

Innenliegende Linkseinfädungsstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 211

bast

Innenliegende Linkseinfädelsstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete

von

Thomas Richter
Elisabeth Neumann
Benedikt Zierke

Technische Universität Berlin
Fachgebiet Straßenplanung und Straßenbetrieb

Daniel Seebo

SHP Ingenieure GbR
Hannover

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 211

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 beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 77.492/2008:

Untersuchungen des Verkehrsablaufs bei Einrichtung innenliegender Linksabbiegestreifen für typische Entwurfssituationen innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete

Projektbetreuung

Tobias Teichner
 Marco Irzik

Herausgeber

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

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
 Verlag für neue Wissenschaft GmbH
 Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
 Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
 Telefax: (04 71) 9 45 44 77
 Email: vertrieb@nw-verlag.de
 Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9331
 ISBN 978-3-86918-200-1

Bergisch Gladbach, März 2012

Kurzfassung – Abstract

Innenliegende Linkseinfädelungstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete

Ziel der Untersuchung war die Überprüfung von Einmündungen mit innenliegenden Linkseinfädelungstreifen (iLES) hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Verkehrssicherheit sowie die Darstellung von Einsatzgrenzen und Gestaltungshinweisen.

An 10 Knotenpunkten mit iLES wurden im Rahmen des Forschungsprojekts empirische Untersuchungen durchgeführt. Es wurden die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke am Knotenpunkt, die Spitzenstunde, Zeitlücken in der Spitzenstunde sowie Wartezeiten und Rückstaulängen am Knotenpunkt ermittelt. Außerdem wurden die Akzeptanz des eingerichteten iLES und die Bereiche, an denen vom iLES auf den durchgehenden Fahrstreifen gewechselt wurde, erfasst.

Im Rahmen einer makroskopischen Unfallanalyse an 50 Knotenpunkten wurden insgesamt 816 Unfälle der Jahre 2006 bis 2008 ausgewertet. Für alle Knotenpunkte wurden die relevanten Unfallkenngrößen ermittelt (Unfallkosten, Unfalldichte, Unfallrate, Unfallkostendichte, Unfallkostenrate) sowie die Unfalltypen (einstellig und dreistellig) ausgewertet. Insgesamt konnte nicht festgestellt werden, dass Knotenpunkte mit iLES unsicherer sind als Knotenpunkte ohne iLES oder sie in anderer Hinsicht auffällig wären.

Die Auswertung der Unfalldiagramme im Rahmen der mikroskopischen Unfallanalyse an 10 Knotenpunkten zeigte zwei wesentliche Unfallhergänge, die im Zusammenhang mit den iLES zu sehen sind: Kollisionen von Linkseinbiegern mit Linksabbiegern und Kollisionen beim Fahrstreifenwechsel vom iLES auf den durchgehenden Fahrstreifen. Probleme mit Radfahrern und Fußgängern traten kaum auf, was jedoch teilweise darauf zurückzuführen ist, dass der Fußgänger- und Radverkehr in den untersuchten Beispielen keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Eine Abgrenzung des Einsatzbereiches von Einmündungen mit iLES gegenüber Einmündungen ohne iLES bzw. mit LSA wurde vorgenommen, indem die Wartezeiten in der untergeordneten Zufahrt für alle drei Knotenpunktarten für unterschiedliche Knotenpunktverkehrsstärken und Belastungssituationen ermittelt wurden. Hieraus wurde einerseits die Grenze

ermittelt, ab der eine Einmündung ohne iLES nicht mehr leistungsfähig ist und ein iLES sinnvoll eingesetzt werden kann, und andererseits die Grenze ermittelt, ab der eine Signalisierung zu Vorteilen gegenüber einem iLES führt.

Als Verfahren zur Ermittlung der Wartezeiten an Knotenpunkten mit iLES wurde das HBS-Verfahren modifiziert. Hierfür wird Strom 8 vernachlässigt und andere, im Rahmen des Forschungsprojekts ermittelte Werte für die Grenz- und Folgezeitlücken verwendet.

Um die Erfahrungen, die innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete von den Baulasträgern mit iLES gemacht wurden, einbeziehen zu können, wurde am 6. Oktober 2010 ein Expertenworkshop in Frankfurt am Main durchgeführt. Aus den Diskussionsbeiträgen konnte eine Reihe von Hinweisen aufgenommen werden, die Eingang in die beschriebenen Ergebnisse gefunden haben.

Eine Einmündung mit innenliegendem Einfädelungstreifen (iLES) kann als Alternative zu einer nicht signalisierten Einmündung eingesetzt werden, wenn ansonsten keine ausreichende Verkehrsqualität erreicht würde oder die Verkehrsqualität verbessert werden soll. Ein iLES verschlechtert die Überquerbarkeit der übergeordneten Knotenpunktarme für Fußgänger und Radfahrer erheblich. Der Einsatz eines iLES steht damit in Konkurrenz zu den Belangen von Fußgängern und Radfahrern. Sie sollten nur dann zum Einsatz kommen, wenn kein nennenswerter Überquerungsbedarf vorliegt.

Innerhalb bebauter Gebiete sollte die Länge eines iLES 30 bis 60 m betragen, im Vorfeld bebauter Gebiete bei Geschwindigkeiten über 50 km/h 60 bis 100 m. Zu große Längen sollten vermieden werden, um den Eindruck eines Überholfahrstreifens zu vermeiden.

Bei der Markierung ist großer Wert darauf zu legen, dass das Begreifen der Verkehrsregelung unterstützt wird. Außerdem sollten Schilder verwendet werden, die die Verkehrsregelung erläutern. Diese sollten sowohl in der untergeordneten Zufahrt eingesetzt werden, als auch in der rechtsliegenden, übergeordneten Zufahrt.

Der Originalbericht enthält als Anhänge grafische Darstellungen der wesentlichen Ergebnisse der Erhebungen an den zehn untersuchten Knotenpunkten (z. B. Rückstaulängen und Unfalldiagramme) sowie eine tabellarische Übersicht der für die Kalibrierung der Simulation verwendeten Wartezeiten. Auf die Wiedergabe dieser Anhänge wurde in der vorliegen-

den Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anhänge im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

Inner left merging lanes at single-level junctions in towns and in advance areas of built up areas

The aim of the investigation was the examination of road junctions with inner left merging lanes (iLES) in terms of performance capacity and traffic safety as well as the representation of application limits and design notes.

Within the framework of the research project, empirical studies were conducted at 10 junctions with iLES. The average daily traffic concentration at the junction, the peak hour, time gaps in the peak hour as well as waiting times and tailback lengths at the junction were determined. In addition, the acceptance of an established iLES and the areas where one changes from the iLES to the continuous traffic lane were recorded.

Within the framework of a macroscopic accident analysis at 50 junctions, a total of 816 accidents were analysed for the years 2006 until 2008. For all junctions, the relevant accident parameters were determined (accident costs, accident density, accident rate, accident cost density, accident cost rate), and the types of accidents (one digit and three digit) were analysed. As a whole, it could not be determined that junctions with iLES are less safe than junctions without iLES, or if they are remarkable in any other respect.

The analysis of the accident diagrams in the context of the microscopic accident analysis at 10 junctions showed two significant accident occurrences which can be associated with the iLES: Collisions by drivers turning left inwards with drivers turning left outwards, at the point of changing lanes from iLES to the continuous traffic lane. There were hardly problems involving cyclists or pedestrians, which can be partially attributed to the fact that the pedestrian and cyclist traffic only plays a subordinate role in the investigated examples.

A delimitation of the application area of road junctions with iLES compared to road junctions without iLES or with LSA was performed by determining the waiting times in the subordinate access roads for all three junction types at various junction traffic levels and

load situations. From this, on the one hand the limit was determined, from which a junction without iLES is no longer efficient and an iLES would be a sensible implementation, and on the other hand the limit was determined from which signalling would be advantageous compared to iLES.

The HBS method was modified for the method of determining the waiting times at the junctions with iLES. For this, "Strom" (flow) 8 was neglected and other values determined within the framework of the research study were used for the limit and time gaps.

In order to incorporate the experience made by the legally responsible authorities within and before the building up of areas, an expert workshop was held in Frankfurt am Main on 6 October 2010. The discussion contributions resulted in a number of references which could be incorporated in the described results.

A road junction with inner merger lanes (iLES) can be employed as an alternative to a non-signalled junction if otherwise insufficient traffic quality would be achieved or if the traffic quality is to be improved. An iLES worsens the ability to cross the super ordinate junction arms for pedestrians and cyclists considerably. The use of iLES is thus in contradiction with the needs of pedestrians and cyclists. They should only be employed if no particular requirements for crossing exist.

Within built-up areas the length of an iLES should be between 30 and 60 m, before built-up areas with speeds of over 50 km/h, this should be 60 to 100 m. Too great lengths should be avoided in order to prevent the impression of an overtaking lane.

In the marking of the lanes, particular attention should be paid to the understanding of the traffic control being supported. Additionally, signs should be used which explain the traffic control. These should be deployed both in the subordinate access lane and the super ordinate access lane located to the right.

The original report contains as an appendix, graphic illustrations of the essential results of the surveys at the ten examined junctions (e.g. tailback length and accident diagrams) as well as a tabular overview of the waiting times used for the calibration of the simulation. The reproduction of these annexes was omitted in the present publication. They are available at the Federal Highway Research Institute and can be viewed there. References to the annexes in the body of the report were maintained for the reader's information.

Inhalt

1	Aufgabenstellung und Vorgehensweise	7	4.6.1	Cluster I (19 Knotenpunkte)	26
			4.6.2	Cluster II (16 Knotenpunkte)	27
2	Grundlagen	8	5	Empirische Untersuchungen	29
2.1	Linkseinbiegevorgang an Einmündungen ohne Lichtsignalanlage mit/ohne iLES	8	5.1	Vorstudien in Brandenburg	29
2.2	Zeitlücken	9	5.1.1	Verkehrsbelastung	29
2.2.1	Grenz- und Folgezeitlücke	9	5.1.2	Geschwindigkeitsmessungen im Hauptstrom	30
2.2.2	Unterscheidung zwischen Brutto- und Nettozeitlücke	9	5.1.3	Verkehrsablauf (Linkseinbieger)	30
2.2.3	Verfahren zur Ermittlung von Grenz- und Folgezeitlücken	10	5.1.4	Zeitlückenmessungen	30
2.3	Unfallanalyse	12	5.1.5	Messung von Zeitlücken beim Einfädeln	30
2.3.1	Unfallkennziffern	14	5.1.6	Verfolgungsfahrten	31
3	Stand der Wissenschaft und Technik	15	5.2	Empirische Untersuchung der 10 ausgewählten Knotenpunkte	31
3.1	Vorhandene Regelwerke	15	5.2.1	Iserlohn (Masteweg)	33
3.2	Forschungsprojekte	15	5.2.2	Iserlohn (Leckingser Straße)	34
3.3	Zusammenfassung	19	5.2.3	Mecklar	35
			5.2.4	Düsseldorf	36
4	Bestandsanalyse	19	5.2.5	Sinsheim	37
4.1	Gestaltungselemente	21	5.2.6	Lemgo	39
4.1.1	Auswertung der Knotenpunkte innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete nach den Gestaltungsmerkmalen (ohne Sonderformen)	21	5.2.7	Haxterhöhe	40
4.2	Zulässige Geschwindigkeiten	22	5.2.8	Helmenzen (Bornenweg)	42
4.3	Verkehrsstärken	23	5.2.9	Helmenzen (Zum Galgenberg)	43
4.4	Beschilderung	23	5.2.10	Altenkirchen (Rudolf-Diesel-Straße)	44
4.4.1	Beschilderung im untergeordneten Knotenpunktarm	23	5.3	Überblick über die Ergebnisse der empirischen Untersuchungen der 10 Knotenpunkte	45
4.4.2	Beschilderung im übergeordneten Knotenpunktarm (Strom 8)	24	6	Unfallanalyse	47
4.5	Clustering in typische Entwurfs-situationen	25	6.1	Makroskopische Unfallanalyse von 50 Knotenpunkten mit iLES	47
4.6	Auswahl von geeigneten Knotenpunkten für die empirischen Untersuchungen	25	6.1.1	Verunglücktenstruktur	48
			6.1.2	Unfallkenngrößen	48
			6.2	Mikroskopische Unfallanalyse der 10 Untersuchungsknotenpunkte	55

6.2.1	Lemgo	55
6.2.2	Iserlohn (Leckingser Straße)	56
6.2.3	Iserlohn (Masteweg)	57
6.2.4	Haxterhöhe	58
6.2.5	Helmenzen (Bornenweg)	59
6.2.6	Helmenzen (Zum Galgenberg)	59
6.2.7	Altenkirchen (Rudolf-Diesel-Straße)	59
6.2.8	Mecklar	61
6.2.9	Düsseldorf	61
6.2.10	Sinsheim	63
6.3	Fazit Unfalluntersuchung	63
7	Leistungsfähigkeit	63
7.1	Abgrenzung hinsichtlich der Leistungsfähigkeit	64
7.2	Verfahren zur Ermittlung der Wartezeiten	67
8	Expertenworkshop	68
9	Empfehlungen und Hinweise für die Anwendung	71
9.1	Einsatzmöglichkeiten	71
9.2	Verkehrssicherheit	71
9.3	Fußgänger und Radfahrer	72
9.4	Gestaltung	72
9.4.1	Gestaltung des iLES	73
9.4.2	Markierung	73
9.4.3	Beschilderung	74
	Textvorschlag für die RASt	75
10	Literatur	76

1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

An plangleichen Knotenpunkten kommen für gewöhnlich die drei Gestaltungs- und Betriebsformen „Einmündung/Kreuzung ohne Lichtsignalanlage“, „Einmündung/Kreuzung mit Lichtsignalanlage“ und „Kreisverkehr“ zum Einsatz. Je nach äußeren Randbedingungen (u. a. Verkehrsbelastung, Flächenverfügbarkeit, finanzielle Möglichkeiten) eignen sich diese mehr oder weniger zum Erreichen der gesetzten Ziele (u. a. Leistungsfähigkeit, Verkehrssicherheit, Wirtschaftlichkeit).

Sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Verkehrssicherheit fallen an Einmündungen/Kreuzungen ohne Lichtsignalanlage im Vergleich zu den beiden übrigen Gestaltungs- und Betriebsformen eher gering aus [4, 22]. In der jüngeren Vergangenheit kommt daher zunehmend eine Sonderform von Einmündungen ohne Lichtsignalanlage zum Einsatz, mit welcher sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Verkehrssicherheit entsprechender Knotenpunkte gesteigert und dem Niveau von Einmündungen mit Lichtsignalanlage bzw. Kreisverkehren angenähert werden sollen [21]. Dazu wird zwischen den beiden Fahrstreifen der Haupttrichtung (übergeordnete Straße) ein so genannter „innenliegender Linkseinfädelsstreifen“ (iLES) (vgl. Bild 1) eingerichtet. Dieser soll den linkseinbiegenden Fahrzeugen aus der Nebenrichtung das Einbiegen in die übergeordnete Straße erleichtern, indem ein eigener Beschleunigungsstreifen (bzw. je nach Länge eher eine Aufstellfläche) zur Verfügung gestellt wird. Dazu wird nicht selten die vorhandene Sperrfläche zwischen den Geradeausfahrstreifen der Haupttrichtung umgenutzt [19].

Die Bezeichnung innenliegender Linkseinfädelsstreifen (iLES) weicht von der im Titel des Forschungsprojektes gewählten Bezeichnung ab. In

der entsprechend verfügbaren Literatur hat sich der Begriff iLES bereits etabliert. Die bereits etablierte Bezeichnung wird auch für diese Untersuchung übernommen.

In den deutschen Regelwerken und Richtlinien ist diese Sonderform von Knotenpunkten bisher nicht enthalten. Aufgrund eines veränderten Einbiegeverhaltens seitens der Linkseinbieger an entsprechenden Einmündungen lassen sich zudem die in den Regelwerken bisher enthaltenen Berechnungsgrundlagen für die Leistungsfähigkeit [6] nicht unverändert anwenden [1].

Alle bisher in Deutschland durchgeführten Untersuchungen (vgl. Kapitel 3.2), die sich mit iLES beschäftigt haben, kommen zu dem Resultat, dass entsprechende Knotenpunkte eine höhere Leistungsfähigkeit erreichen als vergleichbare Knotenpunkte ohne Linkseinfädelsstreifen.

Generell sollen diese Annahmen anhand der bereits vorhandenen Einmündungen mit iLES im Verlauf des Projektes überprüft werden. Zunächst wird eine Zusammenstellung der bereits vorhandenen Knotenpunkte mit iLES in Deutschland erfolgen.

Für die empirischen Untersuchungen wird eine Auswahl aus den vorhandenen Knotenpunkten getroffen. Auf Grundlage dieser Auswahl werden die Einsatzbereiche von iLES für typische Entwurfs-situationen innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete analysiert. Dabei sollen insbesondere Aussagen zur Verkehrssicherheit und zur Qualität des Verkehrsablaufs in Abhängigkeit von Gestaltungsvarianten gewonnen werden.

Aufbauend auf den umfangreichen empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf werden mit Hilfe eines mikroskopischen Simulationsmodells (Kalibrierung und Validierung anhand der empirischen Untersuchungen) lückenhafte Daten über

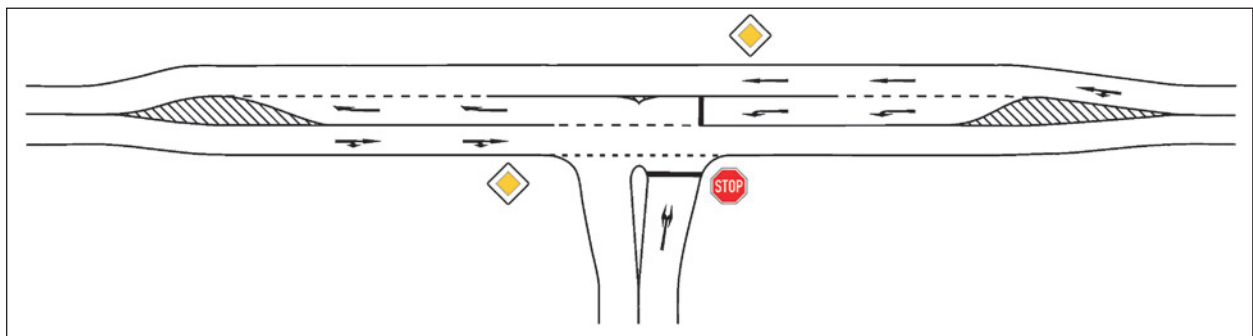


Bild 1: Grundform des Entwurfs für innenliegende Linkseinfädelsstreifen

Kapazitätsaussagen für Knotenpunkte mit iLES ergänzt. Weiterhin wird eine sicherheitstechnische Analyse bestehender Knotenpunkte mit iLES durchgeführt. Insbesondere hinsichtlich der baulichen Gestaltung und Länge des Einfädungsstreifens sowie der Einbauten/Fahrbahnteiler zur Führung der Verkehrsteilnehmer sollen einheitliche Ausführungsformen für typische Entwurfsituationen erarbeitet werden. Die Ergebnisse dieses FE werden unter anderem als Textbausteine für eine Fortschreibung der RAS 06 [13] aufbereitet.

2 Grundlagen

2.1 Linkseinbiegevorgang an Einmündungen ohne Lichtsignalanlage mit/ohne iLES

Der Einbiegevorgang von linkseinbiegenden Fahrzeugen an Einmündungen ohne Lichtsignalanlage lässt sich in die Teilprozesse „Einfahren/Kreuzen“ und „Beschleunigen“ auf dem Hauptfahrstreifen

gliedern. Dabei soll der Vorgang „Einfahren/Kreuzen“ nur begonnen werden, wenn keinem der dem Linkseinbieger bevorrechtigten Fahrzeuge die Vorfahrt genommen wird. Hierzu sind gleichzeitig ausreichend große Zeitlücken in den maßgebenden Hauptströmen 2, 7 und 8 erforderlich. Der Linkseinbieger muss ebenfalls den Zeitbedarf für den Beschleunigungsvorgang auf dem Fahrstreifen des Stromes 8 mit einkalkulieren.

An Einmündungen mit innenliegenden Linkseinfädungsstreifen (iLES) unterscheiden sich diese Teilprozesse. Zunächst soll zwischen Einmündungen mit langem iLES und Einmündungen mit kurzem iLES differenziert werden. Letztere entsprechen vielmehr einer mittig angelegten Aufstellfläche, auf der das Auftreten einer ausreichenden Zeitlücke abgewartet werden kann. Ein Beschleunigungsvorgang ist hier auf Grund der Kürze des iLES sehr eingeschränkt. Es werden eher ein „Abwarten und Rollen“ beobachtet.

Für beide Typen gilt aber, dass das „Einfahren/Kreuzen“ streng genommen nur die Beachtung der

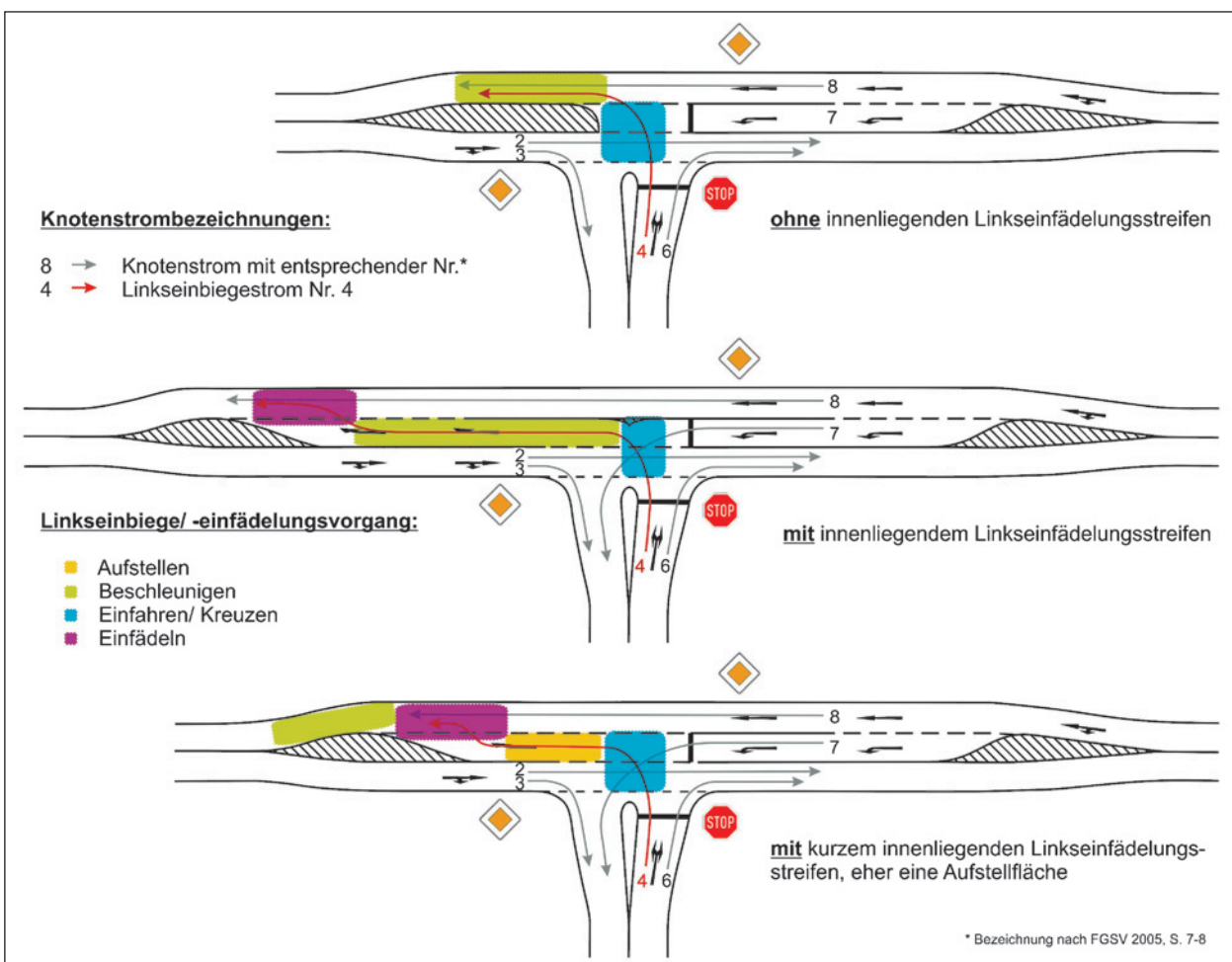


Bild 2: Verkehrsablauf an Einmündungen ohne/mit innenliegendem Linkseinbiegestreifen [20]

Ströme 2 und 7 erfordert. Ausnahme wäre eine Einmündung, die keinen Linksabbiegestreifen aufweist. In diesen seltenen Fällen wäre jedoch keine Fläche vorhanden, um einen iLES einzurichten.

Im Weiteren unterscheiden sich die beiden Typen durch die Möglichkeit der Beschleunigung bzw. das Vorhandensein einer Aufstellfläche. Von der mittig gelegenen Position erfolgt das Einfädeln in den Strom 8 beim Typ mit der realisierten Beschleunigung in etwa in derselben Geschwindigkeit, welche im Strom 8 gefahren wird. Beim zweiten Typen mit der Aufstellfläche erfolgt das Einfädeln bei ausreichender Zeitlücke im Strom 8, um danach entsprechend auf die gefahrene Geschwindigkeit zu beschleunigen. Beide Typen sollen die Leistungsfähigkeit der Einmündung deutlich erhöhen.

Der erste Typ mit dem Beschleunigungsstreifen ist vor allem im Vorfeld bebauter Gebiete oder außerorts denkbar/anzutreffen, wo eine räumliche Erweiterung des Knotenpunkts baulich möglich ist. Der zweite Typ ist vor allem innerorts häufiger, wo entsprechend die zuvor vorhandene Sperrfläche ummarkiert wurde, somit nur eine begrenzte Länge des iLES realisierbar ist, zumeist auch auf Grund direkt angrenzender Bebauung.

2.2 Zeitlücken

Für eine aussagekräftige Ermittlung von Leistungsfähigkeiten an nichtsignalisierten Knotenpunkten ist eine Bestimmung von Grenz- und Folgezeitlücken im Vorfeld notwendig. Da dies ein sehr zeitaufwändiger Prozess ist, wurden in der Vergangenheit bereits allgemeingültige mittlere Werte für beide Größen – Grenz- und Folgezeitlücken – für die unterschiedlichsten Fahrbeziehungen an einem Knotenpunkt ermittelt. So befinden sich im HBS [6] entsprechende Werte, welche die Grundlage für die verschiedenen Abbildungen zur Bestimmung der Grundkapazitäten der unterschiedlichen Knotenströme [6] bilden. Dabei wird jedoch nicht nach der Geschwindigkeit im Hauptstrom, sondern lediglich nach der Lage des Knotenpunktes (inner- bzw. außerorts) unterschieden. Das Verfahren, auf dem die Berechnung der Grenz- und Folgezeitlücken beruht, wurde von HARDERS bereits in den 1970er Jahren entwickelt und in der Reihe „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“ des Bundesministeriums für Verkehr veröffentlicht [18]. Es handelt sich dabei um eine Weiterentwicklung bereits bestehender Verfahren zur Bestimmung von

Grenzzeitlücken. Zudem werden bei den Untersuchungen von HARDERS die Werte für Grenz- und Folgezeitlücken für unterschiedliche mittlere Geschwindigkeiten im Hauptstrom angegeben.

2.2.1 Grenz- und Folgezeitlücke

Die Grenzzeitlücke entspricht der kleinsten Zeitlücke, die in einem übergeordneten Verkehrsstrom vorhanden sein muss, damit ein wartepflichtiges Fahrzeug in den Knotenpunkt einfahren kann [6]. Zeitlücken, die kleiner ausfallen als die Grenzzeitlücke, werden von wartenden Fahrzeugen abgelehnt. Entsprechend werden Zeitlücken größer bzw. gleich der Grenzzeitlücke von den wartenden Verkehrsteilnehmern angenommen. Dabei ist die Nettozeitlücke zwischen zwei Fahrzeugen im übergeordneten Verkehrsstrom ausschlaggebend, da nur diese zum Einfahren wartepflichtiger Fahrzeuge in den Knotenpunkt genutzt werden kann. Eine direkte Beobachtung der Grenzzeitlücke ist nicht möglich. Sie muss mit Hilfe des in Kapitel 2.2.3 beschriebenen Verfahrens hergeleitet werden.

Die Folgezeitlücke gibt an, wie groß der zeitliche Abstand zweier aufeinander folgender Fahrzeuge im Nebenstrom ist, die beide in dieselbe Zeitlücke im Hauptstrom einfahren [6]. Es handelt sich hierbei – anders als bei der Grenzzeitlücke – um eine Bruttozeitlücke.

2.2.2 Unterscheidung zwischen Brutto- und Nettozeitlücke

Der Unterschied zwischen Brutto- und Nettozeitlücken wird durch die Fahrzeuglänge beschrieben. Beide Werte geben den zeitlichen Abstand zweier aufeinander folgender Fahrzeuge/Objekte an. Allerdings enthält die Nettozeitlücke nur den Zeitraum, der zwischen dem Verlassen des Hecks des vorausfahrenden Fahrzeugs und dem Eintreffen der Front des nachfolgenden Fahrzeugs an einer zuvor definierten Bezugslinie vergeht. Bei der Bruttozeitlücke hingegen wird auch die Länge eines der beiden Fahrzeuge (i. d. R. des vorausfahrenden Kfz) mit in die Bestimmung der Zeitlücke eingeschlossen. D. h., es wird die Zeit gemessen, die zwischen dem Passieren der Front des vorausfahrenden Fahrzeugs und dem Eintreffen des nachfolgenden Fahrzeugs vergeht.

Die nachfolgend aufgeführte Gleichung stellt den Unterschied zwischen Brutto- und Nettozeitlücke

dar. Zwischen beiden Größen besteht folgender Zusammenhang:

$$t_{\text{netto}} = t_{\text{brutto}} - \frac{L_{\text{Fz}}}{v}$$

mit:

t_{netto} = Nettozeitlücke [in s]

t_{brutto} = Bruttozeitlücke [in s]

L_{Fz} = Fahrzeuglänge [in m]

v = Geschwindigkeit [in m/s]

2.2.3 Verfahren zur Ermittlung von Grenz- und Folgezeitlücken

Das Verfahren zur Ermittlung von Grenz- und Folgezeitlücken wurde bereits 1976 von HARDERS entwickelt und stellt eine Weiterentwicklung bereits bestehender Ansätze zur Grenzzeitlückenberechnung dar.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf das Kapitel 3.3 – „Bestimmung der Grenzzeitlücke“ aus dem Heft 216 der Reihe „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, in dem HARDERS beschreibt, wie bei der Bestimmung der Grenzzeitlücken vorzugehen ist.

2.2.3.1 Bestimmung der Grenzzeitlücke (vgl. [18])

Um die Grenzzeitlücke für einen bestimmten untergeordneten Verkehrsstrom an einem Knotenpunkt bestimmen zu können, müssen zunächst sämtliche Zeitlücken im maßgebenden Hauptstrom erfasst werden. Dabei sind jedoch nur die Zeitlücken zu berücksichtigen, bei denen ein Rückstau in der betreffenden untergeordneten Zufahrt für den Nebenstrom herrscht. Auch sind Lücken im Hauptstrom nur so lange zu erfassen, wie in einem dem betrachteten Nebenstrom übergeordneten Strom kein Rückstau herrscht. Sollte dies doch der Fall sein, so ist die Aufzeichnung der Zeitlücken so lange zu unterbrechen bzw. sind diejenigen Zeitlücken bei der Auswertung zu vernachlässigen, bis der Rückstau abgebaut wurde. Weiterhin muss bestimmt werden, ob die Zeitlücken angenommen oder abgelehnt wurden.

Anschließend werden diese in Klassen mit der Klassenmitte t und der Klassenbreite Δt geordnet. Für jede Klasse wird das Verhältnis aus angenom-

menen und der Gesamtzahl aller gemessenen (= angenommene + abgelehnte) Zeitlücken gebildet. Hierbei sollte zunächst mit einer Klassenbreite von 0,5 s begonnen werden. Die Klassenmitten fallen dabei auf ganze und halbe Sekunden. Für die Auswertung sind jene Zeitlücken zu berücksichtigen, die zwischen 1 und 21 Sekunden liegen.

Theoretisch sollte die Anteilskurve der angenommenen Zeitlücken einen stetig steigenden s-förmigen Verlauf aufweisen. Je nach Anzahl vorhandener Messwerte schwankt der tatsächliche Verlauf i. Allg. um diese im Idealfall stetig steigende Kurve. Je geringer der Bestand an Daten dabei ist, desto stärker fallen die Schwankungen aus. Dessen ungeachtet gilt in allen Fällen, dass im Bereich sehr kleiner Lücken der Wert 0 und bei sehr großen Zeitlücken der Wert 1 erreicht wird.

Um für den Bereich zwischen diesen beiden Extremen einen steigenden Verlauf der Funktion zu erhalten, wird diese geglättet. Hierzu wird „... jeder Funktionswert durch das gewogene Mittel aus seinem ursprünglichen Wert und den beiden Nachbarwerten ersetzt ...“ [18]. Die Gewichtung erfolgt dabei durch die Anzahl aller Messwerte in den betreffenden Klassen. Die äußersten Randwerte bleiben von dieser Glättung unberücksichtigt und behalten ihren ursprünglichen Wert bei. Dieser Vorgang (Glättung) ist so lange zu wiederholen, bis sich ein stetig steigender Verlauf der Funktion ergibt. Hierzu stellt HARDERS jedoch fest, dass es unzweckmäßig ist, die Glättung öfter als fünfmal vorzunehmen. Sollte auch dann noch kein stetiger Anstieg erreicht worden sein, so ist stattdessen die Klasseneinteilung neu zu bilden und die Breite dieser zu verdoppeln (statt 0,5 s auf 1 s erweitern etc.). Verläuft auch für die neue Klasseneinteilung der Glättungsversuch (nach max. fünf Durchläufen) negativ, so ist die Klassenbreite erneut zu vergrößern. Dies sollte bis zu einer maximalen Breite der Klassen von 4 Sekunden fortgesetzt werden. Ist auch dann noch kein stetig steigender Verlauf der Anteilskurve angenommener Zeitlücken erreicht, so ist die Berechnung der Grenzzeitlücke abzubrechen. Für diesen Fall lässt sich anhand der vorliegenden Messwerte „... kein sinnvoller Wert für die Grenzzeitlücke [...] bestimmen“ [18].

Der Anstieg der besagten Funktion von einer Klasse zur nächsten ergibt die Verteilung der aktuellen Grenzzeitlücke (je Klasse). Diese liegt in normierter Form vor, was bedeutet, dass ihr Inhalt (die Summe aller Werte in den verschiedenen Klassen) den

Wert 1 annehmen sollte. Die eigentlich gesuchte Grenzzeitlücke über alle Zeitlückenklassen entspricht dem Mittelwert der Verteilung der aktuellen Grenzzeitlücken.

Für die Ermittlung der Grenzzeitlücke und weiterer statistisch relevanter Größen sind die nachfolgenden Gleichungen zu verwenden:

Grenzzeitlücke (arithmetisches Mittel der Verteilung der aktuellen Grenzzeitlücke)

$$\bar{x} = \sum_{j=1}^k \varphi_j \cdot x_j$$

mit:

\bar{x} = Grenzzeitlücke (Mittelwert der Verteilung) [in s]

φ_j = Veränderung des Anteilswerts der angenommenen Zeitlücken von Klasse j zu Klasse j + 1

x_j = Anteilswert der angenommenen Zeitlücken in der Klasse j

k = Anzahl der Klassen

Streuung

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^k \varphi_j \cdot (x_j - \bar{x})^2}$$

mit:

σ = Streuung der Verteilung

\bar{x} = Grenzzeitlücke (Mittelwert der Verteilung) [in s]

φ_j = Veränderung des Anteilswerts der angenommenen Zeitlücken von Klasse j zu Klasse j + 1

x_j = Anteilswert der angenommenen Zeitlücken in der Klasse j

k = Anzahl der Klassen

Schiefe

$$\gamma = \sum_{j=1}^k \varphi_j \cdot \left(\frac{x_j - \bar{x}}{\sigma} \right)^2$$

mit:

γ = Schiefe der Verteilung

σ = Streuung der Verteilung

\bar{x} = Grenzzeitlücke (Mittelwert der Verteilung) [in s]

φ_j = Veränderung des Anteilswerts der angenommenen Zeitlücken von Klasse j zu Klasse j + 1

x_j = Anteilswert der angenommenen Zeitlücken in der Klasse j

k = Anzahl der Klassen

Variationskoeffizient

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

mit:

v = Variationskoeffizient

σ = Streuung der Verteilung

\bar{x} = Grenzzeitlücke (Mittelwert der Verteilung) [in s]

2.2.3.2 Bestimmung der Folgezeitlücke (vgl. [18])

Zur Bestimmung der Folgezeitlücken werden sämtliche Zeitlücken ermittelt, die zwischen zwei aufeinander folgenden Fahrzeugen vergehen, welche in dieselbe Zeitlücke im Hauptstrom einfahren. Anders als bei der Grenzzeitlücke, wo zunächst die Verteilung der aktuellen Grenzzeitlücke ermittelt werden musste, indem dazu Zeitlückenklassen gebildet werden (siehe vorhergehenden Abschnitt in diesem Kapitel), kann die Folgezeitlücke direkt aus den vorliegenden Messwerten ermittelt werden.

Hierbei gelten die nachfolgenden Formeln:

Folgezeitlücke (arithmetisches Mittel der Messwerte)

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i$$

mit:

\bar{x} = Grenzzeitlücke (Mittelwert der Verteilung) [in s]

x_i = Einzelmesswert

N = Anzahl der Messwerte

Streuung

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

mit:

σ = Streuung der Verteilung

\bar{x} = Folgezeitlücke (Mittelwert der Messwerte) [in s]

x_i = Einzelmesswert

N = Anzahl der Messwerte

Schiefe

$$\gamma = \frac{1}{\sigma^3} \cdot \frac{1}{(N-1) \cdot (N-2)} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3$$

mit:

γ = Schiefe der Verteilung

σ = Streuung der Verteilung

\bar{x} = Folgezeitlücke (Mittelwert der Messwerte) [in s]

x_i = Einzelmesswert

N = Anzahl der Messwerte

Variationskoeffizient

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

mit:

v = Variationskoeffizient

σ = Streuung der Verteilung

\bar{x} = Folgezeitlücke (Mittelwert der Messwerte) [in s]

Mittlerer Fehler

$$f_m = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

mit:

f_m = mittlerer Fehler

σ = Streuung der Verteilung

N = Anzahl der Messwerte

2.3 Unfallanalyse

Bei der Sicherheitsanalyse wird das Unfallgeschehen an einem Knotenpunkt mit Hilfe von verschiedenen Kennwerten (s. u.) beurteilt. Für die Ermittlung dieser Kenngrößen werden Unfallkostensätze benötigt. Es wird zwischen pauschalen und angepassten Unfallkostensätzen unterschieden. Die pauschalen Unfallkostensätze wurden in Zusammenarbeit wissenschaftlicher und staatlicher Institutionen in Abhängigkeit der Unfallkategorie und der Straßenkategorie ermittelt. Für die Verwendung von angepassten Unfallkosten müssen einige Kriterien erfüllt sein. Es muss eine genaue Zuordnung der Unfälle nach Straßenkategorien möglich sein. Zudem muss die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden nach den Folgen („Getötet“, „Schwerverletzt“ und „Leichtverletzt“) bekannt sein. Außerdem muss ein hinreichend großes Unfallkollektiv zur Verfügung stehen – innerorts mindestens 400 Unfälle mit Personenschaden. Ist die direkte Anpassung der Unfallkosten auf Grund von einer der zuvor genannten Restriktionen nicht zulässig, kann auf die indirekte Anpassung zurückgegriffen werden. Diese eignet sich insbesondere bei der Untersuchung von Knotenpunkten. Es finden die Unfallkostensätze für Unfalltypen in Abhängigkeit von Unfallkategorie und Straßenkategorie Anwendung [8].

Straßenverkehrsunfälle werden nach verschiedenen Kriterien unterschieden. Ein Unterscheidungskriterium bilden die Unfallkategorien. Es werden sechs verschiedene Unfallkategorien unterschieden.

U(P)	U(SP)	Kategorie 1
		Kategorie 2
	U(LV)	Kategorie 3
U(S)	U(SS)	Kategorie 4
		Kategorie 6
	U(LS)	Kategorie 5
U(P) Unfall mit Personenschaden U(SP) Unfall mit schwerem Personenschaden U(LV) Unfall mit Leichtverletzten U(S) Unfall mit Sachschaden U(SS) Unfall mit schwerwiegendem Sachschaden U(LS) Sonstiger Unfall mit Sachschaden		

Gibt es mindestens einen tödlich verunglückten Verkehrsteilnehmer, liegt Kategorie 1 vor. Gibt es mindestens einen schwerverletzten Verkehrsteilnehmer, aber keinen Getöteten, liegt Kategorie 2 vor. Gibt es mindestens einen leichtverletzten Ver-

kehrsteilnehmer, aber weder Getötete noch Schwerverletzte, liegt Kategorie 3 vor. Bei einem Unfall mit Sachschaden und Straftatbestand oder Ordnungswidrigkeits-Anzeige und mindestens einem nicht mehr fahrbereiten Kraftfahrzeug liegt Kategorie 4 vor. Bei Sachschadensunfällen mit Straftatbestand oder Ordnungswidrigkeits-Anzeige ohne Alkoholeinfluss eines Beteiligten und unter der Voraussetzung, dass alle Fahrzeuge fahrbereit sind oder im Falle lediglich geringfügiger Ordnungswidrigkeit (Verwarnung) unabhängig davon, ob die Kraftfahrzeuge fahrbereit sind, liegt Kategorie 5 vor. Bei allen übrigen Sachschadensunfällen unter Alkoholeinfluss mindestens eines Beteiligten liegt Kategorie 6 vor [8].

Eine weitere Differenzierung der Straßenverkehrsunfälle erfolgt durch die Zuordnung der Unfälle zu Unfalltypen. Diese geben Aufschluss darüber, welcher Verkehrsvorgang bzw. welche Konfliktsituation zu dem Unfall geführt hat. „Als Konflikt gilt (dabei) die gleichzeitige Annäherung von Verkehrsteilnehmern (Konfliktpartnern) an eine Straßenstelle, an der sie unter Umständen zusammenstoßen können“ [8].

Folgende Unfalltypen werden unterschieden [8]:

Unfalltyp 1: Fahrnfall (F)

Führt der Verlust der Kontrolle über das eigene Fahrzeug ohne Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmer zu einem Unfall, so wird dies als „Fahrnfall“ eingestuft. Infolgedessen kann es durchaus auch zu Zusammenstößen mit anderen Verkehrsteilnehmern gekommen sein.

Unfalltyp 2: Abbiege-Unfall (AB)

Konflikte zwischen abbiegenden und aus gleicher bzw. entgegengesetzter Richtung kommenden Verkehrsteilnehmern, die in einem Zusammenstoß der Beteiligten an einer Kreuzung, Einmündung oder Zufahrt enden, werden als „Abbiege-Unfall“ bezeichnet. Dies schließt auch Fußgänger mit ein.

Unfalltyp 3: Einbiegen/Kreuzen-Unfall (EK)

Unfälle, welche sich aufgrund eines Konfliktes zwischen Wartepflichtigen einbiegenden bzw. kreuzenden Verkehrsteilnehmern und ihnen gegenüber bevorrechtigten Fahrzeugen an Kreuzungen, Einmündungen oder Ausfahrten ereigneten, sind dem Unfalltyp „Einbiegen/Kreuzen-Unfall“ zuzuschreiben.

Unfalltyp 4: Überschreiten-Unfall (ÜS)

Als „Überschreiten-Unfall“ werden jene Unfälle bezeichnet, die aufgrund eines Konfliktes zwischen Fußgängern und Fahrzeugen entstanden sind. Dabei dürfen sich der Fußgänger und das Fahrzeug allerdings nicht in gleicher Richtung (Längsverkehr) bewegt haben und das Fahrzeug nicht abgebogen sein.

Unfalltyp 5: Unfall durch ruhenden Verkehr (RV)

War der Auslöser für den Unfall ein Konflikt zwischen einem sich bewegenden und einem geparkten Fahrzeug, so gilt dies als „Unfall durch den ruhenden Verkehr“. Hierzu zählen auch Unfälle, die durch Fahrmanöver beim Ein- bzw. Ausparken verursacht wurden.

Unfalltyp 6: Unfall im Längsverkehr (LV)

Bewegten sich die Unfallbeteiligten zum Zeitpunkt des Zusammentreffens in gleicher Richtung (Längsverkehr), so ist dies dem Unfalltyp „Unfall im Längsverkehr“ zuzuordnen.

Unfalltyp 7: Sonstiger Unfall (SO)

Der Unfalltyp „Sonstiger Unfall“ umfasst alle Unfälle, die keinem der vorgenannten sechs Typen zugeordnet werden können.

Neben den Unfalltypen gibt es noch zehn Unfallarten. Sie beschreiben vor allem die Kollision, die zum Unfall führt (Art des Unfallhergangs). Es werden unterschieden:

Unfallart 1:

Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das anfährt, anhält oder steht (ruhender Verkehr).

Unfallart 2:

Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet.

Unfallart 3:

Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt.

Unfallart 4:

Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das entgegenkommt.

Unfallart 5:

Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt.

Unfallart 6:

Zusammenstoß zwischen einem Fahrzeug und einem Fußgänger.

Unfallart 7:

Aufprall auf ein Hindernis auf der Fahrbahn.

Unfallart 8:

Von der Fahrbahn nach rechts abkommen.

Unfallart 9:

Von der Fahrbahn nach links abkommen.

Unfallart 10 (teilweise auch 0):

Unfall anderer Art, weder Unfallart 1 bis 9.

2.3.1 Unfallkennziffern

Bei den Unfallkennziffern erfolgt die Unterscheidung zwischen Raten und Dichten.

