

Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 210

bast

Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)

von

Reinhold Maier
Ralf Berger

Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik
mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung
TU Dresden

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 210

bast

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

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

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

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

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 02.283/2007/FGB:
Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)

Projektbetreuung
Birgit Hartz

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

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

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-86918-196-7

Bergisch Gladbach, Januar 2012

Print  kompensiert
Id-Nr. 1216632
www.bvdm-online.de

Kurzfassung – Abstract

Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)

Ziel des Forschungsvorhabens war die Klärung der Frage, in welcher Art und Weise Einsatz und Betrieb des RQ 21 in dem Entwurf der RAL (FGSV, 2008) geregelt werden soll. Im Vordergrund stand die Entwicklung einer Methodik zur Abgrenzung der Einsatzlänge von Strecken mit RQ 21 unter Berücksichtigung des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit. Dabei sollte die mögliche Notwendigkeit einer Beschränkung der v_{zul} im Vergleich zu Strecken mit Seitenstreifen erläutert werden. Weiterhin galt es zu klären, wie eine Bewertung der Verkehrsqualität auf diesem Regelquerschnitt erfolgen soll.

Zunächst erfolgte eine Dokumentation von Strecken aus verschiedenen Bundesländern, um die Charakteristik bestehender Strecken im Netz zu quantifizieren. Anhand einer Voruntersuchung wurden die Kriterien für Lage und Umfang der verschiedenen Messquerschnitte festgelegt. Erhebungen zur Analyse des Fahrverhaltens wurden im Bereich der freien Strecke und an Übergängen mit verschiedenen Änderungen der Streckencharakteristik durchgeführt.

Das auf Strecken mit verschiedenen Geschwindigkeitsbeschränkungen (v_{zul}) erfasste Geschwindigkeitsverhalten wurde in q-V-Beziehungen dargestellt und für verschiedene verkehrliche Randbedingungen mittels Simulationen für den vorgesehenen Verkehrsstärkebereich abgebildet.

Diese Beziehungen bildeten die Grundlage für die Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung der Verkehrsqualität unbeeinflusster Streckenabschnitte unter zusätzlicher Berücksichtigung der Vorgaben aus den RIN (FGSV, 2008c). Der gewählte Ansatz umfasst eine Regressionsrechnung der ermittelten Werte in der k-V-Ebene und ermöglicht vor dem Hintergrund der Einordnung des RQ 21 zu den Strecken von Landstraßen einer Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufes auf Grundlage der Verkehrsdichte.

Auf Basis des Unfallgeschehens aus drei Bundesländern fand eine Sicherheitsbewertung der schmalen zweibahnigen Landstraßen mit und ohne Seitenstreifen statt. Für Abschnitte der verschiedenen Strecken- und Knotenpunktelemente konnte eine detaillierte Analyse durchgeführt werden. Die Untersuchungen zeigten für Streckenzüge des RQ 21 gegenüber dem RQ 28 einen ungünstigeren Sicherheitsgrad UKR wegen einer erhöhten Rate der Unfälle mit Personenschaden UR(P).

Aus verschiedenen Untersuchungen zu Störgrößen im Verkehrsablauf (Arbeitsstellen kürzerer Dauer, Pannenfahrzeuge), welche auf zweibahnig vierstreifigen Strecken zu einem Einzug eines Fahrstreifens führen, wurde ein Ansatz entwickelt, der in Abhängigkeit der verkehrlichen und baulichen Parameter einer Strecke die mittlere Anzahl von Störungen, die auf Strecken ohne Seitenstreifen gegenüber den Strecken mit Seitenstreifen mehr auftreten, angibt.

Grundsätzlich gilt, dass der Einsatz und Betrieb des RQ 21 an enge Rahmenbedingungen gekoppelt ist, deren Einflüsse in diesem Forschungsprojekt näher beschrieben sind.

4-lane rural roads (RQ 21)

The aim of this research project was to answer the question in which way the operational conditions of the RQ 21 should be regulated in the guideline RAL (FGSV, 2008). A methodology was developed in order to determine the applicable length considering traffic flow and traffic safety. As a main question to be answered was whether a speed limit is necessary compared with roads with side stripes. Furthermore it was investigated by which method traffic quality should be assessed for this type of cross section.

First of all relevant roads and their attributes were documented. Observation site were chosen with the help of a pretest. The driver behavior was analyzed in sections not influenced by junctions and in segments with changing cross sections.

The speed behavior in dependence of the speed limit was shown as speed-flow relationships. These were carried out with the help of simulations based on the empirical observation data. Besides, different terms were taken into consideration.

The development of a procedure for a determination of the traffic quality on RQ 21 sections without junctions was based on these speed-flow relationship and additionally implied the specifications of the RIN (FGSV 2008c). The procedure includes a regression calculation of the ascertained values in the speed density relationship and allows the assessment of the quality of service based on the density as the measure of effectiveness. Therefore dealing with the RQ 21 by means of quality aspects of rural roads was taken into consideration. An assessment of the road safety for 4-lane rural roads with and without side stripes was carried out.

As a result sections of the RQ 21 have a higher accident rate as well as accident costs rate than cross sections with a side stripe. Furthermore a

procedure was developed considering different types of disturbances of traffic flow on sections of the RQ 21 (daily construction site, breakdown vehicle) in order to find an appropriate section length.

In principle the application and operation of the RQ 21 depends on the compliance of several basic conditions analyzed and described in this final report.

