. Tabelle 29).

U_{Erw}	Erwartungswert der Unfallanzahl	[-]
β_0	Modellkonstante	[-]
β_i	Regressionsparameter von x_i	[-]
x_i	Einflussgröße i	

Der konstante Term setzt sich aus den beschreibenden Variablen (Einflussgrößen) und Expositionsgrößen (Verkehrsstärke, Betrachtungszeitraum) zusammen. Dabei kann für die Expositionsgrößen ein natürlicher Zusammenhang zur Unfallanzahl beschrieben werden, da der Wert Null einer Expositionsgröße zur Folge hat, dass die Unfallanzahl ebenso Null beträgt. Um diesen Umstand zu berücksichtigen, werden die Expositionsgrößen logarithmiert in die Modellgleichung aufgenommen:

$$U_{Erw} = e^{\beta_0 + \sum \beta_i \cdot x_i + \sum \beta_j \cdot \ln(x_j)}$$

mit

U_{Erw}	Erwartungswert der Unfallanzahl	[-]
β_0	Modellkonstante	[-]
β_i	Regressionsparameter von x_i	[-]
x_i	Einflussgröße i	
β_j	Regressionsparameter von x_j	[-]
x_j	Expositionsgröße j	

Der Zusammenhang zwischen Unfallanzahl und Betrachtungszeitraum wird generell als linear angenommen, weshalb er als „Offset-Variable“ bei der Modellierung berücksichtigt wird und das Unfallmodell somit Aussagen zur jährlichen Unfallanzahl gibt. Daraus ergibt sich die Gleichung des Unfallmodells für den vorliegenden Untersuchungsfall zu:

$$U_{Erw} = e^{\beta_0} \cdot DTV^{\beta_{DTV}} \cdot e^{\sum \beta_i \cdot x_i}$$

mit

U_{Erw}	Erwartungswert der jährlichen Unfallanzahl	[U/a]
β_0	Modellkonstante	[-]
DTV	Durchschnittlich täglicher Verkehr (Exposition)	[Kfz/24h]
β_{DTV}	Regressionsparameter des DTV	[-]
x_i	Einflussgröße i [divers]	
β_i	Regressionsparameter von x_i	[-]

Zur Erstellung der Unfallmodelle wird zuerst ein Nullmodell auf Basis eines konstanten Terms und der Offset-Variable (Betrachtungszeitraum) gebildet. Anschließend wird der logarithmierte DTV als Expositionsgröße in das Modell aufgenommen. Die

Aufnahme weiterer Einflussgrößen erfolgt auf Grundlage der Bewertung von Anwärtersmodellen. Hierzu wird jede verfügbare Größe zusätzlich in das Modell der vorherigen Stufe aufgenommen und auf Signifikanz und Anpassungsgüte geprüft. Die Einflussgröße, die zur besten Anpassungsgüte führt (und dabei signifikant ist), wird in das Modell aufgenommen. Dieser Prozess wird sukzessive wiederholt, bis die Aufnahme einer weiteren Einflussgröße nicht zur deutlichen Verbesserung der Anpassungsgüte führt.

Ziel der Erstellung der Teilmodelle bildet somit die bestmögliche Erklärung der beobachteten Unfallzahlen bei gleichzeitiger Signifikanz der Einflussgrößen und des Modells. Die ermittelten Teilmodelle stellen jeweils das Optimum zwischen der abhängigen Größe Unfallanzahl und mehreren unabhängigen Größen (Einflussgrößen) dar. Als Kriterium für das Modelloptimum werden die aggregierten Residuen zwischen modelliertem Erwartungswert und tatsächlicher Unfallanzahl verwendet (Aggregiert über alle Kreisverkehrszufahrten bzw. Kreisverkehre mit Pearson X^2).

Da in ein Unfallmodell nur eine begrenzte Anzahl an Einflussgrößen aufgenommen werden kann, i. d. R. aber auch weitere Einflussgrößen einen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen haben, werden zusätzlich zu den Teilmodellen Alternativmodelle erstellt. Diese unterscheiden sich von den Teilmodellen insofern, als dass andere signifikante Einflussgrößen zur Erklärung des Unfallgeschehens verwendet werden, die bezogen auf das Unfallgeschehen allerdings nicht die Erklärungsgüte erreichen, wie die Teilmodelle. Dieses Vorgehen wird gewählt, da die Fragestellung in dieser Untersuchung nicht in der bestmöglichen Beschreibung der erhobenen Daten besteht, sondern sicherheitsrelevante Gestaltungsmerkmale der Kreisverkehre bzw. Kreisverkehrszufahrten identifiziert werden sollen.

4.1.7 Systematisiertes Unfalldiagramm

Um wiederkehrende Unfallkonstellationen zu identifizieren, wird ein systematisiertes Unfalldiagramm erstellt. Dafür werden, basierend auf den Unfalldiagrammen aus Kapitel 4.1.4 die 6 Zufahrten mit den meisten Fahrunfällen sowie Einbiegen/Kreuzen-Unfällen identifiziert und das Unfallgeschehen an diesen Zufahrten systematisch in ein gemeinsames Unfalldiagramm eingetragen. Der Betrachtungszeitraum entspricht dem der Unfallanalyse.

4.2 Ergebnisse

Die detaillierte Unfallanalyse wird für die 109 erhobenen Kreisverkehre durchgeführt. Dabei liegt für 96 Kreisverkehre ein Betrachtungszeitraum von 5 Jahren, für fünf Kreisverkehre von 4 Jahren und für acht Kreisverkehre ein Betrachtungszeitraum von 3 Jahren vor. Insgesamt werden 1.108 Unfälle in die Untersuchung einbezogen.

4.2.1 Unfallschwere und -kosten

Die Unfallkosten für Unfälle mit Personenschaden (N = 279) und Unfälle mit schwerem Personenschaden (N = 60) betragen ca. 63.000 €/U(P) und 220.000 €/U(SP). Damit ist die mittlere Unfallschwe-

re im Untersuchungskollektiv vergleichbar mit der in den Bundesländern Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt bestimmten Unfallschwere (vgl. Kapitel 3.2.1).

Um den möglichen Einfluss unterschiedlicher Unfallfasserfassung in den Bundesländern bewerten zu können, werden Unfallstruktur und -kennwerte der Unfälle in den Bundesländern verglichen. Bild 79 zeigt, dass der Anteil der Unfälle mit leichtem Sachschaden in Sachsen und Sachsen-Anhalt mit 70 % bis 80 % ca. doppelt so hoch ist, wie in Baden-Württemberg und Bayern (35 % bis 40 %). Auch Kreisverkehre in Hessen und Nordrhein-Westfalen weisen einen relativ geringen Anteil an Unfällen mit leichtem Sachschaden auf.

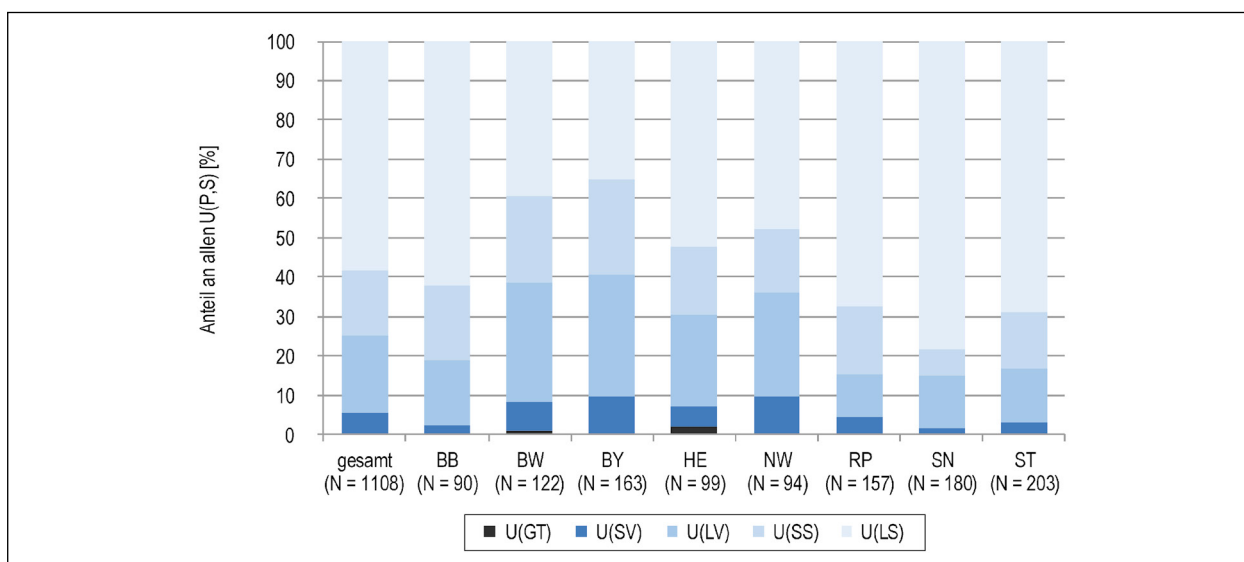


Bild 79: Vergleich der Unfallschwere im Untersuchungskollektiv nach Bundesländern

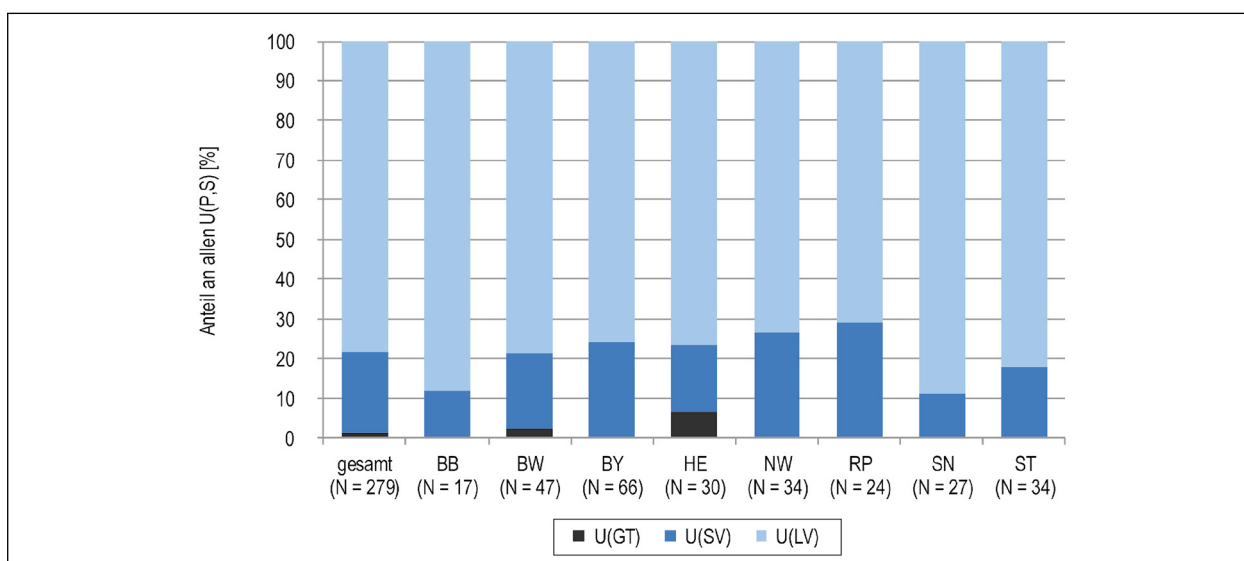


Bild 80: Vergleich der Unfallschwere der Unfälle mit Personenschaden im Untersuchungskollektiv nach Bundesländern

Die Unterschiede der Unfallkennwerte sind durch die landesspezifischen Festlegungen zur Unfallfassung zu erklären (siehe Kapitel 4.1.4). Die nicht vollständige Aufnahme der Unfälle mit leichtem Sachschaden in Bayern und Nordrhein-Westfalen (sowie vermutlich in Baden-Württemberg und Hessen) erklärt die höheren Anteile an Unfällen mit Personenschaden und schweren Sachschaden im Vergleich zu den übrigen Ländern.

Da die Erfassung von Unfällen mit Personenschaden bundeseinheitlich reguliert ist, ermöglicht die Betrachtung dieser Unfälle eine bessere Vergleichbarkeit. Bild 80 verdeutlicht, dass die Unfallschwere der Unfälle mit Personenschaden in Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt unter dem Niveau der anderen Bundesländer liegt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Unfälle in einigen Bundesländern (aufgrund der geringeren Anzahl an betrachteten Kreisverkehren) gering ist und somit auch die Zufälligkeit von Unfallereignissen die Verteilung der Unfälle über die Unfallkategorien in Bild 80 beeinflusst.

4.2.2 Unfallstruktur

Die Gegenüberstellung der Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt (vgl. Kapitel 3.2.2) und der Unfälle im Untersuchungskollektiv zeigt eine ähnliche Unfalltypenstruktur (Tabelle 30). Für Fahrurfälle liegt der Anteil im Untersuchungskollektiv 4%-Punkte

Unfalltyp	U(P) in HE, SN, ST (N = 289)	U(P) im Kollektiv (N = 279)
Fahrurfall (F)	40 %	44 %
Abbiege-Unfall (AB)	2 %	1 %
Einbiegen/Kreuzen-Unfall (EK)	26 %	29 %
Überschreiten-Unfall (ÜS)	0 %	0 %
Unfall im ruhenden Verkehr (RV)	0 %	0 %
Unfall im Längsverkehr (LV)	24 %	19 %
Sonstiger Unfall (SO)	8 %	8 %

Tab. 30: Verteilung der Unfalltypen der Unfälle mit Personenschaden im Untersuchungskollektiv und an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt

und für Einbiegen/Kreuzen-Unfälle 3%-Punkte höherer als an den Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt. Dafür ist der Anteil der Unfälle im Längsverkehr im Untersuchungskollektiv 5%-Punkte niedriger als an den Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt.

Die Unfallschwerestruktur im Untersuchungskollektiv zeigt, wie bei der Betrachtung aller Unfälle an Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt, die schwersten Unfallfolgen für Fahrurfälle (Bild 81). Die Unfallschwerestruktur der Längsverkehrsunfälle im Untersuchungskollektiv weist im Vergleich zu Bild 63 (Kreisverkehre in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt) einen höheren Anteil an Unfällen mit schwerem Personenschaden und schwerwiegendem Sachschaden auf, was zum Teil durch die abweichende Erfassung der Unfällen mit leichtem Sachschaden erklärt werden kann (vgl. Kapitel 4.2.1).

Die angepassten Unfallkosten für Fahrurfälle mit Personenschaden (N = 122) liegen im Untersuchungskollektiv mit 82.000 €/U(P) etwa 10.000 €/U(P) unter den Unfallkosten für Fahrurfälle an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt. Für Unfälle mit Personenschaden im Längsverkehr (N = 52) betragen die angepassten Unfallkosten 59.000 €/U(P) und sind damit auf dem Niveau der Unfallkosten über alle Unfälle mit Personenschaden.

Die Verteilung der Unfallarten im Untersuchungskollektiv entspricht in etwa der für außerörtliche Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-

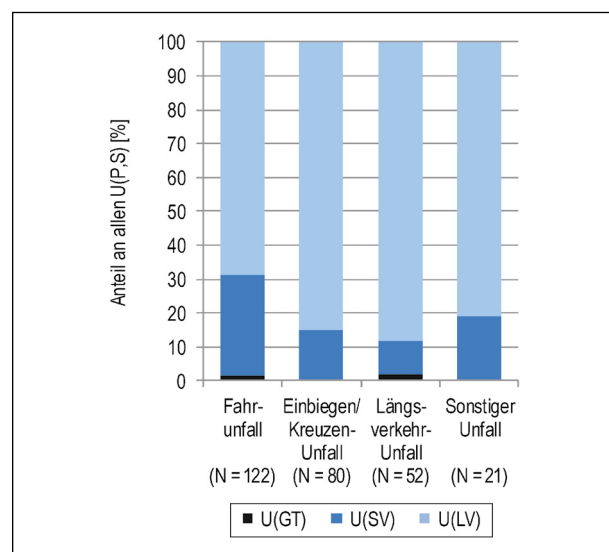


Bild 81: Unfallschwerestruktur der Unfälle mit Personenschaden nach Unfalltyp im Untersuchungskollektiv

Anhalt (Tabelle 31). Die Unterschiede für die Unfallart 2 sowie die Unfallart 5 stimmen mit den bei der Analyse der Unfalltypenstruktur diskutierten Abweichungen für Unfälle im Längsverkehr überein.

Für die Verteilung der fünf häufigsten Unfallursachen in Tabelle 32 ergeben sich vergleichbare Ergebnisse für beide Kollektive. Für Unfälle mit der Ursache „Alkoholeinfluss“ zeigt die Differenzierung nach Unfällen mit einem und mehreren Beteiligten einen Anteil von 12,8 % für Alleinunfälle und 2,6 %

für Unfälle mit mehreren Beteiligten. Dies lässt sich durch den hohen Anteil der Alleinunfälle (v. a. Unfallfälle) bei Dunkelheit erklären, da Alkoholunfälle generell häufiger zu Uhrzeiten auftreten, bei denen Dunkelheit vorliegt.

Im Untersuchungskollektiv treten mehr Unfälle mit Aufprall auf ein Hindernis auf als an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt (Tabelle 33). Dabei prallen mehr Verkehrsteilnehmende auf sonstige Hindernisse (+ 5%

Unfallart	Kreisverkehre in HE, SN, ST (N = 1.178)	Kreisverkehre im Kollektiv (N = 1.108)
1: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das anfährt, anhält oder im ruhenden Verkehr steht	3 %	5 %
2: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet	18 %	14 %
3: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt	4 %	1 %
4: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das entgegenkommt	1 %	2 %
5: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt	25 %	29 %
6: Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger	0 %	0 %
7: Aufprall auf ein Hindernis auf der Fahrbahn	3 %	3 %
8: Abkommen von der Fahrbahn nach rechts	15 %	14 %
9: Abkommen von der Fahrbahn nach links	17 %	20 %
10: Unfall anderer Art	12 %	13 %

Tab. 31: Verteilung der Unfallarten aller Unfälle im Untersuchungskollektiv und an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt

Unfallursache	Kreisverkehre in HE, SN, ST (N = 1.178)	Kreisverkehre im Kollektiv (N = 1.108)
Alkoholeinfluss	7 %	8 %
Nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen	24 %	25 %
Ungenügender Sicherheitsabstand	17 %	12 %
Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen (§ 8)	23 %	28 %
Andere Fehler beim Fahrzeugführer	17 %	16 %

Tab. 32: Verteilung der fünf häufigsten Unfallursachen aller Unfälle im Untersuchungskollektiv und an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt

Unfallursache	Anteil HE, SN, ST (N = 1.178)	Anteil Kollektiv (N = 1.019)
Kein Aufprall (Alleinunfälle ohne Aufprall und Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden)	67 %	63 %
Baum	1 %	2 %
Mast	2 %	2 %
Widerlager	0 %	0 %
Schutzplanke	7 %	4 %
Sonstiges Hindernis	23 %	28 %

Tab. 33: Verteilung des Merkmals „Aufprall auf Hindernis“ aller Unfälle im Untersuchungskollektiv und an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt

Punkte) und weniger auf Schutzplanken (- 3%-Punkte) auf. Dies kann darauf hinweisen, dass Kreisverkehre mit Schutzplanken im Kollektiv unterrepräsentiert sind.

Der Anteil der Alleinunfälle beträgt im Untersuchungskollektiv 46 % und entspricht damit dem Anteil an Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt.

Der Anteil motorisierter Zweiräder beträgt bei Alleinunfällen 6,8 % (Bild 82). Bei Unfällen mit zwei und mehr Beteiligten liegt der Anteil motorisierter Zweiräder bei 8,2 % (Bild 83), wobei Zweiradfahrende bei 1,0 % der Unfälle Hauptverursacher und

bei 7,2 % weitere Beteiligte sind. Damit liegen die Anteile der Motorradunfälle im Untersuchungskollektiv leicht unter den Anteilen für alle außerörtlichen Kreisverkehre in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt.

Der Anteil an Unfällen zwischen Schwerverkehr bzw. Bussen und Pkw ist mit 13,1 % für die ausgewählten Kreisverkehre ebenso niedriger als in den untersuchten Bundesländern (18,7 %) – siehe Bild 83. Dafür liegen für Unfälle mit mehr als einen Beteiligten mehr Unfälle anderer Konstellationen (insbesondere mit Beteiligung sonstiger Fahrzeuge) vor, wobei in den Unfalldatensätzen einzelner Bundesländer die Verkehrsbeteiligung des zweiten Beteiligten nicht immer ausgewiesen wurde, weshalb diese in Bild 83 in der Kategorie „andere Konstellation“ zusammengefasst sind.

Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung treten (wie in Kapitel 3.2.2) kaum auf. Unfälle mit Beteiligung zu Fußgehender sind nicht im Kollektiv enthalten.

Die Verteilung der Unfälle in Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen stimmt für das Untersuchungskollektiv mit dem Unfallgeschehen an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt überein (38 % Dunkelheit; 5 % Dämmerung). Die Unfallkosten von Unfällen bei Helligkeit (N = 167) und Unfällen bei Dämmerung/Dunkelheit (N = 112) betragen im Untersuchungskollektiv jeweils 63.000 €/U(P).

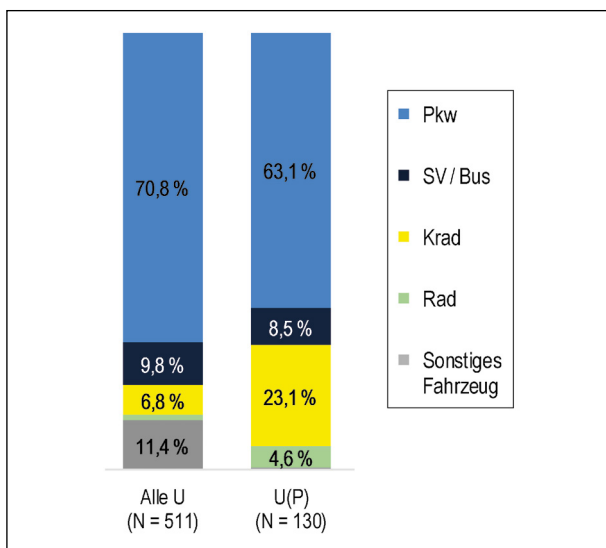


Bild 82: Verteilung der Art der Verkehrsbeteiligung bei Unfällen mit einem Beteiligten im Untersuchungskollektiv

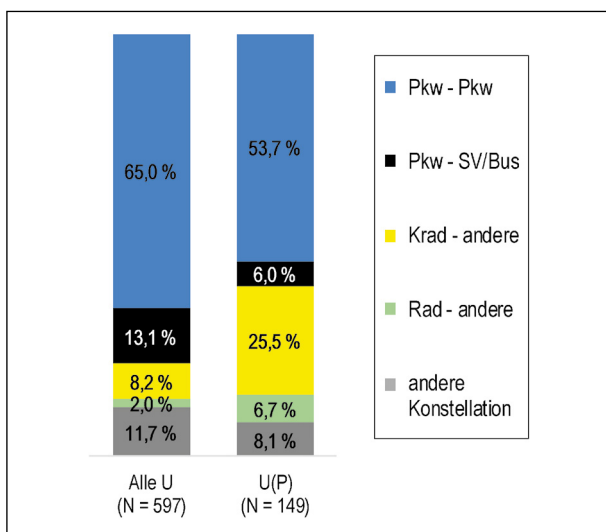


Bild 83: Verteilung der Unfallkonstellation bzw. der Art der Verkehrsbeteiligung bei Unfällen mit mehr als einem Beteiligten im Untersuchungskollektiv

Bild 84 zeigt, dass bei Dämmerung und Dunkelheit vorwiegend Fahrnfälle auftreten. Bild 85 zeigt, dass Fahrnfälle bei Helligkeit tendenziell schwerere Unfallfolgen aufweisen, als Fahrnfälle bei Dämmerung und Dunkelheit.

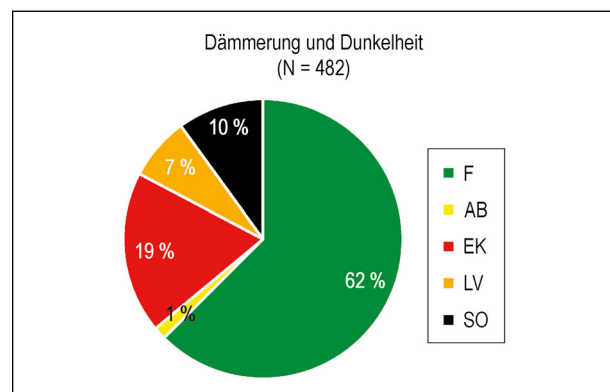


Bild 84: Unfalltypenstruktur bei Dämmerung und Dunkelheit im Untersuchungskollektiv

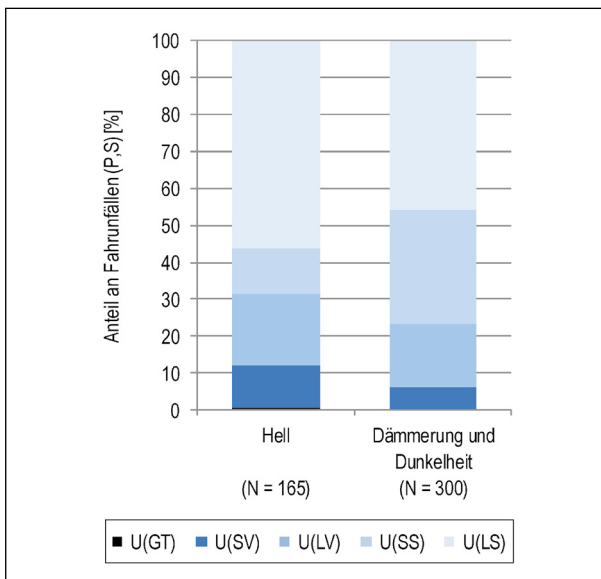


Bild 85: Unfallschwerstruktur der Fahrunfälle nach Lichtverhältnis im Untersuchungskollektiv

4.2.3 Sicherheitsgrade

Für die Bestimmung der Unfallrate (UR) und Unfallkostenrate (UKR) können aufgrund fehlender Informationen zu Verkehrsstärken (siehe Kapitel 4.1.3) nur 99 Kreisverkehre analysiert werden. Die Unfallrate liegt im Untersuchungskollektiv bei 0,7 U/(10⁶·Kfz) und ist damit etwa doppelt so hoch, wie die in SPAHN & BÄUMLER (2007) ermittelte UR (Bild 86). ECKSTEIN & MEEWES (2002) ermitteln etwas höhere UR. Anzumerken ist, dass das Ergebnis von ECKSTEIN & MEEWES (2002) auf der Untersuchung von lediglich neun außerörtlichen Kreisverkehren beruht. Die hohe UR im Untersuchungskollektiv ist vermutlich zum einen durch die ortsferne Lage der Kreisverkehre im Untersuchungskollektiv zu erklären. Zum andern sind in SPAHN & BÄUMLER (2007) ausschließlich Kreisverkehre in Bayern berücksichtigt, wodurch systematische Unterschiede in der Unfallaufnahme (z. B. weniger registrierte Unfälle mit leichtem Sachschaden) einen Einfluss haben können.

Bild 87 zeigt, dass die UKR im Untersuchungskollektiv mit ca. 22 €/1.000 Kfz etwa doppelt so hoch ist, wie die früherer Untersuchungen. Mögliche Erklärungen dafür bilden:

- die ortsferne Lage der Kreisverkehre im Untersuchungskollektiv und
- die Berechnung der UKR auf Basis pauschaler Unfallkostensätze (vgl. Tabelle 28).

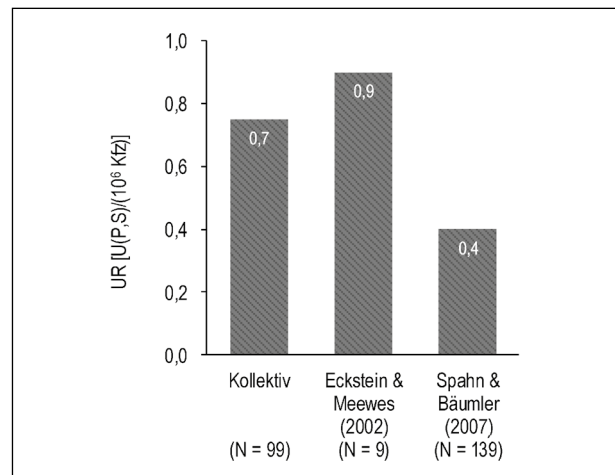


Bild 86: Unfallraten (UR) aller Unfälle an Kreisverkehren auf Landstraßen

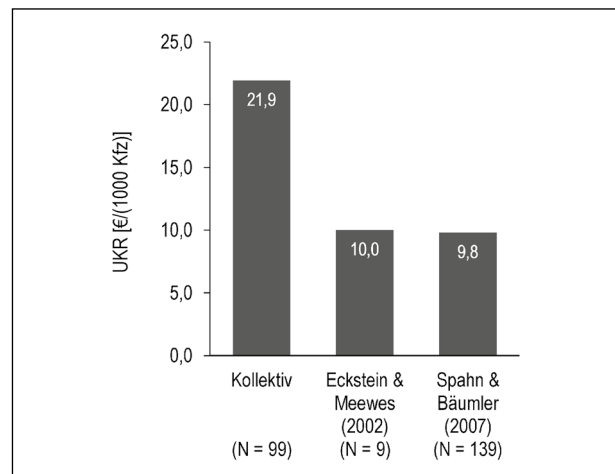


Bild 87: Unfallkostenraten (UKR) aller Unfälle an Kreisverkehren auf Landstraßen

Wird die für die Kreisverkehre im Untersuchungskollektiv bestimmte mittlere Unfallschwere der Unfälle mit Personenschaden von 63.000 €/U(P) (gemäß Kapitel 4.2.1) zugrunde gelegt, ergibt sich eine UKR für das Untersuchungskollektiv von 15,3 €/1.000 Kfz. Inwieweit die verbleibenden Abweichungen auf die Lage der Kreisverkehre oder aber auf unterschiedliche Berechnungsarten zurückzuführen sind, kann nicht abschließend beurteilt werden, da die genaue Vorgehensweise von ECKSTEIN & MEEWES (2002) und SPAHN & BÄUMLER (2007) nicht bekannt ist.

4.2.4 Unfallmodelle

Unfallmodelle werden für alle in Tabelle 29 angegebenen Unfallkollektive bestimmt. Dabei dürfen miteinander korrelierende Variablen nicht in dasselbe Modell aufgenommen werden. Die Übersicht korre-

lierender Variablen und die vollständige Korrelationsmatrix sind im Anhang 7 beigefügt.

In Tabelle 34 ist das Teilmodell 01 für alle Unfälle an Kreisverkehrszufahrten (Z_U(P,S)) angegeben. Im Anhang 8 sind die in Tabelle 34 gewählte Darstellungsform der Modellergebnisse und wesentliche statistische Testverfahren der Modellrechnung erläutert.

In Teilmodell 01 haben neben der Expositionsgröße DTV, die Verbindungsfunktionsstufe (VFS) der zuführenden Straße, die Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers und die Form des Fahrbahnteilers einen signifikanten Einfluss auf den Erwartungswert der Unfallanzahl.

Bei der Verwendung von kategorialen Variablen (hier: VFS) in den Unfallmodellen ist zu berücksichtigen, dass eine Ausprägung der Variable den Referenzfall im Modell beschreibt (hier: VFS2). Für diese Ausprägung wird kein Koeffizient geschätzt, da die Koeffizienten der übrigen Ausprägungen dieser Variable (hier: VFS3 sowie VFS4) im Verhältnis zum Referenzfall geschätzt werden.

Anhand der für die VFS der zuführenden Straßen bestimmten Koeffizienten ist festzustellen, dass im Mittel Zufahrten der VFS2 das höchste Unfallgeschehen, Zufahrten der VFS3 das zweithöchste Unfallgeschehen (Faktor 0,56 bezogen auf VFS2) und Zufahrten der VFS4 das geringste Unfallgeschehen (Faktor 0,45 bezogen auf VFS2) aufweisen. Die Faktoren ergeben sich dabei aus der Modellgleichung. Der Faktor 0,56 ergibt sich aus $e_{-0,577}$ und bedeutet, dass die Unfallanzahl im Vergleich zum Referenzfall auf 56 % sinkt.

Bei Betrachtung der VFS sind Korrelationen mit dem DTV zu vermuten. Im betrachteten Kollektiv beträgt der Korrelationskoeffizient zwischen VFS und DTV 0,3, was auf eine schwache Korrelation hindeutet und eine gemeinsame Berücksichtigung beider Einflussgrößen in einem Modell zulässt.

Hinsichtlich der Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers ist festzustellen, dass Zufahrten mit begrünten Fahrbahnteilern weniger Unfälle aufweisen (Faktor 0,71) als Zufahrten mit befestigtem Fahrbahnteilern. Weiterhin ereignen sich an Zufahrten mit Fahrbahnteilern in paralleler Bauform- bzw. mit angepasster Bordführung (Elefantenfuß) mehr Unfälle (Faktor 1,47) als an Zufahrten mit Fahrbahnteilern in Dreiecksform.

Eine detaillierte Darstellung der übrigen Teilmodelle ist im Anhang 9 zu finden. Die Ergebnisse aller Teilmodelle sind in Tabelle 35 zusammengefasst.

In Tabelle 35 zeigt die VFS in allen Teilmodellen einen signifikanten Einfluss auf den Erwartungswert der Unfallanzahl. Hinsichtlich der Wirkungsrichtung bestätigen sich für alle Unfallkollektive, die für Teilmodell 01 erläuterten Zusammenhänge, nach denen Kreisverkehrszufahrten mit VFS2 ein höheres Unfallgeschehen als mit VFS3 oder 4 aufweisen. Für Zufahrten mit VFS4 ist der Rückgang der Unfälle gegenüber Straßen mit VFS2 und im Vergleich zu Straßen mit VFS3 signifikant stärker ausgeprägt.

Die für Teilmodell 01 erläuterten Zusammenhänge des Unfallgeschehens mit der Form des Fahrbahnteilers bestätigen sich nur bei der Betrachtung aller Unfälle bei Dunkelheit und Dämmerung (Teilmodell

U(P,S)	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standardfehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.-Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 0,598	0,000	0,073	- 0,74	- 0,45	-	1,570	445,9	1,709	2,276,1	402	5,662
DTV	(Konstanter Term)	- 8,170	0,000	0,831	- 9,80	- 6,54	0,000	0,809	395,6	1,464	1,239,6	352	3,521
	ln(DTV_Zufahrt)	0,905	0,000	0,098	0,71	1,10	0,000						
Endmodell	(Konstanter Term)	- 6,219	0,000	0,804	- 7,79	- 4,64	0,001	0,613	350,4	1,424	939,1	348	2,699
	ln(DTV_Zufahrt)	0,711	0,000	0,090	0,53	0,89	0,001						
	Verbindungsfunktionsstufe 4	- 0,790	0,000	0,169	- 1,12	- 0,46							
	Verbindungsfunktionsstufe 3	- 0,577	0,000	0,134	- 0,84	- 0,31							
	Verbindungsfunktionsstufe 2	-					0,000						
	FBT begrünt	- 0,349	0,002	0,115	- 0,57	- 0,12							
	FBT befestigt	-					0,005						
	FBT Parallel/angep. Bordführung	0,386	0,001	0,112	0,17	0,61							
FBT Dreieck	-					0,001							

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung
^b Wald Test der Koeffizienten
^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Tab. 34: Teilmodell 01 für Kreisverkehrszufahrten und alle Unfälle U(P,S)

02) sowie der aller Fahrnfälle bei Dunkelheit und Dämmerung (Teilmodell 06) – siehe Tabelle 35.

Für die Unfälle mit Personen- und schwerwiegendem Sachschaden bei Dunkelheit und Dämmerung (Teilmodell 03) sowie Fahrnfälle mit Personen- und schwerwiegendem Sachschaden (Teilmodell 05) ergibt sich an Zufahrten die eine Abkröpfung bzw. Verschwenkung aufweisen ein geringeres Unfallgeschehen als an Zufahrten ohne Abkröpfung bzw. Verschwenkung – siehe Tabelle 35.

Für Fahrnfälle (Teilmodell 04) und Abkommensunfälle nach links (Teilmodell 07) sinkt mit zunehmender

der Breite des Fahrbahnteilers die Unfallanzahl (Tabelle 35).

Da, wie im Kapitel 4.1.6 erläutert, in der vorliegenden Untersuchung der Fokus nicht allein auf der bestmöglichen Beschreibung des Unfallgeschehens liegt, wurden für jedes Teilmodell auch Alternativmodelle bestimmt.

Tabelle 36 zeigt, dass im Alternativmodell zu Teilmodell 01 zusätzlich zu der Verbindungsfunktionsstufe auch die Form des Fahrbahnteilers in drei getrennten Ausprägungen signifikant auf die Unfallanzahl wirken. Dafür wird der Einfluss der Oberflä-

Modell für Kreisverkehrszufahrten (Z)		Ausprägung	Z_U(P, S)	Z_U(P, S)_dunkel	Z_U(P, SS)_dunkel	Z_U(P, S)_Typ1	Z_U(P, SS)_Typ1	Z_U(P, S)_Typ1_dunkel	Z_U(P, S)_Art9									
Modellnummer			01	02	03	04	05	06	07									
Unfallkategorie			U(P,S)	U(P,S)	U(P,SS)	U(P,S)	U(P,SS)	U(P,S)	U(P,S)									
Unfalltyp/Unfallart			Alle			Typ 1			Art 9									
Lichtverhältnisse			alle	Dä, Du	Dä, Du	alle	alle	Dä, Du	alle									
Anzahl Zufahrten			350	350	350	350	350	350	350									
Anzahl Unfälle			1003	433	210	430	219	278	214									
DTV	[Kfz/24 h]		0,905	0,886	0,851	0,827	0,694	0,910	0,745									
VFS	2		•	•	•	•	•	•	•									
	3		-	-	-	-	-	-	-									
	4		--	--	--	--	--	--	--									
Abkröpfung/ Verschwenkung	Vorhanden				•		•											
	Nicht vorhanden				+		+											
Oberfläche Fahrbahnteiler	Befestigt		•															
	Begrünt		-															
Form Fahrbahnteiler	Parallel		+	+				+										
	Angepasste Bordführung (Elefantenfuß)																	
	Dreieck		•	•				•										
Breite Fahrbahnteiler	[m]				▼			▼										
Wirkung kategorialer Variablen:																		
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">•</td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">•</td> <td style="padding-left: 5px;">Referenzfall</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">-</td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">+</td> <td style="padding-left: 5px;">Unfallanzahl sinkt/steigt in Bezug zum Referenzfall</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">--</td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">++</td> <td style="padding-left: 5px;">Unfallanzahl sinkt/steigt in Bezug zum Referenzfall und zu einer weiteren Ausprägung der Variablen</td> </tr> </table>										•	•	Referenzfall	-	+	Unfallanzahl sinkt/steigt in Bezug zum Referenzfall	--	++	Unfallanzahl sinkt/steigt in Bezug zum Referenzfall und zu einer weiteren Ausprägung der Variablen
•	•	Referenzfall																
-	+	Unfallanzahl sinkt/steigt in Bezug zum Referenzfall																
--	++	Unfallanzahl sinkt/steigt in Bezug zum Referenzfall und zu einer weiteren Ausprägung der Variablen																
Wirkung metrischer Variablen:																		
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">▼</td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">▲</td> <td style="padding-left: 5px;">Unfallanzahl sinkt/steigt bei Zunahme der Variablen</td> </tr> </table>										▼	▲	Unfallanzahl sinkt/steigt bei Zunahme der Variablen						
▼	▲	Unfallanzahl sinkt/steigt bei Zunahme der Variablen																

Tab. 35: Übersicht der Ergebnisse der Teilmodelle für die Kreisverkehrszufahrten

U(P,S)	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standardfehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.-Param.	Pearso n-χ ²	AIC	Pearso n-χ ²	df	χ ² /df
Alternativmod.	(Konstanter Term)	- 6,696	0,000	0,822	- 8,31	- 5,08	0,000	0,647	345,9	1.431	975,5	348	2,803
	In_DTV_Zufahrt	0,746	0,000	0,093	0,56	0,93	0,000						
	Verbindungsfunktionsstufe 4	- 0,772	0,000	0,175	- 1,12	- 0,43							
	Verbindungsfunktionsstufe 3	- 0,548	0,000	0,136	- 0,81	- 0,28							
	Verbindungsfunktionsstufe 2	-					0,000						
	FBT Parallel	0,513	0,000	0,126	0,27	0,76							
	FBT Elefantenfuß	0,350	0,016	0,145	0,06	0,63							
FBT Dreieck	-					0,000							

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung
^b Wald Test der Koeffizienten
^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Tab. 36: Alternativmodell zu Teilmodell 01 für Kreisverkehrszufahrten und alle Unfälle U(P,S)

Unfallkollektiv	Unfallkategorie	U(P,S)	U(P,S)	U(P,SS)	U(P,S)	U(P,SS)	U(P,S)	U(P,S)
	Unfalltyp/Unfallart	Alle			Typ 1			Art 9
	Lichtverhältnisse	Alle	Dä, Du	Dä, Du	Alle	Alle	Dä, Du	Alle
Ablenkung durch die Kreisinsel	[gon]							▲
Breite des Fahrbahnteilers	[m]				▼			▼
VFS	2	•	•	•	•	•	•	•
	3	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-
Abkröpfung/ Verschwenkung	Vorhanden			•		•		
	Nicht vorhanden			+		+		
Oberfläche des Fahrbahnteiler	Befestigt	•	•		•			
	Begrünt	-	-		-			
Form des Fahrbahnteilers	Parallel	+	+		+		+	•
	Angepasste Bordführung (Elefantenfuß)	+	+		+		+	-
	Dreieck	•	•		•		•	

Wirkung kategorialer Variablen:
• Referenzfall • Referenzfall
- Unfallanzahl sinkt in Bezug zum Referenzfall + Unfallanzahl steigt in Bezug zum Referenzfall

Wirkung metrischer Variablen:
▼ Unfallanzahl sinkt bei Zunahme der Variablen ▲ Unfallanzahl steigt bei Zunahme der Variablen

Tab. 37: Übersicht der signifikanten Einflussgrößen in den Teil- und Alternativmodellen für Kreisverkehrszufahrten

chengestaltung (vgl. Tabelle 34) im Alternativmodell nicht signifikant. Alle weiteren Alternativmodelle sind dem Bericht im Anhang 10 beigelegt.

In Tabelle 37 sind alle Einflussgrößen dargestellt, die für die verschiedenen Unfallkollektive in den Teil- oder Alternativmodellen signifikant werden. Dabei ist wie in Tabelle 35 auch die Wirkrichtung der Größe dargestellt. Im Gegensatz zur Darstellung in Tabelle 35 muss bei den in Tabelle 37 dargestell-

ten Gestaltungsmerkmalen berücksichtigt werden, dass diese nicht simultan auf das jeweilige Unfallgeschehen wirken. Die Wirkungen der signifikanten Gestaltungsmerkmale werden im Kapitel 4.2.5 unter Verwendung der Unfallraten für die verschiedenen Unfallkollektive interpretiert.

Neben den Unfallmodellen für Kreisverkehrszufahrten werden auch Unfallmodelle für Kreisverkehre berechnet. Die Modelle bestätigen den signifikant-

ten Einfluss der Verbindungsfunktionsstufe auf das Unfallgeschehen. Neben dieser Variablen wird jedoch kein weiteres Gestaltungsmerkmal signifikant. Die Ergebnisse dieser Modellrechnungen sind im Anhang 9 dargestellt.

4.2.5 Sicherheitsrelevante Gestaltungsmerkmale von Kreisverkehrszufahrten

Im Folgenden werden die Sicherheitswirkungen der gemäß Kapitel 4.2.4 signifikanten Gestaltungsmerkmale anhand der Unfallraten (UR) und der Unfallkostenrate (UKR) für die verschiedenen Unfallkollektive erläutert. Dabei wird insbesondere die Wirkung auf alle Unfälle sowie auf Fahr- und Abkommensunfälle (Unfallart 9) diskutiert. Bei vermutetem Einfluss eines Gestaltungsmerkmals auf Einbiegen/Kreuzen- bzw. Längsverkehrs-Unfällen, werden auch die Auswirkungen auf diese Unfalltypen analysiert. Zusätzlich wird für einzelne Merkmale die Wirkung der Unfälle bei Dämmerung und Dunkelheit diskutiert.

Da an dieser Stelle nur die gemäß Kapitel 4.2.4 signifikanten Gestaltungsmerkmale betrachtete werden, ist eine Gesamtübersicht der UR und UKR über alle Variablen, Ausprägungen und Unfallkollektive im Anhang 11 beigefügt.

Der jeweils dunkler eingefärbte Teil der Balken zeigt in den nachfolgenden Diagrammen (Bild 88 bis Bild 102) die Unfallrate der Unfälle mit Personenschaden, der hell eingefärbte Teil die Unfallrate der Unfälle mit Sachschaden. Die beschriftete Unfallrate gibt die über alle Unfallkategorien ermittelte Unfallrate an.

Verbindungsfunktionsstufe

In der Untersuchung zeigen sich insbesondere Kreisverkehrszufahrten an Straßen der VFS2 als unfallauffällig gegenüber denen der VFS 3 und 4 (siehe Bild 88 und Bild 89), wobei die VFS auch als Stellvertretergröße für weitere Effekte (verkehrliche und gestalterische Merkmale) stehen kann (s. u.). Auffällig beim Vergleich der UR mit den Ergebnissen der Unfallmodelle (Kapitel 4.2.4) ist, dass sich sowohl für die UR aller Unfälle als auch der Fahr- und Abkommensunfälle nicht die in den Modellen ermittelte Wirkung einstellt (Zufahrten der VFS 2 sind unsicherer als Zufahrten der VFS 3, Zufahrten der VFS 2 und 3 sind wiederum unsicherer als Zufahrten der VFS 4). Dies ist dadurch zu erklären, dass bei Berechnung

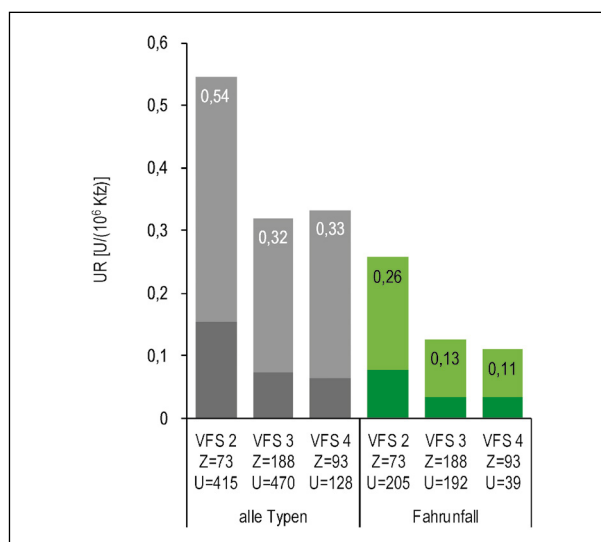


Bild 88: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Verbindungsfunktionsstufe gemäß RIN

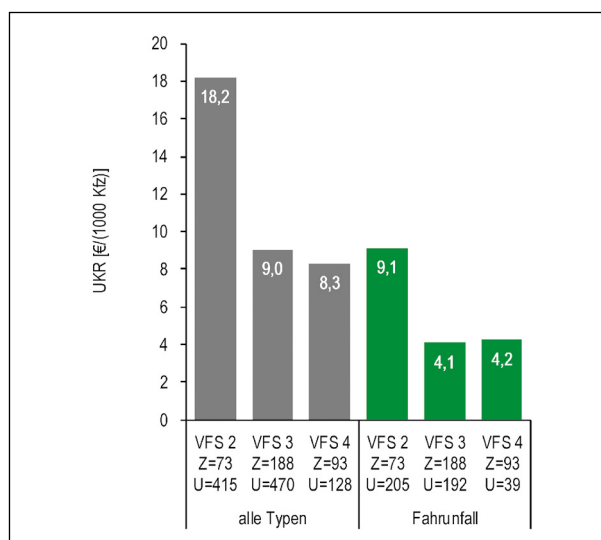


Bild 89: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Verbindungsfunktionsstufe gemäß RIN

der Unfallrate ein linearer Einfluss des DTV unterstellt wird, der so in der Realität nicht vorhanden ist. Der (in der Realität zumeist) nichtlineare Einfluss des DTV wird in den Unfallmodellen aber berücksichtigt.

Hinsichtlich der Variable Verbindungsfunktionsstufe sind Zusammenhänge mit baulichen und betrieblichen Einflüssen, wie den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, Straßenquerschnitten und Kurvigkeiten im Annäherungsbereich aber ggf. auch dem Fahrerkollektive zu vermuten. Dazu ist anzumerken, dass

- Informationen zu zulässigen Höchstgeschwindigkeiten nur für einen Bruchteil der Zufahrten

vorliegen (vgl. Kapitel 4.1.2), weshalb dieser Einfluss nicht analysiert werden kann;

- die Querschnitte im Kollektiv sehr homogen sind, weshalb ein Einfluss des Querschnitts ausgeschlossen werden kann;
- die Kurvigkeit im Annäherungsbereich weder mit der Verbindungsfunktionsstufe korreliert (siehe Anhang 7), noch in den Unfallmodellen signifikant wird.

Abkröpfung und Verschwenkung

Für Kreisverkehrszufahrten, an denen eine Abkröpfung oder Verschwenkung vorhanden ist, ergeben sich geringere UR und UKR, als für Zufahrten ohne Abkröpfung bzw. Verschwenkung (Bild 90 und Bild 91). Dieser Einfluss zeigt sich über alle Unfälle, Fahrnfälle, Einbiegen/Kreuzen-Unfälle und Unfälle im Längsverkehr. Der Anteil der Unfälle mit Personenschaden (über alle Unfälle) liegt für abgekröpfte und verschwenkte Zufahrten bei 24 %, für nicht abgekröpfte/verschwenkte Zufahrten einen Prozentpunkt niedriger. SPAHN und BÄUMLER (2007) stellen für abgekröpfte Zufahrten ebenso einen höheren Anteil an Unfällen mit Personenschaden fest, quantifizieren diesen jedoch nicht.

In den durchgeführten Analysen kann nur für das Vorhandensein einer Abkröpfung bzw. Verschwen-

kung ein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden, aber nicht zwischen Abkröpfungen und Verschwenkungen differenziert werden. So sind sowohl Verschwenkungen (mit Gegenbogen und großen Radien) als auch sehr kurze Abkröpfungen zusammengefasst. Erstgenannter Ausführung kann eine Wirkung wie der Aufweitung des Fahrbahnteilers in Kreisverkehrszufahrten in den Vereinigten Staaten (vgl. Bild 43) unterstellt werden. Diese Führung führt in den Untersuchungen zu geringeren gefahrenen Geschwindigkeiten und kann somit zur Vermeidung von Unfällen (insbesondere Fahrnfällen) beitragen. Andererseits können Abkröpfungen für die Fahrzeugführenden unerwartete Radienänderungen darstellen und Fahrnfälle begünstigen.

Der Vergleich zwischen abgekröpfen bzw. verschwenkten und nicht abgekröpfen bzw. verschwenkten Zufahrten wird zurückhaltend interpretiert werden, da Abkröpfungen i. d. R. nicht als gestalterisches oder geschwindigkeitsdämpfendes Mittel umgesetzt werden, sondern eine auf die Kreismitte gerichtete Führung der Zufahrten gewährleisten sollen.

Eine Interpretation der Ausführung der Abkröpfung kann (aufgrund der geringen Kollektivgröße) nur hinsichtlich deren Länge bei Abkröpfungen ausgeführt werden. Dabei wird in Längen kleiner 100 m (kurz) und größer 100 m (lang) unterschieden. Bild

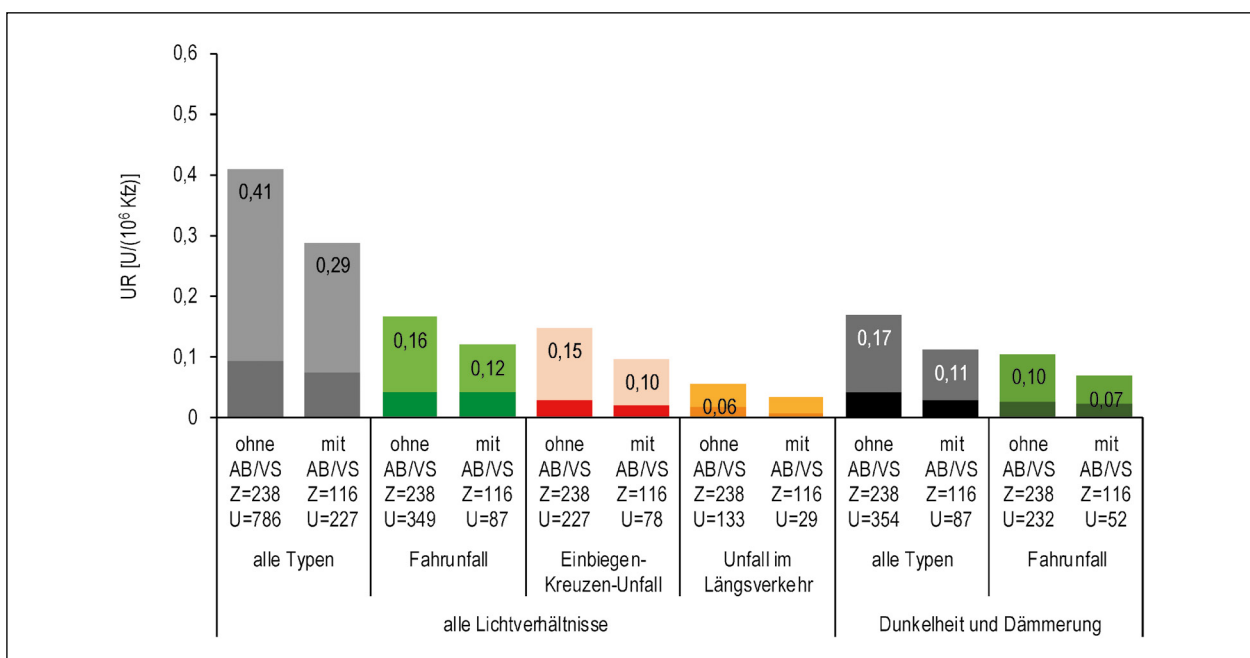


Bild 90: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von dem Vorhandensein einer Abkröpfung oder Verschwenkung (AB/VS)

92 und Bild 93 zeigt, dass lange Abkröpfungen einen Sicherheitsgewinn gegenüber kurzen Abkröpfungen aufweisen. Dabei wird vermutet, dass bei frühzeitiger Einleitung der Kurvenfahrt die Geschwindigkeiten an der Kreiseinfahrt reduziert werden. Bei der Prüfung auf Signifikanz verfehlt das Merkmal knapp das 10%-Niveau. Für den Vergleich zu Verschwenkungen ist anzumerken, dass diese im Kollektiv eine minimale Länge von 100 m aufweisen.