Die Unfallrate beschreibt die durchschnittliche Anzahl der Unfälle, die bei einer Fahrleistung von 1 Mio. Kfz-Überfahrten an einem Knotenpunkt verursacht wurden. Sie ergibt sich wie folgt [8]:

$$UR = \frac{10^6 \cdot U}{365 \cdot DTV \cdot t}$$

mit:

UR = Unfallrate [U/10⁶ Kfz]

U = Anzahl der Unfälle [-] innerhalb von t Jahren

DTV = durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke [Kfz/24 h]

t = Betrachtungszeitraum [a]

Die Unfallkostenrate beschreibt die entsprechenden durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Kosten

durch Straßenverkehrsunfälle, die bei einer Fahrleistung von 1.000 Kfz an einem Knotenpunkt entstanden sind. Sie wird mit Hilfe der nachfolgenden Gleichung bestimmt [8]:

$$UKR = \frac{1.000 \cdot UK}{365 \cdot DTV \cdot t}$$

mit:

UKR = Unfallkostenrate [€/10⁶ Kfz]

UK = Unfallkosten [€] innerhalb von t Jahren

DTV = durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke [Kfz/24 h]

t = Betrachtungszeitraum [a]

Die Unfalldichte beschreibt die mittlere jährliche Anzahl an Unfällen, die auf einen Knotenpunkt entfallen. Sie kann mit Hilfe der folgenden Formel berechnet werden [8]:

$$UD = \frac{U}{t}$$

mit:

UD = Unfalldichte [U/(km · a)]

U = Anzahl der Unfälle [-] innerhalb von t Jahren

t = Betrachtungszeitraum [a]

Die Unfallkostendichte beschreibt die mittleren jährlichen volkswirtschaftlichen Kosten durch Straßenverkehrsunfälle, die auf einen Knotenpunkt entfallen. Sie wird anhand der folgenden Formel ermittelt [8]:

$$UKD = \frac{UK}{1.000 \cdot t}$$

mit:

UKD = Unfallkostendichte [1.000€/(km · a)]

UK = Unfallkosten [€] innerhalb von t Jahren

t = Betrachtungszeitraum [a]

In der Regel wird das Unfallgeschehen der letzten drei Jahre betrachtet [8].

3 Stand der Wissenschaft und Technik

Eingangsgröße für das Forschungsprojekt sind die bereits in vorherigen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse zum Thema innenliegende Links-einfädelsstreifen (iLES). Hierzu wurden die bisherigen in- und ausländischen Forschungsarbeiten im Hinblick auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit an Knotenpunkten mit iLES analysiert.

3.1 Vorhandene Regelwerke

Geltungsbereiche der Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 06) [13] sind Erschließungsstraßen sowie anbaufreie und angebaute Hauptverkehrsstraßen mit plangleichen Knotenpunkten gemäß den RIN [14]. Die RASt 06 [13] liefert empfohlene Lösungen für typische Entwurfssituationen im Straßenraum. Falls für die Erfordernisse keine entsprechende Entwurfssituation vorgegeben ist, wird ein individueller Entwurf unter Berücksichtigung der jeweiligen Nutzungsansprüche und mit individuellen Entwurfs-elementen empfohlen.

Die Kriterien für eine geeignete Knotenpunktart sind die Netzfunktion der Straßen, die Verkehrsstärken des motorisierten und nicht motorisierten Verkehrs, das Unfallgeschehen und die straßenräumliche und städtebauliche Situation. In der Regel sind mehrere alternative Knotenpunktarten geeignet. Einmündungen oder Kreuzungen mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen eignen sich bei Straßen unterschiedlichen Ranges. Demzufolge unterscheiden sich auch die Verkehrsstärken der Straßen stark. Bei zu hoher Verkehrsstärke eignet sich die Vorfahrtsregelung nicht mehr.

Für die Führung von Linksabbiegern an Hauptverkehrsstraßen liefert die RASt 06 [13] Gestaltungsbeispiele. Entsprechend der Stärke der Linksabbieger und den Verkehrsstärken des Stroms, aus dem abgelenkt wird, werden Aufstellbereiche oder Linksabbiegestreifen empfohlen.

Das Pendant für die Linksabbiegestreifen, die iLES, wird in den RASt 06 [13] nicht weiter thematisiert, da keine ausreichenden Erfahrungswerte und demzufolge abzuleitende Empfehlungen vorliegen.

Die Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS) mit dem Teil „Knotenpunkte“ und dem Abschnitt 1

„Plangleiche Knotenpunkte“ [9] behandeln die Bemessung und Gestaltung von Knotenpunkten. Ebenso wie in den RASt 06 [13] finden sich auch hier keine Gestaltungsvorschläge für iLES. Nach den Gestaltungsvorschlägen der RAS-K-1 [9] ist der potenzielle iLES zumeist eine Sperrfläche. In den „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL)“ [9] sind ebenfalls keine Empfehlungen zur Anlage von iLES enthalten.

3.2 Forschungsprojekte

An plangleichen Einmündungen sind in vielen Beispielen iLES eingerichtet worden. Man findet sie an Autobahnabfahrten und an hochbelasteten Einmündungen innerhalb und außerhalb bebauter Gebiete. Im Regelfall dienen die iLES zur Erhöhung der Kapazität und zur Verbesserung der Verkehrsqualität. Die Vermeidung teurer Umbauten oder die Vermeidung einer Lichtsignalanlage hat häufig zu dieser im Regelwerk nicht verankerten Lösung geführt.

Bislang sind derartige Knotenpunkt-lösungen nicht systematisch untersucht worden. Der HUK-Verband hat 1964 vor der Lösung gewarnt, da aus Sichtgründen (fehlender rechter Außenspiegel) eine ungünstige Verkehrssicherheit befürchtet und eine geringe Akzeptanz erwartet wurde.

Erstmalig haben sich DURTH et al. [1] im Jahr 1998 mit iLES in Deutschland auseinandergesetzt. In einer Pilotstudie untersuchten sie zwei Knotenpunkte außerhalb bebauter Gebiete in Hessen. Des Weiteren befasste sich KNEIFEL [19] 2001 bei seiner Diplomarbeit mit iLES in Baden-Württemberg und untersuchte dabei drei Knotenpunkte, die über einen solchen iLES verfügen. Im darauffolgenden Jahr (2002) erschien in den USA ein Bericht von HANSON [17] zu Median Acceleration Lanes (MAL) – so die amerikanische Bezeichnung für iLES – im Bundesstaat Minnesota. Jüngste Untersuchungen in Deutschland wurden von MATENA [21] im Jahr 2007 durchgeführt, wobei drei Knotenpunkte in Nordrhein-Westfalen sowie Rheinland-Pfalz analysiert wurden. Im Vorfeld des vorliegenden Forschungsprojektes führte LOTZ [20] im Jahr 2010 Untersuchungen an iLES durch. Im Rahmen einer Diplomarbeit betrachtete LOTZ den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit an drei Knotenpunkten außerhalb bebauter Gebiete.

DURTH et al. – „Untersuchung von plangleichen Knotenpunkten mit innenliegenden Einfädelsstreifen“

Ziel der Pilotstudie von DURTH et al. [1] war es zu prüfen, wie sich die Einrichtung innenliegender Einfädelsstreifen auf die Leistungsfähigkeit und die Verkehrssicherheit eines Knotenpunktes auswirken.

Für die nähere Untersuchung wurden zwei Knotenpunkte mit iLES in Hessen ausgewählt, einer mit einem iLES von 70 Meter Länge und einer mit einem iLES von 180 Meter Länge. Beide Knotenpunkte lagen außerhalb bebauter Gebiete. Die Beobachtungen ergaben, dass es auf dem kürzeren der iLES zu Stauungen auf dem Einbiegestreifen kam und daraus Konfliktsituationen entstanden, wie zum Beispiel dass auf dem Einbiegestreifen wartende Fahrzeuge von anderen nachfolgenden Einbiegern überholt wurden. Der längere iLES wurde dagegen von der deutlichen Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer zum Beschleunigen genutzt. Auf Grund der Länge konnten auch keine Stauungen auf dem iLES beobachtet werden.

Bei der Überprüfung der Leistungsfähigkeit konnten an beiden Knotenpunkten erhebliche Leistungssteigerungen festgestellt werden. Bei der Berechnung der Leistungsfähigkeit wurde das übliche Verfahren entsprechend modifiziert [1].

Da der Linkseinbiegevorgang bei Knotenpunkten mit iLES in zwei Teilvorgänge („Einfahren“ und „Einfädeln“) unterteilt werden kann, wurden nach diesen Kriterien auch die Grenz- und Folgezeitlücken ermittelt. Die Zeitlücken für das „Einfahren“ sind wie angenommen kleiner als die Zeitlücken, die von HARDERS für den gesamten Linkseinbiegevorgang angegeben werden.

Die Verkehrssicherheit betreffend können nur Aussagen unter Vorbehalt gemacht werden. Insbesondere die Datenbasis ist für allgemeingültige Aussagen zu klein. Beim Knotenpunkt mit dem kürzeren iLES ergab sich ein Großteil der Konflikte auf Grund der Staubildung auf dem iLES. Am anderen untersuchten Knotenpunkt konnten bei einigen Verkehrsteilnehmern Probleme beim Verständnis der unbekanntenen Verkehrsregelung festgestellt werden.

Eine Überprüfung der Befahrbarkeit für größere und vor allem längere Fahrzeuge (z. B. Lastzüge) wurde ebenfalls im Zuge der Untersuchung vorgenommen. Mit Hilfe der gespiegelten Schleppkurven

für Rechtseinbiegevorgänge wurde geprüft, ob der Einbiegevorgang ausschließlich auf den dafür vorgesehenen Flächen durchgeführt werden kann. Theoretisch wie auch praktisch (anhand der Videoaufnahmen) konnte dies bestätigt werden.

Die Empfehlung der Längen der iLES für die beiden empirisch untersuchten Knotenpunkte orientiert sich an den Forderungen für die Länge für Rechtseinbiegestreifen. Dies erscheint sinnvoll, da die iLES dieselbe Funktion wie Rechtseinbiegestreifen haben. Während der längere iLES eine ausreichende Länge aufweist, gilt dies für den 70 Meter langen iLES nicht, was die beobachteten Stauungen auf dem iLES noch unterstreichen.

Im Rahmen der Studie erfolgte auch eine Befragung von Verkehrsteilnehmern zu der seltenen Knotenpunktlösung am Knotenpunkt mit dem 180 Meter langen iLES. Die überwiegende Mehrheit der Verkehrsteilnehmer sieht die Vorteile der Lösung und befürwortet die Anlage weiterer Knotenpunkte mit iLES. Vor allem Verkehrsteilnehmer, die Probleme mit der visuellen Erfassung und dem Verständnis des Funktionsprinzips des iLES haben, sprechen sich gegen die Anlage von Knotenpunkten mit iLES aus.

Von DURTH et al. konnten die vermuteten Leistungssteigerungen an den in der Pilotstudie untersuchten Knotenpunkten mit iLES bestätigt werden. Auch die höhere Verkehrssicherheit wurde bestätigt, wenn auch hier auf eine kleine Datenbasis zurückgegriffen wurde. Damit sind die Folgerungen diesbezüglich kritisch zu betrachten. Unter den Verkehrsteilnehmern konnte eine hohe Akzeptanz beobachtet und auch bestätigt werden. Vermehrte Konflikte waren nur im Hinblick auf die Länge des kurzen iLES zu beobachten. Der Hauptgrund für die falsche oder Nichtnutzung des iLES sind Unkenntnis und fehlende Hinweise. Vor allem eine bessere Kenntlichmachung der Knotenpunktlösung wurde von vielen Verkehrsteilnehmern im Zuge der Befragung gefordert.

KNEIFEL – „Untersuchung innenliegender Einfädelsstreifen“

KNEIFEL untersuchte im Sommer 2001 Knotenpunkte mit innenliegendem Linkseinbiegestreifen in Baden-Württemberg [19].

Tatsächlich empirisch untersucht wurden drei Knotenpunkte (zwei innerhalb bebauter Gebiete und

einer außerhalb bebauter Gebiete), davon einer, an dem der Beschleunigungsstreifen in Form einer Spuraddition fortgeführt wird.

Auch bei diesen Untersuchungen wurden Videoaufzeichnungen vorgenommen, aus denen anschließend die Verkehrsbelastung sowie Zeitlücken ermittelt wurden. Ebenso fallen auch hierbei die ermittelten Grenz- und Folgezeitlücken für den Vorgang „Einfahren/Kreuzen“ geringer aus als die von HARDERS [18] angegebenen Werte für den Vorgang „Einbiegen“. Damit ergibt sich wiederum auch für die von KNEIFEL untersuchten Knotenpunkte eine höhere Leistungsfähigkeit mit iLES, als es ohne diese der Fall wäre.

Die Unfallanalyse liefert hier zum Teil andere Ergebnisse, als es bei DURTH et al. [1] der Fall war. Die innerorts gelegenen Knotenpunkte profitieren sicherheitstechnisch von der Anlage des iLES. Für den außerorts gelegenen Knotenpunkt gilt das nicht. Der Autor nimmt an, dass dies mit der fehlenden Kenntnis der richtigen Nutzung eines iLES zusammenhängt und dies durch geeignetere Verkehrshinweise, anders als in Baden-Württemberg üblich, unterbunden werden könnte.

Beide innerorts gelegenen Knotenpunkte weisen auch Entwurfs Elemente (bauliche Trennung zwischen Einbiegefahrstreifen und dem Hauptstrom, in den eingefädelt wird) auf, die eine falsche Nutzung unterbinden.

KNEIFEL weist auch auf die Länge der Linkseinbiegestreifen hin. Diese muss ausreichend bemessen werden, um die erwünschte Wirkung zu erreichen.

HANSON – „Median Acceleration Lane Study Report“

HANSON untersuchte im US-Bundesstaat Minnesota eine Reihe von Knotenpunkten außerhalb bebauter Gebiete, welche z. T. über so genannte MALs (Median Acceleration Lanes – innenliegende Linkseinfädelungsstreifen) verfügen, und stellt die dabei gewonnenen Ergebnisse gegenüber [17].

Als Ergebnisse hält HANSON u. a. fest, dass sich mit der Einrichtung der MALs die Wartezeiten der Linkseinbieger in der untergeordneten Zufahrt merklich verringern. Weiterhin stellt der Autor fest, dass sich mit steigender Verkehrsbelastung im Hauptstrom die genutzte Länge des Einfädelungsstreifens erhöht, was einhergeht mit einer Steige-

rung der Geschwindigkeit, mit der in den Hauptstrom eingefädelt wird. Bezüglich der Unfallrate zeigt sich mit Einrichtung der MALs eine Reduzierung im Vergleich zur Vorher-Situation ohne MAL. Zudem lagen die Unfallraten unterhalb der mittleren Unfallrate von Knotenpunkten ohne MALs.

Dennoch gibt es auch kritische Äußerungen. Zum einen nutzen nicht alle Fahrzeuge den Einfädelungsstreifen, wie dies eigentlich vorgesehen ist, und stoppen auf diesem. Zum anderen sind nicht alle Fahrzeugführer, die sich auf der Haupttrichtung befinden, in die eingebogen wird, mit dem Prinzip der MALs vertraut und bremsen abrupt ab, wenn sie ein Fahrzeug aus der Nebenrichtung in den Knotenpunkt einfahren sehen. Auch wird die nicht ausreichende Beschilderung bemängelt, mit der die Verkehrsteilnehmer auf die iLES hingewiesen werden. Schließlich wird insbesondere für große Lkw ein größerer Einbiegeradius gefordert, um ein Überfahren des Geradeausfahrstreifens der Haupttrichtung, in den eingebogen wird, schon vor der Benutzung des Einfädelungsstreifens zu vermeiden.

MATENA – „Sicherheitsaspekte innenliegender Einfädelungsstreifen an plangleichen Knotenpunkten außerorts“

Im Hinblick auf die Erarbeitung der Richtlinien für die Anlage von Landstraßen untersuchte MATENA 2007, ob es sinnvoll ist, Knotenpunkte mit iLES in dieser zu berücksichtigen. Dabei erforschte MATENA die Leistungsfähigkeit und Verkehrssicherheit dieser Knotenpunkte.

Für die Untersuchung der Leistungsfähigkeit wurden ähnlich wie in den Forschungsvorhaben von DURTH et al. und KNEIFEL drei Knotenpunkte mit iLES anhand von Videoaufzeichnungen und Geschwindigkeitsmessungen mit Radargeräten untersucht. Bemerkenswert ist, dass eine Vielzahl regelwidriger Einbiegevorgänge beobachtet wurde und zudem deutlich höhere Geschwindigkeiten als die jeweils zulässigen 50 km/h gemessen wurden.

Bei der Bewertung der Unfallsituation blieben Knotenpunkte innerhalb bebauter Bereiche und Knotenpunkte mit einer Unfalldatenbasis von weniger als einem Jahr unberücksichtigt. Im Ergebnis wurden 285 Unfälle an 17 Knotenpunkten untersucht. Aufgrund der geringen Datenbasis erfolgte die Verwendung von pauschalen Unfallkostensätzen für Landstraßen. Es erfolgte eine gesonderte Betrachtung

tung der Unfälle, die in direktem Zusammenhang mit dem iLES standen (Unfalltypen 321, 322, 641 und 651). Dies waren 55 Unfälle und damit etwa 19 Prozent des Unfallkollektivs.

Um einen Vergleich mit der Studie von ECKSTEIN/MEEWES [4] ziehen zu können, wurden alle Knotenpunkte mit einer Unfalldatenbasis von drei Jahren berücksichtigt. Für diese sieben Knotenpunkte mit 143 Unfällen wurden die Unfallkenngrößen Unfallkostenrate und Unfallrate bestimmt. Während zwischen der Verkehrsbelastung der Knotenpunkte (DTV) und den Unfallkenngrößen kein direkter Zusammenhang festgestellt werden konnte, konnte aber ein leicht linearer Zusammenhang zwischen dem Verkehrsanteil der Nebenrichtung und der Unfallkostenrate nachgewiesen werden.

Auch eine Auffälligkeit der Unfallhäufigkeit bei Dunkelheit oder Dämmerung war nicht zu beobachten.

Insgesamt konnte festgestellt werden, „dass die Verkehrsqualität und die Verkehrssicherheit an Knotenpunkten mit iLES auf geringfügig höherem Niveau als bei herkömmlichen Einmündungen ohne Lichtsignalanlage liegen“ [21]. Kreisverkehrsplätze und Einmündungen mit dreiphasiger Lichtsignalanlage weisen allerdings bei noch höherer Leistungsfähigkeit noch weit geringere Unfallkostenraten auf.

Als Problem ist auch das noch häufig zu beobachtende regelwidrige Verhalten der Verkehrsteilnehmer bei der Nutzung der iLES zu nennen.

Aufgrund der sich bei den Untersuchungen ergebenden Kennwerte spricht MATENA keine Empfehlung für die Aufnahme von nichtsignalisierten Einmündungen mit innenliegendem Linkseinbiegestreifen als Standardknotenpunkt in die RAL aus. Er fordert vielmehr, dass auch weiterhin Einmündungen mit LSA bzw. Kreisverkehre als anzustrebender Standard gelten sollten.

LOTZ – „Untersuchung des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit von Knotenpunkten mit innenliegenden Linkseinbiegestreifen außerhalb bebauter Gebiete“

Im Vorfeld dieses Forschungsprojektes wurde am Fachgebiet Straßenplanung und Straßenbetrieb an der Technischen Universität Berlin eine Diplomarbeit zum Thema „Untersuchung des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit von Knotenpunkten mit innenliegenden Linkseinbiegestreifen außerhalb bebauter Gebiete“ (LOTZ) [20] vergeben.

Es zeigt sich bei den Untersuchungen von LOTZ [20] an drei Knotenpunkten außerhalb bebauter Gebiete ($V_{zul} = 100 \text{ km/h}$) bei den Berechnungen zur Leistungsfähigkeit, dass durch die Einrichtung eines innenliegenden Einfädungsstreifens für die Linkseinbieger die Leistungsfähigkeit durchaus gesteigert werden kann. So wird diese an zwei der drei untersuchten Knotenpunkte auf ein Maß angehoben, welches das Erreichen einer ausreichenden (QSV = D) bis befriedigende Qualitätsstufe (QSV = C) des Verkehrsablaufes ermöglicht, wohingegen die entsprechenden Knotenpunkte für den Fall ohne Linkseinbiegestreifen eindeutig überlastet wären (QSV = F). Das Ausmaß der Verbesserungen hängt dabei stark von der Zusammensetzung der Verkehrsbelastung am Knotenpunkt ab. Je geringer der Anteil des Geradeausfahrerstroms ist, in den der Linkseinbiegerstrom einfährt, desto geringer ist die Wirkung des innenliegenden Einfädungsstreifens. Auch können durch die Einrichtung eines iLES nur dann Verbesserungen bei der Leistungsfähigkeit eintreten, wenn eine ausreichend hohe Belastung im Hauptstrom vorhanden ist. So fällt für den dritten von LOTZ untersuchten Knotenpunkt die mögliche Leistungssteigerung nur marginal aus und rechtfertigt die Einrichtung eines solchen Einfädungsstreifens kaum.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass an allen drei untersuchten Knotenpunkten der Anteil von Linkseinbiegern, die ein regelwidriges Verhalten zeigen, eher gering ausfällt. Auch fällt die Beurteilung der Verkehrssicherheit überwiegend gut aus. Die Kennwerte (Unfallrate und Unfallkostenrate) liegen i. Allg. unter denen von nichtsignalisierten Einmündungen, die nicht über einen solchen Fahrstreifen verfügen, und unterschreiten z. T. sogar die gemittelten Werte von Einmündungen mit LSA und Kreisverkehren. Es zeigt sich in diesem Zusammenhang jedoch auch, dass die Länge des iLES in Abhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit im Hauptstrom sehr wohl einen Einfluss ausübt. Je länger dieser ausfällt, desto mehr verhalten sich die Verkehrsteilnehmer so, wie es zu erwarten wäre, und nutzen den iLES in einer regelkonformen Art und Weise. Auch fällt die Unfallanalyse mit zunehmender Länge des iLES und reduzierter zulässiger Höchstgeschwindigkeit günstiger aus. Es fällt dabei auch auf, dass die Unfälle an den untersuchten Knotenpunkten in der Mehrzahl der Fälle zwar im Zusammenhang mit linkseinbiegenden Fahrzeugen stehen, diese sich jedoch in der Regel bereits bei Einfahrt in den Knotenpunkt ereignen und nicht auf die

Benutzung des iLES, sondern die Missachtung der Vorfahrt beim Einfahren zurückzuführen sind.

Trotz dieser Tatsache wird die Forderung aufgestellt, die Geschwindigkeit im Hauptstrom an entsprechend ausgestatteten Knotenpunkten auf maximal 70 bis 80 km/h zu begrenzen. Die Art und Weise, wie die linkseinbiegenden Verkehrsteilnehmer sich mit zunehmender Geschwindigkeit im Hauptstrom verhalten, deutet darauf hin, dass die Akzeptanz und damit die Nutzung des iLES dabei sinken. Auch sollte die Geschwindigkeit deshalb reduziert werden, weil so die notwendige Länge des Einfädungsstreifens zum Ausgleich der Geschwindigkeitsdifferenzen auf ein verträgliches Maß reduziert werden kann. Dennoch sollte an Knotenpunkten außerhalb bebauter Gebiete auch bei einer Reduzierung der Geschwindigkeit im Hauptstrom auf die besagten 70 bis 80 km/h die Länge des Einfädungsstreifens nicht kleiner ausfallen als die 150 m, wie sie in den RAL [9] für Rechtseinbiegestreifen vorgesehen sind, wobei dieser Wert als unterste Grenze zu verstehen ist und durchaus auch höher ausfallen kann. Um das regelwidrige Verhalten einiger Verkehrsteilnehmer zu verhindern, welches nicht nur von Linkseinbiegern ausgeht, sondern auch den Missbrauch des iLES zum Überholen durch Fahrzeuge im Hauptstrom einschließt, empfiehlt LOTZ bauliche Maßnahmen zur Trennung der Fahrstreifen, da hierdurch die Entstehung neuer Konfliktsituationen vermieden werden könnte. Zudem sollten Hinweistafeln auf die spezielle Verkehrsführung der Linkseinbieger aufmerksam machen.

3.3 Zusammenfassung

Allen genannten Untersuchungen ist gemein, dass die Leistungsfähigkeit der Knotenpunkte mit iLES in unterschiedlichem Maße gesteigert werden kann.

Die Aussagen zur Verkehrssicherheit sind dagegen vage. Alleine MATENA hat eine größere Datenbasis untersucht und vor allem große Schwankungen der Unfallraten zwischen den Knotenpunkten mit iLES feststellen können.

Ebenfalls wurden häufig die fehlenden Verkehrshinweise beklagt, die insbesondere für Ortsfremde zur richtigen Nutzung des iLES erforderlich sind.

In der Auswahl der untersuchten Knotenpunkte finden sich vor allem Knotenpunkte außerhalb von

Ortschaften und auch größtenteils Knotenpunkte mit längeren Beschleunigungsstreifen.

4 Bestandsanalyse

Im vorliegenden Forschungsprojekt erfolgt eine möglichst vollständige Bestandsanalyse der im Bundesgebiet zum jetzigen Zeitpunkt im Einsatz befindlichen Knotenpunkte mit iLES. Aus dem Bestand heraus wird eine Anzahl von zehn Knotenpunkten, die sich innerhalb oder im Vorfeld bebauter Gebiete befinden, für die empirischen Untersuchungen ausgewählt. Damit sind vor allem auch kürzere Einfädungsstreifen (Aufstellstreifen) Bestandteil der Untersuchung. Vor allem für Knotenpunkte, die innerhalb bebauter Gebiete gelegen sind, gilt es, die Nutzungsansprüche anderer Verkehrsteilnehmer wie Radfahrer und Fußgänger eingehend zu prüfen.

Zunächst wurde eine umfangreiche Analyse des heutigen Bestandes an Knotenpunkten mit innenliegenden Linkseinfädungsstreifen in Deutschland vorgenommen. Dabei wurden bereits umgesetzte Projekte/Untersuchungen verarbeitet, die Straßenbaubehörden abgefragt und in den Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern¹ in Deutschland telefonisch angefragt, ob Entwurfslösungen dieser Art existieren. Es konnten über 120 Knotenpunkte zusammengetragen werden. Dabei handelt es sich um zurzeit in Betrieb befindliche Knotenpunkte. Einige Knotenpunkte, die möglicherweise noch vor kurzem über einen iLES verfügten, aber inzwischen umgebaut wurden, werden in dieser aktuellen Zusammenstellung nicht mehr berücksichtigt.

Die Deutschlandkarte visualisiert die Lage und die Verteilung der Knotenpunkte mit iLES auf die einzelnen Bundesländer (s. Bild 3). Dabei ist zu unterscheiden, ob die Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete (rot), außerhalb bebauter Gebiete (blau) oder im Vorfeld bebauter Gebiete (grün) liegen. Es ist eine Häufung an Knotenpunkten mit innenliegenden Linkseinfädungsstreifen in vier Bundesländern im Westen und im Südwesten Deutschlands erkennbar.

¹ Der ELSNER 2009, 18.3.2 Großstädte über 100.000 Einwohner

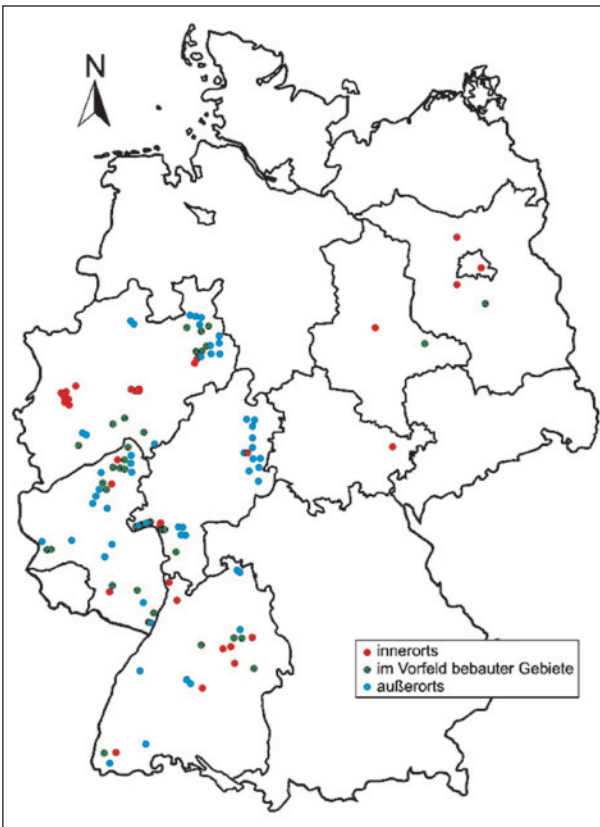


Bild 3: Knotenpunkte mit innenliegenden Linkseinbiegestreifen in Deutschland

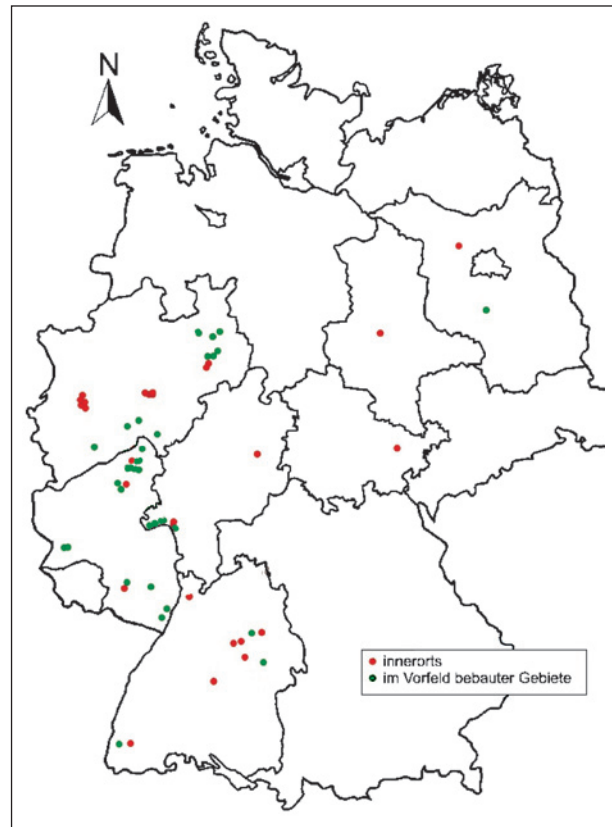


Bild 5: 58 Knotenpunkte mit iLES ohne Sonderformen und ohne Außerorts-Knotenpunkte

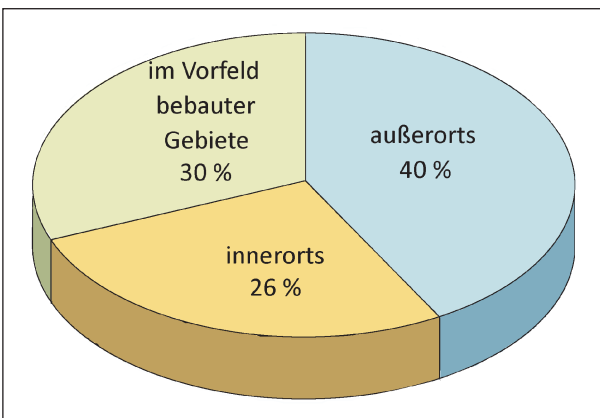


Bild 4: Lage der Knotenpunkte mit innenliegenden Linkseinbiegestreifen

Es konnten innerhalb bebauter Gebiete 32, im Vorfeld bebauter Gebiete 37 und außerhalb bebauter Gebiete 54 Knotenpunkte zusammengetragen werden.

Bei genauerer Betrachtung der 123 Beispiele wird klar, dass diese auch alle Sonderformen enthalten. Somit wurde das Kollektiv zunächst um die Sonderformen reduziert. Diese sind im Einzelnen:

- Knotenpunkte, an denen eine Spuraddition vorliegt, d. h., der iLES wird als zusätzlicher Fahrstreifen weitergeführt,
- Knotenpunkte, an denen der iLES zum Linksabbiegestreifen wird,
- Knotenpunkte, an denen der iLES zum Hauptfahrstreifen wird, d. h., der Strom 8 fädelt sich im weiteren Verlauf ein,
- Knotenpunkte mit vierstreifiger Hauptfahrbahn,
- Knotenpunkte mit Bedarfs-LSA.

Damit wurde das Kollektiv auf 101 Knotenpunkte reduziert. Davon liegen 26 innerhalb bebauter Gebiete, 32 im Vorfeld bebauter Gebiete und 43 außerhalb bebauter Gebiete.

Die weitere Zielsetzung war es, aus dem Bestand der 101 Knotenpunkte zehn geeignete Untersuchungsbeispiele auszuwählen. Für die weitere Untersuchung werden außerdem nur die Knotenpunkte innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete berücksichtigt. Damit verbleiben 58 Knotenpunkte zur Wahl für die empirischen Untersuchungen.

Zunächst soll nun auf die einzelnen spezifischen (Entwurfs-)Eigenschaften der Knotenpunkte eingegangen werden, um dann mit Hilfe einer Clustering das Gesamtkollektiv zu reduzieren.

4.1 Gestaltungselemente

Eines der übergeordneten Ziele dieses Forschungsprojektes ist die Empfehlung hinsichtlich einer Entwurfsituation, die Praktikern konkrete Angaben bezüglich der baulichen Gestaltung von Knotenpunkten mit iLES gibt. Zudem sollen die Bedürfnisse aller Verkehrsteilnehmer berücksichtigt werden, so auch insbesondere der Radfahrer und Fußgänger. Dazu hilft es, zunächst die typischen Gestaltungselemente von Knotenpunkten mit iLES zusammenzutragen.

Die Linkseinfädelsstreifen (und deren Länge) sind das charakteristische Gestaltungsmerkmal, das den untersuchten Knotenpunkten gemein ist. Es können auch weitere Fahrstreifen als Einbiege- oder Abbiegehilfe angelegt werden. Zudem gibt es noch verschiedene Ausführungen der Verkehrsinseln, insbesondere wenn weitere Verkehrsteilnehmer

Führung Rechtsabbieger	RA-Fahrstreifen	Ausfahrkeil	Eckausrundung	nicht möglich
Führung Linksabbieger	LA-Fahrstreifen	kein eigener FS		nicht möglich
Führung Rechtseinbieger	RE-Fahrstreifen	RE-Fahrstreifen, Spuraddition	Eckausrundung	
Führung Linkseinbieger	LE-Fahrstreifen			
Mitteltrennung Hauptstrom	ja (baulich)	ja (markiert)	nein	
Dreiecksinsel	ja (baulich)	ja (markiert)	nein	
Fahrbahnteiler Nebenstrom	ja (baulich)	ja (markiert)	nein	
Führung Radfahrer	Strom 2		Strom 8	
Führung Fußgänger	Strom 2	Strom 8	Mittelinsel	

Bild 6: Gestaltungsmerkmale an Einmündungen mit iLES

mer wie Fußgänger oder Radfahrer den Knotenpunkt mitbenutzen. Es werden vor allem Mitteltrennungen des Hauptstromes, Dreiecksinseln oder Fahrbahnteiler im Nebenstrom als Entwurfselemente eingesetzt. Radwege oder Gehwege können beidseitig angelegt sein, das heißt neben dem Strom 2 (Strom auf der Seite der Einmündung) und neben dem Strom 8 oder nur einseitig. Häufig wurde bei den Knotenpunkten mit iLES eine Querungshilfe in Form einer Mittelinsel außerhalb des Knotenpunktes angelegt.

4.1.1 Auswertung der Knotenpunkte innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete nach den Gestaltungsmerkmalen (ohne Sonderformen)

Die folgende Auswertung bezieht sich auf die zuletzt erwähnten 58 Knotenpunkte mit iLES, die keinerlei Sonderformen aufweisen. Die Abbildungen geben die Anteile der jeweiligen Gestaltungsmerkmale wieder. Dabei sind Knotenpunkte aus sieben Bundesländern eingegangen.

Aus der Zusammenstellung der verbleibenden iLES und deren Verteilung auf die Bundesländer bestätigt sich zunächst erneut die größere Verbreitung in den Bundesländern Baden-Württemberg, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Während das Verhältnis von iLES innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete in Nordrhein-Westfalen ausgewogen ist, überwiegt in Baden-Württemberg die Anzahl der iLES innerhalb bebauter Gebiete in Rheinland-Pfalz die Anzahl der iLES im Vorfeld bebauter Gebiete. In Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen ist die Knotenpunktlösung des iLES sehr selten vertreten.

Die verbleibenden und nun betrachteten 58 Knotenpunkte wurden bereits um Sonderfälle reduziert.

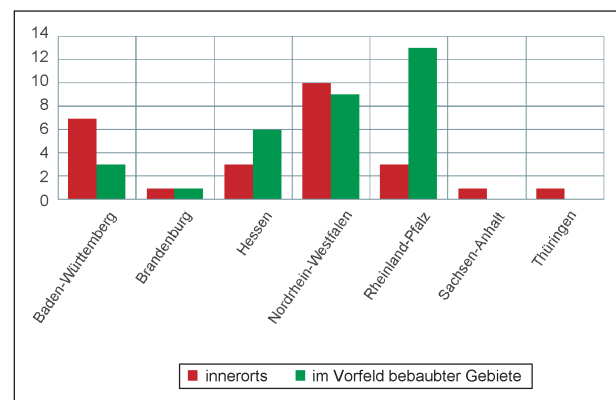


Bild 7: Verteilung der relevanten iLES auf die Bundesländer

Es verbleiben nur noch eher klassische Beispiele des iLES, die sich dennoch voneinander unterscheiden.

U. a. gibt es andere Ein- und Abbiegestreifen, Verkehrsinseln und die Führung von Radfahrern und

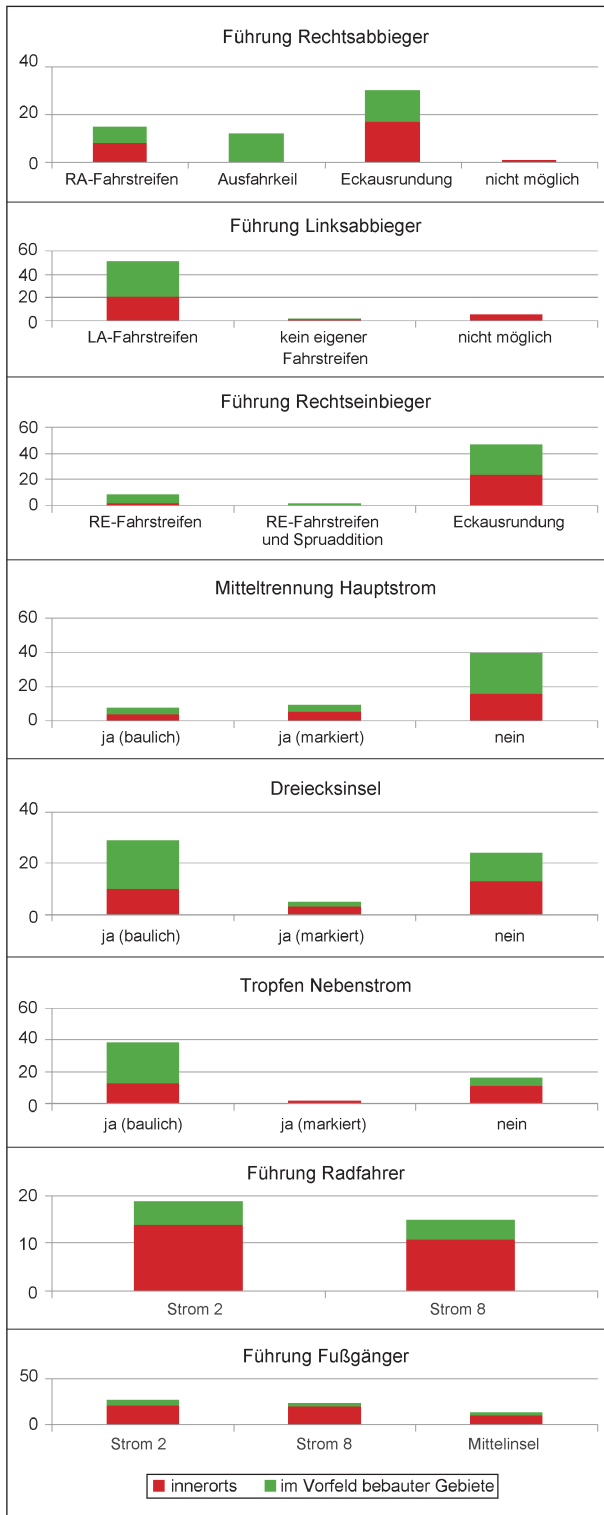


Bild 8: Gestaltungsmerkmale der 58 weiter relevanten Knotenpunkte mit iLES

Fußgängern, die bei den unterschiedlichen Beispielen verschiedene Ausprägungen annehmen.

So ist ein Linksabbiegestreifen bei so gut wie allen Beispielen vorhanden. Dies erscheint einerseits aus Sicherheitsgründen sinnvoll und richtig, andererseits sollte für einen Linksabbiegestreifen im Falle eines iLES am Knotenpunkt der räumliche Platz gegeben sein.

Rechtsabbiege- und Rechtseinbiegestreifen sind eher Sonderfälle, wobei zudem in diesen Beispielen starke Verkehrsströme auf besagten Fahstreifen zu erwarten sind, die die Anlage rechtfertigen.

Es wurden drei Kategorien im Zusammenhang mit Verkehrsinseln bewertet. Es erfolgte die Trennung in bauliche und markierte Inseln und Lösungen ohne Insel. Während die Mitteltrennung der Hauptströme durch eine Verkehrsinsel eher selten ist, sind Dreiecksinseln oder Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm häufiger und dies vor allem im Vorfeld bebauter Gebiete, wo zumeist mehr räumliche Ausdehnungsmöglichkeiten im Knotenpunkt gegeben sind.

Von besonderem Interesse, vor allem auf Grund der speziellen Betrachtung von Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete, war die Führung der Radfahrer und Fußgänger. Vor allem an den Knotenpunkten innerhalb bebauter Gebiete kommen Fußgänger und Radfahrer vor, sodass die Anlage von Geh- und Radwegen notwendig und wünschenswert ist. Auch Querungsmöglichkeiten sollen für diese Verkehrsteilnehmer geschaffen werden. In mehreren Fällen waren Querungsmöglichkeiten aus dem unmittelbaren Knotenpunktbereich herausgezogen und am Ende des iLES oder am Anfang des Linksabbiegestreifens platziert. Die Eignung und Praktikabilität dieser Lösung gilt es im weiteren Verlauf der Untersuchung zu prüfen. Die Bereitstellung von Geh- und Radwegen hat ein stärkeres Gewicht innerhalb bebauter Gebiete.

4.2 Zulässige Geschwindigkeiten

Die zulässigen Geschwindigkeiten liegen zwischen 30 und 80 km/h (siehe Bild 9).

Die Verteilung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten an den 58 Knotenpunkten zeigt, dass die Beispiele innerhalb bebauter Gebiete hauptsächlich bei 50 km/h liegen und diejenigen im Vorfeld bebauter Gebiete hauptsächlich bei 70 km/h.

4.3 Verkehrsstärken

Eine maßgebliche Rolle bei der Betrachtung der Knotenpunkte mit iLES und im Weiteren bei der Entscheidung für die Untersuchungsknotenpunkte spielte auch die Verkehrsstärke.

Für jeden Knotenpunkt erfolgte die Bestimmung der Tagesverkehrsstärke (DTV). Dabei wurde zunächst eine umfangreiche telefonische Anfrage nach Zählungen an den relevanten Knotenpunkten durchgeführt. Rückmeldungen waren entweder DTV-Werte der Knotenarme, die jeweils zur Hälfte in den Knotenpunkt-DTV eingingen, oder Kurzzeit-Knotenstromzählungen, für die es einer Hochrechnung auf den DTV bedurfte. Dabei wurde das Verfahren von ARNOLD [1] verwendet. Nicht für alle Knotenpunkte konnte auf diesem Weg die Ermittlung der DTV-Werte erfolgen, da keine Daten vorhanden waren. Da es notwendig war, dass zumindest für die Knotenpunkte, die Bestandteil der makroskopischen Unfallanalyse sind, Verkehrsstärken vorhanden sind, wurden an diesen Knotenpunkten Kurzzeitzählung durchgeführt, sofern die Angaben zum DTV noch fehlend waren. Dies war bei 50 Knotenpunkten der Fall. Es ist zu beachten, dass das Kol-

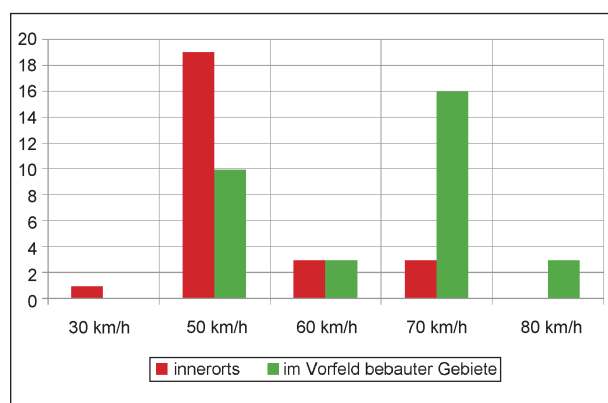


Bild 9: Zulässige Geschwindigkeiten an den 58 betrachteten Knotenpunkten

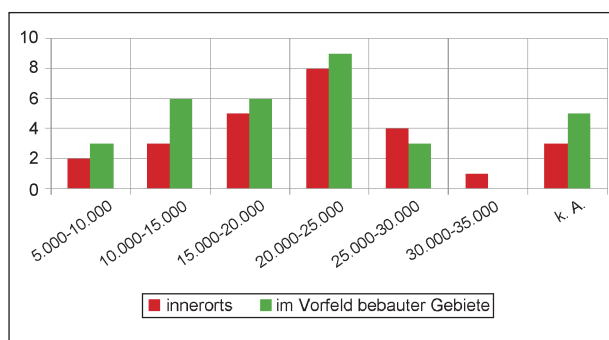


Bild 10: Verkehrsbelastung der 58 Knotenpunkte

ektiv der Unfallanalyse keine Teilmenge der 58 Knotenpunkte ist. Es sind 48 der 58 Knotenpunkte in die Unfallanalyse eingeflossen.

4.4 Beschilderung

Wie bereits in vergangenen Untersuchungen der iLES thematisiert, wurde auch im Zuge dieses Forschungsvorhabens festgestellt, dass es in vielen Fällen keine hinreichende Beschilderung der seltenen Knotenpunktform gibt und damit nur ortskundige oder Verkehrsteilnehmer mit Kenntnis dieser Knotenpunktform die Vorteile des iLES richtig nutzen können.