Inhalt

1	Aufgabenstellung und Ablauf.....7	4.5.5	Zeitlückenverteilung..... 41
2	Literaturanalyse.....7	4.6	Vergleich RQ 21 und RQ 28 freie Strecke..... 42
2.1	Definition Querschnitte..... 7	4.7	Verkehrsablauf am Übergang zu einbahnigen Abschnitten..... 43
2.2	Erkenntnisse zu Strecke und Knotenpunkt..... 8	4.7.1	Geschwindigkeiten ausfahrende Richtung..... 44
2.2.1	Untersuchungen verschiedener Querschnitte..... 8	4.7.2	Geschwindigkeiten einfahrende Richtung..... 45
2.2.2	Einfluss Seitenstreifen..... 9	4.7.1	Fahrstreifenwahl..... 47
2.3	Erkenntnisse zu Fahrstreifenreduktionen und Engpässen..... 10	4.8	Verkehrsablauf an Übergängen mit Beibehalt Zweibahnigkeit..... 48
2.3.1	Fahrstreifenreduktionen..... 10	4.8.1	WZB (Seitenstreifen)..... 48
2.3.2	Engpässe..... 10	4.8.2	WZB (Innerorts)..... 49
2.4	Darstellung q-V-Beziehungen..... 12	4.9	Zusammenfassung Verkehrsablauf..... 52
3	Dokumentation zweibahnig vierstreifiger Landstraßen 13	4.9.1	Freie Strecke..... 52
3.1	Auswahlkriterien..... 13	4.9.2	Übergänge..... 52
3.2	Ergebnisdokumentation..... 14	4.10	Simulation Verkehrsablauf freie Strecke RQ 21..... 54
4	Analyse Verkehrsablauf..... 15	4.10.1	Vorgehensweise..... 54
4.1	Vorbemerkung..... 15	4.10.1	Simulationsmodell..... 54
4.2	Voruntersuchungen..... 16	4.10.2	Kalibrierung und Validierung..... 55
4.2.1	Aufgabe..... 16	4.10.3	Ermittlung Kurvenverläufe..... 56
4.2.2	Methodik der Voruntersuchungen (Nachfolgefahrten)..... 16	4.10.4	Bewertung Ergebnisse..... 57
4.2.3	Auswahl geeigneter Strecken..... 16	5	Analyse Verkehrssicherheit 58
4.2.4	Abgrenzung der Einflussbereiche..... 17	5.1	Zielstellung..... 58
4.3	Methodik Verkehrsablauf..... 19	5.2	Methodik..... 59
4.3.1	Kenngößen Verkehrsablauf..... 19	5.2.1	Datengrundlage..... 59
4.3.2	Methodik Querschnittsmessungen..... 20	5.2.2	Netzeinteilung..... 60
4.3.3	Messaufbau..... 22	5.2.3	Unfallkenngößen..... 62
4.3.4	Wahl der Untersuchungsstrecken..... 23	5.2.4	Berechnung Einflusslängen Knoten 64
4.3.5	Festlegung der Wunschgeschwindigkeiten..... 25	5.3	Ergebnisse..... 64
4.4	Daten der Messstrecken..... 26	5.3.1	Freie Strecke..... 64
4.5	Verkehrsablauf freie Strecke RQ 21..... 30	5.3.2	Einflussbereich Knotenpunkte..... 68
4.5.1	Geschwindigkeiten..... 30	5.3.3	Knotenpunkte..... 70
4.5.2	Differenzgeschwindigkeit Fahrstreifen . 38	5.3.4	Übergreifende Bewertung..... 73
4.5.3	Schwerverkehr..... 38	5.3.5	Unfalltypen..... 76
4.5.4	Fahrstreifenwahl..... 38	5.3.6	Zusammenfassung Verkehrssicherheit 79
		6	Bewertung Verkehrsqualität..... 79
		6.1	Definition der Verkehrsqualität..... 79
		6.2	Vorgehensweise..... 80
		6.3	Ergebnisse..... 82

7	Eignung der Einsatzlänge	84
7.1	Kapazitätsermittlung Engpass.....	84
7.1.1	Vorgehensweise.....	84
7.1.2	Ergebnisse	85
7.2	Häufigkeit von Engpässen.....	86
7.2.1	Vorgehensweise.....	86
7.2.2	Auftreten von Engpässen	88
7.2.3	Auftreten von Stauerscheinungen.....	89
7.3	Ableitung Einsatzlänge.....	91
8	Empfehlungen für Einsatz und Betrieb des RQ 21	93
8.1	Allgemeine Einsatzgrenzen.....	93
8.2	Entwurfstechnische Merkmale	94
8.3	Betriebliche Merkmale.....	96
8.4	Empfohlene Textpassage RAL.....	96
9	Zusammenfassung	97
10	Literatur	100

Abkürzungsverzeichnis

AkD	Arbeitsstellen kürzerer Dauer	U	Unfall
EKA.....	Entwurfsklassen für Autobahnen	U(P)	Unfall mit Personenschaden
EKL	Entwurfsklassen für Landstraßen	U(P,S)....	Unfälle mit Personen- und Sachschaden
DTV.....	Durchschnittlich täglicher Verkehr	U(SP).....	Unfall mit schwerem Personenschaden
FSA.....	Fahrstreifenaddition	U(SS).....	Unfall mit schwerem Sachschaden
FSR.....	Fahrstreifenreduktion	UD	Unfalldichte
FSS.....	Fahrstreifensubtraktion	UKR	Unfallkostenrate
k	Verkehrsdichte	UR	Unfallrate
Kfz.....	Kraftfahrzeug	VD _A	angepasste Verkehrsdichte
Lkw.....	Lastkraftwagen	VD _E	einheitliche Verkehrsdichte
Pkw	Personenkraftwagen	v _{lok}	lokale Geschwindigkeit
q	Verkehrsstärke	v _{mom}	momentane Geschwindigkeit
RQ.....	Regelquerschnitt	v _{zul}	zulässige Höchstgeschwindigkeit
SIB	Straßeninformationsbanken	WZB.....	weiterhin zweibahnig
SV	Schwerverkehr		
t _{empf}	empfohlene Zeitlücke		
t _{krit}	kritische Zeitlücke		

1 Aufgabenstellung und Ablauf

Gemäß den neuen Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL (Entwurf 3/2008) (FGSV, 2008) soll künftig für sehr hoch belastete Bundes- oder Landstraßen ein schmaler, zweibahnig vierstreifiger Querschnitt, der Regelquerschnitt RQ 21, eingesetzt werden können. Für diesen Querschnitt sind keine Seitenstreifen, aber in regelmäßigen Abständen Nothaltebuchten vorgesehen. Der Querschnitt entspricht durch die breitere Mitteltrennung einem aufgeweiteten RQ 20 und soll als Kraftfahrstraße betrieben werden.

Der RQ 21 soll nur Anwendung finden, wenn die Bemessungsverkehrsstärke auf kurzen Streckenabschnitten der Straßenkategorien LS I und LS III bis zu einer Länge von 15 km die Kapazität einbahniger Straßen überschreitet. Dies kann durch die Bündelung von Landstraßen oder im Vorfeld von Agglomerationen der Fall sein. Bei größeren Streckenlängen soll der Querschnitt nach den Richtlinien für die Anlage von Autobahnen RAA (FGSV, 2008b) bspw. als RQ 28 (mit 2,5 m breiten Seitenstreifen, breiterer Mitteltrennung der Fahrbahnen und einen um 0,25 m breiteren linken Fahrstreifen) ausgeführt werden.

In diesem Forschungsprojekt soll der Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit auf derart kurzen Abschnitten schmaler zweibahniger Straßen unter Berücksichtigung der Ausbaumerkmale und der Betriebsform untersucht werden. Es soll zudem geprüft werden, ob

- schmale Querschnitte ohne Seitenstreifen eine Geschwindigkeitsbeschränkung erforderlich machen und ob
- eine Begrenzung der Streckenlänge mit einem RQ 21 auf 15 km im Unterschied zu längeren Streckenabschnitten nach RAA als RQ 28 aus Sicht des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit zweckmäßig ist.

Aus den Ergebnissen sollen Empfehlungen für den Einsatz und die Ausgestaltung von schmalen zweibahnigen Straßen abgeleitet werden.

Das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS (Fassung 2005) (FGSV, 2001) enthält keine Aussagen und Verfahren zur Bestimmung der Verkehrsqualität auf schmalen zweibahnigen Straßen. Auf Basis der Untersuchungen sollen unabhängig von Geschwindigkeitsbeschränkungen Aussagen zur Verkehrsqualität getroffen werden. Hierfür werden analog den bisher im HBS enthaltenen Verfahren q-V-Diagramme

für schmale zweibahnige Straßen erstellt und ein HBS-Verfahren entwickelt.

