

## Einsatzkriterien und Gestaltungshinweise für außerörtliche Einmündungen und Kreuzungen

FA 2.373

Forschungsstellen: Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen  
(ISE) (Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. R. Roos)

DTV-Verkehrsconsult GmbH, Aachen

Bearbeiter: Zimmermann, M. / Kathmann, T. /  
Köhler, B. / Hermes, T. / Auer, C. /  
Machnik, C.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digi-  
tale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: September 2020

### 1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des FE-Vorhabens wurden für Einmündungen und Kreuzungen im Zuge von einbahnig zweistreifigen Landstraßen konkrete Empfehlungen für deren Einsatz und insbesondere die Gestaltung ausgesprochen. Hieraus ergeben sich drei Hauptfragestellungen.

In Ergänzung zu den Erkenntnissen aus ZIMMERMANN et al. (2018) wird das Sicherheitsniveau von verkehrszeichengeregelten Einmündungen und Kreuzungen nach der Abbiegeführung abgegrenzt. Die Rechtsabbiegeführung beinhaltet die Unterscheidung ohne/mit Dreiecksinsel wie auch die Vorfahrtregelungen "rechts vor links" / "Vorfahrt gewähren" nach der Dreiecksinsel. Mit einem Datenkollektiv von 289 Einmündungen und 131 Kreuzungen ohne LSA wird mit der ersten Forschungsfrage die sicherste Führung der Rechtsabbieger nach der Dreiecksinsel erörtert.

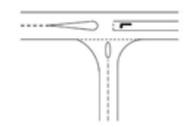
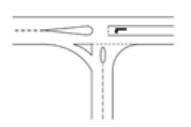
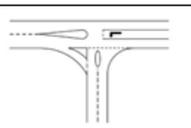
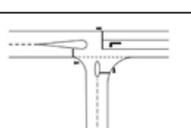
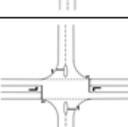
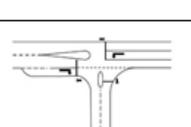
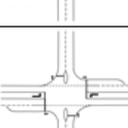
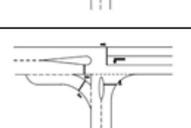
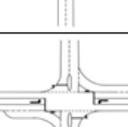
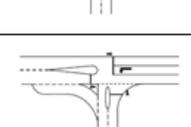
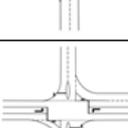
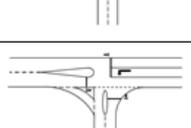
Ferner wird der Anhaltswert aus den RAL (2012) zur Überprüfung der Entscheidung für beziehungsweise gegen eine LSA konkretisiert. Dies erfolgt, indem zunächst konkrete Vorschläge für die jeweils sicherste Gestaltung verkehrszeichengeregelter beziehungsweise signalisierter Knotenpunkte erarbeitet werden. Diese werden dann gegenübergestellt, um belastbare Einsatzgrenzen für die Zweckmäßigkeit von LSA angeben zu können.

Als dritter Schwerpunkt wird an signalisierten Knotenpunkten die Frage der Sicherheitswirkung freier Rechtsabbieger sowie der unterschiedlichen Führung freier Rechtsabbieger mit Rechtsabbiegestreifen oder -keil erörtert.

Neben diesen Hauptfragestellungen wurden auch weitergehende Erkenntnisse zu den Auswirkungen bestimmter Randbedingungen der Knotenpunkte auf die Verkehrssicherheit erarbeitet.