Im Folgenden sind die beobachteten Beschilderungen festgehalten. Dabei gilt es, nach Beschilderung im übergeordneten Knotenpunktarm und im untergeordneten Knotenpunktarm zu unterscheiden.

4.4.1 Beschilderung im untergeordneten Knotenpunktarm

Für den untergeordneten Knotenpunktarm konnte eine Vielzahl verschiedener Beschilderungen zusammengetragen werden.

Bild 11 gibt eine Zusammenstellung von Beschilderungen wieder. Auffällig ist, dass viele verschiedene Varianten gebräuchlich sind, die sich in der Art der Darstellung und der Komplexität unterscheiden. Jedoch erschließt sich die Vorfahrtregelung nicht immer vollständig, da teilweise bevorrechtigte Ströme (insbesondere die Linksabbieger) nicht dargestellt sind.

Beispiele aus Nordrhein-Westfalen stellen das Prinzip der iLES und die Vorfahrtregelung gut verständlich dar. Ein Beispiel ist in Bild 12 dargestellt.

Das in Bild 12 dargestellte Schild ist in Nordrhein-Westfalen weit verbreitet. Es ist einerseits groß und damit nicht zu übersehen. Es ist im Vorfeld des



Bild 11: Beschilderung in Siegelbach, Kirchen, Fellbach, Plaidt und Schwaikheim

Knotenpunktes aufgestellt, damit werden die Verkehrsteilnehmer bei der Betrachtung nicht vom fließenden Verkehr abgelenkt und es erklärt eindeutig die zur Verfügung stehenden Fahrstreifen.



Bild 12: Beschilderung des Nebenstromes in Lemgo (Nordrhein-Westfalen)

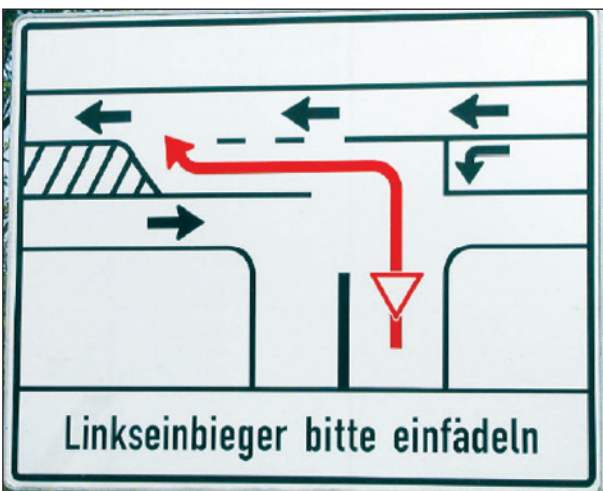


Bild 13: Beschilderung des iLES im untergeordneten Knotenpunktarm (Quelle: BAST; MATENA)



Bild 14: Beschilderung der iLES in Iserlohn (Nordrhein-Westfalen)

Gleiches gilt für das in Bild 13 dargestellte Schild, welches zudem aber noch auf die Vorfahrtregelung hinweist.

Eine individuelle, aber doch inhaltlich identische Ausführung der Beschilderung wurde in Iserlohn vorgefunden (siehe Bild 14).

4.4.2 Beschilderung im übergeordneten Knotenpunktarm (Strom 8)

Bei den untersuchten Beispielen gab es – unabhängig von der Eignung der Beschilderung – deutlich weniger Schilder für den Strom 8 als für den untergeordneten Knotenpunktarm. Dabei wäre auch hier ein entsprechender Hinweis sinnvoll und wünschenswert, da Erfahrungen gezeigt haben, dass bevorrechtigte Geradeausfahrer ansonsten durch unerwartet linkseinbiegende Fahrzeuge verunsichert werden (vgl. Kapitel 8 „Expertenworkshop“). Mitunter konnte, vermutlich bei nicht ortskundigen Verkehrsteilnehmern, gelegentlich starkes Abbremsen beobachtet werden, was auf eine Verunsicherung der Fahrer zurückzuführen sein dürfte. Insbesondere in Anbetracht der geringen Verbreitung der iLES erscheint die Beschilderung für den Strom 8 in Iserlohn vorbildlich. Wie auch im untergeordneten



Bild 15: Beschilderung des iLES für Strom 8 in Iserlohn



Bild 16: Beschilderung des iLES für Strom 8 in Augustdorf

Knotenpunktarm wurde hier eine individuelle Lösung gefunden.

In Augustdorf ist ebenfalls ein Verkehrsschild im Hauptstrom aufgestellt.

Es ist aber anzunehmen, dass diese Beschilderung nicht für jeden Verkehrsteilnehmer hilfreich ist.

4.5 Clusterung in typische Entwurfssituationen

Wie bereits festgestellt, sind nicht alle Knotenpunkte Teil des Projektinteresses und zudem muss für die empirischen Untersuchungen eine geeignete Auswahl getroffen werden. Somit wurde die Menge der zur Verfügung stehenden Knotenpunkte nach maßgebenden Eigenschaften geclustert. Zuerst wurde eine Reduktion um die Sonderformen vorgenommen (s. o.), sodass 58 Knotenpunkte in der Untersuchung verbleiben. Dabei wurden auch schon die Knotenpunkte außerorts unberücksichtigt gelassen, sodass es sich bei den 58 Knotenpunkten nur um Knotenpunkte innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete handelt.

Die Clusterung erfolgte in zwei Ebenen. Dabei wurde nach der Lage (1. Ebene) und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (2. Ebene) geclustert.

Die Clusterung nach der Lage ergibt 26 Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete und 32 Knotenpunkte im Vorfeld bebauter Gebiete. Für die Clusterung nach der zulässigen Geschwindigkeit wurde festgelegt, dass für die weitere Untersuchung lediglich Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete mit 50 km/h (Ausnahme: drei Knotenpunkte in Iserlohn mit zulässiger Geschwindigkeit von 60 km/h) und Knotenpunkte im Vorfeld bebauter Gebiete mit 70 km/h betrachtet werden. Damit reduzierte sich

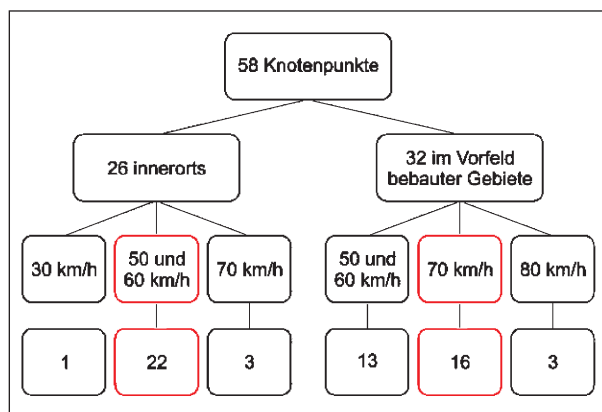


Bild 17: Clusterung in zwei Ebenen

die Menge der 58 Knotenpunkte auf 38 Knotenpunkte.

Die Knotenpunkte in Iserlohn wurden mit einbezogen, da sie einerseits hinsichtlich der Entwurfsituation sehr gut geeignet sind und andererseits erwartet wird, dass die Fahrgeschwindigkeit an diesen Knotenpunkten nicht deutlich höher ist als bei anderen Knotenpunkten innerhalb bebauter Gebiete mit zulässiger Geschwindigkeit von 50 km/h.

Aus den zwei sich ergebenden Clustern (innerhalb bebauter Gebiete mit 50 km/h bzw. 60 km/h und im Vorfeld bebauter Gebiete mit 70 km/h) werden je fünf Knotenpunkte mit ähnlichen Gestaltungsmerkmalen gewählt, um einen direkten Vergleich der Knotenpunkte durchführen zu können.

4.6 Auswahl von geeigneten Knotenpunkten für die empirischen Untersuchungen

Für die empirischen Untersuchungen, die im 2. Quartal 2010 stattfanden, wurde aus den zwei Clustern je eine weitgehend homogene Gruppe von fünf Knotenpunkten zusammengestellt, um einen direkten Vergleich zu ermöglichen. Dabei sollte die Auswahl typischer Beispiele im Hinblick auf die Empfehlungen bezüglich der Entwurfsituation in den Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt) erfolgen.

Zudem wurden die 38 Beispiele nochmal um Knotenpunkte mit iLES, die kürzer als 20 Meter sind, reduziert, da diese auf Grund ihrer geringen Länge mitunter nur eine sehr eingeschränkte Aufstellmöglichkeit bieten und kein Beschleunigen ermöglichen. Drei Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete wiesen eine Länge von weniger als 20 Metern

auf. Es ergibt sich somit die Menge von 35 Knotenpunkten (19 innerhalb und 16 im Vorfeld bebauter Gebiete).

4.6.1 Cluster I (19 Knotenpunkte)

In Cluster I finden sich 19 Knotenpunkte, für die alle gilt, dass die zulässige Geschwindigkeit bei 50 bzw. 60 km/h liegt. Die für die empirischen Untersuchungen verbleibenden potenziellen Knotenpunkte sind damit:

- 1) Düsseldorf, Niederrheinstraße/Beckbuschstraße, 50 km/h, 25 m lang, Linksabbiegestreifen, bauliche Mitteltrennung der Hauptströme, beidseitige Führung für Radfahrer und Fußgänger,
- 2) Düsseldorf, Höherweg/Höherweg, 50 km/h, 60 m lang, Linksabbiegestreifen und markierte Mitteltrennung des Hauptstroms, Fußgänger beidseitig geführt und Übergang außerhalb des Knotenpunkts (am Beginn des Linksabbiegestreifens), Radweg auf Seite des Stroms 2,
- 3) Düsseldorf, Höherweg/Grundstück, 50 km/h, 60 m lang, kein Linksabbiegestreifen, markierte Mitteltrennung des Hauptstroms, baulicher Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm, Fußgänger beidseitig geführt und Übergang außerhalb des Knotenpunkts (hinter dem Ende des iLES), Radweg auf Seite des Stroms 2,
- 4) Fellbach, Höhenstraße/Maria-Merian-Straße, 50 km/h, 80 m lang, Links- und Rechtsabbiegestreifen, markierte Dreiecksinsel in der untergeordneten Zufahrt, Fußgänger beidseitig geführt,
- 5) Gera, Theaterstraße/Eselsweg, 50 km/h, 60 m lang, Links- und Rechtsabbiegestreifen, bauliche Mitteltrennung des Hauptstroms, baulicher Tropfen im Nebenstrom, Fußgänger beidseitig geführt,
- 6) Hachenburg, Graf-Heinrich-Straße/Nisterstraße, 50 km/h, 48 m lang, kein Linksabbiegestreifen, baulicher Tropfen in der untergeordneten Zufahrt, Fußgänger beidseitig geführt,
- 7) Iserlohn, Baarstraße/Kastanienallee, 60 km/h, 25 m lang, Linksabbiegestreifen, baulicher Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm, beidseitige Führung für Radfahrer und Fußgänger,
- 8) Iserlohn, Baarstraße/Leckingser Straße, 60 km/h, 50 m lang, Linksabbiegestreifen, baulicher Tropfen in der untergeordneten Zufahrt, beidseitige Führung für Radfahrer und Fußgänger, Querungsmöglichkeit für Fußgänger hinter dem Ende des iLES,
- 9) Iserlohn, Baarstraße/Masteweg, 60 km/h, 40 m lang, Linksabbiegestreifen, baulicher Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm, beidseitige Führung für Radfahrer und Fußgänger, Querungsmöglichkeit für Fußgänger vor Beginn des Linksabbiegestreifens,
- 10) Magdeburg, Ernst-Reuter-Allee/Willy-Brandt-Platz, 50 km/h, 25 m lang, Linksabbiegestreifen nur für Taxen, beidseitige Führung für Radfahrer und Fußgänger, Querungsmöglichkeit für Fußgänger am Anfang des Linksabbiegestreifens,
- 11) Mecklar, Friedloser Straße/Meckbacher Straße, 50 km/h, 90 m lang, Links- und Rechtsabbiegestreifen, baulicher Tropfen und Dreiecksinsel im untergeordneten Knotenpunktarm, einseitige Führung für Fußgänger (Strom 2); neben Strom 8 existiert ein Gehweg nur zwischen einer Bushaltestelle und dem Knotenpunkt,
- 12) Nassenheide, Oranienburger Chaussee/Liebenwalder Chaussee, 50 km/h, 100 m lang, Linksabbiegestreifen, bauliche Mitteltrennung der Hauptströme, beidseitige Führung für Fußgänger,
- 13) Otterbach, 50 km/h, 130 m lang, Links- und Rechtsabbiegestreifen, Rechtseinbiegestreifen, bauliche Mitteltrennung der Hauptströme, bauliche Dreiecksinsel und Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm, beidseitige Führung von Fußgängern und Radfahrern,
- 14) Paderborn (Nord), Borchener Straße/B 64, 50 km/h, 80 m lang, Linksabbiegestreifen, bauliche Dreiecksinsel und Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm, einseitige Führung von Fußgängern und Radfahrern parallel zu Strom 8,
- 15) Paderborn (Süd), Borchener Straße/B 64, 50 km/h, 90 m lang, Linksabbiegestreifen, bauliche Dreiecksinsel und Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm, einseitige Führung von Fußgängern und Radfahrern parallel zu Strom 8,

- 16) Schorndorf, Stuttgarter Straße/Mittlere Uferstraße, 50 km/h, 50 m lang, kein Linksabbiegen möglich, beidseitige Führung von Fußgängern und Querungsmöglichkeit hinter dem Ende des iLES,
- 17) Sinsheim, Dührener Straße/Albert-Schweitzer-Straße, 50 km/h, 80 m lang, Linksabbiegestreifen, baulicher Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm, bauliche Mitteltrennung der Hauptströme durch Bischofsmützen, einseitige Führung von Radfahrern und Fußgängern (Strom 2),
- 18) Tübingen-Kilchberg, Bahnhofstraße/Ehingenstraße, 50 km/h, 40 m lang, Linksabbiegestreifen, markierter Tropfen und markierte Dreiecksinsel im untergeordneten Knotenpunktarm; Führung von Fußgängern neben Strom 2,
- 19) Urmitz, L 126/L 121, 50 km/h, 57 m lang, Links- und Rechtsabbiegestreifen, baulicher Tropfen und Dreiecksinsel im untergeordneten Knotenpunktarm, Führung von Fußgängern neben Strom 8.

Die Knotenpunkte (5), (7), (14) und (15) waren zum Zeitpunkt der Auswahl der Beispiele für die empirischen Untersuchungen nicht bekannt, bzw. es lag kein Material vor, das die nötigen Eigenschaften der Knotenpunkte enthielt. Somit sind sie unabhängig von ihrer möglichen Eignung nicht in der engeren Auswahl gewesen.

Knotenpunkt (1) wurde primär wegen der baulichen Mitteltrennung gewählt. Die Wahl von Knotenpunkt (2) wäre alternativ möglich gewesen. Knotenpunkt (3) war ungeeignet wegen fehlenden Linksabbiegestreifens und der Tatsache, dass es sich beim Nebenarm um eine Grundstückszufahrt handelt. Auch beim Knotenpunkt in Fellbach (4) wird über den untergeordneten Knotenpunktarm eine grundstücksähnliche Fläche (Sackgasse) angebunden und ist damit weniger geeignet. Beim Knotenpunkt (6) war das Fehlen des Linksabbiegestreifens primäres Ausschlusskriterium. Die Knotenpunkte (8) und (9) waren vor allem wegen hoher Verkehrsstärken von Interesse, zudem zeichnen sie sich durch einen ähnlichen Entwurf aus. Der Knotenpunkt (10) stellt, durch die Sperrfläche in der Mitte des Nebenarms und den Linksabbiegestreifen nur für Taxen einen Sonderfall dar.

Der Knotenpunkt (11) zeichnet sich ebenfalls durch eine hohe Verkehrsbelastung aus. Außerdem war

auch die Länge des iLES ausschlaggebend. Zudem ist die Brücke, die etwa am Ende des iLES über die Bundesstraße verläuft, ein idealer Standort, um den gesamten Knotenpunkt zu überblicken. Der Knotenpunkt (12) wurde wegen seiner räumlichen Nähe zu Berlin für die ersten empirischen Untersuchungen gewählt, war aber weniger für die weiteren Untersuchungen geeignet, da er im nördlichen Knotenpunktarm einen vierstreifigen Querschnitt aufweist. Am Knotenpunkt (13) wurde während des Frühjahrs und Sommers 2010 ein temporärer Kreisverkehr eingerichtet. Der Umbau des Knotenpunktes fiel in die Messphase. Ziel des Umbaus ist allerdings wieder die Einrichtung einer Verkehrsführung mit iLES.

Knotenpunkt (16) stellt auf Grund der fehlenden Möglichkeit des Linksabbiegens eine Sonderform dar. Der Knotenpunkt (17) stellt auf Grund der ähnlichen Länge des iLES eine gute Vergleichsmöglichkeit für den Knotenpunkt (11) dar. Knotenpunkt (18) hat eine eher unübliche Markierung der Dreiecksinsel und des Tropfens im untergeordneten Knotenpunktarm und stellt daher kein geeignetes Untersuchungsbeispiel dar. An Knotenpunkt (19) liegen geringere Verkehrsstärken vor und der iLES endet an einer weiteren Einmündung auf der gegenüberliegenden Seite. Dieses Beispiel ist ebenfalls nicht geeignet. Damit fällt die Wahl auf die folgenden fünf Knotenpunkte:

- Düsseldorf (1),
- Iserlohn (8),
- Iserlohn (9),
- Mecklar (11),
- Sinsheim (17).

4.6.2 Cluster II (16 Knotenpunkte)

In Cluster II finden sich 16 Knotenpunkte, für die gilt, dass die zulässige Geschwindigkeit bei 70 km/h liegt. Die für die empirischen Untersuchungen verbleibenden potenziellen Knotenpunkte sind:

- 1) Altenbeken, B 64/Schwaneyer Straße, 70 km/h, 170 m lang, Links- und Rechtsabbiegestreifen, Rechtseinbiegestreifen, baulicher Tropfen und Dreiecksinsel im untergeordneten Knotenpunktarm,
- 2) Altenkirchen, Kölner Straße/Rudolf-Diesel-Straße, 70 km/h, 30 m lang, Linksabbiegestrei-

- fen, bauliche Mitteltrennung der Hauptströme, Führung von Fußgängern neben Strom 2,
- 3) Augustdorf, Waldstraße/Generalfeldmarschall-Rommel-Straße, 70 km/h, 125 m lang, Linksabbiegestreifen und Rechtseinbiegestreifen, markierte Dreiecksinsel und Mitteltrennung der Hauptströme, baulicher Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm, einseitige Führung von Radfahrern und Fußgängern (Strom 2),
 - 4) Benhausen, B 64/Im Knick, 70 km/h, 170 m lang, Linksabbiegestreifen, Rechtseinbiegestreifen als Fahrstreifenaddition, baulicher Tropfen und Dreiecksinsel im untergeordneten Knotenpunktarm,
 - 5) Betzdorf, L 288/Leystraße, 70 km/h, 100 m lang, Linksabbiegestreifen, bauliche Dreiecksinsel und Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm,
 - 6) Bischofsheim, An den Mainbrücken/A 671, 180 m lang, Linksabbiegestreifen, baulicher Tropfen und Dreiecksinsel im untergeordneten Knotenpunktarm,
 - 7) Eislingen, Göppinger Straße/In den Weingärten, 70 km/h, 27 m lang, Linksabbiegestreifen, vierstreifiger Querschnitt der übergeordneten Richtungen, Führung von Radfahrern und Fußgängern neben Strom 2,
 - 8) Freudenberg, Siegenger Straße/A 45, 70 km/h, 105 m lang, Links- und Rechtsabbiegestreifen, baulicher Tropfen und Dreiecksinsel im untergeordneten Knotenpunktarm,
 - 9) Germersheim, Lingenfelder Straße/Bahnhofstraße, 70 km/h, 50 m lang, Linksabbiegestreifen, Rechtseinbiegestreifen, baulicher Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm,
 - 10) Haxterhöhe, Warburger Straße/B 64, 70 km/h, 150 m lang, Links- und Rechtsabbiegestreifen, Rechtseinbiegestreifen, baulicher Tropfen und Dreiecksinsel im untergeordneten Knotenpunktarm,
 - 11) Helmenzen, Kölner Straße/Bornenweg, 70 km/h, 45 m lang, Linksabbiegestreifen, Rechtseinbiegestreifen, bauliche Mitteltrennung der Hauptströme und baulicher Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm, Führung von Fußgängern neben Strom 2 und Querungsmöglichkeit vor Beginn des Linksabbiegestreifens,
 - 12) Helmenzen, Kölner Straße/Zum Galgenberg, 70 km/h, 40 m lang, Linksabbiegestreifen, bauliche Mitteltrennung der Hauptströme und baulicher Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm, Führung von Fußgängern neben Strom 8 und Querungsmöglichkeit hinter dem Ende des iLES,
 - 13) Lemgo, Herforder Straße/Bielefelder Straße, 70 km/h, 180 m lang, Linksabbiegestreifen, markierte Mitteltrennung der Hauptströme, baulicher Tropfen im untergeordneten Knotenpunktarm, Führung von Radfahrern und Fußgängern neben Strom 2 und Querungsmöglichkeit hinter dem Ende des iLES und vor Beginn des Linksabbiegestreifens,
 - 14) Plaidt, B 256/L 117, 70 km/h, 65 m lang, Linksabbiegestreifen,
 - 15) Weil-Haltingen, Freiburger Straße/Römerstraße, 70 km/h, 400 m lang, Linksabbiegestreifen, baulicher Tropfen und Dreiecksinsel im untergeordneten Knotenpunktarm,
 - 16) Wittighöfen, Herforder Straße/Wirtschaftsweg, 70 km/h, 135 m lang, Linksabbiegestreifen, einseitige Führung von Radfahrern und Fußgängern (Strom 2).
- Im Vergleich zu den Knotenpunkten in Cluster I gibt es deutlich weniger Geh- und Radwege. Das liegt vor allem daran, dass die meisten Knotenpunkte nicht mehr innerhalb bebauter Gebiete liegen. Dennoch weisen einige Knotenpunkte entsprechende Anlagen auf. Dies gilt für die Knotenpunkte (2), (3), (7), (11), (12), (13) und (16). Vier dieser Knotenpunkte werden entsprechend empirisch untersucht. Bei vielen Beispielen liegt eine bauliche Trennung der Hauptströme vor. Dies hat möglicherweise besonderen Einfluss auf die Verkehrssicherheit und soll somit genauer betrachtet werden. Dies ist damit entscheidend für die Auswahl der Untersuchungsknotenpunkte.
- Knotenpunkt (4) liegt eher außerhalb bebauter Gebiete (nur ein Wohngebäude am Knotenpunkt) und passt deshalb weniger in das Cluster der Knotenpunkte im Vorfeld bebauter Gebiete. Knotenpunkt (7) scheidet auf Grund der Vierstreifigkeit aus. Der Knotenpunkt (8) ist für die mikroskopischen Unfalluntersuchungen weniger geeignet, da die Markierung mit iLES erst seit Mitte 2008 besteht. Knotenpunkt (15) sticht mit einer ungewöhnlich großen Länge des Linkseinbiegestreifens heraus (400 m)

und ist daher als Sonderfall anzusehen. Knotenpunkt (16) bietet sich zu Untersuchungszwecken kaum an, da der untergeordnete Knotenpunktarm ein Wirtschaftsweg ist und hierdurch geringer Linkseinbiegerverkehr auftritt.

Die Knotenpunkte (2), (11) und (12) sind aufeinanderfolgend und haben ähnliche Entwurfseigenschaften. Demnach sind sie gut für den Vergleich untereinander geeignet.

Die Knotenpunkte (10) und (13) sind auf Grund der ähnlichen Länge der iLES gut miteinander vergleichbar.

Die Wahl fällt auf die Knotenpunkte:

- Altenkirchen (2),
- Haxterhöhe (10),
- Helmenzen (11),
- Helmenzen (12),
- Lemgo (13).

Jedes Cluster enthält damit fünf ähnliche Knotenpunkte im Hinblick auf die Entwurfselemente, unter weiterer Berücksichtigung der Verkehrsbelastung und einer Verteilung auf unterschiedliche Bundes-

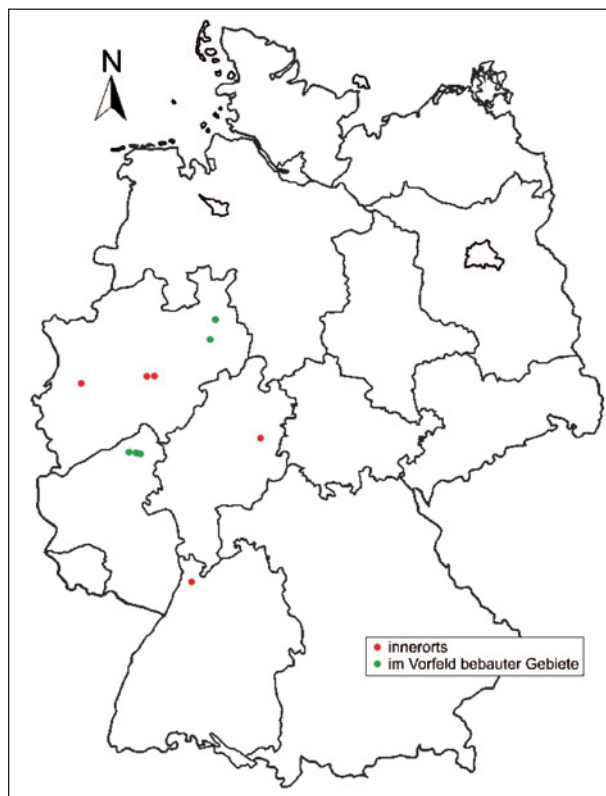


Bild 18: Auswahl der Knotenpunkte für die empirischen Untersuchungen

länder (ein Knotenpunkte in Hessen, fünf Knotenpunkte in Nordrhein-Westfalen, drei Knotenpunkte in Rheinland-Pfalz und ein Knotenpunkt in Baden-Württemberg – vgl. Bild 18).

5 Empirische Untersuchungen

5.1 Vorstudien in Brandenburg

In der Gemeinde Nassenheide (Brandenburg) bei Berlin mündet die L 213 in die B 96. Die B 96 läuft aus nördlicher Richtung als ein zweibahniger Querschnitt mit jeweils zwei Fahrstreifen pro Fahrtrichtung auf den Knotenpunkt zu. Aus Richtung Süden wird die B 96 als gewöhnlicher einbahnig 2-streifiger Querschnitt auf den Knotenpunkt zugeführt. Gleiches gilt für den untergeordneten Knotenpunktarm, der aus östlicher Richtung in die B 96 mündet. Im unmittelbaren Knotenpunktbereich werden die beiden Fahrtrichtungen des Knotenpunktarms der B 96 teilweise durch bauliche Maßnahmen (Grünstreifen) und teilweise mittels Markierungen voneinander getrennt. Im untergeordneten Knotenpunktarm ist eine solche Trennung, z. B. durch einen Tropfen, nicht vorhanden. Die zulässige Geschwindigkeit beträgt 50 km/h.

Der Linkseinbiegestreifen weist eine Länge von ca. 100 m auf. Er ist über die gesamte Länge durch eine Leitlinie vom Geradeausfahrstreifen getrennt. An seinem Ende wurde das Verkehrszeichen 205 StVO („Vorfahrt gewähren“) als Markierung auf die Fahrbahn aufgebracht. Eine Ankündigung des iLES – z. B. mittels Hinweistafeln wie an anderen Knotenpunkten mit einem solchen Fahrstreifen üblich – ist an diesem Knotenpunkt im untergeordneten Knotenpunktarm nicht vorhanden.

5.1.1 Verkehrsbelastung

Die Beobachtungen und Messungen am Knotenpunkt B 96 – L 213 haben gezeigt, dass insbesondere in den Morgenstunden eine hohe Belastung bei den Linkseinbiegern zu verzeichnen ist. Diese fällt nahezu genauso hoch aus wie auf dem Geradeausfahrstreifen der B 96, der von Süden nach Norden verläuft. In beiden Strömen liegt die Verkehrsstärke in der morgendlichen Spitzenstunde (06:30 Uhr bis 07:30 Uhr) bei fast 270 Kfz/h. Im entgegengesetzten Geradeausstrom der B 96 – in welchen die Linkseinbieger über den iLES einfädeln – fällt die Belastung in der Spitzenstunde etwa

2,5-mal so hoch aus, wie bei den beiden zuvor genannten Strömen und erreicht einen Wert von mehr als 650 Kfz/h. Die übrigen Ströme (Linksabbieger sowie Rechtsabbieger und Rechtseinbieger) verfügen nur über eine geringe Belastung.

In den Nachmittagsstunden nutzen deutlich weniger Linkseinbieger den Knotenpunkt. Der Maximalwert der Linkseinbieger beträgt nachmittags lediglich 135 Kfz/h (15:35 Uhr bis 16:35 Uhr). Der zu querende Geradeausstrom (Strom 2) weist aber eine deutlich höhere Verkehrsstärke auf. Am Nachmittag liegt auch die gesamte Spitzenstunde für den Knotenpunkt vor. Jeweils von 16:20 Uhr bis 17:20 Uhr und von 16:25 bis 17:25 Uhr treten 1.544 Fahrzeuge am Knotenpunkt auf. Der Anteil der Linkseinbieger liegt zu diesen Zeiten allerdings nur bei etwa 120 Kfz/h.

5.1.2 Geschwindigkeitsmessungen im Hauptstrom

Die Messungen der Geschwindigkeiten für die beiden Fahrtrichtungen der B 96 ergeben eine mittlere Geschwindigkeit von ca. 46 km/h. Die V_{85} beider Fahrtrichtungen liegt bei ca. 55 km/h.

Es ist dabei eine leichte Differenz der Geschwindigkeiten in den beiden Fahrtrichtungen der B 96 feststellbar, die allerdings bei unter 5 km/h liegt. Demnach bewegen sich die Fahrzeuge, die aus Richtung Süden (Strom 2) auf den Knotenpunkt zufahren, mit einer leicht höheren Geschwindigkeit durch diesen hindurch als die Fahrzeuge aus der entgegengesetzten Richtung.

Ein Grund für diese Geschwindigkeitsunterschiede ist einerseits die starke Verkehrsbelastung aus nördlicher Richtung am Morgen und die damit verbundenen Rückstauungen bis in den Knotenpunkt hinein. Eine weitere Ursache für die Geschwindigkeitsdifferenzen liegt auch in der Tatsache, dass sich nur wenige hundert Meter vom Knotenpunkt entfernt in nördlicher Richtung eine Ortsdurchfahrt befindet und somit ein Teil der aus Süden auf den Knotenpunkt zufahrenden Fahrzeuge bereits vor Verlassen des Ortes beginnen zu beschleunigen.

5.1.3 Verkehrsablauf (Linkseinbieger)

Trotz der nur geringen Verkehrsbelastung in den beiden von den Linkseinbiegern zu kreuzenden Strömen – Geradeausstrom von Süden nach Norden sowie Linksabbieger aus nördlicher Richtung –

bilden sich in den Morgenstunden mitunter Rückstaus im untergeordneten Knotenpunktarm von mehr als 150 m Länge.

Diese Rückstaulängen können wahrscheinlich auch durch die Unkenntnis einiger Fahrzeugführer hinsichtlich der korrekten Benutzung des iLES begründet werden. Dies äußert sich z. B. darin, dass die einfahrenden Fahrzeuge trotz ausreichender Zeitlücken in den beiden für das Einfahren in den Knotenpunkt maßgebenden Strömen weiterhin warten. Erst wenn sich auch im von Norden kommenden durchgehenden Fahrstreifen der B 96, in den eingebogen werden soll, eine ausreichende Zeitlücke ergibt, fahren die Fahrzeugführer ungehindert ein. Dabei wird nicht selten auf eine Nutzung des iLES verzichtet und direkt in den Hauptstrom eingefahren.

Ebenso gibt es vereinzelt Fälle, in denen Fahrzeuge im unmittelbaren Knotenpunktbereich – d. h. am Anfang des iLES – stoppen und dort auf eine ausreichende Lücke im Hauptstrom warten, um in diesen einzufahren. Auch dabei wird auf die Nutzung des iLES zum Beschleunigen verzichtet.

5.1.4 Zeitlückenmessungen

Die offensichtliche Überforderung einiger Verkehrsteilnehmer bei der korrekten Verhaltensweise im Knotenpunkt und der damit verbundenen Benutzung des iLES äußert sich auch in den anhand des Videomaterials ermittelten Grenz- und Folgezeitlücken.

Bei beiden Größen ergeben sich Werte, die deutlich über den Kennwerten liegen, die im HBS für den Linkseinbiegevorgang an Knotenpunkten innerorts angegeben werden. Als Grenzzeitlücke wurde ein Wert von rund 8,2 s ermittelt. Die Folgezeitlücke liegt demnach bei ca. 5,8 s.

Bei den Untersuchungen des Knotenpunktes B 96 – L 213 in Nassenheide zeigten sich einige Probleme, die bei weiteren Untersuchungen berücksichtigt wurden. Dies betrifft die Messung von Zeitlücken für den Einfädelvorgang vom Linkseinbiegestreifen in den Hauptstrom und die Verfolgungsfahrten.

5.1.5 Messung von Zeitlücken beim Einfädeln

Die Messung von Grenz- und Folgezeitlücken für den Teilvorgang des Einfädels ist kaum möglich. Es gibt mehrere Gründe, die gegen eine Bestim-

mung der entsprechenden Zeitlücken sprechen. Zunächst einmal befinden sich die linkseinbiegenden Fahrzeuge auf dem Beschleunigungsstreifen nicht im Stillstand, was die Abgrenzung der Zeitlücke erschwert. Weiterhin erfolgt der Einfädelvorgang an sehr unterschiedlichen Punkten des iLES. Dies hat zur Folge, dass sich eine einheitliche Bestimmung der Zeitlücken, wie es für den Vorgang „Einfahren/Kreuzen“ zu Beginn des Linkseinbiegevorgangs erfolgt, als schwierig herausstellt. Bei Durchführung der Messungen auf Höhe der untergeordneten Knotenpunktzufahrt, wo auch die Zeitlücken für das „Einfahren/Kreuzen“ bestimmt werden, werden mit hoher Wahrscheinlichkeit Werte gemessen, die nicht den Zeitlücken zum Zeitpunkt des Einfädelvorgangs entsprechen. Bei der Auswertung der Videoaufzeichnungen wurde bei einer Reihe von Einfädelvorgängen festgestellt, dass nachfolgende Fahrzeuge im Hauptstrom die Lücke zum vorausfahrenden Fahrzeug vergrößerten, um so den einbiegenden Fahrzeugen auf dem iLES das Einfädeln zu ermöglichen.

Zudem haben die Untersuchungen von DURTH et al. gezeigt, dass bei einem staufreien Zustand auf dem iLES eher die Kapazität beim Vorgang „Einfahren/Kreuzen“ ausschlaggebend für die letztlich erreichte Leistungsfähigkeit bei den Linkseinbiegern ist und jene für den Vorgang des „Einfädelns“ eine untergeordnete Bedeutung hat.

Insofern scheint eine Bestimmung der Zeitlücken für den Vorgang „Einfädeln“ nicht realisierbar und auch nicht sinnvoll. Bei den bisher erfolgten Untersuchungen am Knotenpunkt B 96 – L 213 in Nasenheide wurde aus den zuvor genannten Gründen von der Ermittlung dieser Kenngrößen abgesehen.

Für die Messungen der zehn ausgewählten Knotenpunkte wird eine Ermittlung der Zeitlücken (sofern möglich) im Strom 2 erfolgen. Diese wird auf Grundlage der Spitzenstunde des Knotenpunktes ausgewertet.

5.1.6 Verfolgungsfahrten

Die durchgeführten Verfolgungsfahrten haben gezeigt, dass diese ebenso wenig zielführend sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass bei Fahrten im Hauptstrom genau im Moment des Passierens des Knotenpunktes ein Linkseinbieger in diesen einfährt und so die Abstände zu diesem gemessen werden können, ist sehr gering.

Weiterhin waren auch die Fahrten im Linkseinbiegestrom wenig erfolgreich. Aufgrund des beschränkten Messbereiches der LIDAR-Sensoren (jeweils 12 Grad) lassen sich diese nur auf gerader Strecke bzw. bei sehr großen Kurvenradien nutzen. Es zeigte sich, dass während des Einbiegevorgangs in den Knotenpunkt und des anschließenden Wechsels auf den iLES aufgrund des geringen Kurvenradius die Daten der übrigen Linkseinbieger, die sich entweder vor oder aber hinter dem Messfahrzeug befinden, nicht zuverlässig erfasst werden können.

Zudem ist die Wahrscheinlichkeit, mit einem weiteren Linkseinbieger gemeinsam in den Knotenpunkt einzufahren, als sehr gering einzuschätzen. Dies gilt insbesondere bei hohen Belastungen in der Haupttrichtung. Ähnlich verhält es sich bei nachfolgenden Fahrzeugen in der Haupttrichtung beim Einfädeln. Das Messen des Abstandes, den die Fahrzeuge auf dem durchgehenden Fahrstreifen der Haupttrichtung haben, in den eingefädeln werden soll, war nur in den wenigsten Fällen möglich, da hier zumeist kein Verkehr vorhanden war.

Es wurde beschlossen, von Verfolgungsfahrten abzusehen, denn die Erkenntnisse wären gering und kaum verwertbar, da wegen der genannten Gründe nur eine wenig belastbare Datenbasis zustande kommen würde.

5.2 Empirische Untersuchung der 10 ausgewählten Knotenpunkte

Für die ausgewählten 10 Knotenpunkte wurden jeweils Videoaufnahmen von 06:00 Uhr bis 10:00 Uhr und von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr gemacht. Aus den Aufnahmen wurden die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke am Knotenpunkt, die Spitzenstunde, Zeitlücken in der Spitzenstunde sowie Wartezeiten und Rückstaulängen am Knotenpunkt ermittelt.

Für die Bewertung der Akzeptanz des eingerichteten iLES wurde für jeden Knotenpunkt eine entsprechende Einteilung des iLES in aufeinanderfolgende Abschnitte vorgenommen. Grundsätzlich wurden Abschnitte von 25 Metern Länge gewählt, welche entsprechend an die Situation am Knotenpunkt angepasst wurden. Diese Abschnitte wurden von 1 bis 9 durchnummeriert, beginnend am Anfang des iLES. Je nach Länge des iLES sind zwischen einem und neun Abschnitte vertreten.

Als Abschnitt 1 wird der Abschnitt bezeichnet, in dem noch kein Fahrstreifenwechsel zulässig ist. Dies wird dem Verkehrsteilnehmer durch eine Sperrfläche oder eine Fahrstreifenbegrenzungslinie verdeutlicht. Wird in diesem Abschnitt der Fahrstreifen gewechselt, so verhält sich der Verkehrsteilnehmer so, als ob es keinen iLES gäbe.

In den Abschnitten 2 und 3 ist ebenfalls kein regelkonformer Fahrstreifenwechsel möglich, in diesem Bereich ist der iLES immer noch mit einer durchgezogenen Linie vom Strom 8 getrennt. Abschnitt 2 bezeichnet die ersten 25 m dieses Bereichs, Abschnitt 3 den Bereich zwischen 25 und 50 Metern nach Abschnitt 1.

Abschnitt 4 ist der erste Abschnitt, in dem regelkonform der Fahrstreifen gewechselt werden kann. Er beschreibt im Regelfall den Bereich zwischen 50 und 75 Metern nach Abschnitt 1. In diesem Bereich ist der iLES nur durch eine überfahrbare Markierung vom Strom 8 getrennt (Leitlinie oder einseitig unterbrochene Doppellinie). Falls keinerlei Fahrstreifenbegrenzungslinie zwischen dem iLES und dem Fahrstreifen für Strom 8 liegt, ist der Abschnitt 4 gleich am Beginn des iLES angeordnet. Die Abschnitte 1 bis 3 existieren dann nicht.

Für die Abschnitte 5 bis 8 gilt selbiges wie auch für Abschnitt 4. Sie sind in der Reihenfolge nach Abschnitt 4 angeordnet und beschreiben nacheinander die Bereiche 75 bis 100 Meter, 100 bis 125 Meter, 125 bis 150 Meter und 150 bis 175 Meter nach Abschnitt 1. Für alle vier Abschnitte gilt, dass der iLES durch eine überfahrbare bzw. keine Markierung vom Strom 8 getrennt ist.

Der Abschnitt 9 stellt die abschließende Sperrfläche am Ende des iLES dar. Mitunter ist hier auch eine Verkehrsinsel angelegt. In beiden Fällen ist das Überfahren regelwidrig und somit verhalten sich Verkehrsteilnehmer, die im Abschnitt 9 auf den Hauptfahrstreifen wechseln, regelwidrig.

Ebenso ist die Ermittlung der Leistungsfähigkeit der Knotenpunkte mit iLES von zentralem Interesse. Hier wurde auf die Beurteilung einer Einmündung nach dem HBS zurückgegriffen, deren Ergebnis die Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs an der Einmündung ist. Unter Berücksichtigung des iLES wurde bei der maßgebenden Hauptstrombelastung des Verkehrsstromes 4 der Strom 8 mit der entsprechenden Verkehrsstärke nicht berücksichtigt. Damit werden für die Fälle mit und ohne iLES die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs ermittelt und verglichen.

Es erfolgen für jeden Knotenpunkt eine umfassende Schilderung der Ergebnisse und die Darstellung der Ergebnisse in einer zusammenfassenden Abbildung, die im Anhang zu finden ist. Im Anhang sind zudem zu jedem Knotenpunkt ein Foto sowie eine Lageplanskizze (als Grundlage der Unfalldiagramme) enthalten.

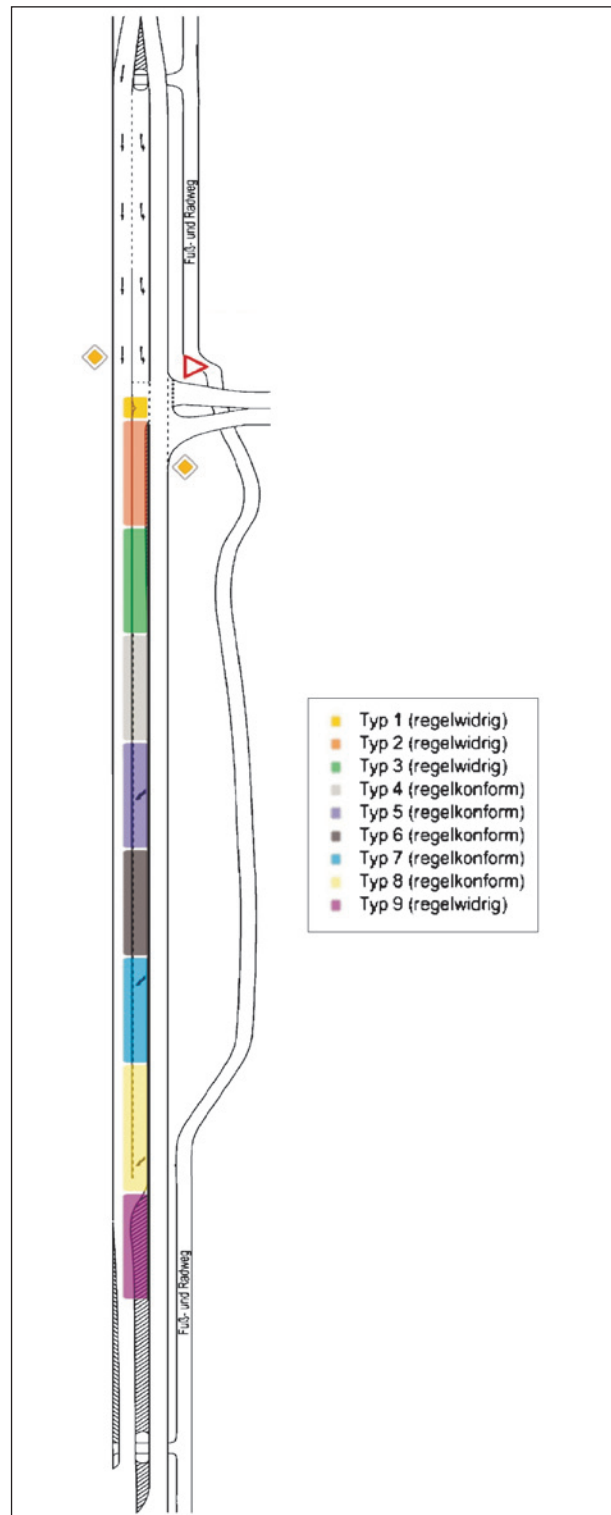


Bild 19: Darstellung der 9 Abschnitte am Beispiel Lemgo

5.2.1 Iserlohn (Masteweg)

Der Knotenpunkt Masteweg liegt – wie auch der Knotenpunkt Leckingser Straße – im Stadtteil Iserlochner Heide der Stadt Iserlohn. Der Masteweg mündet am Nordrand des Stadtteils in die B 233 ein, die Iserlohn mit dem nördlich gelegenen Unna verbindet. Der Masteweg erschließt ein Wohngebiet am nördlichen Rand des Stadtteils. Etwa 210 m nördlich liegt ein ebenfalls nicht signalisierter Knotenpunkt mit der Straße Barendorfer Bruch und südlich grenzt in einer Entfernung von ca. 230 m der signalisierte Knotenpunkt B 233/L 680 (Baarstraße) an.

Der Knotenpunkt Masteweg verfügt über einen ca. 60 m langen Linksabbiegestreifen mit offener Einleitung und einen iLES mit einer Länge von 31 m, der durch eine Sperrfläche beendet wird. Im untergeordneten Knotenpunktarm ist ein Tropfen vorhanden. Die untergeordnete Zufahrt ist einstreifig und weitet sich im unmittelbaren Knotenpunktbereich auf. Auf der Südwestseite wird parallel zum Strom 2 ein Radfahrstreifen geführt. Außerdem gibt es eine markierte Überquerungsmöglichkeit für Fußgänger über den untergeordneten Knotenpunktarm. Zur Überquerung der übergeordneten Knotenpunktarme werden im Umfeld des Knotenpunkts keine Möglichkeiten vorgesehen.

