

Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 297

bast

Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen

von

Matthias Zimmermann
Julia Beeh
Susanne Schulz
Ralf Roos

Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 297

bast

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

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

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

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

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

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

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: FE 02.0316/2009/GGB:
Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen

Fachbetreuung:
Marco Irzik

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

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

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-349-7

Bergisch Gladbach, Februar 2018

Kurzfassung – Abstract

Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen

In den RAL (2012) werden die Elemente von Knotenpunkten ohne LSA weitgehend standardisiert. Für die möglichen unterschiedlichen Gestaltungsformen insbesondere der Rechtsabbiegeführungen (einschließlich der Verkehrsregelung nach Dreiecksinseln) sollen Empfehlungen gegeben werden.

Das Untersuchungskollektiv von 100 Knotenpunkten wurde sowohl einer makroskopischen als auch einer mikroskopischen Unfalluntersuchung unterzogen, insbesondere wurden aus den verfügbaren Unfallhergangstexten dreistellige Unfalltypen bestimmt und analysiert.

Das Fahrverhalten der Ein- und Abbiegeströme wurde an 40 ausgewählten Knotenpunkten der verschiedenen Teilkollektive mit kombinierter Radar- und Videotechnik untersucht. Es wurden Zeitlücken bei potenziell kritischen Fahrzeugfolgen untersucht.

Im Hinblick auf die zu verwendenden Knotenpunktelemente bestätigen sich die Festlegungen in den RAL (2012), zur Verbesserung der Verkehrssicherheit grundsätzlich Linksabbiegestreifen und Tropfen vorzusehen.

Einmündungen mit Dreiecksinsel im Zuge der Rechtsabbiegeführung weisen auf der Basis dieser Untersuchung vor allem bei höheren Verkehrsbelastungen deutlich höhere Unfallkostenraten auf als Einmündungen ohne Dreiecksinsel. Bzgl. der Vorfahrtsregelung hinter der Dreiecksinsel zeigen sich im Unfallgeschehen noch einmal deutliche Unterschiede. Diese betreffen allerdings nicht den eigentlichen Konfliktbereich hinter der Dreiecksinsel, sondern die Konflikte eines Linksabbiegers mit einem entgegenkommenden Geradeausfahrer. Inwieweit diese Unterschiede ausschließlich auf die unterschiedliche Vorfahrtsregelung zurückzuführen sind, konnte in den Fahrverhaltensbetrachtungen nicht hinreichend geklärt werden.

Safety verification of design elements in intersections along rural roads

In the German Guidelines for Rural Roads (RAL, 2012), the elements of junctions without traffic lights are largely standardized. For different design elements like in particular the design elements to guide right-turning vehicles (including traffic regulation behind a possible triangular traffic island) recommendations should be given by this research project.

The study cohort of 100 nodes was both a macroscopic and a microscopic examination subject, in particular detailed accident types were determined from the available accident documentations and analyzed.

The driving behaviour both of the cars turning off and turning into the higher-level road studied in 40 selected nodes with combined radar and video technique to analyze in particular time gaps in potentially critical vehicle conflicts.

According to the RAL left turning lanes in the higher-level road and road dividers in the subordinated road should be provided to improve road safety. These definitions are confirmed also by this research. Intersections with a triangular traffic island to guide right-turning cars have especially at higher traffic loads a significantly higher accident cost rates than those without this islands. Regarding the right of way after the triangle traffic island particularly the junctions with priority to vehicles turning left have a much higher accident cost rate for conflicts of a left-hand traffic with an oncoming straight driver.

At rural road junctions with higher traffic load traffic lights should be installed consequently. At junctions without traffic lights traffic islands to guide the right-turning vehicles should be avoided.

Summary

Safety verification of design elements in intersections along rural roads

1 Current Situation and objective of this study

Most of the former conducted analyses in the field of road safety at rural intersections highlight solitary different kinds of junctions. Merely, combinations of the structural groundwork and the operating mode of rural intersections have been taken into consideration so far. The results of these studies repeatedly attest higher levels of security to T-junctions with traffic lights controlling the flow of traffic. However, insights into the adequacy of design elements when traffic lights are lacking are largely limited. Consequently, a variety of approaches are applied in practice: At less frequented junctions, road dividers in the subordinated roads are employed in different manners. Likewise, longitudes of left turning lanes in higher-level roads are not uniform across the country and last, but not least, the dimensions of line-up areas in subordinated roads vary significantly at different intersections. Although the German Guideline for the Design of Rural Roads (RAL) has mainly standardised the intersection design elements for route assignments for right-turning vehicles, it is still up to the planners to decide for a triangular traffic island or not. Even if triangular traffic islands are used in practice, priority rules behind these components differ from each other.

The aim of this study is to identify the elements of junctions which promise the highest grade of security under altering circumstances at junctions without traffic lights. Therefore, it was deemed necessary to analyze accidents and driving behaviours at T-junctions without traffic lights. The results of these investigations should not only provide information for the construction of new intersections, but also contain recommendations for rebuilding or extending existing junctions. In addition, suitable solutions for determining priority rules for right-turning vehicles behind triangular traffic islands should have been reported to the road traffic authorities in Germany where applicable.

Essential questions connected to the investigations are:

- Under which conditions it is possible to dispense on left-hand turn-off lanes at T-junctions?
- Which conditions have to be met to be able to abandon the concept of road dividers in subordinated roads?
- Which conditions have to be satisfied to justify the use of triangular traffic islands for route assignments of right-turning vehicles?
- Which priority rules for right-turning vehicles are appropriate behind triangular traffic islands?
- Which impacts does an extension of the width of line-up areas have?

2 Methods of research

Accident analysis

100 T-junctions have been selected for the present analysis. The results of the study are only valid and universal if the conditions of the RAL are satisfied. As a result, the design elements of chosen T-junctions fulfil the RAL to the greatest possible extent. It has also been important that relevant T-junctions offered a particular combination of design elements. Divers grouping sceneries and a diversity of certain parameters have been announced as key factors. Then, throughout the analysis, the overall road safety and traffic movements have been measured for each junction individually.

The five questions mentioned above divide the chosen junctions in five categories (table 1).

Collective 1, 2 and 3 served as a basis to investigate the guide of right-turning vehicles. Collective 2 and 3 were utilized to review various priority rules behind triangular traffic islands. Collective 4 and 5 supplied the relevant data for an estimation of the necessity of left-hand turn-off lanes and road dividers in the subordinated roads. In addition, collective 1 to 4 helped to find out more about suitable lengths for left-turning lanes.

It is also essential to direct the attention to the total traffic loads of different collectives. Collectives 1 to 4 have an average traffic load of approximately 7,000 to 9,000 motor vehicles per day (24 hours).

This number definitely exceeds the upper limit for which RAL suggests the use of traffic lights. On the contrary, the average traffic load of collective 5 is around 3,500 motor vehicles per day (24 hours). This amount clearly remains below the relevant range.

Subsequently, the established collectives have been applied to the accident research. They were compared to each other both in a macroscopic and a microscopic way. Detailed documents about occurred accidents in the rural district of Karlsruhe between 2006 and 2011 formed the groundwork for this undertaking. Therefore, it included detailed information in form of accident report forms as well as accident scene sketches. All in all, 660 accidents have been analyzed. All accidents have been caused by driving interactions at the relevant junction and happened within a radius of 50 m starting from the center of the junction (intersection of the axes).

The accident analysis completed two steps: At first, every accident – distinguished according to the German classification of accidents (Caccident categories) – has been aggregated to one of the above mentioned collectives. Then, basic measures have been conducted for each collective individually. Amongst others the density of accidents, the accident rate and the accident cost rate have been ascertained (macroscopic research). In this context it is important to remark that the accident rate and the accident cost rate were applied for the intersection as a whole (based on the total traffic load at the junction).

In Germany seven main accident types are defined, that describe the probable conflict leading to the accident. Concerning accidents at T-junctions most of the accidents belong to accident type 2 (turning-off accidents) or accident type 3 (turning-on accidents). With this main accident type as leading digit detailed three digit accident types are defined. In a second step of accident analysis, the three digit accident type of each accident has been determined with the help of detailed descriptions of the accident occurrences. Afterwards, it has been possible to conduct further measurements for the five collectives: For instance the number of three digit accident types per collective and their accident cost rate. All in all, the information revealed specific conflict areas of each collective (microscopic analysis). Nevertheless, there have also been additional determinations of the accident cost rate. Further computations of accident cost rates were performed after classifying intersections according to sight distances to the left of drivers who approach the junction from a subordinated road.

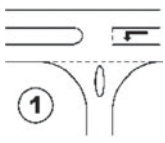
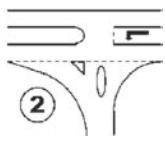
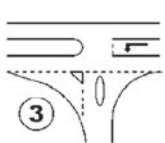
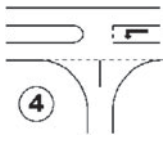
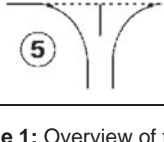
Collective	Details
	<ul style="list-style-type: none"> • Left-hand turn-off lane • Small road divider positioned in the subordinated road • Single radius or ellipsoidal for right-hand turn-off • High traffic load
	<ul style="list-style-type: none"> • Left-hand turn-off lane • Great road divider positioned in the subordinated road • Triangular traffic island for right-hand turn-off • Priority for turning right vehicles behind the triangular traffic island
	<ul style="list-style-type: none"> • Left-hand turn-off lane • Great road divider positioned in the subordinated road • Triangular traffic island for right-hand turn-off • Priority for turning left vehicles behind the triangular traffic island
	<ul style="list-style-type: none"> • Left-hand turn-off lane • No road divider positioned in the subordinated road • Single radius or ellipsoidal for right-hand turn-off
	<ul style="list-style-type: none"> • No left-hand turn-off lane • No road divider positioned in the subordinated road • Single radius or ellipsoidal for right-hand turn-off

Table 1: Overview of the different collectives at junctions

Driving behaviour analysis

40 T-junctions – distributed amongst all five collectives – out of the 100 ones available were chosen for the driving behaviour analysis. A basic criterion for selecting a T-junction or not was an unusual high or low level of safety. It was taken care of that both categories had equal proportions in the end.

The main purpose of the driving behaviour analysis was to gain more insight into certain aspects of the accident analysis. Particularly, the hypothesis stating that results of the accident research are based on time gaps between left-turning vehicles and on-coming vehicles should have been verified by the investigation.

Furthermore, the driving behaviour analysis was meant to answer the following questions:

- Do different lengths of left-hand turn-off lanes cause different delays for straight-driving vehicles?
- What effects do different widths of line-up areas in entry points of subordinated roads have on driving behaviour of vehicles which try to enter the intersection?

The following measuring instruments have been used to assess the driving behaviour: The traffic load of all T-junctions has been captured by a lateral radar device which was not visible for the drivers (image 1, positions A-D). The behaviour of drivers while lining up or turning into the major road has been recorded by a hidden video camera (position 1). This video camera directly faced the area in which the vehicles were lining up for turning into the major street. It was positioned right across the major road. A marker post with an integrated radar and video device observed the major road alone (position 2). His function was to provide data about any impacts on vehicles driving right ahead on the main road, initiated by other vehicles turning left into the subordinated street or coming from the subordinated street and turning right into the major street. Another combined marker post (position 3) monitored the behaviour of vehicles turning right into the major road. This marker post also detected occurrences in the area right behind the triangular traffic island. This area is characterized by possible conflicts between left turning and right turning vehicles.

If calculations of the traffic volume are accomplished for each road of the relevant T-junction individually, it is feasible to illustrate certain characteristics of accidents according to different loads. However, obtaining the data in a cross-sectional way ran into the dilemma that it was impossible to measure the traffic loads of single roads directly. In order to resolve this problem, the key figures were calculated with the FURNESS algorithm.

3 Research Findings

Accident analysis

- Left turning lanes

A comparison of the accident cost rates of collective 4 and 5 indicates that installing left-turning lanes at junctions without a road divider in the subordinated road doesn't seem to be an improvement to road safety. Nevertheless, one has to acknowledge that volumes of traffic at the entry points of collective 5 (without a left turning lane) are remarkably lower than those at entry points of collective 4.

- Road dividers in the subordinated road

A comparison of the average accident cost rate of collective 1 (2.5 €/1,000*vehicles) and collective 4 (12.5 €/1,000*vehicles) reveals that junctions with road dividers in the subordinated roads are safer than junctions without them given the circumstances of high traffic load.

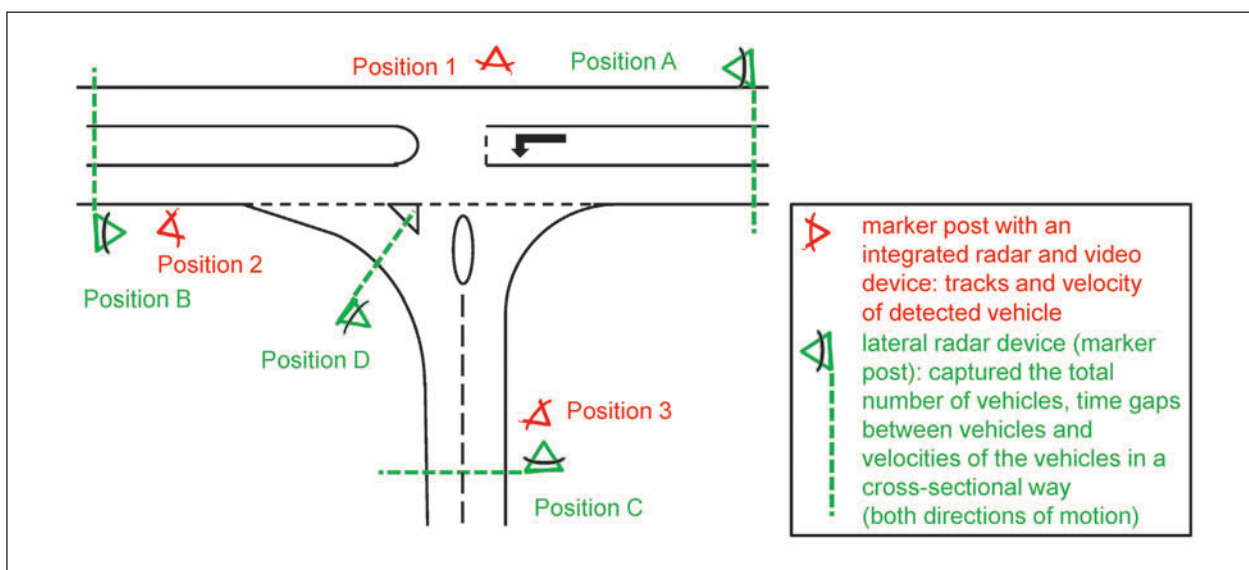


Fig. 1: Various driving constellations at the junction and measurement

- Traffic routing for right turning vehicles

Comparing the average accident cost rate of collective 1 (2.5 €/1,000*vehicles) with the average accident cost rate of collective 2 (7 €/1,000*vehicles) and 3 (17 €/1,000*vehicles) it becomes evident that T-junctions without a triangular traffic island are safer than these with a triangular traffic island. This is highly valid for volumes of traffic up to 8,000 vehicles/24h. In the past it was common practice to lead the right turn vehicles separately besides a triangular island for the sake of better traffic quality and higher speed. The significant safety difference shows that this was detrimental to road safety.

A comparison of the average accident cost rate of collective 2 (priority for right-turning vehicles behind the triangular traffic island) and collective 3 (priority for left-turning vehicles behind the triangular traffic island) also discloses a relatively weak performance of collective 3 (17 €/1,000*vehicles) compared to collective 2 (7 €/1,000*vehicles). Though, the difference becomes primarily evident for traffic loads over 8,000 vehicles/24 hours and in this case RAL already suggests using traffic lights. However, even for volumes of traffic less than 8,000 vehicles/24h, the accident cost rate of both collectives with triangular traffic islands is more than twice as high as of collectives without triangular traffic islands but with the same amount of traffic load (collective 1).

It is remarkable that the different priority rules of collective 2 and 3 don't seem to have any influence on conflicts where the turn-off flows come together. This is also due to the fact that in both cases only an insignificantly number of accidents happened in the so-called conflict area right behind the triangular traffic island. An explanation for the high accident cost rate of collective 3 has to be found elsewhere. A distinction by the three digit accident type of the accidents casts some light on the issue. Here, especially the average accident cost rate of situations in which left-turning vehicles come into conflict with oncoming vehicles which want to continue driving straight ahead (three digit accident type 211) is definitely more severe in the case of collective 3 (6.1 €/1,000 vehicles) than in the case of collective 2 (2.5 €/1,000 vehicles). A reason for this outcome might be that left-turning vehicles in T-junctions of collective 3 in situations of high traffic load try to use even short time gaps in the oncoming traffic. The driving behaviour analysis will refer to this topic in detail. In spite of this, the average

accident cost rate of collective 1 (a T-junction without a triangular traffic island) is more beneficial than both other solutions (1.0 €/1,000 vehicles). As an example one could mention that 13 of 17 T-junctions designed like collective 1 didn't experience accidents involving left-turning vehicles at all.

Another frequented accident type is the three digit accident type 302. This describes a conflict between a left-turning-on vehicle and an oncoming vehicle approaching from the left side and driving straight ahead. A number of 177 accidents in total have been documented for this category. Only 137 accidents are caused by the three digit accident type 211 type which has already been mentioned in the paragraph above. Also for the accident type 302, collectives 2 and 3 contain some irregularities. Yet, the difference (4.8 and 6.9 €/1,000 vehicles) isn't as immense as for the accident code 211. Nevertheless, again, collective 1 (junction without a triangular traffic island) offers a more appropriate cost rate (1.9 €/1,000 vehicles).

- Sight distances and location of the junction

Further investigations led to a rather surprising result: The average accident cost rates of turning-on accidents augmented when sight distances to the left side increased as well. These circumstances are particularly apparent for accidents belonging to the accident type 302 (conflict of a left-turning-on vehicle and a vehicle approaching from the left side and driving straight ahead). At Junctions corresponding to collective 3 more of these situations are documented than at junctions constructed similar to collective 2.

However, it would be misguided to conclude that a short sight distance is always favorable in order to achieve low accident cost rate. A counterexample is provided by junctions with connector ramps. Crests limit the field of vision of left-turning vehicles and generally provoke a higher accident cost rate of turning-off accidents.

- Line-up area

Unexpectedly, the analysis of accident cost rates of the three digit accident type 302 didn't provide any new insights into the optimal width of the line-up area in the subordinated road of the junction.

Changing the size of this area doesn't seem to have an important impact on the accident cost rate.

- Traffic routing of bicycles

On the whole, the number of bicycle accidents was relatively small. Most coincidences happened in junctions modelled like collective 4 (without road dividers). Here, the cyclist follows a route assignment close to the higher level road, where the cyclist has priority to cross the subordinated road.

Driving behaviour analysis

- Left turning lanes

There has been no proof that the length of left-turning lanes is affecting vehicles going straight ahead. This is the main result of the analysis of the time gaps between left-turning vehicles and following straight-driving vehicles. There are at least two reasons for this outcome: First, vehicles following the left-turning vehicle are very alerted to potential dangers while driving and reduce their velocity on time. Hence, critical close-ups between two vehicles become very unlikely. Second, the velocities of left-turning vehicles are rather high.

Even if there is only a short left-turning lane, the speed of the left-turning vehicle repeatedly exceeds the imposed speed limit of 70 km/h. Generally, the results also seem to be valid for junctions with small volumes of traffic and no left-turning lanes (collective 5).

- Priority rule behind the triangular traffic island

The analysis of time-gaps between left-turning vehicles and oncoming vehicles crossing their way suggests refusing to integrate triangular traffic islands at T-junctions. This guarantees the most favorable outcome in terms of safety. The average time gaps of collective 1 (without a triangular traffic island) are superior to those of collective 2 and 3 which contain a triangular traffic island. Besides, vehicles at junctions designed like collective 1 tend to await the passage of oncoming vehicles even if time gaps seem to be big enough. These occurrences haven't been perceived to the same extent in collective 2 and 3.

Figure 2 is showing the trajectories of two vehicles recorded by the radar unit; in the bird's eye view (left), the distance-time and velocity-time diagram a

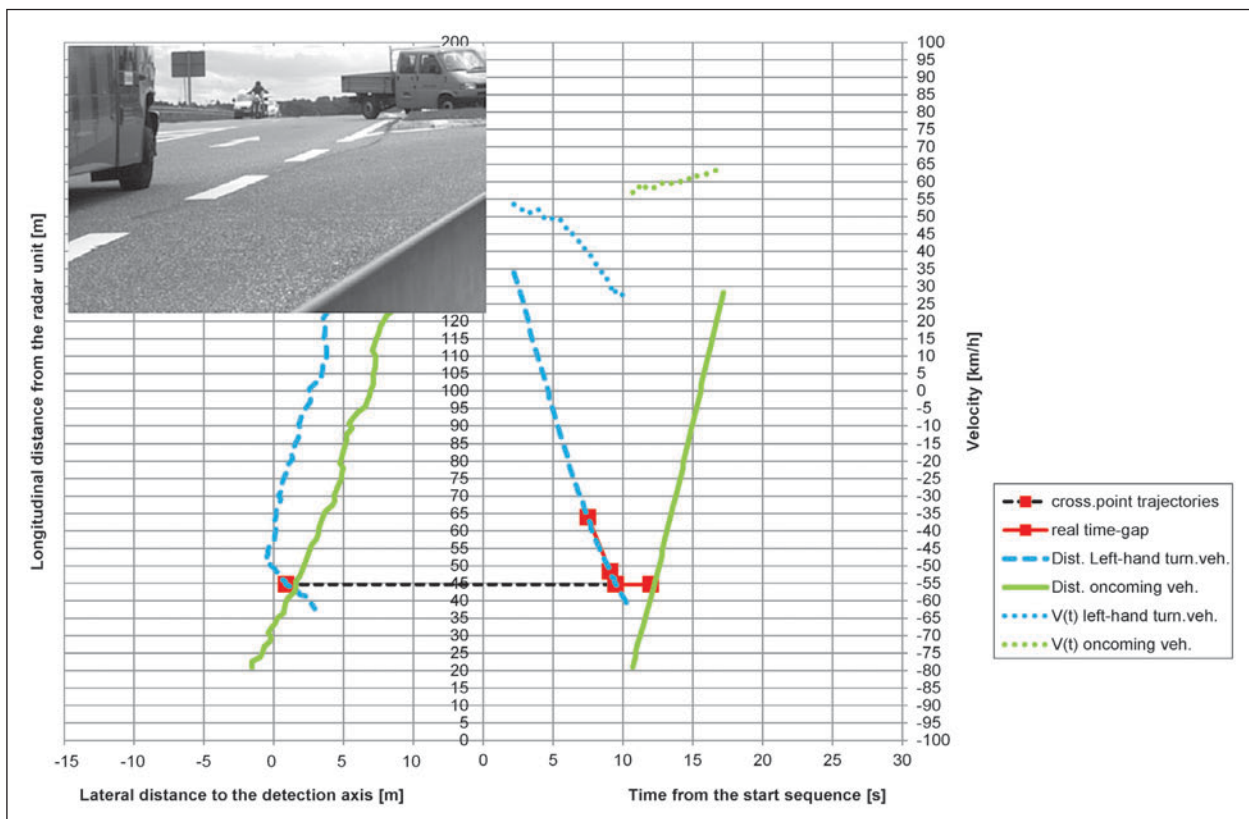


Fig. 2: Diagram of relevant trajectories; longitudinal and lateral distances to radar unit (left); longitudinal distance/time; velocity/time-diagram (right), photo of turning-off-situation 1 second before reaching the cross point

situation is documented, where the left-turning car (blue) is turning-off only 2.5 seconds before the oncoming traffic (green).

Figure 3 is illustrating the opposite situation, where the left-turning vehicle is arriving with the same fictive time gap. This vehicle is reducing its velocity and is waiting some seconds. At T-junctions of the collectives 2 and 3 the probability of using a small time gap is much higher than the probability at T-junctions of the collective 1.

On the whole, there are no significant differences between the driving behaviour at collective 2 and 3 (both offered traffic routing for right-turning vehicles assisted by triangular traffic islands, but they had different priority rules behind the triangular traffic island). As a result, the driving behaviour analysis couldn't provide any suitable explanations for the dissimilar number of accidents at these collectives.

Still, similar to the accident analysis, the driving behaviour analysis confirms that both priority rules ensure a safe situation behind the triangular island. There have been only a few cases in which the

priority rules behind the triangular traffic island have been ignored in a situation with small time gaps.

- Line-up area

12 out of 40 observed junctions operate with a priority rule declared as StVO (5)-sign 206 (Stop! Give way!). Nevertheless, the proportion of turning vehicles not pausing at the corresponding sign is approximately merely 10% lower than at junctions with a traffic regulation according to StVO-sign 205 (Give way!). This demonstrates an insufficient appreciation of the distinction of the two signs. However, the circumstance that a high percentage of vehicles even stops at entry points with StVO-sign 205, draws the conclusion that other factors are certainly given a higher significance in turning situations than the prevailing priority rule.

Furthermore, there seems to be no connection between an increase in vehicles ignoring the StVO-sign 206 and expanding dimensions of the line-up area. Similarly, the degree of sight distance of left-turning vehicles shows no impact. A detailed breakdown of situations in which two turning

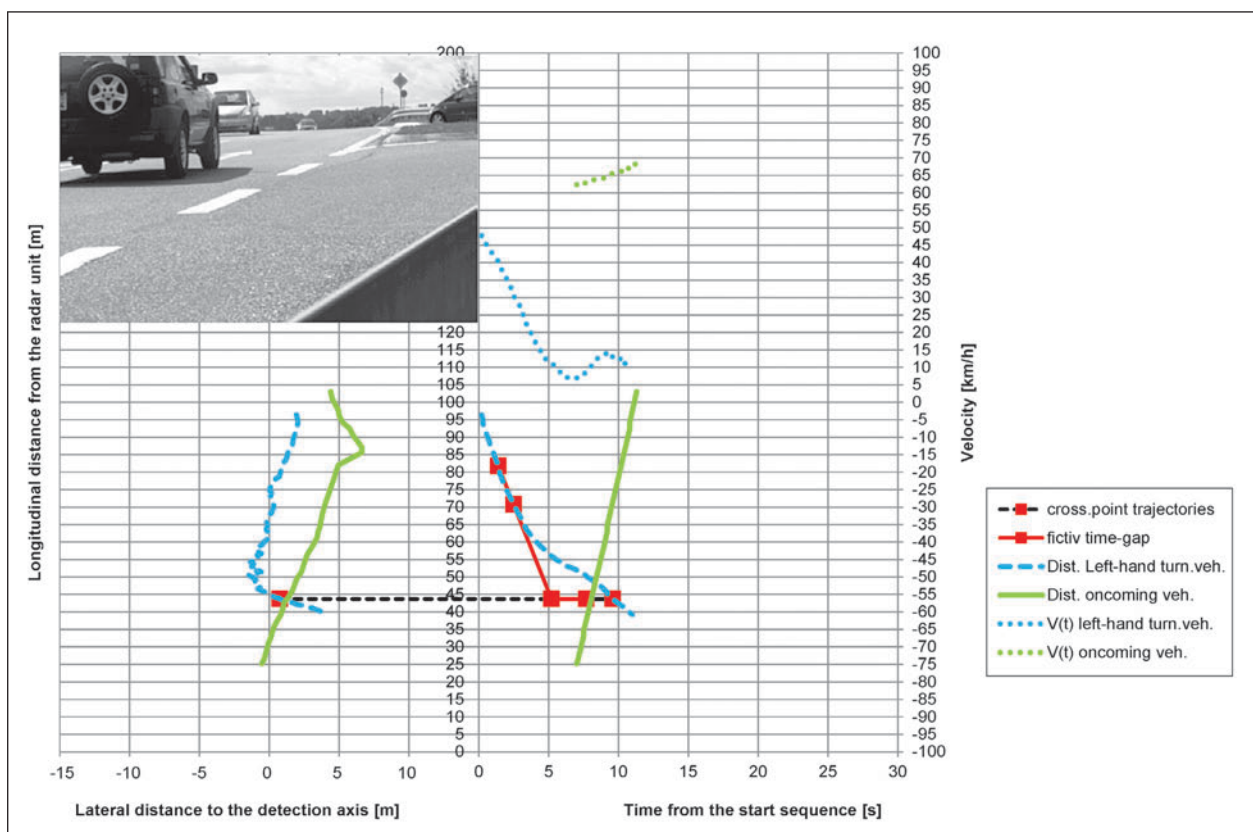


Fig. 3: Diagram of relevant trajectories; longitudinal and lateral distances to radar unit (left); longitudinal distance/time; velocity/time-diagram (right), photo of turning-off-situation 1 second before reaching the cross point

vehicles are standing next to each other proves that only occasionally the sight of the driver of one of the vehicles is potentially reduced by the other vehicle. Consequently, large vehicles are not a systematic handicap to the sight of drivers of smaller vehicles standing right beside the big one. Yet, the evaluation displays that an extensive line-up area invites drivers to line up next to each other even if the traffic load is relatively low. As opposed to that, vehicles do not try to position themselves side by side if the line-up area has a width of less than 5 m. Only if the traffic volume increases significantly they fall back on this practice.

4 Relevant conclusions for practice

In general, the accident analysis as well as the driving behaviour analysis supports the limits of usage of individual design elements with varying parameters imposed by RAL. Although the obtained results demonstrate only a few negative consequences when excluding road dividers in subordinated roads and left-hand turn-off lanes from junctions with very low traffic load, an actual application of this practice needs to be thoroughly revised before putting it into action. Further investigations and a discussion by the responsible scientific committee are indispensable preconditions.

A certain insight is given by the fact that route assignments for right-turning vehicles with triangular traffic islands have undeniable higher accident cost rates compared to those without triangular traffic islands. The same perception has been made for a wide range of volumes of traffic. Consequently, it would be appropriate to reconsider the current standard solution for right-turning vehicles declared as RA3 (analog to the design elements of collective 3) on roads specified as EKL 3 as entailed in RAL. Especially, at junctions with high traffic loads abandoning common practice would probably establish a superior level of safety.

Furthermore, it became evident that junctions with a traffic load over 8,000 vehicles/24h face a high accident cost rate if the priority rule behind the triangular traffic island gives way to left-turning vehicles (those have already completed their turning maneuver by the time they reach the area around the triangular traffic island). This state of affairs is

almost exclusively due to differentiating levels of safety of accidents between left-turning vehicles and oncoming straight-driving vehicles. Arguments which explain these alterations can't be provided within this research. Nevertheless, one has to acknowledge that according to RAL junctions at grade with volumes of traffic reaching the above mentioned dimensions should be managed by traffic lights.

The road traffic authorities in Germany accept and use both priority rules. Surprisingly, even within one section of road priority rules are changing. The study clearly demonstrates that priority rules have no impact on the actual conflict area behind the triangular traffic island. However, they do have a great influence on the safety of left-turning vehicles. The extent to which a lack of safety is due to diverse priority rules is uncertain for the moment. In this context, the driving behaviour analysis didn't offer any satisfactory outcomes. Thus, before being able to make any general suggestions one has to gain further insights into that topic. A closer observation providing motives for differentiating safety levels in situations with different priority rules is an essential prerequisite for any recommendations.

Similarly, whether a rejection of separate route assignments for right turning vehicles marked as RA3 for ramp connections to roads with physically separated directions is useful or not is beyond the scope of this research. Triangular traffic islands impose good subsoil for signposts for wrong-way drivers. This circumstance would rather argue against the elimination of triangular traffic islands.

The analysis confirms that with regular radii in order to fit a standard design vehicle (truck) and if the line-up area covers a minimum of 6m starting from the side of the superior road, then the line-up area extends to a size in which a side-by-side line-up of small turning vehicles can't be prevented anymore. However, neither the accident analysis nor the driving behaviour analysis presents any hints that vehicles positioning themselves side by side are reducing the safety level at the corresponding junction. A high safety level can be ensured if the road width is limited next to the road divider on the necessary minimum width of 4.50 m.

Referring to bicycle traffic, the study supports the general argument that route assignments for bicycles at junctions of rural roads without any traffic lights impose an elevated safety risk for cyclists. This is mostly due to the turning behaviour of other vehicles. Corresponding to the obtained observations, the following modifications are recommendable: Bicycles lanes should be physically separated from the superior road of the junction and far away from the traffic routing of vehicles. In addition, the priority rule of the subordinated street should give way to vehicles rather than to bicycles. Cyclists should await the passing of vehicles and then move on. While crossing the road, they should follow a path which leads over the road divider. All of these suggestions are already part of the RAL.

Inhalt

1	Einleitung	15	4.4	Makroskopische Unfallanalyse.	37
2	Stand der Wissenschaft und Technik	15	4.5	Mikroskopische Unfallanalyse	43
2.1	Vorbemerkungen	15	4.5.1	Zusammenhänge zwischen Knotenpunktgestaltung und Unfalltypen	43
2.2	Für Bestandsknotenpunkte relevantes Regelwerk.	15	4.5.2	Einfluss der Verkehrsbelastung von Fahrbeziehungen auf das Unfallgeschehen.	49
2.3	Aktuelles Regelwerk.	18	4.5.3	Einfluss der Sichtweiten auf das Unfallgeschehen	50
2.4	Einfluss verschiedener Knotenpunktformen auf die Verkehrssicherheit	20	4.5.4	Einfluss der Aufstellbreite auf das Unfallgeschehen	54
2.5	Einfluss einzelner Knotenpunktelemente auf Fahrverhalten und Verkehrssicherheit	21	4.6	Zusammenfassung.	54
2.5.1	Allgemeines	21	5	Fahrverhaltensanalyse	55
2.5.2	Linksabbiegen	22	5.1	Allgemeines	55
2.5.3	Rechtsabbiegen	22	5.2	Fragestellung Aufstellen und Einbiegen	56
2.5.4	Einbiegen	23	5.3	Detailfragestellung Linksabbiegen bei geringen Zeitlücken zum Gegenverkehr.	59
2.6	Einfluss der Knotenpunkte auf die Verkehrssicherheit der angrenzenden Streckenabschnitte	23	5.4	Detailfragestellung Ab- und Einbiegeverhalten und Verzögerung von Durchfahrern	64
2.7	Zusammenfassung.	24	5.4.1	Mögliche Behinderungen von Durchfahrern durch Verzögerungen von Linksabbiegern	64
3	Untersuchungsmethodik	25	5.4.2	Mögliche Behinderungen von Durchfahrern durch Rechtsabbieger.	66
3.1	Abgrenzung der Fragestellungen.	25	5.5	Detailfragestellung Konflikte zwischen Abbiegern nach Dreiecksinseln unter Berücksichtigung der Vorfahrtsregelung.	69
3.2	Auswahl der Knotenpunkte	27	6	Zusammenfassung und Ausblick ...	72
3.3	Messtechnik	30	7	Literatur	75
3.4	Zuordnung von Erhebungsmethoden zu Fragestellungen	31	Bilder	77	
3.5	Übergeordnete Betrachtungen.	34	Tabellen	79	
4	Unfalluntersuchung	35	Anhang	80	
4.1	Allgemeines	35			
4.2	Datengrundlage und Vorgehen	35			
4.3	Klassifizierung von Unfällen	35			
4.3.1	Kenngroßen der makroskopischen Unfalluntersuchung	36			
4.3.2	Kenngroßen der mikroskopischen Unfalluntersuchung	37			

1 Einleitung

In den meisten Untersuchungen zur Sicherheit von Knotenpunkten an Landstraßen, aber auch bei den Festlegungen des Regelwerks werden in aller Regel nur unterschiedliche Knotenpunktarten, d. h. die Kombination der baulichen Grundform mit der Betriebsform, differenziert betrachtet. Im Falle lichtsignalgeregelter Knotenpunkte wird darüber hinaus zumindest auch nach der Anzahl der Phasen in der übergeordneten Straße differenziert. Auf dieser Basis wurden in verschiedenen Vorhaben z. B. Unfall(kosten)raten zu verschiedenen Knotenpunktarten und belastbare Abgrenzungen insbesondere für die Abwägung zwischen Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlagen (LSA) abgeleitet.

Deutlich weniger Erkenntnisse liegen für die unterschiedlichen Gestaltungsmöglichkeiten plangleicher Knotenpunkten ohne LSA vor. Dabei sind insbesondere die Anlage von Linksabbiegestreifen und die Führung der Rechtsabbieger sowie deren Verkehrsregelung nach einer evtl. vorhandenen Dreiecksinsel variierbar. Im Bestand ist darüber hinaus eine große Vielfalt an Gestaltungen der Aufstellbereiche anzutreffen.

Durch mikroskopische Sicherheits- und Fahrverhaltensanalysen von Knotenpunktdetails soll untersucht werden, welche Detaillösungen unter verschiedenen Randbedingungen welche Sicherheitsgrade erwarten lassen. Dabei ist bewusst neben der Unfallsituation auch das Fahrverhalten zu analysieren, da aufgrund der teilweise geringen Kollektivgrößen im Unfallgeschehen nicht immer alleine daraus abgesicherte Erkenntnisse zu erwarten, sondern unterstützend auch aus Unterschieden im Fahrverhalten Schlüsse zu ziehen sind. Neben der erforderlichen Abgrenzung verschiedener Knotenpunktdetails für Neuplanungen soll auch aufgezeigt werden, wie diese Erkenntnisse möglichst zeitnah auch in die für den Nutzer viel häufiger relevanten Um- und Ausbaumaßnahmen bestehender Knotenpunkte einfließen können. Erkenntnisse z. B. zu zweckmäßigen Vorfahrtsregelungen nach Rechtsabbieger-Dreiecksinseln – möglicherweise in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke und Fahrzeugmischung der einzelnen Abbiegestrome – sind dabei mit vergleichsweise wenig Aufwand auch ohne aufwändige Planungen umsetzbar. Andere mögliche systematische Erkenntnisse sollen so aufbereitet werden, dass sie bei Umbaumaßnahmen umgesetzt werden können, falls diese aus anderen Gründen (z. B. Beseitigung einer Unfallhäufungsstelle) ohnehin anstehen.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Vorbemerkungen

Die im Bestand vorhandenen Knotenpunkte, die für diese Untersuchung vorgesehen sind, sollen in etwa den in den RAL (2012) vorgesehenen Varianten entsprechen, um sinnvolle Ableitungen für eine Weiterentwicklung dieses gerade eingeführten Regelwerks treffen zu können. Die Ausbildung der zu untersuchenden Knotenpunkte kann sich jedoch in aller Regel nur an den beiden jüngsten vorhergehenden Regelwerksausgaben der 1970er und 1980er Jahre (RAL-K-1, RAS-K-1) orientieren. Die grundlegenden Gestaltungselemente insbesondere der für diese Untersuchung relevanten Rechtsabbiegerführungen sind allerdings seit dieser Zeit geometrisch nahezu unverändert geblieben und in den RAL (2012) weitgehend übernommen worden.

In den RAL (2012) wurde hinsichtlich der Begrifflichkeiten eine Anpassung der Benennung von Knotenpunktarten vorgenommen, bei denen Teile der Verkehrsbeziehungen in mehreren Ebenen abgewickelt werden. So werden in Zukunft nur noch solche Knotenpunkte als planfrei bezeichnet, die im Zuge sowohl der über- als auch der untergeordneten Straße lediglich Ein- und Ausfädelungsvorgänge aufweisen. Die bislang im Regelwerk als planfrei bezeichneten Anschlussstellen mit planfreien und plangleichen Teilknotenpunkten werden in Zukunft als teilplanfrei benannt. Die bislang als teilplanfrei bezeichneten Knotenpunkte mit einer Rampe (Typ IV nach RAS-K-1, 1988) heißen nunmehr teilplangleich. Bei der Literaturanalyse wurde sowohl für das ältere Regelwerk als auch für die Literatur die neue Begriffswahl verwendet, gleiches gilt für Begriffe wie Fahrstreifen (früher Fahrspur).

Die Literaturanalyse bezieht sich hauptsächlich auf die im weiteren relevanten plangleichen Knotenpunkte bzw. plangleichen Teilknotenpunkte von teilplangleichen bzw. teilplanfreien Knotenpunkten ohne LSA.

2.2 Für Bestandsknotenpunkte relevantes Regelwerk

In den vergangenen Jahrzehnten wurden Knotenpunkte nach den Entwurfsgrundsätzen der RAL-K-1 (1976) bzw. der RAS-K-1 (1988) gestaltet. Die empirischen Untersuchungen, die dem Stand der Wis-

Grundform	Einmündungen	Kreuzungen
I Einmündung oder Kreuzung von 2-streifigen Straßen		
II Einmündung oder Kreuzung von 2-bahnigen mit 2-streifigen Straßen. In der Regel mit Lichtsignalanlage		
III Einmündung oder Kreuzung von zwei 2-bahnigen Straßen. Mit Lichtsignalanlage		
IV Teilplanfreie Kreuzung von 2-streifigen oder 2-bahnigen Straßen		
V Kreuzung 2-streifiger Straßen als Versatz		
VI Aufgeweitete Einmündung oder Kreuzung mit mindestens einer 2-bahnigen Straße		
VII Kreisverkehrsplatz an 2-streifigen oder 2-bahnigen Straßen		

Bild 1: Grundformen plangleicher Knotenpunkte (RAS-K-1, 1988)

senschaft und Technik zugrunde liegen, beruhen auf diesen Regelwerken. Im Folgenden sollen die wichtigsten Entwurfsmerkmale beschrieben werden. Deshalb wird auf beide Regelwerke Bezug genommen.

Die Knotenpunktgeschwindigkeit wird bei der Bemessung von Knotenpunkten in den RAL-K-1 (1976) über die Formel für die im Knotenpunkt maßgebende Geschwindigkeit $V_K = V_e + 20$ [km/h] definiert. Darunter wird die Geschwindigkeit verstanden, die auch von unbehindert fahrenden Pkw bei trockener Straße nicht wesentlich überschritten wird.

Die Knotenpunktelemente (Rechtsabbiegestreifen, Rechtsabgang, Eckausrundung) für Rechtsabbiegen hängen nur indirekt von V_K ab.

Die Verkehrsbelastung ist indirekt mitbestimmend für die Wahl des Knotenpunkttyps (in den RAL (2012) als Knotenpunktart bezeichnet) und die Wahl des Ausbaustandards.

Knotenpunkte von zweistreifigen Straßen werden in der Regel plangleich ausgebildet. Ein kosten- bzw. flächenaufwendigerer Ausbau mit einem Knotenpunkttyp IV (teilplangleich) ist nach RAS-K-1 aus Gründen der besseren Verkehrssicherheit z. B. als Alternative zu einem plangleichen Knotenpunkt mit LSA möglich. Der Ausbau mit teilplangleichen Lösungen empfiehlt sich zudem, wenn Verkehre unterschiedlicher Geschwindigkeitsniveaus aufeinandertreffen (Bild 1).

Die wichtigsten Gestaltungsformen zweistreifiger Straßen nach RAL-K-1 (1976) bilden somit der Knotenpunkttyp I und der Knotenpunkttyp II (Bild 2). Der Knotenpunkttyp II wird im Vergleich zum Typ I mit Linksabbiegestreifen, einer kleinen Clinken Dreiecksinsel zwischen Rechts- und Linksabbiegerführung sowie einem Tropfen in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt ausgestattet (Bild 2). Die Wahl des Knotenpunkttyps ist abhängig davon, ob die Anlage eines Linksabbiegestreifens erforderlich ist oder nicht.

Für den Aufstellbereich von Einbiegern an Knotenpunkten ohne LSA außerhalb bebauter Gebiete mit einer $V_K = 70$ km/h ist nach RAS-K-1 (1988) eine Breite von 4,5 m (einschl. Randstreifen und Randmarkierung) vorgesehen.

Ein Fahrbahnteiler in der übergeordneten Straße plangleicher Einmündungen ohne LSA ist dann vorgesehen, wenn der Knotenpunktbereich regelmäßig von Fußgängern überschritten wird. Für die Führung von Radfahrern gelten folgende Grundsätze: Radwege parallel zur übergeordneten Straße sollen in einiger Entfernung abgesetzt über den Tropfen und nicht über die Dreiecksinsel des untergeordneten Knotenpunktarmes geführt werden. Radwege, die die übergeordnete Straße kreuzen, sollen über die linke Dreiecksinsel geführt werden, sodass in keinem Fall die Linksabbiegestreifen gekreuzt werden müssen. Eine Geschwindigkeitsbeschränkung ist hier zwingend vorgesehen.

In den untergeordneten Straßen werden Tropfen zur Trennung der Fahrrichtungen angelegt. Außerdem sollen sie die Wartepflicht verdeutlichen. Der Tropfen soll mindestens 2 m vom Rand der übergeordneten Straße abgesetzt sein, damit der Linksabbieger leichter erkennt, dass er hinter dem Tropfen abbiegen muss. Außerdem wird ggf. der Blick auf die linke Dreiecksinsel freigegeben. Nach RAS-K-1 wird bei der Anwendung einer Dreiecksinsel die Anlage eines großen Tropfens

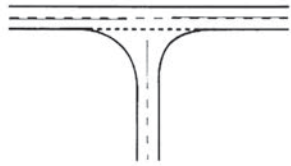
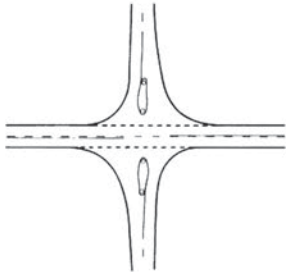
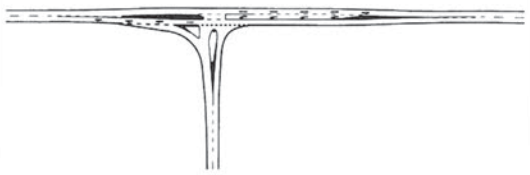
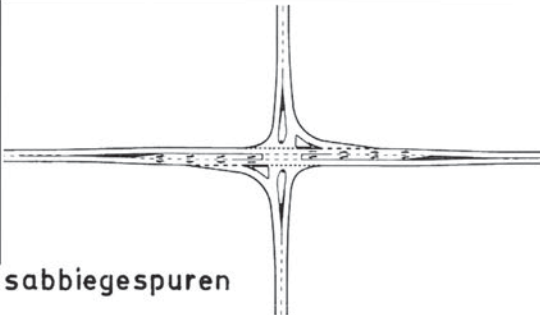
Knotenpunkttyp	Einmündung	Kreuzung
I		
II		 <p style="text-align: center;">auch mit Rechtsabbiegespuren</p>

Bild 2: Knotenpunkttypen nach RAL-K-1 (1976)

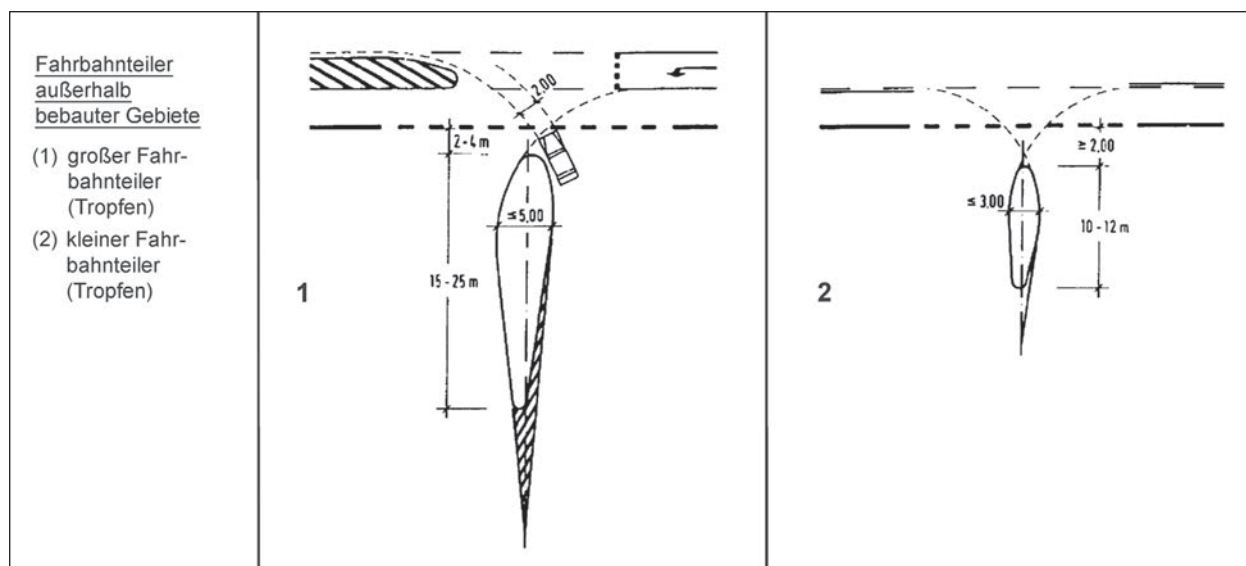


Bild 3: Fahrbahnteiler (Tropfen) außerhalb bebauter Gebiete (RAS-K-1, 1988)

empfohlen. Bei Verzicht auf die Dreiecksinsel genügt in der Regel die Anlage eines kleinen Tropfens (Bild 3).

Die Verkehrsbelastung wird als ein Maß zur Auswahl und Bemessung von Knotenpunkten betrachtet. In Abhängigkeit davon werden die Längen der Links- und Rechtsabbiegestreifen bemessen.

Linksabbiegestreifen setzen sich nach RAS-K-1 (1988) aus der Aufstellstrecke I_A , der Verzögerungsstrecke I_V , und der Verziehungsstrecke I_Z zusammen. Die Berücksichtigung von I_V gewährleistet, dass die Verzögerung der abbiegenden Fahrzeuge nicht auf dem durchgehenden Fahrstreifen durchgeführt wird. Die Aufstellstrecke I_A wird in Abhängigkeit vom Linksabbiegeverkehr bemessen. Die

Gesamtlänge von l_A und l_V soll mindestens 20 m betragen. Bei beengten Verhältnissen kann nach RAS-K-1 (1988) auch ein Aufstellbereich mit geringeren Abmessungen angelegt werden.

Für die Führung der Rechtsabbieger kommt nach RAS-K-1 (1988) der einfache Kreisbogen, der Ausfahrkeil mit Eckausrundung und Dreiecksinsel oder eine Führung mit Rechtsabbiegestreifen in Betracht. Die unterschiedlichen Führungen werden z. B. je nach Knotenpunktgeschwindigkeit oder unter Belangen der Verkehrsteilnehmer (Führung von Radfahrern) ausgewählt. Hauptsächlich muss die Ausrundung den fahrdynamischen Anforderungen entsprechen. So können Ausfahrkeile mit höheren Geschwindigkeiten befahren werden.

Die Kantenlänge von Dreiecksinseln beträgt 5 bis 20 m. Die Konfliktfläche der Links- und Rechtsabbieger bleibt somit übersichtlich. Nach RAL-K-1 (1976) ist eine besondere Regelung durch Verkehrszeichen in diesem Bereich nicht erforderlich. Diese Regelung wurde aus den RAS-K-1 (1988) wieder gestrichen. Eine Anmerkung zur Vorfahrtsregelung ist hier nicht vorhanden.

2.3 Aktuelles Regelwerk

Nach dem aktuellen Regelwerk, den RAL (2012), werden Landstraßen abhängig von ihrer Verbindungsfunktion verschiedenen Entwurfsklassen (EKL) zugeordnet. Innerhalb einer Entwurfsklasse wird angestrebt, die Knotenpunkte einheitlich auszubilden. Treffen an einem Knotenpunkt zwei Straßen verschiedener Entwurfsklassen aufeinander, so wird die Straße mit der höheren Entwurfsklasse vorfahrtrechtlich übergeordnet. Entsprechen den Entwurfsklassen der Straßen, die an einem Knotenpunkt aufeinandertreffen, ergeben sich standardisierte Knotenpunktarten, die es anzuwenden gilt (Bild 4).

Teilplanfreie Knotenpunkte umfassen einen Aus- und Einfahrtbereich sowie einen plangleichen Teilknotenpunkt. Teilplanfreie Knotenpunkte kommen zum Einsatz, wenn eine Straße der EKL 1 mit einer Straße EKL 2 oder EKL 3 verbunden wird. Teilplangleiche Knotenpunkte verbinden Straßen einer EKL 2 mit einer EKL 2 oder EKL3. Alternativ kommen auch plangleiche Knotenpunkt zur Anwendung, die aus Gründen der Verkehrssicherheit mit LSA betrieben werden sollen.

Plangleiche Knotenpunkte ohne LSA kommen zur Anwendung, wenn eine Straße der EKL 3 mit einer Straße der EKL 3 oder EKL 4 verknüpft wird. In Aus-

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

Bild 4: Regeleinsatzbereich dreiarmer Knotenpunkte nach RAL (2012)

nahmefällen sind sie auch bei einer Anbindung einer EKL 3 an eine Straße der EKL 2 möglich. Der Anschluss einer EKL 3 an eine höherrangige Straße mit einer teilplanfreien bzw. teilplangleichen Verbindung ohne LSA ist ebenfalls zulässig. Ab einem DTV von 5.000 Kfz/24h für den gesamten Knotenpunkt sind volkswirtschaftliche Vorteile für eine Lösung mit LSA belegt.

Die Lage von Knotenpunkten ohne LSA auf Kuppen und in engen Kurven ist zu vermeiden, da sich hier schlechte Sichtverhältnisse einstellen. Des Weiteren sind die wartepflichtigen Zufahrten einstreifig auszubilden.

Die Anwendung der Knotenpunktelemente an Knotenpunkten ohne LSA ist abhängig von den Entwurfsklassen der verknüpften Straßen. In den RAL (2012) sind für jede Entwurfsklasse Standardlösungen zur Ausbildung der Ein- und Abbiegetypen vorgegeben:

Knotenpunkte werden in der übergeordneten Straße immer mit Linksabbiegestreifen gebaut. Die Längen der Verziehungs-, Verzögerungs- und Aufstellstrecken sind abhängig von der Entwurfsklasse der Straße.

Für die Rechtsabbiegerführungen an Knotenpunkten ohne LSA sind ohne Präferenz sowohl Führungen mit als auch ohne Dreiecksinsel möglich (Bild 5). Dabei ist allerdings deutlich formuliert, dass im Falle gesonderter Radwegführungen über eine der beiden Straßen keine Führung mit Dreiecksinsel vorgesehen werden soll.

Im Falle der Anwendung eines Rechtsabbiegetyps mit Dreiecksinsel wird für den Rechtsabbieger eine Wartepflicht mit der Vorfahrtsregelung „Vorfahrt gewähren“ (Zeichen 340 StVO) empfohlen.

Der Zufahrtstyp für Kreuzen und Einbiegen ist abhängig vom Rechtsabbiegetyp. Mehrere Aufstellstreifen im Einbiegebereich werden nur an signalgesteuerten Knotenpunkten angelegt. Die Fahrbahnbreite für Einbieger beträgt aus fahrgeometrischen Gründen mindestens 4,50 m (einschließlich Randstreifen), allerdings wird auch in den RAL (2012) darauf hingewiesen, dass der Aufstellbereich möglichst schmal ausgebildet werden soll.

Radfahrer werden bei Knotenpunkten ohne LSA parallel zur übergeordneten Straße über den Tropfen geführt. Dabei ist für den Anwendungsfall einer untergeordneten Straßen der EKL 3 in der Regel eine abgesetzte Führung mit Wartepflicht für den Radfahrer vorgesehen, lediglich bei untergeordneten Straßen der EKL 4 und anderen schwach belasteten Zufahrten soll eine nah an der übergeordneten Straße geführte bevorrechtigte und rot eingefärbte Radwegführung vorgesehen werden.

In welcher Entfernung die Tropfen vom übergeordneten Fahrbahnrand angelegt werden, hängt von der Schleppkurve ab. Bei Rechtsabbiegerführungen mit Dreiecksinsel wird ein großer Tropfen ausgebildet, bei Rechtsabbiegerführungen ohne Dreiecksinsel ein kleiner Tropfen.

Um zu gewährleisten, dass ein gefahrloses Einbiegen und Abbiegen der Kraftfahrer möglich ist, müs-

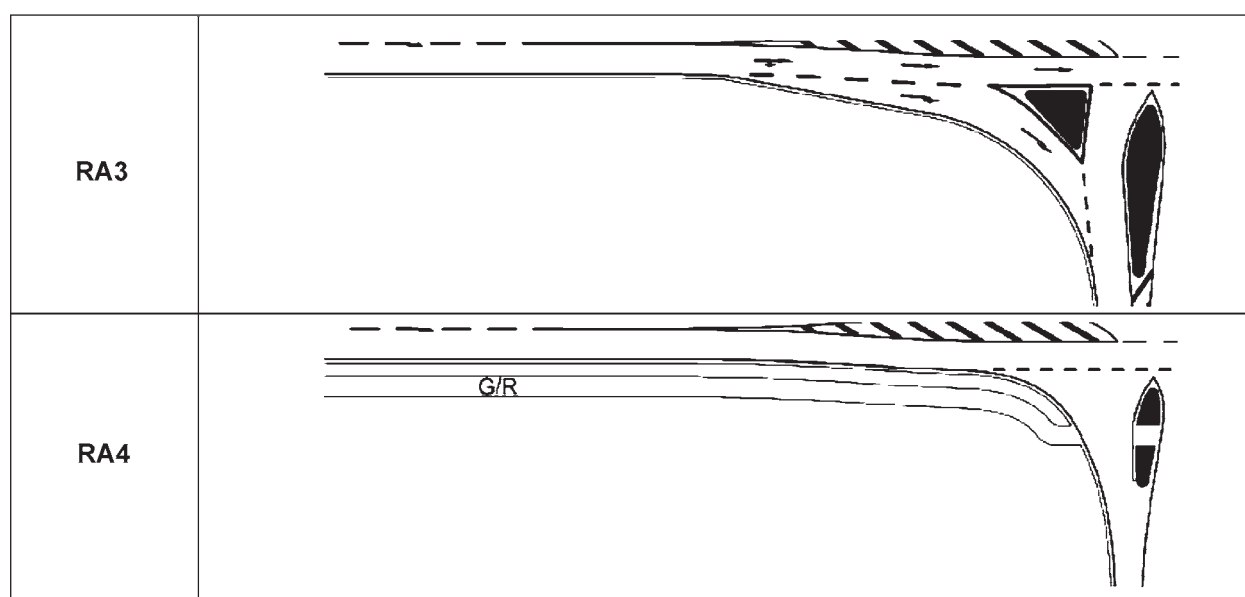


Bild 5: Rechtsabbiegetypen nach RAL (2012), RA3 und RA4

sen Sichtfelder von Sichthindernissen (Bewuchs, Wegweiser) freigehalten werden (RAL, 2012). Die freizuhaltenen Sichtfelder werden aus einer Höhe von einem Meter definiert (für Lkw-Fahrer aus 2,50 m). Ebenso wird die Höhe des Zielpunktes auf einen Meter festgelegt. Damit die Anfahrsicht an Einmündungen eingehalten ist, muss im Abstand von drei Metern vom Rand der bevorrechtigten Fahrbahn ein Sichtdreieck mit einer Schenkellänge von 110 m ($V_{zul} = 70 \text{ km/h}$) je Blickrichtung freigehalten werden. Auf Strecken ohne zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt die Schenkellänge 200 m.

2.4 Einfluss verschiedener Knotenpunktformen auf die Verkehrssicherheit

Aufgrund mehrerer Untersuchungen zur Verkehrssicherheit von Knotenpunkten lässt sich eine Abstufung des Sicherheitsniveaus von Knotenpunkten bezogen auf die Unfallkostenrate (UKR) festlegen. Nach SCHNÜLL und RICHTER (1994), STURM (1989), KÖLLE und SCHNÜLL (1999), ist die sicherste Knotenpunktform der kleine Kreisverkehrsplatz. Die zweitsicherste Knotenpunktform ist der teilplanfreie Knotenpunkt. Ein vergleichbares

aber geringeres Sicherheitsniveau haben teilplan- gleiche Kreuzungen und Kreuzungen mit LSA und Linksabbiegerschutz. Die unsicherste Knotenpunktform sind Kreuzungen mit LSA ohne Linksabbiegerschutz und Kreuzungen ohne LSA.

ECKSTEIN und MEEWES (2002) kommen bei ihrer Untersuchung von 70 Knotenpunkten im Zuge von einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen zu detaillierteren Ergebnissen. Weitere Untersuchungen ergeben, dass Einmündungen bei gleicher Regelungsart sicherer sind als Kreuzungen. Knotenpunkte mit LSA erhöhen die Verkehrssicherheit gegenüber vorfahrtgeregelten Knotenpunkten nur bei einer LSA-Steuerung mit mehr als 2 Phasen. Für Einmündungen mit 3-phasiger-LSA-Steuerung sind Unfallkostenraten (P, S) von ca. 14 EUR/1.000 Kfz festzuhalten. Für Einmündungen ohne LSA und Einmündungen mit LSA und 2-phasiger-Steuerung liegen die Unfallkostenraten bei ca. 30 EUR/1.000 Kfz, also ungefähr doppelt so hoch. Eine ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung (OGÜ) auf einer übergeordneten Straße mit einer V_{zul} von 70 km/h erhöht den Sicherheitsgrad gegenüber einer LSA mit mehr als 2 Phasen. Die Unfallkostenrate hängt also von der Knotenpunktgrundform und der Verkehrsregelung ab. Einen anschaulichen Vergleich der Unfallkostenraten verschiedener Knotenpunkte bietet Bild 6.

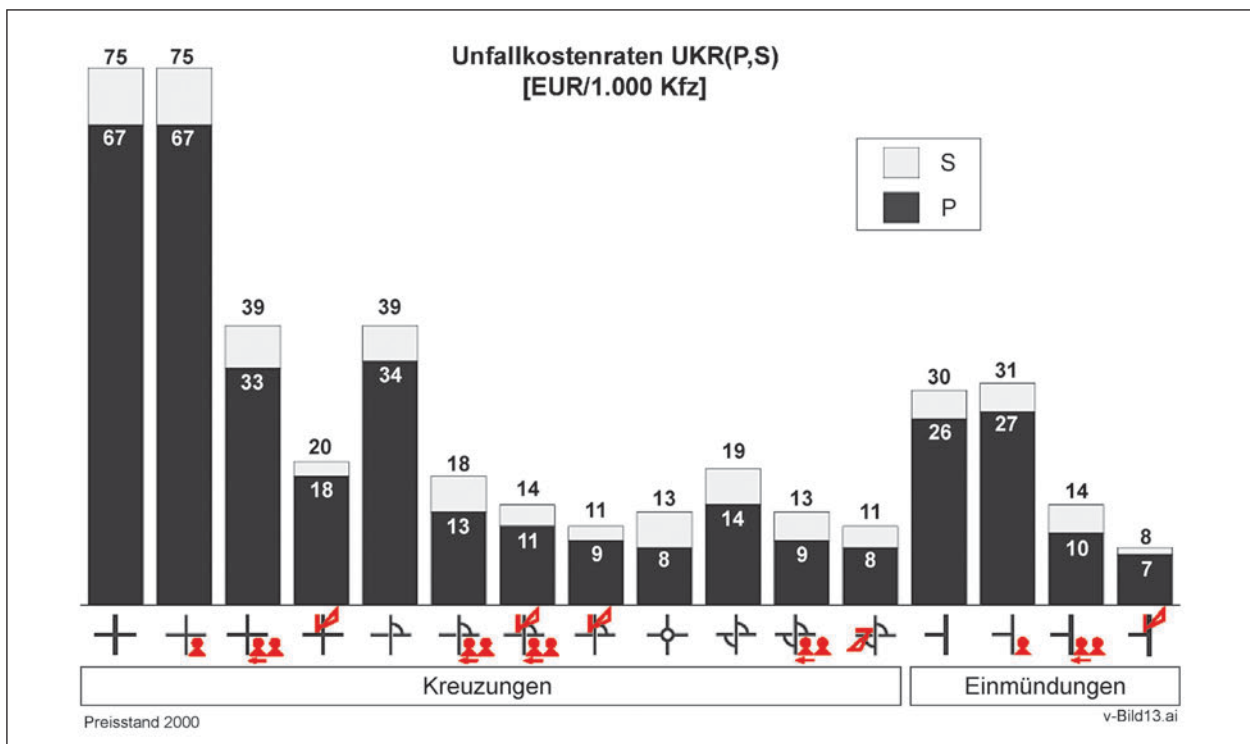


Bild 6: Unfallkostenraten verschiedener Knotenpunkte, Preisstand 2000 [Euro] [ECKSTEIN und MEEWES, 2002]

Ein Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke (DTV) und dem Sicherheitsgrad konnte für die verschiedenen Knotenpunkte nicht festgestellt werden.

Neue Untersuchungen von VIETEN et al. (2010), die sich im Detail u. a. mit den Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen von Knotenpunkten beschäftigen, belegen, dass bei Einmündungen und Kreuzungen mit LSA die Unfallwahrscheinlichkeit geringer ist als bei Knotenpunkten ohne LSA. Einmündungen mit LSA haben eine geringere Unfallwahrscheinlichkeit als Kreuzungen mit LSA, sie entsprechen der Unfallwahrscheinlichkeit von Kreisverkehren.