### 2 Untersuchungsmethodik

Um die genannten Fragestellungen zu analysieren, war zunächst ein aussagekräftiges Untersuchungskollektiv auszuwählen. Die Auswahl der Knotenpunkte basierte auf einer ausführlichen Datenerhebung in den Bundesländern BB, BW, NI, NW, RP und SH, welche mehrstufig aufgebaut war. Die Datengrundlage bildete eine Datenbankabfrage aller klassifizierten Knotenpunkte, welche anschließend mithilfe von Luftbildern manuell eingeordnet und bauliche Details codiert zugeordnet wurden. Bestimmte Randbedingungen werden als Mindestausstattung eines Knotenpunkts definiert, deren Vorhandensein vorausgesetzt wird. Weitere Variablen, wie beispielsweise der Linksabbiegerschutz, wurden mit Front- beziehungsweise Heckkamerabildern aus dem Verkehrssicherheitscreening Baden-Württemberg beziehungsweise der Straßeninformationsdatenbank Nordrhein-Westfalen erhoben. Für den ersten Analyseschritt waren dann Knotenpunktkollektive zu bilden. Denn der erste Analyseschritt versucht, durch das Variieren einer Variablen zwischen den verschiedenen Kollektiven auf die Sicherheitsauswirkung dieser einen Variable Rückschlüsse zuzulassen (eindimensionale Sicherheitsuntersuchung). Er dient als Vorbereitung auf den zweiten Analyseschritt, bei dem ein multikriterieller Ansatz verfolgt wird, und soll erste Hinweise auf mögliche Einflüsse auf das Unfallgeschehen liefern. Die Modellbildung kann somit zielgerichtet und sachlogisch aufgebaut werden. Aufgrund einer identischen Kombination baulicher Elemente, werden diverse Kollektive definiert, um die am häufigsten vorkommenden Kollektive zu identifizieren. Für die Untersuchung ergeben sich daraus die zusammengestellten Kollektive, welche in ihrer Gestaltung in etwa den in den RAL (2012) vorgesehenen Varianten entsprechen und mit welchen die Forschungsfragen bestmöglich erörtert werden können. Beispielsweise unterscheiden sich die Kollektive E01 und E02/E03 in der Führung der Rechtsabbieger ohne (RA4, RA5) oder mit (RA3) Dreiecksinsel. In den E02- und E03-Kollektiven variiert die Vorfahrtregelung "rechts vor links" / "Vorfahrt gewähren" nach der Dreiecksinsel. Gleiches gilt für die Kreuzungskollektive. Die signalisierten Knotenpunkte sind mit dem Rechtsabbiegetyp RA2/1, RA2/2 oder RA1 gestaltet. Die Unterscheidung der Kollektive bezieht sich auf die Gestaltung mit/ohne Rechtsabbiegestreifen wie auch mit/ohne Dreiecksinsel. Darüber hinaus werden in den Kollektiven EM4 und KM4 freie Rechtsabbieger mit einem Rechtsabbiegestreifen geführt, wohingegen diese in den Kollektiven EKM4 und KKM über einen Keil abbiegen. Weitere Randbedingungen, wie beispielsweise die Linienführung oder der Kreuzungswinkel, werden den Knotenpunkten zugeordnet, um zusätzlich deren Auswirkung auf die Verkehrssicherheit zu analysieren. Um Unfallkenngrößen zu bilden, werden der Knotenpunktauswahl Verkehrs- und Unfalldaten zugeordnet.

<b>Eimündungen ohne LSA (EO)</b>		RA4 und RA5	<b>EO1</b> 109 KP	<b>Kreuzungen ohne LSA (KO)</b>		RA4 und RA5	<b>KO1</b> 83 KP	
		RA3 mit Vorfahrtregelung „rechts vor links“ nach der Dreiecksinsel	<b>EO2</b> 87 KP			RA3 mit Vorfahrtregelung „rechts vor links“ nach der Dreiecksinsel	<b>KO2</b> 22 KP	
		RA3 mit Vorfahrtregelung „Vorfahrt gewähren“ nach der Dreiecksinsel	<b>EO3</b> 93 KP			RA3 mit Vorfahrtregelung „Vorfahrt gewähren“ nach der Dreiecksinsel	<b>KO3</b> 26 KP	
<b>Eimündungen mit LSA (EM)</b>		RA2 ohne Rechtsabbiegestreifen (Fall RA2/1)	<b>EM1</b> 25 KP		<b>Kreuzungen mit LSA (KM)</b>		RA2 ohne Rechtsabbiegestreifen (beidseitig Fall RA2/1) *Inkl. KP ohne Tropfen	<b>KM1</b> 65 KP (28 KP)
		RA2 mit Rechtsabbiegestreifen (Fall RA2/2)	<b>EM2</b> 15 KP				RA2 mit mindestens einem Rechtsabbiegestreifen (ein- oder beidseitig Fall RA2/2)	<b>KM2</b> 13 KP
		RA1 mit Signalisierung (RAL konform)	<b>EM3</b> 20 KP				RA1 mit mindestens einem freien Rechtsabbieger (unsignalisiert)	<b>KM4</b> 16 KP
		RA1 mit freiem Rechtsabbieger (unsignalisiert)	<b>EM4</b> 25 KP			RA1 mit mindestens einem freien Rechtsabbieger (unsignalisiert) mit Keil	<b>KKM4</b> 19 KP	
		RA1 mit freiem Rechtsabbieger (unsignalisiert) mit Keil	<b>EKM4</b> 26 KP					