Die aus den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse sind für eine Übernahme in die Regelwerke HBS und RAL aufzubereiten.

2 Literaturanalyse

2.1 Definition Querschnitte

Da der RQ 21 bisher noch nicht als Standard verwendet wird, liegen keine verwendbaren Erfahrungen vor. Erkenntnisse zu ähnlichen Querschnittsformen werden daher ersatzweise herangezogen. Als Vergleichsquerschnitt dient vorrangig der Regelquerschnitt RQ 28, der nach den RAA (FGSV, 2008b) für Autobahnen der Entwurfsklasse 2 (autobahnähnliche Straßen) mit Verkehrsbelastungen bis zu 30.000 Kfz/24h zum Einsatz kommen soll. Die Richtgeschwindigkeit für diese Entwurfsklasse beträgt 130 km/h. Auch die RAL (FGSV, 2008) verweisen darauf, bei Strecken mit einer Belastung von mehr als 30.000 Kfz/Tag einen Regelquerschnitt nach den RAA (FGSV, 2008b) zu wählen. Neben der Entwurfsklasse spielt dabei die Frage nach der Erfordernis für eine 4+0-Verkehrsführung in Arbeitsstellen die entscheiden-

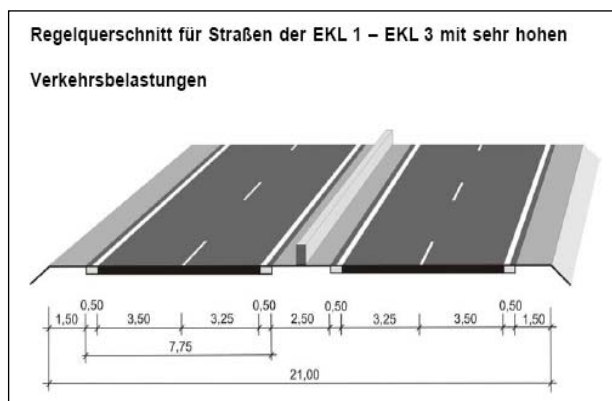


Bild 1: RQ 21 nach Entwurf der RAL (FGSV, 2008)

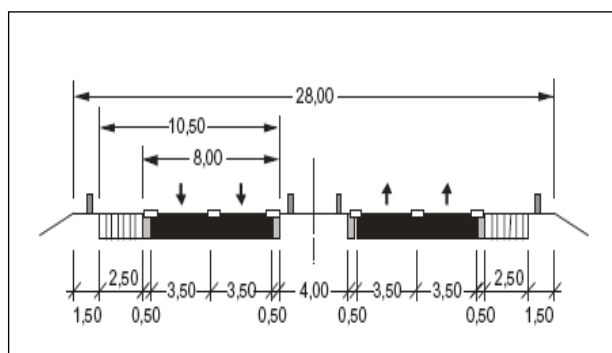


Bild 2: RQ 28 nach den RAA (FGSV, 2008b)

de Rolle für die Wahl eines RQ nach RAA. Prinzipiell kommen drei RQ in Frage: Der RQ 31 falls eine 4+0-Verkehrsführung erforderlich wird, z.B. bei Prognose verkehrsstärken über 30.000 Kfz/24h. Der RQ 28, wenn keine 4+0-Verkehrsführung erforderlich wird. Oder der RQ 25, der jedoch nur für den Einsatz bei Stadtautobahnen vorgesehen ist.

2.2 Erkenntnisse zu Strecke und Knotenpunkt

2.2.1 Untersuchungen verschiedener Querschnitte

In BRANNOLTE (1992) wurde der Einsatz von sogenannten Zwischenquerschnitten untersucht, d.h. Querschnitte, welche die Lücke zwischen einbahnigen zweistreifigen und zweibahnigen Autobahnquerschnitten schließen können. Diese sollten bei geringerem Flächenbedarf und niedrigeren Baukosten als im Fall von Autobahnquerschnitten eine höhere Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit als herkömmliche einbahnige Querschnitte aufweisen. Als Zwischenquerschnitte wurden Querschnitte mit einer Kronenbreite zwischen 14 und 22 m definiert.

Dieser Untersuchung ging ein für Deutschland erster Einsatz eines "Zwischenquerschnittes" mit drei Fahrstreifen voraus, bei dem positive Sicherheitsergebnisse zu weiteren Anwendungen ermutigten (MAIER, 1984). Ziel war es, statt der damals weitverbreiteten überbreiten Fahrstreifen mit hoher Unfallauffälligkeit sichere Alternativen zu finden.

Die Untersuchung von BRANNOLTE (1992) erfolgte für fünf verschiedene Zwischenquerschnitte, die mit herkömmlichen Querschnittsformen verglichen wurden. Rund 22.300 Unfälle auf 1.492 km Untersuchungsstrecke bildeten die Grundlage für die Verkehrssicherheitsanalyse, die Untersuchungsstrecke der einzelnen Kollektive lag zwischen 39 und 221 km. Für die Zwischenquerschnitte sowie weitere einbahnige und zweibahnige Vergleichsquerschnitte wurden Unfallraten (UR) und angepasste Unfallkostenraten (UKR) bestimmt. In die Berechnung gingen sowohl die Unfälle mit Personenschaden als auch die Unfälle mit Sachschaden ein. Als Ergebnis zeigte sich, dass zweibahnig vierstreifige Querschnitte ohne Seitenstreifen (Kronenbreite 17-20 m) mit 23 DM/(1000*Kfz*km) eine hohe Verkehrssicherheit aufweisen. Die Unfallkostenraten (UKR) für einbahnige Querschnitte

bewegen sich zwischen 51 und 72 DM/(1000*Kfz*km). Eine Ausnahme stellt der 2+1-Querschnitt mit einer Kronenbreite von 14 m dar. Mit 30 DM/(1000*Kfz*km) ist dieser der zweit sicherste der untersuchten Zwischenquerschnitte. Die zweibahnigen vierstreifigen und sechsstreifigen Autobahnquerschnitte befinden sich mit einer UKR von 24 DM/(1000*Kfz*km) in derselben Größenordnung wie die zweibahnig vierstreifigen Querschnitte ohne Seitenstreifen. Ähnliches gilt für die zweibahnig vierstreifigen Querschnitte mit Seitenstreifen im Landstraßenbereich (Kronenbreite 26 m). Diese verzeichnen eine UKR von 20 DM/(1000*Kfz*km). Dieser Querschnittstyp stellte mit 39 km ausgewerteter Streckenlänge allerdings das kleinste Untersuchungskollektiv dar.