5.2.1.1 Verkehrsstärken

Der Knotenpunkt Masteweg ist mit einem DTV nach ARNOLD von 21.203 Kfz/24 h noch etwas höher belastet als der Knotenpunkt Leckingser Straße. Die Spitzenstunde liegt nachmittags zwischen 16:10 und 17:10 Uhr und weist eine Belastung von 2.152 Kfz/h auf. Die Spitzenstunde morgens ist mit 2.050 Kfz/h nur wenig geringer ausgeprägt.

Die beiden Geradeausfahrerströme der Hauptrichtung weisen in der Spitzenstunde mit 959 bzw. 849 Kfz/h ähnliche Verkehrsstärken auf. Die Zahl der linkseinbiegenden Fahrzeuge ist mit 68 Kfz/h in der Spitzenstunde gering.

5.2.1.2 Geschwindigkeitsmessungen im Hauptstrom

Die zulässige Geschwindigkeit liegt – trotz der Lage innerhalb bebauter Gebiete – bei 60 km/h. Der Mittelwert liegt mit 53 km/h für Strom 2 und 50 km/h für Strom 8 deutlich darunter. Auch die V_{85} überschreitet mit 60 km/h für Strom 2 und 59 km/h für Strom 8 diesen Wert nicht.

5.2.1.3 Wartezeiten und Rückstaulängen

Die mittlere Wartezeit über die beiden 4-Stunden-Zeiträume beträgt 16 s, die mittlere Wartezeit in der Spitzenstunde beträgt 29 s. Die maximale Wartezeit in den beiden 4-Stunden-Zeiträumen liegt bei 257 Sekunden. Die maximale Rückstaulänge ist mit 46 m vergleichsweise gering.

5.2.1.4 Zeitlücken

Die Ermittlung der Zeitlücken aus den Videoaufnahmen hat für die Grenzzeitlücke mit Berücksichtigung von Strom 8 einen Wert von 3,4 s ergeben und ohne Berücksichtigung von Strom 8 einen Wert von 6,2 s. Eine Folgezeitlücke ließ sich nicht ermitteln.

5.2.1.5 Fahrstreifenwechselfverhalten

Der Knotenpunkt weist wegen seiner geringen Länge nur die Abschnitte 1 (unmittelbarer Einfahrbereich), 4 (erster Abschnitt, in dem Fahrstreifenwechsel zulässig sind) und 9 (Sperrfläche) auf. Einen Abschnitt mit ununterbrochener Linie gibt es nicht, ein direktes Einbiegen ohne Nutzung des iLES ist jedoch – unterstützt durch entsprechende Fahrbahnmarkierungen – nicht zulässig. Der ganz überwiegende Teil der Fahrer nutzt den Abschnitt 4 zum (regelmäßigen) Fahrstreifenwechsel. Ein direktes Einbiegen wurde nur einmal beobachtet, Sperrflächenüberfahrungen kamen ebenfalls nur selten vor, so dass der Anteil der vorschriftswidrigen Verhaltensweisen im geringen einstelligen Prozentbereich liegt.

5.2.1.6 Verkehrsqualität

Die Verkehrsqualität wäre ohne den iLES nach dem HBS mit Qualitätsstufe F zu bewerten. Durch den iLES verbessert sich die Verkehrsqualität rechnerisch auf Stufe D, wenn man in der HBS-Berechnung den Strom 8 unberücksichtigt lässt. Tatsächlich treten in der Spitzenstunde 29 s Wartezeit auf, was Qualitätsstufe C an der Grenze zu Stufe D entspricht. Durch den iLES kann der Knotenpunkt offenbar trotz der hohen Verkehrsstärken noch eine befriedigende Verkehrsqualität auch in den Spitzenzeiten bieten.

5.2.1.7 Fazit Iserlohn (Masteweg)

Der Knotenpunkt ist mit gut 20.000 Kfz/24 h vergleichsweise hoch belastet. Die zulässige Geschwindigkeit liegt trotz der Lage innerhalb bebau-

ter Gebiete bei 60 km/h. Die tatsächlichen Geschwindigkeiten bleiben jedoch größtenteils darunter. Der iLES bewirkt eine deutliche Verbesserung der Verkehrsqualität und ermöglicht den Betrieb mit befriedigender Verkehrsqualität, obwohl der iLES nur eine Länge von 31 m aufweist. Trotz der geringen Länge und der hohen Belastung der Hauptstraße kommt es kaum zu regelwidrigem Verhalten.

5.2.2 Iserlohn (Leckingser Straße)

Die L 680 (Baarstraße) führt als wichtige Radiale vom Zentrum Iserlohns nach Norden und bindet im Stadtteil Iserlohner Heide an die B 233 an, die weiter nach Unna führt. Im Stadtteil Iserlohner Heide bindet die Leckingser Straße an die L 680 an und führt durch ein Gewerbegebiet weiter Richtung Leckingsen. Etwa 180 m südlich des Knotenpunkts liegen eine weitere nicht signalisierte Einmündung (Kastanienallee) und etwa 550 m nördlich ein signalisierter Knotenpunkt mit der Seilerseestraße (B 233).

Der Knotenpunkt verfügt über einen Linksabbiegestreifen mit offener Einleitung und einer Länge von ca. 100 m sowie einen iLES mit einer Länge von 43 m, der mit einer Sperrfläche beendet wird. Im untergeordneten Knotenpunktarm ist ein Tropfen vorhanden, die untergeordnete Zufahrt verfügt über einen Fahrstreifen, der im unmittelbaren Knotenpunktbereich aufgeweitet ist. Auf der Nordwestseite der L 680 verläuft parallel zu Strom 2 ein Radfahrstreifen, zusätzlich ist eine Überquerungsstelle für Fußgänger über den untergeordneten Knotenpunktarm markiert. Baulich gesicherte Überquerungsmöglichkeiten über die L 680 gibt es im Umfeld des Knotenpunkts nicht.

5.2.2.1 Verkehrsstärken

Der nach ARNOLD aus den Kurzzeitählungen berechnete DTV am Knotenpunkt Leckingser Straße liegt bei 19.750 Kfz/24 h. Die Spitzenstunde liegt nachmittags zwischen 16:15 Uhr und 17:15 Uhr, die Belastung beträgt 2.025 Kfz/h. Die Spitzenstunde morgens ist mit 1.701 Kfz/h deutlich geringer ausgeprägt.

Die beiden Geradeausströme der Hauptrichtung (Ströme 2 und 8) sind in der Spitzenstunde etwa gleich stark (719 und 633 Kfz/h). Der Linkseinbiegerstrom ist mit 55 Kfz/h vergleichsweise gering belastet.

5.2.2.2 Geschwindigkeitsmessungen im Hauptstrom

Die zulässige Geschwindigkeit in den übergeordneten Knotenpunktarmen liegt bei 60 km/h. Die mittlere Geschwindigkeit liegt – gemittelt über beide 4-Stunden-Zeiträume – bei 51 km/h, der Wert ist in beide Richtungen gleich. Die V_{85} liegt bei 61 km/h, der Wert ist ebenfalls in beide Richtungen gleich.

5.2.2.3 Wartezeiten und Rückstaulängen

Die gemessenen Wartezeiten liegen im Mittel über die Spitzenstunde bei 17 s, der Maximalwert betrug 127 s. Die Rückstaulängen waren nicht sehr ausgeprägt, das Maximum lag bei 47 m.

5.2.2.4 Zeitlücken

Die Ermittlung der Grenz- und Folgezeitlücken erfolgte anhand einer Videoanalyse. Es wurde unterschieden in Zeitlücken mit Berücksichtigung von Strom 8 und in Zeitlücken ohne Berücksichtigung von Strom 8. Die Grenzzeitlücke mit Strom 8 beträgt 3,5 s und die Grenzzeitlücke ohne Strom 8 ergibt sich zu 4,2 s. Die Folgezeitlücke war nicht ermittelbar, da die zugrunde zu legende Situation zu selten auftrat.

5.2.2.5 Fahrstreifenwechselverhalten

Der iLES Leckingser Straße verfügt wegen der geringen Länge von 43 m nur über vier Abschnitte: Abschnitte 1 und 2 (unmittelbarer Einfahrbereich und Abschnitt mit ununterbrochener Linie), Abschnitt 4 als einziger Abschnitt, in dem ein Fahrstreifenwechsel zulässig ist, und Abschnitt 9 (Sperrfläche).

Der größte Teil der Fahrer wechselt im Abschnitt 4, in dem der Fahrstreifenwechsel vorgesehen ist. Etwa 40 % wechseln jedoch bereits im Abschnitt 2 den Fahrstreifen, in dem der Fahrstreifenwechsel noch vorschriftswidrig ist. Direktes Einfahren ohne Nutzung des iLES und Überfahrungen der Sperrfläche kommen hingegen fast nicht vor.

5.2.2.6 Leistungsfähigkeit

Die rechnerische Verkehrsqualität läge ohne iLES in der Spitzenstunde bei Stufe F. Berücksichtigt man im HBS-Verfahren den Strom 8 nicht, dann würde rechnerisch Qualitätsstufe D in der Spitzenstunde erreicht werden. Die gemessene mittlere

Wartezeit liegt in der Spitzenstunde bei 17 s und ist entsprechend mit Qualitätsstufe B zu bewerten.

5.2.2.7 Fazit Iserlohn (Leckingser Straße)

Die Verkehrsbelastung am Knotenpunkt Leckingser Straße in Iserlohn liegt mit knapp 20.000 Kfz/24 h im oberen Drittel der Spanne der Belastungen der untersuchten Knotenpunkte. Die Zahl der Linkseinbieger ist – wie beim Großteil der untersuchten Knotenpunkte – vergleichsweise gering. Die tatsächlichen Geschwindigkeiten liegen aufgrund der hohen Belastung unter der Geschwindigkeitsbeschränkung von 60 km/h, das Fahrverhalten entspricht einer Situation innerhalb bebauter Gebiete. Durch den iLES kann die Verkehrsqualität von Stufe F auf Stufe B verbessert werden.

5.2.3 Mecklar

Der Knotenpunkt Mecklar wird gebildet aus der Einmündung der Meckbacher Straße in die B 27/Friedloser Straße. Die B 27 führt nördlich der Bahnstrecke am Südrand durch einen Ortsteil von Mecklar und verbindet Bad Hersfeld und Bebra. Die Meckbacher Straße ist die einzige Verbindung zwischen dem nördlichen Ortsteil von Mecklar und dem Ortskern und führt außerdem als Ortsumgehung um Mecklar herum weiter nach Meckbach.

Etwa 150 m westlich des Knotenpunkts liegen weitere nicht signalisierte Einmündungen von Erschließungsstraßen. In östlicher Richtung folgen die nächsten Knotenpunkte erst in einigen Kilometern Entfernung am Ortsrand von Blankenheim. Die zulässige Geschwindigkeit liegt bei 50 km/h.

Der Knotenpunkt verfügt über einen Linksabbiegestreifen mit einer Länge von etwa 60 m, die Länge des iLES beträgt 91 m. Der Linksabbiegestreifen weist eine geschlossene Einleitung auf, der iLES ist durch eine kurze Sperrfläche und eine dahinter liegende Mittelinsel begrenzt. Im untergeordneten Knotenpunktarm ist ein Tropfen vorhanden, die Zufahrt ist einstreifig mit einer deutlichen Aufweitung im unmittelbaren Knotenpunktbereich. Die Rechtsabbieger verfügen über einen eigenen Fahrstreifen mit Dreiecksinsel. Anlagen für Fußgänger und Radfahrer sind nicht vorhanden.

5.2.3.1 Verkehrsstärken

Der Knotenpunkt Mecklar ist mit einem DTV nach ARNOLD von 15.875 Kfz/24 h nur mäßig belastet.

Die Spitzenstunde liegt nachmittags zwischen 16:25 und 17:25 Uhr. Die beiden Geradeausfahrstreifen der Hauptrichtung sind relativ ungleich belastet: Strom 2 (Richtung Westen) weist eine Belastung von 537 Kfz/h auf, Strom 8 (Richtung Osten) ist mit 722 Kfz/h belastet. Die Zahl der Linkseinbieger ist mit 26 Kfz/h in der Spitzenstunde sehr gering, das Maximum tritt außerhalb der Spitzenstunde auf und beträgt lediglich 36 Kfz/h.

5.2.3.2 Geschwindigkeitsmessungen im Hauptstrom

Die mittlere Geschwindigkeit über die beiden 4-Stunden-Zeiträume liegt bei Strom 2 bei 50 km/h und bei Strom 8 bei 53 km/h. Die V_{85} beträgt für Strom 2 57 km/h und für Strom 8 64 km/h. Die höheren Verkehrsstärken bei Strom 8 sind mit der Lage des Knotenpunkts am östlichen Rand des Ortsteils zu begründen, wo ein Großteil der Fahrer bereits beschleunigt, während die Fahrer Richtung Westen auf die Ortsdurchfahrt zufahren und ihre Geschwindigkeit bereits reduziert haben. Dennoch liegen die Geschwindigkeiten beider Ströme merklich über der zulässigen Geschwindigkeit.

5.2.3.3 Wartezeiten und Rückstaulängen

Die mittlere Wartezeit über die beiden 4-Stunden-Zeiträume liegt bei nur 8 s, in der Spitzenstunde liegt sie bei 10 s. Die maximale Wartezeit beträgt 86 s, die maximale Rückstaulänge ist mit 28,5 m vergleichsweise gering. Die Ergebnisse entsprechen den insgesamt geringen Verkehrsstärken und insbesondere der geringen Belastung des Linkseinbiegerstroms.

5.2.3.4 Zeitlücken

Die aus den Videoaufnahmen abgeleitete Grenzzeitlücke mit Berücksichtigung von Strom 8 liegt bei 3,9 s und ohne Berücksichtigung von Strom 8 bei 10,1 s. Die Zeitlücke ohne Berücksichtigung von Strom 8 liegt mit 10,1 s deutlich über den Zeitlücken der übrigen Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete und ist selbst im Vergleich mit den Knotenpunkten im Vorfeld bebauter Gebiete die höchste, die gemessen wurde.

5.2.3.5 Fahrstreifenwechselfverhalten

Durch die vergleichsweise große Länge existieren 6 Abschnitte: Abschnitte 1, 2 und 3, in denen kein

Fahrstreifenwechsel zulässig ist, die Abschnitte 4 und 5, in denen gewechselt werden darf, und Abschnitt 9, der Bereich der Sperrfläche, die nicht befahren werden darf. Die Ergebnisse zeigen, dass etwa 16 % der Fahrer den iLES regelwidrig nutzen. Zwei Drittel der nicht regelkonformen Nutzung beziehen sich auf Abschnitt 1, d. h., es wird ohne Nutzung des iLES eingebogen. In den Abschnitten 2 und 3 kommt es fast zu keinen (regelwidrigen) Fahrstreifenwechseln. Etwa ein Drittel der regelwidrigen Nutzungen kommt durch Überfahren der Sperrfläche zustande.

Von den regelkonformen Fahrstreifenwechseln entfallen etwa 40 % auf Abschnitt 4 (zwischen 50 und 75 m der Länge des iLES) und 60 % auf Abschnitt 5 (zwischen 75 und 91 m der Länge des iLES). Berücksichtigt man dabei, dass Abschnitt 5 merklich kürzer ist als Abschnitt 4, so lässt sich eine deutliche Tendenz zum Wechsel im hinteren Drittel des iLES feststellen.

5.2.3.6 Verkehrsqualität

Ohne einen iLES läge die Verkehrsqualität nach dem HBS bei Stufe C. Berücksichtigt man den Strom 8 in der Berechnung nicht, um eine Näherung für die Verkehrsqualität mit iLES zu erhalten, so läge sie bei Stufe A. Die tatsächliche Wartezeit in der Spitzenstunde liegt bei 10 s, was mit Stufe A an der Grenze zu Stufe B zu bewerten ist. Der iLES wäre aus Gründen der Leistungsfähigkeit damit nicht notwendig, er erhöht die Verkehrsqualität jedoch um ein bis zwei Stufen.

5.2.3.7 Fazit Mecklar

Der Knotenpunkt Mecklar liegt zwar innerhalb bebauter Gebiete mit einer entsprechenden zulässigen Geschwindigkeit von 50 km/h. Die Gestaltung des Knotenpunkts entspricht jedoch größtenteils einem Knotenpunkt außerhalb bebauter Gebiete. Die Verkehrsstärken sind vergleichsweise gering, insbesondere die Stärke des Linkseinbiegerstroms. Die Kombination aus Außerorts-Charakter und geringen Verkehrsstärken führt zu einem merklich überhöhten Geschwindigkeiten und zum anderen zu einem zögerlichen Fahrverhalten. Der Knotenpunkt weist die größte Grenzzeitlücke aller untersuchten Knotenpunkte auf.

5.2.4 Düsseldorf

Der Knotenpunkt wird gebildet aus der Einmündung der Beckbuschstraße in die Niederrheinstraße. Er liegt im Düsseldorfer Stadtteil Stockum. Die Niederrheinstraße übernimmt die Haupterschließung der beiden Stadtteile Lohausen und Stockum und verläuft parallel zur autobahnartig ausgebauten, anbaufreien B 8. Die Beckbuschstraße bindet das Messegelände Düsseldorfs und die Veranstaltungshalle („Esprit-Arena“, vormals „LTU-Arena“) an die Niederrheinstraße und im weiteren Verlauf an die B 8 und die A 44 an.

Unmittelbar südlich des Knotenpunkts liegt der Freiligrathplatz, ein signalisierter großer Kreisverkehr, die Abbiegestreifen des Kreisverkehrs reichen bis an den untersuchten Knotenpunkt Beckbuschstraße heran. Richtung Norden liegt in etwa 160 m Entfernung eine weitere nicht signalisierte Einmündung. Der untersuchte Knotenpunkt verfügt noch über einen weiteren Knotenpunktarm gegenüber der Beckbuschstraße. Dieser wird jedoch nur aus einem etwa 20 m langen Erschließungsweg gebildet, über den etwa 30 Wohneinheiten erschlossen werden und der nur über 6 Stellplätze verfügt.

Die Gestaltung des Knotenpunkts ist aufgrund der unmittelbaren Lage neben dem Freiligrathplatz ungewöhnlich. Es existiert ein Linksabbiegestreifen, der jedoch mit einer Sperrfläche vom daneben liegenden Geradeausfahrstreifen abgetrennt ist. Parallel zum Linksabbiegestreifen werden außerdem die beiden vom Freiligrathplatz kommenden Geradeausfahrstreifen auf einen Fahrstreifen zusammengeführt. In gleicher Weise werden auch die beiden auf den Freiligrathplatz zuführenden Fahrstreifen im Knotenpunktbereich auf einen Fahrstreifen reduziert, unmittelbar hinter dem Knotenpunkt wird rechts ein Rechtsabbiegestreifen aufgezogen. Der iLES verfügt über eine Länge von 25 m. Das Ende ist nicht durch eine Sperrfläche markiert, sondern durch eine unterbrochene Linie. Die untergeordnete Zufahrt verfügt nur über einen Fahrstreifen, der auch im unmittelbaren Knotenpunktbereich keine Möglichkeit bieten dass sich zwei Pkw nebeneinander aufstellen können. Auf der Westseite (parallel zu Strom 2) existierten ein Gehweg und ein Radweg, die entsprechend den untergeordneten Knotenpunktarm überqueren. Überquerungsmöglichkeiten im Umfeld des untersuchten Knotenpunkts gibt es nicht. Eine signalgesicherte Überquerungsmöglichkeit ist jedoch am unmittelbar benachbarten Freiligrathplatz vorhanden.

5.2.4.1 Verkehrsstärken

Der Knotenpunkt weist einen DTV nach ARNOLD von 15.875 Kfz/24 h auf. Er liegt damit im Mittelfeld der Belastungen der 10 untersuchten Knotenpunkte. Die Spitzenstunde liegt morgens zwischen 7:40 und 8:40 Uhr. Die beiden Geradeausfahrstreifen der Hauptrichtung sind extrem ungleich belastet. Während Strom 2 (Richtung Süden bzw. Richtung stadteinwärts) 1.225 Kfz/h aufweist, ist Strom 8 nur mit 418 Kfz/h belastet. Die Stärke der Linkseinbieger beträgt lediglich 18 Kfz in der Spitzenstunde und maximal 30 Kfz/h. Er ist damit der Knotenpunkt mit der geringsten Linkseinbiegerverkehrsstärke.

5.2.4.2 Geschwindigkeitsmessungen im Hauptstrom

Die zulässige Geschwindigkeit beträgt 50 km/h. Die mittlere Geschwindigkeit über die beiden 4-Stunden-Zeiträume liegt bei Strom 2 bei 49 km/h und bei Strom 8 bei 43 km/h. Die V_{85} beträgt bei Strom 2 57 km/h und bei Strom 8 50 km/h. Die Geschwindigkeiten auf Strom 2 (auf den Freiligrathplatz zuführend) liegen damit merklich über der zulässigen Geschwindigkeit, in der entgegengesetzten Richtung überschreiten nur wenige Fahrer die zulässige Geschwindigkeit. Allerdings handelt es sich hierbei um Fahrzeuge, die gerade den Freiligrathplatz verlassen haben und im weiteren Verlauf der Niederrheinstraße noch weiter beschleunigen werden.

5.2.4.3 Wartezeiten und Rückstaulängen

Die mittlere Wartezeit der Linkseinbieger über die beiden 4-Stunden-Zeiträume liegt bei nur 5 s, in der Spitzenstunde sind es 8 s. Trotz der im Mittel sehr geringen Wartezeiten treten im Maximum Wartezeiten von 140 s auf. Die maximale Rückstaulänge liegt bei 28 m, was etwas weniger als 5 Fahrzeuglängen entspricht.

5.2.4.4 Zeitlücken

Die aus den Videoaufnahmen ermittelte Grenzzeitlücke mit Berücksichtigung von Strom 8 liegt bei 3,2 s, ohne Berücksichtigung von Strom 8 bei 3,5 s. Bei der Grenzzeitlücke ohne Berücksichtigung von Strom 8 handelt es sich um die geringste Zeitlücke im Vergleich der 10 Knotenpunkte. Eine Folgezeitlücke konnte nicht ermittelt werden.

5.2.4.5 Fahrstreifenwechselfverhalten

Der iLES in Düsseldorf verfügt wegen der geringen Länge von nur 25 m über drei Abschnitte, Abschnitt 1 und Abschnitt 2, in denen ein Fahrstreifenwechsel nicht zulässig ist, und Abschnitt 4. Die Ergebnisse zeigen, dass etwa 20 % der Fahrer unzulässige Fahrstreifenwechsel durchführen, dabei größtenteils im Abschnitt 2. Nur sehr vereinzelt wird im Abschnitt 1 gewechselt, der iLES beim Einbiegen also nicht genutzt.

5.2.4.6 Verkehrsqualität

Ohne einen iLES würde die Verkehrsqualität in der Spitzenstunde, berechnet nach dem Verfahren des HBS, Stufe C betragen. Mit dem iLES ergibt sich Stufe A, wenn man im Verfahren Strom 8 unberücksichtigt lässt. Die tatsächliche mittlere Wartezeit in der Spitzenstunde liegt bei 8 s, was ebenfalls Stufe A entspricht. Der iLES ist also aus Leistungsfähigkeitsgründen nicht notwendig, er verbessert die Verkehrsqualität um etwa zwei Stufen.

5.2.4.7 Fazit Düsseldorf

Der untersuchte Knotenpunkt in Düsseldorf ist in mehrfacher Hinsicht ein Extrembeispiel: Er verfügt über die geringste Länge des iLES, liegt unmittelbar neben einem anderen Knotenpunkt, hat eine sehr ungleichmäßige Auslastung und weist die geringste Grenzzeitlücke (ohne Berücksichtigung von Strom 8) auf.

5.2.5 Sinsheim

Der Knotenpunkt wird gebildet aus der Einmündung der Albert-Schweitzer-Straße in die Dührener Straße. Die Dührener Straße ist eine Radiale Sinsheims, die vom Zentrum in südwestlicher Richtung zur A 6 (Anschlussstelle Sinsheim) führt. Die Albert-Schweitzer-Straße bindet das südlich der Innenstadt gelegene Wohngebiet im Westen an.

Östlich des Knotenpunkts liegt in 190 m Entfernung die nicht signalisierte Einmündung der Straße Breite Seite, die ein Gewerbegebiet anbindet. In Richtung Westen ist der nächste Knotenpunkt 260 m entfernt (Carl-Benz-Straße).

Der Knotenpunkt verfügt über einen fast 100 m langen Linksabbiegestreifen, der iLES hat eine Länge von 80 m. In der untergeordneten Zufahrt ist ein

Fahrstreifen vorhanden, der im unmittelbaren Knotenpunktbereich aufgeweitet wird. Im untergeordneten Knotenpunktarm werden die beiden Fahrtrichtungen durch einen Tropfen getrennt. Parallel zu Strom 2 verläuft ein Gehweg, der entsprechend den untergeordneten Knotenpunktarm überquert.

5.2.5.1 Verkehrsstärken

Der Knotenpunkt weist einen DTV nach ARNOLD von 16.857 Kfz/24 h auf. Die Spitzenstunde liegt nachmittags zwischen 16:10 und 17:10 Uhr. Die beiden Geradeausfahrstreifen in der Hauptrichtung sind mit 650 Kfz/h (Strom 2) und 557 Kfz/h (Strom 8) ähnlich hoch belastet. Die Zahl der Linkseinbieger beträgt in der Spitzenstunde 124 Kfz, der Maximalwert, der außerhalb der Spitzenstunde auftritt, liegt bei 142 Kfz/h. Nach dem Knotenpunkt Haxterhöhe ist die Linkseinbiegerverkehrsstärke beim Knotenpunkt Sinsheim die zweithöchste im Vergleich der 10 Knotenpunkte und liegt etwa doppelt so hoch wie bei den übrigen Knotenpunkten (mit Ausnahme von Haxterhöhe, die etwa 10mal so hoch liegt).

5.2.5.2 Geschwindigkeitsmessungen im Hauptstrom

Die zulässige Geschwindigkeit beträgt 50 km/h. Bereits die mittlere Geschwindigkeit über die beiden 4-Stunden-Zeiträume liegt jedoch deutlich höher mit 51 km/h bei Strom 2 und 58 km/h bei Strom 8. Die V_{85} für Strom 2 beträgt 59 km/h und für Strom 8 70 km/h. Auf dem stadtauswärts führenden Geradeausfahrstreifen liegen die Geschwindigkeiten damit deutlich über den Werten auf dem stadteinwärts führenden Fahrstreifen. Sie liegen jedoch auf beiden Fahrstreifen deutlich über der zulässigen Geschwindigkeit.

5.2.5.3 Wartezeiten und Rückstaulängen

Die mittlere Wartezeit über die beiden 4-Stunden-Zeiträume liegt bei 16 s, die mittlere Wartezeit in der Spitzenstunde beträgt für die Linkseinbieger 28 s. Die maximale Wartezeit wurde mit 173 s gemessen. Die Rückstaus wiesen im Maximalfall eine Länge von 77 m auf, was etwa 13 Fahrzeuglängen entspricht. Die vergleichsweise große Belastung des Linkseinbiegerstroms wirkt sich in den Wartezeiten aus, insbesondere denen der Spitzenstunde. Entsprechend lang sind auch die Rückstaus.

5.2.5.4 Zeitlücken

Die aus den Videoaufnahmen ermittelten Grenzzeitlücken mit Berücksichtigung von Strom 8 betragen 3,8 s und ohne Berücksichtigung von Strom 8 6,3 s. Eine Folgezeitlücke ließ sich nicht ermitteln.

5.2.5.5 Fahrstreifenwechselverhalten

Der Knotenpunkt verfügt über die Abschnitte 1, 2 und 3, in denen ein Fahrstreifenwechsel nicht zulässig ist, über die Abschnitte 4 und 5, in denen gewechselt werden darf, und Abschnitt 9 (Sperrfläche am Ende des iLES).

Nicht regelkonforme Nutzungen des iLES treten kaum auf, sie haben lediglich einen Anteil von 3 %. Sie treten auf den Abschnitten 3 und 9 auf. Die regelkonformen Fahrstreifenwechsel werden zu etwa 60 % im Abschnitt 4 durchgeführt und zu 40 % im Abschnitt 5. Während sich bei vielen der anderen langen iLES die Fahrstreifenwechsel im hinteren Drittel konzentrieren, verteilen sie sich in Sinsheim recht gleichmäßig und liegen tendenziell noch vor der Mitte.

5.2.5.6 Verkehrsqualität

Ohne den iLES läge die Verkehrsqualität in der Spitzenstunde bei Qualitätsstufe F, was zum einen auf die nicht geringe Belastung in der Hauptrichtung zurückzuführen ist und zum anderen auf die vergleichsweise hohe Linkseinbiegerverkehrsstärke. Berücksichtigt man in der HBS-Berechnung den Strom 8 nicht, um eine Näherung für die Verkehrsqualität mit iLES zu erhalten, so ergibt sich Qualitätsstufe D. Die tatsächliche mittlere Wartezeit in der Spitzenstunde liegt bei 28 s, was mit Stufe C an der Grenze zu Stufe D zu bewerten ist. Anders als beim Großteil der anderen untersuchten Knotenpunkte wird durch den iLES lediglich eine ausreichende Verkehrsqualität erreicht. Dies ist u. a. auf die vergleichsweise große Linkseinbiegerverkehrsstärke zurückzuführen.

5.2.5.7 Fazit Sinsheim

Der Knotenpunkt zeigt recht deutlich die Wirkungen eines iLES bei relativ hohen Linkseinbiegerverkehrsstärken. Nur durch den iLES kann an dieser Stelle eine ausreichende Verkehrsqualität erreicht werden. Aufgrund der hohen Belastung des Linkseinbiegerstroms treten aber dennoch teilweise hohe Wartezeiten und lange Rückstaus auf.

5.2.6 Lemgo

Aus der Stadt Lemgo verläuft in westlicher Richtung die Herforder Straße in Richtung Bad Salzuflen. Die Herforder Straße ist zunächst ein einbahnig 2-streifiger Querschnitt, der etwa 1,4 Kilometer hinter dem Knotenpunkt Herforder Straße (L 712)/Bielefelder Straße (L 936) hinter einem Kreisverkehr zu einem 2+1-Querschnitt wird. Etwa 1,4 Kilometer in östlicher Richtung, unmittelbar vor der Stadt Lemgo, befindet sich eine LSA.

Der betrachtete Knotenpunkt bildet die Abzweigung Richtung Lieme (ebenfalls mit einbahnig zweistreifigem Querschnitt). Die beiden Fahrtrichtungen werden entlang des iLES durch Markierungen voneinander getrennt. Im untergeordneten Knotenpunktarm ist ein baulicher Tropfen im Knotenpunktbereich angelegt, der die Fahrtrichtungen voneinander trennt. Fußgänger und Radfahrer sind neben Strom 2 im Seitenraum geführt. Hinter dem Ende des iLES und vor dem Beginn des Linksabiegestreifens des benachbarten Knotenpunkts befinden sich Querungsmöglichkeiten für Fußgänger. Gleichzeitig wird dabei der Geh- und Radweg auf die gegenüberliegende Seite geführt.

Der Linkseinbiegestreifen weist eine Länge von ca. 180 m auf. Er ist über die gesamte Länge durch eine Leitlinie vom Geradeausfahrstreifen der Haupttrichtung getrennt. Der iLES wird im Nebenstrom mittels einer Hinweistafel angekündigt. Zudem wird im Hauptstrom mit einem Verkehrsschild auf das Ende des iLES in 150 Metern hingewiesen.

5.2.6.1 Verkehrsstärken

Die Messungen haben ergeben, dass die Spitzenstunde am Knotenpunkt zwischen 06:55 und 07:55 Uhr liegt. Zu dieser Zeit queren 2.559 Fahrzeuge den Knotenpunkt, davon 45 Linkseinbieger. Der Anteil der Linkseinbieger ist demzufolge gering. Die maximale Anzahl an Linkseinbiegern während des Messzeitraumes lag bei 47 Fahrzeugen in einer Stunde. Während der achtstündigen Messung bogen 277 Fahrzeuge links in den Knotenpunkt ein.

Vormittags ist der Strom 8 Richtung Bad Salzuflen stärker und nachmittags der Strom 2 Richtung Lemgo. In den Hauptströmen liegt die Belastung während der Spitzenzeiten bei über 800 Fahrzeugen pro Stunde und Richtung. Die starke Belastung der Hauptströme erklärt die Anlage des iLES.

Die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) am Knotenpunkt wurde nach dem Verfahren von ARNOLD et al. berechnet. Es ergibt sich ein DTV von 25.039 Fahrzeugen.

5.2.6.2 Geschwindigkeitsmessungen im Hauptstrom

Die Auswertungen der Radargeräte ergeben etwa 10 bis 20 h/km Differenzen zwischen den Geschwindigkeiten in den Hauptströmen. Die zulässige Geschwindigkeit liegt bei 70 km/h. Im Strom 8 liegt die mittlere Geschwindigkeit zwischen 65 km/h und 80 km/h. Der Verlauf der mittleren Geschwindigkeiten von Strom 2 ist ähnlich, lediglich durchschnittlich um 10 bis 15 km/h geringer.

Die mittlere Geschwindigkeit im Strom 2 für den gesamten Messzeitraum von 06:00 bis 19:00 Uhr liegt bei 57 km/h, die V_{85} bei 65 km/h. Für Strom 8 liegen V_m bei 67 km/h und V_{85} bei 79 km/h. Während der Spitzenstunde liegen diese Geschwindigkeiten höher (Strom 2: $V_m = 62$ km/h, $V_{85} = 69$ km/h; Strom 8: $V_m = 75$ km/h, $V_{85} = 87$ km/h).

5.2.6.3 Wartezeiten und Rückstaulängen

Die Auswertung der Wartezeiten und Rückstaulängen erfolgte mit Hilfe einer Videoanalyse.

Während des betrachteten Zeitraumes trat in der untergeordneten Zufahrt eine maximale Rückstaulänge von 85 Metern auf. Die mittlere Rückstaulänge über acht Stunden beläuft sich auf etwa 23 Meter. Die maximale Wartezeit liegt bei etwa dreieinhalb Minuten. Die mittlere Wartezeit während der Spitzenstunde liegt bei rund 23 Sekunden.

Es konnte ein angemessener Abfluss der Linkseinbieger während der Messungen beobachtet werden. Zudem wurde überwiegend eine korrekte Nutzung des iLES beobachtet.

5.2.6.4 Zeitlücken

Die Ermittlung der Grenz- und Folgezeitlücken erfolgte anhand einer Videoanalyse. Es wurde unterschieden in Zeitlücken mit Berücksichtigung von Strom 8 und in Zeitlücken ohne Berücksichtigung von Strom 8. Die Grenzzeitlücke mit Strom 8 beträgt 3,0 s und die Grenzzeitlücke ohne Strom 8 ergibt sich zu 4,7 s. Die Folgezeitlücke war nicht ermittelbar, da die zugrunde zu legende Situation zu selten auftrat.

5.2.6.5 Fahrstreifenwechselverhalten

Der iLES ist in Lemgo 180 m lang und enthält alle der von 1 bis 9 nummerierten Abschnitte. Ein Großteil der Fahrzeuge wechselt erst in den Abschnitten 6 bis 8, also nach 100 bis 150 m. Vorschriftswidriges Verhalten trat fast nicht auf, weder am Beginn des iLES noch an der Sperrfläche am Ende. Lkw wechseln tendenziell noch später als Pkw, es gibt jedoch auch bei Lkw kaum vorschriftswidriges Verhalten.

5.2.6.6 Verkehrsqualität

Die Ermittlung der Verkehrsqualität des Knotenpunkts in Lemgo nach dem HBS ergibt, sofern die Verkehrsstärken bei einer herkömmlichen Einmündung angenommen werden, eine Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs (QSV) von F. Dies liegt an den großen Hauptstrombelastungen. Zum Beispiel liegen die Belastungen von Strom 2 und Strom 8 in der morgendlichen Spitzenstunde bei 1.008 und 1.214 Kfz/h. Bei einer gleichverteilten Ankunft der Fahrzeuge würden also nur Zeitlücken für die Einbieger von 1,6 Sekunden entstehen. Dementsprechend wird es auch bei einer nicht gleichverteilten, sondern zufälligen Fahrzeugankunft nur einen geringen Anteil an angenommenen Zeitlücken geben können.

Wird die Leistungsfähigkeitsberechnung unter dem Gesichtspunkt des vorhandenen iLES betrachtet und wird bei der maßgebenden Hauptstrombelastung des Stroms 4 der Strom 8 außer Acht gelassen, ergibt sich eine Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs von C. Die mittlere Wartezeit liegt bei der modifizierten Berechnung nach dem HBS bei 29 Sekunden.

Die aus den Messungen ermittelte mittlere Wartezeit liegt bei 23 Sekunden und damit etwas niedriger als mit dem vereinfachten Berechnungsansatz. Die Qualitätsstufe ist jedoch ebenfalls C.

5.2.6.7 Fazit Lemgo

Die Verkehrsbelastung des Knotenpunktes in Lemgo ist als sehr hoch einzustufen (von den im Projekt untersuchten Knotenpunkten hat Lemgo die höchste Verkehrsbelastung). Durch Anwohner, die Interesse an der Untersuchung vor Ort zeigten, war in Erfahrung zu bringen, dass das hohe Verkehrsaufkommen bereits kontrovers diskutiert wird.

Die Geschwindigkeitsmessungen sind entsprechend den hohen Verkehrsbelastungen ausgefallen. Vor allem im Strom 2 liegen die Geschwindigkeiten unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.

Trotz vereinzelt beachtlicher Rückstaulängen war der Abfluss der Fahrzeuge aus dem Nebenstrom gewährleistet und bis auf einige Ausnahmen waren die Wartezeiten der Linkseinbieger akzeptabel.

Die Berechnung der Leistungsfähigkeit des Knotenpunktes nach dem HBS bestätigt die Notwendigkeit einer Verbesserung des Verkehrsablaufs gegenüber einer gewöhnlichen Einmündung. Die Lösung mit iLES ergibt eine deutlich bessere Qualitätsstufe.

Die Fahrstreifenwechsel konzentrieren sich auf das hintere Drittel des iLES zwischen 100 und 150 m Länge. Vorschriftswidriges Verhalten tritt nur selten auf.

5.2.7 Haxterhöhe

Südlich von Paderborn kreuzen sich die Südtangente (B 64) und eine nach Süden führende Radiale (B 68). Der Knotenpunkt ist teilplanfrei ausgeführt. Die Einmündungen der südwestlichen Rampen in die B 68 bilden den Knotenpunkt Haxterhöhe (benannt nach angrenzenden Ortsteil). Im Gegensatz zu den übrigen Knotenpunkten tritt ein sehr starker Linkseinbiegerstrom auf, der von der Südtangente Richtung Paderborn Zentrum fährt.

Die Südtangente B 64 bildet den südlichen Rand der Ortslage Paderborns, der Knotenpunkt Haxterhöhe liegt damit im Vorfeld bebauter Gebiete. Im Norden grenzt ein signalisierter Knotenpunkt mit der Warburger Straße in ca. 750 m Entfernung an. Im Süden ist der nächste Knotenpunkt 1,3 km entfernt, dabei handelt es sich um einen teilplanfreien Knotenpunkt, über den eine Streusiedlung erschlossen wird. Die zulässige Geschwindigkeit liegt bei 70 km/h.

Der Knotenpunkt verfügt über einen ca. 120 m langen Linksabbiegestreifen mit geschlossener Einleitung und einen Rechtsabbiegestreifen, der aus einem vierstreifigen Querschnitt in der Ortslage von Paderborn entwickelt wird. In der nördlichen Zufahrt der B 68 ist eine Dreiecksinsel vorhanden, in der untergeordneten Zufahrt eine Dreiecksinsel und ein Tropfen. Für Rechtseinbieger steht ein separater Einbiegestreifen zur Verfügung. Der iLES hat eine Länge von 150 m.

5.2.7.1 Verkehrsstärken

Die Verkehrsstärke am Knotenpunkt Haxterhöhe liegt mit 19.015 Kfz/24 h nach ARNOLD im oberen Drittel der untersuchten Knotenpunkte. Die Spitzenstunde liegt nachmittags zwischen 16:00 und 17:00 Uhr, die Belastung liegt bei 1.937 Kfz/h. Die Spitzenstunde morgens ist mit 1.785 Kfz/h merklich geringer ausgeprägt.

In der Spitzenstunde nachmittags sind die Verkehrsstärken der beiden Geradeausströme in der Hauptrichtung mit 516 bzw. 446 Kfz/h etwa gleich groß. Im Vergleich mit Knotenpunkten mit vergleichbarem DTV ist die Belastung der Hauptrichtung jedoch vergleichsweise gering, sie liegt bei vergleichbaren Knotenpunkten bei 600 bis 800 Kfz/h. Entsprechend stark sind die Ein- und Abbiegerströme. Der Linkseinbiegerstrom ist in der Spitzenstunde nachmittags mit 418 Kfz/h belastet. Die größte Stundenbelastung tritt außerhalb der Spitzenstunde nachmittags auf und beträgt 475 Kfz/h. Damit ist der Linkseinbiegerstrom fast genauso stark wie die Geradeausströme der Hauptrichtung.

5.2.7.2 Geschwindigkeitsmessungen im Hauptstrom

Die zulässige Geschwindigkeit in der Hauptrichtung beträgt in beide Richtungen 70 km/h. Die Geschwindigkeitsmessungen zeigen, dass die mittlere Geschwindigkeit für Strom 2 bei 66 km/h liegt und für Strom 8 bei 60 km/h. Die V_{85} beträgt bei Strom 2 76 km/h und bei Strom 8 70 km/h. Die Geschwindigkeiten von Strom 2 liegen sowohl beim Mittelwert als auch bei der V_{85} 6 km/h über dem Wert von Strom 8. Strom 2 besteht aus Fahrzeugen, welche die Ortslage bereits verlassen und auch alle Knotenpunkte bis auf den betrachteten bereits hinter sich gelassen haben und bereits für die freie Strecke beschleunigen, während die Fahrzeuge auf Strom 8 auf den Knotenpunkt der B 64 und die Ortsdurchfahrt zufahren und entsprechend schon ihre Geschwindigkeit verringern.

5.2.7.3 Wartezeiten und Rückstaulängen

Die mittlere Wartezeit über die beiden 4-Stunden-Zeiträume liegt am Knotenpunkt Haxterhöhe bei 17 s, die mittlere Wartezeit in der Spitzenstunde bei 31 s. Die maximale Wartezeit liegt bei 176 s.

Die Rückstaulängen liegen maximal bei 83 m und reichen damit bis etwa in die Mitte der Ausfahrrampe.

5.2.7.4 Zeitlücken

Die aus den Videoaufnahmen ausgewerteten Grenzzeitlücken liegen mit Berücksichtigung von Strom 8 bei 4,3 s und ohne Berücksichtigung von Strom 2 bei 5,7 s. Eine Folgezeitlücke ließ sich nicht bestimmen.

5.2.7.5 Fahrstreifenwechselfverhalten

Aufgrund der vergleichsweise großen Länge sind alle Abschnitte bis auf Abschnitt 3 (letzter Abschnitt, in dem noch nicht der Fahrstreifen gewechselt werden darf) vorhanden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Fahrstreifenwechsel relativ gleichmäßig auf die Abschnitte 4 bis 8 verteilen, mit einer leichten Konzentration in Abschnitt 6 (75 bis 100 m vom Beginn des iLES). Direktes (regelwidriges) Einbiegen ohne Nutzung des iLES kommt kaum vor, Sperrflächenüberfahrungen sind überhaupt nicht aufgetreten, was vermutlich auf die bauliche Verkehrsinsel 10 m hinter dem Beginn der Sperrfläche zurückzuführen ist. Etwa 10 % der Fahrer wechseln den Fahrstreifen jedoch bereits im Abschnitt 2 (erste 25 m des iLES), in dem der Fahrstreifenwechsel noch nicht zulässig ist.

5.2.7.6 Verkehrsqualität

Ohne iLES ist die Verkehrsqualität des Knotenpunkts nach dem HBS mit Stufe F zu bewerten. Ermittelt man überschlägig die Verkehrsqualität, indem man im HBS-Berechnungsverfahren den Strom 8 vernachlässigt, so ergibt sich jedoch auch Qualitätsstufe F. Tatsächlich treten in der Spitzenstunde Wartezeiten von im Mittel 31 s auf, was Qualitätsstufe D entspricht.

5.2.7.7 Fazit Haxterhöhe

Unter den 10 betrachteten Knotenpunkten stellt der Knotenpunkt Haxterhöhe einen Sonderfall dar, da er einen Linkseinbiegerstrom aufweist, der kaum geringer belastet ist als die Geradeausfahrerströme der Hauptrichtung. Der iLES führt zu einer deutlichen Verbesserung der Verkehrsqualität, ohne ihn wäre der Knotenpunkt nicht leistungsfähig. Die Länge des iLES wird etwa gleich-

mäßig für Fahrstreifenwechsel genutzt, wobei eine Tendenz zu sehr frühen (vorschriftswidrigen) Fahrstreifenwechseln zu beobachten ist. Die befriedigende Verkehrsqualität zeigt, dass iLES auch bei großen Linkseinbiegeranteilen eingesetzt werden können.

5.2.8 Helmenzen (Bornenweg)

Der Knotenpunkt Bornenweg wird gebildet aus der Einmündung des Bornenwegs in die B 8. Die B 8 verläuft in West-Ost-Richtung im südlichen Bereich von Helmenzen und verbindet Birnbach im Westen mit Altenkirchen unmittelbar östlich von Helmenzen. Der Bornenweg ist eine der beiden Hauptschließungen der Wohngebiete von Helmenzen.

Etwa 170 m westlich vom Knotenpunkt Bornenweg liegt der ebenfalls untersuchte Knotenpunkt mit iLES Am Galgenberg. Etwa 180 m östlich des Knotenpunkts liegt der Knotenpunkt Rudolf-Diesel-Straße. Auch dieser Knotenpunkt wird als Beispiel für eine Einmündung mit iLES untersucht.

Der Knotenpunkt liegt innerhalb bebauter Gebiete, es sind jedoch 70 km/h zulässig. Der Knotenpunkt verfügt über einen Linksabbiegestreifen mit einer Länge von ca. 100 m, der iLES ist 45 m lang. Er wird begrenzt durch eine bauliche Insel. In der untergeordneten Zufahrt ist nur ein Fahrstreifen vorhanden, der im unmittelbaren Knotenpunktbereich leicht aufgeweitet wird. Die untergeordnete Zufahrt verfügt außerdem über einen Tropfen, über den auch überquerende Fußgänger geführt werden.