RITCHIE & LENTERS (2005) empfehlen bei der Entwicklung der aufgeweiteten Fahrbahnteiler, diese ca. 140 m vor der Kreiseinfahrt beginnen zu lassen, was die Empfehlung lang gestreckt ausgebildeter Abkröpfungen unterstützt.

Für Breite und das Verhältnis von Breite zu Länge der Abkröpfung bzw. der Verschwenkung zeigt die Untersuchung kein Zusammenhang zum Unfallgeschehen.

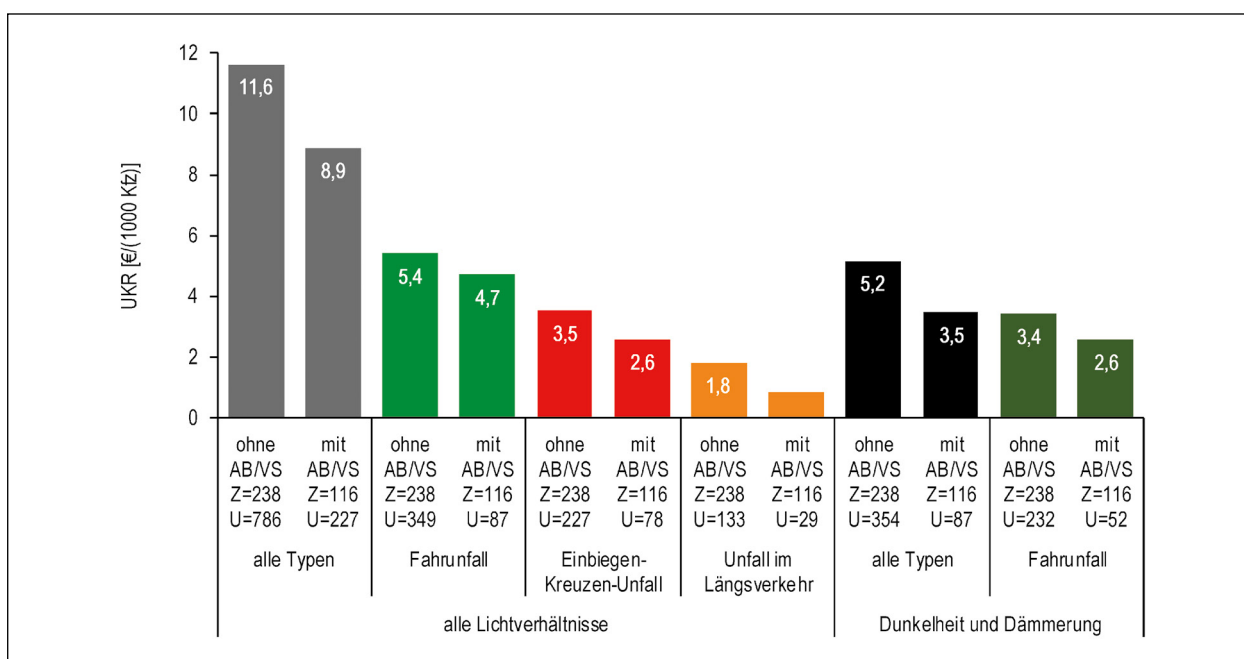


Bild 91: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von dem Vorhandensein einer Abkröpfung oder Verschwenkung (AB/VS)

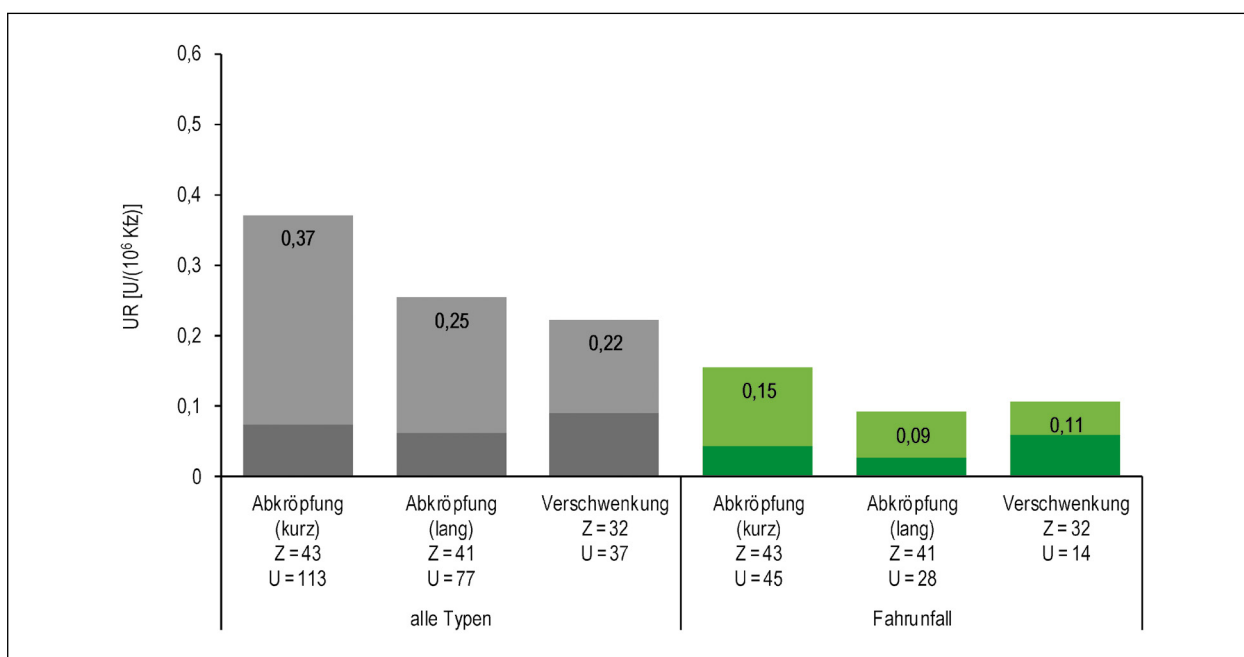


Bild 92: UR (dunkel: U(P); hell: U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Ausführung einer Abkröpfung

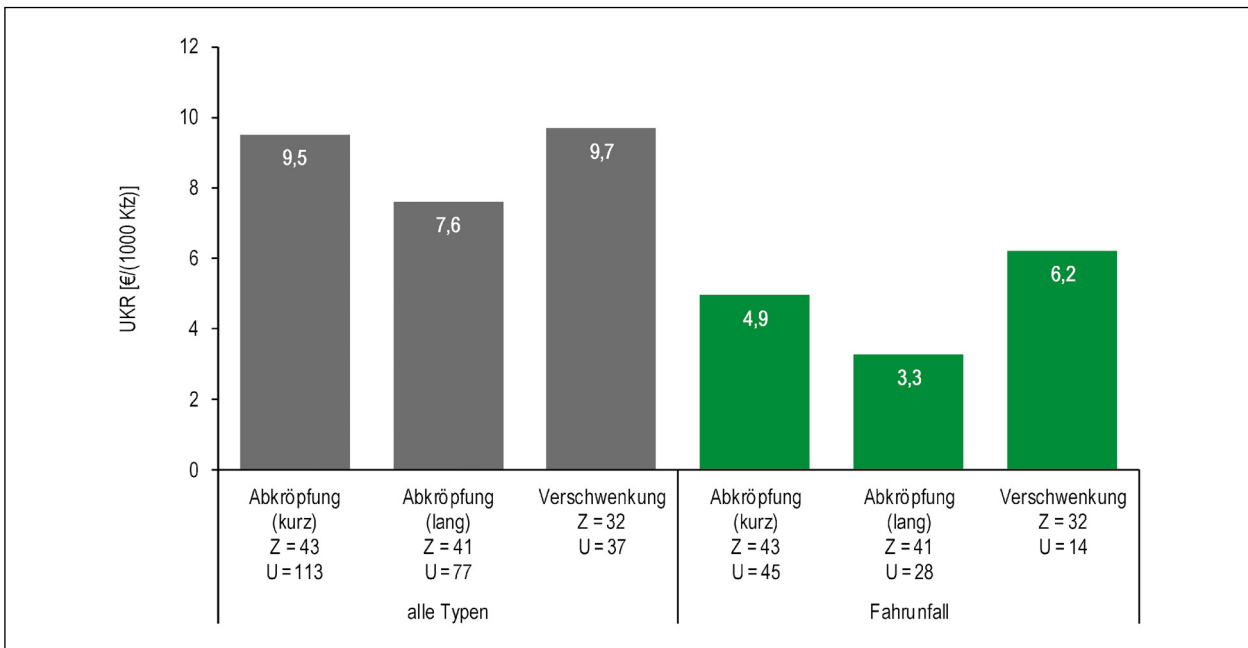


Bild 93: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Ausführung einer Abkröpfung

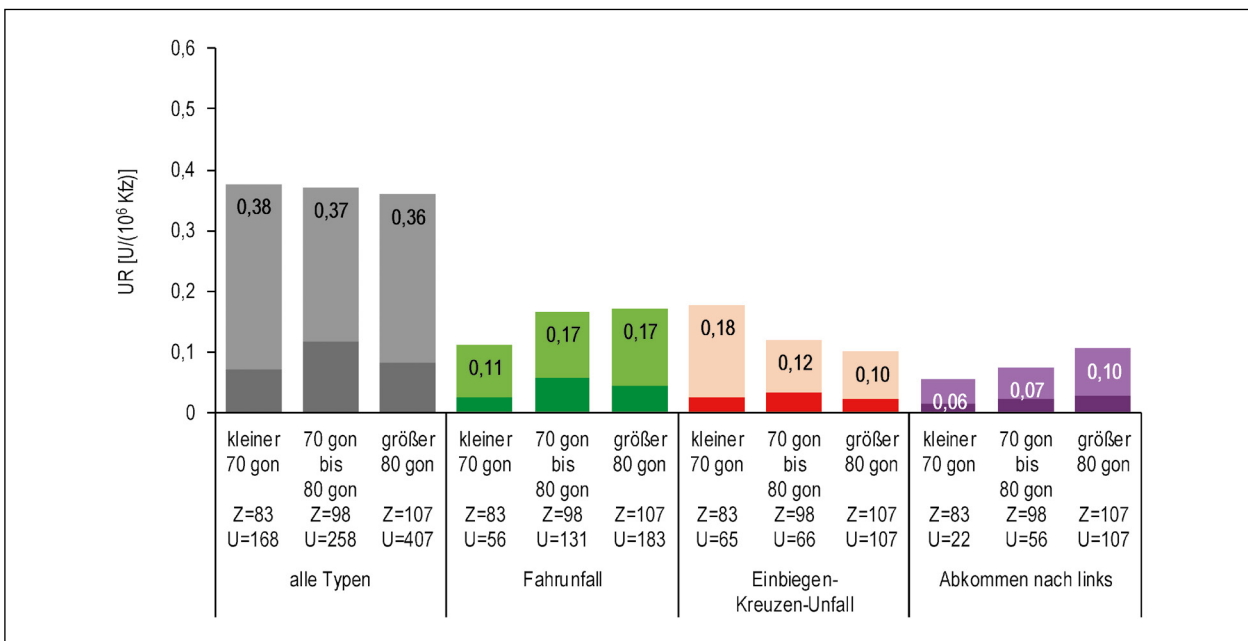


Bild 94: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von des Ablenkungswinkels β

Ablenkung

Die Ablenkungswinkel β weisen im Untersuchungskollektiv Werte zwischen 30 und 130 gon auf. Im Kapitel 4.2.4 kann nur für Abkommensunfälle ein signifikanter Zusammenhang mit Ablenkungswinkel β nachgewiesen werden. Bild 94 bestätigt diese Tatsache. Während sich bei Betrachtung aller Unfälle kein Einfluss des Ablenkungswinkels in den UR zeigt, steigt für Fahr- und Abkommensunfälle die UR mit zunehmendem Ablenkungswinkel (Bild

94). Dieser Zusammenhang ist sachlogisch, da bei größeren Ablenkungswinkeln die Geschwindigkeiten stärker reduziert werden müssen, um der erforderlichen starken Änderung der Fahrlinie gerecht zu werden. Eine unzureichende Geschwindigkeitsreduktion führt folglich zum Abkommen von der Fahrbahn.

Für Einbiegen-Kreuzen-Unfälle liegt ein entgegengesetzter Verlauf vor: Bei größeren Ablenkungswinkeln nimmt die UR ab. Da große Ablenkungswinkel

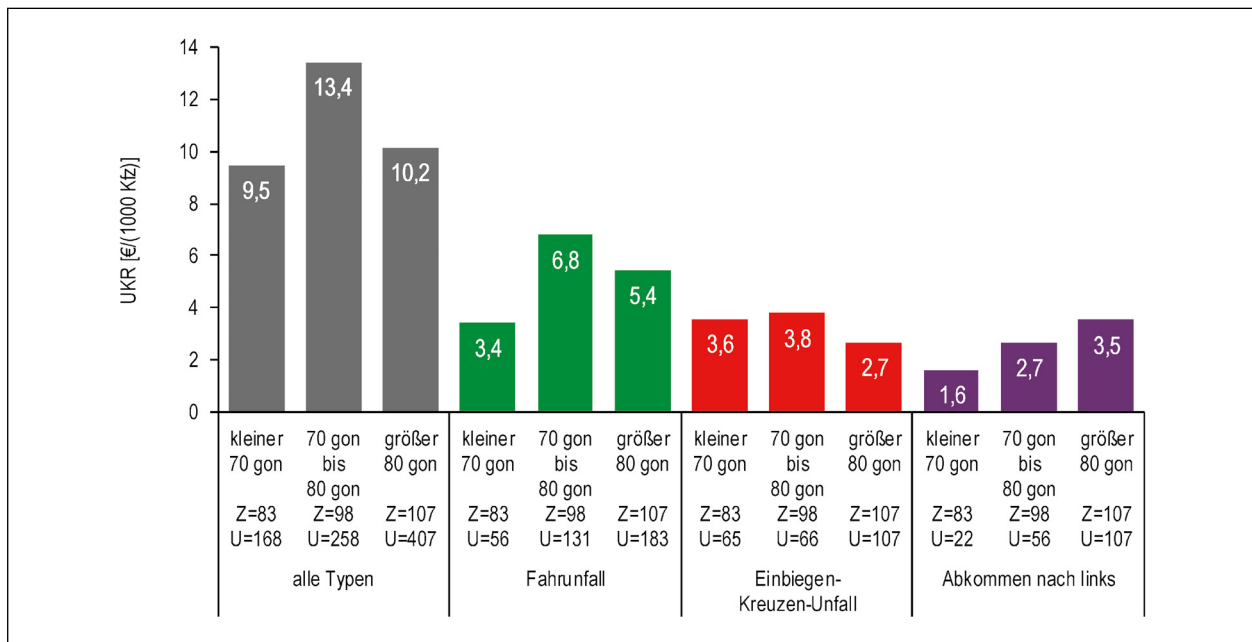


Bild 95: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von des Ablenkungswinkels β

zu niedrigeren gefahrenen Geschwindigkeiten führen, treten Einbiegen-Kreuzen-Unfälle seltener auf.

Die Betrachtung der UKR für alle Unfälle, Fahrnfälle sowie Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle (Bild 95) zeigt für Ablenkungswinkel zwischen 70 und 80 gon die größten Werte. Im Hinblick auf die Abkommensunfälle ergeben sich vergleichbare Ergebnisse, wie bei Betrachtung der UR.

Laut VSS (2000) ist eine ausreichende Ablenkung ab einem Ablenkungswinkel β von 45 gon gegeben. Das Kollektiv enthält fünf Zufahrten, die diese Restriktion unterschreiten. Aufgrund der geringen Fallzahl kann die Wirkung der Einhaltung des Mindestmaßes von 45 gon nicht überprüft werden.

Der Zusammenhang zwischen Fahrnfallgeschehen und Ablenkung ist nicht als Folge der besseren Erkennbarkeit in der Annäherung zu verstehen. Vielmehr stellen Kreisverkehre mit geringen Ablenkungen eine (gegenüber Abkommensunfällen) fehlerverzeihende Infrastruktur dar. Der Einsatz geringer Ablenkungen begünstigt jedoch das Auftreten von Einbiegen-Kreuzen-Unfällen. Die Ergebnisse zeigen, dass im betrachteten Wertebereich keine eindeutigen Empfehlungen zu geeigneten Ablenkungswinkeln β gegeben werden können.

Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers

Für Fahrbahnteiler, deren Oberfläche befestigt ist (Pflasterstein, Beton), zeigt Bild 96 bzw. Bild 97 hō-

here UR bzw. UKR über alle Unfallkollektive als für Fahrbahnteiler mit begrünter Oberflächengestaltung. Dies gilt sowohl für die Betrachtung aller Lichtverhältnisse, als auch für das Unfallgeschehen bei Dämmerung und Dunkelheit.

Eine mögliche Erklärung für das geringere Unfallrisiko an Zufahrten mit begrünten Fahrbahnteilern bildet die bessere Erkennbarkeit des Kreisverkehrs aufgrund des stärkeren Kontrastes zwischen der Oberfläche des Fahrbahnteilers und der Fahrbahn. Auch die Reduktion der Unfälle im Längsverkehr deutet auf eine bessere Erkennbarkeit von Kreisverkehren mit bepflanzten Fahrbahnteilern hin.

Für Einbiegen/Kreuzen-Unfälle zeigt die Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers den geringsten Einfluss bzw. bei Betrachtung der UKR sogar ein umgekehrtes Bild (höhere UKR für begrünte Fahrbahnteiler). Ein unfallbegünstigender Einfluss durch Einschränkungen im Sichtfeld bei begrünten Fahrbahnteilern (z. B. durch Sichtverdeckungen aufgrund hohen Bewuchses) kann für die Einbiegen/Kreuzen-Unfälle nicht ausgeschlossen werden, allerdings tritt die positive Sicherheitswirkung der begrünten Fahrbahnteiler über alle Unfälle deutlicher hervor. Um ein Einfluss der Begrünung auf die Einbiegen/Kreuzen-Unfälle vollständig ausschließen zu können, wären jedoch Erhebungen der Höhe des Bewuchses notwendig. Diese Information kann weder aus Planunterlagen, noch Luftbildern erhoben werden und verändert sich im zeitlichen Verlauf (Jahreszeiten).

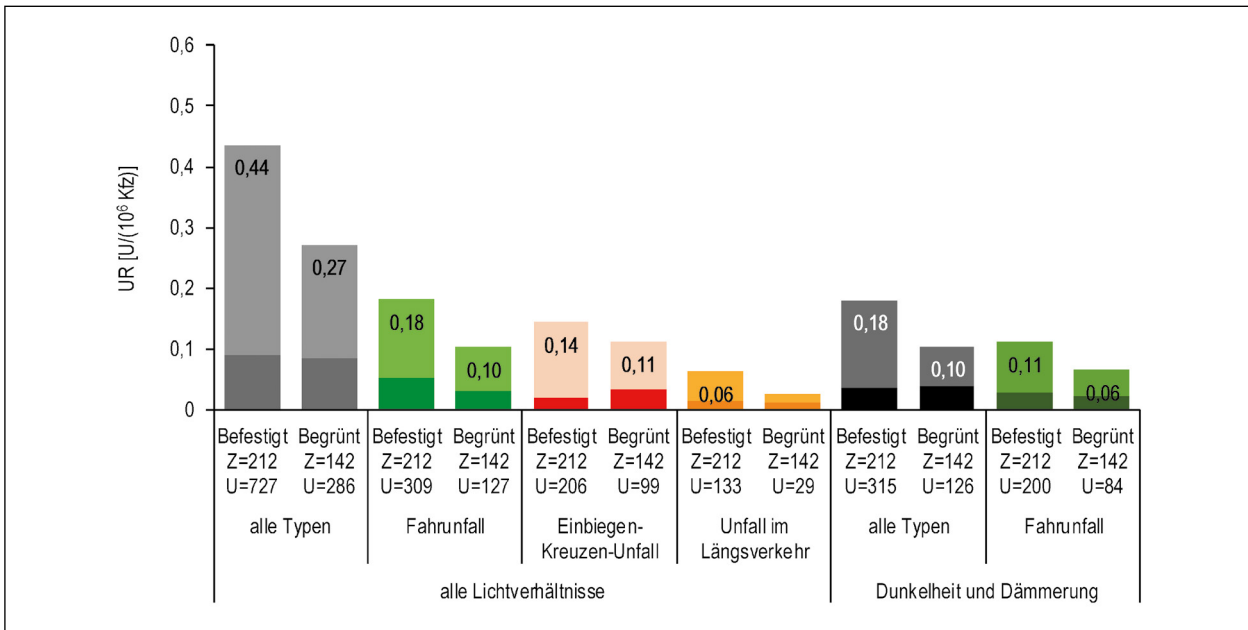


Bild 96: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers

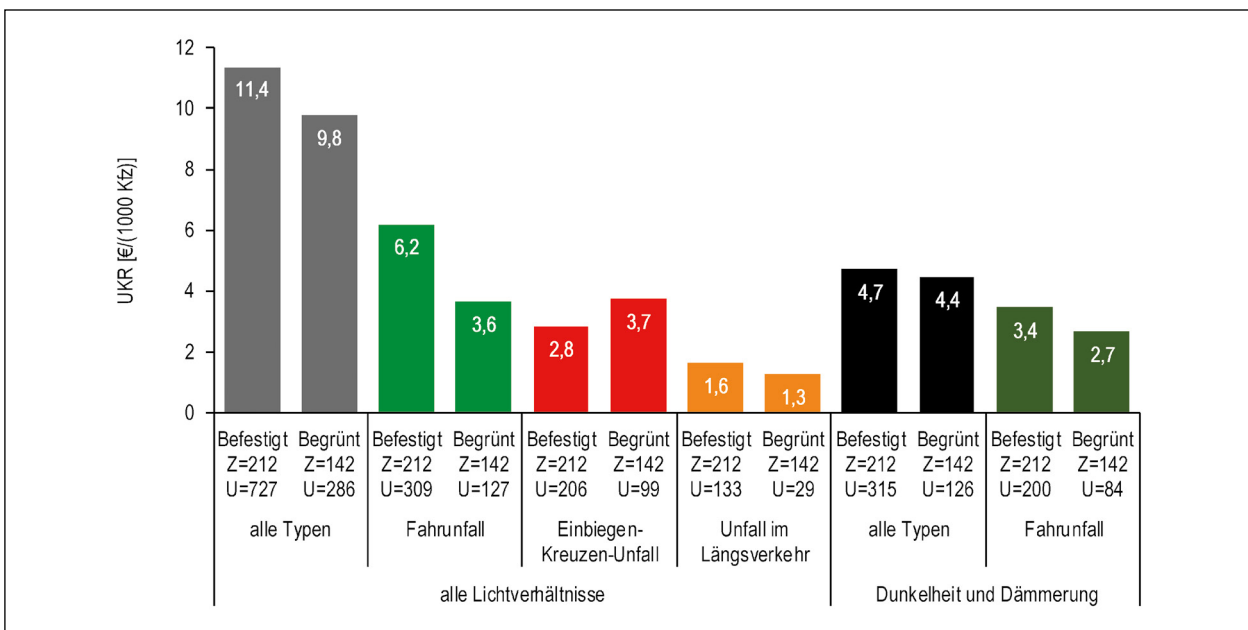


Bild 97: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers

Form des Fahrbahnteilers

Aufgrund der geringen Kollektivgröße werden für die Betrachtung der UR und UKR der Fahrunfälle sowie Abkommensunfälle (Unfallart 9) Fahrbahnteiler mit angepassten Rändern (Elefantenfuß und Dreieck) zunächst gemeinsam betrachtet (Bild 98 und Bild 99). Vergleichend werden die UR und UKR der Einbiegen/Kreuzen- sowie Längsverkehrsunfälle dargestellt.

Kreiszufahrten, deren Fahrbahnteiler einen angepassten Verlauf der Bordführung aufweisen (Fahrbahnteiler in Dreiecksform oder mit angepasster Bordführung (Elefantenfuß)) weisen gegenüber Zufahrten mit paralleler Bordführung der Fahrbahnteiler ein geringeres Unfallrisiko über alle Unfallkollektive auf. Dabei ist das Unfallrisiko für Fahr- und Abkommensunfälle an Kreisverkehrszufahrten mit Fahrbahnteilern mit paralleler Bordführung etwa doppelt so hoch, wie an Zufahrten mit Fahrbahnteilern in angepasster Bordführung (Elefantenfuß)

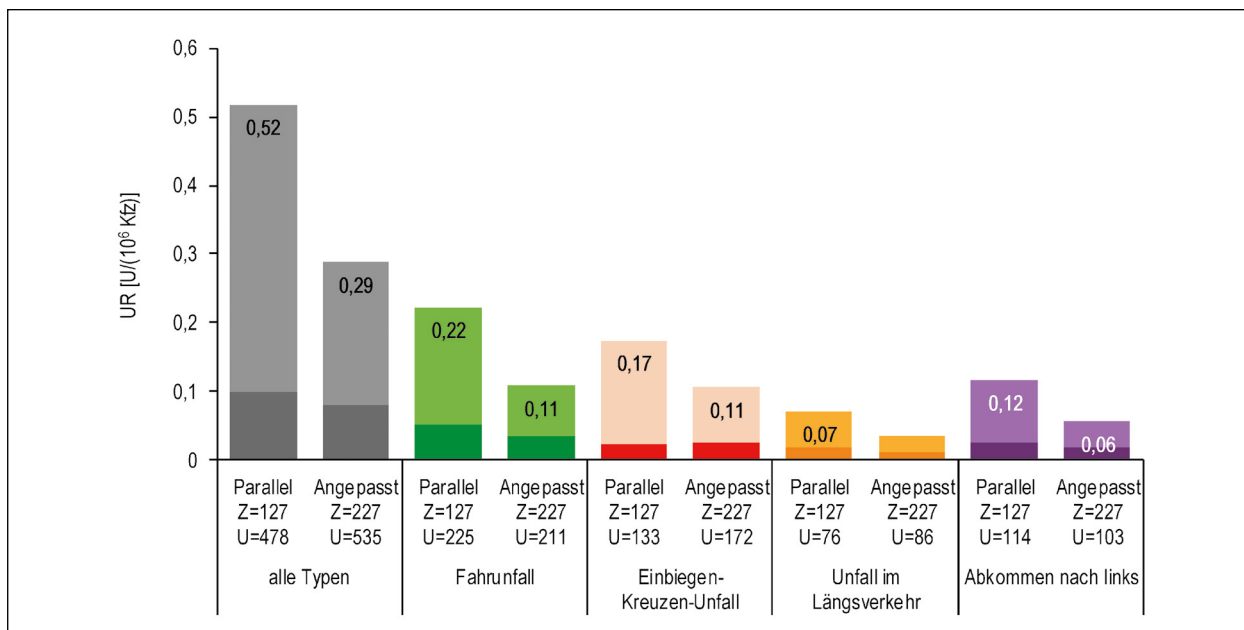


Bild 98: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten mit parallelen oder angepassten (angepasste Bordführung (Elefantenfuß) und Dreiecksform) Rändern des Fahrbahnteilers

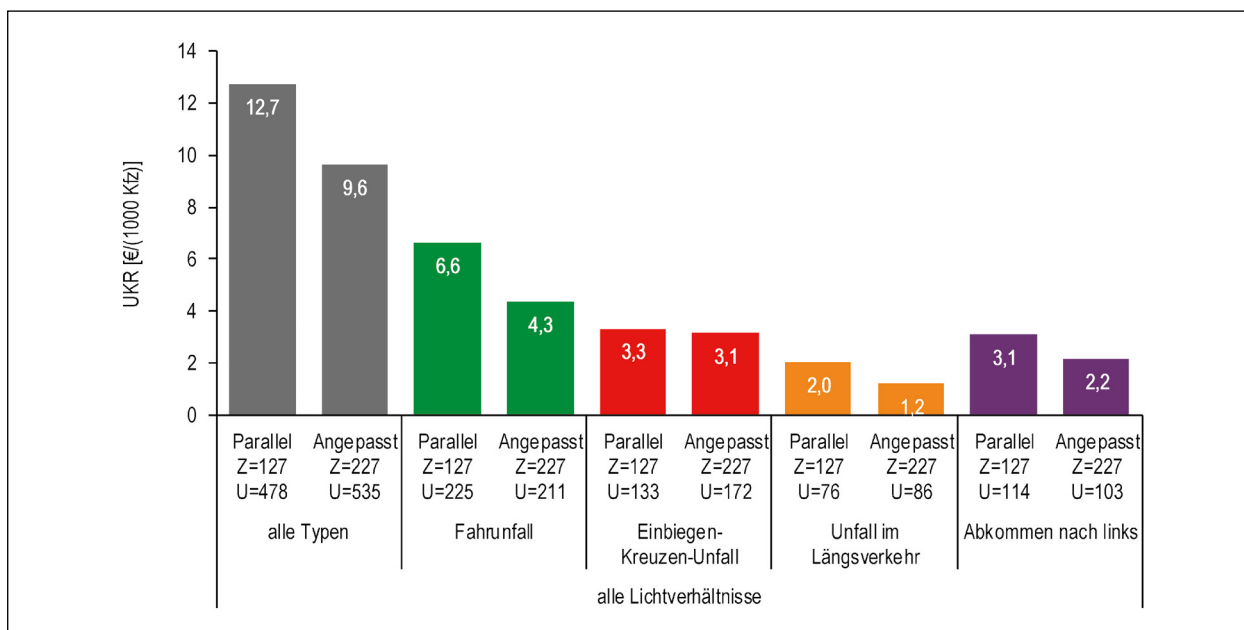


Bild 99: UKR für Kreisverkehrszufahrten mit parallelen oder angepassten (angepasste Bordführung (Elefantenfuß) und Dreiecksform) Rändern des Fahrbahnteilers

oder in Dreiecksform (Bild 98 und Bild 99). Auch für Einbiegen-Kreuzen/Unfälle ergeben sich für Zufahrten mit parallelen Fahrbahnteilern höhere UR.

Bei der nach den drei Fahrbahnteilerformen differenzierten Betrachtung aller Unfälle im gesamten Tagesverlauf sowie bei Dunkelheit und Dämmerung ergibt sich für Zufahrten mit Fahrbahnteilern in Dreiecksform ein signifikant niedrigeres Unfallrisiko als für Zufahrten mit angepasster Bordführung (Elefantenfuß) und für diese wiederum ein signifikant nied-

rigeres Unfallrisiko als für Zufahrten mit parallelen Rändern des Fahrbahnteilers (Bild 100 und Bild 101).

Parallele Fahrbahnteiler sind in der Untersuchung ausschließlich an Zufahrten mit radialer Führung gebaut. Dieser Zusammenhang stützt die Ergebnisse von SPAHN & BÄUMLER (2007), nach welcher radiale geführte Kreisverkehrszufahrten als unsicher eingestuft werden. Gleichzeitig kann für Zufahrten mit Fahrbahnteilern in angepasster Bordführung (Ele-

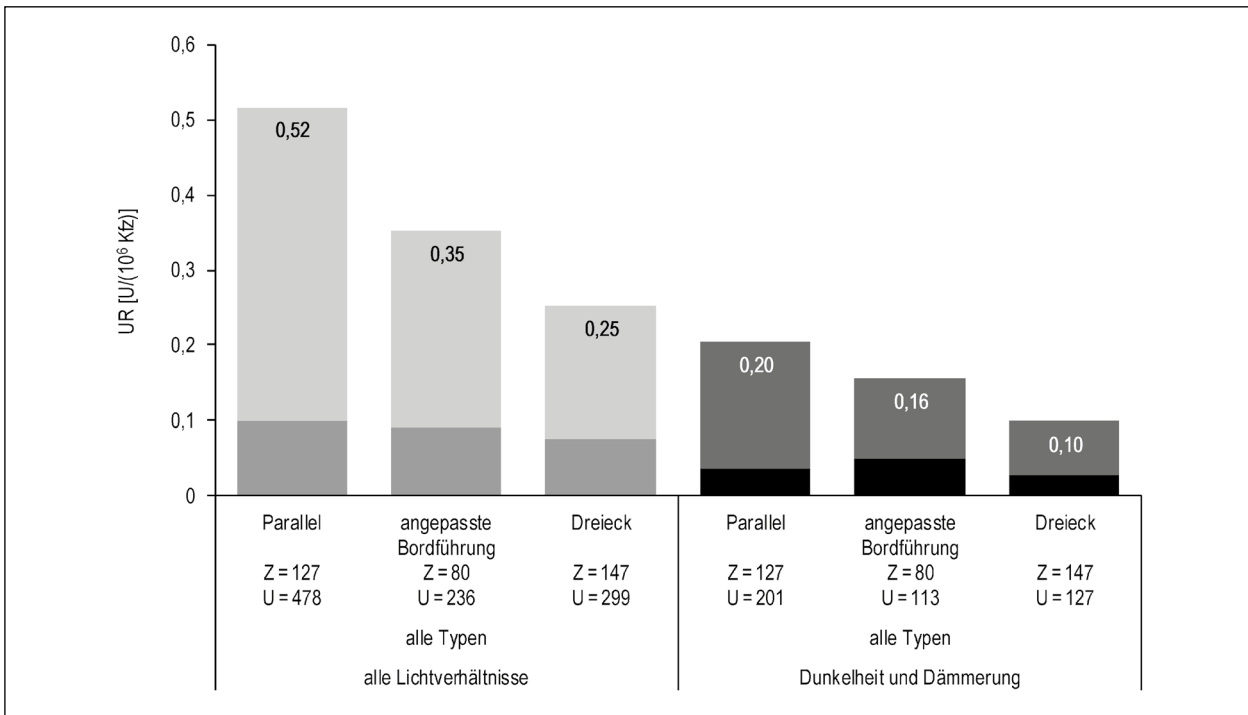


Bild 100: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Form des Fahrbahnteilers

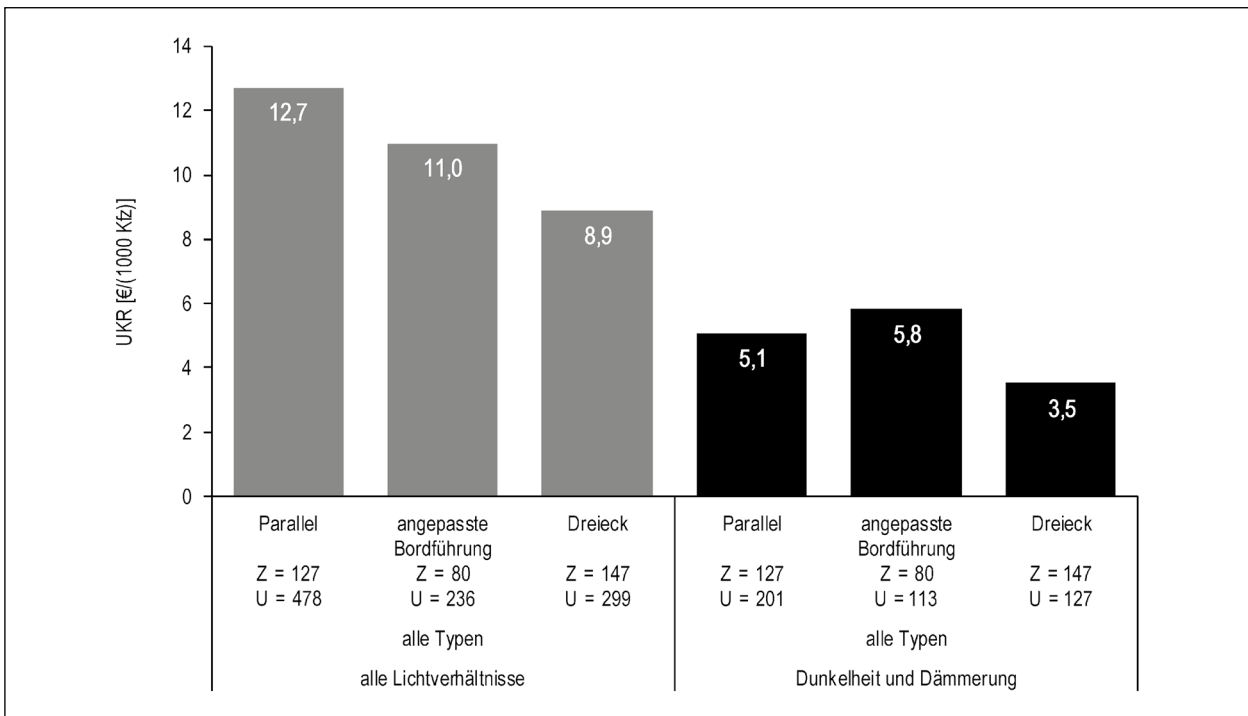


Bild 101: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Form des Fahrbahnteilers

fantenfuß) oder Dreiecksform nicht automatisch von einer angepassten (tangentialen) Führung ausgegangen werden, auch wenn der Anteil der Zufahrten mit angepasster Führung bei diesen Fahrbahnteilerformen höher liegt.

Breite des Fahrbahnteilers

Die Fahrbahnteiler im Kollektiv sind zwischen 1,6 m (Mindestmaß) und 10,0 m breit. Mit steigender Breite des Fahrbahnteilers sinkt die UR für alle Unfälle, Fahrunfälle und Abkommensunfälle. Dabei zeigt Bild 102, dass die Unfallrate der Sachschadensun-

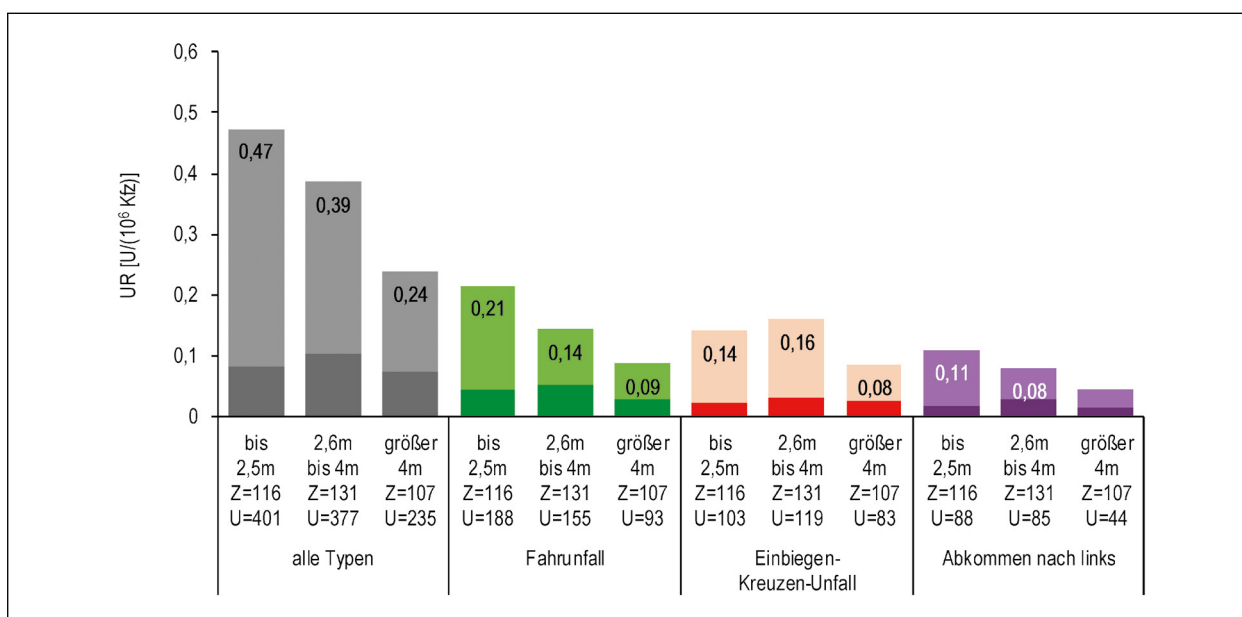


Bild 102: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Breite des Fahrbahnteilers

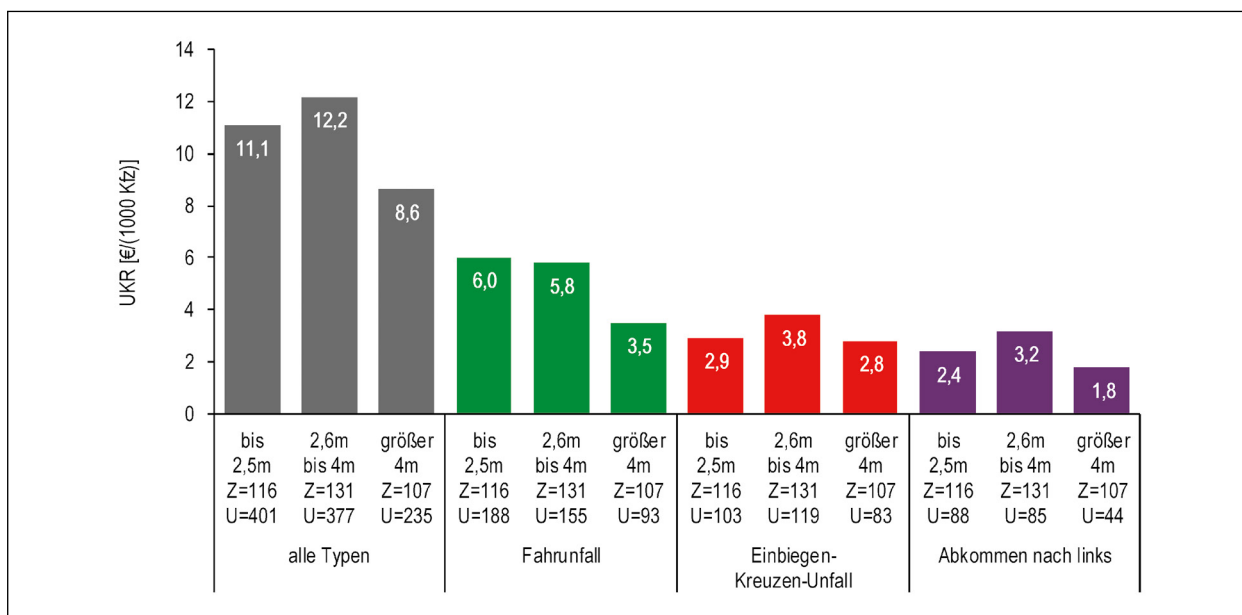


Bild 103: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Breite des Fahrbahnteilers

fälle, nicht aber die Unfallrate der Unfälle mit Personenschaden, einen Zusammenhang mit der Breite des Fahrbahnteilers aufweist. Für Einbiegen/Kreuzen-Unfälle ist der beschriebene Zusammenhang nur bedingt vorhanden.

Im Hinblick auf die in Bild 103 dargestellte UKR ist eine positive Auswirkung auf die Verkehrssicherheit erst bei Fahrbahnteilerbreiten über 4,0 m erkennbar. Ab dieser Breite ergibt sich für alle betrachteten Unfallkollektive die geringste UKR und somit das höchste Sicherheitsniveau.

Wie die Form des Fahrbahnteilers korreliert auch dessen Breite mit der Führung der Kreiszufahrt. Schmale Fahrbahnteiler stehen dabei für radiale geführte Kreiszufahrten und breite Fahrbahnteiler für angepasst (tangential) geführte Kreiszufahrten.

4.2.6 Systematisiertes Unfalldiagramm

Das systematisierte Unfalldiagramm stellt die Fahrnfälle und Einbiegen/Kreuzen-Unfälle der 6 Zufahrten dar, an denen diese Unfalltypen am häufigsten

ten auftreten. Die Betrachtung der Fahrurfälle zeigt, dass ein Großteil der Unfälle (35 von 41) bei der Einfahrt in den Kreisverkehr auftreten und die Verunfallten durch das Abkommen von der Fahrbahn nach links auf die Kreisinsel auffahren. Dreiviertel dieser Fahrurfälle, insbesondere jene mit (schwerem) Personenschaden traten bei Dämmerung und Dunkelheit auf. Bei dieser Unfallkonstellation traten

	U	Anteil U(P)	Anteil U(SP)	Anteil Dä+Du
F	41	24,4 %	7,3 %	73,2 %
EK	35	2,9 %	0 %	34,3 %

Tab. 38: Ausprägungen der Unfallschwere und Lichtverhältnisse für Fahrurfälle (F) und Einbiegen/Kreuzen-Unfälle (EK) im systematisierten Unfalldiagramm

zu 9 % schwerer Personenschaden und zu 15 % Leichtverletzte auf. Bei zwei weiteren Unfällen stürzten motorisierte Zweiradfahrende bei nasser Fahrbahn auf der Kreisfahrbahn, was zu leichten Verletzungen führte. Vier Unfälle führten zum Abkommen von der Kreisfahrbahn nach rechts bei Dämmerung/Dunkelheit.

Der Vergleich zu den Einbiegen/Kreuzen-Unfällen zeigt, dass ein deutlich geringerer Anteil (siehe Tabelle 38) dieser Unfälle bei Dämmerung und Dunkelheit auftraten. Von den 35 Unfällen zog nur einer einen leichten Personenschaden nach sich.

Das systematisierte Unfalldiagramm mit Zuordnung der Zufahrten und Unfalldiagramme für ausgewählte Kreisverkehre befindet sich im Anhang 12.

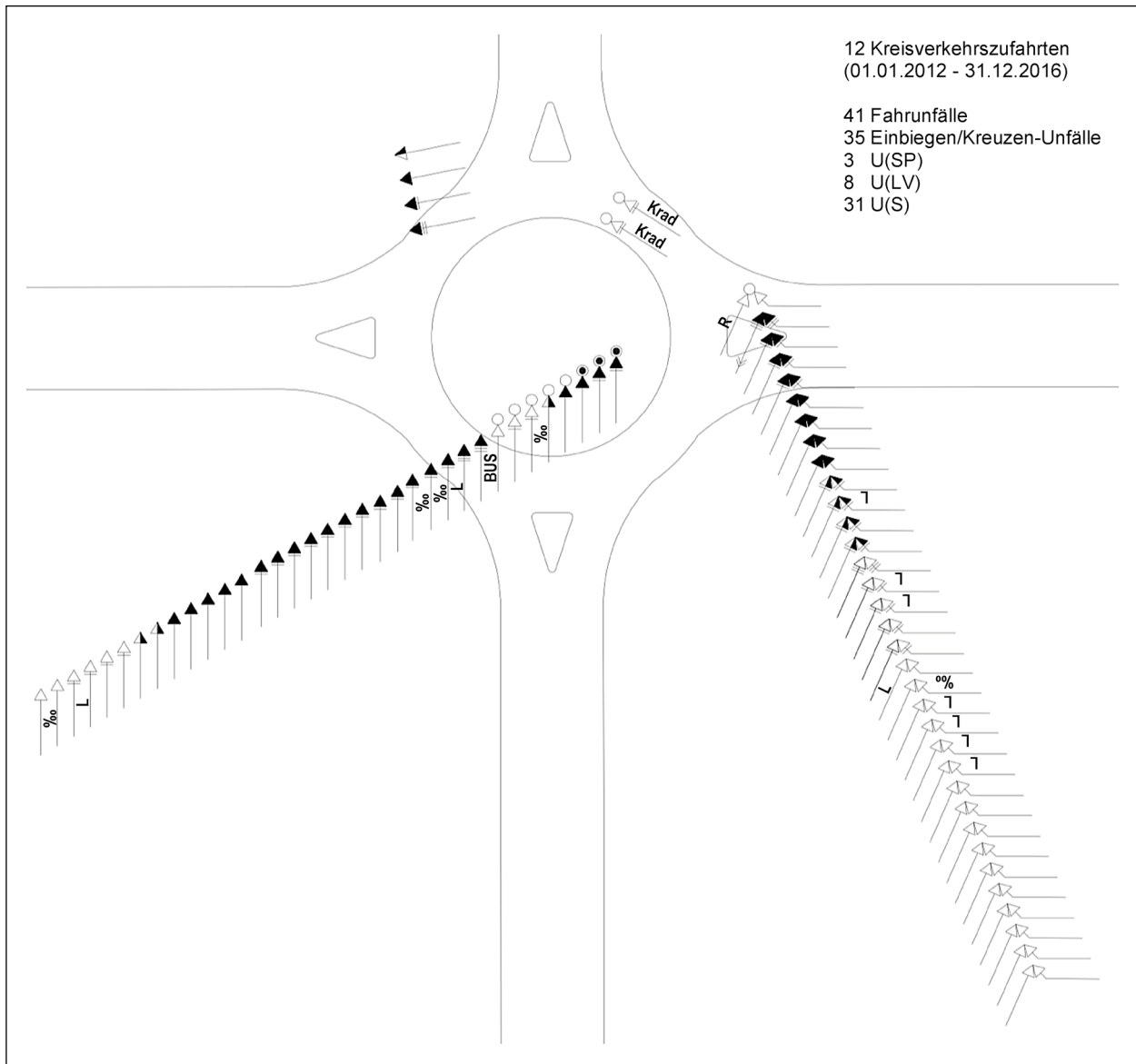


Bild 104: Systematisiertes Unfalldiagramm für Fahrurfälle und Einbiegen/Kreuzen-Unfälle

4.3 Zusammenfassung

Die Analyse des Unfallgeschehens an außerörtlichen Kreisverkehren zeigt, dass Fahrurfälle im Hinblick auf ihre Schwere und Häufigkeit an diesen Anlagen einen maßgeblichen Einfluss haben. Auf der anderen Seite zeigt sich aber auch, dass außerörtliche Kreisverkehre ein sehr hohes Sicherheitsniveau aufweisen.

Anhand der Auswertungen des Unfallgeschehens kann nachgewiesen werden, dass die 109 untersuchten Kreisverkehre das generelle Unfallgeschehen an außerörtlichen Kreisverkehren in Deutschland bzw. in den Bundesländern Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt gut repräsentieren. Die für die untersuchten Kreisverkehre ermittelten Sicherheitsgrade bestätigen zudem die Erkenntnisse früherer Untersuchungen von SPAHN & BÄUMLER (2007) und hinsichtlich der Unfallkostenrate auch die Ergebnisse von ECKSTEIN & MEEWES (2002).

Hinsichtlich der Überprüfung sicherheitsrelevanter Gestaltungsmerkmale außerörtlicher Kreisverkehre lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

- Kreisverkehrszufahrten von Straßen der VFS2 gemäß RIN weisen ein höheres Unfallrisiko als Kreisverkehrszufahrten im Zuge von Straßen der VFS 3 bzw. 4 auf, wobei die Verbindungsfunktionsstufe (VFS) auch als Stellvertretergröße für verkehrliche und gestalterische Merkmale steht. Allerdings kann in der vorliegenden Untersuchung trotz intensiver Prüfung aller erhobenen Kenngrößen nicht eindeutig geklärt werden, für welche verkehrlichen und gestalterischen Merkmale die Verbindungsfunktionsstufe steht. Die Kurvigkeit im Annäherungsbereich und die Querschnittsgestaltung können ausgeschlossen werden. Ein Zusammenhang mit der angeordneten zulässigen Höchstgeschwindigkeit ist denkbar, kann aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit und weiterer Randbedingungen (z. B. Wechselwirkungen mit und Entfernung zu benachbarten Knotenpunkt) nicht überprüft werden.
- Abkröpfungen im Annäherungsbereich eines Kreisverkehrs kann ein signifikant unfallverringender Einfluss nachgewiesen werden. Die Differenzierung nach Art der Abkröpfung zeigt, dass Zufahrten mit Verschwenkungen sowie Abkröpfungen mit einfachen Bogen, bei denen der Beginn der Abkröpfung mindestens 100 m vor dem Kreisverkehr liegt (Bezugspunkt der Längenbestimmung ist der Kreismittelpunkt) eine höhere Sicherheit aufweisen, als Zufahrten mit kurzen Abkröpfungen (Beginn weniger als 100 m in Bezug zum Kreismittelpunkt). Diese Erkenntnis soll jedoch nicht als generelle Planungsvorgabe definiert werden. Vielmehr sind entsprechende Abkröpfungen als mögliche Maßnahme gegen erwartete oder bestehende hohe Annäherungsgeschwindigkeiten zu sehen, wobei zu berücksichtigen ist, dass Abkröpfungen, die weniger als 100 m vor dem Kreisverkehr beginnen nicht dieselbe Sicherheitswirkung entfalten wie Verschwenkungen und längere Abkröpfungen.
- Die Untersuchung des Ablenkungswinkels β zeigt auf der einen Seite ein steigendes Unfallrisiko für Fahr- und Abkommensunfälle bei zunehmenden Ablenkungswinkeln und auf der anderen Seite ein steigendes Unfallrisiko für Einbiegen/Kreuzen-Unfällen bei zu geringen Ablenkungswinkeln. Im betrachteten Wertebereich kann somit keine eindeutige Empfehlung zu geeigneten Ablenkungswinkeln β gegeben werden.
- Zufahrten mit begrünter Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers weisen über alle betrachteten Unfallkollektive ein geringeres Unfallrisiko auf als Fahrbahnteiler mit asphaltierter, betonierter oder gepflasterter Oberfläche. Erklärt werden kann dies durch die bessere Erkennbarkeit des Kreisverkehrs aufgrund des stärkeren Kontrastes zwischen der Oberfläche des Fahrbahnteilers und der Fahrbahn.
- Weiterhin ist für Zufahrten mit Fahrbahnteilern in Dreiecksform ein signifikant niedrigeres Unfallrisiko als für Zufahrten mit Fahrbahnteilern mit angepassten Rändern (Elefantenfuß) und für diese wiederum ein signifikant niedrigeres Unfallrisiko als für Zufahrten mit parallelen Rändern des Fahrbahnteilers festzustellen.
- Werden die Erkenntnisse zum Einfluss der Breite des Fahrbahnteilers (gemessen am äußeren Rand der Kreisfahrbahn) hinzugezogen, nach denen breitere Fahrbahnteiler zu einem geringeren Unfallrisiko führen, können die beiden zuvor genannten Empfehlungen auf eine angepasste Führung der Kreiszufahrten – anstelle der bisher im Merkblatt geforderten radialen Führung – erweitert werden.
- Das systematisierte Unfalldiagramm bestätigt die Erkenntnisse insbesondere aus der deskriptiven Unfallanalyse. Fahrurfälle treten häufiger

bei Dunkelheit auf und weisen eine höhere Schwere auf. Hinsichtlich der Unfallkonstellationen zeigen sich für Fahrurfälle zusätzlich zum Abkommen von der Fahrbahn nach links (Auffahren auf die Kreisinsel) Unfälle von Zweiradfahrenden auf nasser Kreisfahrbahn und das Abkommen nach rechts auf der Kreisfahrbahn. Für Einbiegen/Kreuzen-Unfälle liegt nur eine Unfallkonstellation vor.