**Bild 1: Untersuchungskollektive der Eimündungen und Kreuzungen**

Bei der Knotenpunktauswahl werden Knotenpunkte priorisiert, für die für alle Zufahrten DTV-Werte dokumentiert sind. Wenn der DTV nicht für alle Zufahrten eines Knotenpunkts aus Zählstellen vorliegt, das heißt in aller Regel an den untergeordneten Straßen fehlt, wird dieser mit einem geeigneten Verfahren geschätzt. Dabei gibt es zwei Varianten. Der erste Faktor wird getrennt nach den anschließenden Straßenklassen und auf Basis aller in der Datenbank vorhandenen Knotenpunkte mit vollständig vorliegenden DTV generiert. Wenn die Datengrundlage hierfür nicht ausreicht, wird ein vereinfachter Abschätzungsfaktor verwendet, welcher sich gleichfalls auf die Straßenwidmung und somit auf die Verkehrsbedeutung der Straße bezieht.

Die Unfalldaten beinhalten für alle beteiligten Bundesländer über drei Jahre die vollständigen digitalen Unfalldatensätze der Unfallkategorie 1 – 4 + 6 in einem Umkreis von 50 m um den plangleichen Knotenpunkt. Zusätzlich sind in NI, NW und RP die dreistelligen Unfalltypen in den Datensätzen enthalten.

In der Unfallanalyse ist nachweisbar, dass sich die mittleren Unfallkostensätze [P] an Knotenpunkten ohne LSA und die an Knotenpunkten mit LSA unterscheiden. Um dies zu berücksichtigen, werden im Weiteren angepasste Kostensätze verwendet, die für die zwei Kollektive jeweils nach dem Unfalltyp 2 und 3 differenziert sowie einen gemeinsamen Ansatz für die weiteren Unfalltypen (1/4/5/6/7) aufweisen.

Die Sicherheitsanalyse ist aus einer makroskopischen und mikroskopischen Unfallanalyse aufgebaut. Mit Box-Whisker-Diagrammen werden die aussagekräftigen Unfallkenngrößen gegenübergestellt, sodass sowohl die mittleren Unfallkenngrößen, der Median und die Streuung ersichtlich sind. Des Weiteren werden für die Detailanalyse ausgewählte dreistellige Unfalltypen untersucht, um die maßgebenden Konfliktsituationen an den unterschiedlich gestalteten Knotenpunkten herauszuarbeiten.

Die Regressionsanalyse wird im Rahmen der multikriteriellen Sicherheitsanalyse eingesetzt, um die Erkenntnisse aus den eindimensionalen Betrachtungen abzurunden. Das verallgemeinerte lineare Modell beschreibt den Zusammenhang zwischen der Unfallanzahl und den signifikanten unabhängigen Variablen anhand der Regressionskoeffizienten. Um das Unfallgeschehen abzubilden, wird die negative Binomialverteilung, eine log-lineare Verknüpfungsfunktion und entweder der DTV des Gesamtknotenpunkts oder der DTV der untergeordneten Zufahrt als Expositionsgröße in das Modell eingepflegt. Die Unfallschwere wird mit jeweils zwei nach der Unfallkategorie getrennten Modellen abgebildet.

