

Untersuchung der Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen auf Bundesautobahnen

Jean Emmanuel Bakaba

Markus Enke

Andreas Heine

Christian Lippold

Reinhold Maier

Jörg Ortlepp

Ralph Schulz

Untersuchung der Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen auf Bundesautobahnen

Dr.-Ing. Jean Emmanuel Bakaba

Dipl.-Ing. Markus Enke

Dipl.-Ing. Andreas Heine

Prof. Dr.-Ing. Christian Lippold

Prof. Dr.-Ing. Reinhold Maier

Dipl.-Ing. Jörg Ortlepp

Dipl.-Ing. Ralph Schulz

Impressum

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

Unfallforschung der Versicherer

Wilhelmstraße 43 / 43G, 10117 Berlin

Postfach 08 02 64, 10002 Berlin

unfallforschung@gdv.de

www.udv.de

ISBN-Nr.: 978-3-939163-45-9

Redaktion: Dr.-Ing. Jean Emmanuel Bakaba, Dipl.-Ing. Jörg Ortlepp

Layout: Franziska Gerson Pereira

Erschienen: 05 / 2012

Im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV)

Untersuchung der Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen auf Bundesautobahnen



bearbeitet durch:
Technische Universität Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften
Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr

Dipl.-Ing. Markus Enke
Dipl.-Ing. Andreas Heine
Prof. Dr.-Ing. Christian Lippold
Prof. Dr.-Ing. Reinhold Maier
Dipl.-Ing. Ralph Schulz



Bei der UDV betreut von:
Dipl.-Ing. Jörg Ortlepp
Dr.-Ing. Jean Emmanuel Bakaba

Inhalt

1	Kurzfassung / Abstract	6
2	Ausgangssituation	8
3	Untersuchungsziel	9
4	Methodik	9
4.1	Ablauf der Untersuchung	9
4.2	Einteilung der Baustellen	11
4.3.1	Nachfolgefahrten	12
4.3.2	Lokale Querschnittsmessungen	12
4.3.3	Spurverhalten und Geschwindigkeit im Bereich der ersten Fahrstreifenverschwenkung	13
4.4	Unfallanalyse	14
4.5	Überprüfung von Maßnahmenwirkungen	14
5	Verkehrssicherheit von Baustellen auf Autobahnen	16
5.1	Untersuchungskollektive und Gestaltung	16
5.2	Verkehrsablauf	17
5.2.1	Nachfolgefahrten	17
5.3.2	Querschnittsmessungen	18
5.2.3	Längsabstände	20
5.2.4	Geschwindigkeiten bei Nacht	22
5.3	Unfallgeschehen	22
5.3.1	Unfallschwerestructur	22
5.3.2	Ausprägung der Unfallumstände	24
5.3.3	Art der Verkehrsbeteiligung	25
5.3.4	Unfallraten und Unfallkostenraten	26
5.3.5	Unfalltypen	27
5.3.6	Unfallart	28
5.3.7	Länge von Baustellen	29

6	Verkehrssicherheit von Abschnitten in Autobahnbaustellen	31
6.1	Abschnitte von Autobahnbaustellen (Vergleich)	31
6.2	Annäherungsbereiche	32
6.2.1	Fahrverhalten	32
6.2.2	Unfallgeschehen	34
6.3	Überleitungen und Verschwenkungen von Fahrstreifen	34
6.3.1	Gestaltung	34
6.3.2	Fahrverhalten	36
6.3.3	Unfallgeschehen	38
6.3.4	Gelbe Beschilderung	40
6.4	Anschlussstellen	42
6.5	Strecken	43
6.5.1	Allgemein	43
6.5.2	Schmale Fahrstreifen in Baustellen	46
6.5.3	Versetzt fahren	49
6.6	Baustellenende	50
7	Zusammenfassung	52
7.1	Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf in Autobahnbaustellen nach RSA 95	52
7.2	Baustellen mit geringen Querschnittsbreiten	54
7.3	Überprüfung von Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit	54
7.3.1	Gelbe Beschilderung	54
7.3.2	Pfeilbaken	54
7.3.3	Stufenweise Anhebung der V_{zul} nach der Baustelle	54
8	Empfehlungen	55
	Literatur	58

1 Kurzfassung / Abstract

Baustellen auf Autobahnen werden häufig mit einem überdurchschnittlichen Unfallgeschehen in Verbindung gebracht. Diesem Abschlussbericht liegt eine Untersuchung der Verkehrssicherheit von Autobahnbaustellen zugrunde. Darin wird die in früheren Untersuchungen beschriebene höhere Unfallhäufigkeit in Autobahnbaustellen bestätigt. Die Folgen dieser Unfälle sind gegenüber den baustellenfreien Autobahnabschnitten aber weniger schwer. Der Anteil von Unfällen mit Personenschaden liegt in den Baustellen mit 6% um die Hälfte unter dem Wert baustellenfreier Autobahnabschnitte (12%). In Baustellen auf Autobahnen ereignen sich die meisten Unfälle im Längsverkehr (68%) häufig durch seitliches Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen.

Eine Untersuchung besonders schmaler Autobahnbaustellen zeigte, dass diese nicht pauschal als unsicher gelten können. Vielmehr resultiert ein negativer Einfluss auf die Verkehrssicherheit aus verschiedenen Faktoren, welche sich im Zusammenhang mit der geringen Breite negativ auf die Verkehrssicherheit auswirken können. Dazu zählen schlechte bzw. fehlende Markierungen insbesondere am rechten Fahrbahnrand sowie kurze, auch nur optische, Einengungen der Fahrbahn- oder Fahrstreifenbreiten.

Einen wesentlichen Beitrag an der niedrigeren Unfallschwere haben die geringeren gefahrenen Geschwindigkeiten innerhalb der Baustellenbereiche. Allerdings werden die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 80 km/h bzw. 60 km/h i.d.R. um 5 km/h bis 10 km/h (V_{85}) überschritten. Am Beginn der ersten Fahrstreifenverschwenkung der Baustellen wurden Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von bis zu 40 km/h (V_{85}) beobachtet.

Vor allem Bereiche besonderer Verkehrsführungen innerhalb der Baustellen wie Verschwenkungen oder Überleitungen von Fahrstreifen weisen gegenüber den Strecken innerhalb, aber auch gegenüber den Annäherungsbereichen vor den Baustellen eine geringere Verkehrssicherheit auf.

Die Untersuchung von Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in diesen Bereichen zeigt, dass das Hervorheben der Beschilderung durch selektivgelbe Typ-3-Reflexfolie die Aufmerksamkeit für die besondere Situation erhöhen kann. Im Bereich der höchsten Geschwindigkeitsüberschreitungen vor der ersten Fahrstreifenverschwenkung der Baustelle wurde neben der Reduzierung der gefahrenen Geschwindigkeiten um etwa 7 km/h auch eine Reduktion des Anteils der Linksfahrer erzielt. Bezogen auf die hier häufig auftretenden Unfälle im Längsverkehr durch seitliches Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen lässt sich aus den Ergebnissen ein positiver Effekt auf die Verkehrssicherheit ableiten.

Neben dem Hervorheben der Beschilderung führte auch eine stufenweise Anhebung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit nach der Baustelle zu besser angepasstem Geschwindigkeitsverhalten, ausgedrückt durch V_{85} . Sowohl in den Bereichen vor der Baustelle als auch am Baustellenende wurde so eine geringere Bandbreite der gefahrenen Geschwindigkeiten erreicht. Dies ist insbesondere auf Autobahnen ein wichtiges Kriterium der Verkehrssicherheit.

Motorway construction sites are often associated with a number of accidents above average value. An investigation of the road traffic safety of motorway construction sites forms the basis of this final report. The higher accident frequency in these sections as it is described in former investigations is confirmed in this report. However, the accident severity is less serious than on motorways without construction sites. In motorway construction sites the ratio of accidents with personal injury is with 6% around half under the value of sections of the motorway without construction sites (12%). Most of the accidents occur in longitudinal traffic (68%) often by lateral stripe of vehicles travelling in the same direction.

An investigation of especially narrow motorway construction sites showed that these cannot be reckoned as unsafe in general. Rather there results a negative influence on traffic safety from different factors in connection with the low width. Bad or missing marks especially on the right roadway edge as well as short, even if only optical, constriction of the roadway or lane widths count to it.

The lower driven speeds within the construction sites have an essential contribution in the lower accident severity. However, the permissible speed limits from 80 km/h or 60 km/h will usually be exceeded around 5 km/h to 10 m/h. In front of the first lane crossover point in the beginning of the construction site a speeding up to 40 km/h (V_{85}) above the allowed maximum speed were observed.

Compared with the stretches within, but also compared with the approach sections before the construction sites all sections of special traffic routing within the construction sites like lane deviations or crossover points show a lower traffic safety.

The study of measures to improve road safety in these sections shows that emphasizing traffic signs by selective-yellow "Typ-3-Reflexfolie" can increase the attention for the special situation. In the section with the highest speeding in front of the first crossover point of the construction site a reduction of the driven speeds about 7 km/h was also achieved as well as a reduction of the

left driver's proportion. Covered to the accidents often appearing here in the longitudinal traffic by lateral stripe of vehicles going in the same direction a positive effect on the road safety can be derived from the results.

In addition to the emphasizing traffic signs a gradual increase of the speed limit after the construction site also led to better conformist speed behaviour, expressed by V_{85} . Before as well as after the construction sites a lower range of driven speeds was reached thus. Especially on motorways this is an important criterion of the traffic safety.

2 Ausgangssituation

Autobahnen dienen der qualitativ besonders hochwertigen Verbindung im Straßennetz, sind daher sehr leistungsfähig entworfen und aufgrund ihres Ausbaustandards vergleichsweise sicher. Bei Beachtung des Entwurfsregelwerks im aktuellen Stand, was durch Sicherheitsaudits überprüft werden kann, sind die höchsten Sicherheitsgrade im Netz der Fernstraßen zu erreichen. Schwachstellen sind allerdings neben den Anschlussstellen vor allem Baustellenbereiche, die zu Störungen im Verkehrsablauf führen und die Sicherheit beeinträchtigen. Obwohl diesen Gefahren durch besondere Strassenausstattung und Geschwindigkeitsbeschränkungen begegnet wird, beschreibt die Literatur Autobahnbaustellen als Orte von teilweise schweren Unfällen. Dabei werden Autobahnbaustellen in den meisten Fällen als generell unfallauffällig beschrieben, unterschiedliche Angaben gibt es aber zu den Einflüssen der verschiedenen Bereiche der Baustellen auf das Unfallgeschehen. Während einige Untersuchungen die Verschlechterung der Verkehrssicherheit der Baustellensituation insgesamt zuschreiben, werden in anderen lediglich einzelne Bereiche für die Zunahme des Unfallgeschehens verantwortlich gemacht. Insbesondere sind dies die Fahrstreifenverschwenkungen, wobei aber nach dem Grad der Verschwenkung zu unterscheiden ist. Solche, bei denen Fahrstreifen auf die Gegenfahrbahn führen (Überleitungen), weisen dabei laut Köppel (1978) höhere Unfallraten auf als Verschwenkungen der Fahrstreifen nur auf der eigenen Fahrbahn. Von Bedeutung ist demnach auch die Lage der Verschwenkung: Am Beginn des Baustellenbereiches ist die Unfallrate von Verschwenkungen höher als am Ende der Baustelle. Die vorliegenden Erkenntnisse geben aber nur begrenzt Aufschluss zum Einfluss der Elemente von Autobahnbaustellen auf das Unfallgeschehen. Ein Grund dafür liegt in den notwendigen Anpassungen der Arbeitsstellen an den Baufortschritt, in deren Folge sich Lage und Gestalt (Aussehen, Charakter, Form) im Laufe der Bauzeit häufig stark verändern. Eine nachträgliche Zuordnung der Unfalldaten zum Baustellenbereich und insbesondere den einzelnen Elementen (Fahrstreifenverschwenkung, Behelfsanschlussstelle und Strecke) wird so erschwert.

Im Überleitungsbereich vor sowie in Baustellen selbst sind in der Regel situationsangepasste Fahrbahnausstattungen (Markierungen, Leiteinrichtungen) erforderlich. Diese Ausstattung unterbricht die ursprüngliche Verkehrsführung (an die Verkehrsteilnehmer gewöhnt sind) und stellt erhöhte Anforderungen an Kraftfahrer. Deshalb sind diese Bereiche genauer zu betrachten. Aufgrund der verengten Fahrstreifen besteht im gesamten Baustellenverlauf eine erhöhte Abkommenswahrscheinlichkeit und wegen des geringeren Sicherheitsabstandes zum Gegenverkehr die Gefahr von Kollisionen mit hoher Unfallschwere. Neben der Zunahme der Unfallgefahr durch die Arbeitsstelle generell waren daher mögliche Einflüsse auf die Verkehrssicherheit besonders langer Arbeitsstellen zu untersuchen.

Auch über den Einfluss spezieller Baustellenabschnitte (z.B. Bereich der Fahrstreifenreduzierung, Verschwenkungen, Anschlussstellen) und -merkmale (Verkehrsführung, Fahrstreifenbreiten, Art der Trennung zu Arbeitsbereich und Gegenverkehr) auf die Ausprägung der Unfallzahlen liegen derzeit insbesondere für deutsche Autobahnen wenig Erkenntnisse vor. Eine Untersuchung von Autobahnbaustellen in der Schweiz ergab eine Erhöhung des Unfallgeschehens im Bereich von Anschlussstellen (Laube, 2001 und Spacek, 2005). Betrachtungen der Geschwindigkeiten nach den Teilbereichen der Baustellen zeigt, dass diese in den Überleitungsbereichen von Fahrstreifen am niedrigsten sind. Im Baustelleninnenbereich werden dagegen zulässige Höchstgeschwindigkeiten von 60 km/h von fast allen Fahrzeugen überschritten. Die V_{85} liegt bei 80 km/h (Fischer, 2006). Darüber hinaus finden Fahrstreifenwechsel insbesondere im Vorfeld der Baustelle statt. Im Baustellenbereich zeigt sich eher die Tendenz, den Fahrstreifen nicht zu wechseln. Diese Abneigung gegen Fahrstreifenwechsel nimmt bei beengten Verhältnissen zu.

Es fehlen demnach also umfassende Informationen zu besonders kritisch anzusehenden Baustellenbereichen oder -merkmalen. Unbekannt ist auch, ob es Fahrverhaltensparameter gibt, die bei der frühen Identifizierung möglicher Gefahrenstellen helfen können. Für die Ermittlung allgemeiner Unfallkenngrößen von Auto-

bahnbaustellen auf Grundlage einer möglichst umfangreichen Datenbasis waren daher vertiefende Untersuchungen zu Unfallorten und -hergängen innerhalb von Arbeitsstellen sowie eine Überlagerung mit Fahrverhaltensdaten notwendig. Dadurch sollte es möglich sein, Verbindungen zwischen Parametern der Streckenführung und dem Fahrverhalten bei unterschiedlichen Verkehrssituationen herzustellen und den Einfluss unterschiedlicher Ausstattungsmerkmale auf das Unfallgeschehen zu bewerten.

3 Untersuchungsziel

Die vorliegende Untersuchung von Autobahnbaustellen soll den Zusammenhang von deren Gestaltung und dem Fahrverhalten sowie die daraus resultierende Verkehrssicherheit erklären. Sie basiert auf Sicherheitsanalysen und Fahrverhaltensmessungen und beschreibt den Einfluss charakteristischer Bereiche und geometrischer Parameter.

Ein Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Bestimmung des Einflusses von Verschwenkungen, Fahrstreifenreduzierungen und Behelfsanschlussstellen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit. Im Fokus der Untersuchung stand die Beantwortung der folgenden Fragen:

- Wie unterscheiden sich Baustellen im Hinblick auf Unfallhäufigkeit und -schwere von der freien Strecke auf Autobahnen?
- Besteht ein Zusammenhang zwischen der Länge der Baustelle und der Unfallhäufigkeit?
- Gibt es charakteristische Bereiche innerhalb von Baustellen (einschließlich der Übergangsbereiche), in denen häufiger oder schwerere Unfälle geschehen?
- Gibt es Parameter der Fahrbahngeometrie in Baustellen, die im Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen stehen?
- Gibt es Kenngrößen des Fahrverhaltens, die zur Erkennung von potenziellen Unfallgefahren genutzt werden können?

Im Verlauf der Untersuchungen ergaben sich weitere Fragestellungen:

- Lässt sich durch den Einsatz selektiv-gelber Beschilderung eine Verbesserung der Verkehrssicherheit erreichen?
- Führt eine stufenweise Anhebung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit nach der Baustelle zu einem langsameren Beschleunigen und/oder zu einer Homogenisierung der gefahrenen Geschwindigkeiten?

4 Methodik

4.1 Ablauf der Untersuchung

Die Untersuchung von Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit erfolgte als mehrstufige Analyse. Im ersten Teil (Abbildung 4-1) wurde die Verkehrssicherheit von Baustellen auf Autobahnen zunächst makroskopisch betrachtet und so der Einfluss von Baustellen auf die Verkehrssicherheit eines Autobahnstreckenabschnittes bestimmt. Dabei wurden zunächst Unterschiede in der Struktur von Unfällen in Baustellen und auf baustellenfreien Autobahnabschnitten untersucht. Ausgehend von den Daten des statistischen Bundesamtes wurden in einer weiteren Analyse Unfallanzeigen der Polizei ausgewertet.

Durch eine mikroskopische Untersuchung, in deren Mittelpunkt Unterbereiche von Autobahnbaustellen standen, sollte deren Einfluss auf die Verkehrssicherheit von Autobahnbaustellen bestimmt werden. Dabei erfolgte eine detaillierte Betrachtung der Gestaltungsformen, des Verkehrsablaufes und des Unfallgeschehens in diesen Bereichen.

Aus der Überlagerung der Erkenntnisse zu Gestaltung, Verkehrsablauf und Unfallgeschehen konnten Bereiche mit geringer Verkehrssicherheit und unfallbegünstigende Gestaltungen bestimmt werden. Daraus wurden Empfehlungen zur Gestaltung von Autobahnbaustellen abgeleitet, welche die Verkehrssicherheit insbesondere an unfallauffälligen Abschnitten verbessern können.

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen bestanden die aktuellen Baustellen, an denen die Messungen zum Verkehrsablauf vorgenommen wurden, oft kürzere Zeit als die für

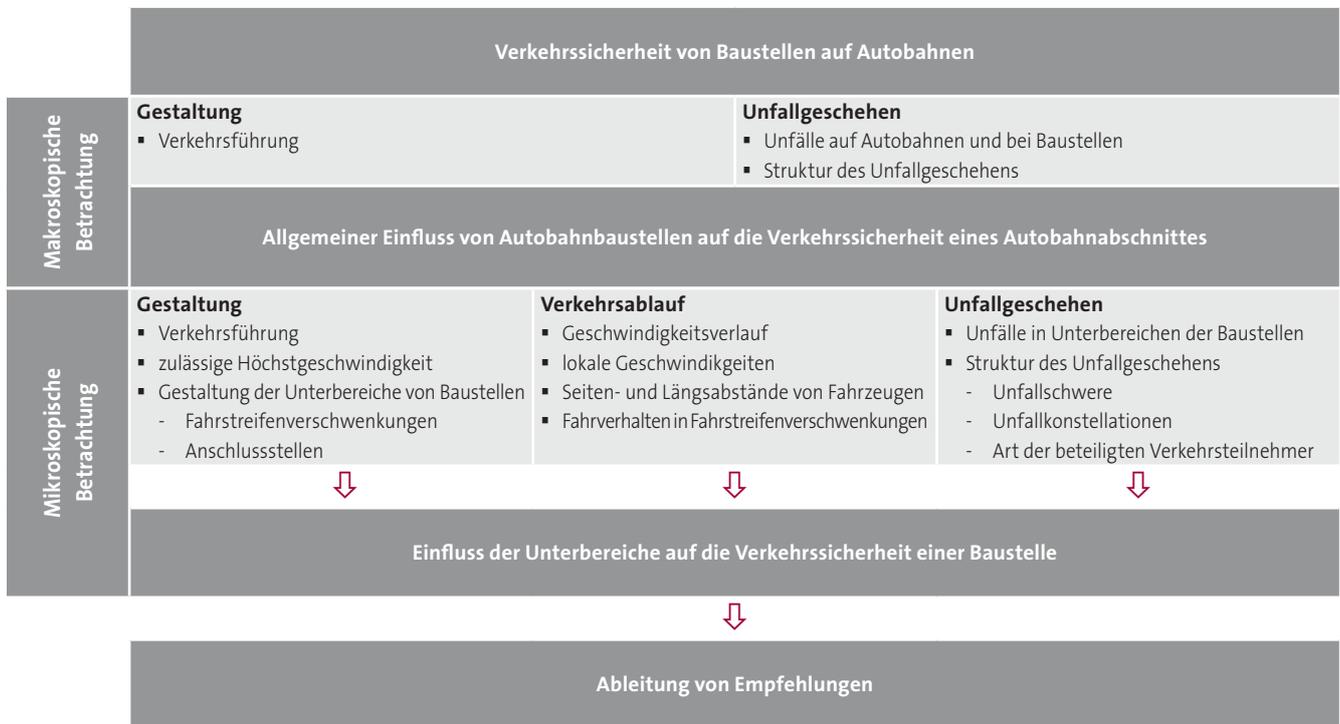


Abbildung 4-1: Untersuchung der Verkehrssicherheit von Baustellen auf Autobahnen

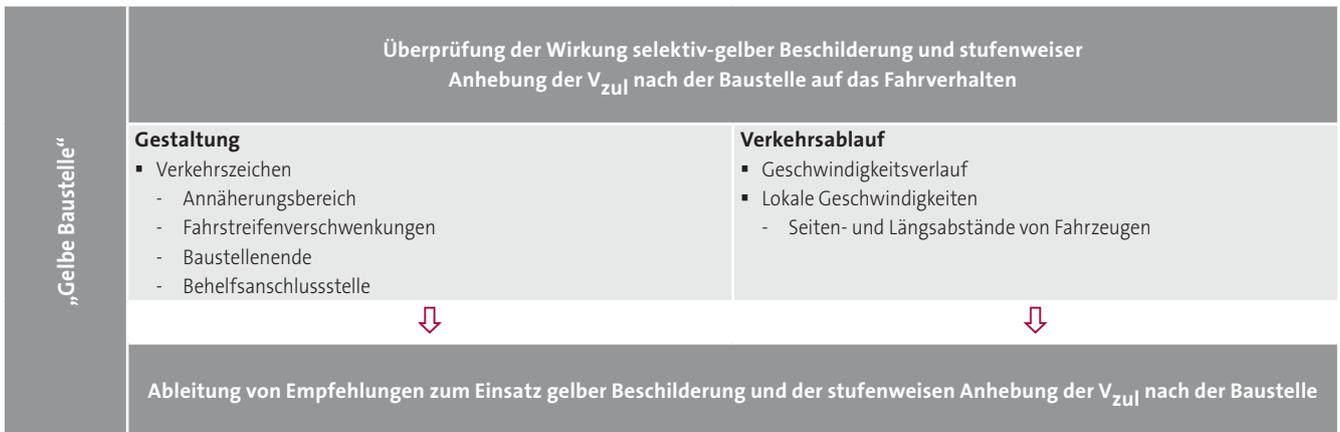


Abbildung 4-2: Untersuchung „Gelbe Baustelle“

die Unfallanalyse angestrebten zwei Jahre. Die Untersuchungen von Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf erfolgten deshalb an zwei Baustellenkollektiven:

- Für eine (rückwirkende) Betrachtung des Unfallgeschehens wurden Baustellen ausgewählt, die über einen Mindestzeitraum von zwei Jahren Bestand hatten. Diese Baustellen waren häufig bereits abgeschlossen.
- Die Messungen zum Verkehrsablauf und die Dokumentation der Baustellen wurden an aktuell bestehenden

Baustellen durchgeführt. Diese sollten mindestens über einen Zeitraum von einem Jahr betrieben werden.

Verschiedene Empfehlungen wurden in einer weiterführenden Untersuchung näher betrachtet (Abbildung 4-2). Im Mittelpunkt stand dabei die Modifizierung von Verkehrszeichen, welche im Zusammenhang mit Bereichen geringer Verkehrssicherheit stehen („Gelbe Baustelle“). Neben diesen Verkehrszeichen wurde auch die Wirkung

einer stufenweisen Anhebung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit nach der Baustelle überprüft. Auf eine Analyse des Unfallgeschehens musste in diesen Fällen aufgrund eines zu kurzen Untersuchungszeitraumes verzichtet werden.

4.2 Einteilung der Baustellen

Für die zwei Detailstufen der Untersuchung der Verkehrssicherheit von Autobahnbaustellen (vgl. Abbildung 4-1) wurden die Baustellen unterschiedlich detailliert betrachtet. Die Abgrenzung der Bereiche der Baustelle resultiert aus den Erkenntnissen der Literatur.

Für die Einschätzung des generellen Einflusses von Baustellen auf das Unfallgeschehen auf Autobahnen wurde

zunächst der von einer Baustelle betroffene Streckenabschnitt in vier Betrachtungsabschnitte gegliedert. Neben dem eigentlichen Bereich der Baustelle wurden der Annäherungsbereich sowie die Bereiche des Vor- und Nachlaufs betrachtet (Abbildung 4-3).

Für die mikroskopische Betrachtung des Baustellenbereiches wurde dieser in Abschnitte mit unterschiedlichen Verkehrsführungen unterteilt (Abbildung 4-4):

- Verschwenkungen und Überleitungen von Fahrstreifen,
- freie Strecken und
- Behelfsanschlussstellen (Ein- und Ausfahrbereichen).

Diese Bereiche geben vereinfacht die unterschiedlichen Situationen innerhalb von Baustellen wieder.

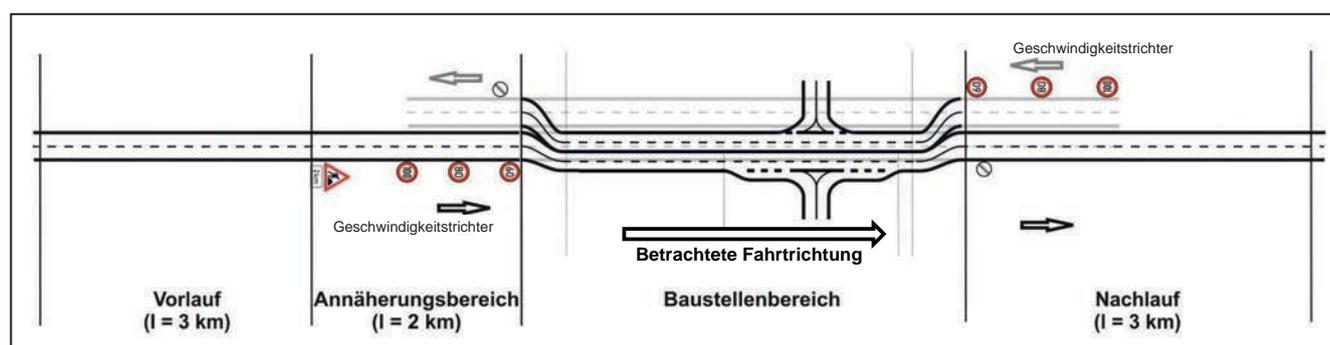


Abbildung 4-3: Einteilung Autobahnabschnitt mit Baustellenbereich (richtungsgetrennte Betrachtung)

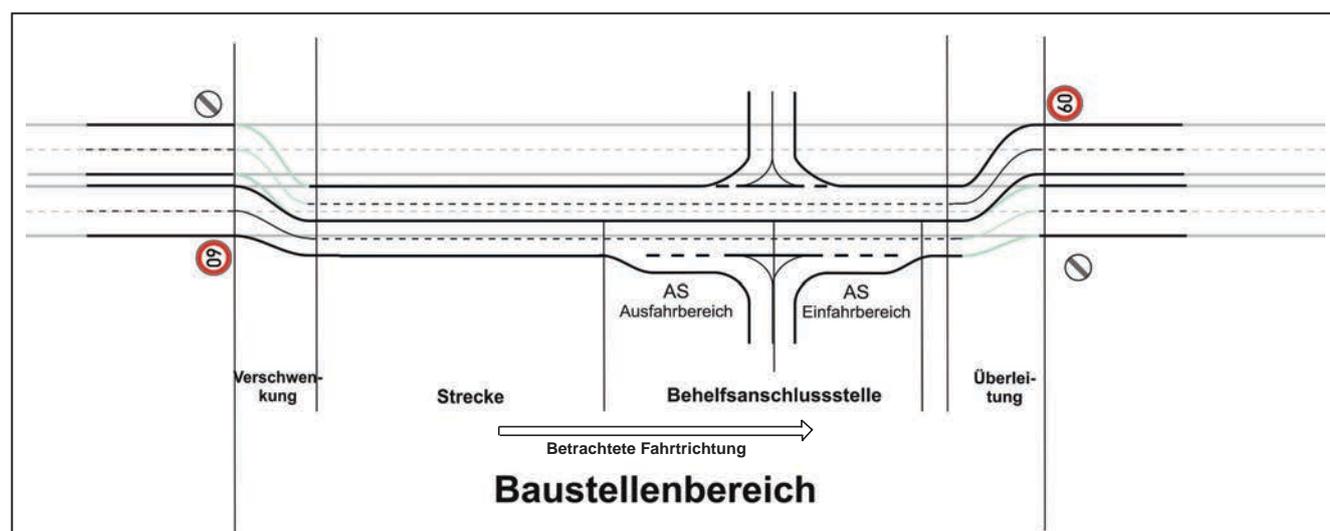


Abbildung 4-4: Unterteilung des Baustellenbereiches (richtungsgetrennte Betrachtung)

4.3 Untersuchung des Verkehrsablaufes

4.3.1 Nachfolgefahrten

Das Fahrverhalten von Kraftfahrern lässt sich generell durch das Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Spurverhalten beschreiben. Auch in Baustellen werden die Geschwindigkeit, die häufig im Zusammenhang mit der Schwere von Unfällen steht und die Spurposition der Fahrzeuge in verengten Fahrstreifen und Verschwenkungsbereichen untersucht.

Zur Beurteilung des Geschwindigkeitsverlaufes in den verschiedenen Abschnitten der Baustellen wurden anhand von Nachfolgefahrten Profile zufällig ausgewählter Fahrzeuge aufgezeichnet. Diese Messungen konnten jedoch nicht in stets konstantem zeitlich-räumlichem Abstand durchgeführt werden. Vielmehr erfolgte ein „Mitschwimmen“ im Verkehr, wobei z.B. Fahrstreifenwechsel und damit verbundene Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge nach Verkehrslage angepasst wurden. Insbesondere im Annäherungsbereich vor und nach der Baustelle war jedoch das Nachfolgen in konstantem räumlich-zeitlichen Abstand in aller Regel möglich, so dass die dort aufgezeichneten Profile mit denen der gemessenen Fahrzeuge mit hoher Genauigkeit übereinstimmen.

Für jede Baustelle wurden insgesamt 120 auswertbare Geschwindigkeitsprofile aufgenommen, die sich nach Richtung und Verkehrsdichte wie folgt aufteilen:

- 30 Fahrten je Richtung zu verkehrsstarken Zeiten,
- 30 Fahrten je Richtung zu verkehrsschwachen Zeiten.

Durch die Unterscheidung zwischen verkehrsstarken und verkehrsschwachen Zeiten wurde versucht, sowohl typische durch das Verkehrsgeschehen beeinflusste Profile als auch die Geschwindigkeiten unbeeinflusst fahrender Fahrzeuge aufzuzeichnen. Bestand keine Beeinflussung des Verkehrs untereinander und war hauptsächlich freies Fahren möglich, wurde dies als verkehrsschwache Situation definiert. Musste sich aufgrund des dichten Verkehrs dem Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer angepasst werden und war somit keine freie Geschwin-

digkeits- bzw. Fahrstreifenwahl möglich, galt ein solcher Zustand als verkehrsstark. An dieser Stelle muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass generelle Unterschiede der allgemeinen Verkehrsbelastung berücksichtigt wurden und somit eine verkehrsschwache Situation in einer stark belasteten Region, beispielsweise der Baustelle D5, nicht der verkehrsschwachen Situation z.B. der Baustelle D4, entspricht.