SCHNÜLL und RICHTER (1994) prüfen auf der Suche nach der Wahl der zweckmäßigen Knotenpunktgrundform 15 Kreuzungen mit Linksabbiegestreifen und 12 Rechtsversätze an Straßen außerhalb bebauter Gebiete: Plangleiche Knotenpunkte ohne LSA weisen die höchsten Unfallkostenraten auf. Eine Signalisierung reduziert die mittleren Unfallkostenraten um 55 %. Wird dabei auf die Linksabbiegersignalisierung verzichtet, reduziert sich die mittlere Unfallkostenrate gegenüber der Situation ohne LSA nur um 20 %. Für Rechtsversätze sind die mittleren Unfallraten und Unfallkostenraten um ca. 10 % bzw. 50 % niedriger als bei Kreuzungen, da Unfälle mit meist schweren Folge, verursacht durch kreuzende Verkehrsströme, dadurch entfallen. Durch Rechtsversätze erhöht sich dagegen die Anzahl der Auffahrunfälle. Der Rechtsversatz stellt somit nach dieser Untersuchung eine sichere Alternative zu einer Kreuzung dar.

RICHTER (1992) untersucht die Verkehrssicherheit von 11 Knotenpunkten der Grundform IV nach RAS-K-1 (1988). In allen Knotenpunkten wird die V_{zul} überschritten. Dabei ist eine deutliche Abhängigkeit zu den Geschwindigkeiten auf den angrenzenden freien Streckenabschnitten zu erkennen. Bei einer V_{zul} von 70 km/h wurden mittlere Geschwindigkeiten zwischen 81 und 95 km/h gemessen. Hauptsächlich kommt es zu schweren Unfällen im Bereich der Linksab- und Linkseinbieger aufgrund von Fehleinschätzungen der hohen Geschwindigkeiten auf der übergeordneten Straße.

Bei einem Vergleich der Verkehrssicherheit von Knotenpunkten der Grundform IV (teilplangleich) mit Knotenpunkten der Grundform I (Einmündung) mit Linksabbiegestreifen und Dauerbetrieb der LSA sind die Unfallkostenraten für Knotenpunkte der Grundform IV ca. 45 % höher als bei der

Knotenpunktform I. Die Unfallkostenrate nimmt für die Knotenpunktgrundform IV mit geringerem DTV ab.

STURM (1989) weist ein geringeres Unfallrisiko an Knotenpunkten mit Geschwindigkeitsbeschränkung nach: Für plangleiche Knotenpunkte mit LSA und Linksabbiegerschutz ergeben sich im Vergleich zu teilplangleichen Knotenpunkten ohne LSA höhere Unfallkostenraten. Daraus lässt sich auf den positiven Einfluss des Linksabbiegerschutzes und den dadurch vermeidbaren Unfällen schließen.

Für plangleiche Knotenpunkte mit LSA konnte keine Abhängigkeit vom DTV nachgewiesen werden. Das Unfallrisiko wird eher vom Signalprogramm beeinflusst, welches an die Verkehrsbelastung angepasst ist. Für die Unfallkostenraten der teilplangleichen Knotenpunkte ohne LSA konnte ein linearer Zusammenhang zum DTV festgestellt werden. Mit steigender Verkehrsstärke nimmt die Unfallkostenrate hier ab.

LEUTZBACH et al. (1982) untersuchen Einmündungen vom Typ I und Typ II nach RAL-K-1. Unter anderem werden jeweils die Anteile der einzelnen Unfalltypen untersucht. So ist für den Unfalltyp 6: Unfall im Längsverkehr (LV) festzuhalten, dass sich das Unfallgeschehen für den Einmündungstyp I (nicht ausgebaut) eher auf der bevorrechtigten Straße abspielt, für den Typ II (ausgebaut) dagegen tragen sich die meisten Auffahrunfälle auf der untergeordneten Straße zu.

Eine weitere Unfallursache sind die schlechten Sichtverhältnisse der untergeordneten Straße, die zum Teil zu Fehleinschätzungen der Geschwindigkeiten auf der übergeordneten Straße führten.

2.5 Einfluss einzelner Knotenpunktelemente auf Fahrverhalten und Verkehrssicherheit

2.5.1 Allgemeines

Die wenigen Untersuchungen, die sich mit einzelnen Knotenpunktelementen befasst haben, beinhalten keine konkreten Unterscheidungen zur Verkehrssicherheit, sondern leiten ihre Empfehlungen aus Beobachtungen des Fahrverhaltens ab. Die meisten Untersuchungen enthalten außerdem Beurteilungen sowohl für Knotenpunkte mit als auch ohne LSA.

2.5.2 Linksabbiegen

In einer Untersuchung von SCHNÜLL und SCHREYER (1982) konnte keine Auswirkung der Höhe der festgelegten Geschwindigkeitsbegrenzung (60 bzw. 70 km/h) auf die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten nachgewiesen werden. In beiden Fällen haben die Werte der gemessenen V_{85} die gleiche Größenordnung (zwischen 80 und 85 km/h), die über der V_{zul} liegt. In jedem Fall ist die Behinderung der durchfahrenden Fahrzeuge bei geschwindigkeitsbeschränkten Knotenpunkten geringer. Die größten Behinderungen der Durchfahrer wurden festgestellt, wenn kein Linksabbiegestreifen vorhanden ist. Im Allgemeinen lag auch die Geschwindigkeit der Linksabbieger zu Beginn der Verzögerung höher als die V_{zul} und der Verzögerungsvorgang nahm mehr Länge in Anspruch, als in den RAL-K-1 (1976) vorgesehen. Die zugrunde gelegte Verzögerung von -2 m/s^2 wurde nicht erreicht (sie lag zwischen $-0,6$ und $-1,1 \text{ m/s}^2$).

Laut RAL-K-1 (1976) werden „Linksabbiegestreifen nur aufgrund der Querschnittbelastung und der Geschwindigkeit in der übergeordneten Straße angeordnet. Dies führt dazu, dass bspw. auch selten genutzte Grundstückseinfahrten grundsätzlich mit Linksabbiegestreifen ausgestattet werden sollten“.

Allgemein zusammengefasst, aus RAL-K-1 (1976) und verschiedenen Forschungsberichten, hängt die Länge des Linksabbiegestreifens von den Parametern Knotenpunktgeschwindigkeit (V_K), Bremsverzögerung b , Längsneigung s , Verkehrsstärke (in die Richtung, aus der abgebogen wird), Verkehrsstärke der Linksabbieger und der zulässigen Annäherung zwischen Abbiegern und nachfolgenden Durchfahrern $\Delta\Delta t$ ab.

Nach Beobachtung der mittleren Verzögerung stellte sich heraus, dass ein längerer Linksabbiegestreifen (bei sonstigen ähnlichen Randbedingungen des Knotenpunktes) eher einer Erhöhung des Fahrkomforts dient (geringere Bremsverzögerung); eine Erhöhung der Sicherheit ist nicht nachweisbar. Unter anderem daraus und aus den Annäherungen der abbiegenden und durchfahrenden Fahrzeugen zueinander an einem Knotenpunkt ohne Linksabbiegestreifen ergeben sich Hinweise für die Mindestlänge eines Linksabbiegestreifens: Etwa 20 m vor Ende des Verzögerungsvorganges wurde erst die zulässige Annäherung erreicht. Dies bedeutet, dass ein Linksabbiegestreifen von 20 bis 30 m ausrei-

chen könnte, um die Behinderung des Großteils der Durchfahrer zu vermeiden. Umso mehr gilt dies, wenn die Geschwindigkeit am Knotenpunkt beschränkt ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass tendenziell kürzere Linksabbiegestreifen ausreichen, um den Verzögerungsvorgang der Linksabbieger zu ermöglichen, als in den damaligen RAL-K-1 (1976) vorgegeben waren. Abhängigkeiten zwischen Fahrverhalten, Geschwindigkeit und Verkehrsaufkommen konnten allerdings nicht beziffert werden. Aus Sicherheitsgründen soll aber an Stellen, an denen zumindest regelmäßig wartende Linksabbieger zu erwarten sind, eine Aufstellmöglichkeit außerhalb des durchgehenden Fahrstreifens gegeben werden.

2.5.3 Rechtsabbiegen

STURM (1989) untersuchte unter anderem die Verkehrssicherheit von plangleichen Knotenpunkten von Außerortsstraßen. Dabei gewinnt er die Erkenntnis, dass Dreiecksinseln keine Verbesserung der Verkehrssicherheit mit sich bringen.

SCHNÜLL und HALLER (1981) definieren kritische Abbiegevorgänge folgendermaßen: „Ein Fahrzeug gilt dann als behindert, wenn es aufgrund des Verzögerungsvorganges des vorausfahrenden, abbiegenden Fahrzeuges eine zeitliche Annäherung erfährt, die mindestens so groß wie seine ursprüngliche Bruttozeitlücke zu diesem Fahrzeug ist.“ Die zeitliche Annäherung $\Delta\Delta t$ wird dabei aus der Knotenpunktgeschwindigkeit, der Geschwindigkeit des Abbiegers sowie dessen Verzögerung berechnet.

Die Ergebnisse der Messungen von SCHNÜLL und HALLER (1981) zu den fahrdynamischen Anforderungen an Knotenpunktelemente durch die Behinderung der Rechtsabbieger zeigen.

Ein Ausbaustandard nach Knotenpunkttyp I (RAL-K-1, 1976) mit Eckausrundung und dreiteiliger Korbbogenfolge führt zu geringen Abbiegegeschwindigkeiten der Rechtsabbieger von im Mittel 26,8 km/h. Eine Ausbauart nach dem Knotenpunkttyp II führt zu einer gleichmäßigeren Geschwindigkeitsverteilung im Knotenpunkt. Die dabei ermittelten Abgangsgeschwindigkeiten – die Geschwindigkeit, mit der der Rechtsabbieger den durchgehenden Fahrstreifen verlässt – liegen mit 41,8 km/h etwa 50 % höher als beim Knotenpunkttyp I (Knotenpunkttypen siehe Bild 2).

Da beide Knotenpunktformen für die Abgangsgeschwindigkeiten geringe Streuungen aufweisen, kann man von ausbautypischen Abbiegegeschwindigkeiten sprechen.

Durch einen höheren Ausbaustandard lassen sich kritische Abbiegevorgänge reduzieren, aber nicht verhindern.

Bei geringen Belastungen bietet die Knotenpunktform II gegenüber der Knotenpunktform I keinen Vorteil, da keine große Geschwindigkeitsreduktion durch Abbieger zu erwarten ist. Dies gilt auch bei relativ hohen Knotenpunktgeschwindigkeiten.

TRAPP (1980) überprüft die in den RAL-K-1 (1976) angegebenen Richtwerte für die maßgebende Geschwindigkeit im Knotenpunkt: Die Geschwindigkeiten der Links- und Rechtsabbieger liegen auf einem gleichen Niveau. Die Anlage von Abbiegestreifen hat keinen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl der Abbieger. Die Geschwindigkeiten der Geradeausfahrer liegen auf einem höheren Niveau. Der Geschwindigkeitsunterschied von Ein-/Abbiegern und Geradeausfahrern steigt mit wachsendem Geschwindigkeitsniveau der Geradeausfahrer.

Durch den Standort der Messeinrichtung zu Beginn der Aufweitung der Abbiegestreifen konnte festgestellt werden, dass die abbiegenden Fahrzeuge bereits in großer Entfernung zum Knotenpunkt, vor dem Verzögerungsstreifen, ihre Geschwindigkeit reduzieren.

2.5.4 Einbiegen

SCHNÜLL und BERGEN (1982) beschäftigen sich mit Sichtbehinderungen beim Einbiegen aus den untergeordneten Straßen, die durch Fahrzeuge entstehen, die sich im Einfahrbereich nebeneinander aufstellen. Für die Möglichkeit, sich nebeneinander aufstellen zu können, ist die Fahrbahnbreite neben dem Fahrbahnteiler maßgebend.

Mit Anteilen zwischen 8 und 34,8 % war der Lkw der am häufigsten identifizierte Sichtbehinderer. Lieferwagen behindern mit Anteilen zwischen 7,4 und 20,6 % die Sicht, bei Pkw liegt der Anteil mit 0,6 bis 6,4 % deutlich niedriger. Absolut gesehen behindern Pkw aber zumindest ebenso häufig wie Lkw oder Lieferwagen die Sicht benachbarter Fahrzeuge. Daher sind Pkw bei diesen Betrachtungen nicht vernachlässigbar.

An Einmündungen sind Linkseinbieger die häufigeren Sichtbehinderer. Dabei haben die sichtbehindernden Einbieger Einfluss auf die Sicherheit und Qualität des Verkehrsablaufs: Hinzu kommt, dass die Zeitlücken der Einbieger, wenn zwei Pkw nebeneinander stehen, bei Zeichen 206 StVO (Halt! Vorfahrt gewähren) verhältnismäßig größer sind.

Allgemein sind bei Einbiegevorgängen ohne Sichtbehinderungen, ausgehend von der Eingangsgeschwindigkeit der Durchfahrer, kleinere Verzögerungen zu erwarten als bei Einbiegevorgängen mit Sichtbehinderung.

Das Maß der notwendigen Geschwindigkeitsanpassung bei Knotenpunkten mit zulässigen Geschwindigkeiten über 70 km/h ist größer als bei solchen mit zulässigen Geschwindigkeiten ≤ 70 km/h.

Als Empfehlung soll eine Fahrbahnbreite von 4,50 m bei Geschwindigkeiten größer 70 km/h, bei der das Aufstellen von zwei Pkw nebeneinander möglich ist, beibehalten werden. Bei Geschwindigkeiten ≤ 70 km/h im Knotenpunktbereich sind auch 2 Aufstellstreifen möglich. Allerdings ist dies nur vorgesehen, wenn sich Leistungsfähigkeitsschwierigkeiten ergeben.

2.6 Einfluss der Knotenpunkte auf die Verkehrssicherheit der angrenzenden Streckenabschnitte

RICHTER (1992) beobachtete, dass die Verkehrssicherheit von Knotenpunkten Einfluss auf die angrenzenden freien Strecken hat. Vor allem Knotenpunkte mit LSA haben einen positiven Einfluss, der zu einem gleichmäßigen Verkehrsablauf auf der angrenzenden Strecke führt.

Bei der Untersuchung von Ortsumgehungen stellt er fest, dass auf Strecken mit Knotenpunkten der Grundform IV (teilplangleich) schneller gefahren wird als auf Strecken, die mit plangleichen Knotenpunkten mit LSA ausgebaut sind. Die Höhe der Geschwindigkeitsniveaus lässt sich auf die Verkehrssicherheit übertragen: Strecken mit Knotenpunkten der Grundform IV ohne LSA weisen auf den freien Strecken 3,5 mal höhere UKR auf als Strecken, in deren Zuge die Knotenpunkte plangleich mit LSA ausgebildet sind.

Auch ECKSTEIN und MEEWES (2002) prüfen, ob es einen Einfluss der Knotenpunkte auf die angren-

zenden Strecken gibt. Sie differenzieren dabei den Einfluss verschiedener Knotenpunktformen, aber auch verschiedener Regelungsarten. Einflüsse daraus können sich in der Länge der Einflussbereiche oder in der Höhe der UKR des Knotenpunktes ergeben.

Die Verkehrssicherheit der Knotenpunktzufahrten, außer Knotenpunktzufahrten mit Wartepflicht, wird durch den Knotenpunkt positiv beeinflusst. Diese Bereiche liegen zwischen 300 m für signalgeregelte Zufahrten und bei 700 m für bevorrechtigte Zufahrten mit OGÜ.

VIETEN et al. (2010) differenzieren einen vom Knotenpunkt beeinflussten Bereich und einen Knotenpunktbereich. Nach den Untersuchungsergebnissen von ECKSTEIN und MEEWES (2002) und STEINAUER et al. (2008) definieren VIETEN et al. den Einflussbereich von Knotenpunkten auf das Unfallgeschehen auf den angrenzenden Strecken auf einen Abstand von 500 m ab Knotenpunktmitte. Alle Unfälle, die sich im Abstand von 50 m in jeder Richtung von der Knotenpunktmitte ab befinden, werden dem Knotenpunkt zugeordnet. Der Einflussbereich des Knotenpunktes erstreckt sich somit über den jeweils verbleibenden Bereich von 450 m Länge.

2.7 Zusammenfassung

Bestehende Knotenpunkte sind meist nach den Regelwerken der RAL-K-1 (1976) bzw. der RAS-K-1 (1988) gestaltet. Die Knotenpunkte zweistreifiger Straßen wurden in der Regel plangleich ohne LSA, aber auch mit aufwändigeren, jedoch sichereren Gestaltungen (teilplangleich bzw. plangleich mit LSA) ausgebaut. Je nach Verkehrsbelastung wurden die Straßen mit oder ohne Links- und Rechtsabbiegestreifen bzw. Tropfen ausgebildet.

Für die Rechtsabbieger war außerdem, in Abhängigkeit von der Knotenpunktgeschwindigkeit bzw. dem Radfahreranteil, neben der Ausbildung mit Rechtsabbiegestreifen auch eine Führung der Rechtsabbieger mit einfachen Kreisbogen oder mit Ausfahrkeil und Dreiecksinsel möglich. Dabei waren gemäß RAL-K-1 (1976) die großzügigeren Rechtsabbiegerführungen direkt mit Linksabbiegestreifen und Tropfen verknüpft. Die Vorfahrtsregelung nach der Dreiecksinsel ist nach den RAL-K-1 nicht explizit geregelt, die auch bezüglich der

Markierung sehr detaillierten Abbildungen ohne Blockmarkierung nach der Dreiecksinsel lassen jedoch den Schluss zu, dass „rechts vor links“ vorgesehen ist. Für das Folgeregelwerk, die RAS-K-1, lassen die Beispielabbildungen den gleichen Schluss zu.

Für den Aufstellbereich der Einbieger an Knotenpunkten ohne LSA ist eine Breite von 4,5 m empfohlen.

Die Änderungen, die sich durch die RAL (2012) gegenüber dem alten Regelwerk ergeben, sind grundlegend durch eine generelle Standardisierung durch Einteilung der Straßen in Entwurfsklassen, in Abhängigkeit von der Verbindungsfunktion zu begründen. Die Entwurfsklassen geben somit die Knotenpunktart und die Ausbildung der zugehörigen Knotenpunktelemente vor.

Nach den RAL werden Knotenpunkte immer mit Linksabbiegestreifen und Tropfen gebaut.

Bei der Rechtsabbiegerführung mit Dreiecksinsel ohne LSA gilt nach der Dreiecksinsel für den Rechtsabbieger die Vorfahrtsregelung „Vorfahrt gewähren“.

In den RAL (2012) wird außerdem auf der Basis von volkswirtschaftlichen Berechnungen eine DTV-Grenze von ca. 5.000 Kfz/24h genannt, ab der die Einrichtung einer LSA vorteilhaft ist.

Die Literaturanalyse zeigt eindeutig auf, dass bei den Systemvergleichen verschiedener Knotenpunktarten erhebliche Sicherheitsvorteile der Kreisverkehre, der planfreien Führungen sowie von plangleichen Knotenpunkten mit LSA gegenüber den hier zu betrachtenden Knotenpunkten ohne LSA zu verzeichnen sind. Auch zeigen Einmündungen gegenüber Kreuzungen Sicherheitsvorteile.

Nichtsdestotrotz wird wie bislang ein erheblicher Teil der Knotenpunkte – dabei vor allem der Einmündungen – im Zuge von Landstraßen der EKL 3 und EKL 4 plangleich ohne LSA betrieben; auch bei Landstraßen der EKL 2 ist das im Einzelfall zu verzeichnen.

Sicherheitsuntersuchungen einzelner Knotenpunktelemente bestätigen Vorteile des Linksabbiegestreifens, vor allem auch in Bezug auf den Fahrkomfort und das Geschwindigkeitsniveau der Durchfahrer. Ausfahrkeile mit Dreiecksinsel beim Rechtsabbiegen führen ebenfalls zu einem gleichmäßigeren Geschwindigkeitsniveau auf der übergeordneten Straße. Vorteile sind allerdings haupt-

sächlich bei hohen Knotenpunktgeschwindigkeiten und -belastungen zu erwarten.

Für den Aufstellbereich der Einbieger ist eine Breite von 4,50 m empfehlenswert, bei der das Aufstellen von zwei Fahrzeugen nebeneinander noch möglich ist. Durch Sichtverdeckungen benachbarter Fahrzeuge konnten Verzögerungen des Einbiegevorgangs festgestellt werden.

3 Untersuchungsmethodik

3.1 Abgrenzung der Fragestellungen

Gemeinsam mit der Betreuungsgruppe wurde zunächst der Untersuchungsumfang eingegrenzt. Dabei wurde entschieden, dass die Aktivitäten nicht die Untersuchung von kleinen Kreisverkehrsplätzen, von Kreuzungen sowie von Knotenpunkten mit Einfädelungstreifen für Rechtseinbieger umfassen soll. Auch die Untersuchung von Rechtsabbiegestreifen soll außen vor bleiben, da diese in den letzten Jahren vermehrt zurückgebaut worden sind und in den RAL (2012) nur noch für den Entwurf von plangleichen Knotenpunkten mit LSA vorgesehen sind. Auch auf eine Untersuchung der sogenannten Straßenmeisterlösungen für Linksabbieger soll verzichtet werden, da diese auch nach den RAL (2012) nur als Ausnahmelösung für Nahbereichsstraßen vorgesehen sind.

Aus den offen gebliebenen Punkten früherer Forschungen ergeben sich somit für Einmündungen von Regionalstraßen einzelne Themenbereiche, die im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen näher betrachtet und analysiert werden sollen. Diese Themenbereiche werden hier getrennt nach den Problemstellungen in Teilbereichen gegliedert:

Wirkung von Linksabbiegestreifen

Die Zweckmäßigkeit der Anlage von Linksabbiegestreifen bei hochbelasteten Knotenpunktzufahrten ist im Regelwerk unbestritten. In der Praxis wird jedoch immer wieder hinterfragt, ob Linksabbiegestreifen auch bei schwach belasteten Knotenpunkten unverzichtbar sind. Deshalb wird im Rahmen dieser Untersuchung bei Knotenpunkten mit geringer Verkehrsbelastung und geringem baulichen Ausstattungsgrad der Frage nachgegangen, inwieweit das Vorhandensein bzw. die Länge der Linksabbiegestreifen für Unterschiede im Fahrverhalten sorgt. Das Maß für eine Beurteilung ist, wie

oft und in welchem Ausmaß linksabbiegende Fahrzeuge zu einer Störung des nachfolgenden Verkehrs führen.

Führung der Rechtsabbieger

Am Beispiel der Frage der unterschiedlichen Auswirkungen von Rechtsabbiegetypen mit und ohne Dreiecksinsel lässt sich zeigen, dass eine solche Variation eines Knotenpunktelementes Auswirkungen auf den gesamten Knotenpunkt hat. Zweck der Ausbildung von Dreiecksinseln für den Rechtsabbieger ist die damit verbundene geringere Störung des nachfolgenden Verkehrs hinter Rechtsabbiegern. Dies wird ermöglicht, da die Rechtsabbieger wegen der deutlich größeren Eckausrundung neben der Dreiecksinsel ihre Geschwindigkeit nicht so stark reduzieren müssen wie bei Knotenpunkten ohne Dreiecksinsel. Diese Förderung schnellerer Abbiegevorgänge hat Auswirkungen auf deren Fahrlinien, die deutlich mehr fahrdynamisch geprägt sind als bei Führungen ohne Dreiecksinseln. Gleichzeitig ändern sich die verkehrsrechtlichen Vorfahrtverhältnisse zwischen Rechts- und Linksabbieger zumindest in dem Fall, dass der Linksabbieger durch Verkehrszeichen nach der Dreiecksinsel Vorfahrt vor dem Rechtsabbieger erhält. Insgesamt können sich so mögliche Konfliktpunkte innerhalb des Knotenpunktes verschieben. Gleichzeitig bringt die höhere Abbiegegeschwindigkeit der Rechtsabbieger Veränderungen für die Geschwindigkeiten im Geradeausstrom gegenüber dem Fall, dass die Rechtsabbieger ohne Dreiecksinsel ihre eigene Fahrt und die evtl. nachfolgender Fahrzeuge stark verzögern.

Aus der Literatur lassen sich allenfalls Tendenzen ableiten, dass eine Führung des Rechtsabbiegers mit Dreiecksinsel geringfügige Sicherheitsvorteile gegenüber einer Führung ohne Dreiecksinsel bietet. In der Praxis wird jedoch die Rechtsabbiegerführung mit Dreiecksinsel bei nennenswerten Belastungen sehr häufig verwendet. Weil diesbezügliche Untersuchungen vor mindestens 20 Jahren durchgeführt worden sind, lassen es die veränderten verkehrlichen Randbedingungen im Straßennetz sinnvoll erscheinen, dieser Frage erneut vertieft nachzugehen.

In die Untersuchung der verschiedenen möglichen Rechtsabbiegerführungen lässt sich gut die Frage integrieren, welcher Vorfahrtsregelung nach der Dreiecksinsel der Vorzug zu geben ist. Da die Vorfahrtsregelung durch die zuständige Verkehrsbe-

hörde erfahrungsgemäß regional sehr unterschiedlich gehandhabt wird, wären ergebnisgestützte Empfehlungen für eine bundesweit einheitliche Lösung besonders nützlich.

Zur Ermittlung von Unterschieden in der Verkehrssicherheit und im Fahrverhalten als Folge verschiedener Vorfahrtsregelungen nach der Dreiecksinsel stand die Beobachtung potenzieller Konflikte zwischen Rechts- und Linksabbiegern nach der Dreiecksinsel im Vordergrund. Da die verkehrlichen Auswirkungen unterschiedlicher Rechtsabbiegeführungen mit und ohne Dreiecksinsel auf den nachfolgenden Geradeausverkehr bekannt sind, wurde in Abstimmung mit der Betreuergruppe auf eine Fahrverhaltensbeobachtung dieses potenziellen Konfliktpunkts verzichtet.

Ausbildung des Einfahrtbereichs

Untersucht werden sollen im Wesentlichen die Störungen des bevorrechtigten Verkehrs in Abhängigkeit von der Art der Fahrzeugaufstellung einbiegender Fahrzeuge neben dem Fahrbahnteiler. Durch die schleppkurvenbedingt relativ großen Eckausrundungen der Rechtseinbiegeführung ist in aller Regel – auch bei formal lediglich einem Aufstellstreifen – ein paralleles Aufstellen zumindest von zwei Pkw möglich, was zu den bekannten gegenseitigen Verdeckungen führen kann.

Die Untersuchung von Einfahrtbereichen hebt im Wesentlichen darauf ab, Lösungen zu finden, die möglichst effizient die unerwünschte Situation nebeneinander stehender Fahrzeuge in der untergeordneten Zufahrt vermeiden. Dieser Wunsch mündet in erster Näherung in der Forderung nach Begrenzung der Aufstellbreite in den Einfahrtbereichen. Eine solche Begrenzung steht aber im Widerspruch zum Wunsch nach ausreichender Befahrbarkeit des Einfahrtbereichs durch einbiegenden Schwerlastverkehr. Bei der Abwägung dieser Forderungen spielt eine Rolle, ob verschiedene bauliche Gestaltungen des Einfahrtbereichs Auswirkungen auf die Zeitlücken der Einbieger sowie auf die Störung durchfahrender Fahrzeuge durch möglicherweise sichtbehinderte Einfahrer haben. Dabei soll auch geklärt werden, welche Auswirkungen eine durch Markierung herbeigeführte Einengung des Einfahrtbereichs auf die tatsächlich von Einbiegern genutzte Aufstellbreite hat.

Bei der Untersuchung soll aber auch nicht außer Acht gelassen werden, dass die vorhandenen Sicht-

weiten großen Einfluss auf die Bereitschaft zum Einbiegen haben. Vor allem durch Brückenbauwerke oder Steigungen und Kuppenausrundungen, die oftmals bei teilplangleichen Knotenpunkten vorzufinden sind, sind teilweise relativ geringe Sichtweiten anzutreffen.

Führung des Radverkehrs über die untergeordnete Knotenpunktzufahrt

In den RAL (2012) sind für plangleiche Knotenpunkte ohne LSA im Zuge von Straßen der EKL 3 zwei unterschiedliche Führungsformen für den parallel zur übergeordneten Straßen fahrenden Radverkehr vorgesehen. Handelt es sich bei der einmündenden Straße um eine EKL 3, soll der Radverkehr abgesetzt von der übergeordneten Fahrbahn wartepflichtig über den Tropfen in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt geführt werden. Handelt es sich hingegen um eine Einmündung einer Straße der EKL 4 oder ist die Einmündung einer EKL 3 schwach belastet, so soll der Radverkehr parallel zur übergeordneten Fahrbahn auf einer fahrbahnnahe, rot eingefärbten Furt vor dem Tropfen bevorrechtigt die untergeordnete Knotenpunktzufahrt überqueren. Zwar wurden diese Regelungen einvernehmlich zwischen dem Ausschuss „Landstraßen“ und dem Ausschuss „Radverkehr“ entwickelt, doch gibt es keine hinreichenden Erkenntnisse, weder bezüglich der Sicherheitswirkungen der beiden Führungsformen noch bezüglich der Akzeptanz dieser Lösungen durch den Radverkehr und den abbiegenden Kfz-Verkehr.

Beide Führungsformen kommen im Übrigen nur in Betracht, wenn für den Rechtsabbieger keine Dreiecksinsel geplant worden ist (Bild 7). Abweichend von den Vorgaben der RAL (2012) weisen etliche der im Untersuchungskollektiv enthaltenen Einmündungen mit Dreiecksinseln gesonderte Radverkehrsführungen auf, wobei der Radverkehr gemäß RAL-K-1 wartepflichtig hinter der Dreiecksinsel weit abgesetzt von der übergeordneten Fahrbahn den großen Tropfen quert.

Um zu diesen Aspekten fundierte Empfehlungen abgeben zu können, wird in diesem Vorhaben unabhängig von den anderen Fragestellungen der Zweckmäßigkeit der verschiedenen Radverkehrsführungen nachgegangen. Da eine systematische Variation der beiden Radverkehrsführungen im Kontext der verschiedenen Elemente von plangleichen Knotenpunkten nicht möglich war, werden die in den Untersuchungsknotenpunkten

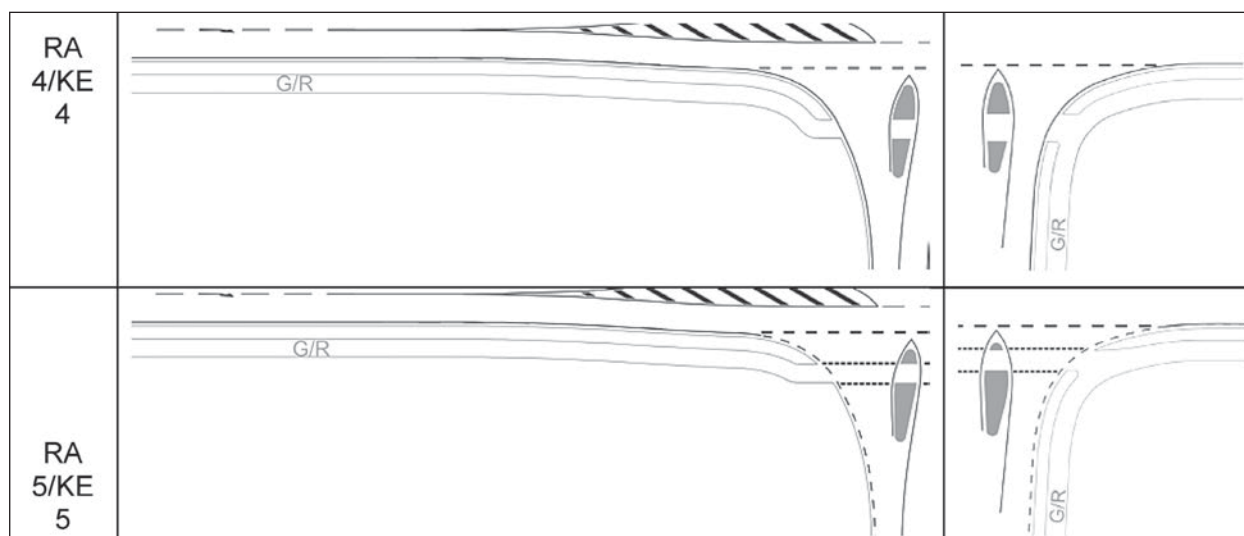


Bild 7: Rechtsabbiege- und Zufahrtstypen bei Führung des Radverkehrs auf Geh-/Radwegen nach RAL (2012)

anzutreffenden Radverkehrsführungen nur qualitativ beobachtet. Dabei soll insbesondere betrachtet werden, wie sich die unterschiedlichen Vorfahrtsregeln des Radverkehrs auf die Verkehrssicherheit auswirken und bei welchen Konfliktsituationen Unfälle auftreten. Eine spezielle Fahrverhaltensanalyse mit Fokus auf Radfahrer wird nicht durchgeführt.

Die einzelnen Fragen zu diesen vorgenannten Fragestellungen, denen im Rahmen der Untersuchung konkret nachgegangen wurde, werden in Kapitel 3.4 in Abhängigkeit von den Erfassungspositionen der Messgeräte dargestellt.

3.2 Auswahl der Knotenpunkte

Zur Auswahl der Knotenpunkte wurden alle Unfälle im Stadt- und Landkreis Karlsruhe aus den Jahren 2006 bis 2011 (inkl. der Information über Unfallkategorie, Unfalltyp, Anzahl der Beteiligten etc., aber ohne detaillierten Unfallhergang und Unfallskizze) von der Polizei eingeholt. Diese Informationen wurden mit den bereits nach Knotenpunktarten klassifizierten Knotenpunkten im Stadt- und Landkreis Karlsruhe überlagert. So konnten für die Vorauswahl visuell Knotenpunkte mit Unfallhäufungen bzw. kaum unfallauffällige Knotenpunkte erkannt werden.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden zunächst insgesamt etwa 100 Knotenpunkte ausgewählt. Deren Knotenpunktelemente sollen weitgehend den Vorgaben der RAL (2012) entsprechen, da nur so die Sicherheitswirkungen verschiedener regelkon-

former Lösungen und nicht die von bekanntermaßen ungünstigen Gestaltungen beurteilt werden können. Neben der grundsätzlichen Auswahl der Knotenpunktelemente von Bedeutung. Da im Rahmen des Projekts auch die Verkehrssicherheit und der Verkehrsablauf des Gesamtknotenpunktes untersucht werden sollen, wurde darauf geachtet, dass die ausgewählten Knotenpunkte verschiedene Kombinationen der zu untersuchenden Knotenpunktelemente aufweisen und dass deren Parameter im notwendigen Umfang variieren.

Bei sämtlichen untersuchten Knotenpunkten handelt es sich um Einmündungen, teilweise um Einmündung von Rampen teilplangleicher Knotenpunkte. Aufgrund der vorgenannten Fragen wurden die 100 Knotenpunkte in fünf Teilkollektive gegliedert (Tabelle 1).

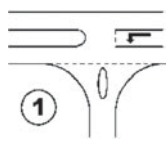
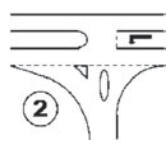
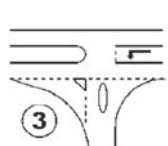
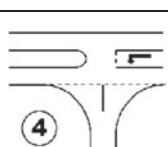
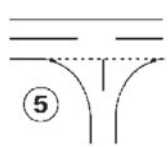
Anhand der Kollektive 1, 2 und 3 wurden die beiden Führungen der Rechtsabbieger untersucht. Anhand der Kollektive 2 und 3 wurde die unterschiedliche Vorfahrtsregelung nach der Dreiecksinsel untersucht (Bild 8). Anhand der Kollektive 4 und 5 wurde die Notwendigkeit von Linksabbiegestreifen und Tropfen untersucht, anhand der Kollektive 1 bis 4 die zweckmäßige Länge von Linksabbiegestreifen.

Jedem Kollektiv wurde nach Möglichkeit eine gleich große Anzahl an Knotenpunkten zugeteilt.

Der Vorteil, hauptsächlich Knotenpunkte im Landkreis Karlsruhe zu untersuchen, liegt vor allem an der netzartigen Erfassung nebeneinander liegender

Knotenpunkte. So konnten mit weniger Erhebungsaufwand die Verkehrsdaten zu mehr Knotenpunkten erfasst werden (Verkehrsstärke, abbiegende/einbiegende Verkehrsströme). Zudem hat sich bei der Voruntersuchung herausgestellt, dass auch in dieser begrenzten Region die untersuchungsrelevanten Knotenpunktelemente anzutreffen sind, insbesondere ist ansonsten keine Region bekannt, in der die Vorfahrtsregelungen der Kollektive 2 und 3 gleichermaßen anzutreffen sind.

Um die Vergleichbarkeit aller Knotenpunkte zu gewährleisten, wurden nur Knotenpunkte mit einer zulässigen Geschwindigkeit von 70 km/h betrachtet.

Kollektiv	Beschreibung
	<ul style="list-style-type: none"> • Linksabbiegestreifen • Kleiner Tropfen • Einfache Eckausrundung bzw. dreigeteilter Korbboogen • Hohe Verkehrsstärke
	<ul style="list-style-type: none"> • Linksabbiegestreifen • Großer Tropfen • Dreiecksinsel • Vorfahrtsregelung nach Dreiecksinsel „rechts vor links“ • Ausfahrkeil für Rechtsabbieger
	<ul style="list-style-type: none"> • Linksabbiegestreifen • Großer Tropfen • Dreiecksinsel • Vorfahrtsregelung nach Dreiecksinsel „Vorfahrt gewähren“ • Ausfahrkeil für Rechtsabbieger
	<ul style="list-style-type: none"> • Linksabbiegestreifen • Einfache Eckausrundung bzw. dreigeteilter Korbboogen
	<ul style="list-style-type: none"> • Kein Linksabbiegestreifen • Einfache Eckausrundung bzw. dreigeteilter Korbboogen

Tab. 1: Übersicht Knotenpunktkollektiv

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden die insgesamt 100 Knotenpunkte einer makroskopischen bzw. mikroskopischen Unfalluntersuchung unterzogen (Kapitel 4.3.1 bzw. 4.3.2). Von den 100 Knotenpunkten wurden 40 Knotenpunkte aus unterschiedlichen Kollektiven ausgewählt, die im Weiteren messtechnisch bezüglich des Fahrverhaltens untersucht wurden. Plangleiche Teilknotenpunkte von teilplanfreien Knotenpunkten wurden dabei ausgeschlossen.

In Tabelle 2 sind die 40 Knotenpunkte der detaillierten Untersuchung aufgeführt. Innerhalb dieses Kollektivs wurde darauf geachtet, dass Knotenpunkte enthalten sind, die – nach Möglichkeit zu gleichen Anteilen – ein eher hohes und eher niedriges Sicherheitsniveau aufweisen.

Die Steckbriefe mit Angaben zur Geometrie der einzelnen Knotenpunkte sind im Anhang enthalten.

Die untersuchten Knotenpunkte sind innerhalb der Kollektive folgendermaßen verteilt: Kollektiv 1 umfasst 12 Knotenpunkte und somit anteilmäßig die meisten Knotenpunkte. Grund dafür ist, dass Kollektiv 1 einerseits Knotenpunkte mit hohem Verkehrsaufkommen enthält, um die Vergleichbarkeit mit den Knotenpunkten der Kollektive 2 und 3 zu gewährleisten. Andererseits enthält Kollektiv 1 auch Knotenpunkte mit geringem Verkehrsaufkommen, um die Vergleichbarkeit mit dem gering belasteten Kollektiv 4 zu gewährleisten. Die Kollektive 2 und 3 umfassen jeweils zehn Knotenpunkte, wobei sowohl Einmündungen von Straßen als auch Einmündungen von Rampen teilplangleicher Knotenpunkte vertreten sind. Die Kollektive 4 und 5 umfassen jeweils nur 4 Knotenpunkte. Die Steckbriefe aller 40 Knotenpunkte sind im Anhang enthalten.

Die wichtigsten Fragestellungen, die im Rahmen der Untersuchungen zunächst mithilfe der makro- und mikroskopischen Unfallanalyse und darauf aufbauend späterhin durch Fahrverhaltensanalysen beantwortet werden sollen, sind hier noch einmal zusammengestellt:

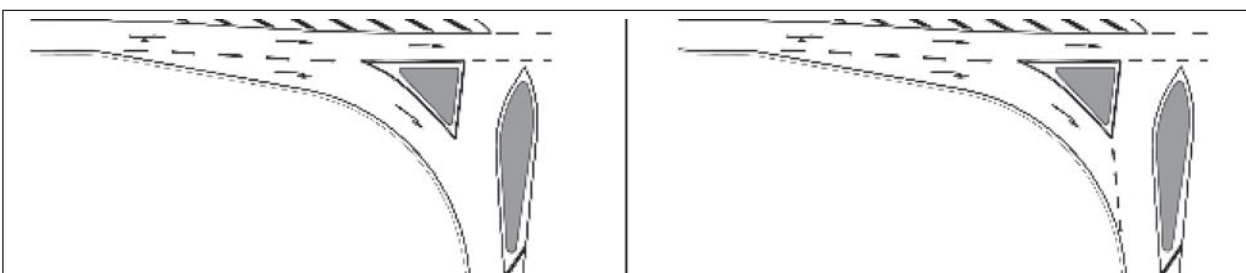
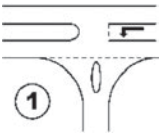
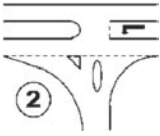
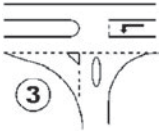
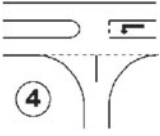
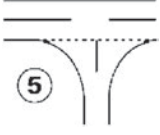


Bild 8: Rechtsabbiegetyp mit verschiedener Vorfahrtsregelung nach der Dreiecksinsel (RAL 2012 verändert)

Netzknoten (NK)	zugeordnetes Kollektiv	Anzahl der Unfälle	Anzahl der Unfälle nach Unfallkategorie							
			1	2	3	4	5	6	ZF	
681700A		3	0	0	3	0	0	0	0	
6917016		9	0	0	3	1	5	0	0	
691700E		4	0	0	1	0	1	0	2	
701600K		3	0	0	3	0	0	0	0	
7116038		4	0	0	3	1	0	0	0	
681600D		0	0	0	0	0	0	0	0	
681700C		1	0	0	1	0	0	0	0	
681700J		1	0	0	1	0	0	0	0	
6817038		8	0	2	4	1	1	0	0	
691600B		1	0	0	1	0	0	0	0	
691600H		0	0	0	0	0	0	0	0	
6917035		3	0	0	2	0	0	0	1	
6717030			21	0	1	7	6	3	0	4
7116039			4	0	0	3	1	0	0	0
6816029a	5		0	1	3	0	1	0	0	
6816029b	4		0	0	1	2	1	0	0	
681600A	10		0	2	3	4	0	0	1	
681600E	4		0	1	2	1	0	0	0	
6818023	1		0	0	0	0	1	0	0	
6818034a	5		0	1	3	0	1	0	0	
6917028	8		0	3	2	3	0	0	0	
6917029	0		0	0	0	0	0	0	0	
671600F		1	0	0	1	0	0	0	0	
6817061		23	0	2	9	7	5	0	0	
6817062		13	0	0	10	1	2	0	0	
6817065b		18	0	0	11	2	3	2	0	
6818001		12	0	2	8	1	1	0	0	
6916062a		9	0	1	7	0	0	0	1	
6916062b		26	1	3	9	8	4	0	1	
6918055a		16	0	1	10	4	1	0	0	
6918056a		5	0	2	1	1	1	0	0	
681600F		10	0	1	4	1	0	1	3	
671700K			1	0	0	0	0	1	0	0
691600F	15		0	1	3	5	4	0	2	
6918008	13		0	1	4	6	2	0	0	
701600D	2		0	0	1	1	0	0	0	
7016013		0	0	0	0	0	0	0	0	
7115039		3	0	0	2	1	0	0	0	
7116013		0	0	0	0	0	0	0	0	
711600C		2	0	0	1	0	1	0	0	

Tab. 2: Übersicht der Knotenpunktkollektive zur detaillierten Untersuchung des Fahrverhaltens und der Verkehrssicherheit

- Unter welchen verkehrlichen Bedingungen ist bei Knotenpunkten ohne LSA die gesonderte Führung der Rechtsabbieger mithilfe einer Dreiecksinsel zu empfehlen?
- Welche Vorfahrtsregelung ist nach einer solchen Dreiecksinsel zu empfehlen?
- Welche Auswirkungen haben Tropfen in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt auf die Verkehrssicherheit am Knotenpunkt?
- Welche Auswirkungen haben Linksabbiegestreifen in der übergeordneten Knotenpunktzufahrt auf die Verkehrssicherheit am Knotenpunkt?
- Welche Breite ist für den Aufstellbereich der Einbieger zu empfehlen?

Mithilfe der ergänzenden Fahrverhaltensanalyse sollen zusätzlich Antworten auf folgende Fragestellungen gegeben werden:

- Welche Auswirkungen haben verschiedene Gestaltungen der Aufstellbereiche auf das Verhalten – insbesondere der Einbieger?
- Welche Auswirkungen hat die Länge von Linksabbiegestreifen auf das Fahrverhalten des durchfahrenden Verkehrs?

3.3 Messtechnik

Sowohl zur Ermittlung der Verkehrsdaten als Grundlage für die Bewertung der Verkehrssicherheit als auch für die Untersuchungen zum Fahrverhalten

wurde die am Institut zur Verfügung stehende Messtechnik mit unterschiedlichen Kombinationen von Radar- und Videotechnik eingesetzt.

Bild 9 gibt die Standorte der eingesetzten Messtechnik wieder. Je nach Kurvengeometrie der untersuchten Knotenpunkte wurden die Geräte auch an aussagekräftigeren Standorten – insbesondere auf der anderen Fahrbahnseite – platziert, um die Erfassungsentfernungen zu optimieren.

Die Datenerfassung erfolgte dabei auf zwei verschiedene Arten. Zum einen wurde die Verkehrsstärke aller Fahrbeziehungen bzw. jeden Querschnitts (und somit die Geschwindigkeit und die Zeitlücken) am Knotenpunkt mithilfe von Seitenradargeräten erfasst (Bild 9, Position A-D). Die Seitenradargeräte sind in Leitpfosten untergebracht und gewährleisten somit, dass die Verkehrsteilnehmer nicht durch die Messtechnik beeinflusst werden.

Zum anderen wurde mithilfe einer kombinierten Video-/Radartechnik die Geschwindigkeit und der Spurverlauf der Fahrzeuge im Knotenpunktbereich aufgezeichnet (Erfassungsleitpfosten Position 1-3). Auch hier ist durch die Unterbringung der Messtechnik in Leitpfosten eine für den Verkehrsteilnehmer unauffällige Messung gewährleistet.

Zur Erfassung des Aufstell- und Einbiegeverhaltens der Fahrzeuge aus der untergeordneten Straße wurde eine ebenfalls verdeckte reine Videoerfassung eingesetzt, die dem Aufstellbereich der Einbieger gegenüber angeordnet war (Position 1).

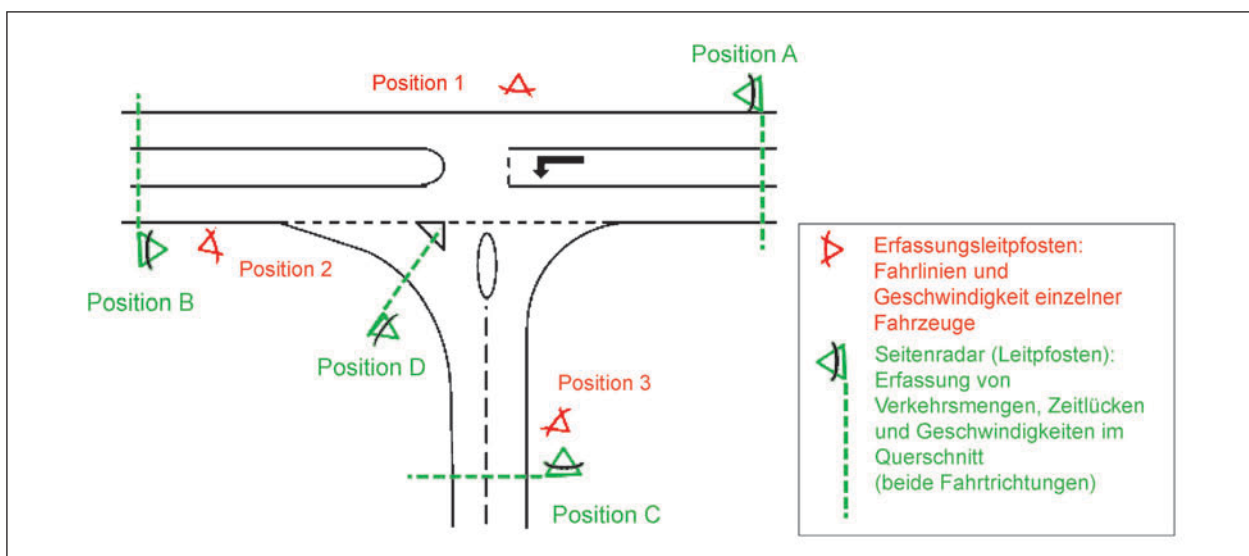


Bild 9: Fahrbeziehungen am Knotenpunkt

Der Erfassungsleitpfosten auf Position 2 soll das Fahrverhalten der Linksabbieger und Geradeausfahrenden, der Erfassungsleitpfosten auf Position 3 das Fahrverhalten der Rechtsabbieger und den Konfliktbereich der Links- und Rechtsabbieger nach der Dreiecksinsel erfassen.

Die Positionen 1 bis 3 wurden zeitgleich über eine Dauer von ca. 8 Stunden eines Tages im Zeitraum von 7 bis 20 Uhr erfasst. Die Seitenradargeräte in Leitpfosten (Position A-D) wurden über einen Erfassungszeitraum von 24 Stunden je Knotenpunkt betrieben. Die Beobachtungszeit an den Knotenpunkten ist so vorgesehen, dass sowohl Zeiten tendenziell höherer als auch niedrigerer Verkehrsbelastung erfasst werden. Vereinzelt lagen hier Messungen von weniger als 24 Stunden vor. In diesen Fällen werden die Verkehrsmengen mithilfe von Abschätzungen aus den Tagesganglinien hochgerechnet. Die Belastung der einzelnen Verkehrsströme der Ein- und Abbieger für jede Fahrbeziehung wird mithilfe des Furness-Algorithmus (SCHNABEL/LOHSE, 1981) abgeschätzt. Die Verkehrsbelastung wird für die weitere Auswertung als Kurzform in DTV [Kfz/24h] angegeben, auch wenn die Erfassung nur an einem Tag erfolgt ist.

3.4 Zuordnung von Erhebungsmethoden zu Fragestellungen

Mithilfe der Fragestellungen, die durch die Messungen aus den jeweiligen Erfassungspositionen (Position 1-3) beantwortet werden sollen, werden die Themenbereiche der Links- und Rechtsabbieger

sowie der Einbieger konkretisiert. Hierfür werden im Weiteren die Detailfragestellungen in Abhängigkeit von der Position der Erfassungsleitpfosten dargestellt.

Zur übersichtlicheren Beschreibung der Verkehrsströme wird jede Fahrbeziehung in Abhängigkeit von der Fahrtrichtung im Knotenpunkt definiert (Bild 10).

Die Knotenpunktarme der übergeordneten Straße werden mit den Nummern 1 und 2 belegt, der Knotenpunktarm der untergeordneten Straße erhält die Nummer 3. Wird also von der übergeordneten Straße in die untergeordnete Straße nach rechts abgebogen, so wird die Fahrbeziehung mit 2-3 bezeichnet. Wird von der übergeordneten Straße nach links abgebogen, so wird die Fahrbeziehung mit 1-3 bezeichnet usw.

Im Folgenden werden die einzelnen Messstandorte mit ihren Untersuchungsdetails beschrieben.

Position 1

Position 1 erfasst den Aufstellbereich bzw. das Einbiegeverhalten der Fahrzeuge aus der untergeordneten Straße.

Mithilfe der Erhebungen aus Position 1 soll untersucht werden, ob durch paralleles Aufstellen der Fahrzeuge Sichtbehinderungen für den Verkehrsstrom 3-1 bzw. 3-2 entstehen (Bild 11). Zudem soll ermittelt werden, wie die vorhandene Aufstellbreite ausgenutzt wird und ob daraus eine Empfehlung für die optimale Aufstellbreite abgeleitet werden kann.

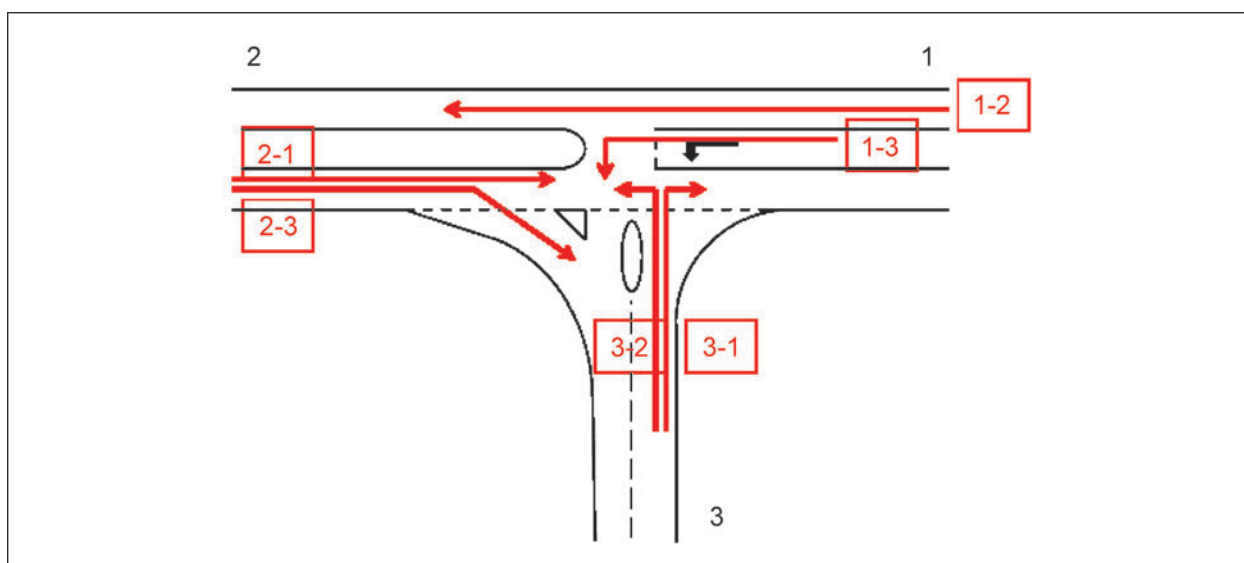


Bild 10: Fahrbeziehungen am Knotenpunkt

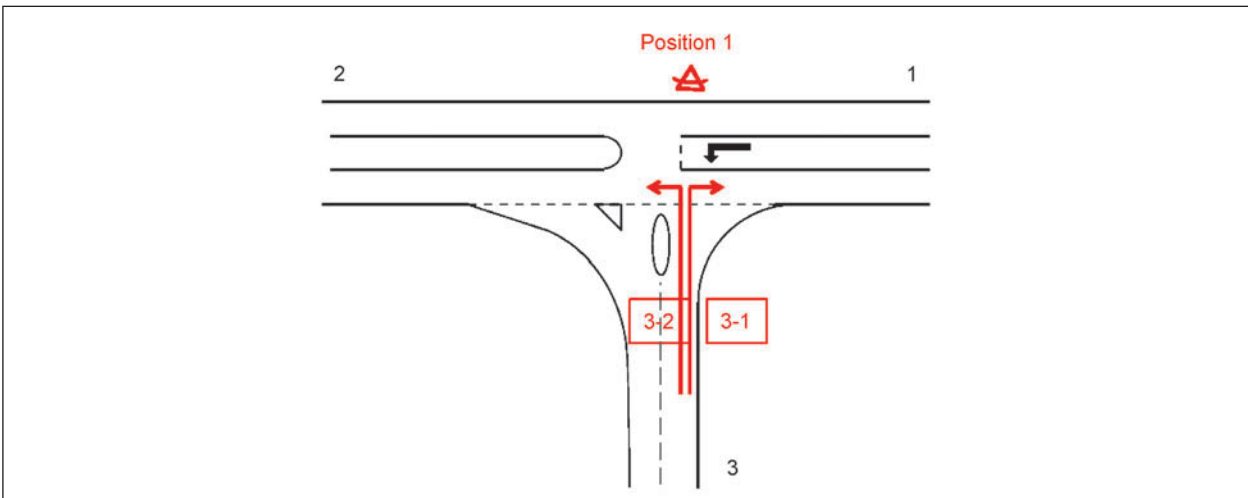


Bild 11: Detailfragestellung Position 1; Verkehrsströme 3-1 und 3-2



Bild 12: Fahrzeugabfolge aus Videodatei am Knotenpunkt 6916062b

Datum : 10.08.2012		Film-Nr.: 01_6916062b		Seitennr. Protokoll:																																			
Knotenpunkt: 6916062b		Skizze zum Formular																																					
ProtokollantIn:		Anfahrbereich																																					
Aufstellbreite:		Rechtslenker																																					
Ausrundungsradius:		Linkslenker																																					
Längsneigung im Anfahrbereich: (-/+)		SaMoS																																					
bereich(Gerade /Radius):		Bei Stillstand: Standort im Aufstellbereich laut Skizze																																					
		Bei Abbremsen, Durchfahren, Nachrücken:																																					
		<table border="1"> <tr> <th rowspan="2">Zeit [hh:mm]</th> <th colspan="6">Fahrzeugart</th> <th rowspan="2">Rechtslenker</th> <th rowspan="2">Linkslenker</th> <th rowspan="2">Mitte</th> <th rowspan="2">Links</th> <th rowspan="2">Direkt an Halteleiste etwas zurückversetzt</th> <th rowspan="2">weil zurückversetzt</th> <th rowspan="2">Neben Fahrzeug Nr.</th> <th rowspan="2">Hinter Fahrzeug Nr.</th> <th rowspan="2">Bremst fast bis zum Stillstand ab</th> <th rowspan="2">Wird langsamer, fährt aber relativ zügig durch</th> <th rowspan="2">Wenn Nachrücken: Fahrt ohne nochmaliges Anhalten an Halteleiste durch</th> <th colspan="2">Kommt aus Sicht des Einbleigers ein Fahrzeug auf der übergeordneten Straße?</th> <th rowspan="2">Bei nebeneinander stehen den Fahrzeugen an der</th> <th colspan="2">Ist aufgrund des Einbleigers eine Behinderung auf der übergeordneten Straße erkennbar?</th> <th rowspan="2">Sonstiges (z.B. ist eine gegenseitige Sicht-behinderung erkennbar?)</th> </tr> <tr> <th>Play Klein</th> <th>Van/SUV</th> <th>Sprinter</th> <th>Lkw</th> <th>Bus</th> <th>Krad</th> <th>links</th> <th>rechts</th> <th>Ja</th> <th>Nein</th> </tr> </table>				Zeit [hh:mm]	Fahrzeugart						Rechtslenker	Linkslenker	Mitte	Links	Direkt an Halteleiste etwas zurückversetzt	weil zurückversetzt	Neben Fahrzeug Nr.	Hinter Fahrzeug Nr.	Bremst fast bis zum Stillstand ab	Wird langsamer, fährt aber relativ zügig durch	Wenn Nachrücken: Fahrt ohne nochmaliges Anhalten an Halteleiste durch	Kommt aus Sicht des Einbleigers ein Fahrzeug auf der übergeordneten Straße?		Bei nebeneinander stehen den Fahrzeugen an der	Ist aufgrund des Einbleigers eine Behinderung auf der übergeordneten Straße erkennbar?		Sonstiges (z.B. ist eine gegenseitige Sicht-behinderung erkennbar?)	Play Klein	Van/SUV	Sprinter	Lkw	Bus	Krad	links	rechts	Ja	Nein
Zeit [hh:mm]	Fahrzeugart						Rechtslenker	Linkslenker	Mitte	Links	Direkt an Halteleiste etwas zurückversetzt	weil zurückversetzt												Neben Fahrzeug Nr.	Hinter Fahrzeug Nr.		Bremst fast bis zum Stillstand ab	Wird langsamer, fährt aber relativ zügig durch		Wenn Nachrücken: Fahrt ohne nochmaliges Anhalten an Halteleiste durch	Kommt aus Sicht des Einbleigers ein Fahrzeug auf der übergeordneten Straße?		Bei nebeneinander stehen den Fahrzeugen an der	Ist aufgrund des Einbleigers eine Behinderung auf der übergeordneten Straße erkennbar?		Sonstiges (z.B. ist eine gegenseitige Sicht-behinderung erkennbar?)			
	Play Klein	Van/SUV	Sprinter	Lkw	Bus	Krad							links	rechts	Ja	Nein																							
07:46:26	01	x					x												x																				
07:46:40	01	x					x												x																				
07:46:52	01	x					x												x																				
07:47:05	01		x				x												x																				
07:48:00	01			x			x												x																				
	02	x					x																																
	03	x					x																																
	02	x					x																																
	03	x					x																																
07:48:22	01	x					x												x																				
07:48:38	01	x					x																																
	02	x					x																																
	02						x																																
07:49:13	01	x					x																																
	02	x					x																																
	03						x																																
	03						x																																
07:49:49	01	x					x																																
07:49:03	01						x																																

Bild 13: Auswerteprotokoll zur Videoauswertung

Die Fragestellungen sollen durch qualitative Auswertung der Videoaufzeichnungen aus einem gegenüberstehenden Videoleitpfosten (Position 1, Beispiel in Bild 12) beantwortet werden, der für ca. 6 bis 8 Stunden an jedem der detailliert untersuchten Knotenpunkte platziert wurde. So ist es möglich, auch die über den Tagesverlauf unterschiedlich hohen Verkehrsstärken (Berufsverkehr, Mittagszeit, ...) zu berücksichtigen.

Für die Erfassung wurde ein Auswerteprotokoll entwickelt (Bild 13), mit dem sowohl die absoluten Anzahlen der Einbieger als auch die unterschiedlichen Fahrzeugtypen, die daraus eventuell resultierende Sichtbehinderungen bei nebeneinander aufgestellten Fahrzeugen sowie die daraus ggf. resultierenden Behinderungen auf der übergeordneten Straße erfasst werden können. Dabei muss auf qualitative Aussagen zurückgegriffen werden.

Nach Abgleich mit den Unfalldaten soll aufgrund der Erkenntnisse aus den Videoauswertungen die günstigste bauliche Form für den Aufstellbereich abgeleitet werden, wobei auch evtl. vorhandene Markierungen zu berücksichtigen sind.

Position 2

Mithilfe der Erhebungen aus Position 2a (Bild 14) soll die Fragestellung untersucht werden, ob in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung im Hauptstrom und den Konflikten zwischen Linksabbiegern (1-3) im Hauptstrom und dem nachfolgenden Verkehr (1-2) Grenzen für die Notwendigkeit eines Linksabbiegestreifens definiert werden können.

Dazu werden die Trajektorien (Positions- und Geschwindigkeitsänderungen der erfassten Einzel Fahrzeuge) aus den Radaraufzeichnungen des Erfassungsleitpfostens analysiert.

In diesem Zusammenhang wurden zunächst für die einzelnen Konfliktsituationen die relevanten Pfade herausgearbeitet. Die aufgezeichneten Zeiten, Positionen und Geschwindigkeiten aller beteiligten Fahrzeuge ermöglichen die Ermittlung von Zeit- und Weglücken. Aus den Geschwindigkeitsverläufen und Annäherungen der Linksabbieger sowie nachfolgender Fahrzeuge kann eine Aussage über die Auswirkungen unterschiedlich angelegter bzw. fehlender Linksabbiegestreifen abgeleitet werden. Maßgeblich abhängig ist eine solche Aussage von der Häufigkeit kritischer Annäherungen sowie vom Ausmaß der Behinderung des durchfahrenden Verkehrs. Für die daraus abzuleitenden Empfehlungen

sind Vergleiche zwischen Situationen ohne bzw. mit Linksabbiegestreifen relevant.