### 3 Ergebnisse

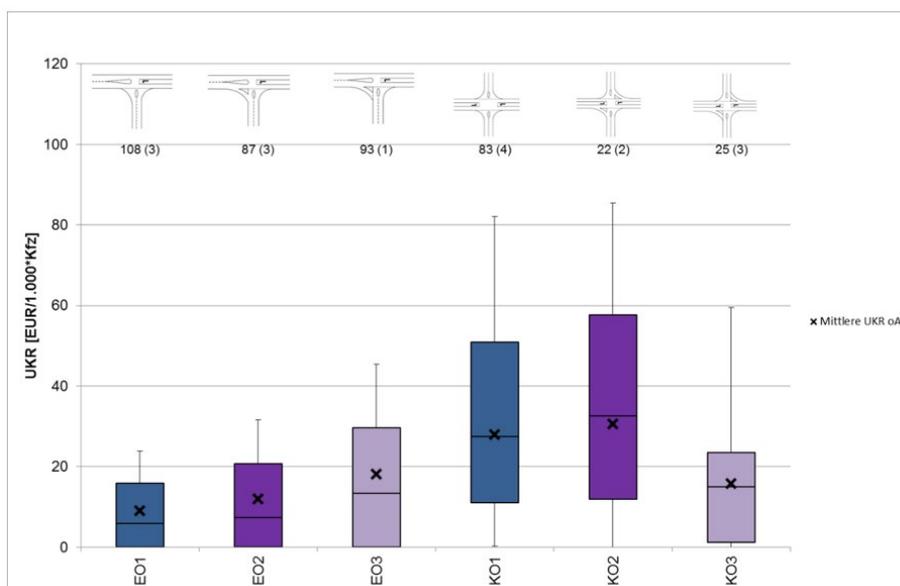
#### 3.1 Führung der Rechtsabbieger mit beziehungsweise ohne Dreiecksinsel

Verkehrszeichengeregelte Einmündungen sollen ohne Dreiecksinsel gestaltet werden, da im Allgemeinen die mittlere UKR oA am niedrigsten ist (Bild 2). Der Sicherheitsgewinn ergibt sich primär aus weniger Unfällen der Typen 211, das heißt zwischen einem "Linksabbieger mit einem entgegenkommenden Fahrzeug, das geradeaus durchfährt", und 302,

das heißt Unfällen nach "Einbiegen nach links mit einem Fahrzeug von links".

An unsignalisierten Kreuzungen wirkt sich die Knotenpunktgestaltung mit Dreiecksinsel und "Vorfahrt gewähren" positiv auf die mittlere UKR oA aus. Dass die empfohlene bauliche Gestaltung an Kreuzungen von der an Einmündungen abweicht, liegt an der divergierenden Verteilung der Unfalltypen, respektive an den unterschiedlichen Konfliktpunkten. Im Kollektiv der unsignalisierten Kreuzungen ist der Unfalltyp 321 zwischen einem "wartepflichtigen kreuzenden Fahrzeug aus der untergeordneten Zufahrt vor einem Fahrzeug von rechts", maßgebend.

Da aus der Datenerhebung hervorgeht, dass abhängig vom Bundesland einzelne Gestaltungsvarianten bevorzugt werden, soll vordringlich darauf geachtet werden, dass die Vorfahrtregelung an den unsignalisierten Knotenpunkten einheitlich wiederholt wird. Überdies wird an Kreuzungen die Vorfahrtregelung "Vorfahrt gewähren" nach der Dreiecksinsel als die sicherste Gestaltungsvariante empfohlen. Daraus lässt sich schließen, dass auch Einmündungen mit der Vorfahrtregelung "Vorfahrt gewähren" gestaltet werden sollen, wenn eine Dreiecksinsel angelegt ist.



**Bild 2: Statistische Verteilung der UKR im Kollektiv der unsignalisierten Knotenpunkte hinsichtlich der Fragestellung "Führung der Rechtsabbieger an unsignalisierten Knotenpunkten"**

Sowohl in der deskriptiven Analyse als auch im GLM erweist sich der Quotient aus dem DTV der untergeordneten zu der übergeordneten Zufahrt (ZU/ZÜ) als signifikante Einflussvariable an unsignalisierten Knotenpunkten. Mit zunehmendem Anteil der Verkehrsstärke in der untergeordneten Zufahrt, also potenziell mit zunehmendem Anteil an Ein- und Abbiegern, nimmt die mittlere UKR oA zu. Diese Abstufung wird auch im Prüfwert für die Anlage einer LSA an Einmündungen und Kreuzungen berücksichtigt.