4.3.2 Lokale Querschnittsmessungen

Aufbauend auf den Nachfolgefahrten erfolgen in verschiedenen Abschnitten der Arbeitsstelle Querschnittsmessungen. Dabei waren die eingesetzte Technik sowie die Lage der Querschnitte abhängig von den örtlichen Gegebenheiten. Grundsätzlich sollten die Messungen mit Videotechnik von vorhandenen Brücken erfolgen. War in wichtigen Bereichen, insbesondere den Annäherungsbereichen, keine Brücke vorhanden, wurde auf andere Messverfahren (Mikrowellensensor RD RTMS) zurückgegriffen. Neben Messungen im Annäherungsbereich wurden in den Baustellen drei Abschnitte betrachtet:

- Beginn des Baustellenbereiches,
- Mitte des Baustellenbereiches,
- Ende des Baustellenbereiches.

Aufgrund der Einsatzgrenzen der Videotechnik bei Tageslicht wurde für die Untersuchung des Verkehrsablaufes bei Nacht auf Seitenradargeräte (Typ SR4) zurückgegriffen. Diese wurden an den Messquerschnitten der Videokameras angebracht, so dass eine Vergleichbarkeit der gemessenen Daten gegeben war.

Die Auswertung der Videoaufnahmen erfolgte automatisiert (System RackVision). Für die Kalibrierung wurden stichprobenhaft Geschwindigkeiten von 20 Einzelfahrzeugen gemessen und mit den Daten der Videoauswertung verglichen. In Abhängigkeit der Größe der Abweichungen der Geschwindigkeiten wurde der Geschwindigkeitskorrekturfaktor des Programmes RackVision angepasst.

Innerhalb der Baustelle wurden die folgenden verkehrstechnischen Daten erhoben:

- lokale Geschwindigkeiten (Einzelfahrzeugdaten),
- Längsabstände zwischen den Fahrzeugen,
- Fahrstreifenbelegung,
- Verkehrszusammensetzung.

Darüber erfolgte mit Hilfe der Videoaufzeichnungen eine qualitative Bestimmung der Seitenabstände. Dies ist in Erkenntnissen der Literatur sowie Gesprächen mit der Polizei der untersuchten Baustellen begründet. Beide Quellen berichteten im Vorfeld der Untersuchung von einem gehäuften Auftreten sogenannter „Spiegelunfälle“. Dabei handelt es sich um Unfälle des Typs 6 (Unfall im Längsverkehr) in Kombination mit der Unfallart 3 (Zusammenstoß mit Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt).

4.3.3 Spurverhalten und Geschwindigkeit im Bereich der ersten Fahrstreifenverschwenkung

Insbesondere Bereiche von Überleitung auf die Gegenfahrbahn am Baustellenbeginn haben sich in früheren Untersuchungen häufig als unfallauffällig erwiesen. Bei Unfällen in diesen Bereichen kommt es demnach sowohl zu Auffahrunfällen als auch zu Unfällen durch Abkommen von der Fahrbahn. Um hier mögliche Ursachen und den Einfluss der Gestaltung des Verschwenkungsbereiches zu untersuchen, wurden mit einem Laserscanner (Typ SICK LMS 200) Messungen des Geschwindigkeits- und Spurverhaltens durchgeführt. Dieser ermöglichte

die Erfassung des Abstandes zu Sicherheitseinrichtungen an beliebigen Querschnitten im Verschwenkungsbereich sowie die Beurteilung des Spurverhaltens. Aus den Daten wurden statistische Kennwerte (Mittelwert, Standardabweichung, Streubreiten und Anteile extremer Spurpositionen) ermittelt und Aussagen zu typischen Spurverläufen abgeleitet. Gleichzeitig konnten aus den Fahrzeugpositionen¹⁾ die Geschwindigkeit ermittelt und dem Spurverhalten gegenübergestellt werden. So konnten potenziell risikoreiche Fahrweisen und ihre Ursachen identifiziert werden.

Scannermessungen wurden jeweils am Beginn und am Ende der ersten Überleitung von Fahrstreifen auf die Fahrbahn der Gegenrichtung durchgeführt. Alle Messungen fanden über einen Zeitraum von drei Stunden bei Tageslicht und Trockenheit statt. Die Auswertung erfolgte teilautomatisiert mit der Software „Scanalyse“. Bei mehrstreifigen Verschwenkungen wurde dabei unterschieden, ob ein Fahrzeug die Verschwenkung allein durchfährt oder ob benachbarte Fahrstreifen ebenfalls belegt waren. Eine Erfassung des seitlichen Abstandes parallel fahrender Fahrzeuge war hingegen wegen der gegenseitigen Verdeckung nicht möglich. Aus der Messung des Spurverhaltens wurden Erkenntnisse zum Einfluss der Fahrstreifenbreiten und Verschwenkungsmaße sowie zur Art der Gegenverkehrstrennung auf die Wahl der Position im linken Fahrstreifen erwartet.

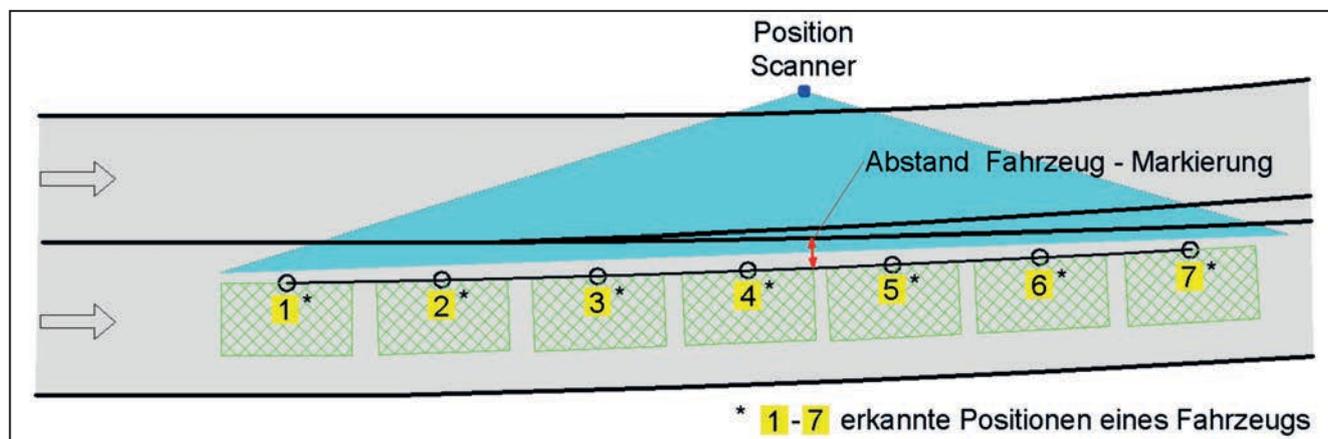


Abbildung 4-5: Erfassung des Spurverhaltens und der Geschwindigkeit an Fahrstreifenüberleitungen

¹⁾ Der Laserscanner (Typ SICK LMS 200) erfasst die Fahrzeuge mit einer konstanten Frequenz von 8,33 Hz. Das entspricht bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h einer Fahrzeugposition aller 3,3 m.

4.4 Unfallanalyse

In der makroskopischen Betrachtung diente die Unfallanalyse der Bestimmung des generellen Einflusses von Baustellenbereichen auf das Unfallgeschehen von Autobahnabschnitten. Dazu wurde zunächst aus den Daten des statistischen Bundesamtes ein Vergleich der Schwerestruktur von Unfällen auf Autobahnen und in Baustellen vorgenommen. Darauf aufbauend wurden für ein festgelegtes Untersuchungskollektiv die Unfalldaten der Polizei ausgewertet und Unfallraten (UR) sowie Unfallkostenraten (UKR) von Autobahnbereichen mit und ohne Baustellen gegenübergestellt. Dieser Teil der Untersuchung diente der Erlangung gesicherter Aussagen zum Unfallgeschehen in Baustellen auf Autobahnen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass Baustellen Veränderungen in Gestaltung und Verkehrsführung unterliegen. Zudem sind die zuständigen Straßenbauämter bestrebt, die Bauzeit und damit Beeinträchtigungen für den Verkehr aus Kostengründen so gering wie möglich zu gestalten und deshalb die Baumaßnahmen in einem möglichst kurzen Zeitraum umzusetzen. Eine Betrachtung über einen Zeitraum von drei Jahren, wie er im Merkblatt (FGSV, 2003 a) für die örtliche Unfalluntersuchung empfohlen wird, war nicht möglich. Selten erreichen die hier betrachteten Autobahnbaustellen entsprechende Bauzeiten oder blieben über einen vergleichbaren Zeitraum unverändert. Für die Vorauswahl der zu untersuchenden Baustellenbereiche wurde deshalb der Mindestzeitraum der Betrachtung auf zwei Jahre herabgesetzt. Dies erscheint im Hinblick auf die hohe Unfallhäufigkeit in Baustellen vertretbar. Darüber hinaus unterliegen Baustellen häufigen Veränderungen in Lage, Länge und Gestaltung. Grund dafür ist die Anpassung der Verkehrsführung an die jeweilige Bauphase. Dabei kann es auch zu vergleichsweise kurzen Phasen kommen. Für die Analyse wurden die maßgebenden Hauptphasen der untersuchten Baustellen betrachtet. Dabei handelt es sich um die Zeitbereiche, in denen sich die Baustelle in ihrer Lage, Länge und grundsätzlichen Gestaltung nicht verändert hat. Zeitbereiche von weniger als sechs Monaten Dauer wurden aufgrund der daraus folgenden geringen Unfallzahlen und damit verbundenen Streuungen der be-

rechneten Kenngrößen nicht betrachtet. Die untersuchten Zeitbereiche von mehr als sechs Monaten Länge werden im Weiteren als Hauptphasen bezeichnet.

Neben der Aussage zum generellen Einfluss einer Baustelle auf das Unfallgeschehen von Autobahnabschnitten ließen sich aus den Unfalldaten und den vergleichsweise langen Betrachtungszeiträumen auch Erkenntnisse zum örtlichen (vor, in und nach der Baustelle) und zeitlichen Verlauf (Gewöhnungseffekt) gewinnen.

Im Rahmen der mikroskopischen Betrachtung wurden die Unfalldaten der Unterbereiche der Baustellen ausgewertet. Dabei erfolgte die Zuordnung der Unfälle über die Angaben der Streckenkilometrierung²⁾. Der Vergleich der Verkehrssicherheit der Unterbereiche von Baustellen erfolgte durch die Gegenüberstellung von:

- Unfallrisiko und Unfallschwere (Unfallrate und Unfallkostenrate),
- den für die jeweiligen Bereiche typischen Unfallkonstellationen (Unfalltyp, Unfallart) sowie
- die Arten der Verkehrsbeteiligung.

Darüber hinaus wurden auch unterschiedliche Formen der Gestaltung einzelner Bereiche (z.B. Fahrstreifenverschwenkungen) und den verkehrsrechtlichen Anordnungen (zulässige Höchstgeschwindigkeit) untersucht. Dadurch sollten unfallbegünstigende Konstellationen aus Gestaltung und Betrieb identifiziert werden.

4.5 Überprüfung von Maßnahmenwirkungen

Aus den vorangegangenen makroskopischen und mikroskopischen Betrachtungen wurden verschiedene Empfehlungen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in Autobahnbaustellen abgeleitet. Deren Überprüfung erfolgte in einer Erweiterung der Untersuchung (vgl. Kapitel 4.1).

Vor dem Hintergrund der festgestellten Defizite in der Verkehrssicherheit von Fahrstreifenverschwenkungen und den dort gleichzeitig beobachteten Überschrei-

²⁾ Bei einer stichprobenhaften Überprüfung der Größe der Abweichungen in der Unfallverortung und den Angaben der Lagepläne wurden nur geringe Differenzen festgestellt.

tungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten sollten Möglichkeiten gefunden werden, den Verkehrsteilnehmer auf die besondere Gefahrensituation hinzuweisen. An Anschlussstellen innerhalb von Baustellen, die auch häufig Ort von Unfällen sind, wird das Problem weniger in den Geschwindigkeiten als vielmehr im rechtzeitigen Erkennen der Situation gesehen.

Baier et al. (2006) beschreibt einen positiven Einfluss durch das Hervorheben der mit der direkten Gefahrensituation in Zusammenhang stehenden Beschilderung und Leiteinrichtung auf das Fahrverhalten. Das Hervorheben erfolgte durch die Verwendung selektiv-gelber Hintergrundtafeln für ausgewählte Verkehrszeichen und eine ebenfalls selektiv-gelbe Gestaltung der Überleitungs- und Fahrstreifentafeln vor der Baustelle. Diese Form der Gestaltung wurde für die vorliegende Untersuchung übernommen. Grundsätzlich wurden die Richtzeichen modifiziert, welche den Fahrer auf eine Situation, die eine aktive Änderung des Fahrverhaltens erfordert, hinweisen. Diese sind:

- Zeichen 505-11 (Überleitungstafel),
- Zeichen 505-13 (Verschwenkungstafel),
- Zeichen 531-11 (Einengungstafel).

In vergangenen Untersuchungen wurde durch die Verwendung von Pfeilbaken statt der üblichen Schraffenbaken eine verbesserte Leitwirkung in Bereichen von Fahr-

streifenverschwenkungen erzielt (Schulze et al., 2010; Baier, 2006). Aus diesem Grund fanden diese auch in der Untersuchungsbaustelle Verwendung und wurden in beiden Untersuchungszeiträumen ebenfalls entsprechend der Untersuchungsphase in rot/weiß bzw. rot/selektiv-gelb ausgeführt (Abbildung 4-6).

Die dabei beispielhaft untersuchte Baustelle bestand über einen Zeitraum von vier Monaten. Diese wurde zunächst nach RSA 95 (RSA, 1995) mit Verkehrszeichen und Leiteinrichtungen in der Ausführung mit weißer Typ-2-Reflexfolie ausgeführt.

Im Nachher-Zeitraum wurden zuvor festgelegte Verkehrszeichen und Leiteinrichtungen entsprechend den Erkenntnissen von Baier (2006) durch die Verwendung selektiv-gelber Hintergrundtafeln bzw. einer Gestaltung der sonst weißen Flächen mit selektiv-gelber Folie modifiziert.

In beiden Betrachtungsphasen (weiß und gelb) erfolgten folgende Untersuchungen:

- Nachfolgefahrten zur Bestimmung des Geschwindigkeitsverlaufes über den gesamten Baustellenbereich und
- lokale Messungen an mehreren festgelegten Querschnitten.



Abbildung 4-6: Pfeilbaken im Bereich der Fahrstreifenüberleitung (links: Zustand weiß; rechts Zustand gelb)

5 Verkehrssicherheit von Baustellen auf Autobahnen

5.1 Untersuchungskollektive und Gestaltung

Im überwiegenden Teil der über zwei Jahre betrachteten Baustellen (Unfallanalyse) wurde der gesamte Verkehr innerhalb der Baustelle auf einer der zwei Richtungsfahrbahnen geführt (4+0)³⁾. Seltener traten die Führungen 2+2⁴⁾ oder 3+1⁵⁾ auf. Im überwiegenden Teil lag dabei keine zeitlich und räumlich konstante Verkehrsführung vor (Tabelle 5-1). Lediglich die Baustellen 2 und 3 wiesen über den gesamten Betrachtungszeitraum und Streckenlänge eine Führung aller Richtungsfahrbahnen auf einer Fahrbahn auf. Die angegebenen Längen beschreiben die kürzeste Ausdehnung der Baustelle im Bauzeitraum. Einzelne Bauphasen konnten größere Abschnittslängen aufweisen.

Zur Untersuchung von Verkehrsablauf und Fahrverhalten in Baustellen wurden zunächst sieben Baustellen

ausgewählt, die in den Jahren 2008 und 2009 über mindestens ein Jahr bestanden und über längere Zeit eine weitgehend unveränderte Gestalt und Verkehrsführung aufwiesen. Im Hinblick auf allgemeine Streckencharakteristik, Verkehrsverhältnisse, Verkehrsführung und Trennung des Gegenverkehrs wurden verschiedene, nach den RSA (FGSV 1995), aber auch den RAA (FGSV 2008) empfohlene und gebräuchliche Arten der Verkehrsführung mit maximal vier Fahrstreifen betrachtet:

- 4+0,
- 3+1 und
- 2+2.

Dabei lagen sowohl Baustellen mit konstanter und solche mit im Baustellenbereich wechselnder Verkehrsführung vor.

Die Abschnitte vor und nach den Baustellenbereichen wiesen sowohl zwei- als auch dreistreifige Querschnitte auf. In den Arbeitsbereichen liegen dagegen stets Verkehrsführungen mit je zwei Richtungsfahrbahnen vor. In einigen Übergangsbereichen traten somit Fahrstreifen

Tabelle 5-1: Baustellen der Unfallanalyse

Nr.	Länge [km]	DTV [Fz/24 h]	Dauer [a]	Verkehrsführung		Anschlussstelle [vorhanden]
				konstant	wechselnd	
1	6,3	64.660	2,6		3+1/4+0/3+2	nein
2	8,4	92.619	2,6	4+0		nein
3	9,1	58.623	3,3	4+0		nein
4	5,5	61.999	3,8		4+0/2+2/3+1	ja
5	4,5	71.541	3,2		4+0/2+2	ja
6	4,1	58.465	3,3		4+0/2+2/3+1	ja
7	3,6	50.000	5,1		2+2/4+0	ja
8	6,0	60.000	3,8		2+2/4+0	ja
9	5,0	40.000	3,5		2+2/4+0	ja
10	5,0	35.863	2,5		4+0/2+2	nein
11	5,9	53.455	3,4		4+0/3+1	nein
12	4,7	50.000	0,9		4+0/2+2	ja

*) Unfalldaten lagen nur für neun Monate vor

³⁾ Alle vier Fahrstreifen innerhalb der Baustelle werden auf einer Richtungsfahrbahn geführt. Auf der Fahrbahn der Gegenrichtung erfolgt keine Verkehrsführung (0 Fahrstreifen)
⁴⁾ Auf jeder der zwei Richtungsfahrbahnen im Baustellenbereich werden zwei Fahrstreifen geführt.
⁵⁾ Der linke Fahrstreifen einer Fahrtrichtung wird im Baustellenbereich auf der Fahrbahn der Gegenrichtung geführt (3 Fahrstreifen) Der rechte Fahrstreifen bleibt auf der eigenen Richtungsfahrbahn.

Tabelle 5-2: Baustellen der vergleichenden Betrachtung

Nr.	Länge [km]	DTV [Fz/24 h]	Dauer* [a]	Verkehrsführung		Anschlussstelle [vorhanden]
				konstant	wechselnd	
D1	6	58.456	1		3+1/4+0	ja
D2	10	45.000	1	4+0		ja
D3	6	53.455	1	4+0		ja
D4	14	45.000	1	4+0		ja
D5	3	55.000	1		4+0/2+2	ja
D6**	6	58.800	1	4+0		ja
D7**	6	58.800	1	4+0		nein
D8***	6	37.663	0,3	4+0		ja

*) Dauer der Betrachtung (Baustellen können auch länger bestanden haben)

***) Baustellen mit schmalen Querschnitten (5,50 m)

****) Baustelle mit modifizierter Beschilderung („Gelbe Baustelle“)

fenreduktionen und -additionen auf. Alle Fahrstreifenreduktionen hatten das Einziehen des jeweils linken Fahrstreifens zur Folge. Dagegen erfolgt das Hinzufügen eines Fahrstreifens sowohl durch die Addition eines linken, aber auch um den rechten Fahrstreifen.

Die Baustellen D6 und D7 wiesen mit 5,50 m Fahrbahnbreite je Fahrtrichtung die schmalsten Querschnitte auf. Die Breite des Lkw-Fahrstreifens betrug 3,00 m und die des Überholfahrstreifens 2,50 m. Demnach waren die Mindestmaße nach RSA 95 erfüllt. Die zu prüfende Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h erfolgte aber nicht.

Für die in Tabelle 5-2 angegebenen Baustellen wurden ebenfalls Auswertungen zum Unfallgeschehen vorgenommen. Diese sind aber in Anbetracht der kurzen Betrachtungszeiträume mit großen Unsicherheiten behaftet.

5.2 Verkehrsablauf

5.2.1 Nachfolgefahrten

An allen Baustellen D1 bis D8 wurden durch Nachfolgefahrten für jede Fahrtrichtung jeweils 60 Geschwindigkeitsprofile erstellt. Diese repräsentieren sowohl den Verkehrsablauf bei hohen, als auch bei geringeren

Verkehrsstärken. Beispielhaft für die aus den Nachfolgefahrten gewonnenen Geschwindigkeitsprofile sind die Ergebnisse der Baustelle D4, Richtung 2 in Abbildung 5-1 dargestellt. Insgesamt lassen sich aus den Nachfolgefahrten folgende Ergebnisse ableiten:

- Im Mittel stellt sich im Baustelleninnenbereich ein gleichmäßiger Verlauf der Geschwindigkeiten ein.
- In den Annäherungs- sowie Nachlaufbereichen traten gegenüber den Baustelleninnenbereichen größere Abweichungen zwischen V_{85} und V_{50} auf.
- Der Geschwindigkeitsrückgang erfolgt entsprechend der jeweils geltenden zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Dabei lagen die gemessenen Geschwindigkeiten im Mittel zwischen 5 und 30 km/h über den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten.
- Die mittleren Geschwindigkeiten (V_{50}) beider Zeiträume unterscheiden sich nicht signifikant. Als signifikant hat sich dagegen der Unterschied bei der V_{85} , welche bei geringen Verkehrsstärken meist 5 bis 10 km/h über den Werten der verkehrstarken Zeiten lag, herausgestellt.
- Das Maß der Überschreitungen war in Baustellen mit häufiger bzw. angekündigter Geschwindigkeitsüberwachung (Baustellen D3 und D4) geringer.

Grundsätzlich kommt es bei zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 60 km/h zu höheren Geschwindigkeitsüberschreitungen als bei 80 km/h. Letztere wird am Be-

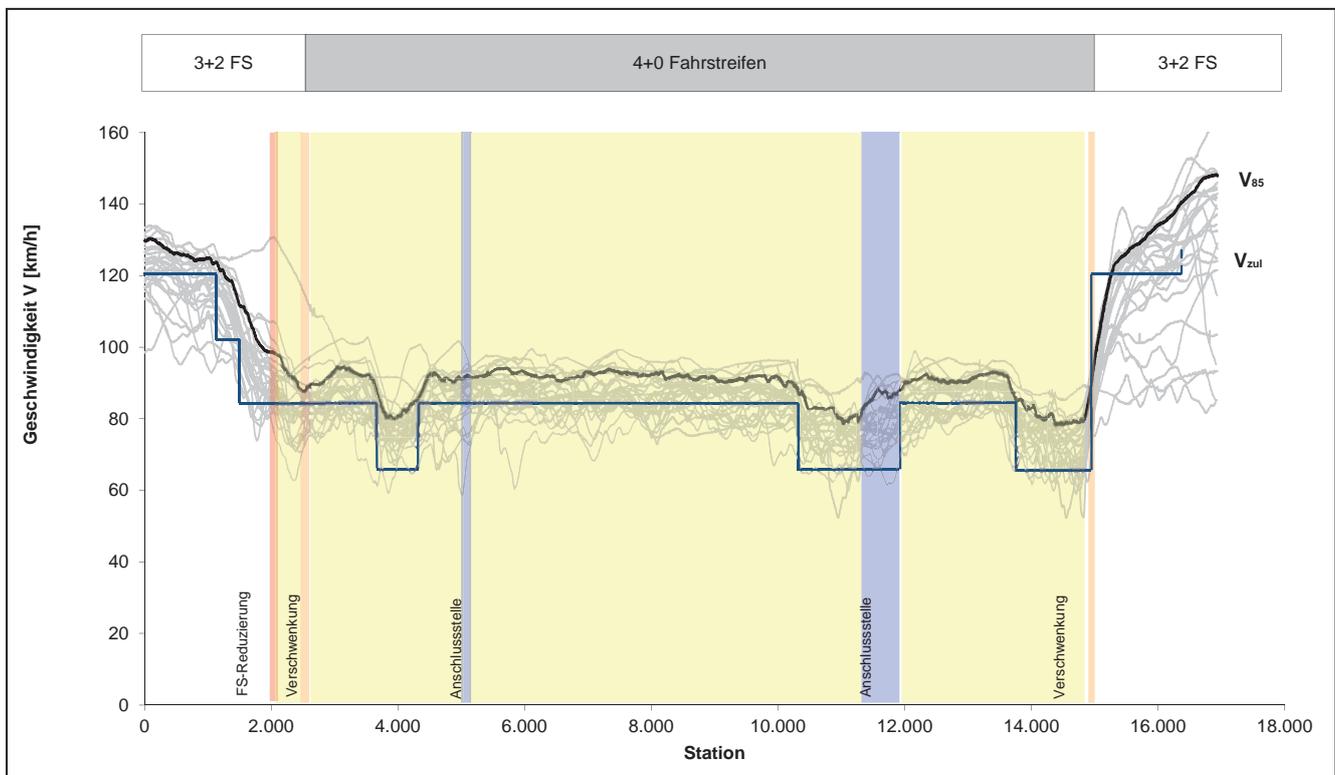


Abbildung 5-1: Geschwindigkeitsprofile der Baustelle D4, Richtung 2 (V_{85} = blau, V_{50} = rot, V_{zul} = schwarz)

ginn des Baustelleninnenbereiches von der Hälfte der Fahrer eingehalten bzw. unterschritten. Die V_{85} liegt 8 km/h über dem Limit. Dagegen fährt bei erlaubten 60 m/h die Hälfte der Fahrer am Beginn und in der Mitte der Innenbereiche etwa 8 bis 10 km/h schneller, zum Ende hin steigen die Werte weiter an. Die V_{85} liegt am Anfang 19 km/h über den zulässigen 60 km/h, in der Mitte 15 km/h und steigt am Ende auf mehr als 23 km/h an. Eine Tendenz zum immer schnelleren Fahren mit zunehmender Baustellenlänge, wie in der Literatur beschrieben, konnte dennoch nicht nachgewiesen werden.

Die im Weiteren untersuchte Wirkung gelber Beschilderung auf das Fahrverhalten beschränkt sich auf die Bereiche, in denen sie angeordnet ist (Annäherungsbereich/Beginn der Baustelle). Sie beeinflusst nicht das Fahrverhalten innerhalb der Baustelle.

5.3.2 Querschnittsmessungen

Wie bereits aus den Ergebnissen der Nachfolgefahrten ersichtlich, ergab sich auch aus den lokalen Geschwindigkeitsmessungen ein enger Zusammenhang zwischen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und dem Grad ihrer Überschreitung. Im Bereich vor der ersten Verschwenkung bzw. Überleitung von Fahrstreifen am Baustellenbeginn wurden Geschwindigkeitsüberschreitungen von bis zu 40 km/h (V_{85}) beobachtet. Dieses Maß nahm im Baustelleninnenbereich ab. Allerdings konnte bei den untersuchten Baustellen kein Zusammenhang zwischen der Gestaltung des Baustellenbereiches, der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und ihrer Einhaltung abgeleitet werden.

Einen Überblick über die in den verschiedenen Baustellen ermittelten V_{85} gibt Abbildung 5-2. Daraus wird die große Bandbreite der V_{85} zwischen Messstellen deutlich. Diese sind in den Bereichen der Annäherung, Baustellenmitte und im Nachlauf am größten. Aus den

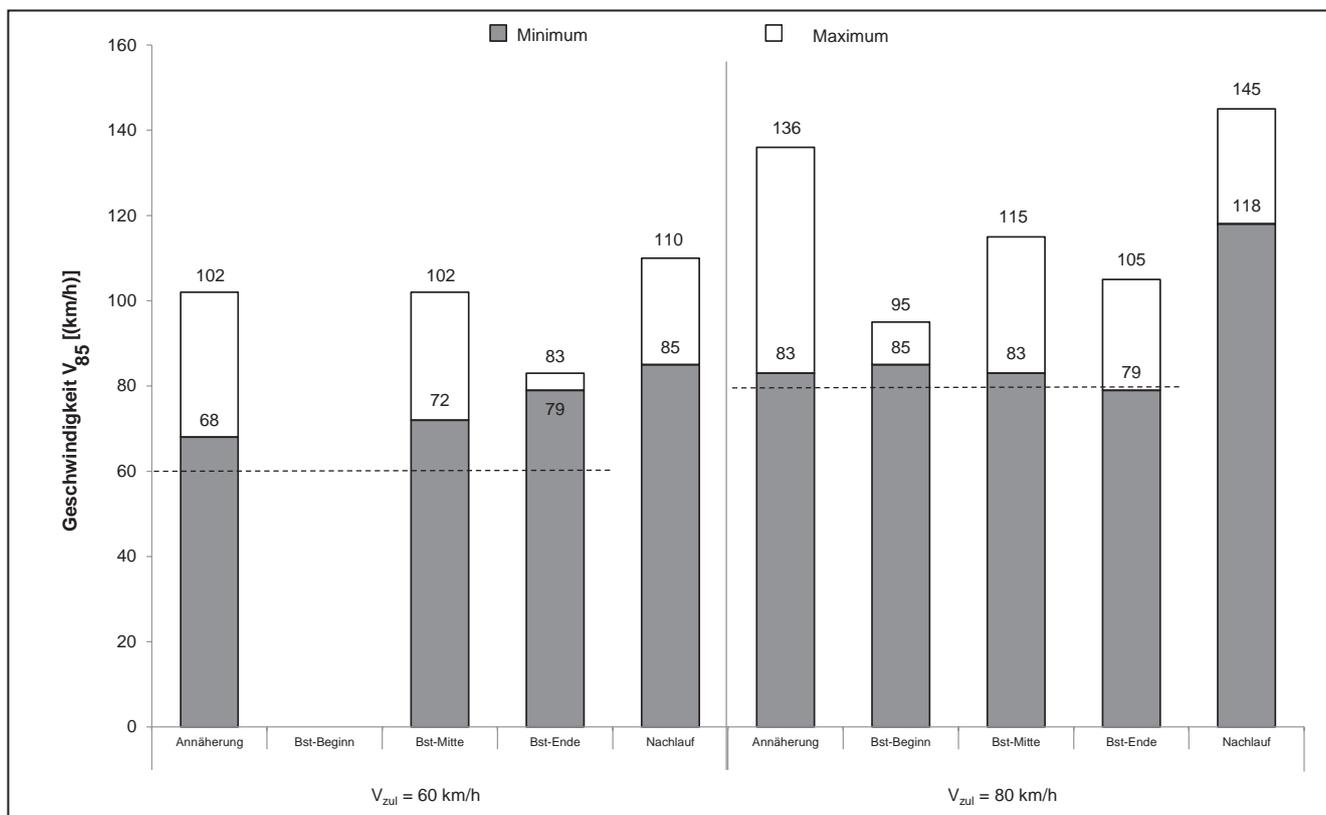


Abbildung 5-2: V_{85} in verschiedenen Abschnitten der Baustellenbereiche

(wenigen) Werten der Anfangs- und Endbereiche lassen sich nur Tendenzen ableiten, es deuten sich aber im Vergleich der weiteren betrachteten Abschnitte geringere Differenzen der Messwerte an.

Ein wesentliches Merkmal von Baustellenbereichen sind im Vergleich zu den freien Autobahnabschnitten schmale Fahrstreifen. Insbesondere das falsche Einschätzen von seitlichen Abständen kann hier zu Konflikten führen. Das spiegelt sich auch im Anstieg der Unfälle im Längsverkehr wieder, welche sich häufig durch seitliches Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen ereigneten.