Des Weiteren soll aus den Erhebungen zu dieser Position ermittelt werden, inwieweit Konflikte zwischen dem Geradeausstrom (2-1) und den Rechts- einbiegern (3-1) vorliegen und ob sie durch die Ge-

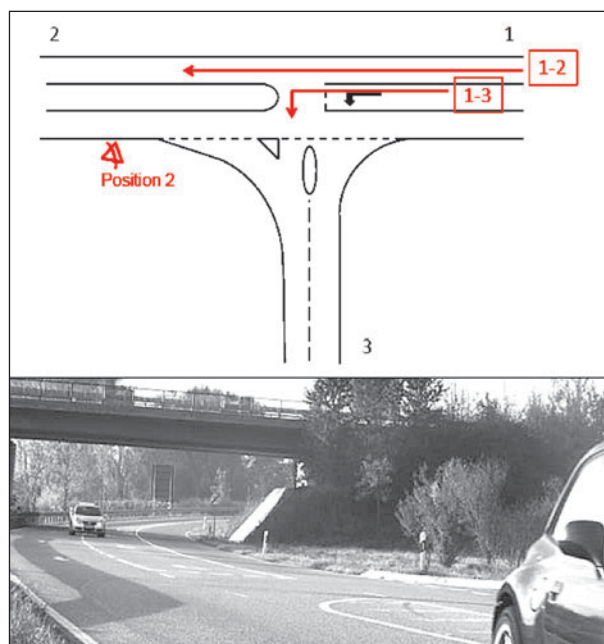


Bild 14: Detailfragestellung Position 2a (oben); Beispielbild aus Erfassungsleitpfosten (unten)

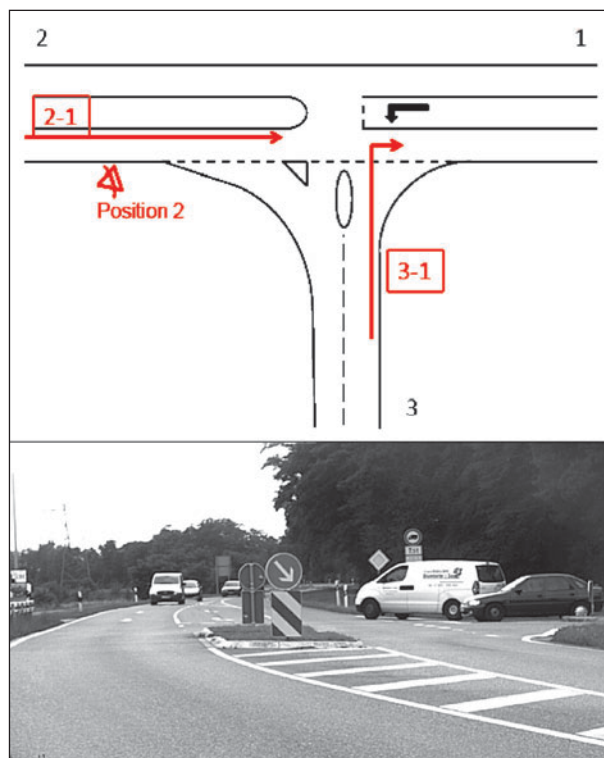


Bild 15: Detailfragestellung Position 2b (oben); Beispielbild aus Erfassungsleitpfosten (unten)

staltung des Aufstellbereichs beeinflusst werden (Position 2b, Bild 15).

Bei dieser Fragestellung wird speziell untersucht, ob es zu negativen Auswirkungen auf den Verkehrsfluss des Geradeausstroms kommt, die auf Sichtbehinderungen des Rechtseinbiegers durch Linkseinbieger beruhen. Dabei sind die Zeitlücken zwischen Rechtseinbiegern und durchfahrenden Fahrzeugen zu betrachten sowie Vergleiche mit/ ohne Sichtbehinderung (1 oder 2 wartende Fahrzeuge im Aufstellbereich) anzustellen.

Insbesondere zur Erklärung der vor der Untersuchung nicht erwarteten, aber in der Unfallanalyse offensichtlich gewordenen Unterschiede bezüglich der Häufigkeit von Unfällen zwischen Linksabbiegern (1-3) und entgegenkommenden Geradeausfahrern (2-1) zwischen den Kollektiven 2 und 3 wird diese Erfassungsposition auch für diese Detailbetrachtung genutzt (Position 2c).

Auch dafür werden die Trajektorien beteiligter Fahrzeuge analysiert und wegen der entgegengesetzten Fahrtrichtungen vor allem die Häufigkeit kritischer Zeitlücken beim Abbiegen analysiert.

Position 3

Mithilfe der Erhebungen aus Position 3 (Rechtsabbiegen, Bild 17) soll der Frage nachgegangen werden, welche Auswirkungen die Ausbildung der Rechtsabbiegerführung auf das Fahrverhalten hat. Insbesondere werden dazu die Abbiegegeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Rechtsabbiegerführung und die Häufigkeit von Konflikten zwischen Rechts- und Linksabbiegern (2-3 und 1-3) in Abhängigkeit von der Vorfahrtsregelung nach der Dreiecksinsel analysiert.

3.5 Übergeordnete Betrachtungen

Da anzunehmen ist, dass auch die Sichtweiten einen erhebliche Einfluss auf das Fahrverhalten der Einbieger und Linksabbieger haben, wurden für alle detailliert untersuchten Knotenpunkte die Sichtweiten aus der Position der Fahrzeugströme 3-2, 3-1 und 1-3 erfasst und bei der Auswertung berücksichtigt.

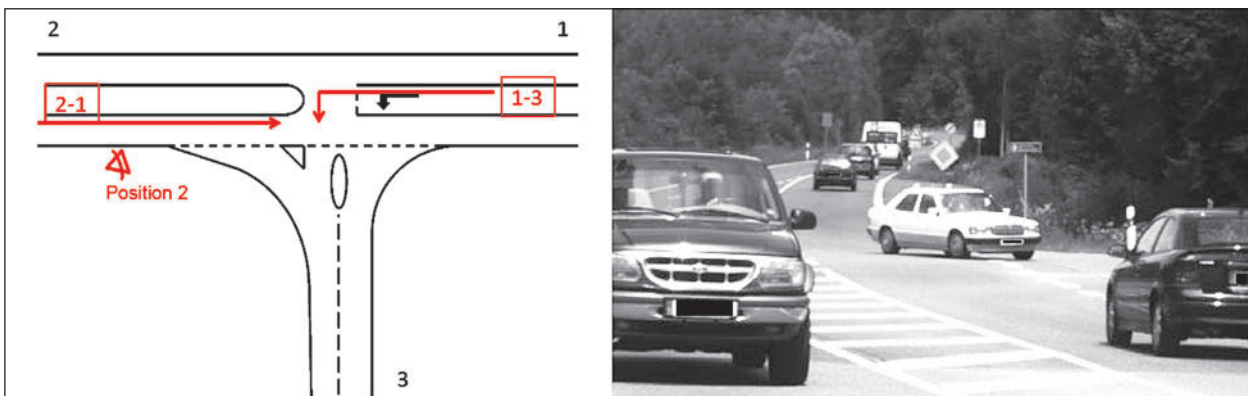


Bild 16: Detailfragestellung Position 2c (links); Beispielbild aus Erfassungsleitpfosten (rechts)

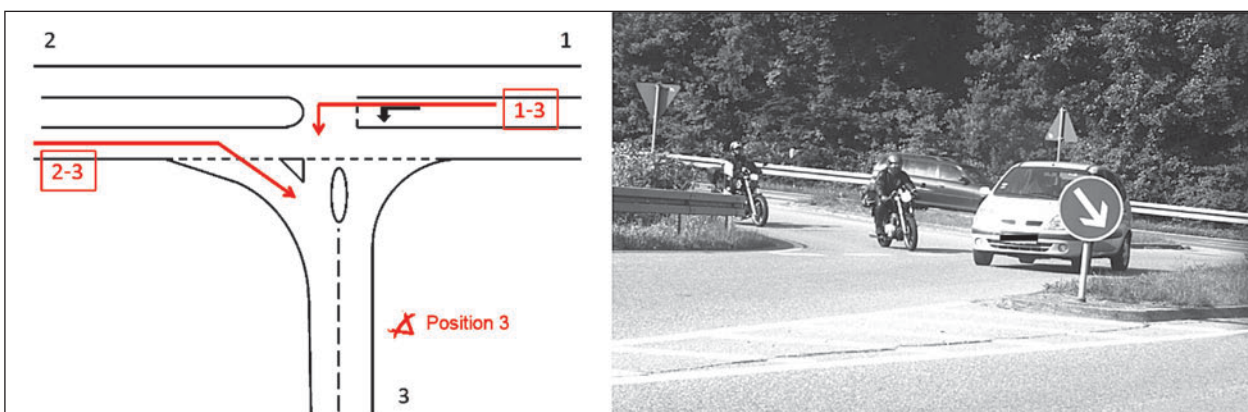


Bild 17: Detailfragestellung Position 3 (links); Beispielbild aus Erfassungsleitpfosten (rechts)

4 Unfalluntersuchung

4.1 Allgemeines

Im Rahmen der Unfalluntersuchung wurde eine zweigeteilte Auswertung vorgenommen: Zum einen wurden die Ergebnisse bezogen auf den gesamten Knotenpunkt analysiert, da sich die Knotenpunktelemente und die Verhaltensweisen der Fahrer häufig gegenseitig beeinflussen. Daraus wurden die üblichen Kenngrößen Unfalldichte, Unfallrate und Unfallkostenrate abgeleitet und den Knotenpunktkollektiven zugeordnet (makroskopische Untersuchung). Zum anderen wurden aber auch über die Beschreibungen der Unfallhergänge besondere Konflikte in solchen Teilbereichen der Knotenpunkte herausgearbeitet, die sich mit den Beobachtungen des Fahrverhaltens decken (mikroskopische Untersuchung).

In die Sicherheitsbetrachtung wurde eine möglichst große Anzahl an Knotenpunkten einbezogen, um für die zu erwartenden Unterscheidungs-details eine belastbare Stichprobe zu erhalten. Einbezogen wurden allerdings nur solche Knotenpunkte, die während des Betrachtungszeitraums der Unfalluntersuchung ohne Veränderungen geblieben sind.

4.2 Datengrundlage und Vorgehen

Der Unfalluntersuchung lagen für insgesamt 98 Knotenpunkte ausführliche Unfalldaten mit Unfallhergangstexten und Unfallskizzen aus dem Landkreis Karlsruhe aus den Jahren 2006 – 2011 zugrunde. Dabei wurden nur die Unfälle berücksichtigt, die aufgrund von Fahrbeziehungen am Knotenpunkt entstanden sind und die sich im Umkreis von bis zu 50 m um den Knotenpunkt ereignet haben.

Die Unfälle in den 98 Knotenpunkten wurden wiederum nach den fünf verschiedenen vorher genannten Kollektiven differenziert. Für alle Knotenpunkte wurden im Rahmen der makroskopischen Unfallauswertung die Unfallkenngrößen berechnet. Die entsprechenden Verkehrsbelastungen ergeben sich aus den mithilfe der Seitenradargeräte erhobenen Verkehrsdaten (siehe Kapitel 3.3).

Aufgrund der Kenntnis über die Verkehrsbelastung der einzelnen Knotenpunktarme lassen sich die Unfallkenngrößen in Abhängigkeit verschiedener Fahrbeziehungen am Knotenpunkt darstellen. Da durch

die Verkehrserfassung in den Knotenpunktzufahrten die Verkehrsstärken der einzelnen Fahrbeziehungen nicht gemessen werden konnten, wurden diese mithilfe eines Algorithmus nach FURNESS (SCHNABEL/LOHSE, 1981) aus den Querschnittsmessungen für jede Fahrbeziehung am Knotenpunkt berechnet.

Zusätzlich wurden im Rahmen der mikroskopischen Unfallauswertung für alle Knotenpunkte die dreistelligen Unfalltypen bestimmt und analysiert.

Zur Darstellung der Ergebnisse der Unfallkenngrößen werden sogenannte BOX-WHISKER-Diagramme verwendet. Der Strich innerhalb der Box stellt den Median dar, d. h. jeweils 50 % der betrachteten Daten liegen oberhalb bzw. unterhalb dieses Wertes. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung stellen der untere und der obere Rand der „BOX“ das 0,25- bzw. das 0,75-Quantil dar. Die Linien außerhalb der Box (WHISKER) stellen das 0,1- bzw. das 0,9-Quantil dar. Bei den Diagrammen, bei welchen die Kollektive zusätzlich in Klassen unterteilt werden (siehe vor allem Kapitel 4.5), werden die Mediane innerhalb der Klassen durch einen roten horizontalen Strich dargestellt. Durch die teilweise geringen Fallzahlen der Knotenpunkte innerhalb mancher Klassen wird hier auf die nur bedingt signifikanten Tendenzen mancher Mediane hingewiesen. Im linken Teil dieser Diagramme werden zum Vergleich die Unfallkostenraten des jeweiligen Gesamtkollektivs dargestellt.

Oberhalb der Boxen ist abzulesen, wie viele Knotenpunkte der Auswertung des jeweiligen Kollektivs zugrunde liegen. Hierbei ist zu erwähnen, dass diese Zahlen teilweise leicht variieren können. Grund dafür ist, dass nicht immer zu allen Knotenpunkten alle Informationen, die zur Auswertung erforderlich sind, vorlagen. So war im Einzelfall nicht zu vermeiden, dass für eine Knotenpunktzufahrt messfehlerbedingt keine Daten zur Verkehrsmenge erfasst wurden und somit der DTV des Knotenpunktes nicht bestimmt werden konnte.

4.3 Klassifizierung von Unfällen

Um Unfälle einheitlich zu erfassen, werden diese nach verschiedenen Kriterien wie Unfallkategorie, Unfalltyp oder Unfallursache strukturiert (ISK-GDV 2003). Mithilfe von Unfallkenngrößen kann man das Unfallgeschehen beschreiben und vergleichen.

Unfallkategorien

Unfälle werden nach der schwersten zu verzeichnenden Unfallfolge in Unfallkategorien eingeteilt:

- Kategorie 1 – Unfall mit Getöteten U(GT):
Unfall mit mindestens einem getöteten Verkehrsteilnehmer, der innerhalb von 30 Tagen nach dem Unfall an den Unfallfolgen verstorben ist.
- Kategorie 2 – Unfall mit schwerem Personenschaden U (SP):
Unfall mit mindestens einem Schwerverletzten, der unmittelbar nach dem Unfall für mindestens 24 Stunden in ein Krankenhaus aufgenommen wird.
- Kategorie 3 – Unfall mit leichtem Personenschaden U (LV):
Unfall mit mindestens einem Leichtverletzten.
- Kategorie 4 – Schwerwiegender Unfall mit Sachschaden U(SS):
Schwerwiegender Unfall mit Sachschaden, bei dem mindestens ein Fahrzeug nicht mehr fahrbereit ist. Eine Anzeige aufgrund von Straftatbestand oder Ordnungswidrigkeit liegt vor.
- Kategorie 5 – Sonstiger Unfall mit Sachschaden U(LS):
Sonstiger Unfall mit Sachschaden. Alle Fahrzeuge sind noch fahrbereit. Eine Anzeige aufgrund von Straftatbestand oder Ordnungswidrigkeit (ohne Alkoholeinwirkung) liegt vor oder eine Anzeige aufgrund geringer Ordnungswidrigkeit (Verwarnung) liegt vor, unabhängig davon, ob alle Fahrzeuge fahrbereit sind oder nicht.
- Kategorie 6 – Unfall mit Sachschaden U(SS):
Sonstige Unfälle mit Sachschäden unter Alkoholeinfluss.

Unfalltypen

Durch den Unfalltyp wird die verkehrstechnische Konstellation, die zum Unfall führt, beschrieben. Es interessiert nicht, ob und wie die Verkehrsteilnehmer verunfallt sind. Es ist lediglich der verkehrstechnische Konflikt entscheidend.

- Unfalltyp 1 – Fahrnunfall (F):
Die Kontrolle über das Fahrzeug wurde verloren. Dies kann z. B. die Ursache einer nicht angepassten Geschwindigkeit oder einer falschen Einschätzung des Straßenverlaufs oder -zustands sein. Andere Verkehrsteilnehmer müssen nicht zwingend beteiligt gewesen sein.

- Unfalltyp 2 – Abbiegen-Unfall (AB):
Ein Abbieger tritt mit einem Pkw oder Fußgänger in Konflikt, der sich in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung bewegt. Dieser Unfalltyp kann an Kreuzungen, Einmündungen von Straßen, an Grundstücks-, Parkplatzzufahrten oder an Feld- und Radwegen vorkommen.
- Unfalltyp 3 – Einbiegen/Kreuzen-Unfall (EK):
Ein einbiegendes oder kreuzendes wartepflichtiges Fahrzeug tritt in Konflikt mit einem vorfahrtberechtigten Fahrzeug. Dies gilt für Kreuzungen, Einmündungen und Ausfahrten von Grundstücken und Parkplätzen.
- Unfalltyp 4 – Überschreiten-Unfall (ÜS):
Ein Unfall wird durch einen Konflikt zwischen einem Fahrzeug und einem Fußgänger auf der Fahrbahn ausgelöst, vorausgesetzt das Fahrzeug ist nicht abgebogen. Eine Einrichtung für den Fußgängerquerverkehr muss nicht vorhanden sein.
- Unfalltyp 5 – Unfall durch ruhenden Verkehr (RV):
Ein Fahrzeug des fließenden Verkehrs tritt in Konflikt mit einem Fahrzeug, das auf der Fahrbahn parkt/hält bzw. Fahrmanöver im Zusammenhang mit Halten oder Parken durchführt unabhängig davon, ob Halten oder Parken erlaubt ist.
- Unfalltyp 6 – Unfall im Längsverkehr (LV):
Ein Unfall wird durch einen Konflikt zwischen einem Verkehrsteilnehmer, der sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegt, ausgelöst. Voraussetzung ist, dass der Konflikt nicht einem anderen Unfalltypen gleichkommt.
- Unfalltyp 7 – Sonstiger Unfall (SO):
Alle Unfälle, die sich nicht einem anderen Unfalltyp zuordnen lassen.

4.3.1 Kenngrößen der makroskopischen Unfalluntersuchung

Durch die Unfallkosten (UK) wird die Anzahl und Schwere der Unfälle zusammengefasst. Die Unfallkosten messen die volkswirtschaftlichen Verluste, die durch Verkehrsunfälle entstehen. Die Unfallkosten werden mithilfe von Unfallkostensätzen (WU) berechnet. Man unterscheidet dabei zwischen pauschalen und angepassten Kostensätzen. Die pauschalen Unfallkostensätze stellen Durchschnittswerte für ganz Deutschland dar. Zeitliche und örtliche

Besonderheiten werden hier nicht berücksichtigt. Die angepassten Kostensätze berücksichtigen dagegen die Unfallstruktur von Teilnetzen und Knotenpunkten. Sie werden auf der Grundlage von Kostensätzen berechnet, die nach Unfällen mit Verunglückten und Unfällen mit Sachschäden differenziert werden. Die Verunglücktenstruktur muss dabei bekannt sein.

Die angepassten Unfallkosten (U_{ka}) werden mit den angepassten Kostensätzen für Personenschäden (WU_{UT}) sowie mit den pauschalen Kostensätzen (WU) für Sachschäden nach ISK-GDV (2003) zum Preisstand 2000 berechnet. Nach ISK-GDV (2003) ergeben sich die Unfallkosten somit nach folgender Berechnung:

$$U_{ka}(P) = U(SP) \cdot WU_a(SP) + U(LV) \cdot WU_a(LV)$$

$$U_{k}(S) = U(SS) \cdot WU(SS) + U(LS) \cdot WU(LS)$$

Zum Vergleich verschiedener Knotenpunkte im Rahmen der Unfallanalyse werden die Kenngrößen „Dichten“ und „Raten“ verwendet.

Die Dichte gibt an, wie oft Unfälle auf einem Streckenabschnitt bzw. an einem Knotenpunkt in einem bestimmten Zeitraum auftreten. Es gilt zwischen den Unfalldichten (UD) und der Unfallkostendichten (UKD) zu differenzieren:

Die Unfalldichten (UD) beschreiben die durchschnittliche Anzahl der Unfälle oder Verunglückten, die in einem bestimmten Betrachtungszeitraum auf 1 km Straßenlänge oder betrachteten Punkten entfallen. Die Unfallkostendichten (UKD) beziffern die entsprechenden durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Kosten (in 1.000 EUR/Jahr) durch Straßenverkehrsunfälle, die auf 1 km Länge des Straßenbereichs oder dem betrachteten Punkt entstanden sind. Die Unfalldichte (UD) bzw. die Unfallkostendichte (UKD) berechnet sich für Knotenpunkte nach der folgenden Gleichung:

$$UD = U/t \quad [U/a]$$

$$UKD = UK/(1.000 \cdot t) \quad [1.000 \text{ EUR}/a]$$

Raten geben Auskunft über das Risiko, mit dem ein Verkehrsteilnehmer in einen Unfall verwickelt werden kann. Unfallraten (UR) beschreiben die durchschnittliche Anzahl der Unfälle, die auf eine Fahrleistung von 1 Mio. Kfz*km in diesem Straßenbereich entfallen (Knotenpunkte: 1 Mio. Kfz-Überfahrten). Die Unfallkostenrate (UKR) beziffert die entsprechenden durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Kosten durch Straßenverkehrsunfälle, die bei

einer Fahrleistung von 1.000 Kfz*km auf diesem Straßenbereich entstanden sind (Knotenpunkte: 1.000 Kfz-Überfahrten). Für Knotenpunkte berechnet sich die Unfallrate (UR) bzw. die Unfallkostenrate (UKR) nach den folgenden Gleichungen:

$$UR = 10^6 \cdot U / (365 \cdot DTV \cdot t) \quad [U/10^6 \cdot \text{Kfz}]$$

$$UKR = 1.000 \cdot UK / (365 \cdot DTV \cdot t) \quad [\text{EUR}/1.000 \text{ Kfz}]$$

Der DTV der Knotenpunkte ergibt sich aus der Hälfte der Summe der DTV-Werte aller Knotenpunktarme.

4.3.2 Kenngrößen der mikroskopischen Unfalluntersuchung

Die mikroskopische Unfalluntersuchung hat vor allem das Ziel, die einzelnen Unfälle ihren spezifischen Konfliktpunkten zuzuordnen und Hintergründe aus der konkreten Knotenpunktgestaltung zu finden, die zu bestimmten Unfallmustern beitragen.

Für diese Einzelunfallbetrachtung werden die konkreten Unfallmeldungen zu allen Knotenpunkten herangezogen. Maß für die Unterscheidung hinsichtlich der Knotenpunktgestaltungen können z. B. unterschiedliche Anteile bestimmter Ab-/Einbiegevorgänge am Unfallgeschehen sein, sowie Unfallkenngrößen der spezifischen Fahrwege.

4.4 Makroskopische Unfallanalyse

Um eine erste Übersicht über das Unfallgeschehen in den verschiedenen Knotenpunktkollektiven zu erhalten, werden in Bild 18 alle Knotenpunkte, die der Unfallanalyse zugrunde liegen, getrennt nach Kollektiven mit der entsprechenden Knotenpunktzahl und der Anzahl an Unfällen aufgeführt. Insgesamt beinhaltet das Gesamtkollektiv neun Knotenpunkte, in denen im Betrachtungszeitraum keine Unfälle verzeichnet wurden. Diese wurden im Rahmen der Untersuchung ebenfalls berücksichtigt. Die Kollektive 2 und 3 umfassen mit 27 bzw. 32 Knotenpunkten anteilmäßig die meisten Knotenpunkte in der Unfalluntersuchung. Die unterschiedliche Anzahl an Knotenpunkten je Kollektiv muss vor allem bei den Detailbetrachtungen zur Häufigkeit von Unfällen, z. B. mit bestimmten dreistelligen Unfalltypen, berücksichtigt werden. Bereits hier konnten erste Beobachtungen hinsichtlich unfallauffälliger bzw. -unauffälliger Kollektive gemacht werden. So ist auffallend, dass für Kollektiv 3, auch unter Berücksichtigung der

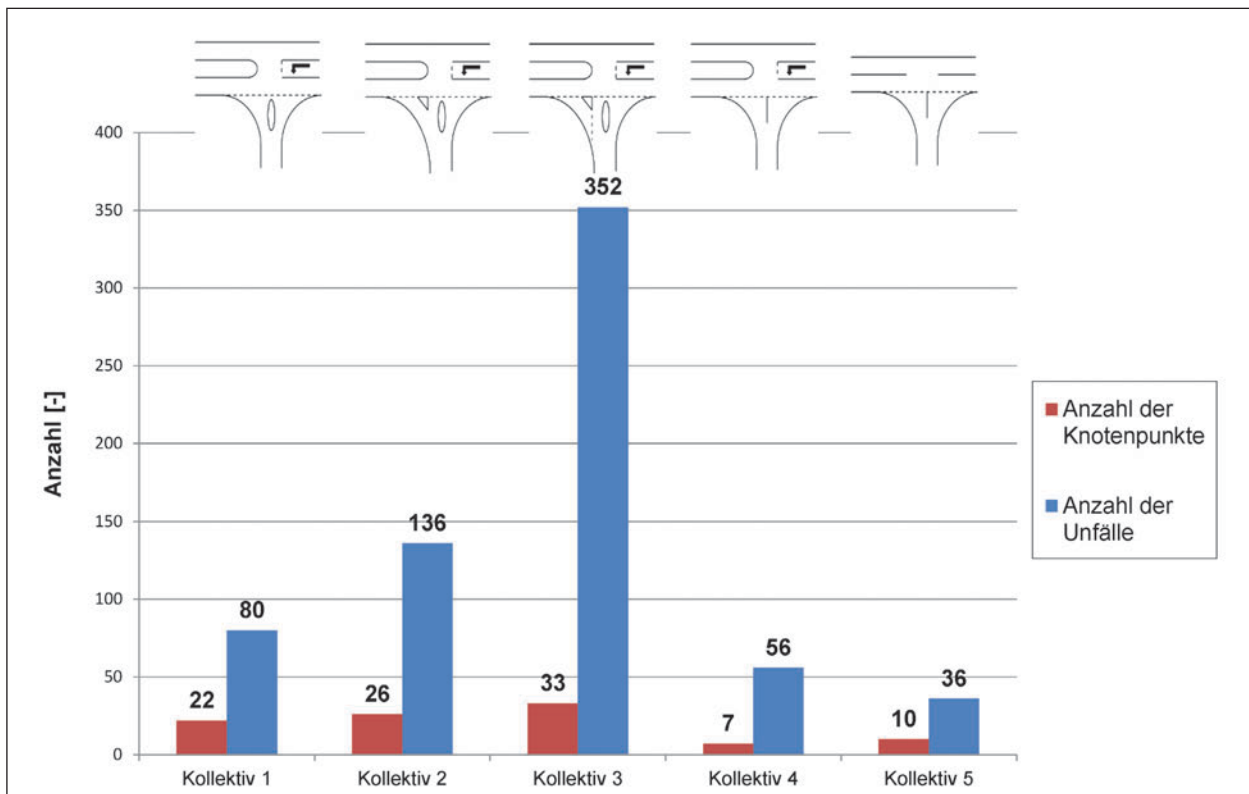


Bild 18: Knotenpunktanzahl und Unfallanzahl je Kollektiv

unterschiedlichen Kollektivgrößen, gegenüber den anderen Kollektiven eine sehr hohe Unfallanzahl und insbesondere im Vergleich zu Kollektiv 2 bei vergleichbarer Kollektivgröße mehr als doppelt so viele Unfälle zu verzeichnen sind.

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit werden im Folgenden bei der Darstellung von Unfallkenngrößen für die Knotenpunkte eines Kollektivs diese Größen nur noch als „Unfallkenngrößen eines Kollektivs“ bezeichnet.

Das Verhältnis von Unfällen je Betrachtungszeitraum wird durch die Kenngröße der Unfalldichte vergleichbarer dargestellt (Bild 19). So wird deutlich, dass die Knotenpunkte des Kollektivs 3 mit einem Median von 1,6 U/a die höchste Unfalldichte aufweisen. Insbesondere gegenüber dem Kollektiv 2 mit einem Median von 0,7 U/a, dessen Knotenpunkte sich vom Kollektiv 3 nur bezüglich der Vorfahrtsregelung nach der Dreiecksinsel unterscheiden, ist die Unfalldichte mehr als doppelt so hoch. Zu berücksichtigen ist die verhältnismäßig große Streuung innerhalb des Kollektivs 3 (erkennbar an der Ausdehnung der Box nach oben und unten).

Kollektiv 4 ist mit nur 7 Knotenpunkten im Gesamtkollektiv vertreten; Knotenpunkte mit Linksabbiegestreifen, aber ohne Tropfen und Dreiecksinsel, kom-

men (nicht nur) im betrachteten Teilnetz verhältnismäßig selten vor. Die Unfalldichte von Kollektiv 4 (ohne Tropfen) liegt allerdings, vor allem im Vergleich zu Kollektiv 1 (mit Tropfen) mit einem Median von 1,2 U/a, aber auch im Vergleich zu den anderen Kollektiven verhältnismäßig hoch. Für Kollektiv 1 ist ein Median von 0,5 U/a zu verzeichnen.

Kollektiv 5 weist mit einem Median von 0,3 U/a die niedrigste Unfalldichte auf. Diese Tatsache lässt weniger vermuten, dass Einmündungen des Kollektivs 5 verkehrssicherer sind als andere Kollektive, sondern dass Einmündungen des Kollektivs 5 geringer belastet sind als die anderen Kollektive.

Die Betrachtung der Verkehrsbelastung der Kollektive bestätigt diese Annahme (Bild 20). Während die Einmündungen der Kollektive 1 bis 4 teilweise Verkehrsbelastungen bis über 20.000 Kfz/24h aufweisen, wurden für Einmündungen des Kollektivs 5 Verkehrsbelastungen von nur knapp über 5.000 Kfz/24h gemessen.

Die Kollektive 1 bis 4 beinhalten mit Medianen im Bereich von etwa 9.000 bis 11.000 Kfz/24h vergleichbare Verkehrsstärken, sodass zumindest für diese Kollektive verkehrsstärkenunabhängige Auswertungen möglich sind.

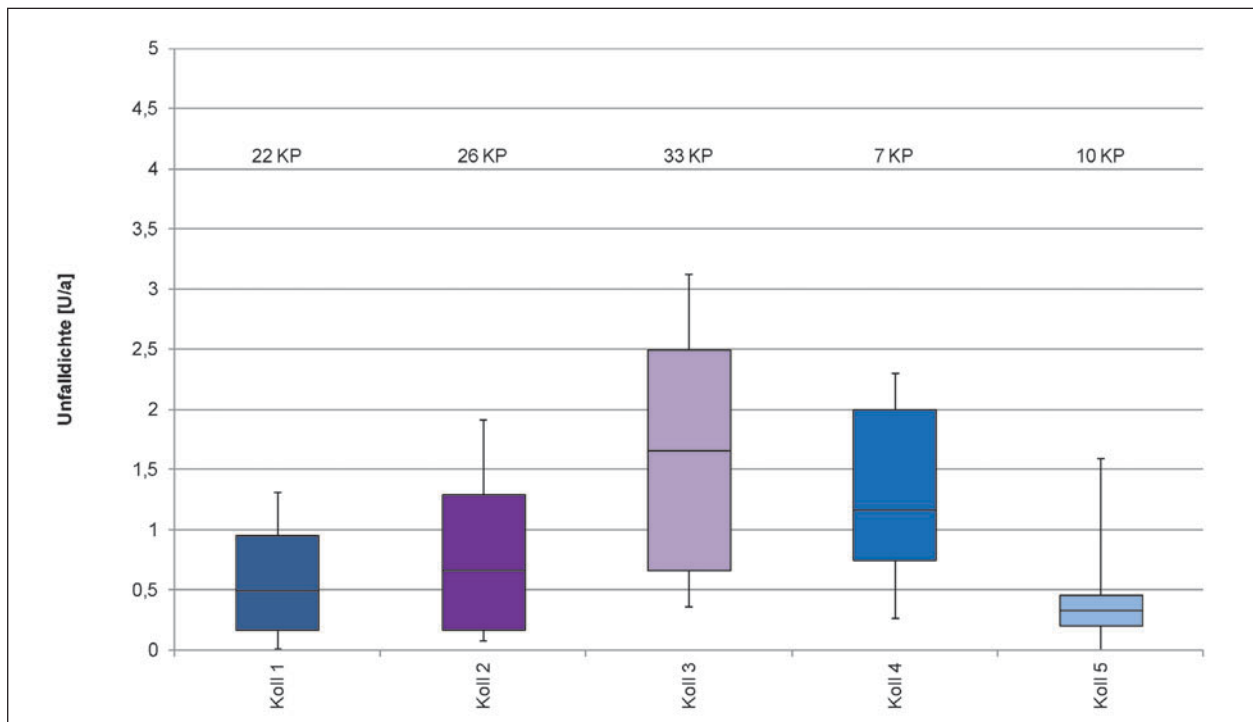


Bild 19: Statistische Verteilung der Unfalldichten (UD) [U/a] je Kollektiv

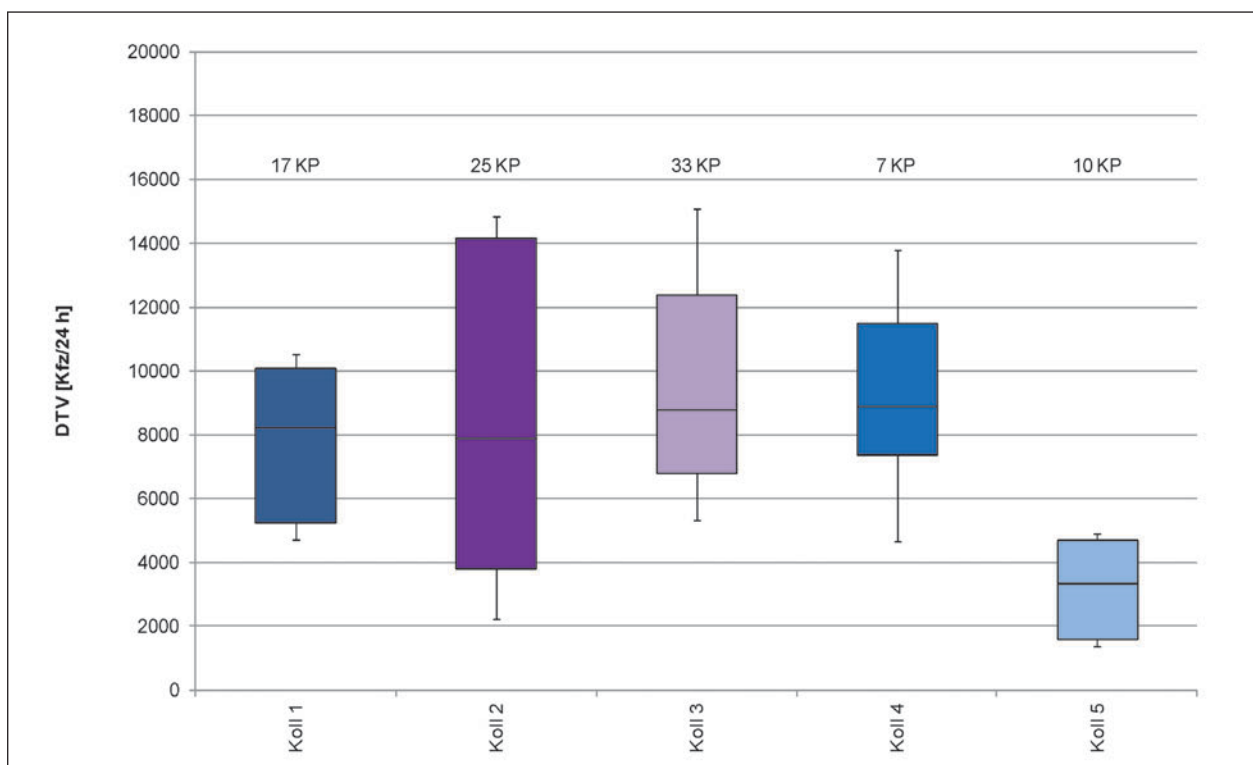


Bild 20: Statistische Verteilung der Verkehrsstärken (DTV) [Kfz/24h] je Kollektiv

Ein Indiz dafür, dass Kollektiv 5 (ohne Tropfen und Dreiecksinsel) trotz sehr geringer Unfalldichten zumindest gegenüber Kollektiv 1 als unsicherer anzusehen ist, zeigen die Unfallraten (UR) (Bild 21). Für Kollektiv 5 liegt der Median der UR mit

0,27 U/1 Mio*Kfz zwar unterhalb der Mediane der Kollektive 3 (0,41 U/1 Mio*Kfz) und 4 (0,39 U/1 Mio*Kfz), die Box zeigt aber eine große Streuung der Werte nach oben. Insgesamt zeigt diese Abbildung, dass das Sicherheitsniveau der Kollektive 4

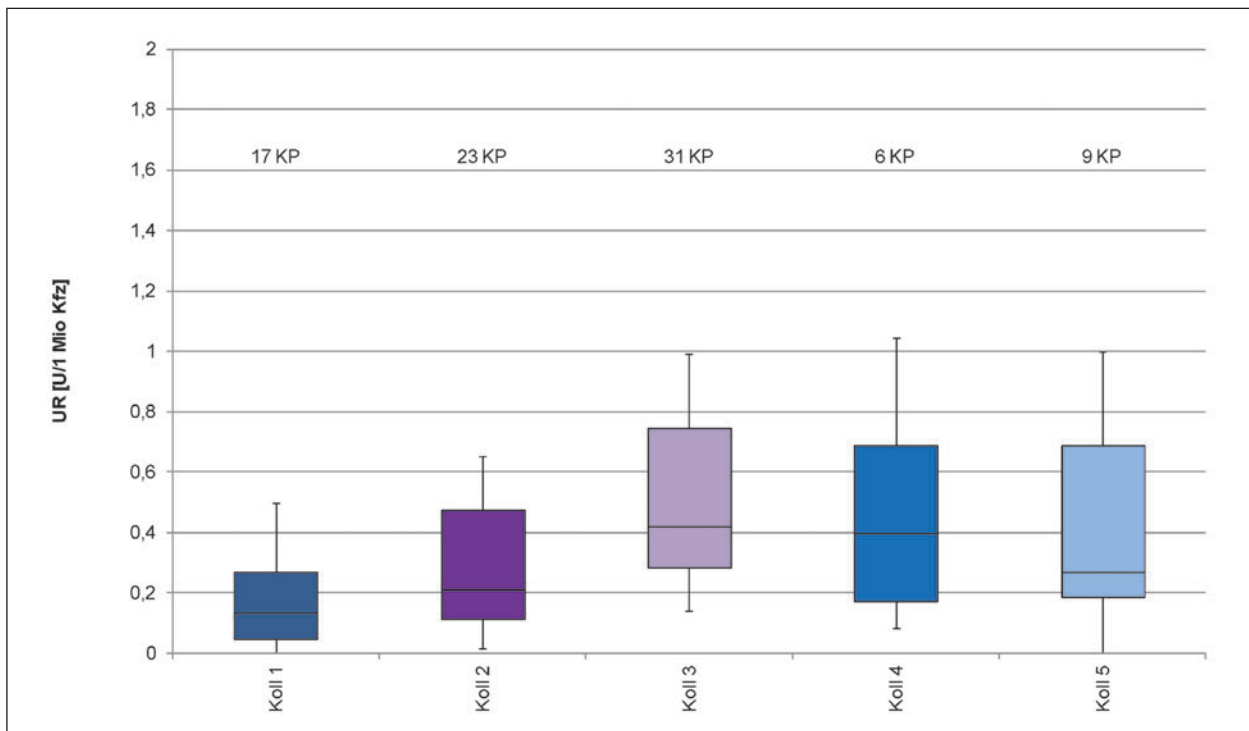


Bild 21: Statistische Verteilung der Unfallraten (UR) [U/1 Mio*Kfz] je Kollektiv

und 5 zumindest hinsichtlich der hier vorliegenden Randbedingungen vergleichbar ist. Demgegenüber ist aus dem Vergleich der Kollektive 1 und 4 (mit und ohne Tropfen) abzuleiten, dass Knotenpunkte mit Tropfen Vorteile hinsichtlich der Unfallraten aufweisen.

Geringere Unfallraten hat Kollektiv 1 – ohne Dreiecksinsel – auch im Vergleich zu den Knotenpunkten der Kollektive 2 und 3 (jeweils mit Dreiecksinsel). Auch Kollektiv 2 mit der Vorfahrtsregelung „rechts vor links“ nach der Dreiecksinsel weist im Vergleich zu Kollektiv 3 mit dem Verkehrszeichen „Vorfahrt gewähren“ nach der Dreiecksinsel geringere Unfallraten auf. Um allerdings hierzu weitere Aussagen bzgl. der Verkehrssicherheit treffen zu können, sind weitere Untersuchungen insbesondere unter Einbeziehung der Unfallschwere erforderlich.

Betrachtet man im Weiteren die Schwere der Unfälle getrennt nach Kollektiven (Bild 22), so fällt auf, dass für die Kollektive 1 bis 3 die Kategorie 3 (Unfall mit Leichtverletzten) den größten Anteil ausmacht. Für Kollektiv 4 ergibt sich für die Kategorien 3 und 4 (Unfall mit leichtem Personenschaden bzw. schwerwiegender Unfall mit Sachschaden) jeweils der größte Anteil von 32 %. Für Kollektiv 5 nimmt die Kategorie 5 (sonstiger Unfall mit Sachschaden) mit 36 % gefolgt von Kategorie 3 mit 33 % den größten

Anteil ein. Die Anteile der Unfälle mit Personenschaden sind also für die Kollektive 1 bis 3 höher, die Unfälle mit leichteren Sachschäden überwiegen anteilmäßig bei den Kollektiven 4 und 5.

Unfälle der Kategorie 1 (Unfall mit Getöteten) sind mit 2 bzw. 3 Unfällen vor allem bei den Knotenpunkten mit geringerem Ausbaustandard, den Kollektiven 4 bzw. Kollektiv 5, zu verzeichnen.

Die Summe der Unfälle je Kollektiv (Bild 22) ist geringer als die der Gesamtübersicht (Bild 18). Das ist darauf zurückzuführen, dass Unfälle, die polizeilich als „Unfall mit Sachschaden, geringe Ordnungswidrigkeit“ deklariert werden, lediglich mit einem Aufnahmeblatt erfasst und als „Zählfall (ZF)“ vermerkt werden. Diese Unfälle wurden wegen ihrer geringen Bedeutung hier vernachlässigt.

Die Unfallkostenraten, die in Bild 23 aufgezeigt sind, stellen die Unfallschwere sowie die Häufigkeit der Unfälle noch besser ins Verhältnis. Für Kollektiv 3 – Knotenpunkte mit Dreiecksinsel und der Regelung „Vorfahrt gewähren“ nach der Dreiecksinsel – sind die Unfallkostenraten mit einem Median von 17 EUR/1.000*Kfz am höchsten. Für Kollektiv 2 – Knotenpunkte mit Dreiecksinsel und mit der Vorfahrtsregelung „rechts vor links“ nach der Dreiecksinsel – liegt der Median hingegen bei 7 EUR/1.000*Kfz. Kollektiv 1 – Knotenpunkte mit einer

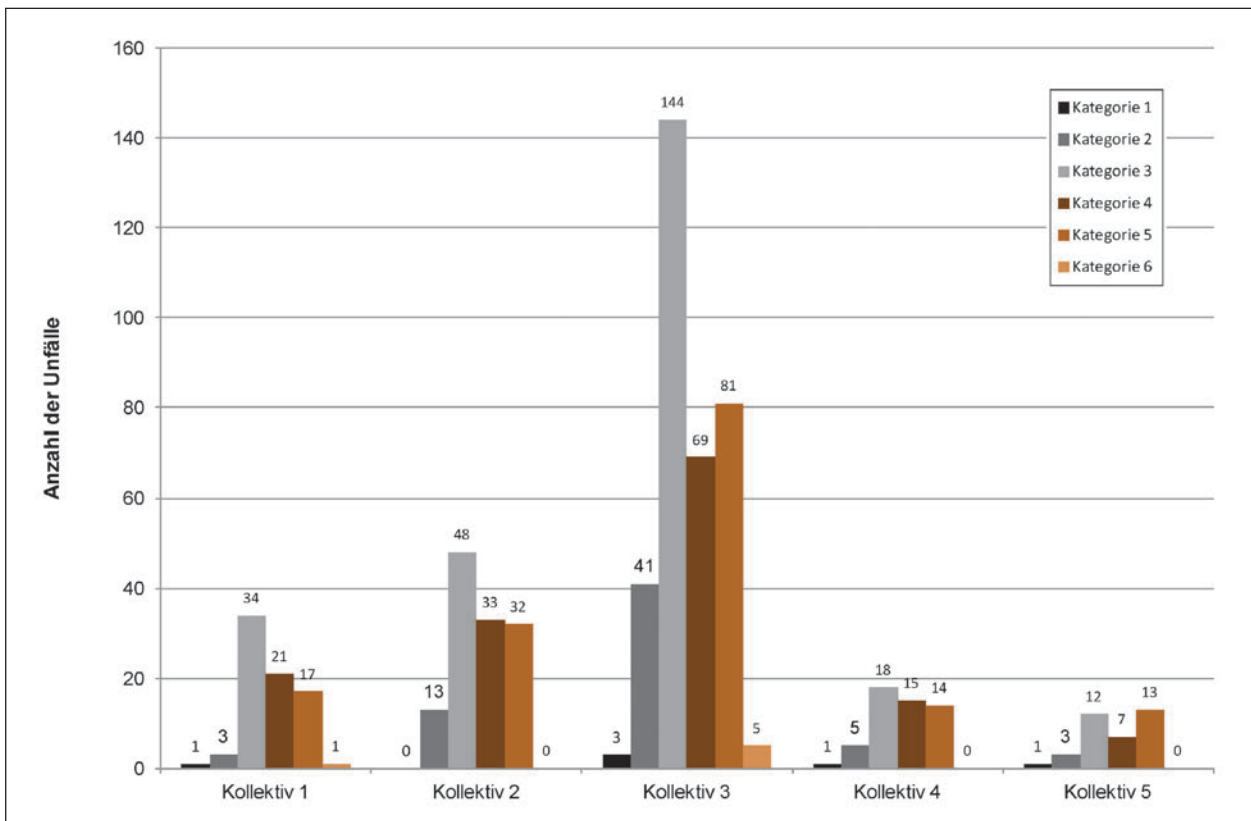


Bild 22: Anzahl der Unfälle nach Unfallkategorien für alle Kollektive

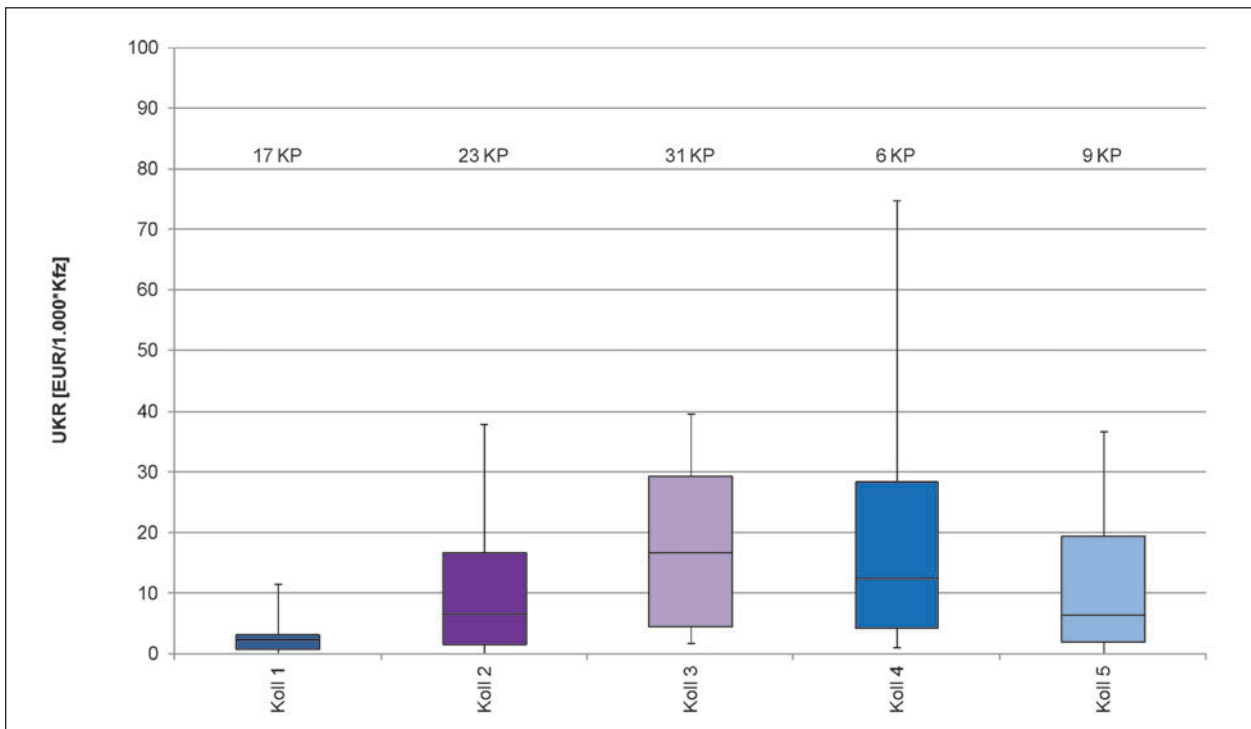


Bild 23: Statistische Verteilung der Unfallkostenraten (UKR) [EUR/1.000*Kfz] je Kollektiv

Rechtsabbiegerführung ohne Dreiecksinsel – weist mit einem Median von 2,5 EUR/1.000*Kfz die geringsten Unfallkostenraten auf. Insbesondere zur

Erklärung der großen Unterschiede zwischen den beiden Führungen mit Dreiecksinsel untereinander sind weitere Betrachtungen erforderlich.

Beim Vergleich der beiden Kollektive 1 und 4 – Knotenpunkte mit und ohne Tropfen in der untergeordneten Zufahrt – zeigen sich die Knotenpunkte des Kollektivs 4 mit einer Unfallkostenrate von 12,5 EUR/1.000*Kfz (Median) deutlich unsicherer als Kollektiv 1 mit einer Unfallkostenrate von 2,5 EUR/1.000*Kfz. Für Kollektiv 5 liegt der Median für die Unfallkostenraten auf dem Niveau des Kollektivs 2, allerdings zeigt die Ausprägung der Box tendenziell nach oben größere Streuungen auf. Daher ist davon auszugehen, dass – insbesondere bei sehr geringen Verkehrsstärken – auch diese Knotenpunkte relativ sicher betrieben werden können. Das Risiko deutlich höherer Unfallkostenraten ist allerdings größer, insbesondere gegenüber einer Gestaltung gemäß Kollektiv 1.

In den RAL (2012) wird bezüglich der Anwendung von Knotenpunkten ohne LSA auch für die Entwurfsklasse 3, bei der diese an sich zulässig sind, eine deutliche Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung im Knoten genannt; volkswirtschaftliche Vorteile für eine Lösung mit LSA werden dort ab einem DTV von 5.000 Kfz/24h ausgewiesen. Inwieweit eine solche Grenze auch für die hier vorliegenden Kollektiven anwendbar ist, wird durch die Betrachtung verschiedener Verkehrsstärkeklassen aufgezeigt. Eine zu kleinteilige Unterscheidung der Verkehrsstärken birgt allerdings Unsicherheiten

durch zu kleine bzw. verschieden große Kollektivgrößen.

Eine Auswertung der Unfallkostenraten nach verschiedenen Verkehrsstärkeklassen (Bild 24) zeigt, dass erkennbare und plausible Unterscheidungen bei einer (Vor-)Betrachtung mit kleineren Klasseinteilungen nur bei Kollektiv 3 auftreten. Bei der aussagekräftigsten Grenze von 8.000 Kfz/24h zeigt sich bei Kollektiv 3, dass sowohl der Median der stärker belasteten Gruppe als auch optisch die Einzelwerte ab ca. 8.000 Kfz/24h deutlich zunehmen. Um auszuschließen, dass die hohen Unfallkostenraten bei Kollektiv 3 ab 8.000 Kfz/24h auf Unfälle bei sehr hohem DTV zurückzuführen sind, wurden für dieses Kollektiv zusätzlich die Unfälle im Bereich mit sehr hohem DTV untersucht. Es hat sich gezeigt, dass die Unfallkostenraten ab einem DTV von 15.000 Kfz/24h tendenziell wieder abnehmen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird diese weitere Unterteilung allerdings in diesem Diagramm nicht dargestellt.

Bei den Kollektiven 1 und 2 liegt die Unfallkostenrate bei Verkehrsstärken bis 8.000 Kfz/24h höher und nimmt bei höherer Verkehrsbelastung nicht zu bzw. sogar leicht ab. Die Kollektive 4 und 5 sind für eine solche belastbare Aufgliederung zu schwach besetzt. Auf makroskopischer Basis

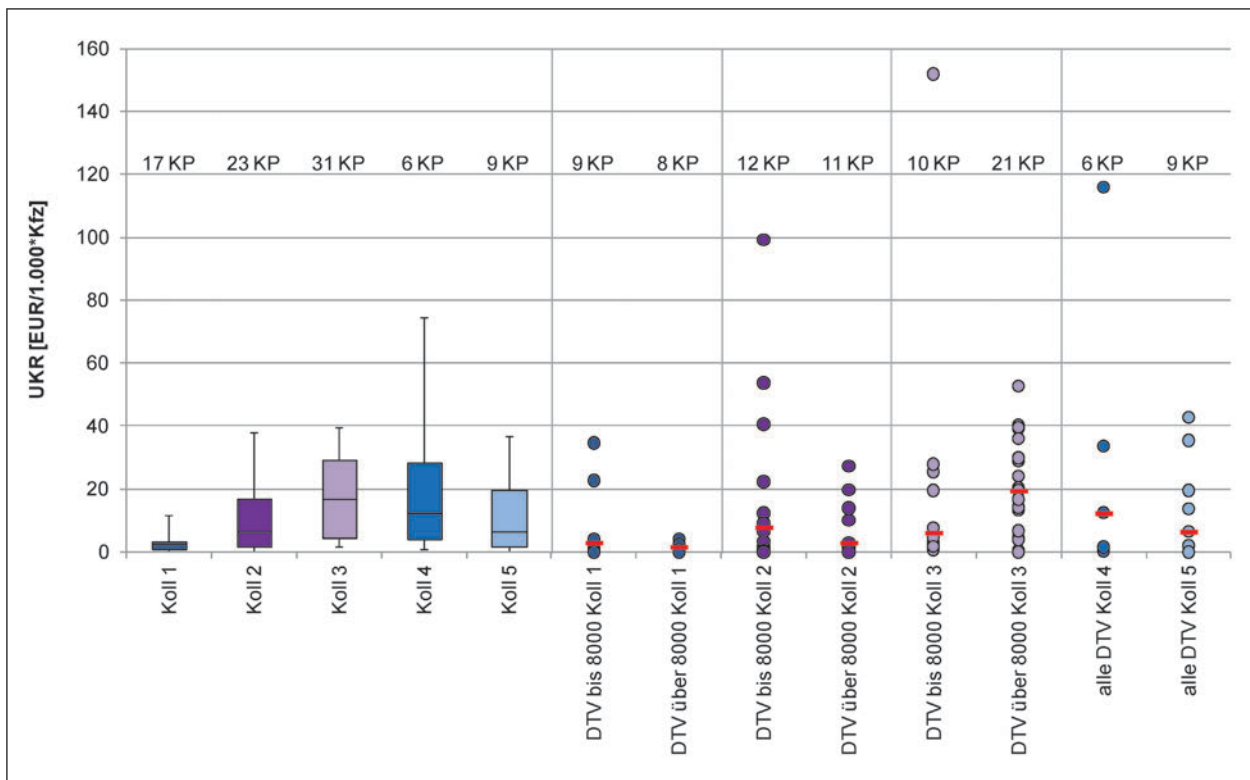


Bild 24: UKR in Abhängigkeit von der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) [Kfz/24h]

ist für diesen Unterschied in der Belastungsabhängigkeit bei verschiedenen Kollektiven keine Erklärung erkennbar. Allerdings wirken sich insbesondere bei geringen Verkehrsbelastungen einzelne schwere Unfälle sehr stark auf die Unfallkostenraten aus.

Um weitere Aussagen in Bezug auf die Verkehrssicherheit der Knotenpunktkollektive treffen zu können, sind weitere differenziertere Betrachtungen der Unfallstruktur erforderlich.

Bereits auf der Basis der makroskopischen Unfalluntersuchung wird erkennbar, dass die mittlere Unfallkostenrate von Kollektiv 1 mit ca. 2,5 EUR/1.000 Kfz deutlich niedriger liegt als die aller anderen Kollektive. Zu den Kennwerten anderer Kollektive ist anzumerken, dass diese tendenziell auch niedriger liegen als vergleichbare Werte aus früheren Forschungsvorhaben, die allerdings nahezu ausschließlich lediglich nach Knotenpunktarten unterschieden haben.

4.5 Mikroskopische Unfallanalyse

4.5.1 Zusammenhänge zwischen Knotenpunktgestaltung und Unfalltypen

Zur detaillierteren Betrachtung einzelner Unfälle und Identifikation evtl. systematischer Zusammenhänge zwischen Unfallhergang und Knotenpunktgestaltung wurden die Unfälle zunächst den verschiedenen Unfalltypen zugeordnet (Bild 25).

Charakteristisch für das Unfallgeschehen am Knotenpunkt sind vor allem der Unfalltyp 2 (Abbiegen-Unfall) und der Unfalltyp 3 (Einbiegen/Kreuzen-Unfall). Des Weiteren können Betrachtungen der Unfalltypen 1 (Fahrerunfall) und 6 (Unfall im Längsverkehr) Hinweise auf mögliche Gestaltungsdefizite liefern. Die Unfalltypen 4 (Überschreiten-Unfall) und 5 (Unfall durch ruhenden Verkehr) treten selten bis gar nicht im Knotenpunktbereich auf, Unterschiede im Unfalltyp 7 (sonstiger Unfall) lassen ebenfalls keine systematischen Aussagen zu.

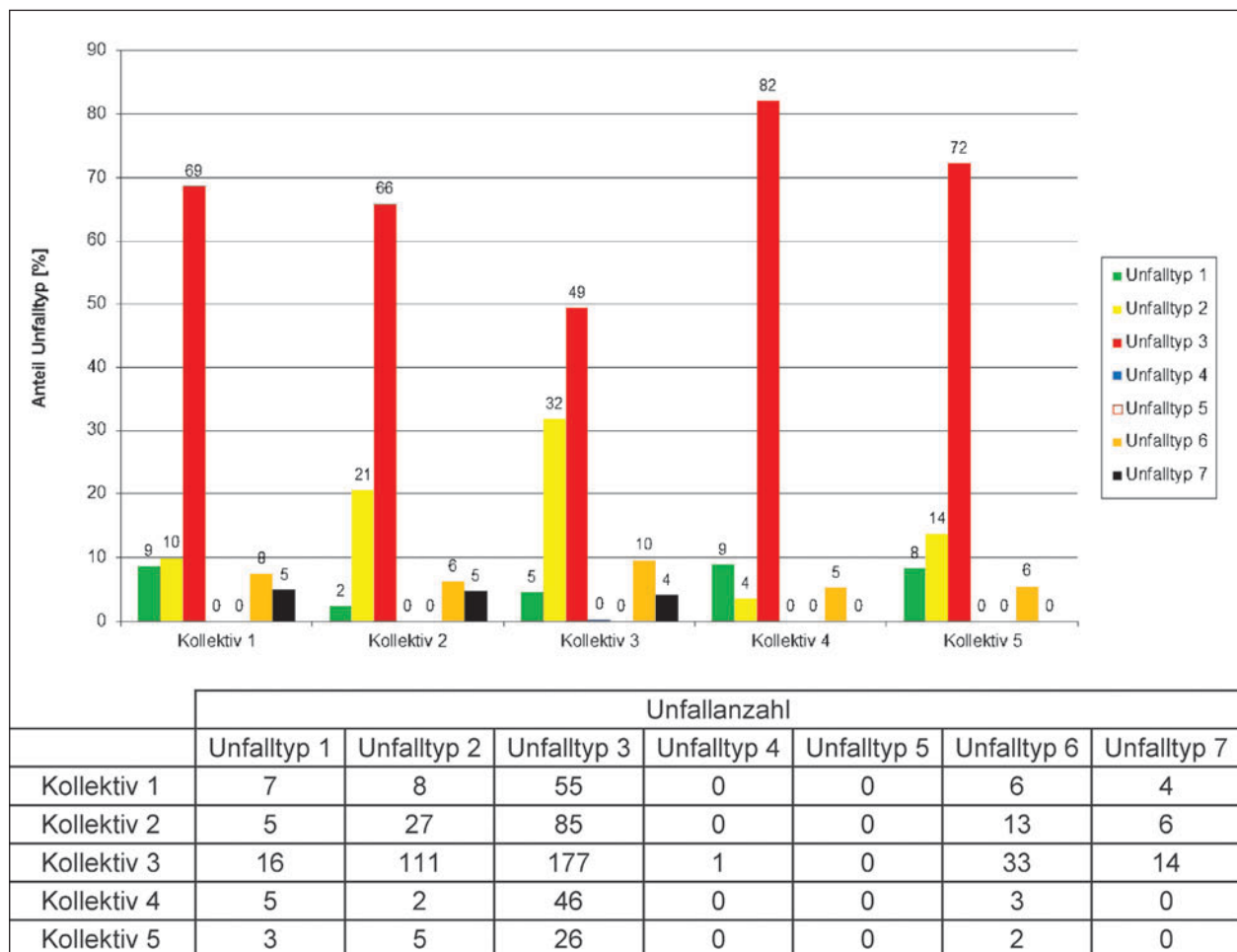


Bild 25: Anteil der Unfälle nach Unfalltypen für alle Kollektive (oben); Anzahl der Unfälle nach Unfalltypen für alle Kollektive (unten)

Bei allen Kollektiven machen Unfälle des Unfalltyps 3 den größten Anteil aus, er liegt zwischen 49 % und 82 %. Auffällig ist der relativ hohe Anteil an Unfällen des Unfalltyps 2 (Abbiegen) bei den Knotenpunktkollektiven 2 und 3 (also den Knotenpunkten mit Dreiecksinsel), wobei dieser Anteil beim Kollektiv 3 mit 32 % noch deutlich höher ist als beim Kollektiv 2 mit 21 %. Im Gegenzug liegen bei allen Kollektiven ohne Dreiecksinsel (Kollektive 1, 4 und 5) die Anteile an Fahrnrunfällen (Unfalltyp 1) etwas höher als bei Knotenpunkten mit Dreiecksinsel.

Eine detaillierte Beschreibung des maßgeblichen Konflikts geben die dreistelligen Unfalltypen aus dem Unfalltypenkatalog (ISK-GDV 2003). Mithilfe der dreistelligen Unfalltypen wurden die Unfälle systematisch nummeriert und lassen sich so einem eindeutigen Konfliktfall zuordnen. Die erste Ziffer entspricht der des einstelligen Unfalltyps. Die zweite Ziffer wird durch die Fahrtrichtung des Konfliktpartners relativ zum Verursacher definiert. So bezeichnet etwa der Unfalltyp 30x Einbiegen/Kreuzen-Unfälle (3) mit Fahrzeugen von links (0) und Unfälle vom Typ 32x Einbiegen/Kreuzen-Unfälle mit Fahrzeugen von rechts (2). Mit der dritten Ziffer wird ein eindeutiger Konfliktfall zugeordnet, beispiels-

weise der Unfall eines Linkseinbiegers mit einem Fahrzeug, das von links kommt (UT 302). In Bild 26 wird die Fahrbeziehungen der dreistelligen Unfalltypen veranschaulicht, die zur jeweiligen Konfliktsituation führt.

Der dreistellige Unfalltyp wurde bei der Unfallfassung polizeilich nicht bestimmt. Er wurde in der Untersuchung nachträglich durch Analyse der Unfallhergangstexte und der Unfallskizzen ermittelt. In Bild 26 werden die Fahrbeziehungen der relevanten dreistelligen Unfalltypen veranschaulicht, die zur jeweiligen Konfliktsituation führen. In Bild 27 werden zur Erhöhung der Übersichtlichkeit nur die aussagekräftigsten Unfalltypen 1, 2, 3, und 6 aufgeführt, bei denen insgesamt mindestens 4 Unfälle je dreistelligem Unfalltyp registriert wurden. Dargestellt ist die entsprechende Anzahl an Unfällen je Kollektiv und 3-stelligem Unfalltyp.