Die Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Querschnitte RAS-Q (FGSV, 1996) enthielten für Regelquerschnitte im Außerortsbereich mittlere Unfallkostenraten (UKR). Die Beiträge aus den knotenpunkttypischen Unfällen mit den Unfalltypen Einbiegen/Kreuzen und Abbiegen sind darin nicht berücksichtigt. Streckenabschnitte mit einem RQ 20 ordnen sich dabei mit einer Unfallkostenrate von 42 DM/(1000*Kfz*km) zwischen den zweibahnigen Querschnitten mit einem Seitenstreifen und den einbahnigen Querschnitten ein.

In ECKSTEIN, MEEWES (2002) wurde neben der Bestimmung der UKR für Landstraßenknotenpunkttypen auch eine übergreifende Sicherheitsbewertung von Knotenpunkt und anschließender Strecke durchgeführt. In Abhängigkeit von Knotenpunktform und Regelung der Knotenpunktzufahrt wurden die UKR für angrenzende Streckenabschnitte ermittelt und Einflüsse des Knotens abgeleitet. Knotenpunkteinflüsse können sich grundsätzlich positiv, neutral sowie negativ auf die Verkehrssicherheit einer Zufahrt auswirken.

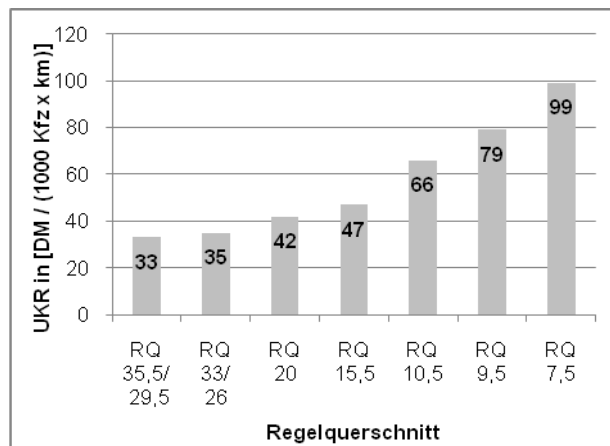


Bild 3: Mittlere UKR der verschiedenen Regelquerschnitte ohne Knotenpunkte (Preisstand 1996, in DM), (ECKSTEIN, MEEWES 2002)

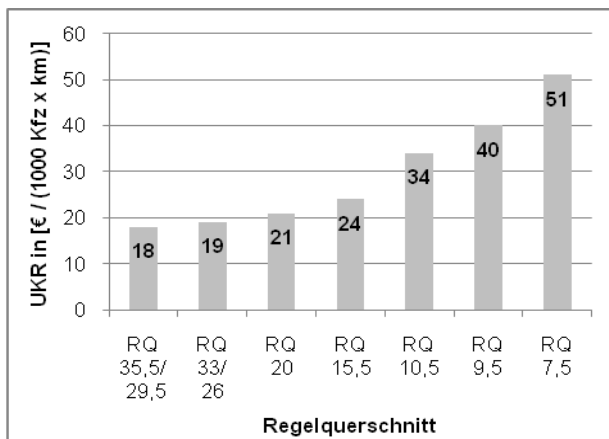


Bild 4: Mittlere UKR der verschiedenen Regelquerschnitte ohne Knotenpunkte (Preisstand und Bezugsjahr 2000 in €) (ECKSTEIN, MEEWES 2002)

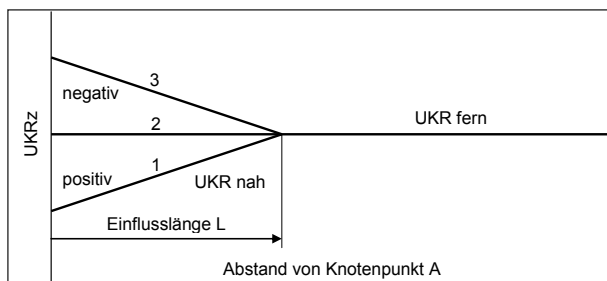


Bild 5: Einfluss des Knotenpunktes auf die Verkehrssicherheit in der Zufahrt (ECKSTEIN, MEEWES 2002)

Die Verkehrssicherheit wird mittels einer iterativen Ermittlung der UKR mit zunehmendem Abstand zum Knotenpunkt bestimmt. Basis bildeten 74 Knotenpunkte in den Bundesländern Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen mit einem betrachteten Unfallgeschehen über fünf (mindestens drei) Jahre.

Die Ergebnisse zeigen, dass Knotenpunkte mit Ausnahme wartepflichtiger Knotenzufahrten einen positiven Einfluss auf die Sicherheit der angrenzenden Strecke aufweist. Dabei variiert die Einflusslänge zwischen 300 und 700 m je nach Verkehrsregelung.

Bild 4 enthält die aktualisierten UKR der RQ nach ECKSTEIN, MEEWES (2002) in Euro, wobei die veränderten Preisstände und die Entwicklung der UKR berücksichtigt wurden.

2.2.2 Einfluss Seitenstreifen

HEIDEMANN et. al. (1998) führte in einer Untersuchung einen Vergleich von Autobahnabschnitten mit und ohne Seitenstreifen durch, mit dem Ziel statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen Unfalldaten sowie verkehrs- und entwurfstechnischen Daten zu ermitteln. Insgesamt wurden Daten von 939 Autobahnabschnitten mit einer

Länge von insgesamt 5.034 km ausgewertet. Daraus resultiert für die Abschnitte ohne Seitenstreifen eine mit $0,48 \text{ U}/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ deutlich höhere Unfallrate als für die Abschnitte mit Seitenstreifen (0,34). Der Anteil der Unfälle mit Personenschaden ist auf den Abschnitten ohne Seitenstreifen um knapp 38 % höher. Ein statistisch signifikanter Einfluss auf die Unfallrate wurde ab einem Schwerverkehrsanteil über 10 % ermittelt. Die Unfallrate steigt dann für die Abschnitte ohne Seitenstreifen je nach betrachtetem Bereich des Schwerverkehrsanteils um 47 %, 68 % bzw. 80 % bezogen auf die Vergleichswerte der Abschnitte mit Seitenstreifen. Ebenso statistisch signifikant ist der Unterschied in den Unfallraten bei den untersuchten Autobahnabschnitten mit einem Ferienfaktor über 1,25. Die Unfallrate der Abschnitte ohne Seitenstreifen steigt dabei um weitere 54 % gegenüber der Rate der Abschnitte mit Seitenstreifen. Dieser nicht-signifikante Unterschied ergibt sich für den Vergleich der Unfallraten von Abschnitten mit/ohne Seitenstreifen, bei denen für die Abschnitte ohne Seitenstreifen gleichzeitig ein Überholverbot für Lkw und eine Geschwindigkeitsbeschränkung angeordnet wurden. Der Ferienfaktor ergibt sich aus dem DTV innerhalb der Ferien- und Hauptreisezeit geteilt durch den DTV außerhalb dieser Zeit

In der Untersuchung von MATTHEIS (2002) wurde ein Vorher-/Nachher-Vergleich von fünf Autobahnabschnitten durchgeführt, deren Seitenstreifen umgenutzt worden sind. Im Fall einer Untersuchungsstrecke erfolgte die Freigabe für den Verkehr temporär, für die restlichen Strecken zeitlich unbeschränkt. Aus einer detaillierten Unfallanalyse resultierte, dass im direkten Zusammenhang mit der Umnutzung keine zusätzlichen Unfälle oder Unfallschwerpunkte entstanden sind. Bis auf einen Umnutzungsbereich zeigte sich eine gleichbleibende oder sinkende Entwicklung der Unfallhäufigkeit. Der Zeitraum der Nachher-Betrachtung lag je nach Untersuchungsstrecke zwischen 5 und 18 Monaten. Deshalb ist die Aussagekraft eingeschränkt.