5 Analyse des Geschwindigkeits- und Fahrverhaltens

Für insgesamt 32 Zufahrten an 19 ausgewählten Kreisverkehren wird die Geometrie des Annäherungsbereiches und der Kreisverkehre erfasst. Außerdem wird das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmenden bei Tag und bei Nacht erhoben. Dabei werden neben unfallauffälligen auch unfallfreie/-un auffällige Zufahrten betrachtet, um aus der Gegenüberstellung von Fahrverhaltensdaten an sicheren und gefährlichen Zufahrten gezielt Verbesserungsvorschläge ableiten zu können.

Das Fahrverhalten wird stationär und luftgestützt aufgezeichnet. Dabei wird zwischen linienhaften Messungen und Querschnittsmessungen unterschieden. Für jede der 32 Kreisverkehrszufahrten wird das Fahrverhalten über einen Zeitraum von mindestens 2,5h am Tag und 2,5h in der Nacht gemessen. Die Daten zur geometrischen Gestaltung sind zur Beurteilung des Fahrverhaltens an den ausgewählten Kreisverkehrszufahrten erforderlich.

5.1 Methodik

5.1.1 Erhebung der Entwurfsmerkmale

Die Streckengeometrie ist für die Berechnung der Sichtweiten maßgebend. Anhand der Bepflanzung im Seitenraum wird untersucht, ab welcher Station vor dem Kreisverkehr die Verkehrsteilnehmenden den Kreisverkehr erkennen können.

Mit einem Kopter ist neben der Aufzeichnung der Infrastruktur für Vermessungszwecke auch die Aufzeichnung bewegter Objekte möglich. Aus Orthofotos wird mit einer SFM-Software (Structure From Motion) ein 3D-Modell der Verkehrsanlage berechnet. Durch eingemessene Referenzmarken in der Punktwolke wird dabei eine Genauigkeit von unter

6 cm erreicht. Ergebnis der Berechnungen sind georeferenzierte Punktwolken und Orthofotos. Mit den Punktdaten sind CAD-gestützte Untersuchungen der Linienführung möglich.

Für die Generierung der Daten werden die folgenden Schritte durchgeführt:

1. Auslegen der Referenzmarken im Seitenraum entlang der Annäherungsstrecke.
2. Einmessen der Referenzmarken mit einem Tachymeter oder einem GNSS-Empfänger.
3. Befliegung und fotografische Erfassung des Straßenraums (Bild 105).
4. Auswerten der Fotos im Labor mit einer SFM-Software. Dabei werden die Referenzpunkte eingebunden. Die Punktwolke wird berechnet

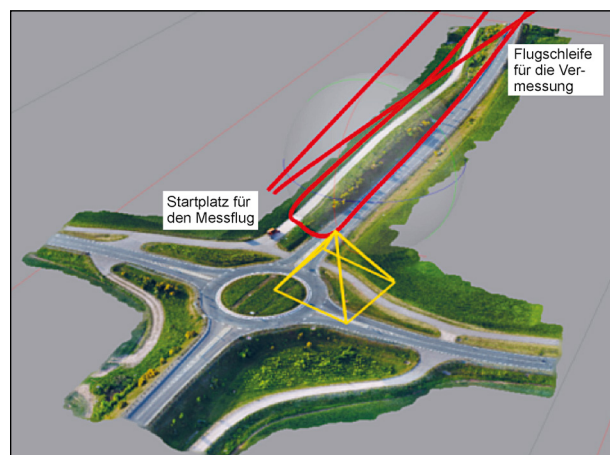


Bild 105: Flugplanung für den Annäherungsbereich eines Kreisverkehrs

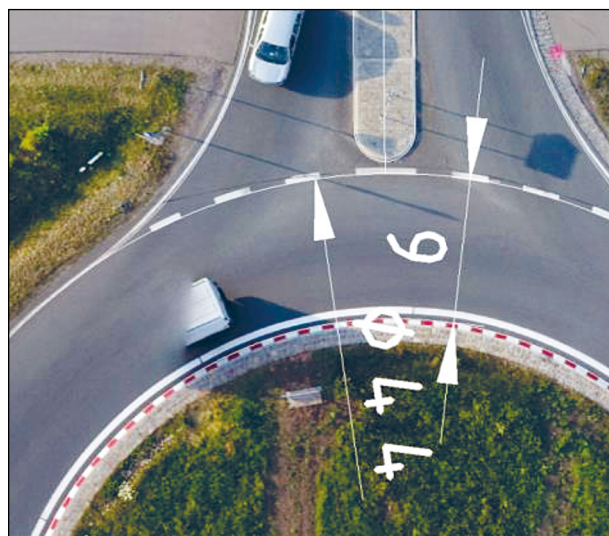


Bild 106: Abmessen der Entwurfsparameter der Kreisverkehre aus der Punktwolke

und anschließend in das Entwurfsprogramm exportiert (Bild 106).

5. Ausmessen der entwurfstechnischen Merkmale für die Auswertung (Gruppenbildung) der Kreisverkehrszufahrten

5.1.2 Erhebung des Fahrverhaltens an Messquerschnitten

Bei der Auswahl der geeigneten Messmethode kommen für die Analyse des Fahrverhaltens an einem Kreisverkehr nur Querschnittsmessungen in Betracht, da die räumliche Ausdehnung des Untersuchungsraumes für eine linienhafte Erhebung zu gering ist.

Erhebung des Geschwindigkeitsverhaltens

Für die Erhebung des Geschwindigkeitsverhaltens werden Radarpfosten und ein Laserscanner eingesetzt. Freifahrende Fahrzeuge werden durch Zeitlücken von 6 s vor und 3 s hinter dem aufgenommenen Fahrzeug bestimmt.

In Bild 107 ist der Untersuchungsraum vor dem Kreisverkehr mit einer Ausdehnung von insgesamt $L = 200$ m zwischen den Querschnitten MK_{Z4} bis MQ_{K2} ersichtlich. An den Querschnitten MK_{Z4} bis MK_{Z1} werden die Geschwindigkeiten der Verkehrsteilnehmenden mit Radarpfosten gemessen (vgl. Bild 108). Die Pfosten werden mit einem Abstand von $d = 50$ m aufgestellt.

In der Kreisverkehrszufahrt wird das Geschwindigkeitsverhalten mit einem Laserscanner aufgezeichnet. Der Bereich umfasst die Messquerschnitte MQ_{K1} und MQ_{K2} (vgl. Bild 107). Die zwei Querschnitte haben einen Abstand von $d = 10$ m zueinander.

Erhebung des Spurverhaltens

Das Spurverhalten im Zufahrtsbereich wird mit einem Laserscanner gemessen. Das Messgerät ist in der Lage, einen Bereich von 180° in $0,5^\circ$ -Schritten alle $T = 12$ ms mit Infrarot-Laserstrahlen abzutasten. Die maximale Entfernung, in der ein Objekt von dem Scanner noch erfasst werden kann, liegt bei 80 m. Der Scanner wird in den Seitenraum in einem Abstand von 10 m bis 20 m aufgestellt (Bild 109). Bei der Standortwahl spielen die Seitenraumbepflanzung und der Höhenverlauf zwischen Scannerstandort und der Fahrbahn eine große Rolle.

Durch die Seitenraumbepflanzung werden die Fahrzeuge teilweise verdeckt und können in der Nachbearbeitung nicht mehr ausgewertet werden.

Messzeiten

Die Messungen werden am Tag und in der Nacht durchgeführt, damit das Fahrverhalten bei Helligkeit und bei Dunkelheit abgebildet werden kann. Der Messzeitraum sollte mindestens 2,5h umfassen,

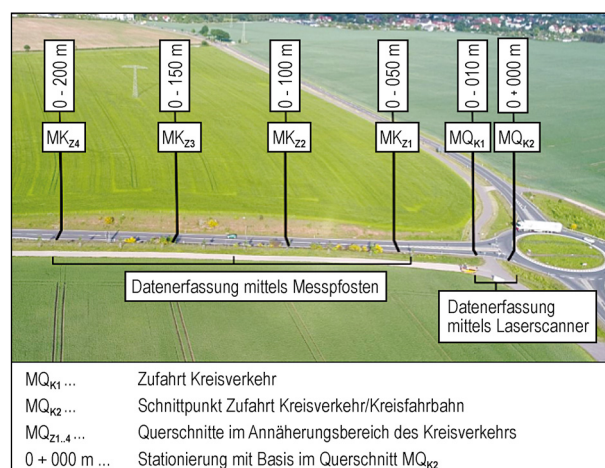


Bild 107: Anordnung Messpfosten und des Laserscanners im Annäherungsbereich

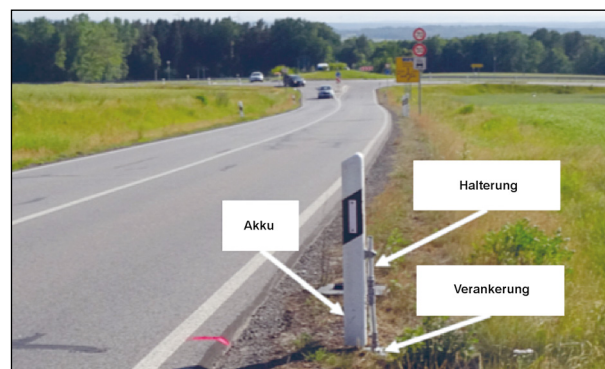


Bild 108: Messpfosten in messbarem Zustand C

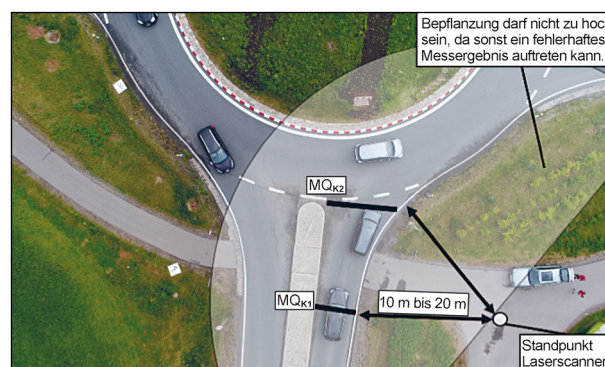


Bild 109: Position des Laserscanners im Seitenraum der Zufahrt

um zu gewährleisten, dass genügend freifahrende Verkehrsteilnehmende aufgenommen werden.

Für die Durchführung der Tages- und Nachtmessung werden die in Tabelle 39 angegebenen Zeiträume angestrebt.

Messung	Zeitraum
Tagmessung (Sommer)	ca. 15:00 bis 19:30Uhr
Nachtmessung (Sommer)	ab ca. 22 Uhr
Nachtmessung (Herbst)	ab ca. 18 Uhr

Tab. 39: Messzeiträume für Tag- und Nachtmessung

5.1.3 Erhebungen des linienhaften Fahrverhaltens

Für die Erfassung des Fahrverhaltens werden verschiedene Messgeräte verwendet. Im Bereich von bis zu L = 150 m vor der Kreiszufahrt werden die Fahrzeuge mit dem Kopter erfasst und aufgezeichnet. Diese Festlegung beruht auf den Erkenntnissen der Radar- und Lasermessungen, nach denen die Verkehrsteilnehmenden ihre Geschwindigkeit am Tag und in der Nacht erst ab einem Abstand von weniger als d = 150 m merklich verringern (vgl. Bild 110 und Bild 111).

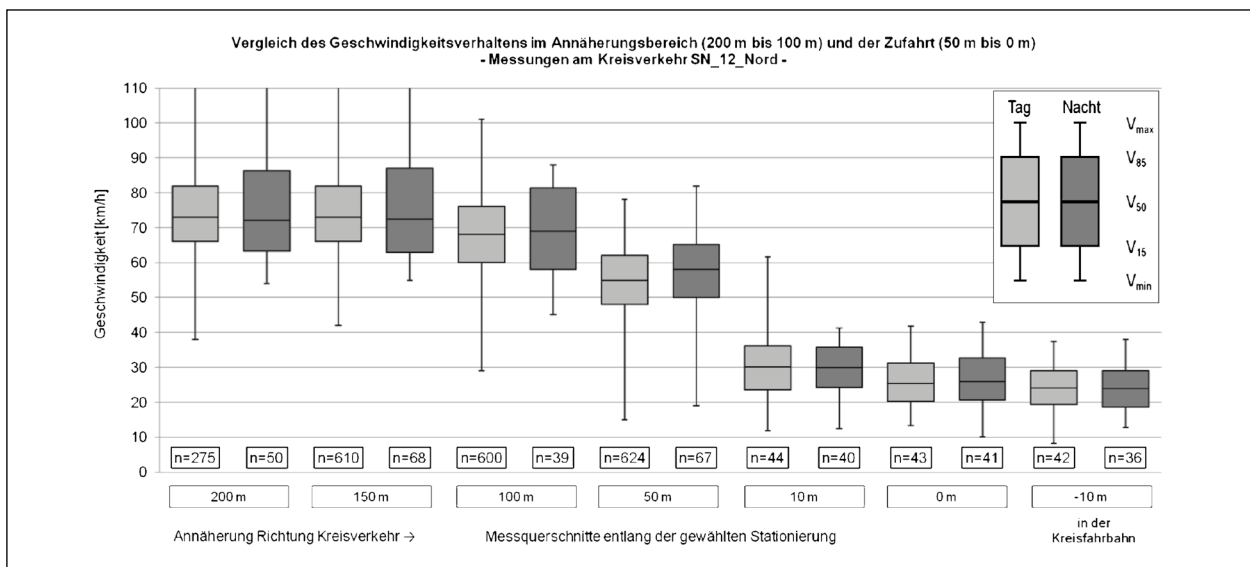


Bild 110: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) am Kreisverkehr SN_12

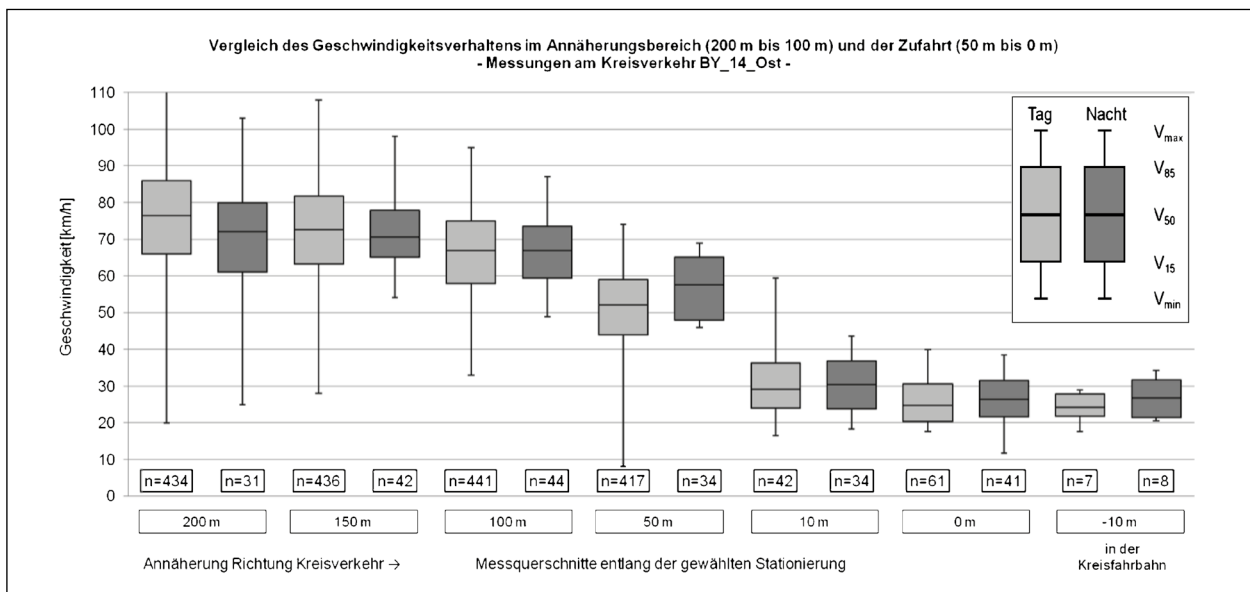


Bild 111: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) am Kreisverkehr BY_14_Ost

5.1.4 Datenaufbereitung

Die Datenauswertung erfolgt mithilfe von mehreren Programmen, die speziell für die Erfassung und Auswertung des Fahrverhaltens entwickelt wurden. Im Folgenden soll die Vorgehensweise bei der Auswertung näher erläutert werden.

Für die Auswertung wird ein Stichprobenumfang von mindestens 50 Fahrzeuge pro Messung angestrebt, wobei bei einzelnen Messungen trotz einer Ausdehnung der Messzeiten auf über 4,5h der Mindeststichprobenumfang für die Nachtmessungen nicht erreicht werden konnte.

Linienhaftes Fahrverhalten

Bei den Kopterflügen werden die Fahrzeuge mittels Videokamera aufgenommen. Im Labor werden die Videos mit einer Software ausgewertet. In den Bildsequenzen werden Referenzmaßstäbe bestimmt. Diese werden mit den Messdaten der Vermessungsflüge abgeglichen. Dies ermöglicht, die Trajektorien der Fahrzeuge aus der Bildebene (Pixel/s) in km/h umzurechnen. Weiterhin werden die Fahrzeuge mit einem Suchfenster nachverfolgt (vgl. Bild 112).

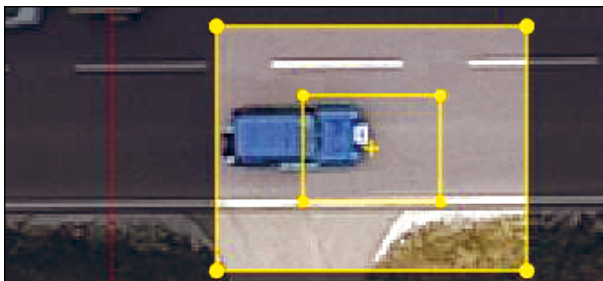


Bild 112: Positionieren des Suchfensters an einem Fahrzeug

Eine vollständige Nachverfolgung wird für jedes maßgebende Fahrzeug von $MK_{Z3} = 150$ m vor dem Kreisverkehr gestartet und bis zur Einfahrt (MQ_{K2}) in die Kreisbahn aufgezeichnet. Die gemessenen Trajektorien werden in Excel zur weiteren Auswertung kopiert. Die Trajektorien ermöglichen die Abbildung des linienhaften Geschwindigkeitsverlaufs.

In Bild 113 ist beispielhaft eine Auswertung des linienhaften Geschwindigkeitsverhaltens dargestellt. Die Auswertung erlaubt die Gegenüberstellung des Fahrverhaltens bei Helligkeit und Dunkelheit mit den maßgebenden Perzentilen (V_{85} , V_{50} und V_{15}). Weiterhin kann entlang der Abszisse die maßstabsgerechte Ausführung des Fahrbahnteilers und der Markierungen abgelesen werden.

5.1.5 Vergleich der Querschnittsmessungen und der linienhaften Messungen

Der Vergleich der linienhaften Messungen und der Querschnittsmessungen zeigt, dass die Ergebnisse der Kopterflüge nicht immer mit den Ergebnissen der Querschnittsmessungen übereinstimmen. Abweichungen treten aus den folgenden Gründen auf:

- Messzeitpunkte: Der Großteil der Radarmessungen wurde im Sommer 2018 von 22 Uhr bis 3 Uhr durchgeführt. Die Messgeräte konnten ab dem Startzeitpunkt ununterbrochen messen. Beim Kopter hingegen müssen regelmäßig Akku und Speicherkarte gewechselt werden, weshalb die Flüge in regelmäßigen Abständen unterbrochen wurden. Eine Pilotmessung Ende Mai 2018 zeigte, dass bei Messflügen ab 22 Uhr nicht genügend Fahrzeuge aufgenommen werden konnten.

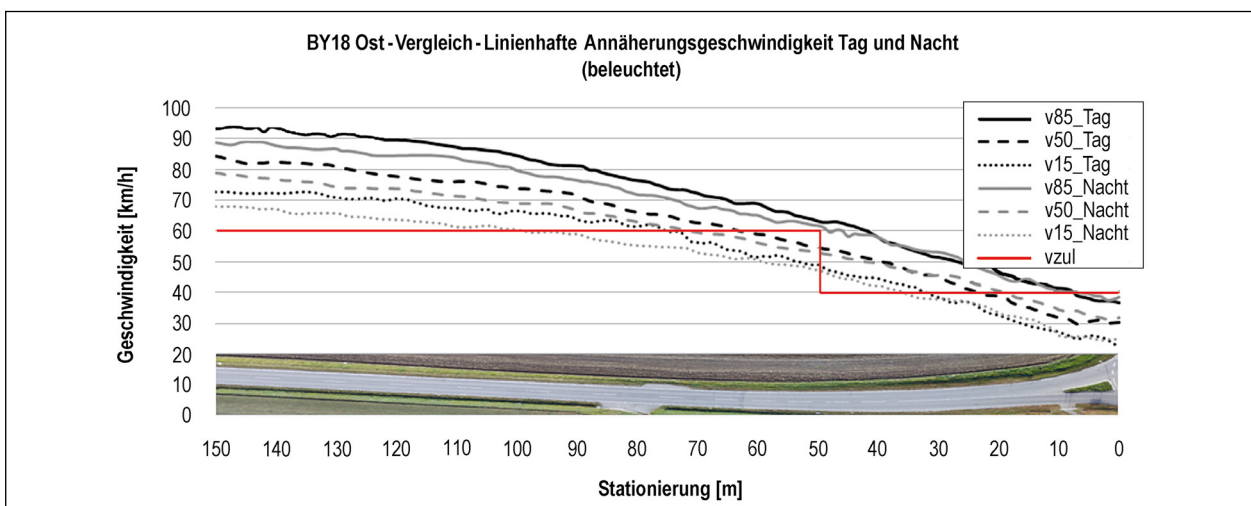


Bild 113: Beispielhafte Aufbereitung der linienhaften Geschwindigkeitsauswertungen

ten. Die Messungen des Kopters begannen deshalb erst ab Spätsommer 2018. Mit der zeitiger einsetzenden Dunkelheit wurden mit dem Kopter wesentlich mehr Fahrzeuge erfasst. Mit den teilweise unterschiedlichen jahreszeitlichen Messzeitpunkten (Sommer/Herbst) gegenüber den Querschnittsmessungen sind augenscheinlich Unterschiede im Geschwindigkeitsverhalten der Verkehrsteilnehmenden verbunden. Das heißt, dass sich das Verhalten von Fahrzeugführenden in den frühen Abendstunden gegenüber den späten Nachtstunden (ab 24 Uhr) unterscheidet. Wettereinflüsse können bei der Betrachtung ausgeschlossen werden. Alle Messungen wurden bei trockenen Fahrbahnbedingungen durchgeführt.

- Fahrzeugkollektive: Mit den kontinuierlich messenden Radarpfosten werden wesentlich größere Stichproben als mit dem Kopter erfasst. Bei den kleineren Stichproben des Kopters wirken sich einzelne schnell fahrende Fahrzeuge stärker auf die Quantile der Geschwindigkeits-Weg-Verläufe aus.
- Genauigkeit der Messgeräte/Methodik: Die Radarmesspfosten haben einen vom Hersteller angegebenen Messfehler von 1 km/h. Für die Auswertung der Kopteraufnahmen ist ein größerer Fehler von rund 5 km/h anzunehmen (beruhend auf Versuchsfahrten). Das begründet sich vor allem in der Auswertesoftware, die die Fahrzeuge nur pixelfein tracken kann. Erhöhungen der Genauigkeit sind durch Subpixelbetrachtungen und leistungsfähigere Bildverarbeitungen möglich.

Aus diesen Gründen ist ein direkter Vergleich der Ergebnisse der Koptermessungen und der Messungen mit Radarleitpfosten nicht immer möglich.

5.1.6 Einfluss der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten

In Tabelle 40 sind die Geschwindigkeitsdaten der Messungen nach den angeordneten zulässigen Höchstgeschwindigkeiten zusammengefasst. In den Annäherungsbereichen in denen zulässige Höchstgeschwindigkeiten von 50 km/h, 60 km/h und 70 km/h angeordnet sind, sind die Anteile der Verkehrsteilnehmenden mit Geschwindigkeitsüberschreitungen höher als in den Annäherungsbereichen ohne Beschränkung der zulässigen Geschwindigkeit ($V_{zul} = 100$ km/h). Die V_{85} liegen in den betrachteten Bereichen trotz unterschiedlicher zulässiger Höchstgeschwindigkeiten auf einem ähnlichen Niveau, weshalb auf eine differenzierte Auswertung der Zufahrten unter Beachtung der angeordneten zulässigen Höchstgeschwindigkeiten verzichtet wird. Wie sich einzelne Entwurfsmerkmale auf die Geschwindigkeiten auswirken, wird in Kapitel 5.2 behandelt

5.2 Auswertung des Fahrverhaltens

Im Kapitel 4.2.5 sind sicherheitsrelevante Gestaltungsmerkmale von Kreisverkehren anhand des Unfallgeschehens erläutert. Die Merkmale werden für die weitere Auswertung berücksichtigt. Dabei wird bei der Bildung der einzelnen Vergleichsgruppen auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Entwurfsmerkmale geachtet bzw. Zufahrten mit maßgeblich das Fahrverhalten beeinflussenden Entwurfsmerkmalen ausgeschlossen. Zum Beispiel werden bei der Analyse des Fahrverhaltens in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerform Messdaten von Zufahrten mit Beleuchtungen oder Abkröpfungen bzw. Verschwenkungen ausgeschlossen, um Verzerrungen in den Ergebnissen zu minimieren.

	zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]		Vergleich mittlere V_{85} [km/h] und zulässige Höchstgeschwindigkeiten										Anzahl KV
			200 m		150 m		100 m		50 m				
			Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht			
konstant	100		94,6	93,5	87,8	87,6	79,1	78,4	61,7	63,1	14		
	70		89,2	93,0	82,3	85,0	72,0	75,9	56,8	60,6	6		
	60		91,8	89,3	86,3	84,9	78,8	77,8	62,5	62,3	4		
	50		88,6	94,8	83,5	89,1	75,5	80,0	61,0	65,3	2		
Trichter	100	70	81,9	86,3	82,0	87,0	76,0	81,3	62,0	65,2	1		
	100	50	-	-	78,0	84,0	75,0	81,0	63,0	67,0	1		
	100	70	102,0	100,0	96,0	94,5	80,0	83,2	60,0	65,0	1		
	100	60	98,6	112,2	95,0	103,7	81,4	89,5	62,1	68,1	2		
	70	50	75,0	76,0	66,0	67,0	62,0	64,6	52,0	53,0	1		
			92,4	93,8	86,5	87,8	77,5	79,0	60,4	63,0			

Tab. 40: Übersicht über gemessenen Geschwindigkeiten (Querschnittsmessungen der Radarpfosten) im Vergleich zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit

In der Auswertung wird unterschieden zwischen „Annäherung“ ($MK_{Z4} = 200$ m bis $MK_{Z2} = 100$ m vor der Kreiseinfahrt) und „Zufahrt“ ($MK_{Z1} = 50$ m bis $MQ_{K2} = 0$ m vor der Kreiseinfahrt). Die Unterscheidung ist notwendig, da manche Merkmale nur auf einen der beiden Bereiche und andere auf beide Bereiche wirken.

Die Perzentile der Geschwindigkeitsauswertung (linienhafte Auswertung des Kopters) und die Beschreibung der Messergebnisse (Unterschiede der Geschwindigkeiten) werden nachfolgend auf die V_{85} bezogen.

Bewertung von Geschwindigkeitsunterschieden

Unfälle an Kreisverkehren sind seltene Ereignisse. Zudem konnte nur eine begrenzte Anzahl an Kreisverkehrszufahrten untersucht werden. Die Ergebnisse zeigen, dass es im Hinblick auf die Entwurfsmerkmale Unterschiede im Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmenden gibt. Aufgrund des verfügbaren Datenumfanges wird auf statistische Analysen der Kenngrößenverteilungen verzichtet. Bei der Überprüfung des Einflusses verschiedener Entwurfsmerkmale wird sich auf Unterschiede in den Geschwindigkeiten konzentriert, die von 85 % der Verkehrsteilnehmenden nicht überschritten werden (V_{85}). Dazu werden für die einzelnen Messquerschnitte die prozentualen Unterschiede der ermittelten V_{85} betrachtet. Als Schwellwert für die Abgrenzung relevanter Unterschiede wird eine prozentuale Abweichung von mindestens 5 % zwischen den zu

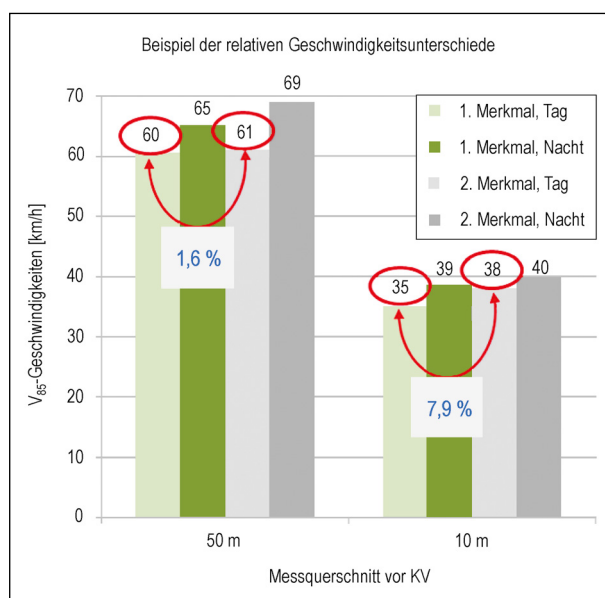


Bild 114: Prozentuale Unterschiede zwischen zwei Messstellen

vergleichenden Geschwindigkeiten (V_{85}) verwendet. In Bild 114 ist das Vorgehen anhand eines Beispiels dargestellt. Aufgrund der relativen Betrachtung liegen bei hohen Geschwindigkeiten Geschwindigkeitsunterschiede erst bei größeren absoluten Differenzen über dem Schwellwert. Bei geringen Geschwindigkeiten wirken sich Geschwindigkeitsunterschiede anteilig stärker aus. Der Schwellwert wird demnach schon bei geringeren Geschwindigkeitsunterschieden überschritten.

5.2.1 Form des Fahrbahnteilers

Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich ($MK_{Z4} = 200$ m bis $MK_{Z2} = 100$ m)

In der Annäherung von $MK_{Z4} = 200$ m bis $MK_{Z2} = 100$ m vor einem Kreisverkehr scheint die Gestaltung des Fahrbahnteilers keinen Einfluss auf die gefahrenen Geschwindigkeiten zu haben. Im Bereich der Annäherung ist die Fahrbahnteilerform an den Messstrecken nie vollständig erkennbar. In Bild 115 sind die V_{85} -Geschwindigkeiten für die verschiedenen Fahrbahnteilerformen zu sehen. Die V_{85} -Geschwindigkeiten sind ähnlich.

Geschwindigkeiten in der Zufahrt ($MK_{Z1} = 50$ m bis $MQ_{K2} = 0$ m)

In Bild 115 ist zu sehen, dass bei allen Fahrbahnteilerformen 50 m vor dem Kreisverkehr in der Nacht schneller gefahren wird als am Tag. Beim Einfahren in die Kreisfahrbahn sind die Geschwindigkeiten der Fahrzeugführenden über alle Fahrbahnteilerformen ähnlich. An Fahrbahnteilern in Dreiecksform und Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung (Elefantenfuß) wird auch bis in den Kreisverkehr in der Nacht schneller als am Tag gefahren. Die Fahrbahnteiler mit angepassten Rändern (Elefantenfuß) werden am Tag vergleichsweise langsam befahren. Die parallelen Fahrbahnteiler werden am Tag auf den letzten 10 m vor dem Kreisverkehr am schnellsten befahren.

Die Gegenüberstellung der V_{85} an den Stationen 50 m, 10 m und 0 m zeigt, dass bei parallelen Fahrbahnteilern die geringsten Differenzen zwischen Tag und Nacht auftreten (vgl. Bild 116). Bei den parallelen Fahrbahnteilern wird in der Nacht bei MK_{Z1} (50 m vor KV) ca. 2 km/h (ΔV_{85}) schneller gefahren als am Tag. An den beiden darauffolgenden Messquerschnitten gibt es keine auffälligen Geschwindigkeitsunterschiede.

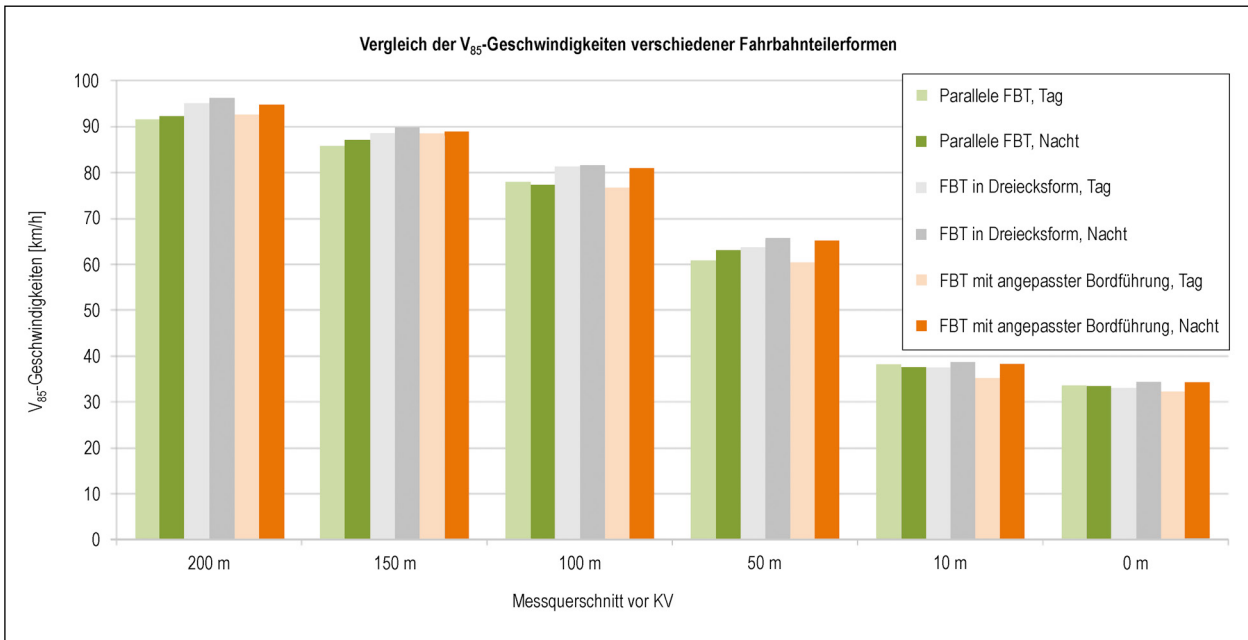


Bild 115: V_{85} -Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerform und dem Erhebungszeitraum

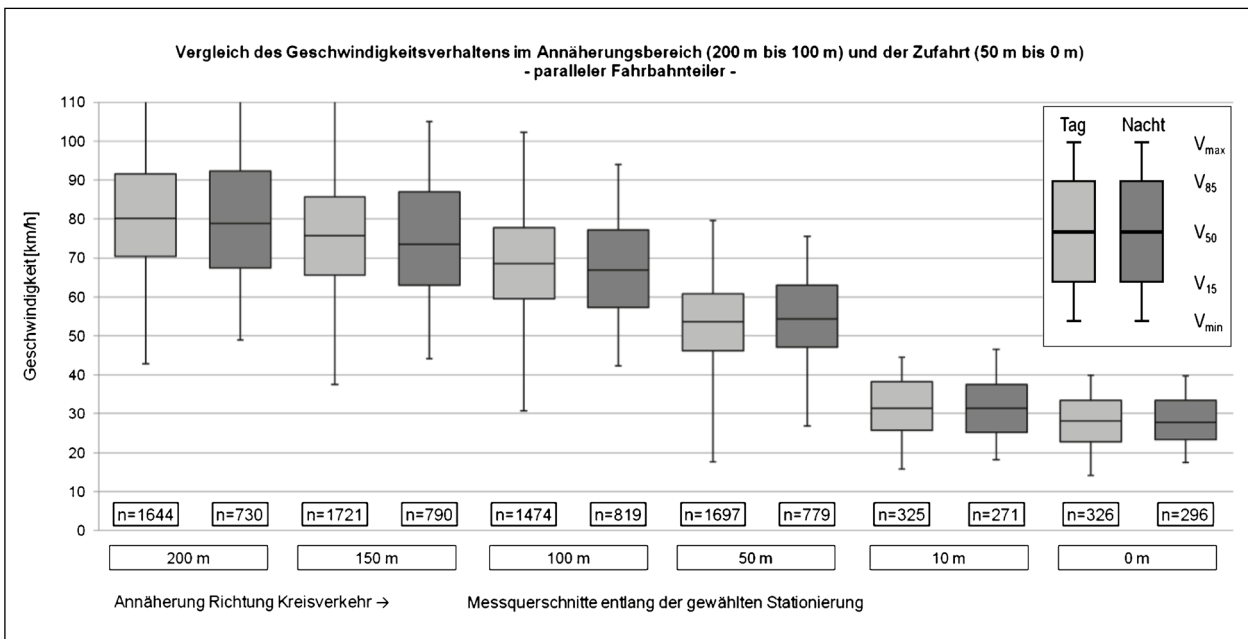


Bild 116: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) bei parallelen Fahrbahnteilern in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

In den Zufahrten mit Fahrbahnteilern in Dreiecksform wird in der Nacht ebenfalls am Messquerschnitt MK_{Z1} (50 m vor KV) schneller gefahren als am Tag. Der Unterschied umfasst ca. 2 km/h (ΔV_{85}). An den folgenden Messquerschnitten bis zum Kreisverkehr liegen die Geschwindigkeiten in der Nacht ca. 1 km/h (ΔV_{85}) über den Tagwerten (vgl. Bild 117).

Die Geschwindigkeiten der Zufahrten an MK_{Z1} (50 m vor KV) bei Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung liegen in der Nacht 4,9 km/h (ΔV_{85}) über den Tagwerten (vgl. Bild 118). An der Messstelle MQ_{K1} (10 m vor KV) wird in der Nacht noch 3,1 km/h (ΔV_{85}) und an der Messstelle MQ_{K2} (0 m vor KV) 1,8 km/h (ΔV_{85}) schneller als am Tag gefahren.

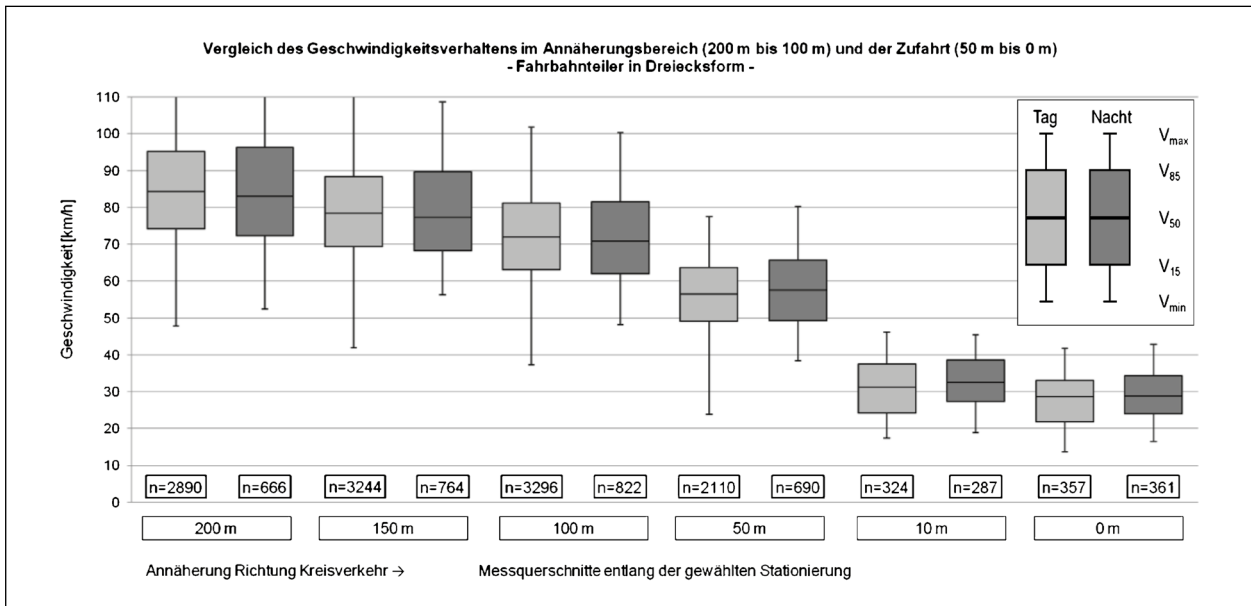


Bild 117: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) bei Fahrbahnteilern in Dreiecksform in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

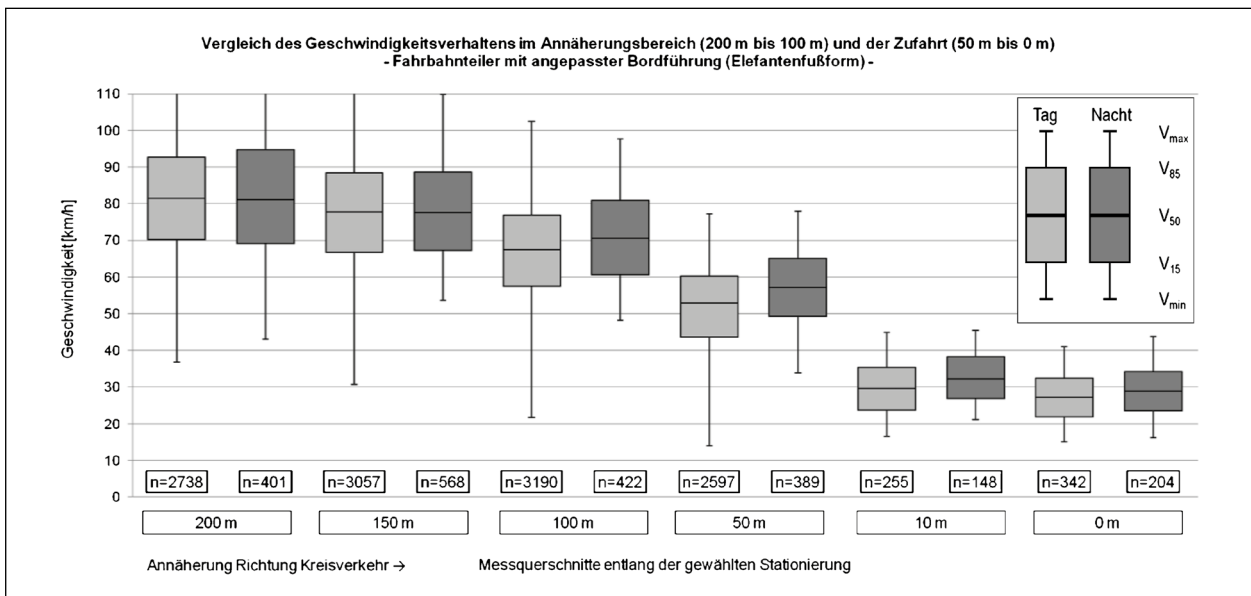


Bild 118: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) bei Fahrbahnteilern mit angepasster Bordföhrung (Elefantenfußform) in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

Linienhaftes Geschwindigkeitsverhalten

Das mit dem Kopter erfasste linienhafte Geschwindigkeitsverhalten (vgl. Bild 119) bestätigt die im Zusammenhang mit den Querschnittserhebungen für die verschiedenen Fahrbahnteilerformen beschriebenen Erkenntnisse. In der Zufahrt zum Kreisverkehr nähern sich die Geschwindigkeitsverläufe der Vergleichsgruppen an. Bei den Nachtwerten weichen die Messwerte der linienhaften Messung von den Querschnittsmessungen ab. Die linienhaften Geschwindigkeitsverläufe liegen wesentlich näher

beieinander als die V_{85} -Geschwindigkeiten der Querschnittsmessungen.

Die V_{85} -Geschwindigkeiten in der Annäherung ($MK_{Z3} = 150\text{ m}$ bis $MK_{Z2} = 100\text{ m}$) decken sich bei den Tagmessungen gut mit den Ergebnissen der Querschnittsmessungen. In der Nacht wird bei Fahrbahnteilern mit angepasster Bordföhrung langsamer gefahren als bei den anderen Kreisverkehren. Hier sind Einflüsse der Messzeit und der Jahreszeit nicht ausgeschlossen.

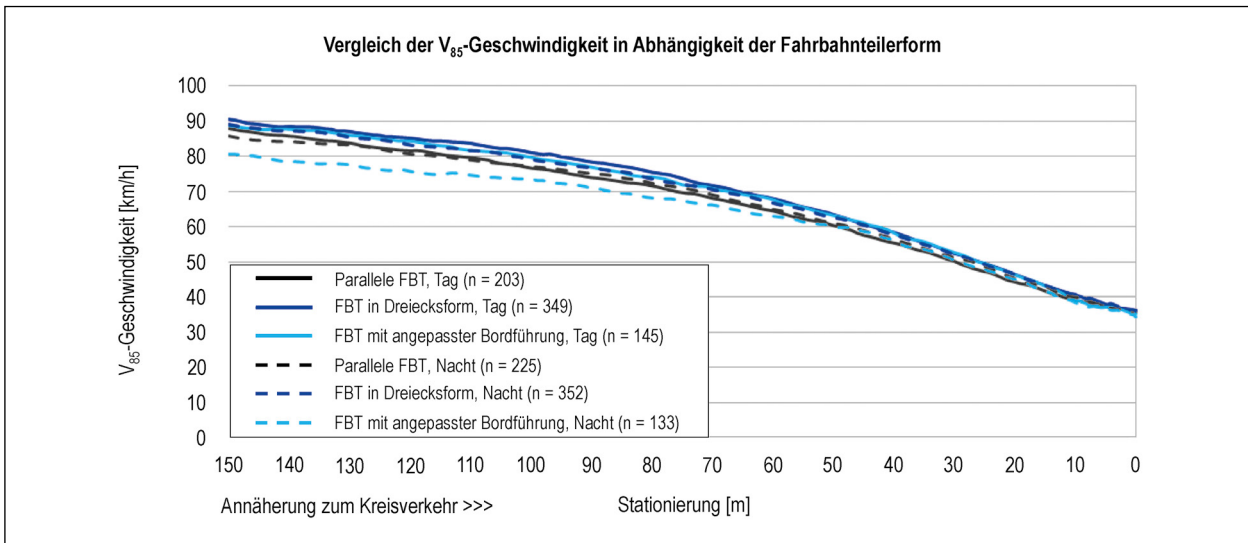


Bild 119: Linienhafte Geschwindigkeitsverläufe in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerform und dem Erhebungszeitraum

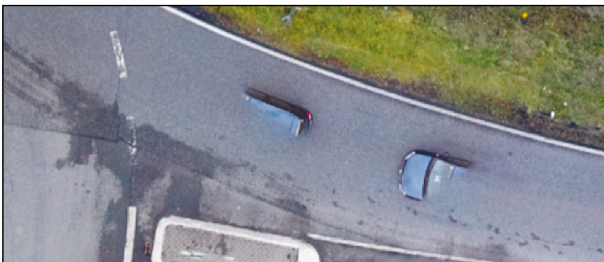


Bild 120: Fahrverhalten an parallelen Fahrbahnteiler

Spurverhalten

Neben dem Geschwindigkeitsverhalten im Annäherungsbereich und der Zufahrt wird das Spurverhalten für unterschiedlich gestaltete Fahrbahnteiler untersucht. Die Auswertung beschränkt sich auf die Messquerschnitte MQ_{K1} und MQ_{K2} (vgl. Bild 109). An beiden Messquerschnitten zeigt sich für den Vergleich der Tag- und Nachtmessung ein gleichbleibendes Spurverhalten – vgl. Bild 121 und Bild 122. An Fahrbahnteilern in Dreiecksform fahren die Verkehrsteilnehmenden am 10 m vom Kreisverkehr entfernten Messquerschnitt (MQ_{K1}) weiter rechts im Fahrstreifen als an parallelen Fahrbahnteilern und Fahrbahnteilern mit angepassten Bordführungen (Elefantenfuß) – vgl. Bild 121. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die mittlere Fahrstreifenbreite bei parallelen Fahrbahnteilern etwa 1 m größer ist als bei den anderen Typen (vgl. Tabelle 41). In Bild 120 ist beispielhaft das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmenden an dem zuerst trockenefahrenen Be-

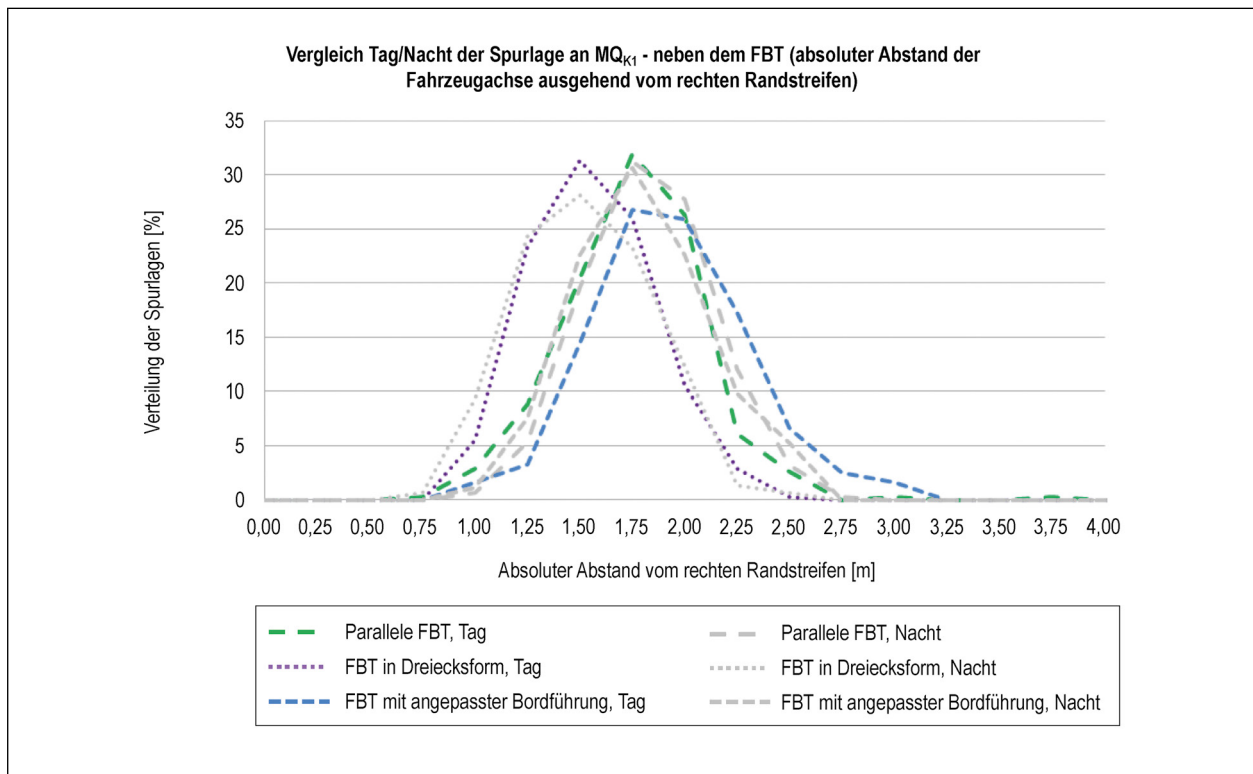
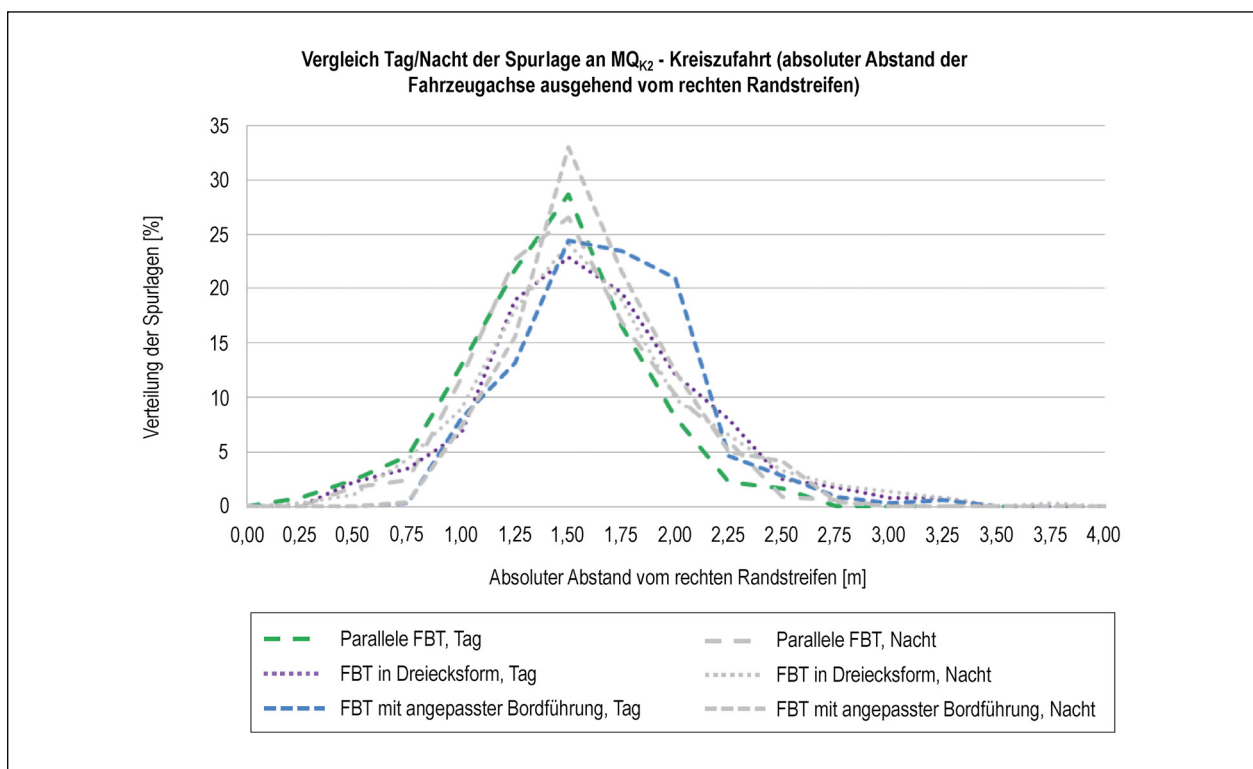
Fahrbahnteilerform	Breiten der Fahrstreifen am Messquerschnitt MQ _{K2} [m]		
	Min	Mittel	Max
paralleler FBT	5,8	5,7	6,7
FBT in Dreiecksform	3,9	4,7	5,5
FBT mit angepasster Bordführung	4,2	4,6	5,5

Tab. 41: Fahrstreifenbreiten in der Zufahrt in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerform

reich neben einem parallelen Fahrbahnteiler zu sehen. Es zeigt sich, dass der linke Teil des Fahrstreifens (ca. 35 % der gesamten Fahrstreifenbreite) an parallelen Fahrbahnteilern in der Regel nicht befahren wird.