Wie bereits aus Bild 25 ersichtlich wird, konzentrieren sich die Unfälle auf die Unfalltypen 2 und 3. Auch die Aufschlüsselung nach dreistelligen Unfalltypen zeigt vor allem für den Unfalltyp 1, dass sehr viele verschiedene Detailkonflikte vorliegen, die keine systematische Analyse ermöglichen. Längsver-

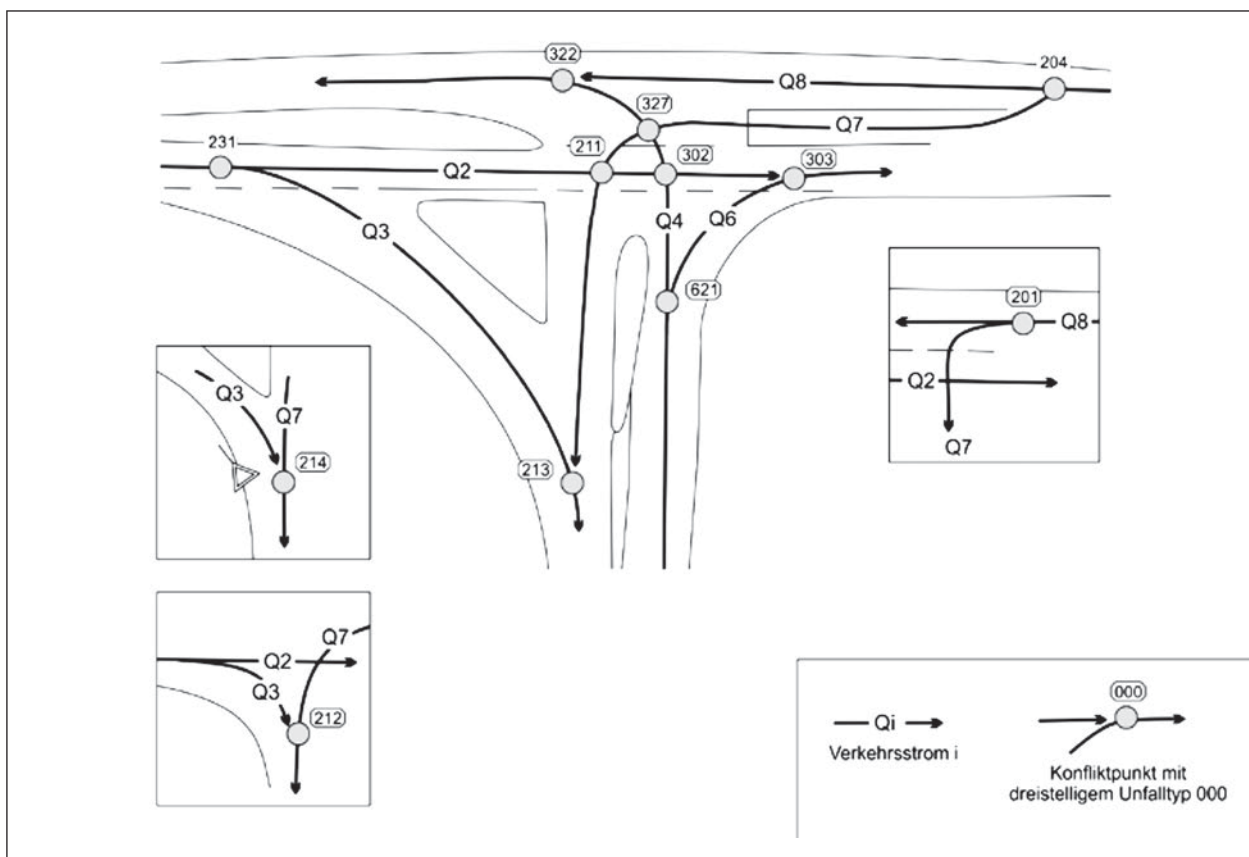


Bild 26: Definition der dreistelligen Unfalltypen mit Fahrbeziehungen [nach WEISE und DURTH, 1997]

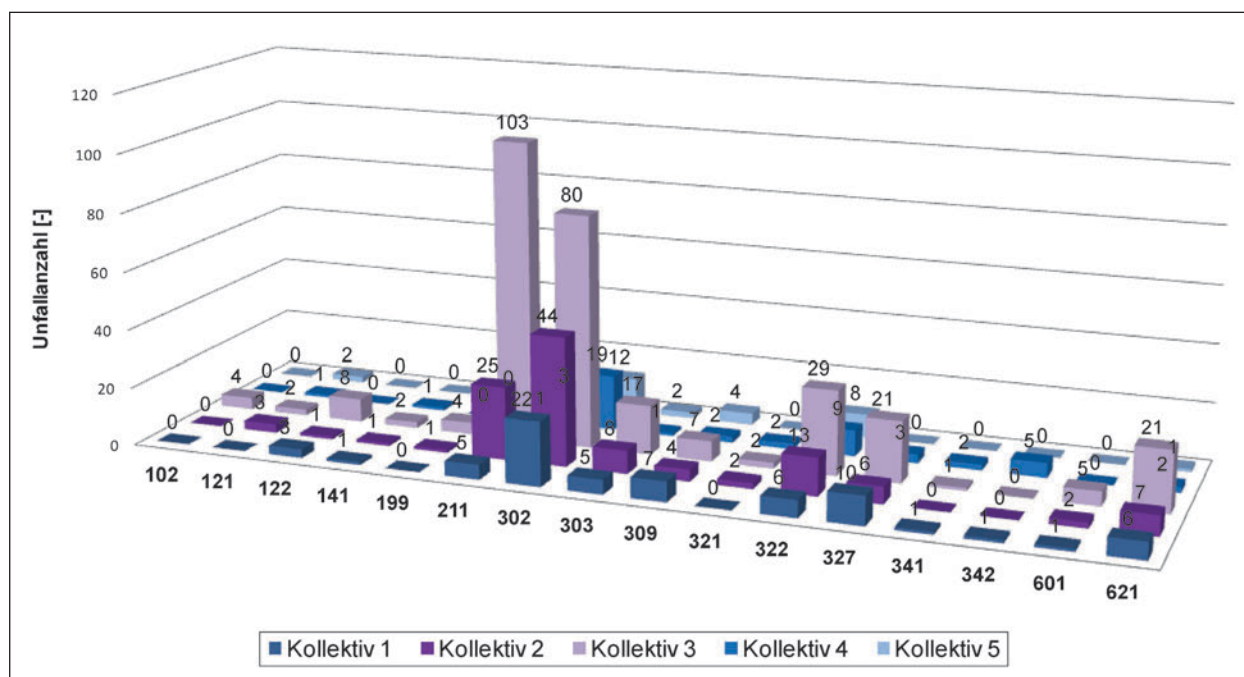


Bild 27: Anzahl der 3-stelligen Unfalltypen getrennt nach Kollektiv

kehrsunfälle treten in nennenswerter Zahl lediglich als Unfalltyp 621 (Auffahren auf ein wartepflichtiges Fahrzeug in der untergeordneten Straße) auf. Ihr geringer Beitrag zur Unfallkostenrate zeigt allerdings, dass die Unfallschwere dieser Unfälle in der Regel gering ist. Daher werden im Folgenden vor allem die Befunde zu den relevantesten Unfalltypen 2 und 3 erläutert, bevor konkret auf den möglichen Zusammenhang zwischen den beschriebenen Fragestellungen der Knotenpunktgestaltung und einzelnen Konfliktsituationen eingegangen wird. Die dazu auch herangezogenen Unfallkostenraten (Bild 28) der gleichen dreistelligen Unfalltypen weisen jeweils den Beitrag der Unfälle mit diesem dreistelligen Unfalltyp an der gesamten Unfallkostenrate aus, d. h. die Bezugsgröße ist die Gesamtverkehrsstärke im Knotenpunkt.

Unfalltyp 2

Beim Unfalltyp 2 ereignen sich die meisten Unfälle beim Linksabbiegen mit einem Fahrzeug, das geradeaus fährt (UT 211). Beim Kollektiv 3 sind es 103 Unfälle (Anteil dieses UT 29 %), deren Unfallkostenrate mit 6,1 EUR/1.000*Kfz verhältnismäßig hoch ist. Beim Kollektiv 2 sind es dagegen nur 25 Unfälle (Anteil des UT 211 18 %), deren Unfallkostenrate mit 2,9 EUR/1.000*Kfz im Vergleich zum Kollektiv 3 deutlich niedriger liegen. Bemerkenswert ist, dass der hohe Anteil des UT 211 beim Kollektiv 3 nicht nur bei vereinzelt Knotenpunkten, son-

dern bei sehr vielen Knotenpunkten festzustellen ist. Bei den Kollektiven 1 und 4 dagegen ist der UT 211 sowohl von der Anzahl als auch der Schwere zu vernachlässigen.

Die dreistelligen Unfalltypen wurden auch genutzt, um die unterschiedlichen Knotenpunktdetails der Kollektive hinsichtlich ihres Einflusses auf die Verkehrssicherheit zu beurteilen. Die Vergleiche konzentrieren sich dabei auf die zuvor in Kapitel 3.1 erläuterten Themenbereiche.

Unfalltyp 3

Eine detaillierte Unterteilung des Unfalltyps 3 zeigt, dass sich dieser Unfalltyp bei allen Kollektiven vor allem auf Unfälle beim Linkseinbiegen mit einem Fahrzeug von links (UT 302) konzentriert. Die Unfallkostenrate des UT 302 liegt für Kollektiv 2 und 3 mit jeweils 4,8 bzw. 6,9 EUR/1.000*Kfz am höchsten und für Kollektiv 1 mit 2,9 EUR/1.000*Kfz am niedrigsten (Bild 28). Für Kollektiv 5 sind die Unfallkostenraten bei einer Unfallanzahl von 6 Unfällen mit 10,3 EUR/1.000*Kfz außergewöhnlich hoch.

Der UT 303 (Unfall eines Rechtseinbiegers mit einem Fahrzeug von links) fällt deutlich weniger ins Gewicht. Häufiger im Vergleich dazu ist der UT 309, der weitere Einbiegeunfälle kennzeichnet, bei denen die Fahrtrichtung des Einbiegers nach Durchsicht des Unfallprotokolls allerdings nicht zu bestimm-

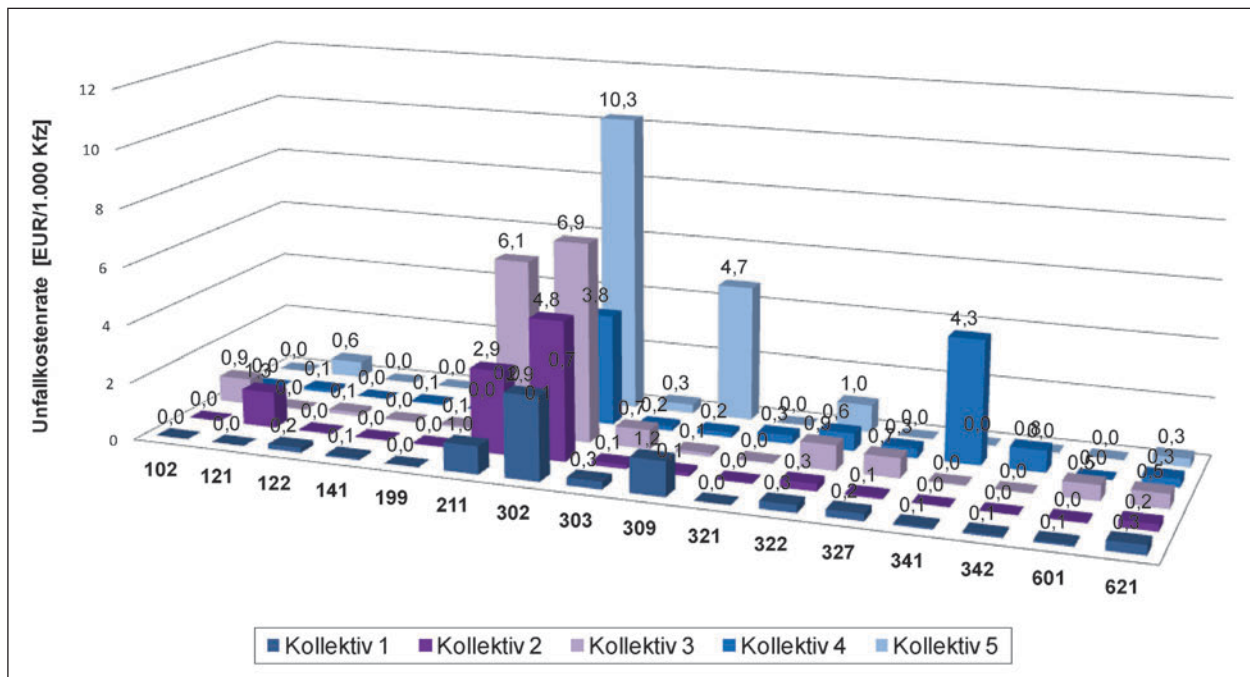


Bild 28: Unfallkostenraten der dreistelligen Unfalltypen

men war. Auf diesen Unfalltyp wird deshalb nicht weiter eingegangen.

Weiterhin auffällig ist der UT 322 (Unfall eines Links-einbiegers mit einem Fahrzeug von rechts, das geradeaus fährt). Für das Kollektiv 5 liegt der Anteil mit über 20 % bzw. die Unfallkostenrate mit 1 EUR/1.000*Kfz am höchsten. Der UT 327 beschreibt Unfälle, die sich durch den Konflikt eines Linkseinbiegers mit einem linksabbiegenden Fahrzeug ereignen. Die relativ größte Häufigkeit hat diese konkrete Konfliktsituation bei Kollektiv 1.

Außerdem erwähnenswert sind die UT 341 und UT 342 (Unfall eines Einbiegers mit einem Radfahrer von links bzw. von rechts) mit einem Anteil von 4 % bzw. 9 % für Kollektiv 4, wobei vor allem die Unfallkostenrate für den UT 341 mit 4,3 EUR/1.000*Kfz verhältnismäßig hoch liegt. Dabei ist zu beachten, dass die Knotenpunkte des Kollektivs 4 häufig an geringer belasteten Strecken liegen, dieser Umstand und die relativ große Unfallschwere führen zu diesen hohen Unfallkostenraten. Unfälle mit Radfahrern stehen zwar nicht im Vordergrund dieser Untersuchung, jedoch wird an späterer Stelle hinsichtlich Auffälligkeiten ungünstiger Gestaltungen noch auf die Art der Radverkehrs-führung eingegangen.

Unterscheidung der Rechtsabbiegerführung

Zunächst werden die Kollektive 1, 2 und 3 bezüglich der Rechtsabbiegerführung verglichen. Hierfür wird

der UT 122 näher betrachtet, der den Fahr-unfallhergang beschreibt, bei dem ein Fahrer aufgrund überhöhter Geschwindigkeit beim Rechtsabbiegen die Gewalt über sein Fahrzeug verliert. Hier ereignen sich beim Kollektiv 1 mit einfacher Eckausrundung sowie beim Kollektiv 2 mit Vorfahrt der Rechtsabbieger mit 3 bzw. 2 Unfällen gleichermaßen wenige Unfälle. Demgegenüber sind bei Kollektiv 3 (Dreiecksinsel mit Vorfahrt der Linksabbieger) 8 Unfälle zu verzeichnen. Da der Beitrag dieser Unfälle zur Unfallkostenrate jedoch sehr gering ist (etwa 0,2 EUR/1.000*Kfz), lassen sich aus diesen Zahlen keine Argumente für oder gegen die Anlage von Rechtsabbiegerführungen mit oder ohne Dreiecksinsel ableiten.

Im Weiteren wurden die Kollektive 2 und 3 hinsichtlich der Verkehrssicherheitsauswirkungen der Vorfahrtsregelung nach der Dreiecksinsel verglichen. Hierfür wurden die Unfälle im Konfliktpunkt zwischen Rechts- und Linksabbieger (UT 213 bzw. 214) betrachtet. Insgesamt wurden an diesem Konfliktpunkt lediglich zwei Unfälle (UT 213) für Kollektiv 2 und drei Unfälle (UT 214) für Kollektiv 3 festgestellt. Diese geringen Unfallzahlen mit vernachlässigbar geringen Unfallkostenraten zeigen, dass die Situation nach der Dreiecksinsel insgesamt unkritisch ist. Die in der makroskopischen Unfallanalyse offensichtlich erkennbaren unterschiedlichen Sicherheitsniveaus müssen daher einen anderen Hintergrund haben.

Große Unterschiede zwischen den Kollektiven 2 und 3 sind dagegen beim UT 211 (Unfall eines Linksabbiegers mit einem entgegenkommenden Geradeausfahrer) festzustellen. Es ist zunächst auffällig, dass Unfälle des UT 211 vor allem bei den Kollektiven mit Dreiecksinsel auftreten (25 Unfälle mit einer UKR von 2,5 EUR/1.000*Kfz beim Kollektiv 2, 103 Unfälle mit einer UKR von 6,1 EUR/1.000*Kfz beim Kollektiv 3), wohingegen Knotenpunkte ohne Dreiecksinsel nahezu keine Unfälle des UT 211 aufweisen (5 Unfälle mit einer UKR von 1,0 EUR/1.000*Kfz beim Kollektiv 1).

Das eindeutig häufigere Auftreten dieses Unfalltyps bei Knotenpunkten mit Dreiecksinsel ist ein deutlicher Hinweis auf niedrigere Sicherheitsgrade bei der Anlage von Rechtsabbiegerführungen mit Dreiecksinseln. Die Erkenntnis, dass der UT 211 bei Kollektiv 3 gegenüber Kollektiv 2 nochmals deutlich überrepräsentiert ist, scheint darauf hinzudeuten, dass die Vorfahrtsregelung „Rechts-vor-links“ beim Kollektiv 2 der Regelung „Vorfahrt für den Linksabbieger“ hinter der Dreiecksinsel sicherheitstechnisch vorzuziehen ist. Insofern wird der Befund aus der makroskopischen Unfallanalyse hier bestätigt. Möglicherweise verführt die Vorfahrt des Linksabbiegers gegenüber dem Rechtsabbieger dazu, dass dieser insbesondere bei höheren Verkehrsbelastungen auch kleinere Zeitlücken für einen Abbiegevorgang nutzt. In den Unfallberichten waren allerdings – wie zu erwarten – zu den Hintergründen dieser Auffälligkeit keine weiteren Informationen enthalten. Um hierzu weitere Aussagen treffen zu können, werden zusätzlich die Fahrverläufe analysiert.

Auch bei den Einbiegeunfällen zeigen sich die gleichen Grundtendenzen wie bei der Gesamtbetrachtung der Verkehrssicherheit der drei verkehrlich vergleichbaren Kollektive 1 bis 3, die sich weitestgehend nur hinsichtlich der Rechtsabbiegerführung unterscheiden. Insbesondere bezogen auf Unfälle mit Fahrzeugen von links (UT 302) weist auch hier das Kollektiv 1 mit 2,9 EUR/1.000 Kfz deutlich niedrigere Unfallkostenraten auf als die beiden Kollektive mit Dreiecksinsel (ca. 6 EUR/1.000 Kfz). Diese markante Unterscheidung hinsichtlich der Kollektive mit und ohne Dreiecksinseln ist möglicherweise auf die zumindest theoretisch unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveaus der Fahrzeuge zurückzuführen, die von links kommen. Schließlich führt der verkehrstechnische Vorteil der Rechtsabbiegerführungen mit Dreiecksinsel nicht nur zu weniger potenziellen Konflikten zwischen Rechtsabbiegern

und nachfolgenden Geradeausfahrern, sondern zwangsläufig zu höheren mittleren Geschwindigkeiten der Geradeausfahrer im eigentlichen Kreuzungsbereich.

Anlage von Linksabbiegestreifen

Um den Einfluss von Linksabbiegestreifen auf die Verkehrssicherheit an Knotenpunkten abzuleiten, wurden die Kollektive 4 und 5 verglichen. Bei Betrachtung verschiedener Unfalltypen wird eine höhere Verkehrssicherheit bei Anlage von Linksabbiegestreifen deutlich. So hat Kollektiv 5 (ohne Linksabbiegestreifen) für UT 121 (Unfall durch zu schnelles Linksabbiegen aus der übergeordneten Straße, 0,6 EUR/1.000*Kfz) und UT 211 (Konflikt eines Linksabbieger mit einem entgegenkommenden Fahrzeug, 0,7 EUR/1.000*Kfz) eine höhere Unfallkostenrate als Kollektiv 4 mit Linksabbiegestreifen (jeweils 0,1 EUR/1.000*Kfz). Im Fall des UT 121 hat der Linksabbieger bei Kollektiv 4 die Möglichkeit, seine Geschwindigkeit auf dem Verzögerungsstreifen zu reduzieren. Einmündungen ohne Linksabbiegerstreifen werden unter Umständen auch zu spät wahrgenommen, sodass es durch unvermitteltes Abbiegen zu höheren Abbiegegeschwindigkeiten kommt.

Bezüglich des UT 211 lässt sich die höhere Unfallkostenrate des Kollektivs 5 und somit der Konflikt mit dem entgegenkommenden Fahrzeug so erklären, dass aufgrund des fehlenden Linksabbiegestreifens die Reduzierung der Geschwindigkeit nicht in dem Maße stattfindet, wie wenn ein Linksabbiegestreifen vorhanden wäre. Somit ist die Bereitschaft bei kleineren Zeitlücken des Gegenverkehrs noch relativ zügig abzubiegen größer. Auch der Aspekt, die Hauptfahrbahn zu räumen, um dem nachfolgenden Verkehr nicht zu behindern, kann für den einen oder anderen Fahrer ausschlaggebend für kritische Abbiegevorgänge sein.

Auch für den UT 322 (Konflikt des Linkseinbiegers mit einem Fahrzeug auf der übergeordneten Straße von rechts) ist für Kollektiv 5 die Unfallkostenrate mit 1 EUR/1.000*Kfz höher als für Kollektiv 4 mit 0,6 EUR/1.000*Kfz. Bei Kollektiv 4 kann der Einbieger durch den Fahrstreifenwechsel des Fahrzeugs auf der übergeordneten Straße auf den Linksabbiegestreifen genau differenzieren, ob es sich um einen Linksabbieger oder um einen Geradeausfahrer handelt und ob die Möglichkeit zum Einbiegen gegeben ist. Bei Kollektiv 5 kann der Einbieger den Geradeausfahrer mit dem Linksabbieger verwech-

seln und somit auch die Geschwindigkeit der sich nähernden Fahrzeuge unterschätzen.

Bei Betrachtung des Unfalltyps 6 ist der UT 621 (Auffahren auf ein wartepflichtiges Fahrzeug in der untergeordneten Straße) zu betrachten. Durch den Vergleich der Kollektive 1 und 4 (mit und ohne Tropfen) und der Kollektive 1 bis 3 mit 4 und 5, die keinen baulichen Tropfen haben, ist keine eindeutige Aussage zu treffen.

Aus den Unfallberichten ist keine Information zu entnehmen, die zur eindeutigen Klärung der Häufigkeit der Unfalltypen 302 und 303 führen könnte. Die Ursache für die Unfälle könnten möglicherweise auf eingeschränkte Sichtverhältnisse durch den baulichen Tropfen und die Dreiecksinsel zurückzuführen sein, da die Unfallhäufigkeit bei den Kollektiven 2 und 3 am größten ist. Häufig befinden sich Knotenpunkte, die nach Kollektiv 2 und 3 ausgebaut sind, in Form von plangleichen Teilknotenpunkten im Anschluss an eine Rampe. Hier ist vor allem an den oberliegenden Teilknotenpunkten, bei denen der Linksabbieger auf das Bauwerk zufährt, mit Sichtbehinderungen zu rechnen. In diesen Fällen kann die Sicht durch die Lage des Knotenpunktes auf einer Kuppe zusätzlich in Verbindung mit einer positiven Steigung bei der Anfahrt an den Knotenpunkt aus dem Rampenbauwerk eingeschränkt sein. Im Folgenden wurde deshalb unter anderem der Einfluss der Sichtverhältnisse auf das Unfallgeschehen untersucht, und ob möglicherweise die Breite des

Aufstellbereichs einen Einfluss auf das Unfallgeschehen der Einbieger hat.

Anlage von Tropfen

Konstellationen mit und ohne Tropfen in der untergeordneten Zufahrt sind bei ansonsten gleichen Gestaltungsmerkmalen in den Kollektiven 1 und 4 anzutreffen. Da die Untersuchungskollektive vor allem auf eine vergleichbare Anzahl an Einmündungen der für die Auswirkungen der Rechtsabbiegeföhrung maßgeblichen Kollektive 1 bis 3 ausgerichtet waren, liegen deutlich weniger Einmündungen mit Linksabbiegestreifen, aber ohne Tropfen vor. Aufgrund der ähnlich hohen absoluten Unfallanzahl ergeben sich ohne Tropfen deutlich höhere Unfalldichten und -kostenraten.

Belange des Radverkehrs

Insgesamt waren im Untersuchungszeitraum 26 Unfälle mit Beteiligung des Radverkehrs zu verzeichnen. Die meistvertretenen Unfallkonstellationen im Zusammenhang mit Radverkehrsanlagen liegen beim Einbiegen (UT 341 und UT 342) vor. 7 der 10 Unfälle mit diesen Unfalltypen treten an 2 Einmündungen aus dem Kollektiv 4 auf. Sie betreffen den Radverkehr, der von rechts oder von links fahrbahnnah die untergeordnete Zufahrt kreuzt. An diesen beiden in dieser Hinsicht unfallauffälligen Knotenpunkten ist die Radfahrerfurt jeweils mit Vorfahrt und Roteinfärbung versehen. In beiden Fällen

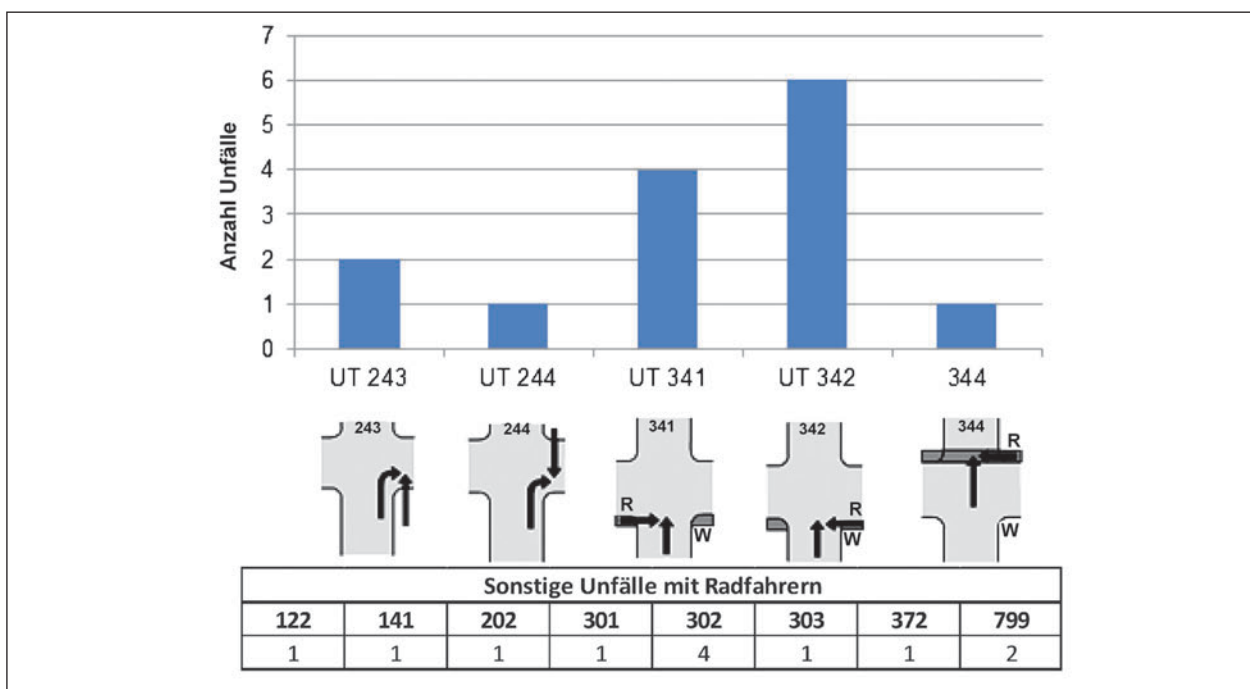


Bild 29: Radverkehrsunfälle

ist die verkehrlichen Bedeutung der untergeordneten Straßen nicht so gering, wie es die RAL für den hier vorliegenden Rechtsabbiegetyp RA5 vorsieht. Nachteilig hinzukommen mag auch die Tatsache, dass gemäß Kollektiv 4 an diesen Stellen kein Tropfen vorhanden war. Auch wenn die geringe Anzahl an Unfällen mit Beteiligung des Radverkehrs keine statistisch belegbare Aussage erlaubt, so bestätigt diese Beobachtung doch die prinzipiellen Festlegungen der RAL. In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass die unfallträchtigere der beiden Einmündungen mittlerweile so umgestaltet worden ist, dass sie sowohl einen Tropfen aufweist als auch eine Querung für den Radverkehr in Tropfenmitte mit Wartepflicht.

Die relative Bedeutung dieser Unfälle zeigen die relativ hohen Beiträge zu den Unfallkostenraten aus den entsprechenden dreistelligen Unfalltypen. Unfälle mit Radverkehr auf der Fahrbahn sind selten (siehe Bild 29) und hauptsächlich an Knotenpunkten der Kollektive 2 und 3 anzutreffen. Die zumindest nach Maßstäben der RAL ausgeschlossene Kombination von Rechtsabbiegerführungen mit Dreiecksinsel sowie Radverkehrsanlagen, die an einigen Einmündungen mit sehr weiter Abrückung bis hinter der Dreiecksinsel ausgeführt ist, ist unfallauffällig.

4.5.2 Einfluss der Verkehrsbelastung von Fahrbeziehungen auf das Unfallgeschehen

Um Aussagen über das Unfallgeschehen in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung der verschiedenen Verkehrsströme treffen zu können, werden im Folgenden Box-Whisker-Diagramme auf der Basis von Unfallkostenraten erstellt, die im Gegensatz zu den sonstigen Betrachtungen als Bezugsgröße lediglich die Verkehrsstärken der betrachteten Ströme enthalten. Rechts im Diagramm sind die Kollektive jeweils nach verschiedenen Belastungsanteilen sowie nach Einzelknotenpunkten differenziert. Alle Klasseneinteilungen der nachfolgenden Diagramme wurden durch Variation der Klassen optimiert, die aussagekräftigsten dieser Diagramme sind hier dargestellt. Im linken Teil des Diagramms werden die Unfallkostenraten des Kollektivs zum Vergleich in Form eines einzigen Box-Whiskers dargestellt, das unabhängig von der Zuordnung zu plangleichen/teilplangleichen Knotenpunkten ist:

Die Unfallkostenraten des UT 211 werden in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke der Linksabbieger (Bild 30), die Unfallkostenraten des UT 302 in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke der Linkseinbieger (Bild 31) dargestellt.

Bei geringer Verkehrsbelastung der Linksabbieger sind vereinzelt Knotenpunkte mit sehr hohen Unfallkostenraten festzustellen, auch dieser Umstand ist vermutlich vor allem auf den großen rechnerischen

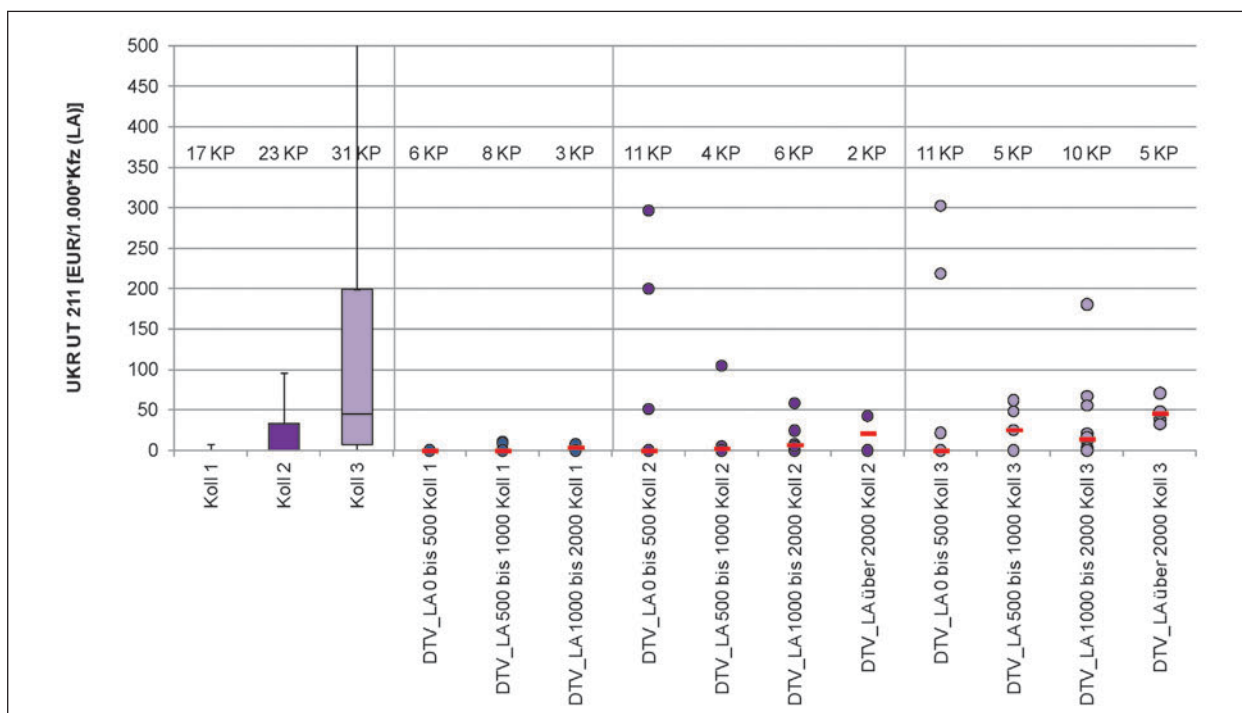


Bild 30: Unfallkostenrate des Unfalltyps 211 in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke [Kfz/24h] der Linksabbieger

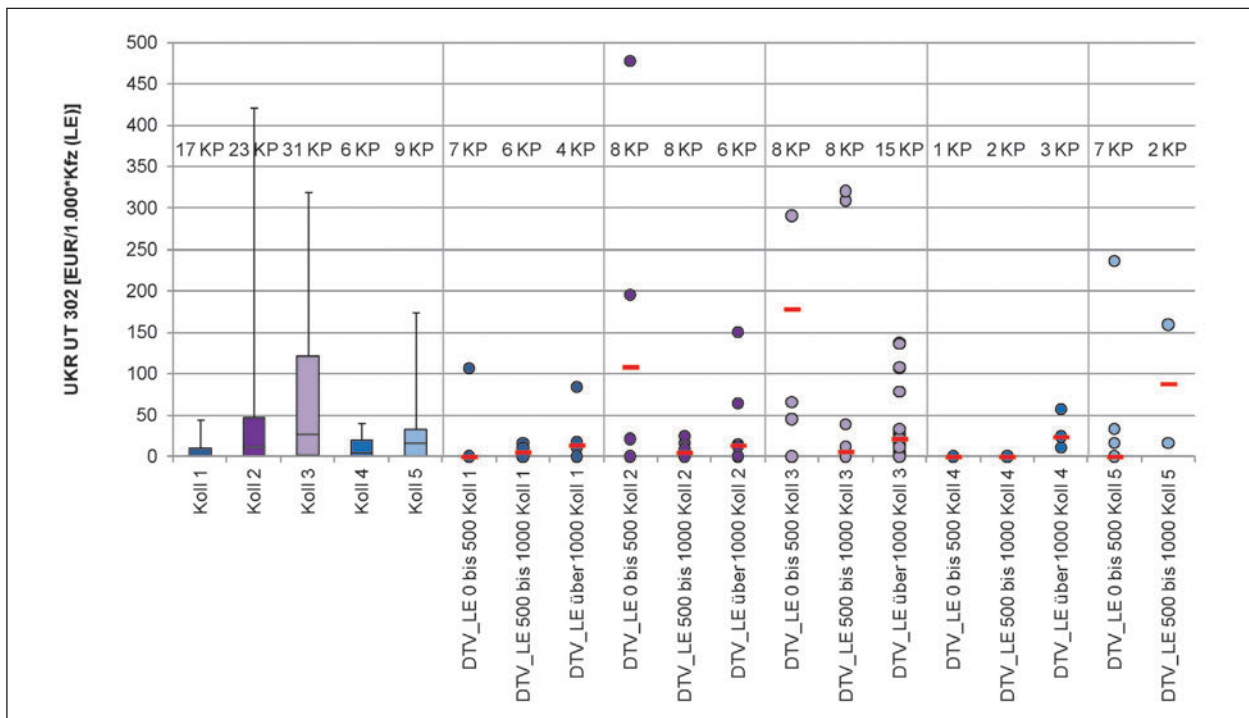


Bild 31: Unfallkostenrate des Unfalltyps 302 in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke [Kfz/24h] der Linkseinbieger

Einfluss einzelner schwerer Unfälle bei geringen Verkehrsstärken im relevanten Strom zurückzuführen.

Ansonsten zeigt auch der Bezug zu den Verkehrsstärken der jeweiligen konkret betroffenen Ein- bzw. Abbiegerströme eine ähnliche Tendenz wie die Analyse der Unfallkostenraten mit Bezug zu den Gesamtverkehrsstärken im Knotenpunkt. Insbesondere zeigen sich die gleichen qualitativen Unterschiede der Sicherheitsgrade zwischen den Kollektiven 1, 2 und 3.

4.5.3 Einfluss der Sichtweiten auf das Unfallgeschehen

Um die Sichtweiten des Knotenpunktkollektivs für die ein- bzw. abbiegenden Fahrzeuge zu bestimmen, wurden ausgehend von der einmündenden Straße bzw. der Haltelinie der Linksabbieger die Sichtweiten nach Klassen unterteilt. Eine Sichtweitenklasse entspricht 50 m. Die Sichtweitenklasse 1 umfasst somit Sichtweiten von 0 bis 50 m, die Sichtweitenklasse 2 50 bis 100 m usw. Die Orientierung der 50-m-Klassen (Sichtweitenklassen) erfolgte anhand von Leitposten, die von der Position des Einbiegers bzw. des Linksabbiegers aus auf der Straßenseite, auf welcher sich der in Konflikt tretende Fahrzeugstrom der Knotenpunktmittelnähert, sichtbar sind. Die Sichtweiten wurden an allen 100 Knotenpunkten erfasst. An einigen Kno-

tenpunkten waren keine Leitposten vorhanden, sodass es nicht möglich war, die Sichtweiten eindeutig zu bestimmen. Für diese Knotenpunktarme liegen dementsprechend keine Daten zu Sichtweiten vor.

Die Sichtweiten sind im Weiteren gemäß den Blickrichtungen der jeweiligen Knotenpunktarme entsprechend den in Kapitel 3.4 erläuterten Fahrbeziehungen im Knotenpunkt benannt und den Beispielen aus Bild 32 zu entnehmen. Die Sichtweite 1-2 beschreibt die Sichtweite eines Fahrzeuges auf der übergeordneten Straße, das sich einordnet, um links abzubiegen. Diese Sichtweite entspricht der Sichtweite der Fahrer, die in einen Konfliktfall des UT 211 verwickelt werden können.

Die Sichtweiten 3-1 und 3-2 entsprechen den Sichtweiten der Anfahrtsicht aus der untergeordneten Straße. Die Sichtweite 3-1 beschreibt die Sichtweite eines Fahrzeuges, welches als Hauptverursacher dem Konfliktfall des UT 302 bzw. 303 zuzuordnen ist, die Sichtweite 3-2 derjenigen des UT 322.

In Bild 33 sind die Unfallkostenraten des Unfalltyps 211, getrennt nach Kollektiven dargestellt. Wie bereits erwähnt, treten die meisten Unfälle des UT 211 bei den Kollektiven 2 und 3 auf. Insbesondere bei Kollektiv 3 ist erkennbar, dass Einmündungen mit Sichtweiten zwischen 100 und 200 m sowie größer 300 m deutlich höhere mittlere Unfallkostenraten

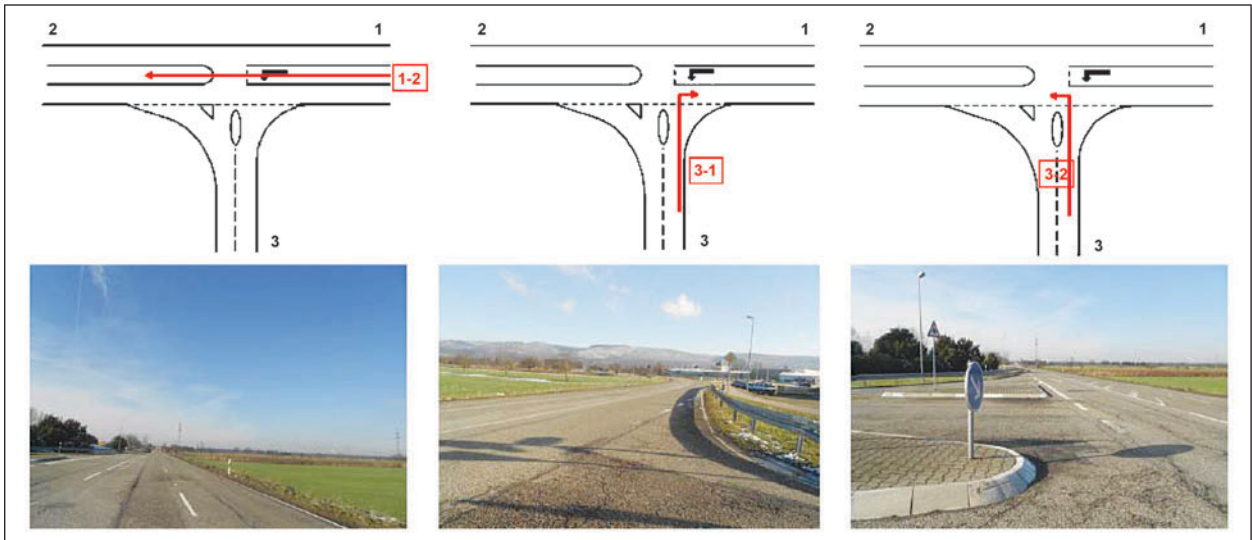


Bild 32: Definition der Blickrichtungen am Beispiel des Knotenpunktes 711500A

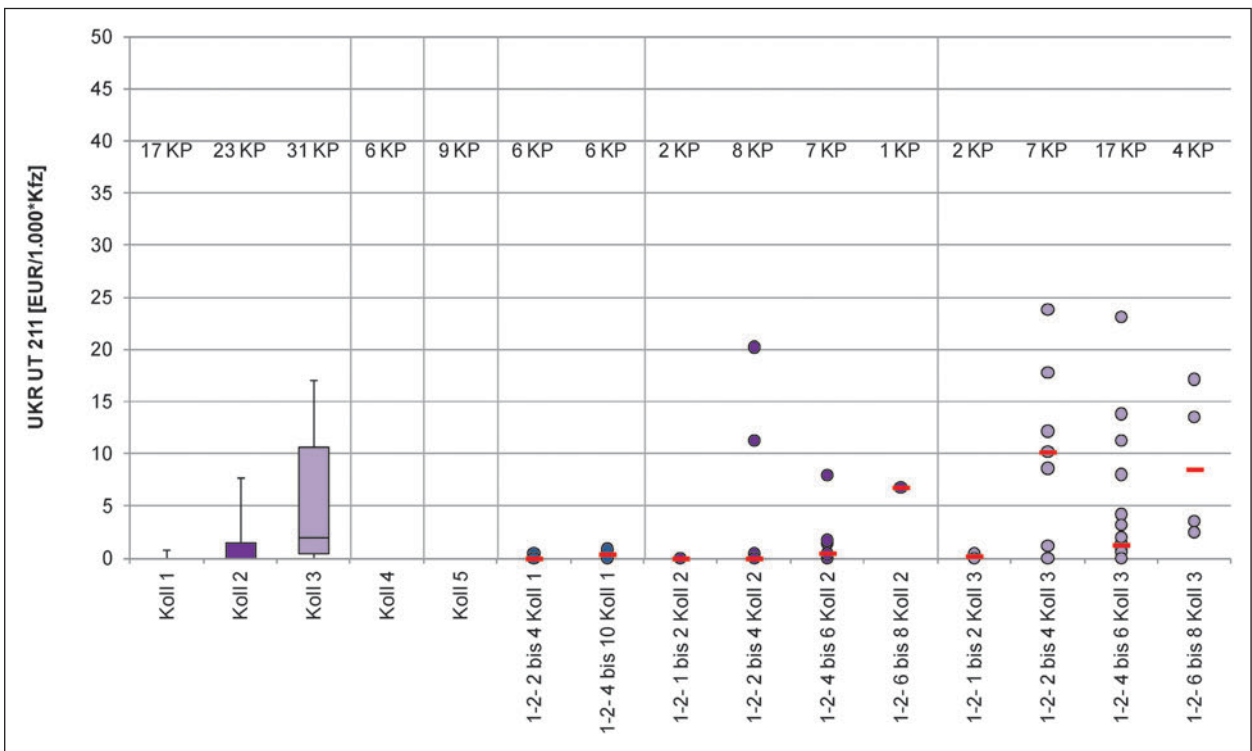


Bild 33: Unfallkostenraten für Unfalltypen 211 in Abhängigkeit von den Sichtweitenklassen (Blickrichtung 1-2) getrennt nach Kollektiven [1 Klasse = 50 m]

aufweisen als solche mit Sichtweiten zwischen 200 und 300 m; diese Gruppe umfasst auch mehr als die Hälfte aller Einmündungen. Möglicherweise führen diese mittleren Sichtweiten zu einem ausgewogenen Maß an Aufmerksamkeit und angemessenen Geschwindigkeiten.

In Bild 34 sind die Unfallkostenraten der Unfalltypen 30x in Abhängigkeit von den Sichtweiten 3-2 dargestellt, die ein Einbieger nach links in die übergeord-

nete Straße hat. Sowohl bei Kollektiv 2 als auch bei Kollektiv 3 steigt das Risiko für deutlich höhere Unfallkostenraten bei Einbieger-Kollisionen mit Fahrzeugen von links ab Sichtweiten von mehr als 200 m (Sichtweitenklasse 4 – 8) deutlich an. Erkennbar ist, dass bei Einmündungen mit Sichtweiten bis 200 m nach links grundsätzlich die mittleren Unfallkostenraten für die Kollektive 1 bis 3 auf dem relativ niedrigen Niveau des Kollektiv 1 liegen.

Häufig besteht ein Zusammenhang zwischen Sichtweiten und der Art der Einmündung (Einzeleinmündung einer untergeordneten Straße bzw. Einmündung einer Rampe innerhalb eines teilplangleichen Knotenpunktes).

Dies gilt insbesondere für Einmündungen von Rampen in eine oben liegende übergeordnete Straße, bei denen der Linksabbieger auf das Bauwerk zufährt. Dann liegt die Einmündung meist in einer Kuppe oder im Randbereich von Kuppen, zumindest beim Blick des Linksab- und Linkseinbiegers in Richtung des Überführungsbauwerks kommen häufig noch

Sichteinschränkungen aus Sicht des Einbiegers nach links hinzu, die durch die passive Schutzeinrichtung oder durch auf dem Tropfen angebrachte Verkehrszeichen verursacht werden (Bild 35).

Die Erkenntnisse aus den Sichtweiten spiegeln sich auch grundsätzlich in der Analyse des Zusammenhangs zwischen baulicher Grundform und dem Sicherheitsgrad wider. Dazu wurden die Einmündungen nach den Unterscheidungen eines dreiarmligen plangleichen Knotenpunktes (PG) sowie unten- bzw. obenliegenden Einmündungen von Rampen eines teilplangleichen Knotenpunktes

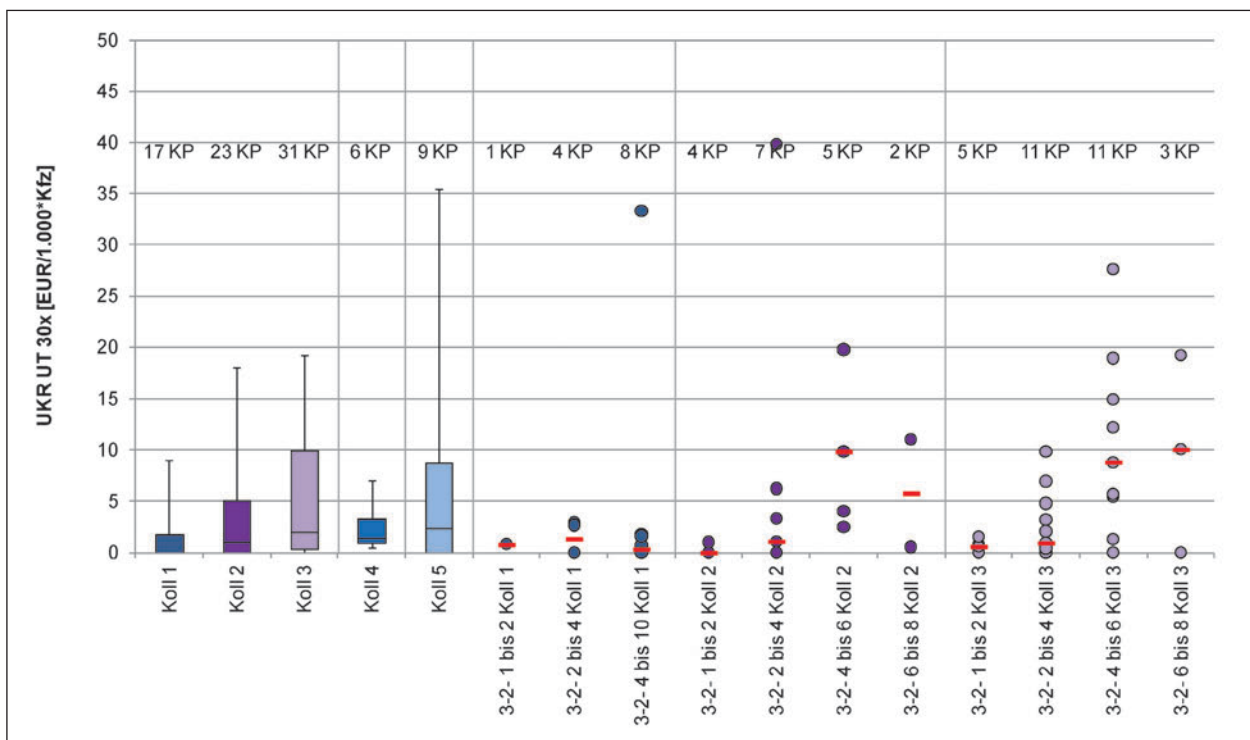


Bild 34: Unfallkostenraten für Unfalltypen 30x in Abhängigkeit von den Sichtweitenklassen (Blickrichtung 3-2) getrennt nach Kollektiven [1 Klasse = 50 m]



Bild 35: Beispiele für Sichteinschränkungen nach links (3-2) bei einem plangleichen Teilknotenpunkt von teilplangleichen Knotenpunkten)

(TPG u bzw. o) differenziert (siehe Bild 36). Weiterhin wurde durch die Ergänzung „LAB hin“ bzw. „LAB weg“ dokumentiert, ob an der Einmündung der Rampe der Linksabbiegestreifen zum Bauwerk hin oder vom Bauwerk weg führt. Die Kennung TPG o LAB hin steht daher für Einmündungen, bei denen sich der gegenüber Linksab- und -einbiegern bevorrechtigte Verkehr vom in der Regel in Kuppelunglage befindlichen Bauwerk her annähert.

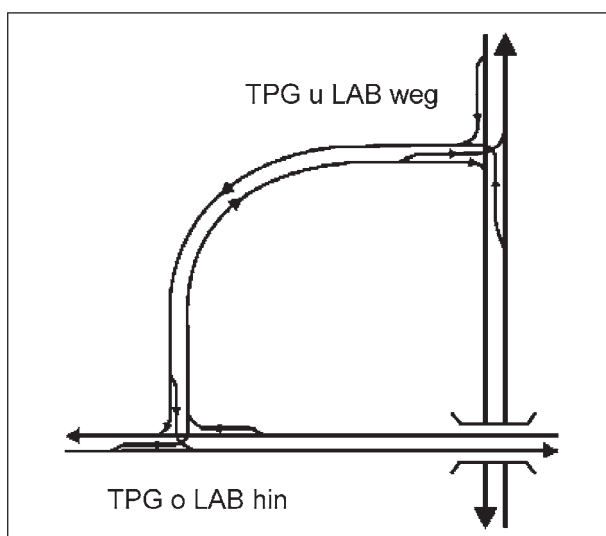


Bild 36: Beispiel für Benennung Teilknotenpunkte (Zeichnungs-basis: RAL (2012))

In Bild 37 ist erkennbar, dass die Unfallkostenraten mit Unfällen des Unfalltyps 2 an oberen Teilknotenpunkten mit auf das Bauwerk hinführendem Linksabbiegestreifen (TPG o LAB hin) deutlich höher sind als an den anderen (Teil-)Knotenpunkten, bei Unfällen des Unfalltyps 3 (Bild 38) ist es genau umgekehrt. Dabei weisen vor allem die oberen Teilknotenpunkte mit auf das Bauwerk hinführendem Linksabbiegestreifen (TPG o LAB hin) des Kollektivs 3 relativ zu den bei diesem Kollektiv ansonsten besonders hohen Unfallkostenraten auffällig niedrige Werte auf. Weitert man diese Analyse auf alle Unfälle aus bzw. überlagert die Erkenntnisse aus den beiden relevanten Unfalltypen, so wird deutlich, dass sich die differierenden Abhängigkeiten je nach Unfalltyp insgesamt ausgleichen. Zwar zeigen diese detaillierten Auswertungen aufschlussreiche – und angesichts der typischen Sichtweitenverhältnisse auch nachvollziehbare – Ergebnisse. Allerdings sind die Verkehrsverhältnisse bei den teilplangleichen Knotenpunkten so inhomogen, dass im Rahmen dieser Untersuchung keine allgemein belastbare Aussage über die Sicherheitsgrade getroffen werden kann.

Insgesamt ist zu den baulichen Grundformen anzumerken, dass sowohl im Kollektiv 2 als auch im Kollektiv 3 deutlich mehr oben- als untenliegende Teilknotenpunkte vorliegen, darüber hinaus führen

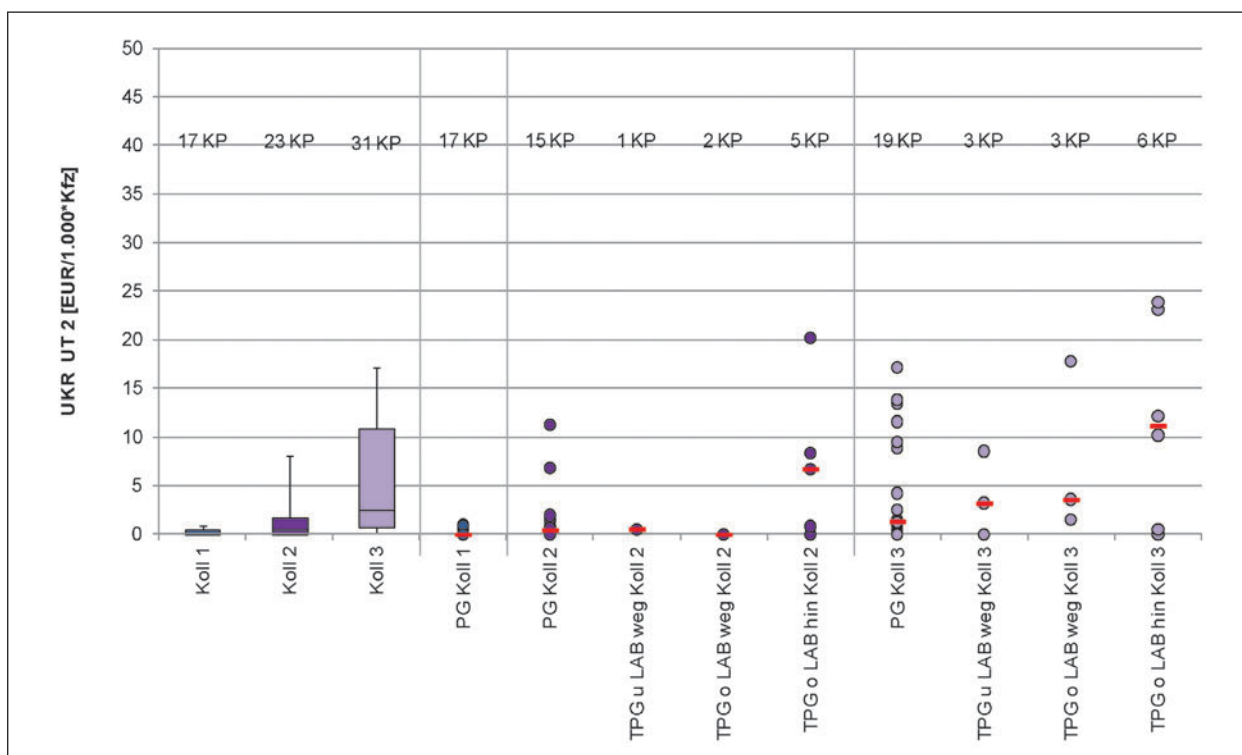


Bild 37: Unfallkostenraten für Unfalltyp 2 in Abhängigkeit von der Knotenpunktgrundform

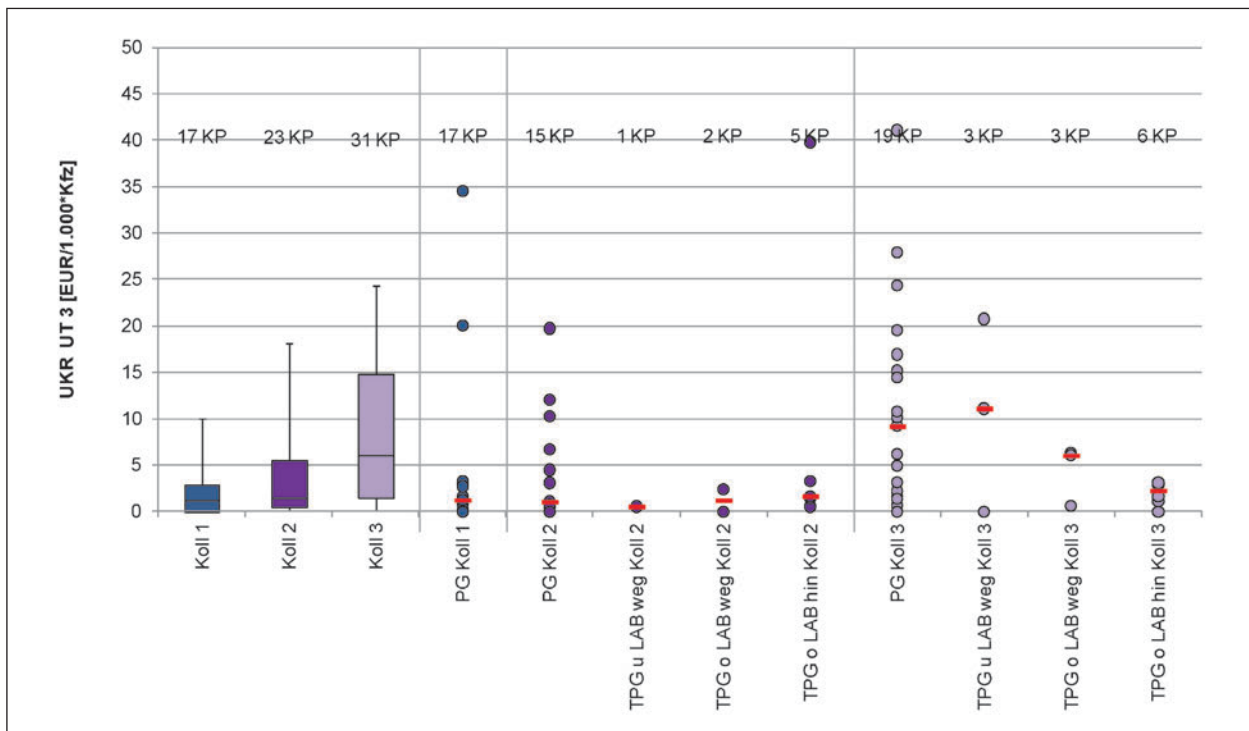


Bild 38: Unfallkostenraten für Unfalltyp 3 in Abhängigkeit von der Knotenpunktgrundform

an allen unten liegenden Einmündungen die Linksabbiegestreifen vom Bauwerk weg und beim Großteil der oberliegenden Einmündungen die Linksabbiegestreifen zum Bauwerk hin. Zumindest an einigen Straßen im Untersuchungsgebiet liegt das systematisch daran, dass im Zuge der übergeordneten – auf Geländehöhe belassenen – Straße im Gesamtknotenpunkt Knotenpunktelemente wie z. B. Rechtsabbiegestreifen vorliegen, die innerhalb dieser Untersuchung ausgeschlossen worden sind. Gestaltungen gemäß Kollektiv 1 sind innerhalb von teilplangleichen Knotenpunkten überhaupt nicht anzutreffen, was letztendlich angesichts der relevanten Regelwerksfestlegungen der Vergangenheit naheliegend ist.

4.5.4 Einfluss der Aufstellbreite auf das Unfallgeschehen

Die Aufstellbreite wurde an den 40 Knotenpunkten, die auch in die Fahrverhaltensanalyse eingehen, vor Ort erfasst. Die Breite des Aufstellbereiches wurde in einem Abstand von 6 m vom Rand der übergeordneten Fahrbahn gemessen. Die Aufstellbreite variiert je nach Kollektiv und Knotenpunkt zwischen ca. 3 bis 11 m. Nach Auswertung der Unfallkostenraten in Abhängigkeit von der Aufstellbreite der untergeordneten Straße, getrennt nach Kollektiven, kann keine Abhängigkeit des Unfallge-

schehens von der Aufstellbreite erkannt werden. Dies gilt sowohl für alle Unfälle als auch für einzelne Unfalltypen. Ob und in welchem Maße die Aufstellbreite und damit verbundene Sichtverdeckungen kritische Situationen hinsichtlich des Fahrverhaltens beim Einbiegen verursachen, wird mithilfe der Fahrverhaltensanalyse näher untersucht.

4.6 Zusammenfassung

Nach mikro- und makroskopischer Unfalluntersuchung lassen sich zur Verkehrssicherheit der untersuchten Knotenpunktelemente die folgenden Aussagen bezüglich der in Kapitel 3 aufgeführten Fragen treffen:

Anlage von Dreiecksinseln

Knotenpunkte ohne Dreiecksinsel (Kollektiv 1) weisen im Vergleich zu Knotenpunkten mit Dreiecksinsel (Kollektive 2 und 3) eine deutlich höhere Verkehrssicherheit auf. Dies wird beim Vergleich der Unfallkostenraten aller Unfalltypen deutlich. In der differenzierten Untersuchung der Unfallkostenraten der dreistelligen Unfalltypen zeigen sich vor allem bei den UT 211 (Unfälle beim Linksabbiegen mit Gegenverkehr) und UT 302 (Unfälle bei Linkseinbiegen mit Fahrzeug von links) Abhängigkeiten von der Anlage von Dreiecksinseln. Dabei weisen die Kolle-

tive 2 und 3 (mit Dreiecksinsel) deutlich höhere Unfallkostenraten auf als Kollektiv 1 (ohne Dreiecksinsel). Ausstattungsmerkmale wie Tropfen und Linksabbiegestreifen sind in diesen Kollektiven gleich.

Die Unfallkostenraten des Kollektivs 3 (Vorfahrt des Linksabbiegers nach der Dreiecksinsel) steigen in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung ab einem DTV von 8.000 Kfz/24h deutlich an.

Im Rahmen der Unfalluntersuchung zeigt sich auch, dass an den Einmündungen von Rampen teilplangleicher Knotenpunkte, die regelwerkskonform mit Dreiecksinsel ausgebildet werden, die Risiken für Linksabbiegeunfälle vor allem an den oben liegenden Rampenanschlüssen von teilplangleichen Knotenpunkten, bei denen der Linksabbieger auf das Kreuzungsbauwerk zufährt, besonders hoch sind. Demgegenüber weisen diese Einmündungen hinsichtlich Einbiegeunfällen durchweg niedrige Unfallkostenraten auf, obwohl gerade an diesen Einmündungen auch die Sichtverhältnisse für den Einbieger nach links besonders häufig durch Verkehrszeichen oder passive Schutzeinrichtungen beeinträchtigt sind.

Vorfahrtsregelung nach der Dreiecksinsel

Die unterschiedliche Vorfahrtsregelung nach der Dreiecksinsel bringt für den Konfliktbereich zwischen den Rechts- und Linksabbiegern hinter der Dreiecksinsel keinen erkennbaren Sicherheitsunterschied. Allerdings wirkt sich die Vorfahrt der Linksabbieger nach der Dreiecksinsel im Kollektiv 3 erkennbar negativ auf die Verkehrssicherheit der Linksabbieger aus, was sich aus den beim Kollektiv 3 im Vergleich zum Kollektiv 2 deutlich höheren Unfallkostenraten beim UT 211 (Unfälle beim Linksabbiegen mit dem Gegenverkehr) ableiten lässt.

Tropfen in der untergeordneten Zufahrt

Die vergleichenden Unfalluntersuchungen zeigen, dass Knotenpunkte mit Tropfen in der untergeordneten Zufahrt verkehrssicherer sind als Knotenpunkte ohne Tropfen (Kollektiv 1 gegenüber Kollektiv 4). Insofern werden die Festlegungen in den RAL, zur Verbesserung der Verkehrssicherheit nahezu grundsätzlich Tropfen vorzusehen, bestätigt.