#### 3.2 Anlage einer LSA

Im Vergleich der signalisierten Knotenpunktkollektive lässt sich ein leichter Sicherheitsvorteil für Knotenpunkte ohne Rechtsabbiegestreifen (EM1 beziehungsweise KM1), gegenüber den Knotenpunkten mit Rechtsabbiegestreifen (EM2 beziehungsweise KM2) feststellen. Dadurch, dass die Verkehrsströme erst später sortiert werden, wird ein unterschiedliches Fahrverhalten inklusive Geschwindigkeitswahl vermutet.

Wenn die Knotenpunkte ausschließlich nach der Knotenpunktgrundform und der Verkehrsregelung unterschieden werden, zeigt sich, dass sowohl für Einmündungen als auch Kreuzungen die UKR oA halbiert werden kann, wenn eine LSA angelegt ist.

In der makroskopischen Unfallanalyse liegt nicht in allen Kollektiven die UKR oA an Knotenpunkten mit Linksabbiegerschutz systematisch unter der UKR oA an Knotenpunkten ohne Linksabbiegerschutz. In der Detailanalyse zeigt sich jedoch, dass der Anteil der addierten Typ 2 + 3-Unfälle mit dem Linksabbieger-schutz rückläufig ist. Zudem zeigt sich bei einer gezielten Analyse von solchen Unfällen, die mit einem Vorgang beim Linksabbiegen zusammenhängen, dass an signalisierten Kreuzungen die reduzierte UKR der beim Linksabbiegen relevanten Unfalltypen mit dem vorhandenen Linksabbiegerschutz nachweisbar ist, an Einmündungen jedoch nicht für alle Kollektive. Durch die immer detailliertere und spezifischere Knotenpunkt-auswahl ist der geringe Stichprobenumfang einzubeziehen. Über die aggregierten Knotenpunktkollektive mit LSA lässt sich schlussfolgern, dass sich ein Linksabbiegerschutz positiv auf die mittlere UKR oA auswirkt, der Sicherheitsgewinn jedoch mit ca. 0,5 EUR/1 000 Kfz gering ausfällt.

Um eine detailliertere Prüfgröße zur Anlage einer LSA zu bestimmen, werden Bau- und Betriebskosten der LSA über den Barwertfaktor dem Nutzen aus der Differenz der mittleren UKR von Knotenpunkten ohne LSA zu Knotenpunkten mit LSA gegenübergestellt. Auf dieser Basis wird als Prüfwert ein DTV bestimmt, ab dem der Nutzen durch vermiedene Unfälle die Kosten durch den Anlagenbetrieb überschreitet. Als Kenngröße für die UKR mit LSA und Linksabbiegerschutz ergeben sich an Einmündungen 6,64 EUR/1 000 Kfz und an Kreuzungen 12,52 EUR/1 000 Kfz.

Mit zunehmendem Anteil ZU/ZÜ ergibt sich für Einmündungen eine 4-stufige Unterteilung bei der Empfehlung zur Anlage einer LSA mit Kenngrößen zwischen 15 000 Kfz/24 h und 2 100 Kfz/24 h (Bild 3). Bei Einmündungen mit Anteilen der untergeordneten Zufahrten von weniger als 20 % ist unter volkswirtschaftlichen Aspekten die Anlage einer LSA im Regelfall erst bei relativ hohen Verkehrsbelastungen naheliegend.

Für Kreuzungen variiert der Prüfwert mit drei Stufen schwächer zwischen 3 200 auf 900 Kfz/24 h, das heißt bei Kreuzungen führt die Anlage einer LSA bei nahezu allen Belastungskonstellationen, die oberhalb des üblichen Anwendungsbereichs der EKL 4 liegen, aus Sicherheitsgründen im Regelfall zu günstigeren volkswirtschaftlichen Gesamtkosten.