5.2.2 Breite des Fahrbahnteilers

Die Unfallanalyse hat gezeigt, dass die Breite der Fahrbahnteiler einen Einfluss auf die Unfallrate hat. Das Untersuchungskollektiv ermöglicht die Betrachtung des Sachverhaltes für Fahrbahnteiler mit angepasster Bordführung (Elefantenfuß). Dazu wird für Fahrbahnteiler mit angepasster Bordführung zwischen den Tag-/Nachtgeschwindigkeiten und der Breite $B \leq 3$ m und > 3 m unterschieden. Für das Spurverhalten ergeben sich keine Unterschiede.

Bild 121: Spurverhalten am Messquerschnitt MQ_{K1} in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerform und dem ErhebungszeitraumBild 122: Spurverhalten am Messquerschnitt MQ_{K2} in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerform und dem Erhebungszeitraum

**Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich
(MK_{Z4} = 200 m bis MK_{Z2} = 100 m)**

In der Annäherung ist der Fahrbahnteiler noch nicht vollständig für die Verkehrsteilnehmenden erkennbar. Daher können Unterschiede in den Geschwindigkeiten nicht eindeutig den Fahrbahnteilerbreiten zugeordnet werden (vgl. Bild 123).

**Geschwindigkeiten in der Zufahrt
(MK_{Z1} = 50 m bis MQ_{K2} = 0 m)**

Der Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe über die gesamte Strecke vor dem Kreisverkehr ist für schmale Fahrbahnteiler in Bild 124 und für breite Fahrbahnteiler in Bild 125 dargestellt. In Bild 123 sind die Verläufe der V₈₅ für die unterschiedlichen Fahrbahnteilerbreiten zu sehen. Bei breiten und

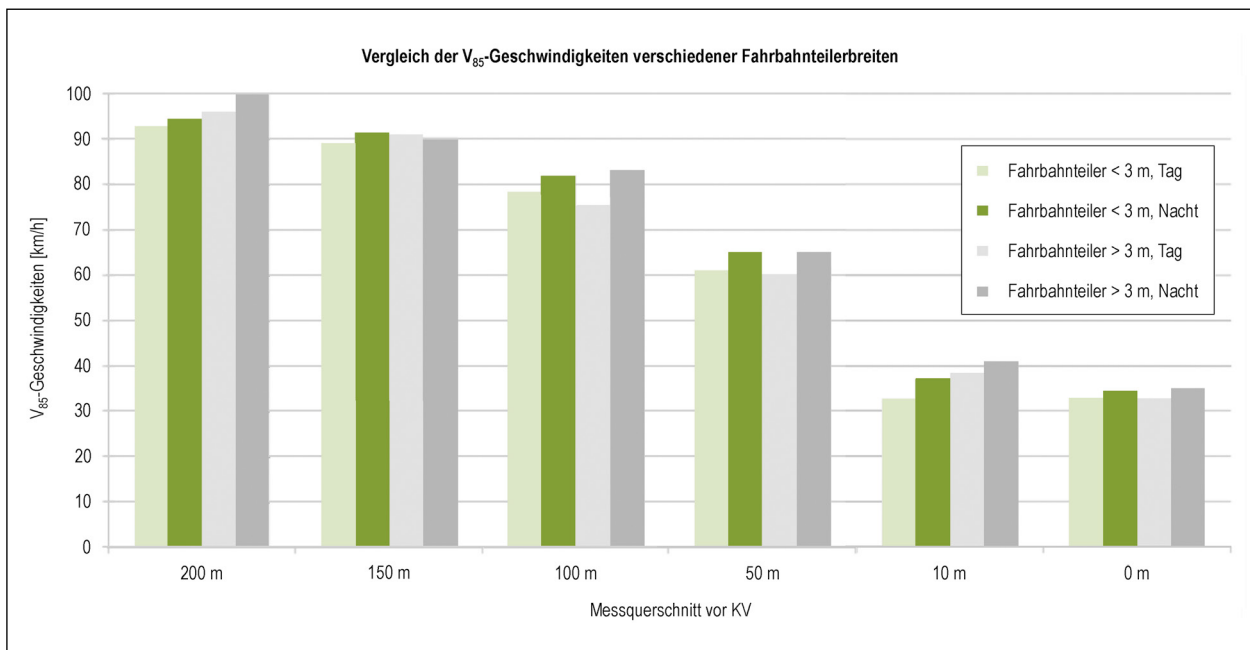


Bild 123: V₈₅-Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerbreite und dem Erhebungszeitraum

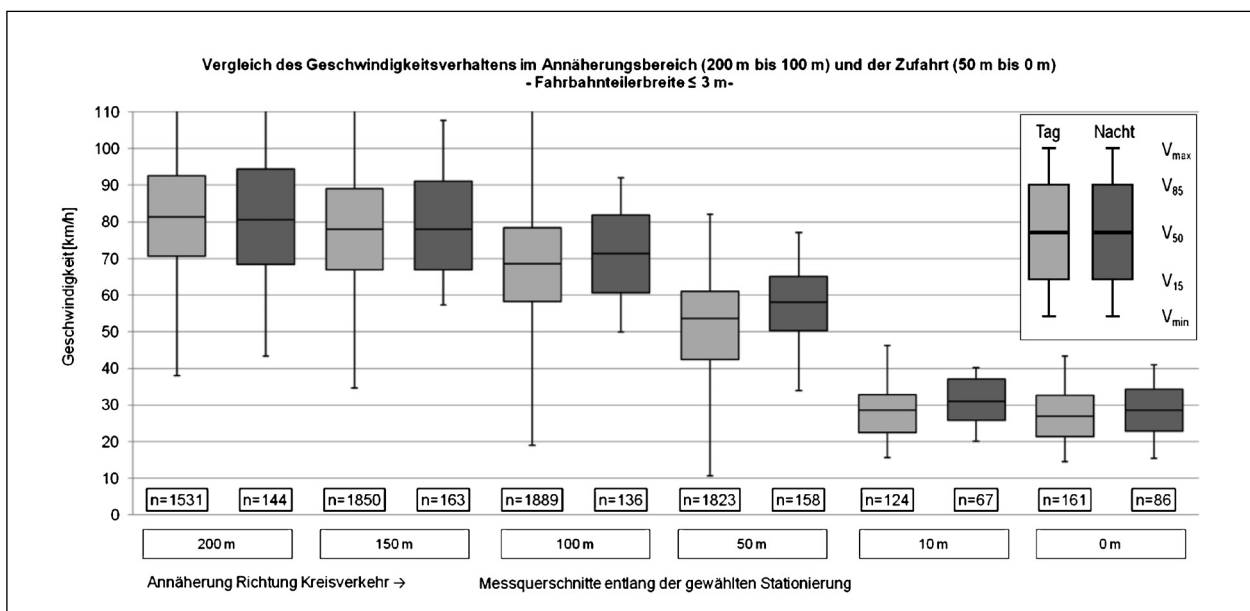


Bild 124: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) bei Fahrbahnteilern mit angepasster Bordföhrung mit einer Breite ≤ 3 m in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

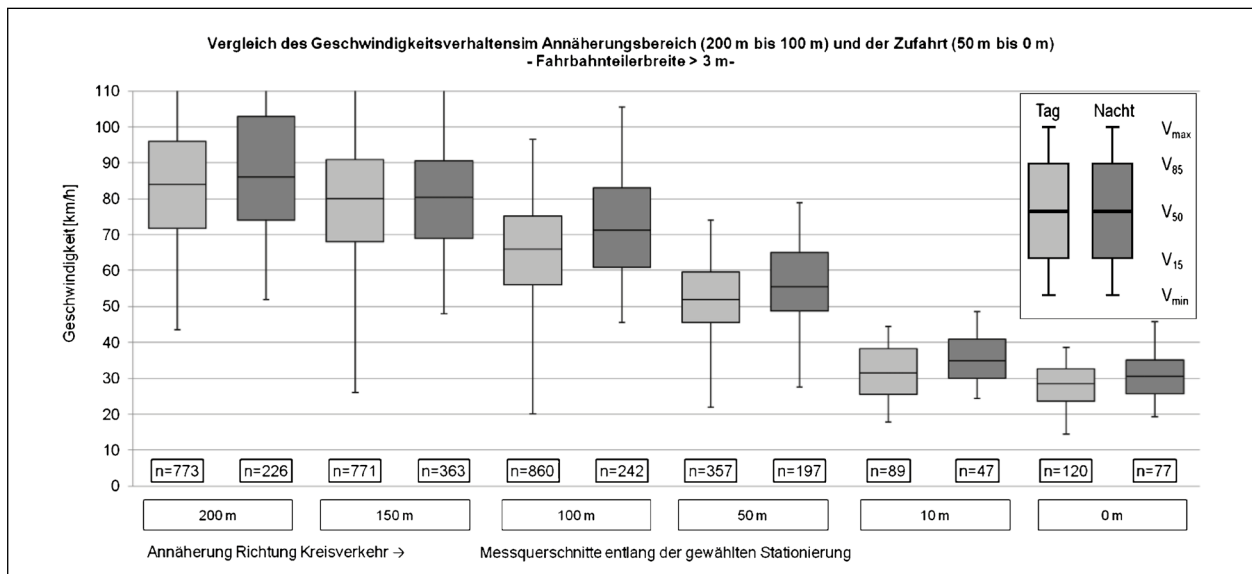


Bild 125: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) bei Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung mit einer Breite > 3 m in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

schmalen Fahrbahnteilern treten ähnliche Geschwindigkeiten an den Messstellen $MK_{Z1} = 50$ m und $MQ_{K2} = 0$ m auf. Direkt neben dem Fahrbahnteiler ($MQ_{K1} = 10$ m vor KV) wird bei den breiten Fahrbahnteilern am Tag 5,5 km/h (ΔV_{85}) und in der Nacht 3,9 km/h (ΔV_{85}) schneller gefahren als bei den schmalen Fahrbahnteilern (Bild 123).

Der Vergleich Tag/Nacht zeigt, dass bei Dunkelheit unabhängig von der Fahrbahnteilerbreite schneller als am Tag gefahren wird. Die V_{85} beträgt in der Nacht 50 m vor dem Kreisverkehr bei beiden Fahrbahnteilerbreiten etwa 65 km/h. Die V_{85} liegt am Tag dagegen nur bei etwa 60 km/h. Am Übergang zur Kreisfahrbahn ($MQ_{K2} = 0$ m vor KV) wird in der Nacht bei beiden Fahrbahnteilerbreiten 2 km/h (ΔV_{85}) schneller als am Tag gefahren. Die V_{85} zur Kreisfahrbahn (0 m vor KV) liegt in der Nacht bei 35 km/h und am Tag bei 33 km/h.

5.2.3 Radiale und angepasste Zufahrtsgestaltung

In die Gruppe der radialen Zufahrten fallen Kreisverkehre mit parallelen Fahrbahnteilern sowie Kreisverkehre mit schmalen Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung. Die Gruppe der angepassten Zufahrten umfasst Kreisverkehre mit Fahrbahnteilern in Dreiecksform und Kreisverkehre mit breiten Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung. Die radialen Zufahrten haben Fahrbahnteilerbreiten von $B \leq 3$ m. Die angepassten Zufahrten haben Fahrbahnteiler mit $B > 3$ m.

Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich ($MK_{Z4} = 200$ m bis $MK_{Z2} = 100$ m)

In der Annäherung ist die Zufahrtsgestaltung noch nicht vollständig für die Verkehrsteilnehmenden erkennbar. Daher können Unterschiede in den Geschwindigkeiten mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht der Zufahrtsgestaltung (radial oder angepasst) zugeordnet werden. Auffällig beim Vergleich der V_{85} in Bild 127 und Bild 128 ist, dass an den radial geführten Zufahrten systematisch niedrigere Annäherungsgeschwindigkeiten zu beobachten sind als an angepasst geführten Zufahrten. Dies bestätigt die Vermutung, dass die Geschwindigkeitsunterschiede bis 50 m vor einem Kreisverkehr nicht durch die Führung der Zufahrt, sondern vielmehr durch andere Einflussfaktoren (zulässige Höchstgeschwindigkeit usw.) zu erklären sind.

Geschwindigkeiten in der Zufahrt ($MK_{Z1} = 50$ m bis $MQ_{K2} = 0$ m)

Der Vergleich der Messwerte am Messquerschnitt MK_{Z1} (50 m vor KV) zeigt, dass an radial geführten Zufahrten langsamer als an angepasst geführten Zufahrten gefahren wird (vgl. Bild 126). Am Tag und in der Nacht beträgt der Unterschied jeweils ca. 6 km/h (ΔV_{85}). Die radial geführten Zufahrten werden am Tag von 85 % der Fahrzeugführenden mit nicht mehr als 57 km/h und die angepasst geführten Zufahrten mit nicht mehr als 63 km/h befahren. In der Nacht liegt die V_{85} für radial geführten Zufahrten bei ca. 60 km/h und bei angepasst geführten Zufahrten bei ca. 66 km/h.

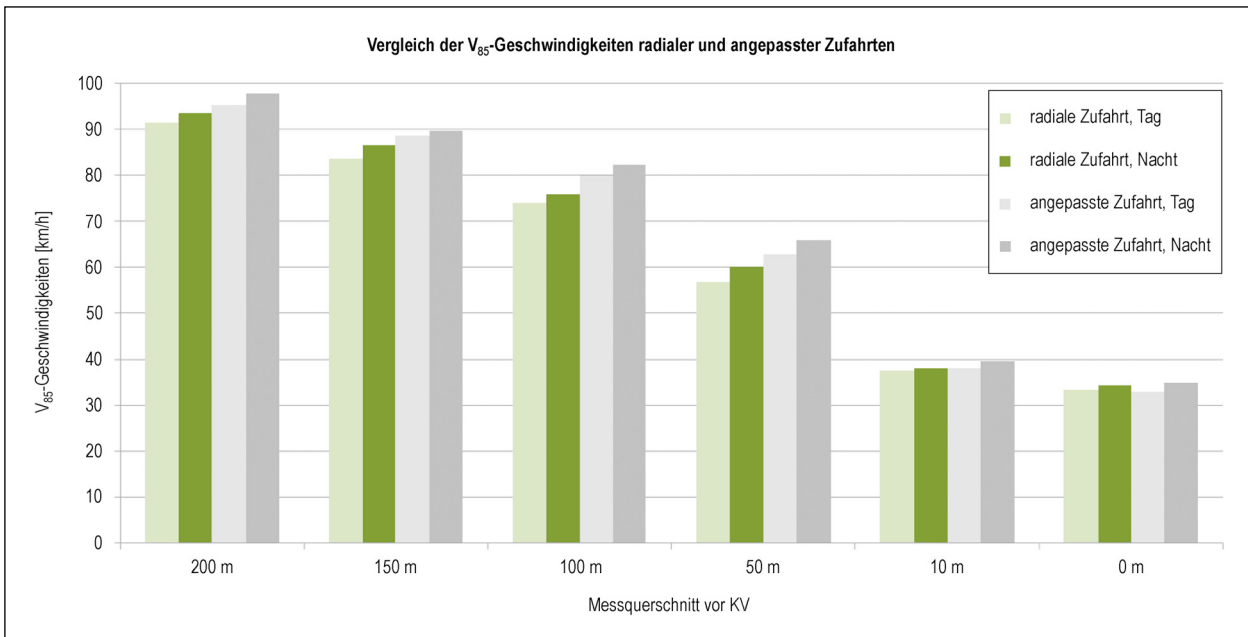


Bild 126: V₈₅-Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit von der Zufahrtsgestaltung und dem Erhebungszeitraum

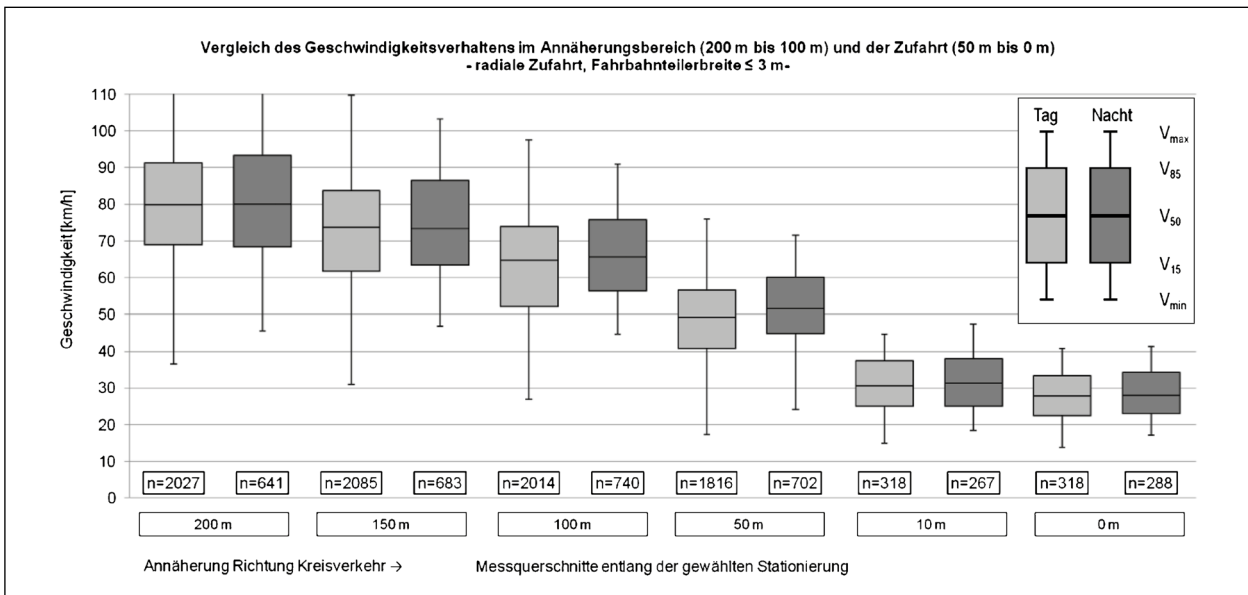


Bild 127: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an radial geführten Zufahrten in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

Die Messquerschnitte kurz vor der Einfahrt in die Kreisfahrbahn (10 m und 0 m vor KV) werden am Tag, in der Nacht und bei den beiden Zufahrtsgestaltungen nahezu gleich befahren (vgl. Bild 126). Die V₈₅ beträgt am Messquerschnitt MQ_{K1} (10 m vor KV) ca. 38 km/h und am Messquerschnitt MQ_{K2} (0 m vor KV) ca. 34 km/h.

Der Vergleich der Geschwindigkeiten (bezogen auf die V₈₅) 50 m vor dem Kreisverkehr mit den Ge-

schwindigkeiten in Höhe des Fahrbahnteilers (10 m vor dem KV) zeigt, dass an angepasst geführten Zufahrten sowohl bei Tag als auch bei Nacht größere Geschwindigkeitsdifferenzen zu beobachten sind als bei radialer Führung der Zufahrt.

Wird davon ausgegangen, dass die Geschwindigkeitsunterschiede 50 m vor dem Kreisverkehr nicht durch die Führung der Zufahrt, sondern durch andere Faktoren (zulässige Höchstgeschwindigkeit

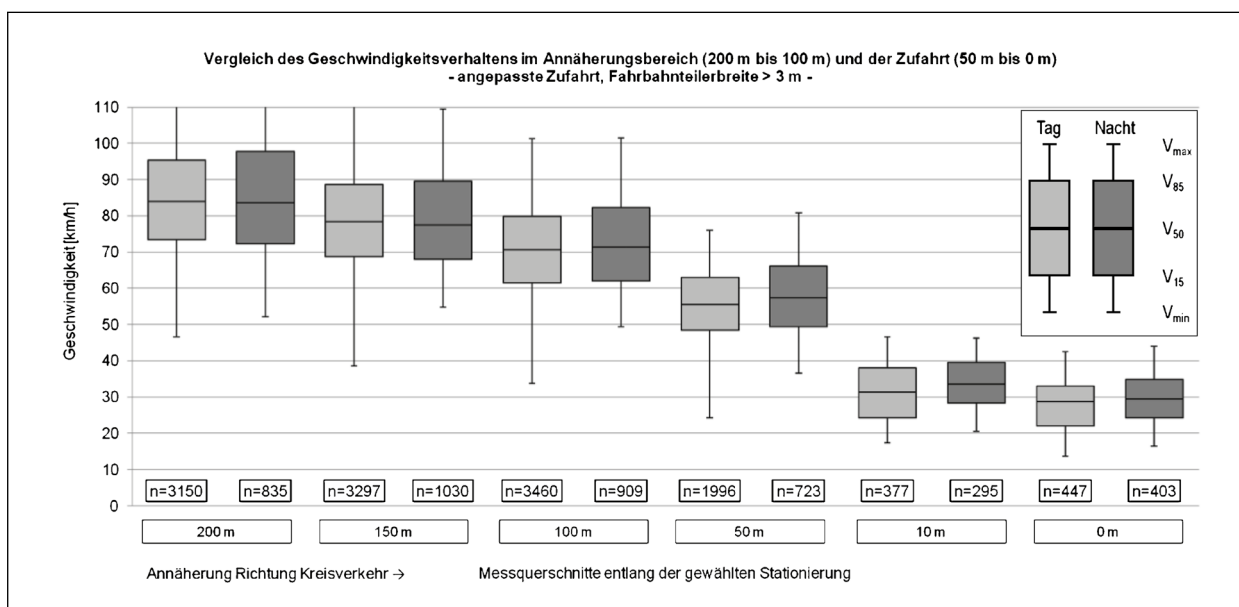


Bild 128: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an angepasst geführten Zufahrten in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

usw.) zu erklären sind, ist festzustellen, dass trotz höherer Ausgangsgeschwindigkeiten bei angepasster Führung einer Zufahrt am Beginn des Fahrbahnteilers sowohl bei Tag als auch bei Nacht das gleiche Geschwindigkeitsniveau wie bei radialer Führung erreicht wird. Es wird vermutet, dass der den Geschwindigkeitsabbau in der Zufahrt begünstigende Einfluss der angepassten Führung (insbesondere bei Nacht) eine Erklärung für das im Kapitel 4.3 beobachtete höhere Sicherheitsniveau dieser Führungsform bilden kann.

Spurverhalten

Die Auswertung des Spurverhaltens in Abhängigkeit von der Zufahrtsgestaltung zeigt, dass sich die Ergebnisse der Spurauswertung für die verschiedenen Fahrbahnteilerformen sinngemäß übertragen lassen (vgl. Bild 121 und Bild 122). So stimmt das Spurverhalten an parallelen Fahrbahnteilern mit dem Spurverhalten an radial geführten Zufahrten überein. Außerdem entspricht das Spurverhalten an Fahrbahnteiler in Dreiecksform dem an Zufahrten mit angepasster Führung.

5.2.4 Beleuchtung

Der Einfluss der Beleuchtung wird nur für Kreisverkehre mit Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung (Elefantenfuß) untersucht. Bild 131 und Bild

132 zeigen die entsprechenden Geschwindigkeitsverläufe.

Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (MK_{Z4} = 200 m bis MK_{Z2} = 100 m)

Bei der Annäherung (200 m bis 100 m vor KV) an Kreisverkehre ohne Beleuchtung sind die gleichen Geschwindigkeiten wie bei Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung (vgl. Kapitel 5.2.1) festzustellen – vgl. Bild 129.

Mit einer Beleuchtung an einem Kreisverkehr änderte sich das Geschwindigkeitsverhalten deutlich. In der Nacht wird an allen Messquerschnitten im Annäherungsbereich langsamer gefahren als am Tag. Die beleuchteten Kreisverkehre sind bereits aus größerer Entfernung gut erkennbar. Aus diesem Grund wird 200 m vor dem Kreisverkehr, in der Nacht bei vorhandener Beleuchtung etwa 8 km/h (ΔV_{85}), langsamer als ohne Beleuchtung gefahren. Die V_{85} liegt an den beleuchteten Kreisverkehren bei ca. 89 km/h. An den nachfolgenden Messquerschnitten verringert sich die Differenz zwischen den beleuchteten und unbeleuchteten Kreisverkehren auf ca. 6 km/h (ΔV_{85} am MK_{Z3} = 150 m vor KV) bzw. ca. 4 km/h (ΔV_{85} am MK_{Z2} = 100 m vor KV).

Die Nachtgeschwindigkeiten an beleuchteten Kreisverkehren liegen im Mittel ca. 2 km/h (ΔV_{85}) unter den Taggeschwindigkeiten entlang der drei betrachteten Messquerschnitte (MK_{Z4}, 3 und 2).

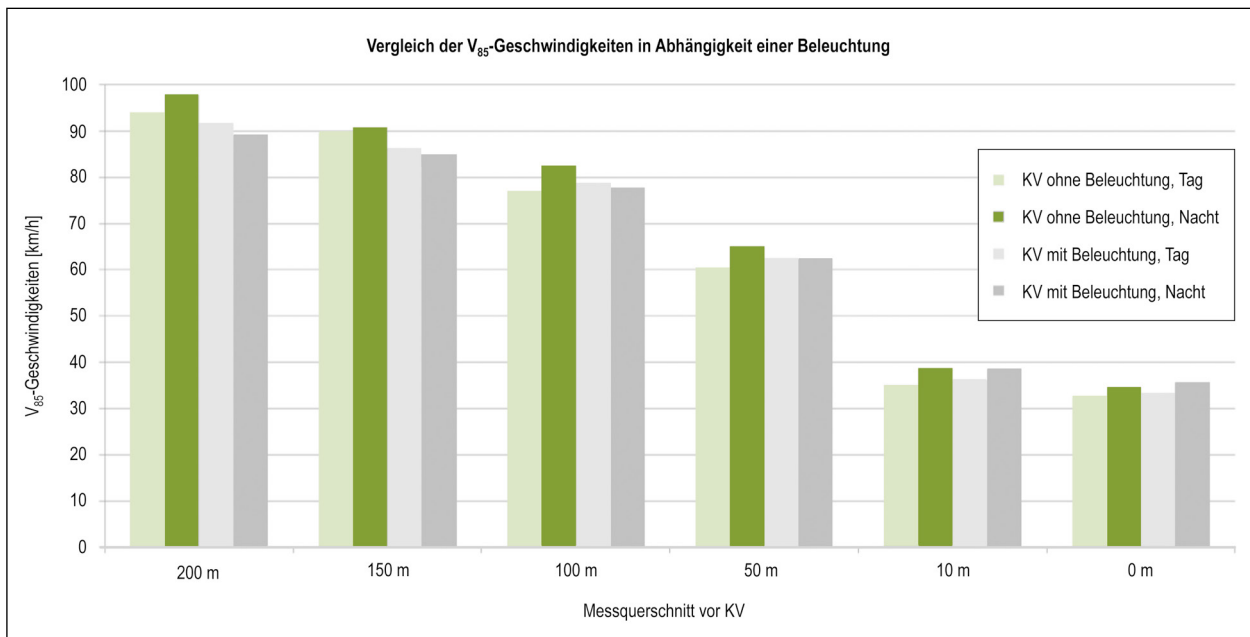


Bild 129: V_{85} -Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer ortsfesten Beleuchtung und dem Erhebungszeitraum

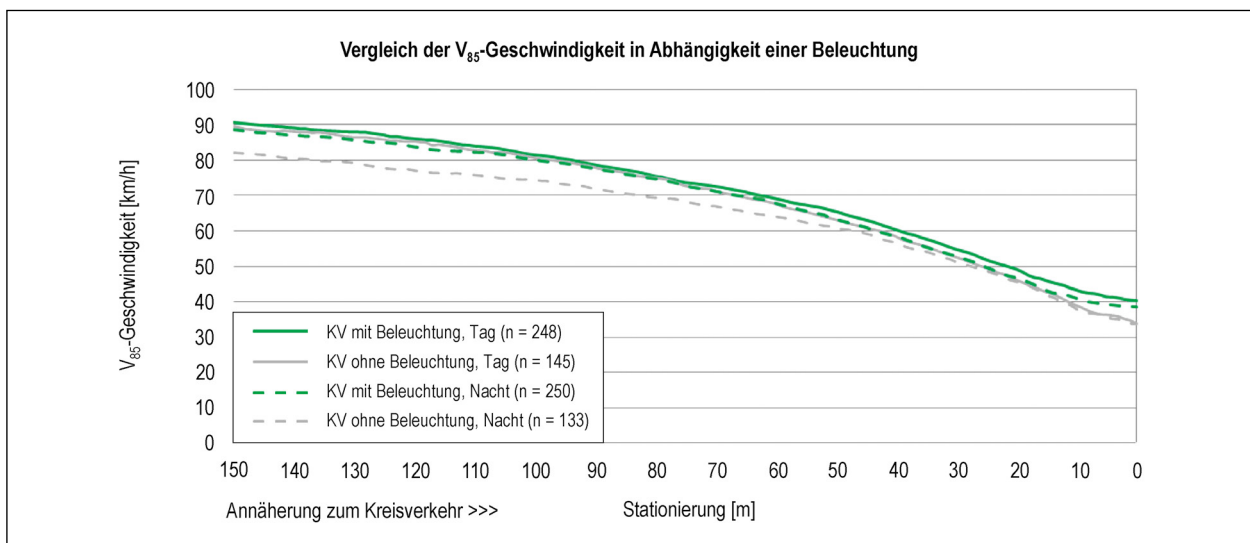


Bild 130: Linienhafte Geschwindigkeitsverläufe in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer ortsfesten Beleuchtung und dem Erhebungszeitraum

Geschwindigkeiten in der Zufahrt (MK_{Z1} = 50 m bis MQ_{K2} = 0 m)

In Bild 129 ist zu sehen, dass die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge am Tag nahezu gleich sind. Im Mittel über alle drei Messquerschnitte liegen die Unterschiede in der V_{85} bei 1,3 km/h. Die Nachtwerte in den Zufahrten unterscheiden sich kaum zwischen beleuchteten und unbeleuchteten Kreisverkehren (vgl. MQ_{K1} = 10 m und MQ_{K2} = 0 m vor KV in Bild 129).

An der Messstelle MK_{Z1} (50 m vor KV) dagegen zeigen sich Unterschiede. Die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den beiden Vergleichsgruppen umfassen ca. 3 km/h (ΔV_{85}). Demnach beträgt 50 m vor einem unbeleuchteten Kreisverkehr die V_{85} bei Nacht 65 km/h. An beleuchteten Kreisverkehren liegt diese 50 m vor dem KV bei 62 km/h.

Linienhaftes Geschwindigkeitsverhalten

Gegenüber den Querschnittsmessungen ergibt die Untersuchung mit dem Kopter (Bild 130) in den

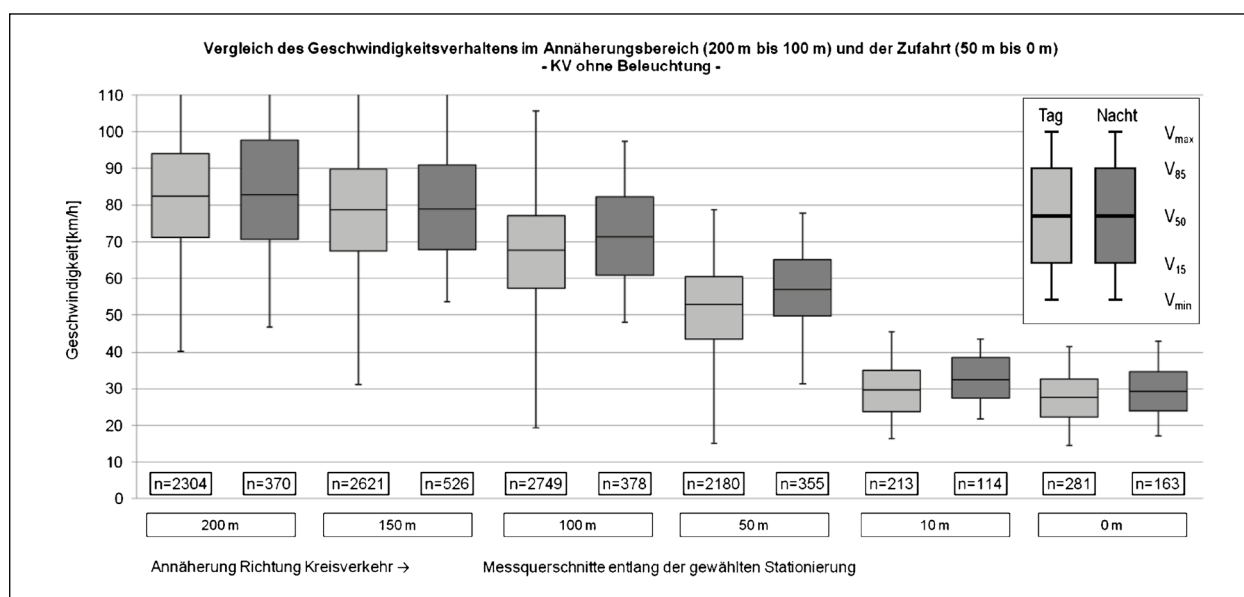


Bild 131: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an unbeleuchteten Kreisverkehren in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

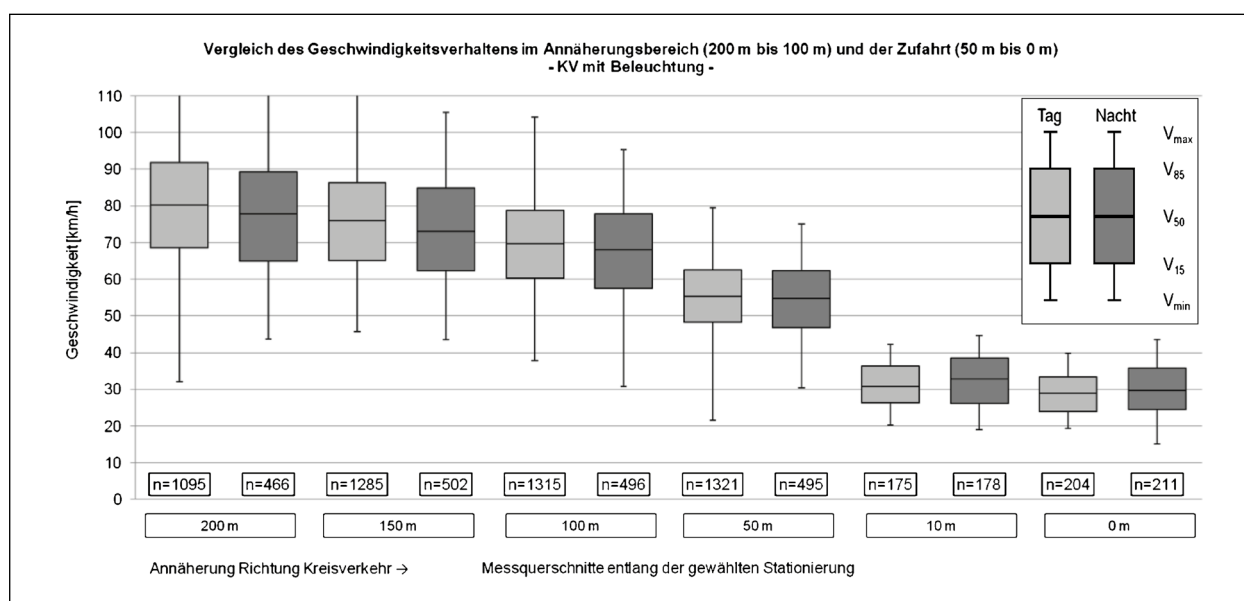


Bild 132: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an beleuchteten Kreisverkehren in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

Nachtstunden ein anderes Geschwindigkeitsverhalten. Die Messergebnisse zeigen, dass die Verkehrsteilnehmenden an den Kreisverkehren ohne Beleuchtung bei Dunkelheit wesentlich langsamer fahren als am Tag. In den Querschnittsmessungen werden dagegen höhere Geschwindigkeiten in der Nacht als am Tag gemessen. An den beleuchteten Kreisverkehren sind die Geschwindigkeiten in der Nacht höher als bei den unbeleuchteten Kreisverkehren. Die Geschwindigkeiten der Tagmessungen beider Vergleichsgruppen sind bis zum Fahrbahnteiler nahezu gleich. Die Unterschiede zwischen

den Querschnittsmessungen und den Koptermessungen sind auf die im Kapitel 5.1.5 aufgeführten Einflüsse zurückzuführen.

Spurverhalten

Die Messergebnisse zum Spurverhalten (vgl. Bild 133 und Bild 134) verdeutlichen, dass bei den Kreisverkehren mit einer ortsfesten Beleuchtung sowohl am Tag als auch in der Nacht neben dem Fahrbahnteiler (MQ_{K1}) deutlich weiter rechts im Fahrstreifen gefahren wird (vgl. Bild 133). In der Zufahrt zur

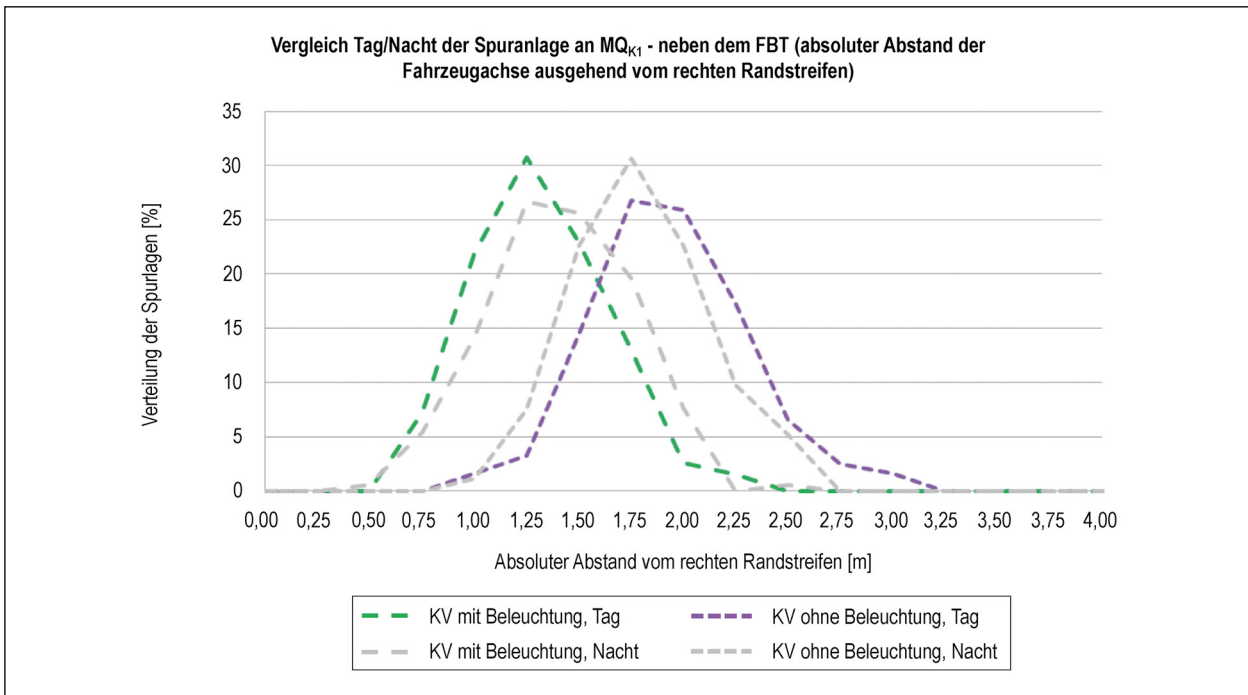


Bild 133: Spurverhalten am Messquerschnitt MQ_{K1} in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer ortsfesten Beleuchtung und dem Erhebungszeitraum

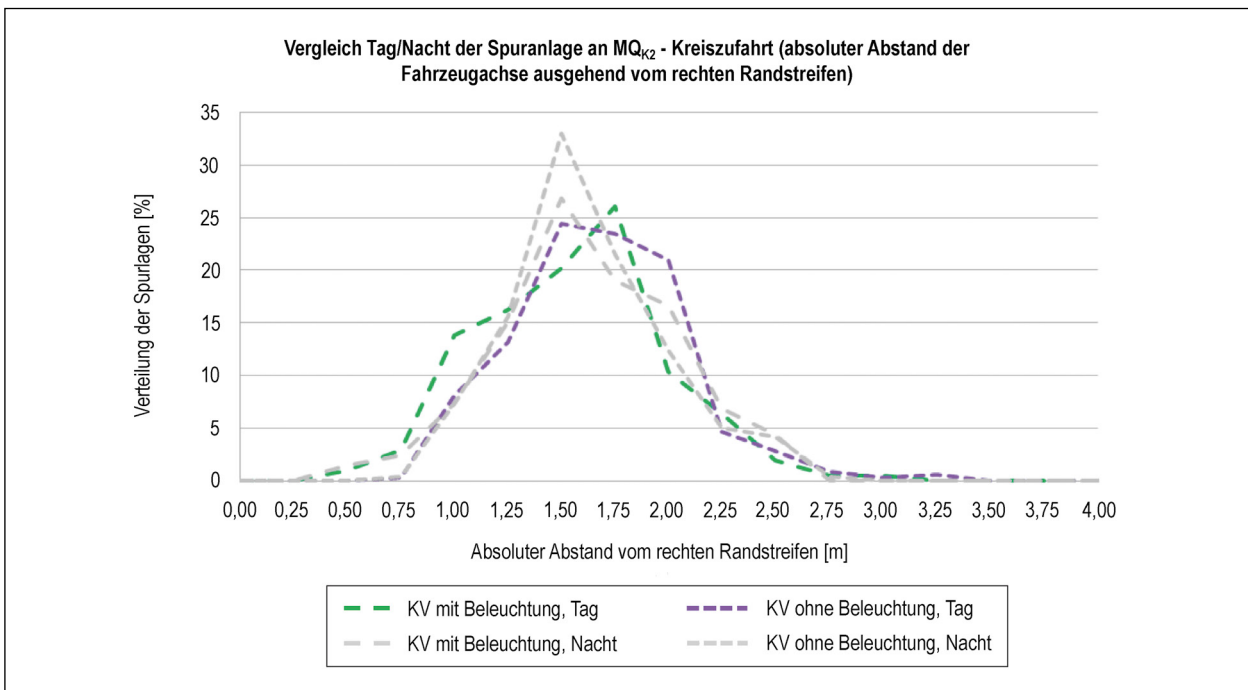


Bild 134: Spurverhalten am Messquerschnitt MQ_{K2} in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer ortsfesten Beleuchtung und dem Erhebungszeitraum

Kreisfahrbahn (MQ_{K2}) decken sich die Spurlagen zwischen beleuchteten und unbeleuchteten Kreisverkehren.

Die Vermutung, dass sich der Unterschied zwischen den Spurlagen auf die Fahrbahnteilerbreite zurück-

führen lässt, kann nicht bestätigt werden. So zeigt bereits der Vergleich der unterschiedlichen Fahrbahnteilerformen (vgl. Bild 121 und Bild 122), dass bei Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung (Elefantenfuß) und bei Fahrbahnteilern mit Dreiecksform ein ähnliches Spurverhalten auftritt. Die in

diesem Vergleich enthaltenen Fahrbahnteilerbreiten liegen zwischen 3,5 m und 9,0 m. Die beleuchteten Kreisverkehre haben Fahrbahnteilerbreiten zwischen 5,5 m und 7,0 m. Aus diesem Grund wird der Einfluss der Fahrbahnteilerbreite durch die homogene Verteilung in den Vergleichsgruppen ausgeschlossen. Die deutliche Verlagerung in Richtung der rechten Fahrbahnmarkierung bei den beleuchteten Kreisverkehren lässt sich folglich mit der guten Erkennbarkeit und Begreifbarkeit des Kreisverkehrs am Tag und in der Nacht erklären.

Da die Ergebnisse der Spurauswertung an den Kreisverkehren mit einer ortsfesten Beleuchtung am Tag und in der Nacht an MQ_{K1} und MQ_{K2} übereinstimmen, kann geschlossen werden, dass die Beleuchtung keinen maßgebenden Einfluss auf das Spurverhalten hat.

5.2.5 Verbindungsfunktionsstufe

Die Verbindungsfunktionsstufe der verknüpften Straßen gemäß RIN hat keinen nachweisbaren Einfluss auf das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmenden.

5.2.6 Abkröpfung und Verschwenkung

Das hier betrachtete Untersuchungskollektiv enthält eine Zufahrt mit einer Abkröpfung (vgl. Bild 135), zwei Zufahrten mit einer Verschwenkung (vgl. Bild 136) und mehrere Zufahrten ohne Abkröpfung und Verschwenkung.

Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich ($MK_{Z4} = 200$ m bis $MK_{Z2} = 100$ m)

Im Annäherungsbereich vor den Kreisverkehren zeigen sich teils große Unterschiede in den Messwerten. Die Kreisverkehre mit einer Verschwenkung werden am langsamsten befahren und weisen kaum Unterschiede im Fahrverhalten am Tag und in der Nacht auf. Bild 137 zeigt eine Zusammenfassung der V_{85} für die drei Vergleichsgruppen. Am Tag beträgt die V_{85} am MK_{Z4} (200 m vor KV) an Zufahrten mit einer Verschwenkung ca. 83 km/h. Das ist ca. 15 km/h langsamer als an der Zufahrt mit Abkröpfung und ca. 11 km/h langsamer als an Zufahrten ohne Abkröpfung.

In der Nacht liegen die V_{85} am MK_{Z4} (200 m vor KV) an Zufahrten mit einer Verschwenkung bei ca. 82 km/h. Das ist ca. 34 km/h langsamer als an der



Bild 135: Orthofoto der untersuchten Zufahrt mit Abkröpfung



Bild 136: Orthofoto einer Zufahrt mit Verschwenkung

Zufahrt mit Abkröpfung und ca. 16 km/h langsamer als an Zufahrten ohne Abkröpfung (vgl. Bild 137).

Von Station MK_{Z4} (200 m vor KV) bis MK_{Z2} (100 m vor KV) bleiben die Verhältnisse zwischen den Gruppen ähnlich. Die V_{85} am Tag betragen am MK_{Z2} (100 m vor KV) an Zufahrten mit einer Verschwenkung ca. 71 km/h. Das ist ca. 10 km/h langsamer als an der Zufahrt mit Abkröpfung und ca. 6 km/h langsamer als an den Zufahrten ohne Abkröpfung. In der Nacht ist am MK_{Z2} (100 m vor KV) an Zufahrten mit einer Verschwenkung eine V_{85} von 70 km/h festzustellen. Das ist ca. 22 km/h langsamer als an der Zufahrt mit Abkröpfung und ca. 12 km/h langsamer als an Zufahrten ohne Abkröpfung (vgl. Bild 137).

Geschwindigkeiten in der Zufahrt ($MK_{Z1} = 50$ m bis $MQ_{K2} = 0$ m)

Am Tag sind die Geschwindigkeiten der Zufahrten mit und ohne Abkröpfung vergleichbar. Demnach beträgt die V_{85} am Messquerschnitt MK_{Z1} (50 m vor KV) ca. 61 km/h. An den Zufahrten mit Verschwenkungen wird vergleichsweise langsam gefahren

(vgl. Bild 137). Am MK_{Z1} (50 m vor KV) liegt die V₈₅ bei 53 km/h ($\Delta V_{85} \approx 8$ km/h niedriger als an der Zufahrt mit Abkröpfung am Tag).

In der Nacht ergeben sich zum Teil große Differenzen in der V₈₅ am MK_{Z1} (50 m vor KV). Die Differenz zwischen Zufahrten mit und ohne Abkröpfung umfasst ca. 4 km/h (ΔV_{85}). Die V₈₅ für die Zufahrt mit

Abkröpfung beträgt 69 km/h und wird somit am schnellsten befahren. Die Zufahrten mit einer Verschwenkung werden am langsamsten befahren (V₈₅ = 52 km/h in der Nacht).

Die Geschwindigkeiten zwischen den einzelnen Vergleichsgruppen nähern sich bis zur Einfahrt in die Kreisfahrbahn aneinander an. Am Messquer-

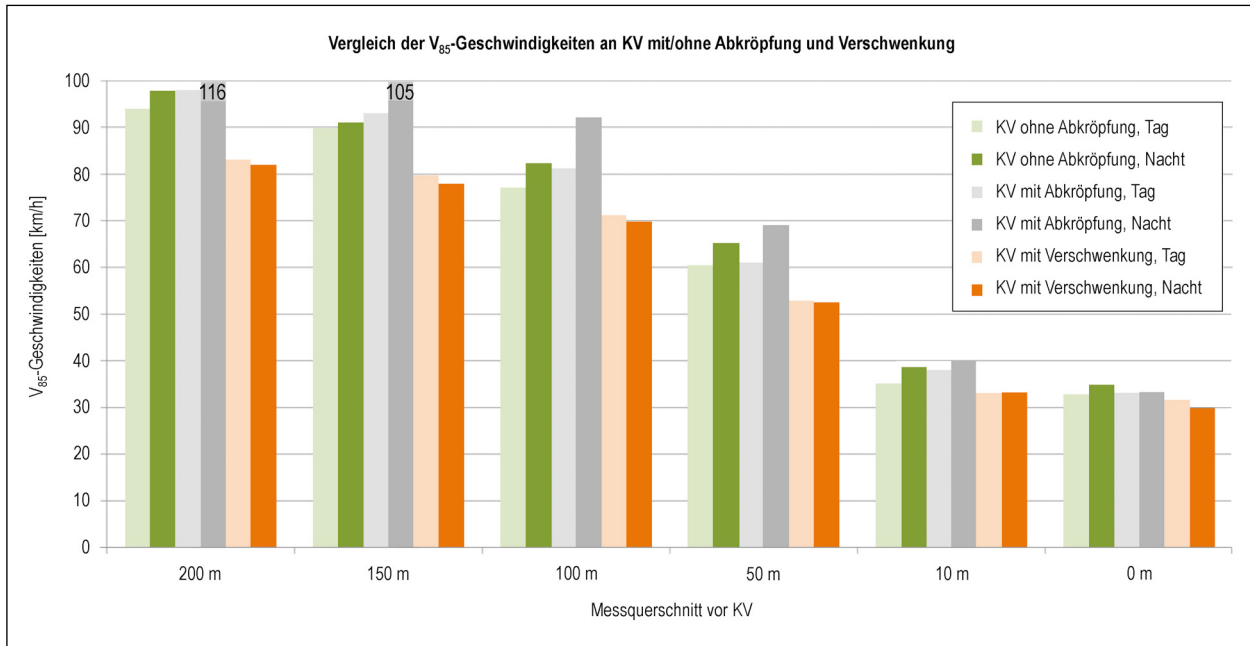


Bild 137: V₈₅-Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer Abkröpfung oder Verschwenkung und dem Erhebungszeitraum



Bild 138: V₈₅-Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an einer Zufahrt mit Abkröpfung im beleuchteten (Mit-Fall) und unbeleuchteten (Ohne-Fall) Zustand in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

schnitt MQ_{K2} (0 m vor KV) ergibt sich am Tag an den Zufahrten mit Verschwenkung eine V_{85} von 32 km/h. Das ist ca. 2 km/h langsamer als an der Zufahrt mit Abkröpfung und ca. 1 km/h langsamer als bei Zufahrten ohne Abkröpfung.

In der Nacht ergibt sich an den Zufahrten mit einer Verschwenkung eine V_{85} von 30 km/h. Das ist ca. 5 km/h langsamer als an der Zufahrten mit Abkröpfung und ca. 3 km/h langsamer als an Zufahrten ohne Abkröpfung.

Geschwindigkeiten an der Zufahrt mit Abkröpfung im beleuchteten und unbeleuchteten Zustand

Eine Besonderheit ist, dass die Zufahrt mit Abkröpfung im Mai 2018 in der Nacht aufgrund eines Defekts nicht beleuchtet war. Bei der im Oktober 2018 durchgeführten Messung funktionierte die Straßenbeleuchtung. Die betreffende Zufahrt hat einen Fahrbahnteiler mit angepasster Bordföhrung. Aufgrund dieser Tatsache ist für die betrachtete Zufahrt ein Mit-/Ohne-Fallvergleich möglich. Die bisherige Betrachtung in diesem Kapitel (Erläuterungen zu Bild 137) beziehen sich aus Vergleichbarkeitsgründen auf den unbeleuchteten Zustand (Erhebungen im Mai).