5.2.8.1 Verkehrsstärken

Der Knotenpunkt Bornenweg ist der am geringsten belastete Knotenpunkt unter den 10 untersuchten Knotenpunkten. Er weist einen DTV nach ARNOLD von 10.303 Kfz/24 h auf. Die Spitzenstunde liegt nachmittags zwischen 16:05 und 17:05 Uhr. Die Belastung liegt in der Spitzenstunde nachmittags bei 1.034 Kfz/h und ist in der morgendlichen Spitzenstunde mit 948 Kfz/h nur unwesentlich niedriger.

Die Belastung der Geradeausfahrstreifen in der Hauptrichtung ist mit 514 bzw. 471 Kfz/h etwa gleich groß. Die Zahl der Linkseinbieger liegt in der Spitzenstunde bei 23 Kfz/h, das Maximum liegt außerhalb der Spitzenstunde und beträgt 29 Kfz/h.

5.2.8.2 Geschwindigkeitsmessungen im Hauptstrom

Die zulässige Geschwindigkeit beträgt 70 km/h. Die mittlere Geschwindigkeit liegt in beiden Richtungen bei 68 km/h. Die V_{85} beträgt für Strom 2 79 km/h und für Strom 8 82 km/h. Auch bei der V_{85} sind damit beide Werte ähnlich. Anders als bei den meisten übrigen Knotenpunkten wird am Knotenpunkt Bornenweg – wie auch bei den anderen beiden Knotenpunkten in Helmenzen – die zulässige Geschwindigkeit merklich überschritten.

5.2.8.3 Wartezeiten und Rückstaulängen

Die durchschnittliche Wartezeit für Strom 4 über die beiden 4-Stunden-Zeiträume beträgt 8 s, in der Spitzenstunde liegt die mittlere Wartezeit ebenfalls bei 8 s. Die maximale Wartezeit beträgt 77 s. Die maximale Rückstaulänge liegt bei nur 13 m, was zwei Fahrzeuglängen entspricht. Die Ergebnisse entsprechen damit der vergleichsweise geringen Belastung.

5.2.8.4 Zeitlücken

Die Grenzzeitlücke mit Berücksichtigung von Strom 8 liegt beim Knotenpunkt Bornenweg bei 5,2 s und ohne Berücksichtigung von Strom 8 bei 8,0 s. Eine Folgezeitlücke ließ sich nicht ermitteln.

5.2.8.5 Fahrstreifenwechsellverhalten

Der iLES weist lediglich drei Abschnitte auf, was zum einen auf die Markierung und zum anderen auf die geringe Länge zurückzuführen ist. Lediglich die Abschnitte 4, 5 und 9 kommen vor. Die Abschnitte 1, 2 und 3 existieren an diesem Knotenpunkt nicht, da auf der gesamten Länge des iLES lediglich eine Leitlinie markiert ist. Die Beobachtungen zeigen, dass etwa zwei Drittel der Fahrer in Abschnitt 4 und damit auf den ersten 25 m des iLES den Fahrstreifen wechseln, das übrige Drittel wechselt im hinteren Bereich des iLES. Da der iLES durch eine bauliche Insel beschränkt wird, kann es nicht zu Überfahrungen im Abschnitt 9 kommen. Da auch kein Abschnitt existiert, in dem kein Fahrstreifenwechsel zulässig ist, können entsprechend auch keine regelwidrigen Fahrstreifenwechsel auftreten.

5.2.8.6 Verkehrsqualität

Der Knotenpunkt Bornenweg würde ohne einen iLES in der Spitzenstunde Qualitätsstufe B nach dem HBS erreichen. Ein iLES wäre also aus Leistungsfähigkeitsgründen nicht erforderlich. Berechnet man die Verkehrsqualität mit dem Verfahren nach dem HBS ohne Berücksichtigung von Strom 8, so ergibt sich Qualitätsstufe A für die Situation mit iLES. Die gemessenen Wartezeiten in der Spitzenstunde betragen 8 s und sind damit ebenfalls mit Qualitätsstufe A zu bewerten.

5.2.8.7 Fazit Helmenzen (Bornenweg)

Der Knotenpunkt ist der am geringsten belastete Knotenpunkt der 10 untersuchten Knotenpunkte. Der Anteil der Linkseinbieger ist wie bei fast allen Knotenpunkten gering. Aus Leistungsfähigkeitsgründen wäre ein iLES nicht erforderlich, es würde auch ohne iLES Qualitätsstufe B erreicht werden. Vermutlich aufgrund der geringen Belastung in der Hauptrichtung liegen die tatsächlichen Geschwindigkeiten merklich über der zulässigen Geschwindigkeit.

5.2.9 Helmenzen (Zum Galgenberg)

Der Knotenpunkt Zum Galgenberg wird gebildet aus der Einmündung der Straße Zum Galgenberg in die B 8. Die B 8 verläuft in West-Ost-Richtung im südlichen Bereich von Helmenzen und verbindet Birnbach im Westen mit Altenkirchen unmittelbar östlich von Helmenzen. Die Straße Zum Galgenberg ist – zusammen mit dem ebenfalls untersuchten Bornenweg – eine der beiden Haupterschließungen der Wohngebiete von Helmenzen.

Etwa 170 m östlich liegt der ebenfalls untersuchte Knotenpunkt Bornenweg. Westlich des Knotenpunkts endet die Ortsdurchfahrt von Helmenzen, erst etwa 800 m weiter westlich liegt der nächste Knotenpunkt in der Ortsdurchfahrt von Birnbach.

Der Knotenpunkt liegt innerhalb bebauter Gebiete, es sind jedoch 70 km/h zulässig. Der Knotenpunkt verfügt über einen Linksabbiegestreifen mit einer Länge von ca. 50 m, der iLES ist 40 m lang. Er wird begrenzt durch eine bauliche Insel, die auch eine Überquerungsmöglichkeit für Fußgänger und Radfahrer bietet. In der untergeordneten Zufahrt ist nur ein Fahrstreifen vorhanden, der im unmittelbaren Knotenpunktbereich leicht aufgeweitet wird. Die un-

tergeordnete Zufahrt verfügt außerdem über einen Tropfen.

5.2.9.1 Verkehrsstärken

Der Knotenpunkt Zum Galgenberg ist ähnlich gering belastet wie der benachbarte Knotenpunkt Bornenweg, er weist einen DTV von 10.750 Kfz/24 h auf. Die Spitzenstunde liegt nachmittags zwischen 16:10 und 17:10 Uhr, der Knotenpunkt ist in dieser Zeit mit 1.104 Kfz/h belastet. Die morgendliche Spitzenstunde weist eine kaum geringere Belastung von 1.059 Kfz/h auf.

Die Verkehrsstärken auf den Geradeausfahrstreifen der Hauptrichtung sind in der Spitzenstunde nahezu gleich mit 490 bzw. 503 Kfz/h. Der Linkseinbiegerstrom ist mit 34 Kfz/h in der Spitzenstunde und einem Maximalwert von 43 Kfz/h, der außerhalb der Spitzenstunde auftritt, gering.

5.2.9.2 Geschwindigkeitsmessungen im Hauptstrom

Die Geschwindigkeitsmessungen der beiden Hauptströme zeigen ein ähnliches Bild wie beim Knotenpunkt Bornenweg. Die mittlere Geschwindigkeit, gemittelt über die beiden 4-Stunden-Zeiträume, beträgt 66 km/h für Strom 2 und 68 km/h für Strom 8. Die V_{85} ist bei beiden Strömen mit 78 km/h bei Strom 2 und 79 km/h bei Strom 8 sehr ähnlich. Anders als bei den meisten anderen untersuchten Knotenpunkten liegen die tatsächlichen Geschwindigkeiten merklich über der zulässigen Geschwindigkeit.

5.2.9.3 Wartezeiten und Rückstaulängen

Die mittlere Wartezeit über die beiden 4-Stunden-Zeiträume beträgt 7 s, die mittlere Wartezeit in der Spitzenstunde 8 s. Die maximale Wartezeit beträgt 84 s. Die maximale Rückstaulänge liegt bei lediglich 24 m, was etwa 4 Fahrzeuglängen entspricht. Die Ergebnisse entsprechend der geringen Belastung des Knotenpunkts.

5.2.9.4 Zeitlücken

Die aus den Videoaufnahmen ermittelte Grenzzeitlücke mit Berücksichtigung von Strom 8 beträgt am Knotenpunkt Zum Galgenberg 5,2 s und ohne Berücksichtigung von Strom 8 8,6 s. Eine Folgezeitlücke ließ sich nicht ermitteln.

5.2.9.5 Fahrstreifenwechselverhalten

Der iLES weist lediglich drei Abschnitte auf, was zum einen auf die Markierung und zum anderen auf die geringe Länge zurückzuführen ist. Lediglich die Abschnitte 4, 5 und 9 kommen vor. Die Abschnitte 1, 2 und 3 existieren an diesem Knotenpunkt nicht, da auf der gesamten Länge des iLES lediglich eine Leitlinie markiert ist. Die Beobachtungen zeigen, dass etwa 60 % der Fahrer in Abschnitt 4 und damit auf den ersten 25 m des iLES den Fahrstreifen wechseln, die übrigen 40 % wechseln im hinteren Bereich des iLES. Da der iLES durch eine bauliche Insel beschränkt wird, kann es nicht zu Überfahrungen im Abschnitt 9 kommen. Da auch kein Abschnitt existiert, in dem kein Fahrstreifenwechsel zulässig ist, können entsprechend auch keine regelwidrigen Fahrstreifenwechsel auftreten.

5.2.9.6 Verkehrsqualität

Ohne einen iLES würde der Knotenpunkt Zum Galgenberg nach dem HBS Qualitätsstufe B erreichen. Ein iLES ist damit aus Gründen der Leistungsfähigkeit nicht erforderlich. Durch den iLES verbessert sich die Verkehrsqualität rechnerisch nach dem HBS ohne Berücksichtigung von Strom 8 auf Stufe A. Die tatsächlichen Wartezeiten in der Spitzenstunde liegen bei 8 s, was ebenfalls Stufe A entspricht.

5.2.9.7 Fazit Helmenzen (Zum Galgenberg)

Der Knotenpunkt Zum Galgenberg ist fast ebenso gering belastet wie der benachbarte Knotenpunkt Bornenweg. Er gehört damit zu den am geringsten belasteten Knotenpunkten in der Untersuchung. Die Zahl der Linkseinbieger ist ebenfalls sehr gering. Vermutlich aufgrund der geringen Verkehrsstärken liegen die tatsächlichen Geschwindigkeiten merklich über der zulässigen Geschwindigkeit.

5.2.10 Altenkirchen (Rudolf-Diesel-Straße)

Der Knotenpunkt Rudolf-Diesel-Straße wird gebildet aus der Einmündung der Rudolf-Diesel-Straße in die B 8. Die B 8 verläuft in West-Ost-Richtung im südlichen Bereich von Helmenzen und verbindet Birnbach im Westen mit Altenkirchen. Die Rudolf-Diesel-Straße dient der Erschließung eines Gewerbegebiets am westlichen Rand von Altenkirchen, an das sich westlich fast unmittelbar Helmenzen anschließt.

Etwa 260 m westlich liegt eine nicht signalisierte Kreuzung, in der die Rudolf-Diesel-Straße den nördlichen Knotenpunktarm bildet. Etwa 220 m östlich des Knotenpunkts liegt ein nicht signalisierter Knotenpunkt der Nordwestrampe des teilplanfreien Knotenpunkts der B 8 mit der B 256.

Der Knotenpunkt liegt innerhalb bebauter Gebiete, es sind jedoch 70 km/h zulässig. Der Knotenpunkt verfügt über einen Linksabbiegestreifen mit einer Länge von ca. 30 m und offener Einleitung, der iLES ist 32 m lang. Er verfügt am Ende nicht über eine Sperrfläche. In der untergeordneten Zufahrt ist nur ein Fahrstreifen vorhanden, der im unmittelbaren Knotenpunktbereich leicht aufgeweitet wird. Es gibt in der untergeordneten Zufahrt weder einen Tropfen noch eine Mitteltrennung durch eine Markierung. Es gibt in keinem der drei Knotenpunktarme Anlagen für Fußgänger und Radfahrer und entsprechend auch keine Überquerungsmöglichkeiten.

5.2.10.1 Verkehrsstärken

Der Knotenpunkt weist einen DTV nach ARNOLD von 12.779 Kfz/24 h auf, er ist damit einer der am geringsten belasteten Knotenpunkte in der Untersuchung. Die Spitzenstunde liegt nachmittags zwischen 16:10 und 17:10 Uhr. Die Belastung liegt in der Spitzenstunde nachmittags bei 1.274 Kfz/h, in der Spitzenstunde morgens ist sie mit 1.182 Kfz/h etwas geringer.

Die Verkehrsstärken auf den Geradeausfahrstreifen in der Hauptrichtung liegen bei 531 Kfz/h Richtung Westen (Strom 2) und 626 Kfz/h Richtung Osten (Strom 8). In der Spitzenstunde nutzen 63 Linkseinbieger den Knotenpunkt, das Maximum liegt außerhalb der Spitzenstunde und beträgt 73 Kfz/h.

5.2.10.2 Geschwindigkeitsmessungen im Hauptstrom

Die über die beiden 4-Stunden-Zeiträume gemittelten Geschwindigkeiten liegen bei 65 km/h für Strom 2 und bei 58 km/h bei Strom 8. Die V_{85} beträgt 77 km/h für Strom 2 und 68 km/h für Strom 8. Die Geschwindigkeiten auf Strom 2, also von Altenkirchen wegführend, sind damit deutlich höher als auf Strom 8. Die zulässige Geschwindigkeit wird damit in Richtung Osten größtenteils eingehalten, in Richtung Westen jedoch merklich überschritten.

5.2.10.3 Wartezeiten und Rückstaulängen

Die mittlere Wartezeit über die beiden 4-Stunden-Zeiträume liegt für Strom 4 bei 10 s und in der Spitzenstunde bei 12 s. Die maximale Wartezeit beträgt 78 s. Die maximale Rückstaulänge ist mit 22,5 m, was etwa 4 Fahrzeuglängen entspricht, gering.

5.2.10.4 Zeitlücken

Die aus den Videoaufnahmen ermittelte Grenzzeitlücke mit Berücksichtigung von Strom 8 beträgt am Knotenpunkt Rudolf-Diesel-Straße 4,9 s und ohne Berücksichtigung von Strom 8 7,8 s. Eine Folgezeitlücke ließ sich nicht ermitteln.

5.2.10.5 Fahrstreifenwechselverhalten

Der iLES weist lediglich drei Abschnitte auf, was zum einen auf die Markierung und zum anderen auf die geringe Länge zurückzuführen ist. Lediglich die Abschnitte 4, 5 und 9 kommen vor, wobei der Abschnitt 5 lediglich 5 m lang ist. Die Abschnitte 1, 2 und 3 existieren an diesem Knotenpunkt nicht, da auf der gesamten Länge des iLES lediglich eine Leitlinie markiert ist. Die Beobachtungen zeigen, dass mehr als zwei Drittel der Fahrer in Abschnitt 4 und damit auf den ersten 25 m des iLES den Fahrstreifen wechseln, das übrige Drittel wechselt im hinteren Bereich des iLES auf den letzten 5 m. Überfahrten des Endes des iLES (Abschnitt 9) kommen nicht vor. Da auch kein Abschnitt existiert, in dem kein Fahrstreifenwechsel zulässig ist, können entsprechend auch keine regelwidrigen Fahrstreifenwechsel auftreten.

5.2.10.6 Verkehrsqualität

Ohne einen iLES würde die Verkehrsqualität in der Spitzenstunde nach dem HBS Qualitätsstufe C be-

tragen. Berücksichtigt man den Strom 8 nicht, so verbessert sich die Verkehrsqualität auf Stufe A. Die tatsächlichen Wartezeiten liegen in der Spitzenstunde bei 12 Sekunden und sind entsprechend mit Stufe B zu bewerten. Eine Notwendigkeit für einen iLES ist aus Leistungsfähigkeitsgründen nicht zu sehen. Der iLES verbessert lediglich die Verkehrsqualität um eine weitere Stufe.

5.2.10.7 Fazit Altenkirchen (Rudolf-Diesel-Straße)

Der Knotenpunkt gehört zu den am geringsten belasteten Knotenpunkten und weist auch keine besonders hohen Linkseinbiegerverkehrsstärken auf. Trotz seiner geringen Länge bewirkt er eine Verbesserung des Verkehrsablaufs um eine Qualitätsstufe. Die Geschwindigkeiten liegen zumindest Richtung stadtauswärts merklich über der zulässigen Geschwindigkeit. Trotz der geringen Länge des iLES wechselt ein Großteil der Fahrer bereits auf den ersten 25 m, Überfahrten des Endes des iLES kommen nicht vor. Dies deutet darauf hin, dass eine Länge von 30 m selbst bei vergleichsweise hohen Geschwindigkeiten von knapp 70 km/h eine Verbesserung der Verkehrsqualität bewirken kann.

5.3 Überblick über die Ergebnisse der empirischen Untersuchungen der 10 Knotenpunkte

Um einen schnellen Überblick über die umfangreichen Untersuchungsergebnisse des Forschungsvorhabens zu erhalten, wurde eine Übersicht mit den signifikanten Ergebnissen der empirischen Untersuchungen erstellt. Diese sind in den Tabellen 1 und 2 dargestellt.

Innerhalb bebauter Gebiete					
	Masteweg	Leckingser Straße	Mecklar	Düsseldorf	Sinsheim
Messdatum	19.05.2010	19.05.2010	23.06.2010	01.07.2010	21.07.2010
Wochentag	Mittwoch	Mittwoch	Mittwoch	Donnerstag	Mittwoch
v_{zul} [km/h]	60	60	50	50	50
Länge des iLES [m]	31	43	91	25	80
DTV (nach ARNOLD) [Kfz]	21.203	19.750	14.849	15.875	16.857
DTV (nach HBS) [Kfz]	20.886	19.419	15.518	17.084	18.258
Spitzenstunde	16:10-17:10	16:15-17:15	16:25-17:25	07:40-08:40	16:10-17:10

Tab. 1: Zusammenstellung der Daten der 5 untersuchten Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete

Innerhalb bebauter Gebiete					
	Masteweg	Leckingser Straße	Mecklar	Düsseldorf	Sinsheim
Fz in der Spitzenstunde/LE in der Spitzenstunde	68	55	26	18	124
Strom 2/8 in der Spitzenstunde	959/849	719/633	537/722	1.225/418	650/557
maximale Verkehrsstärke LE/h	68	64	36	30	142
LE in acht Stunden	281	359	215	150	749
v_m Strom 2/8 [km/h]	53/50	51/51	50/53	49/43	51/58
v_{85} Strom 2/8 [km/h]	60/59	61/61	57/64	57/50	59/70
maximale Rückstaulänge [m]	46	47	28,5	28	77
mittlere Wartezeit [s] in acht Stunden	16	10	8	5	16
mittlere Wartezeit [s] in der Spitzenstunde	29	17	10	8	28
maximale Wartezeit [s]	257	127	86	140	173
Grenzzeitlücke [s] mit Berücksichtigung v. Strom 8	3,4	3,5	3,9	3,2	3,8
Grenzzeitlücke [s] ohne Berücksichtigung v. Strom 8	6,2	4,2	10,1	3,5	6,3
Folgezeitlücke [s]	-	-	-	-	-
Anteil korrekte Nutzung des iLES	96	59	84	(100)*	97
QSV ohne iLES	F	F	C	C	F
QSV mit iLES	D	D	A	A	D
Wartezeit Strom 4 (HBS) [s]	34	45	10	< 10	32

* keine regelwidrigen Fahrstreifenwechsel möglich

Tab. 1: Fortsetzung

Im Vorfeld bebauter Gebiete					
	Lemgo	Haxterhöhe	Bornenweg	Zum Galgenberg	Rudolf-Diesel-Straße
Messdatum	18.05.2010	10.06.2010	15.06.2010	15.06.2010	16.06.2010
Wochentag	Dienstag	Donnerstag	Dienstag	Dienstag	Mittwoch
v_{zul} [km/h]	70	70	70	70	70
Länge des iLES [m]	180	150	45	40	32
DTV (nach ARNOLD) [Kfz]	25.039	19.015	10.303	10.750	12.779
DTV (nach HBS) [Kfz]	26.009	19.555	10.989	11.462	13.495
Spitzenstunde	06:55-07:55	16:00-17:00	16:05-17:05	16:10-17:10	16:10-17:10
Fz in der Spitzenstunde/LE in der Spitzenstunde	45	418	23	34	63
Strom 2/8 in der Spitzenstunde	1.008/1.214	516/446	514/471	490/503	531/626
maximale Verkehrsstärke LE/h	47	475	29	43	73
LE in acht Stunden	277	2.789	163	207	309
v_m Strom 2/8 [km/h]	57/67	66/60	68/68	66/68	65/58
v_{85} Strom 2/8 [km/h]	65/79	76/70	79/82	78/79	77/68
maximale Rückstaulänge [m]	85	83	13	24	22,5
mittlere Wartezeit [s] in acht Stunden	23	17	8	7	10
mittlere Wartezeit [s] in der Spitzenstunde		31	8	8	12

Tab. 2: Zusammenstellung der Daten der 5 untersuchten Knotenpunkte im Vorfeld bebauter Gebiete

Im Vorfeld bebauter Gebiete					
	Lemgo	Haxterhöhe	Bornenweg	Zum Galgenberg	Rudolf-Diesel-Straße
maximale Wartezeit [s]	211	176	77	84	78
Grenzzeitlücke [s] mit Berücksichtigung v. Strom 8	3,0	4,3	5,2	5,2	4,9
Grenzzeitlücke [s] ohne Berücksichtigung v. Strom 8	4,7	5,8	8,0	9,1	7,8
Folgezeitlücke [s]	-	-	-	-	-
Anteil korrekte Nutzung des iLES	97	88	(100)*	(100)*	100
QSV ohne iLES	F	F	B	B	C
QSV mit iLES	C	F	A	A	A
Wartezeit Strom 4 (HBS) [s]	29	?	< 10	< 10	< 10
* keine regelwidrigen Fahrstreifenwechsel möglich					

Tab. 2: Fortsetzung

6 Unfallanalyse

Bestandteil des Forschungsvorhabens ist eine Unfallanalyse, bei der 50 Knotenpunkte makroskopisch untersucht werden. Für die Knotenpunkte, welche empirisch untersucht werden (vgl. Kapitel 5), wird zusätzlich eine mikroskopische Unfallanalyse durchgeführt.

Zunächst wird die makroskopische Unfallanalyse beschrieben, in welcher 50 Knotenpunkte betrachtet wurden. Im Anschluss erfolgt die Darstellung der mikroskopischen Unfallanalyse, in der die 10 in Kapitel 5.2 beschriebenen Knotenpunkte analysiert wurden.

6.1 Makroskopische Unfallanalyse von 50 Knotenpunkten mit iLES

Im Rahmen der makroskopischen Unfallanalyse konnten die Unfälle der Jahre 2006 bis 2008 von 50 Knotenpunkten ausgewertet werden. Die 50 Knotenpunkte unterteilen sich in Knotenpunkte innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete. 23 Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete mit 411 Unfällen wurden untersucht und 27 Knotenpunkte im Vorfeld bebauter Gebiete mit 405 Unfällen.

Grundlage für die makroskopische Unfallanalyse bilden hierbei Unfallmeldebögen bzw. Verkehrsunfallanzeigen und tabellarische Zusammenstellungen von den zuständigen Polizeirevieren bzw. Landesbetrieben mit Informationen zu insgesamt 816 Unfällen der Unfallkategorie 1 bis 6.

	2006	2007	2008	Σ
innerorts	127	142	142	411
im Vorfeld b. G.	125	142	138	405
Σ	252	284	280	816

Tab. 3: Überblick über 816 Unfälle (2006-2008)

Eine einheitliche Aufnahme und Dokumentation von Unfällen in ganz Deutschland sind nicht gegeben. Somit unterscheiden sich die Daten je nach Bundesland entsprechend voneinander. Während mit großer Sicherheit davon auszugehen ist, dass für die Unfallkategorien 1 bis 4 alle Daten übermittelt wurden, kann es durchaus sein, dass dies für die Kategorien 5 und 6 nicht gilt. In einigen Fällen wurden die Verkehrsunfallanzeigen direkt von der Polizei geliefert und zusätzlich tabellarische, weniger detaillierte Datensätze von Landesbetrieben. Beim Abgleich dieser vermeintlich gleichen Daten sind Diskrepanzen aufgefallen. In diesen Fällen wurde einheitlich verfahren: Die zumeist umfangreicheren Daten der Landesbetriebe (Datenbanken) wurden zugrunde gelegt und bei Vorhandensein der Verkehrsunfallanzeigen durch die weitreichenderen Informationen angereichert.

Zunächst soll die Gesamtanzahl der Unfälle nach den Unfallkategorien betrachtet werden. Zusätzlich wird zwischen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete unterschieden.

Während es innerhalb bebauter Gebiete in den Jahren 2006 bis 2008 zu 9 Unfällen mit schwerem Personenschaden und zu 58 Unfällen mit Leicht-

	2008	2007	2006	Σ
innerorts				
U(SP)	2	3	4	9
U(LV)	20	19	19	58
U(P)	22	22	23	67
U(SS)	21	10	16	47
U(LS)	99	109	87	295
Alle U	142	141	126	409
(2 Unfälle Unfallkategorie 6)				
	2008	2007	2006	Σ
im Vorfeld				
U(SP)	7	4	7	18
U(LV)	34	42	33	109
U(P)	41	46	40	127
U(SS)	19	12	17	48
U(LS)	77	82	67	226
Alle U	137	140	124	401
(4 Unfälle Unfallkategorie 6)				

Tab. 4: Überblick über 816 Unfälle nach Unfallkategorien

verletzten kam, sind die Unfallzahlen mit Personenschaden im Vorfeld bebauter Gebiete für eine nahezu gleiche Gesamtanzahl an Unfällen etwa doppelt so hoch.

6.1.1 Verunglücktenstruktur

Werden alle verunglückten Personen berücksichtigt, ergibt sich die in Tabelle 5 dargestellte Verunglücktenstruktur.

Innerhalb bebauter Gebiete wurde eine Person getötet, es gab 8 schwerverletzte Personen und 68 leichtverletzte Personen. Im Vorfeld bebauter Gebiete gab es etwa doppelt so viele Schwerverletzte und fast zweieinhalbmal so viele Leichtverletzte, aber keine getötete Person.

6.1.2 Unfallkenngrößen

Für die Ermittlung einiger Unfallkenngrößen ist die Angabe der Verkehrsstärke (DTV) notwendig. Für die makroskopisch untersuchten Knotenpunkte wurde jeweils der DTV ermittelt. Auch musste auf eine unterschiedliche Datenbasis zurückgegriffen werden. Bestenfalls waren von allen drei Knotenpunktarnten Querschnittswerte vorhanden (dabei im günstigsten Fall nahe am Knotenpunkt), die je-

	2008	2007	2006	Σ
innerorts				
Getötete	0	0	1	1
Schwerverletzte	2	3	3	8
Leichtverletzte	22	23	23	68
Unfälle gesamt	142	142	127	411
im Vorfeld				
Getötete	0	0	0	0
Schwerverletzte	8	4	7	19
Leichtverletzte	54	66	56	176
Unfälle gesamt	138	142	125	405

Tab. 5: Verunglücktenstruktur: innerorts, im Vorfeld

weils halbiert und aufsummiert den Knotenpunkt-DTV ergeben. Andernfalls konnten Knotenstrombelastungspläne von Kurzzeitmessungen zur Verfügung gestellt werden, die nach dem HBS hochgerechnet wurden.

Sofern die Daten unvollständig waren, mussten Nacherhebungen in Form von Kurzzeitmessungen vorgenommen werden. Da das neue Verfahren von ARNOLD [1] bei diesen Hochrechnungen Anwendung fand, wurde jeweils von 15 bis 19 Uhr gemessen.

Für die weitere Untersuchung wurden die Knotenpunkte verschiedenen Klassen zugeteilt. Dabei wurden insgesamt drei Klassen gebildet.

Die erste Klasse beinhaltet Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete mit einer zulässigen Geschwindigkeit von 50 oder 60 km/h. Die Zusammenfassung der Geschwindigkeiten begründet sich vor allem dadurch, dass nur eine geringe Gesamtanzahl an Knotenpunkten untersucht wird und die Differenzierung in weitere Klassen nur sehr kleine Klassenbesetzungen zur Folge hätte, die nicht aussagekräftig wären.

Die zweite Klasse fasst die Knotenpunkte im Vorfeld bebauter Gebiete mit einer zulässigen Geschwindigkeit von 50 und 60 km/h zusammen.

Die dritte Klasse fasst die Knotenpunkte im Vorfeld bebauter Gebiete mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 und 80 km/h zusammen. Zudem werden in die dritte Klasse auch noch drei Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete mit einer zulässigen Geschwindigkeit von 70 km/h eingegliedert.

Klasse 1	innerorts 50 und 60 km/h	20 Knotenpunkte
Klasse 2	im Vorfeld beb. Geb. 50 und 60 km/h	9 Knotenpunkte
Klasse 3	im Vorfeld beb. Geb. 70 und 80 km/h und innerorts 70 km/h	21 Knotenpunkte

Tab. 6: Anzahl Knotenpunkte je Klasse und Klassendefinition

Der ersten Klasse werden somit 20 Knotenpunkte zugeordnet, die zweite Klasse enthält 9 Knotenpunkte und der dritten Klasse werden 21 Knotenpunkte zugeordnet. Dabei ist zu bemerken, dass überwiegend Knotenpunkte mit zulässiger Geschwindigkeit von 50 oder 70 km/h auftreten und nur vereinzelt Knotenpunkte mit einer zulässigen Geschwindigkeit von 60 oder 80 km/h.

Wenn nun die Unfälle je Klasse hinzugezogen werden, ergeben sich 377 Unfälle in Klasse 1, 188 Unfälle in Klasse 2 und 251 Unfälle in Klasse 3. Im Verhältnis zu den Knotenpunkten je Klasse ergeben sich im Durchschnitt je 19 Unfälle pro Knotenpunkt in Klasse 1, je 21 Unfälle pro Knotenpunkt in Klasse 2 und je 12 Unfälle pro Knotenpunkt in Klasse 3. Daraus lässt sich zunächst schließen, dass an Knotenpunkten im Vorfeld bebauter Gebiete mit zulässiger Geschwindigkeit von 50 oder 60 Stundenkilometern eine höhere Unfallanzahl gegeben ist. Bei der Klasse 2 handelt es sich vermutlich um unfallauffällige Knotenpunkte, die genau aus diesem Grund trotz der Lage außerhalb bebauter Gebiete mit auf 50 oder 60 km/h beschränkt wurden.

Selbige Betrachtung kann für die Unfälle mit Personenschaden vorgenommen werden. Es ergeben sich für die Klasse 1 8 Unfälle mit schwerem Personenschaden und 48 Unfälle mit Leichtverletzten. Für Klasse 2 ergeben sich 9 Unfälle mit schwerem Personenschaden und 46 Unfälle mit Leichtverletzten. Und für Klasse 3 ergeben sich 9 Unfälle mit schwerem Personenschaden und 74 mit Unfällen mit Leichtverletzten. Daraus ergeben sich durchschnittlich etwa 0,5 Unfälle mit Schwerverletzten und 2,5 Unfälle mit Leichtverletzten je Knotenpunkt in Klasse 1. In Klasse 2 sind es durchschnittlich 1 Unfall mit Schwerverletzten und 5 Unfälle mit Leichtverletzten je Knotenpunkt und in Klasse 3 durchschnittlich 0,5 Unfälle mit Schwerverletzten und 3,5 Unfälle mit Leichtverletzten je Knotenpunkt. Werden die drei Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete in Klasse 3 nicht mitberücksichtigt, dann ändert sich nichts an den Durchschnittswerten, d. h., auch hier können sie bedenkenlos in der Klasse verbleiben.

		2008	2007	2006	S
Klasse 1	U(SP)	2	3	3	8
	U(LV)	17	16	15	48
Klasse 2	U(SP)	4	2	3	9
	U(LV)	15	19	12	46
Klasse 3	U(SP)	3	1	5	9
	U(LV)	22	27	25	74

Tab. 7: Verteilung der Unfälle mit Personenschaden nach den in Tabelle 6 definierten Klassen

Angesichts der oben beschriebenen Datenlage erschien es sinnvoll, entsprechend eine makroskopische Unfallanalyse unter der Berücksichtigung der Unfallkategorien 1 bis 4 einerseits und der Unfallkategorien 1 bis 6 andererseits durchzuführen. Auch die Zuordnung der drei innerhalb bebauter Gebiete gelegenen Knotenpunkte zur Klasse 3 wurde im Hinblick auf die Gesamtunfallzahlen geprüft. Dazu wurde die makroskopische Unfallanalyse zunächst für alle 50 Knotenpunkte in drei Klassen und dann für nur 47 Knotenpunkte mit drei Klassen durchgeführt. Änderungen konnten sich selbstverständlich nur in Klasse 3 vollziehen, aber diese waren nicht signifikant und so verbleiben weiterhin 50 Knotenpunkte in der Untersuchung, die entsprechend der obigen Beschreibung in drei Klassen eingeordnet sind.

Die Ermittlung der Unfallkosten erfolgt für Unfälle mit Personenschaden nach den Unfalltypen und für Sachschadensunfälle nach den Unfallkategorien. Die Kostensätze sind dem Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1 [8], Tabellen 13 und 17 entnommen.

Zunächst werden die Ergebnisse der Analyse unter Einbeziehung aller Unfälle dargestellt. Es erfolgten die Berechnung der Unfallkosten je Unfall und die Ermittlung der vier Unfallkennziffern Unfalldichte, Unfallrate, Unfallkostendichte und Unfallkostenrate je Knotenpunkt. Es ergeben sich somit für jeden Unfall fünf Kennziffern. Diese Kennziffern werden entsprechend den drei zuvor beschriebenen Klassen zugeordnet und zudem werden Medianwerte in einzelnen Klassen gebildet. Für alle Darstellungen (Unfallkosten und die vier Unfallkennziffern) gilt, dass die Medianwerte der Klasse 2 etwa doppelt so hoch sind wie die Medianwerte der Klasse 1 und 3. In diesem Zusammenhang soll daran erinnert werden, dass in der Klasse 2 nur halb so viele Beispiele sind wie in den Klassen 1 und 3.

Medianwerte (n = 50 Knotenpunkte)		2006	2007	2008	2006-2008
Unfallkosten	Klasse 1	36.750	40.000	39.500	122.000
	Klasse 2	121.000	83.000	61.500	426.000
	Klasse 3	54.000	36.000	24.000	208.000
Unfalldichte	Klasse 1	3,0	3,5	5,0	4,0
	Klasse 2	4,0	8,0	7,0	7,0
	Klasse 3	3,0	3,0	3,0	3,7
Unfallrate	Klasse 1	0,39	0,54	0,70	0,52
	Klasse 2	0,51	1,27	1,15	0,93
	Klasse 3	0,39	0,51	0,43	0,48
Unfallkostendichte	Klasse 1	36,75	40,00	39,50	40,67
	Klasse 2	121,00	83,00	61,50	142,17
	Klasse 3	54,00	36,00	24,00	69,33
Unfallkostenrate	Klasse 1	4,55	5,56	5,17,00	5,57
	Klasse 2	14,86	12,60	18,02	18,60
	Klasse 3	6,55	5,13	4,79	8,45

Tab. 8: Medianwerte der makroskopischen Unfallanalyse nach den in Tabelle 6 definierten Klassen für die Unfallkennziffern (unter Einbeziehung aller Unfälle)

Für die Zusammenfassung der Jahre 2006 bis 2008 sollen die sich entsprechend ergebenden Abbildungen diskutiert werden. Die Abbildungen stellen die Unfallkosten und die weiteren vier Unfallkenngrößen, den entsprechenden Klassen zugeordnet, dar (siehe Tabelle 8). Die Unfallkosten liegen zwischen 0 und einer Million Euro. Dabei streuen die Unfallkosten in Klasse 2 am deutlichsten. Die starke Streuung wird bei neun Knotenpunkten in der Klasse auch nicht relativiert. Möglicherweise würden mehrere Beispiele zu einem Ergebnis führen, das sich mehr den Klassen 1 und 3 angleicht. Ein Vergleich der Klassen wäre aus diesem Grund kritisch zu bewerten. Der Medianwert der Klasse 3 liegt leicht über dem Medianwert der Klasse 1.

Bei der Betrachtung der Unfallkostendichten und Unfallkostenraten fällt auf, dass die Median-Werte der Klassen 1 und 3 vergleichbar sind. Der Median-Wert der Klasse 2 fällt im Verhältnis zu den beiden anderen Median-Werten ungünstiger aus. In den Klassen 1 und 3 bilden sich Ausreißer bezüglich der Raten und Dichten.

Für die Unfallkostendichte und die Unfallkostenrate gilt für die Median-Werte in etwa Selbiges wie für die Unfallkosten.

Abschließend bleibt zu bemerken, dass die Unfallkosten und weiteren Kennziffern für die Knoten-

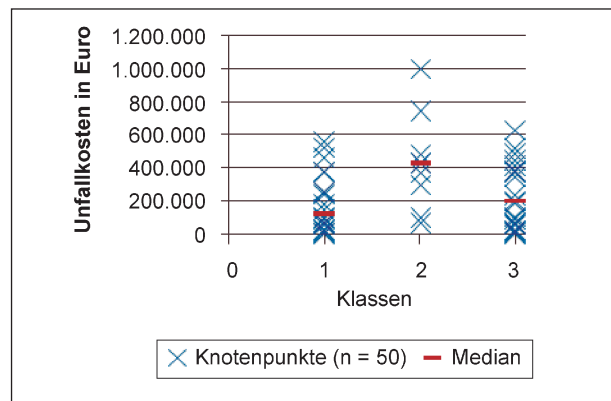


Bild 20: Unfallkosten je Knotenpunkt (2006 bis 2008) nach den in Tabelle 6 definierten Klassen

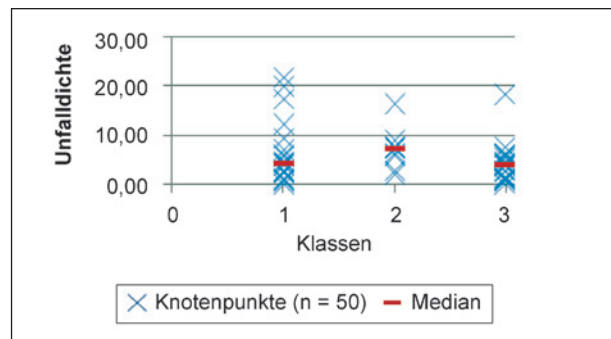


Bild 21: Unfalldichten je Knotenpunkt (2006 bis 2008) nach den in Tabelle 6 definierten Klassen

punkte in Klasse 3 (drei Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete, die übrigen nicht innerhalb bebauter Gebiete) etwas höher liegen als für die Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete in Klasse 1. Klasse 2 ist möglicherweise nicht repräsentativ genug, da nur neun Knotenpunkte betrachtet werden. Einer der Knotenpunkte in Klasse 2 ist ein Unfallhäufungspunkt (48 Unfälle in drei Jahren).

Wird dieselbe Betrachtung nun lediglich für die Kategorien 1 bis 4 vorgenommen, reduziert sich zunächst die Unfallanzahl deutlich auf 288 Unfälle. Somit ergeben sich andere Medianwerte.

Die Ergebnisse fallen ähnlich aus wie die oben beschriebenen Ergebnisse für das gesamte Kollektiv der Unfälle. Deshalb wird auch darauf verzichtet, dies entsprechend den dargestellten Grafiken zu den Unfallkennziffern nochmals für die reduzierte Unfallzahl darzustellen.

Vergleicht man die Mediane der Unfallraten der drei Klassen (vgl. Bild 22) mit der durchschnittlichen Unfallrate für vorfahrtgeregelte Einmündungen ohne iLES, so liegen alle drei Klassen mit Werten bis zu 0,42 unter dem Durchschnitt von 0,91. Ähnliches

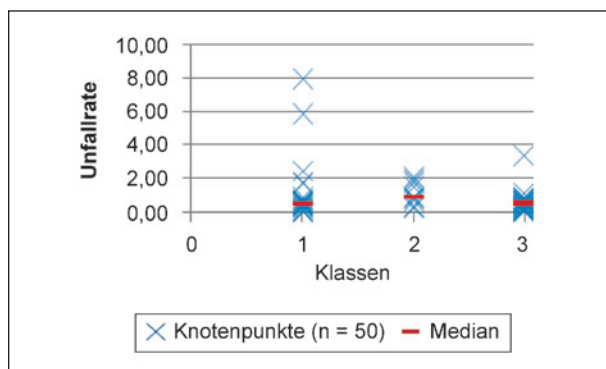


Bild 22: Unfallraten je Knotenpunkt (2006 bis 2008) nach den in Tabelle 6 definierten Klassen

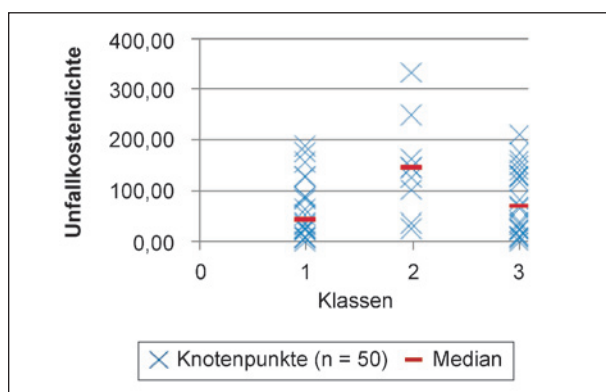


Bild 23: Unfallkostendichten je Knotenpunkt (2006 bis 2008) nach den in Tabelle 6 definierten Klassen

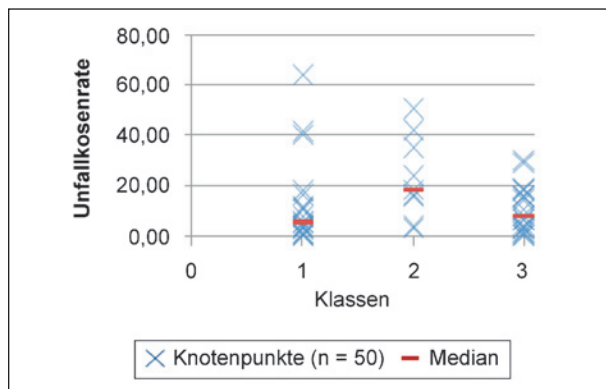


Bild 24: Unfallkostenraten je Knotenpunkt (2006 bis 2008) nach den in Tabelle 6 definierten Klassen

gilt für die Unfallkostenrate. Hier liegen die Werte der drei Klassen mit iLES bei bis zu 16,08, der Durchschnittswert liegt bei 27.

Neben der reinen Betrachtung der Unfallkenngrößen können auch weitere Eigenschaften von Unfällen genau beschrieben werden. Dazu zählen eine reine Betrachtung der Unfalltypen (einstellig und/oder dreistellig), eine Betrachtung der Unfallarten oder der Unfallursachen, eine Einbeziehung des Straßenzustandes oder der Lichtverhält-

Medianwerte (n = 50 Knotenpunkte)		2006	2007	2008	2006-2008
Unfallkosten	Klasse 1	18.500	12.750	12.250	56.250
	Klasse 2	73.000	53.000	39.000	350.500
	Klasse 3	36.000	13.000	13.000	192.000
Unfalldichte	Klasse 1	1,0	1,0	1,0	1,2
	Klasse 2	2,0	3,0	3,0	7,0
	Klasse 3	1,0	1,0	1,0	3,7
Unfallrate	Klasse 1	0,18	0,15	0,18	0,16
	Klasse 2	0,41	0,51	0,59	0,42
	Klasse 3	0,19	0,19	0,10	0,16
Unfallkostendichte	Klasse 1	18,5	12,75	12,25	18,75
	Klasse 2	73,00	53,00	39,00	116,83
	Klasse 3	36,00	13,00	13,00	64,00
Unfallkostenrate	Klasse 1	2,68	2,17	2,19	2,83
	Klasse 2	9,86	9,61	9,23	16,08
	Klasse 3	4,34	2,79	1,27	6,94

Tab. 9: Medianwerte der makroskopischen Unfallanalyse nach den in Tabelle 6 definierten Klassen für die Unfallkennziffern (unter Einbeziehung der Unfälle der Unfallkategorie 1 bis 4)

nisse und eine Beschreibung der in die Unfälle Verwickelten.

6.1.2.1 Unfalltypen (einstellig)

Es wird zwischen sieben Unfalltypen unterschieden. Werden die gesamten 816 Unfälle betrachtet, ergeben sich insbesondere bei der Trennung der Knotenpunkte nach der Lage unterschiedliche prozentuale Verteilungen (bei einem Unfall lag keine Angabe zum Unfalltyp vor, dieser Unfall wurde hier ignoriert) (siehe Bild 25).

Insgesamt treten an den untersuchten Knotenpunkten Einbiegen/Kreuzen-Unfälle und Unfälle im Längsverkehr etwa gleich häufig auf, sie machen jeweils etwa ein Drittel der Unfälle aus. Etwa ein Fünftel der Unfälle sind Abbiegen-Unfälle, die übrigen Unfalltypen spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Innerhalb bebauter Gebiete sind die meisten Unfälle im Längsverkehr zu verzeichnen (38,7 %), gefolgt von Unfällen beim Einbiegen/Kreuzen (37,0 %). Nur etwa halb so häufig treten Abbiegen-Unfälle auf (14,6 %). Die übrigen Unfalltypen spielen keine oder kaum eine Rolle. Im Vorfeld bebauter Gebiete sind dagegen die meisten Unfälle Ein-

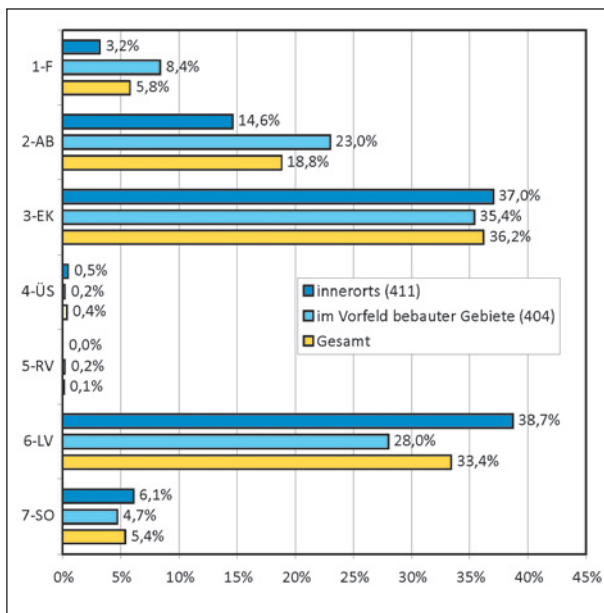


Bild 25: Überblick über die einstelligen Unfalltypen der Kategorien 1 bis 6 (815 Unfälle, ein Unfall ohne Angabe des Unfalltyps)

biegen/Kreuzen-Unfälle (35,4 %), gefolgt von Unfällen im Längsverkehr (28,0 %). Abbiegen-Unfälle treten mit 23,0 % etwas häufiger auf als innerhalb bebauter Gebiete. Die übrigen Unfalltypen spielen auch hier nur eine untergeordnete oder keine Rolle.