Die seitlichen Abstände, insbesondere beim Überholen innerhalb der Baustelle, wurden überschlägig bestimmt. Am Beispiel der Situation eines Pkw, der einen Lkw überholt lässt sich dabei der Einfluss der Fahrstreifenbreite auf die Wahl der seitlichen Abstände gut erkennen (Abbildung 5-3). So wählen Fahrer

der überholenden Pkw eher einen geringen Abstand zur Gegenverkehrstrennung als zum überholten Lkw. Auch bei breiteren Überholfahrstreifen fuhr ein Teil der beobachteten Fahrzeuge weniger als 50 cm neben der Gegenverkehrstrennung. Die Abstände zum überholten Lkw waren in der Regel größer. Nur bei den schmalen Querschnitten (3,00 m/2,50 m) fuhren etwa 25 % der überholenden Pkw-Fahrer weniger als 50 cm neben dem Lkw. In Anbetracht des Bewegungsspielraums beider Fahrzeuge ist ein solch geringer Abstand eine mögliche Erklärung für hohe Anteilswerte von Unfällen durch seitliches Streifen in schmalen Baustellen. Situationen der Unaufmerksamkeit, aber auch das Nicht-Einhalten der Fahrlinie durch das jeweils überholte Fahrzeug bergen sowohl eine direkte als auch eine indirekte Unfallgefahr. Dies wurde durch eine stichprobenhafte Überprüfung der Unfalldaten bestätigt. Aber auch Reflexreaktionen des Überholers auf Fahrlinienveränderungen durch den Überholten können zu einer Kollision mit der Gegenverkehrstrennung führen.



5.2.3 Längsabstände

In der Literatur wird der Effekt von sich verringernden Längsabständen im Verlauf der Baustellen beschrieben (Kockelke, 1988). Auch für die Baustellen der vorliegenden Untersuchung wurden die Längsabstände getrennt nach Fahrstreifen betrachtet. Die Werte stellen jeweils die Nettozeitlücke zwischen aufeinanderfolgenden Fahrzeugen dar. Sie wurden nach vier Klassen differenziert ausgewertet:

- bis 0,9 s - starke Unterschreitung des Sicherheitsabstandes⁶⁾
- 0,9 bis 1,7 s - Unterschreitung des Sicherheitsabstandes
- Über 1,7 s - Einhaltung des Sicherheitsabstandes.

Die Zahl der Unterschreitungen von Sicherheitsabständen nimmt mit Zunahme der Verkehrsstärken zu. Dieser Zusammenhang wird vor allem bei der Betrachtung des Überholfahrstreifens deutlich (Abbildung 5-4). Auf beiden Fahrstreifen unterschreiten bei Verkehrsstärken über 1.000 Fz/h bis zu 40% der Fahrer die Sicherheitsabstände zum jeweils vorausfahrenden Fahrzeug.

In der Literatur wurde von einer Abnahme der Längsabstände im Baustellenverlauf und in dessen Folge von häufigen Unterschreitungen der Sicherheitsabstände am Baustellende berichtet (Kockelke, 1988). Vor allem für den rechten Fahrstreifen, auf welchem im Baustellenbereich 60% bis 80% der Fahrzeuge fahren, konnte dieser Effekt nicht beobachtet werden (Abbildung 5-5).

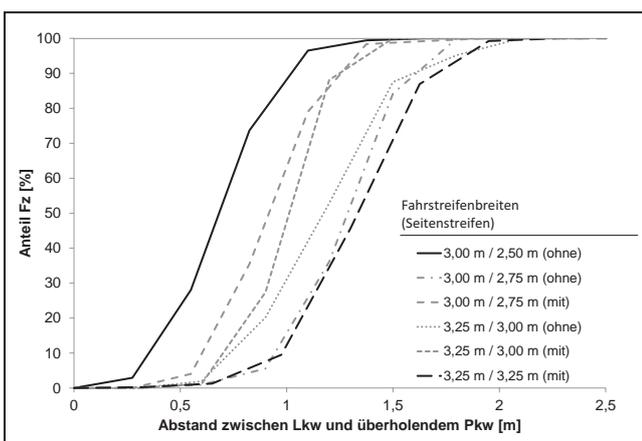
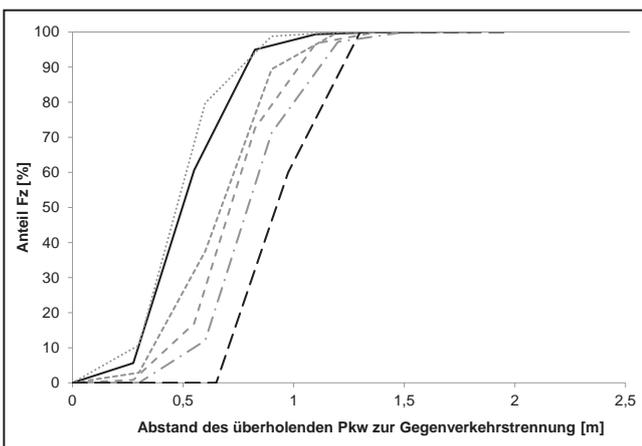


Abbildung 5-3: Seitenabstände eines Pkw beim Überholen eines Lkw in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreite

⁶⁾ Als Sicherheitsabstand wurde hier eine Nettozeitlücke von 1,8 s gewählt. Das entspricht einem Abstand nach der Faustformel „Abstand gleich halber Tacho“.

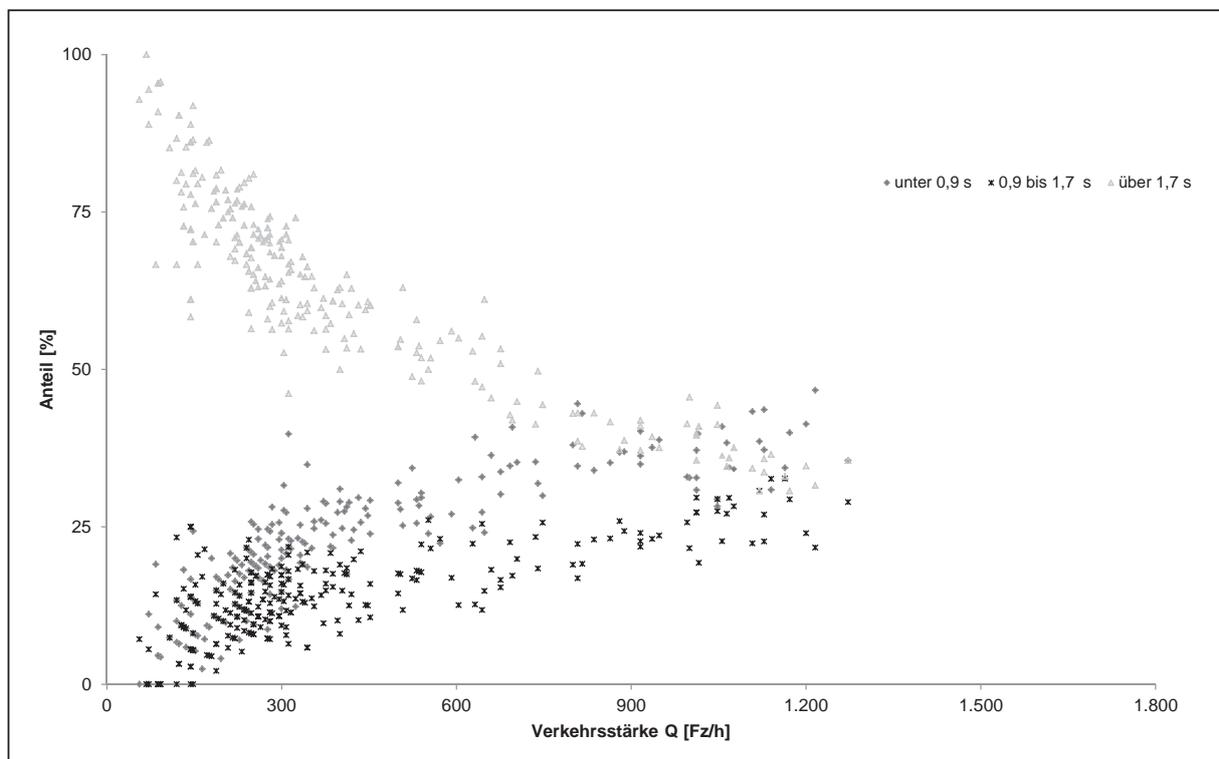


Abbildung 5-4: Einhaltung der Sicherheitsabstände zwischen Fahrzeugen auf dem rechten Fahrstreifen in Abhängigkeit der Verkehrsstärke

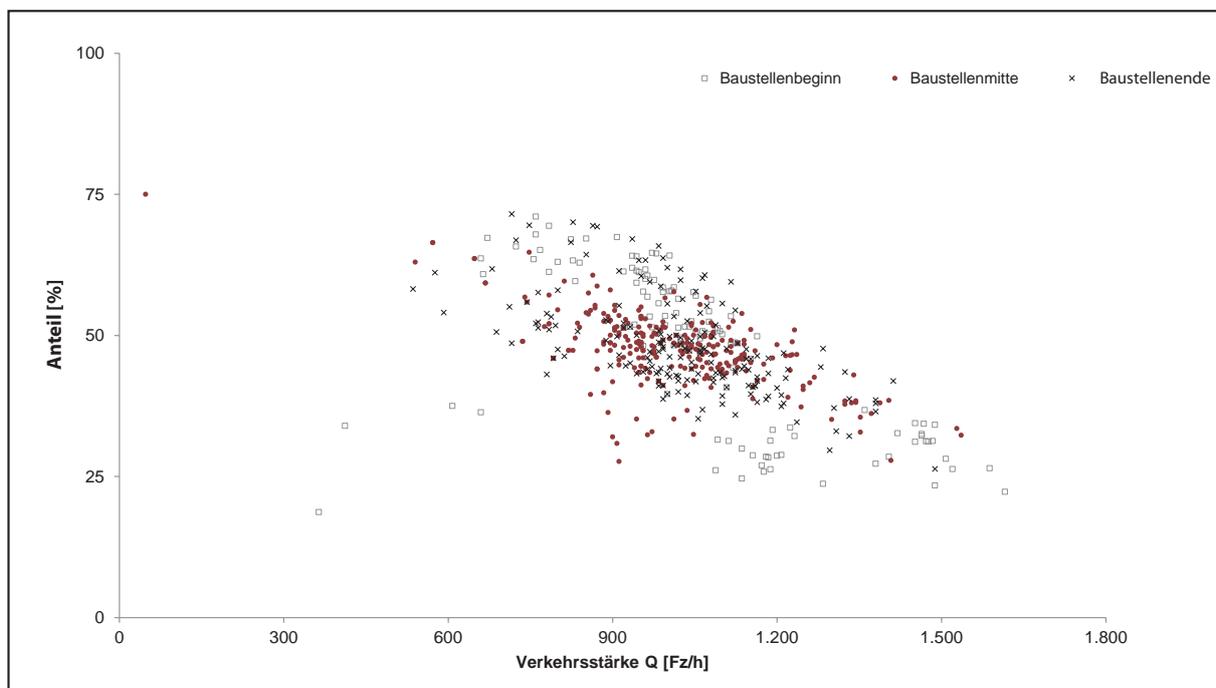


Abbildung 5-5: Einhaltung der Sicherheitsabstände in Bereichen von Baustellen ($t_{ZL} > 1,7\text{ s}$) zwischen Fahrzeugen auf dem rechten Fahrstreifen in Abhängigkeit der Verkehrsstärke

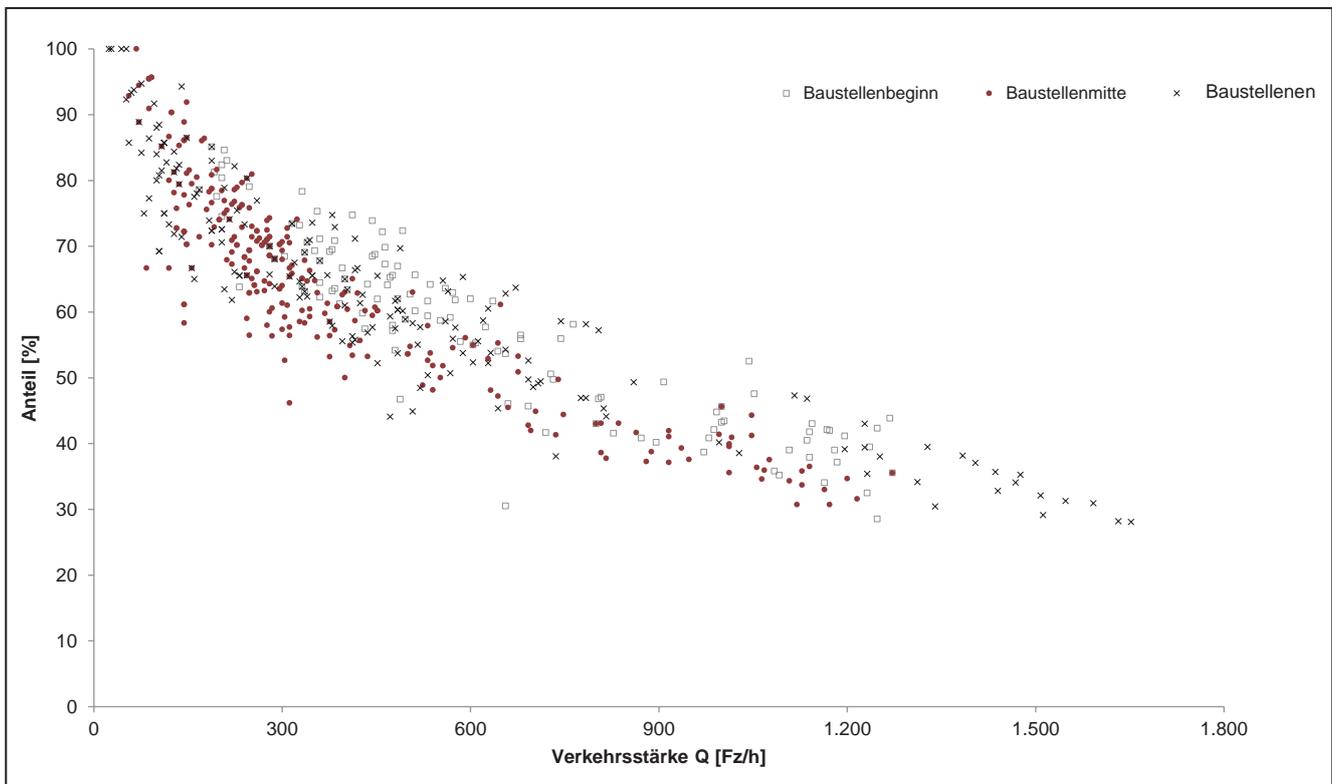


Abbildung 5-6: Einhaltung der Sicherheitsabstände in Bereichen von Baustellen ($t_{ZL} > 1,7$ s) zwischen Fahrzeugen auf dem linken Fahrstreifen in Abhängigkeit der Verkehrsstärke

Fahrer auf dem linken Fahrstreifen in der Mitte und am Ende der Baustelle fahren häufiger mit zu geringem Abstand (Abbildung 5-6). Vor allem der Anteil der sehr kurzen Abstände unter 0,9s, was bei 80 km/h 20 m entspricht, nimmt in diesen Bereichen zu. Zwischen den mittleren Unterschreitungen zwischen 0,9s und 1,7s ließ sich kein Unterschied der Anteilswerte in Abhängigkeit der Bereiche in der Baustelle feststellen.

Infolge der Aufhebung der baustellenbedingten Geschwindigkeitsbeschränkung nach der Rückverschwenkung kommt es zu einer „Entzerrung“ des Verkehrs und damit zu größeren Fahrzeugabständen sowie einem geringeren Fahrzeuganteil auf dem rechten Fahrstreifen.

Das in der Literatur beschriebene „Zusammenschieben“ der Fahrzeuge innerhalb der Baustelle kann nur im Ansatz nachgewiesen werden. So konnte eine leichte Zunahme von sehr kurzen Zeitlücken zwischen Beginn und Mitte der Baustellen festgestellt werden.

5.2.4 Geschwindigkeiten bei Nacht

Ein Vergleich der bei Tag und Nacht gefahrenen Geschwindigkeiten zeigt überwiegend einen nachweisbaren Einfluss der Tageszeiten auf das Fahrverhalten. So unterscheiden sich die bei Nacht gefahrenen Geschwindigkeiten in den meisten Fällen signifikant von denen am Tag. Allerdings ist keine einheitliche Tendenz des Geschwindigkeitsverhaltens bei Nacht feststellbar. Es kommt nachts sowohl zu einer Über- als auch Unterschreitung der Tagesgeschwindigkeiten um bis zu 10 km/h (V_{85}).

5.3 Unfallgeschehen

5.3.1 Unfallschwerstruktur

Insgesamt ereigneten sich 5 % der 103.653 Autobahnunfälle (in den Jahren 2006 bis 2008) mit Personen- und schwerwiegendem Sachschaden (Kategorien 1-4, 6)

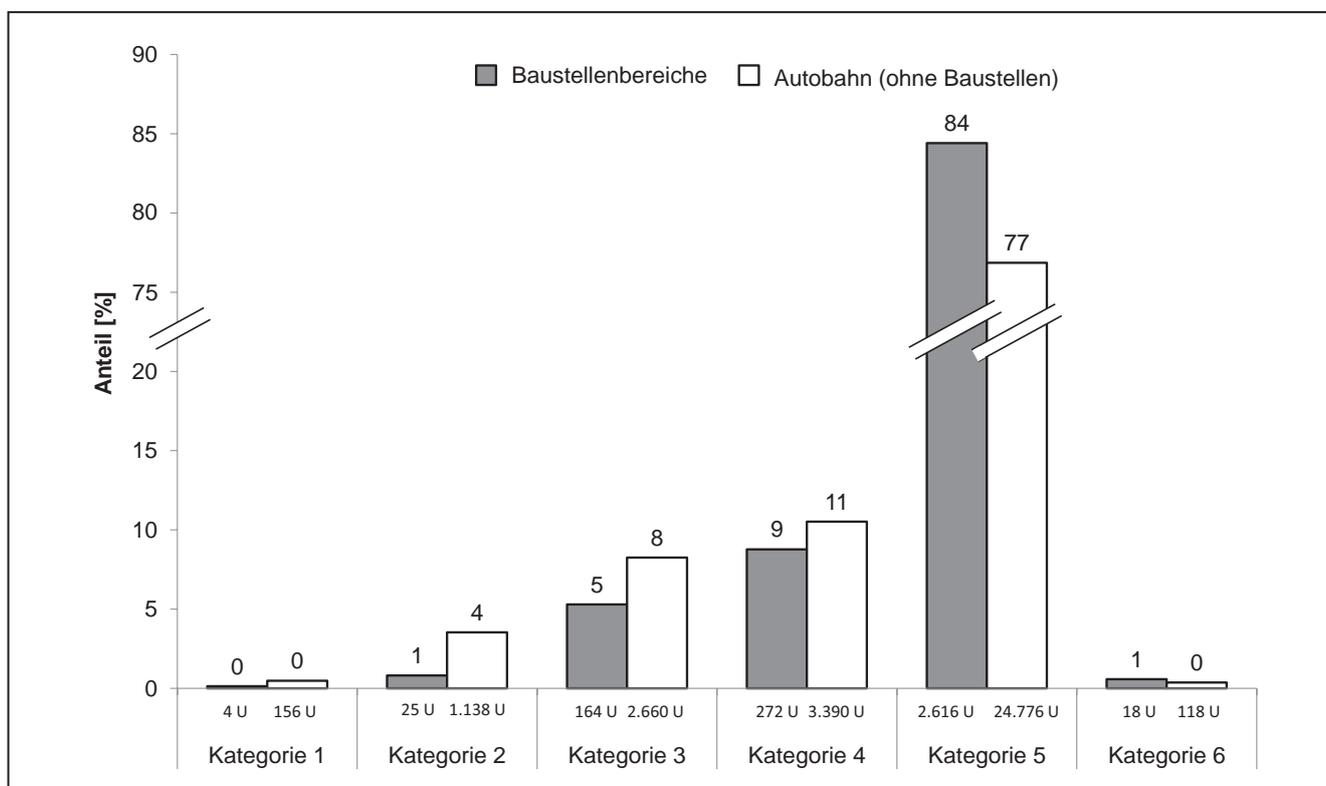


Abbildung 5-7: Unfälle des Untersuchungskollektivs nach Unfallkategorien differenziert nach Autobahnabschnitten mit und ohne Baustellen

im Bereich von Baustellen (Destatis, 2009). Aus der Literatur (Köppel, 1978; Nadler, 1988) geht hervor, dass diese Unfälle im Vergleich zu den baustellenfreien Abschnitten eine geringere Schwere aufweisen. Dies wird besonders bei Einbeziehung der sonstigen Unfälle mit Sachschaden (Kategorie 5) deutlich. Dieser Kategorie konnten etwa 84 % aller Unfälle in Baustellenbereichen zugeordnet werden. Auf baustellenfreien Abschnitten beträgt deren Anteil 77 %. Lediglich 6 % der Unfälle in den untersuchten Baustellen haben Personenschaden zur Folge. Insgesamt ereigneten sich in den 12 untersuchten Baustellen längerer Dauer im gesamten Erhebungszeitraum lediglich 29 Unfälle mit schwerem Personenschaden U(SP), vier davon mit Todesfolge. Damit umfassen U(SP) lediglich etwa 1 % aller Unfälle in Autobahnbaustellen (Abbildung 5-7).

Diese geringere Unfallschwere in Bereichen von Autobahnbaustellen steht im Einklang mit den Ergebnissen aus der Literatur und zeigt, dass sich das Unfallgesche-

hen in Baustellen maßgeblich von dem baustellenfreien Autobahnabschnitten unterscheidet. Aus diesem Grund wurden für die Bewertung der Sicherheitsdefizite in Baustellenbereichen eigene Unfallkostensätze bestimmt.

Nach FGSV 2003a sind auf Außerortsstraßen mindestens 100 U(P) für eine Anpassung der Unfallkostensätze erforderlich. Dies soll anteilig aussagekräftige Kollektivgrößen, insbesondere von Unfällen der Kategorie 1, gewährleisten. Insgesamt liegen in den Baustellen 193 U(P) vor. Eine differenzierte Anpassung für U(SP) und U(LP) ist aufgrund der geringen Unfallzahlen der U(SP) nicht möglich. Aus den in der Abbildung 5-7 enthaltenen Unfalldaten ergeben sich die in Tabelle 5-3 berechneten angepassten Unfallkostensätze für Unfälle in Autobahnbaustellen. Aufgrund der besonderen Gestaltung im Zusammenhang mit der folgenden Baustelle werden die Bereiche der Annäherung den Baustellen zugeordnet. Entsprechend haben die angepassten Kostensätze aus Tabelle 5-3 Gültigkeit.

Tabelle 5-3: Anpassung der Unfallkostensätze für Unfälle in Baustellen auf Autobahnen

Verletzte		Unfälle		WUa
Getötet	7	U(P)	193	95.000 €
Schwerverletzt	33			
Leichtverletzt	283			
		U(S)	2.906	10.500 €

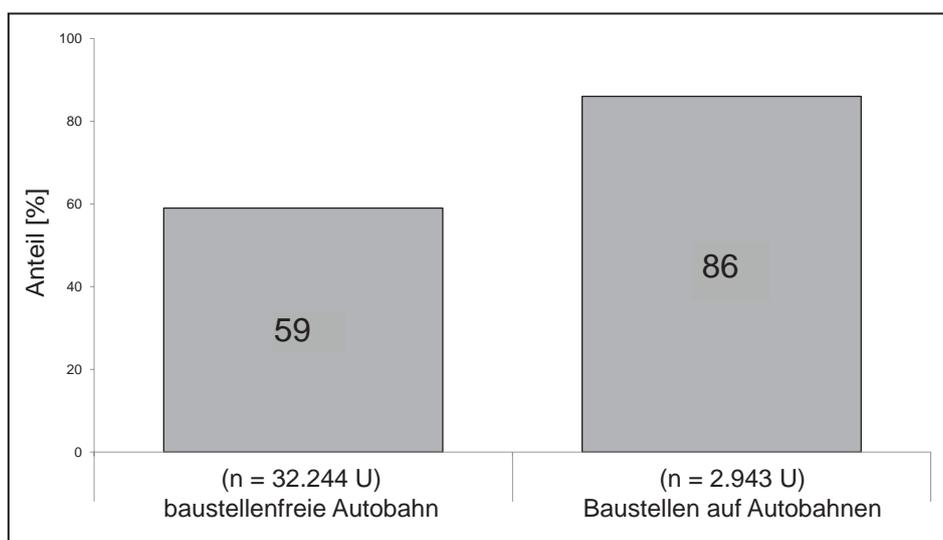
5.3.2 Ausprägung der Unfallumstände

Die Auswertung der Unfallumstände gemäß FGSV (2003) und die Gegenüberstellung mit den Durchschnittswerten für das Unfallgeschehen auf deutschen Autobahnen (Tabelle 5-4) ergibt für die Baustellenbereiche nur einen leicht erhöhten Anteil von Unfällen bei Nacht. Die Erkenntnisse aus Kapitel 5.2, wonach es bei Nacht sowohl zu Über- als auch Unterschreitungen der Tagesgeschwindigkeiten kommt, erklären die häufiger auftretenden Unfälle bei Nacht nicht ausschließlich. Auch eine schlechtere Erkennbarkeit der Verkehrssituation in Baustellen bei Nacht kann aus den Erkenntnissen abgeleitet werden.

In den Annäherungsbereichen, welche durch die Vorankündigung der Baustelle, die stufenweise Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und in einzelnen Fällen auch durch Fahrstreifenreduktionen bestimmt werden, ereignen sich ebenfalls überdurchschnittlich viele Unfälle bei Dunkelheit. Zudem weisen die Spitzenzeiten eine geringe Überschreitung des Durchschnittswertes von Autobahnen auf. Hier können in diesen Zeiten auftretende hohe Verkehrsstärken im Zusammenhang mit in diesen Bereichen häufiger stattfindenden Fahrstreifenwechseln sowie die Störung im Verkehrsablauf zu einer Erhöhung des Unfallrisikos führen.

Tabelle 5-4: Ausprägung der Unfallumstände der Unfälle in den betrachteten Baustellen (hervorgehobene Werte liegen über dem Durchschnittswert für Autobahnen)

Ausprägung der Unfallumstände		Autobahn	Baustellen	
			Annäherungsbereich 2 km vor 1. Überleitung	Baustellenbereich
Winter	Dez - März	30%	21%	23%
Wochenende	Sa/So	30%	19%	17%
Spitzenzeiten	6-9/16-19	40%	43%	39%
Nacht	dä/du	30%	38%	33%
Nässe/Glätte	na/wgl	40%	24%	19%



*) zu 156 Unfällen lagen keine Angaben zur Anzahl am Unfall beteiligter Verkehrsteilnehmer vor

Abbildung 5-8: Unfälle mit mehr als einem Beteiligten

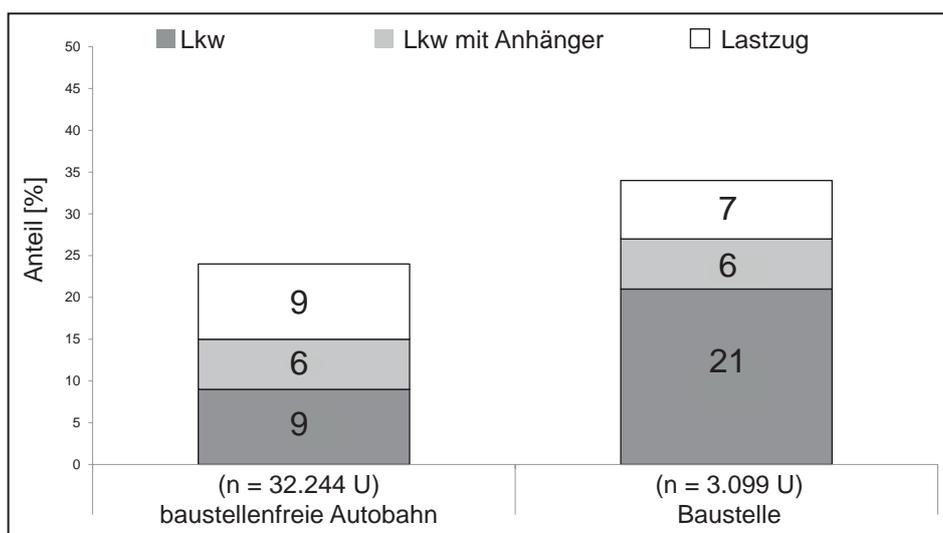
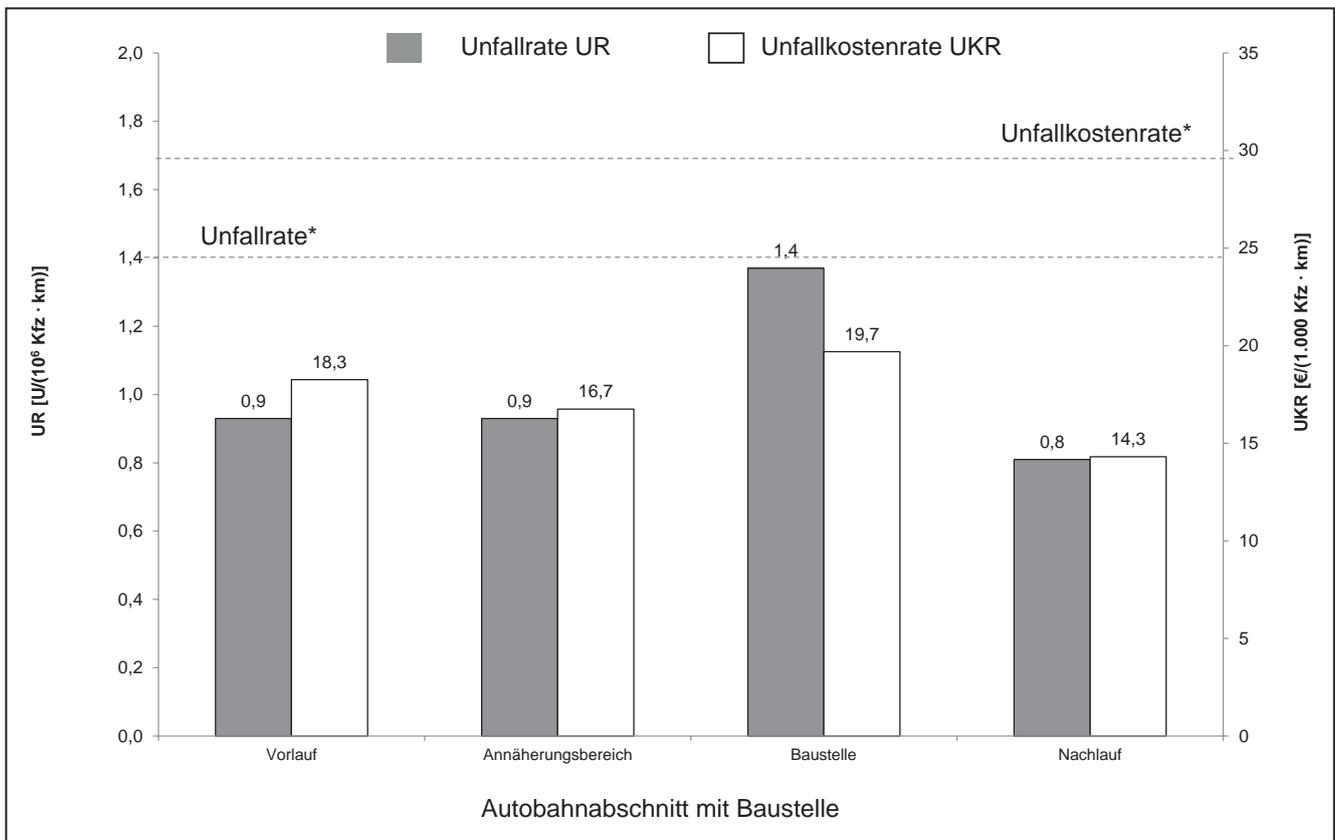


Abbildung 5-9: Anteil der durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs verursachten Unfälle auf baustellenfreien Autobahnen und in Baustellenbereichen in Anteilswerten

5.3.3 Art der Verkehrsbeteiligung

In Baustellen auf Autobahnen ereignen sich gegenüber den baustellenfreien Abschnitten häufiger Unfälle mit mehreren Beteiligten. Während auf baustellenfreien Autobahnabschnitten an weniger als 60% der Unfälle mehrere Verkehrsteilnehmer beteiligt sind, steigt der Anteil in Baustellen auf 86% (Abbildung 5-8).