Die Messungen für den beleuchteten Zustand (Mit-Fallerhebungen im Oktober) lassen im Annäherungsbereich nur eine Betrachtung ab dem Messquerschnitt 150 m vor dem Kreisverkehr zu (vgl. Bild

138). Am Messquerschnitt MK_{Z3} (150 m vor KV) und am Messquerschnitt MK_{Z2} (100 m vor KV) wird am Tag bei der Ohne-Fallerhebung sowie der Mit-Fallerhebung nahezu gleich schnell gefahren (vgl. Bild 138). Die Differenz der V_{85} für die Tagesmessungen umfasst an den beiden Messquerschnitten MK_{Z3} und MK_{Z2} maximal 3 km/h (vgl. Bild 138).

Der Vergleich der V_{85} bei Dunkelheit im beleuchteten Mit-Fall und unbeleuchteten Ohne-Fall in Bild 138 zeigt, dass sich bei eingeschalteter Beleuchtung am MK_{Z3} (150 m vor KV) die V_{85} auf ca. 89 km/h verringert ($\Delta V_{85} = 16$ km/h). Am Messquerschnitt MK_{Z2} (100 m vor KV) sinkt die V_{85} auf 80 km/h ($\Delta V_{85} = 12$ km/h).

Auch im Bereich der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) sind die Geschwindigkeiten der beiden Messungen am Tag ähnlich (vgl. Bild 138). Die Fahrzeugführenden fahren am Messquerschnitt MK_{Z1} (50 m vor KV) bei der Mit-Fallerhebung 2 km/h (ΔV_{85}) schneller als bei der Ohne-Fallerhebung. Am Messquerschnitt MQ_{K1} (10 m vor KV) fahren die Fahrzeugführenden im Mit-Fall ca. 3 km/h (ΔV_{85}) und am Messquerschnitt MQ_{K2} (0 m vor KV) ca. 4 km/h (ΔV_{85}) schneller als im Ohne-Fall. Die Unterschiede in den Tagwerten können durch abweichende Stichprobenumfänge erklärt werden.

Die Nachtmessungen im Bereich der Zufahrt ergeben dagegen ein anderes Bild des Fahrverhaltens. Die funktionierende Beleuchtung im Mit-Fall am Messquerschnitt MK_{Z1} (50 m vor KV) führt zu einer

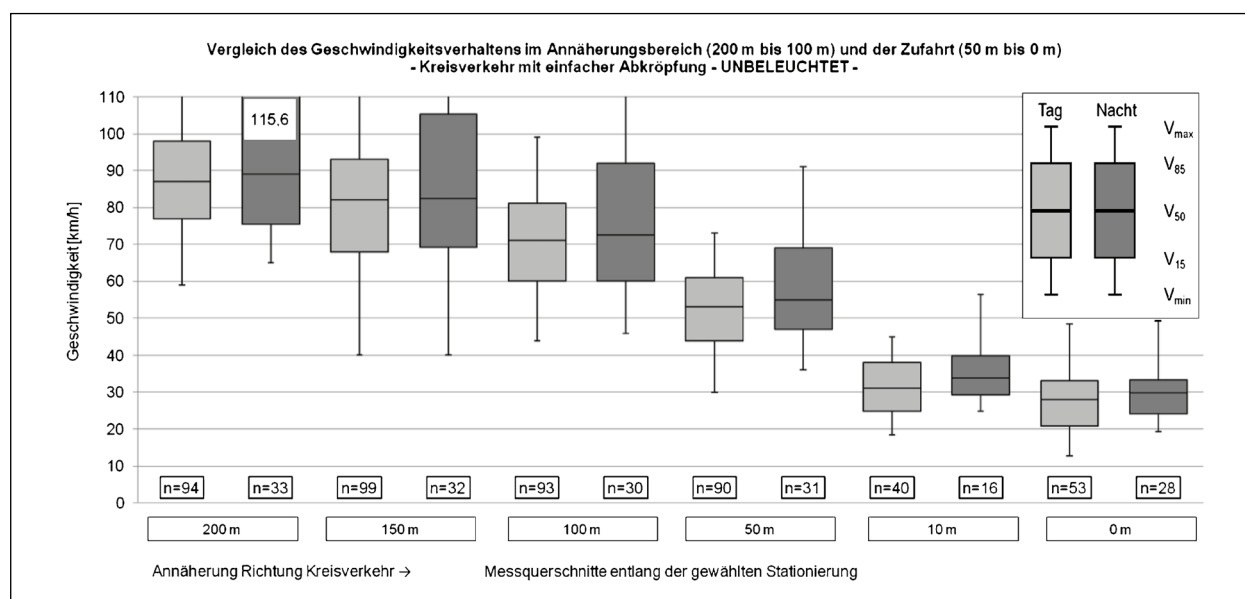


Bild 139: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an einer Zufahrt mit Abkröpfung im unbeleuchteten Zustand in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

Reduktion der Geschwindigkeit um ca. 7 km/h (ΔV_{85}). Die V_{85} beträgt bei funktionierender Beleuchtung bei ca. 62 km/h. Am Messquerschnitt MQ_{K1} (10 m vor KV) sind die Geschwindigkeiten ähnlich ($V_{85} = 40$ km/h). Bei der Einfahrt in die Kreisbahn an MQ_{K2} (0 m vor KV) fahren die Fahrzeugführenden bei funktionierender Beleuchtung (Mit-Fall) schneller als im Ohne-Fall. Die Differenz zwischen den Nachtmessungen mit und ohne Beleuchtung beträgt an diesem Messquerschnitt 6 km/h (ΔV_{85}) bei einer V_{85} von 39 km/h (im Mit-Fall).

Somit bestätigen die Ergebnisse der Mit-/Ohne-Fallerhebungen an der Zufahrt mit Abkröpfung den

positiven Einfluss der ortsfesten Beleuchtung gemäß Kapitel 5.2.4. Durch die Beleuchtung wird der Kreisverkehr bei Dunkelheit frühzeitiger wahrgenommen, was sich durch die Geschwindigkeitsanpassung im Annäherungsbereich belegen lässt (vgl. Bild 139 und Bild 140).

Linienhaftes Geschwindigkeitsverhalten

Die linienhafte Untersuchung des Geschwindigkeitsverhalten in Bild 141 zeigt, dass die Zufahrten mit einer Verschwenkung am Tag und in der Nacht langsamer befahren werden.

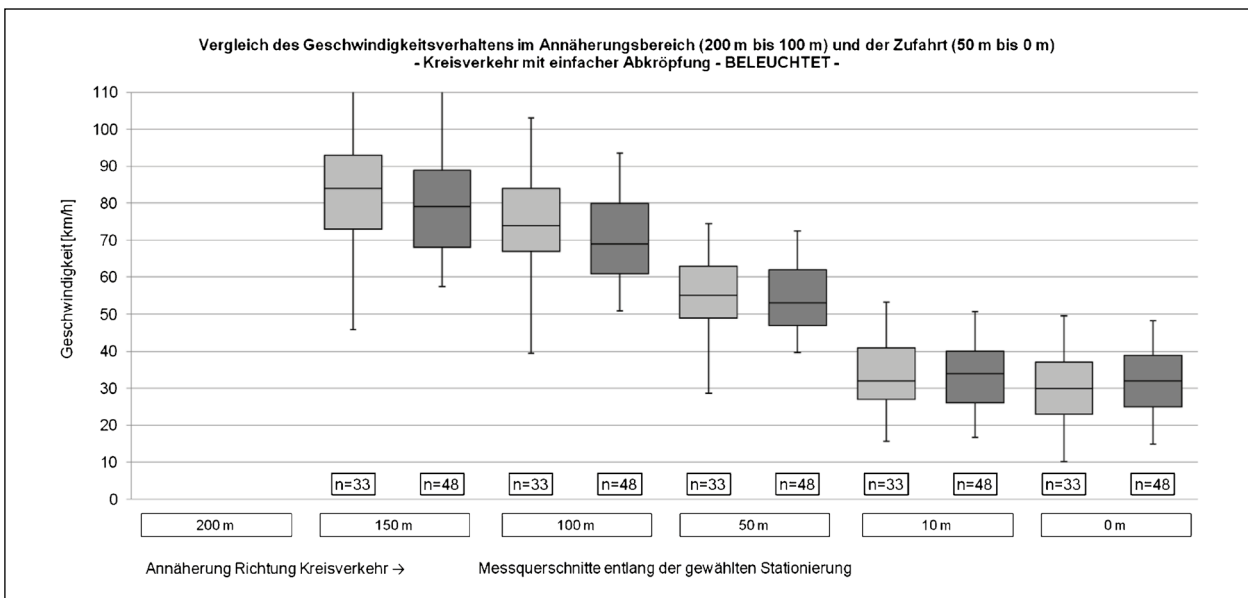


Bild 140: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an einer Zufahrt mit Abkröpfung im beleuchteten Zustand in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

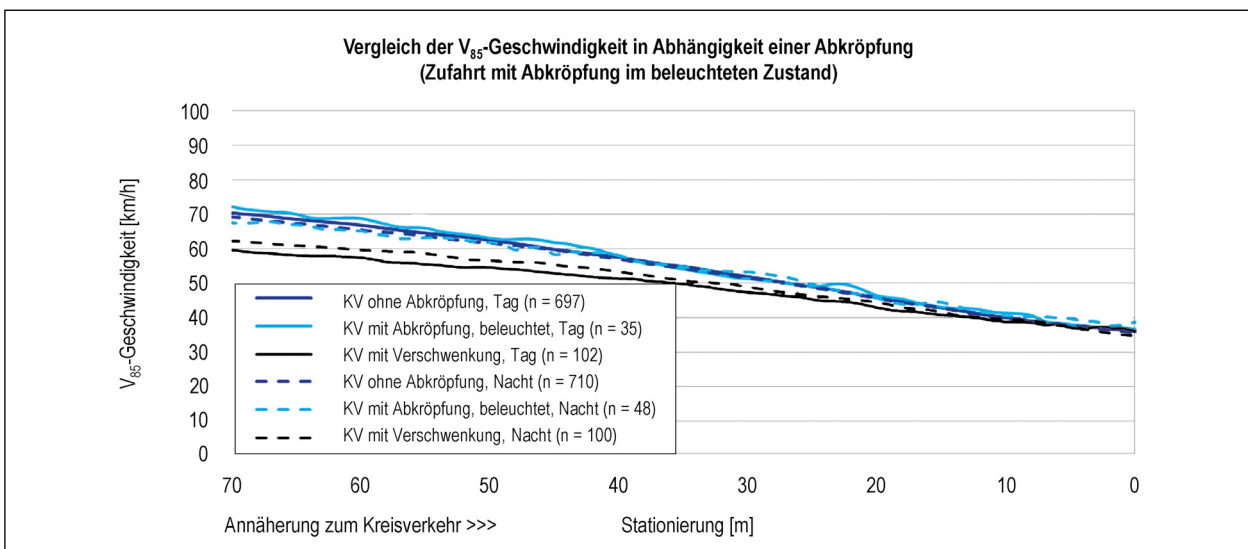


Bild 141: Linienhafte Geschwindigkeitsverläufe in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer Abkröpfung im beleuchteten und unbeleuchteten Zustand sowie einer Verschwenkung und dem Erhebungszeitraum

Die Zufahrt mit Abkröpfung und Beleuchtung wird in der Nacht langsamer befahren als bei den Querschnittsmessungen, bei denen die Beleuchtung defekt war. Kreisverkehre mit einer Abkröpfung in der Zufahrt sind erst spät erkennbar. Dadurch wird in der Annäherung und Zufahrt schneller gefahren. Eine Beleuchtung an solchen Kreisverkehren führt zu einer Verringerung der Geschwindigkeiten, die aber immer noch höher sind als an Kreisverkehren ohne Abkröpfung.

5.2.7 Ablenkung

Für die Untersuchung des Ablenkmaßes werden homogene Gruppen mit Ablenkmaßen $\beta \leq 80$ gon und $\beta > 80$ gon gebildet. Ablenkmaße $\beta < 60$ gon gibt es im Untersuchungskollektiv der 32 erhobenen Zufahrten nicht. Die Geschwindigkeitsverläufe sind in Bild 143 und Bild 144 dargestellt.

Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (MK_{Z4} = 200 m bis MK_{Z2} = 100 m)

Die Gestaltung der Kreisverkehre kann in der Annäherung noch nicht durch die Verkehrsteilnehmenden vollständig erfasst werden. Daher zeigt sich in der Annäherung kein Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Ablenkmaß.

Geschwindigkeiten in der Zufahrt (MK_{Z1} = 50 m bis MQ_{K2} = 0 m)

Der Vergleich der Geschwindigkeiten an Zufahrten von Kreisverkehren mit verschiedenen Ablenkmaßen ergibt, dass im Bereich 50 m bis 10 m vor dem Kreisverkehr ähnlich schnell gefahren wird ($\Delta V_{85} \approx 2$ km/h – vgl. Bild 142). Die V_{85} beträgt am Tag ca. 60 km/h ($\beta > 80$ gon). In der Nacht werden die Zufahrten ebenfalls nahezu gleich schnell befahren ($\Delta V_{85} \approx 1$ km/h), wobei die V_{85} in Zufahrten mit großen Ablenkwinkeln bei ca. 64 km/h liegt.

An den Messquerschnitten kurz vor der Einfahrt in die Kreisfahrbahn sind die Geschwindigkeiten am Tag und in der Nacht zwischen den Vergleichsgrup-

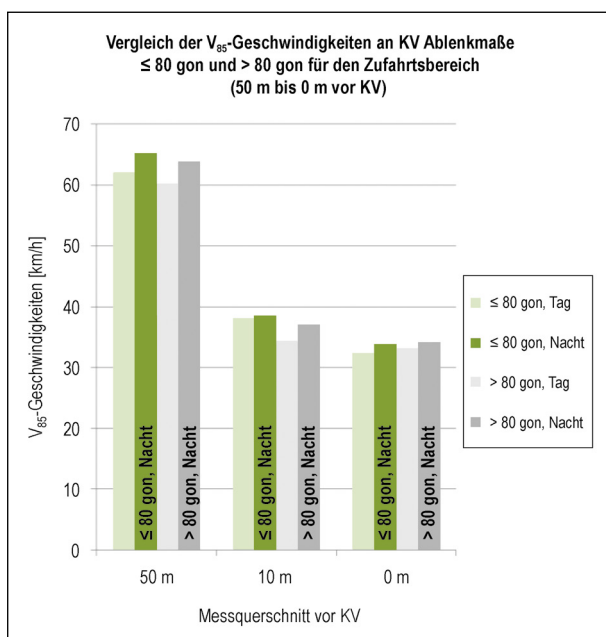


Bild 142: V_{85} -Geschwindigkeiten in der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit vom Ablenkmaßen und dem Erhebungszeitraum

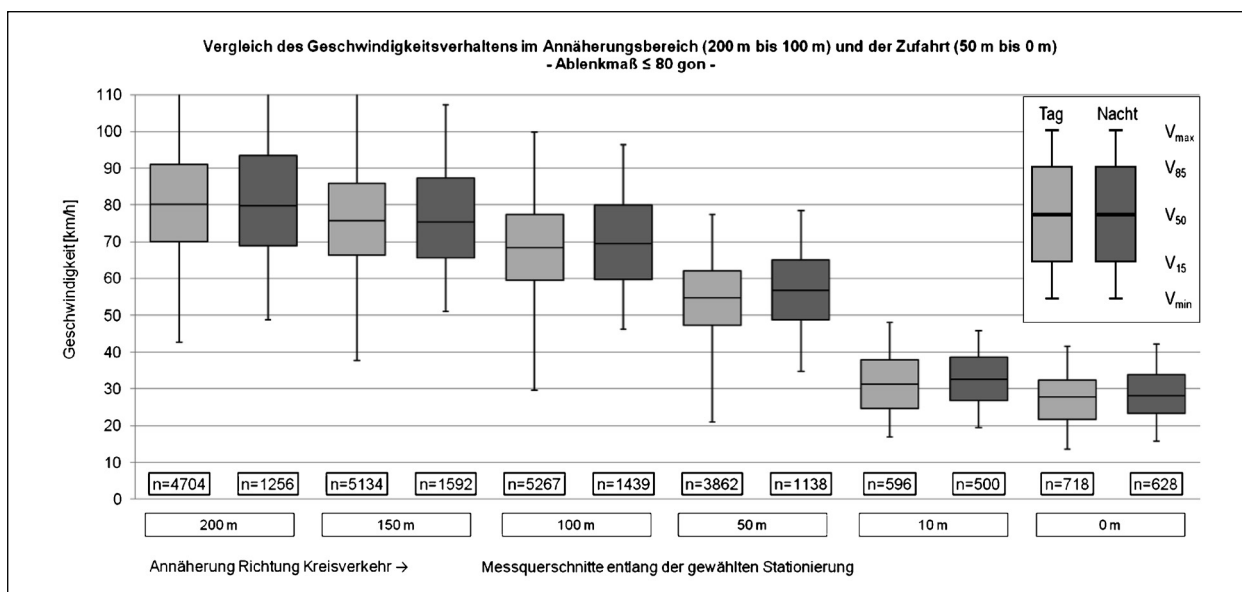


Bild 143: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) für Zufahrten mit Ablenkmaßen $\beta \leq 80$ gon in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

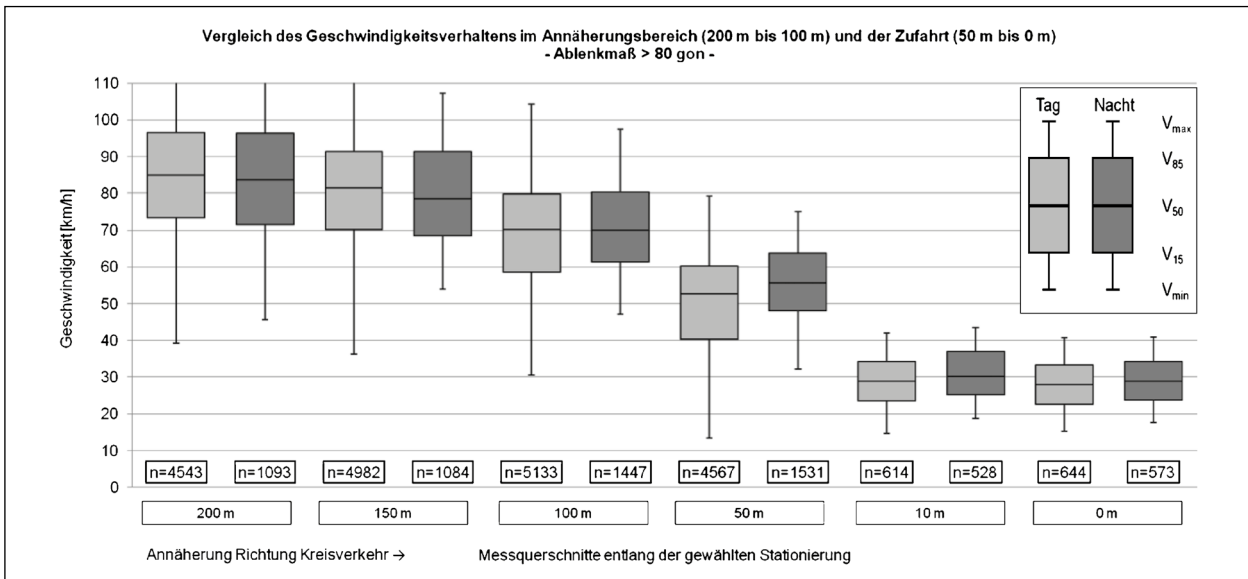


Bild 144: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) für Zufahrten mit Ablenkmaßen $\beta > 80$ gon in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

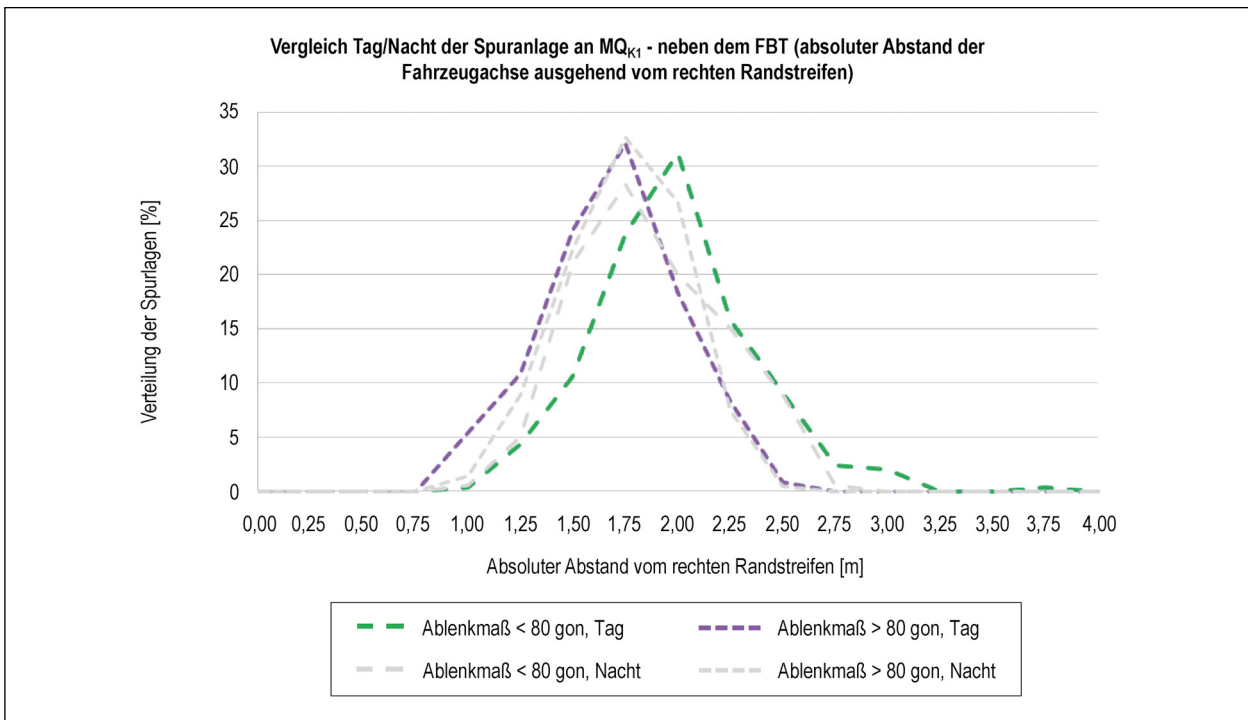


Bild 145: Spurverhalten am Messquerschnitt MQ_{K1} in Abhängigkeit vom Ablenkmaß und dem Erhebungszeitraum

pen ähnlich. Die Zufahrten mit großen Ablenkmaßen werden im Tag-/Nachtvergleich an MQ_{K1} etwas langsamer befahren ($\Delta V_{85} \approx 4$ km/h) als die Zufahrten mit kleinen Ablenkmaßen ($\Delta V_{85} \approx 3$ km/h).

Spurverhalten

Das Spurverhalten wird am Fahrbahnteiler (MQ_{K1}) und in der Kreiszufahrt (MQ_{K2}) untersucht. Neben dem Fahrbahnteiler zeigt sich beim Vergleich des

Spurverhaltens bei Tag und in der Nacht (vgl. Bild 145), dass die Fahrzeugführenden bei kleineren Ablenkmaßen bei Dunkelheit im Mittel weitere rechts fahren als am Tag. Bei Ablenkmaßen > 80 gon überlagern sich die Kurven der Tag- und Nachtmessungen.

In der Kreisverkehrszufahrt (vgl. Bild 146) fahren die Fahrzeugführenden bei kleinen Ablenkmaßen in der Nacht ebenfalls im Mittel weitere rechts als am

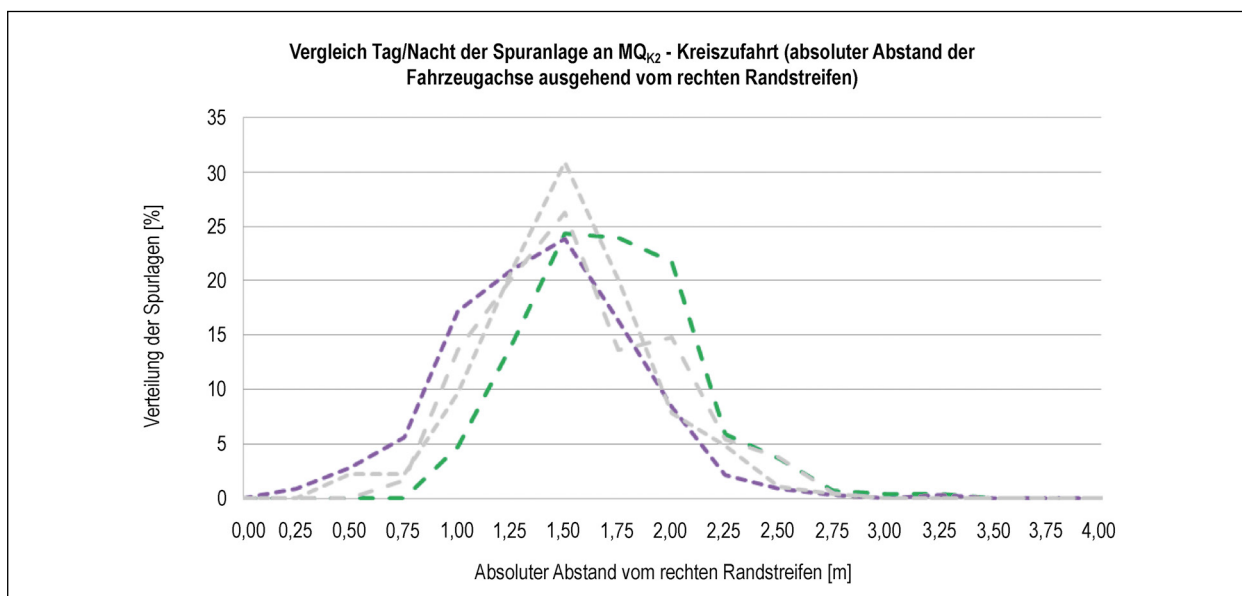


Bild 146: Spurverhalten am Messquerschnitt MQ_{K2} in Abhängigkeit vom Ablenkmaß und dem Erhebungszeitraum

Tag. Der Versatz der beiden Verteilungskurven ist geringer als am Messquerschnitt (MQ_{K1}). Das Fahrverhalten in den Zufahrten ist bei großen Ablenkmaßen annähernd identisch.

5.2.8 Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers

Die vollständigen Geschwindigkeitsverläufe im Annäherungsbereich und der Zufahrt in Abhängigkeit von Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers sind in Bild 148 und Bild 149 dargestellt.

Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich ($MK_{Z4} = 200$ m bis $MK_{Z2} = 100$ m)

Die Oberflächengestaltung eines Fahrbahnteilers kann in der Annäherung nur eingeschränkt durch die Verkehrsteilnehmenden erfasst werden. Daher zeigt sich in der Annäherung kein Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers.

Geschwindigkeiten in der Zufahrt ($MK_{Z1} = 50$ m bis $MQ_{K2} = 0$ m)

Der Vergleich der Geschwindigkeiten in der Zufahrt in Abhängigkeit von der Oberflächengestaltung der Fahrbahnteiler zeigt, dass Zufahrten mit begrünten Fahrbahnteilern am Tag im Bereich von 50 m bis 0 m vor dem Kreisverkehre mit ca. 2 km/h (ΔV_{85}) höheren Geschwindigkeiten befahren werden als

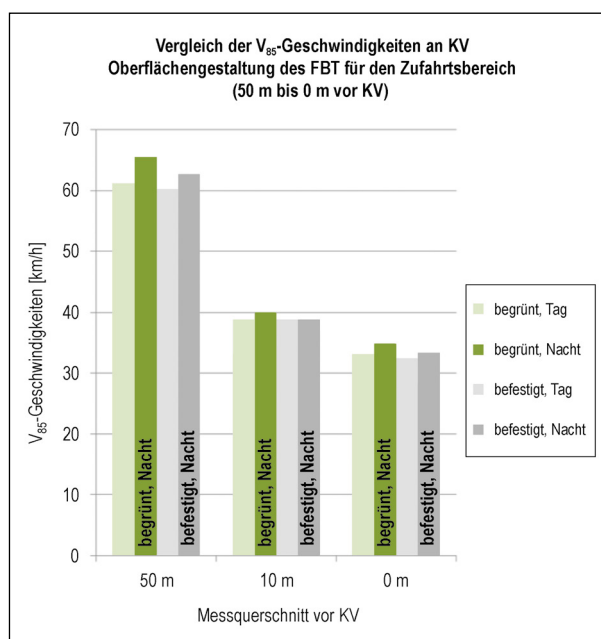


Bild 147: V_{85} -Geschwindigkeiten in der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit von der Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers und dem Erhebungszeitraum

Zufahrten mit befestigten Fahrbahnteilern (vgl. Bild 147).

Für die Messungen bei Nacht ergeben sich vergleichbare Aussagen (höhere Geschwindigkeiten an begrünten als an befestigten Fahrbahnteilern) allerdings bei einem höheren Geschwindigkeitsniveau. Die Geschwindigkeitsunterschiede von MK_{Z1} (50 m vor KV) bis MQ_{K2} (0 m vor KV) liegen bei ca. 3 km/h (ΔV_{85}).

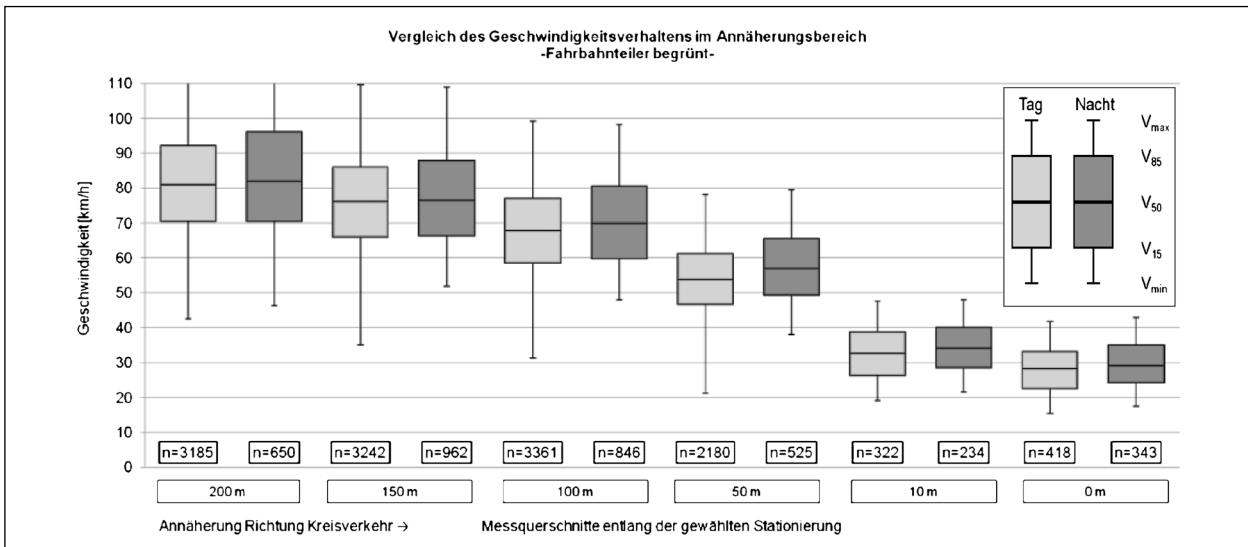


Bild 148: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an Zufahrten mit begrüntem Fahrbahnteiler in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

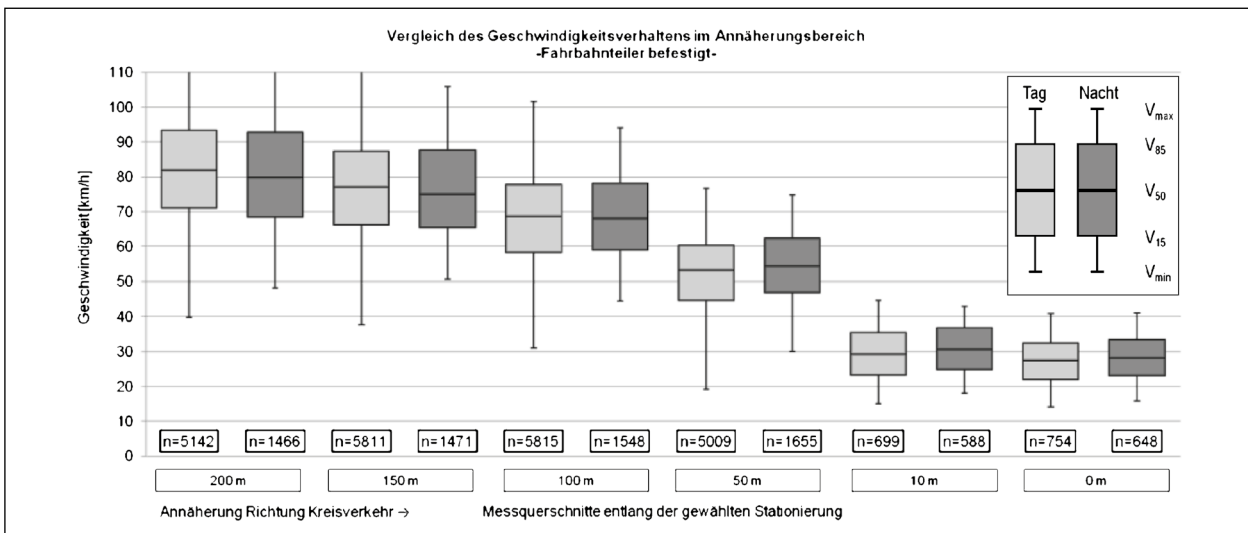


Bild 149: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an Zufahrten mit befestigten Fahrbahnteiler in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

Es liegt die Vermutung nahe, dass der bessere Kontrast der begrünter Fahrbahnteiler mehr Sicherheit (Begreifbarkeit der Verkehrsanlage) vermittelt. Dadurch fahren die Verkehrsteilnehmenden bei so gestalteten Fahrbahnteilern schneller.

5.2.9 Unfallauffälligkeit von Kreisverkehren

Im Folgenden werden unfallbelastete und unfallauffällige Zufahrten von Kreisverkehren hinsichtlich des Fahrverhaltens betrachtet. Die einzelnen Geschwindigkeitsverläufe im Annäherungsbereich und der Zufahrt sind in Bild 151 und Bild 152 für unfallbelastete und unfallauffällige Kreisverkehre dargestellt.

Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (MK_{Z4} = 200 m bis MK_{Z2} = 100 m)

In der Annäherung an die betrachteten Kreisverkehre zeigt sich an den jeweiligen Messquerschnitten MK_{Z4} (200 m vor KV) und MK_{Z3} (150 m vor KV) ein ähnliches Geschwindigkeitsverhalten zwischen unfallbelasteten und unfallauffälligen Zufahrten am Tag und in der Nacht.

In Bild 150 ist zu sehen, dass nachts die Geschwindigkeiten in beiden Vergleichsgruppen über den Geschwindigkeiten am Tag liegen. Die V₈₅ der Vergleichsgruppen am Tag liegen an MK_{Z4} (200 m vor KV) bei ca. 94 km/h. Am Messquerschnitt MK_{Z3} (150 m vor KV) liegen die V₈₅ der Vergleichsgrup-

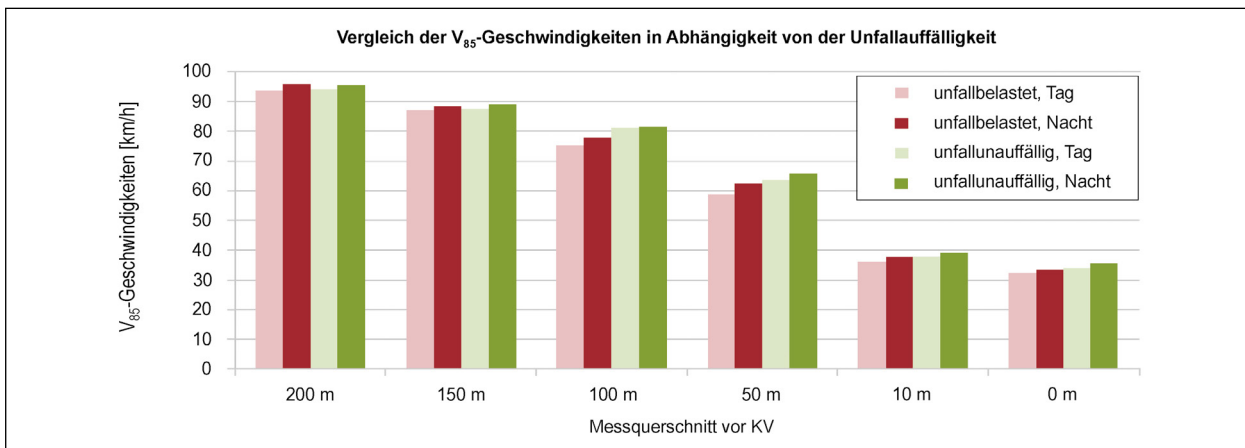


Bild 150: V_{85} -Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an unfallbelasteten und unfallunauffälligen Zufahrten in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

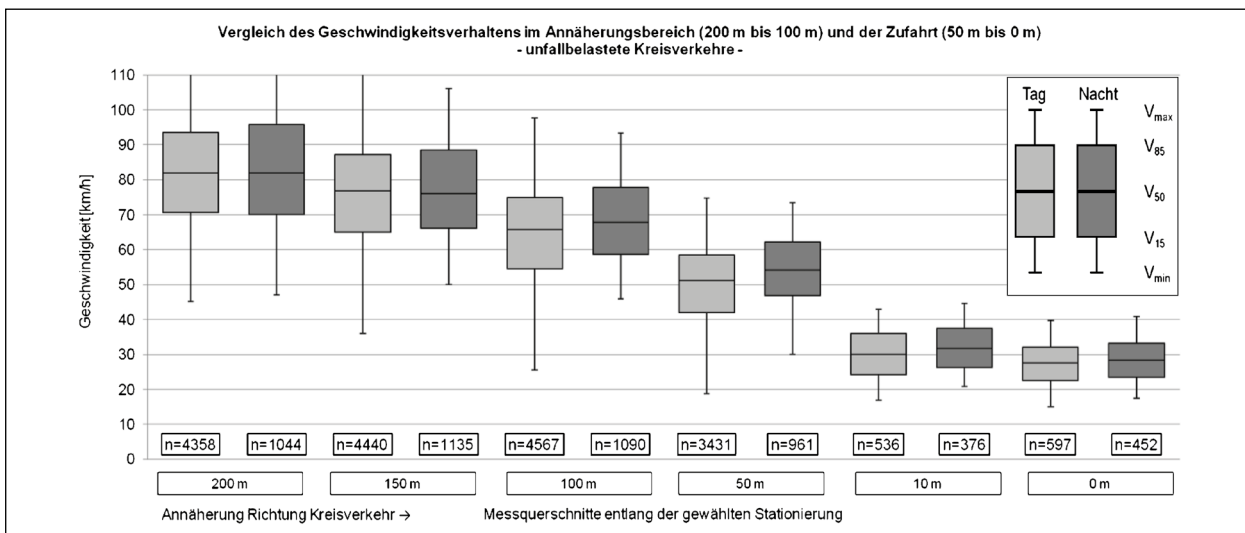


Bild 151: Geschwindigkeit im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an unfallbelasteten Zufahrten in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

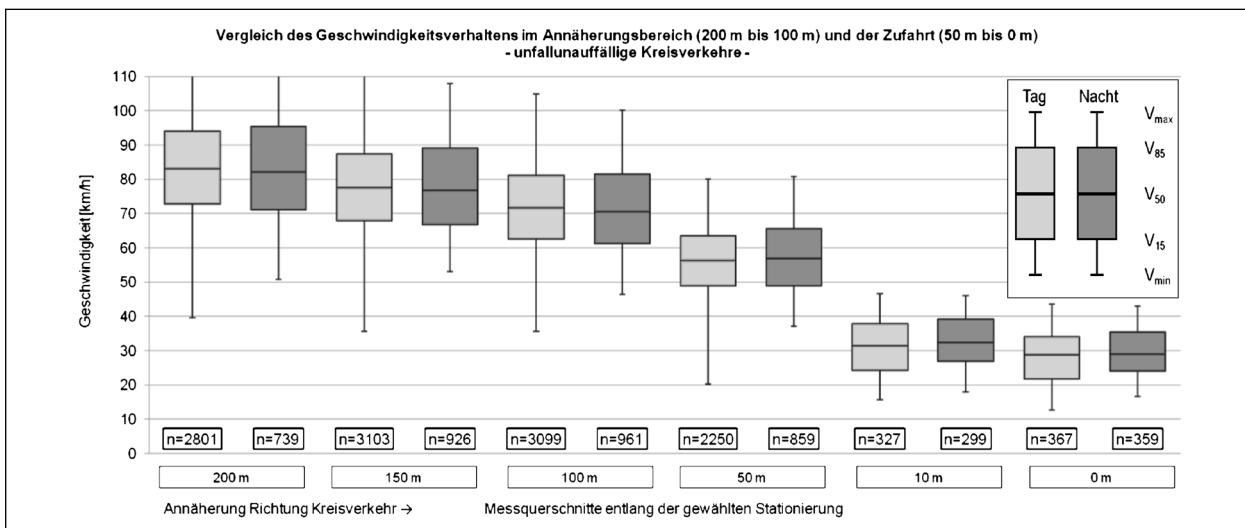


Bild 152: Geschwindigkeit im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an unfallunauffälligen Zufahrten in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

pen bei ca. 87 km/h. Die Geschwindigkeiten in der Nacht an MK_{Z4} (200 m vor KV) liegen bei beiden Vergleichsgruppen bei 96 km/h (V₈₅). An MK_{Z3} (150 m vor KV) betragen die V₈₅ ca. 89 km/h. Erst am Messquerschnitt MK_{Z2} (100 m vor KV) fallen die Geschwindigkeiten der unfallbelasteten Zufahrten gegenüber den unfallunauffälligen Zufahrten etwas ab. Am Tag betragen die Geschwindigkeiten an unfallbelasteten Zufahrten 75 km/h und an den unfallunauffälligen Zufahrten 82 km/h (V₈₅). In der Nacht fahren 85 % der Fahrzeugführenden an unfallbelasteten Zufahrten nicht schneller als 78 km/h und an den unfallunauffälligen Zufahrten nicht schneller als 82 km/h.

Die Ergebnisse des Geschwindigkeitsverhaltens in der Annäherung sind wahrscheinlich auf Einflüsse aus der freien Strecke zurückzuführen. In der Zusammensetzung der Vergleichsgruppen gab es keine Merkmale, die besonders hervorgetreten sind.

Geschwindigkeiten in der Zufahrt (MK_{Z1} = 50 m bis MQ_{K2} = 0 m)

An den unfallunauffälligen Zufahrten wird in der Zufahrt am Tag und in der Nacht schneller gefahren als an den unfallbelasteten Zufahrten (vgl. Bild 150).

Am Messquerschnitt MQ_{K1} (50 m vor KV) wird am Tag an unfallunauffälligen Zufahrten ca. 5 km/h (ΔV₈₅) schneller gefahren als an unfallbelasteten Zufahrten. Die V₈₅ liegt an den unfallunauffälligen Zufahrten liegt bei ca. 63 km/h. In der Nacht betragen die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen

unfallunauffälligen und unfallbelasteten Zufahrten am Messquerschnitt MQ_{K1} (50 m vor KV) ca. 3 km/h (ΔV₈₅). Dabei wird an den unfallunauffälligen Zufahrten schneller gefahren (V₈₅ = 66 km/h).

In einem Abstand von weniger als 10 m vor der Kreisfahrbahn fallen die Unterschiede geringer aus. Die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen unfallunauffälligen und unfallbelasteten Zufahrten betragen an der Kreiszufahrt (MQ_{K2} = 0 m vor KV) 1,6 km/h (ΔV₈₅) am Tag und 2,1 km/h (ΔV₈₅) in der Nacht.

An den unfallbelasteten und unfallunauffälligen Zufahrten ergibt sich keine belastbare Aussage zum vorhandenen Fahrverhalten. Es zeigen sich bei der Gruppenbildung der Vergleichsgruppen keine Merkmale (z. B.: Fahrbahnteilerform, -breite, Zufahrtsgestaltung) mit einer besonderen Präsenz. Das beobachtete Fahrverhalten an den Zufahrten muss daher aus der Summe der einzelnen Einflussfaktoren resultieren, die je nach Zufahrt unterschiedlich wirken.

Linienhaftes Geschwindigkeitsverhalten

Die linienhaften Messungen (vgl. Bild 153) bestätigen die Ergebnisse der Querschnittmessungen insoweit, dass am Tag und in der Nacht an den unfallunauffälligen Zufahrten schneller gefahren wird als an den unfallbelasteten Zufahrten. Jedoch ergibt die Auswertung des linienhaften Geschwindigkeitsverhaltens, dass bei beiden Vergleichsgruppen in der Nacht langsamer als am Tag gefahren wird. Der Unterschied kann durch die Messungenaugkeit

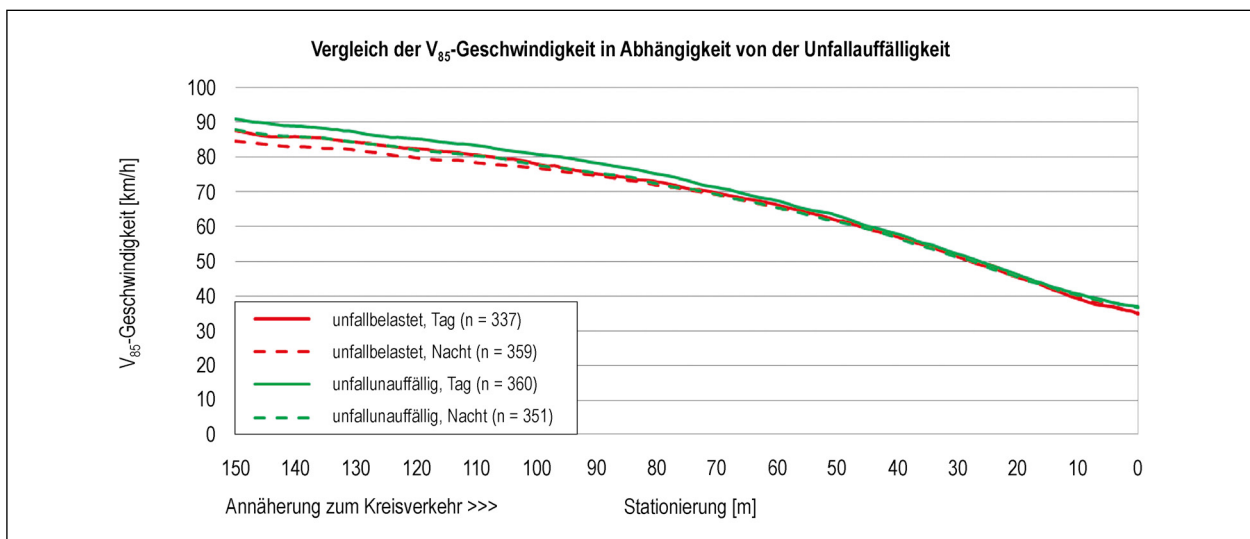


Bild 153: Linienhafte Geschwindigkeitsverläufe an unfallbelasteten und unfallunauffälligen Zufahrten in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

des Kopters und die unterschiedlichen Messzeitpunkten für die Querschnittsmessungen und die linienhaften Messungen erklärt werden.

5.2.10 Kreisverkehre mit besonderer Zufahrtsgestaltung

Zwei Kreisverkehrszufahrten wurden nicht mit der Technik des Laserscanners und mit den Radarpfosten untersucht. Schutzplanken und abfallende Seitenräume behinderten den Einsatz der Messtechnik. Deshalb wurden diese im Projekt nur mit dem Kopter befliegen. Die beiden Sondersituationen werden nachfolgend behandelt.

Quermarkierungen (Rüttelstreifen)

Eine der Zufahrten eines Kreisverkehrs hat als Besonderheit im Vorfeld mehrere Quermarkierungen



Bild 154: Anordnung von Rüttelstreifen vor einem Kreisverkehr

(Rüttelstreifen) mit einer spürbaren Aufwölbung (vgl. Bild 154). Die Quermarkierungen sind 90 m und 130 m vor dem Kreisverkehr aufgebracht. Die Querstreifen sollen den Verkehrsteilnehmenden vor dem Kreisverkehr deutlich visuell und haptisch abbremsen. In Bild 155 ist die Zufahrt mit Quermarkierungen (Rüttelstreifen) der Vergleichsgruppe ohne Quermarkierungen gegenübergestellt. Die Zufahrt mit Quermarkierungen weist am Tag im gesamten Bereich der Annäherung (150 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) ein vergleichbares Geschwindigkeitsniveau wie die Vergleichsgruppe ohne Quermarkierung auf. Der Unterschied zwischen den linienhaften Verläufen liegt bei durchschnittlich 3 km/h (ΔV_{85}). In der Nacht sind die Geschwindigkeiten ebenfalls in beiden Gruppen ähnlich (vgl. Bild 155). Eine Beeinflussung der Fahrzeugführenden bei Dunkelheit durch die Quermarkierung ist nicht nachweisbar.

Mit Quermarkierungen ist keine eindeutige Geschwindigkeitsreduktion nachweisbar. Vom Einsatz der Quermarkierungen als geschwindigkeitsdämpfendes Hilfsmittel wird aufgrund der hohen Lautstärke bei jeder Überfahung abgeraten.

Überlanger Fahrbahnteiler

Die zweite Besonderheit stellt eine Zufahrt mit überlangem Fahrbahnteiler an einem Kreisverkehr mit ortsfester Beleuchtung dar. Der Fahrbahnteiler hat eine Länge von 55 m. Die angrenzende Sperrfläche hat eine Länge von 120 m (vgl. Bild 156).

Die Zufahrt mit überlangem Fahrbahnteiler wird am Tag über den gesamten Bereich der Annäherung (150 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis

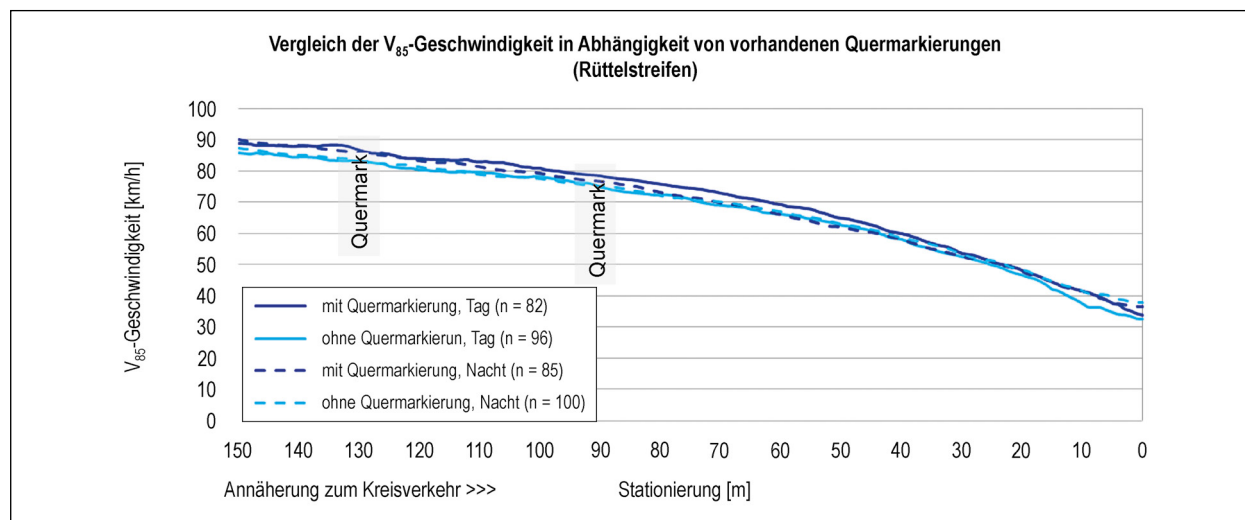


Bild 155: Linienhafte Geschwindigkeitsverläufe an Zufahrten mit und ohne Rüttelstreifen in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum



Bild 156: Zufahrt mit überlangen Fahrbahnteiler (55 m FBT + 120 m Sperrfläche)

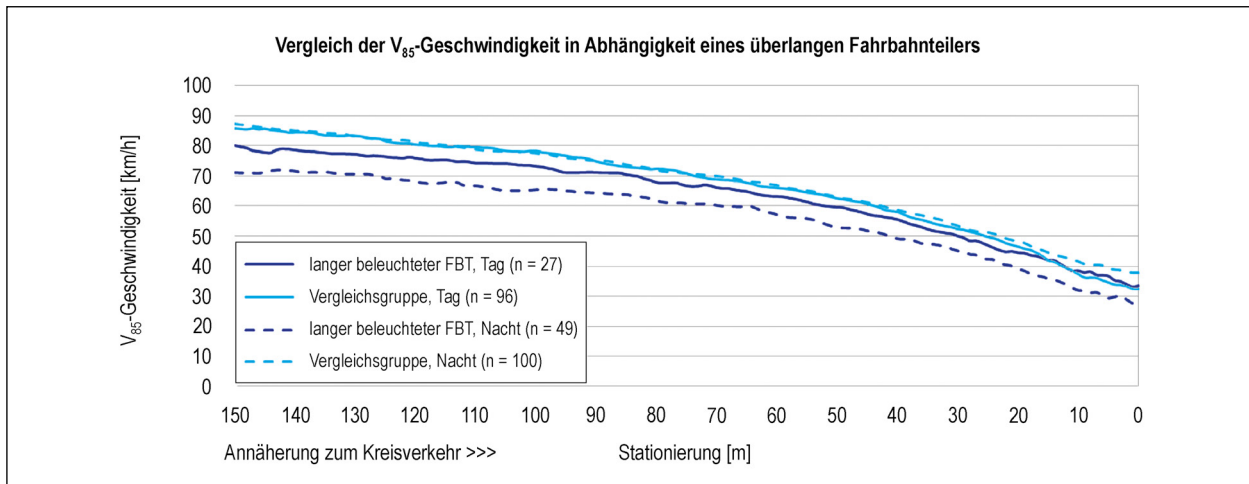


Bild 157: Linienhafte Geschwindigkeitsverlauf an Zufahrten mit und ohne überlangen Fahrbahnteiler in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum

0 m vor KV) durchschnittlich ca. 4 km/h (ΔV_{85}) langsamer befahren als die Zufahrten der Vergleichsgruppe (vgl. Bild 157).