Linksabbiegestreifen in der übergeordneten Zufahrt

In den mikroskopischen Unfalluntersuchungen zeigt sich bei verschiedenen Unfalltypen, dass die über-

geordnete Zufahrt mit Linksabbiegestreifen sicherer ist als die Zufahrt ohne Linksabbiegestreifen. Insofern werden die Festlegungen in den RAL, zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in den übergeordneten Zufahrten nahezu grundsätzlich Linksabbiegestreifen vorzusehen, bestätigt.

Breite des Aufstellbereichs für Einbieger

Aus den Unfalluntersuchungen lassen sich keine Zusammenhänge zwischen der Aufstellbreite und der Verkehrssicherheit ableiten.

Führung des Radverkehrs am Knotenpunkt

Radverkehrsunfälle ereignen sich häufig beim Einbiegen und beim Rechtsabbiegen von Kfz, wenn der Radverkehr parallel zur übergeordneten Straße fahrbahnnah und bevorrechtigt auf einer Furt geführt wird. Diese Konflikte betreffen sowohl den Radverkehr von rechts als auch von links.

5 Fahrverhaltensanalyse

5.1 Allgemeines

Ausgehend von den in Kapitel 3.4 formulierten Fragestellungen werden die Radar-/Video-Informationen der Messgeräte-Positionen in der übergeordneten Straße zur Beobachtung der Vorgänge im Zusammenhang mit dem Fahrstreifenwechsel und Verzögern der Linksabbieger sowie in der untergeordneten Straße zur Beobachtung der Abbiegevorgänge analysiert.

Dazu stehen je Knotenpunkt bis zu 700 Sequenzen zur Verfügung, die technisch bedingt Lücken in der Aufzeichnung aufweisen. Der Beginn einer Sequenz wird durch eine festgestellte Bewegung in Richtung auf das Messgerät hin ausgelöst, es sei denn, das Messgerät befindet sich noch in der Speicherphase der vorhergehenden Sequenz (ca. 10 Sekunden). Zwangsläufig stehen dabei in der untergeordneten Straße weniger Sequenzen zur Verfügung, da dort die Verkehrsbelastung in der Regel deutlich geringer ist als in der übergeordneten Straße.

Die Daten aus dem CAN-Bus des Radargerätes müssen zunächst in ein weiterverarbeitbares Datenformat gebracht werden. Anschließend wird jede Einzelfahrzeugzuordnung einem der zu erwartenden

Fahrwege zugeordnet. Da teilweise nicht der komplette Fahrweg innerhalb des Erfassungswinkels und -bereiches liegt, werden für diese Zuordnung nicht nur die Lagekoordinaten ausgewertet, sondern auch die für Abbiegevorgänge erforderlichen Geschwindigkeitsreduzierungen herangezogen. Innerhalb jeder Sequenz werden weiterhin die Einzelobjekte nach ihrem Auftreten an relevanten Punkten der Begegnung sortiert, sodass letztendlich Konstellationen bestimmter Fahrzeugfolgen herausgefiltert werden können. Insbesondere die Zuordnung zu bestimmten Fahrbeziehungen erfordert dabei bezüglich der Geräteeinstellungen knotenpunktspezifische Detailfestlegungen, da die vorliegenden Winkel zwischen den Knotenpunktzufahrten, die Lage und Länge der Aufweitung sowie die Positionierung der Messeinrichtungen an jedem Knotenpunkt mehr oder weniger unterschiedlich ausfällt. Schlussendlich wird für jedes zuordenbare Fahrzeug eine Trajektorie gebildet, die sowohl die Bewegung im Lageplan als auch Geschwindigkeitsinformationen umfasst. Dabei kann eine Analyse z. B. von Häufigkeiten bestimmter Konstellationen nur vorgenommen werden, wenn möglichst viele dieser Trajektorien ihren gesamten originären Fahrlinien zugeordnet sind, auch wenn es z. B. durch Verdeckungen durch andere Fahrzeuge zu Unterbrechungen der Aufzeichnung kommt.

Über die Analyse der Radar-Daten hinaus kann durch die Zuordnung detektierter Konstellationen beteiligter Fahrzeuge, z. B. mit bestimmten Zeitlücken zu den entsprechenden Bildsequenzen, die vermutete kritische Situation stichprobenartig bildlich überprüft werden, um Zuordnungsfehler mit entsprechenden fehlerhaften Folgerungen zu vermeiden.

Für die Beobachtung des Aufstell- und Einbiegeverhaltens stehen gemäß Kapitel 3.4 die Sequenzen aus reinen Video-Leitpfosten zur Verfügung, die gegenüber der untergeordneten Zufahrt platziert waren.

5.2 Fragestellung Aufstellen und Einbiegen

Für diese Fragestellung wurden die Videosequenzen der betrachteten 40 Einmündungen systematisch hinsichtlich der Aufstell- und Einbiegevorgänge analysiert. Für die Datenerhebung wurde das in Bild 13 dargestellte Protokoll verwendet. So konnte sowohl die Reihenfolge des Ankommens der einzel-

nen Fahrzeuge als auch des nachfolgenden Einbiegevorgangs systematisiert ausgewertet werden.

Hauptaspekt dieser Vorgehensweise ist die Auswertung der Sequenzen mit mehreren gleichzeitig anwesenden Fahrzeugen dahingehend, inwieweit die geometrische Gestaltung – insbesondere des Aufstellbereiches – einen Einfluss auf das Aufstellverhalten hat.

Differenziert nach Rechts- und Linkseinbiegern wird das Einbiegeverhalten bspw. hinsichtlich des Anteils der Durchfahrer beurteilt. Als Durchfahrer sind Fahrzeuge definiert, die nicht an der Halt- bzw. Wartelinie stehen bleiben, sondern – nach fahrgeometrisch und fahrdynamisch erforderlicher Verlangsamung – relativ zügig durchfahren. Als „Anhaltende“ werden nicht nur Fahrzeuge definiert, die vor dem Einbiegen an der Haltlinie stehen bleiben, sondern auch solche, die so stark abbremsen und sich so langsam an die Haltlinie vortasten, dass ihre Aufenthaltsdauer vor dem Einbiegen der eines tatsächlichen Stillstandes entspricht.

Die Betrachtung der Anteile der durchfahrenden bzw. der anhaltenden Fahrzeuge zeigt, dass die Durchfahrer bei den Rechtseinbiegern mit knapp 70 % deutlich überwiegen, bei den Linkseinbiegern mit einem ähnlichen Prozentsatz von knapp 70 % jedoch die meisten Fahrzeuge erst nach einem Anhaltvorgang einbiegen (Bild 39).

Bild 40 zeigt für alle analysierten Einbiegevorgänge die Anteile anhaltender bzw. durchfahrender Fahrzeuge in Abhängigkeit der an den jeweiligen Knotenpunkten anzutreffenden Verkehrsregelung gemäß VZ 206 bzw. VZ 205. Der Anteil der anhaltenden Fahrzeuge liegt bei Knotenpunkten mit VZ 206 nur knapp 10 % über dem Anteil der durchfahrenden Fahrzeuge, was deutlich zeigt, dass VZ 206 nicht hinreichend beachtet wird. Auch wenn diese Anteile wegen der sehr großen Basis insgesamt abgesichert sind, so sind dennoch große Unterschiede zwischen den einzelnen Knotenpunkten festzustellen. Vor allem bei hochbelasteten Einmündungen ist auch bei VZ 205 ein deutlich höherer Anteil an Anhaltenden festzustellen. Auch die Überlagerung der Verkehrsregelung mit den Unfallkostenraten der Einbiegerunfälle zeigt einen etwas höheren Sicherheitsgrad bei VZ 206, vor allem aber treten an diesen Einmündungen keine sehr hohen Unfallkostenraten auf. Die Gründe für die Anordnung von VZ 206 sind allerdings in den meisten Fällen nicht mehr nachvollziehbar, häufig wird es an (früheren) Unfallhäufungsstellen nachgerüstet.

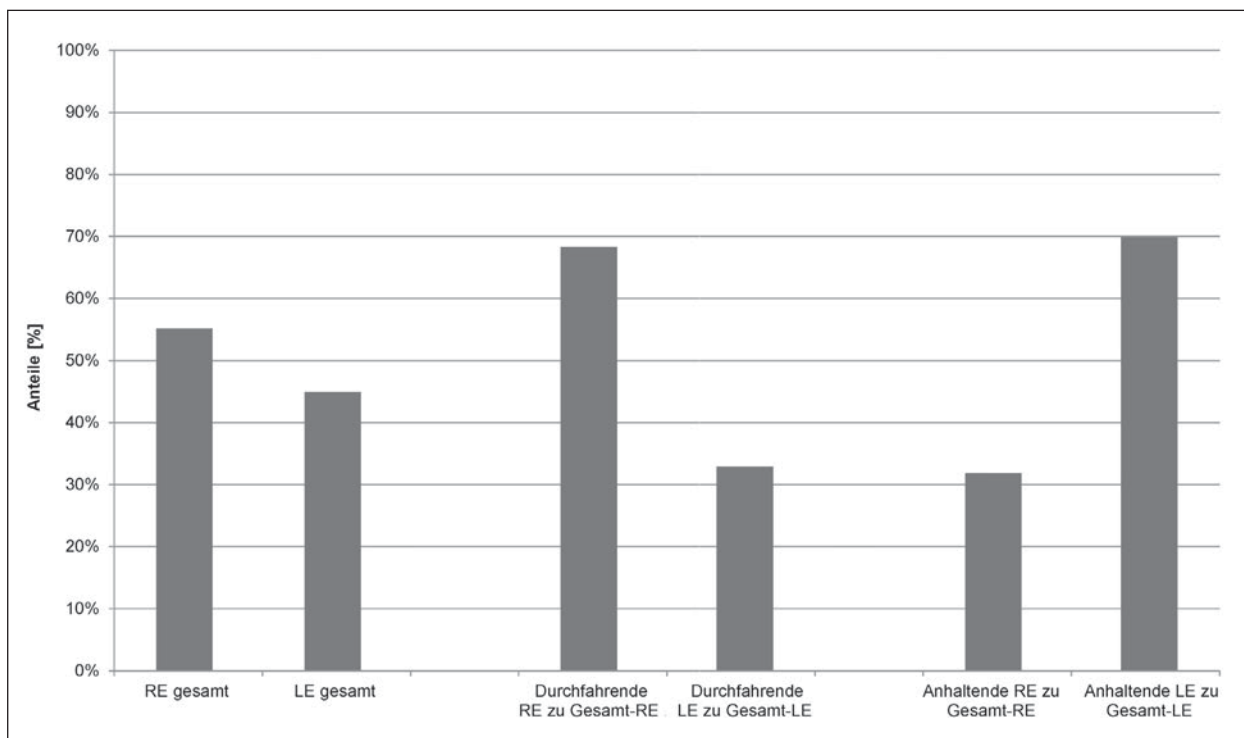


Bild 39: Anteile der durchfahrenden bzw. anhaltende Fahrzeuge, jeweils bezogen auf die Rechts- bzw. Linkseinbieger

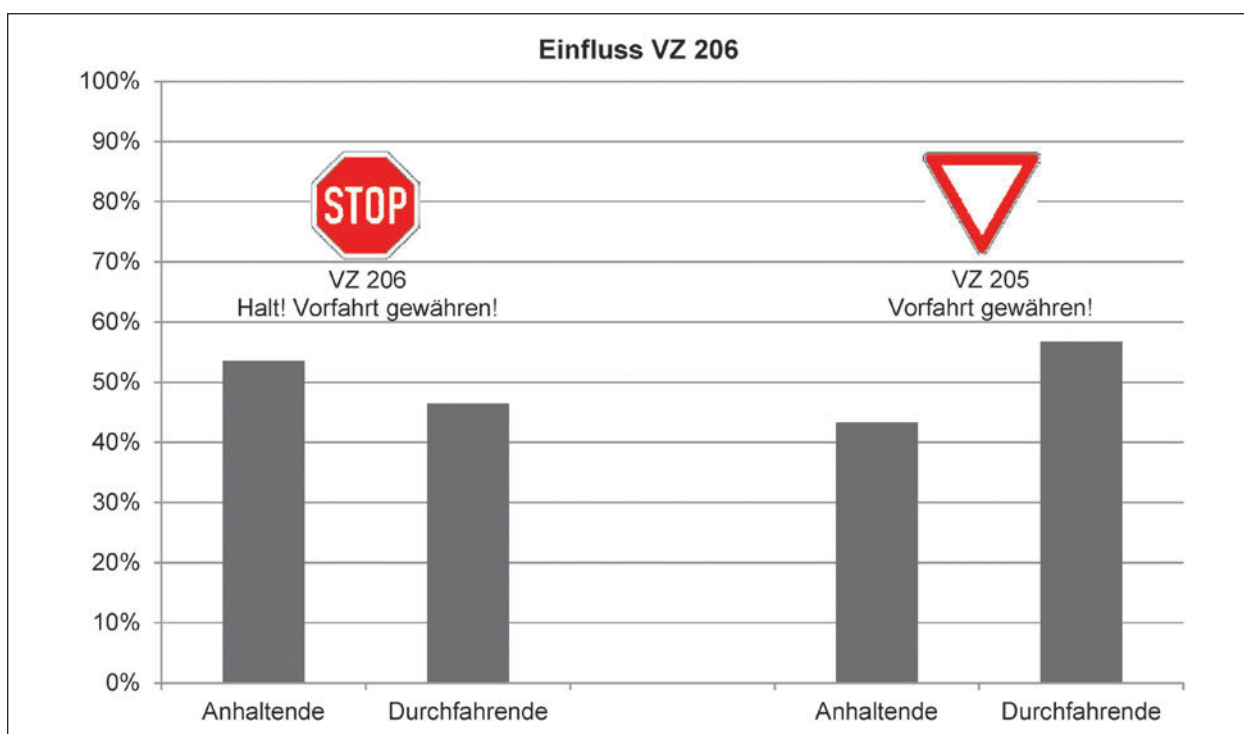


Bild 40: Anteile der anhaltenden bzw. durchfahrenden Einbieger nach Verkehrsregelung

Ein weiterer Aspekt bei der Auswertung der Einbieger ist die Beobachtung des Einbiegeverhaltens bei Pulkbildung in der untergeordneten Straße. Als Pulkssituation wird hier definiert, wenn sich mehrere dicht aufeinanderfolgende – anhaltende bzw. langsam durchfahrende – Fahrzeuge in der untergeord-

neten Straße hintereinander oder nebeneinander platzieren. Im Gegensatz dazu stehen Einzelfahrzeuge (bzw. Situationen mit Einzelfahrzeugen), die alleine am Knotenpunkt ankommen und mit oder ohne Halt weiterfahren.

Bild 41 gibt den Anteil von Einzelfahrzeugen und Fahrzeugen in Pultsituationen aller Knotenpunkte wieder. Bei 65 % aller einbiegenden Fahrzeuge handelt es sich um Einzelfahrzeuge, die unbehindert von anderen Fahrzeugen in die übergeordnete Straße einbiegen können. In 35 % aller Fälle handelt es sich um Fahrzeuge, die mindestens mit einem weiteren Fahrzeug am Knotenpunkt ankommen. Bei insgesamt 9 % aller ankommenden Fahrzeuge kommt es zu einer Situation, bei der sich 2 Fahrzeuge nebeneinander platzieren (Rechts- und Linkseinbieger).

Die Analyse der Auswirkungen der baulichen Gestaltung der Aufstellbereiche auf das Aufstellverhalten ist mit gewissen Unsicherheiten behaftet, da für Einmündungen mit einer entsprechenden Breite des Aufstellbereichs zwar tatsächliche Nutzungen dieses Angebotes für eine parallele Aufstellung erhoben werden können. Ob nicht erfolgte Aufstellungen nebeneinander auf die subjektiv beurteilte geringe Breite zurückzuführen sind oder darauf, dass z. B. Pulks vor allem aus Einbiegewilligen mit dem gleichen Fahrtziel bestehen, kann nur schwer erhoben werden. Da die (unterschiedlichen) Einbiegeziele mit angemessenem Aufwand nur für die Pultsituationen analysiert werden konnten, bei denen Fahrzeuge nebeneinander stehen, muss für die gegenüberzustellende Gesamtzahl an Pulks mit verschiedenen Zielen eine Abschätzung getroffen werden. Aus den Verhältnissen der Rechts- und Linkseinbieger sowie der Gesamtzahl an Pulks je Knotenpunkt wird eine Hochrechnung der Pulks aus Fahrzeugen mit unterschiedlichen Einbiegezielen sowie der daran beteiligten Fahrzeuge vorgenommen. Diese Anzahl an Pultfahrzeugen wird aus der Gesamtzahl an Pultfahrzeugen und Multiplikation mit dem geringeren der beiden erhobenen Einbiegeranteile berechnet. So wird dem Umstand Rechnung getragen, dass bei sehr einseitigem Verhältnis zwischen Links- und Rechtseinbiegern die Wahrscheinlichkeit für zwei ankommende Fahrzeuge mit verschiedenen Einbiegezielen erheblich geringer ist als bei einem ausgewogenen Verhältnis.

Unterschieden nach drei Klassen an Aufstellbreiten ist in Bild 42 dargestellt, welche Anteile nebeneinander stehender Fahrzeuge an allen Pultfahrzeugen in Abhängigkeit von der Anzahl wie beschrieben gewichteter Pultfahrzeuge auftreten, für die überhaupt ein Aufstellen nebeneinander in Frage kommt. Wie angedeutet ist ein geringer Anteil an nebeneinander stehenden Fahrzeugen noch kein Indiz für zu geringe Aufstellbreiten. Der Einfluss der

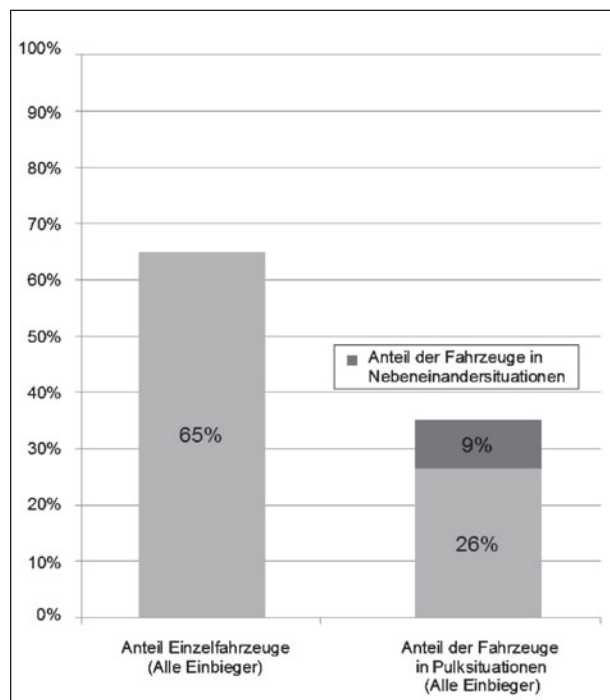


Bild 41: Anteil von Einzelfahrzeugen und Fahrzeugen in Pultsituationen

Aufstellbreite auf das Aufstellverhalten ist im Umkehrschluss erkennbar: Je breiter der Aufstellbereich ist, desto höher ist der maximale Anteil nebeneinander stehender Fahrzeuge bei einer bestimmten Nachfrage.

So werden größere Anteile sich nebeneinander aufstellender Fahrzeuge bei Aufstellbreiten bis 5 Meter erst ab einer entsprechenden Nachfrage von 100 Fahrzeugen registriert. Daraus wird erkennbar, dass bei diesen relativ schmalen Verhältnissen weitgehend erkannt wird, dass diese Breiten in aller Regel nur für das Aufstellen eines Fahrzeuges vorgesehen und geeignet sind. Bei Aufstellbreiten bis 6 Meter treten bei vergleichbaren Pultfahrzeuganzahlen bereits deutlich höhere Anteile nebeneinander stehender Fahrzeuge auf, auch ist bereits bei geringer Nachfrage überhaupt mit dem Aufstellen nebeneinander zu rechnen (Anteile bei Knotenpunkten mit weniger als 20 Pultfahrzeugen werden nicht berücksichtigt). Deutlich mehr als die Hälfte an Aufstellungen nebeneinander werden nur bei Aufstellbreiten von mehr als 6 m registriert.

Aus dieser Analyse wird erkennbar, dass nur bei Aufstellbreiten bis 5 m relativ wirksam das Nebeneinanderaufstellen von Fahrzeugen verhindert werden kann. Gleichwohl zeigt auch die Unfallanalyse, dass breite Aufstellbereiche keine systematisch höheren Unfallkostenraten mit sich bringen. Die

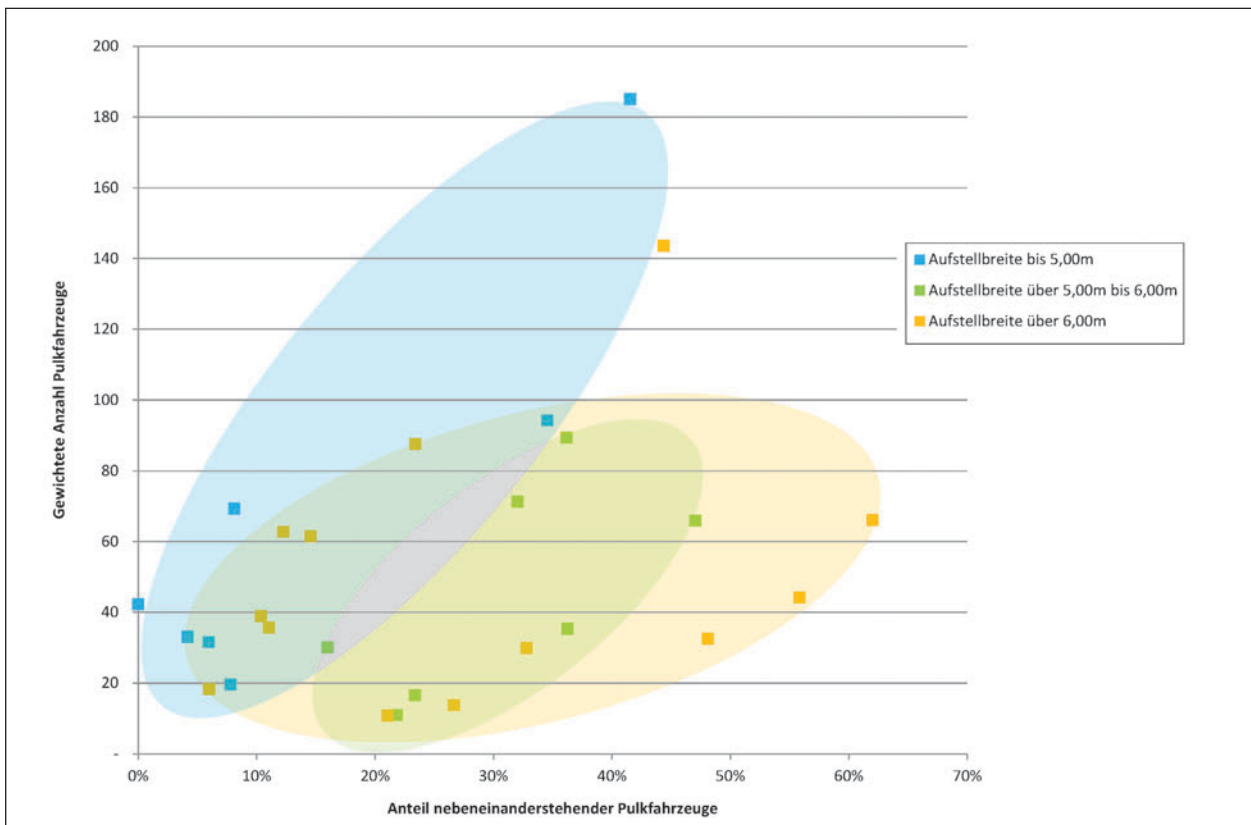


Bild 42: Einfluss der Aufstellbreite auf den Anteil nebeneinanderstehender Fahrzeuge

sich aus den Schleppkurven ergebenden relativ großen erforderlichen Einbiegeradien führen in aller Regel ohnehin zu Aufstellbreiten an der in dieser Untersuchung repräsentativen Stelle (6 m abgerückt vom Fahrbahnrand), die 5 m überschreiten.

5.3 Detailfragestellung Linksabbiegen bei geringen Zeitlücken zum Gegenverkehr

Ursprünglich war in diesem Vorhaben keine gesonderte Betrachtung der Fahrzeugfolge zwischen Linksabbieger und entgegenkommendem Geradeausverkehr und der dabei von Linksabbiegern angenommenen Zeitlücken vorgesehen, da diesen hinsichtlich der Fragestellungen (Rechtsabbiegen ohne oder mit Dreiecksinsel und Vorfahrtsregelung nach der Dreiecksinsel) keine besondere Bedeutung beigemessen wurde. Aufgrund der sich aus der Unfalluntersuchung ergebenden deutlichen Unterschiede in der Unfallauffälligkeit zwischen Linksabbiegern und entgegenkommendem Durchfahrer (UT 211) zwischen den Ausbildungen ohne (Kollektiv 1) und mit Dreiecksinsel (Kollektive 2 und 3) wurde unter Nutzung der unter anderen Gesichtspunkten optimierten Standorte der Messeinrichtungen

eine Ergänzung des Auswertetools um diese Fragestellung vorgenommen. Neben der Untersuchung des Fahrverhaltens hinsichtlich des Vorhandenseins von Dreiecksinseln allgemein stand die Unterscheidung der beiden Vorfahrtsregelungen nach der Dreiecksinsel im Vordergrund, da sich die Knotenpunkte mit Bevorrechtigung des Linksabbiegers gegenüber dem Rechtsabbieger nach der Dreiecksinsel im Unfallgeschehen noch ungünstiger zeigten als die mit Vorfahrt der Rechtsabbieger.

Dabei zeigte sich, dass die Messeinrichtung der Position 2 für eine solche Analyse der Konstellation Linksabbieger – entgegenkommender Durchfahrer hinreichend geeignet war. Lediglich eine Einbeziehung auch der Rechtsabbieger ist wegen des begrenzten Öffnungswinkels nicht möglich.

Beispielhaft sind in Bild 43 und Bild 44 Diagramme zu den zwei grundsätzlich unterschiedlichen Konstellationen zwischen Linksabbiegern und Entgegenkommenden dargestellt: Bei Konstellation 1 biegt der Linksabbieger mit relativ geringer Zeitlücke vor dem entgegenkommenden Fahrzeug ab. Zu erkennen ist diese Fahrzeugreihenfolge daran, dass auf der rechten Diagrammhälfte von Bild 43 bei dem Längsabstand, an dem sich die Trajektorien des Linksabbiegers (blau) und des Entgegen-

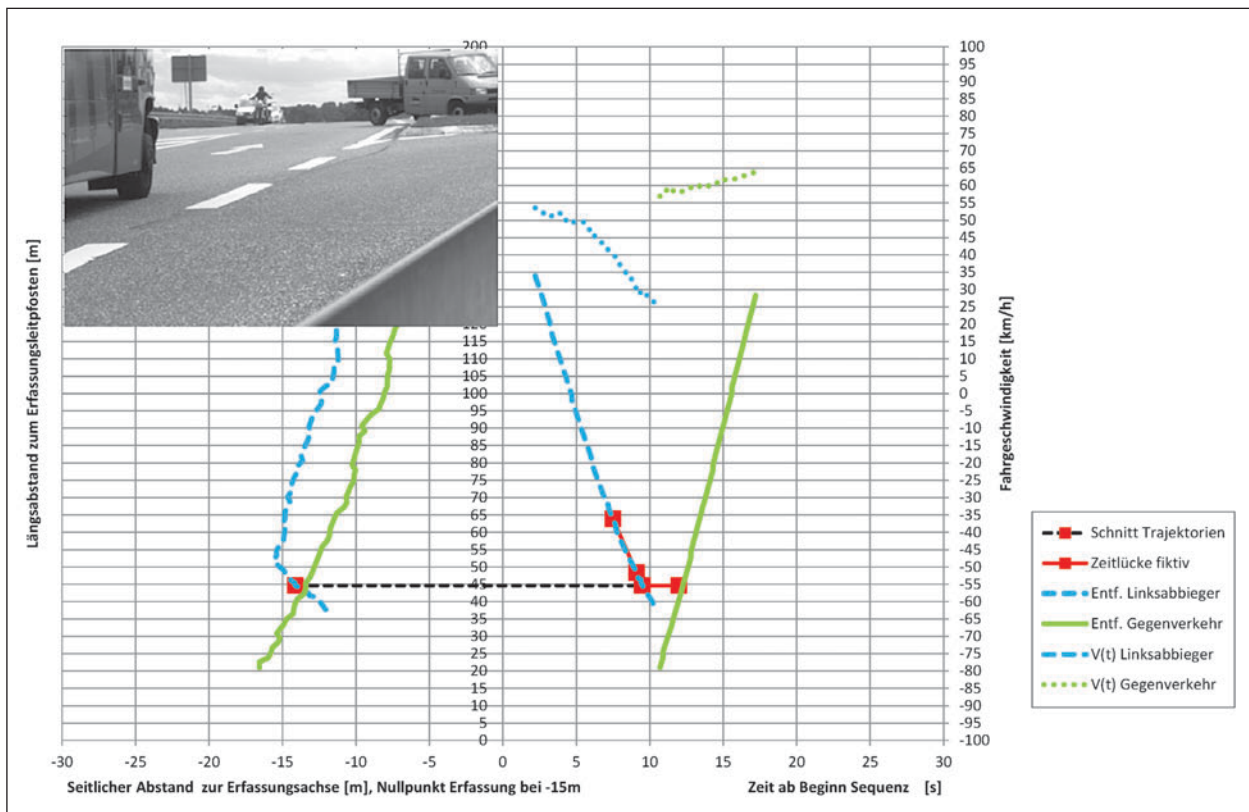


Bild 43: Fahrplandiagramm der übergeordneten Straße; Darstellung der Längs-/Querabstände zum Erfassungspunkt (links), Längsabstands-/Zeit bzw. Geschwindigkeits-/Zeit-Diagramm (rechts), Foto des zugehörigen Abbiegevorgangs 1 Sekunde vor Erreichen des Trajektorien-Schnittpunktes durch Gegenverkehr (Bsp. 1)

kommenden (grün) auf der linken Diagrammhälfte kreuzen, das blau dargestellte Fahrzeug vor dem grün dargestellten Fahrzeug fährt. Die dabei auftretende Zeitlücke ist durch eine mit roten Quadraten begrenzte horizontale Linie gekennzeichnet. Bild 44 zeigt demgegenüber Konstellation 2, in der der Linksabbieger ähnlich lange vor dem Gegenverkehr in den Knotenpunkt einfährt (steiler Verlauf der blauen Linie im rechten Diagrammteil), jedoch abbremsst und den Gegenverkehr passieren lässt, bevor er selbst abbiegt. Um beide Fälle miteinander vergleichen zu können, wurde jeweils ein fiktiver Zeitpunkt für die Einfahrt in den potenziellen Konfliktbereich berechnet, der auf der Fortschreibung der Weg-Zeit-Linie zwischen 40 und 30 km/h beruht. In beiden Fällen beträgt diese fiktive Zeitlücke 2,5 Sekunden.

Das Ziel der Betrachtung der ersten, in Bild 43 dargestellten Konstellation ist die Analyse der Zeitlücken beim Linksabbiegen vor dem Gegenverkehr. Der Vergleich der beiden grundsätzlich unterschiedlichen Konstellationen zwischen Linksabbiegern und Entgegenkommenden soll zudem die Frage klären, ob bei vergleichbaren Ankunftssituationen der Linksabbieger bei unterschiedlichen Knoten-

punktgestaltungen systematische Unterschiede im Abbiegeverhalten festgestellt werden können.

Die Beispiele in Bild 43 und Bild 44 zeigen, dass bei der Analyse potenziell kritischer Linksabbiegevorgänge vor allem die Zeitlücken der beteiligten Fahrzeuge erfasst werden müssen. Die ebenfalls vorliegenden Geschwindigkeiten der Abbieger sind relativ konstant. Qualitative Unterschiede zeigen sich aber z. B. im ersten Beispiel mit einer relativ hohen Abbiegegeschwindigkeit am potenziellen Konfliktpunkt von ca. 30 km/h, im zweiten Beispiel werden sie vor allem für die Berechnung der fiktiven Zeitlücken benötigt und verdeutlichen die Verzögerung des Linksabbiegers bis auf ca. 7 km/h, bevor zur Beendigung des Abbiegevorgangs die Geschwindigkeit wieder erhöht wird.

In Bild 45 ist die statistische Verteilung der tatsächlichen Zeitlücken zwischen Linksabbiegern und nachfolgenden entgegenkommenden Geradeausfahrern (vgl. Konstellation 1, Bild 43) in einem Box-Whisker-Diagramm dargestellt (Box 25. bzw. 75. Perzentil, Whisker 5. bzw. 95. Perzentil). Dabei ist zu berücksichtigen, dass in diese Betrachtung nur Konstellationen einfließen, bei denen in einer Aufzeich-

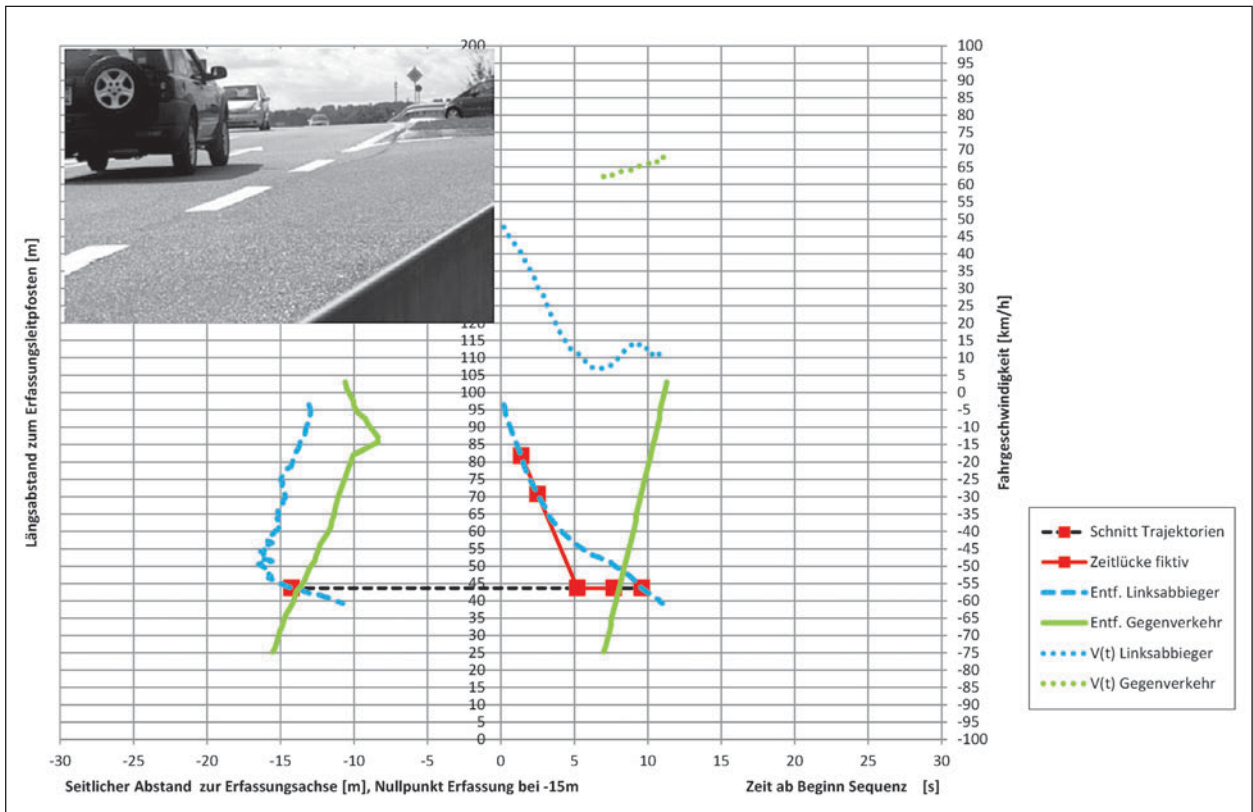


Bild 44: Fahrplandiagramm der übergeordneten Straße; Darstellung der Längs-/Querabstände zum Erfassungspunkt (links), Längsabstands-/Zeit bzw. Geschwindigkeits-/Zeit-Diagramm (rechts), Foto des zugehörigen Abbiegevorgangs 1 Sekunde vor Erreichen des Trajektorien-Schnittpunktes durch Gegenverkehr (Bsp. 2)

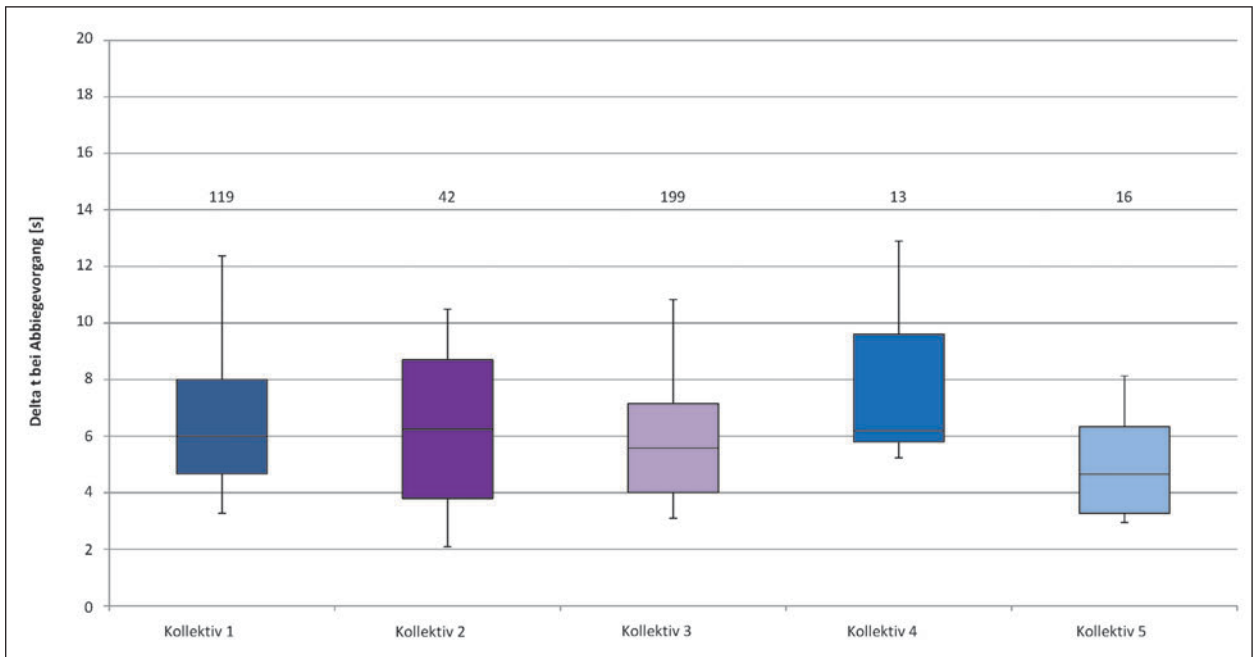


Bild 45: Zeitlücken zwischen Linksabbiegern und entgegenkommenden Geradeausfahrern je Knotenpunktkollektiv

nungssequenz zuerst ein Linksabbieger (oder ein aus gleicher Richtung kommender Durchfahrer, da auch durch diesen das Aufzeichnungsgerät ausgelöst wird) detektiert wurde und erst anschließend ein

Fahrzeug aus der entgegenkommenden Richtung. Weitaus häufiger tritt jedoch die in Bild 44 beispielhaft dargestellte umgekehrte Fahrzeugfolge auf – Geradeausfahrer mit nachfolgendem Linksabbieger

(Konstellation 2). Eine Zeitlückenbetrachtung dieser Konstellation ist allerdings für die Beurteilung der Risiken beim Linksabbiegen ebenso wenig relevant wie auch bei der häufig zu beobachtenden Konstellation, bei der kein Gegenverkehr in einem zeitlich relevanten Abstand zum Linksabbieger auftritt. Konstellation 2 wird daher lediglich als Vergleichsfall bei Ankunft des Linksabbiegers vor dem Entgegenkommenden herangezogen.

Da zum einen die Zeitlücken nach oben hin aufgrund der verwendeten Erfassungstechnik gedeckelt sind, zum anderen aber vor allem die geringsten Zeitlücken für die Sicherheitsbetrachtung von Bedeutung sind, ist die mittlere Zeitlücke ohnehin nicht das maßgeblichste Kriterium. Aussagekräftiger sind u. a. die Untergrenzen der in Bild 45 dargestellten „Boxen“, die zeigen, dass bei Kollektiv 1 das 25. Perzentil der Zeitlücken ca. 1 Sekunde länger ist als bei den Kollektiven mit Dreiecksinsel. Auch wenn die statistischen Verteilungen nur geringe Unterschiede der Zeitlücken in den Kollektiven 1 bis 3 ausweisen, so zeigt die Betrachtung der absoluten Fallzahlen, dass Zeitlücken kleiner als 4 Sekunden bei den Kollektiven 1 und 2 mit 14 bzw. 12 Fahrzeugfolgen deutlich seltener auftreten als bei Kollektiv 3 mit 46 Fahrzeugfolgen.

In Tabelle 3 sind die Anteile der Linksabbieger von allen unmittelbar nach Ankunft oder nach Passage des Gegenverkehrs detektierten Linksabbiegern aufgelistet, die bei gleicher fiktiver Zeitlücke – d. h. ausgehend von der Annäherung an die Wartelinie mit 40 bis 30 km/h – vor dem sich nähernden Gegenverkehr abbiegen. Diese Anteile zeigen auch an dieser Stelle Indizien für ein zurückhaltenderes Abbiegeverhalten – vor allem an Einmündungen des Kollektivs 1. Abbiegevorgänge mit fiktiven Zeitlücken von weniger als 3 Sekunden treten dort überhaupt nicht auf. Demgegenüber treten diese Fälle bei beiden Kollektiven mit Dreiecksinseln auf. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei Kollektiv 2 nahezu keine Fahrzeugfolgen der Konstellation 2

detektiert wurden, sodass der Vergleich von Abbiegevorgängen vor (Konstellation 1) und nach (Konstellation 2) dem entgegenkommenden Geradeausfahrer bei Kollektiv 2 nicht möglich ist.¹

In diesem Zusammenhang ist auch anzumerken, dass die Unfallkenngrößen für die Einmündungen des Kollektivs 2 aus den ca. 40 Knotenpunkte der Fahrverhaltensbetrachtungen deutlich andere Werte aufweisen als die Unfallkenngrößen aller untersuchten 100 Knotenpunkte, gleichzeitig sind die mittleren Verkehrsstärken bei allerdings großen Streuungen deutlich geringer. Während die mittleren DTV-Werte (Bild 46 links) für das Kollektiv 2 nur etwa halb so hoch sind wie für Kollektiv 3, liegen die Unfallkostenraten (Bild 46 rechts) über denen des Kollektivs 3. Für die Kollektive 1 und 3 sind die statistischen Verteilungen im 40er-Kollektiv sehr ähnlich wie im 100er-Kollektiv (siehe Bild 20 bzw. Bild 23). Da die Auswahl der Knotenpunkte für die Fahrverhaltensuntersuchungen vor der Vertiefung der Untersuchung hinsichtlich der Linksabbiegethematik erfolgte, stand für die Auswahl dieser Knotenpunkte vor allem im Vordergrund, Knotenpunkte mit unterschiedlichen Unfallanzahlen zu betrachten.

Insgesamt zeigen sich aus der Fahrverhaltensbetrachtung Unterschiede im Abbiegeverhalten vor allem zwischen dem Kollektiv 1 einerseits und den Kollektiven 2 und 3 mit Dreiecksinsel ander-

¹ Bei einigen der Einmündungen in diesem Kollektiv liegt der Grund darin, dass für die relativ seltenen Linksabbieger verkehrsbedingt häufig große Wartezeiten auftreten, so dass bis zum Ende der Sequenz kein vollendeter Linksabbiegevorgang ausgeführt wird. Daher liegen Abbiegevorgänge mit geringen fiktiven Zeitlücken fast ausschließlich bei Abbiegen vor dem Gegenverkehr vor, es liegen allerdings keine Indizien vor, die für ein solches von Kollektiv 3 abweichendes Verhalten ausgerechnet bei Kollektiv 2 sprechen. Insgesamt zeigen alle Werte an, dass – abgesehen von der Anzahl der Vorgänge – die statistischen Größen der Abbiegevorgänge bei Kollektiv 2 und 3 sehr ähnlich sind.

Koll.	Anzahl Fahrzeugfolgen			Anteil Fahrzeugfolge Linksabbieger-Gegenverkehr bei Zeitlücke kleiner... [%]						
	L-Abb – G	G – L-Abb	Summe	2,0 s	2,5 s	3,0 s	3,5 s	4,0 s	4,5 s	5,0 s
1	119	51	170	0	0	0	5	16	25	33
2	42	6	48							
3	199	94	293	0	1	5	10	25	34	42
4	13	13	26	0	0	0	0	0	0	0
5	16	12	28	0	0	0	23	29	41	42

Tab. 3: Anteile der Linksabbieger (L-Abb) vor dem Gegenverkehr (G) in Anhängigkeit von der detektierten fiktiven Zeitlücke

rerseits, die eine Erklärung für den beschriebenen deutlich günstigeren Sicherheitsgrad von Einmündungen ohne Dreiecksinsel sein können. Eine Erklärung des ebenfalls unterschiedlichen Sicherheitsgrades bei unterschiedlichen Vorfahrtregelungen nach der Dreiecksinsel im Gesamtumfang der Knotenpunkte kann auf der Basis des vorliegenden Datenumfangs nicht gegeben werden.

Die deutlich höheren Unfallkostenraten des UT 211 beim Kollektiv 3 gegenüber dem Kollektiv 2 im 100er-kollektiv ist demnach nicht durch eine unterschiedliche Zeitlückenverteilung zu erklären. Erklärungen aus dem Fahrverhalten lassen sich vermutlich nur mittels einer vollständigen Analyse aller Fahrbeziehungen – insbesondere auch unter Einbeziehung der Rechtsabbieger – treffen.

Die Analyse der Abbiegegeschwindigkeiten zeigt weiterhin, dass diese – insbesondere bei den oberen Perzentilen – bei Kollektiv 2 einige km/h höher liegen als bei den Kollektiven 1 und 3 (Bild 47).

Trotz der in aller Regel insgesamt weniger großzügigen Gestaltung bei den Kollektiven ohne Tropfen (4 und 5) liegen die Abbiegegeschwindigkeiten dort etwas höher als bei den Kollektiven mit Tropfen. Auch wenn insbesondere bei Kollektiv 5 nur sehr wenige Fahrten zugrunde liegen, so ist anzumerken, dass die hier dokumentierten relativ hohen Abbiegegeschwindigkeiten auch bei Abbiegevorgängen ohne Gegenverkehr zu erkennen sind. Dies ist zumindest nach Ansicht der entsprechenden Videos möglicherweise eine Folge der Tatsache, dass der fehlende Tropfen häufig zu einem großzügigeren Abbiegeradius verleitet.

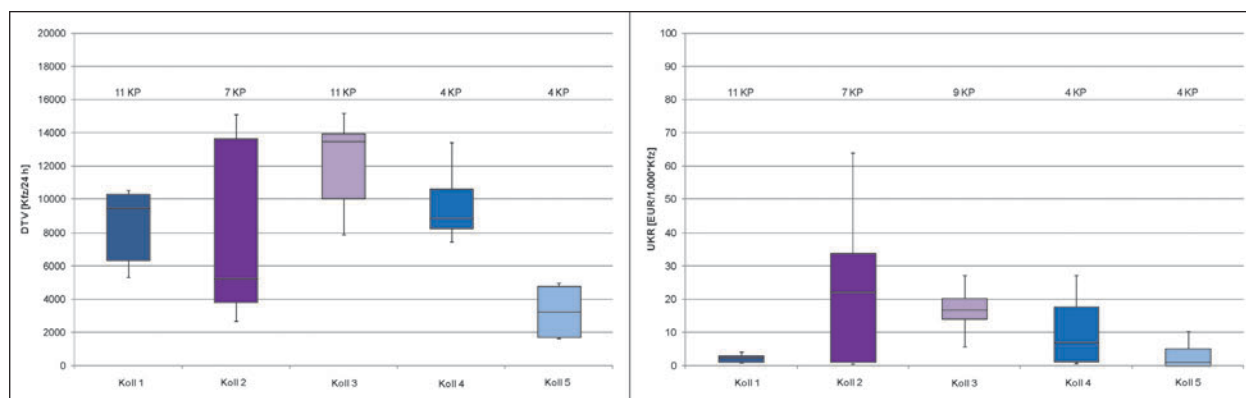


Bild 46: Statistische Verteilung der Verkehrsstärken (DTV) [Kfz/24h] (links) und Unfallkostenraten (rechts) je 40er-Kollektiv

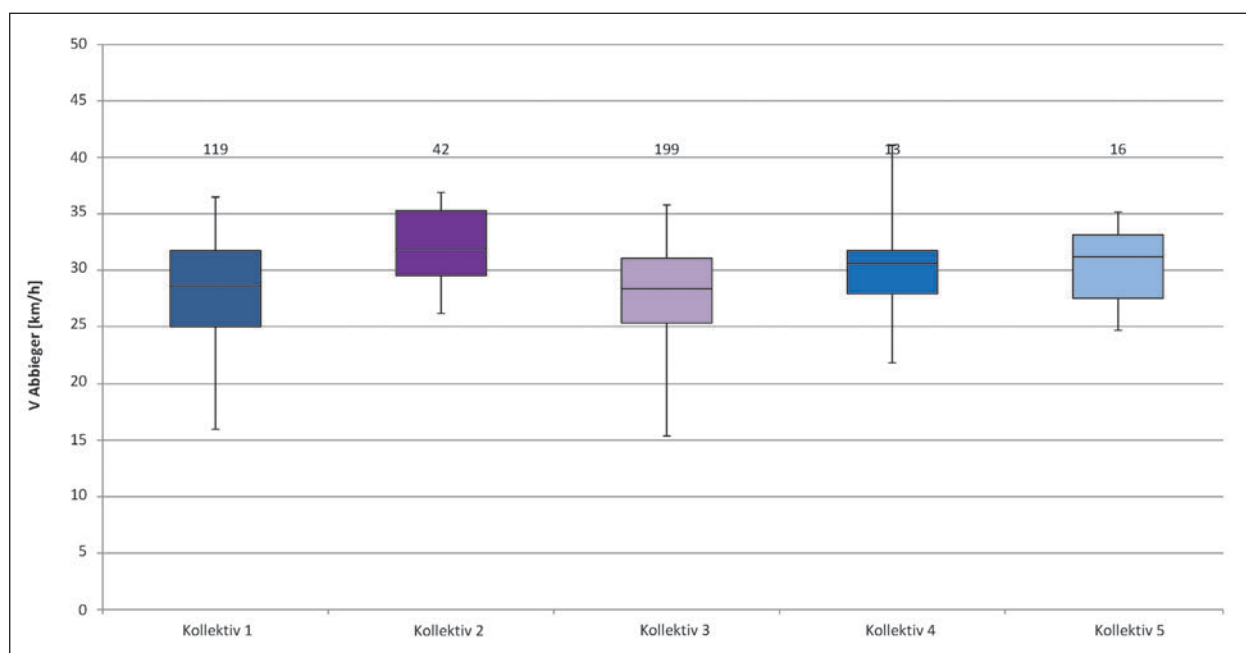


Bild 47: Abbiegegeschwindigkeiten des Linksabbiegers bei der Fahrzeugfolge Linksabbieger – entgegenkommender Geradeausfahrer je Knotenpunktkollektiv

5.4 Detailfragestellung Ab- und Einbiegeverhalten und Verzögerung von Durchfahrern

5.4.1 Mögliche Behinderungen von Durchfahrern durch Verzögerungen von Linksabbiegern

Generell ist in der Fachwelt unbestritten, dass Linksabbiegestreifen positive Einflüsse auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf haben. Unklar ist aber dabei, wie sich unterschiedliche Längen auswirken. Die Untersuchung zum Verkehrsablauf zielte deshalb darauf ab, für verschiedenen lange Linksabbiegestreifen Unterschiede in den Geschwindigkeiten der Durchfahrer zu erkennen, die sich in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit verzögernder Linksabbieger und der Zeitlücke zwischen Linksabbieger und Durchfahrer ergeben.

Durch die Reichweite der Messgeräte von bis zu 200 m und die Aufstellung des Messgerätes maximal 50 m nach dem Knotenpunkt ist in aller Regel eine Erfassung der Fahrvorgänge bereits am Beginn des Linksabbiegestreifens möglich. Die in einem Intervall von ca. 0,1 s aufgezeichneten Datensätze der Einzelfahrzeuge beinhalten jeweils die Entfernung vom Messgerät in Längsrichtung, den Abstand der Fahrzeugposition zur Achse des Messgerätes sowie die Geschwindigkeit des Fahrzeugs. Die Ungenauigkeit der Daten ist umso größer, je weiter das Fahrzeug entfernt ist, da nicht unbedingt durchgängig der gleiche Fahrzeugpunkt vom Radar erfasst wird. Daher ist z. B. die exakte Ermittlung des Ausscherpunktes nur bedingt möglich, allerdings lässt sich aus der Linie der benachbarten Punkte diese Stelle hinreichend genau abschätzen. Die wichtigen Informationen zur Geschwindigkeit des sich mit Verzögerungen annähernden Linksabbiegers und der Geschwindigkeit des nachfolgenden Geradeausfahrers, sind allerdings verfügbar, da die Messung der Längsentfernung und damit der Geschwindigkeit der Einzelfahrzeuge von der Position der Radarerfassung kaum beeinflusst wird. Da für die beiden jeweils beteiligten Fahrzeuge fortlaufend Geschwindigkeiten, Verzögerungen und (Brutto-)Abstände vorliegen, können für den potenziell kritischen Bereich Werte für die Geschwindigkeitsauswirkungen allgemein bzw. die jeweiligen Zeitlücken ermittelt werden.

Für die prinzipiell über eine sehr große Entfernung detektierbaren Trajektorienpunkte ergibt sich aus der Detailanalyse eine Einschränkung: Je nach Größe des abbiegenden Fahrzeuges kann es über

eine mehr oder weniger lange Strecke dazu kommen, dass die hintereinander her fahrenden Fahrzeuge nicht als getrennte Objekte erkannt werden, sondern nur das Radarsignal des vorausfahrenden Linksabbiegers aufgezeichnet wird. Daher liegt nicht in jedem Fall für beide Fahrzeuge eine durchgängige Information im weiteren Knotenpunktbereich vor, sondern zum Teil erst ab der Stelle, an der das vorausfahrende Fahrzeug auf den Linksabbiegestreifen wechselt. Für diesen Fall liegt nicht direkt eine Information über die Zeitlücke bei der Annäherung an den Knotenpunkt vor, sondern erst im engeren Knotenpunktbereich. In diesen Fällen wird aus den aufgezeichneten Geschwindigkeits- und Verzögerungsverläufen die Situation am Beginn des Linksabbiegestreifens rückgerechnet.

In Bild 48 sind beispielhaft für einen Knotenpunkt die Geschwindigkeitsverläufe von Durchfahrern und Linksabbiegern dargestellt, deren farbliche Zuordnung aus der Zeitlücke zum Zeitpunkt der räumlichen Trennung der Fahrlinien bestimmt wird. Zumindest bei geringen Zeitlücken gehören zwangsläufig zwei gleichfarbige Linien zu einem Vorgang, von denen der höherliegende Verlauf dem Durchfahrer zuzuordnen ist. Tatsächlich zusammengehörige, sich kreuzende Linien zeigen besonders unkritische Konstellationen an, bei denen der nachfolgende Durchfahrer langsamer auf den Knotenpunkt zufährt als der Abbieger.

Beispielhaft ist darin erkennbar, dass die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Abbiegern und Durchfahrern vor dem Knotenpunkt relativ gering sind, insbesondere treten auch bei großen Zeitlücken zum vorausfahrenden Abbieger häufig relativ geringe Geschwindigkeiten der Durchfahrer auf. Insoweit werden die Erkenntnisse von SCHNÜLL/HALLER (1981) bestätigt. Es ist erkennbar, dass die große Mehrheit der Abbieger bereits vor Beginn des Linksabbiegestreifens (Entfernung zur Messeinrichtung ca. 100 m) die Geschwindigkeit reduziert hat. Allerdings liegen die mittleren Geschwindigkeiten in diesem Bereich mit ca. 60 km/h nur wenig unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h. Die Verzögerungen sind zudem meist sehr gering, sodass es kaum zu detektierbaren kritischen Annäherungen kommt. Dies gilt auch für geringe Zeitlücken zwischen Linksabbiegern und Durchfahrern.

In Bild 49 werden die Geschwindigkeiten der Durchfahrer im Knotenpunkt in Abhängigkeit von den zugehörigen minimalen Zeitlücken zwischen Linksabbieger und nachfolgendem Durchfahrer dargestellt,

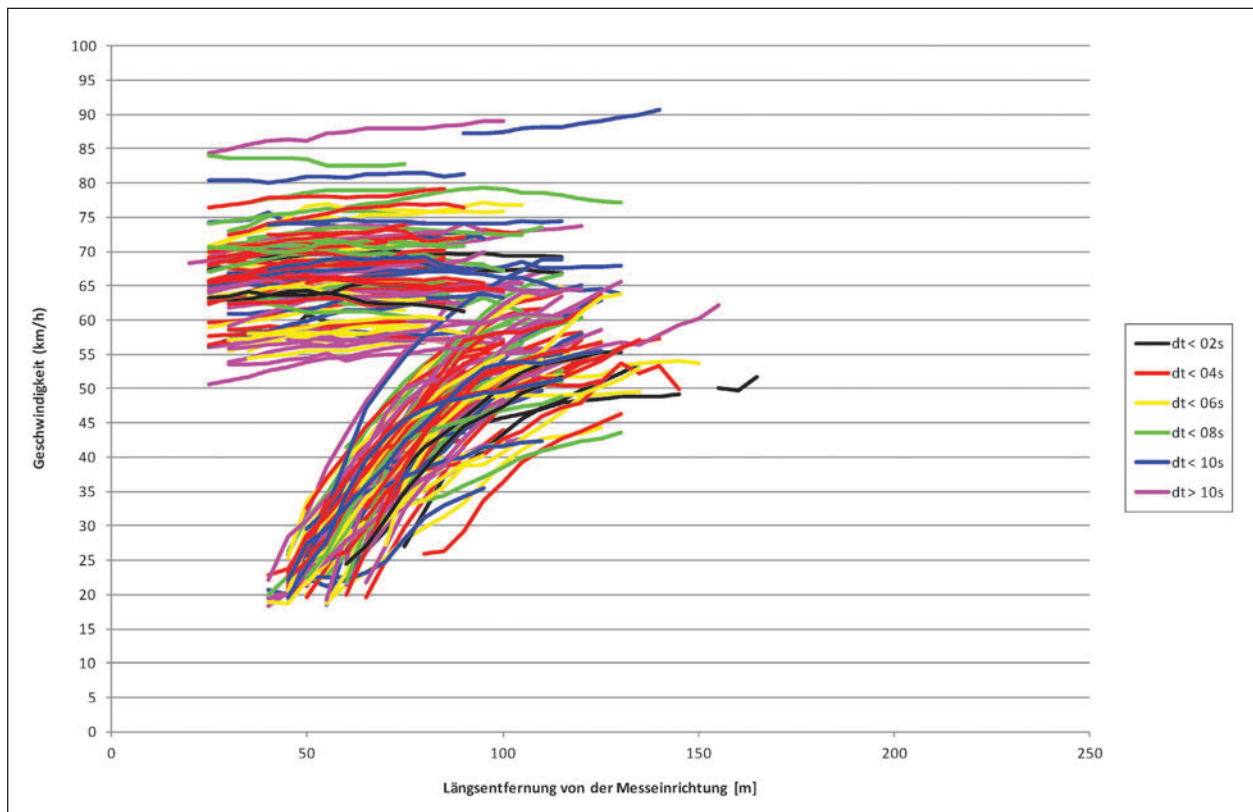


Bild 48: Beispielhafte Geschwindigkeitsverläufe für Durchfahrer und Linksabbieger an einem Knotenpunkt (farbliche Zuordnung nach der jeweiligen Zeitlücke zum Zeitpunkt der Trennung beider Fahrlinien)

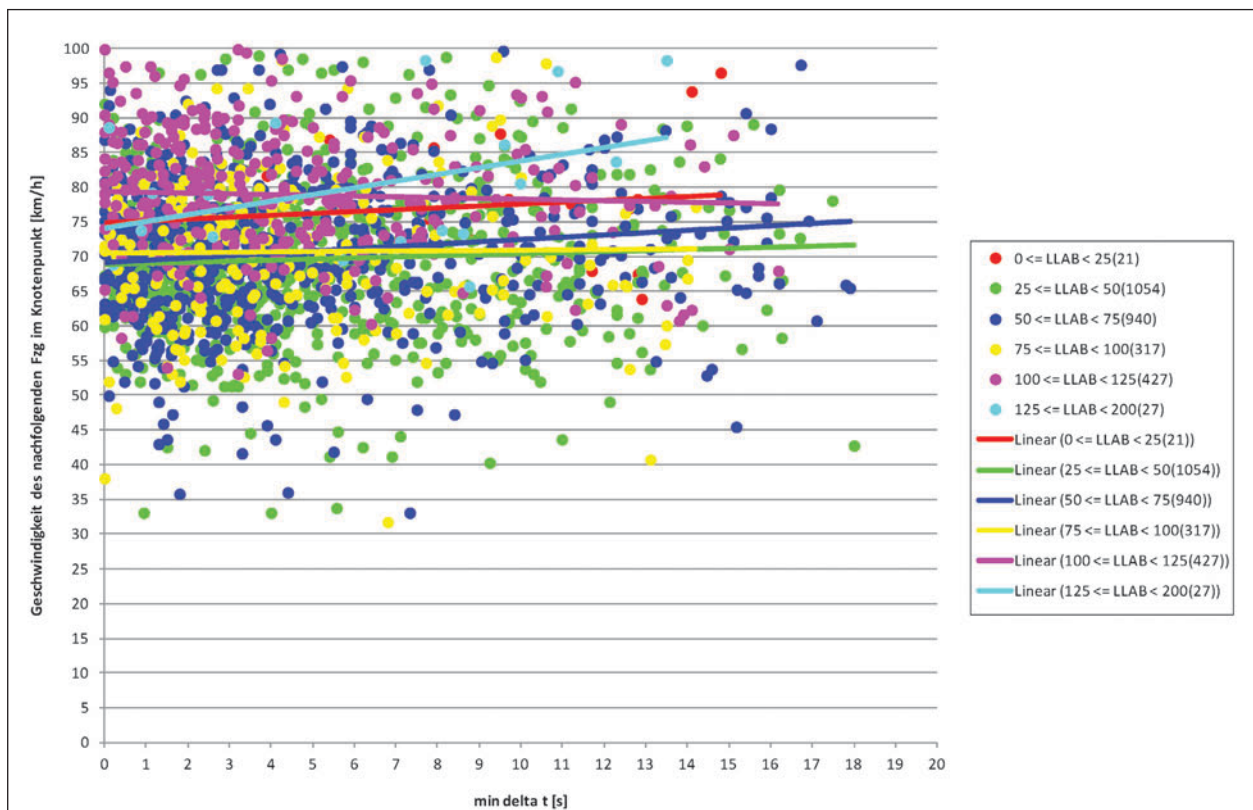


Bild 49: Zeitlücken und Fahrgeschwindigkeiten der Fahrzeugfolge Linksabbieger – nachfolgender Durchfahrer (Geschwindigkeit im Knoten)

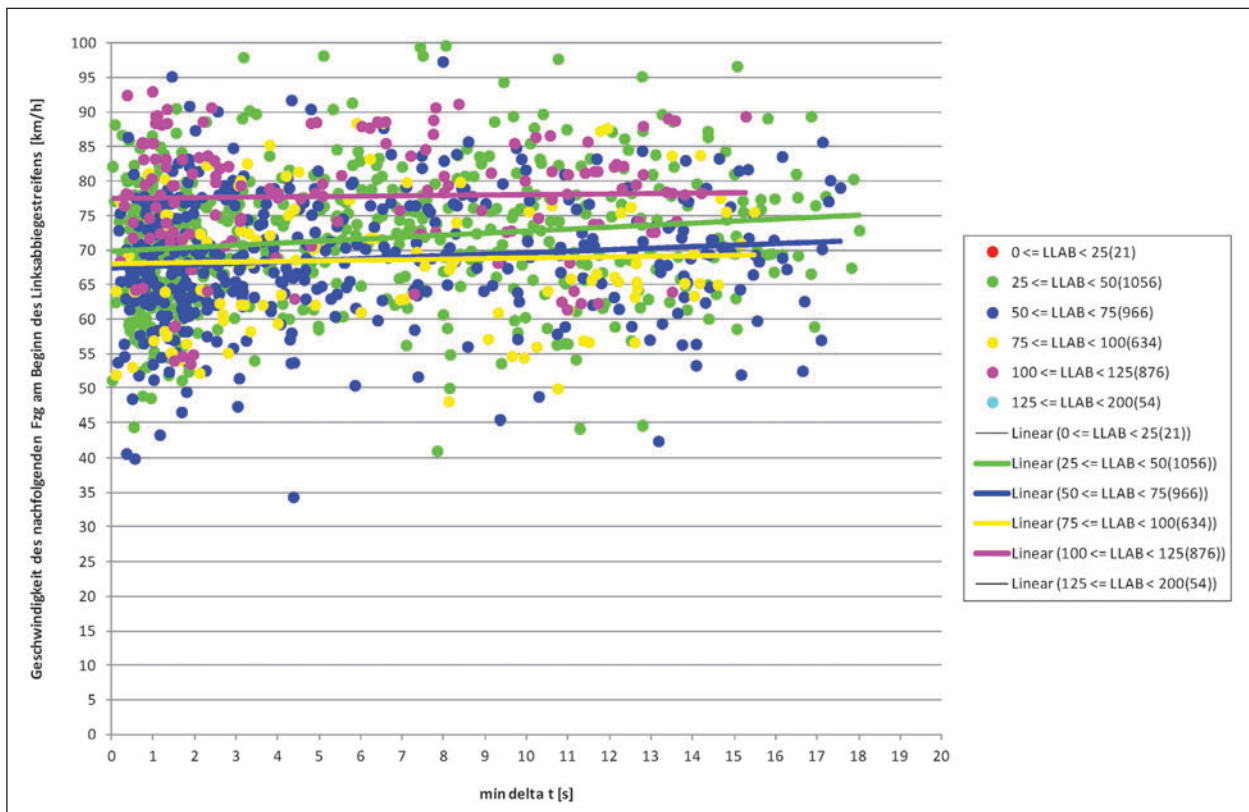


Bild 50: Zeitlücken und Fahrgeschwindigkeiten der Fahrzeugfolge Linksabbieger – nachfolgender Durchfahrer (Situation am Beginn des Linksabbiegestreifens)

wobei die Farbe der Datenpunkte in Abhängigkeit von der Länge des Linksabbiegestreifens festgelegt ist. Daraus lassen sich zwei Hauptaussagen ableiten: Zum einen ist aus den Trendlinien erkennbar, dass im Mittel auch bei kurzen Längen der Linksabbiegestreifen zwischen 25 m und 100 m noch eine mittlere Geschwindigkeit der Durchfahrer von ca. 70 km/h möglich ist. Selbst das Fehlen von Linksabbiegestreifen wirkt sich im betrachteten Kollektiv nicht negativ aus, was allerdings vor allem darauf zurückzuführen ist, dass in diesen Fällen auch die Verkehrsstärken und somit die Wahrscheinlichkeit geringer Zeitlücken zwischen Linksabbieger und nachfolgendem Durchfahrer gering sind. Linksabbiegestreifen von mehr als 100 m Länge ermöglichen ca. 5 km/h bis 10 km/h höhere mittlere Geschwindigkeiten der Durchfahrer als kürzere Linksabbiegestreifen; die Geschwindigkeiten liegen dann jedoch häufig oberhalb der V_{zul} von 70 km/h.