Neben der Zahl der an Unfällen beteiligten Verkehrsteilnehmer nimmt in Autobahnbaustellen auch der Anteilswert der Fahrzeuge des Schwerverkehrs (Lkw) bei den Unfallverursachern zu. Beträgt der Anteil von Lkw, die einen Unfall verursachen auf baustellenfreien Autobahnen ca. 9%, steigt dieser in Baustellen auf 21% (Abbildung 5-9). Die Anteilswerte von Lkw mit Anhängern oder Lastzügen verändern sich nur wenig.



*) Werte für von Baustellen unbeeinflusste Strecken auf Autobahnen mit einer 2 + 2-Verkehrsführung

Abbildung 5-10: Unfallraten UR und Unfallkostenraten UKR für Autobahnabschnitte mit Baustellenbereichen (Kenngrößen baustellenfreier Autobahnabschnitte mit 2 Fahrstreifen je Richtung sind gestrichelt dargestellt)

5.3.4 Unfallraten und Unfallkostenraten

Insgesamt ereigneten sich in den jeweils 23 Vor- und Nachlaufbereichen, welche stets mit einer Länge von 3 km berücksichtigt wurden, 106 U(P) und 1.117 U(S). Den Hauptphasen wurden 149 U(P) und 2.572 U(S) zugeordnet.

Da die Verkehrsstärken auf den vier betrachteten Abschnitten einer Baustelle i. d. R. identisch sind (Ausnahme: bedeutende Anschlussstelle im betrachteten Bereich), wirken sich lediglich die Abschnittslängen auf die Fahrleistungen aus. Aus den o. g. Unfallzahlen und den Fahrleistungen ergeben sich die in Abbildung 5-10 dargestellten Unfallraten (UR). Aus diesen lässt sich ableiten:

- die Unfallrisiken der Vorlauf- und Annäherungsbereiche sind vergleichbar,

- die Unfallrate nimmt im Baustellenbereich um 32% zu.
- Aus dem im Vergleich zur Unfallrate geringeren Anstieg der Unfallkostenrate in den Baustellen lässt sich eine geringere Schwere von Unfällen in Baustellen erkennen. Das bestätigt die Erkenntnisse früherer Untersuchungen (Köppel, 1978).

Obwohl hier bereits Begrenzungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten vorgenommen werden, ist für die Annäherungsbereiche kein Rückgang der Unfallschwere nachzuweisen. Zwar erfolgt eine Verringerung der Geschwindigkeiten infolge der stufenweisen Reduzierung der V_{zul} , dennoch lagen die beobachteten Geschwindigkeiten deutlich darüber. Dabei ist das Ausmaß der Überschreitung von der Höhe der zulässigen Höchstgeschwindigkeit abhängig.

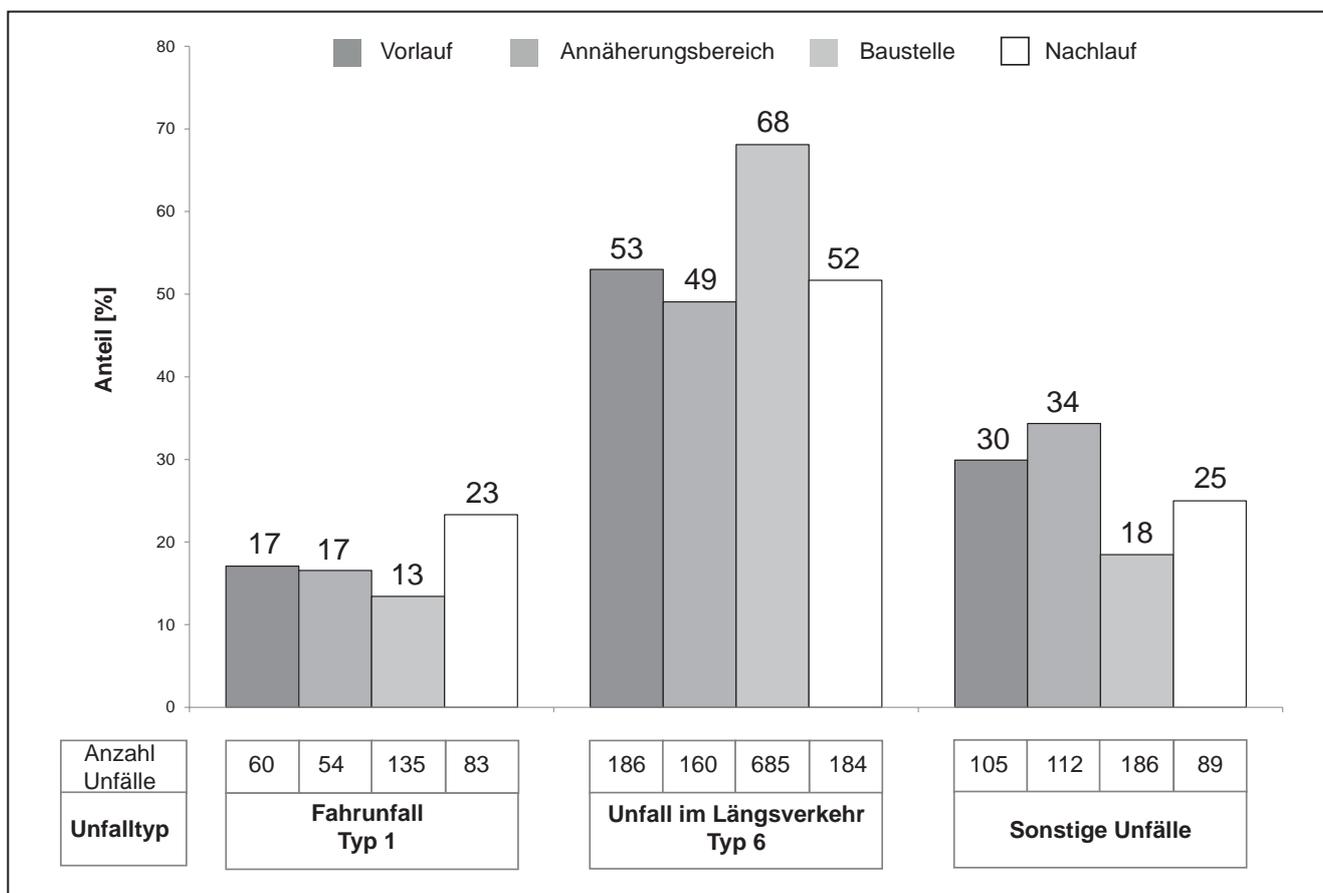


Abbildung 5-11: Fahrunfälle und Unfälle im Längsverkehr – Anteilswerte der Unfallzahlen nach Abschnitten von Autobahnen mit Baustellenbereichen

5.3.5 Unfalltypen

Die maßgebenden Unfalltypen für die Abschnitte von Autobahnen und deren Baustellenbereiche sind mit 60% aller Unfälle solche im Längsverkehr (Unfalltyp 6) und mit 16% Fahrunfälle (Unfalltyp 1). Damit beschreiben diese Typen 76% aller betrachteten Unfälle.

Gegenüber den Bereichen vor den Baustellen kommt es innerhalb zu einem erhöhten Anteil von Längsverkehrsunfällen (Abbildung 5-11). Dieser liegt in Baustellen etwa 15% über dem des Vorlauf- und 19% über dem des Annäherungsbereiches. Darüber hinaus weisen die Bereiche nach Baustellen (Nachlaufbereiche) einen im Vergleich zum Vorlaufbereich 6 Prozentpunkte höheren Anteil an Fahrunfällen auf.

Ob der höhere Anteil der Unfälle im Längsverkehr im Zusammenhang mit verengten Fahrstreifen in den betrachteten Baustellenbereichen steht, lässt sich aus den Anteilswerten der Unfalltypen allein nicht ableiten. Genauere Hinweise auf den Einfluss schmaler Fahrstreifen auf das Unfallgeschehen können aus den Unfallarten gewonnen werden.

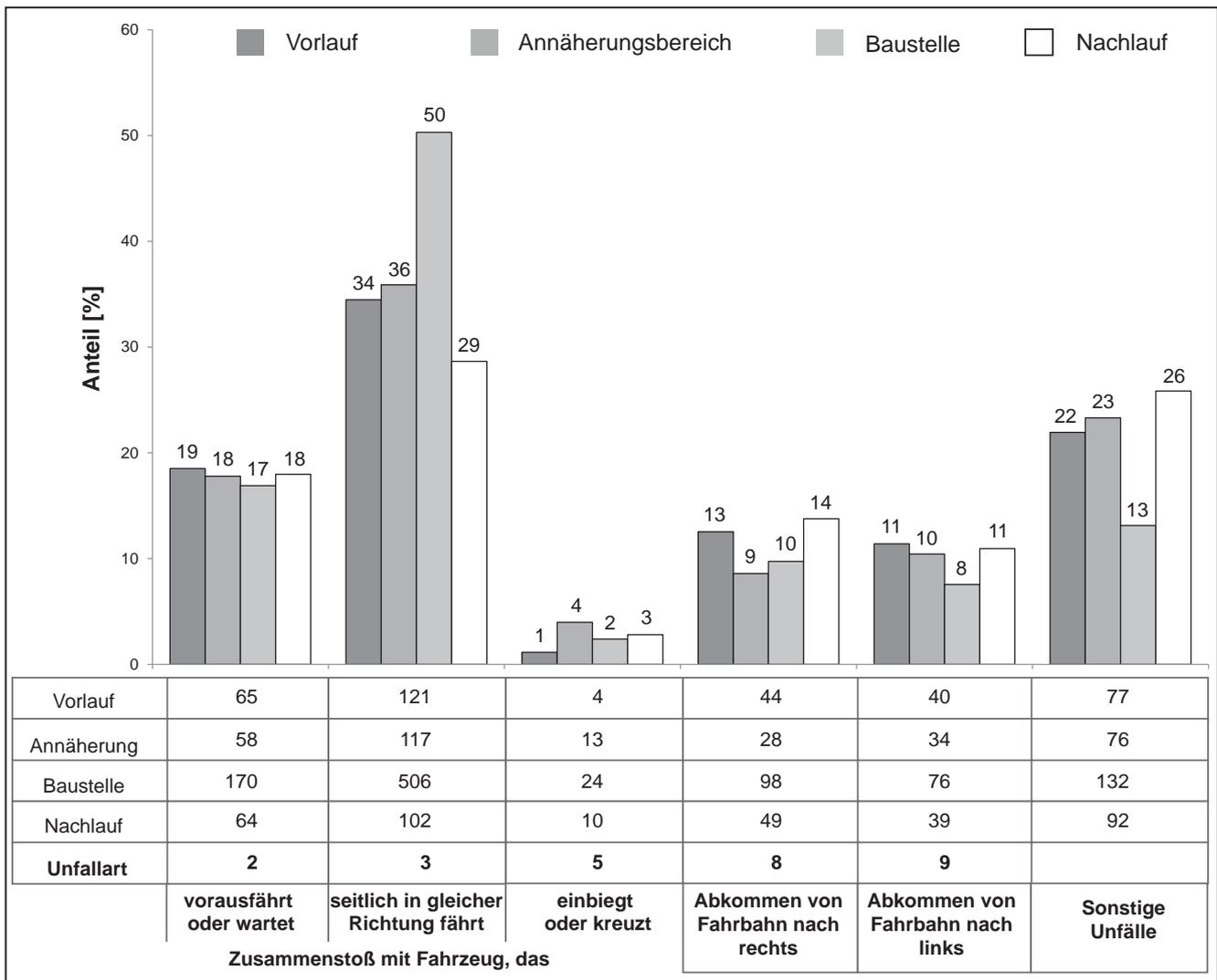


Abbildung 5-12: Unfallart – Anteilswerte nach Abschnitten von Autobahnen mit Baustellenbereichen

5.3.6 Unfallart

Unfallarten können in unterschiedlichem Maß Aufschluss über Zusammenhänge des Unfallgeschehens im Zusammenhang mit Baustellen auf Autobahnen geben. So sind einige Unfallarten unabhängig vom Vorhandensein einer Baustelle. Als für die Analyse relevant werden die folgenden Unfallarten angesehen (vgl. Abbildung 5-12):

Unfallart 2

(Zusammenstoß mit Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet)

Etwa 18% aller betrachteten Unfälle ereigneten sich

durch Auffahren auf ein vorausfahrendes oder ein verkehrsbedingt wartendes Fahrzeug. Damit ist der Auffahrunfall einer der maßgebenden Unfälle auf den betrachteten Streckenabschnitten. Unterschiede im Abstandsverhalten der Verkehrsteilnehmer können sich in den Anteilswerten dieser Unfallart widerspiegeln.

Unfallart 3

(Zusammenstoß mit Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt)

41% der Unfälle standen im Zusammenhang mit seitlichem Streifen von in gleicher Richtung fahrenden

Fahrzeugen. Es wurde im Vorfeld der Untersuchungen vermutet, dass sich dieser Anteil aufgrund der schmalen Fahrstreifen innerhalb von Baustellen erhöht. Diese Unfallart wird als ein wichtiger Indikator für die Wirkung schmaler Fahrstreifen auf das Unfallgeschehen angesehen.

Unfallart 5

(Zusammenstoß mit Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt)

Der Unfallart 5 wurden insbesondere Unfälle zugeordnet, die sich an Autobahnanschlussstellen ereigneten. Diese Gruppe umfasst ca. 3 % der Unfälle in den betrachteten Bereichen.

Unfallart 8

(Abkommen von der Fahrbahn nach rechts)

Die in Unfallart 8 enthaltenen Unfälle durch Abkommen nach rechts beinhalten etwa 11 % des Unfallkollektivs.

Unfallart 9

(Abkommen von der Fahrbahn nach links)

Durch Abkommen von der Fahrbahn nach links ereigneten sich insgesamt 9 % der Unfälle. Damit liegt der Anteil in geringem Maß unter dem des Abkommens nach rechts.

Unfälle in Baustellenbereichen ereignen sich zu einem großen Anteil mit in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen. Insbesondere das seitliche Streifen von Fahrzeugen prägt das Unfallgeschehen. Der Anteil der Unfälle durch seitliches Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen (Unfallart 3) liegt 16 Prozentpunkte über dem Wert des Vorlaufbereiches und damit der direkten Vergleichsstrecke. Diese Unfälle können mit den in der Regel geringeren Breiten der Richtungsfahrbahnen begründet werden. Darüber hinaus liegen auch die Anteilswerte der Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn (Unfallarten 8 und 9) in Baustellen unter den Werten der Vor- und Nachlaufbereiche.

Aus den Daten von Unfällen mit Fahrzeugen, die einbiegen (oder kreuzen) lassen sich keine eindeutigen Rückschlüsse auf den Einfluss der unterschiedlichen Bereiche

ziehen. Die geringen Unfallzahlen resultieren aus wenigen Einzelementen. Es liegt möglicherweise ein Einfluss örtlicher Besonderheiten der Unfallstellen auf das Unfallgeschehen vor.

5.3.7 Länge von Baustellen

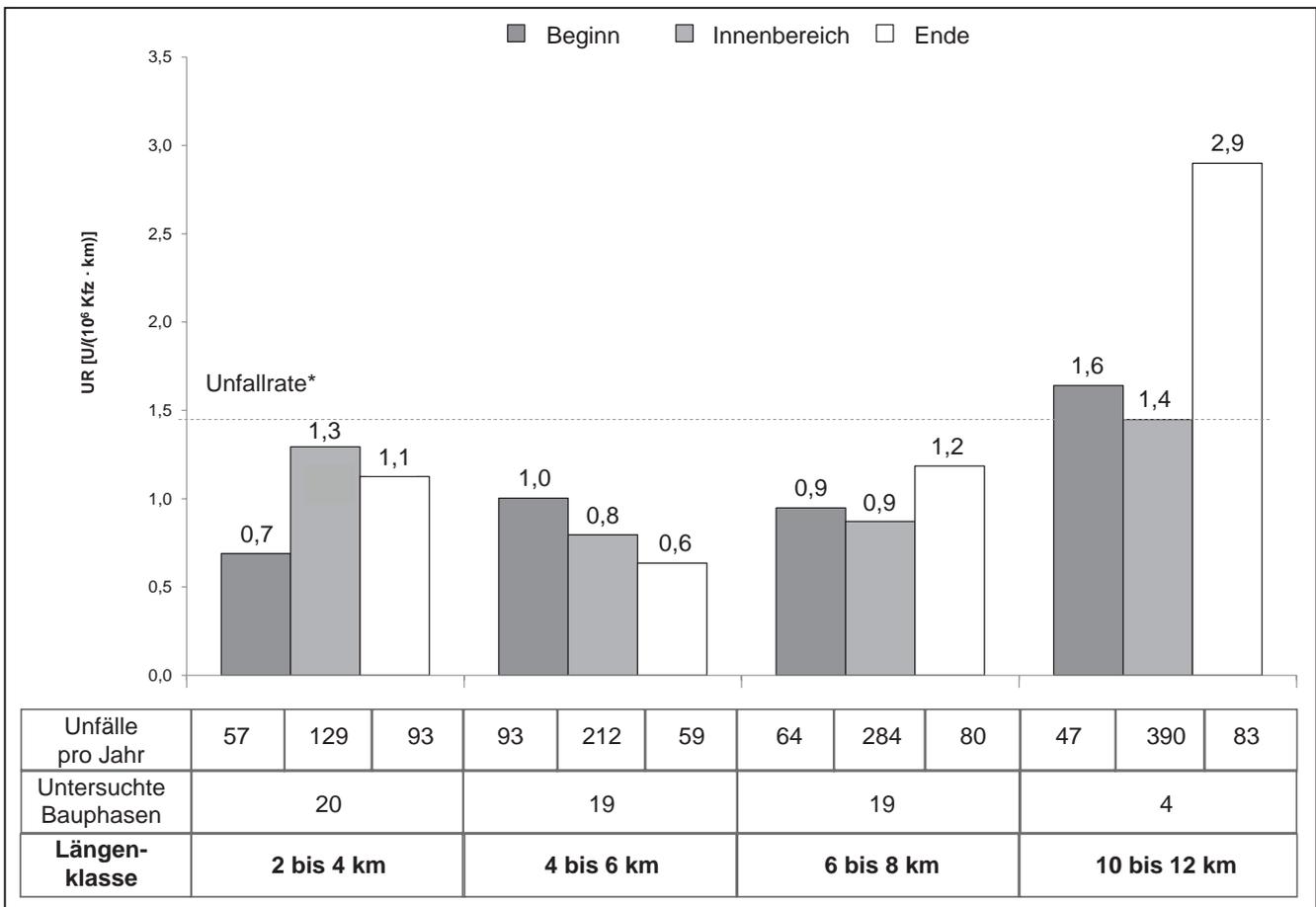
Um zu prüfen, ob sich an Beginn und Ende der Baustellenbereiche ein vom Innenbereich abweichendes Unfallgeschehen einstellt, wurden diese Abschnitte separat analysiert und den Ergebnissen des Baustelleninnenbereiches gegenübergestellt. Für diesen Ansatz wurden Einflusslängen der Baustellenränder von 1 km Länge angenommen. Die reduzierte Länge des Innenbereiches entspricht demnach:

$$L_{\text{red}} = L_{\text{Bst}} - 2 \times 1 \text{ [km]}$$

Unfälle im Bereich besonderer Verkehrsführungen (Verschwenkungen, Anschlussstellen, usw.) können aufgrund abweichender Charakteristik das Ergebnis dieser Betrachtung beeinflussen und wurden ausgeschlossen. In die Bestimmung des Einflusses der Baustellenränder auf das Unfallgeschehen wurden so ausschließlich Unfälle einbezogen, die sich auf unbeeinflussten Strecken ereigneten. Untersucht wurden jeweils die Hauptbauphasen der Baustellen. Dabei handelt es sich um Zeitbereiche unveränderter Gestaltung der Baustellenbereiche mit einer Mindstdauer von sechs Monaten. Zudem erfolgte eine Unterteilung der untersuchten Bauphasen in die vier Längenklassen:

- 2 bis 4 km (kurze Abschnitte),
- bis 6 km,
- bis 8 km,
- 10 bis 12 km (lange Baustellen).

Insbesondere in Baustellen über 6 km Länge weisen die jeweils 1 km langen Anfangs- und Endbereiche höhere Unfallraten auf als der verbleibende Innenbereich. Dabei ist das Risiko, in einen Unfall verwickelt zu werden, am Baustellenende am Höchsten. Bei kurzen Baustellen bis 4 km Länge erwiesen sich die von Beginn und Ende der Baustelle unbeeinflussten Innenbereiche als die mit der geringsten Verkehrssicherheit (Abbildung 5-13).



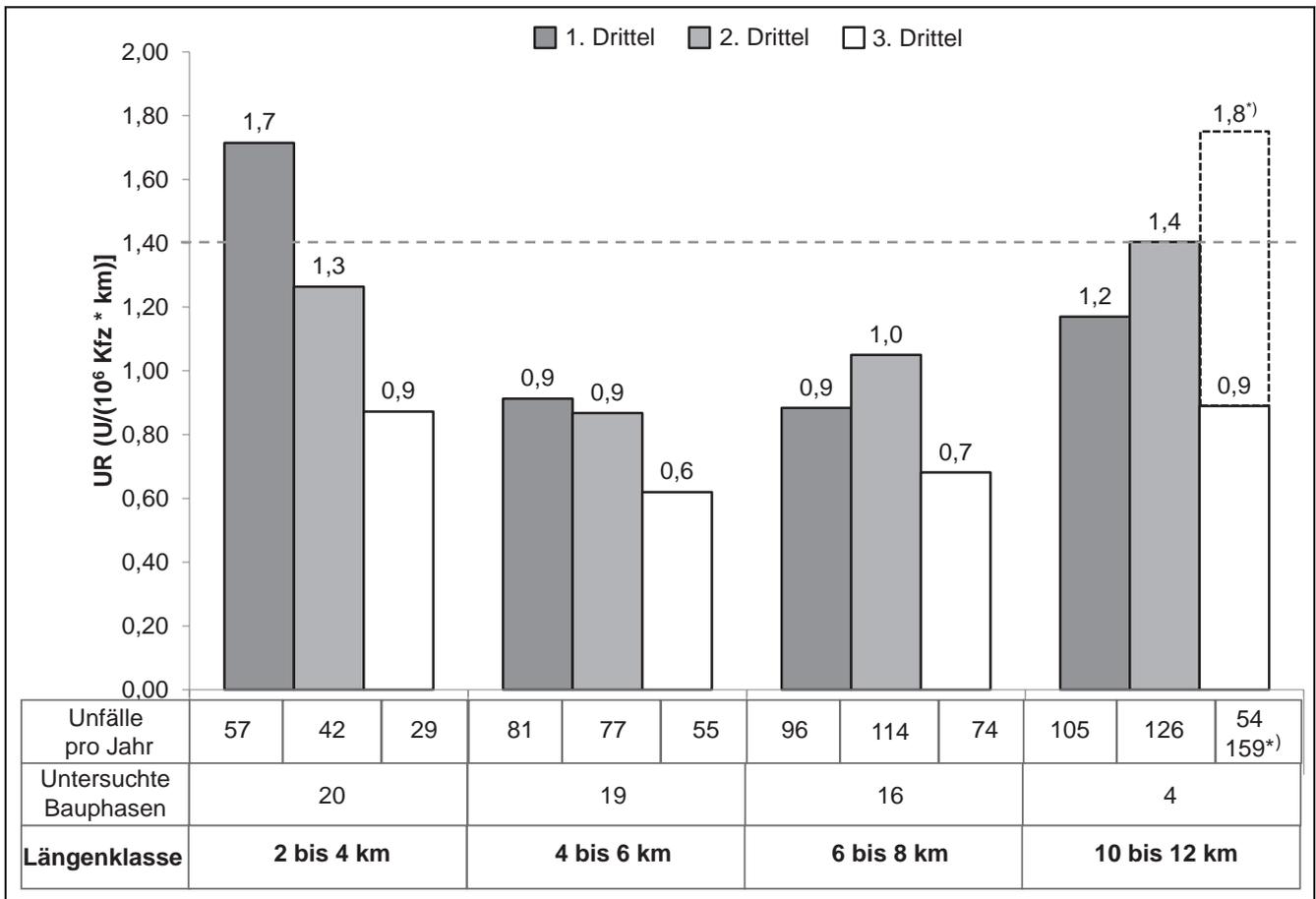
*) Werte für von Baustellen unbeeinflusste Strecken auf Autobahnen mit einer 2 + 2-Verkehrsführung

Abbildung 5-13: Unfallraten - Einfluss von Beginn und Ende der Baustellenbereiche auf das Unfallgeschehen (die Werte von baustellenfreien Autobahnstrecken mit 2 + 2-Verkehrsführung sind gestrichelt dargestellt)

Ob und in welchem Umfang die Baustellenlänge einen Einfluss auf das Unfallgeschehen hat, lässt sich im Rahmen dieser Untersuchung nicht eindeutig klären. Insbesondere lange Baustellen über 8 km werden nur selten angeordnet. Für die Untersuchung des Längeneinflusses wurden die Innenbereiche (L_{red}) in drei gleiche Teilabschnitte unterteilt und deren Unfallkenngrößen miteinander verglichen (Abbildung 5-14). Die Betrachtung erfolgte für alle Längenklasse über 4 km. Für kürzere Strecken hätten sich durch die Bildung der reduzierten Baustellenbereiche zu kleine Untersuchungskollektive ergeben.

In Baustellen größerer Länge nimmt das Unfallrisiko im mittleren Drittel der Baustelle zu. Allerdings ist der Ver-

lauf innerhalb der Baustellen nicht einheitlich. Während das Risiko bei den (in der Betrachtung) kürzesten Baustellen (4 bis 6 km) über die Länge abnimmt, steigt es bei den langen Baustellen um über 50% an. Eine Überprüfung des Untersuchungskollektivs der vier Beispiele der Klasse 10 bis 12 km ergab eine Unfallhäufungsstelle am Ende der Baustelle 11. Dort ereigneten sich 105 der 159 Unfälle. Die drei verbleibenden Phasen weisen im Schlussdrittel eine Unfallrate von 0,9 U/(10 Kfz* km) auf. Damit stellt sich auch für lange Baustellen die gleiche Tendenz wie bei den kürzeren Längenklassen ein. Das Unfallrisiko (Unfallrate) nimmt im letzten Drittel des Baustelleninnenbereiches ab. Durch Parameter des Fahrverhaltens lassen sich die Rückgänge der Unfallrate im Schlussabschnitt aber nicht erklären.



*) Unfallzahl bzw. -rate bei Berücksichtigung eines Schlussabschnitts mit Unfallhäufung

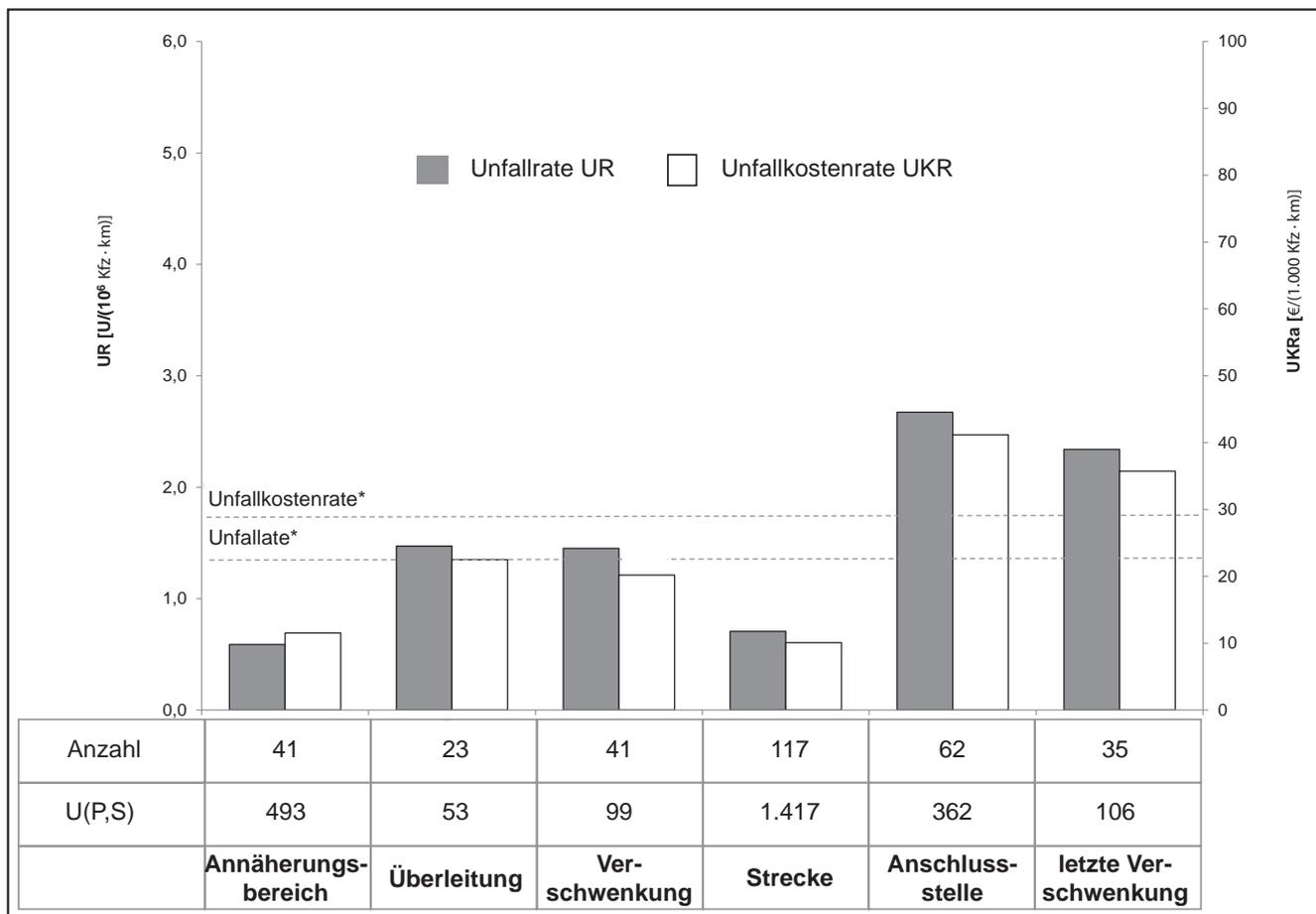
Abbildung 5-14: Unfallraten UR nach Abschnitt des reduzierten Baustellenbereiches (die Unfallrate baustellenfreier Autobahnstrecken mit 2 Fahrstreifen je Richtung sind gestrichelt dargestellt)

6 Verkehrssicherheit von Abschnitten in Autobahnbaustellen

6.1 Abschnitte von Autobahnbaustellen (Vergleich)

Infolge der an die Baumaßnahmen angepassten Verkehrsführungen finden die Fahrer im Vergleich zur zuvor befahrenen baustellenfreien Autobahn schmale Fahrstreifen und eine größere Nähe zu anderen Fahrzeugen vor. Dies betrifft sowohl die seitlichen als auch die Längsabstände. Hinzu kommt beim Überholen häufig ein geringer, wenn auch durch eine Schutzeinrichtung gesicherter Abstand zum Gegenverkehr. Diese Faktoren erhöhen die Anforderungen und erfordern

ein hohes Maß an Konzentration. Erfolgt in dieser Situation eine Veränderung der Verkehrsführung bzw. liegen Anschlussstellen vor, führen diese häufig zu Veränderungen im Fahrverhalten (Abbremsen, Fahrstreifenwechsel). In Verbindung mit nicht eingehaltenen Längsabständen oder bereits geringfügigem Verlassen der Fahrlinien ergibt sich aus der räumlichen Nähe der Fahrzeuge ein erhöhtes Konfliktpotenzial, welches zum Unfall führen kann. Veränderungen der Lage der Fahrstreifen (Verschwenkungen, Überleitungen), aber auch Anschlussstellen wirken sich stets negativ auf die Verkehrssicherheit der Baustelle aus. Die niedrigsten Unfallrisiken weisen die Annäherungsbereiche und freien Strecken innerhalb der Baustellen auf (Abbildung 6-1). Veränderungen in der Verkehrsführung und Anschluss-



*) Werte für von Baustellen unbeeinflusste Strecken auf Autobahnen mit einer 2 + 2-Verkehrsführung

Abbildung 6-1: Unfallraten UR und Unfallkostenraten UKR der Abschnitte von Baustellen der vergleichenden Sicherheitsbewertung (Hauptphasen der Baustellen), (die Werte baustellenfreier Autobahnstrecken mit 2 Fahrstreifen je Richtung sind gestrichelt dargestellt)

stellen in den Baustellen führen im Vergleich zu den freien Strecken zu einer Erhöhung der Unfallraten und Unfallkostenraten. Als unfallauffälligster Bereich muss nach dieser Untersuchung der Bereich der Fahrstreifenverschwenkungen am Baustellende und der Anschlussstellen gelten. Dort besteht, im Vergleich zu den Strecken, ein um fast das Vierfache erhöhtes Unfallrisiko.