In der Nacht wird an der Zufahrt mit überlangem Fahrbahnteiler in der Annäherung (150 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) langsamer als am Tag gefahren. Die Reduktion umfasst durchschnittlich ca. 6 km/h (ΔV_{85}). Das ist auf die bessere Erkennbarkeit durch die Ausleuchtung in Verbindung mit dem langen Fahrbahnteiler zurückzuführen.

5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die empirische Untersuchung zeigt, dass das Fahrverhalten an Kreisverkehren durch einzelne Entwurfsbestandteile in unterschiedlichem Maße beeinflusst werden kann.

Anhand von Querschnittsmessungen und linienhaften Messungen wurde das Fahrverhalten an den ausgewählten Kreisverkehren aufgezeichnet. Die zu untersuchenden Kreisverkehre wurden zweistufig ausgewählt. Daher kam es zu versetzten

Messzeitpunkten bei der Durchführung der Messungen.

Aufgrund der unterschiedlichen Zeitpunkte für das Einsetzen der Dunkelheit im Sommer und im Herbst wurden die Querschnittsmessungen und die linienhaften Messungen zeitversetzt durchgeführt, um jeweils ausreichende Untersuchungskollektive zu erhalten.

Bei den Querschnittsmessungen mit Radarpfosten wurde im Bereich zwischen 200 m und 50 m vor einem Kreisverkehr das Geschwindigkeitsverhalten aufgezeichnet. Anhand von Zeitstempeln wurden an jedem Messquerschnitt freifahrende Fahrzeuge ausgewählt. Die Querschnittsmessungen mit dem Laserscanner an Kreisverkehren erlaubte die Auswertung des Geschwindigkeits- und Spurverhaltens in der Zufahrt. Allerdings zeigte sich an einigen Kreisverkehren, dass durch die örtlichen Bedingungen nicht immer ein optimaler Standort für den Laserscanner vorhanden war. Durch den Standort und durch die Reflexionsgrade der Fahrzeuge konnten nicht alle Fahrzeuge ausgewertet werden.

Im Vergleich zu den Messungen mit den Messpfosten konnte bei den Koptermessungen außerdem

genauer erfasst werden, ob sich über das beobachtete Einzelfahrzeug hinaus weitere Fahrzeuge z. B. im Kreisverkehr befinden und sich ggf. auf die Geschwindigkeit oder ähnliches auswirken.

Die Anzahl der auszuwertenden Fahrzeuge hing von dem Verkehrsaufkommen ab. Teilweise lagen die Kreisverkehre an schwach befahrenen Straßen, wodurch im Laufe eines Tages nur wenige Fahrzeuge gemessen werden konnten. An anderen Kreisverkehren war das Verkehrsaufkommen in der maßgebenden Zufahrt oder in einer bevorrechtigten Zufahrt so groß, dass freifahrende Fahrzeuge nur selten auftraten.

Hinsichtlich der Überprüfung sicherheitsrelevanter Gestaltungsmerkmale außerörtlicher Kreisverkehre lassen sich folgende Ergebnisse festhalten:

Form der Fahrbahnteiler

- Im Nahbereich, etwa ab 50 m vor einem Kreisverkehr, wird bei angepasster Bordführung (Elefantenfuß) am Tag am langsamsten gefahren. In der Nacht wird dagegen bei parallelen Fahrbahnteilern am langsamsten gefahren.
- Bei der Einfahrt in die Kreisfahrbahn sind die Geschwindigkeiten unabhängig von der Fahrbahnteilerform nahezu gleich. Bei Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung ergeben sich aber geringfügig niedrigere Geschwindigkeiten.
- Die Form eines Fahrbahnteilers hat in der Annäherung (200 m bis 100 m vor KV) keinen maßgebenden Einfluss auf das Fahrverhalten.
- Bei parallelen Fahrbahnteilern sind die Fahrstreifen im Übergang zur Kreisfahrbahn breiter als bei Fahrbahnteilern in Dreiecksform oder mit angepasster Bordführung. Da die Verkehrsteilnehmenden bei allen Fahrbahnteilerformen einen ähnlichen Abstand zur rechten Fahrbahnmarkierung einhalten, wird an parallelen Fahrbahnteilern der linke Teil des Fahrstreifen (ca. 35 %) nicht befahren. Vermutlich orientieren sich die Fahrzeugführenden bei parallelen Fahrbahnteilern nur am rechten Fahrbahnrand, weshalb bei dieser Fahrbahnteilerform von einer schlechteren optischen Führung der Verkehrsteilnehmenden auszugehen ist (im Vergleich zu Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung).

Fahrbahnteilerbreite

- Die Breite eines Fahrbahnteilers hat in der Annäherung keinen maßgebenden Einfluss auf das Fahrverhalten. An breiten Fahrbahnteilern wird in der Zufahrt (> 10 m vor dem Kreisverkehr) schneller gefahren als an schmalen Fahrbahnteilern. Grundlegend bewirken breite Fahrbahnteiler eine höhere Einfahrtgeschwindigkeit in den Kreisverkehr. Umgekehrt bremsen Fahrzeugführende in der Zufahrt vor einem Kreisverkehr mit einem schmalen Fahrbahnteiler stärker, um gleich danach mit der Geschwindigkeit auf die gebremst wurde in den Kreisverkehr weiter zu fahren.

Zufahrtsgestaltung

- Die Gestaltung der Zufahrt (radial oder angepasst) wirkt sich auf das Fahrverhalten ähnlich wie die Form der Fahrbahnteiler aus, da beide Sachverhalte eng zusammenhängen.
- Der Vergleich radial und angepasst gestalteter Zufahrten zeigt, dass radiale Zufahrten langsamer befahren werden als Zufahrten angepasster Führung.
- Trotz der höheren Annäherungsgeschwindigkeiten bei angepasster Führung einer Zufahrt wird am Beginn des Fahrbahnteilers sowohl bei Tag als auch bei Nacht das gleiche Geschwindigkeitsniveau wie bei radialer Führung erreicht. Es wird vermutet, dass der den Geschwindigkeitsabbau in der Zufahrt begünstigende Einfluss der angepassten Führung (insbesondere bei Nacht) eine Erklärung für das im Kapitel 4.3 beobachtete höhere Sicherheitsniveau dieser Führungsform bilden kann.

Beleuchtung

- Die Beleuchtung eines Kreisverkehrs außerhalb geschlossener Ortschaften ist eine gute Möglichkeit, um auf größere Entfernung die Erkennbarkeit des Kreisverkehrs zu erhöhen. Es ist nachweisbar, dass sich die Beleuchtung auf den Bereich der Annäherung (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) auswirkt.
- Im Bereich von 200 bis 50 m vor einem Kreisverkehr fahren die Fahrzeugführenden in der Annäherung (bei Dunkelheit) langsamer auf beleuchtete Kreisverkehre zu als in der Vergleichsgruppe (ohne Beleuchtung).

- In der Zufahrt (50 m vor KV) sind die Geschwindigkeiten bei Dunkelheit an beleuchteten Kreisverkehren geringfügig niedriger als an unbeleuchteten. In einem Abstand von 10 m und weniger vor dem Kreisverkehr fahren die Fahrzeugführenden bei Dunkelheit an Kreisverkehren mit und ohne Beleuchtung nahezu gleich schnell.
- An einem Kreisverkehr konnte ein Mit-/Ohne-Fallvergleich durchgeführt werden. Durch zwei zeitlich versetzte Messungen mit und ohne Beleuchtung an dem Kreisverkehr wurde der Einfluss der Beleuchtung untersucht. Das Fahrverhalten am Tag ist bei beiden Gruppen nahezu gleich. In der Nacht sind jedoch große Geschwindigkeitsreduktionen durch die Beleuchtung in der Annäherung (200 m bis 50 m vor KV) zu verzeichnen. Das belegt die geschwindigkeitsmindernde Wirkung einer Beleuchtung an einem Kreisverkehr.

Verbindungsfunktionsstufe

- Die Verbindungsfunktionsstufe der verknüpften Straßen gemäß RIN hat keinen nachweisbaren Einfluss auf das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmenden.

Kreisverkehre mit Abkröpfung und Verschwenkung

- Für Zufahrten mit Abkröpfung ist die größte geschwindigkeitsmindernde Wirkung im Annäherungsbereich, bei vergleichsweise hohen Geschwindigkeiten am Beginn des Annäherungsbereichs (200 m vor dem Kreisverkehr) festzustellen. Es wird vermutet, dass dies auf die spätere Erkennbarkeit des Kreisverkehrs zurückzuführen ist, weshalb stärker auf niedrige Einfahrgeschwindigkeiten gebremst wird. Allerdings ist im Untersuchungskollektiv nur eine Zufahrt mit einer Abkröpfung enthalten, weshalb dieses Ergebnis nur bedingt verallgemeinerbar ist.
- Dagegen kann für Zufahrten mit einer Verschwenkung die Geschwindigkeitsreduktionen sicher nachgewiesen werden. Am Tag und in der Nacht liegen die Geschwindigkeiten bei Kreisverkehren mit einer Verschwenkung nah zusammen. Die Kreisverkehrsgestaltung mit einer Verschwenkung bewirkt ein homogenes Fahrverhalten bei den Fahrzeugführenden.

Ablenkmaß

- Im Annäherungsbereich wirkt sich das Ablenkmaß nicht maßgeblich auf das Fahrverhalten aus. In der Zufahrt sind die Geschwindigkeiten bei Dunkelheit an Zufahrten mit großen Ablenkmaßen geringfügig niedriger als an Zufahrten mit kleinen Ablenkmaßen.
- Im Hinblick auf das Spurverhalten ist festzustellen, dass bei kleinen Ablenkmaßen bei Dunkelheit weiter rechts im Fahrstreifen gefahren wird als am Tag.

Begrünung der Fahrbahnteiler

- Für begrünte Fahrbahnteiler zeigen sich höhere Geschwindigkeiten (am Tag und in der Nacht) gegenüber befestigten Fahrbahnteilern bei ansonsten gleichen Randbedingungen. Dies lässt vermuten, dass die Begrünung die Begreifbarkeit der Verkehrsführung unterstützt.

Unfallauffälligkeit von Kreisverkehren

- Die Untersuchung von unfallbelasteten und unfallunauffälligen Kreisverkehren hat ergeben, dass an unfallbelasteten Kreisverkehren in der Annäherung (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) langsamer gefahren wird als an unfallunauffälligen Kreisverkehren. Da alle Entwurfsmerkmale in den beiden Gruppen zu gleichen Teilen verteilt waren, kann keine eindeutige Aussage zur Ursache getroffen werden.

Quermarkierungen als geschwindigkeitsreduzierendes Mittel

- Die geschwindigkeitsmindernde Wirkung von Quermarkierungen als Rüttelstreifen vor einem Kreisverkehr kann in der Untersuchung zweier Kreiszufahrten nicht belegt werden. Ein Vorher-/Nachher-Vergleich an ein und demselben Kreisverkehr konnte nicht durchgeführt werden. Der Vergleich der Messwerte an diesem Kreisverkehr mit einer Vergleichsgruppe zeigt keine besondere Wirksamkeit der Quermarkierungen. Wegen der höheren Lärmbelastung bei Überfahrten über die Quermarkierungen wird der Einsatz zumindest in der Nähe von bebauten Gebieten nicht empfohlen.

Überlanger Fahrbahnteiler mit Beleuchtung

- Ein weiterer Einzelfall war ein Kreisverkehr mit einem überlangen Fahrbahnteiler in einer Zufahrt (55 m FBT und 120 m Sperrfläche) und nächtlicher Beleuchtung. Dort wird am Tag in der Annäherung (200 m bis 100 m vor KV) bis zur Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) langsamer gefahren als bei der Vergleichsgruppe.
- In der Nacht bewirkt die Beleuchtung eine Reduzierung der Geschwindigkeiten in der Annäherung. Das deckt sich mit den Erkenntnissen zu den beleuchteten Kreisverkehren. In der Zufahrt wird in der Nacht durch die Beleuchtung und den Fahrbahnteiler langsamer gefahren als bei der Vergleichsgruppe.

6 Lichttechnische Untersuchung nächtlicher Wahrnehmungsverhältnisse

Für die wahrnehmungsorientierte Untersuchung bei nächtlichen Bedingungen erfolgen an insgesamt neun Kreisverkehren lichttechnische Messungen – siehe Tabelle 42. Sechs Kreisverkehre haben keine ortsfeste Beleuchtung und drei verfügen über eine ortsfeste Beleuchtung (Straßenbeleuchtung). Zielstellung der Untersuchung ist es, die Sichtbarkeit von verkehrstechnischen und sonstigen infrastrukturellen Merkmalen im nächtlichen Annäherungsverlauf an außerörtlichen Kreisverkehren zu beschreiben.

Bezeichnung KV	Bemerkung
BB_15	Testanbringung Markierungsnägel
BY_17	beleuchtet
BY_18	beleuchtet
BY_20	beleuchtet
SN_12	Testanbringung Markierungsnägel
SN_13	rot-weiße Markierung der Kreisinsel
SN_23	Testanbringung Markierungsnägel
ST_18	Reflektoren auf Bord Fahrbahnteiler und Bord Kreisinsel
ST_24	Reflektoren auf Bord Fahrbahnteiler und Bord Kreisinsel

Tab. 42: Kreisverkehre mit lichttechnischer Untersuchung

Insgesamt werden 35 Zufahrten untersucht. Die Bezeichnung der Zufahrten ist der Übersicht in Anhang 16 zu entnehmen.

6.1 Vorgehen und eingesetzte Technik

Die Messungen werden aus einem Pkw heraus durchgeführt. Sie erfolgen nachts, i. d. R. nach 22 Uhr (in einer Ausnahme nach 21 Uhr) und bei trockener Straße im ersten Quartal 2019. Die Lufttemperatur beträgt in allen Fällen mindestens 5° C.

Der eingesetzte Pkw verfügt über zwei Scheinwerfer mit Gasentladungslampen (Xenonhochdrucklampen D1s 35W, Lichtstrom laut Hersteller ca. 3.000 lm, ähnlichste Farbtemperatur etwa 4.100 k). Da die Lampen an elektronischen Vorschaltgeräten betrieben sind, ist die Lichtstromabgabe praktisch unabhängig vom Betriebszustand des Fahrzeuges (insbesondere Motordrehzahl, Stehen oder Fahren usw.). Das im Fahrzeug vorhandene Kurvenlicht (lenkwinkelabhängiges Schwenken der Scheinwerfer) sowie das Abbiegelicht (Zuschalten des Nebelscheinwerfers bei Lenkeinschlag und geringer Geschwindigkeit) wird für die Messungen deaktiviert.

Alle Messungen erfolgen mit demselben Fahrzeug und immer bei Abblendlichtverteilung. Die Lichtverteilung entspricht gemäß Typzulassung den ECE-Vorgaben und damit der StVO. Die im Vorfeld der Messungen durchgeführte Sichtprüfung bezüglich Lage und Verlauf der Hell-Dunkel-Grenze in etwa 15 m vor einer Wand stehend, ergab keine Anhaltspunkte für Auffälligkeiten. Eine lichttechnische Beschreibung der tatsächlichen räumlichen Lichtverteilung des genutzten Fahrzeuges ist ohne Ausbau der Scheinwerfer nicht möglich und kann daher im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht geleistet werden.

Die Leuchtdichte ist das lichttechnische Maß für das menschliche Hellempfinden von Licht. Wahrnehmungsmodelle zur Charakterisierung der physiologischen Sichtbarkeit von Objekten basieren auf Leuchtdichten (vgl. Darstellungen im Kapitel 6.2). Daher sind als Eingangsgrößen Leuchtdichten zu erheben. Da es sich bei der Annäherung an Kreisverkehre um komplexe Szenerie mit vielen Objekten handelt, ist eine ortsaufgelöste bildgebende Leuchtdichtemessung unumgänglich.

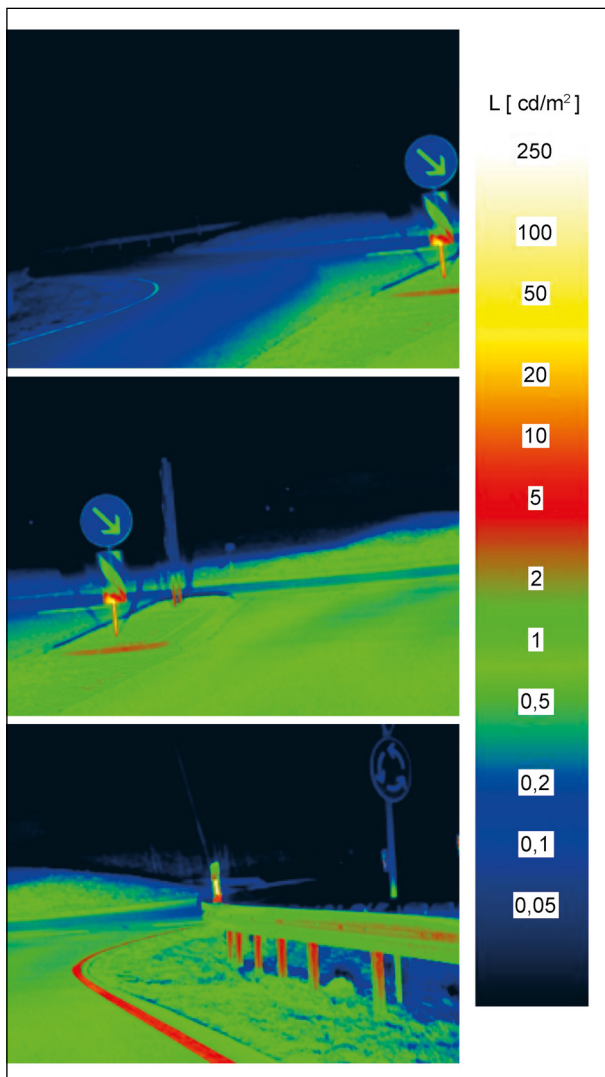


Bild 158: Leuchtdichteaufnahmen für 3 Blickrichtungen an einer Position im Annäherungsverlauf, KV BB_15, Zufahrt 1



Bild 159: Aufnahmeorte im Verlauf, beispielhaft am KV ST_24, Zufahrt 3

Zum Einsatz kommt bei allen Kreisverkehren eine Leuchtdichtemesskamera LMK 5-1 (Fa. Techno-Team Bildverarbeitung GmbH, Ilmenau, Seriennummer TTE4233). Die Güte der Anpassung der spektralen Empfindlichkeit des Gerätes an die genormte menschliche spektrale Hellempfindlichkeitsverteilung $V(\lambda)$ beträgt laut Kalibrierung $f1' \leq 2,8 \%$. Das entspricht den Anforderungen für lichttechnische Messgeräte der Klasse A (Geräte mit hoher Genauigkeit) gemäß DIN 5032-7.

Die Leuchtdichtemesskamera wird auf einer horizontal schwenkbaren Befestigung im Fahrzeuginnenraum angebracht. Die Geometrie der Beleuchtung und Beobachtung ist wie nachfolgend beschrieben:

- Scheinwerferhöhe 0,65 m über Straße,
- Scheinwerferabstand 1,35 m (ca. 0,67 m von Fahrzeugmitte),
- Leuchtdichtemessung 1,20 m über Straße und 1,60 m in Fahrzeuglängsrichtung hinter den Scheinwerfern,
- Beobachter um 0,15 m – 0,2 m nach rechts von der Fahrzeugmitte versetzt (je nach aufgenommener Blickrichtung).

Es wird ein Objektiv mit Öffnungswinkel von horizontal 20° und vertikal 15° verwendet. Daher sind in einigen Fällen mehrere Messungen pro Position mit wechselnder Blickrichtung der Kamera, z. B. in Kurven geringerer Radien oder bei kurzen Beobachtungsentfernungen nötig.

Die Messungen erfolgen mit dem Pkw auf der Straße stehend, etwa mittig im rechten Fahrstreifen. Der Stillstand des Fahrzeuges ist für die Untersuchung notwendig, da die Aufnahmen je Position mit mehreren Belichtungszeiten erfolgen müssen, um den für die Messungen notwendigen Dynamikumfang zu ermöglichen. Vor den Messungen an jedem Kreisverkehr wird die Windschutzscheibe außen und innen sowie die Scheinwerfer gereinigt.

Die Messung beginnt jeweils ca. 200 m vor dem Vorwegweiser. Bis etwa 50 m vor den Vorwegweiser erfolgen Messungen in Schritten zu etwa 50 m und ab dem Vorwegweiser etwa alle 25 m. In Bild 159 ist der typische Messverlauf für eine Zufahrt beispielhaft dargestellt.

Daraus ergibt sich ein Gesamtumfang von 10 bis 20 Schritten je nach Gestaltung der Zufahrt, die je nach Linienführung und Sichtverhältnissen in 10 bis 60

Aufnahmen abgebildet werden. Die lichttechnischen Messungen werden zu Zeitpunkten durchgeführt, an denen sich kein weiteres Fahrzeug im Sichtbereich oder lichttechnischen Einwirkungsreich der aufgenommenen Szenerie befand.

6.2 Sichtbarkeitskalkulation und Auswertung

Zur Beschreibung der Wahrnehmung ist es erforderlich, die in einer jeweiligen Szenerie sichtbaren Elemente zu beschreiben. Der physikalische Aufnahmeumfang der Leuchtdichtemessung ist hinsichtlich Gesamtumfang sowie auch relativen Unterschieden größer als die menschliche Wahrnehmung. Zur Abgrenzung in sichtbar vs. nicht sichtbar wird daher ein Kontrastwahrnehmungsmodell genutzt, wie es beispielsweise im Rahmen von lichttechnischen Begutachtungen bei Dunkelheitsunfällen verwendet wird (CARRARO, 2009; ECKERT, 1993; ADRIAN, 1989).

Das Modell basiert auf umfangreichen Experimenten, in denen für gleichmäßig helle Objekte in relativ gleichmäßigem Umfeld das minimale Hellunterscheidungsvermögen von Personen bei kleinschrittig variierenden Helligkeitsbedingungen (Objekt und Hintergrund) bestimmt wurde (Bestimmung von Schwellenkontrasten). Es kann damit Aussagen bezüglich der Wahrnehmung konkreter Objektkanten oder kleinflächiger, relativ homogener Objekte bezüglich deren Umfeld begründen. Für die wahrnehmungsorientierte Bewertung gradueller Helligkeitsverhältnisse und Helligkeitsverläufe größerer Flächen (z. B. Straßenoberfläche im beleuchteten Verlauf vor dem Fahrzeug) existiert in der Literatur kein Modell. Die Wahrnehmbarkeitsbewertungen erfolgen daher objekt- und kantenbezogen, was unter der anstehenden Fragestellung als ausreichend bewertet werden kann.

Die notwendigen Eingangsgrößen für die Sichtbarkeitsberechnung sind:

- Größe des Objektes bzw. der relevanten Teilkante,
- Helligkeit (mLeuchtdichte) von Objekt und Hintergrund sowie
- Helligkeitsadaptationszustand der Beobachtenden (Adaptationsleuchtdichte).

Da in den aufgenommenen Annäherungsverläufen viele Objekte enthalten sind und von vornherein

nicht klar ist, welches die wahrnehmungsrelevanten Bestandteile sind, wird das Wahrnehmungsmodell auf die gesamte Szenerie angewendet.

Die Adaptationsleuchtdichte wird gemäß einschlägiger Literatur (ECKERT, 1993; CARRARO, 2009) bestimmt als Mittelwert der großflächigen Hintergrundleuchtdichte in einem Feld mit radialem Öffnungswinkel von etwa 10° .

Bezüglich der Objektgröße muss eine entsprechend abstrakte Mindestgröße angenommen werden. Sie geht als Sehwinkel in die Kalkulation ein, das heißt als derjenige Öffnungswinkel, der von den Objektkanten bezogen auf die Beobachtenden aufgespannt wird. Das physiologisch minimale Auflösungsvermögen wird etwa durch die Sehschärfe abgebildet. Der für die Teilnahme im Straßenverkehr als Kraftfahrzeuglenkender regelmäßig benötigte Visus (DIN 58220-6) beträgt $V = 0,7$. Das entspricht einer Auflösung als Sehwinkel von $\alpha = 1,43'$ ($0,024^\circ$). Diese Leistung wird von menschlichen Beobachtern jedoch nur bei optimalen Verhältnissen (Laborprüfung, z. B. beim Augenarzt, hohe Helligkeiten, statische Darbietung) erreicht. Aufgrund der Dynamik und Dunkelheit muss ein geringeres Auflösungsvermögen angesetzt werden (GEBHARDT, GREIN, NITSCHKE, 2009).

Hierzu bietet die Literatur wie nachfolgend beschrieben Anhaltspunkte. DIN 1450 beschreibt die Lesbarkeit von Schriftzeichen, in Kombination mit DIN 1451 auch für die Schriftzeichen im Straßenverkehr (Verkehrsschrift DIN 1451-2). Als minimaler Sehwinkel für Signalisationstext kann demnach $\alpha = 9'$ ($0,15^\circ$) angesetzt werden. Signalisationstext entspricht als bekannter Inhalt, bei klarem Kontrast und reinem Wiedererkennen gut der Anforderung, die bezüglich der Wahrnehmung von den Verkehrsteilnehmenden prinzipiell bekannten Objekten wie Verkehrszeichen usw. verlangt wird. Dieser Sehwinkel wird als entsprechende Eingangsgröße für die Bestimmung der Schwellenkontraste genutzt.

Das Vorgehen der Berechnungen umfasst:

- Bestimmung der Adaptationsleuchtdichte aus jeder Aufnahme;
- Berechnung des Schwellenkontrastes (Mindestleuchtdichtedifferenz Objekt-Umfeld) für ein Objekt mit Sehwinkel $\alpha = 9'$;
- Bestimmung der tatsächlichen Leuchtdichteunterschiede jedes wahrnehmungsrelevanten Punktes der Aufnahme (Array entsprechend

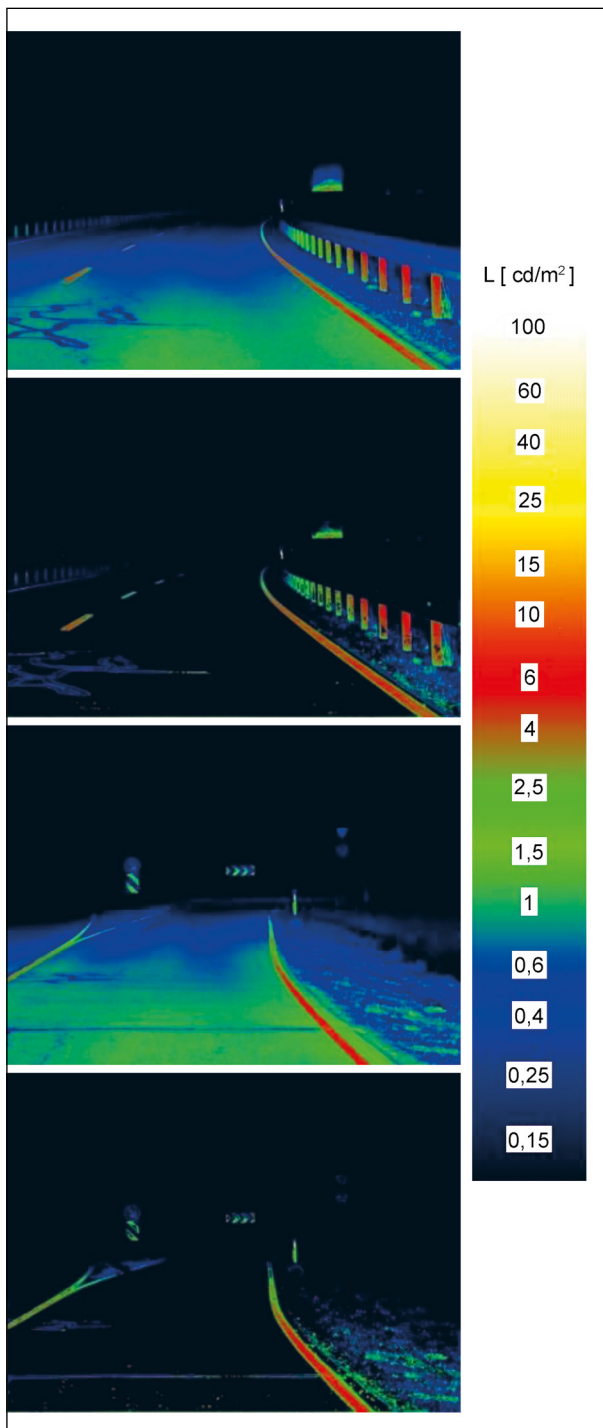


Bild 160: Leuchtdichte- und Kontrastwahrnehmungsaufnahmen für 2 Positionen im Annäherungsverlauf, KV ST_24, Zufahrt 3; obere: Position 275 m bis zum Kreisverkehr; untere: Position 55 m bis zum Kreisverkehr; jeweils obere: Aufnahmen im Original (physikalischer Abbildungsumfang); jeweils untere: nur sichtbare Kanten gemäß Kontrastwahrnehmungsmodell

Sehwinkel $\alpha = 4'$, bestehend aus mehreren Pixeln, da Aufnahme mit deutlich höherer Auflösung als menschliches Auflösungsvermögen) zum jeweiligen Umfeld;

- Vergleich der gemessenen Leuchtdichteunterschiede jedes wahrnehmungsrelevanten Punktes mit dem für diese Messung bestimmten Schwellenkontrast und Eliminierung der Bereiche, die geringere als für die Wahrnehmung notwendige Kontraste aufweisen;
- Abspeicherung dieses hinsichtlich Kontrastwahrnehmbarkeit qualifizierten Messbildes zwecks weiterer Auswertung.

Die so erzeugten Darstellungen aller Positionen aller Annäherungsverläufe enthalten somit alle Kanten und kleinen Objekte, die mindestens den für eine Wahrnehmung in der jeweiligen Situation mit hoher Wahrscheinlichkeit physiologisch notwendigen Kontrast aufweisen.

Dennoch ist aufgrund fehlender licht- und messtechnischer Erkenntnisse in der Literatur nicht völlig eindeutig, ob Objekte mit ihren inneren Merkmalen tatsächlich als solche erkennbar sind (semantischer Aspekt) oder lediglich als abstrakt-helles Objekt sichtbar sind. Insbesondere bei der Bewertung der Erkennbarkeit von Verkehrszeichen mit Piktogrammen oder reinen Kombinationen unterschiedlich farbiger Flächen (z. B. Abweispfeil) ist diese Unsicherheit gegeben.

Basierend auf den erzeugten sichtbewerteten Aufnahmen erfolgen weitere Auswertungen. Vorüberlegungen und die Befahrungen der Kreisverkehre ergeben die in Tabelle 43 erläuterten Objekte, die im Annäherungsverlauf an den außerörtlichen Kreisverkehr nahezu immer vorhanden sind und den Verkehrsteilnehmenden eine Information über das Vorhandensein eines Knotenpunktes, die spezielle Knotenpunktform (Kreisverkehr) sowie die individuelle Gestaltung liefern können und somit für Befahrbarkeit und Begreifbarkeit der Anlage hilfreich beziehungsweise nötig sind.

Alle hinsichtlich Kontrastwahrnehmbarkeit qualifizierten Messbilder werden bezüglich der in Tabelle 43 aufgeführten Merkmale bewertet mit den möglichen Ergebnissen:

- (noch) nicht sichtbar,
- sichtbar oder
- geometrisch in der Aufnahme nicht enthalten bzw. bereits im Annäherungsverlauf zurückliegend.

Merkmal	Definition
VWW ₁	Vorwegweiser (VZ 438), abstrakt d. h. äußerer Kontrast, große gelb retroreflektierende Fläche
VWW ₂	Vorwegweiser (VZ 438), Kreispiktogramm erkennbar; damit häufig auch große Teile der Schrift lesbar, wobei dieser Aspekt nicht quantifiziert wurde
VZ 298	Sperrflächenaufweitung der Mittelmarkierung; erkennbar gewertet ab zusammenhängender Sichtbarkeit als näherungsweise Dreiecksform
Bord _{FBT}	Bordkante Fahrbahnteiler; erkennbar gewertet, wenn mindestens die vordere Kante näherungsweise zusammenhängend sichtbar
VZ 222	Verkehrszeichen auf Fahrbahnteiler (VZ 222-20 und VZ 626-20); erkennbar gewertet, wenn die Gestalt entweder der Schraffur (VZ 626) oder des Pfeils (VZ 222) in ihren Kanten als sichtbar ausgewiesen wird
VZ 215	Verkehrszeichen Vorfahrt gewähren und Kreisverkehr (VZ 205 und VZ 215); erkennbar gewertet, wenn entweder VZ 205 als Dreiecksform oder VZ 215 in mindestens einem Pfeil sichtbare Kanten aufweisen
VZ 295	Randmarkierung rechts in den Kreis wegnickend; erkennbar gewertet, sobald der mit kleinem Radius wegnickende Teil der Randmarkierung als sichtbar ausgewiesen
B 1,5/1,5	Unterbrochene Markierung Kreis; als erkennbar gewertet, sobald mindestens eine Längskante (1,5 m Länge) nahezu unterbrechungsfrei mit sichtbarem Kontrast ausgewiesen
Insel	Kreisinsel als solche (Bordkante oder Inneres als eindeutig runde Struktur); als erkennbar gewertet, wenn die Bordkante oder ähnliche Strukturen (z. B. Pflasterungen) in großen Teilen (Größenordnung etwa ab 3m) bis auf kleine Lücken zusammenhängend sichtbar sind
VZ 625	Abweistafel im Kreisinneren (VZ 625-21); als erkennbar gewertet, sobald die Gestalt mindestens einer Kombination aus hell-dunkler Schraffur als sichtbare Kanten ausgewiesen

Tab. 43: Kreisverkehrsmerkmale der lichttechnischen Untersuchung

6.3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Ergebnis bilden wegaufgelöste Sichtbarkeitsverläufe der in Tabelle 43 benannten Objekte für alle Zufahrten aller neun untersuchten Kreisverkehre unter nächtlichen Bedingungen. Als Entfernung wird die Wegstrecke angegeben, die ein Fahrzeug von der jeweiligen Messposition bis zum Erreichen der Kreiszufahrt (unterbrochene Markierung am Kreis) zurücklegt. Die Werte sind vor dem Hintergrund der erreichbaren Genauigkeit der Positionierung vor Ort (im Dunklen, bei fließendem Verkehr) mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet und daher auf Vielfache von 5 m gerundet.

Die vollständige Ergebnistabelle der Sichtbarkeitsverläufe der oben benannten Objekte für alle Zufahrten aller neun untersuchten Kreisverkehre unter nächtlichen Bedingungen befindet sich im Anhang 17.

In Tabelle 44 sind die erhobenen Ergebnisse zusammengefasst. Dabei zeigt sich die große Bandbreite nächtlicher Sichtverhältnisse an außerörtlichen Kreisverkehren. Weiterhin ist zu erkennen, dass die Verkehrszeichen auf dem Fahrbahnteiler sowie die Abweistafeln auf der Kreisinsel im Mittel die größten Sichtentfernungen aufweisen. Im Vergleich handelt es sich dabei jedoch nicht um für Kreisverkehre charakteristische Merkmale, da die

se Verkehrszeichen sowohl bei anderen Knotenpunktformen als auch darüber hinaus vielfältig im Straßenverkehr mit unterschiedlichen Konsequenzen für das Fahrverhalten vorkommen.

Der sowohl hinsichtlich Knotenpunkt als auch Knotenpunktform explizite Inhalt der Vorwegweiser ist bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h im Mittel etwa 3 Sekunden sichtbar. VZ 205 und VZ 215 erscheinen im Mittel über 100 m vor dem Knotenpunkt im Sichtfeld, in einigen Fällen jedoch auch deutlich später. Die Sichtbarkeit ist stark von der räumlichen Linienführung der Annäherungsstrecke abhängig. Dieser Umstand kann jedoch nicht eindimensional bewertet werden, da Annäherungen in diesen Fällen insgesamt langsamer erfolgen. Eine spätere Sichtbarkeit muss daher zeitbezogen nicht mit einer kritischeren Voraussicht- und Reaktionszeit einhergehen.

Tabelle 44 zeigt auch die Ergebnisse der Gegenüberstellung nach unbeleuchteten und ortsfest beleuchteten Kreisverkehren. Der größte, rein deskriptive Unterschied im Sichtbarkeitsverlauf zwischen diesen beiden Gruppen ist durch die Art der Darstellung in der Tabelle jedoch nicht zu erkennen. Für die beleuchteten Kreisverkehre ist eine im Mittel um etwa 75 m frühere Erkennbarkeit der Vorwegweiser gegeben. Diese ist jedoch vollständig durch die Lage der drei beleuchteten Kreisverkehre zu erklären. Diese befinden sich in Bayern und dort wer-

den Vorwegweiser räumlich weiter entfernt vom Kreisverkehr angeordnet. In der relativen Sichtbarkeitsdauer finden sich keine Unterschiede.

Ebenfalls finden sich keine oder überwiegend geringe Unterschiede in den Sichtbarkeitsentfernungen der meisten untersuchten Merkmale zwischen beleuchteten und unbeleuchteten Kreisverkehren. An den beleuchteten Kreisverkehren ist eine etwas ge-

ringere Sichtbarkeitsdistanz auf die aufragenden Verkehrszeichen zu verzeichnen. Dies kann jedoch kaum mit der Beleuchtung zusammenhängen, sondern bietet eher Anlass, möglicherweise auf besondere bauliche Gegebenheiten an diesen Kreisverkehren hinzuweisen.

Ein deutlicher Zusammenhang zeigt sich jedoch bei der Sichtbarkeit der Mittelinsel. Diese ist bei beleuchteten Kreisverkehren im Mittel um 50 m eher und damit in etwa doppelter Entfernung sichtbar verglichen zu den unbeleuchteten Anlagen.

Dabei zeigt sich hinsichtlich der baulichen Gestaltung der Kreisinsel selbst sowie des Fahrbahnteilers im Mittel eine recht späte und zudem heterogene Sichtbarkeit über die untersuchten Kreisverkehre (vgl. Bild 161).

Bei den Unterschieden in der Sichtbarkeit dieser baulichen Merkmale (Bord FBT und Insel) an unbeleuchteten Kreisverkehren zeigen sich zwei Besonderheiten. An einem Kreisverkehr (SN_13) ist die Insel besonders früh sichtbar. Dies ist in der großflächigen kontrastierenden Gestaltung der Bordkante der Kreisinsel begründet. Diese weist durch Retroreflexion eine entsprechende Sichtbarkeit bei Nacht auf (vgl. Bild 162).

An einem anderen Kreisverkehr (ST_18) zeigt sich an der Mehrzahl der Zufahrten eine deutlich frühere Erkennbarkeit der Borde der Fahrbahnteiler. Dort sind auf der Oberseite der Borde retroreflektierende Elemente relativ kleiner Baugröße angeordnet (vgl. Bild 163).

Die Sichtbarkeitsentfernungen der baulichen Elemente (Bord FBT und Insel) unterscheidet sich auch innerhalb der untersuchten Zufahrten an den beleuchteten Kreisverkehren erheblich (siehe BY_17, BY_18 und BY_20 in Bild 161). Hier besteht ein Zusammenhang mit der Beleuchtungsqualität.

	Merkmal gemäß Tabelle 43	Mittelwert	Minimum	Maximum	Anzahl Zufahrten mit Merkmal
		der Streckenlänge (in m), innerhalb der bei VWW ₁ und 2 bzw. ab der das Merkmal (bei allen anderen) sichtbar ist			
unbeleuchtet	VWW ₁	180	40	350	24
	VWW ₂	90	40	150	24
	VZ 298	45	0	95	24
	Bord _{FBT}	55	30	115	24
	VZ 222	200	35	365	24
	VZ 215/205	115	40	260	24
	VZ 295	40	10	70	24
	B 1,5/1,5	30	10	50	24
	Insel	40	10	150	24
	VZ 625	200	100	365	19
beleuchtet	VWW ₁	185	35	265	11
	VWW ₂	60	20	110	11
	VZ 298	30	15	45	7
	Bord _{FBT}	50	35	65	11
	VZ 222	155	45	230	11
	VZ 215/205	115	5	200	11
	VZ 295	15	0	25	5
	B 1,5/1,5	25	15	35	11
	Insel	85	15	195	11

Tab. 44: Ergebnisübersicht lichttechnische Untersuchung der Kreisverkehre

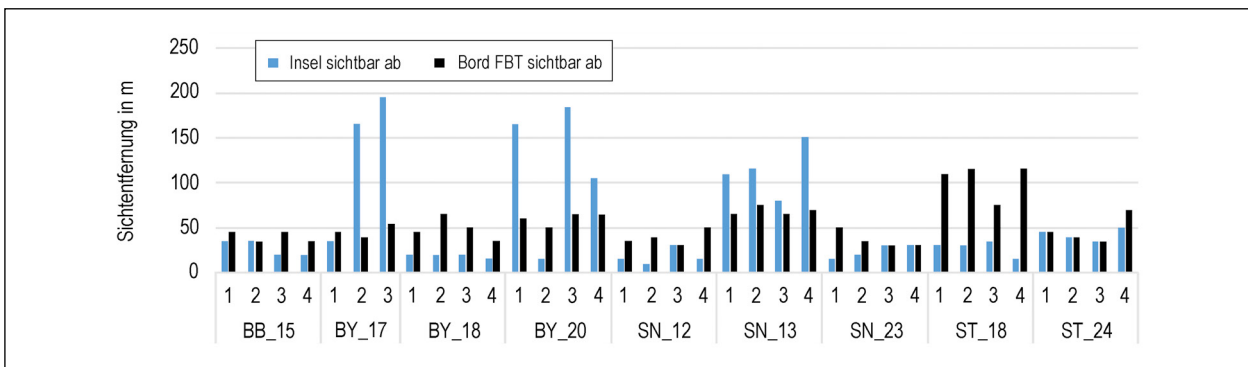


Bild 161: Sichtentfernung baulicher Merkmale der untersuchten Kreisverkehre

Die Qualität der Beleuchtung wird üblicherweise in beleuchtungstechnischen Gütekriterien beschrieben (z. B. Mittelwert und Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke auf der Fahrbahn). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung kann diese jedoch nicht gesondert erhoben werden. Es ist jedoch anhand der Leuchtdichteaufnahmen möglich, die Helligkeit der Kreisfahrbahn aus exemplarischer Fahrersicht auszuwerten.

In den Aufnahmen, die aus einer Entfernung von etwa 50 m vor dem Kreisverkehr erfolgten, wird dazu der Mittelwert der Fahrbahnleuchtdichte des von der jeweiligen Zufahrt in Fahrtrichtung rechts liegenden Teils der Kreisfahrbahn bestimmt. Der gewählte Abstand ist einerseits durch die für die Bewertung der Fahrbahnleuchtdichte von Straßenbeleuchtung typischen Betrachtungsweise begründet (vgl. DIN EN 13201). Vor allem geht es jedoch darum, ein Optimum zwischen möglichst geringer Beeinflussung durch die Kfz-Beleuchtung und möglichst großer Abbildung des fraglichen Bereiches der Straße zu nutzen.

Gemäß Tabelle 45 zeigt sich, dass die so charakterisierte Helligkeit der Kreisfahrbahn in engem Zu-

sammenhang mit der Sichtbarkeit der Kreisinsel steht. Obwohl dies Anlass ist, über die offensichtlich unterschiedliche Beleuchtungsgüte und deren Zusammenhänge mit der Sichtbarkeit nachzudenken, können aus den vorliegenden Daten keine Anhaltspunkte für beleuchtungstechnische Dimensionie-

Kreisverkehr	Zufahrt	Leuchtdichte Kreisfahrbahn	Insel sichtbar ab (in m vor Kreisverkehr)
BY_17	1	0,20 cd/m ²	35
	2	0,75 cd/m ²	165
	3	1,00 cd/m ²	195
BY_18	1	0,30 cd/m ²	20
	2	0,30 cd/m ²	20
	3	0,25 cd/m ²	20
	4	0,25 cd/m ²	15
BY_20	1	0,90 cd/m ²	165
	2	0,65 cd/m ²	15
	3	0,75 cd/m ²	185
	4	0,85 cd/m ²	105

Tab. 45: Mittlere Leuchtdichte der Kreisfahrbahn bei beleuchteten Kreisverkehren aus exemplarischer Fahrersicht



Bild 162: Großflächig kontrastierende Gestaltung an einem Kreisverkehr (SN_13)

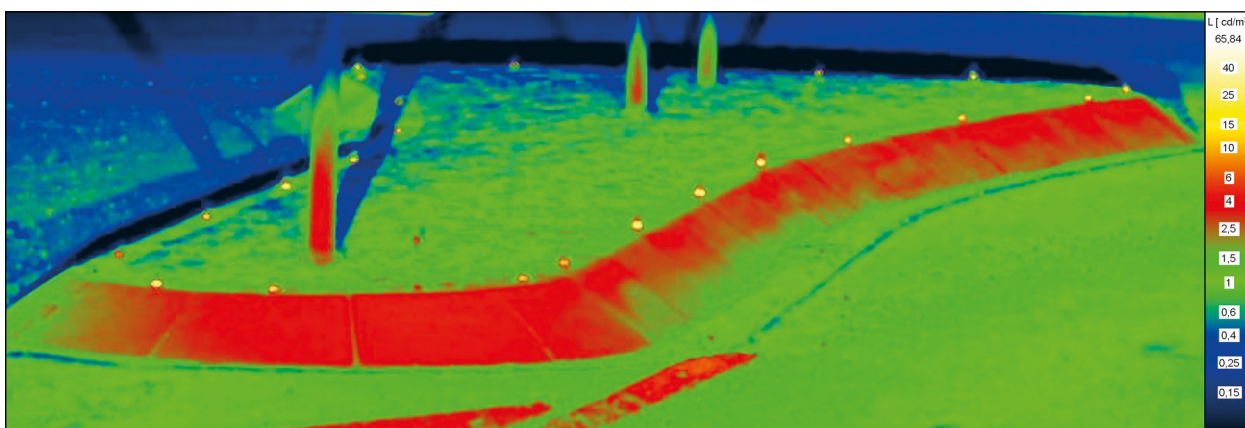


Bild 163: Retroreflektierende Elemente auf dem Fahrbahnteiler an einem Kreisverkehr (ST_18)

rungen abgeleitet werden. Hierzu müsste die tatsächliche Beleuchtungsgüte in zukünftiger Forschung explizit betrachtet werden.

Darüber hinaus sind die Ergebnisse für zwei Zufahrten an den beleuchteten Kreisverkehren auffällig. Die geringe Fahrbahnleuchtdichte und Sichtentfernung der Kreisinsel an Zufahrt 1 von Kreisverkehr BY_17 sind dadurch zu erklären, dass die zugehörige Straßenleuchte an dieser Zufahrt am Untersuchungstag nicht in Betrieb war.

Schließlich besteht an der Zufahrt 2 beim Kreisverkehr BY_20 die besondere Situation, dass dort die bauliche Lage des Fahrbahnteilers aufgrund der räumlichen Linienführung den Blick auf die Insel rein geometrisch erst ab wenigen Metern vor dem Erreichen der Kreisfahrbahn ermöglicht.

Insgesamt zeigt sich, dass gebaute Kanten, die bei Tag eine gute optische Führung bieten, nachts ohne ortsfeste Beleuchtung oder gezielt angebrachte retroreflektierende Elemente praktisch nicht sichtbar sind. Das betrifft sowohl Fahrbahnteiler als auch die Kreisinsel selbst. Damit sind zwei Aspekte verbunden. Sie können nicht zu Erkennbarkeit und Begreifbarkeit beitragen und stellen darüber hinaus selbst relevante Hindernisse dar, die erst sehr spät erkennbar sind.

Aus letzterem Befund, der auch in den Voruntersuchungen bereits erstmals vermutet wurde, leiten sich Überlegungen zwecks Verbesserungen der Wahrnehmungssituation ab.

6.4 Testanbringung Markierungsnägel

Mit dem Ziel, die baulichen Kanten auch im nächtlichen Annäherungsverlauf nicht ortsfest beleuchteter außerörtlicher Kreisverkehre frühzeitiger sichtbar zu gestalten, werden an insgesamt drei Kreisverkehren ohne Beleuchtung in je einer bzw. zwei Zufahrten (insgesamt fünf Zufahrten) testweise retroreflektierende Markierungsnägel in je zwei Anordnungsvarianten aufgelegt und deren Wirkung photographisch und lichttechnisch dokumentiert (vgl. Spalte „Bemerkungen“ in Tabelle 42).

Bezüglich der generellen Anordnung sowie insbesondere der Anordnungsgestalt können die dabei aufzeigbaren Befunde in vergleichbarer Weise ebenfalls für die Verwendung selbstleuchtender Elemente in ähnlicher Art (z. B. LED-basiert leuchtende Flächen) gelten. Hinsichtlich der tatsächlichen

Verwendung selbstleuchtender Elemente anstatt retroreflektierender Oberflächen sind jedoch in jedem Fall Belange des technischen und wirtschaftlichen Aufwandes, sowie insbesondere des Naturschutzes (Lichtimmission) bei der Abwägung zu berücksichtigen. Diese Aspekte können nachfolgend nicht betrachtet werden.

An den drei weiteren Kreisverkehren ohne ortsfeste Beleuchtung erfolgen keine Testanbringungen. In einem Fall unterblieb dies aufgrund der bereits bestehenden großflächigen rot-weißen Gestaltung der Mittelinsel und in den beiden anderen Fällen, da bereits kleinflächige Reflektoren auf den Kanten von Fahrbahnteilern und Mittelinseln angebracht sind.

Variante 1 der testweisen Anordnung (Bild 164) zeichnet sich durch eine gleichmäßige Verteilung der Elemente auf der Vorderseite des Fahrbahnteil-

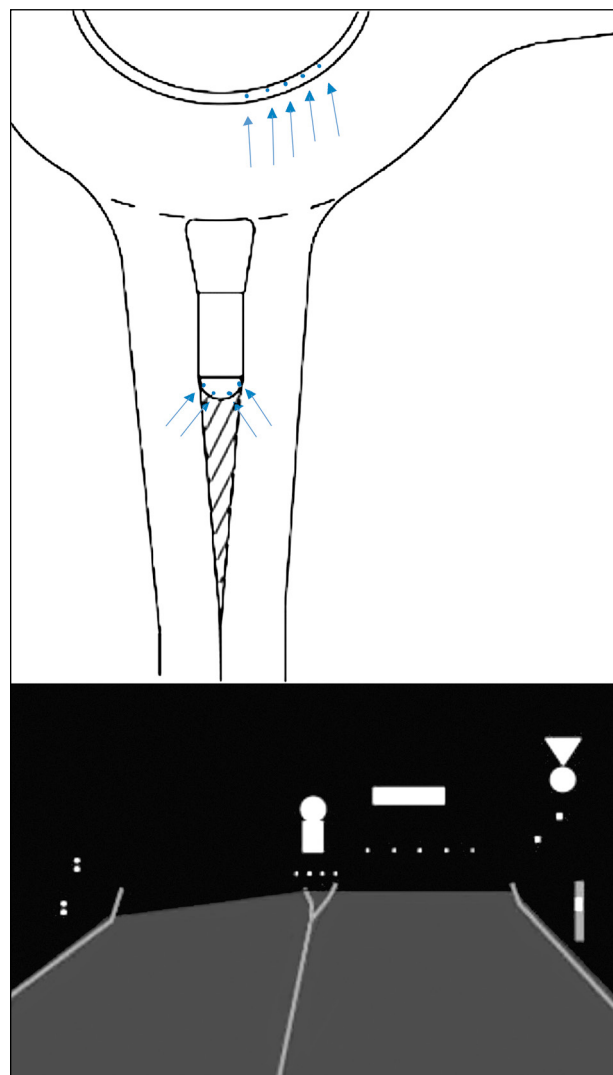


Bild 164: Anbringungsskizze (oben) und beabsichtigtes Wahrnehmungsschema (unten) Markierungsnägel – Variante 1

lers sowie der Kante des Innenringes aus. Variante 2 (vgl. Bild 165) versucht insbesondere die kreisförmige Gestalt der Kreisinsel durch nach rechts abnehmenden Abstand der Elemente hervorzuheben.

Bei den verwendeten Markierungsnägeln handelt es sich um handelsübliche Produkte. Es sind weiße Kunststoffobjekte mit den Maßen (L x B x H): 105 x 105 x 20 mm und weißen Reflexstreifen mit den Abmessungen von 55 x 20 mm (L x B). Die verwendeten Markierungsnägel sind in Bild 166 dargestellt.

Im Ergebnis zeigt sich, dass durch die Markierungsnägel, die als Elemente mit relativ geringem Aufwand angebracht werden können, die Erkennbarkeit und Begreifbarkeit wesentlicher Teile der Knotenpunkte verbessert werden können (vgl. Bild 167).