Auffälliger als die Tendenzen der Mittelwerte sind allerdings die einzelnen potenziell kritischen Situationen, auf die niedrige Durchfahrgeschwindigkeiten hinweisen können: Der Großteil an Kombinationen von geringen minimalen Zeitlücken und Nachfolgerschwindigkeiten von weniger als 60 km/h tritt bei Längen der Linksabbiegestreifen von weni-

ger als 50 m auf (grüne Punkte in Bild 49), gestaffelt deutlich seltener bei Längen der Linksabbiegestreifen bis 75 (blaue Punkte) bzw. 100 m (gelbe Punkte) und quasi nie bei größeren Längen.

Ähnliche Ergebnisse zeigen sich für den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeiten und Zeitlücken am Beginn des Linksabbiegestreifens (Bild 50). Auch hier ist festzustellen, dass Geschwindigkeiten der Durchfahrer von weniger als 50 km/h nur bei Längen der Linksabbiegestreifen von weniger als 75 m auftreten (blaue und grüne Punkte).

5.4.2 Mögliche Behinderungen von Durchfahrern durch Rechtseinbieger

Nach dem geltenden Regelwerk sollen Aufstellbereiche in den untergeordneten Zufahrten so ausgebildet werden, dass möglichst nur ein Fahrzeug bis zur übergeordneten Straße vorrücken kann, um gegenseitige Sichtbehinderungen zu minimieren. Dabei ist zu bedenken, dass eine entsprechende Breitenbegrenzung rein baulich kaum möglich ist, da gleichzeitig ein Einfahrquerschnitt zur Verfügung stehen muss, der eine Schleppkurve vor allem für rechtseinbiegende Bemessungsfahrzeuge ermög-

licht. Im Rahmen dieser Untersuchung soll geklärt werden, wie sich solche unerwünschten Sichtbehinderungen zwischen einbiegenden Fahrzeugen auswirken. Parallel zur Betrachtung der Sicherheitsauswirkungen der Aufstellbreite (s. Kapitel 5.2) soll geklärt werden, ob breite Aufstellbereiche zu einer Erhöhung kritischer Annäherungen von Durchfahrern an gerade angefahrene Rechtseinbieger führen. Abweichend von der ursprünglichen Konzeption wurde dieser Aspekt jedoch weniger tief untersucht, da zusätzlich zum geplanten Programm eine weitere Auswertung der Konstellation Linksabbieger/entgegenkommender Durchfahrer aufgenommen wurde. Auch hat sich gezeigt, dass nur sehr vereinzelte Konstellationen mit kritischen Annäherungen zwischen Rechtseinbiegern und nachfolgenden Durchfahrern detektierbar sind. Die Frage, inwieweit für solche kritischen Annäherungen Sichtverdeckungen nebeneinander stehende Einbieger ursächlich sind, war statistisch nicht auswertbar.

Die grundsätzlichen Zusammenhänge von Zeitlücken zwischen Einbiegern und Durchfahrern sowie Geschwindigkeitsänderungen von Durchfahrern zeigt Bild 51. Darin sind die Datenpunkte farbig nach der Geschwindigkeit im Einmündungsbereich unterschieden. In dieser Übersicht, die nur Konstel-

lationen enthält, bei denen für den Nachfolgenden sowohl im als auch nach dem Knotenpunkt eine Geschwindigkeit aufgezeichnet werden konnte, sind zwei Gruppen potenziell kritischer Situationen erkennbar: Wenn die (durch den Einbieger erzwungene) Geschwindigkeitsreduzierung des nachfolgenden Durchfahrers bereits im Knotenpunkt selbst stattgefunden hat, liegen die Geschwindigkeiten beim Verlassen des engeren Einmündungsbereiches relativ niedrig (rote und grüne Markierungen) und es findet in aller Regel anschließend eine deutliche Geschwindigkeitszunahme statt. In Verbindung mit tatsächlich geringen Zeitlücken treten diese Situationen relativ selten auf. Dass es sehr langsame Durchfahrer mit deutlicher Geschwindigkeitszunahme nach der Einmündung auch bei größeren Zeitlücken gibt, könnte ein Indiz dafür sein, dass auch aus anderen Gründen Geschwindigkeitsreduzierungen stattfinden.

Beim Großteil der beobachteten Fahrzeugfolgen zwischen Einbiegern und nachfolgenden Durchfahrern beträgt die absolute Geschwindigkeitsänderung max. 10 km/h, die Geschwindigkeit am Ende des engeren Einmündungsbereiches lag dann in der Regel bei mind. 50 km/h (Punkte in gelb, magenta und hellblau). In diesen Fällen mit relativ geringer

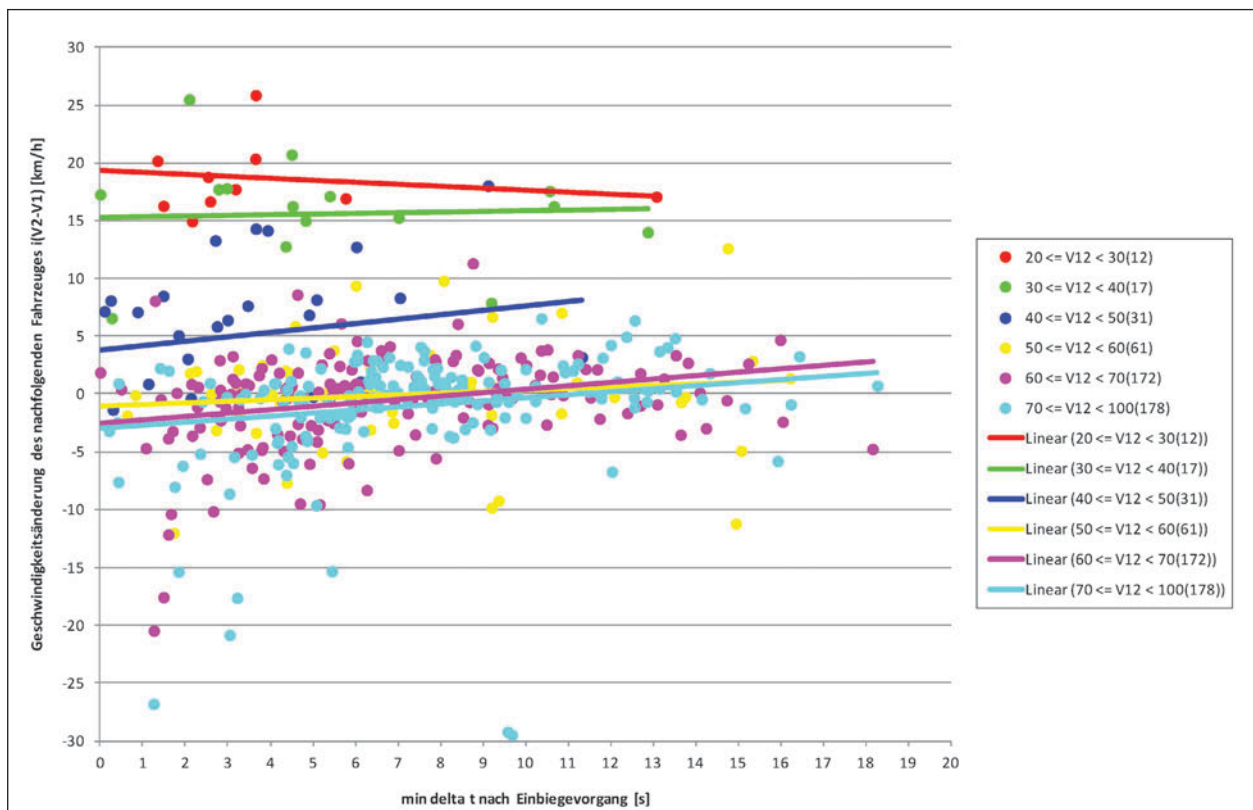


Bild 51: Zeitlücken und Geschwindigkeitsänderung des Nachfolgenden (Fahrzeugfolge Rechtseinbieger – nachfolgender Durchfahrer)

Geschwindigkeitsänderung ist von einer geringen gegenseitigen Beeinflussung auszugehen. Auch die z. T. sehr geringen Werte für $\min \Delta t$ müssen noch kein Zeichen tatsächlich kritischer Situationen sein, da aus diesem Wert nicht hervorgeht, ob nicht auch die Einhaltung eines größeren minimalen Abstands möglich gewesen wäre.

Lediglich die ca. 10 Situationen mit einer späteren Geschwindigkeitsreduzierung von mehr als 10 km/h lassen in Verbindung mit einem geringen Wert der minimalen Zeitlücke eine tendenziell kritisch empfundene Einbiegekonstellation erwarten. Bei diesen Fahrzeugfolgen ist allerdings erkennbar, dass sie keine minimalen Zeitlücken von weniger als eine Sekunde aufweisen.

Die zahlreichen Punkte, bei denen die Geschwindigkeit nach dem engeren Einmündungsbereich immer noch über 70 km/h liegt, lassen erkennen, dass ein relativ großer Teil der Durchfahrer im Knotenpunkt unzulässig schnell gefahren ist.

In Bild 52 ist die absolute Geschwindigkeit der nachfolgenden Durchfahrer in Abhängigkeit von der Zeitlücke aufgetragen. Im Gegensatz zu Bild 51 sind hier alle Fahrzeugfolgen enthalten, auch die ohne aus-

wertbare Geschwindigkeit bei der Wegfahrt vom Knotenpunkt. Analysiert man die Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeiten der Durchfahrer und minimalen Zeitlücken zwischen Einbiegern und Durchfahrern, so ist allgemein erwartungsgemäß festzustellen, dass die Geschwindigkeiten der Durchfahrer mit zunehmenden Zeitlücken zu den Einbiegern deutlich zunehmen. Zwei Aspekte zeigen auf, dass die These zunehmender Beeinflussung durch sich nebeneinander aufstellende Fahrzeuge bei großen Aufstellbreiten nicht nur nicht belegbar ist, sondern sich sogar gegenläufige Trends aufzeigen: Zum einen ist zu erkennen, dass kleine Zeitlücken mit tendenziell größerem Gefährdungspotenzial fast nur bei geringeren Aufstellbreiten (< 6 m) auftreten. Auch steigen die mittleren Geschwindigkeiten der Durchfahrer bei gleichen Zeitlücken mit zunehmender Aufstellbreite an. Da nicht auszuschließen ist, dass größere Aufstellbreiten mit größeren Radien der Eckausrundung zusammenfallen, ist denkbar, dass die Einfahrtgeschwindigkeiten der Einbieger in diesen Fällen höher liegen, wodurch die erzwungene Geschwindigkeitsreduzierung geringer ausfällt.

Ein negativer Einfluss von großen Aufstellbreiten in Bezug auf kritische Einbiegevorgänge kann jedenfalls nicht abgeleitet werden.

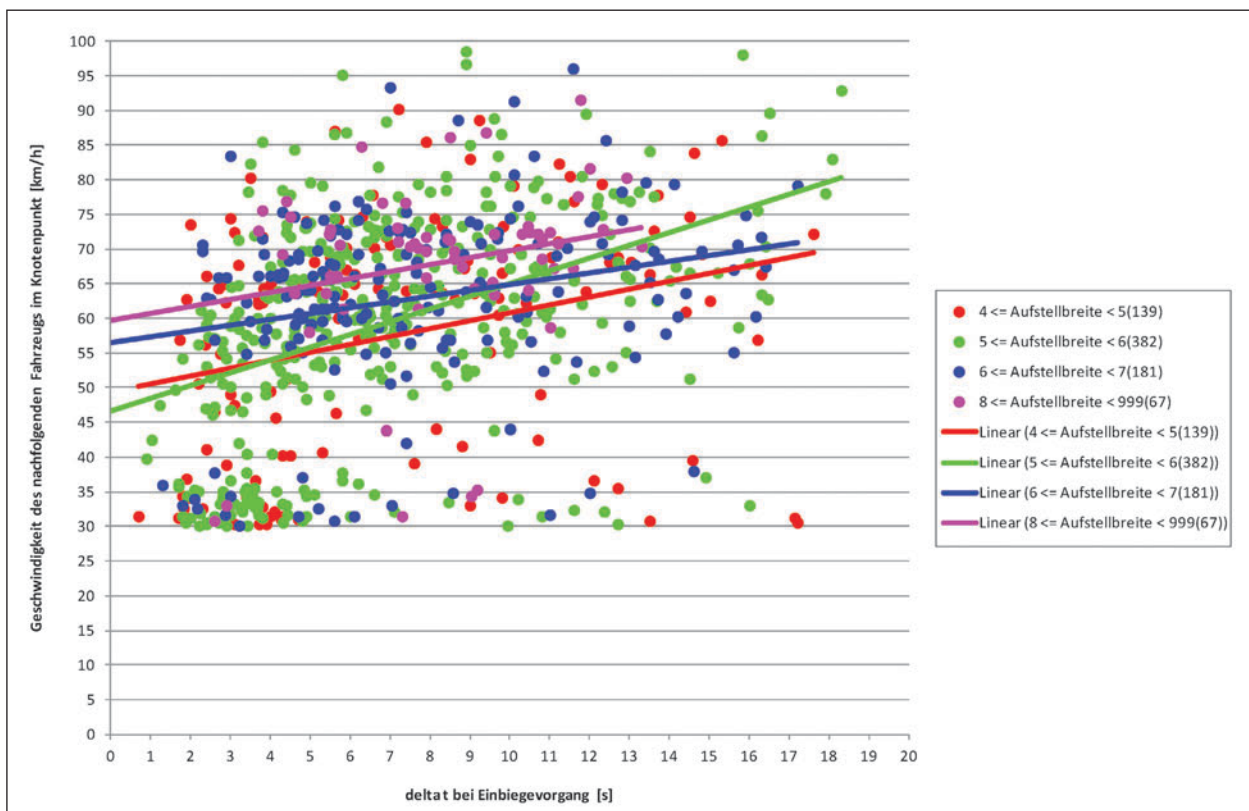


Bild 52: Zeitlücken und Geschwindigkeit des Nachfolgenden im Knotenpunkt (Fahrzeugfolge Rechtseinbieger – nachfolgender Durchfahrer)

5.5 Detailfragestellung Konflikte zwischen Abbiegern nach Dreiecksinseln unter Berücksichtigung der Vorfahrtsregelung

Die Ausgangsfragestellung zur geeigneten Vorfahrtsregelung nach Dreiecksinseln im Zuge des Rechtsabbiegetyps RA3 der RAL (2012) war geprägt von der Erwartung, dass sich der Hauptunterschied zwischen einer Bevorrechtigung des Rechtsabbiegers (Kollektiv 2) und einer Bevorrechtigung des Linksabbiegers gemäß RAL (2012) (Kollektiv 3) durch Sicherheits- bzw. Fahrverhaltensunterschiede bei der Zusammenführung dieser beiden Ströme ergeben würde.

Die Unfallanalyse zeigt jedoch überraschend, dass Unfälle mit den dreistelligen UT 213 bzw. UT 214 (Konflikt zwischen Rechts- und Linksabbieger nach der Dreiecksinsel) sehr selten auftreten. Stattdessen zeigen sich zwischen den Kollektiven 2 und 3 bemerkenswerte Unterschiede in Bezug auf den UT 211 (Konflikt Linksabbieger mit entgegenkommendem Geradeausfahrer). Diese Erkenntnis hat dazu geführt, dass dieser Konfliktpunkt über das geplante Programm hinaus vertiefter hinsichtlich möglicher Unterschiede im Fahrverhalten untersucht wurde.

Hinsichtlich des vermuteten Konfliktpunktes nach der Dreiecksinsel ist vor allem festzustellen, dass bei Kollektiv 2 (rechts-vor-links) die Konstellation, dass Rechts- und Linksabbieger zeitgleich auftreten, besonders selten anzutreffen ist, insbesondere nicht in der Reihenfolge, dass der Linksabbieger bereits die übergeordnete Straße verlassen hat und nach der Dreiecksinsel die Vorfahrt des Rechtsabbiegers nicht oder erst spät beachtet. Ein Anhaltspunkt für kritische Situationen könnte sich aus der Analyse der Zeitlücken der Fahrzeugfolge (Links- vor Rechtsabbieger) ergeben (siehe Bild 53). Geringe Zeitlücken bei diesem Kollektiv könnten ein Zeichen dafür sein, dass der Linksabbieger durch die Entscheidung für das Linksabbiegen eine relativ riskante Konstellation nach der Dreiecksinsel heraufbeschworen hätte. Dass es – auch mit größeren Zeitlücken – nur relativ selten überhaupt bei Kollektiv 2 zu dieser Fahrzeugfolge kommt, könnte ein Indiz dafür sein, dass hierbei insgesamt relativ defensiv abgebogen wird. Die minimalen Zeitlücken zwischen dem nicht bevorrechtigten Linksabbieger und dem bevorrechtigten Rechtsabbieger (Kollektiv 2) liegen bei deutlich über 3 Sekunden, Konstellationen mit dieser Fahrzeugfolge in einem Bild liegen daher nicht vor.

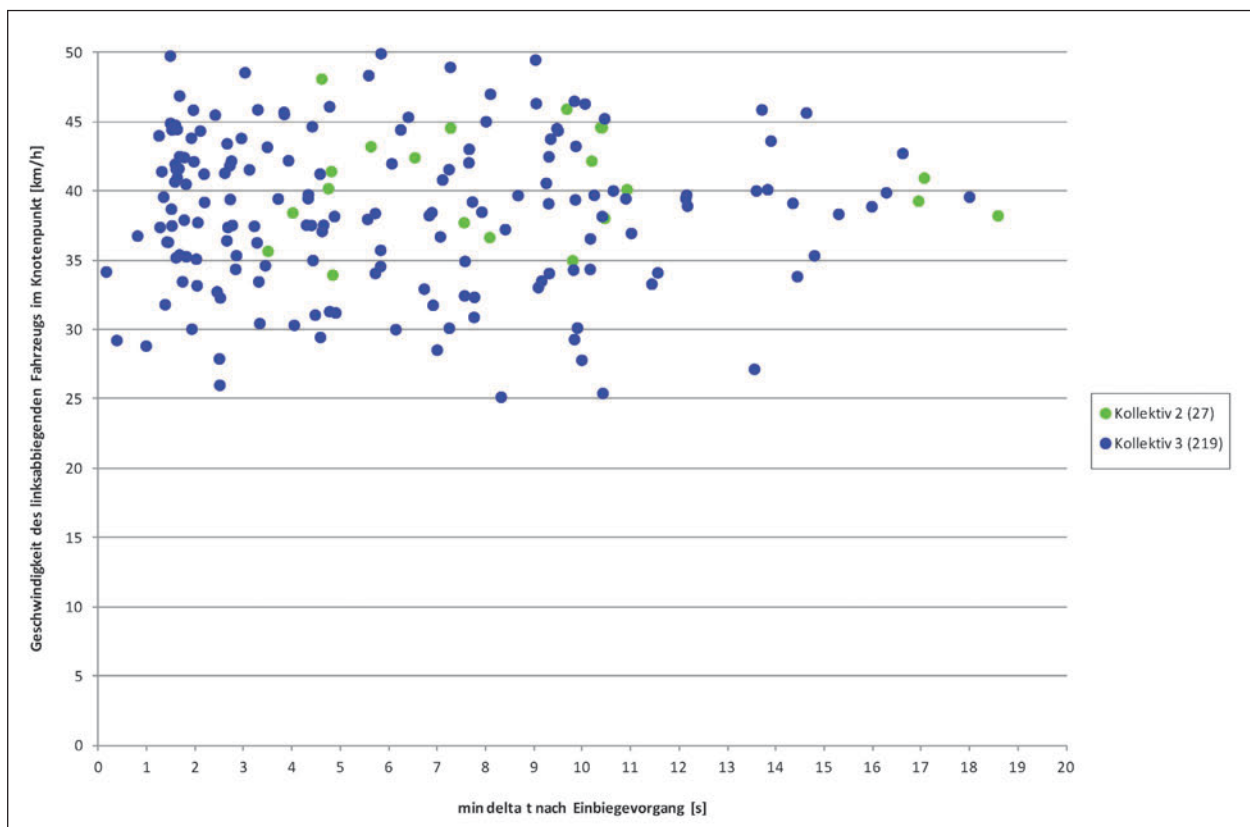


Bild 53: Fahrgeschwindigkeiten von Linksabbiegern und Zeitlücken in der Fahrzeugfolge Linksabbieger-Rechtsabbieger

Die auch mit geringen Zeitlücken vertretene Fahrzeugfolge Linksabbieger-Rechtsabbieger in Kollektiv 3 zeigt zum einen das übliche regelkonforme Verhalten wartepflichtiger Rechtsabbieger. Die große Anzahl an solchen Fahrzeugfolgen kann aber auch als Indiz dafür angesehen werden, dass Linksabbieger bei dieser Vorfahrtsregelung relativ häufig auch geringe Zeitlücken zum entgegenkommenden Geradeausverkehr in Kauf nehmen. Schließlich besteht die Vorfahrt gegenüber dem Gegenverkehr nur in dem Fall, dass das entgegenkommende Fahrzeug tatsächlich abbiegt.

In Bild 54 ist beispielhaft ein Teil einer Sequenz am Sonderfall einer Einmündung des Kollektivs 3 dargestellt, bei der jedoch die unterbrochene Fahrbahnbegrenzung als Kennzeichnung des Nachrangs für den Rechtsabbieger fehlt, während die positive und negative Beschilderung vorhanden ist. Zumindest die Tatsache, dass auch bei dieser Einmündung keine besonders kleinen Zeitlücken bei der Fahrzeugfolge Linksabbieger-Rechtsabbieger auftreten, zeigt, dass die fehlende unterbrochene Fahrbahnbegrenzung scheinbar nicht für unklare Verhältnisse sorgt, auch das Unfallgeschehen ist in diesem Knotenpunkt bezüglich dieses Konfliktpunktes unauffällig.



Bild 54: Beispielbilder zu Fahrzeugfolge Linksabbieger – Rechtsabbieger mit geringer Zeitlücke (Kollektiv 3)

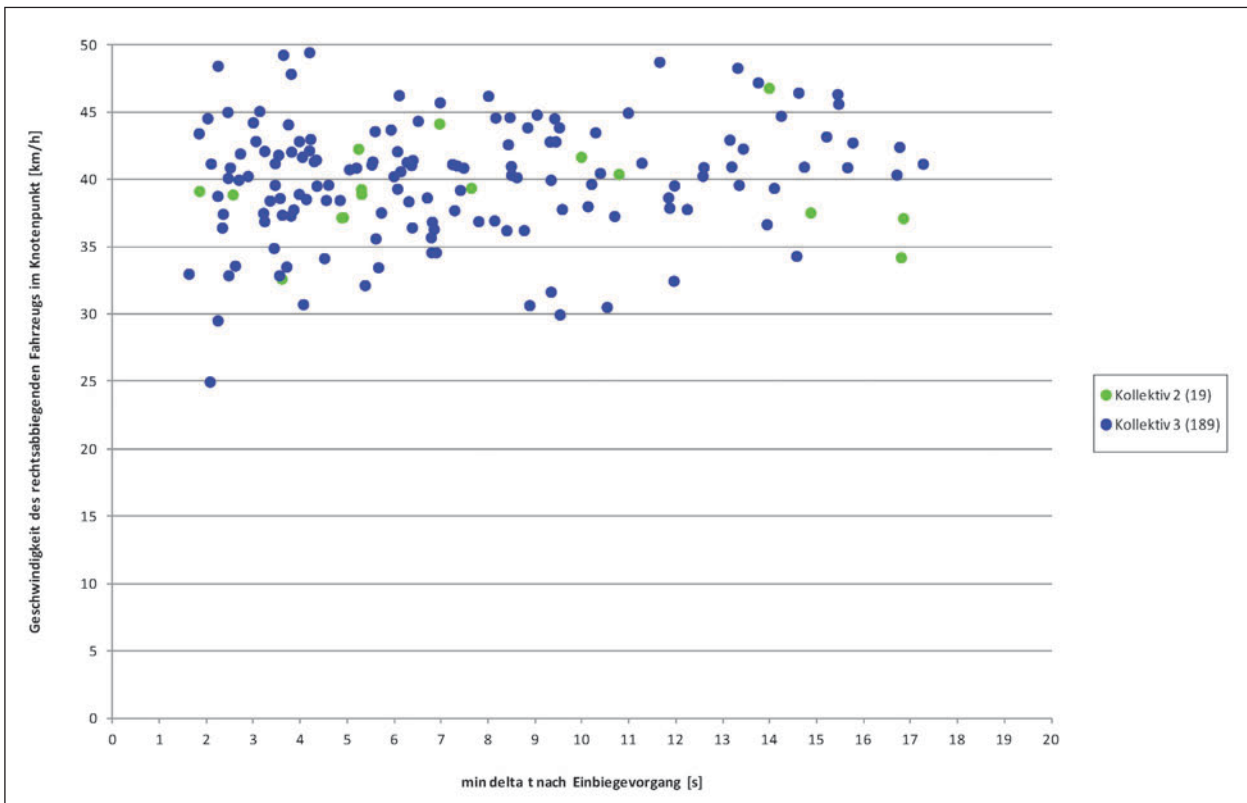


Bild 55: Fahrgeschwindigkeiten des Rechtsabbiegers und Zeitlücken in der Fahrzeugfolge Rechtsabbieger-Linksabbieger

Bei Kollektiv 3 tritt allgemein deutlich häufiger der Fall ein, dass zeitgleich Rechts- und Linksabbieger auftreten. Für die oben skizzierte Folge Linksabbieger-Rechtsabbieger, die in Verbindung mit der Vorfahrtsregelung aus Kollektiv 3 regulär vorkommt (siehe blaue Punkte in Bild 53), sind dabei neben Konstellationen ohne Verzögerung der nachrangigen Fahrzeuge auch solche zu erkennen, bei denen der Rechtsabbieger aktiv Vorfahrt gewährt. Beispielhaft ist in einem kombinierten Abstands- Geschwindigkeits-Zeitdiagramm (siehe Bild 56) eine solche Konstellation an einer Einmündung des Kollektivs 3 dargestellt. Insbesondere ist gut zu erkennen, wie der Rechtsabbieger

mit geringer Geschwindigkeit im Bereich der Dreiecksinsel fährt, um anschließend den beiden Linksabbiegern die Vorfahrt zu gewähren.

Geringe Zeitlücken in der Fahrzeugfolge Rechtsabbieger – Linksabbieger wären bei Kollektiv 3 ein Anzeichen für kritische Situationen (siehe Bild 55). Die Auswertung zeigt jedoch, dass die minimalen Zeitlücken auch im potenziell kritischen Fall (Kollektiv 3) knapp 2 Sekunden betragen, insbesondere angesichts gleicher Fahrtrichtung und geringer Geschwindigkeiten sind diese Werte allerdings kein Anzeichen einer tatsächlich kritischen Situation.

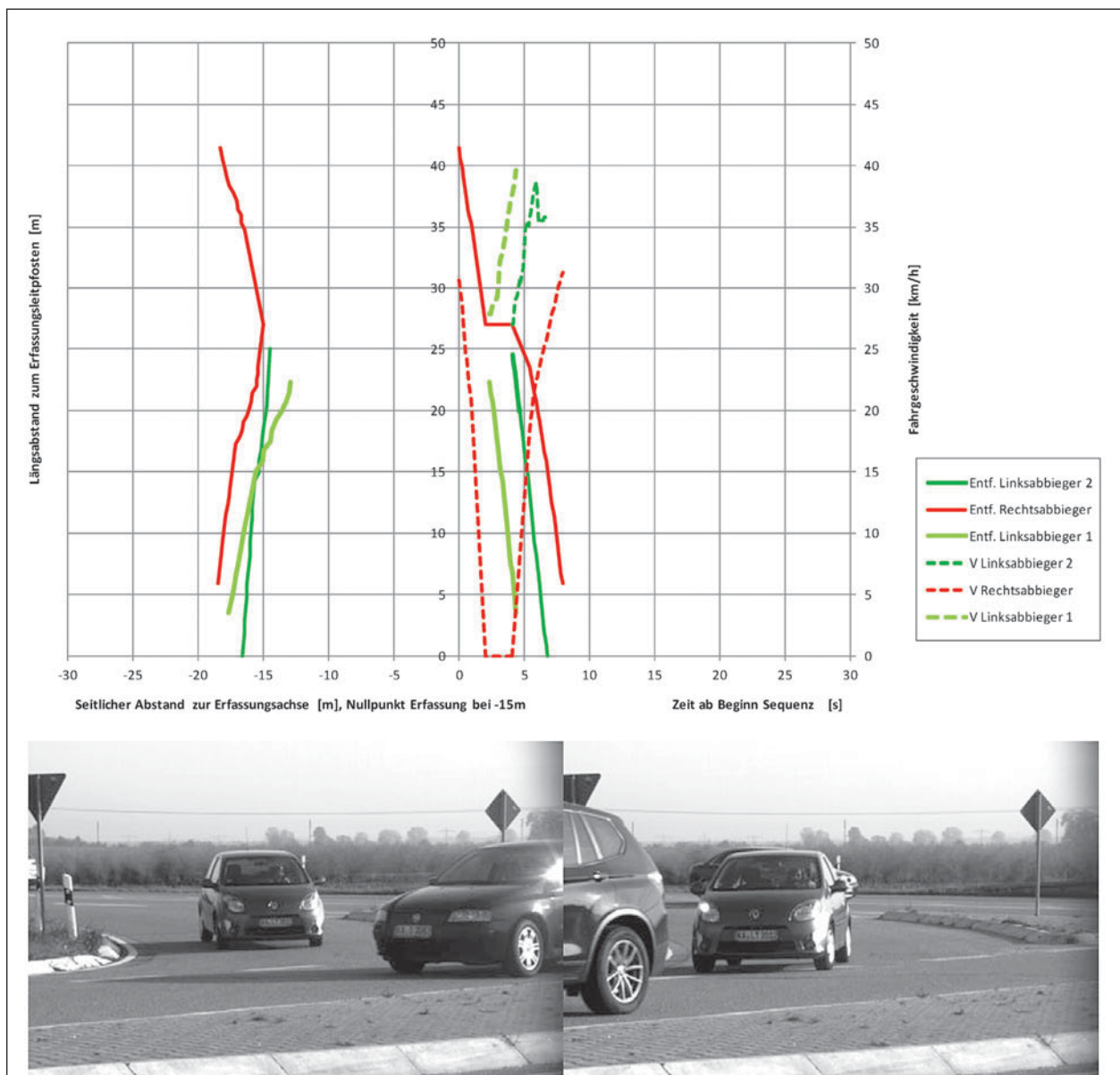


Bild 56: Fahrliniendiagramm der untergeordneten Zufahrt; Darstellung der Längs-/Querabstände zum Erfassungspunkt (links), Längsabstands-/Zeit bzw. Geschwindigkeits-/Zeit-Diagramm (rechts); linkes Bild: Ankunft des ersten Linksabbiegers (hellgrün), rechts: Wegfahrt des zweiten Linksabbiegers (dunkelgrün) und Fortsetzung des Abbiegevorgangs des Rechtsabbiegers

Insgesamt lässt sich so auch unter der Einschränkung, dass technisch bedingt nicht alle Fahrzeugfolgen aufgezeichnet werden konnten, aus den Fahrverhaltensaufzeichnungen die Erkenntnis aus der Unfallanalyse stützen, dass die beiden unterschiedlichen Vorfahrtsregelungen nach Dreiecksinseln an dieser Stelle gleichermaßen unkritisch sind. Allerdings zeigen die deutlich größeren minimalen Zeitlücken im kritischen Fall bei Kollektiv 2, dass an diesen Einmündungen tendenziell mit weniger Risiko abgeboten wird.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Ausgangslage und Zielsetzung

Mittels Unfalluntersuchungen und Fahrverhaltensanalysen an plangleichen Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage sollte untersucht werden, welche der Varianten der maßgeblichen Detailgestaltungen im Knotenpunkt – Linksabbiegerführung, Rechtsabbiegerführung und Aufstellbereich – unter verschiedenen Randbedingungen die höchsten Sicherheitsgrade erwarten lassen. Dabei sollte auch aufgezeigt werden, wie die Erkenntnisse aus der Forschung nicht nur bei Neuplanungen, sondern auch bei den häufigeren Um- und Ausbaumaßnahmen bestehender Knotenpunkte einfließen können. Neue Erkenntnisse zur zweckmäßigeren Vorfahrtsregelung hinter Rechtsabbieger-Dreiecksinseln sollen eventuell in entsprechende Empfehlungen für die Straßenverkehrsbehörden münden.

Untersuchungsmethode

Zur Überprüfung der Verkehrssicherheit ausgewählter Knotenpunktelemente an Landstraßen wurden 100 Einmündungen aus dem Landkreis Karlsruhe untersucht. Zunächst wurden die Unfallkenngrößen der Knotenpunkte mithilfe einer makroskopischen Unfallanalyse betrachtet. Des Weiteren erfolgte eine mikroskopische Unfallanalyse, die die weitere Unterteilung der Unfälle nach dreistelligen Unfalltypen sowie die Betrachtung der Verkehrssicherheit in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung des gesamten Knotenpunktes, aber auch in Abhängigkeit von einzelnen Verkehrsströmen sowie der Sichtweiten am Knotenpunkt beinhaltet.

Gleichzeitig wurden Fahrverhaltensanalysen vorgenommen, um die Erkenntnisse aus der Sicherheitsanalyse mit einer größeren Anzahl an betrachteten Situationen zu unterfüttern.

Die Knotenpunktauswahl beinhaltet plangleiche Knotenpunkte und Teilknotenpunkte ohne LSA mit verschiedenen Detailgestaltungen, d. h. mit und ohne die Knotenpunktelemente Linksabbiegestreifen, Dreiecksinsel und Tropfen, sowie mit unterschiedlicher Vorfahrtsregelung nach der Dreiecksinsel. Mithilfe der Untersuchungen wird das Sicherheitsniveau unterschiedlicher regelkonformer bzw. für den Umbau zu empfehlender Knotenpunktelemente beurteilt.

An allen 100 Knotenpunkten wurde die Verkehrsbelastung der Knotenpunktarme erhoben. Mithilfe des Algorithmus von Furness wurde aus den Querschnittsmessungen die Belastung aller Fahrbeziehungen am Knotenpunkt abgeschätzt. An 40 aus dem Untersuchungskollektiv der 100 Knotenpunkte ausgewählten Knotenpunkten wurde Mithilfe kombinierter Video- und Radartechnik das Fahrverhalten an bestimmten Positionen erfasst.

Untersuchungsergebnisse aus der Unfallanalyse

- Linksabbiegestreifen

Bei Knotenpunkten ohne Tropfen zeigt der Vergleich der Unfallkostenraten (UKR) zwischen Kollektiv 4 und Kollektiv 5 keine positiven Auswirkungen eines Linksabbiegestreifens auf die Verkehrssicherheit. Allerdings ist zu beachten, dass die Verkehrsstärken in den betrachteten Einmündungen des Kollektivs 5 (ohne Linksabbiegestreifen) deutlich niedriger waren als in denen des Kollektivs 4.

- Tropfen

Der Vergleich der mittleren Unfallkostenrate des Kollektivs 1 (2,5 EUR/1.000*Kfz) mit der des Kollektivs 4 (12,5 EUR/1.000 Kfz) bestätigt hingegen, dass untergeordnete Zufahrten mit Tropfen bei den relativ hohen Verkehrsstärken deutlich verkehrssicherer sind als solche ohne Tropfen.

- Rechtsabbiegerführung

Der Vergleich der mittleren Unfallkostenraten zwischen Kollektiv 1 (UKR = 2,5 EUR/1.000*Kfz) und den Kollektiven 2 bzw. 3 (UKR = 7 bzw. 17 EUR/1.000*Kfz) zeigt, dass eine Führung der Rechtsabbieger ohne Dreiecksinsel deutlich sicherer ist

als eine gesonderte Führung mit einer Dreiecksinsel. Das gilt insbesondere bei Verkehrsbelastungen bis 8.000 Kfz/24h. Der erhebliche Sicherheitsunterschied macht deutlich, dass die in der Vergangenheit in der Praxis häufig zu beobachtende Tendenz, aus Gründen besserer Verkehrsqualität den Rechtsabbieger gesondert neben einer Dreiecksinsel zu führen, der Verkehrssicherheit abträglich ist.

Der Vergleich der mittleren Unfallkostenraten zwischen Kollektiv 2 (Vorfahrt der Rechtseinbieger hinter der Dreiecksinsel) und Kollektiv 3 (Vorfahrt des Linksabbiegers nach der Dreiecksinsel) zeigt zudem, dass dabei das Kollektiv 3 (UKR = 17 EUR/1.000 Kfz) deutlich schlechter abschneidet als das Kollektiv 2 (UKR = 7 EUR/1.000 Kfz). Allerdings wird dieser Unterschied erst ab einer Gesamtverkehrsbelastung von ca. 8.000 Kfz/24h auffällig, bei der gemäß den RAL (2012) Knotenpunkte vorzugsweise mit Lichtsignalanlage geplant werden sollen. Auch bei Verkehrsbelastungen unter 8.000 Kfz/24h liegt die Unfallkostenrate beider Kollektive mit Dreiecksinsel jedoch mehr als doppelt so hoch wie die der entsprechend belasteten Einmündungen ohne Dreiecksinsel (Kollektiv 1).

Bemerkenswert ist, dass die beiden untersuchten Vorfahrtsregelungen im eigentlichen Konfliktbereich unmittelbar bei der Zusammenführung der Ströme keinen Unterschied erkennen lassen, u. a. weil dort so gut wie keine Unfälle geschehen sind. Eine Erklärung für die wesentlich höheren Unfallkostenraten für die hochbelasteten Knotenpunkte des Kollektivs 3 zeigt sich erst bei der Auswertung der Unfälle nach dem dreistelligen Unfalltyp. Hier wird erkennbar, dass vor allem die mittlere Unfallkostenrate für den UT211 (Konflikt eines Linksabbiegers mit einem entgegenkommenden Geradeausfahrer) beim Kollektiv 3 mit 6,1 EUR/1.000 Kfz deutlich höher ausfällt als beim Kollektiv 2 (2,5 EUR/1.000 Kfz). Als Erklärung wurde vermutet, dass die Vorfahrtsregelung hinter der Dreiecksinsel „Vorfahrt für den Linksabbieger“ den Linksabbieger veranlasst, bei höheren Verkehrsstärken auch kleinere Zeitlücken im entgegen gerichteten Geradeausstrom für den Abbiegevorgang zu nutzen. Inwieweit diese Vermutung zutrifft, wurde in den ergänzenden Fahrverhaltensanalysen untersucht. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die mittlere Unfallkostenrate für das Kollektiv 1 (Rechtsabbiegen ohne Dreiecksinsel) wiederum mit 1,0 EUR/1.000 Kfz deutlich günstiger liegt als bei beiden Lösungen

mit der Führung neben einer Dreiecksinsel. An 13 der 17 Einmündungen mit dieser Gestaltung treten z. B. keine Linksabbiegeunfälle auf.

Neben den insgesamt 137 Unfällen des UT211 sind vor allem die 177 Unfälle des UT302 (Linkseinbieger mit Geradeausfahrer von links) prägend für das gesamte Unfallgeschehen. Auch bei diesem Unfalltyp unterscheiden sich die beiden hier in Frage stehenden Kollektive 2 und 3, allerdings mit 4,8 bzw. 6,9 EUR/1.000 Kfz) nicht so deutlich. Auch hinsichtlich der Einbiegeunfälle liegen die Unfallkostenraten für das Kollektiv 1 (ohne Dreiecksinsel) mit 1,9 EUR/1.000 Kfz deutlich niedriger.

- Sichtweiten und Lage von Teilknotenpunkten

In einer weiteren Detailuntersuchung wurde überraschend festgestellt, dass die Unfallkostenraten der Einbiegen-Unfälle zunehmen, wenn die vorhandenen Anfahrtsichtweiten nach links größer werden. Dieser Zusammenhang ist insbesondere beim UT302 (Linkseinbieger mit Geradeausfahrer von links) zu erkennen. Diese Zusammenhänge sind bei den Knotenpunkten des Kollektivs 3 stärker ausgeprägt als beim Kollektiv 2.

Aus dieser Erkenntnis kann jedoch nicht abgeleitet werden, dass bei Einmündungen geringe Sichtweiten generell vorteilhaft sind. Auffällig ist nämlich, dass bei den oben liegenden Rampenanschlüssen von teilplangleichen Knotenpunkten, bei denen der Linksabbieger auf das Kreuzungsbauwerk zufährt und die Sichtweiten durch die Kuppenlage häufig eingeschränkt sind, tendenziell höhere Unfallkostenraten der Abbiegen-Unfälle auftreten.

- Aufstellbereich

Unerwartet war, dass sich bei einer Analyse der Unfallkostenraten des dreistelligen Unfalltyps UT302 in Abhängigkeit von der Breite der Aufstellbereiche in der untergeordneten Zufahrt keinerlei Zusammenhänge erkennen lassen.

- Radverkehrsführung

Der größte Teil der im vorliegenden Unfallkollektiv eher seltenen Radverkehrsunfälle ereignete sich bei Knotenpunkten der Kollektive 1 und 4 (beide ohne Dreiecksinsel), bei welchen die Radfahrer fahrbahnnah und bevorrechtigt über die untergeordnete Zufahrt geführt werden.

Untersuchungsergebnisse aus der Fahrverhaltensanalyse

- Linksabbiegestreifen

Die Analyse der Zeitlücken zwischen vorausfahrenden Linksabbiegern und dem nachfolgenden Geradeausverkehr und deren Verzögerungsverhalten erbrachte keinen Zusammenhang zwischen der Länge der Linksabbiegestreifen und möglichen Behinderungen nachfolgender Geradeausfahrer. Zum einen leiten nachfolgende Geradeausfahrer die erforderlichen Verzögerungen so vorausschauend ein, dass es nicht zu kritischen Annäherungen an vorausfahrende Linksabbieger kommt. Zum anderen sind die Geschwindigkeiten der Durchfahrer selbst bei kurzen Linksabbiegestreifen hoch, zum Teil höher als die zulässige Höchstgeschwindigkeit. An den schwach belasteten Einmündungen waren selbst ohne Linksabbiegestreifen (Kollektiv 5) keine Störungen im Verkehrsablauf festzustellen.

- Vorfahrtsregelung hinter der Dreiecksinsel

Die Analyse der Zeitlücken von Linksabbiegern gegenüber entgegenkommenden Durchfahrern bestätigt vor allem die aus der Sicherheitsanalyse erkennbaren Vorteile einer Gestaltung ohne Dreiecksinsel (Kollektiv 1). Die mittleren Zeitlücken sind größer als die bei beiden Kollektiven 2 und 3 mit Dreiecksinsel. Auch zeigt sich, dass bei einer Ankunft am Knotenpunkt auch bei größeren Zeitlücken eher die Vorbeifahrt des Gegenverkehrs abgewartet wird als bei den beiden anderen Kollektiven. Systematische Unterschiede zwischen den beiden Kollektiven 2 und 3 (Rechtsabbiegerführung mit Dreiecksinsel, aber verschiedenen Vorfahrtsregelungen hinter der Dreiecksinsel), sind nicht erkennbar. Das bedeutet, dass die Untersuchungen zum Fahrverhalten keine hinreichende Erklärung für das unterschiedliche Unfallgeschehen zwischen den Kollektiven 2 und 3 liefern.

Die Fahrverhaltensanalyse für den Bereich nach der Dreiecksinsel zeigt eine sehr geringe Anzahl an kritischen Fahrzeugfolgen (Nachrangiger vor Bevorrechtigtem) mit geringen Zeitlücken. Dies bestätigt den Befund aus der Unfallanalyse, dass diese Stelle bei beiden Verkehrsregelungen als sicher einzustufen ist.

- Aufstellbereich

An 12 der 40 ausgewerteten Knotenpunkte gilt die Verkehrsregelung mit VZ 206 (Halt! Vorfahrt gewähren!). Die Durchfahreranteile bei den Einbiegern

liegen jedoch nur rund 10 % niedriger als bei der Regelung mit VZ 205 (Vorfahrt gewähren!), sodass davon auszugehen ist, dass dem VZ 206 in seiner eigentlichen Bedeutung vom Verkehrsteilnehmer nicht genügend Beachtung geschenkt wird. Die Tatsache, dass bei einigen Einmündungen mit VZ 205 relativ hohe Anteile an haltenden Fahrzeugen festzustellen sind, legt die Vermutung nahe, dass andere Kriterien beim Einbiegen höher gewichtet werden als die vorgegebene Verkehrsregelung.

Bezüglich der Aufstellbreiten ist kein systematischer Anstieg der Durchfahreranteile bei größeren Aufstellbreiten feststellbar. Ebenfalls ohne Einfluss ist die Größe der Sichtweiten der Einbieger nach links. Die detaillierte Auswertung nebeneinanderstehender Einbieger hat nur sehr wenige Situationen gezeigt, in denen es zu potenziellen Verdeckungen kam. Daher kann nicht von einer systematischen Behinderung von Pkw durch nebenstehende größere Fahrzeuge ausgegangen werden. Gleichwohl zeigen die Pulkauswertungen, dass mit zunehmenden Aufstellbreiten bereits bei relativ geringen Verkehrsstärken die Anteile an nebeneinanderstehenden Fahrzeugen zunehmen. Bei geringen Aufstellbreiten von weniger als 5 m ist das Nebeneinanderstellen von Pkw erst bei deutlich höheren Verkehrsstärken zu beobachten.

Folgerungen für die Praxis

Insgesamt bestätigt diese Untersuchung sowohl aufgrund der Unfalluntersuchung als auch der Fahrverhaltensanalyse grundsätzlich die im aktuellen Regelwerk der RAL (2012) verankerten Einsatzgrenzen für bestimmte Knotenpunktelemente und deren Parameter. Zwar zeigt sich, dass ein Verzicht auf Linksabbiegestreifen und Tropfen bei sehr geringen Verkehrsstärken in Einmündungen nur geringe negative Folgen mit sich bringt, doch wären weitergehende Untersuchungen erforderlich, bevor in den zuständigen Fachgremien noch einmal diskutiert werden könnte, ob eine solche flächen- und kostensparende Ausbildung bei Straßen der EKL 4 generell vertretbar ist.

Eine wichtige Erkenntnis ist der Befund, dass eine gesonderte Führung der Rechtsabbieger neben einer Dreiecksinsel bei Einmündungen deutlich höhere Unfallkostenraten zur Folge hat als eine Führung der Rechtsabbieger ohne Dreiecksinsel. Diese Feststellung gilt für eine große Spannweite von Verkehrsstärken. Insofern wäre noch einmal zu überdenken, ob die zur Verbesserung des Verkehrsab-

laufs insbesondere bei höheren Verkehrsstärken in den RAL (2012) für die Straßen der EKL 3 verankerte Regellösung für den Rechtsabbieger RA3 aus Gründen der Verkehrssicherheit fallen gelassen werden soll.

Bei einer gesonderten Führung der Rechtsabbieger neben einer Dreiecksinsel zeigt sich, dass vor allem bei Gesamtbelastungen des Knotenpunkts über 8.000 Kfz/24h eine deutlich erhöhte Unfallkostenrate zu verzeichnen ist, wenn dem Rechtsabbieger hinter der Dreiecksinsel die Wartepflicht gegenüber dem bereits abgelenkten Linksabbieger auferlegt wird. Diese Tatsache resultiert nahezu ausschließlich aus den unterschiedlichen Sicherheitsniveaus bei Unfällen zwischen Linksabbiegern und entgegenkommenden Geradeausfahrern. Die Gründe für diese Unterschiede konnten nicht eindeutig geklärt werden. Im Übrigen ist darauf hinzuweisen, dass nach den RAL (2012) bei diesen Verkehrsstärken plangleiche Knotenpunkte vorzugsweise mit Lichtsignalanlagen ausgestattet werden sollen.

Von den zuständigen Verkehrsbehörden werden beide Vorfahrtsregelungen gleichermaßen angeordnet. Unerwartet war, dass im Untersuchungskollektiv die Vorfahrtsregelungen sogar innerhalb von Streckenzügen wechseln. Die Befunde aus der vorliegenden Forschung zeigen, dass die unterschiedlichen Vorfahrtsregelungen für den eigentlichen Konfliktbereich hinter der Dreiecksinsel keinerlei Auswirkungen haben, allerdings deutliche Unterschiede in Bezug auf die Sicherheit der Linksabbieger zeigen. Inwieweit diese Unterschiede ausschließlich auf die unterschiedliche Vorfahrtsregelung zurückzuführen ist, konnte in den Fahrverhaltensbetrachtungen nicht hinreichend geklärt werden. Bevor deshalb in dieser Frage eine generelle Empfehlung ausgesprochen werden kann, wäre eine vertiefte Betrachtung der Hintergründe zu den unterschiedlichen Sicherheitsgraden der beiden Vorfahrtsregelungen erforderlich.

Inwieweit ein Verzicht auf die Rechtsabbiegerführung RA3 in einer Überarbeitung der RAL auch für den Anschluss der Rampen von Autobahnen und anderen richtungsgetrenten Straßen sinnvoll wäre, bei denen eine Aufstellung der Wegweiser auf einer Dreiecksinsel möglicherweise zur Verhinderung von Falschfahrten beiträgt, konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht untersucht werden.

Bei den untersuchten Knotenpunkten bestätigte sich die Erkenntnis, dass die für das Einbiegen des

maßgebenden Bemessungsfahrzeugs erforderlichen Eckausrundungen zumindest bis zu einem Abstand ca. 6 m zum Rand der übergeordneten Straße Aufstellbreiten zur Folge haben, bei denen das Nebeneinanderstehen von Pkw und kleineren Lieferwagen nicht zu verhindern ist. Allerdings konnten weder die Unfalluntersuchungen noch die Fahrverhaltensanalyse einen Hinweis liefern, dass ein solches Nebeneinander-Aufstellen sicherheitsabträglich ist, wenn die Fahrbahnbreite neben dem Tropfen auf das für die Befahrbarkeit notwendige Maß von 4,50 m beschränkt bleibt.

Die Untersuchung bestätigte die Befürchtung, dass der auf Radwegen geführte Radverkehr an Landstraßen im Bereich der Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage durch Abbieger und Einbieger gefährdet ist. Die Beobachtungen bestärken die Vorgaben der RAL (2012), den Radverkehr auf Radwegen an Landstraßen in der Regel nicht fahrbahnnahe bevorrechtigt über einmündende Zufahrten, sondern von der übergeordneten Fahrbahn abgesetzt wartepflichtig über den Tropfen zu führen.

7 Literatur

- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2013): Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)
- BAUM, H.; KRANZ, T.; WESTERKAMP, U. (2010): Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft M 208, Bergisch Gladbach
- ECKSTEIN, K.; MEEWES, V. (2002): Knotenpunktgrundformen, Verkehrsregelungen, Zufahrten. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Institut für Straßen und Verkehrswesen Köln, Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (2012): Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (1976): Richtlinien für die Anlage von Landstraßen, Teil III: Knotenpunkte, Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte (RAL-K-1), Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (1988): Richtlinien für die Anlage von

- Straßen, Teil: Knotenpunkte, Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte (RAS-K-1), Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (1976): Richtlinien für die Anlage von Landstraßen, Teil III: Knotenpunkte, Abschnitt 2: Planfreie Knotenpunkte (RAS-K-2), Köln
- ISK-GDV (2003): Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1, Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten, Sicherung des Verkehrs auf Straßen – SVS. Institut für Straßenverkehr (ISK), Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e. V. – GDV, Köln
- KÖLLE, M.; SCHNÜLL, R. (1999): Sicherheitseigenschaften außerörtlicher Knotenpunkte. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 67, Bergisch Gladbach
- LEUTZBACH, W.; HANDSCHMANN, W.; SCHULER, M. (1982): Einfluss von Verkehrsbeschränkungen und Aufbauformen auf die Sicherheit an plangleichen Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage außerhalb bebauter Gebiete. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 376, Bonn-Bad Godesberg
- RICHTER, T. (1992): Entwurfsstandards für Knotenpunkte an Ortsumgehungen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 653, Bonn-Bad Godesberg
- SCHNABEL W.; LOHSE D. (1981): Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Berlin, Wien, Zürich
- SCHNÜLL, R.; BERGEN, H. (1982): Fahrbahnbreite neben dem Fahrbahnsteiler in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 373, Bonn-Bad Godesberg
- SCHNÜLL, R.; HALLER, W. (1981): Ansätze zur Berücksichtigung umfeldorientierter Kriterien in den Entwurfsrichtlinien für Knotenpunkte. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 328, Bonn-Bad Godesberg
- SCHNÜLL, R.; RICHTER, T. (1994): Sicherheitsvergleich der Knotenpunktgrundformen Kreuzungen und Rechtsversatz an Straßen außerhalb bebauter Gebiete. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 683, Bonn-Bad Godesberg
- SCHNÜLL, R.; SCHREYER, U. (1982): Einsatzgrenzen und Bemessung von Linksabbiegespuren außerhalb bebauter Gebiete. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 373, Bonn-Bad Godesberg
- STURM, P. (1989): Verkehrssicherheit an plangleichen und teilweise planfreien Knotenpunkten von Außerortsstraßen. Dissertation im Fachbereich Wasser und Verkehr der Technischen Hochschule Darmstadt, Darmstadt
- TRAPP, K.-H. (1980): Untersuchungen über die maßgebenden Geschwindigkeiten in plangleichen Knotenpunkten (Teil II). Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 302, Bonn-Bad Godesberg
- VIETEN, M.; DOHMEN, R.; DÜRHAGER, U.; LEGGE, K. (2010): Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau- und Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 201, Bergisch Gladbach
- WEISE, G.; DURTH, W. (1997): Straßenbau: Planung und Entwurf. Verlag für Bauwesen, 3. Auflage, Berlin

Bilder

- Bild 1:** Grundformen plangleicher Knotenpunkte (RAS-K-1, 1988)
- Bild 2:** Knotenpunkttypen nach RAL-K-1 (1976)
- Bild 3:** Fahrbahnteiler (Tropfen) außerhalb bebauter Gebiete (RAS-K-1, 1988)
- Bild 4:** Regeleinsatzbereich dreiarmiger Knotenpunkte nach RAL (2012)
- Bild 5:** Rechtsabbiegetypen nach RAL (2012), RA3 und RA4
- Bild 6:** Unfallkostenraten verschiedener Knotenpunkte, Preisstand 2000 [Euro] [ECKSTEIN und MEEWES, 2002]
- Bild 7:** Rechtsabbiege- und Zufahrttypen bei Führung des Radverkehrs auf Geh-/Radwegen nach RAL (2012)
- Bild 8:** Rechtsabbiegetyp mit verschiedener Vorfahrtsregelung nach der Dreiecksinsel (RAL 2012 verändert)
- Bild 9:** Fahrbeziehungen am Knotenpunkt
- Bild 10:** Fahrbeziehungen am Knotenpunkt
- Bild 11:** Detailfragestellung Position 1; Verkehrsströme 3-1 und 3-2
- Bild 12:** Fahrzeugabfolge aus Videodatei am Knotenpunkt 6916062b
- Bild 13:** Auswerteprotokoll zur Videoauswertung
- Bild 14:** Detailfragestellung Position 2a (oben); Beispielbild aus Erfassungsleitpfosten (unten)
- Bild 15:** Detailfragestellung Position 2b (oben); Beispielbild aus Erfassungsleitpfosten (unten)
- Bild 16:** Detailfragestellung Position 2c (links); Beispielbild aus Erfassungsleitpfosten (rechts)
- Bild 17:** Detailfragestellung Position 3 (links); Beispielbild aus Erfassungsleitpfosten (rechts)
- Bild 18:** Knotenpunktanzahl und Unfallanzahl je Kollektiv
- Bild 19:** Statistische Verteilung der Unfalldichten (UD) [U/a] je Kollektiv
- Bild 20:** Statistische Verteilung der Verkehrsstärken (DTV) [Kfz/24h] je Kollektiv
- Bild 21:** Statistische Verteilung der Unfallraten (UR) [U/1 Mio*Kfz] je Kollektiv
- Bild 22:** Anzahl der Unfälle nach Unfallkategorien für alle Kollektive
- Bild 23:** Statistische Verteilung der Unfallkostenraten (UKR) [EUR/1.000*Kfz] je Kollektiv
- Bild 24:** UKR in Abhängigkeit von der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) [Kfz/24h]
- Bild 25:** Anteil der Unfälle nach Unfalltypen für alle Kollektive (oben); Anzahl der Unfälle nach Unfalltypen für alle Kollektive
- Bild 26:** Definition der dreistelligen Unfalltypen mit Fahrbeziehungen [nach WEISE und DURTH, (1997)]
- Bild 27:** Anzahl der 3-stelligen Unfalltypen getrennt nach Kollektiv
- Bild 28:** Unfallkostenraten der dreistelligen Unfalltypen
- Bild 29:** Radverkehrsunfälle
- Bild 30:** Unfallkostenrate des Unfalltyps 211 in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke [KFZ/24h] der Linksabbieger
- Bild 31:** Unfallkostenrate des Unfalltyps 302 in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke [Kfz/24h] der Linkseinbieger
- Bild 32:** Definition der Blickrichtungen am Beispiel des Knotenpunktes 711500A
- Bild 33:** Unfallkostenraten für Unfalltypen 211 in Abhängigkeit von den Sichtweitenklassen (Blickrichtung 1-2) getrennt nach Kollektiven [1 Klasse = 50 m]
- Bild 34:** Unfallkostenraten für Unfalltypen 30x in Abhängigkeit von den Sichtweitenklassen (Blickrichtung 3-2) getrennt nach Kollektiven [1 Klasse = 50 m]

- Bild 35:** Beispiele für Sicht Einschränkungen nach links (3-2) bei einem plangleichen Teilknotenpunkt von teilplangleichen Knotenpunkten)
- Bild 36:** Beispiel für Benennung Teilknotenpunkte (Zeichnungsbasis: RAL (2012))
- Bild 37:** Unfallkostenraten für Unfalltyp 2 in Abhängigkeit von der Knotenpunktgrundform
- Bild 38:** Unfallkostenraten für Unfalltyp 3 in Abhängigkeit von der Knotenpunktgrundform
- Bild 39:** Anteile der durchfahrenden bzw. anhaltende Fahrzeuge, jeweils bezogen auf die Rechts- bzw. Linkseinbieger
- Bild 40:** Anteile der anhaltenden bzw. durchfahrenden Einbieger nach Verkehrsregelung
- Bild 41:** Anteil von Einzelfahrzeugen und Fahrzeugen in Pulksituationen
- Bild 42:** Einfluss der Aufstellbreite auf den Anteil nebeneinanderstehender Fahrzeuge
- Bild 43:** Fahrpliniendiagramm der übergeordneten Straße; Darstellung der Längs-/Querabstände zum Erfassungspunkt (links), Längsabstands-/Zeit bzw. Geschwindigkeits-/Zeit-Diagramm (rechts), Foto des zugehörigen Abbiegevorgangs 1 Sekunde vor Erreichen des Trajektorien-Schnittpunktes durch Gegenverkehr (Bsp. 1)
- Bild 44:** Fahrpliniendiagramm der übergeordneten Straße; Darstellung der Längs-/Querabstände zum Erfassungspunkt (links), Längsabstands-/Zeit bzw. Geschwindigkeits-/Zeit-Diagramm (rechts), Foto des zugehörigen Abbiegevorgangs 1 Sekunde vor Erreichen des Trajektorien-Schnittpunktes durch Gegenverkehr (Bsp. 2)
- Bild 45:** Zeitlücken zwischen Linksabbiegern und entgegenkommenden Geradeausfahrern je Knotenpunktkollektiv
- Bild 46:** Statistische Verteilung der Verkehrsstärken (DTV) [Kfz/24h] (links) und Unfallkostenraten (rechts) je 40er-Kollektiv
- Bild 47:** Abbiegegeschwindigkeiten des Linksabbiegers bei der Fahrzeugfolge Linksabbieger – entgegenkommender Geradeausfahrer je Knotenpunktkollektiv
- Bild 48:** Beispielhafte Geschwindigkeitsverläufe für Durchfahrer und Linksabbieger an einem Knotenpunkt (farbliche Zuordnung nach der jeweiligen Zeitlücke zum Zeitpunkt der Trennung beider Fahrplinien)
- Bild 49:** Zeitlücken und Fahrgeschwindigkeiten der Fahrzeugfolge Linksabbieger – nachfolgender Durchfahrer (Geschwindigkeit im Knoten)
- Bild 50:** Zeitlücken und Fahrgeschwindigkeiten der Fahrzeugfolge Linksabbieger – nachfolgender Durchfahrer (Situation am Beginn des Linksabbiegestreifens)
- Bild 51:** Zeitlücken und Geschwindigkeitsänderung des Nachfolgenden (Fahrzeugfolge Rechtseinbieger – nachfolgender Durchfahrer)
- Bild 52:** Zeitlücken und Geschwindigkeit des Nachfolgenden im Knotenpunkt (Fahrzeugfolge Rechtseinbieger – nachfolgender Durchfahrer)
- Bild 53:** Fahrgeschwindigkeiten von Linksabbiegern und Zeitlücken in der Fahrzeugfolge Linksabbieger-Rechtsabbieger
- Bild 54:** Beispielbilder zu Fahrzeugfolge Linksabbieger – Rechtsabbieger mit geringer Zeitlücke (Kollektiv 3)
- Bild 55:** Fahrgeschwindigkeiten des Rechtsabbiegers und Zeitlücken in der Fahrzeugfolge Rechtsabbieger-Linksabbieger
- Bild 56:** Fahrpliniendiagramm der untergeordneten Zufahrt; Darstellung der Längs-/Querabstände zum Erfassungspunkt (links), Längsabstands-/Zeit bzw. Geschwindigkeits-/Zeit-Diagramm (rechts); linkes Bild: Ankunft des ersten Linksabbiegers (hellgrün), rechts: Wegfahrt des zweiten Linksabbiegers (dunkelgrün) und Fortsetzung des Abbiegevorgangs des Rechtsabbiegers