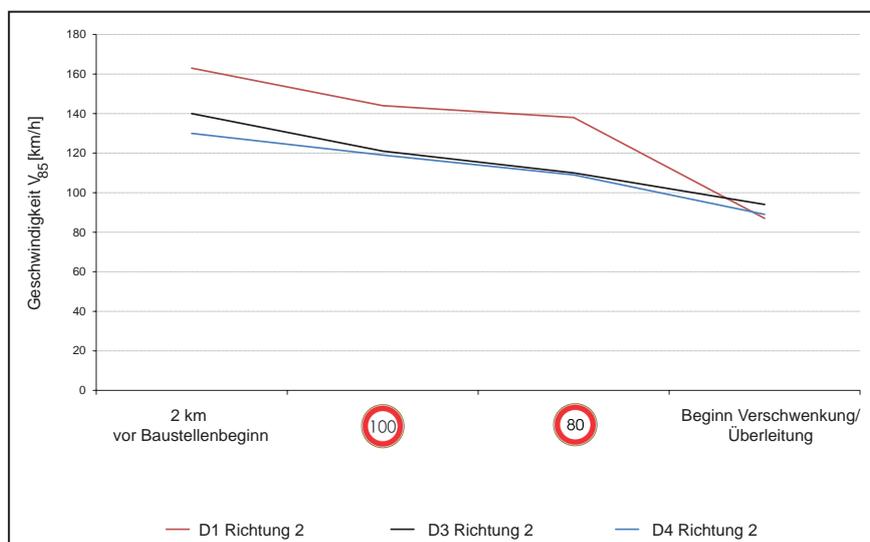
6.2 Annäherungsbereiche

6.2.1 Fahrverhalten

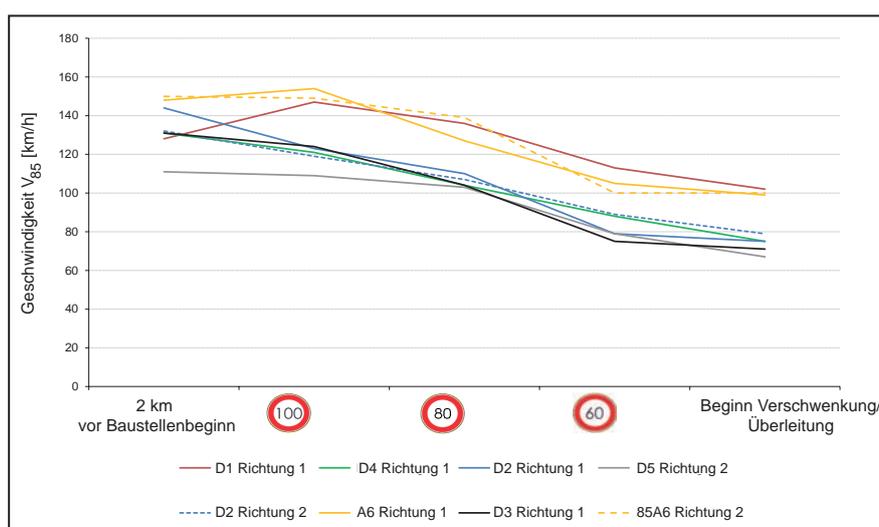
Annäherungsbereiche beschreiben den Übergang von einem freien Autobahnabschnitt in einen Baustellen-

bereich. Hier muss durch die Verkehrsführung auch das Fahrverhalten auf die bevorstehende Situation vorbereitet werden. Baustellen auf Autobahnen werden in der Regel 2 km zuvor durch das Verkehrszeichen Zeichen 123 mit Zusatzzeichen 1004-35 angekündigt. In diesem Bereich erfolgt neben einer wiederholten Ankündigung der Baustelle die Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und bei Erfordernis eine Reduktion der Fahrstreifenzahl.

Der Betrachtung dieses Bereiches lag die Annahme zu Grunde, dass die Fahrzeugführer ab der Kenntnis über die Baustelle sich auf diese einstellen und ihr Fahrverhalten durch Veränderungen in:



**Abbildung 6-2: Geschwindigkeitsverlauf und Homogenität im Annäherungsbe-
reich bei Baustellen mit $V_{zul} = 80$ km/h**



**Abbildung 6-3: Geschwindigkeitsverlauf und Homogenität im Annäherungsbe-
reich bei Baustellen mit $V_{zul} = 60$ km/h**

- Fahrstreifennutzung,
- Abstandsverhalten und
- einer stufenweise Verringerung der Geschwindigkeiten

anpassen. Die Ergebnisse zeigen aber eine deutliche Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten um bis zu 40 km/h in der V_{85} (Abbildung 6-2 und Abbildung 6-3). Noch 2 km vor der Baustelle sind die Überschreitungen der Streckengeschwindigkeit im

Mittel geringer als 10 km/h (max. 14 km/h in Baustelle D1, Richtung 1). Im Geschwindigkeitstrichter erfolgt die Verzögerung verspätet. 800 m vor der Baustelle wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf 100 km/h beschränkt. An diesem Querschnitt weisen die V_{85} im Mittel noch etwa 130 km/h. Bei 80 km/h beträgt die V_{85} noch immer 120 km/h. Wird weiter auf 60 km/h beschränkt, so beträgt die Geschwindigkeit an diesem Schild etwa 90 km/h.

Ein Einfluss der Gestaltung der Annäherungsbereiche auf die gefahrenen Geschwindigkeiten konnte ebenso wie ein Einfluss der Länge des Geschwindigkeitstrichters nicht abgeleitet werden. Dies kann als Hinweis verstanden werden, dass der Einfluss der Streckencharakteristik und des individuellen Verhaltens (regionale Unterschiede eingeschlossen) auf die Geschwindigkeiten größer sind als die Standorte der Beschilderung.

6.2.2 Unfallgeschehen

Das Risiko eines Unfalls (Unfallrate) liegt in Annäherungsbereichen unter dem Wert baustellenfreier zweibahnig zweistreifiger Autobahnen, weist aber eine vergleichbare Unfallschwere auf (vgl. Kapitel 6.1). Diese Unfälle ereignen sich aber häufiger zwischen Fahrzeugen des Schwerverkehrs. Der Anteil der Lkw-Lkw-Unfälle nimmt gegenüber den baustellenfreien Autobahnen um mehr als 10 % zu.

Im Annäherungsbereich nimmt die Unfallhäufigkeit mit abnehmender Entfernung zur Baustelle zu. Gleichzeitig nimmt die Schwere der Unfälle ab (Abbildung 6-4). Unmittelbar vor der Überleitung in den Baustellenbereich kommt es zu einem starken Anstieg des Unfallrisikos.

Kollisionen durch Auffahren (Unfallart 2) und seitliches Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen (Unfallart 3) bestimmen das Unfallgeschehen. Messungen ergaben hier die stärksten Verzögerungen der Geschwindigkeiten. Zudem beschreibt die Literatur häufige Fahrstreifenwechsel im Bereich vor der Baustelle (Müller, 1990).

Darüber hinaus wirken sich Fahrstreifenreduzierungen und Ausfahrten von Anschlussstellen in Annäherungsbereichen negativ auf Verkehrssicherheit aus. Beide Situationen erhöhten das Unfallrisiko in den Annäherungsbereichen. Bei vorhandenen Fahrstreifenreduzierungen erhöht sich zudem die Unfallschwere.

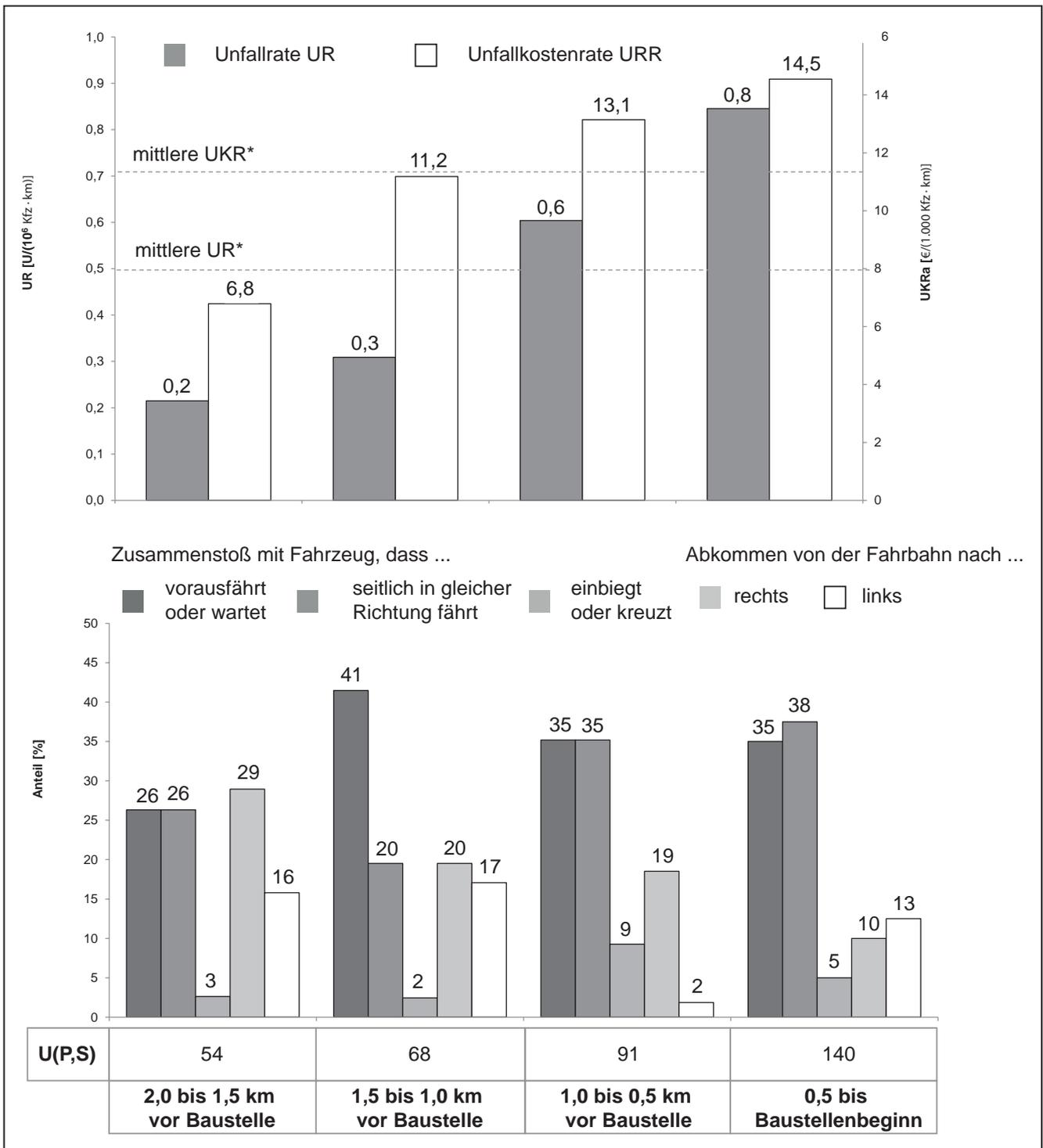
6.3 Überleitungen und Verschwenkungen von Fahrstreifen

6.3.1 Gestaltung

Der Grad der Verschwenkung bzw. Überleitung der Fahrstreifen wird als Verschwenkungs-klasse angegeben, welche sich aus dem Verhältnis der seitlichen Verlegung der Fahrstreifen und der Länge des Bereiches ergeben. Nach RSA (RSA, 1995) wird für die Führung der Verschwenkungen ein Verhältnis von 1 : 20 empfohlen. Das bedeutet, dass auf 20 m Länge die Fahrstreifen um einen Meter seitwärts verschwenkt werden sollen. Dennoch werden Fahrstreifen auch mit abweichenden Maßen ausgeführt. Grundsätzlich sind diese Bereiche so zu gestalten, dass sie mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h betrieben werden können. Eine Reduzierung der V_{zul} auf 60 km/h ist nach RSA (FGSV, 1995) nur zu prüfen:

- beim Übergang auf die Gegenfahrbahn mit ungünstigem Querneigungswechsel,
- bei Breiten des Lkw-Fahrstreifens von weniger als 3,25 m,
- bei schlechtem Fahrbahnzustand oder
- wenn große Längsneigungen auftreten.

Überleitungs- und Verschwenkungsbereiche werden aber häufig unabhängig von Ihrer Gestaltung sowohl mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 80 km/h als auch mit 60 km/h betrieben. Ein Zusammenhang zwischen den Kriterien der RSA 95 und den Geschwindigkeitsreduzierungen auf 60 km/h besteht häufig nicht. Lediglich bei Verschwenkungen von Fahrstreifen auf der eigenen Fahrbahn wurde ein Zusammenhang zwischen dem Verschwenkungsmaß und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit festgestellt. Lag eine kurze und tiefe Verschwenkung ($< 1:20$) vor, wurde die Geschwindigkeit häufig auf 60 km/h beschränkt. Ein solcher Zusammenhang konnte für Fahrstreifenüberleitungen auf die Gegenfahrbahn nicht festgestellt werden.



*) Unfälle die nicht den hier betrachteten Unfallarten zugeordnet wurden

Abbildung 6-4: Unfallcharakteristik in Annäherungsbereichen nach Entfernung zum Baustellenbeginn

6.3.2 Fahrverhalten

In Kapitel 6.2 wurde für den Annäherungsbereich eine Abnahme der gefahrenen Geschwindigkeiten hin zur Baustelle beschrieben, welche aber dennoch bei der Einfahrt in die Baustelle deutlich über den zulässigen Geschwindigkeiten lagen. Überleitungen werden, vermutlich aufgrund des größeren Verschwenkungsmaßes, langsamer befahren als Verschwenkungen (Abbildung 6-5). Darüber hinaus lagen in Bereichen mit geringerer V_{zul} (60 km/h) höhere Überschreitungen vor, dennoch wird gegenüber $V_{zul} = 80$ km/h hier insgesamt langsamer gefahren. Das bestätigt die Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen (Kockelke und Rossbander, 1988).

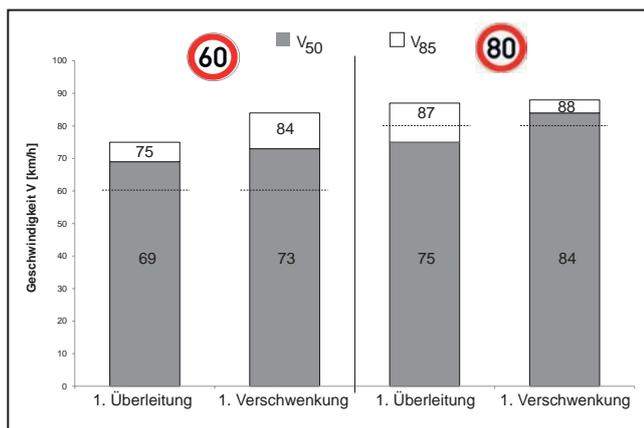


Abbildung 6-5: Überschreitung der V_{zul} in Verschwenkungen und Überleitungen

Neben den Nachfolgefahrlen, aus welchen die beschriebenen Geschwindigkeiten resultieren, wurden in den Baustellen D1 bis D5 auch Querschnittsmessungen im Bereich der Überleitungen durchgeführt. Diese dienten der Erfassung der Geschwindigkeiten und des Spurverhaltens und erfolgten jeweils am Beginn und am Ende der ersten Überleitung. In vier der fünf untersuchten Überleitungen war die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h beschränkt⁷⁾:

- In allen Überleitungsbereichen gingen die V_{50} und die V_{85} zurück (Tabelle 6-1).

- Die höchsten Geschwindigkeiten bei der Einfahrt und gleichzeitig der größte Geschwindigkeitsrückgang im Verlauf der Überleitung wurden in der einzigen Baustelle mit einer 3+1-Verkehrsführung (D1) gemessen.
- In Baustellen mit 4+0-Verkehrsführung war der Geschwindigkeitsrückgang in den Überleitungsbereichen geringer (< 5 km/h).
- Bei zulässigen 60 km/h wird das Tempolimit am Beginn im Mittel um etwa 15 km/h überschritten (D1: um 22 km/h) und am Ende um 9 bis 13 km/h.
- In Baustelle D3 (80 km/h) wird die V_{zul} am Überleitungsbeginn um bis zu 11 km/h (V_{85} , rechts) unterschritten.

Aus den Ergebnissen lässt sich eine geringe Akzeptanz einer Beschränkung auf 60 km/h bei richtliniengemäßer Gestaltung der Überleitung (d. h. ohne deutlichen Querneigungswechsel und bei ausreichenden Fahrstreifenbreiten) ableiten.

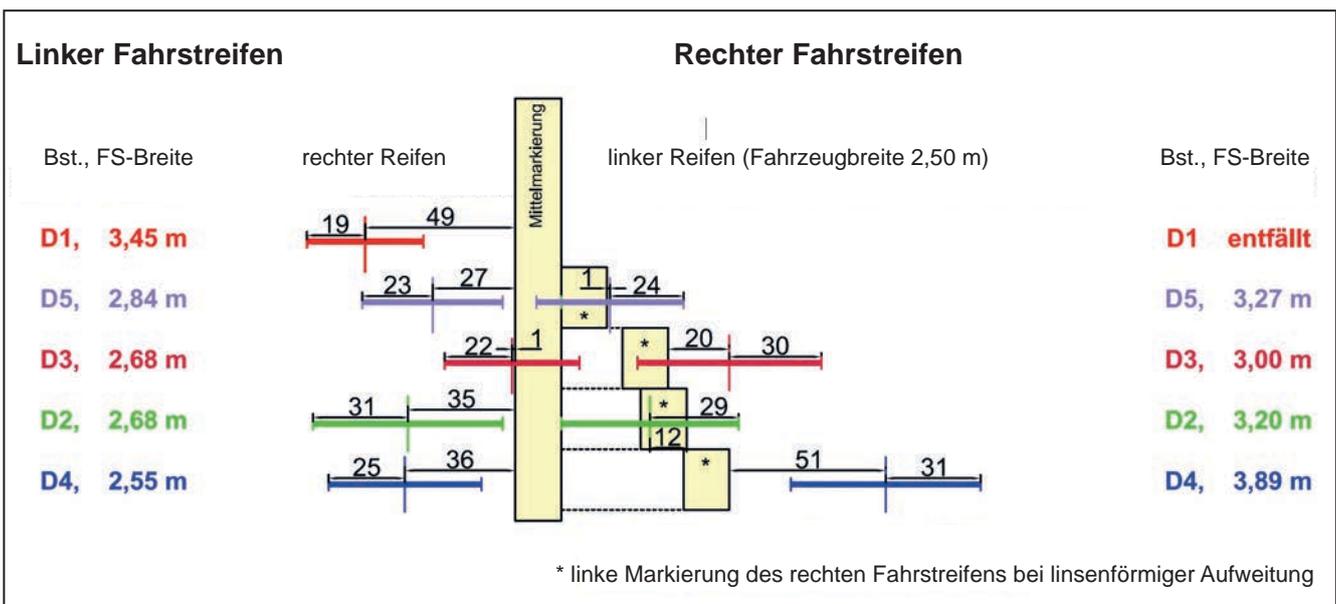
Im Vergleich der jeweils beiden Richtungsfahrstreifen wird am Überleitungsbeginn auf dem linken Fahrstreifen etwa 5 km/h schneller gefahren als auf dem rechten, am Überleitungsende erhöht sich diese Differenz auf fast 10 km/h. Auch fahrstreifenbezogen finden sich keine Unterschiede im Zusammenhang mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.

Anders als erwartet überfuhren die beobachteten Fahrzeuge die vorhandene Baustellenmarkierung in den untersuchten Überleitungen so gut wie nicht. Nur in Baustelle D3 fuhren Fahrzeuge auf dem linken Fahrstreifen am Ende des ersten Überleitungsbereiches weiter rechts und übertraten dabei häufig die Mittelmarkierung. Dieses Fahrverhalten kann zu Konflikten mit parallel fahrenden Fahrzeugen auf dem rechten Fahrstreifen führen, indem diese ebenfalls nach rechts ausweichen oder es zu Unfällen mit seitlichem Streifen

⁷⁾ Nach RSA (FGSV 1995) ist eine Reduzierung der V_{zul} auf 60 km/h beim Übergang auf die Gegenfahrbahn mit ungünstigem Querneigungswechsel, Breiten des Lkw-Fahrstreifens von weniger als 3,25 m, schlechtem Fahrbahnzustand oder große Längsneigungen zu prüfen.

Tabelle 6-1: V₈₅ frei fahrender Fahrzeuge in Überleitungen von Fahrstreifen am Baustellenbeginn

Baustelle	V _{zul} [km/h]	V ₈₅ nach Bereich in der Fahrstreifenverschwenkung						Δ V zwischen Beginn und Ende	
		Fahrstreifen			Fahrstreifen			Fahrstreifen	
		rechts	links	Differenz	rechts	links	Differenz	rechts	links
		[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
D1	60	82	81	- 1	-	70	-	-	- 11
D2		73	80	7	70	78	8	- 3	- 2
D4		70	78	8	67	75	8	- 3	- 3
D5		70	78	8	66	79	13	- 4	+ 1
D3	80	69	74	5	67	73	6	- 2	- 1


Abbildung 6-6: Spurverhalten am Verschwenkungsende MQ2 – Mittelwerte und Standardabweichungen des Abstandes von rechter Fahrzeugkante zu rechter Fahrstreifenrandmarkierung [cm]

kommt. Das Ausweichen nach rechts konnte in den Messungen auch beobachtet werden (vgl. Abbildung 6-6). Am Ende dieser Überleitung endet die linke Fahrbahnrandmarkierung unter der Schutteinrichtung der Gegenverkehrstrennung (Abbildung 6-7). Dadurch fehlte den Fahrern eine wichtige Orientierungslinie auf der linken

Seite. In den anderen vier Überleitungsbereichen konnte sowohl am Beginn als auch am Ende dieser kein Überfahren der vorhandenen Markierung erkannt werden. In den Baustellen D2, D4 und D5 blieben die Standardkorridore der links fahrenden Fahrzeuge vollständig im linken Fahrstreifen (Abbildung 6-6).

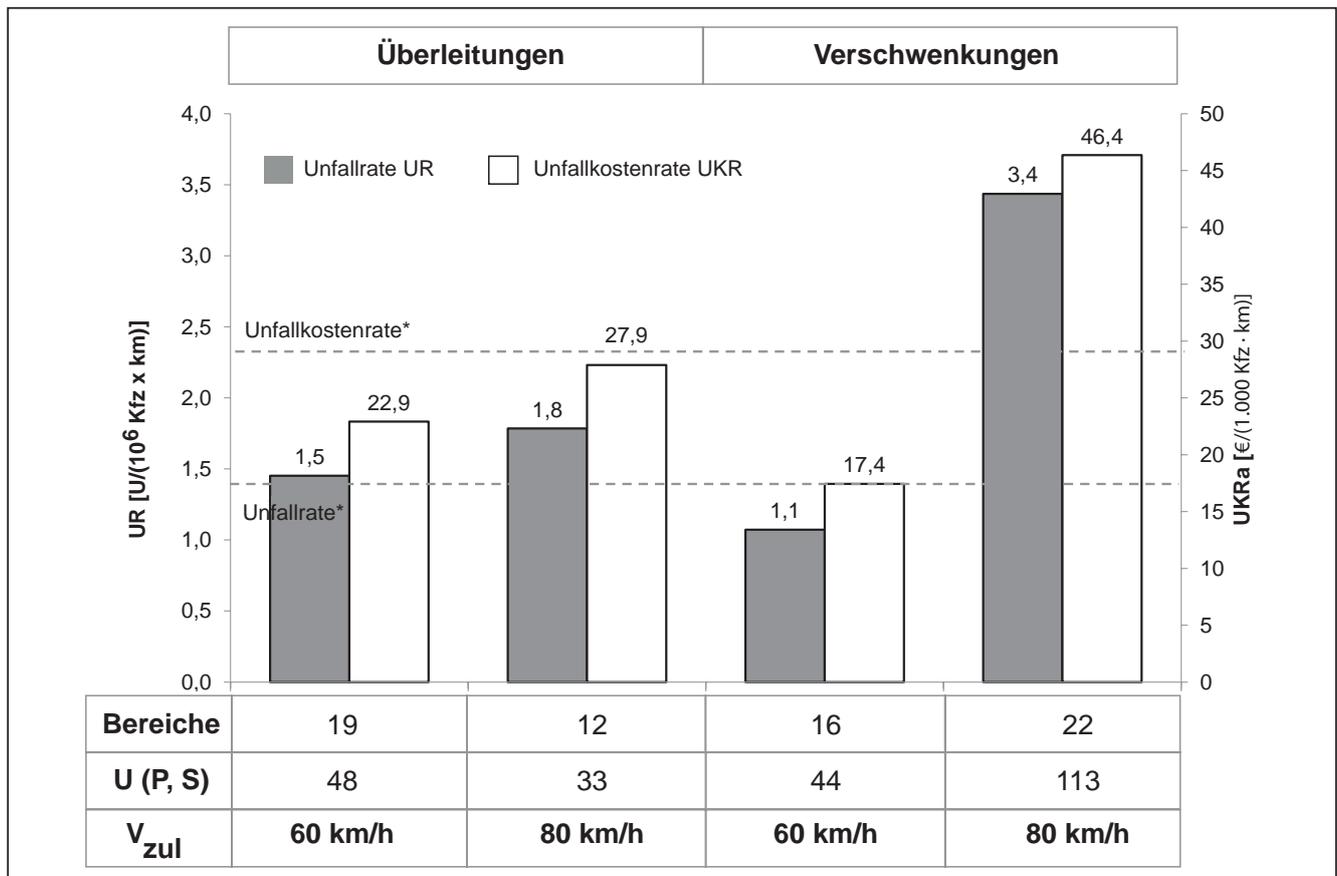


Abbildung 6-7: Ende der linken Fahrbahnrandmarkierung und knickförmiger Übergang in der 1. Überleitung der Baustelle D3

Der geringe Bewegungsspielraum für Fahrzeuge insbesondere an Beginn und Ende der Verschwenkung kann Unfälle durch seitliches Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen begünstigen. Ungünstige Gestaltungen, wie in Baustelle D3 können diese Gefahren weiter verschärfen.

6.3.3 Unfallgeschehen

Die Bereiche von Fahrstreifenverschwenkungen, welche gegenüber den Überleitungen schneller befahren werden, bergen auch das höhere Unfallrisiko. Allerdings wird dieses Ergebnis von den Verschwenkungen mit geringem Verschwenkungsmaß und einer V_{zul} von 80 km/h bestimmt. Deren Unfallrate liegt um das Dreifache über den stärker verschwenkten Bereichen mit einem Limit von 60 km/h (Abbildung 6-8). Der Unterschied in Unfallrate und Unfall-



*) Werte für von Baustellen unbeeinflusste Strecken auf Autobahnen mit einer 2+2-Verkehrsführung.

Abbildung 6-8: Unfallraten UR und Unfallkostenraten UKR Verschwenkungs-kategorie der Überleitung bzw. Verschwenkung

kostenrate ist bei den Überleitungen weniger stark ausgeprägt. Aber auch hier zeichnet sich eine Tendenz zu einem höheren Unfallrisiko bei höheren V_{zul} ab.

Das Unfallgeschehen und insbesondere die Anteilswerte der relevanten Unfallarten unterscheiden sich zwischen

den Überleitungen und Verschwenkungsbereichen von Fahrstreifen deutlich. Sowohl in Überleitungen als auch in Verschwenkungen mit Geschwindigkeitsbeschränkungen von 60 km/h treten verstärkt Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn auf (Abbildung 6-9). Setzt man bei Verschwenkungen eine Gestaltungssituation

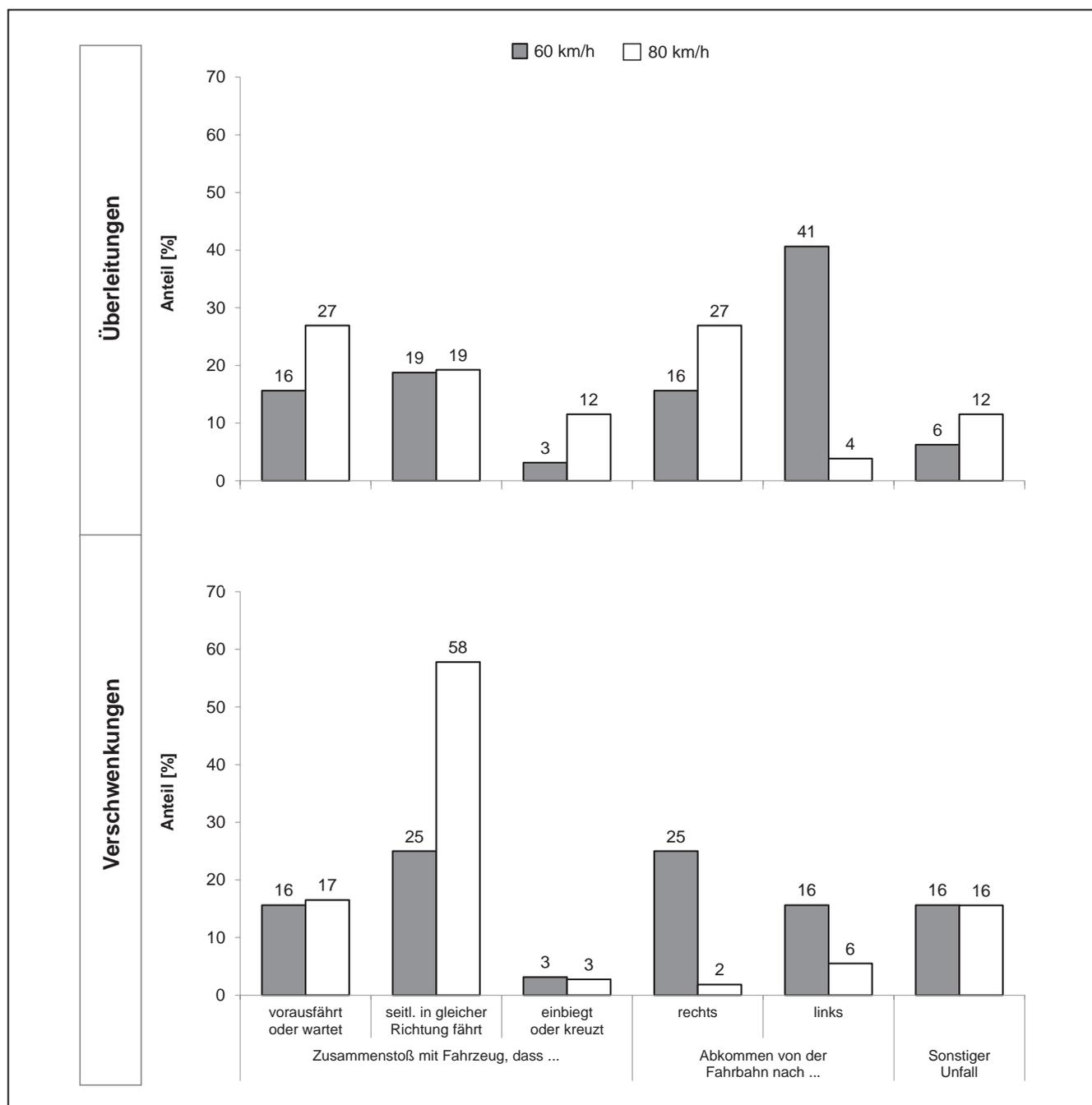


Abbildung 6-9: Maßgebende Unfallarten nach V_{zul} in Überleitung bzw. Verschwenkung

voraus, die eine Begrenzung der Geschwindigkeit auf 60 km/h erfordert, können massive Geschwindigkeitsüberschreitungen zu einem häufigeren Auftreten der Unfallarten 8 und 9 (Abkommen von der Fahrbahn) führen. Die Ergebnisse der Messungen des Verkehrsablaufes bestätigten entsprechend große Überschreitungen insbesondere bei Abschnitten mit 60 km/h.