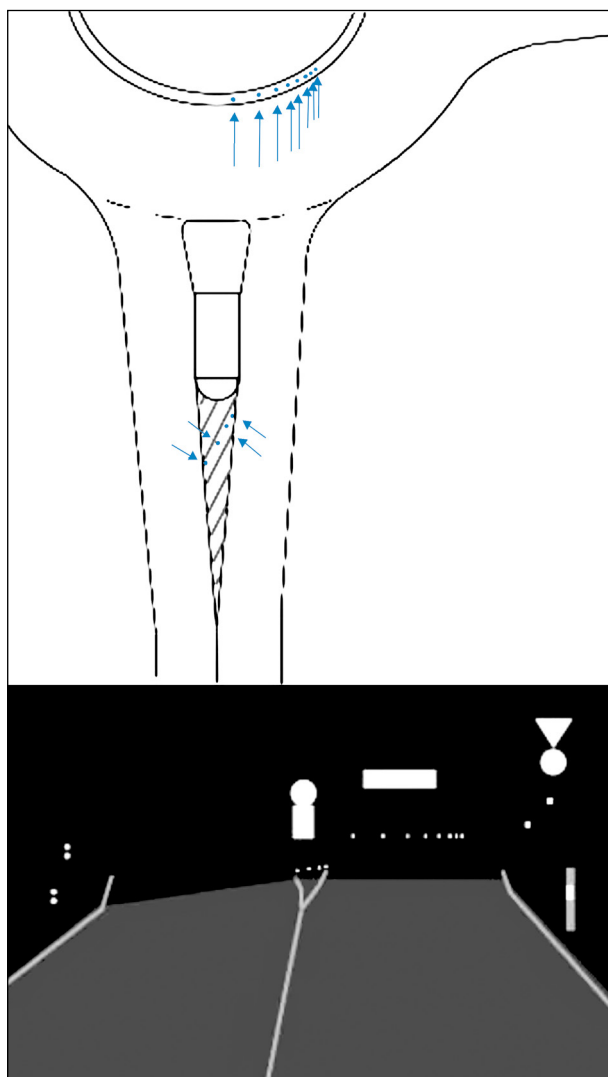


Bild 165: Anbringungsskizze (oben) und beabsichtigtes Wahrnehmungsschema (unten) Markierungsnägel – Variante 2

Die Erkennbarkeitsdistanz sowohl des Fahrbahnteilers als auch des Innenkreises erhöht sich in allen Fällen erheblich, wobei die erzielbare Wirkung von der räumlichen Linienführung beeinflusst wird. Dies zeigt beispielsweise der Vergleich der erzielten Wirkung zwischen räumlich bewegter Zufahrt 1 am Kreisverkehr BB_15 und der gestreckten Zufahrt 3 an demselben Kreisverkehr (vgl. Tabelle 46).

Im Wirkungsvergleich zeigen sich keine Unterschiede zwischen Variante 1 und 2 hinsichtlich der Sichtbarkeit des Innenkreises, während bei zwei der fünf Zufahrten der Fahrbahnteiler mit Anbringungsvariante 1 eher sichtbar wird. Dies ist



Bild 166: Verwendete Markierungsnägel

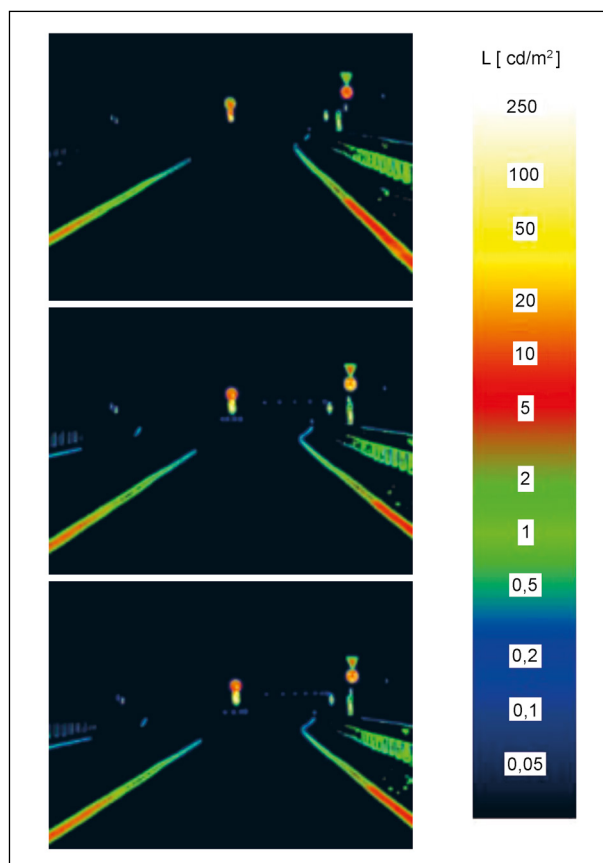


Bild 167: Wahrnehmungssituation am Kreisverkehr KV BB_15, Zufahrt 3 ohne zusätzliche Sichtelemente (oben) sowie in den Varianten 1 (mitte) und Variante 2 (unten)

zweifelsfrei auf den Unterschied der Anbringungshöhe der Markierungsnägel zurückzuführen. Diese sind bei Variante 1 auf dem Bord des Fahrbahnteilers und bei Variante 2 auf der Straßenoberfläche aufgelegt. Im Zusammenwirken von räumlicher Linienführung und relativ geringer Anbringhöhe der Kfz-Scheinwerfer von 0,65 m über der Fahrbahn gelangt das Licht bereits aus größerer Entfernung auf höher gelegene Flächen, während Elemente auf der Straßenoberfläche, die zudem aus Gründen des Betriebs (Winterdienst usw.) als ungünstiger zu bewerten sind, erst bei geringerer Distanz beleuchtet werden.

Im Kontext der untersuchten Gestaltungsvarianten erscheint somit eine Gestaltung am besten, die aus Markierungselementen auf der Kante des Fahr-

bahnteilers besteht. Dies kann in ähnlicher Weise auch für hier nicht untersuchte selbstleuchtende Elemente (z. B. LED-basierte Markierungselemente) gelten. Die Anordnung besteht dabei aus gleichmäßig angebrachten 4 bis 5 Elementen auf dem Fahrbahnteiler und 8 bis 10 Elementen mit nach rechts abnehmendem Abstand zur Verdeutlichung der Kreisform auf der Kreisinnenkante (wie Variante 2).

Da damit eine Gestaltung gewählt wird, die ein für Kreisverkehre als Knotenpunktform spezifisches Wahrnehmungsmuster darstellt (z. B. rechtsweisend abnehmender Abstand der Elemente), können durch entsprechende Lerneffekte Wahrnehmungs- und Reaktionsweisen längerfristig noch erheblich unterstützt und damit sicherheitsbezogen optimiert werden (SCHLAG, u. a. 2017).

KV	Zufahrt	zusätzliche Markierungsnägel	Fahrbahnteiler sichtbar ab	Innenkreis sichtbar ab
BB_15	1	ohne	45 m	35 m
		Variante 1	65 m	50 m
		Variante 2	65 m	50 m
BB_15	3	ohne	45 m	20 m
		Variante 1	165 m	165 m
		Variante 2	165 m	165 m
SN_12	4	ohne	50 m	15 m
		Variante 1	145 m	145 m
		Variante 2	120 m	145 m
SN_23	2	ohne	35 m	20 m
		Variante 1	115 m	35 m
		Variante 2	115 m	35 m
	4	ohne	30 m	30 m
		Variante 1	85 m	50 m
		Variante 2	65 m	50 m

Tab. 46: Ergebnisse der Sichtbarkeit für die Testanbringung der Markierungsnägel

6.5 Zusammenfassung

Ziel der lichttechnischen Untersuchungen war es, die Sichtbarkeit ausgewählter Ausstattungs- und Gestaltungselemente vor sowie an außerörtlichen Kreisverkehren im Annäherungsverlauf bei Nacht aufzuzeigen.

Hierzu erfolgten aus einem Pkw heraus ortsaufgelöste Leuchtdichtemessungen an 35 Zufahrten (9 Kreisverkehre). Bei den untersuchten Kreisverkehren handelte es sich um sechs ohne und drei mit ortsfester Beleuchtung. Die Aufnahmen wurden unter Nutzung eines Kontrastwahrnehmungsmodells auf sichtbare Elemente reduziert. Darauf basierend konnten die Streckenanteile identifiziert werden, in denen die jeweiligen Elemente sichtbar sind.

Im Ergebnis zeigt sich eine erhebliche Bandbreite der Sichtbarkeit aller untersuchten Elemente. Die räumliche Linienführung hat darauf einen deutli-



Bild 168: Fotografische Darstellung der Wahrnehmungssituation am Kreisverkehr KV BB_15, Zufahrt 3 mit zusätzlichen Sichtelementen in den Varianten 1 (links) und 2 (rechts)

chen Einfluss. Auftragende Verkehrszeichen weisen die größten Sichtbereiche auf. Deutlich kürzer sind die Sichtdistanzen auf Markierungen und bauliche Merkmale der Kreisverkehre (Borde von Fahrbahnteilern und Mittelinsel). Werden keine besonderen Ausstattungen angebracht wie beispielsweise ortsfeste Beleuchtung oder retroreflektierende Oberflächen, sind diese Elemente für Fahrer im Mittel erst aus relativen Entfernungen von 30 m bis 40 m sichtbar. An beleuchteten Kreisverkehren sind relevante Verkehrszeichen und Gestaltungselemente im Mittel bereits 50 bis 75 m früher erkennbar als an unbeleuchteten Kreisverkehren.

Als eine Möglichkeit zur Erhöhung der Sicht- und Erkennbarkeitsentfernung insbesondere der Borde wurden daher an insgesamt fünf Zufahrten (3 Kreisverkehre) testweise handelsübliche Markierungsnägel in jeweils zwei Anordnungsvarianten aufgelegt. Die lichttechnische Dokumentation und Auswertung zeigt eine deutliche Erhöhung der Sichtbarkeitsdistanzen, wobei die Anbringung auf dem Bord bessere Ergebnisse zeigte als die Anbringung auf Fahrbahnniveau.

7 Zusammenfassung, Synopse und Empfehlungen

7.1 Zusammenfassung

7.1.1 Erkenntnisse der Grundlagenanalyse

Nationale und internationale Untersuchungen zeigen, dass Kreisverkehre im Vergleich zu Einmündungen und Kreuzungen (mit und ohne LSA) ein hohes Sicherheitsniveau aufweisen. Bisherige Analysen des Unfallgeschehens deuten an außerörtlichen Kreisverkehren jedoch auf Probleme der Erkennbarkeit bei der Annäherung an Kreisverkehre hin. Hinweise auf Defizite in der Erkennbarkeit bildet der erhöhte Anteil an Unfällen, die zum Aufprall auf ein Hindernis, z. B. die Kreisinsel führen.

Anhand der Grundlagenanalyse können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Eine kurvige Linienführung der Strecken im Annäherungsbereich führt zu geringeren Annäherungsgeschwindigkeiten und geringerem Unfallgeschehen am Kreisverkehr.
- Fahrzeugführende orientieren sich in der Annäherung und Zufahrt – bezogen auf die Anzahl

der Blicke – eher an Markierungen als an Verkehrszeichen, wobei Verkehrszeichen aber geringfügig höhere Blickverweildauern aufweisen als Markierungen.

- Zum Einfluss der an Kreisverkehren und im Annäherungsbereich üblichen Beschilderung auf das Unfallgeschehen liegen nur Aussagen aus Dänemark und den Vereinigten Staaten vor, wobei das frühzeitige Ankündigen des Kreisverkehrs mittels Verkehrszeichen einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit hat. Aufgrund landespezifischer Regelungen aber auch der örtlichen Randbedingungen (z. B. Entfernung benachbarter Knotenpunkte) können diese Erkenntnisse nur bedingt verallgemeinert werden.
- Kurativ sowie präventiv werden in verschiedenen Ländern Rüttelstreifen, Längsmarkierungen und Blinklichter im Annäherungsbereich von Kreisverkehren angeordnet, welchen eine geschwindigkeitsreduzierende Wirkung nachgewiesen werden konnte.
- Die Erkennbarkeit von Kreisverkehren kann durch eine hohe blickdichte Gestaltung der Kreisinsel verbessert werden. Unter hoher Gestaltung wird dabei eine Kreisinselausführung verstanden, bei der der höchste Punkt der Kreisinsel einschließlich blickdichter Bepflanzung mehr als 2 m über dem Fahrbahnniveau der zuführenden Straßen liegt, jedoch kein starres Hindernis darstellt.
- Unfallbegünstigend auf Fahr- und Auffahrunfälle wirkt eine Kreisverkehrsgestaltung mit geringer Ablenkung der Fahrzeuge, da diese höhere Annäherungs- und Befahrungsgeschwindigkeiten begünstigen, wie Untersuchungen in den Vereinigten Staaten, der Schweiz, Großbritannien und Schweden zeigen.
- Zur Reduktion nächtlicher Fahrunfälle ist der Einsatz von ortsfester Beleuchtung wirksam.

Es hat sich gezeigt, dass Erkennbarkeitsprobleme an Kreisverkehren flächenhaft diskutiert und vereinzelt durch Maßnahmen verbessert werden. So wird in den Vereinigten Staaten und Australien der Einsatz aufgeweiteter Fahrbahnteiler empfohlen, welche eine Kurvenfahrt im Vorfeld des Kreisverkehrs erzeugen. Besonders die Abfolge dreier aufeinanderfolgender Kurven mit kleiner werdenden Radien, vermindert die Zahl von Alleinunfällen.

Blinklichter im Annäherungsbereich des Kreisverkehrs werden in den Vereinigten Staaten und vereinzelt auch in Deutschland eingesetzt.

Zur Erhöhung der Erkennbarkeit bei Dunkelheit werden innovative Lösungen, wie LED-Steine in der Randeinfassung der Kreisinsel oder energiesparende LED auf der Kreisinsel selbst eingesetzt.

7.1.2 Erkenntnisse aus der Unfallanalyse

Die auf Basis der durch das statistische Bundesamt veröffentlichten Unfalldaten sowie der polizeilichen Unfalldaten aus drei Bundesländern vorgenommene Analyse des Unfallgeschehens bestätigt die Erkenntnisse der Grundlagenanalyse. So weisen außerörtliche Kreisverkehre eine deutlich geringere Unfallschwere als außerörtliche Einmündungen und Kreuzungen (mit und ohne LSA) auf. Dabei zeigt sich auch für verkehrszeichengeregelte Einmündungen und Kreuzungen im Außerortsbereich eine höhere Unfallschwere als für signalgeregelte Landstraßenknotenpunkte.

An außerörtlichen Kreisverkehren machen Fahrurfälle, also Unfälle die mit dem Verlust der Kontrolle über ein Fahrzeug in Zusammenhang stehen, mit knapp 40 % den größten Anteil des Unfallgeschehens aus. Die weitere Analyse der Unfallstruktur zeigt, dass die Fahrurfälle im Mittel deutlich schwerere Folgen haben, als die übrigen Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren. Bei einem Großteil der Fahrurfälle kommt es zu einem Abkommen von der Fahrbahn nach links oder rechts, wobei das Abkommen nach links in der Regel das Auffahren auf die Kreisinsel bedeutet.

Die Betrachtung der Unfallzeitpunkte (bezogen auf die Lichtverhältnisse) zeigt, dass Unfälle bei Dämmerung und Dunkelheit an außerörtlichen Kreisverkehren 42 % des Unfallgeschehens ausmachen wo hingegen an außerörtlichen Kreuzungen und Einmündungen ohne LSA dieser Anteil bei 26 % liegt. Die Analyse der Fahrurfälle an außerörtlichen Kreisverkehren zeigt, dass sich knapp 60 % dieser Unfälle bei Dunkelheit ereignen.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurden Detailunfallanalysen für 109 Kreisverkehre durchgeführt, im Rahmen derer das Unfallgeschehen aus (i. d. R.) fünf Jahren den jeweiligen Zufahrten zugeordnet wurde und mittels multivariater statistischer Analyseverfahren überprüft wurde, welche verkehrlichen und gestalterischen Merkmale einen signifikanten

Einfluss auf das gesamte Unfallgeschehen, auf Fahrurfälle bzw. Abkommensunfälle insgesamt sowie bei Dämmerung/Dunkelheit haben. Folgende Ergebnisse lassen sich zusammenfassen:

- Kreisverkehrszufahrten von Straßen der VFS2 gemäß RIN weisen ein höheres Unfallrisiko als Kreisverkehrszufahrten im Zuge von Straßen der VFS3 bzw. 4 auf, wobei die Verbindungsfunktionsstufe (VFS) auch als Stellvertretergröße für verkehrliche und gestalterische Merkmale steht. Allerdings kann in der vorliegenden Untersuchung trotz intensiver Prüfung aller erhobenen Kenngrößen nicht eindeutig geklärt werden, für welche verkehrlichen und gestalterischen Merkmale die Verbindungsfunktionsstufe steht. Die Kurvigkeit im Annäherungsbereich und die Querschnittsgestaltung können ausgeschlossen werden. Ein Zusammenhang mit der angeordneten zulässigen Höchstgeschwindigkeit ist denkbar, konnte aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit und weiterer Randbedingungen (z. B. Wechselwirkungen mit und Entfernung zu benachbarten Knotenpunkt) nicht überprüft werden.
- Abkröpfungen sowie Verschwenkungen im Annäherungsbereich eines Kreisverkehrs kann ein signifikant unfallverringender Einfluss nachgewiesen werden. Die Differenzierung nach Abkröpfung und Verschwenkung zeigt, dass Zufahrten mit Verschwenkungen sowie Abkröpfungen, bei denen der Beginn der Abkröpfung mindestens 100 m vor dem Kreisverkehr liegt (Bezugspunkt der Längenbestimmung ist der Kreismittelpunkt) eine höhere Sicherheit aufweisen, als Zufahrten mit kurzen Abkröpfungen (Beginn weniger als 100 m in Bezug zum Kreismittelpunkt) sowie Zufahrten ohne Abkröpfung.
- Die Untersuchung des Ablenkungswinkels β zeigt auf der einen Seite ein steigendes Unfallrisiko für Fahr- und Abkommensunfälle bei zunehmenden Ablenkungswinkeln und auf der anderen Seite ein steigendes Unfallrisiko für Einbiegen/Kreuzen-Unfällen bei zu geringen Ablenkungswinkeln. Im betrachteten Wertebereich kann somit keine eindeutige Empfehlung zu geeigneten Ablenkungswinkeln β gegeben werden.
- Für Zufahrten mit Fahrbahnteilern in Dreiecksform ist ein signifikant niedrigeres Unfallrisiko als für Zufahrten mit Fahrbahnteilern mit angepas-

ten Rändern (Elefantenfuß) und für diese wiederum ein signifikant niedrigeres Unfallrisiko als für Zufahrten mit Fahrbahnteilern mit parallelen Rändern festzustellen. Diese Erkenntnisse werden auch durch den signifikanten Einfluss der Breite des Fahrbahnteilers (gemessen am äußeren Rand der Kreisfahrbahn) bestätigt, nach denen breitere Fahrbahnteiler zu einem geringeren Unfallrisiko führen. Bei einer an den rechten Fahrbahnrand angepassten Bordführung am Fahrbahnteiler, ergibt sich unter Berücksichtigung der Erkenntnis zur Fahrbahnteilerbreite automatisch eine Dreiecksform und dadurch auch eine angepasste Führung der Zufahrt.

- Weiterhin weisen Zufahrten mit begrünter Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers über alle betrachteten Unfallkollektive ein geringeres Unfallrisiko auf als Fahrbahnteiler mit asphaltierter, betonierter oder gepflasterter Oberfläche. Erklärt werden kann dies durch die bessere Erkennbarkeit des Kreisverkehrs aufgrund des stärkeren Kontrastes zwischen der Oberfläche des Fahrbahnteilers und der Fahrbahn.

7.1.3 Erkenntnisse aus der Untersuchung des Fahrverhaltens

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurden 32 Zufahrten (unfallauffällig und unfallfrei/-unauffällig) an 19 Kreisverkehren für Detailanalysen zum Verhalten der Verkehrsteilnehmenden ausgewählt. Durch Beobachtungen des Geschwindigkeits- und Spurverhaltens im Annäherungsbereich sowie den Kreisverkehrszufahrten bei Tag und bei Nacht sollten unfallbegünstigende und unfallvermeidende Gestaltungsmerkmale erklärt werden. Es lassen sich folgende Ergebnisse festhalten:

- Für die Verbindungsfunktionsstufen (VFS) der verknüpften Straßen gemäß RIN können keine relevanten Unterschiede im Fahrverhalten nachgewiesen werden. Im Untersuchungskollektiv waren Zufahrten der VFS2, 3 und 4 enthalten, wobei in diesem Zusammenhang nur neun Kreisverkehrszufahrten mit der VFS2 analysiert werden konnten, da bei der Auswahl der Erhebungsstellen der Fokus vor allem auf gestalterische Merkmale (z. B. Fahrbahnteilerform, Führung der Zufahrt, Beleuchtung, etc.) gelegt wurde. Es ist zu vermuten, dass an einigen der neun Kreisverkehrszufahrten der VFS2 das Fahrverhalten so stark durch gestalterische Eigenschaften

beeinflusst wird, dass der in der Unfallanalyse für die VFS ermittelte Zusammenhang bei den Fahrverhaltensanalysen nicht bestätigt bzw. erklärt werden kann.

- Bei der Betrachtung von Abkröpfungen im Annäherungsbereich eines Kreisverkehrs wurde nach Zufahrten mit und ohne Abkröpfung sowie nach Zufahrten mit Verschwenkung unterschieden. Für Verschwenkungen kann im Vergleich zu Zufahrten ohne Abkröpfung ein deutlich geringeres Geschwindigkeitsniveau sowohl im Annäherungs- (200 bis 50 m vor dem Kreisverkehr) als auch im Zufahrtsbereich (50 bis 0 m vor dem Kreisverkehr) nachgewiesen werden. Zudem liegen die Geschwindigkeiten am Tag und in der Nacht nah beieinander. Verschwenkungen im Annäherungsbereich eines Kreisverkehrs bewirken somit ein homogenes Fahrverhalten bei gleichzeitig niedrigem Geschwindigkeitsniveau. Für die Zufahrten mit Abkröpfung ist die größte geschwindigkeitsmindernde Wirkung im Annäherungsbereich, bei vergleichsweise hohen Geschwindigkeiten am Beginn des Annäherungsbereichs (200 m vor dem Kreisverkehr) festzustellen. Es wird vermutet, dass dies auf die spätere Erkennbarkeit des Kreisverkehrs zurückzuführen ist, weshalb stärker auf niedrige Einfahrgeschwindigkeiten gebremst wird. Allerdings war im Untersuchungskollektiv nur eine Zufahrt mit einer Abkröpfung enthalten, weshalb dieses Ergebnis nur bedingt verallgemeinerbar ist.
- Für die Untersuchung der Auswirkung der Ablenkung der Fahrzeuge auf das Fahrverhalten wurde der Ablenkungswinkel β verwendet und zwei Gruppen für Zufahrten mit $\beta \leq 80$ gon und Zufahrten mit $\beta > 80$ gon betrachtet. Im Annäherungsbereich (200 bis 50 m vor dem Kreisverkehr) kann kein Zusammenhang zwischen Fahrverhalten und Ablenkungswinkel beobachtet werden, was dadurch erklärt werden kann, dass die Fahrzeugführenden bei der Annäherung an den Kreisverkehr das Maß der Ablenkung noch nicht erkennen können. Im Bereich der Zufahrt (50 bis 0 m vor dem Kreisverkehr) sind an Kreisverkehren mit großen Ablenkungswinkeln ($\beta > 80$ gon) geringfügig niedrigere Geschwindigkeiten festzustellen als an Kreisverkehren mit kleineren Ablenkungswinkeln ($\beta \leq 80$ gon). Im Hinblick auf das Spurverhalten unmittelbar vor dem Kreisverkehr (10 bzw. 0 m) wirkt sich der Ablenkungswinkel insoweit aus, dass bei kleinen Ab-

lenkungswinkeln weiter rechts im Fahrstreifen gefahren wird.

- Im Hinblick auf die Form des Fahrbahnteilers (FBT) wurde das Fahrverhalten an Zufahrten mit FBT mit paralleler Bordführung, FBT mit angepasster Bordführung (Elefantenfuß) und dreieckigen FBT analysiert. Im Annäherungsbereich (200 bis 50 m vor dem Kreisverkehr) hat die Form des FBT kaum Einfluss auf die gefahrenen Geschwindigkeiten. Im Bereich der Zufahrt (50 bis 0 m vor dem Kreisverkehr) unterschieden sich die Geschwindigkeiten ebenfalls nur geringfügig, wobei sich an FBT mit angepasster Bordführung die niedrigsten Geschwindigkeiten ergeben.

Im Rahmen der Analyse des Spurverhaltens zeigt sich, dass die Fahrstreifen im Übergangsbereich zur Kreisfahrbahn an FBT mit paralleler Bordführung systematisch breiter sind als an FBT mit angepasster Bordführung bzw. an dreieckigen FBT. Die Betrachtung des Spurverhaltens zeigt, dass die Verkehrsteilnehmenden bei allen Fahrbahnteilerformen einen ähnlichen Abstand zu rechtem Fahrbahnrand einhalten. Das bedeutet, dass an FBT mit paralleler Bordführung der linke Teil des Fahrstreifens (ca. 35 % der gesamten Fahrstreifenbreite) in der Zufahrt in der Regel nicht befahren wird. Es wird vermutet, dass in Einzelfällen (insbesondere bei Dunkelheit) aufgrund der großen Fahrstreifenbreite bei FBT mit paralleler Bordführung und der dadurch schlechteren optischen Führung eine Orientierung am linken Fahrstreifenrand (Fahrbahnteiler) zu kritischen Situationen führen kann und ein zu spätes Begreifen der Verkehrsführung begünstigt. Dies kann eine Erklärung für das in der Unfallanalyse beobachtete geringere Sicherheitsniveau der FBT mit paralleler Bordführung sein.

- Bei der Analyse des Fahrverhaltens in Abhängigkeit von der Breite des Fahrbahnteilers kann im Annäherungsbereich kein Einfluss auf das Geschwindigkeitsverhalten festgestellt werden. Im Bereich der Zufahrt (< 10 m vor dem Kreisverkehr) wird bei breiten Fahrbahnteilern schneller gefahren als bei schmalen Fahrbahnteilern. Das kann am Tag und in der Nacht nachgewiesen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei dieser Analyse ausschließlich FBT mit angepasster Bordführung betrachtet wurden. Grundsätzlich bewirken breite Fahrbahnteiler somit

eine höhere Einfahrtsgeschwindigkeit in den Kreisverkehr. Umgekehrt Bremsen Fahrzeugführende in der Zufahrt vor einem Kreisverkehr mit einem schmalen Fahrbahnteiler stärker, um gleich danach mit der Geschwindigkeit auf die gebremst wurde im Kreisverkehr weiter zu fahren. Ob höhere Geschwindigkeiten in diesem Zusammenhang für eine bessere Einschätzung der Verkehrsführung stehen und damit positiv beurteilt werden können oder ausschließlich aus der Fahrdynamik resultieren kann nicht geklärt werden. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Unfallanalyse in der breiteren Fahrbahnteilern ein signifikant höheres Sicherheitsniveau nachgewiesen werden konnte, wird tendenziell die These gestützt, dass höhere Geschwindigkeiten auf eine bessere Einschätzung der Verkehrsführung hindeuten.

- Bei der Betrachtung der Gestaltung der Zufahrt wurde nach radialer oder angepasster Führung unterschieden. Grundsätzlich können vergleichbare Erkenntnisse zum Fahrverhalten wie bei der Analyse der Fahrbahnteilerform beobachtet werden, da beide Sachverhalte eng zusammenhängen. So führen i. d. R. FBT mit paralleler Bordführung und schmale FBT mit angepasster Bordführung zu einer radialen Führung der Zufahrt und breite FBT mit angepasster Bordführung sowie dreieckige FBT zu einer angepassten Führung. Der Vergleich radialer und angepasster Zufahrtsgestaltungen ergibt, dass radiale Zufahrten langsamer befahren werden als angepasst geführte Zufahrten. Allerdings wird trotz der höheren Annäherungsgeschwindigkeiten bei angepasster Führung einer Zufahrt am Beginn des Fahrbahnteilers sowohl bei Tag als auch bei Nacht das gleiche Geschwindigkeitsniveau wie bei radialer Führung erreicht. Es wird vermutet, dass der den Geschwindigkeitsabbau in der Zufahrt begünstigende Einfluss der angepassten Führung (insbesondere bei Nacht) eine Erklärung für das in der Unfallanalyse beobachtete höhere Sicherheitsniveau dieser Führungsform bilden kann.
- Die ortsfeste Beleuchtung eines Kreisverkehrs außerhalb geschlossener Ortschaften ist eine gute Möglichkeit, um auf größere Entfernung die Erkennbarkeit des Kreisverkehrs zu erhöhen. Es ist nachweisbar, dass sich die Beleuchtung auf den Bereich der Annäherung (200 bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 bis 0 m vor KV) auswirkt. Im Annäherungsbereich fahren die Fahr-

zeugführenden bei Dunkelheit langsamer auf beleuchtete Kreisverkehre zu als in der Vergleichsgruppe (ohne Beleuchtung). In der Zufahrt (50 m vor KV) sind die Geschwindigkeiten bei Dunkelheit an beleuchteten Kreisverkehren geringfügig niedriger als an unbeleuchteten. In einem Abstand von 10 m und weniger vor dem Kreisverkehr fahren die Fahrzeugführenden bei Dunkelheit an Kreisverkehren mit und ohne Beleuchtung nahezu gleich.

An einem Kreisverkehr konnte ein Mit-/Ohne-Fallvergleich durchgeführt werden. Durch zwei zeitlich versetzte Messungen mit und ohne Beleuchtung an dem Kreisverkehr wurde der Einfluss der Beleuchtung untersucht. Das Fahrverhalten am Tag ist bei beiden Gruppen nahezu gleich. In der Nacht sind durch die Beleuchtung in der Annäherung ($d = 200$ m bis $d = 50$ m vor KV) große Geschwindigkeitsreduktionen zu verzeichnen. Die frühzeitige Geschwindigkeitsanpassung belegt die erkennbarkeitserhöhende Wirkung einer ortsfesten Beleuchtung an einem Kreisverkehr.

- Die Auswertung des Fahrverhaltens nach unfallbelasteten und unfallunauffälligen Kreisverkehrszufahrten ergibt, dass an unfallbelasteten Kreisverkehren in der Annäherung (200 bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 bis 0 m vor KV) langsamer gefahren wird als an unfallunauffälligen Kreisverkehren. Dieses Ergebnis stützt die in Zusammenhang mit der Breite der Fahrbahnteiler und der Führung der Zufahrt bei den Fahrverhaltensanalyse angeführten These, dass höhere Geschwindigkeiten nicht unmittelbar auf gefährlichere Verhaltensweisen hindeuten, sondern auch ein Indiz für eine bessere Einschätzung (Erkenn- und Begreifbarkeit) der Verkehrsführung sein können.
- An zwei erhobenen Kreisverkehrszufahrten sind Quermarkierungen als Rüttelstreifen vorhanden. Die geschwindigkeitsmindernde Wirkung von Rüttelstreifen vor einem Kreisverkehr kann beim Vergleich mit den anderen untersuchten Kreisverkehrszufahrten (ohne Rüttelstreifen) nicht belegt werden. Allerdings konnte kein Vorher-/Nachher-Vergleich an ein und demselben Kreisverkehr durchgeführt werden, welcher ggf. eine geschwindigkeitsmindernde Wirkung der Rüttelstreifen gezeigt hätte. Wegen der höheren Lärmbelastung bei Überfahrten über die Quermarkierungen und der nicht nachweisbaren Wirkung

wird der Einsatz von Rüttelstreifen zumindest im Nahbereich von bebauten Gebieten nicht empfohlen.

- Ein weiterer Sonderfall im Erhebungskollektiv ist eine Kreisverkehrszufahrt mit einem überlangen Fahrbahnteiler (55 m FBT und 120 m Sperrfläche) und nächtlicher Beleuchtung. Dort wird am Tag in der Annäherung (200 bis 100 m vor KV) bis zur Zufahrt (50 bis 0 m vor KV) langsamer gefahren als in der Vergleichsgruppe. In der Nacht bewirkt die Beleuchtung eine Reduzierung der Geschwindigkeiten in der Annäherung. Das deckt sich mit den Erkenntnissen zu den beleuchteten Kreisverkehren.

7.1.4 Erkenntnisse aus der lichttechnischen Untersuchung

Ziel der lichttechnischen Untersuchungen war es, die Sichtbarkeit ausgewählter Ausstattungs- und Gestaltungselemente vor sowie an außerörtlichen Kreisverkehren im Annäherungsverlauf bei Nacht aufzuzeigen.

Hierzu erfolgten aus einem Pkw heraus ortsaufgelöste Leuchtdichtemessungen an 35 Zufahrten (9 Kreisverkehre). Bei den untersuchten Kreisverkehren handelt es sich um sechs ohne und drei mit ortsfester Beleuchtung. Die Aufnahmen wurden unter Nutzung eines Kontrastwahrnehmungsmodells auf sichtbare Elemente reduziert. Darauf basierend können die Streckenanteile identifiziert werden, in denen die jeweiligen Elemente sichtbar sind.

Im Ergebnis zeigt sich eine erhebliche Bandbreite der Sichtbarkeit aller untersuchten Elemente. Die räumliche Linienführung hat darauf einen deutlichen Einfluss. Auftragende Verkehrszeichen weisen die größten Sichtbereiche auf. Deutlich kürzer sind die Sichtdistanzen auf Markierungen und bauliche Merkmale der Kreisverkehre (Borde von Fahrbahnteilern und Mittelinseln). Werden keine besonderen Ausstattungen angebracht wie beispielsweise ortsfeste Beleuchtung oder retroreflektierende Oberflächen, sind diese Elemente für Fahrer im Mittel erst aus relativen Entfernungen von 30 bis 40 m sichtbar. An beleuchteten Kreisverkehren sind relevante Verkehrszeichen und Gestaltungselemente im Mittel bereits 50 bis 75 m früher erkennbar als an unbeleuchteten Kreisverkehren.

Als eine Möglichkeit zur Erhöhung der Sicht- und Erkennbarkeitsentfernung insbesondere der Borde

wurden daher an insgesamt fünf Zufahrten (3 Kreisverkehre) testweise handelsübliche Markierungsnägel in jeweils zwei Anordnungsvarianten aufgelegt. Die lichttechnische Dokumentation und Auswertung zeigt eine deutliche Erhöhung der Sichtbarkeitsdistanzen, wobei die Anbringung auf dem Bord bessere Ergebnisse zeigt als die Anbringung auf Fahrbahnniveau.

7.2 Synopse

In der Synopse werden die im vorangegangenen Kapitel für die einzelnen Arbeitsschritte zusammengefassten Ergebnisse tabellarisch verknüpft, um die Zusammenhänge herauszuarbeiten und Empfehlungen abzuleiten. Dabei werden in der Synopse nur die Themen angesprochen, bei denen aus mindestens zwei Arbeitsschritten Erkenntnisse vorliegen – siehe Tabelle 47.

Um auch einen Überblick zu Merkmalen zu geben, die in der Untersuchung berücksichtigt wurden, für die im Rahmen der Unfallanalyse aber keine signifikanten Zusammenhänge ermittelt werden konnten, sind diese nachfolgend aufgeführt:

- Allgemein: Anzahl der Zufahrten, Winkel zur benachbarten Zufahrt, Außen- und Kreisinseldurchmesser, Breite des Kreisrings (ggf. mit/ ohne Innenring), Querneigung der Kreisfahrbahn,
- Merkmale der Annäherungsbereiche: Querschnitt, Kurvigkeit, Höhenplanelemente, Vorwegweiser, Vorankündigung der Vorfahrtregelung, zulässige Höchstgeschwindigkeit, Verkehrsregelungsart am benachbarten Knotenpunkt,
- Merkmale der Zufahrten: Breite, Einfahrwinkel, Markierungen (Länge der Warnlinie und der Fahrstreifenbegrenzung, Sperrflächen, Wartelinie), Beschilderung an der Wartelinie,
- Merkmale der Fahrbahnteiler: Länge, Beschilderung, Überquerungsmöglichkeit,
- Merkmale der Kreisinsel: Markierung, Einfassung, Oberfläche, Durchsicht sowie Einbauten und Verkehrszeichen (z. B. Richtungstafeln).

Dabei ist das nicht signifikante in Erscheinung treten von Einflussgrößen nicht immer auf eine fehlende Kausalität zurückzuführen, sondern kann in Einzelfällen auch durch eine zu geringe Heterogenität

der Merkmalsausprägungen erklärt werden (z. B. betrug die Querneigung der Kreisfahrbahn bei fast allen Kreisverkehren -2,5 %).

Des Weiteren ist festzuhalten, dass die positiv hervorzuhebende hohe Verkehrssicherheit außerörtlicher Kreisverkehre, die Ableitung signifikanter Einflussfaktoren in der Unfallanalyse aufgrund sehr geringer Unfallzahlen (trotz des betrachteten 5 Jahreszeitraums) erschwert. Schwere Verkehrsunfälle infolge des zu späten Erkennens von Kreisverkehren treten sehr selten auf was die mittlere Unfallrate für Fahrunfälle mit Personenschaden von im Mittel $0,04 \text{ U(P)}/(10^6 \cdot \text{Kfz})$ belegt. Dabei machen die Fahrunfälle über alle Unfalltypen gesehen noch den größten Anteil der Unfallrate für Personenschadensunfälle aus. Ohne die Berücksichtigung der Sachschadensunfälle wären statistische Analysen des Unfallgeschehens kaum möglich gewesen.

Die in Tabelle 47 gegenübergestellten Erkenntnisse zeigen beim Vergleich mit dem aktuellem Entwurfsstandard für außerörtliche Kreisverkehre (gemäß FGSV, 2006), dass vor allem im Hinblick auf die Führung der Zufahrten und die Ausbildung der Fahrbahnteiler Potenziale für ein sicherheitserhöhendes Entwurfsdesign zu sehen sind. Entsprechende Entwurfsempfehlungen werden im Kapitel 7.3 vorgestellt.

Im Hinblick auf die Sicherheitswirkung der Verbindungsfunktionsstufe der verknüpften Straße ist davon auszugehen, dass diese als Stellvertretergröße für verkehrliche und gestalterische Eigenschaften der zuführenden Straßen stehen und Kreisverkehre an Straßen mit hoher Verbindungsfunktionsstufe nicht pauschal als gefährlich(er) angesehen werden können. Bei der weiteren Analyse verkehrlicher und gestalterischer Faktoren, die mit der Verbindungsfunktionsstufe in Zusammenhang stehen können, konnten die Kurvigkeit im Annäherungsbereich und die Querschnittsgestaltung ausgeschlossen werden. Ein Zusammenhang mit der angeordneten zulässigen Höchstgeschwindigkeit ist denkbar, konnte aufgrund der Datenlage und weiterer Randbedingungen (z. B. Wechselwirkungen mit und Entfernung zu benachbarten Knotenpunkt) nicht flächendeckend überprüft werden. Da auch bei Straßen mit hoher Verbindungsfunktionsstufe viele Zufahrten bzw. Kreisverkehre unfallunauffällig sind, soll dieses Ergebnis nicht als Empfehlung für den Verzicht auf Kreisverkehre an Straßen mit hoher Verbindungsfunktionsstufe betrachtet werden. Vielmehr lassen sich Empfehlungen für die Gestaltung der

Thema	Erkenntnisse aus			
	Literatur	Unfallanalyse	Fahrverhalten	Lichttechnische Untersuchung
Sicherheitsniveau	Hohes Sicherheitsniveau für außerörtliche Kreisverkehre (UKR: 10 €/1.000 Kfz)	Hohes Sicherheitsniveau für außerörtliche Kreisverkehre (UKR: 11 €/1.000 Kfz)	An unfallbelasteten Kreisverkehren wird langsamer gefahren als an unfallun auffälligen Kreisverkehren	-
Lage im Netz	Ortsnahe KV haben geringeres Unfallrisiko im Vergleich zu außerörtlichen KV	Sinkendes Unfallrisiko bei geringerer Verbindungsfunktion (UR der VFS 2 > VFS 3 > VFS 4)	Kein Einfluss der VFS nachweisbar	-
Erkennbarkeit	Hoher Anteil Fahrurfälle an Kreisverkehren bei Dunkelheit	Fahrurfälle machen den höchsten Anteil der Unfälle aus und weisen die höchste Unfallschwere auf	Fahrverhalten im Annäherungsbereich (200 bis 50 m) vor KV wird nur bedingt, durch die Gestaltung beeinflusst; Beleuchtung und lange Fahrbahnteiler begünstigen frühzeitige Erkennbarkeit	Bei Dunkelheit sind nicht retroreflektierende Elemente erst aus 30 bis 40 m sichtbar; reflektierende Markierungsnägel auf Bordniveau verbessern die Erkennbarkeit/optische Führung
Gestaltung des Annäherungsbereichs	Hohe Kurvigkeit führt zu geringeren Annäherungsgeschwindigkeiten und geringerem Unfallgeschehen	Kein Einfluss der Kurvigkeit nachweisbar	Späte Erkennbarkeit (Kurvengelage) bewirkt größere Geschwindigkeitsreduktionen im Annäherungsbereich	-
	Aufgeweitete Fahrbahnteiler mit Verschwenkung zur Geschwindigkeitsdämpfung in der Zufahrt	Abkröpfungen und Verschwenkungen in den Zufahrten haben positiven Einfluss auf Verkehrssicherheit; Abkröpfungen > 100 m und Verschwenkungen sind am wirkungsvollsten	Verschwenkungen führen zu geringen Geschwindigkeiten in der Annäherung und homogenen Geschwindigkeitsverhalten bei Tag und bei Nacht	-
Zufahrtsgestaltung	Höheres Unfallrisiko bei radialer Führung als bei angepasster (eher tangentialer) Führung	Kein direkter Einfluss der Führung (Erkenntnisse zu FBT bestätigen aber höheres Sicherheitsniveau bei angepasster Führung)	Höhere Annäherungsgeschwindigkeiten bei angepasster als bei radialer Führung, aber vergleichbare Einfahrgeschwindigkeiten, These: nähräumige Geschwindigkeitsanpassung in der Zufahrt als Indikator für besser Begreifbarkeit durch angepasste (eher tangentialer) Führung	Optische angepasste Führung durch Markierungsköpfe verbessert Erkennbarkeit bei Dunkelheit
Gestaltung des Fahrbahnteilers (FBT)	FBT mit paralleler Bordführung sicherer als FBT mit angepassten Rändern (Untersuchung von KV in Dänemark mit z. T. zweistreifigen Zufahrten – Bild 40)	Dreieckige FBT und FBT mit angepassten Rändern sicherer als FBT mit paralleler Bordführung; Zufahrten mit begrünten FBT sicher als befestigte FBT; Zufahrten mit schmalen FBT (≤ 4 m) haben niedrigeres Sicherheitsniveau als breite FBT (> 4 m – gemessen am Kreisrand)	In der Zufahrt (< 50 m) geringste Geschwindigkeiten bei FBT mit angepassten Rändern, höhere Zufahrtsgeschwindigkeiten bei breiten FBT mit angepassten Rändern als bei schmalen; Spurverhalten bezogen auf rechten Fahrbahnrand ähnlich, bei parallelen FBT wird das linke 1/3 des Fahrstreifens nicht benutzt (ggf.: fehlende optische Führung)	Verbesserung der Erkennbarkeit durch Markierungsköpfe auf Bord des Fahrbahnteilers

Tab. 47: Synopse der Erkenntnisse der einzelnen Arbeitsschritte

Thema	Erkenntnisse aus			
	Literatur	Unfallanalyse	Fahrverhalten	Lichttechnische Untersuchung
Ablenkung der Fahrzeuge	Abnehmendes Unfallrisiko mit zunehmender Ablenkung	Keine eindeutige Wirkung im betrachteten Wertebereich nachweisbar	Geringeres Geschwindigkeitsniveau in der Zufahrt bei größeren Ablenkungswinkeln ($\beta > 80$ gon)	Optische Führung (Ablenkung) durch Markierungsköpfe auf Kreisinselbord (mit nach rechts abnehmenden Abstand der Elemente)
Markierung	Einsatz von Quermarkierung zur Verringerung der Annäherungsgeschwindigkeiten	Nicht überprüfbar aufgrund geringer Fallzahl	Kein Einfluss von Rüttelstreifen (profilierter Quermarkierung) auf Annäherungsgeschwindigkeiten (Überprüfung mit Vergleichsgruppe und nicht durch Vorher-/Nachher-Vergleich)	-
Beleuchtung	Verschiedene Erkenntnisse: mehrheitlich unfallreduzierende Wirkung von Beleuchtung, aufgrund besserer Erkennbarkeit	Nicht überprüfbar aufgrund geringer Fallzahl	Geringere Geschwindigkeiten (im Annäherungsbereich und der Zufahrt) bei Dunkelheit an beleuchteten Kreisverkehren	An beleuchteten KV sind Verkehrszeichen und Gestaltungselemente im Mittel bereits 50 bis 75 m früher erkennbar als an unbeleuchteten Kreisverkehren (wenn Linienführung das zulässt); an unbeleuchteten KV sind relevante Elemente erst 30 bis 40 m vor KV erkennbar

Tab. 47: Fortsetzung

Annäherungsbereiche von Kreisverkehren ableiten, welche bei zu erwartenden hohen Annäherungsgeschwindigkeiten eingesetzt werden können. Die Erkenntnisse zur Gestaltung des Annäherungsbereichs sowie zur Beleuchtung in Tabelle 47 liefern hier Anhaltspunkte und werden im Kapitel 7.3 als entsprechende Empfehlungen aufbereitet.

7.3 Empfehlungen

Nachfolgend werden Gestaltungsempfehlungen für die Praxis für Kreisverkehre außerhalb bebauter Gebiete beschrieben.

Die zuführende Straße soll an Kreisverkehren außerhalb bebauter Gebiete möglichst senkrecht auf die Kreisfahrbahn geführt werden, d. h. die Straßennachsen sollen radial auf den Kreismittelpunkt gerichtet sein. Ist zur Gewährleistung einer möglichst senkrechten Führung der zuführenden Straße auf die Kreisfahrbahn eine Anpassung der Trassierung im Annäherungsbereich erforderlich (z. B. bei spitzen oder stumpfen Kreuzungs-/Einmündungswin-

keln), sind Verschwenkungen gegenüber einfachen Bögen als Trassierungselemente vorzuziehen, da diese eine wirkungsvollere Geschwindigkeitsanpassung im Annäherungsbereich ermöglichen.

Die Anbindung der Zufahrt an die Kreisfahrbahn soll nicht senkrecht, sondern mit einer angepassten Führung erfolgen, was durch eine entsprechende Gestaltung der Fahrbahnteiler und eine Aufweitung der zuführenden Straße ab ca. 50 m vor dem Kreisverkehr erreicht werden kann (vgl. Bild 169). Die Aufweitung ist so zu gestalten, dass der Fahrbahnteiler am Rand der Kreisfahrbahn eine Breite von 4 bis 6 m aufweist (größerer Wert bei größerem Außendurchmesser).

Fahrbahnteiler sollen an Kreisverkehren außerhalb bebauter Gebiete so angeordnet werden, dass ihre Achse möglichst senkrecht zum Rand der Kreisfahrbahn verläuft. Die Ränder des Fahrbahnteilers sollen wegen der besseren Erkennbarkeit und optischen Führung aus einer möglichst gleichförmigen Krümmung der Fahrstreifenführung so entwickelt werden, dass die erforderlichen Breiten (4 bis 6 m)



Bild 169: Kreiszu- und -ausfahrt außerhalb bebauter Gebiete – Luftbild (Bildquelle: www.geoportal-bw.de)

am äußeren Rand der Kreisfahrbahn erreicht werden. Fahrbahnteiler mit angepassten Rändern in dreieckiger Form (Bild 170) aber auch in gestreckter Form (Bild 171) unterstützen das beschriebene Konstruktionsprinzip. Parallel zueinander verlaufende Ränder des Fahrbahnteilers sind außerhalb bebauter Gebiete aufgrund der schlechteren optischen Führung zu vermeiden.

Zur besseren Erkennbarkeit und optischen Führung im Annäherungsbereich bei Dunkelheit ist an unbeleuchteten Kreisverkehren die Anbringung von reflektierenden oder selbstleuchtenden Elementen (Markierungsnägel, Glasmarker, LED-Leuchten) empfehlenswert. Diese sollten sowohl am Beginn des Fahrbahnteilers (ggf. auch im Bereich der Sperrfläche) als auch auf dem der Zufahrt zugewandten Bord des Fahrbahnteilers angeordnet werden.

Weiterhin wird an unbeleuchteten Kreisverkehren zur Verbesserung der Erkennbarkeit bei Dunkelheit der Einbau reflektierender oder selbstleuchtender Elemente (Markierungsnägel, Glasmarker, LED-Leuchten) auf dem Bord der Kreisinsel vor jeder Zufahrt empfohlen, bei deren Anordnung durch nach rechts abnehmenden Abstände die kreisförmige Gestalt der Kreisinsel nachempfunden wird (Bild 172 und Bild 173).



Bild 170: Fahrbahnteiler mit dem Fahrbahnverlauf angepassten Rändern und Querungsstelle in Dreiecksform (Bildquelle: ZEB, 2018)



Bild 171: Fahrbahnteiler mit dem Fahrbahnverlauf angepasster Bordführung (Bildquelle: eigene Aufnahme)



Bild 172: Anbringungsskizze der Markierungsnägel auf dem Bord der Kreisinsel

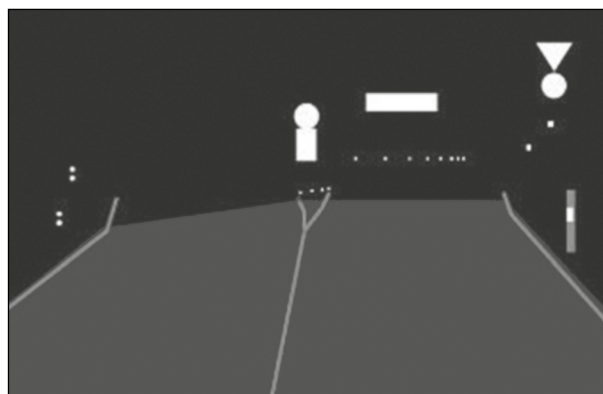


Bild 173: Beabsichtigtes Wahrnehmungsschema der Markierungsnägel auf dem Bord der Kreisinsel

Eine gestreckte Linienführung der Straße im Vorfeld des Kreisverkehrs bedingt häufig hohe Annäherungsgeschwindigkeiten in den Kreisverkehrtzufahrten, welche das Risiko von Fahrnfällen (Auffahren auf die Kreisinsel bzw. Abkommen von der Fahrbahn) am Kreisverkehr insbesondere bei Dunkelheit erhöhen können. Ursächlich ist in vielen Fäl-



Bild 174: Verlängerter aufgeweiteter Fahrbahnteiler mit drei aufeinanderfolgenden Kurven in der Zufahrt (Bildquelle: RICHTIE, 2005)

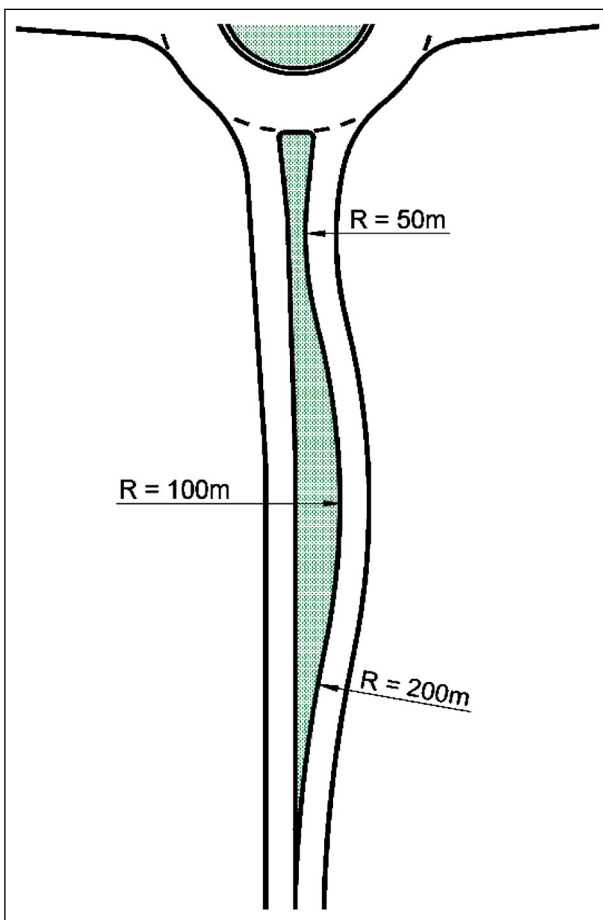


Bild 175: Konstruktionsbeispiel für einen verlängerten aufgeweiteten Fahrbahnteiler mit drei aufeinanderfolgenden Kurven in der Zufahrt

len das zu späte Erkennen des Kreisverkehrs. Folgende Maßnahmen können sowohl präventiv als auch kurativ zur besseren Erkennbarkeit und Vermeidung solcher Unfälle eingesetzt werden:

- Beleuchtung des Kreisverkehrs (Kurativ zur besseren Erkennbarkeit bei Dunkelheit),
- Verschwenkung (Bogen/Gegenbogen) mit relationsgerechten Radien unmittelbar vor dem Kreisverkehr (aufgrund der zu verwendenden Radien ergeben sich dabei Längen $> 100\text{ m}$),
- Abkröpfungen (Bogen) mit einer Länge von über 100 m und relationsgerechten Radien unmittelbar vor dem Kreisverkehr.

Hinsichtlich der Verschwenkung können bei beengten Platzverhältnissen auch verlängerte aufgeweitete Fahrbahnteiler ($L = 100\text{ bis }150\text{ m}$) eingesetzt werden, welche in der Zufahrt drei aufeinanderfolgende Kurven mit Richtungswechsel umfassen und in der Ausfahrt gerade geführt werden (Bild 174 und Bild 175).