Der wesentliche Unterschied beim Vergleich der Knotenpunkte innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete liegt im Anteil der Abbiegen-Unfälle. Sie spielen im Vorfeld bebauter Gebiete eine wesentlich größere Rolle. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Geschwindigkeit der entgegenkommenden Fahrzeuge durch die abbiegenden Fahrer falsch eingeschätzt wird.

Werden ausschließlich Unfälle der Kategorien 1 bis 4 betrachtet, ergibt sich ein anderes Bild. Für alle Knotenpunkte gilt, dass der größte Anteil der Unfälle Einbiegen/Kreuzen-Unfälle sind (44,6 %), gefolgt von Abbiegen-Unfällen mit 28,0 %. Unfälle im Längsverkehr spielen eine deutlich geringere Rolle und haben nur einen Anteil von 15,6 %. Demnach weisen Einbiegen/Kreuzen-Unfälle und Abbiegen-Unfälle eine größere Unfallschwere auf als Unfälle im Längsverkehr.

Der Vergleich der Anteile nach der Lage innerhalb oder im Vorfeld bebauter Gebiete zeigt, dass der Anteil an Unfällen im Längsverkehr und an Einbiegen/Kreuzen-Unfällen innerhalb bebauter Gebiete größer ist als im Vorfeld bebauter Gebiete und der Anteil der Abbiege-Unfälle entsprechend kleiner.

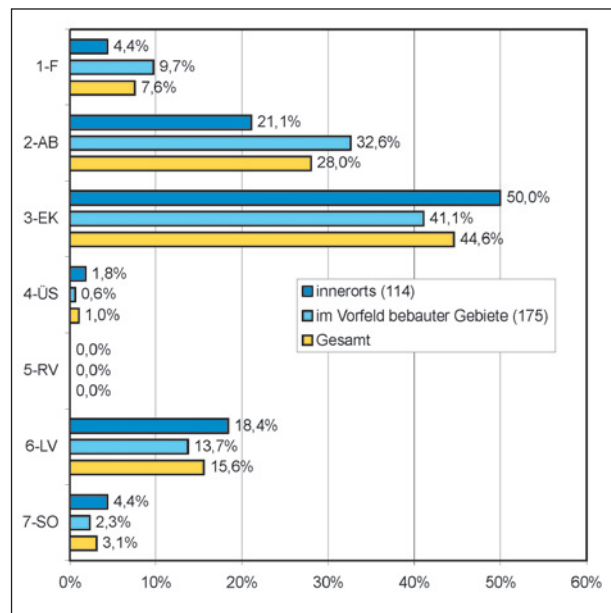


Bild 26: Überblick über die einstelligen Unfalltypen der Kategorien 1 bis 4 (289 Unfälle)

Auch hier ist offenbar das Einschätzen der Geschwindigkeit entgegenkommender Fahrzeuge im Vorfeld bebauter Gebiete ein größeres Problem.

6.1.2.2 Unfalltypen (dreistellig)

Bei 512 Unfällen ist der Unfalltyp dreistellig angegeben, damit lassen sich weitere Hinweise zu den Unfallhergängen entnehmen.

Bei den Fahrnfällen (Typ 1) sind 31 Unfälle mit dreistelligen Unfalltypen versehen. Etwa ein Drittel der Unfälle (12 Unfälle) macht der Typ 141 aus. Dabei handelt es sich um Unfälle beim Geradeausfahren. 6 Unfälle sind dem Typ 121 zuzuordnen, dies sind Unfälle beim Linksab- oder -einbiegen.

Bei den Abbiegeunfällen (Typ 2) sind bei 102 Unfällen dreistellige Unfalltypen angegeben. Mehr als die Hälfte der Unfälle (59 Unfälle) sind dem Typ 211 zuzuweisen, dabei handelt es sich um Unfälle, bei denen ein Linksabbieger mit einem entgegenkommenden Geradeausfahrer kollidiert. Drei Viertel dieser Unfälle (44 Unfälle) fanden im Vorfeld bebauter Gebiete statt, lediglich 15 Unfälle dieses Typs passierten innerhalb bebauter Gebiete. Der zweithäufigste Typ bei den Abbiegeunfällen ist Typ 231 mit 19 Unfällen von 102 (ca. 20 %). Dabei kollidiert ein nachfolgendes Fahrzeug mit einem vorausfahrenden, rechtsabbiegenden Fahrzeug. Diese Unfälle kamen etwa gleich häufig innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete vor.

Beim Unfalltyp 3 (Einbiegen/Kreuzen-Unfälle) lassen sich 162 Unfälle nach dreistelligen Unfalltypen unterscheiden. Fast gleich häufig mit 53 bzw. 50 Unfällen (jeweils ca. 33 %) fanden Unfälle der Typen 302 und 322 statt. Bei Typ 302 handelt es sich um Unfälle, bei denen ein wartepflichtiger Linkseinbieger mit einem von links kommenden, geradeaus fahrenden Fahrzeug kollidiert. Die Hälfte dieser Unfälle fand im Vorfeld bebauter Gebiete statt, die andere Hälfte innerhalb bebauter Gebiete. Bei Typ 322 handelt es sich um Unfälle, bei denen ein wartepflichtiger Linkseinbieger mit einem von rechts kommenden, geradeaus fahrenden Fahrzeug kollidiert. Auch diese Unfälle fanden zur Hälfte im Vorfeld bebauter Gebiete statt und zur Hälfte innerhalb bebauter Gebiete. Mit 23 Unfällen (14 %) spielen auch Unfälle des Typs 303 eine Rolle. Dabei handelt es sich um Unfälle, bei denen ein rechtseinbiegendes wartepflichtiges Fahrzeug mit einem von links kommenden, geradeaus fahrenden Fahrzeug kollidiert. Diese Unfälle fanden zu zwei Dritteln innerhalb bebauter Gebiete statt.

Die Unfalltypen 4 und 5 sind nicht weiter nach dreistelligen Unfalltypen differenziert.

Der Unfalltyp 6 (Unfall im Längsverkehr) ist bei 185 Unfällen nach dreistelligen Unfalltypen differenziert. Der Typ 601 macht mit 63 Unfällen etwa ein Drittel der Unfälle aus. Dabei handelt es sich um Unfälle, bei denen ein geradeaus fahrendes Fahrzeug auf ein vorausfahrendes Fahrzeug auffährt. Diese Unfälle passierten zu etwa 60 % im Vorfeld bebauter Gebiete und zu etwa 40 % innerhalb bebauter Gebiete. Mit 52 Unfällen (28 %) zweithäufigster Unfalltyp war Typ 621. Dabei handelt es sich um Unfälle, bei denen ein Fahrzeug auf ein vorausfahrendes, wartepflichtiges Fahrzeug auffährt. Diese Unfälle passierten zu vier Fünfteln innerhalb bebauter Gebiete und nur zu einem Fünftel im Vorfeld bebauter Gebiete.

Beim Typ 7 (Sonstiger Unfall) sind 30 Unfälle nach dreistelligen Unfalltypen differenziert. Mit jeweils 6 Unfällen am häufigsten kommen die Typen 711 und 721 vor, dabei handelt es sich um Unfälle beim rückwärts fahren und wenden.

6.1.2.3 Unfallarten

Die Verteilung der Unfälle auf die 10 Unfallarten ist in Bild 27 dargestellt.

Den größten Anteil haben die Unfälle der Unfallart 5 (ca. 45 %). Dabei handelt es sich um Unfälle, bei

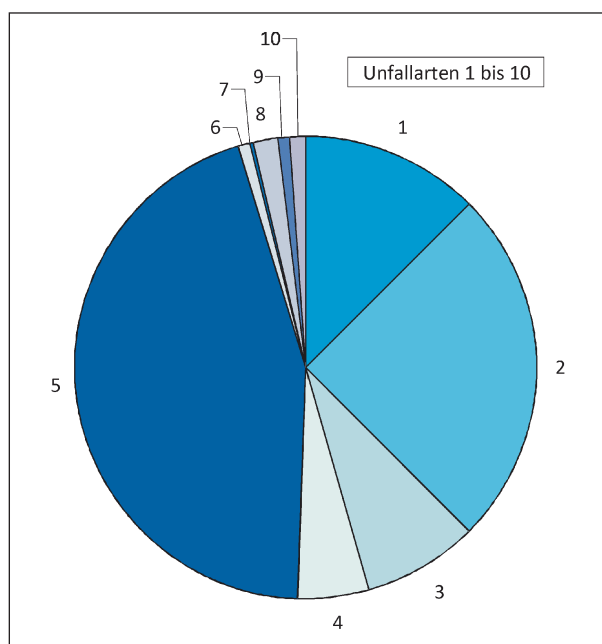


Bild 27: Verteilung der Unfallarten

denen ein Fahrzeug mit einem anderen Fahrzeug zusammenstößt, das abbiegt, einbiegt oder kreuzt. Mit 25 % Anteil macht die Unfallart 2 den zweitgrößten Anteil aus. Dabei handelt es sich um Unfälle, bei denen ein Fahrzeug mit einem anderen Fahrzeug kollidiert, das vorausfährt oder wartet (im Sinne von Warten und nicht von Halten entsprechend der Definition in § 12 StVO). Unfallart 1 hat einen Anteil von 13 %. Dabei handelt es sich um Unfälle, bei denen ein Fahrzeug mit einem anderen Fahrzeug zusammenstößt, das anhält bzw. anfährt (im Sinne von Halten nach § 12 StVO, gewollte Fahrtunterbrechung, die nicht durch die Verkehrslage oder eine Anordnung veranlasst ist). Da in Knotenpunktbereichen in der Regel kein Halten im Sinne einer Fahrtunterbrechung zulässig ist, ist zu vermuten, dass diese Unfälle fälschlicherweise der Unfallart 1 zugeordnet wurden und eher Unfallart 2 zuzuordnen wären.

Die übrigen Unfallarten spielen mit 8 % oder weniger eine nur untergeordnete Rolle.

Die Verteilung der Unfallarten zeigt damit ein ähnliches Bild wie die Verteilung der Unfalltypen: die meisten Unfälle passieren beim Abbiegen/Einbiegen oder in Form von Auffahrunfällen im Längsverkehr.

Die Unterscheidung nach der Lage innerhalb oder im Vorfeld bebauter Gebiete zeigt keine wesentlichen Unterschiede bei der Verteilung auf die Unfallarten.

Unfallarten-Verteilungen für Einmündungen ohne iLES liegen nicht vor. Ein direkter Vergleich von Einmündungen mit und ohne iLES ist damit nicht möglich. Die Ergebnisse für Knotenpunkte mit iLES entsprechen jedoch den Erwartungen, Auffälligkeiten können aus den Ergebnissen nicht abgeleitet werden.

6.1.2.4 Unfallursachen

Insgesamt sind für 815 Unfälle Unfallursachen angegeben. Die häufigste Unfallursache mit 272 Unfällen (33 %) ist die Unfallursache Nr. 28. Dabei handelt es sich um Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen. Mit 210 Unfällen ähnlich häufig kommt die Ursache Nr. 14 vor, dies sind Unfälle mit ungenügendem Sicherheitsabstand. An dritter Stelle mit 105 Unfällen (13 %) folgt Ursache Nr. 35, dies sind Fehler beim Abbiegen. Alle anderen Ursachen kommen bei weniger als 5 % der Unfälle vor und werden hier nicht weiter betrachtet.

Die Auswertung der Unfallursachen zeichnet ein ähnliches Bild wie die Auswertung der Unfalltypen und Unfallarten: am häufigsten sind Unfälle, bei denen die Vorfahrt missachtet wird und Auffahrunfälle.

Auch hier liegen keine Verteilungen für Einmündungen ohne iLES vor. Ein direkter Vergleich von Einmündungen mit und ohne iLES ist damit entsprechend nicht möglich. Auffälligkeiten von Knotenpunkten mit iLES können aus den Ergebnissen nicht abgeleitet werden.

6.1.2.5 Straßenzustand

Die Betrachtung des Straßenzustands zeigt, dass innerhalb bebauter Gebiete mehr als vier Fünftel der Unfälle bei trockener Fahrbahn stattfinden, der Rest bei nasser Fahrbahn. Unfälle bei Winterglätte kamen bei den untersuchten Knotenpunkten nicht vor.

Im Vorfeld bebauter Gebiete ist der Anteil der Unfälle auf nasser Fahrbahn größer, er beträgt etwa ein Drittel. Entsprechend ist der Anteil der Unfälle auf trockener Fahrbahn geringer. Unfälle bei Winterglätte kamen auch bei diesen Knotenpunkten nicht vor.

Eine Verteilung des Straßenzustands bei Unfällen mit Personenschäden lässt sich der Unfallstatistik des Statistischen Bundesamtes entnehmen. Im Jahr 2009 geschahen demnach 70 % aller Unfälle in Deutschland auf trockener Fahrbahn, 28 % auf

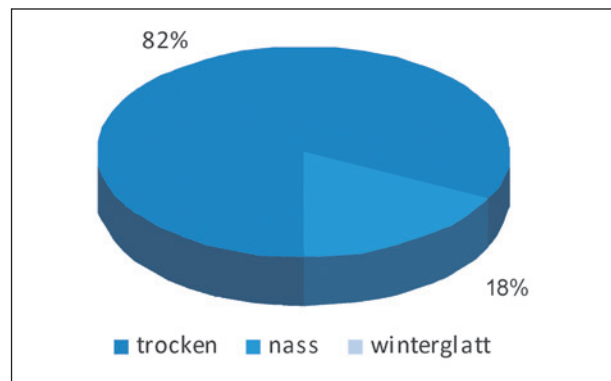


Bild 28: Straßenzustand bei Unfällen innerhalb bebauter Gebiete

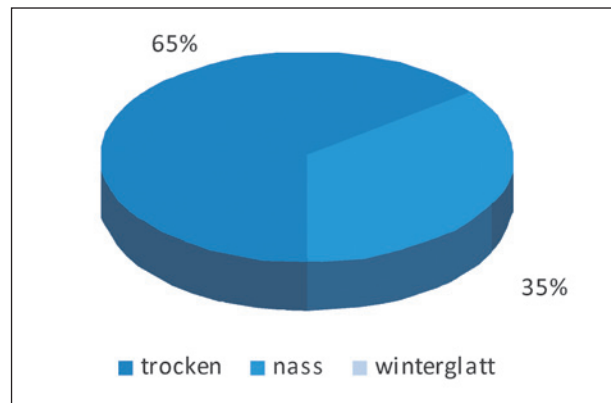


Bild 29: Straßenzustand bei Unfällen im Vorfeld bebauter Gebiete

nasser Fahrbahn und 2 % bei Winterglätte. Vergleicht man die Verteilung des Straßenzustands bei den Unfällen an Einmündungen mit iLES, so stellt sich diese als unauffällig dar.

6.1.2.6 Lichtverhältnisse

Die Betrachtung der Lichtverhältnisse, die bei den Unfällen vorgeherrscht haben, zeigt, dass sowohl innerhalb als auch im Vorfeld bebauter Gebiete etwa zwei Drittel der Unfälle bei Tage stattgefunden haben. Nur ein kleiner Anteil (6 % bzw. 2 %) der Unfälle passierte während der Dämmerung, etwa ein Drittel passierte bei Dunkelheit. Vergleicht man die Lichtverhältnisse zwischen Knotenpunkten innerhalb bebauter Gebiete und im Vorfeld bebauter Gebiete, so zeigt sich, dass innerhalb bebauter Gebiete ein etwas größerer Anteil an Unfällen in der Dämmerung oder im Dunkeln stattfinden.

Eine Verteilung von Unfällen mit Personenschäden enthält eine Untersuchung der Bundesanstalt für Straßenwesen aus dem Jahr 2005 [1]. Nach dieser Untersuchung geschehen Unfälle mit Per-

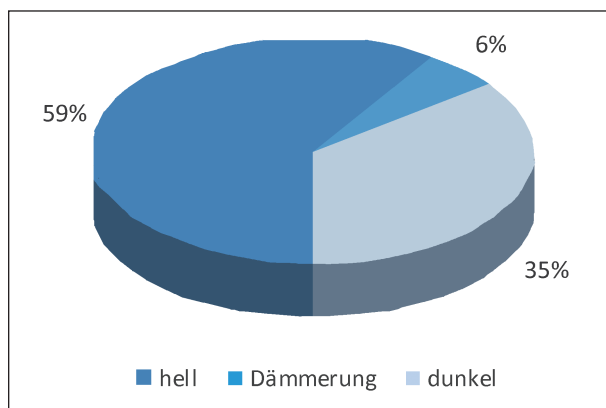


Bild 30: Lichtverhältnisse bei den Unfällen an Knotenpunkten innerhalb bebauter Gebiete

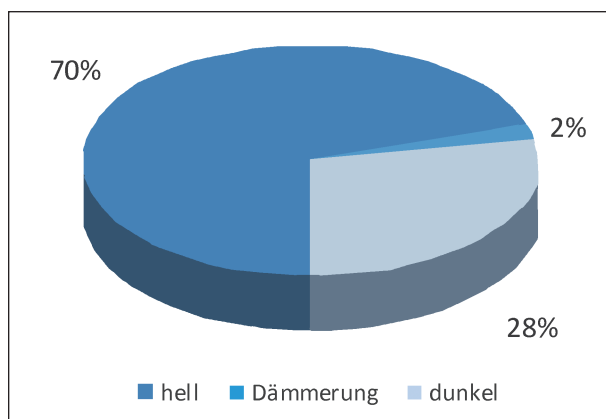


Bild 31: Lichtverhältnisse bei den Unfällen an Knotenpunkten im Vorfeld bebauter Gebiete

sonenschaden zu 27,7 % nachts (Stand 2002, Definition von Dämmerung und Dunkelheit als „nachts“). Unterschieden ist außerdem nach Unfällen innerorts, außerorts ohne BAB und BAB. Innerorts liegt der Anteil der Nachtunfälle bei knapp 60 %, außerorts (ohne BAB) bei knapp über 30 % und auf BAB unter 10 %. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Anteilen an Unfällen in der Dunkelheit mit iLES, so geschehen Nachtunfälle mit iLES innerorts mit 41 % seltener als im Bundesdurchschnitt (ca. 60 %) und Nachtunfälle mit iLES im Vorfeld bebauter Gebiete mit 30 % etwa genauso oft wie im Bundesdurchschnitt (knapp 30 %). Unmittelbar vergleichbar sind die Werte jedoch nicht, da sich die BAST-Untersuchung auf die Unfälle mit Personenschäden beschränkt, während hier alle Unfälle berücksichtigt sind. Eine Arbeitshypothese, dass Knotenpunkte mit iLES wegen der schwierigeren Erfassbarkeit durch die Fahrer bei Dunkelheit (die das Erfassen der Regelung noch schwieriger macht) zu überproportional vielen Unfällen führen könnten, lässt sich mit den Ergebnissen widerlegen.

Art der Verkehrsteilnahme	innerhalb beb. Geb.	im Vorfeld beb. Geb.	Gesamt
Bus	2	3	5
Fußgänger	1	1	2
Krad	5	22	27
Lkw	28	58	86
Moped/Mofa	1	0	1
Pkw	441	679	1.120
Rad	7	3	10
Sonstige	3	5	8
Gesamtergebnis	488	771	1.259

Tab. 10: Art der Verkehrsteilnahme

Insgesamt ist bei 726 Unfällen die Art der Unfallbeteiligung aufgeführt. Die Verteilung auf die Art der Verkehrsbeteiligung zeigt die Tabelle 10.

89 % der Beteiligten waren mit dem Pkw beteiligt, Lkw machten knapp 7 % aus, Krafträder 2 %. Fußgänger und Radfahrer waren jeweils zu weniger als einem Prozent beteiligt. Wesentliche Unterschiede hinsichtlich der Lage innerhalb oder im Vorfeld bebauter Gebiete gibt es in Bezug auf den Kfz-Verkehr nicht. Der Anteil der Radfahrer ist innerhalb bebauter Gebiete mit 1,4 % wesentlich höher als im Vorfeld bebauter Gebiete (0,04 %). Angesichts der ohnehin geringen Zahl an Unfällen mit Radfahrer-beteiligung (insgesamt 10 von 1.259) und der Situation, dass nicht an allen Knotenpunkten im Vorfeld bebauter Gebiete überhaupt Radverkehr auftritt, lässt sich hieraus nicht unmittelbar auf eine höhere Gefährdung von Radfahrern innerhalb bebauter Gebiete schließen.

6.2 Mikroskopische Unfallanalyse der 10 Untersuchungsknotenpunkte

Im Folgenden werden für die 10 untersuchten Knotenpunkte die Unfälle in Unfalldiagrammen dargestellt. Hierdurch können die Hergänge genauer interpretiert und ggf. typische Unfallsituationen an Knotenpunkten mit iLES erkannt werden. Es sind jeweils die Unfälle zwischen dem 1.1.2006 und dem 31.12.2008 berücksichtigt.

6.2.1 Lemgo

In Bild 32 ist das Unfalldiagramm für den Knotenpunkt mit iLES in Lemgo dargestellt.

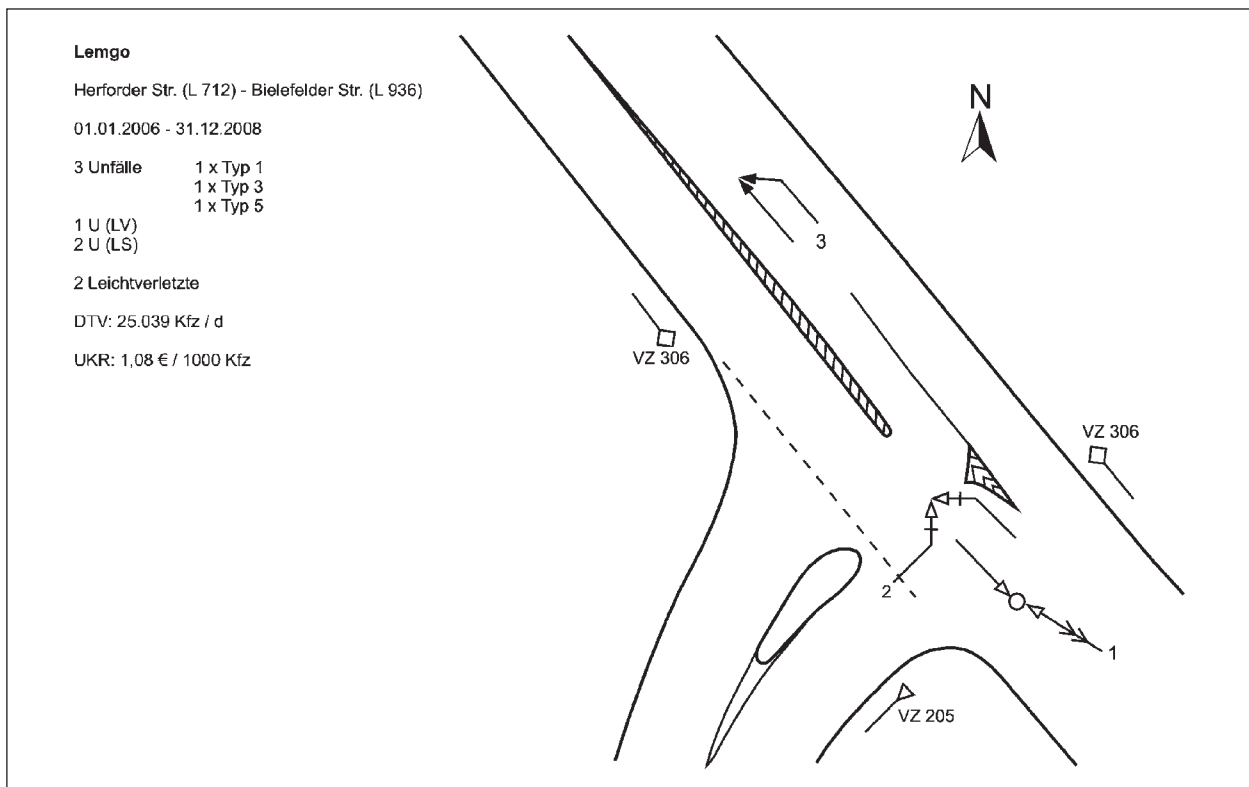


Bild 32: Unfalldiagramm Lemgo (Lage im Vorfeld bebauter Gebiete)

Am Knotenpunkt fanden nur 3 Unfälle statt, dabei wurden zwei Personen leicht verletzt. Die Unfallkostenrate ist mit 1,08 EUR/1.000 Kfz sehr niedrig, der DTV mit 25.039 Kfz/24 h vergleichsweise hoch.

Bei einem Unfall kam es zu einer Kollision mit einem Fahrzeug im Gegenverkehr. Die beiden anderen Unfälle können im Zusammenhang mit dem iLES gesehen werden. Bei einem Unfall wurde einem Linksabbieger durch einen Linkseinbieger die Vorfahrt genommen. Möglicherweise hätte dieser Unfall durch eine bessere Vermittlung der Verkehrsregelung vermieden werden können. Beim dritten Unfall kam es zur Kollision zwischen einem Fahrzeug auf dem iLES mit einem auf den iLES wechselnden Fahrzeug. Auch dieser Unfall hätte ggf. durch eine bessere Vermittlung der Verkehrsregelung und/oder eine eindeutigeren Markierung vermieden werden können.

6.2.2 Iserlohn (Leckingser Straße)

In Bild 33 ist das Unfalldiagramm für den Knotenpunkt Leckingser Straße in Iserlohn dargestellt.

Es fanden 24 Unfälle statt, darin wurden eine Person schwer verletzt und drei Personen leicht verletzt. Die Unfallkostenrate beträgt 17,69 EUR/1.000 Kfz, der DTV 19.750 Kfz/24 h.

Drei Unfälle sind dem Typ 2 (Abbiegeunfall) zuzuordnen, 6 Unfälle dem Typ 3 (Einbiegen/Kreuzen) und ein Unfall dem Typ 7. Mit 14 Unfällen machen Unfälle des Typs 6 (Unfall im Längsverkehr) mehr als die Hälfte aus.

Bei den Unfällen im Längsverkehr handelt es sich größtenteils um Auffahrunfälle in der untergeordneten Zufahrt, die abschüssig ist. Zwei Unfälle ereigneten sich, indem Linksabbieger den Vorrang des Gegenverkehrs missachteten. Außerdem gab es drei Unfälle mit rechtseinbiegenden Fahrzeugen, die mit Radfahrern kollidierten. In zwei Unfällen waren Linkseinbieger beteiligt, die den Vorrang der von links kommenden geradeaus fahrenden Fahrzeuge missachteten.

Im Zusammenhang mit dem iLES könnten drei Unfälle gesehen werden. Ein Unfall entstand, indem ein Linksabbieger abbremste, weil ihm durch einen Linkseinbieger die Vorfahrt genommen wurde und ein nachfolgendes Fahrzeug auffuhr. Dieser Unfall hätte evtl. durch eine bessere Vermittlung der Verkehrsregelung vermieden werden können. Zwei weitere Unfälle ereigneten sich auf dem iLES, ein Unfall beim Fahrstreifenwechsel und ein Unfall durch Auffahren auf ein am Ende des iLES haltendes Fahrzeug.

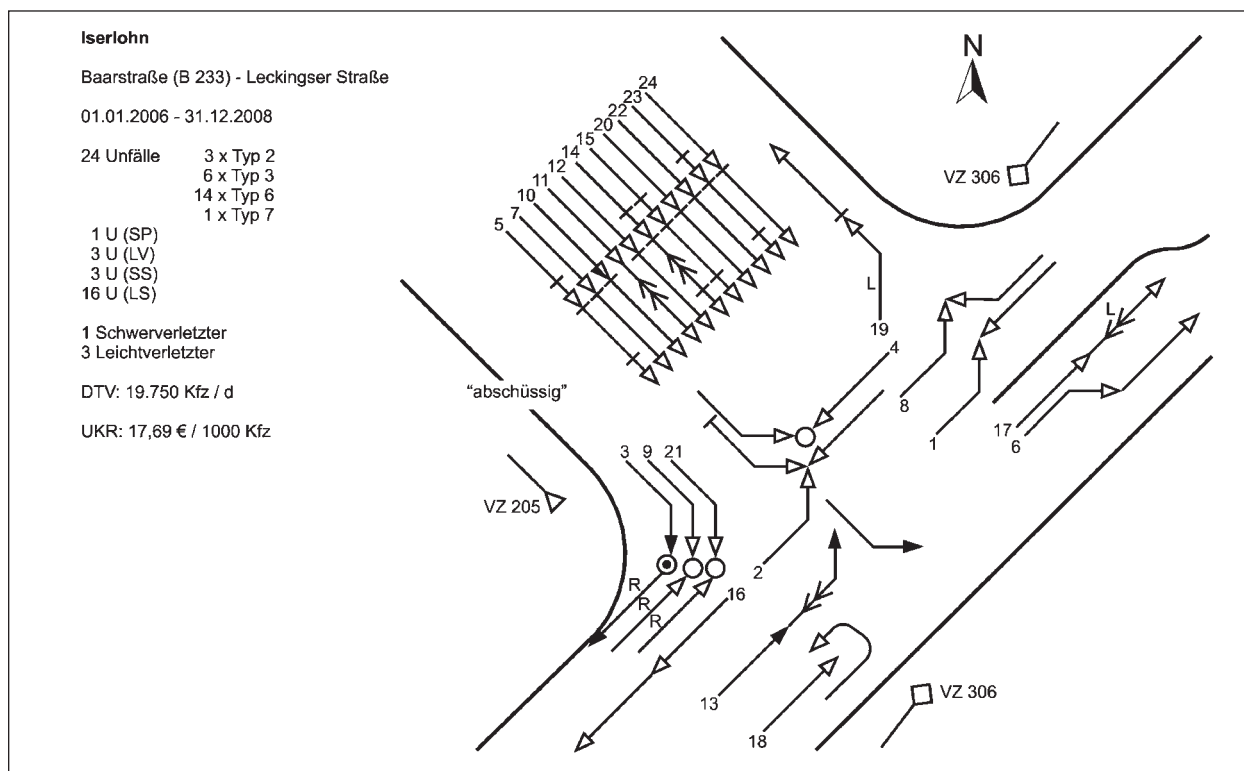


Bild 33: Unfalldiagramm Iserlohn, Leckingser Straße (Lage innerhalb bebauter Gebiete)

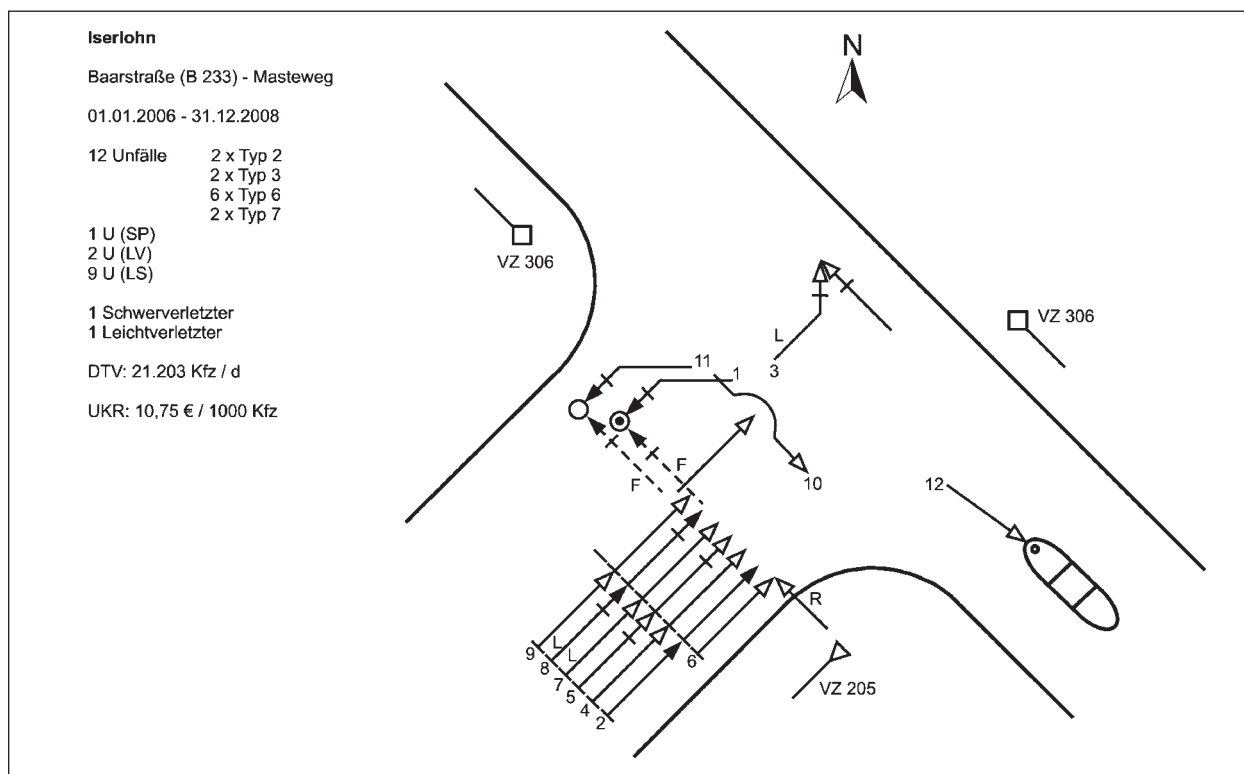


Bild 34: Unfalldiagramm Iserlohn, Masteweg (Lage innerhalb bebauter Gebiete)

6.2.3 Iserlohn (Masteweg)

Bild 34 zeigt das Unfalldiagramm für den Knotenpunkt Masteweg in Iserlohn.

Insgesamt haben 12 Unfälle stattgefunden, in einem Unfall wurde eine Person schwer verletzt, in

einem anderen Unfall eine Person leicht verletzt. Die Unfallkostenrate liegt bei 10,75 EUR/1.000 Kfz, der DTV bei 21.203 Kfz/24 h.

Von den 12 Unfällen sind jeweils zwei den Typen 2 (Abbiegeunfall) und 3 (Einbiegen/Kreuzen-Unfall) zuzuordnen. Die Hälfte der Unfälle sind Unfälle im Längsverkehr (Typ 6) und zwei Unfälle sind dem Typ 7 (Sonstige) zuzuordnen.

Bei einem Unfall ist ein Linkseinbieger mit einem von rechts kommenden geradeaus fahrenden Fahrzeug kollidiert. Darüber hinaus gab es sechs Auffahrunfälle in der untergeordneten Zufahrt. Beim Linksabbiegen wurde in zwei Unfällen ein Fußgänger erfasst. Abgesehen vom Unfall, bei dem ein Linkseinbieger betroffen ist, sind alle Unfälle unabhängig von der Anwendung eines iLES zu sehen. Unmittelbare Schlussfolgerungen im Hinblick auf den iLES lassen sich an diesem Knotenpunkt nicht ziehen.

6.2.4 Haxterhöhe

Das Unfalldiagramm des Knotenpunkts Haxterhöhe ist in Bild 35 dargestellt.

Am Knotenpunkt Haxterhöhe traten 22 Unfälle in drei Jahren auf, darin wurden 2 Personen schwer verletzt und 12 Personen leicht. Die Unfallkostenrate beträgt 30,31 EUR/1.000 Kfz, der DTV 19.015 Kfz/24 h.

Bei fünf Unfällen nahm ein Linksabbieger dem entgegenkommenden Geradeausfahrer die Vorfahrt. In sechs Unfällen kollidierten linkseinbiegende Fahrzeuge mit von links kommenden geradeaus fahrenden Fahrzeugen.

Sieben Unfälle könnten im Zusammenhang mit dem iLES gesehen werden. Bei einem Unfall umfuhr ein Linkseinbieger die Sperrfläche rechts und kollidierte mit einem von rechts kommenden geradeaus fahrenden Fahrzeug. Zu vier Unfällen kam es, weil ein Linkseinbieger die Vorfahrt der Linksabbieger missachtete. Ein Unfall ereignete sich beim Fahrstreifenwechsel vom iLES auf den durchgehenden Fahrstreifen. Außerdem kam es zu einem Auffahrunfall auf dem Geradeausfahrstreifen neben dem iLES, möglicherweise weil ein geradeaus fahrendes Fahrzeug einem anderen Fahrzeug den Fahrstreifenwechsel vom iLES ermöglichen wollte. Diese Unfälle hätten ggf. bei einem besseren Verständnis der Verkehrsregelung vermieden werden können.

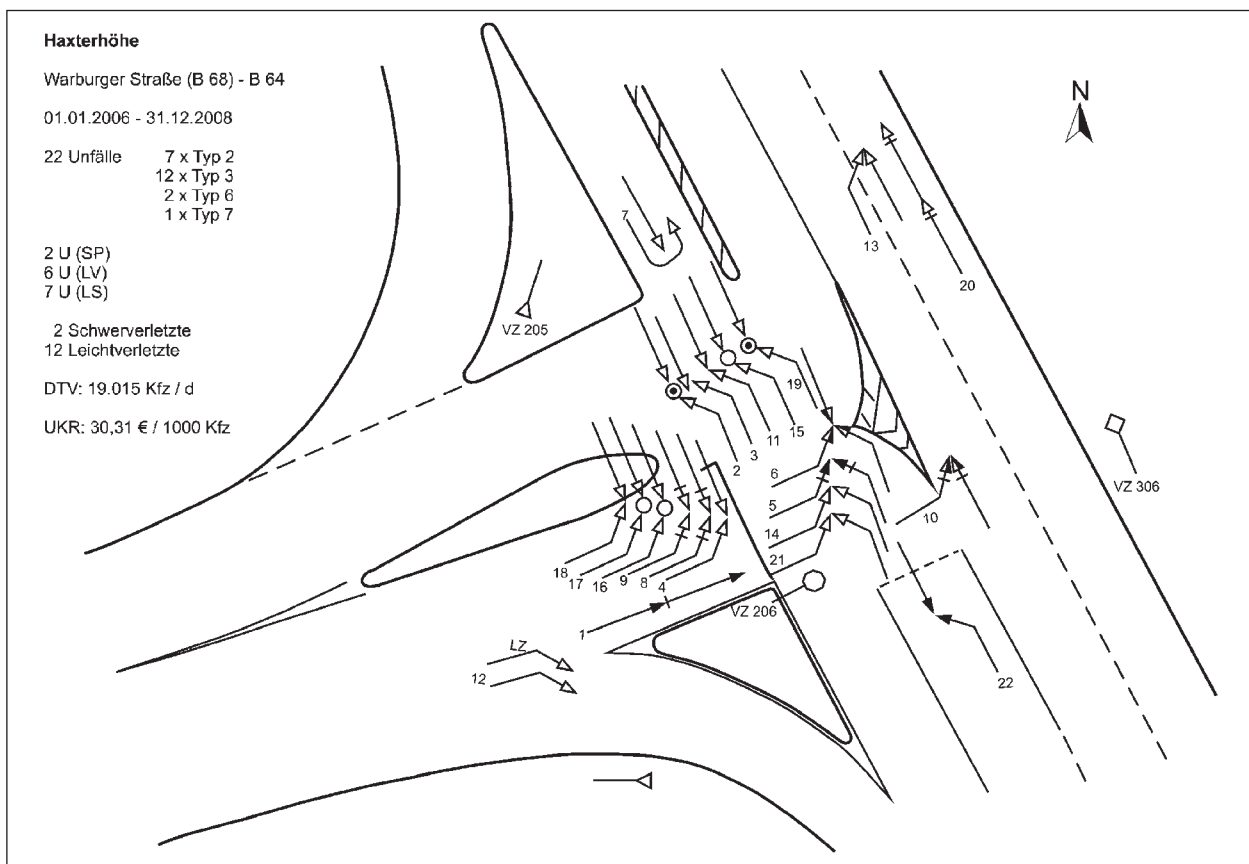


Bild 35: Unfalldiagramm Haxterhöhe (Lage im Vorfeld bebauter Gebiete)

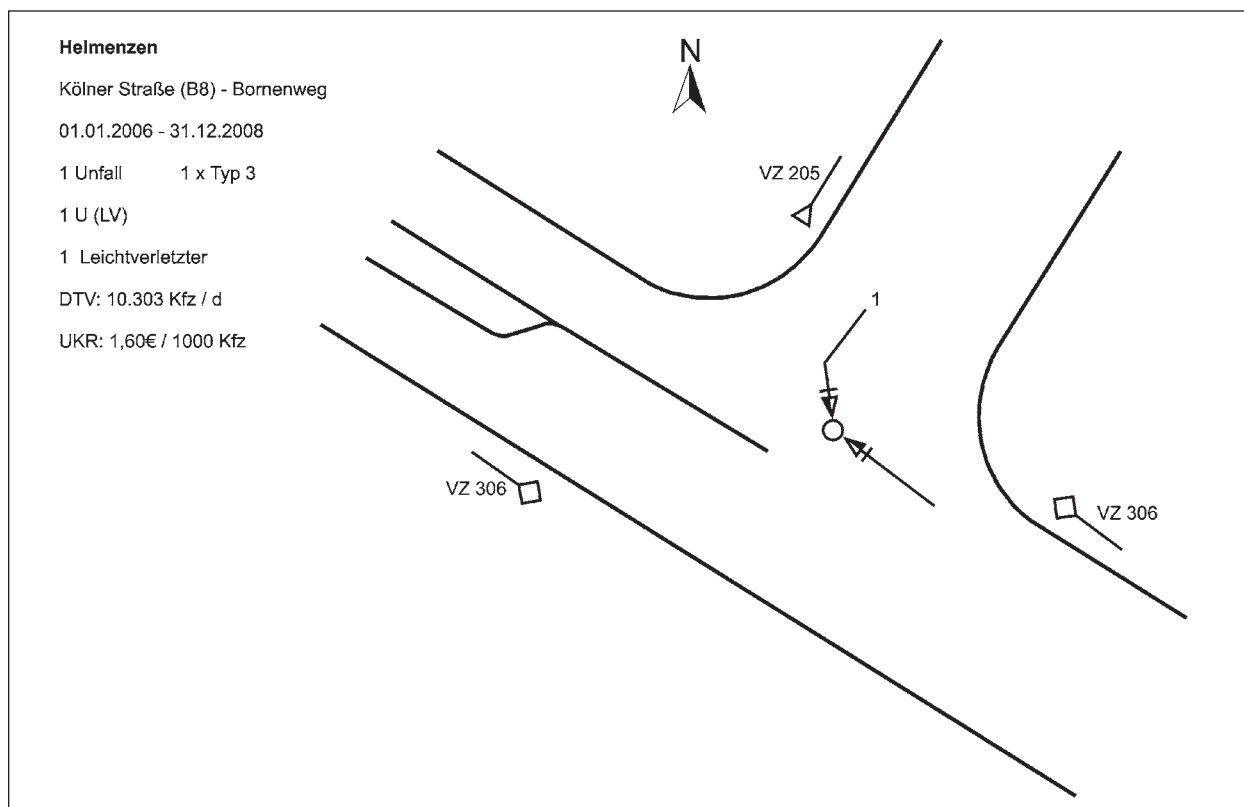


Bild 36: Unfalldiagramm Helmenzen, Bornenweg (Lage im Vorfeld bebauter Gebiete)

6.2.5 Helmenzen (Bornenweg)

Bild 36 zeigt das Unfalldiagramm des Knotenpunkts Bornenweg in Helmenzen.

In den drei Jahren geschah lediglich ein Unfall, dabei wurde eine Person leicht verletzt. Die Unfallkostenrate beträgt damit 1,60 EUR/1.000 Kfz, der DTV liegt bei 10.303 Kfz/24 h.

Bei diesem Unfall kollidierte ein Linkseinbieger mit einem von links kommenden geradeaus fahrenden Fahrzeug. Ein unmittelbarer Zusammenhang mit dem iLES lässt sich nicht ableiten.

6.2.6 Helmenzen (Zum Galgenberg)

Das Unfalldiagramm des Knotenpunkts Zum Galgenberg in Helmenzen ist in Bild 37 dargestellt.

In den drei Jahren erfolgten lediglich zwei Unfälle, dabei keiner mit einem Verletzten. Ein Unfall ist dem Typ 3 zuzuordnen und einer dem Typ 6. Die Unfallkostenrate liegt bei 1,02 EUR/1.000 Kfz, der DTV bei 10.750 Kfz/24 h.

Ein Unfall könnte im Zusammenhang mit dem iLES stehen. Dabei missachtete ein Linkseinbieger den Vorrang des von rechts kommenden geradeaus

fahrenden Fahrzeugs, indem er direkt ohne Nutzung des iLES einbog. Der andere Unfall geschah auf dem iLES beim Fahrstreifenwechsel auf den durchgehenden Fahrstreifen.

6.2.7 Altenkirchen (Rudolf-Diesel-Straße)

In Bild 38 ist das Unfalldiagramm für den Knotenpunkt Rudolf-Diesel-Straße in Altenkirchen dargestellt.

Im Umfeld des Knotenpunkts geschahen 11 Unfälle, dabei wurde eine Person leicht verletzt. Sechs der Unfälle sind dem Typ 3 (Einbiegen/Kreuzen) zuzuordnen und fünf Unfälle dem Typ 6 (Unfälle im Längsverkehr). Die Unfallkostenrate liegt damit bei 6,57 EUR/1.000 Kfz und der DTV bei 12.779 Kfz/24 h.

Ein Zusammenhang mit dem iLES könnte bei sechs Unfällen hergestellt werden. Vier Unfälle geschahen, weil von der benachbarten Einmündung auf die Mittelinsel am Ende des iLES aufgefahren wurde. Dies deutet auf gestalterische Mängel der Mittelinsel hin.