BRILON, BÄUMER (2001) werteten in der Untersuchung zu Nothaltemöglichkeiten an stark belasteten Bundesfernstraßen rund 4.700 Unfälle auf Autobahnabschnitten ohne Seitenstreifen mit einer Gesamtlänge von ca. 150 km aus. Die für diese Abschnitte berechnete Unfallrate welche mit 1,11 Unfällen pro Million Kraftfahrzeugkilometer angegeben ist, entspricht dem Wert der EWS (FGSV, 1997) für den RQ 20, mit $1,13 \text{ U}/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ (ohne Knoten), und liegt um etwa 50 % höher als der EWS-Wert für Autobahnen mit Seitenstreifen. Der ermittelte Wert für die Unfallkostenrate liegt hinge-

gen mit 31,6 DM je 1000 Kraffahrzeugkilometer deutlich unter dem entsprechenden EWS-Wert (45,8) und ebenso unter dem Wert für Autobahnen mit Seitenstreifen (35,0). Ein Grund ist in der Auswahl von vorwiegend hochbelasteten Strecken zu sehen. Dies hat hohe Unfallzahlen, aber eine im Mittel geringere Unfallschwere zur Folge. (Außerdem geht im Laufe der Zeit die Unfallschwere generell zurück (DESTATIS, 2008)). Das Fehlen eines Seitenstreifens wirkt sich nach dieser Untersuchung folglich vor allem negativ auf die Unfallhäufigkeit aus.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die fehlende Anordnung eines Seitenstreifens auf Autobahnen eine nachteilige Wirkung auf die Verkehrssicherheit hat. Eine Umnutzung des Seitenstreifens für den fließenden Verkehr ist an hochbelasteten Querschnitten übergangsweise bis zu deren Ausbau nur unter bestimmten Randbedingungen (z.B. Tempolimit) möglich (§ 41 StVO, 2009).

2.3 Erkenntnisse zu Fahrstreifenreduktionen und Engpässen

2.3.1 Fahrstreifenreduktionen

ENGELMANN (2003) untersuchte die Auswirkungen von Fahrstreifenreduktionen (FSR) hinsichtlich Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit auf Autobahnen. Basis für die Verkehrssicherheitsanalyse waren 20 Untersuchungsstrecken mit Unfalldaten von 1998 bis 2000. Zwölf der 20 Strecken befanden sich außerhalb von Ballungsräumen, sechs der 20 Strecken innerhalb von Knotenpunktbereichen. Die Bereiche vor und nach der Reduktion wurden als Vergleichsstrecken in die Auswertung einbezogen. Die Analyse zeigte insgesamt starke Streuungen der UKR, mit zunehmender Verkehrsstärke wurde im Bereich der Fahrstreifenreduktionen ein Anstieg von Unfallzahl und -schwere festgestellt. Ab einem DTV von 30.000 Kfz pro Fahrtrichtung ergab sich in diesem Bereich eine auffällige Häufung von Unfällen. Weitere Ergebnisse der Sicherheitsanalyse waren:

- Im unmittelbaren Bereich der Fahrstreifenreduktion treten eher leichte Unfälle auf.
- Eine späte Ankündigung der Reduktion durch Verkehrszeichen/Markierungen besitzt keinen negativen Einfluss auf die Verkehrssicherheit.

Grundlage für die Analyse des Verkehrsablaufes stellten ebenfalls 20 Autobahnabschnitte dar, an denen empirische Untersuchungen durchgeführt wurden.

Ergänzend kamen mikroskopische Simulationen des Verkehrsablaufes zum Einsatz. Als Kapazitätsgrenze für die Verkehrsstärke wurde der maximale auftretende Wert im Bereich über 70 km/h festgelegt. Im Vergleich der Querschnitte unmittelbar vor und in der Reduktion wurde der kleinere Wert als maßgebend angenommen. Die gewonnenen Erkenntnisse, dass:

- die Kapazität von Reduktionen von drei auf zwei Fahrstreifen an einer Messstelle im Mittel um ca. 15 % unter der Kapazität durchgängig zweistreifiger Richtungsfahrbahnen liegt und
- es mit einem Anstieg der Verkehrsstärke zu einer stärkeren Nutzung der letzten 200 m des linken Fahrstreifens kommt,

können vor dem Hintergrund eines geringen Untersuchungskollektives nur mit Bedacht interpretiert werden.

Demnach weisen Fahrstreifenreduktionen auf Bundesautobahnen sowohl Sicherheitsdefizite als auch geringere Kapazitäten im Vergleich zu den durchgängigen Querschnitten mit der reduzierten Fahrstreifenanzahl auf. Im Rahmen des Forschungsvorhabens ist zu prüfen, ob für zweibahnig vierstreifige Landstraßen ähnliche Auswirkungen im Bereich der Übergänge zu den einbahnigen Anschlussquerschnitten zu beobachten sind.

2.3.2 Engpässe

Um Aussagen zur Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf im Bereich von Engpässen aufgrund von Baustellen kürzerer Dauer oder Pannenzüge treffen zu können, mussten Erkenntnisse aus Untersuchungen an BAB herangezogen werden.

Untersuchungen zu Verkehrsablauf und Leistungsfähigkeit im Bereich von Baustellen auf Autobahnen, unter anderem mit der Verkehrszusammenführung von zwei auf einen Fahrstreifen, führte RESSEL (1994) durch. An vier Untersuchungsstellen erfolgten 1989 zwei Querschnittsmessungen im Vorfeld der Fahrstreifenreduktion sowie eine unmittelbar im Bereich der Zusammenführung. Die von RESSEL (1994) ermittelten Kapazitäten, die auf einer Berechnung anhand von empirisch ermittelten Zeitlücken erfolgte, zeigt eine Abnahme der Leistungsfähigkeit mit steigendem Güterverkehrsanteil.

In den Untersuchungen wird mittels der Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und Verkehrsdichte festgestellt, dass unmittelbar vor Eintreten eines Stauereignisses im Engpass kurzfris-

tig Kapazitäten von bis zu 1.600 Kfz/h abgewickelt werden können. Jedoch ist von einer stabilen Leistungsfähigkeit auszugehen, die je nach Umfeldbedingungen zwischen 1.200 bis 1.400 Kfz/h liegt.