8 Fazit und Ausblick

Ziel dieses Forschungsprojekts war es, belastbare Grundlagen für die Erhöhung der Verkehrssicherheit außerörtlicher Kreisverkehre, insbesondere für die Gestaltung der Zufahrten und der Kreisinsel unter Berücksichtigung möglicher Erkennbarkeitsdefizite, bereit zu stellen. Dazu wurden Erkenntnisse im In- und Ausland ausgewertet, Analysen des Unfallgeschehens für außerörtliche Kreisverkehre in Deutschland sowie in ausgewählten Bundesländern vorgenommen und Detailunfallanalysen für 109 Kreisverkehre durchgeführt. Des Weiteren wurden Erhebungen zum Geschwindigkeits- und Fahrverhalten an 32 Kreisverkehrtzufahrten sowie wahrnehmungspsychologische Untersuchungen an 35 ausgewählten Zufahrten durchgeführt. Im Ergebnis der Untersuchung konnten unfallbegünstigende Faktoren ermittelt und gestalterische Empfehlungen gegeben werden, um die Verkehrssicherheit an außerörtlichen Kreisverkehren zu erhöhen. Die Zusammenfassung der Ergebnisse sowie Empfehlungen werden in Kapitel 7 erläutert.

Im Hinblick auf die Untersuchungsmethodik und -ergebnisse sind die nachfolgenden Punkte festzuhalten:

- Die aus der Literaturanalyse erwartete Heterogenität in der Gestaltung außerörtlicher Kreisverkehre konnte im Rahmen der Recherche der Fallbeispiele in den einzelnen Bundesländern bestätigt werden. Insbesondere im Hinblick auf die Führung der Zufahrt und die Gestaltung der Fahrbahnteiler ergeben sich Unterschiede.
- Bei der Auswertung der Lagepläne der einzelnen Beispiele war festzustellen, dass örtliche Gegebenheiten (z. B. Kurven im Annäherungsbereich) die Gestaltung des Annäherungs- und Zufahrtbereiches vergleichsweise stark beeinflussen, was die Erhebung der standardisierten Entwurfparameter (z. B. Einfahrwinkel, Breiten der Zufahrten, Ablenkmaße, Form der Fahrbahnteiler, Radien der Eckausrundungen, Führung der Zufahrt etc.) im Einzelfall erschwert.
- Die Unfallanalysen zeigen, dass außerörtliche Kreisverkehre eine hohe Verkehrssicherheit aufweisen. Die einerseits positiv hervorzuhebende hohe Verkehrssicherheit außerörtlicher Kreisverkehre erschwert andererseits die Ableitung signifikanter Einflussfaktoren in der Unfallanalyse aufgrund der geringen Unfallzahlen. Schwere Verkehrsunfälle infolge des zu späten Erkennens von Kreisverkehren treten sehr selten auf, was die mittlere Unfallrate für Fahrurfälle mit Personenschaden von im Mittel $0,04U(P)/10^6 \cdot \text{Kfz}$ belegt. Dabei machen die Fahrurfälle über alle Unfalltypen gesehen noch den größten Anteil der Unfallrate für Personenschadensunfälle aus. Ohne die Berücksichtigung der Sachschadensunfälle wären statistische Analysen des Unfallgeschehens kaum möglich gewesen. Eine erneute Untersuchung der Verkehrssicherheit außerörtlicher Kreisverkehre allein auf Basis von Unfalldaten kann daher nur eingeschränkt empfohlen werden. Ggf. sollten im methodischen Ansatz zukünftiger Untersuchungen auch alternative Sicherheitsmaße (z. B. Surrogate Safety Measures) Berücksichtigung finden.
- Da ein Schwerpunkt im Unfallgeschehen an außerörtlichen Kreisverkehren Unfälle bei Dunkelheit bilden, könnte der Bezug auf eine entsprechende Expositionsgröße einen weiteren Erkenntnisgewinn bringen. Allerdings stehen aktuell entsprechend zeitlich differenzierte Fahrleistungen kaum zur Verfügung. Hier sollte bei zukünftigen Untersuchungen geprüft werden, ob sich Verbesserungen in der Datenlage ergeben, die eine entsprechende Berücksichtigung ermöglichen. Die Verwendung generalisierter Ganglinien lässt dabei aber kaum Gewinne erwarten, da dann örtliche Besonderheiten im Verkehrsaufkommen und Unfallgeschehen durch die Generalisierung nivelliert werden.
- Auffällig in der Unfallanalyse war weiterhin, dass die Lage der verknüpften Straßen im Netz (Verbindungsfunktionsstufe) maßgeblichen Einfluss auf die Verkehrssicherheit hat, wobei Kreisverkehrszufahrten mit hoher Verbindungsfunktionsstufe nicht pauschal als gefährlich(er) angesehen werden können. Welche Faktoren für diese Auffälligkeit maßgebend sind, konnte nicht abschließend geklärt werden. Es wird vermutet, dass die zulässige Höchstgeschwindigkeit, das Kollektiv der Fahrzeugführenden oder auch höhere Verkehrsbelastungen bei Dunkelheit (abweichende Ganglinien für Straßen verschiedener Verbindungsfunktionsstufen) Erklärungen bieten können. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.
- Weiterhin war festzustellen, dass ein Einfluss der Beschilderung und Gestaltung der Kreisinsel in dieser Untersuchung nicht nachweisbar war, dafür aber ein maßgeblicher Einfluss der Führung der Zufahrten und der Gestaltung der Fahrbahnteiler festgestellt wurde.
- Durch die Auswertungen zum Fahrverhalten konnten zum Teil, die in der Unfallanalyse festgestellten Auffälligkeiten erklärt werden. Bei anderen Auffälligkeiten war die Interpretation schwierig, da vor allem im Hinblick auf die Auswertung der Geschwindigkeiten höhere Annäherungsgeschwindigkeiten (bis 50 m vor dem Kreisverkehr) nicht automatisch als sicherheitskritisch eingestuft werden können, vor allem wenn im Bereich der Zufahrt (50 bis 0 m vor dem Kreisverkehr) die Geschwindigkeiten wieder auf einem Niveau liegen. So kann eine spätere Geschwindigkeitsanpassung auch als Indikator für eine bessere Erkenn-/Begreifbarkeit der Situation stehen, wie die Geschwindigkeitsauswertung für unfallunauffällige und unfallauffällige Zufahrten vermuten lässt.
- Im Rahmen der lichttechnischen Analysen konnte gezeigt werden, dass Maßnahmen, welche die Erkennbarkeit von außerörtlichen Kreisverkehren verbessern, mit vergleichsweise geringem Aufwand implementiert und analysiert werden können. Im Hinblick auf die Auswirkungen

ortsfester Beleuchtungen auf das Unfallgeschehen sowie die Einhaltung der Anforderungen an ortsfeste Beleuchtungen (Beleuchtungsgüte) an außerörtlichen Kreisverkehren besteht weiterer Forschungsbedarf.

- Weiterhin wurde festgestellt, dass das in Deutschland verwendete Kriterium zur Überprüfung der geschwindigkeitsdämpfenden Wirkung des Entwurfsdesigns in Form der Ablenkung nur für geradeausfahrende Fahrzeuge zuverlässig bestimmt werden kann. Auch die in der Schweiz verwendete Methode (Ablenkwinkel β) kann nicht für jede Fahrbeziehung an Kreisverkehren verwendet werden. Potenziale werden hier in der „Fastest Path“-Methode gesehen (vgl. auch Kapitel 2.4), welche aber in weiteren Forschungsarbeiten näher untersucht werden sollte.

Literatur

- ALFERDINCK, J. & PADMOS, P. (1988): Car headlamps: Influence of dirt, age and poor aim on glare and illumination intensities. *Lighting Research and Technology* Vol. 20, Nr. 4, S. 195-198
- ANTOINE, D. (2005): The Safety of Roundabouts and Traffic Lights in Belgium. *Transportation Research E-Circular* Issue Number: E-C083, Brüssel
- ARNDT, O. (2008): Speed Control at Roundabouts- Use of Maximum Entry Path Radii. Atherton: Queensland Department of Main Roads
- ARNDT, O. & TROUTBECK, R. (1998): Relationship Between Roundabout Geometry and Accident Rates. Queensland: Infrastructure Design of the Technology Division of Queensland Department of Main Roads
- Austrroads (2006): Road Planning and Design Manual Chapter 14: Roundabouts. Sydney: Department of Main Roads
- Austrroads (2015): Guide to Road Design Part 4B: Roundabouts. Hrsg. Sydney: Austrroads
- BASSt (2016): www.BASSt.de/DE/Statistik/Unfaelle/volkswirtschaftliche_kosten.pdf [Zugriff am 17. November 2017]
- BMF (2017): www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Europa/uebersicht-euro-umrechnung.pdf [Zugriff am 05.09.2017]
- BMVBW (2000): Richtlinien für die wegweisende Beschilderung außerhalb von Autobahnen. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
- BMVIT (2010): RVS 03.05.14 Plangleiche Knoten – Kreisverkehre. Wien: FSV
- BRABANDER, B. D.; NUYTS, E. & VEREECK, L. (2005): Road safety effects of roundabouts in Flanders. Hasselt: National Safety Council
- BRILON, W. & BÄUMER, H. (2004): Überprüfung von Kreisverkehren mit zweistreifig markierter oder einstreifig markierter, aber zweistreifig befahrbarer Kreisfahrbahn. Bonn: Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Heft 876
- BRILON, W. & DOERFEL, M. (2017): Roundabouts in Germany and Switzerland. Available at: http://teachamerica.com/RAB17/RAB179B_BRILON/index.htm
- BRILON, W. & GEPPERT, A. (2014): Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit an zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren und Turbokreisverkehren. Köln: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Heft 1112
- BRÜDE, U. & LARSSON, J. (2000): What roundabout design provides the highest possible safety? *Nordic Road & Transport Research* Vol. 12, Nr. 2, S. 17-21
- BUD (2013): Projektierungsrichtlinie Kreisell-Geometrische Abmessungen. Liestal: Tiefbauamt Basel-Landschaft
- BÜHLMANN, F. & SPACEK, P. (1997): Unfallgeschehen und Geometrie der Kreisellanlagen. Zürich: Forschungsarbeit Nr. 17/93 des Eidgenössischen Verkehrs- und Energiewirtschafts-departments
- BULLOUGH, J. D. (2014): Ecoluminance: A New Approach to Visual Guidance. *International Journal of Sustainable Transportation* Vol. 8, Nr. 2, S. 127-150

- BULLOUGH, J. D. & SKINNER, N. P. (2012): Vehicle Lighting and Modern Roundabouts: Implications for Pedestrian Safety. SAE International journal of passenger cars/ Mechanical Systems 5(1), S. 195-198
- BURDETT, B. et al. (2016): Analysis of Rear-End Collisions at Roundabout Approaches. Washington, D.C.: Transportation Research Record
- BVU (2014): Projektierung und Ausführung von Kreisverkehrsplätzen. Hrsg. Aarau: Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Tiefbau
- CHRYSLER, S.; BREWER, M. & LINDHEIMER, T. (2017): Strategies for Effective Roundabout Approach Speed Reduction. St. Paul: Minnesota Department of Transportation
- CHURCHILL, T.; STIPDONK, H. & BIJLEVELD, F. (2010): Effects of roundabouts on road casualties in the Netherlands. Leidschendam SWOV
- COSTA, M. et al. (2014): Looking behavior for vertical road signs. Bologna: Transportation Research Part F
- DANIELS, S.; BRIJS, T.; NUYTS, E. & WETS, G. (2011): Extended prediction models for crashes at roundabouts. Safety Science Nr.49, S. 198-207
- DIN EN 13201: Straßenbeleuchtung (5 Normteile). Berlin: Beuth Verlag
- DOT (2003): Traffic Signs Manual – Chapter 5: Road Markings. London: Department for Transport
- DOT (2013): Traffic Signs Manual – Chapter 4: Warning Signs. London: Department for Transport
- Destatis (2017): Verkehr: Verkehrsunfälle 2016 (Fachserie 8 Reihe7). Wiesbaden: Statistisches Bundesamt
- DIN 1450 (2013): Leserlichkeit. Berlin: Beuth Verlag
- DIN 1451-2 (1986): Schriften – Serifenlose Linear-Antiqua – Teil 2: Verkehrsschrift. Berlin: Beuth Verlag
- DIN 5340 (1998): Begriffe der physiologischen Optik. Berlin: Beuth Verlag
- DOERFEL, M. et al. (2015): Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisel. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)
- DONDELL, E.; SHANKAR, V. & PORTER, R. (2009): Analysis of Safety Effects for the Presence of Roadway Lighting. State College: National Cooperative Highway Research Program
- ECKSTEIN, K. & MEEWES, V. (2002): Sicherheit von Landstraßen-Knotenpunkten. Köln: Mitteilungen Nr. 40 des Institutes für Schadenverhütung
- FÄRBER, B.; FÄRBER, B.; SIEGENER, W. & SÜTHER, B. (2007): Aufnahme von Wegweisungsinformationen im Straßenverkehr – Awe-wiS. Bonn: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Heft 979
- FGSV (1980): Richtlinie für die Markierung von Straßen (RMS) Teil 2: Anwendung von Fahrbahnmarkierungen. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- FGSV (2006): Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- FGSV (2008): Richtlinien für integrierte Netzgestaltung. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- FGSV (2012): Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- FGSV (2012) Richtlinien für die Anlage von Landstraßen. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- FGSV (2015): Arbeitspapier Turbokreisverkehre. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- FGSV (2017): Hinweise zu Unfallkostensätzen (H Uks). Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- FINDLEY, D. et al. (2015): Accelerating Roundabout Implementation in the United States, Volume 7: Human Factor Assessment of Traffic Control Device Effectiveness. Washington D.C.: Federal Highway Administration

- FITZPATRICK, K.; PARHAM, A. & BREWER, M. (2002): Treatments for Crashes on Rural Two-Lane Highways in Texas. Austin: Texas Department of Transportation
- Graubünden (2013): Richtlinie Kreisel – Anordnung und Gestaltung. Chur: Tiefbauamt Graubünden
- HALLMARK, S. et al. (2008): Strategies to Address Nighttime Crashes at Rural, Unsignalized Intersections. Ames: Center for Transportation Research and Education
- HINRICHSEN, J. (2016): Informationen zur Erlasslage in Schleswig-Holstein [Interview] (12. Oktober 2016)
- HUBER, C. A. & BÜHLMANN, F. (1994): Sicherheit von Kreisverkehrsanlagen – Erfahrungen und vorläufige Empfehlungen. Bern: Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu)
- HYDÉN, C. & VÁRHELYI, A. (2000): The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study. Lund: Department of Traffic Planning and Engineering
- IES (2008): Design Guide for Roundabout Lighting. Publication IES DG-19-08. New York: Illuminating Engineering Society of North America
- ISEBRANDS, H. (2009): Crash Analysis of Roundabouts an High-Speed Rural Intersections. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Nr. 2096, S. 1-7
- ISEBRANDS, H. (2011): Quantifying safety and speed data for rural roundabouts with high-speed approaches. Iowa State University
- ISEBRANDS, H. et al. (2004): Safety Impacts Of Street Lighting at Isolated Rural Intersections – Part II, Year 1 Report. Minnesota Department of Transportation
- JENSEN, S. (2012): Safety Effects of Converting Intersections to Roundabouts. Transportation Research Record, Nr. 2389, S. 22-29
- JENSEN, S. (2013): Evaluering af effekter af rundkørsler med forskellig udformning (Evaluation of effects of roundabouts with various design). Lyngby: Trafitec
- KHOSRAVI, H.; CHAN, S. & VELEZ, A. (2017): A Deterministic Method of Evaluating Speeds for the Fastest Path Analysis at Roundabouts. Richmond: Transoft Solutions
- KRAINZ, D. et al. (2007): Kreisverkehrsanlagen in der Steiermark – Eine „Runde Sache“? Eine wissenschaftliche Untersuchung des Kuratoriums für Verkehrssicherheit in Zusammenarbeit mit der Steiermarkischen Landesregierung, FA 18A. Graz: Kuratorium für Verkehrssicherheit
- LASuV (2016): Ergänzende Hinweise zur Planung von Kreisverkehrsplätzen. Dresden: Sächsisches Landesamt für Straßenbau und Verkehr
- LSB (2011): Hinweise zu Entwurf, Bau und Ausstattung von Kreisverkehren an Bundes- und Landesstraßen. Hoppegarten: Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg, Fachbereich Straßenentwurf
- MAHDALOVA, I.; KRIVDA, V. & SKVAIN, V. (2013): Influence of Roundabout Inscribed Circle Diameter to the Traffic Safety. Ostrava Poruba: Trans Tech Publications
- MAHDALOVÁ, I.; SEIDLER, T. & CIHLÁŘOVÁ, D. (2010): Influence of the Roundabout Geometry on its Safety, Ostrava: VŠB-Technical University Ostrava
- MAYCOCK, G. & HALL, R. (1984): Accidents at 4-arm roundabouts. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory
- MICHON, J. A. (1985): A critical view of driver behaviour models: What do we know, what should we do? In: EVANS, L. & SCHWING, R. (Eds.): Human behavior and traffic safety. New York: Plenum Press. S. 485-524.
- MUNEHIRO, K. (2017): Analysis of drivers' eye movement on snow-covered roundabouts. Sapporo: Civil Engineering Research Institute for Cold Region (CERI)
- MVI (2011): Gestaltung von Kreisverkehrsplätzen im Hinblick auf die Verkehrssicherheit (Erlass des MVI vom 15. November 2011). Stuttgart: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg
- MVI (2013): Ergänzende Hinweise zur Gestaltung von Kreisverkehrsplätzen im Hinblick auf die Verkehrssicherheit vom 05.02.2013 (zum Erlass

- des MVI vom 15. November 2011). Stuttgart: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg
- NZ Transport Agency (2017): www.nzta.govt.nz/roads-and-rail/road-engineering/geometric-design/austroads-guides [Zugriff am 26 Oktober 2017]
- OBBSI (2011): Kreisverkehrsplätze an Bundes- und Staatstraßen in Bayern: Einführung des Merkblatts für die Anlage von Kreisverkehren, Ausgabe 2016 (Bekanntmachung vom 09.12.2011). München: Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren
- PRESTON, H. & SCHOENECKER, T. (1999): Safety Impacts of Street Lighting at Isolated Rural Intersections. St. Paul: Minnesota Department of Transportation
- RANNEY, T. A. (1994): Models of Driving Behavior: A Review of their Evolution. Accident Analysis and Prevention 26(6), S. 733-750
- RAY, B. et al. (2008): Guidelines for Selection of Speed Reduction Treatments at High-Speed Intersections (NCHRP Report 613). Washington D.C.: Transportation Research Board
- REUTER, W. & KÖHLER, R. (2013): Leitfaden zur Qualitätssicherung bei Planung, Bau und Betrieb von Kreisverkehren. Wiesbaden: Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement, Abteilung Verkehr, Dezernat Verkehrstechnik und Straßenausstattung
- RITCHIE, S. & LENTERS, L. (2005). High Speed Approaches at Roundabouts. Truckee: Roundabouts Traffic Engineering
- ROBINSON, B. W. et al. (2000): Roundabouts: An Informational Guide. Publication No. FHWA-RD-00-067 Federal Highway Administration
- RODEGERDTS, L. et al. (2010): Roundabouts: An Informational Guide- Second Edition (NCHRP Report 672). Washington, D.C.: Transportation Research Board
- RODEGERDTS, L.; BLOGG, M.; WEMPLE, E. & MYERS, E. (2007): Roundabouts in the United States NCHRP Report 572. Washington D.C.: Transportation Research Board
- Royal Haskoning DHV (2009): Roundabouts – Application and design. A practical manual. Amsterdam: Ministry of Transport, Public Works and Water management, DHV Group and Royal Haskoning DHV
- SCHNEIDER, W. & SHIFFRIN, R. M. (1977): Controlled and automatic human information processing: I. Detection search and attention. Psychological Review 84(1), S. 1-66
- SCHROEDER, B. et al. (2015). Accelerating Roundabouts in the United States: Volume IV of VII – A Review of Fatal and Severe Injury Crashes at Roundabouts. Washington D.C.: Federal Highway Administration
- SCHULZ, R. (2012): Blickverhalten und Orientierung von Kraftfahrern auf Landstraßen. Dissertation an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“. Dresden: Technische Universität Dresden
- SCHURR, K. S. & ABOS-SANCHEZ, J. (2007): Operational and Safety Effects of Central Island Landscaping at Single-lane Roundabouts. Lincoln: Association for European Transport
- SELBITSCHKA, J.-P. (2007): Beschilderung an Kreisverkehrsplätzen. Schreiben an alle Regionalniederlassungen und Außenstellen des Landesbetriebs Straßenbau Nordrhein-Westfalen vom 28.02.2007, Gelsenkirchen
- SPAHN, V. & BÄUMLER, G. (2007): Sicherheit von Kreisverkehrsplätzen und Lichtzeichenanlagen in Bayern. In: Straßenverkehrstechnik, Heft 7/2007, S. 357-362
- St. Gallen (2016): Richtlinie TBA: Anforderungen Kreisell. Hrsg. St. Gallen: Baudepartement Tiefbauamt St. Gallen
- STUWE, B. (1992): Untersuchung der Leistungsfähigkeit und Verkehrssicherheit an deutschen Kreisverkehrsplätzen. Bochum: Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 10
- StVO (2017): Straßenverkehrs-Ordnung (StVO). Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und digitale Infrastruktur
- The Highways Agency (2007): Design Manual for Roads and Bridges: Volume 6 Road Geometry: Section 2 Junctions: Part 3 Geometric Design of Roundabouts. Guildford: Highways England

The Highways Agency (2007): Design Manual for Roads and Bridges: Volume 8 Traffic Signs and Lighting: Section 3 Lighting: TD 34/07 Design of Road Lighting for the Strategic Motorway and All Purpose Trunk Road Network. Guildford: Highways England

TURNER, S.; ROOZENBURG, A. & SMITH, A. (2009): Roundabout Crash Prediction Models. NZ Transport Agency Research Report 386, Wellington: NZ Transport Agency

VELHAGEN, K. (1972): Der Augenarzt, Band 2. Leipzig: Verlag für Medizin und Naturwissenschaften

VIETEN, M.; DOHMEN, R.; DÜRHAGER, U. & LEGGE, K. (2010): Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen. Bergisch Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen; Verkehrstechnik, Heft V 201

VSS (1999): Schweizer Norm 640 847: Signale: Anordnung an Kreisverkehrsplätzen. Zürich: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

VSS (2000): Schweizer Norm 640 263: Knoten: Knoten im Kreisverkehr. Zürich: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

VwV-StVO (2017): Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO). Novelle 2017, Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

VzKat (2017): Verkehrszeichenkatalog 2017. Berlin: Bundesanzeiger vom 29.05.2017

WELLER, G. (2010): The Psychology of Driving on Rural Roads. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften

Zürich (2008): Kreiselrichtlinie. Zürich: Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich & Baudirektion Kanton Zürich

ZWAHLEN, H. (1995): Traffic Sign Reading Distances and Times During Night Driving. Athens: Transportation Research Record

Bilder

Bild 1: Arbeitsschritte des Forschungsvorhabens

Bild 2: Definition einzelner Gestaltungselemente und Maße eines Kreisverkehrs (FGSV, 2006)

Bild 3: Orientierungswerte für die Kapazität von Kreisverkehren außerhalb bebauter Gebiete (FGSV, 2006)

Bild 4: Regeleinsatzbereiche von Knotenpunktarten bei vier-armigen Knotenpunkten (FGSV, 2012)

Bild 5: Verhältnis aufeinander folgender Radien mit EKL-Bereichen (angepasste Darstellung nach FGSV, 2012)

Bild 6: Schematische Darstellung radialer und tangentialer Kreisverkehrszufahrten (SPAHN & BÄUMLER, 2007)

Bild 7: Beispiel für die Darstellung des Vorwegweisers – Zeichen 438 (BMVBW, 2000)

Bild 8: Markierung der Knotenpunktbereiche an Kreisverkehrsplätzen (FGSV, 1980)

Bild 9: Mindestbreite der Kreisfahrbahn in Abhängigkeit des Außendurchmessers | Schweiz (VSS, 2000)

Bild 10: Einfahrwinkel α | Schweiz (VSS, 2000)

Bild 11: Lage der Achsen von Kreisverkehrsarmen | Österreich (BMVIT, 2010)

Bild 12: Beschilderung von Kreisverkehren | Österreich (BMVIT, 2010)

Bild 13: Beschilderung von Kreisverkehren | Niederlande (Royal Haskoning DHV, 2009)

Bild 14: Verkehrszeichen an Kreisverkehren | Großbritannien (Department of Transport, 2013)

Bild 15: Bauliche Umsetzung der Kurventafel | Großbritannien (DOT, 2013)

Bild 16: Gelbe Streifenmarkierungen | GB (DOT, 2003)

Bild 17: Minimale Abmessungen der Fahrbahnteiler | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)

- Bild 18: Gestaltung der Kreisinsel | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)
- Bild 19: Beschilderung einstreifiger Kreisverkehre | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)
- Bild 20: Markierung der Kreisverkehrszufahrt | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)
- Bild 21: Beispiel für zusätzliche Markierungen | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)
- Bild 22: Möglichkeiten der Ausführung von Richtungspfeilen in der Kreisverkehrszufahrt | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)
- Bild 23: Beleuchtete Poller | Vereinigte Staaten (RITCHIE & LENTERS, 2005)
- Bild 24: Ablenkung geradeausfahrender Kraftfahrzeuge durch die Kreisinsel | Deutschland (FGSV, 2006)
- Bild 25: Ermittlung des Ablenkungswinkels β | Schweiz (VSS, 2000)
- Bild 26: Ermittlung der Ablenkung geradeausfahrender Fahrzeuge | Österreich (BMVIT, 2010)
- Bild 27: Ermittlung der des Ablenkmaßes U und der Länge L zur Bestimmung der Befahrungsgeschwindigkeit | Niederlande (Royal Haskoning DHV, 2009)
- Bild 28: Ermittlung des Einfahrradius | Großbritannien (The Highways Agency, 2007)
- Bild 29: Ermittlung der maßgebenden Radien(-folge) | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)
- Bild 30: Empfohlene maximale theoretische Einfahrgeschwindigkeit (RODEGERDTS et al., 2010)
- Bild 31: Ermittlung des größten Radius bei der Befahrung | Australien (AUSTRROADS, 2006)
- Bild 32: UKR für Kreisverkehrstypen | Deutschland (BRILON & DOERFEL, 2017)
- Bild 33: Unfallgeschehen in Abhängigkeit von der Größe des Außendurchmessers und dem DTV an zweistreifigen Kreisverkehren | Schweiz (DOERFEL et al., 2015)
- Bild 34: Beispiel für Außerortskreisverkehr mit $D = 27$ m | Tschechien (MAHDALOVA et al., 2013)
- Bild 35: Unfallgeschehen in Abhängigkeit von dem Ablenkwinkel und dem Außendurchmessern an großen Kreisverkehren | Schweiz (DOERFEL et al., 2015)
- Bild 36: Einfluss der Kurvigkeit der Zufahrt auf das Unfallgeschehen an Kreisverkehren mit parallelen Zufahrten | Großbritannien (MAYCOCK & HALL, 1984)
- Bild 37: Ablenkungsmaß und Geschwindigkeit in der Zufahrt | Schweden (HYDÉN & VÁRHELYI, 2000)
- Bild 38: Vorher-/Nachher-Vergleich der Durchschnittsgeschwindigkeit in Kreisverkehrszufahrten | Vereinigte Staaten (SCHURR & ABOS-SANCHEZ, 2007)
- Bild 39: Beispiel für einen Kreisverkehr mit Aufkantung zur Mittelinsel | Deutschland (SPAHN & BÄUMLER, 2007)
- Bild 40: Beispiele für Fahrbahnteilerformen (von links nach rechts: Parallel, Dreiecksform- und angepasste Bordführung (Elefantenfuß)) | Dänemark (JENSEN, 2013)
- Bild 41: Ermittlung der Kurvigkeit im Annäherungsbereich von Kreisverkehrszufahrten | Großbritannien (MAYCOCK & HALL, 1984)
- Bild 42: Einfluss der Kurvigkeit im Annäherungsbereich von Kreisverkehrszufahrten auf das Unfallgeschehen | Großbritannien (MAYCOCK & HALL, 1984)
- Bild 43: Schnellste Befahrungslinie ohne Aufweitung des Fahrbahnteilers in der Zufahrt (obere Grafik) und schnellste Befahrungslinie mit Aufweitung des Fahrbahnteilers in der Zufahrt (untere Grafik) | Vereinigte Staaten (RITCHIE & LENTERS, 2005)
- Bild 44: UR der Alleinunfälle in Abhängigkeit von dem Kurvenradius im Annäherungsbereich | Australien (ARNDT & TROUT-BECK, 1998)

- Bild 45: Aufweitung des Fahrbahnteilers mit drei Kurven | Australien (ARNDT & TROUTBECK, 1998)
- Bild 46: Zusammenhang zwischen Sichtweite und Geschwindigkeit in der Kreisverkehrszufahrt | Neuseeland (TURNER et al. 2009)
- Bild 47: Beispiel für Optical speed bars | Vereinigte Staaten (CHRYSLER et al., 2017)
- Bild 48: Beispiel für traverse pavement markings | Vereinigte Staaten (CHRYSLER et al., 2017)
- Bild 49: Warntafel mit und ohne Blinklicht | Vereinigte Staaten (CHRYSLER et al., 2017)
- Bild 50: Zufahrt auf ein Verkehrszeichen auf einer Straße mit gestreckter Linienführung bei Nacht mit Abblendlicht (ZWAHLEN, 1995)
- Bild 51: Schema von Vorwegweisern vor Landstraßenknoten; (oben links: Kreisverkehr, oben rechts: Kreuzung, unten: Einmündung) nach BMVBW (2000)
- Bild 52: Lichttechnisch nicht verhältnisgetreues Schema bei nächtlicher Annäherung an einen außerörtlichen Kreisverkehr
- Bild 53: Prozentualer Anteil der Blicke auf Markierungen und Beschilderungen in der Kreisverkehrszufahrt; modifizierte Darstellung nach FINDLEY et al. (2015)
- Bild 54: Durchschnittliche Verweilzeit auf Markierungen und Beschilderungen in der Kreisverkehrszufahrt; modifizierte Darstellung nach FINDLEY et al. (2015)
- Bild 55: Photometrische Darstellung: Beleuchtung der Kreisinsel (links) und Beleuchtung des Kreisverkehrsrandes (rechts) | Vereinigte Staaten (RODEGERDTS et al., 2010)
- Bild 56: Beleuchtung der Kreisinsel (links) und Beleuchtung des Kreisverkehrsrandes (rechts) | Vereinigte Staaten (IES, 2008)
- Bild 57: Grafische Darstellung der Ecoluminance (BULLOUGH, 2014)
- Bild 58: Unfallschwerestruktur für Unfälle mit Personenschaden an außerörtlichen Knotenpunkten in Deutschland für 2016 und 2017
- Bild 59: Angepasste Unfallkosten für Unfälle mit Personenschaden an außerörtlichen Knotenpunkten in Deutschland für 2016 und 2017 (Preisstand 2015)
- Bild 60: Unfallschwerestruktur für Unfälle mit Personenschaden an außerörtlichen Knotenpunkten in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017
- Bild 61: Angepasste Unfallkosten für U(P) an außerörtlichen Knotenpunkten in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017 (Preisstand 2015)
- Bild 62: Angepasste Unfallkosten für U(SP) an außerörtlichen Knotenpunkten in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017 (Preisstand 2015)
- Bild 63: Unfallschwerestruktur (Unfallkategorie 1 bis 6) nach Unfalltyp an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017
- Bild 64: Unfallschwereverteilung des Merkmals „Aufprall auf Hindernis an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017
- Bild 65: Verteilung der Art der Verkehrsbeteiligung bei Unfällen mit einem Beteiligten an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017
- Bild 66: Verteilung der Unfallkonstellation bzw. der Art der Verkehrsbeteiligung bei Unfällen mit mehr als einem Beteiligten an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017
- Bild 67: Lichtverhältnisverteilung bei Unfällen an außerörtlichen Knotenpunkten in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017
- Bild 68: Lichtverhältnisse nach Unfalltyp bei Unfällen an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017
- Bild 69: Unfallschwerestruktur der Fahrunfälle nach Lichtverhältnis an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017

- Bild 70: Lage der Kreisverkehre im Untersuchungskollektiv
- Bild 71: Definition des Winkels zur benachbarten Zufahrt
- Bild 72: Definition der Einfahrwinkel
- Bild 73: Ermittlung des Ablenkungswinkels in Anlehnung an VSS (2000)
- Bild 74: Erfassung der Markierung im Annäherungsbereich
- Bild 75: Erfassung der Beschilderung auf der Annäherungsstrecke
- Bild 76: Ausführung des Vorwegweisers mit integrierter verkleinerter Wiedergabe des Zeichens 205
- Bild 77: Systemskizze Höhenplan
- Bild 78: Untersuchungsraum für das Unfallgeschehen
- Bild 79: Vergleich der Unfallschwere im Untersuchungskollektiv nach Bundesländern
- Bild 80: Vergleich der Unfallschwere der Unfälle mit Personenschaden im Untersuchungskollektiv nach Bundesländern
- Bild 81: Unfallschwererstruktur der Unfälle mit Personenschaden nach Unfalltyp im Untersuchungskollektiv
- Bild 82: Verteilung der Art der Verkehrsbeteiligung bei Unfällen mit einem Beteiligten im Untersuchungskollektiv
- Bild 83: Verteilung der Unfallkonstellation bzw. der Art der Verkehrsbeteiligung bei Unfällen mit mehr als einem Beteiligten im Untersuchungskollektiv
- Bild 84: Unfalltypenstruktur bei Dämmerung und Dunkelheit im Untersuchungskollektiv
- Bild 85: Unfallschwererstruktur der Fahrurfälle nach Lichtverhältnis im Untersuchungskollektiv
- Bild 86: Unfallraten (UR) aller Unfälle an Kreisverkehren auf Landstraßen
- Bild 87: Unfallkostenraten (UKR) aller Unfälle an Kreisverkehren auf Landstraßen
- Bild 88: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Verbindungsfunktionsstufe gemäß RIN
- Bild 89: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Verbindungsfunktionsstufe gemäß RIN
- Bild 90: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von dem Vorhandensein einer Abkröpfung oder Verschwenkung (AB/VS)
- Bild 91: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von dem Vorhandensein einer Abkröpfung oder Verschwenkung (AB/VS)
- Bild 92: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Ausführung einer Abkröpfung
- Bild 93: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Ausführung einer Abkröpfung
- Bild 94: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von des Ablenkungswinkels β
- Bild 95: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von des Ablenkungswinkels β
- Bild 96: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers
- Bild 97: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers
- Bild 98: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten mit parallelen oder angepassten (angepasste Bordführung (Elefantenfuß) und Dreiecksform) Rändern des Fahrbahnteilers
- Bild 99: UKR für Kreisverkehrszufahrten mit parallelen oder angepassten (angepasste Bordführung (Elefantenfuß) und Dreiecksform) Rändern des Fahrbahnteilers
- Bild 100: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Form des Fahrbahnteilers

- Bild 101: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Form des Fahrbahnteilers
- Bild 102: UR (dunkel:U(P); hell:U(S)) für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Breite des Fahrbahnteilers
- Bild 103: UKR für Kreisverkehrszufahrten in Abhängigkeit von der Breite des Fahrbahnteilers
- Bild 104: Systematisiertes Unfalldiagramm für Fahrnfälle und Einbiegen/Kreuzen-Unfälle
- Bild 105: Flugplanung für den Annäherungsbereich eines Kreisverkehrs
- Bild 106: Abmessen der Entwurfparameter der Kreisverkehre aus der Punktwolke
- Bild 107: Anordnung Messpfosten und des Laserscanners im Annäherungsbereich
- Bild 108: Messpfosten in messbarem Zustand
- Bild 109: Position des Laserscanners im Seitenraum der Zufahrt
- Bild 110: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) am Kreisverkehr SN_12
- Bild 111: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) am Kreisverkehr BY_14_Ost
- Bild 112: Positionieren des Suchfensters an einem Fahrzeug
- Bild 113: Beispielhafte Aufbereitung der linienhaften Geschwindigkeitsauswertungen
- Bild 114: Prozentuale Unterschiede zwischen zwei Messstellen
- Bild 115: V_{85} -Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerform und dem Erhebungszeitraum
- Bild 116: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) bei parallelen Fahrbahnteilern in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 117: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) bei Fahrbahnteilern in Dreiecksform in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 118: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) bei Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung (Elefantenfußform) in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 119: Linienhafte Geschwindigkeitsverläufe in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerform und dem Erhebungszeitraum
- Bild 120: Fahrverhalten an parallelen Fahrbahnteilern
- Bild 121: Spurverhalten am Messquerschnitt MQK1 in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerform und dem Erhebungszeitraum
- Bild 122: Spurverhalten am Messquerschnitt MQK2 in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerform und dem Erhebungszeitraum
- Bild 123: V_{85} -Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerbreite und dem Erhebungszeitraum
- Bild 124: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) bei Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung mit einer Breite ≤ 3 m in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 125: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) bei Fahrbahnteilern mit angepasster Bordführung mit einer Breite > 3 m in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 126: V_{85} -Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Ab-

- hängigkeit von der Zufahrtsgestaltung und dem Erhebungszeitraum
- Bild 127: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an radial geführten Zufahrten in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 128: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an angepasst geführten Zufahrten in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 129: V_{85} -Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer ortsfesten Beleuchtung und dem Erhebungszeitraum
- Bild 130: Linienhafte Geschwindigkeitsverläufe in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer ortsfesten Beleuchtung und dem Erhebungszeitraum
- Bild 131: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an unbeleuchteten Kreisverkehren in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 132: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an beleuchteten Kreisverkehren in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 133: Spurverhalten am Messquerschnitt MQK1 in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer ortsfesten Beleuchtung und dem Erhebungszeitraum
- Bild 134: Spurverhalten am Messquerschnitt MQK2 in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer ortsfesten Beleuchtung und dem Erhebungszeitraum
- Bild 135: Orthofoto der untersuchten Zufahrt mit Abkröpfung
- Bild 136: Orthofoto einer Zufahrt mit Verschwenkung
- Bild 137: V_{85} -Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer Abkröpfung oder Verschwenkung und dem Erhebungszeitraum
- Bild 138: V_{85} -Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an einer Zufahrt mit Abkröpfung im beleuchteten (Mit-Fall) und unbeleuchteten (Ohne-Fall) Zustand in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 139: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an einer Zufahrt mit Abkröpfung im unbeleuchteten Zustand in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 140: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an einer Zufahrt mit Abkröpfung im beleuchteten Zustand in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 141: Linienhafte Geschwindigkeitsverläufe in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer Abkröpfung im beleuchteten und unbeleuchteten Zustand sowie einer Verschwenkung und dem Erhebungszeitraum
- Bild 142: V_{85} -Geschwindigkeiten in der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit vom Ablenkmaß und dem Erhebungszeitraum
- Bild 143: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) für Zufahrten mit Ablenkmaßen $\beta \leq 80$ gon in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 144: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) für Zufahrten mit Ablenkmaßen $\beta > 80$ gon in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 145: Spurverhalten am Messquerschnitt MQK1 in Abhängigkeit vom Ablenkmaß und dem Erhebungszeitraum

- Bild 146: Spurverhalten am Messquerschnitt MQK2 in Abhängigkeit vom Ablenkmaß und dem Erhebungszeitraum
- Bild 147: V_{85} -Geschwindigkeiten in der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) in Abhängigkeit von der Oberflächengestaltung des Fahrbahnteilers und dem Erhebungszeitraum
- Bild 148: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an Zufahrten mit begrüntem Fahrbahnteilern in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 149: Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an Zufahrten mit befestigten Fahrbahnteilern in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 150: V_{85} -Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an unfallbelasteten und unfallunauffälligen Zufahrten in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 151: Geschwindigkeit im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an unfallbelasteten Zufahrten in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 152: Geschwindigkeit im Annäherungsbereich (200 m bis 100 m vor KV) und der Zufahrt (50 m bis 0 m vor KV) an unfallunauffälligen Zufahrten in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 153: Linienhafte Geschwindigkeitsverläufe an unfallbelasteten und unfallunauffälligen Zufahrten in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 154: Anordnung von Rüttelstreifen vor einem Kreisverkehr
- Bild 155: Linienhafte Geschwindigkeitsverläufe an Zufahrten mit und ohne Rüttelstreifen in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 156: Zufahrt mit überlangen Fahrbahnteiler (55 m FBT + 120 m Sperrfläche)
- Bild 157: Linienhafte Geschwindigkeitsverlauf an Zufahrten mit und ohne überlangen Fahrbahnteiler in Abhängigkeit vom Erhebungszeitraum
- Bild 158: Leuchtdichteaufnahmen für 3 Blickrichtungen an einer Position im Annäherungsverlauf, KV BB_15, Zufahrt 1
- Bild 159: Aufnahmepunkte im Verlauf, beispielhaft am KV ST_24, Zufahrt 3
- Bild 160: Leuchtdichteaufnahmen für 2 Positionen im Annäherungsverlauf, KV ST_24, Zufahrt 3; obere: Position 275 m bis zum Kreisverkehr; untere: Position 55 m bis zum Kreisverkehr; jeweils obere: Aufnahmen im Original (physikalischer Abbildungsumfang); jeweils untere: nur sichtbare Kanten gemäß Kontrastwahrnehmungsmodell
- Bild 161: Sichtentfernung baulicher Merkmale der untersuchten Kreisverkehre
- Bild 162: Großflächig kontrastierende Gestaltung an einem Kreisverkehr (SN_13)
- Bild 163: Retroreflektierende Elemente auf dem Fahrbahnteiler an einem Kreisverkehr (ST_18)
- Bild 164: Anbringungsskizze (oben) und beabsichtigtes Wahrnehmungsschema (unten) Markierungsnägel – Variante 1
- Bild 165: Anbringungsskizze (oben) und beabsichtigtes Wahrnehmungsschema (unten) Markierungsnägel – Variante 2
- Bild 166: Verwendete Markierungsnägel
- Bild 167: Wahrnehmungssituation am Kreisverkehr KV BB_15, Zufahrt 3 ohne zusätzliche Sichtelemente (oben) sowie in den Varianten 1 (mitte) und Variante 2 (unten)
- Bild 168: Fotografische Darstellung der Wahrnehmungssituation am Kreisverkehr KV BB_15, Zufahrt 3 mit zusätzlichen Sichtelementen in den Varianten 1 (links) und 2 (rechts)
- Bild 169: Kreiszu- und -ausfahrt außerhalb bebauter Gebiete – Luftbild (Bildquelle: www.geoportal-bw.de)

- Bild 170: Fahrbahnteiler mit dem Fahrbahnverlauf angepassten Rändern und Querungsstelle in Dreiecksform (Bildquelle: ZEB, 2018)
- Bild 171: Fahrbahnteiler mit dem Fahrbahnverlauf angepasster Bordführung (Bildquelle: eigene Aufnahme)
- Bild 172: Anbringungsskizze der Markierungsnägel auf dem Bord der Kreisinsel
- Bild 173: Beabsichtigtes Wahrnehmungsschema der Markierungsnägel auf dem Bord der Kreisinsel
- Bild 174: Verlängerter aufgeweiteter Fahrbahnteiler mit drei aufeinanderfolgenden Kurven in der Zufahrt (Bildquelle: Richtie, 2005)
- Bild 175: Konstruktionsbeispiel für einen verlängerten aufgeweiteten Fahrbahnteiler mit drei aufeinanderfolgenden Kurven in der Zufahrt
- Tab. 10: Unfallkenngrößen für Kreisverkehre in Bayern in Abhängigkeit des Außendurchmessers D | Deutschland (SPAHN & BÄUMLER, 2007)
- Tab. 11: Sicherheitswirkung der Umwandlung von Kreuzungen in kleine Kreisverkehre (alle Unfälle, außerorts, $20 \text{ m} \leq D < 40 \text{ m}$) in Abhängigkeit von der Höhe und Gestaltung der Kreisinsel | Dänemark (JENSEN, 2013)
- Tab. 12: Unfallkenngrößen für Kreisverkehre in Bayern mit und ohne Aufkantung | Deutschland (SPAHN & BÄUMLER, 2007)
- Tab. 13: Unfallkenngrößen für Kreisverkehre in Bayern mit radialer und tangentialer Führung der Zufahrt | Deutschland (SPAHN & BÄUMLER, 2007)
- Tab. 14: Sicherheitswirkung der Umwandlung von Kreuzungen in kleine Kreisverkehre (alle Unfälle, außerorts, $20 \text{ m} \leq D < 40 \text{ m}$) in Abhängigkeit von der Anzahl der Verkehrszeichen und Markierung in den Zufahrten | Dänemark (JENSEN, 2013)

Tabellen

- Tab. 1: Übersicht über abweichende Aussagen zur Kreisverkehrsgestaltung für ausgewählte Bundesländer
- Tab. 2: Entwurfsklassen und Grundsätze für Gestaltungselemente der Streckenführung (FGSV, 2012)
- Tab. 3: Vorgaben zu Außendurchmessern von außerörtlichen Kreisverkehren
- Tab. 4: Vorgaben zur Gestaltung der Kreisinsel an außerörtlichen Kreisverkehren
- Tab. 5: Entwurfsklassen und Grundsätze für Gestaltungselemente der Streckenführung (FGSV, 2012)
- Tab. 6: Vorgaben zur Zufahrtsgestaltung von außerörtlichen Kreisverkehren
- Tab. 7: Vorgaben zur Markierung und Beschilderung von außerörtlichen Kreisverkehren
- Tab. 8: Vorgaben zur Beleuchtung von außerörtlichen Kreisverkehren
- Tab. 9: Unfallkenngrößen für außerörtliche Knotenpunkte in Abhängigkeit der Knotenpunktart | Deutschland
- Tab. 15: Sicherheitswirkung der Umwandlung von Kreuzungen in kleine Kreisverkehre (alle Unfälle, außerorts, $20 \text{ m} \leq D < 40 \text{ m}$) in Abhängigkeit vom Standort der ersten Markierung in den Zufahrten | Dänemark (JENSEN, 2013)
- Tab. 16: Durchschnittliche Geschwindigkeiten in der Zufahrt an Kreisverkehren mit und ohne Rüttelstreifen | Vereinigte Staaten (ISEBRANDS, 2011)
- Tab. 17: Unfallkenngrößen für Kreisverkehre in Bayern mit und ohne Beleuchtung | Deutschland (SPAHN & BÄUMLER, 2007)
- Tab. 18: Kostensätze Personenschadenkosten KS_U – Preisstand 2015 (BAST, 2016)
- Tab. 19: Kostensätze Sachschadenkosten bei Personenschaden $KS_{S,U}$ – Preisstand 2015 (BAST, 2016)
- Tab. 20: Verteilung der Unfalltypen aller Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt
- Tab. 21: Verteilung der Unfallarten aller Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen,

- Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017
- Tab. 22: Verteilung der fünf häufigsten Unfallursachen aller Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017
- Tab. 23: Verteilung des Merkmals „Aufprall auf Hindernis“ aller Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017
- Tab. 24: Verteilung der Beteiligtenanzahl aller Unfälle an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt für 2016 und 2017
- Tab. 25: Übersicht der kreisverkehrsfeinen Gestaltungsmerkmale
- Tab. 26: Varianten der Aufstellung der Richtungstafeln in Kurven auf der Kreisinsel (Bilder: BAST)
- Tab. 27: Lage des Kreisverkehrs im Bezug zum Höhenplan
- Tab. 28: Unfallkostensätze KS_U – Preisstand 2009 (FGSV, 2012)
- Tab. 29: Übersicht über Teilmodelle
- Tab. 30: Verteilung der Unfalltypen der Unfälle mit Personenschaden im Untersuchungskollektiv und an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt
- Tab. 31: Verteilung der Unfallarten aller Unfälle im Untersuchungskollektiv und an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt
- Tab. 32: Verteilung der fünf häufigsten Unfallursachen aller Unfälle im Untersuchungskollektiv und an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt
- Tab. 33: Verteilung des Merkmals „Aufprall auf Hindernis“ aller Unfälle im Untersuchungskollektiv und an außerörtlichen Kreisverkehren in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt
- Tab. 34: Teilmodell 01 für Kreisverkehrszufahrten und alle Unfälle U(P,S)
- Tab. 35: Übersicht der Ergebnisse der Teilmodelle für die Kreisverkehrszufahrten
- Tab. 36: Alternativmodell zu Teilmodell 01 für Kreisverkehrszufahrten und alle Unfälle U(P,S)
- Tab. 37: Übersicht der signifikanten Einflussgrößen in den Teil- und Alternativmodellen für Kreisverkehrszufahrten
- Tab. 38: Ausprägungen der Unfallschwere und Lichtverhältnisse für Fahrurfälle (F) und Einbiegen/Kreuzen-Unfälle (EK) im systematisierten Unfalldiagramm
- Tab. 39: Messzeiträume für Tag- und Nachtmessung
- Tab. 40: Übersicht über gemessenen Geschwindigkeiten (Querschnittsmessungen der Radarpfosten) im Vergleich zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit
- Tab. 41: Fahrstreifenbreiten in der Zufahrt in Abhängigkeit von der Fahrbahnteilerform
- Tab. 42: Kreisverkehre mit lichttechnischer Untersuchung
- Tab. 43: Kreisverkehrsmerkmale der lichttechnischen Untersuchung
- Tab. 44: Ergebnisübersicht lichttechnische Untersuchung der Kreisverkehre
- Tab. 45: Mittlere Leuchtdichte der Kreisfahrbahn bei beleuchteten Kreisverkehren aus exemplarischer Fahrersicht
- Tab. 46: Ergebnisse der Sichtbarkeit für die Testanbringung der Markierungsnägel
- Tab. 47: Synopse der Erkenntnisse der einzelnen Arbeitsschritte

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2018

V 300: Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoff-rückhalt und Standfestigkeit von Banketten

Werkenthin, Kluge, Wessolek

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 301: Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung

Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 302: Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB

Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 303: Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer

Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter, Jeschke, Skottke

€ 19,50

V 304: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015

Fitschen, Nordmann

€ 31,00

Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden.

€ 15,00

V 305: Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen

Hartmann, Londong

€ 16,00

V 306: Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest

Lippold, Wittig

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 307: Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung

Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis

€ 17,50

V 308: Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)

Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 309: Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO₂-Pilotstudie Lärmschutzwand

Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer

€ 16,50

V 310: Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie

Wang, Oeser, Steinauer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 311: Feldversuch mit Lang-Lkw

Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf, Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 312: Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen

Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen, Löffler, Ripke, Bommert

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2019

V 313: Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen

Braun, Klute, Reuter, Rubbert

€ 18,50

V 314: Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten

Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou, Haug, Spangler

€ 18,50

V 315: Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung

Kappich, Westermann, Holst

€ 15,50

V 316: Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände

Lindner, Hartmann, Schulze, Hübelt

€ 18,50

V 317: Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen

Schlag, Anke, Lippold, Wittig, Walther

€ 22,00

V 318: Unfallkommissionsarbeit – Unterstützung durch einen webbasierten Maßnahmenkatalog zur Beseitigung von Unfallhäufungen

Wolf, Berger, Bärwolff

€ 15,50

V 319: Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verdichtungsbereichen – Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen

Lippold, Vettors, Ressel, Alber

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 320: Einsatzbereiche und Entwurfs Elemente von Rad-schnellverbindungen

Malik, Lange, Andriess, Gwiasda, Erler, Stein, Thiemann-Linden

€ 18,00

V 322: Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren

Hausmann

€ 18,00

V 323: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2016

Fitschen, Nordmann

€ 31,50

Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden.

€ 15,00

2020

V 321: Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement

Diegmann, Wurstthorn, Breitenbach, Düring, Schönharting, Kraus, Klemm, Voigt, Kohlen, Löhner

€ 20,00

V 324: Konzept zur Bewertung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit und ohne LSA

Vortisch, Buck, Leyn, Baier, Schuckließ, Schimpf, Schmotz

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 325: Entwurfsparameter von Hochleistungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete

D. Schmitt, J. Gerlach, M. Schwedler, F. Huber, H. Sander

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 326: Straßenverkehrszählung 2015 – Methodik der manuellen Zählungen

Schmidt, Frenken, Mahmoudi

€ 15,50

V 327: Straßenverkehrszählung 2015 – Ergebnisse

Frenken, Mahmoudi

€ 16,50

V 328: Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und Entwicklung von Nachrüstlösungen

Meisel, Balzer-Hebborn, Ellmers, Jungfeld, Klostermeier, Kübler, Schmitz, Schwedhelm, Yu

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 329: Streckenbezogene Glättevorhersage

Schedler, Gutbrod, Müller, Schröder € 24,50

V 330: Führung des Radverkehrs an Landstraßen

Baier, Leu, Rittershaus

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 331: Leitfaden für die Streckenfreigabe für den Einsatz von Lang-Lkw

Lippold, Schemmel, Förg, Süßmann € 17,00

V 332: Räumliche Linienführung von Autobahnen

Lippold, Zösch

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 333: Passive Schallschutzmaßnahmen – Akustische Wirksamkeit

Hänisch, Heidebrunn € 17,00

V 334: Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen

Lindner, Kluth, Ruhnau, Schulze € 17,00

V 335: Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen

Geistefeldt, Hohmann, von der Heiden, Finkbeiner € 16,00

V 336: Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten

Ungureanu, Ilić, Radon, Rothe, Reichert, Schober, Stamatakis, Heinrich € 18,50

V 337: Bridge-WIM Pilotversuch – Begleitung und Auswertung

Kathmann, Scotti, Kucera € 18,50

2021

V 338: Streckenbeeinflussungsanlagen – Entwurf eines regelungstechnischen Modells zur verbesserten Harmonisierung des Verkehrsablaufs

Schwietering, Schwietering, Maier, Hakenberg, Pyta, Abel

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 339: Aktualisierung der Datenbank MARLIS

Schneider, Turhan, Pelzer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 340: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2017

Fitschen, Nordmann € 31,00

V 341: Lebenszykluskostenbewertung von Schutzeinrichtungen

Eckert, Hendrich, Horlacher, Kathmann, Scotti, von Heel

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 342: Entwicklung eines aktuellen, echtzeit-verfügbaren Key Performance Indicator (KPI) Systems für das deutsche Autobahnnetz

Peter, Janko, Schick, Waßmuth, Friedrich, Bawidamann € 21,00

V 343: Kreisverkehre an Landstraßen Auswirkungen der Erkennbarkeit und der Zufahrtsgestaltung auf die Verkehrssicherheit

Schmotz, Schröter, Schemmel, Lippold, Schulze € 21,50

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.