Ein Unfall geschah neben dem iLES, bei dem ein Fahrzeug auf ein stark verzögerndes vorausfah-

rendes Fahrzeug auffuhr. Möglicherweise wollte der Fahrer des vorausfahrenden Fahrzeugs einem Fahrzeug auf dem iLES den Fahrstreifenwechsel

ermöglichen oder erschrak, weil der Linkseinbieger ihm vermeintlich die Vorfahrt nehmen würde. Ein weiterer Unfall geschah, als ein Fahrzeug ein vo-

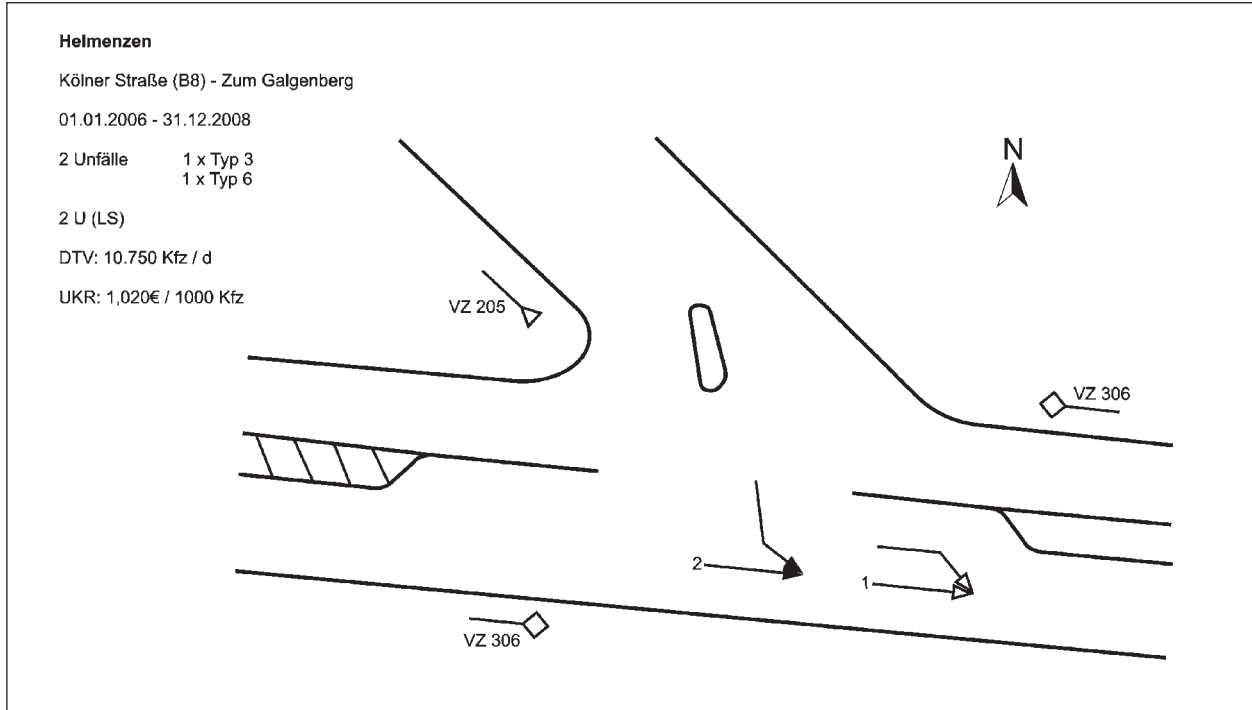


Bild 37: Unfalldiagramm Helmenzen, Zum Galgenberg (Lage im Vorfeld bebauter Gebiete)

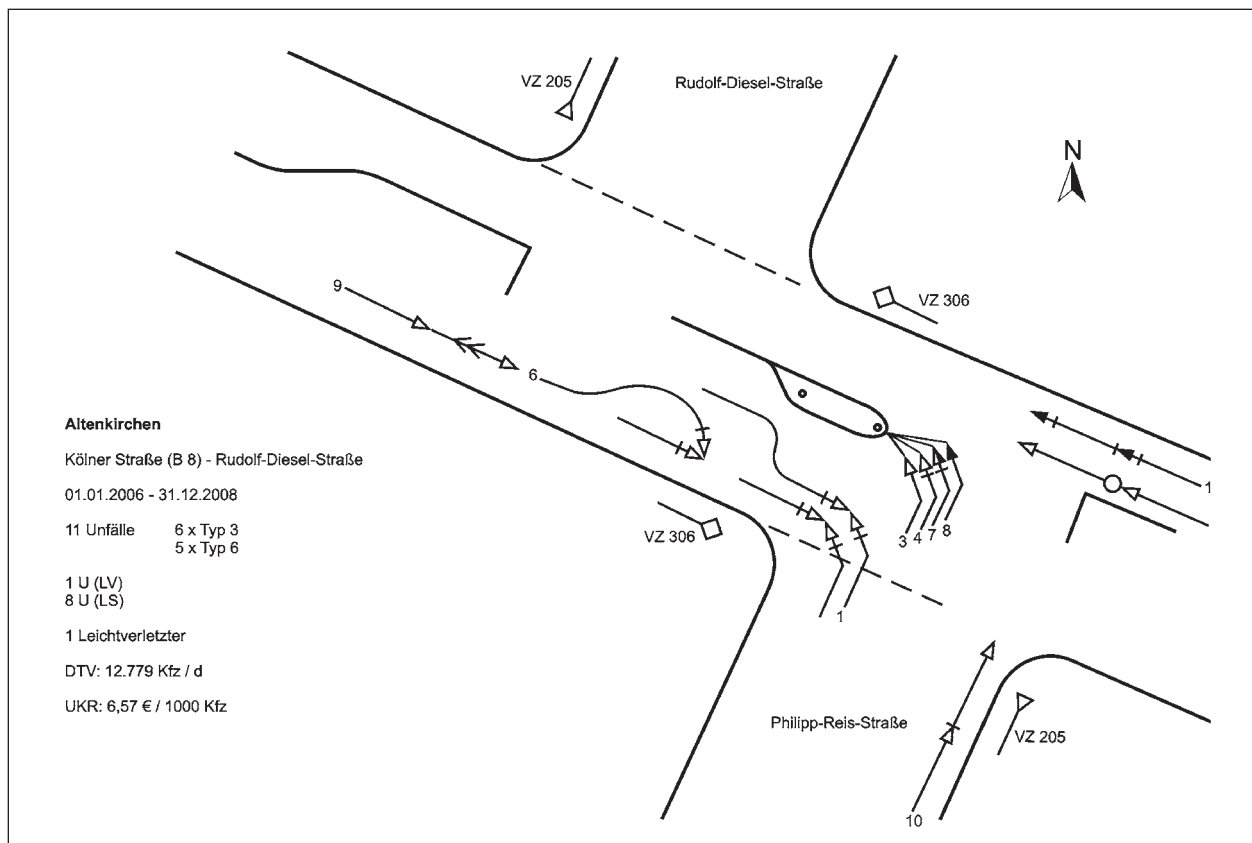


Bild 38: Unfalldiagramm Altenkirchen, Rudolf-Diesel-Straße (Lage im Vorfeld bebauter Gebiete)

rausfahrendes Fahrzeug über den iLES überholte. Beide Unfälle hätten möglicherweise vermieden werden können, wenn die Verkehrsregelung deutlicher vermittelt worden wäre bzw. die Fahrstreifenmarkierung verdeutlicht hätte, dass ein Überholen unzulässig ist.

6.2.8 Mecklar

Das Unfalldiagramm des untersuchten Knotenpunkts in Mecklar ist in Bild 39 dargestellt.

Am Knotenpunkt geschahen sechs Unfälle in den drei betrachteten Jahren, eine Person wurde leicht verletzt. Die Unfallkostenrate beträgt 3,75 EUR/1.000 Kfz, der DTV liegt bei 14.849 Kfz/24 h.

Die Unfälle stehen alle nicht im Zusammenhang mit dem iLES. Zwei der Unfälle waren Auffahrunfälle im untergeordneten Knotenpunktarm, zwei Unfälle waren Alleinunfälle durch Auffahren auf eine Mittelinsel bzw. den Tropfen, ein Unfall entstand durch Abkommen von der Fahrbahn und bei einem Unfall geriet ein Fahrzeug in den Gegenverkehr.

6.2.9 Düsseldorf

Das Unfalldiagramm für den untersuchten Knotenpunkt in Düsseldorf ist in Bild 40 dargestellt.

Am Knotenpunkt geschahen im Drei-Jahres-Zeitraum sieben Unfälle, dabei wurde eine Person schwer verletzt und zwei Personen leicht verletzt. Fünf Unfälle sind dem Typ 3 (Einbiegen/Kreuzen) zuzuordnen und zwei Unfälle dem Typ 6 (Unfall im Längsverkehr). Der DTV beträgt 15,875 Kfz/24 h, die Unfallkostenrate 10,21 EUR/1.000 Kfz.

Drei der sieben Unfälle stehen im Zusammenhang mit Fahrstreifenwechseln, es lässt sich kein Zusammenhang mit dem iLES herstellen.

In drei Unfällen wurde auf die Mittelinsel aufgefahren, die den iLES vom Geradeausfahrstreifen in die entgegengesetzte Richtung abtrennt. Hier könnten Gestaltungsdefizite die Ursache sein.

In einem Unfall missachtete ein Linkseinbieger den Vorrang eines von links kommenden geradeaus fahrenden Fahrzeugs, was nicht unmittelbar mit dem iLES in Zusammenhang zu bringen ist.

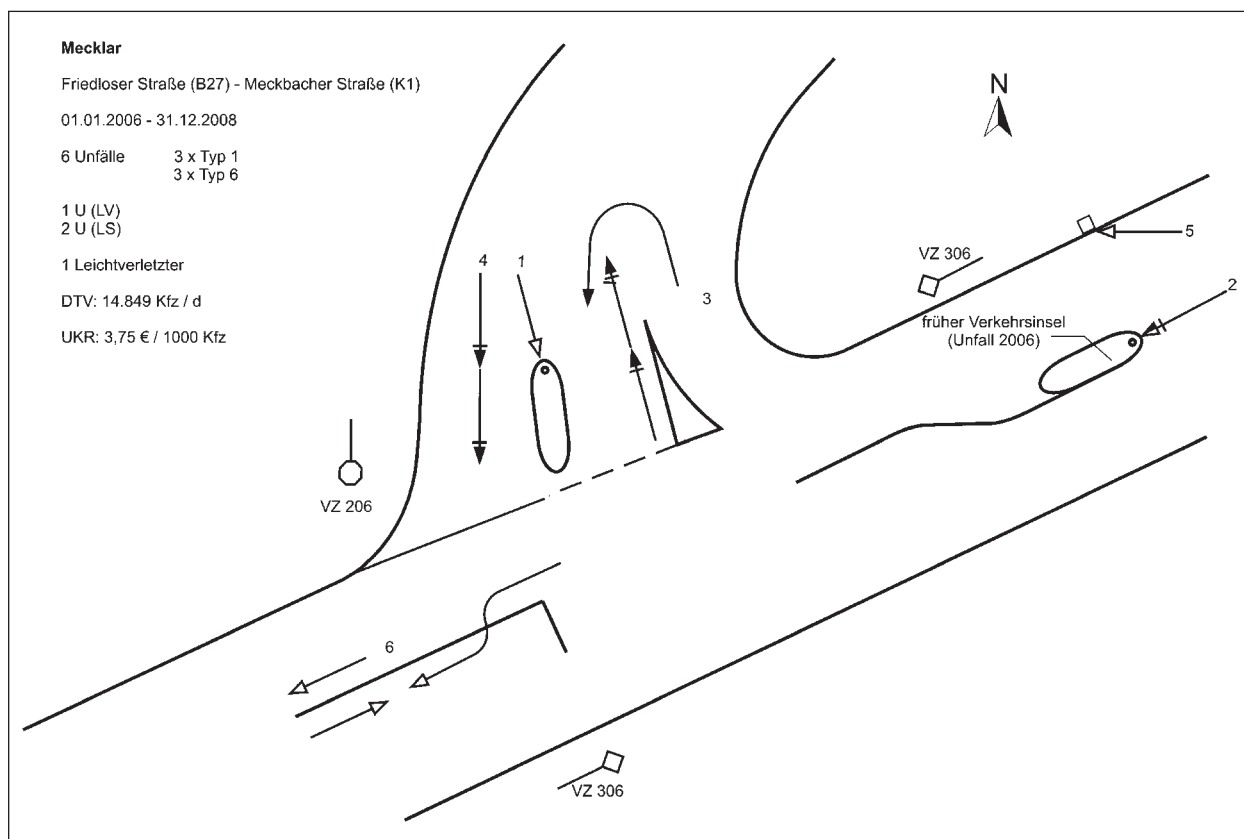


Bild 39: Unfalldiagramm Mecklar (Lage innerhalb bebauter Gebiete)

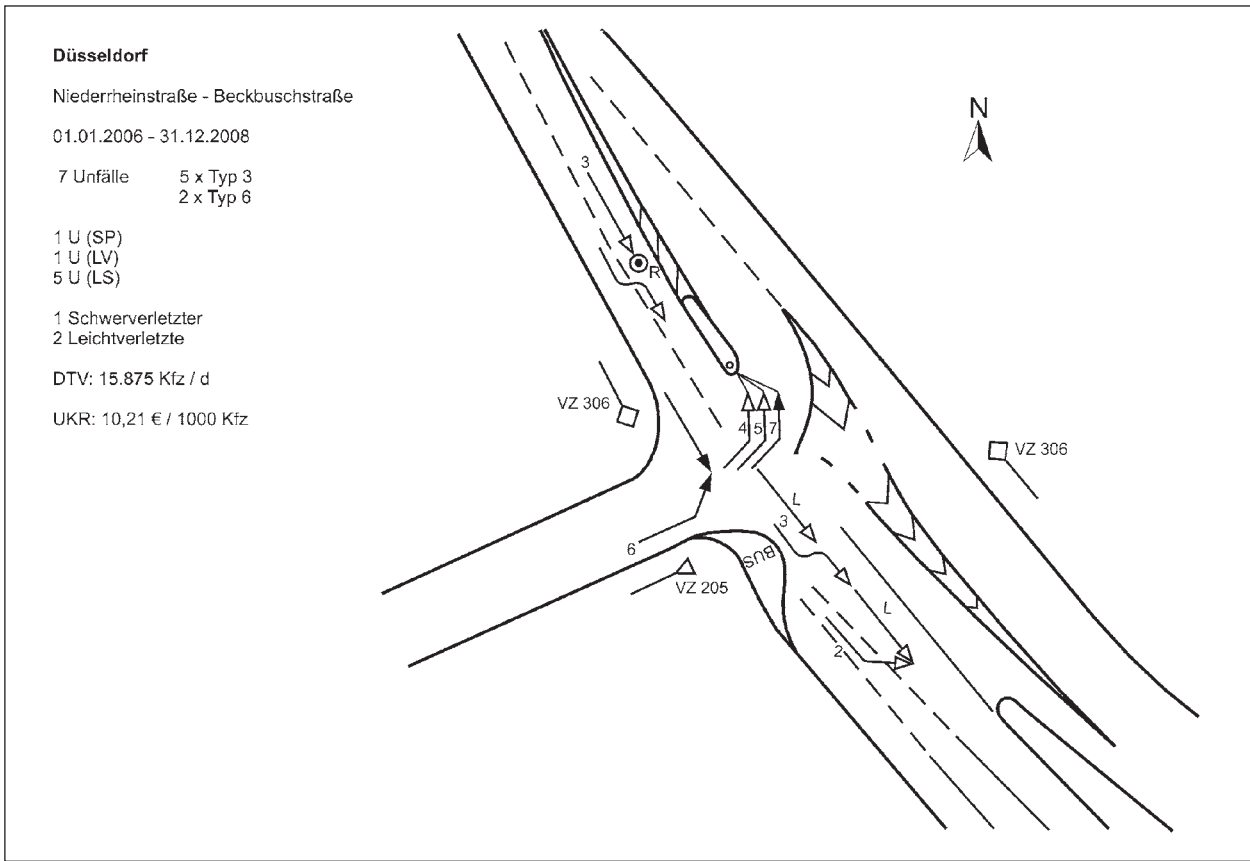


Bild 40: Unfalldiagramm Düsseldorf (Lage innerhalb bebauter Gebiete)

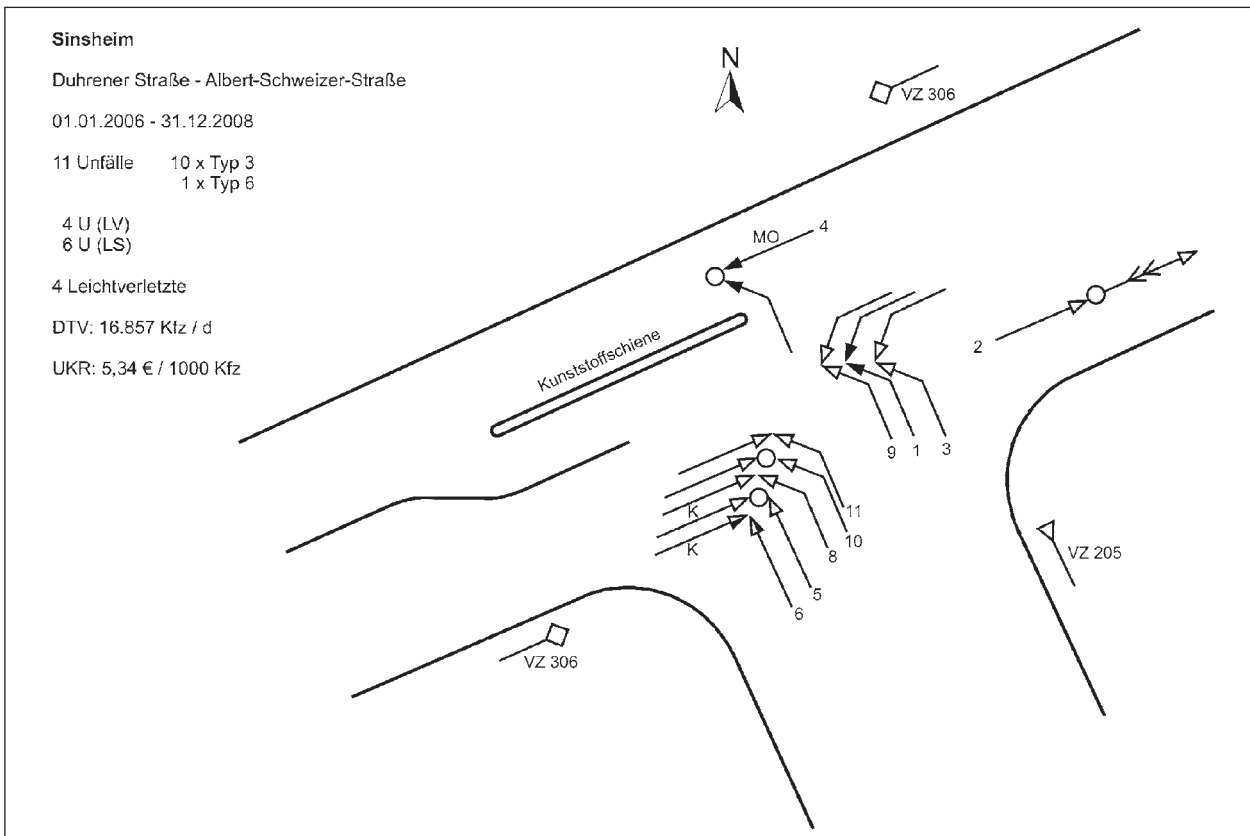


Bild 41: Unfalldiagramm Sinsheim (Lage innerhalb bebauter Gebiete)

6.2.10 Sinsheim

In Bild 41 ist das Unfalldiagramm für den untersuchten Knotenpunkt in Sinsheim dargestellt.

Am Knotenpunkt geschahen insgesamt 11 Unfälle, dabei wurden vier Personen leicht verletzt. 10 Unfälle sind dem Typ 3 zuzuordnen und ein Unfall dem Typ 6. Der DTV beträgt 16.857 Kfz/24 h und die Unfallkostenrate 5,34 EUR/1.000 Kfz.

Ein Unfall geschah, weil ein Linkseinbieger rechts an der Kunststoffschiene vorbei fuhr, die den iLES vom Geradeausfahrstreifen abtrennt, und ein von rechts kommendes Fahrzeug rammte. Dieser Unfall hätte vermutlich durch einen früheren Beginn der Kunststoffschiene oder eine andere Gestaltung, die die Vorfahrtregelung erläutert, vermieden werden können.

Fünf Unfälle ereigneten sich, indem die Linkseinbieger den Vorrang der von links kommenden geradeaus fahrenden Fahrzeuge missachteten.

Drei Unfälle hatten als Ursache, dass Linkseinbieger den Vorrang der Linksabbieger missachteten. Diese hätten möglicherweise durch eine bessere Kenntnis der Verkehrsregelung vermieden werden können.

6.3 Fazit Unfalluntersuchung

Einmündungen mit iLES haben keine Unfallschwerpunkte. Die meisten Unfälle sind den Typen 3 und 6 zuzuordnen. Probleme mit Radfahrern und Fußgängern traten kaum auf, was jedoch teilweise darauf zurückzuführen ist, dass der Fußgänger- und Radverkehr in den untersuchten Beispielen keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielte.

Die Auswertung der dreistelligen Unfalltypen und der mikroskopischen Unfallanalyse zeigt, dass vier wesentliche Unfallhergänge typisch sind:

- 1) Kollisionen von Linkseinbiegern mit von links kommenden Geradeausfahrern. Insgesamt traten 17 dieser Unfälle auf, davon sechs mit Leichtverletzten. Diese Unfälle werden nicht im Zusammenhang mit iLES gesehen, da unterstellt wird, dass ein iLES nicht den Eindruck suggeriert, dass die Einbieger Vorrang vor allen anderen Strömen haben.
- 2) Kollisionen von Linksabbiegern mit entgegen kommenden Geradeausfahrern. Diese Unfälle

ließen sich bei fast allen Knotenpunkten beobachten, insbesondere im Vorfeld bebauter Gebiete. Insgesamt traten sieben dieser Unfälle auf, davon einer mit Leichtverletzten und zwei mit Schwerverletzten. Diese Unfälle stehen nicht im Zusammenhang mit iLES, sie ergeben sich durch ungünstige Sichtverhältnisse und fehlerhafte Geschwindigkeitsabschätzungen.

- 3) Kollisionen von Linkseinbiegern mit Linksabbiegern. Insgesamt traten neun dieser Unfälle auf, alle ohne Personenschäden. Inwieweit diese Unfälle im Zusammenhang mit der Verkehrsregelung mit iLES stehen, lässt sich nicht ableiten. Es kann jedoch vermutet werden, dass die Gestaltung von Knotenpunkten mit iLES (oder entsprechende ungeeignete Hinweisschilder) suggerieren, dass Linkseinbieger lediglich den von links kommende Verkehr berücksichtigen müssen und dass entsprechend ein Vorrang gegenüber den Linksabbiegern besteht. Dies sollte durch eine entsprechende Gestaltung und Hinweisschilder berücksichtigt werden.
- 4) Kollisionen beim Fahrstreifenwechsel vom iLES auf den durchgehenden Fahrstreifen. Insgesamt traten sieben dieser Unfälle auf, davon einer mit Leichtverletzten. Diese Unfälle stehen unmittelbar im Zusammenhang mit dem iLES. Ein Teil der Unfälle entsteht, da entweder Fahrzeuge abbremsen, um Fahrzeugen auf dem iLES das Einfädeln zu ermöglichen, und damit einen Auffahrunfall verursachen oder der Fahrer erschrickt, weil der Linkseinbieger ihm vermeintlich die Vorfahrt nimmt. Außerdem kommt es vereinzelt zu Unfällen, weil der iLES zum regelwidrigen Überholen genutzt wird. Diesen Unfällen könnte mit einer eindeutigen Markierung zwischen iLES und durchgehendem Fahrstreifen sowie mit Hinweisschildern für den Strom 8 begegnet werden.

7 Leistungsfähigkeit

Ein wesentliches Ziel bei der Untersuchung der Leistungsfähigkeit von iLES ist zum einen die Abgrenzung des Einsatzbereiches gegenüber Einmündungen ohne iLES und gegenüber Einmündungen mit Lichtsignalanlage (LSA). Zum anderen soll ein Verfahren entwickelt werden, mit dem die Wartezeiten an Einmündungen mit iLES und damit entsprechend auch die Verkehrsqualität ermittelt werden können. Beide Aspekte sind im Folgenden beschrieben.

7.1 Abgrenzung hinsichtlich der Leistungsfähigkeit

Eine Abgrenzung des Einsatzbereiches von Einmündungen mit iLES gegenüber Einmündungen ohne iLES bzw. mit LSA wurde vorgenommen, indem die Wartezeiten in der untergeordneten Zufahrt für alle drei Knotenpunkttypen für unterschiedliche Knotenpunktverkehrsstärken und Belastungssituationen ermittelt wurden. Hieraus wurde einerseits die Grenze ermittelt, ab der eine Einmündung ohne iLES nicht mehr leistungsfähig ist und ein iLES sinnvoll eingesetzt werden kann, und andererseits die Grenze ermittelt, ab der eine Signalisierung zu Vorteilen gegenüber einem iLES führt.

Um die Wartezeiten für Einmündungen ohne iLES und mit Signalisierung zu ermitteln, wurde auf die Verfahren des HBS zurückgegriffen. Da ein Verfahren zur Ermittlung der Wartezeiten von Einmündungen mit iLES noch nicht existiert und im Rahmen dieser Arbeit erst zu entwickeln ist, wurde auf mikroskopische Simulationen mit VISSIM in der Version 5.2 zurückgegriffen. Hierzu wurden die Knotenpunkte Iserlohn, Masteweg und Leckingser Straße sowie Paderborn, Haxterhöhe in einem mikroskopischen Modell abgebildet. Die Knotenpunkte Iserlohn, Masteweg und Leckingser Straße wurden gewählt, da sie eine vergleichsweise geringe Belastung in der untergeordneten Zufahrt aufweisen, und der Knotenpunkt Haxterhöhe, da dort die untergeordnete Zufahrt relativ hoch belastet ist.

Die Modelle wurden auf der Basis von maßstäblichen Luftbildern oder Lageplänen erstellt. Grundlegende Verhaltensweisen wie die Stillstandsabstände, die Positionen, an denen gewartet wird, das Abstandsverhalten zu benachbarten Fahrzeugen in der untergeordneten Zufahrt etc. wurden Videos der Knotenpunkte entnommen. Die Geschwindigkeitsverteilung wurde – unterschieden nach Fahrtrichtungen und Pkw/Lkw – aus den Messungen an den Knotenpunkten übernommen. Die Verkehrsstärken wurden – getrennt nach Pkw, Krad, Lkw und Bus – ebenfalls den Messungen entnommen und in 5-Minuten-Intervallen ins Modell aufgenommen. Anschließend erfolgte eine Kalibrierung anhand des morgendlichen Zeitraums zwischen 6 und 10 Uhr.

Kalibriert wurde über die Wartezeiten in der untergeordneten Zufahrt, die in 5-Minuten-Intervalle aggregiert ausgewertet und mit den entsprechenden Werten der Messung verglichen wurden. Vor-

gesehen war auch eine Kalibrierung über die Rückstaulängen. Hierbei hat sich jedoch gezeigt, dass die Auswertemethodik in VISSIM und die Methodik bei der Auswertung der Messungen sehr unterschiedlich waren. Eine Anpassung der Methodik in VISSIM ist nicht möglich. Eine Anpassung der Ermittlung der Rückstaulängen aus den Messungen wäre zwar grundsätzlich möglich. Die Rückstaulänge ist jedoch sehr stark vom zeitlichen Eintreffensverhalten abhängig, bereits ein um wenige Sekunden späteres Eintreffen eines Fahrzeugs kann dazu führen, dass sich der Rückstau bereits abbaut und das entsprechende Fahrzeug nicht mehr berücksichtigt würde. Da die Verkehrsstärken im VISSIM-Modell normalverteilt über 5-Minuten-Intervalle erfolgen, lässt sich die tatsächlich gemessene Eintreffensverteilung nicht modellieren. Es ist daher fraglich, ob die Berücksichtigung der Rückstaulängen bei der Kalibrierung zu einer Verbesserung der Abbildungsqualität im Modell geführt hätte. Aus diesen Gründen wurde auf eine Kalibrierung über die Rückstaulängen verzichtet.

Zusätzlich zur Kalibrierung wurde eine Validierung anhand des Zeitraums nachmittags von 15 bis 19 Uhr durchgeführt. Da es sich bei diesen Messungen um einen von den Morgenstunden unabhängigen Datensatz mit entsprechend anderen Randbedingungen (u. a. andere Belastungssituation) handelt, ist er zur Validierung der Kalibrierung geeignet.

Die kalibrierten Modelle wiesen über die 4-Stunden-Zeiträume und auch über die Spitzenstunden Abweichungen der Kalibrierungsgrößen von 2 bis 11 % auf, dies entspricht Differenzen zwischen ein und drei Sekunden. Es wurde versucht, die Abweichungen noch weiter zu verringern. Dabei zeigte sich jedoch, dass das Modell in den stärker belasteten Intervallen zu hohe Wartezeiten lieferte und in den gering belasteten Intervallen zu geringe. Offenbar akzeptierten die Fahrer bei langen Wartezeiten geringere Zeitlücken als bei kurzen Wartezeiten. Damit erklären sich auch die vergleichsweise guten Verkehrsqualitätsstufen in Kapitel 5.2. Diese Wartezeitabhängigkeit der Zeitlücken lässt sich in VISSIM jedoch nicht nachbilden, sodass auf eine weitere Verringerung der Abweichungen verzichtet wurde, da andernfalls ein nicht mehr realistisches Fahrverhalten in Intervallen mit größerer Belastung modelliert worden wäre.

Zusätzlich zur Bestimmung der Abweichungen der Wartezeiten wurde die Güte der Abbildung mit Hilfe des Theilschen Ungleichheitskoeffizienten unter-

sucht. Der Theilsche Ungleichheitskoeffizient weist Werte zwischen 0 und 1 auf, wobei 0 einer exakten Übereinstimmung entspricht und bei einem Wert von 1 keinerlei Übereinstimmung vorhanden ist. Er wird nach [7] folgendermaßen ermittelt (mit N : Stichprobenumfang):

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Y_n^{\text{sim}} - Y_n^{\text{obs}})^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Y_n^{\text{sim}})^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Y_n^{\text{obs}})^2}}$$

Der Theilsche Ungleichheitskoeffizient kann auch durch drei Komponenten ausgedrückt werden: dem Verzerrungsanteil U^M , den Nicht-Effizienz-Anteil U^S und den Kovarianzanteil U^C . Der Verzerrungsanteil gibt an, ob eine systematische Über- oder Unterschätzung vorhanden ist. Er wird folgendermaßen ermittelt (mit \bar{Y} : Mittelwert):

$$U^M = \frac{(\bar{Y}^{\text{sim}} - \bar{Y}^{\text{obs}})^2}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Y_n^{\text{sim}} - Y_n^{\text{obs}})^2}$$

Die Werte für die drei Simulationsmodelle sind in Tabelle 11 aufgeführt. Alle drei Werte liegen sehr nahe an 0, es sind entsprechend kaum systematische Über- oder Unterschätzungen vorhanden.

Der Nicht-Effizienz-Anteil gibt an, ob ein systematischer Unterschied in der Variation der simulierten und beobachteten Werte vorliegt. Er wird folgendermaßen ermittelt (mit s : Standardabweichung):

$$U^S = \frac{(s^{\text{sim}} - s^{\text{obs}})^2}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Y_n^{\text{sim}} - Y_n^{\text{obs}})^2}$$

Die Werte der drei Simulationen unterscheiden sich dabei. Während der Wert beim Masteweg fast exakt 0 ist, liegt er bei der Leckingser Straße und der Haxterhöhe bei 0,17 bis 0,25. Dabei handelt es

Knotenpunkt	Verzerrungsanteil U^M	Nicht-Effizienzanteil U^S	Kovarianzanteil U^C
Masteweg	0,001	0,002	0,971
Leckingser Str.	0,007	0,171	0,913
Haxterhöhe	0,032	0,250	0,806

Tab. 11: Komponenten des Theilschen Ungleichheitskoeffizienten für die drei Simulationen

sich jedoch immer noch um Werte, die vergleichsweise klein sind.

Der Kovarianzanteil gibt an, ob das Fehlen eines linearen Zusammenhangs vorliegt. Bei Werten nahe 0 ist dies der Fall, bei Werten nahe 1 besteht hingegen ein linearer Zusammenhang. Der Kovarianzanteil wird folgendermaßen berechnet (mit ρ : Korrelationskoeffizient):

$$U^C = \frac{2(1-\rho)s^{\text{sim}}s^{\text{obs}}}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Y_n^{\text{sim}} - Y_n^{\text{obs}})^2}$$

Alle drei Simulationsmodelle weisen Werte über 0,8 auf.

In Tabelle 12 sind die statistischen Kenngrößen aufgeführt, die zur Ermittlung der Komponenten sowie des Ungleichheitskoeffizienten erforderlich sind. Die ermittelten Werte Y^{sim} und Y^{obs} sind im Anhang aufgeführt.

Führt man die drei Komponenten des Theilschen Ungleichheitskoeffizienten zusammen, so ergeben sich für die drei Simulationsmodelle die in Tabelle 13 dargestellten Werte. Sie liegen zwischen 0,216 und 0,312 und weichen damit um weniger als ein Drittel vom Idealwert ab. Die Güte der Kalibrierung wird daher als ausreichend angesehen.

Die Ermittlung der Wartezeiten wurde für unterschiedliche Verkehrsstärken und unterschiedliche Belastungssituationen durchgeführt. Die Belastungssituationen wurden den Spitzenstunden der beiden Knotenpunkte Iserlohn, Leckingser Straße

Knotenpunkt	y^{sim}	y^{obs}	s^{sim}	s^{obs}	ρ
Masteweg	26,58	27,10	13,71	12,91	0,06
Leckingser Str.	16,17	16,85	12,09	8,64	0,69
Haxterhöhe	30,75	27,75	12,47	20,93	0,56

Tab. 12: Statistische Kenngrößen zur Berechnung des Theilschen Ungleichheitskoeffizienten und seiner Komponenten

Knotenpunkt	Theilscher U-Koeffizient U
Masteweg	0,312
Leckingser Str.	0,216
Haxterhöhe	0,251

Tab. 13: Theilscher Ungleichheitskoeffizient für die Kalibrierung der drei Simulationsmodelle

und Iserlohn, Masteweg entnommen. Die Verkehrsstärken wurden dann – ausgehend von der tatsächlichen Belastung – nach oben und nach unten variiert. Dabei wurde iterativ vorgegangen und die Belastungen in Schritten von 100 bzw. 200 Kfz/h verringert, bis ausreichend viele Wartezeiten auch in typischen Belastungsbereichen von Einmündungen ohne iLES ermittelt werden konnten. Ebenso wurden die Belastungen nach oben variiert, bis der Einsatzbereich von iLES deutlich überschritten war und einige Wartezeiten für Belastungen ermittelt wurden, bei denen nur eine LSA infrage kommt. Aus den Ergebnissen ließen sich Diagramme erstellen, in denen die Wartezeiten der drei Knotenpunkttypen bei verschiedenen Verkehrsstärken dargestellt sind. Beispielhaft ist das Diagramm für die Leckinger Straße beim Verhältnis von Neben- zu Hauptströmen von 0,192 (Bild 42) dargestellt.

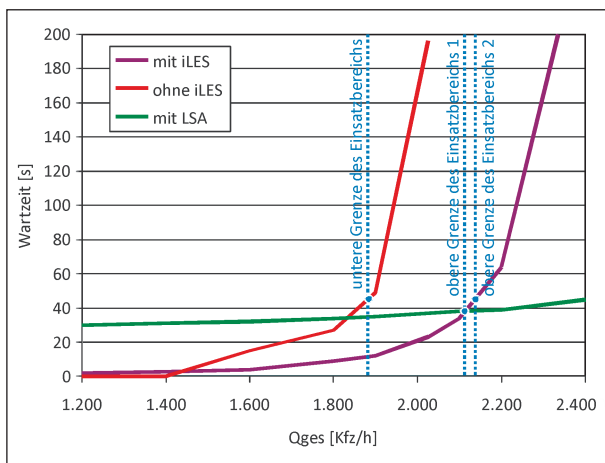


Bild 42: Wartezeiten bei den drei Knotenpunkttypen mit verschiedenen Verkehrsstärken und einem Verhältnis von Neben- zu Hauptströmen von 0,192

Anhand dieser Diagramme lässt sich ermitteln, ab welcher Knotenpunktverkehrsstärke die Qualitätsstufe D (45 s Wartezeit) bei Einmündungen ohne iLES überschritten wird. Diese Verkehrsstärke wird als untere Einsatzgrenze für einen iLES festgehalten (unabhängig davon, dass ein iLES auch bei geringeren Belastungen eine Verringerung der Wartezeiten bewirken kann und damit auch unterhalb dieser Grenze sinnvoll eingesetzt werden kann). Entsprechend wird die Belastung ermittelt, bei der entweder die Qualitätsstufe D einer Einmündung mit iLES überschritten wird („obere Grenze des Einsatzbereichs 2“ in Bild 42) oder mit einer LSA eine geringere Wartezeit erreicht werden kann als mit einem iLES („obere Grenze des Einsatzbereichs 1“ in Bild 42). Die geringere der beiden Belastungen wird als maßgebende obere Grenze für den Einsatzbereich festgehalten.

Neben der Knotenpunktverkehrsstärke wurde als weitere Einflussgröße das Verhältnis von Haupt- und Nebenströmen berücksichtigt. Hierzu wurden die Summe der Nebenströme (Ströme 4 und 6) sowie die Summe der Hauptströme (Ströme 2, 3, 7 und 8) ermittelt und diese ins Verhältnis gesetzt. Beim Knotenpunkt Leckinger Straße beträgt das Verhältnis 0,192 und beim Knotenpunkt Haxterhöhe 0,61. Diese Verhältnisse wurden ebenfalls variiert, um für möglichst die gesamte Bandbreite realistischer Verhältnisse Wartezeiten zu ermitteln. So wurden Verhältnisse von etwa 0,2, 0,4, etwa 0,6 und 0,8 untersucht.

Anhand der für verschiedene Verhältnisse zwischen Neben- und Hauptströmen ermittelten Grenzen lässt sich ein Diagramm (Bild 43) zeichnen, das

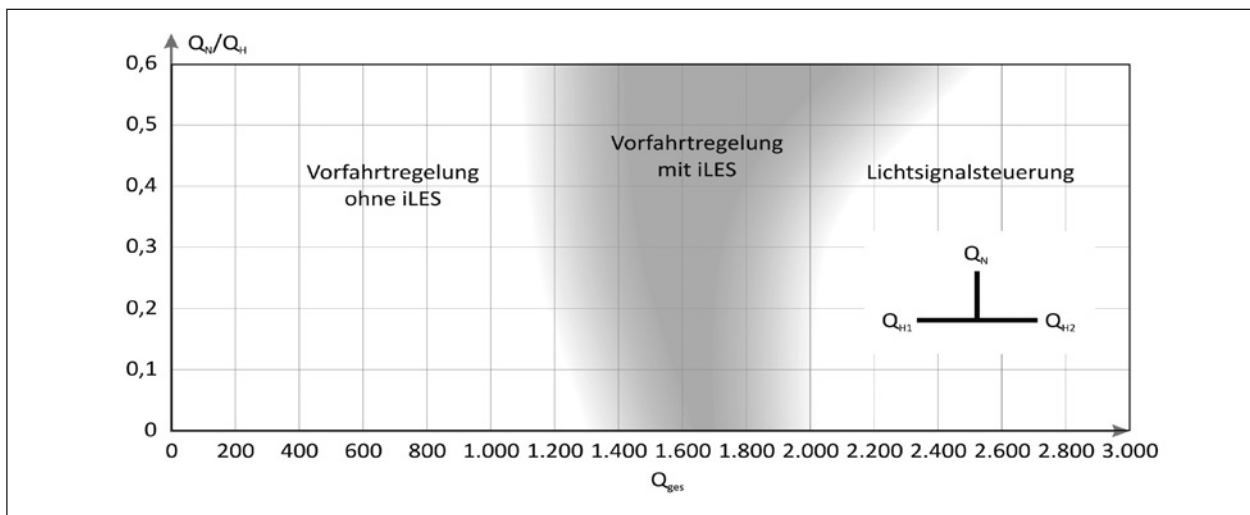


Bild 43: Möglicher Einsatzbereich für iLES

die Einsatzbereiche von Einmündungen mit iLES darstellt. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass – insbesondere bei nicht signalisierten Knotenpunkten – die Verkehrsstärken aller Ströme wesentlichen Einfluss auf die Wartezeit haben. Im Diagramm sind jedoch nur die Einflussgrößen Knotenpunktverkehrsstärke und Verhältnis zwischen Neben- und Hauptströmen berücksichtigt. Das Diagramm kann daher nur einen groben Anhaltspunkt für die Einsatzmöglichkeit eines iLES geben. Es kann keinen Nachweis im Einzelfall mit Hilfe des modifizierten HBS-Verfahrens (vgl. Kapitel 7.2) ersetzen. Um die Gefahr zu reduzieren, dass das Diagramm zur Verwendung von iLES ohne Nachweis verwendet wird, sind die Grenzen des Einsatzbereiches fließend dargestellt.

Das Diagramm lässt erkennen, dass der Einsatzbereich bei hohem Verhältnis zwischen Neben- und Hauptströmen größer ist als bei geringem Verhältnis. Eine Einsatzmöglichkeit ist entsprechend besonders bei großen Linkseinbiegerverkehrsstärken gegeben.

7.2 Verfahren zur Ermittlung der Wartezeiten

Da das Funktionsprinzip von Einmündungen mit iLES nicht grundsätzlich von unsignalisierten Einmündungen ohne iLES abweicht, bietet es sich an, das vorhandene Verfahren des HBS zu übernehmen und entsprechend zu modifizieren. Änderungen gegenüber dem HBS-Verfahren sind beim Einfluss von Strom 8 und bei den Grenz- und Folgezeitlücken für Strom 4 zu erwarten.

Bei Einmündungen ohne iLES geht die Verkehrsstärke von Strom 8 als maßgebende Hauptstrombelastung in die Berechnung der Wartezeit von Strom 4 vollständig ein. Bei Einmündungen mit iLES braucht Strom 8 beim Einbiegen auf den iLES durch Strom 4 nicht beachtet zu werden und hat damit – zumindest theoretisch – keinen Einfluss auf die Wartezeiten. Bei einer hohen Auslastung von Strom 8 könnte es jedoch dazu kommen, dass Fahrer im Strom 4 nicht einfahren, obwohl sie die Möglichkeit dazu hätten, weil sie befürchten, dass das Einfädeln in den Strom 8 nicht gelingen könnte. Ein solches Verhalten lässt sich jedoch aus den Videoaufnahmen der verschiedenen Untersuchungsbeispiele nicht ableiten. Auch die gelungene Kalibrierung der Simulationsmodelle, in denen der Strom 8

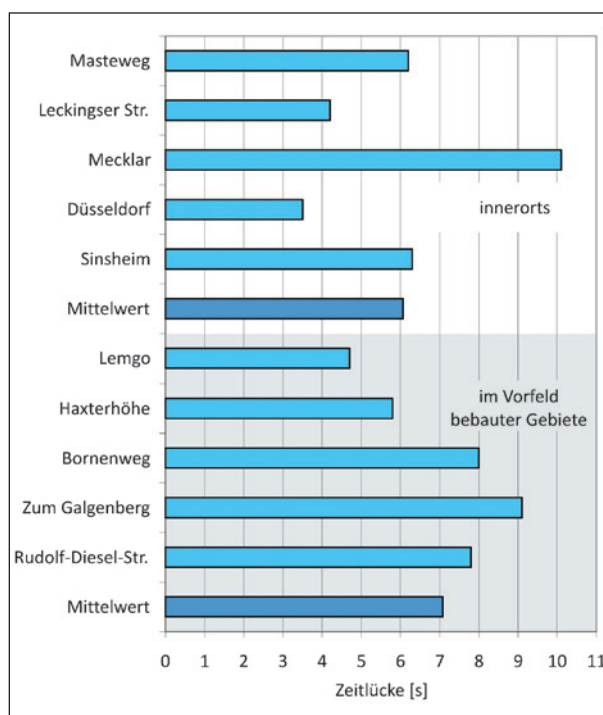


Bild 44: Ermittelte Grenzzeitlücken

vernachlässigt wird, deutet darauf hin, dass ein solches Verhalten nicht oder nur in Einzelfällen auftritt.

Aus den Videoaufnahmen lässt sich für jeden der untersuchten Knotenpunkte mit iLES die Grenzzeitlücke bestimmen. Diese sind in Bild 44 dargestellt.

Bei den Knotenpunkten innerhalb bebauter Gebiete, bei denen die zulässige Geschwindigkeit bei 50 km/h bzw. 60 km/h liegt, variieren die Werte zwischen 3,5 und über 10, der Mittelwert liegt bei 6,1 s. Im Vorfeld bebauter Gebiete mit einer zulässigen Geschwindigkeit von 70 km/h bzw. 80 km/h reicht die Spanne von 4,8 bis 9,1 s, der Mittelwert liegt hier bei 7,1 s.

Die Folgezeitlücken ließen sich nicht ermitteln, da die hierfür notwendige Situation nur sehr selten auftrat. Aus den ermittelten Grenzzeitlücken lassen sich Mittelwerte für die Einsatzbereiche innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete ableiten. Innerhalb bebauter Gebiete wird der Mittelwert von 6,1 s und im Vorfeld bebauter Gebiete 7,1 s verwendet. Die Werte liegen jeweils etwa 0,5 s unter den im HBS-Verfahren verwendeten Werten für Einmündungen ohne iLES.

Mit diesen Einflussgrößen (Vernachlässigung von Strom 8, geänderte Grenzzeitlücken) lässt sich das Verfahren des HBS modifizieren. Da sich keine Folgezeitlücken ermitteln ließen, werden entsprechende Werte geschätzt. Da die bei Einmündungen mit

iLES ermittelten Grenzeitlücken 0,5 s geringer waren als die entsprechenden Zeitlücken im HBS, werden auch die Folgezeitlücken 0,5 s geringer angesetzt.