Mit der Verkehrssicherheit an Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen setzte sich STÖCKERT (2001) auseinander. Anhand des Unfallgeschehens der Jahre 1991 bis 1996 für Autobahnen im Raum Hessen wurde mittels eines Mit/Ohne-Vergleiches die Sicherheit von Tagbaustellen beurteilt. Dabei wurde an Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) eine um den Faktor zehn höhere Unfallrate im Vergleich zur freien Strecke festgestellt. Die UKR überstieg den Wert der freien Strecke um das Siebenfache. Dabei nahmen Unfallrate und Unfallkostenrate mit steigender Verkehrsbelastung zu.

Weiterhin analysierte STÖCKERT (2001) die Auftretenshäufigkeit und die Ursache von AkD. Diese werden für die einzelnen Fahrstreifen aufgeschlüsselt. Im Mittel aller untersuchten Strecken beträgt die Dauer einer AkD 4,5 h, wobei im Durchschnitt pro Jahr und Kilometer die mittlere Dauer aller AkD 58,5 h/km*a beträgt. 34 % aller AkD sind Schutzplanckenreparaturen mit einer durchschnittlichen Arbeitszeit von 3,1 h/AkD.

AkD werden überwiegend am Tage nach Möglichkeit außerhalb von Hochlastzeiten eingerichtet. Mit steigender Verkehrsbelastung wächst auch die Anzahl der AkD je Kilometer an.

In seiner Veröffentlichung zur Verkehrssicherheit und -ablauf an einstreifigen Autobahnbaustellen in den neuen Bundesländern ermittelte LAFFONT (1995) im Bereich der Baustelle eine um 2,4 fache höhere Unfallkostenrate und eine um das Dreifache höhere Unfallrate im Vergleich zur freien Strecke. In seinen Erhebungen zur Leistungsfähigkeit wurde für Verkehrsführungen mit einer Reduktion von zwei auf einen Fahrstreifen Kapazitätsgrenzen von 1.250 bis 1.400 Kfz/h bei einem Schwerverkehrsanteil zwischen 20 und 30 % ermittelt.

Die ausgewerteten Untersuchungen zeigen, dass Baustellen, insbesondere Baustellen kürzerer Dauer, zu einer Verringerung der Verkehrssicherheit führen. Auf Strecken mit RQ 21 tritt aufgrund fehlenden Seitenstreifens eine höhere Anzahl von Arbeitsstellen mit Sperrung eines Fahrstreifens auf. Darüber hinaus besteht die Wahrscheinlichkeit von Behinderungen im Verkehrsablauf wegen einer verringerten Kapazität im Engpass.

Aufgrund der Seltenheit und Zufälligkeit des Ereignisses des Liegenbleibens eines Fahrzeuges auf zweibahnig vierstreifigen Straßen ohne Seitenstreifen existieren bisher keine veröffentlichten Unter-

suchungen die sich mit dem Verkehrsablauf in solchen Situationen beschäftigen.

GV-Anteil	0 %	10 %	20 %	30 %
[Kfz/h]	1.460	1.320	1.245	1.175
Quelle: RESSEL (1994)				

Tab. 1: Kapazitätswerte nach (RESSEL, 1994), Baustelle mit Verkehrsführung 2+1

	AkD	Arbeitsstelle längerer Dauer	Freie Strecke
UR [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	6,56	1,27	0,67
UKR [€/ (10 ³ *Kfz*km)]	82,45	14,45	11,81
Quelle: STÖCKERT (2001)			

Tab. 2: Unfallkenngrößen an AkD (STÖCKERT, 2001)

	Grundpannenrate [P/(10 ⁶ *Fz*km)]		
	Pkw	Lkw	Alle Kfz
BAB außerhalb Ballungsraum	4,1	1,6	3,8
BAB innerhalb Ballungsraum	5,3	2,4	4,9
Quelle: BRILON, BÄUMER (2001)			

Tab. 3: Grundpannenraten bei einer Steigung von s = 0 für BAB (BRILON, BÄUMER, 2001)

In der bereits erwähnten Arbeit von BRILON, BÄUMER (2001) erfolgt die Ermittlung von Pannennraten für Autobahnen innerhalb/außerhalb von Ballungsräumen. Basierend auf der Auswertung von Notrufsäulenprotokollen an 16 verschiedenen Streckenabschnitten über ein Jahr sowie empirischen Erhebungen an Nothaltebuchten wurden mittlere Pannennraten für die Gruppen alle Kfz, Lkw und Pkw berechnet. Dabei wurde die Lage der Strecken nach außerhalb und innerhalb bebauter Gebiete, des Weiteren nach Autobahn oder Bundesstraße unterschieden. Die Pannennrate ergibt sich aus einer Grundpannenrate sowie einem linearen steigungsabhängigem Anteil.

Aufbauend auf diesen Werten erfolgte die Ermittlung einer Formel für den Anteil verkehrsbehindernder Halte. In dieser Situation wird dem Fahrer unterstellt, dass sein Kfz auf der Fahrbahn zum Stehen kommt und keine Möglichkeit besteht, die Strecke zu verlassen. Der Anteil verkehrsbehindernder Halte VB wird bestimmt als ein prozentualer Anteil an der Pannennrate unter Berücksichtigung des mittleren Abstandes der Nothaltebuchten

(NHB) D und einem Anteil aus der Gradienten-
neigung s der Strecke.

Mittels der Kostensätze und Ganglinien der „Empfehlungen zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen“ (EWS) und der Abminderungsfaktoren nach HCM (2000) – dieses gibt bei Blockierung des rechten Fahrstreifens für zweistreifige Fahrbahnen eine Minderung der Kapazität um den Faktor 0,65 an – bestimmen BRILON, BÄUMLER (2001) die Anzahl von Staus und Verlustzeiten u. a. in Abhängigkeit verschiedener Verkehrsstärken und Abständen von Nothaltebuchten. Es zeigt sich, dass bis zu einer Verkehrsstärke von 20.000 Fz/(d* R_i) für zweistreifige Richtungsfahrbahnen, unabhängig vom Abstand der Nothaltebuchten, keine relevanten Zeitverluste aufgrund von Stauer-scheinungen auftreten. Erst ab einem DTV von 30.000 Fz je Richtung wächst die Differenz zwischen den Verlustzeiten für Strecken ohne Nothaltebuchten und Strecken mit Nothaltebuchten erheblich an. Für die für den RQ 21 vorgesehenen Verkehrsbelastungen bis zur laut RAL (FGSV, 2008) empfohlenen Grenze von 30.000 Kfz/24h bzw. ca. 15.000 Kfz/(d* R_i) sind unabhängig von Vorhandensein und Abstand der Nothaltebuchten weniger als fünf Stauereignisse pro Jahr und Kilometer zu erwarten.

2.4 Darstellung q-V-Beziehungen

In den gültigen Regelwerken existieren keine Angaben darüber, wie sich der Verkehrsfluss auf RQ 21- ähnlichen Strecken in Abhängigkeit verschiedener Parameter entwickelt und bei welcher Größenordnung die Kapazität dieses Querschnittstyps erreicht wird. Aufgrund der Autobahn ähnlichen Charakteristik des RQ 21 wurde die Entwicklung eines komplett neuen Verfahrens als nicht zweckmäßig angesehen, sondern dieser zweibahnige Querschnitt soll mit dem Verfahren nach dem HBS Kapitel 2 für „Autobahnabschnitte außerhalb der Knotenpunkte“ behandelt werden.