Bei V_{zul} von 80 km/h ereigneten sich 58% der Unfälle in Verschwenkungen durch seitliches Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen. In Überleitungen traten dann häufiger Unfälle durch Auffahren (Unfallart 2) Abkommen von der Fahrbahn nach rechts (Unfallart 8) auf (Abbildung 6-9).

An Unfällen in Überleitungen und Verschwenkungen sind, verglichen mit baustellenfreien Autobahnabschnitten, häufiger Fahrzeuge des Schwerverkehrs beteiligt. So werden gegenüber Autobahnen 4% mehr Unfälle durch Lkw verursacht (39% der Unfälle in Autobahnen). An durch Pkw verursachten Unfällen sind in 45% der Fälle Lkw beteiligt. Dieser Wert liegt etwa 15% über dem von Autobahnen ohne Baustellen. Als Grund kann das Zusammenwirken geringer Kurvenradien bei gleichzeitig schmalen Fahrstreifenbreiten mit den Fahrzeugabmessungen im Schwerverkehr und das Fahrverhalten in den betrachteten Bereichen gelten.



Differenziert nach der Lage in der Baustelle wiesen Verschwenkungen und Überleitungen am Baustellenbeginn vergleichbare Unfallraten und Unfallkostenraten auf. Dagegen ereigneten sich in Überleitungen innerhalb der Baustelle häufiger Unfälle als in Verschwenkungen. Das Risiko, in einen Unfall verwickelt zu werden, ist in Bereichen von Verschwenkungen in der Baustelle nur etwa halb so groß wie in Überleitungen. Am Ende der Baustellen angeordnete Verschwenkungen zeigen dagegen das höchste Unfallrisiko aller in dieser Untersuchung betrachteten Bereiche. Die höchste Unfallschwere allerdings besteht in Verschwenkungen und Überleitungen am Baustellenbeginn⁸⁾.

6.3.4 Gelbe Beschilderung

Durch die Modifizierung aller mit der Überleitung bzw. Verschwenkung der Untersuchungsbaustelle im Zusammenhang stehenden Verkehrszeichen sollte die Aufmerksamkeit für diese Bereiche am Baustellenbeginn erhöht werden. Ziel war die Reduzierung der Geschwindigkeiten bei der Einfahrt in die Baustelle mit Blick auf die hohe Unfallschwere dort. Dazu wurden ausgewählte Verkehrszeichen mit gelben Hintergründtafeln versehen (Abbildung 6-10).

Am Baustellenbeginn führte die Verwendung der gelben Beschilderung gegenüber dem Einsatz weißer



Abbildung 6-10: Fahrtrichtung 1 Querschnitt 100 m vor der Fahrstreifenüberleitung nach RSA 95 (links) und mit modifizierter Beschilderung (rechts)

⁸⁾ Die hier beschriebenen Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit der Fahrstreifenverschwenkungen beruhen auf geringen Unfallzahlen und haben deshalb nur tendenziellen Charakter.

Verkehrszeichen nach RSA95 (FGSV, 1995) zu einem früher einsetzenden Geschwindigkeitsrückgang vor der Baustelle sowie geringeren Geschwindigkeiten bei der Einfahrt in die Verschwenkung oder Überleitung am Baustellenbeginn. Das geht aus allen drei betrachteten Geschwindigkeitskenngrößen V_{15} , V_{50} und V_{85} , die beispielhaft für die Fahrtrichtung 1 in Abbildung 6-11 dargestellt sind, hervor. Mit 7 km/h weist die V_{85} den größten Rückgang auf. Bezogen auf die Ausgangsgeschwindigkeit am Zeichen 123 ergibt sich daraus gegenüber dem Zustand Weiß ein um 4 % größerer Geschwindigkeitsrückgang an der ersten Fahrstreifenverschwenkung. Die Verringerung der anderen Geschwindigkeitskenngrößen beträgt 3 % der Geschwindigkeit im Zustand Weiß.

Aus den Geschwindigkeitsprofilen am Baustellenende lässt sich für den Bereich der Fahrstreifenverschwen-

kungen ebenfalls ein positiver Effekt der modifizierten Beschilderung ableiten. In diesen Bereichen betrug die zulässige Höchstgeschwindigkeit jeweils 60 km/h. Während die V_{15} und V_{50} beider Zustände vergleichbar waren, konnten die V_{85} in beiden Fahrtrichtungen um etwa 4 km/h reduziert werden. Die Werte liegen am Beginn der Fahrstreifenverschwenkung (Fahrtrichtung 2) etwa 3 % und vor der Überleitung (Fahrtrichtung 1) 4 % unter dem Wert bei weißer Beschilderung (Abbildung 6-12).

Ein Einfluss der gelben Beschilderung auf die Bandbreite der gefahrenen Geschwindigkeiten am Baustellenende kann nicht nachgewiesen werden. Zwar ist die Differenz der drei betrachteten Geschwindigkeitskenngrößen in Fahrtrichtung 2 im Zustand Gelb geringer, jedoch stellt sich diese Verringerung in der Gegenrichtung nicht ein.

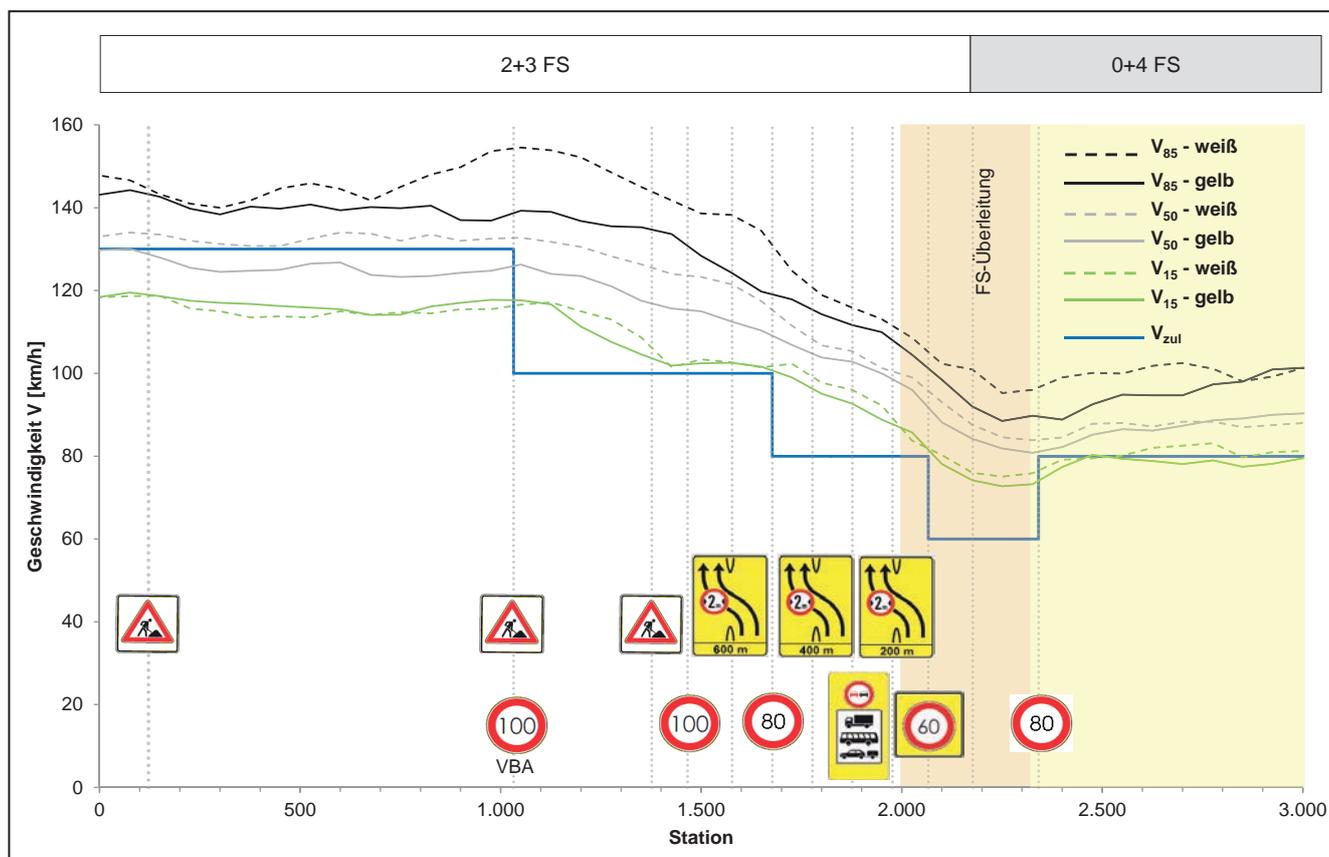


Abbildung 6-11: Verläufe der Geschwindigkeitskenngrößen V_{15} , V_{50} und V_{85} im Annäherungsbereich der Fahrtrichtung 1 nach Beschilderungsart bei geringen Verkehrsstärken

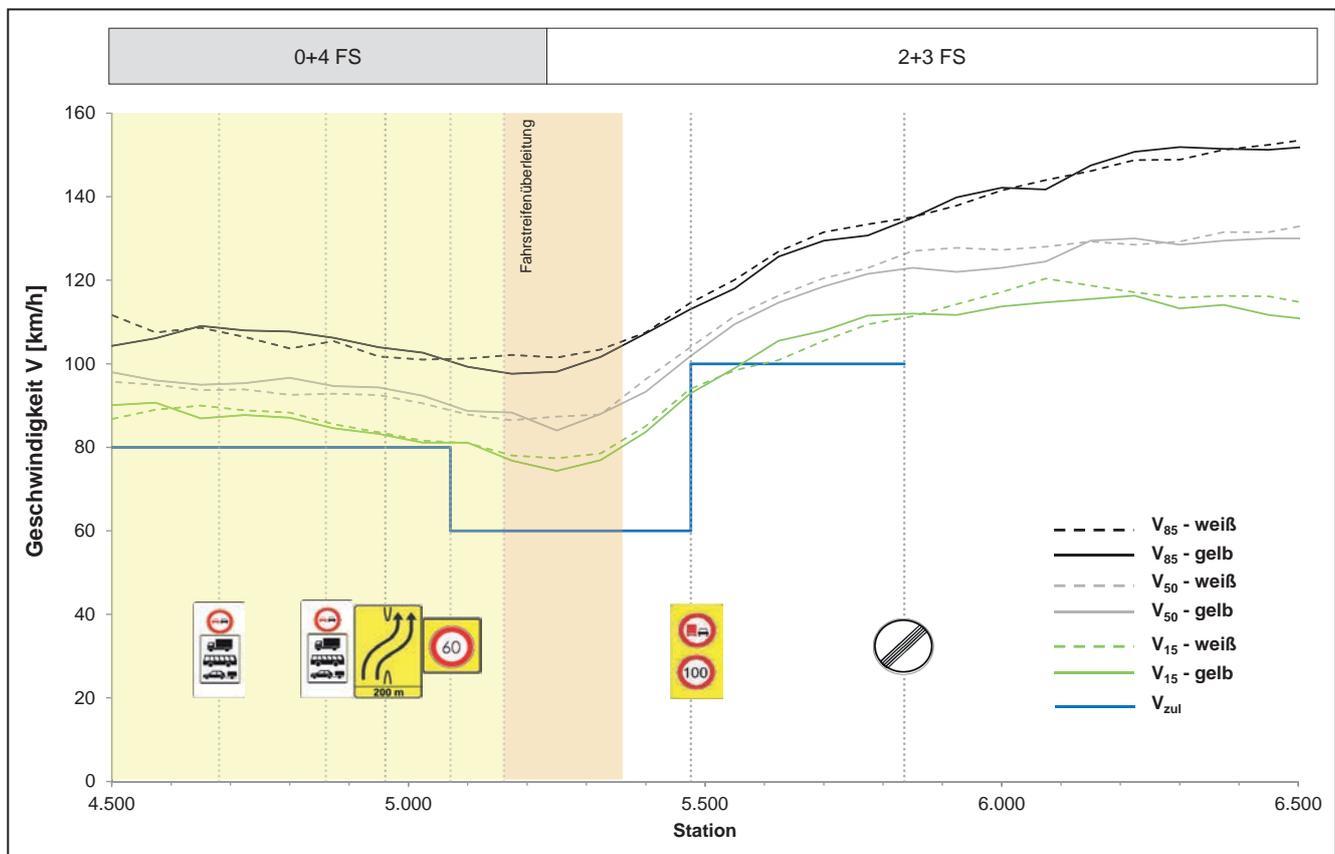


Abbildung 6-12: Verläufe der Geschwindigkeitskenngrößen V_{15} , V_{50} und V_{85} am Baustellenende der Fahrtrichtung 1 nach Beschilderungsart

6.4 Anschlussstellen

Gegenüber Strecken in Baustellen weisen Bereiche von Behelfsanschlussstellen ein doppelt so hohes Unfallrisiko auf. Dabei ereignen sich Unfälle insbesondere an den Einfahrten. Die Anteilswerte der betrachteten Unfallarten unterscheiden sich von denen der freien Strecken innerhalb der Baustellen nur wenig. Lediglich eine Tendenz zu weniger Unfällen durch seitliches Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen und einem Anstieg der Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn lässt sich aus Abbildung 6-13 ableiten.

Zwischen der Einfahrt und der Ausfahrt von Behelfsanschlussstellen besteht der wesentliche Unterschied in den Anteilswerten der Unfälle mit in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen. Im Bereich der Einfahrten überwiegen mit 46 % der Unfälle Zusammenstöße mit

einem seitlich in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeug. Gleichzeitig liegt der Anteilswert der Auffahrten um 9 Prozentpunkte über dem Wert der Einfahrten und 6 % über dem Wert der freien Strecken (15 %).

Das Vorhandensein von Verzögerungs- und Beschleunigungsfahrestreifen an den Aus- und Einfahrten kann den Verkehrsablauf und damit auch das Unfallgeschehen im Bereich von Anschlussstellen in Baustellenbereichen beeinflussen. So weisen Einfahrten mit Beschleunigungsfahrestreifen sowohl ein höheres Unfallrisiko als auch eine höhere Unfallschwere auf. An den vier Einfahrten ohne Beschleunigungsfahrestreifen ereigneten sich allerdings lediglich 8 U(S). Es wird vermutet, dass neben dem baustellenbedingten Verzicht auf Beschleunigungsfahrestreifen diese Variante der Behelfseinfahrt nur zum Einsatz kommt, wenn keine Einbußen bei der

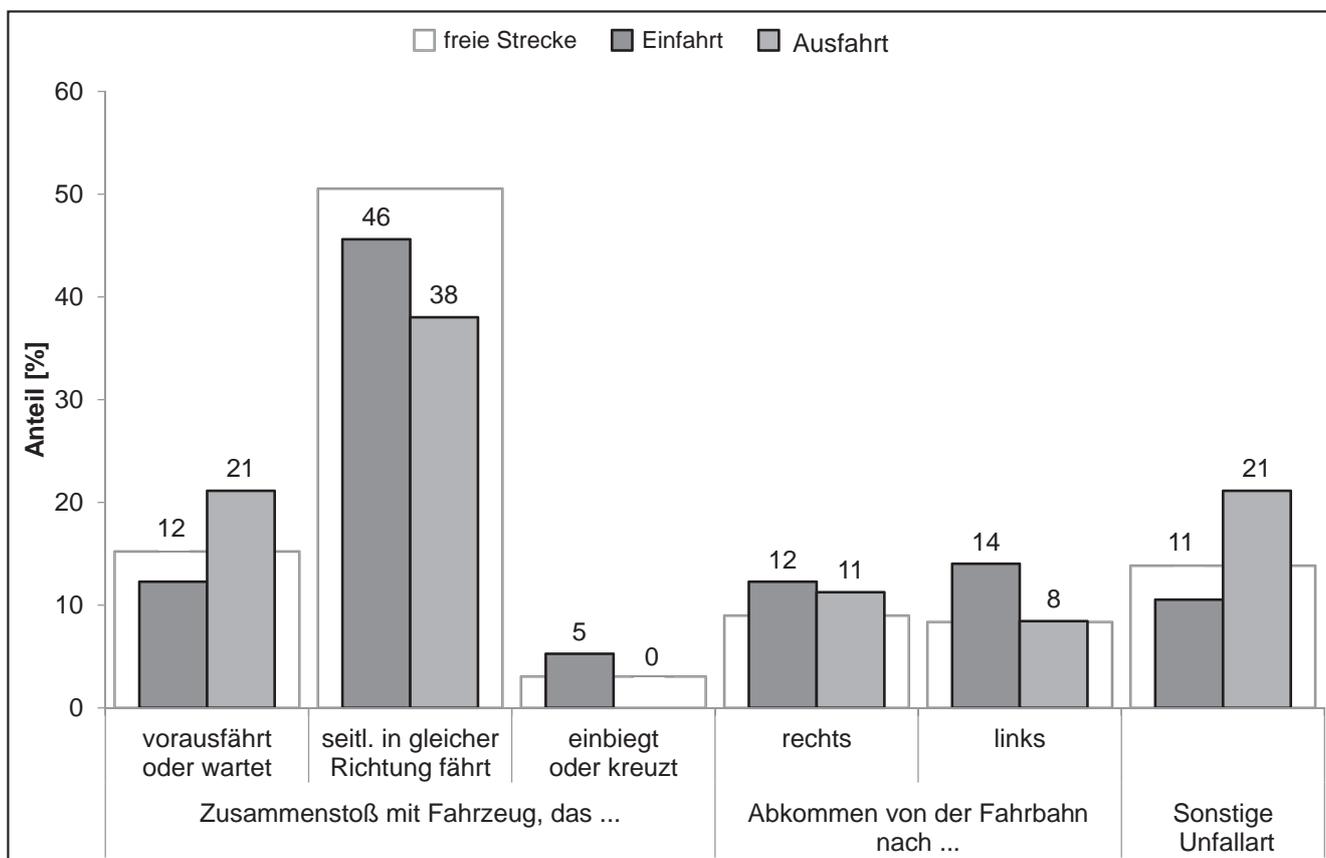


Abbildung 6-13: Unfallarten an Ein- und Ausfahrten von Behelfsabschlussstellen in Baustellen

Verkehrssicherheit zu erwarten sind. Dann ist die bessere Sicherheit nicht die Wirkung, sondern der Grund für das Fehlen der Beschleunigungsstreifen. Der Einsatz von Verzögerungsfahrestreifen statt der Verwendung kurzer Ausfahrten führte an den untersuchten Ausfahrten zu einer Verringerung des Unfallrisikos (Abbildung 6-14).

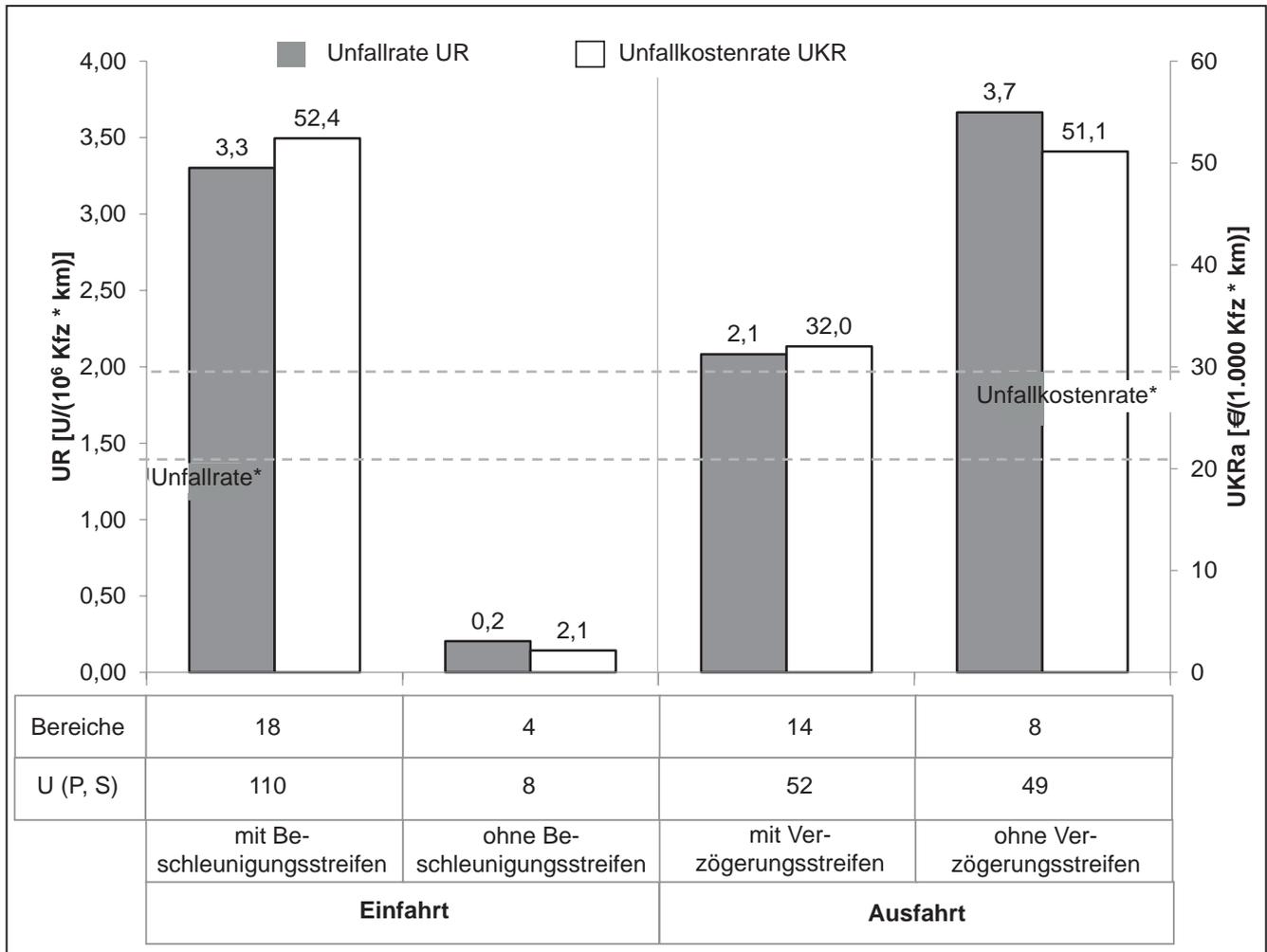
6.5 Strecken

6.5.1 Allgemein

Von weiteren besonderen Verkehrsführungen (Ver-schwenkungen, Anschlussstellen) unbeeinflusste Streckenabschnitte weisen das höchste Maß an Verkehrssicherheit in Baustellenbereichen auf. Sowohl Risiko als auch Schwere von Unfällen in diesen Bereichen liegen unter allen weiteren betrachteten Bereichen. Auf freien

Strecken in Autobahnbaustellen ereignen sich 43% der Unfälle mit Beteiligung von Fahrzeugen des Schwerverkehrs. Deren Anteil liegt auf baustellenfreien Autobahnen bei etwa 29%. 72% der Unfälle mit Lkw auf Baustellenstrecken stehen im Zusammenhang mit dem seitlichen Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen (Unfallart 3). Auf Autobahnen beträgt der Anteil dieser Unfallkonstellation 34% (Abbildung 6-15).

Ein Zusammenhang zwischen angeordneten Geschwindigkeitsbeschränkungen und den Fahrstreifen- bzw. Fahrbahnbreiten konnte nicht festgestellt werden. Auch sehr schmale Querschnitte (3 m/2,5 m) wurden mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h betrieben. Ein Einfluss auf die Unfallschwere konnte den für Autobahnbaustellen typischen Geschwindigkeitsbeschränkungen (60 km/h und 80 km/h) nicht nachgewiesen werden.



*) Werte für von Baustellen unbeeinflusste Strecken auf Autobahnen mit einer 2+2-Verkehrsführung.

Abbildung 6-14: Unfallraten UR und Unfallkostenraten UKR für Behelfsabschlussstellen in Baustellen – Einfahrten mit/ohne Beschleunigungsstreifen und Ausfahrten mit/ohne Verzögerungsstreifen

Das Risiko eines Unfalls liegt aber bei höheren zugelassenen Geschwindigkeiten bei gleicher Fahrbahnbreite etwa 30 % über dem bei 60 km/h (Abbildung 6-16). Trotz der nachgewiesenen deutlichen Überschreitungen dieser Geschwindigkeitsbeschränkungen, weisen diese Bereiche eine höhere Verkehrssicherheit auf. Mit durchschnittlich 80 km/h liegen die V_{85} aber etwa 10 km/h unter den beobachteten Geschwindigkeiten bei zulässigen 80 km/h ($V_{85} \approx 90$ km/h).

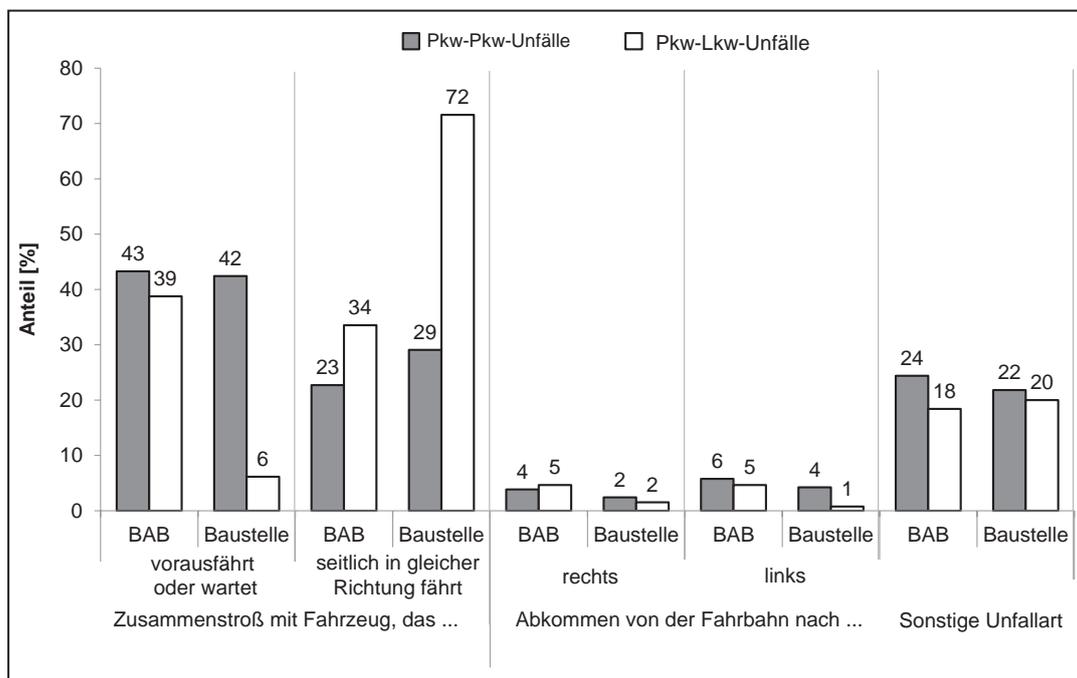
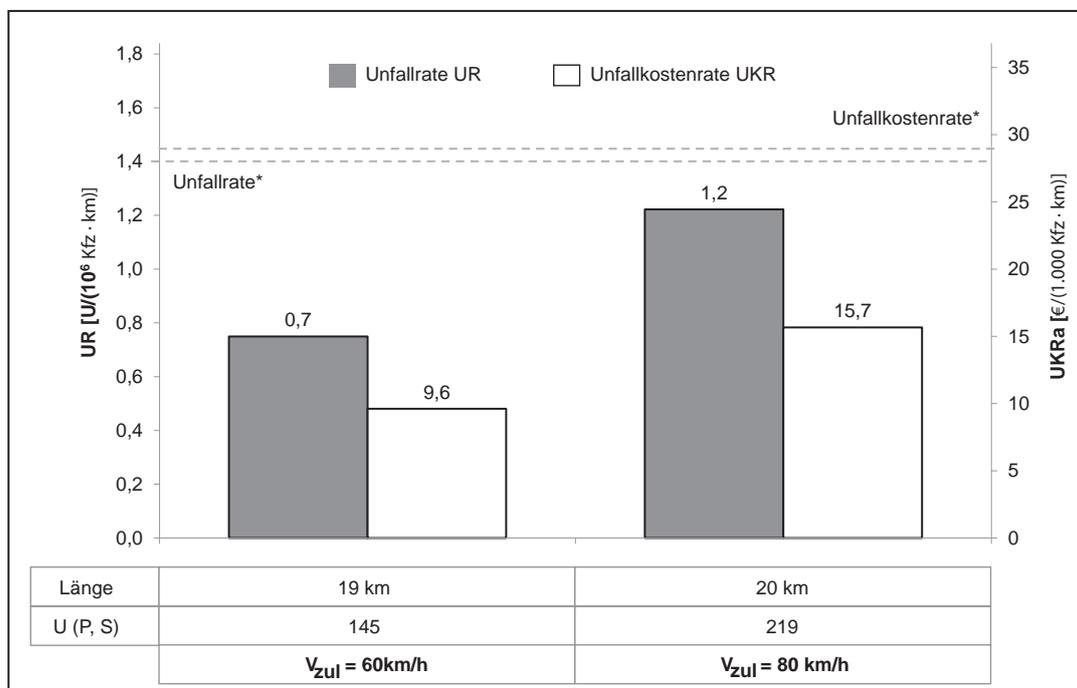
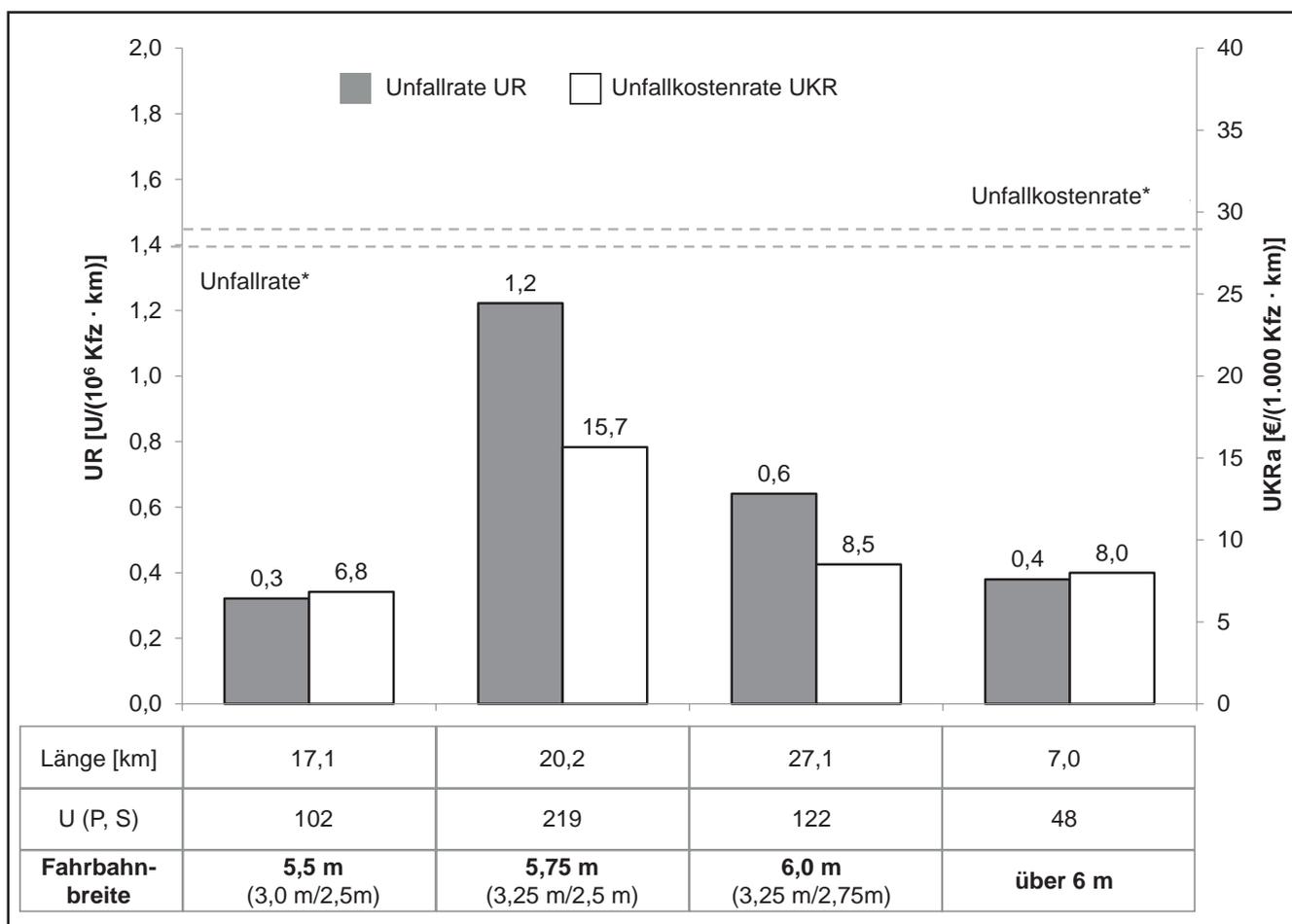


Abbildung 6-15: Unfallarten nach Konstellation der Fahrzeugarten Pkw und Lkw auf baustellenfreien Autobahnen und Strecken in Baustellen



*) Werte für von Baustellen unbeeinflusste Strecken auf Autobahnen mit einer 2 + 2-Verkehrsführung.