Mit diesem modifizierten Verfahren werden die Wartezeiten für verschiedenste Belastungssituationen berechnet und mit den Messungen an den entsprechenden Knotenpunkten verglichen. Dabei werden für jeden Knotenpunkt die Spitzenstunden morgens und nachmittags überprüft sowie die am geringsten belasteten Stunden in den beiden 4-Stunden-Zeiträumen morgens und nachmittags. Die Ergebnisse sind in Bild 45 dargestellt. Auf der Ordinate sind die gemessenen Wartezeiten in der untergeordneten Zufahrt aufgetragen und auf der Abszisse die mit dem modifizierten HBS-Verfahren berechneten Wartezeiten. Punkte aus Wertepaaren, die exakt auf der Winkelhalbierenden liegen, zeigen eine exakte Übereinstimmung von berechnetem und gemessenem Wert. Bei Punkten, die abseits der Winkelhalbierenden liegen, liegt keine exakte Übereinstimmung vor. Zur Ermittlung der Übereinstimmung wurde eine exponentielle Regressionskurve dargestellt, das Bestimmtheitsmaß liegt bei 0,52. Die Kurve weicht merklich von der Winkelhalbierenden ab. Es ist zu erkennen, dass mit zunehmender Wartezeit eine größer werdende Abweichung zwischen Regressionskurve und Winkelhalbierender festzustellen ist, wobei die Messwerte dann jeweils geringer sind als die mit Hilfe des mo-

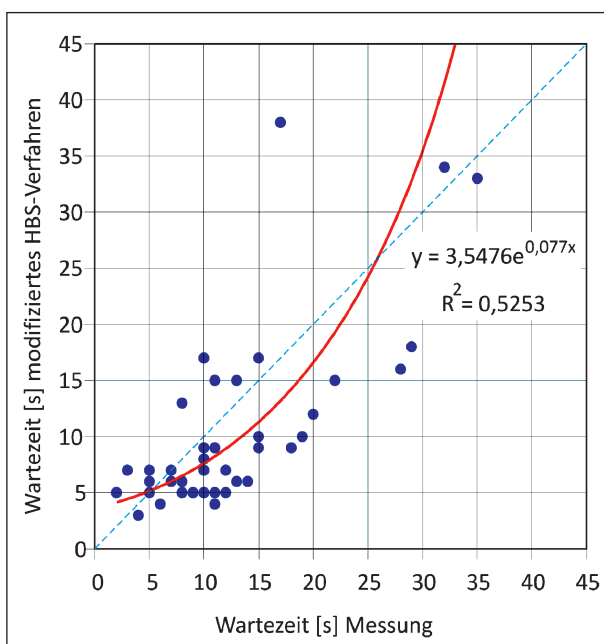


Bild 45: Vergleich der berechneten und beobachteten Wartezeiten

difizierten HBS-Verfahrens ermittelten Werte. Hier spielt offenbar der Effekt eine Rolle, dass die Zeitlücken nicht konstant sind, sondern bei zunehmenden Wartezeiten kleiner werden.

Das bestehende HBS-Verfahren bildet diesen Effekt jedoch bewusst nicht ab, um nicht bei der Bemessung möglicherweise riskantes Fahrverhalten zu fördern. Aus dem gleichen Grund sollte dieser Effekt auch nicht in ein modifiziertes HBS-Verfahren für Knotenpunkte mit iLES übernommen werden. Das modifizierte Verfahren wird daher als geeignet angesehen, um die Wartezeiten für Einmündungen mit iLES zu ermitteln.

Zusammenfassende Darstellung des Verfahrens

Es wird das im HBS verwendete Verfahren zur Ermittlung der Wartezeiten für nicht signalisierte Knotenpunkte verwendet. Abweichend von diesem Verfahren wird die Verkehrsstärke für Strom 8 grundsätzlich mit 0 Kfz/h angesetzt. Die Zeitlückenansätze für Strom 4 werden modifiziert: für Knotenpunkte innerhalb bebauter Gebiete bzw. mit Geschwindigkeiten von 50 bis 60 km/h werden eine Grenzeitlücke von 6,1 s und eine Folgezeitlücke von 3,3 s verwendet. Im Vorfeld und außerhalb bebauter Gebiete bzw. bei zulässigen Geschwindigkeiten von 70 km/h und mehr werden als Grenzeitlücke für Strom 4 7,1 s und als Folgezeitlücke 2,9 s (bei Zeichen 205) bzw. 3,3 s (bei Zeichen 206) verwendet.

8 Expertenworkshop

Um die Erfahrungen, die innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete von den Baulasträgern mit iLES gemacht wurden, einbeziehen zu können, wurde am 6. Oktober 2010 ein Expertenworkshop in Frankfurt am Main durchgeführt. Eingeladen wurden neben den Vertretern der BASt und den Mitgliedern des Betreuerkreises Vertreter der Landesbehörden (zentrale und regionale Bereiche) und der Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern. Insgesamt nahmen 26 Personen am Workshop teil.

Der Workshop wurde in die drei Themenbereiche Leistungsfähigkeit, Verkehrssicherheit und Gestaltungselemente gegliedert. Jeder Themenbereich

wurde durch einen Vortrag zu den Ergebnissen der Forschungsarbeit eingeleitet, im Anschluss fand eine Diskussion zu diesem Themenbereich statt. Aus den Diskussionsbeiträgen konnte eine Reihe von Hinweisen aufgenommen werden, die Eingang in die in den übrigen Kapiteln beschriebenen Ergebnisse gefunden haben. Die wesentlichen Aspekte sind im Folgenden zusammengefasst:

Abgrenzung iLES von anderen Knotenpunkttypen

Es wird zwar die Gefahr gesehen, dass ein Diagramm zur Überprüfung, ob ein iLES infrage kommt, in der Praxis dazu führen könnte, dass iLES ohne Leistungsfähigkeitsnachweis angewendet werden. Ein solches Diagramm zur Vorauswahl wird jedoch aus Sicht der Praxis begrüßt. Es wird angeregt, den Einsatzbereich nicht deutlich abzugrenzen, sondern als Verlauf darzustellen, ähnlich wie die Darstellung der Einsatzbereiche in der R-FGÜ.

Der Einsatzbereich von iLES wird vorwiegend darin gesehen, vorhandene Einmündungen bei Problemen mit der Leistungsfähigkeit und/oder der Verkehrssicherheit ohne bauliche Eingriffe zu optimieren, ggf. auch als Interimslösung, bis die Einrichtung einer LSA oder der Umbau zum Kreisverkehr umgesetzt werden kann. Hierfür sind in der Regel keine Umbauten vorzusehen, sondern lediglich eine Ummarkierung erforderlich. Auch als Neubau wird eine Einsatzmöglichkeit gesehen, wenn eine Einmündung ohne iLES hoch ausgelastet wäre und Prognoseunsicherheiten nicht durch eine vergleichsweise aufwändige LSA abgefedert werden sollen.

Verfahren zur Berechnung der Leistungsfähigkeit

Die vorgeschlagene Modifizierung des HBS-Verfahrens wird als plausibel angesehen. Das von den Gutachtern beobachtete Phänomen, dass die akzeptierten Zeitlücken bei langen Wartezeiten geringer werden, wird aus Sicht der Praxis bestätigt. Ein Berechnungsverfahren, das diesen Effekt berücksichtigt, wäre für die Praxis zwar reizvoll, birgt jedoch die Gefahr, dass bei der Bemessung riskantes Fahrverhalten als leistungsfähigkeitssteigernder Effekt mit eingerechnet wird, was aus Sicherheitsgründen problematisch wäre.

Es wird diskutiert, ob die Länge eines iLES die Kapazität beeinflusst. Abgesehen von Fällen, in denen der iLES so kurz ist, dass er „nur“ als Aufstellraum fungiert, wird jedoch kein unmittelbarer Zusammenhang gesehen.

Aus Sicht der Praxis wäre eine Aussage wünschenswert, um wie viel Prozent ein iLES die Kapazität erhöht. Da die Kapazität bei vorfahrtgeregelten Knotenpunkten sehr stark von der Belastungskonstellation abhängig ist, lässt sich ein solcher Wert jedoch nicht zuverlässig angeben.

Es wird hinterfragt, inwieweit Einflüsse durch Verdeckung in der untergeordneten Zufahrt berücksichtigt werden. Die Situation ist bei Einmündungen mit iLES jedoch nicht grundsätzlich anders als bei Einmündungen ohne iLES, sodass durch die Modifizierung des vorhandenen HBS-Verfahrens keine methodischen Unterschiede auftreten werden.

Es wird angeregt, außer der Wartezeit in der untergeordneten Zufahrt auch Zeitverluste beim Einfädeln zu berücksichtigen. Es ist jedoch zu erwarten, dass diese Zeitverluste vergleichsweise gering sein werden. Sollte es beim Einfädeln zu größeren Zeitverlusten – beispielsweise durch hohe Hauptstrombelastungen – kommen, dann wären – abgesehen von Situationen mit unsymmetrischer Hauptstrombelastung – bereits erhebliche Probleme beim Einbiegen zu erwarten und ein iLES ohnehin nicht anwendbar.

Es wird die Frage gestellt, ob die Ortskenntnis bzw. die Kenntnis der Regelung mit iLES Einfluss auf die Kapazität hat. Erfahrungen mit iLES haben gezeigt, dass das Fahrverhalten anfangs sehr zögerlich ist, mit zunehmender Übung und Erfahrung mit iLES aber zügiger wird. Diese Erfahrungen bestätigen, dass eine Vermittlung der Verkehrsregelung durch entsprechende Gestaltung und Beschilderung sehr wichtig ist und erst nach einer Eingewöhnungsphase die volle Leistungsfähigkeit zur Verfügung steht.

Verkehrssicherheit

In der Praxis wird die Wirkung eines iLES im Hinblick auf die Verkehrssicherheit positiv eingeschätzt. Insbesondere in NRW werden iLES nicht nur als leistungsfähigkeitssteigerndes Element verwendet, sondern auch mit dem Ziel, die Verkehrssicherheit an Knotenpunkten mit Sicherheitsdefiziten zu verbessern. Konkrete Zahlen konnten nicht genannt werden. Im Nachgang des Workshops wur-

den für den Knotenpunkt Haxterhöhe Unfalldaten für Zeiträume vor und nach dem Umbau übergeben, die keine wesentlichen Veränderungen des Unfallgeschehens zeigen.

Es wird darauf hingewiesen, dass sowohl in der untergeordneten Zufahrt (Strom 4) als auch in der übergeordneten Zufahrt (Strom 8) Hinweisschilder erforderlich sind, die das Prinzip des iLES erläutern. Auch für den Strom 8 sind Hinweisschilder unerlässlich, da sich gezeigt hat, dass ansonsten das Verhalten der Einbieger als Vorfahrtmissachtung gedeutet wird und Gefahrenbremsungen durchgeführt werden, teilweise mit der Folge von Auffahrunfällen.

Länge des iLES

Es wird bestätigt, dass die Länge des iLES von der zulässigen Geschwindigkeit abhängig gemacht werden muss, wodurch sich indirekt verschiedene Längen für die Anwendung innerhalb oder im Vorfeld bebauter Gebiete ergeben. Innerhalb bebauter Gebiete ist die Funktion als Beschleunigungsstreifen im Gegensatz zum Vorfeld bebauter Gebiete (und außerhalb bebauter Gebiete) nachrangig. Innerhalb bebauter Gebiete wird die Auffassung geteilt, dass die Mindestlänge von iLES bei 30 m liegen sollte, wobei auch kürzere Anwendungsfälle nicht ausgeschlossen werden sollten, da auch sehr kurze iLES eine Verbesserung des Verkehrsablaufs herbeiführen können. Als maximale Länge werden 60 m gesehen. Im Vorfeld bebauter Gebiete wird eine empfehlenswerte Länge bei 100 m gesehen, eine Mindestlänge bei 60 m, wobei die Länge von der zulässigen Geschwindigkeit und dem Lkw-Anteil abhängig gemacht werden muss. Außerhalb bebauter Gebiete (der Einsatzbereich wird in der Forschungsarbeit nicht behandelt), werden noch größere Längen vorgeschlagen. Als Höchstlänge im Vorfeld bebauter Gebiete werden 200 m gesehen. Bei großen Längen besteht die Gefahr, dass der Einfädungsstreifen zum Überholen missbraucht wird.

Querungsmöglichkeiten für Fußgänger/ Radfahrer

Es wird das Problem gesehen, dass Einmündungen mit iLES für querende Fußgänger und Radfahrer unkomfortabel sind und Mittelinseln nur eine Lösung bei geringem Querungsbedarf sein können. Es ist große Sorgfalt auf die Auswahl der Lage der Mittelinsel zu legen, da wegen der großen Um-

wegsensibilität vorschriftswidriges Fahren auf der falschen Straßenseite oder gefährliches Überqueren über den inneren Knotenpunktbereich auftreten könnte. Tendenziell ist eine Mittelinsel vor Beginn des Linksabbiegestreifens günstiger, da Radfahrer dann auf der richtigen Seite fahren und die Einmündung nicht überqueren brauchen. In Abhängigkeit der jeweiligen Situation und unter Berücksichtigung aller Fußgänger- und Radfahrerströme kann jedoch auch eine andere Lage der Mittelinsel günstiger sein. Zudem kommt ein iLES nur dann infrage, wenn Radfahrer – auch beim Ein- und Abbiegen – nicht auf der Fahrbahn fahren müssen. Es wird die Meinung geteilt, dass Einmündungen mit iLES bei nennenswertem Querungsbedarf von Fußgängern/Radfahrern wenig geeignet sind und in solchen Fällen anderen Lösungen der Vorzug gegeben werden sollte.

Ausstattung und Markierung

Da bislang keine einheitlichen Hinweisschilder für iLES existieren und die Gefahr gesehen wird, dass bei ungünstiger Gestaltung der Schilder Missverständnisse zur Vorfahrtregelung provoziert werden könnten, wird ein Vorschlag im Rahmen der Forschungsarbeit begrüßt. Insbesondere das Problem, dass ein Vorrang von Linkseinbiegern gegenüber Linksabbiegern suggeriert wird, sollte beachtet werden.

Es wird das straßenverkehrsrechtliche Problem eingebracht, ob der Strom 8 außerhalb bebauter Gebiete rechts an einfädelnden Fahrzeugen vorbeifahren darf oder ob er dann regelwidrig rechts überholen würde. Es wird angeregt, die verkehrsrechtliche Situation eingehend zu prüfen.

Die rechte Markierung des iLES sollte so ausgeführt werden, dass der iLES nicht den Eindruck eines zweiten Fahrstreifens erweckt. Eine unterbrochene Linie wird daher als ungeeignet angesehen. Es wird vorgeschlagen, am Anfang eine ununterbrochene Doppellinie zu markieren (Zeichen 295 StVO doppelt) und im Anschluss eine einseitig unterbrochene Doppellinie (Zeichen 296 StVO).

Es zeigt sich die Tendenz, dass vertikale Elemente (Schwellen, Leitmale etc.) zur Verdeutlichung der Verkehrsregelung verzichtbar sind und aus gestalterischen Gründen vermieden werden sollten.

Es wird die Frage gestellt, ob die annähernd dreieckige Markierung, die die Linksabbieger und die

Linkseinbieger jeweils auf der rechten Seite führen soll, dazu führt, dass Linksabbieger weiter hinten halten. Hierdurch könnte es zu den beobachteten Unfällen kommen, in denen Linksabbieger mit den entgegenkommenden Geradeausfahrern kollidierten. Es wird außerdem die Frage gestellt, ob und wie die Wartelinie für die Linksabbieger markiert werden sollte, um den Linkseinbiegern nicht einen Vorrang zu suggerieren. Es wird angeregt, im Rahmen der Forschungsarbeit eine Regellösung für die Markierung des gesamten Knotenpunkts mit iLES vorzuschlagen, die auch straßenverkehrsrechtlich abgestimmt ist.

Es wird diskutiert, ob am Anfang des iLES überhaupt eine ununterbrochene Linie markiert werden sollte. Es wird überwiegend die Meinung vertreten, dass eine Parallelstellung vor Beginn des Einfädels wichtig ist und eine solche Markierung entsprechend erfolgen sollte. Auch die Markierung einer Sperrfläche am Ende des iLES sollte erfolgen.

Es wird diskutiert, ob die Markierung von Schrägpfeilen auf dem iLES notwendig ist. Grundsätzlich wird die Meinung vertreten, dass die Situation auch durch Markierungen für alle verständlich und sicher gestaltet werden muss, wozu auch Schrägpfeile sinnvoll sein können.

9 Empfehlungen und Hinweise für die Anwendung

9.1 Einsatzmöglichkeiten

Eine Einmündung mit innenliegendem Einfädungsstreifen (iLES) kann als Alternative zu einer nicht signalisierten Einmündung eingesetzt werden, wenn ansonsten keine ausreichende Verkehrsqualität erreicht würde oder die Verkehrsqualität verbessert werden soll. Das Ausmaß der Kapazitätserhöhung ist jedoch begrenzt, eine pauschale Aussage zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit durch einen iLES ist wegen der zahlreichen Einflussgrößen nicht möglich. Im Vergleich mit einer Lichtsignalanlage (LSA) ist die Kapazitätserhöhung geringer, eine LSA kann bei gleichem Ausbaustandard noch in deutlich höheren Belastungsbereichen eingesetzt werden.

Der Einsatzbereich eines iLES ist im Hinblick auf die Kapazität also vor allem dann zu sehen, wenn eine Einmündung ohne iLES an der Grenze der Kapazität (Qualitätsstufe E oder knapp F) betrieben

wird oder eine etwas bessere Verkehrsqualität bei ansonsten ausreichender Verkehrsqualität (Stufe D oder besser) erreicht werden soll.

Ein iLES kann vor allem dann sinnvoll zum Einsatz kommen, wenn er ohne baulichen Aufwand allein durch Markierung und Beschilderung eingerichtet werden kann, da er dann eine kostengünstige Alternative zur Einrichtung einer LSA darstellt. Er kann dann entweder als Alternative zur Einrichtung einer LSA gesehen werden oder als Interimslösung bis zur Realisierung einer LSA.

In jedem Fall sollten in die Überlegungen weitere Knotenpunkttypen mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen auch über die Verkehrsqualität hinaus einbezogen werden. Infrage kommt insbesondere die Einrichtung einer vollständigen Signalisierung oder eine unvollständige Signalisierung des Knotenpunkts, ggf. in Verbindung mit einer Furt.

Die Untersuchung berücksichtigt ausschließlich iLES an Einmündungen und nicht an Kreuzungen. Wegen der erheblich größeren Komplexität (doppelt so große Anzahl an Konfliktströmen) sollen iLES nicht an Kreuzungen angewendet werden.

9.2 Verkehrssicherheit

Die Unfalluntersuchung hat gezeigt, dass Knotenpunkte mit iLES nicht unsicherer sind als Knotenpunkte ohne iLES. Teilweise werden iLES sogar als Maßnahme zur Erhöhung der Verkehrssicherheit eingesetzt. Die Betreiber sehen einen positiven Effekt auf die Verkehrssicherheit. Hier ist jedoch zu hinterfragen, ob der positive Effekt nicht allein daraus resultiert, dass eine Veränderung herbeigeführt wurde, die als ungewohnte Lösung ein hohes Maß an Aufmerksamkeit erfordert. Bei Knotenpunkten, die bereits Überlastungserscheinungen zeigen, kann eine Verbesserung der Verkehrssicherheit auch dadurch erfolgt sein, dass die Kapazität erhöht wurde und daraufhin auf riskantes Fahrverhalten zur Reduzierung der Wartezeiten (Akzeptanz kleiner Zeitlücken, „reindrängeln“) verzichtet werden konnte.

Ob iLES eine geeignete Maßnahme zur Erhöhung der Verkehrssicherheit darstellen und wie die Verkehrssicherheit im Vergleich mit anderen Maßnahmen (beispielsweise der Einrichtung einer LSA oder dem Umbau zum Kreisverkehr) zu beurteilen ist, müsste anhand einer Vorher-Nachher-Untersuchung mit großen Fallzahlen überprüft werden.

Die vorliegende Untersuchung zeigt mehrere Aspekte auf, die im Hinblick auf die Verkehrssicherheit bei der Einrichtung von iLES beachtet werden sollten:

- 1) Es ist großer Wert auf die Vermittlung der Verkehrsregelung mit iLES zu legen. Hinweise hierzu finden sich im Kapitel 9.4.
- 2) Die Markierung muss das Verstehen der Verkehrsregelung unterstützen und insbesondere die Vorrangregelung der Linksabbieger und der Geradeausfahrer gegenüber den Linkseinbiegern vermitteln.
- 3) Eine Einmündung mit iLES ist vergleichsweise komplex. Ein Knotenpunkt sollte daher nicht mit einem iLES ausgestattet werden, wenn eng benachbart weitere Knotenpunkte liegen, wodurch die Komplexität weiter erhöht und die Fahrer evtl. überfordert würden.
- 4) Ein iLES sollte nur dann eingerichtet werden, wenn die übrigen Elemente des Knotenpunkts und des Umfelds nicht ungewöhnlich sind. Aspekte, die die Anforderungen an das Begreifen der Situation zusätzlich erhöhen, sollten vermieden werden.
- 5) Ein iLES kann nur dann eingerichtet werden, wenn ein Linksabbiegestreifen vorhanden ist. Ansonsten würden der zu beachtende Linksabbiegerstrom und der beim Einfahren in den iLES nicht zu beachtende Geradeausfahrerstrom auf einem Fahrstreifen geführt. Außerdem ist beim Fehlen eines Linksabbiegestreifens in der Regel auch keine Fläche zur Realisierung eines iLES vorhanden.

9.3 Fußgänger und Radfahrer

Bei der Betrachtung der Belange von Fußgängern und Radfahrern ist zu unterscheiden zwischen Fußgängern und Radfahrern, die im Zuge der übergeordneten Richtungen gehen bzw. fahren und dabei den untergeordneten Knotenpunktarm überqueren, und Fußgängern und Radfahrern, die die übergeordneten Knotenpunktarme überqueren.

Das Überqueren der übergeordneten Knotenpunktarme ist an Einmündungen ohne iLES einfach realisierbar, da die Fläche gegenüber dem Linksabbiegestreifen zur Verfügung steht. Der Einsatz eines iLES nimmt diese Fläche in Anspruch, sodass sich die Überquerbarkeit einer Einmündung mit iLES er-

heblich verschlechtert. Als Stellen für eine Überquerungsmöglichkeit kommen die Fläche vor dem Linksabbiegestreifen und die Fläche hinter dem Ende des iLES infrage. Welche der beiden Möglichkeiten angeboten wird, ist im Einzelfall in Abhängigkeit von den Hauptquellen und -zielen zu entscheiden. Für linkseinbiegende Radfahrer ist eine Überquerungsstelle vor dem Linksabbiegestreifen tendenziell günstiger, da dann der untergeordnete Knotenpunktarm nicht überquert werden braucht und nicht auf der linken Seite gefahren werden muss. Für linksabbiegende Radfahrer ist hingegen die Lage hinter dem iLES günstiger, da dann dieser Strom nicht auf der linken Seite fahren muss. In jedem Fall ist zu beachten, dass deutliche Umwege notwendig werden, mit der Gefahr, dass regelwidrig im unmittelbaren Knotenpunktbereich überquert wird.

Die Führung von Fußgängern und Radfahrern über den untergeordneten Knotenpunktarm von Einmündungen mit iLES ist grundsätzlich in gleicher Weise möglich wie an Knotenpunkten ohne iLES. Zweirichtungsradwege sollten vermieden werden, um den Grad der Komplexität gering zu halten. Es ist allerdings zu bedenken, dass Knotenpunkte, an denen ein iLES angewendet werden soll, in der Regel stark belastet sein werden und damit zumindest für Fußgänger lange Wartezeiten auftreten können.

Der Einsatz eines iLES steht damit in Konkurrenz zu den Belangen von Fußgängern und Radfahrern. Sie sollten nur dann zum Einsatz kommen, wenn kein nennenswerter Überquerungsbedarf – insbesondere über die übergeordneten Knotenpunktarme – vorliegt. Für Radfahrer müssen für alle nachgefragten Beziehungen Radwege im Seitenraum zur Verfügung stehen. In jedem Fall sollten auch Alternativen geprüft werden.

9.4 Gestaltung

Bei der Gestaltung eines Knotenpunkts mit iLES ist besonderer Wert auf die Funktionalität und auch auf die Begreifbarkeit zu legen. Der Knotenpunktentwurf soll sich grundsätzlich an den Vorgaben der RAS_t orientieren. Auf folgende Aspekte ist im Zusammenhang mit einem iLES besonders einzugehen:

- Länge, Breite und Gestaltung des Endes des iLES,

- Markierung des unmittelbaren Knotenpunktbereichs,
- Markierung des iLES,
- Beschilderung zur Vermittlung der Verkehrsregelung.

Auf diese Aspekte wird im Folgenden eingegangen.

9.4.1 Gestaltung des iLES

Der iLES übernimmt zwei wesentliche Aufgaben: Er bietet einen Raum, durch den das Einbiegen und das anschließende Einfädeln in den durchgehenden Geradeausfahrstreifen unterbrochen werden kann, und er bietet die Möglichkeit zum Beschleunigen, um das Einfädeln zu erleichtern. Die Funktion als Aufstellraum bewirkt bereits einen Großteil des Kapazitätswachses des iLES, hierfür ist nur eine geringe Länge erforderlich. Diese Mindestlänge ist erreicht, wenn sich das größte regelmäßig vorkommende Fahrzeug darin aufstellen kann, sie beträgt also in der Regel mindestens 20 m. Diese Mindestlänge sollte jedoch nur dann zum Einsatz kommen, wenn ein Beschleunigen aufgrund geringer Geschwindigkeiten und einer großen Zahl an ausreichenden Zeitlücken für das Einfahren in den durchgehenden Fahrstreifen unnötig ist.

Um das Einfädeln zu ermöglichen und zu erleichtern, sollte die Länge über das Mindestmaß hinaus vergrößert werden. Die Länge für die Beschleunigungsfunktion hängt von der tatsächlichen Geschwindigkeit auf dem Geradeausfahrstreifen, auf den gewechselt wird, ab, von der Zahl der zum Fahrstreifenwechsel ausreichenden Zeitlücken und vom Schwerverkehrsanteil des Linkseinbiegerstroms. Je höher die Geschwindigkeiten und der Schwerverkehrsanteil und je geringer die Zahl der Zeitlücken, desto länger sollte der iLES sein. Für Geschwindigkeiten von 50 km/h bzw. 60 km/h sollte die Länge des iLES zwischen 30 und 60 m liegen. Für höhere Geschwindigkeiten, insbesondere auch im Vorfeld bebauter Gebiete, ist eine Länge

von 100 m empfehlenswert, mindestens jedoch 60 m.

Zu große Längen sollten vermieden werden, um den Eindruck eines Überholfahrstreifens zu vermeiden. Hinzu kommen Kosten- und Umfeldaspekte.

Die Breite eines iLES sollte den Anforderungen eines Abbiegestreifens in der jeweiligen Situation entsprechen. Er sollte keinesfalls zu schmal ausgeführt werden, um nicht Einschränkungen bei der Nutzbarkeit oder eine verringerte Akzeptanz zu bewirken. Ggf. sollte die Befahrbarkeit für Lkw und Lastzüge mit Schleppkurven überprüft werden. Zu beachten ist, dass zum gleichgerichteten Geradeausfahrstreifen eine einseitig unterbrochene Doppellinie empfohlen wird, die einen zusätzlichen Breitebedarf von 36 cm verursacht. Sollte nicht die erforderliche Breite realisierbar sein oder bauliche Maßnahmen zur Schaffung der notwendigen Breite notwendig werden, dann sollten die Anwendung eines iLES kritisch hinterfragt und andere Alternativen geprüft werden.

Das Ende des iLES sollte so gestaltet werden, dass der Vorrang der Fahrzeuge auf dem Geradeausfahrstreifen deutlich bleibt. Lösungen, die das Verflechten nach dem Reißverschlussprinzip nahelegen, sollten vermieden werden, da durch das Reißverschlussprinzip der Verkehrsablauf auf dem durchgehenden Fahrstreifen beeinträchtigt würde. Der iLES sollte eine Markierung als endender Fahrstreifen erhalten, in der Regel mit Sperrfläche.

9.4.2 Markierung

Bei der Markierung ist großer Wert darauf zu legen, dass das Begreifen der Verkehrsregelung unterstützt wird. Die wesentlichen Elemente sind im Folgenden beschrieben und in Bild 46 dargestellt:

- Markierung der annähernd dreieckigen Fläche zur rechten Führung der Linksab- und -einbieger und zur Abtrennung der Ab-/Einbiegestreifen vom durchgehenden Geradeausfahrstreifen.

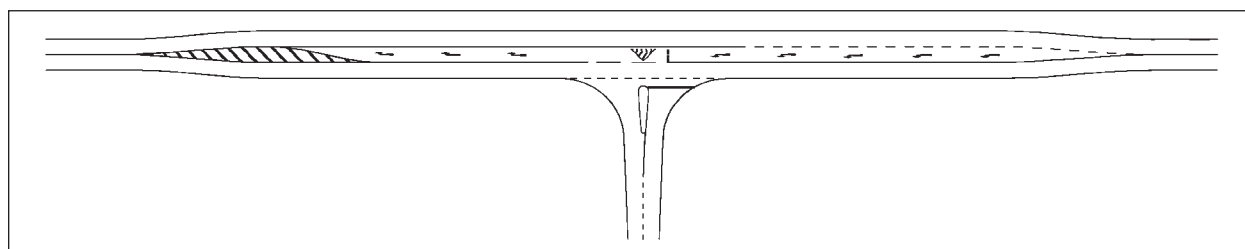


Bild 46: Vorschlag für die Markierung eines Knotenpunkts mit iLES außerhalb bebauter Gebiete (erfordert Zeichen 206 StVO)

Diese sollte gemäß RMS erfolgen. Außerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete sollte die Innenfläche als Sperrfläche markiert werden, innerhalb bebauter Gebiete kann darauf ggf. verzichtet werden.

- Trennung von iLES und gleichgerichtet verlaufendem Geradeausfahrstreifen. Die Trennung sollte im vorderen Bereich als durchgehender Doppelstrich markiert werden, damit die Fahrzeuge gleichgerichtet werden und eine ausreichende Verkehrsbeobachtung erzwungen wird. Im hinteren Bereich soll die Trennung als einseitig unterbrochener Doppelstrich markiert werden.
- Trennung von iLES und Geradeausfahrstreifen in entgegengesetzter Richtung. Diese Trennung sollte als ununterbrochene Linie oder als ununterbrochene Doppellinie erfolgen. Das Ende des iLES ist so zu gestalten, dass die Richtungstrennung verdeutlicht wird und der iLES auf keinen Fall als Überholfahrstreifen für die Gegenrichtung genutzt wird.
- Wartelinie am Ende des Linksabbiegestreifens. Die Wartelinie soll als unterbrochener Querstrich markiert werden. Wichtig ist die Markierung als unterbrochene Linie, um dem Linkseinbieger nicht zu suggerieren, dass der Linksabbieger ihm gegenüber wartepflichtig sei. Die Wartelinie soll senkrecht zur Fahrtrichtung der Geradeausfahrstreifen erfolgen.
- Haltlinie in der untergeordneten Zufahrt. Die Haltlinie soll als durchgehender Querstrich markiert werden. Auf die Markierung einer Haltlinie darf auf keinen Fall verzichtet werden, um den Eindruck zu vermeiden, der Linkseinbiegerstrom sei anderen Strömen bevorrechtigt.
- Pfeilmarkierungen auf dem iLES. Auf dem iLES sollten Pfeile („Richtungspfeile auf endenden Fahrstreifen“ nach RMS) markiert werden, um zu verdeutlichen, dass der iLES endet. Innerhalb bebauter Gebiete kann ggf. darauf verzichtet werden, wenn das Ende auch ohne Pfeile problemlos und eindeutig erkennbar ist.

Vertikale Elemente zur Trennung der Fahrrichtungen erscheinen nicht notwendig und sollten aus gestalterischen Gründen vermieden werden. Sollten sie im Einzelfall Anwendung finden, so sollte eine Trennung von iLES und durchgehendem Geradeausfahrstreifen bereits am Ende des Linksabbiegestreifens beginnen, um zu verhindern, dass rechts daran vorbei gefahren wird.

9.4.3 Beschilderung

Neben der üblichen StVO-Beschilderung und der wegweisenden Beschilderung sollten Schilder verwendet werden, die die Verkehrsregelung erläutern. Diese sollten sowohl in der untergeordneten Zufahrt eingesetzt werden als auch in der rechtsliegenden übergeordneten Zufahrt (Strom 8), da die Gefahr besteht, dass ein geradeausfahrender Fahrer abrupt abbremst im Glauben, dass der Linkseinbieger ihm die Vorfahrt nehmen würde.

Ein Schild in der untergeordneten Zufahrt muss alle für den Linkseinbieger relevanten Ströme enthalten, skizzenhaft die Geometrie des Knotenpunkts und außerdem die Vorfahrtregelung verdeutlichen.

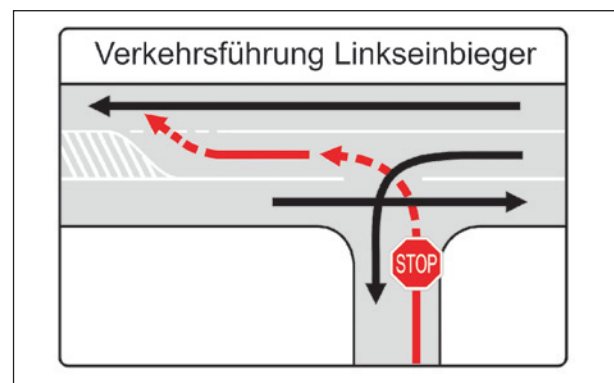


Bild 47: Vorschlag für ein Schild in der untergeordneten Zufahrt (für Strom 4)

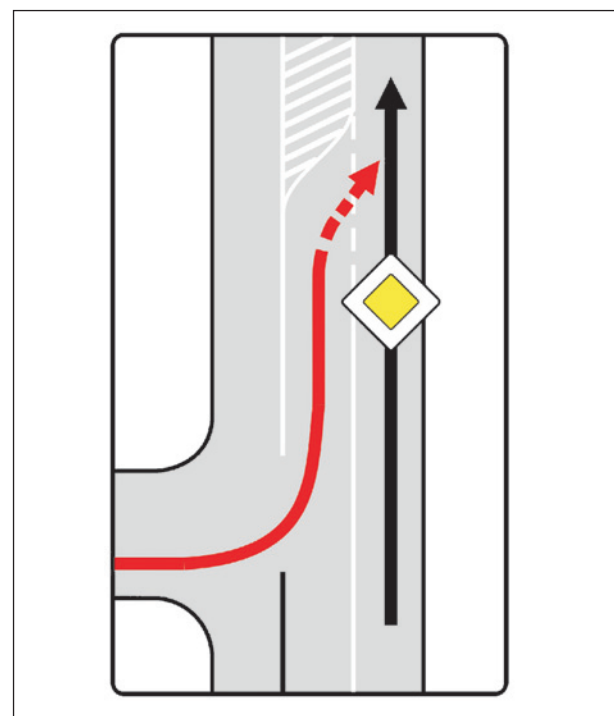


Bild 48: Vorschlag für ein Schild in der übergeordneten Zufahrt (für Strom 8)

Insbesondere der Vorrang der Linksabbieger gegenüber den Linkseinbiegern muss deutlich werden. Einen Vorschlag für ein Schild für die untergeordnete Zufahrt enthält Bild 47.

In der übergeordneten Zufahrt muss Strom 8 verdeutlicht werden, dass Linkseinbieger in die Mitte einfahren, von dort auf den Geradeausfahrstreifen wechseln und der Geradeausfahrer dabei den Vorrang behält. Ein Vorschlag für ein entsprechendes Schild enthält Bild 48.

Textvorschlag für die RASt

Im Folgenden ist ein Textvorschlag aufgeführt, der Eingang in die RASt finden könnte und der die wesentlichen Aspekte von innenliegenden Einfädelungsstreifen zusammenfasst. Der folgende Absatz wäre in Ziffer 5.3.2 der RASt zwischen dem Absatz zu Einmündungen oder Kreuzungen mit vorfahrregelnden Verkehrszeichen und dem Absatz zu Einmündungen oder Kreuzungen mit Lichtsignalanlage einzufügen.

Die Anlage eines innenliegenden Linkseinfädelungsstreifens an Einmündungen mit vorfahrregelnden Verkehrszeichen ist geeignet, wenn die Einsatzkriterien für Einmündungen mit vorfahrregelnden Verkehrszeichen erfüllt sind und darüber hinaus

- *die Einmündung ansonsten eine geringe oder keine ausreichende Verkehrsqualität bietet und*
- *mit dem innenliegenden Einfädelungsstreifen eine deutliche Verbesserung der Verkehrsqualität erreicht werden kann und*
- *der innenliegende Einfädelungsstreifen mit geringem Aufwand hergestellt werden kann.*

Ein innenliegender Linkseinfädelungsstreifen ist – zusätzlich zu den Kriterien für Einmündungen mit vorfahrregelnden Verkehrszeichen – nicht geeignet, wenn

- *ein nennenswerter Überquerungsbedarf von Fußgängern und/oder Radfahrern über die bevorrechtigten Knotenpunktarme gegeben ist oder*
- *keine Radwege auf den von Radfahrern nachgefragten Beziehungen vorhanden sind.*

Der folgende Textvorschlag ergänzt Kapitel 6.3.3 um Gestaltungshinweise für iLES.

Wird ein innenliegender Linkseinfädelungsstreifen verwendet, so sollte seine Länge zwischen 30 und 60 m liegen. Ein Mindestmaß von 20 m sollte nicht unterschritten werden. Im Vorfeld bebauter Gebiete bei zulässigen Geschwindigkeiten von mehr als 50 km/h ist eine Länge von 100 m empfehlenswert, ein Mindestmaß von 60 m sollte nicht unterschritten werden.

Die Breite des innenliegenden Einfädelungsstreifens orientiert sich an der Breite der durchgehenden Fahrstreifen. Er sollte nicht mehr als 25 cm schmaler sein als der durchgehende Fahrstreifen und ein Maß von 3,00 m nicht unterschreiten.

Die Verkehrsregelung mit innenliegendem Einfädelungsstreifen sollte sowohl in der untergeordneten Zufahrt als auch in der rechts davon liegenden übergeordneten Zufahrt mit geeigneten Hinweisschildern verdeutlicht werden.

Für Fußgänger und Radfahrer sind geeignete Überquerungsstellen über die übergeordneten Knotenpunktarme vorzusehen. Hierfür bieten sich Mittelinseln vor dem Linksabbiegestreifen und/oder hinter dem innenliegenden Einfädelungsstreifen an.

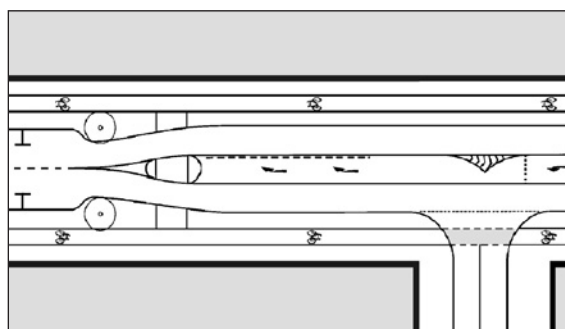


Bild 49: Knotenpunkt mit innenliegendem Einfädelungsstreifen innerhalb bebauter Gebiete mit Überquerungsmöglichkeit mit Mittelinsel hinter dem innenliegenden Einfädelungsstreifen

10 Literatur

- [1] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Das Unfallgeschehen bei Nacht, Heft M 172, Bergisch Gladbach 2005
- [2] ARNOLD et al.: Hochrechnungsverfahren für Kurzzeitzählungen auf Hauptverkehrsstraßen in Großstädten; Forschungsbericht aus dem Forschungsprogramm des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und der Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen e. V., erschienen in der Reihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1007, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), Bonn 2008
- [3] DURTH et al.: Untersuchung von plangleichen Knotenpunkten mit innenliegenden Einfädungsstreifen, erschienen in Straßenverkehrstechnik (SVT) 01/1998, S. 10 bis 15, Fachgebiet Straßenwesen, TU Darmstadt, Darmstadt 1998
- [4] ECKSTEIN, K., MEEWES, V.: Sicherheit von Landstraßen-Knotenpunkten – Knotenpunktgrundformen, Verkehrsregelung, Zufahrten; Mitteilungen des Institutes für Straßenverkehr Köln (ISK), Mitteilung Nr. 40, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV), Köln 2002
- [5] FGSV: ESN – Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2003
- [6] FGSV: HBS – Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Ausgabe 2005, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2005
- [7] FGSV: Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation, FGSV Nr. 388, Köln 2006
- [8] FGSV: Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen – Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten. Ausgabe 2003, Arbeitsgruppe „Verkehrsführung und Verkehrssicherheit“, FGSV Verlag GmbH, Köln 2001
- [9] FGSV: RAL – Richtlinien für die Anlage von Landstraßen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Entwurf 2008
- [10] FGSV: RAS-K – Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Knotenpunkte; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1988
- [11] FGSV: RAS-N – Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Leitfaden für die funktionale Gliederung des Straßennetzes; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1988
- [12] FGSV: RAS-Q – Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Querschnitte; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1996
- [13] FGSV: RAS-T – Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2006
- [14] FGSV: RIN – Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2008
- [15] FGSV: R-FGÜ – Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2001
- [16] FGSV: RMS – Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS), Teil 2: Anwendung von Fahrbahnmarkierungen (RMS-2); Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1980
- [17] HANSON, C.: Median Acceleration Lane Study Report; Minnesota Department of Transportation, District 6, Traffic Office, Rochester, Minnesota (USA) 2002, URL: http://www.dot.state.mn.us/trafficeng/research/data/MAL_final.pdf, letzter Zugriff: 09.12.2009
- [18] HARDERS, J.: Grenz- und Folgezeitlücken als Grundlage für die Berechnung der Leistungsfähigkeit von Landstraßen; Forschungsbericht aus dem Forschungsprogramm des Bundesministers für Verkehr und der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e. V., erschienen in der Reihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 216, Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau (Hrsg.), Bonn-Bad Godesberg 1976
- [19] KNEIFEL, A.: Untersuchung innenliegender Einfädungsstreifen; Diplomarbeit, Hochschule für Technik Stuttgart, Göppingen 2001

-
- [20] LOTZ, T.: Untersuchung des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit von Knotenpunkten mit innenliegenden Linkseinbiegestreifen außerhalb bebauter Gebiete; Diplomarbeit, TU Berlin, Fachgebiet Straßenplanung und Straßenbetrieb, Berlin 2010
- [21] MATENA, S.: Sicherheitsaspekte innenliegender Einfädungsstreifen an plangleichen Knotenpunkten außerorts; erschienen in Straßenverkehrstechnik (SVT) 06/2007, S. 305-309, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach 2007
- [22] MATENA, S.: Sicherheitsaspekte innenliegender Einfädungsstreifen an plangleichen Knotenpunkten außerorts; VSVI-Seminar vom 25.02.2008 in Rendsburg, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Rendsburg 2008
- [23] StVO: Straßenverkehrs-Ordnung vom 16. November 1970 (Bundesgesetzblatt Teil I, S. 1565), aktuell gültige Fassung, zuletzt geändert mit Verordnung vom 5. August 2009 (Bundesgesetzblatt Teil I, S. 1565)

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2007

- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland
Baier, Klemp, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50
- V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00
- V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO
Böhl, Mause, Kloppe, Brückner € 16,50
- V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer
Gerlach, Oderwald € 15,50
- V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen
Lemke € 13,50
- V 154: Autobahnverzeichnis 2006
Kühnen € 22,00
- V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht
Bartolomaeus € 12,50
- V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00
- V 157: Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317
Klößner, Fleisch, Balzer-Hebborn, Ellmers, - Friedrich, Kübler, Lukas € 14,50
- V 158: Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen
Wirtz € 13,50
- V 159: Luftschadstoffe an BAB 2006
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 160: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 25,50
- V 161: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe
Listl, Otto, Zackor € 14,50
- V 162: Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta
Grahl, Sander € 14,50

- V 163: Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrsabhängigen Steuerungen
Brilon, Wietholt, Wu € 17,50
- V 164: Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,00

2008

- V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM₁₀-Emissionen von Straßen
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, - Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50
- V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 26,00
- V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50
- V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit
Frost, Schulze € 15,50
- V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen
Wermuth, Wulff € 15,50
- V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen
Roos, Zimmermann, Riffel, Cypra € 16,50
- V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)
Weinert, Vengels € 17,50
- V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenporiger Straßenbeläge
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00
- V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM_x-Belastung an Straßen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. -
Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, - Becker, Richter, Schmidt € 29,00
- V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50

2009

- V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw
Schulze, Hübel € 13,00
- V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50
- V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen € 26,00
- V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50
- V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn
Hausmann € 14,50
- V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50

V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00

V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00

V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern
Alrutz, Bohle, Müller, Prahlow, Hacke, Lohmann € 19,00

V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00

V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst
Badelt, Moritz € 17,00

V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes
Kirschfink, Aretz € 16,50

2010

V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00

V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, -Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, -Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50 -

V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Lank, Steinauer, Busen € 29,50

V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008
Fitschen, Nordmann € 27,00
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme
Gärtner, Egelhaaf € 14,00

V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen
Klößner € 14,50

V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50

V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen
Londong, Meyer € 29,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung
Bark, Kutschera, Baier, Klemps-Kohnen € 16,00

V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008
Lensing € 16,50

V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50

V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden - Messzeitraum 2006/2007
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

V 200: Ermittlung von Standarts für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen
Bäumer, Hautzinger, Kathmann, Schmitz, Sommer, Wermuth € 18,00 -

V 201: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen
Vieten, Dohmen, Dürhager, Legge € 16,00

2011

V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM₁₀-Belastung
Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann, Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00 -

V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit
Dohmen, Vieten, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM₁₀-Belastung
Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009
Fitschen, Nordmann € 27,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN
Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50

V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen
Becker € 16,00

V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten
Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50

V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden - Messzeitraum 2008/2009
Beer, Surkus, Kocher € 14,50

2012

V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)
Maier, Berger € 18,50

V 211: Innliegende Linkseinfädungsstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete
Richter, Neumann, Zierke, Seebo € 17,00

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Komplettverzeichnis erhältlich.