Die im HBS (FGSV, 2001) dargestellten q-V-Diagramme stellen grafisch den Zusammenhang zwischen der Gesamtverkehrsstärke einer Richtungsfahrbahn und der mittleren momentanen Pkw-Geschwindigkeit dar. Berücksichtigung findet der Schwerverkehrsanteil – aufgeteilt in drei Klassen – und die Längsneigung in vier Steigungsklassen (Mindestlänge $L_{\text{grenz}} = 4.000$ m). Eine weitere Differenzierung wird nach der Anzahl der Fahrstreifen pro Richtung und der Lage des Querschnittes (innerhalb oder außerhalb von Ballungsräumen) vorgenommen. Eine Interpretation ist für

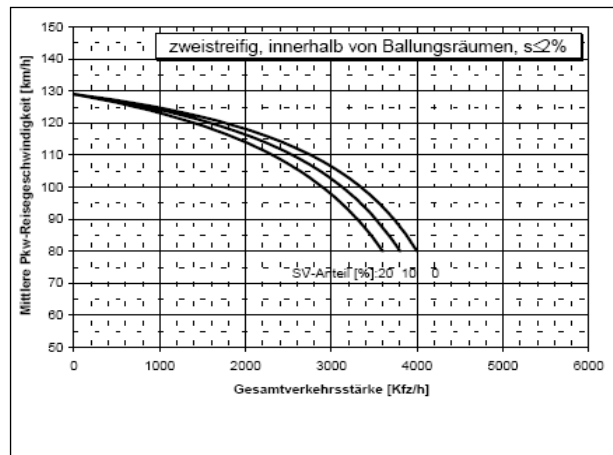


Bild 6: Beispiel q-V-Diagramm (FGSV, 2001)

Werte bei Tageslicht und trockener Fahrbahn zulässig.

Die Kurvenverläufe in Bild 6 stellen neben der Beschreibung des Verkehrsflusses die Kapazitätsgrenze des Querschnittes (am Ende der jeweiligen Linie) dar. Die Ermittlung der Kurvenverläufe beruht auf einem Ansatz nach (BRILON, PONZLET, 1995) dem ein M/M/1-Warteschlangensystem zur Beschreibung des q-V-Diagrammes zugrunde liegt. Vereinfachend wird die Annahme getroffen, dass jeder Bereich entlang einer Strecke für den rückwertig folgenden Verkehr einen Engpass darstellt. Dabei berechnet sich die mittlere Wartezeit w aus dem Reziproken der Subtraktion von Kapazität c und Verkehrsstärke q . Aus dem Modell wird folgende Beziehung abgeleitet:

$$v(q) = \frac{v_0}{1 + \frac{v_0}{L_0 * (C_0 - q)}} \quad [\text{km/h}]$$

Wobei L_0 , C_0 und V_0 = Modellparameter.

Die Besonderheit dieses Modells liegt darin, dass es lediglich zur Beschreibung des freien und teilgebundenen Verkehrs im oberen Ast des q-V-Diagrammes dient. Der Übergang zwischen teilgebundenem und gebundenem Verkehr stellt die Kapazität dar.

Die Festlegung der Grenzgeschwindigkeit zwischen beiden Bereichen, also den Übergang von Qualitätsstufe E zu F, erfolgt anhand einer manuellen Bewertung der Messdaten im Bereich zwischen oberem und unterem Ast des Diagramms (Lücke der Daten).

Die Regressionsrechnung beruht auf der Zusammenfassung der Messdaten in der q-V-Ebene in Klassen mit einer Breite von 60 Kfz/h für die Diagramme in Stundenintervallen. Bei der Regression

werden lediglich die Daten des fließenden Verkehrs beachtet. Anhand der Messpunkte erfolgt die Ermittlung der Regressionskurve durch Minimierung der Fehlerquadrate.

3 Dokumentation zweibahnig vierstreifiger Landstraßen

3.1 Auswahlkriterien

Um ihre Funktion und Aufgaben im Straßennetz zu erkennen, wurden für sechs ausgewählte Bundesländer Strecken des RQ 21 und RQ 28 erhoben und dokumentiert. Mit Hilfe einer Voruntersuchung wurde die Frage geklärt, in welchem Umfang Knotenpunkte und weitere Streckenelemente (Bspw. Reduktionen) Einfluss auf den Verkehrsablauf besitzen. Die Ergebnisse dienen zur Festlegung von Messquerschnitten für die weiteren Untersuchungen.

Die baulichen Gestaltungsgrundsätze (bspw. gültiger Radienbereich, Kuppenhalbmesser) für hochbelastete Bundesstraßen der Kategorien LS I, LS II und AS II sind in dem Entwurf der RAL (FGSV, 2008) bzw. den aktuellen RAA (FGSV, 2008B) abgestuft. Die Dokumentation zweibahnig vierstreifiger Landstraßen dient dazu, bisherige Gestaltungen (z.B. in Querschnitt, angewandte Knotenpunktformen) und Einsatzbereiche von RQ 21- oder RQ 28- ähnlichen Landstraßen im Bundesgebiet zu bestimmen. Dafür wurden aus West- und Ostdeutschland jeweils drei Bundesländer gewählt, von deren Straßenbauverwaltungen Straßendaten zu zweibahnig vierstreifigen Landstraßen aufbereitet zur Verfügung gestellt wurden.

Die Aufstellung der zu dokumentierenden Strecken resultiert aus Datenabfragen der Straßeninformationssysteme der Bundesländer. Die Information über die bauliche Mitteltrennung der Straßen war hierbei im ersten Schritt maßgebend

Die auf diese Weise gefilterten zweibahnigen Netz-knotenabschnitte erforderten eine Plausibilisierung sowie eine weitere Eingrenzung anhand folgender Kriterien:

- Zweibahnig vierstreifige Abschnitte außerhalb von Autobahnen
- Ausschließlich Streckenabschnitte mit Landstraßencharakter
- Begrenzung der Strecken am Beginn von Ortsdurchfahrten
- Streckenlänge mindestens 2 km

Die Eingrenzung der Strecken sowie die Aufnahme bestimmter Streckeneigenschaften (z.B. Form und Verkehrsregelung der Knotenpunkte) erfolgten mit Hilfe von Orthoaufnahmen. Ein Problem stellt hierbei die mangelnde Aktualität der Bilder dar. In einigen Fällen befanden sich die Strecken auf den Orthobildern noch im Bau oder im Zustand vor dem zweibahnigen Ausbau. Für einen geringen Teil dieser Strecken waren keine ausreichenden Angaben von den Straßenbauverwaltungen verfügbar, so dass diese Strecken nicht in die Dokumentation aufgenommen wurden.