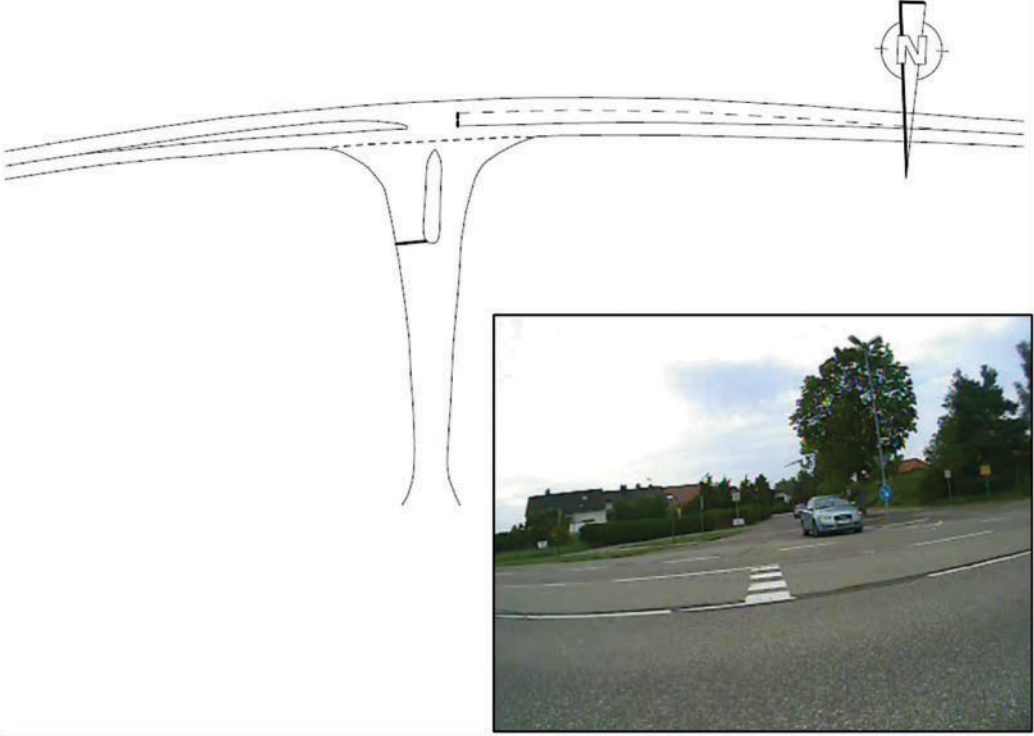
Tabellen

Tab. 1: Übersicht Knotenpunktkollektiv

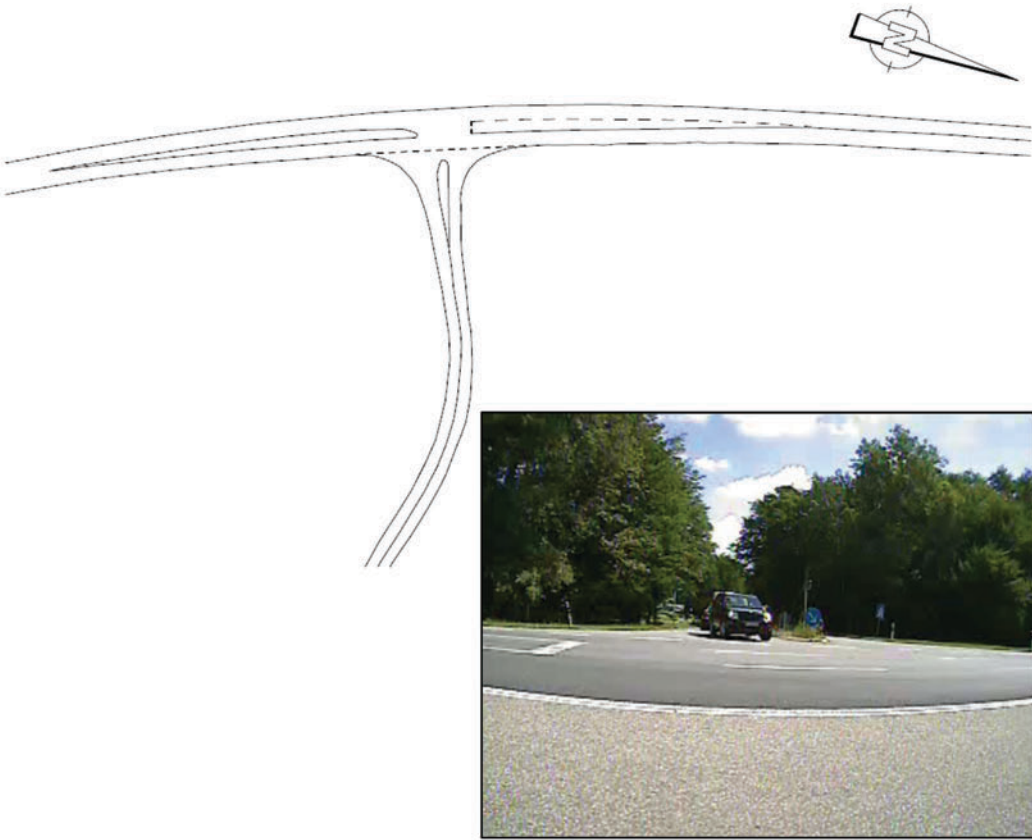
Tab. 2: Übersicht der Knotenpunktkollektive zur detaillierten Untersuchung des Fahrverhaltens und der Verkehrssicherheit

Tab. 3: Anteile der Linksabbieger (L-Abb) vor dem Gegenverkehr (G) in Anhängigkeit von der detektierten fiktiven Zeitlücke

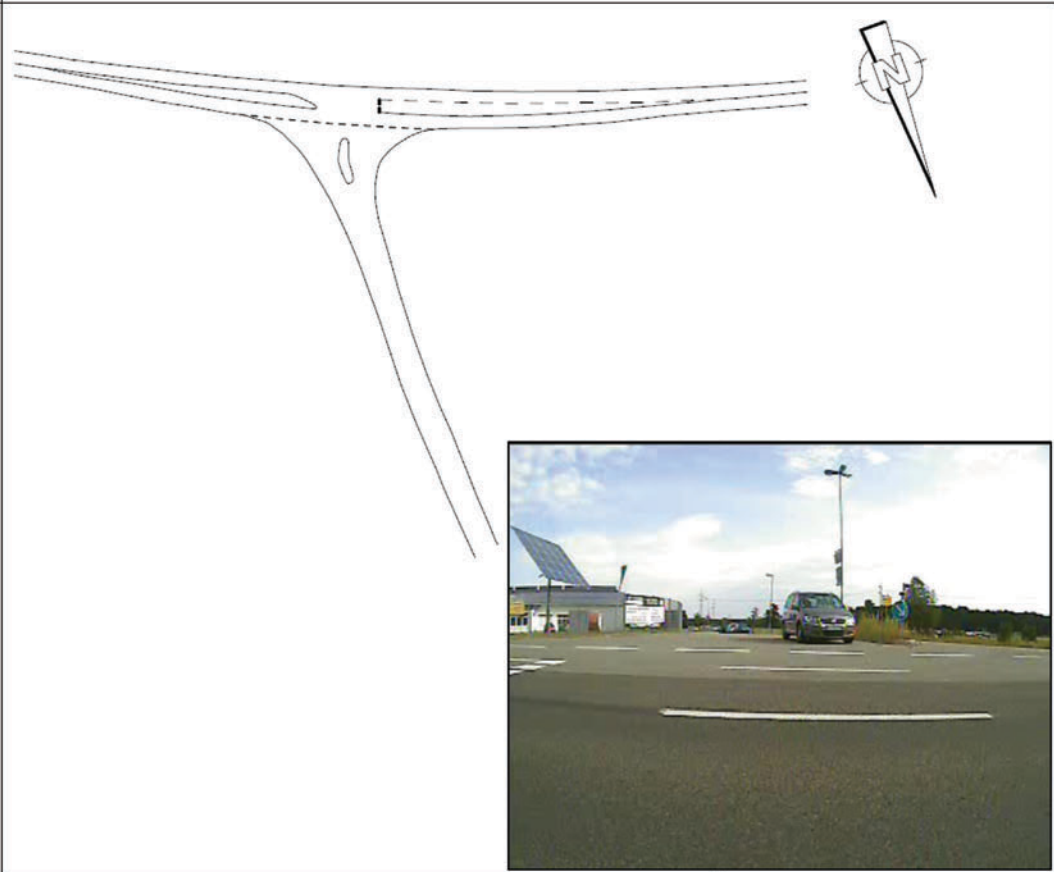
Anhang 1.1: Steckbrief Knotenpunkt 681600D, Kollektiv 1

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
681600D		
	Kollektiv	1
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	70
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	8,5
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	27
	Bemerkung	Rote Radfahrerfurt über Tropfenmitte

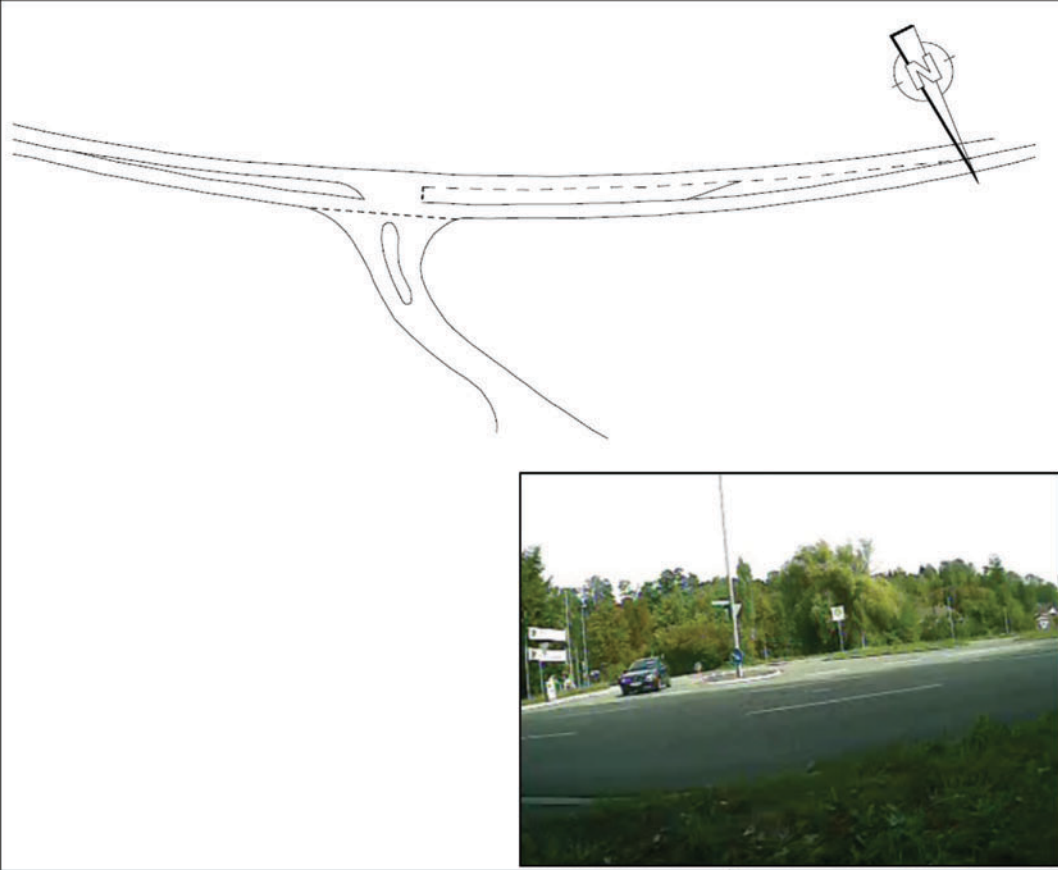
Anhang 1.2: Steckbrief Knotenpunkt 681700A, Kollektiv 1

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
681700A	 <p>The technical drawing shows a road junction with a north arrow pointing towards the top right. The drawing illustrates a road with a dashed center line that splits into two lanes, with a third lane branching off to the left. A photograph in the bottom right corner shows the actual junction, which is a T-junction with a car on the road and trees in the background.</p>	
	Kollektiv	1
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	70
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	35
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	4
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	5
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	1
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	4
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	13
	Bemerkung	-

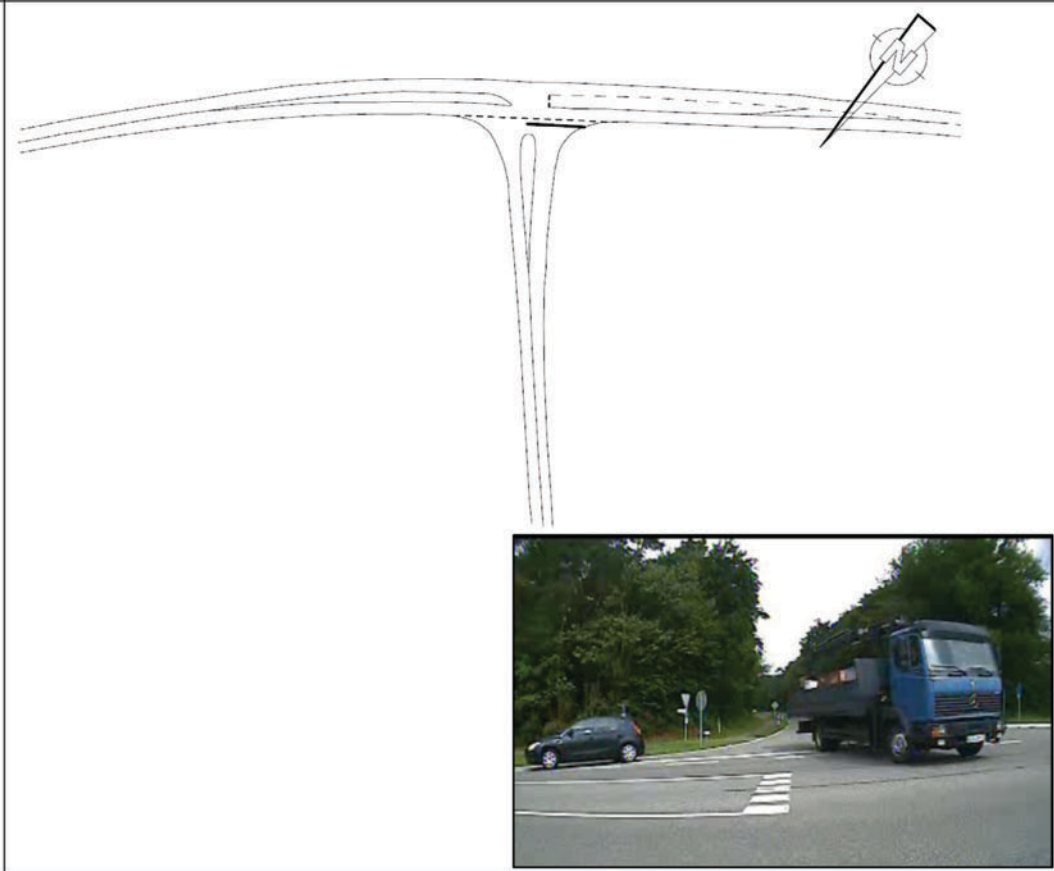
Anhang 1.3: Steckbrief Knotenpunkt 681700C, Kollektiv 1

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
681700C	 <p>The sketch shows a T-junction with a main road from the top and a side road from the bottom. A north arrow is located in the top right corner. A photograph in the bottom right corner shows the real-world junction with a car and a building in the background.</p>	
	Kollektiv	1
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	45
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	9
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	5
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	6
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	9
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	15
	Bemerkung	-

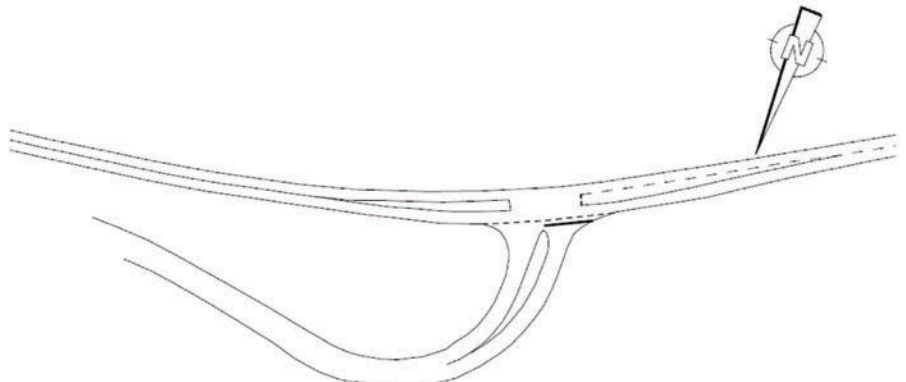

Anhang 1.4: Steckbrief Knotenpunkt 681700J, Kollektiv 1

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
681700J		
	Kollektiv	1
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	80 (!)
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	6,5
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	3
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	13
	Bemerkung	-

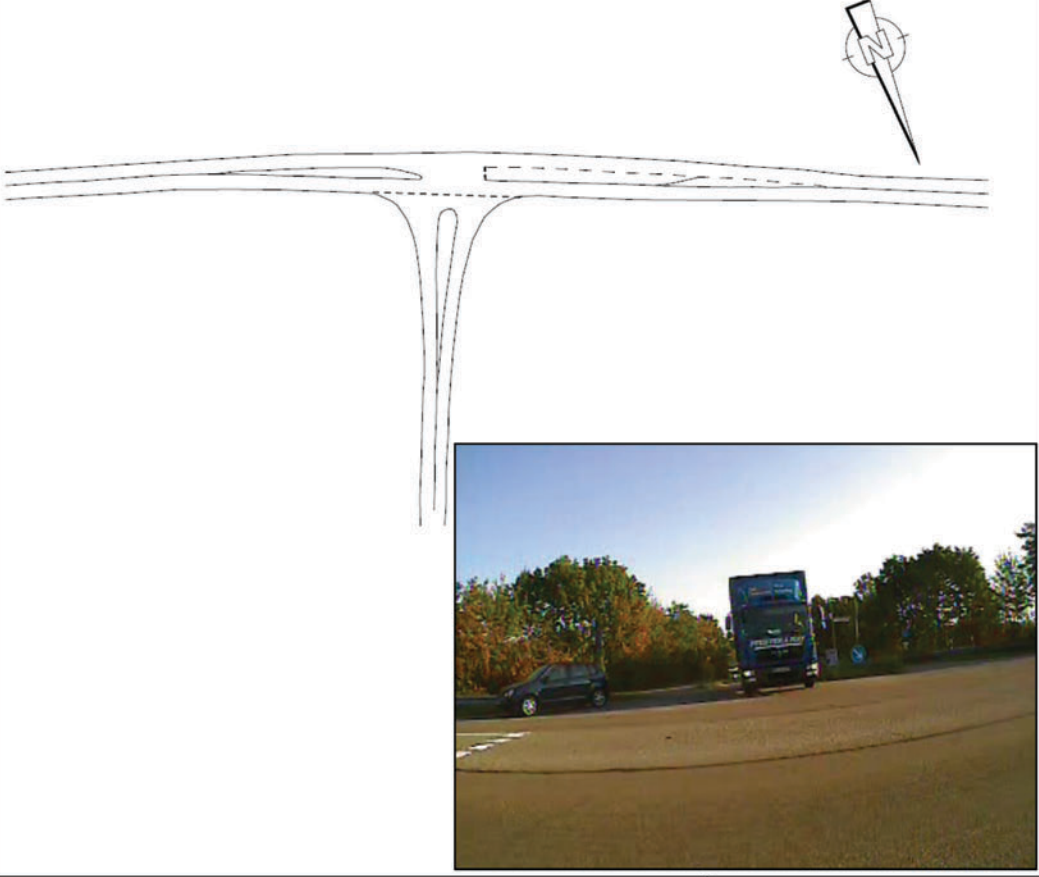
Anhang 1.5: Steckbrief Knotenpunkt 6817038, Kollektiv 1

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6817038		
	Kollektiv	1
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	70
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	50
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	5,5
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	14
	Bemerkung	Radfahrerführung über Tropfenmitte

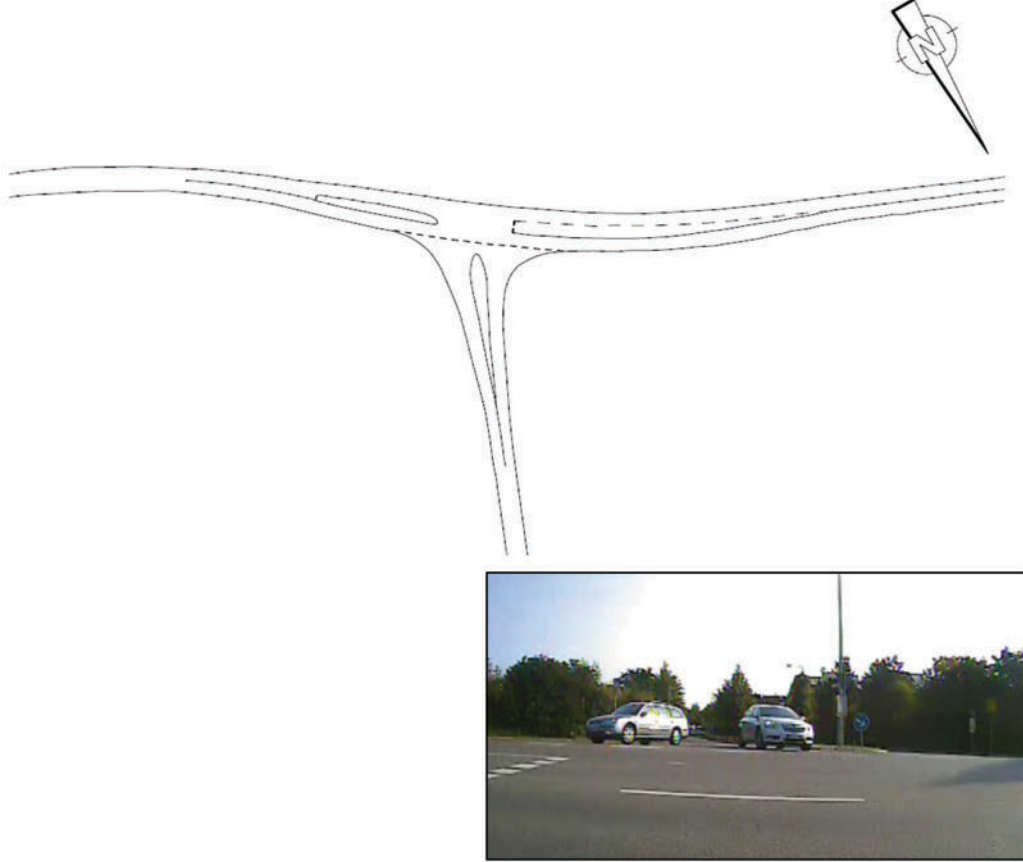
Anhang 1.6: Steckbrief Knotenpunkt 691600B, Kollektiv 1

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
691600B	 	
	Kollektiv	1
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	35
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	5
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	4
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	16
	Bemerkung	-

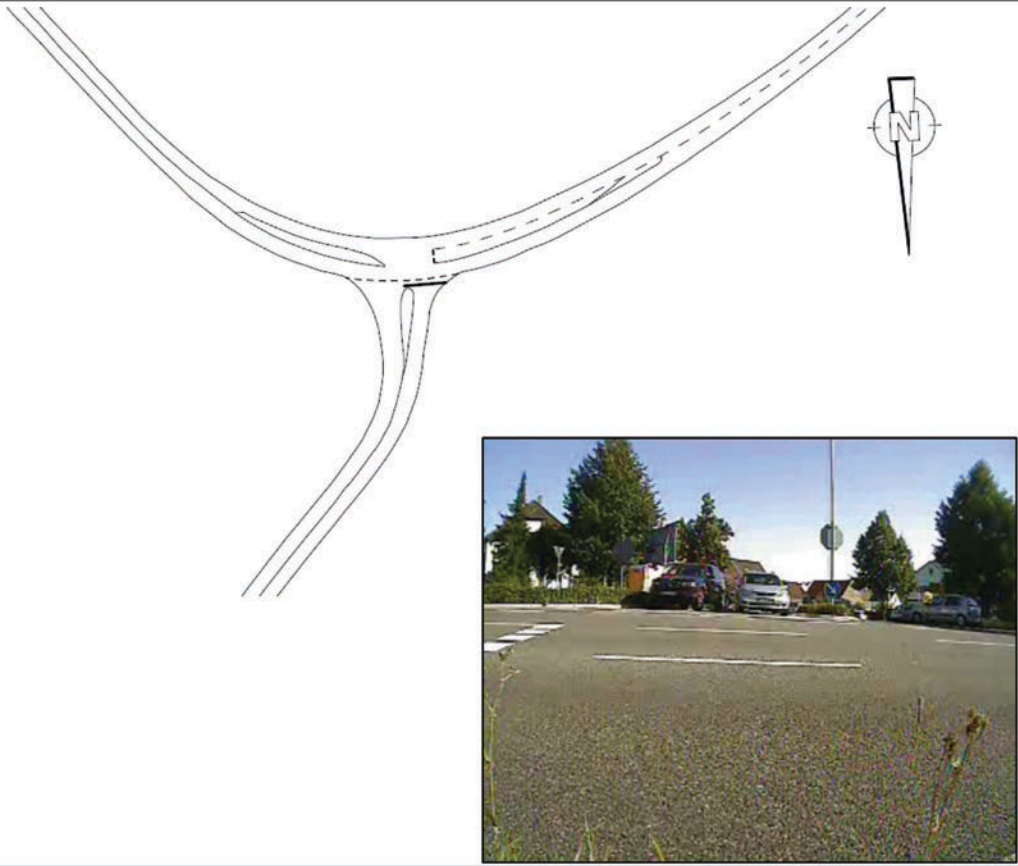
Anhang 1.7: Steckbrief Knotenpunkt 691600H, Kollektiv 1

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
691600H		
	Kollektiv	1
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	60
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	7
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	3
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	5
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	13
	Bemerkung	Radfahrerführung über Tropfenmitte

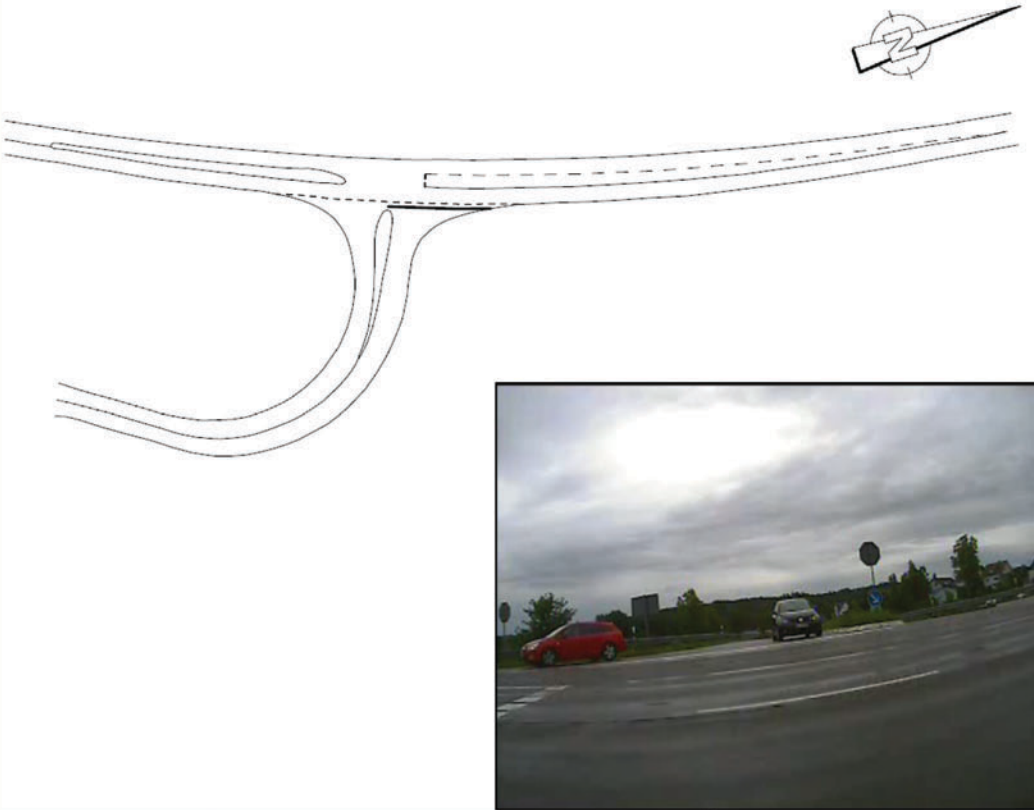
Anhang 1.8: Steckbrief Knotenpunkt 691700E, Kollektiv 1

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
691700E	 <p>The sketch shows a road junction with a north arrow pointing towards the top right. The junction has a main road from the left and a side road from the bottom. A photograph in the bottom right corner shows the actual junction with two cars and a street sign.</p>	
	Kollektiv	1
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	55
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	7
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	3
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	3
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	4
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	13
	Bemerkung	Radfahrerführung über Tropfenmitte

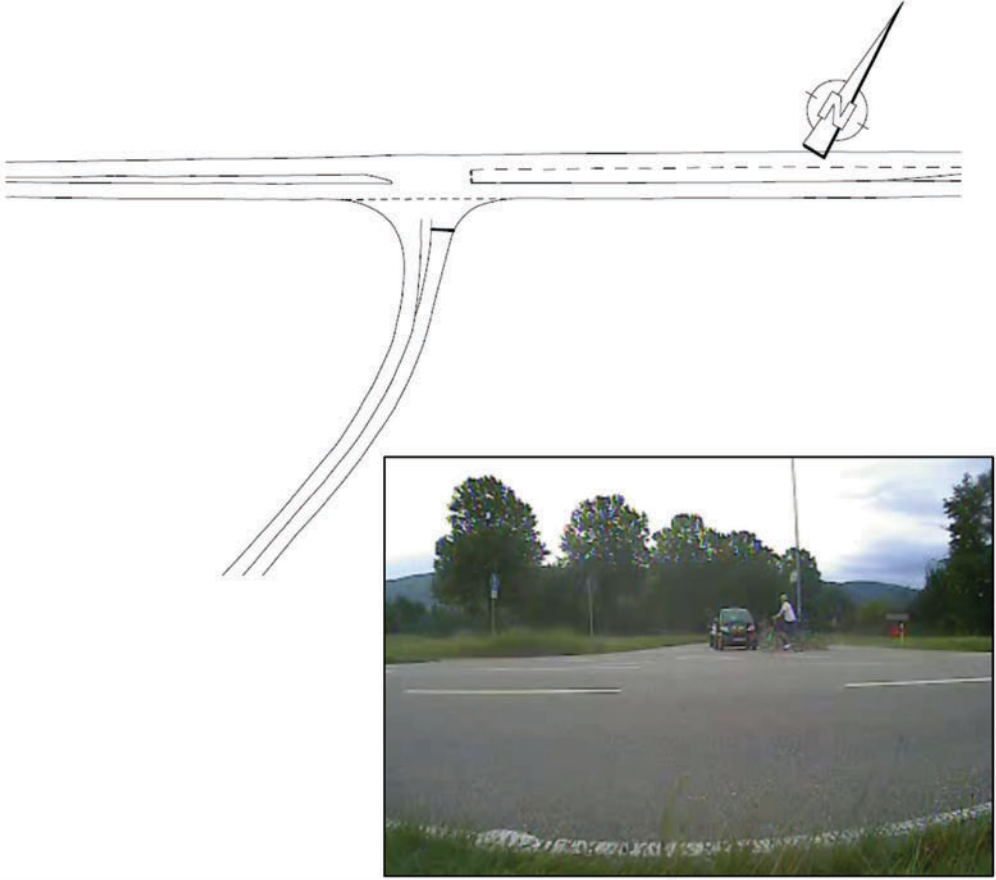
Anhang 1.9: Steckbrief Knotenpunkt 6917016, Kollektiv 1

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6917016		
	Kollektiv	1
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	40
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	4,3
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	9
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	3
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	2
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	14
	Bemerkung	Radfahrerführung über Tropfenmitte

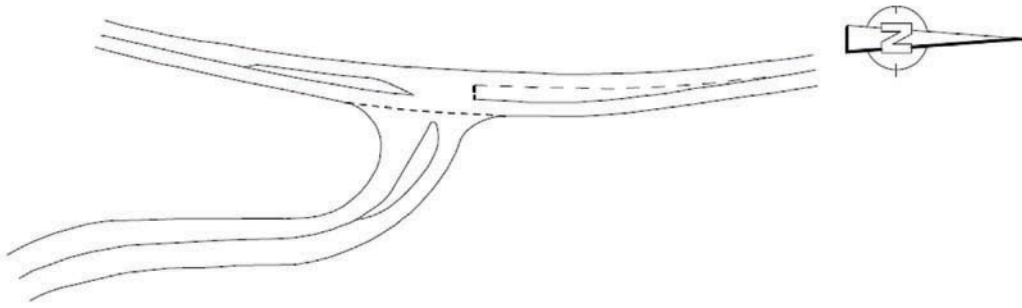

Anhang 1.10: Steckbrief Knotenpunkt 6917035, Kollektiv 1

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6917035	 <p>The sketch shows a road junction with a main road on the right and a side road on the left. A north arrow is located in the top right corner. An inset photograph shows the real-world scene with a red car and a grey car at the junction under a cloudy sky.</p>	
	Kollektiv	1
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	95
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	5
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	3
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	14
	Bemerkung	-

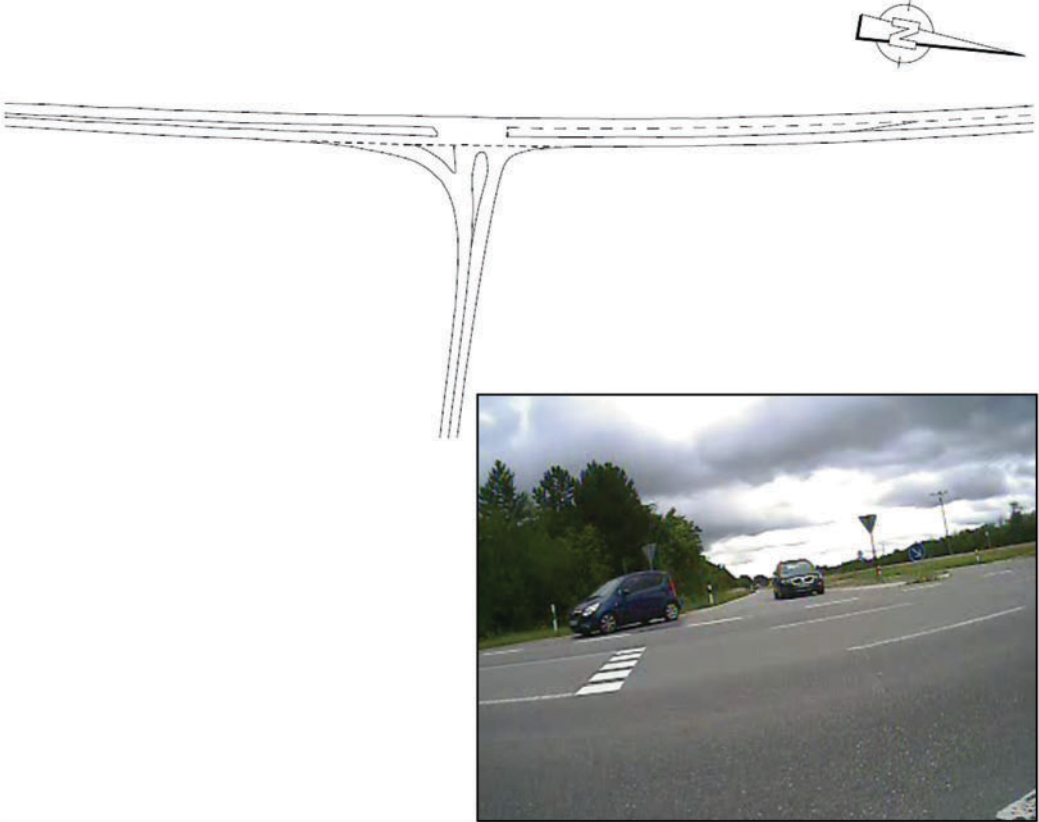
Anhang 1.11: Steckbrief Knotenpunkt 701600K, Kollektiv 1

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
701600K		
	Kollektiv	1
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	100
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	6,2
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	12
	Bemerkung	Radfahrerfurt rot eingefärbt

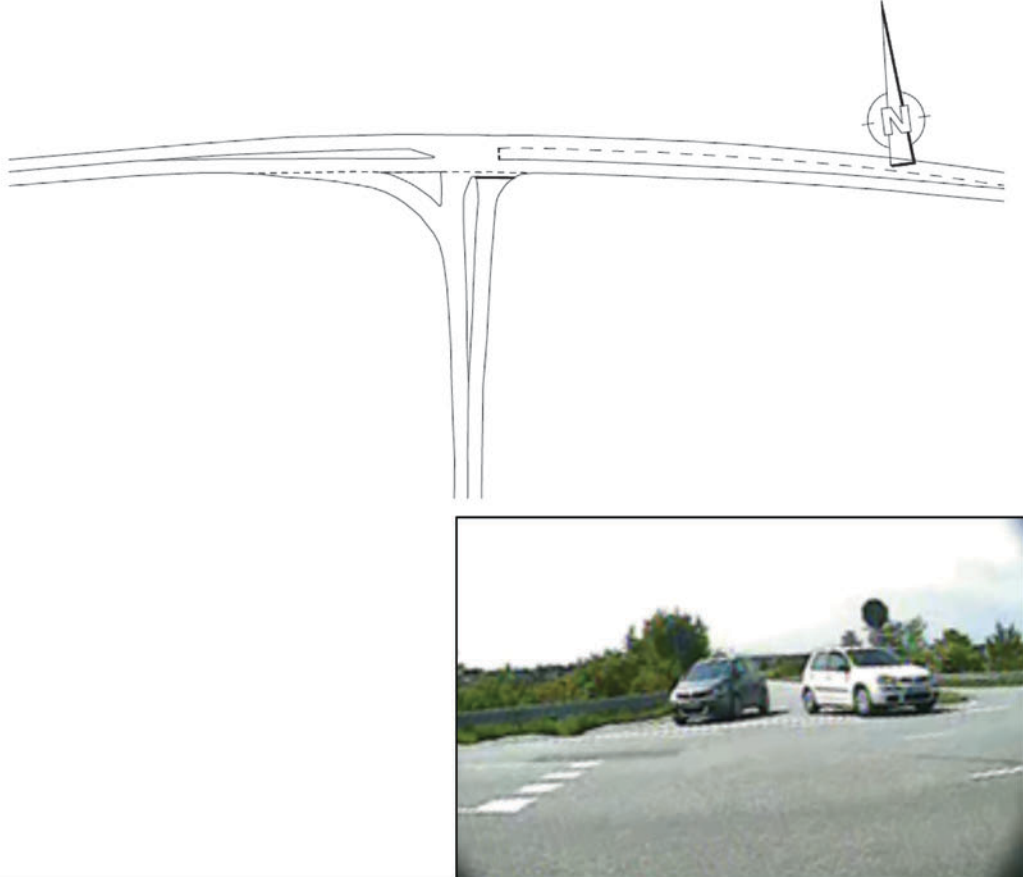
Anhang 1.12: Steckbrief Knotenpunkt 7116038, Kollektiv 1

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
7116038	 	
	Kollektiv	1
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	30
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	4,9
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	3
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	8
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	3
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	9
	Bemerkung	-

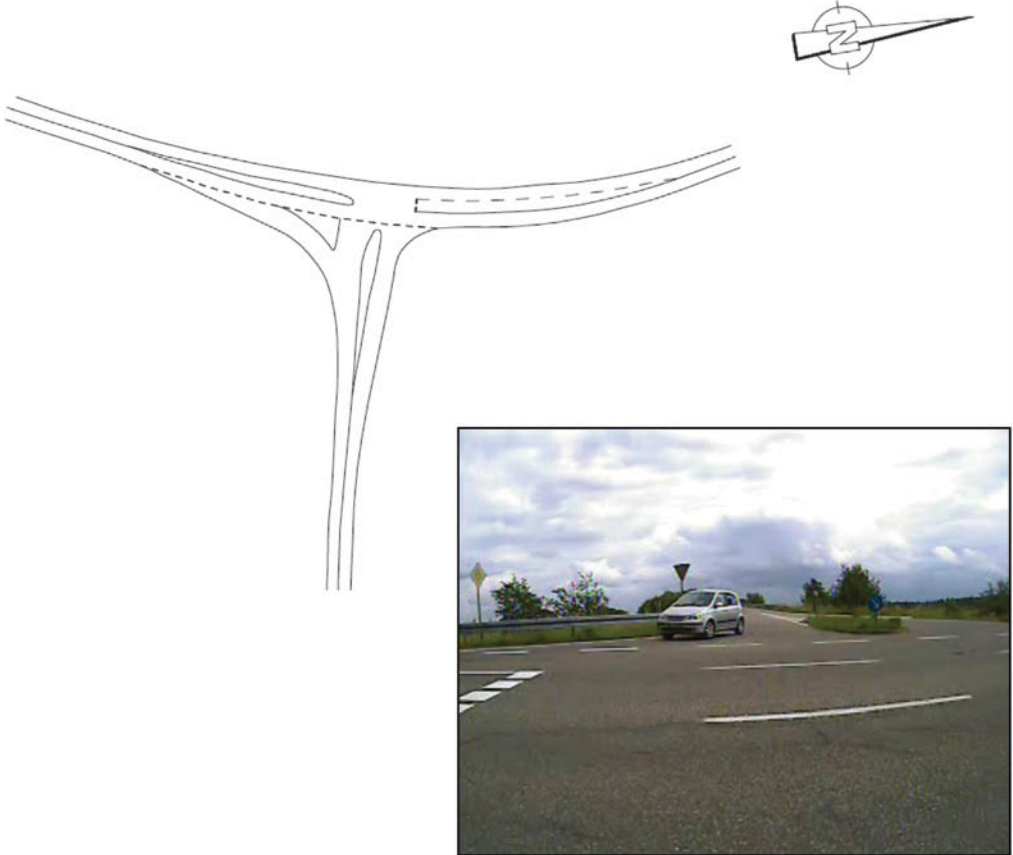
Anhang 1.13: Steckbrief Knotenpunkt 6717030, Kollektiv 2

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6717030	 <p>The sketch shows a road junction with a north arrow pointing towards the top right. The junction has a central 'Tropfenmitte' (teardrop center) and a 'Radfahrerführung' (cyclist path) indicated by dashed lines. A photograph in the bottom right corner shows the real-world junction with a blue car and a white car on the road, and a cloudy sky.</p>	
	Kollektiv	2
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	115
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	6
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	5
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	7
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	5
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	8
	Bemerkung	Radfahrerführung über Tropfenmitte

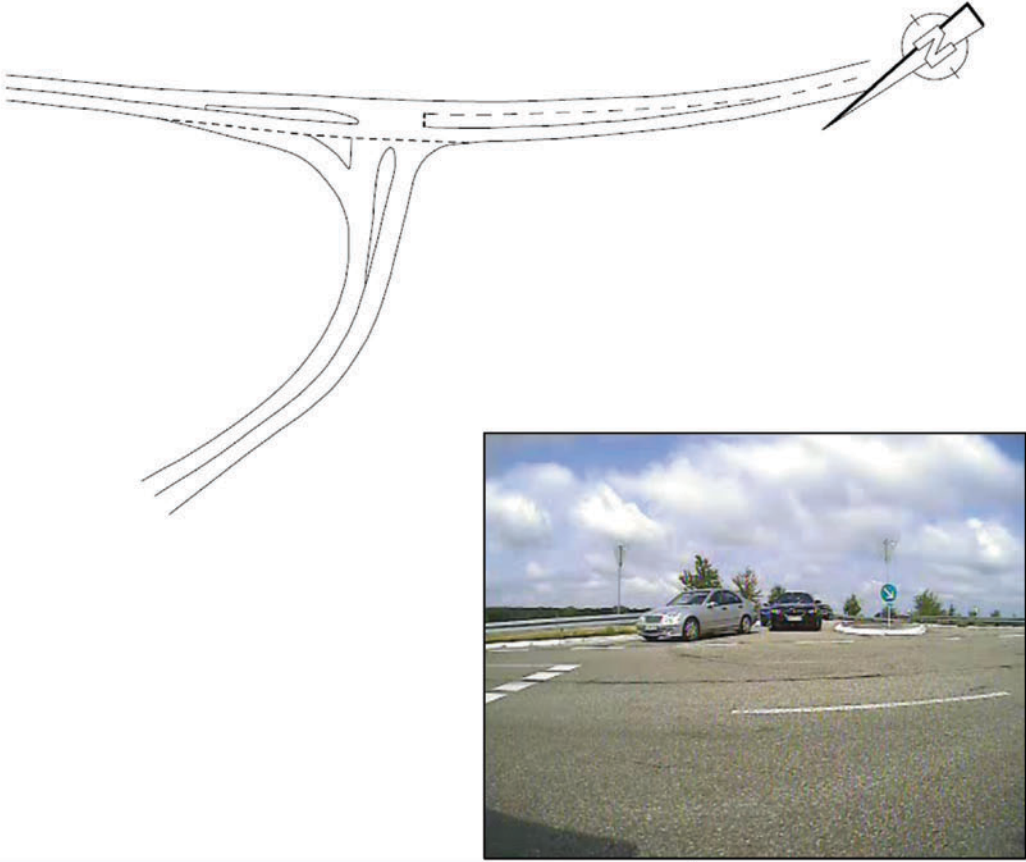
Anhang 1.14: Steckbrief Knotenpunkt 681600A, Kollektiv 2

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
681600A	 <p>The technical sketch shows a road junction with a north arrow pointing towards the top right. The junction has a main road from the left and a road branching off to the right. A photograph below the sketch shows the actual junction with a dark car and a white car driving on the road.</p>	
	Kollektiv	2
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	70
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	100
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	6,5
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	5
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	2
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	3
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	11
	Bemerkung	-

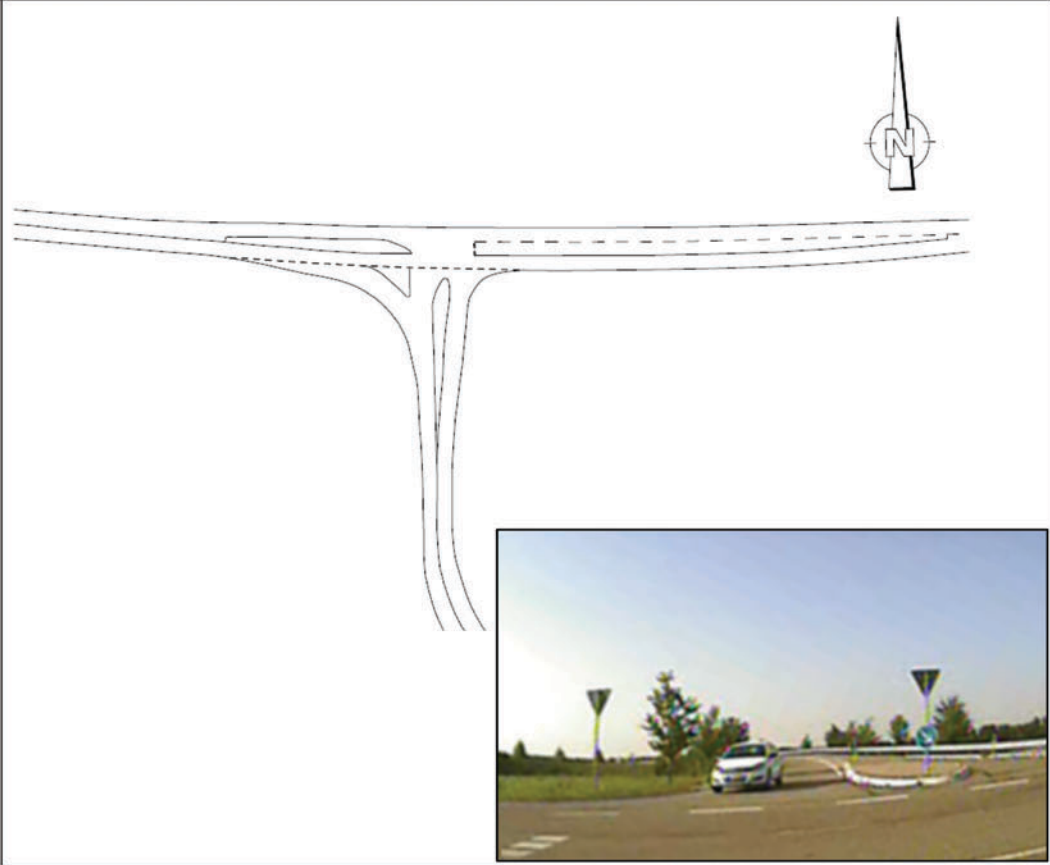
Anhang 1.15: Steckbrief Knotenpunkt 681600E, Kollektiv 2

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
681600E	 <p>The sketch shows a road junction with a north arrow pointing towards the top right. A photograph in the bottom right corner shows the actual junction with a car and a road sign.</p>	
	Kollektiv	2
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	40
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	5
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	2
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	5
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	10
	Bemerkung	Radfahrerführung hinter Tropfen

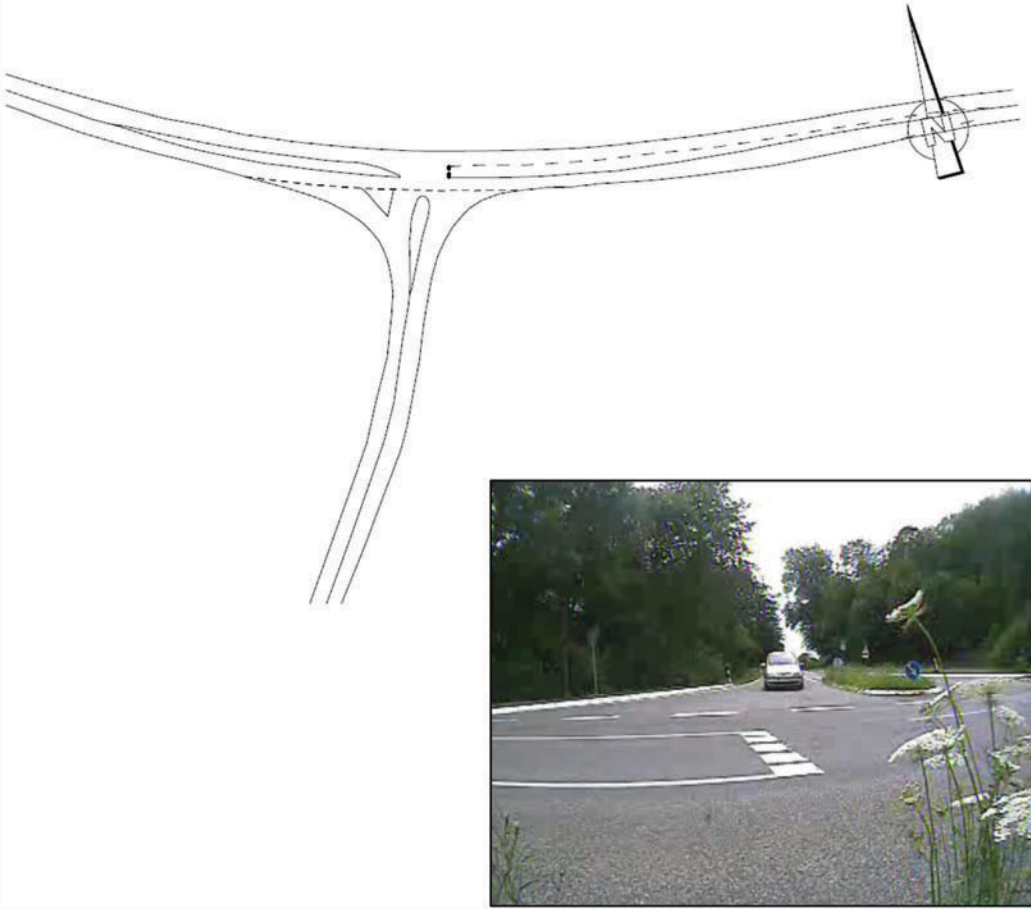
Anhang 1.16: Steckbrief Knotenpunkt 6816029a, Kollektiv 2

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6816029a	 <p>The technical sketch shows a road junction with three arms. One arm is a straight road with a dashed center line. The other two arms branch off at an angle. A lightning bolt symbol is in the top right corner. The photograph shows a real-world view of the junction with a silver car and a dark car on the road, a blue sky with clouds, and a green circular sign with a white arrow.</p>	
	Kollektiv	2
	Grundform	TPG – E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	Rampe
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	40
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	4,5
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	10
	Sichtweite 3 –2 in 5 m Klassen	1
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	2
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	10
	Bemerkung	-

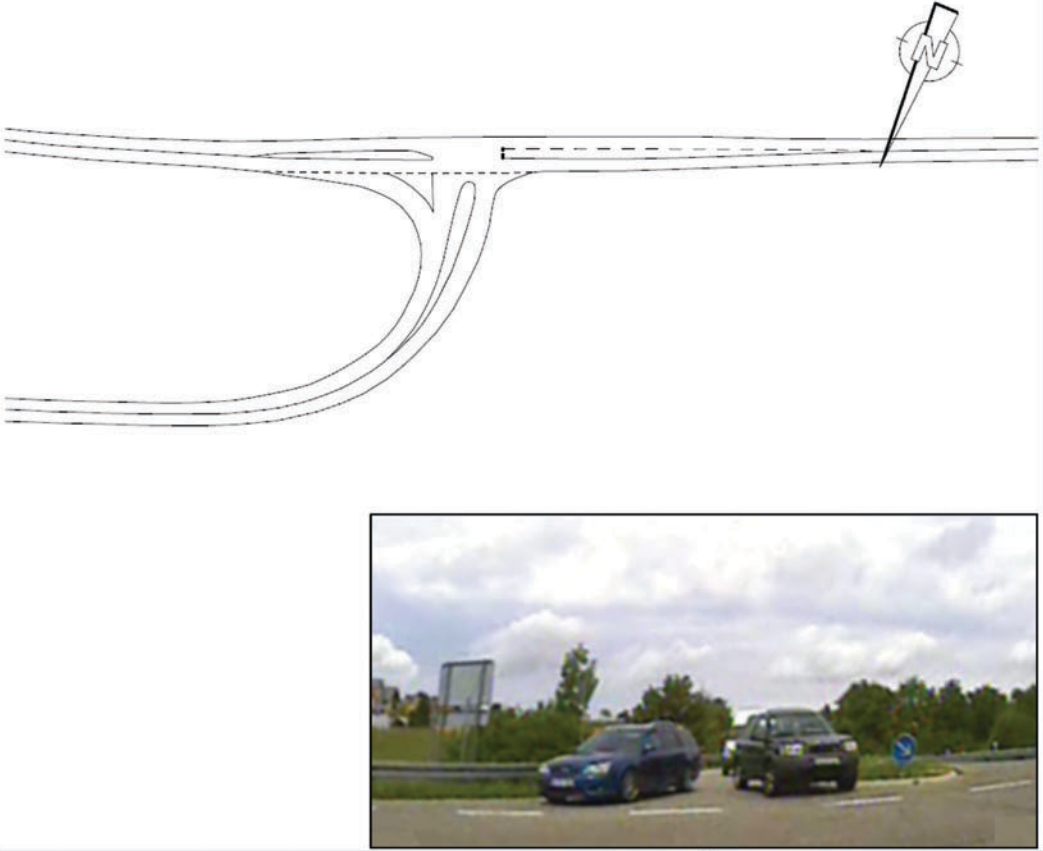
Anhang 1.17: Steckbrief Knotenpunkt 6816029b, Kollektiv 2

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6816029b	 <p>The sketch shows a T-junction with a north arrow pointing upwards. The main road has two lanes in each direction, and the side road has two lanes. A dashed line indicates the centerline of the main road. The photograph shows a real-world view of the junction with a white car in the center, a blue sign on the right, and a green sign on the left.</p>	
	Kollektiv	2
	Grundform	TPG-E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	Rampe
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	65
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	4
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	7
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	5
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	10
	Bemerkung	-

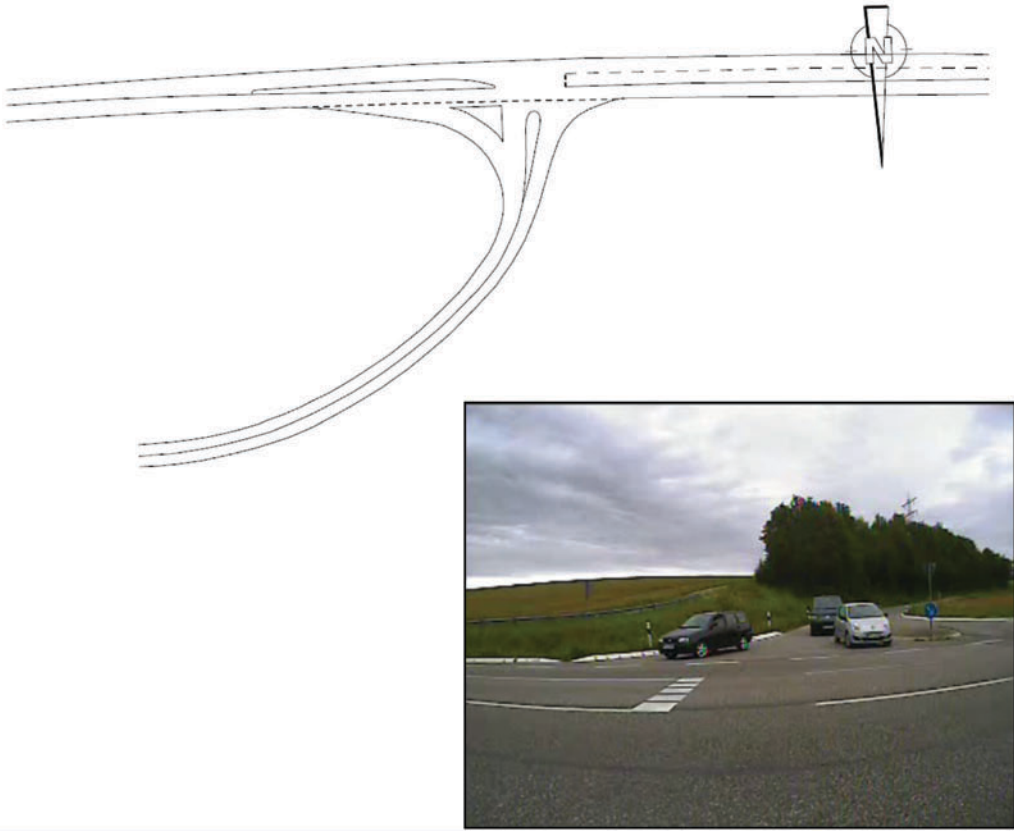
Anhang 1.18: Steckbrief Knotenpunkt 6818023, Kollektiv 2

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6818023		
	Kollektiv	2
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	50
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	7,8
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	23
	Bemerkung	-

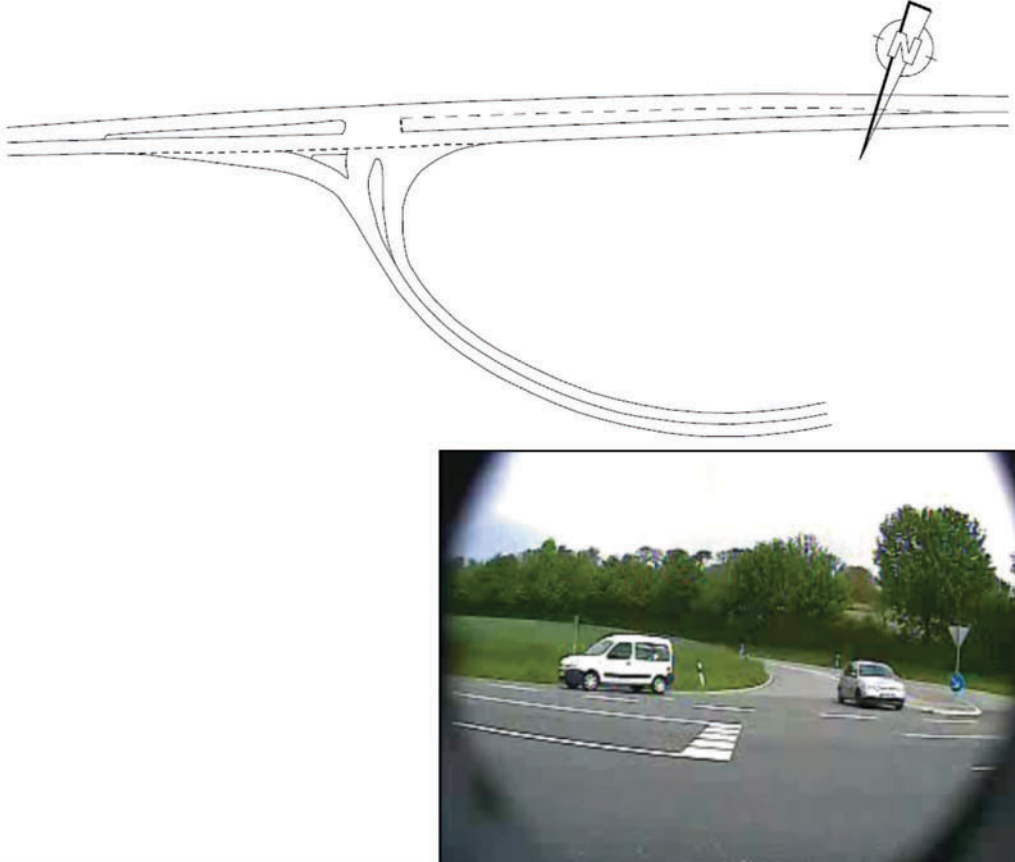
Anhang 1.19: Steckbrief Knotenpunkt 6818034a, Kollektiv 2

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6818034a		
	Kollektiv	2
	Grundform	TPG-E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	35
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	4,7
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	2
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	3
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	7
	Bemerkung	-

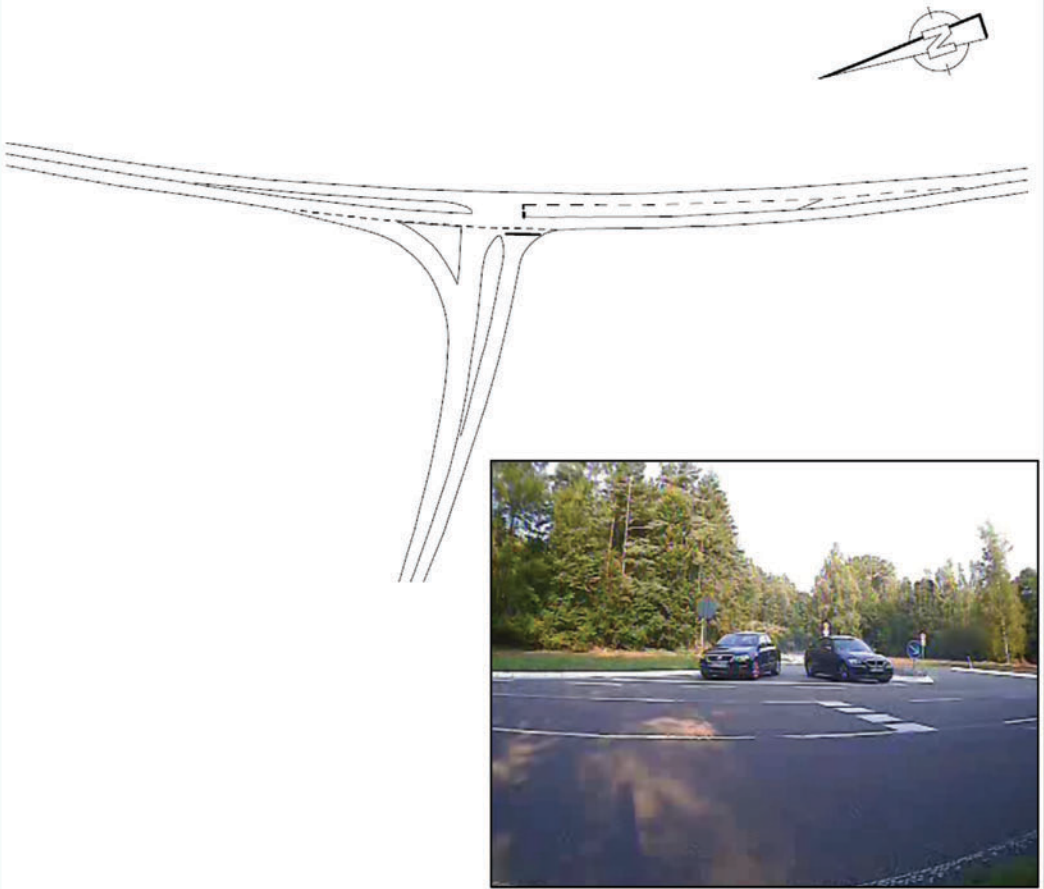
Anhang 1.20: Steckbrief Knotenpunkt 6917028, Kollektiv 2