### 3.3 Freie Rechtsabbieger/Rechtsabbiegekeil

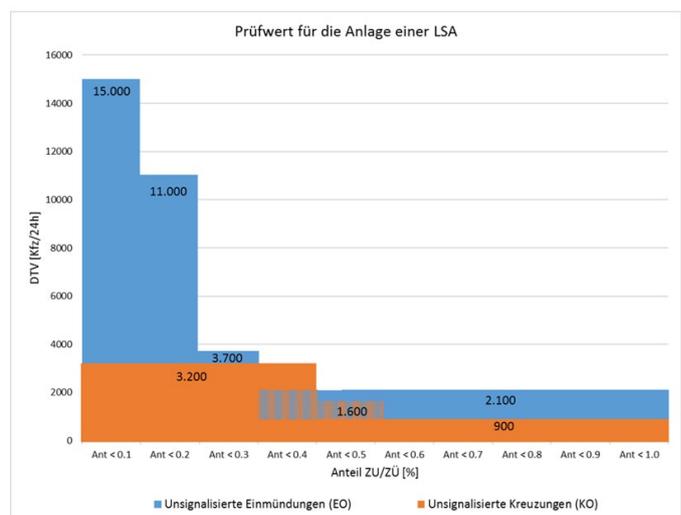
Wenn Rechtsabbieger aus der Signalisierung herausgenommen werden, ergibt sich daraus kein Sicherheitsnachteil. Auch die weitere Unterscheidung, ob diese mit einem Rechtsabbiegestreifen oder -keil geführt werden, weist auf ein vergleichbares Sicherheitsniveau in den Kollektiven EM3, EM4 und EKM4 hin, mit einem leichten Vorteil für Einmündungen, die mit einem Rechtsabbiegekeil gestaltet sind. Daraus folgt die Empfehlung,

dass beim Nachrüsten von Einmündungen mit einer LSA Rechtsabbieger nicht zwingend signalisiert werden müssen. Auch auf den Umbau des Knotenpunkts mit einem Rechtsabbiegestreifen kann verzichtet werden. Da an Kreuzungen die mittlere UKR der vollsignalisierten Knotenpunkte unter der mittleren UKR der Kollektive mit freiem Rechtsabbieger liegt, sollen dort freie Rechtsabbieger auch beim Umbau unterbunden werden.

## 4 Folgerungen für die Praxis

Auch wenn bereits in den RAL (2012) Gestaltungselemente in Abhängigkeit von der EKL festgelegt werden, bestehen für den Planer weiterhin parallele Auswahlmöglichkeiten bei der baulichen Gestaltung eines Knotenpunkts. Dadurch, dass sich bei der Analyse der verkehrszeichengeregelten Einmündungen erneut die Ausführung ohne Dreiecksinsel als die sicherste erwiesen hat, kann die Wahlfreiheit in zukünftigen Regelwerken noch enger gestaltet werden, um an Einmündungen die bestmögliche Verkehrssicherheit zu erzielen. Auch wenn diese Gestaltungsvariante nicht auf Kreuzungen übertragen werden kann, konnte auch für diese Knotenpunktgrundform weiterführende Erkenntnisse gewonnen werden. Durch die Anzahl der zu berücksichtigenden Verkehrsströme und somit zunehmende Komplexität des Knotenpunkts stellt die Variante mit "Vorfahrt gewähren" nach der Dreiecksinsel die sicherste Gestaltungsform dar.

Aktuell soll die Überprüfung der Anlage einer LSA für Straßen der EKL 3 ab einer Verkehrsstärke im Knotenpunkt von 5 000 Kfz/24 h erfolgen. Zukünftig wird empfohlen, dass der Prüfwert für die Anlage einer LSA sowohl nach Einmündungen und Kreuzungen unterschieden wird, als auch feiner differenziert nach dem Anteil der ZU/ZÜ. Da Kreuzungen ohne LSA mit einer höheren UKR belastet sind, ist die Anlage einer LSA bereits bei niedrigeren Verkehrsstärken zu prüfen.



**Bild 3:** Prüfwert für die Anlage einer LSA an Einmündungen und Kreuzungen unterteilt nach dem Quotienten aus dem DTV der untergeordneten zu der übergeordneten Zufahrt ZU/ZÜ