Abbildung 6-16: Unfallraten UR und Unfallkostenraten UKR für Verkehrsführung 4 + 0, Fahrbahnbreite 5,75 m, differenziert nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (Werte baustellenfreier Autobahnen sind als gestrichelte Linien dargestellt)



*) Werte für von Baustellen unbeeinflusste Strecken auf Autobahnen mit einer 2+2-Verkehrsführung.

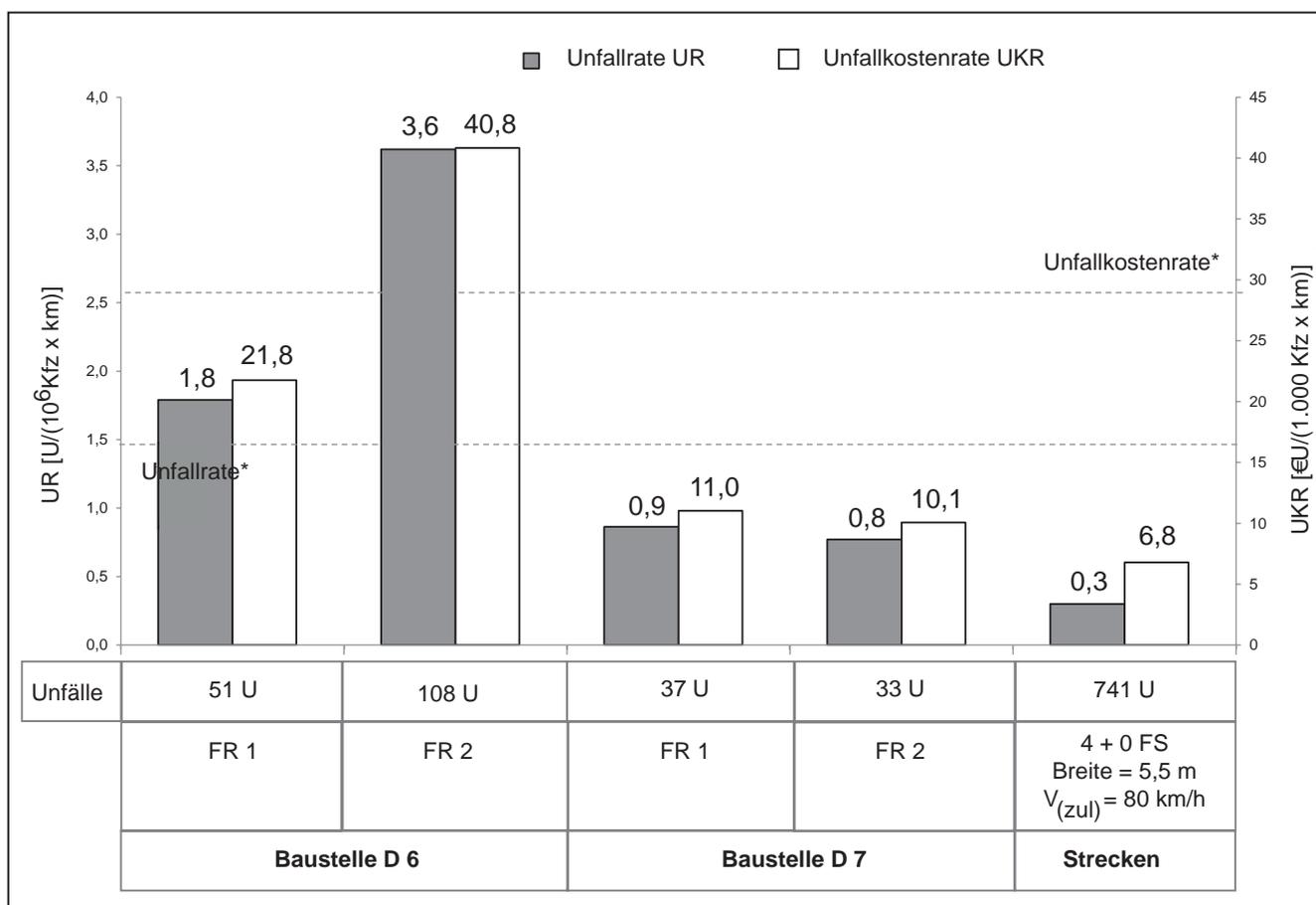
Abbildung 6-17: Unfallraten UR und Unfallkostenraten UKR nach der Fahrbahnbreite für Strecken in Baustellen mit $V_{zul} = 80$ km/h (Werte baustellenfreier Autobahnen sind als gestrichelte Linien dargestellt)

Der Einfluss der Fahrstreifenbreite allein auf das Unfallgeschehen ist differenziert zu bewerten. Die beispielhaft für Strecken in Baustellen mit Tempolimit 80 km/h durchgeführten Untersuchungen zeigen ein sehr hohes Unfallrisiko für Abschnitte mit einer Fahrbahnbreite von 5,75 m (Abbildung 6-17). Von diesen Breiten abweichende Abschnitte, breitere aber auch schmalere Fahrbahnen, weisen höhere Verkehrssicherheiten auf. Abschnitte mit Fahrbahnbreiten über 5,75 m weisen mit zunehmender Breite geringere Unfallrisiken auf. Gleichzeitig erhöht sich aber auch hier die Unfallschwere. Im Vergleich der untersuchten Breiten bestand auf den schmalen Fahrbahnen (Breite = 5,5 m) dieses Kollektivs das geringste Unfallrisiko.

Es wird vermutet, dass sich die schmalen Fahrstreifen geschwindigkeitsmindernd auswirken und Fahrer solche Abschnitte aufmerksamer durchfahren. Allerdings traten häufiger Unfälle mit Personenschaden auf. Die schmalen Baustellen D6 und D7 wurden aufgrund des kürzeren Betrachtungszeitraums (ein Jahr) separat ausgewertet.

6.5.2 Schmale Fahrstreifen in Baustellen

Baustellen mit schmalen Querschnitten weisen nicht grundsätzlich eine abweichende Verkehrssicherheit auf. Die zwei schmalen Baustellen D6 und D7, welche neben vergleichbaren Verkehrsstärken auch gleiche Quer-



*) Werte für von Baustellen unbeeinflusste Strecken auf Autobahnen mit einer 2+2-Verkehrsführung.

Abbildung 6-18: Unfallrate UR und Unfallkostenrate UKR für Bereiche von Strecken in Baustellen

schnittsbreiten aufwiesen, zeigten ein grundsätzlich unterschiedliches Unfallgeschehen (Abbildung 6-18). Gegenüber anderen Baustellen war das Unfallrisiko in Baustelle D7 geringer und das von Baustelle D6 höher. In letzterer ereigneten sich in acht Monaten 254 Unfälle, an denen in 73% der Fälle Fahrzeuge des Schwerverkehrs beteiligt waren.

83% der Unfälle auf Strecken innerhalb der schmalen Baustellen wurden der Unfallart 3, Unfälle mit Fahrzeugen, die seitlich in gleicher Richtung fahren, zugeordnet. Der durchschnittliche Anteil dieser Unfallart in Autobahnbaustellen beträgt 57%.

Die geringe Verkehrssicherheit der Baustelle D6 resultiert aber nicht hauptsächlich, wie in anderen Au-

tobahnbaustellen, aus Bereichen der Fahrstreifenverschwenkungen und Anschlussstellen. Die meisten Unfälle ereigneten sich auf den Strecken innerhalb der Baustelle, welche über große Längen von geringen oder fehlenden Seitenräumen gekennzeichnet waren (Abbildung 6-19). Häufig waren unmittelbar neben der rechten Fahrbahnrandmarkierung Schutzeinrichtungen (Leitplanken, Stahlgleitwände) angeordnet. Verschiedene Zwangspunkte, meist Brückenpfeiler im Bereich des Mittelstreifens der Autobahn, verursachten eine weitere Reduzierung der Seitenräume und häufig auch der Breite des rechten Fahrstreifens (Abbildung 6-20 und Abbildung 6-21).

Neben den Engstellen in Baustelle D6 wurde, anders als in Baustelle D7, die weiße Markierungslinie am rechten Fahr-

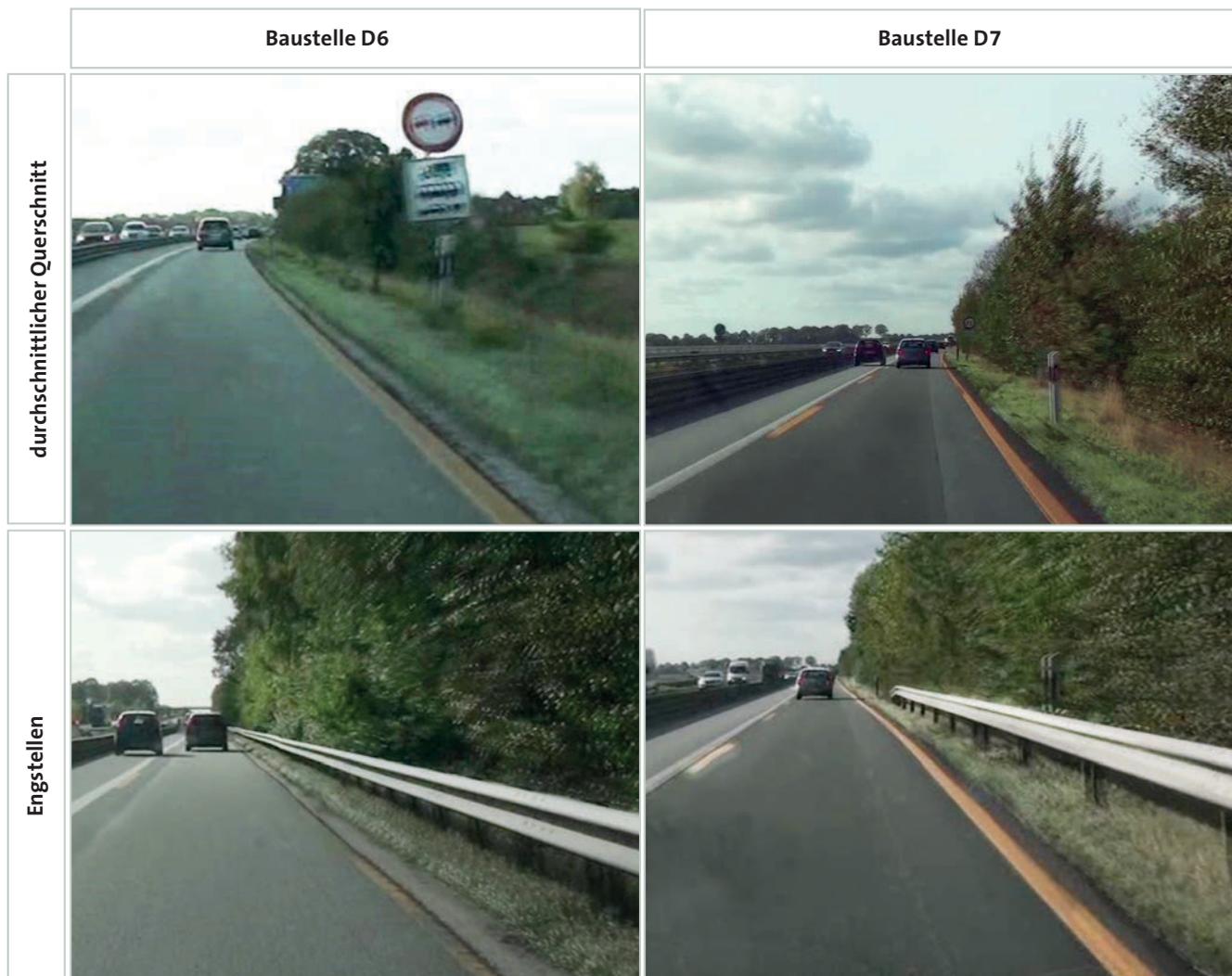


Abbildung 6-19: Rechter Fahrstreifen der Fahrtrichtung Bremen in den untersuchten Baustellen



Abbildung 6-20: Bereich einer Verengung des rechten Fahrstreifens in Baustelle D6



Abbildung 6-21: Bereich einer Verengung des rechten Fahrstreifens in Baustelle D7



Abbildung 6-22: Baustellenmarkierung in Baustelle D6

bahnrand nicht entfernt. Diese Lage auf über 90% der Streckenlänge etwa 30 bis 40 cm links der gelben Fahrbahnrandmarkierung (Abbildung 6-20). In Baustelle D7 wurde die weiße Markierung an 70% der Strecke entfernt (Abbildung 6-21). Aus der Betrachtung der Querabstände lässt sich auf eine leitende Wirkung der weißen Markierungsline auf die Fahrlinie der Fahrzeuge schließen. So fahren Lkw auch bei Überholsituationen an Querschnitten mit weißer Markierungsline (Baustelle D6) mit einem größeren Abstand zur gelben Markierung am rechten Fahrbahnrand (Abbildung 6-22) und vermindern dadurch zusätzlich die geringen verfügbaren Flächen.

Ein negativer Einfluss auf die Verkehrssicherheit schmaler Baustellen konnte also festgestellt werden, wenn:

- keine (befestigten) Seitenräume vorhanden sind,
- optische Einengungen durch Verringerung der Seitenraumbreite bis an die rechte Fahrbahnrandmarkierung heran erfolgen,
- die gelbe Baustellenmarkierung beschädigt, verschmutzt oder nicht vorhanden ist,
- Wechsel in der Fahrstreifenbreite (auch geringe) auftreten und
- weiße Fahrbahnmarkierung den Fahrer irritieren können.

Baustellen wiesen bei gleicher Fahrbahnbreite aber einem geringeren Anteil der beschriebenen Defizite eine höhere Verkehrssicherheit auf (Baustelle D7).

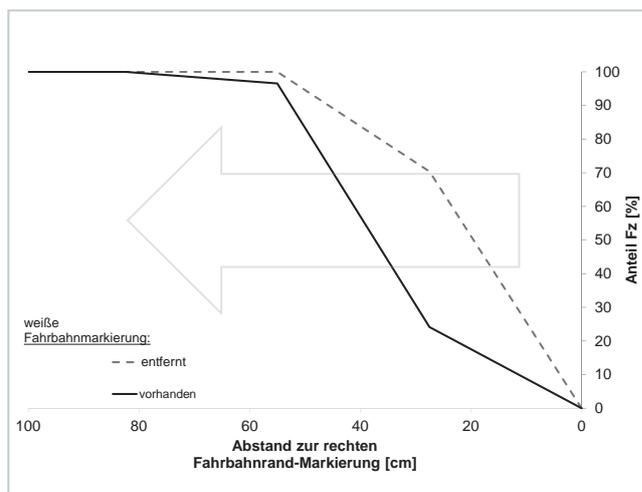


Abbildung 6-23: Fahrzeugabstand zum rechten Fahrbahnrand bei der Überholsituation Pkw-Lkw

6.5.3 Versetzt fahren

Im Bauzeitraum wurde vor einzelnen schmalen Baustellen eine Beschilderung angeordnet, die den Fahrer zum versetzten Fahren aufforderte (Abbildung 6-24). Nach

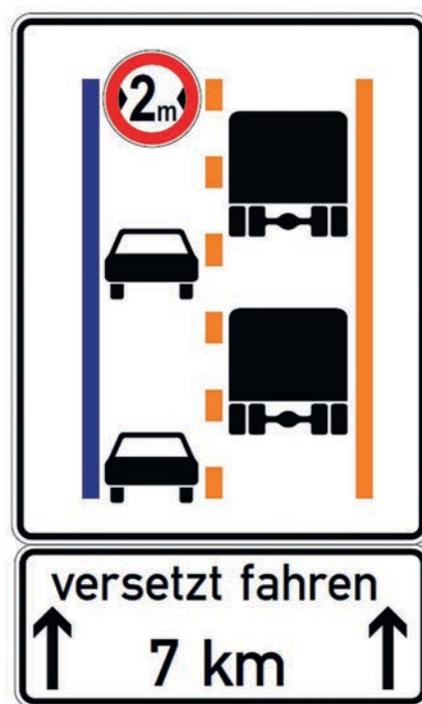
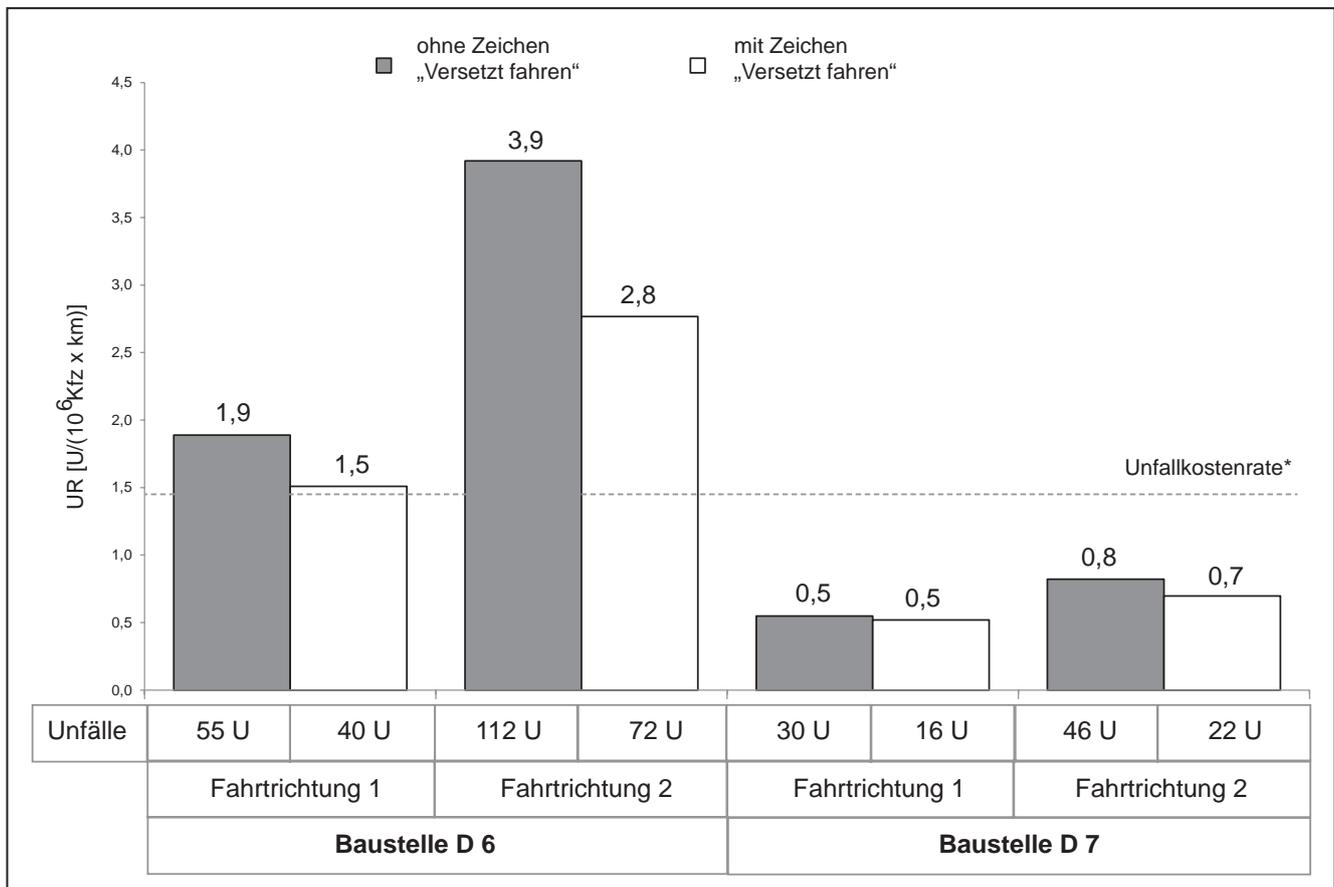


Abbildung 6-24: Aufforderung zum versetzten Fahren innerhalb der Baustelle



*) Werte für von Baustellen unbeeinflusste Strecken auf Autobahnen mit einer 2+2-Verkehrsführung.

Abbildung 6-25: Unfallraten in Abhängigkeit des Verkehrszeichens „Versetzt fahren“

deren Einrichtung ging die Unfallrate in den Baustellen leicht zurück (Abbildung 6-25). Die Wirkung war in Baustelle BA5 dabei größer, als in Baustelle BA7. Für einen Nachweis der positiven Wirkung der Aufforderung zum versetzten Fahren müssten aber längere Zeiträume betrachtet werden. Das Zeichen wurde etwa drei Monate vor Ende der Bautätigkeiten aufgestellt. Zudem liegen dem Vergleich unterschiedliche Jahreszeiten zu Grunde und auch Effekte aus der Gewöhnung der Autofahrer an die Situation der Baustelle können nicht ausgeschlossen werden.

6.6 Baustellenende

Bei der Untersuchung der Wirkung einer selektiv-gelben Beschilderung auf das Fahrverhalten wurde zusätzlich noch in beiden Phasen (weiß und gelb) eine stufenwei-

se Anhebung der Geschwindigkeit geprüft. Grund dafür ist, dass kurz nach dem Ende einer Baustelle zahlreiche Verflechtungsvorgänge stattfinden. Da hier jedoch die Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit infolge der Baustelle bereits aufgehoben ist, wird in diesem Bereich meist stark beschleunigt. Ziel der abgestuften Geschwindigkeitserhöhung ist es deshalb, das Geschwindigkeitsniveau unmittelbar hinter Baustellenende weiter niedrig zu halten und für einen homogenen Geschwindigkeitsverlauf zu sorgen. Dazu wurde etwa 50 m nach dem Ende der Fahrstreifenverschwenkung die zulässige Höchstgeschwindigkeit zunächst auf 100 km/h angehoben und erst nach etwa 500 m aufgehoben (Abbildung 6-26). Auch die Überholverbote für den Schwerverkehr wurden verlängert, um deren Fahrstreifenwechsel auf diesem kritischen Bereich zu vermeiden.

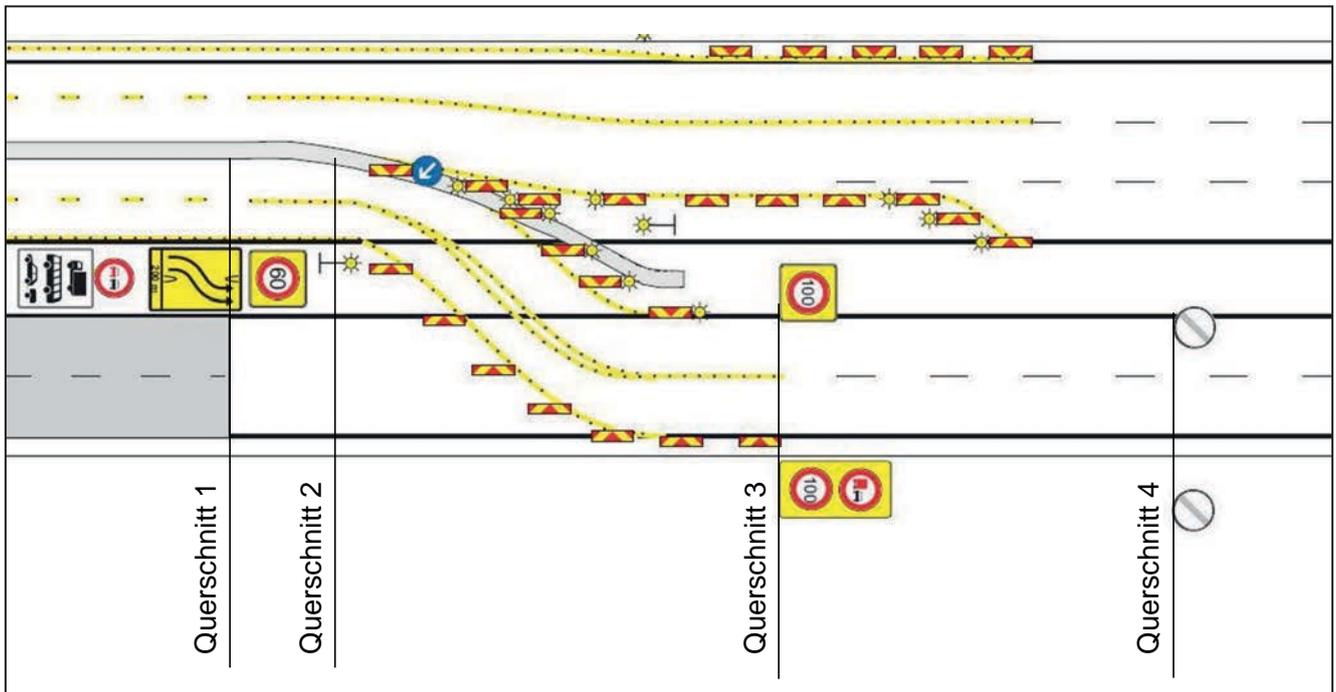


Abbildung 6-26: Messquerschnitte am Baustellenende der Fahrtrichtung 1

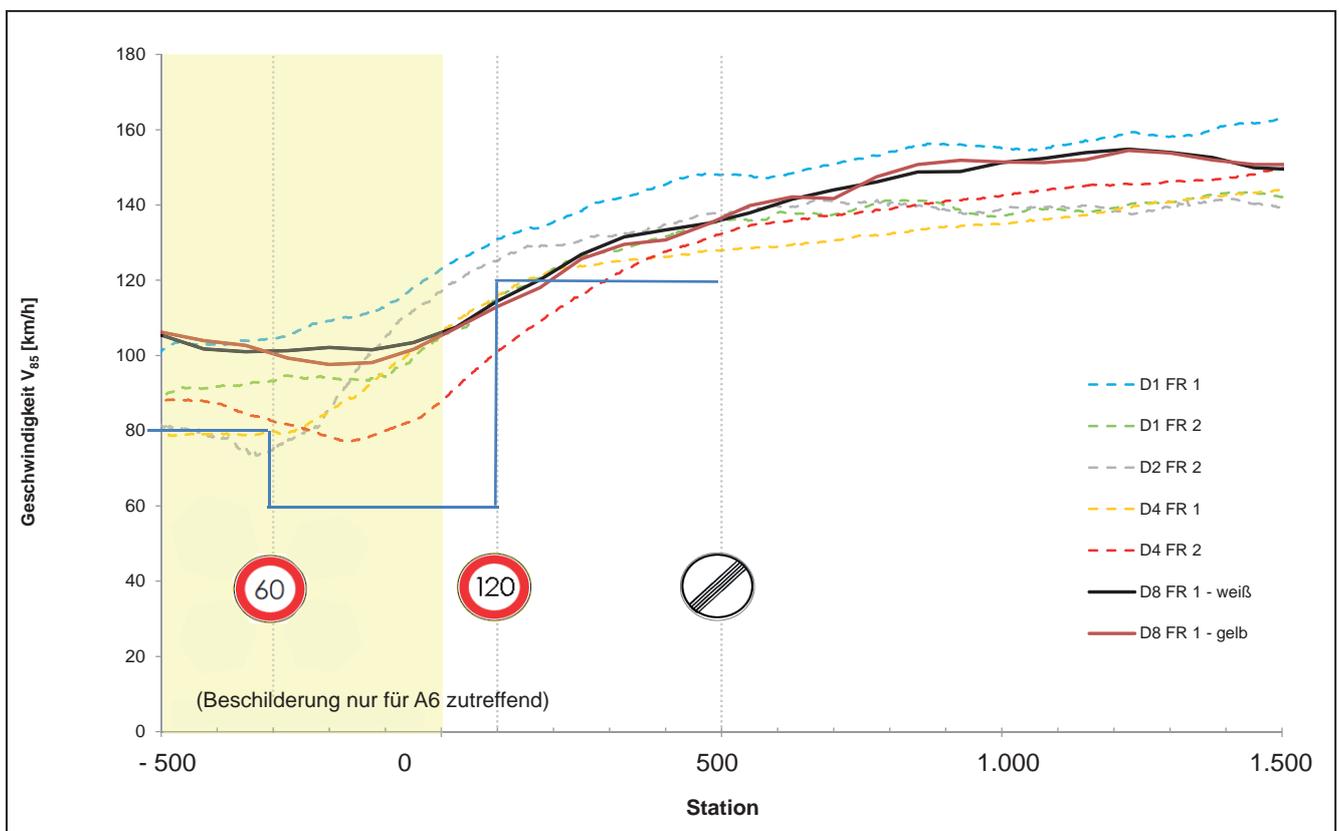


Abbildung 6-27: Verlauf der V_{85} am Baustellenende

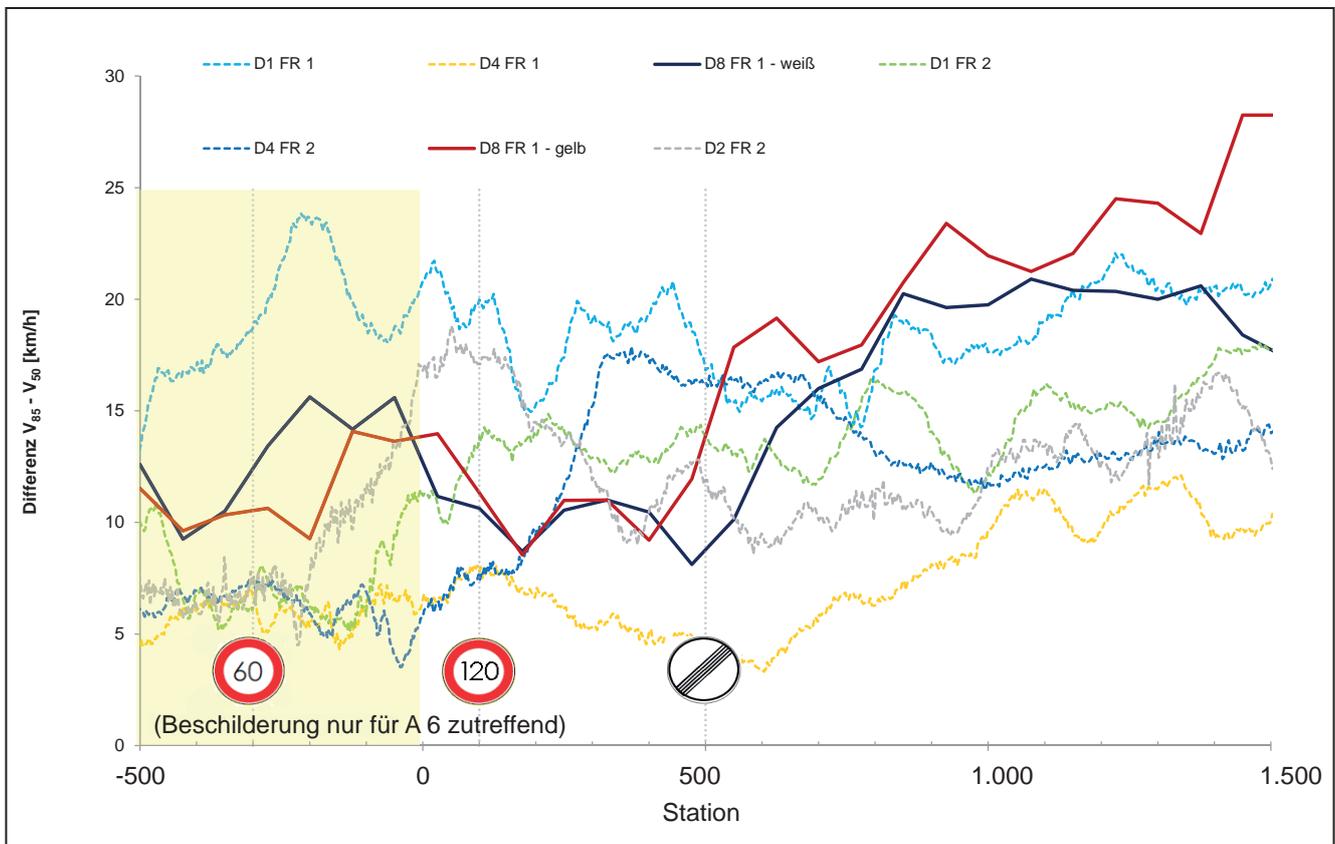


Abbildung 6-28: Homogenität der Geschwindigkeit am Baustellenende

Baustellen, bei denen die zulässige Höchstgeschwindigkeit gestuft angehoben wird (D8 „Gelbe Baustelle“; D4 Fahrtrichtung 1) zeigen eine Tendenz zum späteren Beschleunigen am Baustellenende (Abbildung 6-27). Vor der letzten Fahrstreifenverschwenkung sind bei einer V_{zul} von 60 km/h große Unterschiede zwischen den V_{85} zu erkennen. Im weiteren Verlauf nimmt die Geschwindigkeit bei fast allen Baustellen im gleichen Maße zu. Der stärkere Geschwindigkeitsanstieg in Baustelle D2 (Fahrtrichtung 2) könnte aus der vergleichsweise niedrigen Ausgangsgeschwindigkeit von $V_{85} = 75$ km/h resultieren.