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6917028		
	Kollektiv	2
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	130
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	7
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	6
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	16
	Bemerkung	-

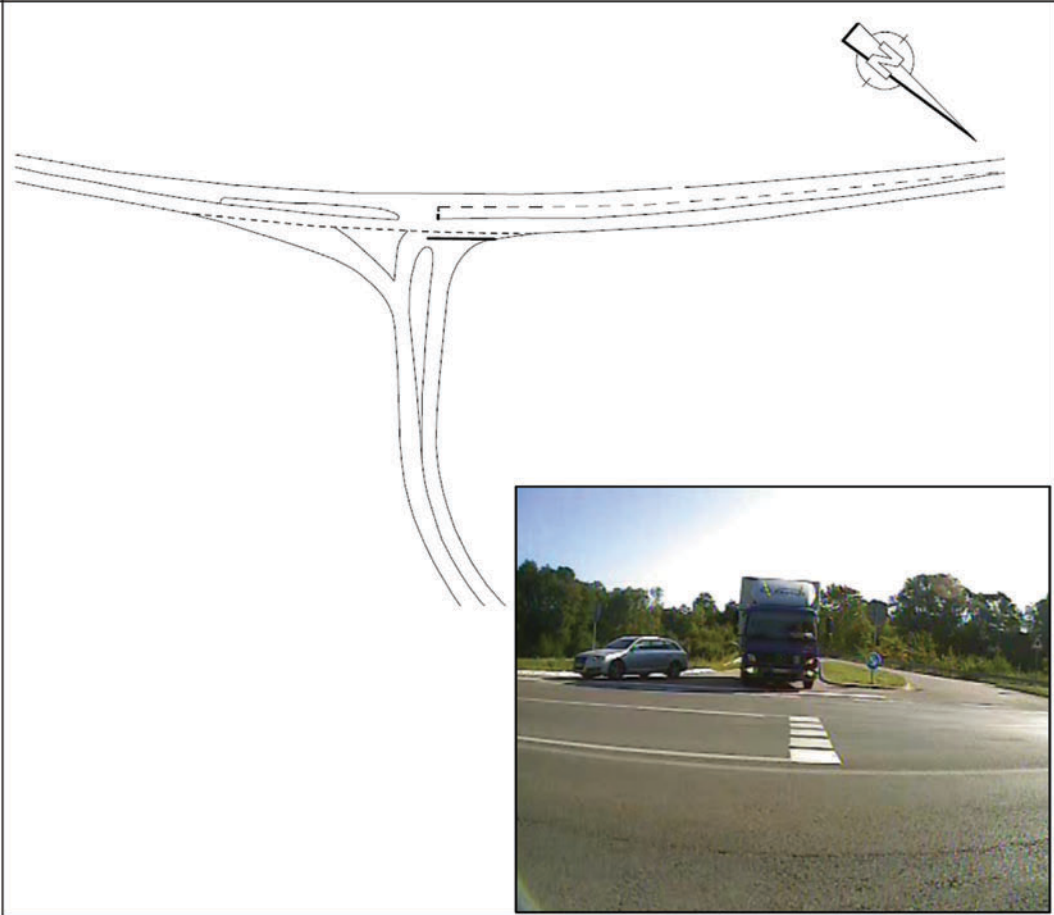
Anhang 1.21: Steckbrief Knotenpunkt 6917029, Kollektiv 2

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6917029		
	Kollektiv	2
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	80
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	10,5
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	3
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	3
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	3
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	17
	Bemerkung	-

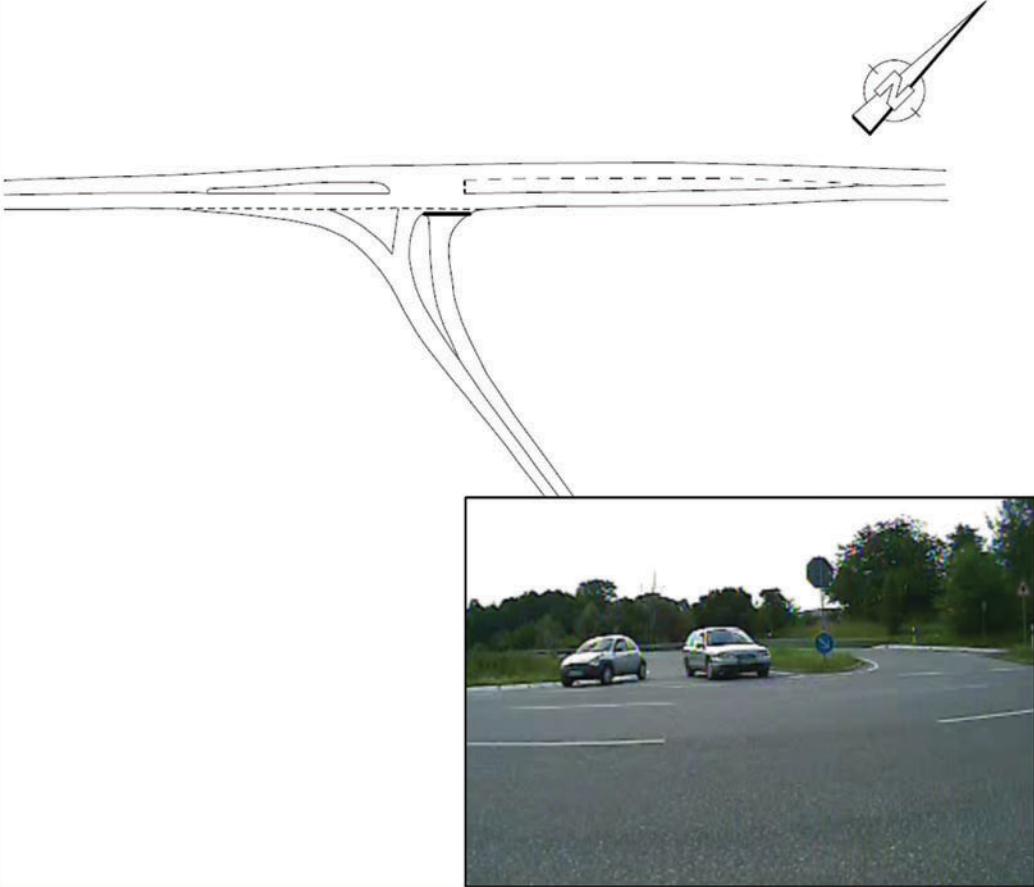
Anhang 1.22: Steckbrief Knotenpunkt 7116039, Kollektiv 2

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
7116039	 <p>The technical sketch shows a road junction with a north arrow pointing towards the top right. The junction has three arms extending from a central point. The photograph shows a real-world view of the junction, which is a roundabout with a central island. Two cars are visible on the road, and the surrounding area is green with trees.</p>	
	Kollektiv	2
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	65
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	4,3
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	3
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	5
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	13
	Bemerkung	-

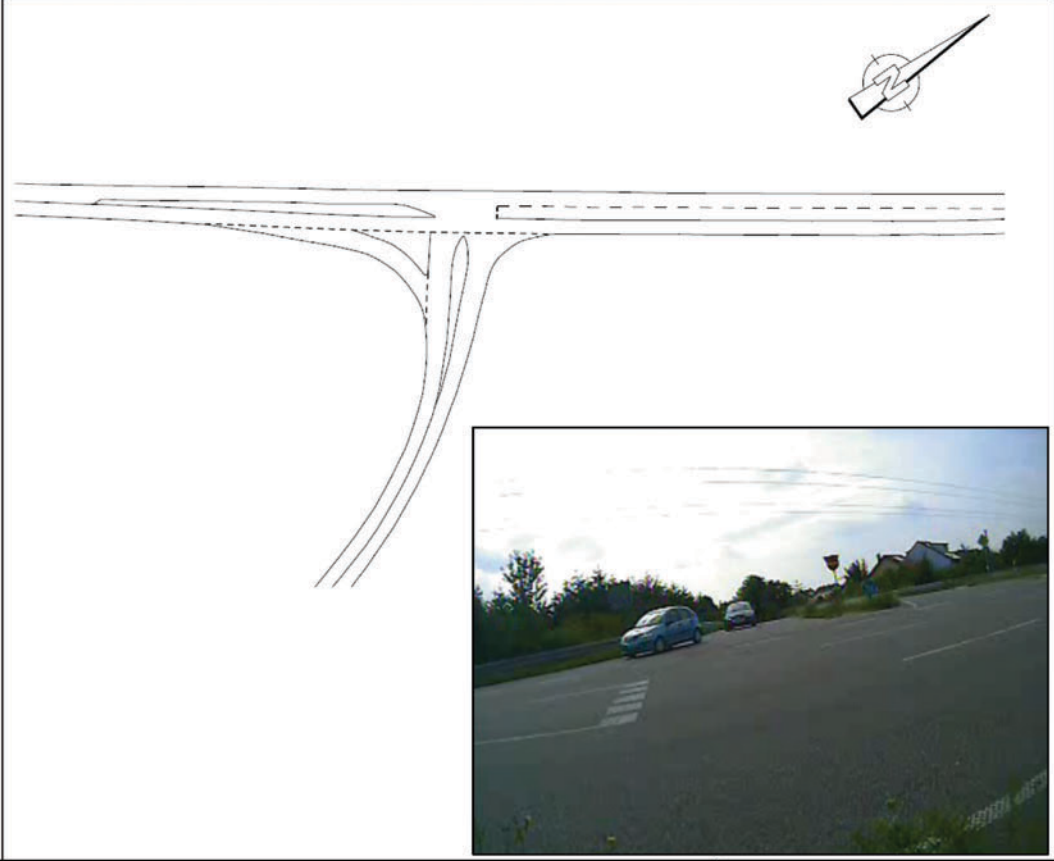
Anhang 1.23: Steckbrief Knotenpunkt 6918055a, Kollektiv 3

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6918055a		
	Kollektiv	3
	Grundform	TPG - E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	75
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	5,8
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	2
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	3
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	4
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	15
	Bemerkung	-

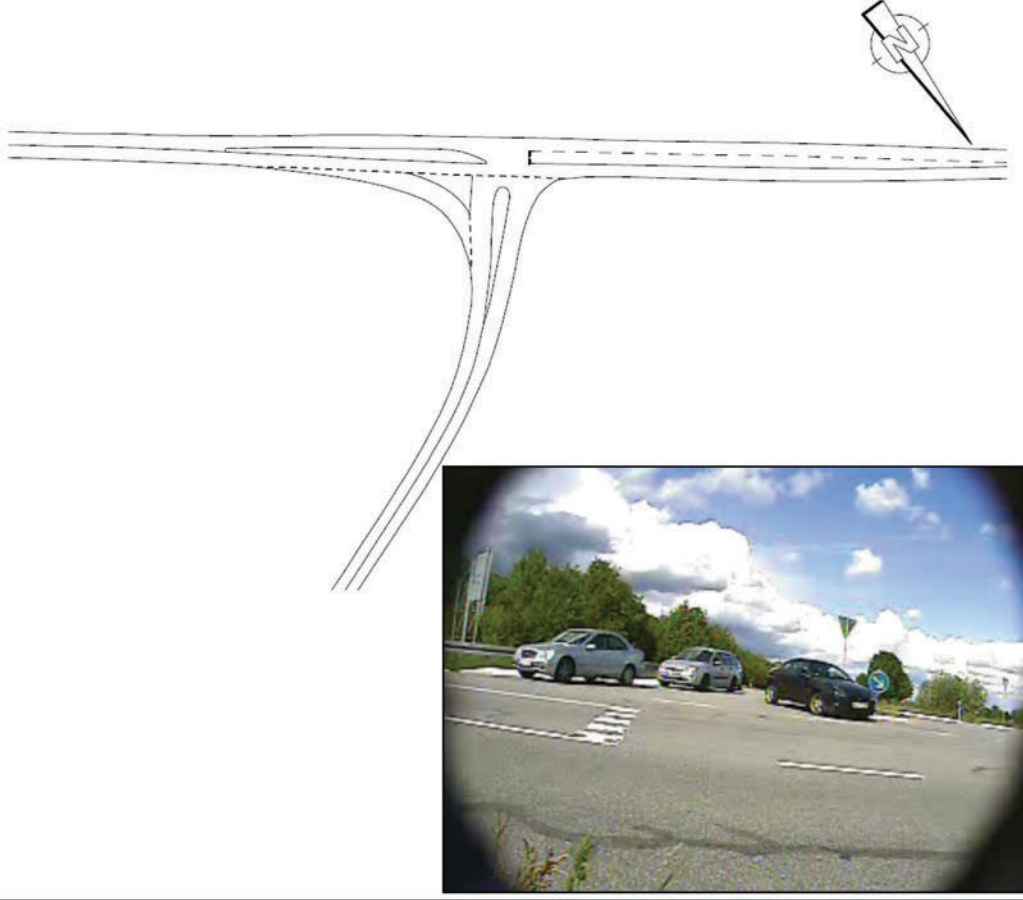
Anhang 1.24: Steckbrief Knotenpunkt 6918056a, Kollektiv 3

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6918056a		
	Kollektiv	3
	Grundform	TPG - E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	80
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	5
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	3
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	3
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	10
	Bemerkung	-

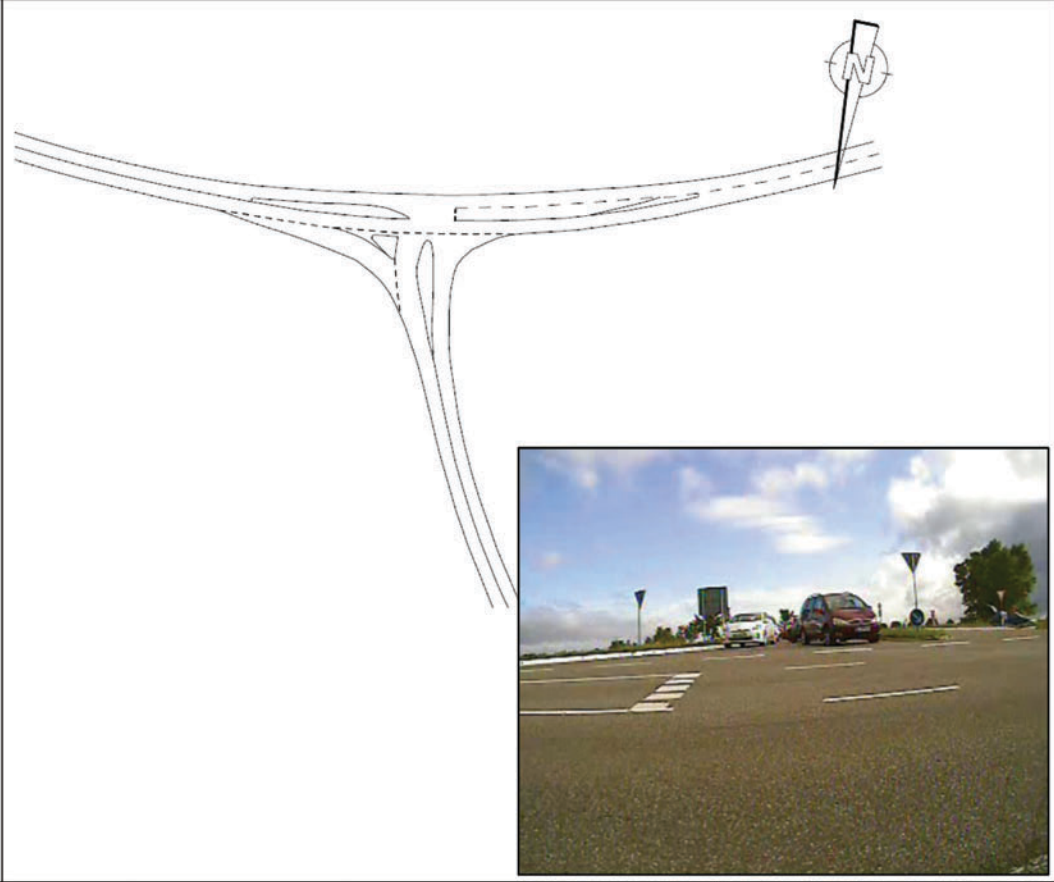
Anhang 1.25: Steckbrief Knotenpunkt 671600F, Kollektiv 3

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
671600F	 <p>The technical drawing shows a T-junction with a horizontal road on top and a vertical road on the bottom. The vertical road has three lanes, and the horizontal road has two lanes. A north arrow is located in the top right corner. Below the drawing is a photograph of the actual junction, showing a blue car and a white car on the road, with houses and trees in the background.</p>	
	Kollektiv	3
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	110
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	8
	Sichtweite 3-1 in 50m Klassen	5
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	6
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	4
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	15
	Bemerkung	-

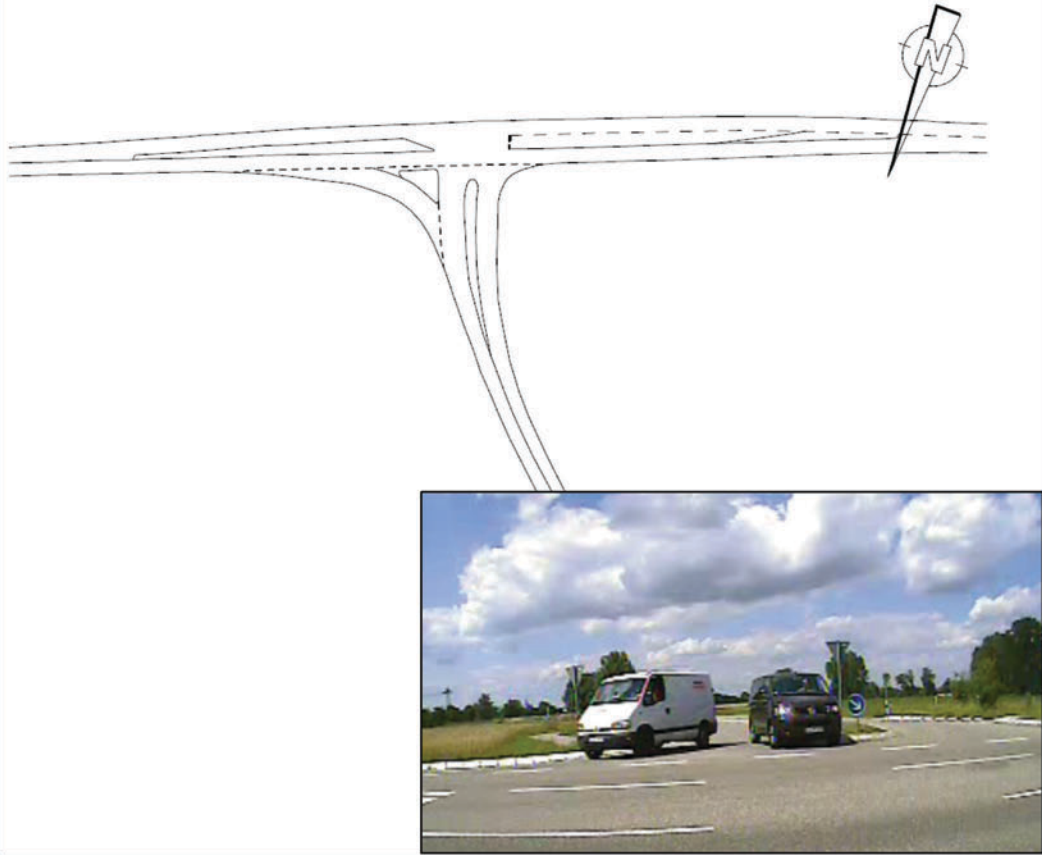
Anhang 1.26: Steckbrief Knotenpunkt 681600F, Kollektiv 3

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
681600F	 <p>The technical sketch shows a road junction with a horizontal main road and a vertical road crossing it. A north arrow is located in the top right corner. Below the sketch is a photograph of the actual junction, showing a silver car, a white car, and a dark car on the road under a blue sky with clouds.</p>	
	Kollektiv	3
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	100
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	5
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	nicht erfasst
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	14
	Bemerkung	-

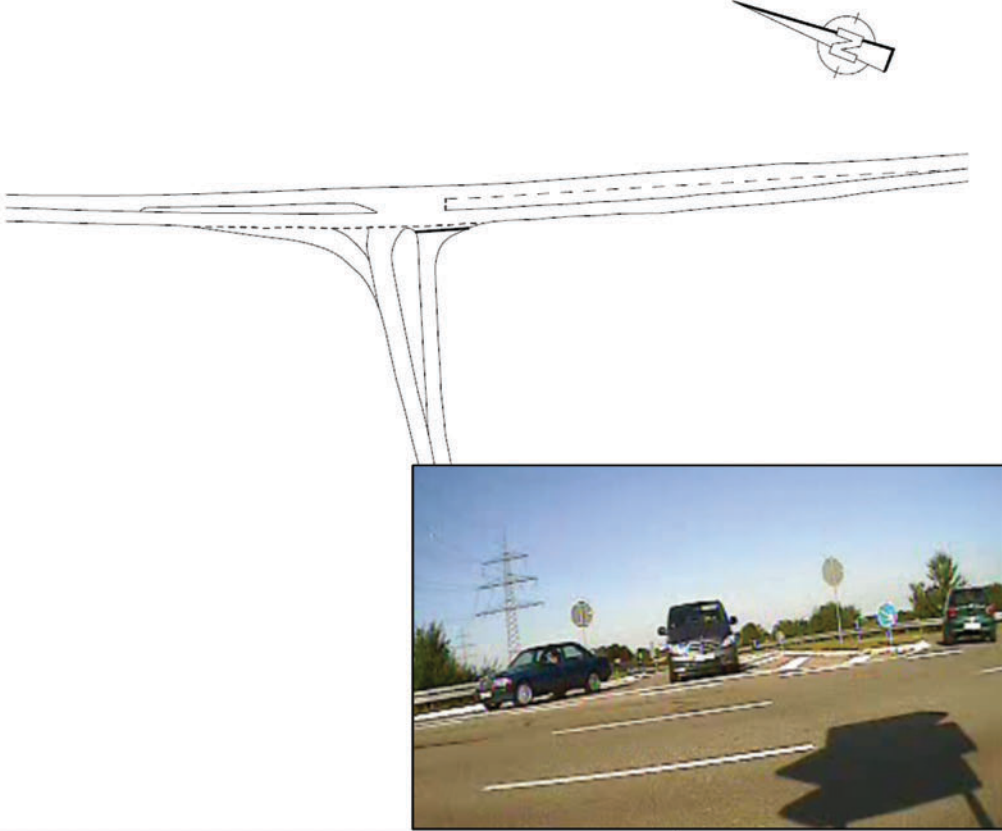
Anhang 1.27: Steckbrief Knotenpunkt 6817061, Kollektiv 3

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6817061		
	Kollektiv	3
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	70
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	30
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	6,5
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	10
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	6
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	5
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	12
	Bemerkung	Radfahrerführung hinter Tropfen

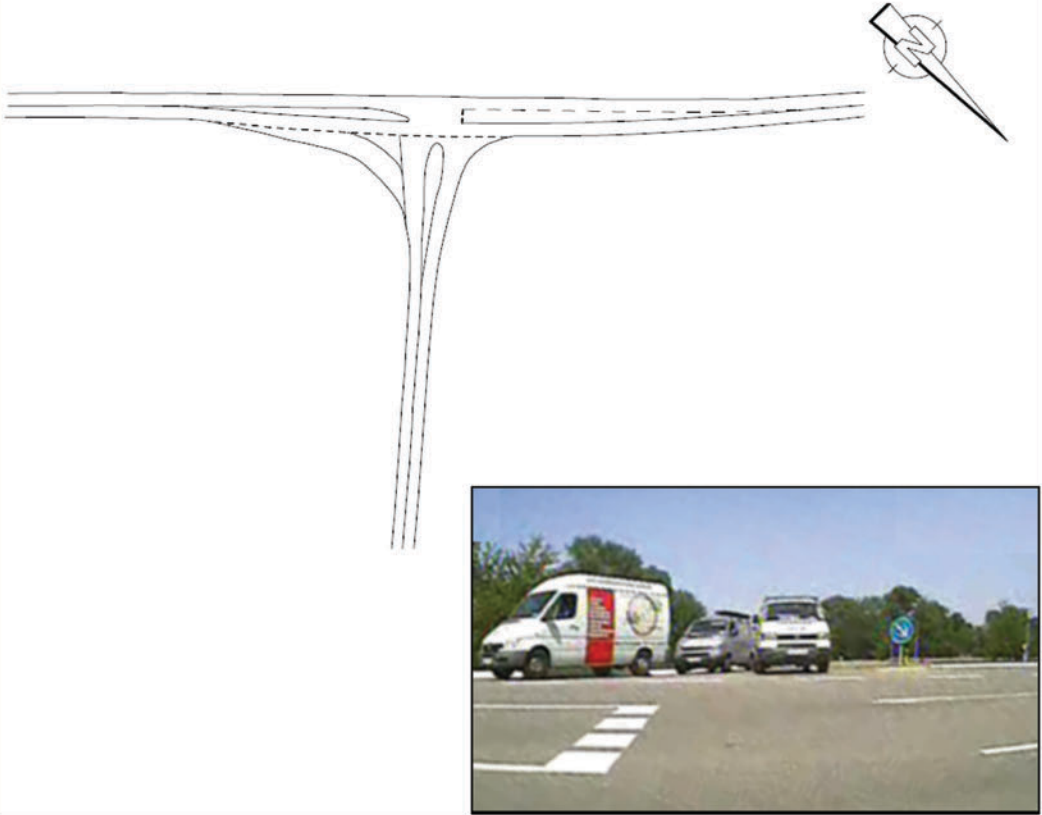
Anhang 1.28: Steckbrief Knotenpunkt 6817062, Kollektiv 3

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6817062		
	Kollektiv	3
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	70
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	45
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	5,5
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	3
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	2
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	3
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	8
	Bemerkung	Radfahrerführung hinter Tropfen

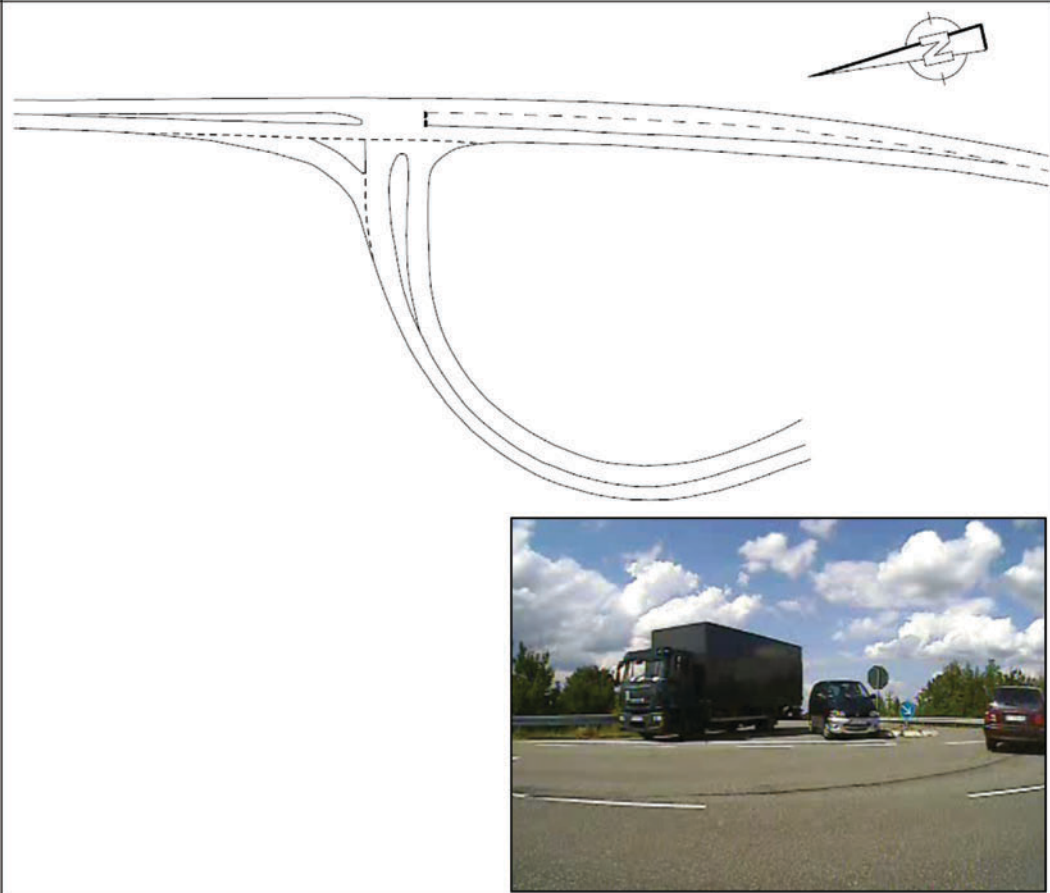
Anhang 1.29: Steckbrief Knotenpunkt 6817065b, Kollektiv 3

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6817065b		
	Kollektiv	3
	Grundform	TPG-E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	Rampe
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	45
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	4,5
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	2
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	5
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	6
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	8
	Bemerkung	-

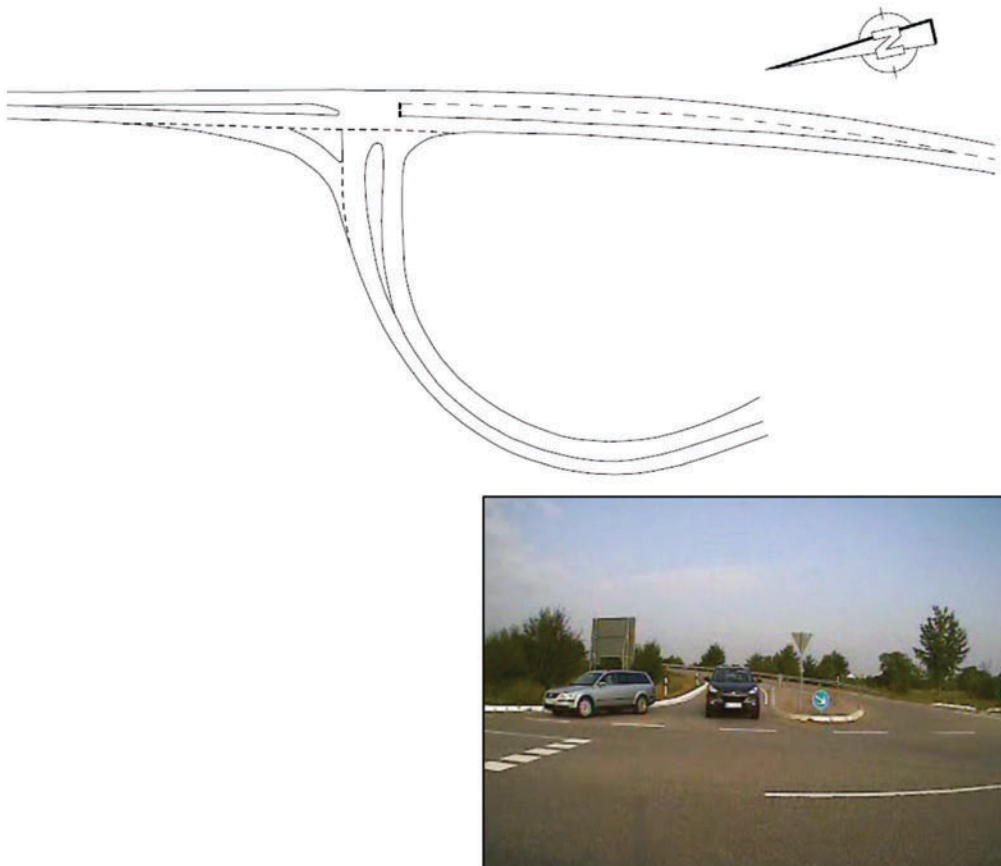
Anhang 1.30: Steckbrief Knotenpunkt 6818001, Kollektiv 3

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6818001		
	Kollektiv	3
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	50
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	6
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	2
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	1
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	4
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	19
	Bemerkung	Radfahrerführung hinter Tropfen

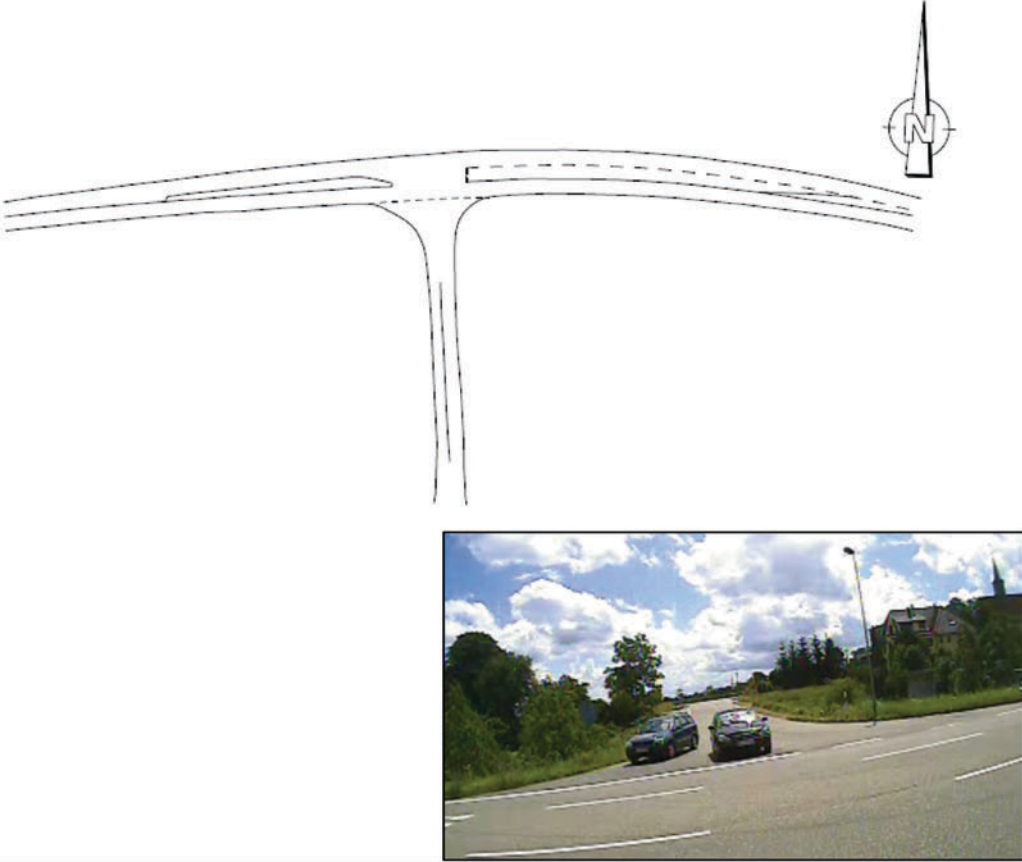
Anhang 1.31: Steckbrief Knotenpunkt 6916062a, Kollektiv 3

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6916062a	 <p>The image shows a technical sketch of a road junction (Knotenpunkt) with a north arrow pointing towards the top right. The sketch depicts a road with a central lane that splits into two lanes, with a dashed line indicating the centerline. Below the main road, there are two curved lanes. An inset photograph shows the actual junction, featuring a large black truck, a dark car, and a red car on a paved road under a blue sky with white clouds.</p>	
	Kollektiv	3
	Grundform	TPG - E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	65
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	5,5
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	1
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	3
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	10
	Bemerkung	-

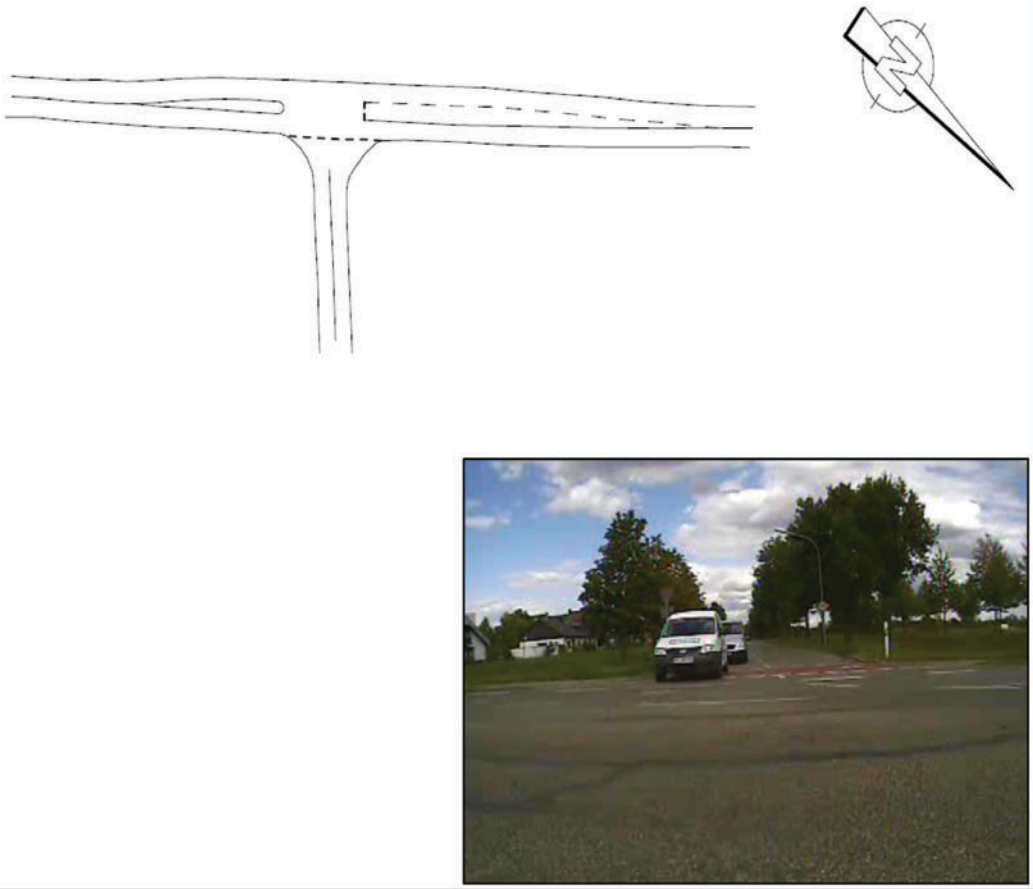
Anhang 1.32: Steckbrief Knotenpunkt 6916062b, Kollektiv 3

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6916062b		
	Kollektiv	3
	Grundform	TPG - E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	80
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	5,8
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	4
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	13
	Bemerkung	-

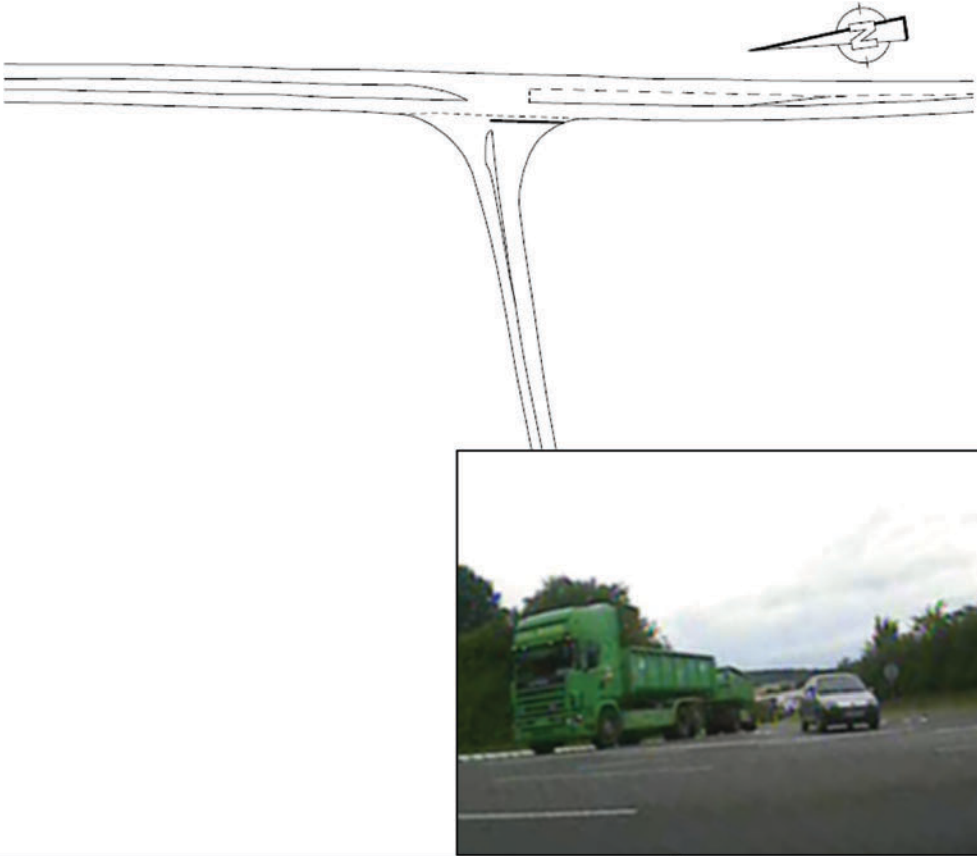
Anhang 1.33: Steckbrief Knotenpunkt 671700K, Kollektiv 4

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
671700K	 <p>The technical sketch shows a road junction with a north arrow pointing upwards. The main road is horizontal, and a side road branches off vertically downwards. The sketch includes lane markings and a dashed line indicating a specific lane or boundary. Below the sketch is a photograph of the actual road junction, showing a paved road with white lane markings, green grass, trees, and a building in the background under a blue sky with clouds. Two cars are visible on the road.</p>	
	Kollektiv	4
	Grundform	E
	Vzul 1	70
	Vzul 2	70
	Vzul 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	65
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	4,5
	Sichtweiten [3-1]	3
	Sichtweiten [3-2]	5
	Sichtweiten [1-2]	5
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	12
	Bemerkung	-

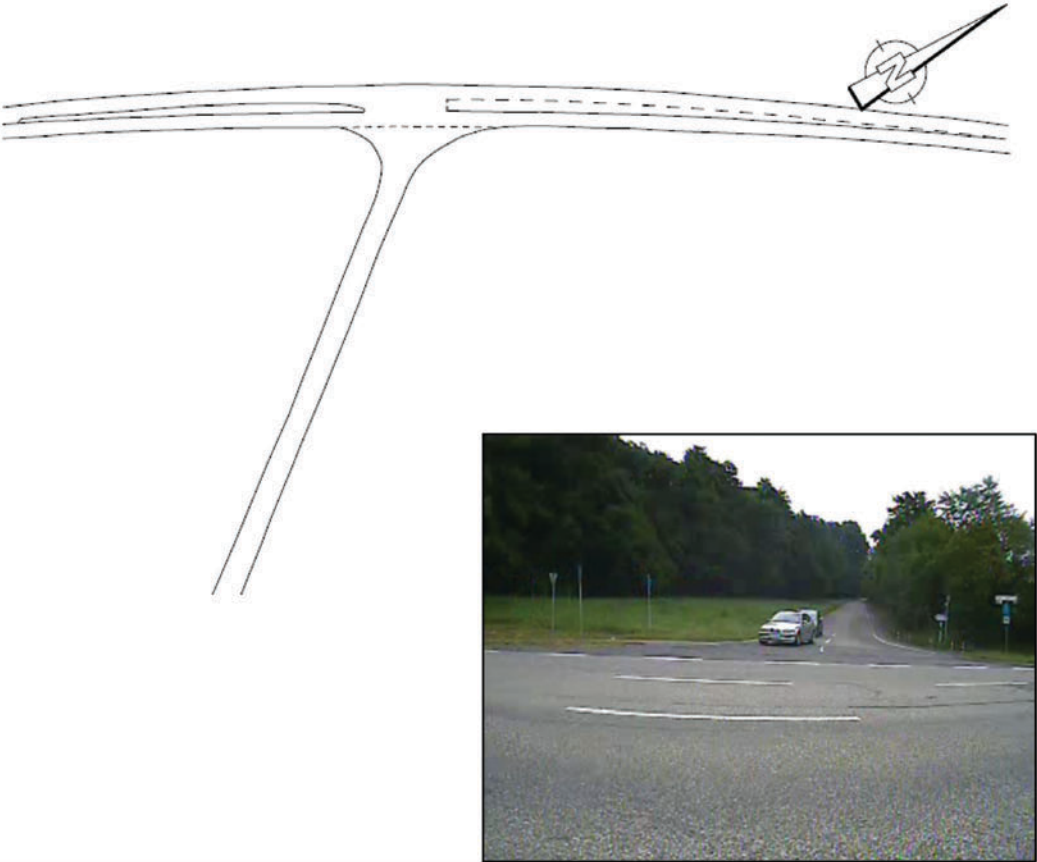
Anhang 1.34: Steckbrief Knotenpunkt 691600F, Kollektiv 4

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
691600F	 <p>The sketch shows a road junction with a main road and a side road. A north arrow is present in the top right. The photograph shows a real-world view of the junction with a white van and trees.</p>	
	Kollektiv	4
	Grundform	E
	Vzul 1	70
	Vzul 2	70
	Vzul 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	45
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	4,2
	Sichtweiten [3 -1]	4
	Sichtweiten [3 -2]	4
	Sichtweiten [1 -2]	5
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	14
	Bemerkung	Radfahrerfurt rot eingefärbt

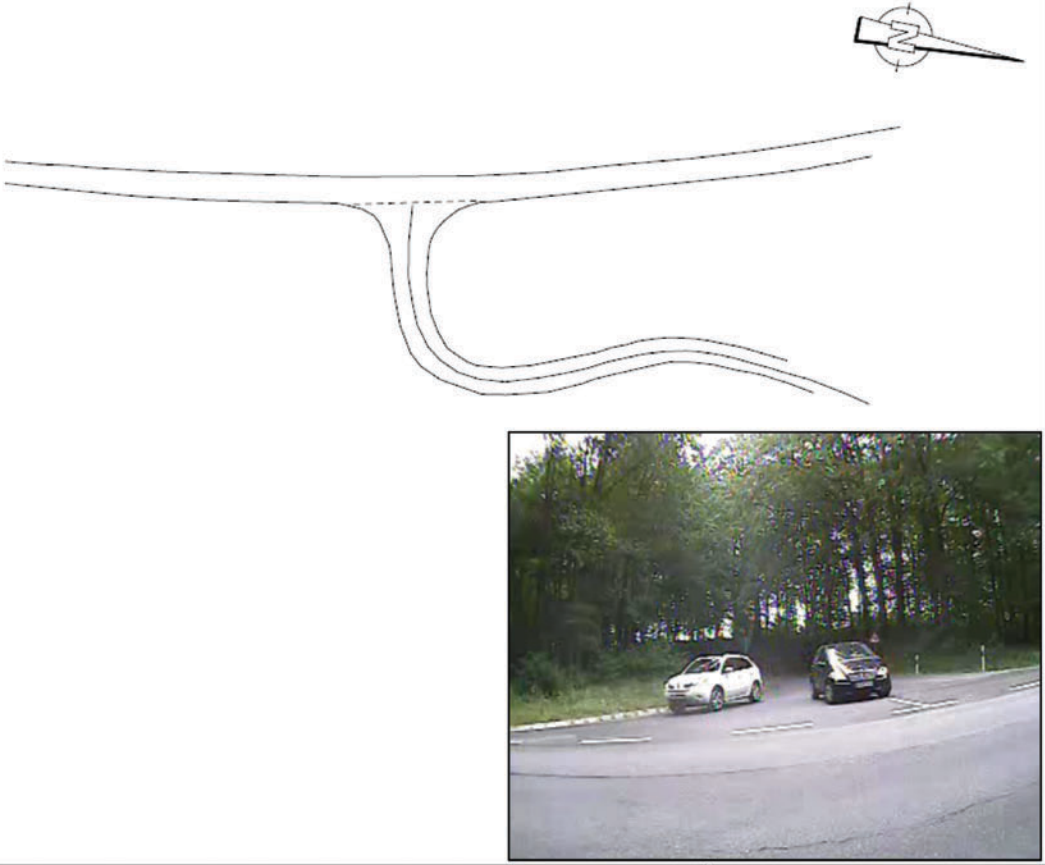
Anhang 1.35: Steckbrief Knotenpunkt 6918008, Kollektiv 4

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
6918008	 <p>The sketch shows a T-junction with a north arrow pointing towards the top right. A photograph shows a green truck stopped at the junction, with a car visible in the background.</p>	
	Kollektiv	4
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	60
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	2
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	13,2
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	5
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	2
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	9
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	18
	Bemerkung	-

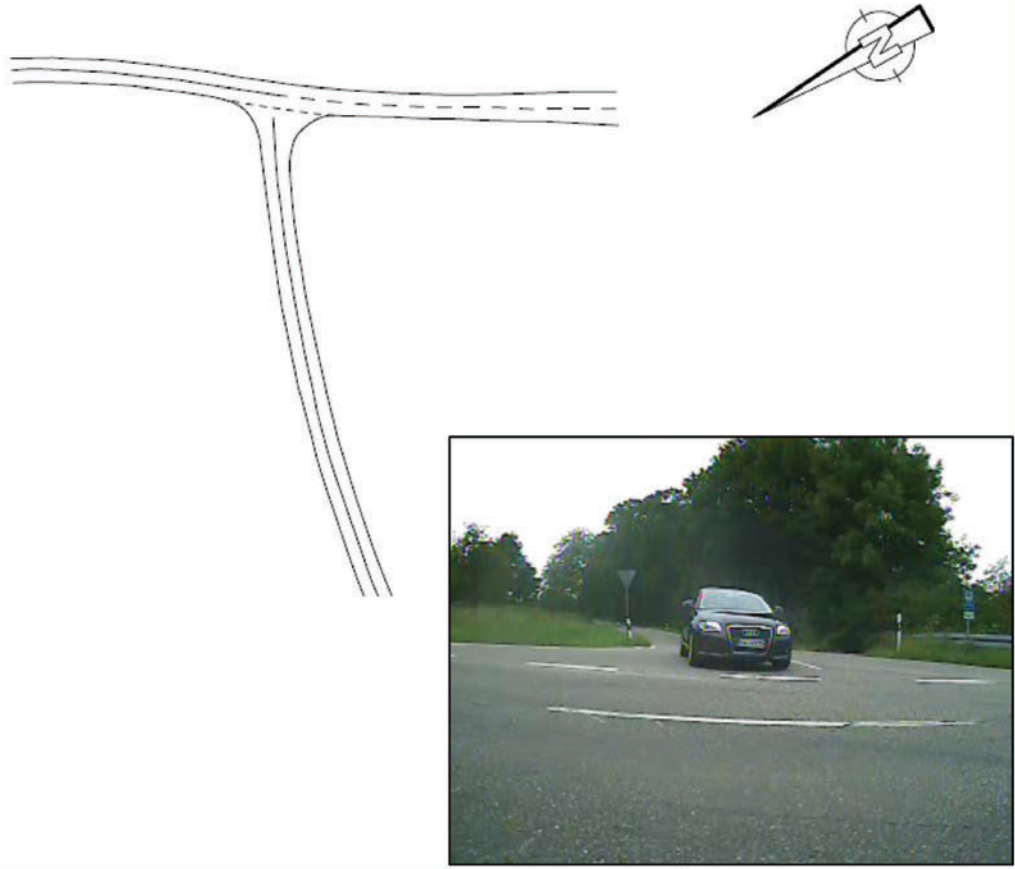
Anhang 1.36: Steckbrief Knotenpunkt 701600D, Kollektiv 4

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
701600D		
	Kollektiv	4
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	75
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	7,4
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	6
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	5
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	3
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	28
	Bemerkung	Radfahrerführung knotenpunktnah

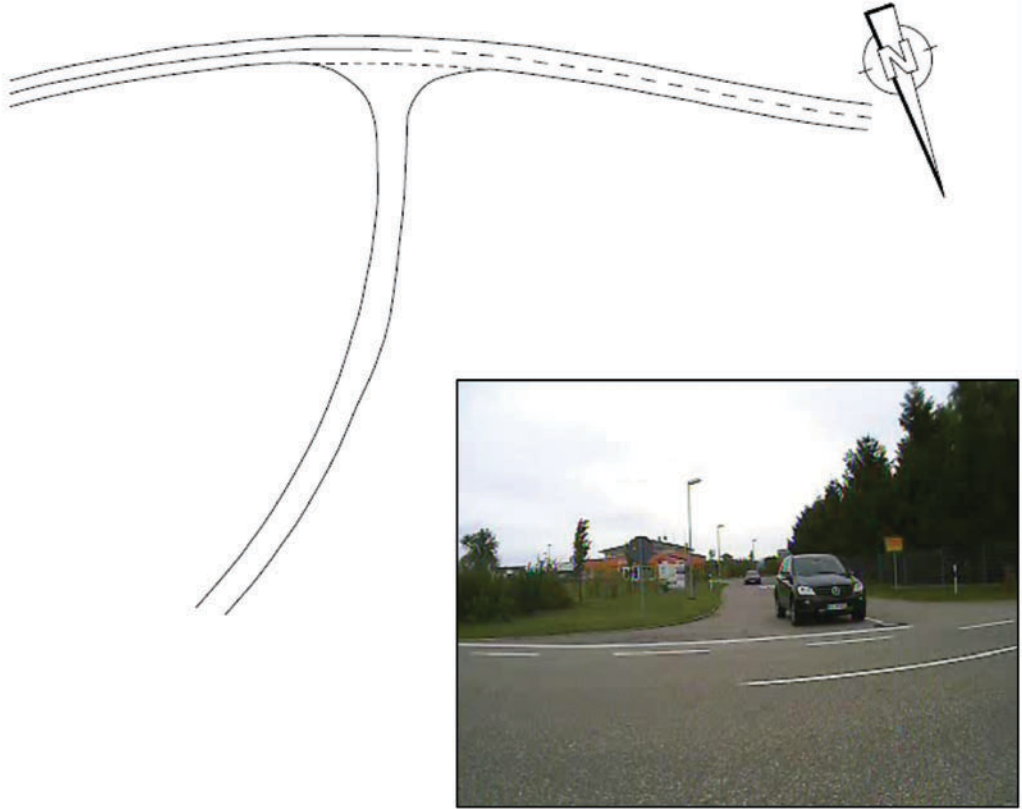
Anhang 1.37: Steckbrief Knotenpunkt 7016013, Kollektiv 5

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
7016013		
	Kollektiv	5
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	0
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	7,4
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	3
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	4
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	12
	Bemerkung	-

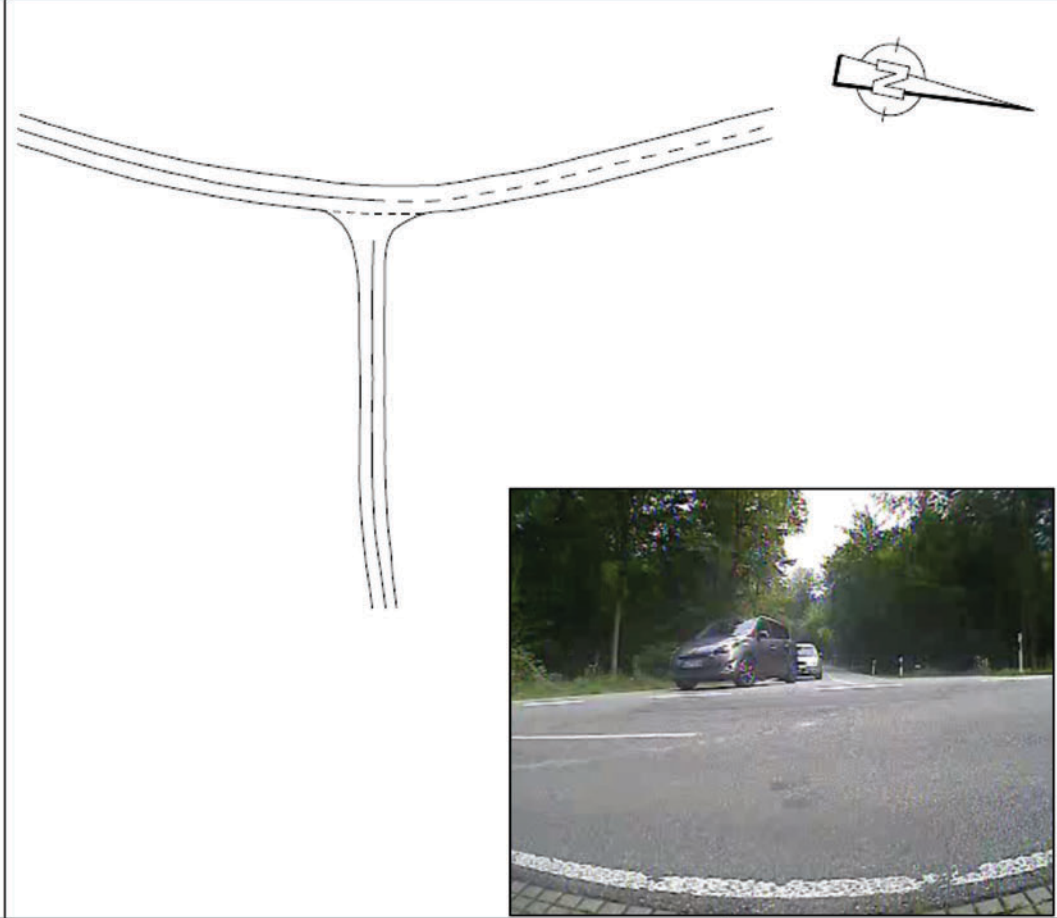
Anhang 1.38: Steckbrief Knotenpunkt 7115039, Kollektiv 5

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
7115039	 <p>The technical drawing shows a T-junction with a horizontal road on top and a vertical road on the bottom. A north arrow is located in the upper right corner. The photograph shows a real-world view of the junction with a dark car driving through it.</p>	
	Kollektiv	5
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	0
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	4,5
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	1
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	2
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	3
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	10
	Bemerkung	-

Anhang 1.39: Steckbrief Knotenpunkt 711600C, Kollektiv 5

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
711600C		
	Kollektiv	5
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	0
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	-
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	5,1
	Sichtweite 3-1 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 3-2 in 50 m Klassen	1
	Sichtweite 1-2 in 50 m Klassen	2
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	11
	Bemerkung	-

Anhang 1.40: Steckbrief Knotenpunkt 7116013, Kollektiv 5

NK (klassifiziert)	Knotenpunktskizze (nicht maßstabsgetreu)	
7116013	 <p>The technical sketch shows a road junction with a vertical approach from the bottom and two horizontal approaches from the top. A dashed line indicates the centerline of the horizontal approaches. A north arrow is located in the top right corner of the sketch area. Below the sketch is a photograph of the actual road junction, showing a paved road with a curb and a car driving through the junction.</p>	
	Kollektiv	5
	Grundform	E
	Vzul 1 Knotenpunktarm 1	70
	Vzul 2 Knotenpunktarm 2	70
	Vzul 3 Knotenpunktarm 3	-
	Länge vollständige Aufweitungsbreite [m]	0
	Anzahl markierter Aufstellstreifen	1
	Breite Aufstellbereich im Abstand von 6 m vom Fahrbahnrand [m]	3,2
	Sichtweite 3 –1 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 3 –2 in 50 m Klassen	4
	Sichtweite 1 –2 in 50 m Klassen	2
	Radius Eckausrundung Rechtseinbieger [m]	7
	Bemerkung	-

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2014

V 243: Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen über den gesamten Lebenszyklus

Balmberger, Maibach, Schüller, Dahl, Schäfer € 17,50

V 244: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013

Fitschen, Nordmann € 28,50

V 245: Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs

Friedrich, Hoffmann, Axer, Niemeier, Tengen, Adams, Santel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 246: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen

Kathmann, Roggendorf, Kemper, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 247: Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw

Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 248: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagentermittlung

Burg, Röhling
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2015

V 249: Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen

Schlag, Voigt, Lippold, Enzfelder
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 250: Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw

Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 251: Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen von Straßenumgestaltungen nach dem „Shared Space“-Gedanken

Baier, Engelen, Klemps-Kohnen, Reinartz € 18,50

V 252: Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen

Gündra, Barron, Henrichs, Jäger, Höfle, Marx, Peters, Reimer, Zipf € 15,00

V 253: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Sicherheit und den Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen

Baier, Kemper
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 254: Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw

Wellner, Uhlig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 255: Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw

Zimmermann, Riffel, Roos
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 256: Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagenteile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Voraussetzung eines umfassenden Asset Managements

Zander, Birbaum, Schmidt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 257: Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen

Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier Hantschel, Otto € 18,00

V 258: Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten

Holldorff, Streich, Uhlig, Schäuferle € 18,00

V 259: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten

Geistefeldt, Sievers
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 260: Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst

Hausmann € 15,50

V 261: Nutzung von Radwegen in Gegenrichtung – Sicherheitsverbesserungen

Alrutz, Bohle, Busek € 16,50

V 262: Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten

Maier, Pohle, Schmotz, Nirschl, Erbsmehl € 16,00

V 263: Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen – Weiterentwicklung der Verfahren

Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 16,50

V 264: Qualitätsstufenkonzepte zur anlagenübergreifenden Bewertung des Verkehrsablaufs auf Außerortsstraßen

Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 17,00

V 265: Entwurfstechnische Empfehlungen für Autobahntunnelstrecken

Bark, Kutschera, Resnikow, Baier, Schuckließ
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 266: Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Angebotsqualität von Hauptverkehrsstraßen

Baier, Hartkopf € 14,50

V 267: Analyse der Einflüsse von zusätzlichen Textanzeigen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen

Hartz, Saighani, Eng, Deml, Barby
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 268: Motorradunfälle – Einflussfaktoren der Verkehrsinfrastruktur

Hegewald, Fürneisen, Tautz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

V 269: Identifikation von unfallauffälligen Stellen motorisierter Zweiradfahrer innerhalb geschlossener Ortschaften

Pohle, Maier € 16,50

- V 270: Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Straßenbetriebsdienst (KliBet)
Holldorb, Rumpel, Biberach, Gerstengarbe, Österle, Hoffmann € 17,50
- V 271: Verfahren zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Ausschreibung von Elementen der Straßeninfrastruktur
Offergeld, Funke, Eschenbruch, Fandrey, Röwekamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 272: Einsatzkriterien für Baubetriebsformen
Göttgens, Kemper, Volkenhoff, Oeser, Geistefeldt, Hohmann € 16,00
- V 273: Autobahnverzeichnis 2016
Kühnen € 25,50
- V 274: Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen
Schulz, Zimmermann, Roos € 18,00
- V 275: Modellversuch für ein effizientes Störfallmanagement auf Bundesautobahnen
Grah, Skottke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 276: Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf die Verkehrsteilnehmer
Petzoldt, Mair, Krems, Roßner, Bullinger € 30,50
- V 277: Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen
Kathmann, Roggendorf, Scotti
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 278: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2014
Fitschen, Nordmann € 30,50
- V 279: HBS-konforme Simulation des Verkehrsablaufs auf Autobahnen
Geistefeldt, Giuliani, Busch, Schendzielorz, Haug, Vortisch, Leyn, Trapp € 23,00
- ## 2017
- V 280: Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst – Analyse der möglichen Auswirkungen und Entwicklung von Lösungsstrategien
Pollack, Schulz-Ruckriegel € 15,50
- V 281: Entwicklung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen – Weiterentwicklung der Verfahren
Maier, Berger, Kollmus € 17,50
- V 282: Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen
Lippold, Veters, Steinert € 19,50
- V 283: Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten
Bark, Krähling, Kutschera, Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Schuckließ, Maier, Berger € 19,50
- V 284: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten
Geistefeldt, Sievers
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 285: Praxisgerechte Anforderungen an Tausalz
Kamptner, Thümmeler, Ohmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 286: Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung
Kleine, Lehmann € 16,50
- V 287: Werkzeuge zur Durchführung des Bestandsaudits und einer erweiterten Streckenkontrolle
Bark, Kutschera, Resnikow, Follmann, Biederbick € 21,50
- V 288: Überholungen von Lang-Lkw - Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf
Roos, Zimmermann, Köhler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 289: Verkehrsqualität an verkehrsabhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen
Geistefeldt, Giuliani, Vieten, Dias Pais in Vorbereitung
- V 290: Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 19,00
- V 291: Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 18,50
- V 292: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw
Burg, Schrempf, Röhling, Klaas-Wissing, Schreiner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 293: Ermittlung der geeigneten Verkehrsnachfrage als Bemessungsgrundlage von Straßen
Geistefeldt, Hohmann, Estel
Unterauftragnehmer: Manz € 17,50
- V 294: Wirtschaftlichkeitsbewertung besonderer Parkverfahren zur Lkw-Parkkapazitätserhöhung an BAB
Maibach, Tacke, Kießig € 15,50
- V 295: Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss
Grotehusmann, Lambert, Fuchs, Graf € 16,50
- V 296: Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergröße
Lippold, Schemmel, Kathmann, Schroeder
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- ## 2018
- V 297: Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen
Zimmermann, Beeh, Schulz, Roos
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
-
- Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:
- Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH**
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63
- Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.
- www.schuenemann-verlag.de