Eine stufenweise Anhebung der V_{zul} kann zu einer höheren Homogenität der Geschwindigkeiten, die aus der Differenz der Kenngrößen V_{85} und V_{50} abgeleitet wird, beitragen. Die Differenzen der Baustellen mit einer stufenweisen Anhebung der Geschwindigkeit liegen im „kritischen“ Bereich bis 500 m nach der Baustelle (Station 0+000 bis 0+500) im Mittel deutlich unter denen der

restlichen Baustellen. Demzufolge war in dem Abschnitt, zu dem generell die meisten Verflechtungsvorgängen gehören, bei schrittweiser Anhebung der Geschwindigkeit ein homogenerer Geschwindigkeitsverlauf festzustellen.

7 Zusammenfassung

7.1 Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf in Autobahnbaustellen nach RSA 95

Baustellenbereiche weisen gegenüber Vor- und Nachlauf sowie den Annäherungsbereichen die höchste Unfallzahl, aber gleichzeitig die geringste Unfallschwere auf. Der Anteil der Unfälle mit Personenschaden geht von 12% auf den baustellenfreien Autobahnen auf 6% in Autobahnbaustellen zurück. Entsprechend nimmt der Anteil der Unfälle mit Sachschaden am Gesamtunfallgeschehen

zu. Die geringere Schwere von Unfällen in Baustellenbereichen lässt sich auf die geringeren gefahrenen Geschwindigkeiten zurückführen. Dabei werden allerdings die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten i. d. R. zwischen 5 km/h und 10 km/h (V_{85}) überschritten.

Innerhalb der Baustellenbereiche bestimmt mit 68 % aller Unfälle der Unfall im Längsverkehr (Typ 6) das Bild. Als maßgebende Unfallart muss dabei das seitliche Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen (Unfallart 3) angesehen werden.

Das Unfallgeschehen in Baustellen auf Autobahnen weist im Vergleich lediglich bei Nacht einen leicht über dem Autobahn-Durchschnittswert liegenden Unfallanteil auf.

Allerdings müssen Annäherungsbereiche in den Spitzenzeiten als unfallauffällig gelten. Hier kommt es offenbar durch die Überlagerung von hohen Verkehrsstärken und der Ankündigung der Baustelle häufiger zu Unfällen. Dabei können sowohl die Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, Fahrstreifenreduzierungen oder häufige Fahrstreifenwechsel in diesen Bereichen (Müller, 1990) das Unfallrisiko in den Spitzenzeiten erhöhen. Im Nachlauf werden deutlich verminderte Unfallkennziffern beobachtet, wobei weniger Längsverkehrsunfälle offensichtlich ausschlaggebend sind.

Von Bedeutung sind die letzten 500 m vor dem Beginn des Baustellenbereiches. Dort treten sowohl die größten Geschwindigkeitsverzögerungen als auch die meisten Unfälle auf. Diese standen i. d. R. im Zusammenhang mit Auffahren oder seitlichem Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen. Eine Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen kann zu zusätzlichen Unfällen insbesondere durch Abkommen von der Fahrbahn führen. Dennoch liegen die Unfallraten der Annäherungsbereiche unter den Werten der baustellenfreien Autobahnen.

Trotz der Abnahme der gefahrenen Geschwindigkeiten lagen die Werte der V_{85} in den Annäherungsbereichen bis zu 40 km/h und damit deutlich über den jeweils zulässigen Höchstgeschwindigkeiten. Bei der Einfahrt in die

Überleitung oder Verschwenkung der Fahrstreifen am Beginn der Baustelle fahren die meisten Fahrzeuge zu hohe Geschwindigkeiten.

Grundsätzlich wurde für Bereiche in Baustellen mit Besonderheiten in der Verkehrsführung (Verschwenkungen, Überleitungen) oder im Verkehrsablauf (Anschlussstellen) gegenüber den Annäherungsbereichen und Strecken innerhalb der Baustelle eine geringere Verkehrssicherheit festgestellt.

Unfälle in Überleitungen am Beginn der Baustelle, nach links, waren gekennzeichnet durch eine hohe Schwere sowie einen erhöhten Anteil von Unfällen durch Abkommen nach rechts. In Verschwenkungen in diesem Bereich, welche meist nach rechts führen, traten häufiger Abkommensunfälle nach links auf. Hier besteht offenbar ein Zusammenhang zwischen den hohen Geschwindigkeiten und der Veränderung der Fahrtrichtung. Betrachtet man alle Verschwenkungen in Autobahnbaustellen, bestimmt die Unfallart 3 (Zusammenstoß mit Fahrzeug, das seitlich in die gleiche Richtung fährt) das Unfallgeschehen. In Überleitungen ereignen sich dagegen häufiger Unfälle durch Auffahren (Unfallart 2) und Abkommen von der Fahrbahn (Unfallarten 8 und 9).

Die Unfälle an den Behelfsanschlussstellen treten zu fast 50 % in Zeiten hoher Verkehrsstärken auf. Insbesondere im Bereich der Ausfahrten kommt es dabei häufig zu Unfällen. Diese stehen im Zusammenhang mit in den Hauptverkehrszeiten häufiger auftretenden geringen Lücken (auf dem rechten Fahrstreifen oft weniger als 1 s). Es kommt zu einer leichten Zunahme der Anteilswerte von Unfällen durch Auffahren (Unfallart 2) und Abkommen von der Fahrbahn (Unfallarten 8 und 9). Fehlen an Ein- und Ausfahrten in Baustellenbereichen Beschleunigungs- und Verzögerungsfahrstreifen muss das Abbremsen oder Beschleunigen auf der Hauptfahrbahn erfolgen. Auf Streckenabschnitten des Innenbereiches treten seltener Unfälle auf. Deren Zahl und Schwere liegt unter den Durchschnittswerten baustellenfreier Autobahnen. Sie ereignen sich häufig durch seitliches Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen (Unfallart 3) zwischen Pkw und Lkw.

7.2 Baustellen mit geringen Querschnittsbreiten

Die Analyse besonders schmaler Querschnitte in Autobahnbaustellen zeigte, dass diese nicht pauschal als unsicher gelten können. Vielmehr ergab sich ein negativer Einfluss auf die Verkehrssicherheit aus:

- nicht vorhandenen (befestigten) Seitenräumen,
- optischen Einengungen durch Verringerung der Seitenraumbreite bis an die rechte Fahrbahnrandmarkierung heran,
- beschädigter oder verschmutzter oder nicht vorhandener gelber Baustellenmarkierung,
- Verringerungen der Fahrstreifenbreiten (auch geringe) und
- nicht entfernter weißer Fahrbahnmarkierung, die den Fahrer irritieren kann.

Durch Beachtung dieser Hinweise können möglicherweise auftretende besondere Gefahren bei schmalen Baustellen vermindert werden (Baustelle D7).

7.3 Überprüfung von Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit

7.3.1 Gelbe Beschilderung

Zur Verbesserung der Verkehrssicherheit, vor allem in den unfallauffälligen Bereichen von Baustellen, wurden Maßnahmen entwickelt und überprüft. So soll das Hervorheben der Beschilderung beim Fahrzeugführer die Aufmerksamkeit für die besondere Situation der Baustelle oder des jeweiligen Baustellenbereiches erhöhen. Dabei hat sich in früheren Untersuchungen die Verwendung selektiv-gelber Typ-3-Reflexfolie als geeignet erwiesen (Baier et al. 2006). Eine Überprüfung der Wirkung dieser Maßnahme ergab gegenüber einer Beschilderung nach RSA95 einen Geschwindigkeitsrückgang vor der ersten Verschwenkung bzw. Überleitung um etwa 7 km/h. Zudem konnte vor den Verschwenkungen am Beginn und Ende der Baustelle ein Rückgang der Linksfahrer beobachtet werden. Da sich in Bereichen von Fahrstreifenverschwenkungen und -überleitungen häufig Unfälle durch seitliches Streifen von in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen ereignen, kann aus den Ergebnissen eine

positive Wirkung der untersuchten Beschilderung auf die Verkehrssicherheit erwartet werden.

Insbesondere die V_{85} konnte durch die gelbe Beschilderung gemindert werden. Dies führte u. a. zu einer geringeren Bandbreite der Geschwindigkeiten (Homogenität). Sowohl die schnelleren Fahrzeuge, als auch die Bandbreite der Geschwindigkeiten sind aufgrund des gleichgerichteten Verkehrs, wie er auf Autobahnen und deren Baustellen vorliegt, von hoher Sicherheitsrelevanz.

Eine Untersuchung der Langzeitwirkung der gelben Beschilderung auf das Fahrverhalten in Baustellenbereichen mit geringer Verkehrssicherheit konnte aufgrund des begrenzten Untersuchungszeitraumes nicht vorgenommen werden. Dies erscheint mit Blick auf die i. d. R. begrenzte Zeitdauer von Baustellen von nachrangiger Bedeutung. Ebenso wenig konnte allerdings geklärt werden, ob sich die erzielten Effekte bei einem standardmäßigen Einsatz aufrechterhalten lassen. Baier et al. (2006) vermuten bei regelmäßigem Einsatz selektiv-gelber Verkehrszeichen eine Verringerung der Wirkung. Darüber hinaus besteht weiterer Forschungsbedarf zur Auswirkung der gelben Beschilderung auf das Unfallgeschehen.

7.3.2 Pfeilbaken

Der Einsatz von Pfeilbaken erfolgte aufgrund der positiven Ergebnisse der Untersuchungen von Baier et al. (2006) und Schulze et al. (2010). Darin wird für die Bereiche von Fahrstreifenverschwenkungen und -überleitungen die Verwendung von Pfeilbaken empfohlen. Beide Untersuchungen haben gezeigt, dass diese die Erkennbarkeit und Begreifbarkeit von Fahrstreifenverschwenkungen erhöhen.

7.3.3 Stufenweise Anhebung der V_{zUL} nach der Baustelle

Eine stufenweise Anhebung nach der Baustelle führt zu einer geringeren Bandbreite und damit zu einer größeren Homogenität der gefahrenen Geschwindigkeiten. Dies ist insbesondere auf Autobahnen ein wichtiges Kriterium der Verkehrssicherheit.

8 Empfehlungen

Gesamtgestaltung von Baustellen

Die Akzeptanz notwendiger Geschwindigkeitsbeschränkungen soll durch eine über die RSA 95 (RSA, 1995) hinausgehende Vereinheitlichung von Bau und Betrieb der Verkehrsführungen in Baustellenbereichen unterstützt werden. Dies betrifft die großmaßstäbliche Abstimmung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf die bauliche und verkehrstechnische Ausgestaltung, z. B. Fahrstreifenbreiten und Verschwenkungsgeometrie.

Zur Verminderung von Unfällen durch Auffahren oder Abkommen von der Fahrbahn sollte von der Regelung einer einheitlichen konstanten Geschwindigkeit über alle Baustellenbereiche nur dann abgewichen werden, wenn ein Wechsel in der baulichen Gestaltung unvermeidbar ist. Die einheitliche Gestaltung des gesamten Baustellenbereiches (Fahrstreifenbreiten, Ausstattung, Gestaltung der Verschwenkungen, usw.) kann auch eine Homogenisierung des Verkehrsablaufes bewirken.

Annäherungsbereich

Eine frühe Anpassung der Geschwindigkeiten bei Annäherung an die Baustelle ist anzustreben. Dazu gehört auch das bereits in der Literatur geforderte frühzeitige Reduzieren von Fahrstreifen mindestens 500 m vor Baustellenbeginn. Es wird erwartet, dass sich so insbesondere die Geschwindigkeitsunterschiede am Beginn der Baustelle zwischen den Fahrstreifen minimieren lassen.

Überleitungen und Verschwenkungen von Fahrstreifen

Für Verschwenkungen von Fahrstreifen sollte eine Vereinheitlichung der Verschwenkungsmaße festgelegt werden. Eine kurze Verschwenkung hält Kraftfahrer zu erhöhter Aufmerksamkeit an. Durch eine aufgeweitete Mittelmarkierung kann die Zahl der Unfälle durch seit-

liches Streifen verringert werden. Ein Gebot zum versetzten Fahren im Überleitungsbereich könnte ebenfalls zu einer Verringerung des Unfallrisikos durch Abweichungen von der Fahrlinie beitragen. Aufgrund der nachgewiesenen besseren Leitwirkung sollten in Bereichen von Fahrstreifenverschwenkungen und -überleitungen Pfeilbaken zum Einsatz kommen.

Sind starke Verschwenkungen nicht zu vermeiden oder treten Änderungen in der Querneigung (z. B. meist beim Wechsel der Richtungsfahrbahnen) auf, sind diese mit einer Begrenzung der Geschwindigkeit auf 60 km/h zu versehen. Darüber hinaus sollte die linke Randmarkierung am Überleitungsende neben der Schutzplanke zur besseren Orientierung weitergeführt werden.

Überwachungsmaßnahmen zur Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit am Überleitungsbeginn sollten gut erkennbar sein und im Vorfeld angekündigt werden, da dieser Bereich aus Sicht der Fahrdynamik sehr sensibel ist.

Zur Erhöhung der Erkennbarkeit von Verschwenkungen sollten in den Annäherungsbereichen alle Fahrstreifen- bzw. Überleitungstafeln und Baken mit selektiv-gelber Hintergrundfolie gestaltet werden, wenn:

- am Baustellenbeginn eine Fahrstreifenverschwenkung erfolgt,
- am Baustellenbeginn in einer Überleitung die Fahrstreifen mit einem von der RSA 95 abweichenden Maß verschwenkt werden⁹⁾,
- im Zuge der Fahrstreifenüberleitung ein starker Querneigungswechsel aufgrund einer ausgeprägten gegenläufigen Querneigung im Mittelstreifen (RSA 95) stattfindet.

In diesen Fällen sollten die mit der Fahrstreifenverschwenkung bzw. -überleitung im Zusammenhang stehenden Geschwindigkeitsbegrenzungen durch die Verwendung einer selektiv-gelben Hintergrundtafel hervorgehoben werden.

⁹⁾ Nach RSA (RSA, 1995) wird für die Führung der Verschwenkungen ein Verhältnis von 1 : 20 empfohlen. Das bedeutet, dass auf 20 m Länge die Fahrstreifen um einen Meter seitwärts verschwenkt werden. Das hier angegebene Maß für die Überleitungen von 1 : 25 hat sich als unsicherste Gestaltungsform für Überleitungen herausgestellt. Dabei sind bei diesem Maß geringere Kurvenradien erforderlich.

Am Baustellenende soll auf Fahrstreifenverschwenkungen durch Fahrstreifentafeln mit selektiv-gelbem Hintergrund hingewiesen werden. Dies gilt auch für Überleitungen wenn das Verschwenkungsmaß von den RSA 95 abweicht.

In die Anordnung selektiv-gelber Beschilderung sollten allerdings nur Verkehrszeichen eingebunden werden, die im direkten Zusammenhang mit der bevorstehenden Situation (Fahrstreifenverschwenkung oder -reduzierung) stehen. Eine Vermischung gelber und weißer Verkehrszeichen ist zu vermeiden.

Strecken im Baustelleninnenbereich

Zur Vereinheitlichung von Bau und Betrieb wird die Abstimmung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten auf die Fahrstreifenbreiten nach Tabelle 8-1 als Ergänzung in den RSA vorgeschlagen. Demnach sollten Baustellenbereiche nur dann mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h betrieben werden, wenn die Breite der Richtungsfahrbahnen weniger als 6 m beträgt.

Insbesondere bei schmalen Querschnitten ist darauf zu achten, dass Schutzeinrichtungen bzw. bauliche Einrichtungen nicht unmittelbar neben Fahrstreifenbegrenzungen liegen. Wechselnde Abstände zwischen diesen Einrichtungen und der Fahrstreifenbegrenzung sind zu vermeiden (unruhiger Fahrbahnrand). Auch irritierende

weiße Markierungslinien sollten bei der Baustelleneinrichtung entfernt oder bei neuen Fahrbahnen erst nach dem Ende des Bauzeitraums aufgetragen werden. Die Empfehlung für „versetztes Fahren“ ist ebenfalls hilfreich.

Anschlussstellen

Bei engen Verhältnissen kann, wie in den RSA 95 vorgeschlagen, aber auf Beschleunigungsstreifen verzichtet werden, wenn die Verkehrsbelastung gering ist. Gleichzeitig sollte dann aber das Zeichen 123 (Baustelle) in der Zufahrt mit einer gelben Hintergrundtafel versehen werden. Gleiches gilt für Zufahrten mit verkürztem Beschleunigungsstreifen bei Auftreten hoher Verkehrsstärken. Verzögerungsstreifen sollen aber jedenfalls in ausreichender Länge ausgebildet werden, so dass ein Abbremsen auf den Hauptfahrstreifen nicht erforderlich ist.

Baustellenende

Anzustreben ist eine Ausbildung der Verschwenkungen am Baustellenende so, dass sie mit den zuvor zulässigen Geschwindigkeiten durchfahren werden kann. Damit erübrigt sich eine Reduzierung der Geschwindigkeit im Vorfeld der abschließenden Verschwenkung.

Nach dem Baustellenbereich soll eine schrittweise Anhebung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 100 km/h und frühestens nach 500 m auf das Niveau der

Tabelle 8-1: Zulässige Höchstgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Breitenabmessung auf Richtungsfahrbahnen (Empfehlung)

V_{zul}	Breite der Fahrstreifen		Breite der Richtungsfahrbahn
	rechts	links	
60 km/h	3,00 m	2,50 m	5,50 m
	3,25 m	2,50 m	5,75 m
80 km/h	3,25 m	2,75 m	6,00 m
	3,50 m	2,50 m	
	≥ 3,50 m	≥ 2,75 m	> 6,00 m

baustellenfreien Autobahn erfolgen. Dies soll mit einer Verlängerung der Überholverbote für den Schwerverkehr verbunden sein.

Weitere Empfehlungen

Weiterhin empfohlen werden Verbesserungen in der Baustellenausstattung, welche die Erkennbarkeit und Begreifbarkeit u. a. bei Dämmerung und Dunkelheit verbessern können. Dazu zählen:

- zusätzliche Warnblinkleuchten,
- zusätzliche Pfeilmarkierungen auf der Fahrbahn,
- die Ausleuchtung kritischer Bereiche oder auch
- profilierte Längsmarkierungen.

Aufgrund des technischen Fortschritts ergeben sich in Zukunft neue Möglichkeiten zur Erhöhung der Verkehrssicherheit auch in Autobahnbaustellen. Insbesondere Entwicklungen in der Telematik aber auch die Veränderung rechtlicher Grundlagen stehen dabei im Mittelpunkt. So kann die Zulassung der Geschwindig-

keitsüberwachung durch ‚Section Control‘ zusammen mit transparenter Information den Verkehrsteilnehmer bei der angemessenen Geschwindigkeitswahl unterstützen.

Durch die Verkehrstelematik und Fahrerassistenz können aktuelle und örtlich präzise Hinweise auf Baustellen und deren Eigenschaften (V_{zul}) an Navigations- und Fahrerassistenzsystemen gesendet werden. Auch Warnungen vor kritischen Stellen innerhalb der Baustellen, z. B. Verschwenkung oder Anschlussstellen mit Hinweisen auf das gebotene Verhalten (z. B. Vermeidung von Nebeneinanderfahren oder von Fahrstreifenwechsel), sind denkbar. Derartige Maßnahmen sollten nach deren zumindest teilweiser Verfügbarkeit auf ihre Wirkungen hin untersucht werden.

Verkehrsrechtlich relevante Empfehlungen, wie die gelbe Beschilderung und der Einsatz von Pfeil- statt Schraffenbaken erfordern die Schaffung entsprechender Voraussetzungen in VwV-StVO und RSA.

Literatur

- AJS 1988 AJS; RAPP: Maßnahmen zur Aufrechterhaltung des Verkehrs im Bereich von Bauarbeiten an Autobahnen und -straßen. Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Straßenbau, Basel 1988.
- Baier 2006 Baier, M.; Kemper, D.; Baur, O.; Steinauer, B.; Frank, H.: Sicherheitswirkung von fluoreszierenden Materialien bei Leiteinrichtungen in Arbeitsstellen. Bundesministerium für Verkehr, Bonn 2006.
- Becker 1983 Becker, Hubert und Schmuck: Verkehrsablauf an Autobahnbaustellen. Hochschule der Bundeswehr, München 1983.
- Beckmann 2001 Beckmann, A.; Zackor, H.: Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen. Bundesministerium für Verkehr, Bonn 2001.
- Brilon 1990 Brilon, W.; Wu, N.: Untersuchung einer Verkehrsführung an Autobahnbaustellen mit drei Fahrstreifen, bei der der mittlere Fahrstreifen in wechselnder Richtung benutzt werden kann - Pilotstudie. Bundesministerium für Verkehr, Bonn 1990.
- Brühning 1971 Brühning, E.; Ernst, R.: Untersuchungen über den Verkehrsablauf und die zulässige Geschwindigkeit auf den Behelfsfahrstreifen im Bereich der Reparaturbaustellen der Bundesautobahn (Ergänzender Bericht). Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Köln 1971.
- Brühning 1977 Brühning, E.: Untersuchung der Unfälle mit Personenschaden auf Autobahnen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik; 223, 1977.
- DESTATIS 2007 DESTATIS: Fachserie 8, Reihe 7: Verkehr - Verkehrsunfälle 2006. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2007.
- Emde 1983 Emde, W.; Hamester, H.: Unfallgeschehen an Autobahnbaustellen. Hochschule der Bundeswehr, München 1983.
- Fischer 2006 Fischer, L.; Brannolte, U.: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen: Verkehrstechnik 142; Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft, Bremerhaven 2006.
- Freeman 2004 Freeman, M.; Mitchell.: GA Coe. Safety performance of traffic management at major motorway road works - prepared for safety standards and research, safety and information division, highway agency. TRL Limited, 2004.
- FGSV 1999 Merkblatt für Rahmenbedingungen für erforderliche Fachkenntnisse zur Verkehrssicherung von Arbeitsstellen an Straßen (MVAS 99). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1999.

-
- FGSV 2003 a Merkblatt zum Auswerten von Straßenverkehrsunfällen - Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypensteckkarten. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2003.
- FGSV 2003 b Merkblatt zum Auswerten von Straßenverkehrsunfällen - Teil 2: Maßnahmen gegen Unfallhäufungen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2003.
- Grebe 1991 Grebe, N.: Verkehrssicherheit an kurzfristigen und beweglichen Arbeitsstellen auf Autobahnen. Kirschbaum Verlag, Köln 1991.
- Heller 1965 Heller, F.; Lapiere, R.: Maßnahmen zur Aufrechterhaltung des Verkehrsflusses bei Bauarbeiten auf Bundesautobahnen. Zeitschrift für Verkehrssicherheit Nr. 11. 1965,
- Hoffmann 1981 Hoffmann, G.; Eichhorn, J.: Auswirkungen von Reparatur-Baumaßnahmen auf der Bundesautobahn Stadtring Berlin auf den Verkehrsablauf und das Unfallgeschehen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik 329, 1981.
- Kayser 1993 Kayser, H.; Feldges, M.: Unfälle mit Straßenunterhaltungspersonal auf Bundesautobahnen. Bundesministerium für Verkehr, Bonn 1993.
- Kayser 1991 Kayser, H.; Heß, M.; Feldges, M.; Struif, R.: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik - Entwicklung eines Instrumentariums zur Erstellung von Verkehrszeichenplänen und deren Umsetzung bei der Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen. Bundesministerium für Verkehr, Bonn 1991.
- Kockelke 1988 Kockelke, W.; Rossbänder, E.: Untersuchungen zum Verkehrsverhalten und zur Verkehrssicherheit an Autobahnbaustellen. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach 1988.
- Köppel 1978 Köppel, G.: Auswertung der Unfälle auf Autobahnen in Bayern für 1976, Teil: „Unfallkenngrößen“. Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, München 1978.
- Krux 1995 Krux, W.; Determann, D.: Sicherheitsbezogene Beurteilung von Autobahnbaustellen. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) V 28, Bergisch Gladbach 1995.
- Laffont 1995 Laffont, S.; Schmidt, G.: Empfehlungen zur Minderung von Stau- und Unfallrisiko bei einstreifigen Verkehrsführungen in Autobahnbaustellen der neuen Bundesländer. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, 701, 1995.
- Laube 2001 Laube, M.: Verkehrsverhalten und Unfallgeschehen im Bereich von Autobahnbaustellen. ETH Zürich, Zürich 2001.
- Lenz 1970 Lenz, K.-H.; Ernst, R.; Steinhoff, H.: Untersuchungen über den Verkehrsablauf und die zulässige Geschwindigkeit auf den Behelfsfahrestreifen im Bereich der Reparaturbaustellen der Bundesautobahn (Vorläufiger Schlussbericht). Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Köln 1970.
- Leutzbach 1961 Leutzbach, W.: Stau an BAB-Baustellen. Jahrbuch „Schiene und Straße“. 1961

- Maclean 1976 Maclean, A. D.: M6 Reconstruction 1976: Two-way traffic using narrow lanes. Transportation and Road Research Laboratory (TRRL), 1976.
- Müller 1990 Müller, F.; Seliger, R.: Untersuchung zur Wirkung unterschiedlicher Leiteinrichtungen als Fahr-
bahnverengung auf das Fahrverhalten vor BAB-Arbeitsstellen. In: Straße + Autobahn 41, Heft 10,
S. 452 - 458, 1990.
- Nadler 1988 Nadler, F.; Hanko, W.; Schrefel, J.: Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen auf Autobahnen.
Schriftenreihe Straßenforschung. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien
1988.
- Norkauer 2004 Norkauer, A.: Beurteilung von Maßnahmen zur Staureduktion bei Arbeitsstellen kürzerer Dau-
er auf Bundesautobahnen. Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe,
Karlsruhe 2004.
- OECD 1973 Traffic operation at sites of temporary obstruction. Organisation for Economic Co-operation and
Development, Paris 1973.
- OECD 1990 Verkehrsführung und Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen; Bericht einer Arbeitsgruppe
der OECD. Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Stras-
senbau, Bern 1990.
- Pöppel-Decker 2003 Pöppel-Decker, M.: Grundlagen streckenbezogener Unfallanalysen auf Bundesautobahnen. Bun-
desanstalt für Straßenwesen (BASt), M 153. Bergisch Gladbach 2003.
- RAS-W 1986 FGSV.: Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen
(RAS - W). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1986.
- Ressel 1994 Ressel, W.: Untersuchungen zum Verkehrsablauf im Bereich der Leistungsfähigkeit an Baustellen
auf Autobahnen. Universität der Bundeswehr, München 1994.
- Roos 2006 Roos, R.: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen. Bun-
desanstalt für Straßenwesen (BASt), V 143, Bergisch Gladbach 2006.
- RSA 1995 Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA-95). Bundesministerium für Ver-
kehr, Bonn 1995.
- Schüller 2010 Schüller, H.: Geschwindigkeitsverhalten in Stadtstraßen. Dissertation - unveröffentlicht, Lehrstuhl
Straßenverkehrstechnik mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung, Fakultät Verkehrswissen-
schaften „Friedrich List“, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Dresden 2010.
- Spacek 2005 Spacek, P.; Laube, M.; Santel, G.: Baustellen an Hochleistungsstraßen - Verkehrstechnische Maß-
nahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Verkehrsflusses. ETH Zürich, IVT, Zürich 2005.

-
-
- Steinauer 2004 Steinauer, B.: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer.: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) V 118, Bergisch Gladbach 2004.
- Stöckert 2001 Stöckert, R.: Auswirkungen von Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen auf Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes. VDI Verlag, Darmstadt 2001.
- StVO 2007 Straßenverkehrsordnung (StVO). Bundesministerium für Verkehr, Bonn 2007.
- VwV StVO 2001 Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO). Bundesministerium für Verkehr, Bonn 2001.



Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 1002 Berlin

Tel. 030 / 20 20 - 50 00, Fax 030 / 20 20 - 60 00
www.gdv.de, www.udv.de