Anschließend wurden für die zusammengestellten Streckenabschnitte gezielte Abfragen nach weiteren Detailinformationen (z.B. zulässige Höchstgeschwindigkeiten, angeordnete Überholverbote) an die zuständigen Straßenbauämter gerichtet. Für das Bundesland Thüringen lagen keine Daten für die Auswahl zweibahniger Landstraßenquerschnitten in den Straßendatenbanken vor.

Bundesland	Fläche [km ²]	Länge klassifiziertes Straßennetz [km]
Bayern	70.552	41.866
Niedersachsen	47.624	28.267
Nordrhein-Westfalen	34.085	29.580
Sachsen	18.416	13.589
Sachsen-Anhalt	20.446	10.951
Thüringen	16.172	9.914

Tab. 4: Übersicht zur Dokumentation ausgewählter Bundesländer, (DESTATIS, 2008)

Die Abgrenzung in Bezug auf das Kriterium "Landstraßencharakter" wurde so gehandhabt, dass anhand der Orthoaufnahmen und den daraus ersichtlichen Indikatoren Straßenumfeld (z.B. angebaut, anbaufrei), Beleuchtung, Knotenpunktstände und Verkehrsregelung am Knotenpunkt der Charakter der Strecke festgelegt wurden. Insofern Daten zu den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten vorlagen, wurde auch diese Information in die Entscheidung einbezogen. Die Ortslage nach Z 310 bzw. Z 311 StVO (2009) gibt für die Zuweisung von Innerorts- oder Landstraßencharakter nur bedingt Hinweise. Gerade im Vorfeld von Agglomerationen, auf welche die zweibahnigen Strecken zuführen, ist der Übergang nur durch eine Ortsbeobachtung eindeutig festzulegen.

Häufiger treten zweibahnig vierstreifige Abschnitte auch an Ortsrandlagen auf. In diesen Fällen wurde ebenfalls mittels der beschriebenen Kriterien (Beleuchtung, Straßenumfeld usw.) entschieden, ob es sich eher um den Charakter einer Ortsdurch-

fahrt handelt oder der Außerortscharakter überwiegt.

Grundsätzlich wurden folgende Daten aufgenommen:

- allgemeine Angaben, z.B. Lage im Netz, Bezeichnung
- Knotenpunktdaten, z.B. Abstände, Grundform, Verkehrsregelung
- Querschnittsdaten, z.B. Kronenbreite, Art und Breite der einzelnen Querschnittselemente
- Daten zu Übergängen, z.B. Gestaltung (Fahrstreifenreduktion, -subtraktion, etc.)
- Daten zur Längsneigung
- Angaben zur Verkehrsregelung (zulässige Höchstgeschwindigkeiten, Überholverbote)

Die Verfügbarkeit und Vollständigkeit von Daten zur genauen Querschnittsaufteilung der Strecken, den Längsneigungen, zu den geltenden Geschwindigkeitsbeschränkungen und Überholverboten sowie zur Art der Mitteltrennung beruhen auf der Datengrundlage der einzelnen Bundesländer. In einigen Straßenbauamtsbereichen waren bspw. keine Informationen zu den Längsneigungen vorhanden. Bei einem Teil der Bundesländer wurde zudem auf Detailanfragen an die einzelnen Bauämter verzichtet, wenn der Aufwand für Datenerwerb und -aufbereitung gegenüber dem Nutzen der zusätzlichen Informationen nicht angemessen war und ein erheblicher Grundstock an Daten für die Dokumentation bereits durch die Straßeninformationsbanken zur Verfügung stand.

3.2 Ergebnisdokumentation

Bei Anwendung der beschriebenen Abgrenzungskriterien ergeben sich 115 dokumentierte Strecken zweibahnig vierstreifiger Landstraßen auf Basis der von den Straßenbauverwaltungen erhaltenen Daten. Aufgeteilt auf die untersuchten Bundesländer ergab sich das in Bild 7 dargestellte Untersuchungskollektiv. Nicht berücksichtigt sind dabei Strecken, für die aufgrund fehlender aktueller Informationen (z.B. aktuelle Orthobilder) keine genaue Abgrenzung bezüglich Streckenlänge und angewendetem Querschnitt vorgenommen werden konnte. Das Kollektiv enthält Strecken, bei denen für Teilabschnitte eine eindeutige Abgrenzung von Innerorts- oder Landstraßencharakter erst durch eine Ortsbesichtigung möglich war. Bild 8 zeigt die Verteilung der Übergangsarten an den Enden der zweibahnigen Streckenabschnitte (ausfahrende Richtung) Die Charakterisierung der Übergangsbereiche für Strecken, die sich noch im Bau befanden

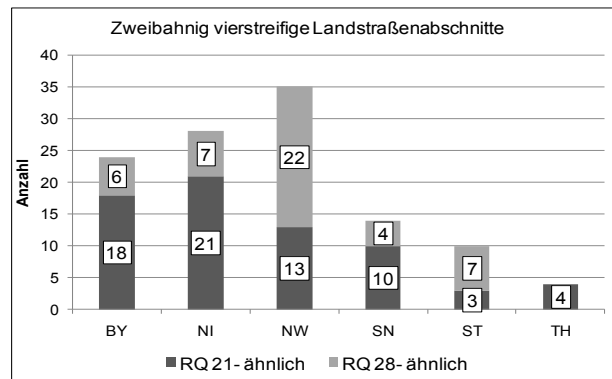


Bild 7: Anzahl der zweibahnig vierstreifigen Landstraßenabschnitte in den einzelnen Bundesländern

und deren zweibahniger Bereich inzwischen noch verlängert wurde, entspricht der Situation in den Orthobildern oder der Information von den Straßenbauämtern. Eine Überprüfung der Situation vor Ort (Bestandsänderung) wurde ggf. vorgenommen.

Mit einem aus beiden Kollektiven (RQ 21 und 28) zusammengefassten Anteil von 45 % existieren am häufigsten Übergänge, an denen der Querschnitt zweibahnig vierstreifig weitergeführt wird, jedoch ein anderes Kriterium sich verändert:

- Von den Übergängen mit Beibehalt des Querschnittes handelt es sich bei 60 % um einen Übergang zur Innerortscharakteristik (WZB (Innerorts)). Das Merkmal des Wechsels zur Innerortscharakteristik ist gekennzeichnet entweder durch VZ 310 StVO (Ortstafel) oder andere Kriterien, wie beginnende Randbebauung oder Beleuchtung der Strecke am Rande städtischer Agglomerationen.
- 17 % der Übergänge sind durch das Hinzukommen oder dem Wegfall des nutzbaren Seitenstreifens (WZB (S)) gekennzeichnet.
- Bei 8 % wechselte die betrachtete Straßenklasse zu einer BAB.
- Einen Sonderfall stellen Streckenenden an der Grenze zu einem Bundesland dar, welches nicht in dem Untersuchungsgebiet enthalten ist.
- An 37 % der Übergänge der RQ 21-ähnlichen und an 32 % der RQ 28-ähnlichen Strecken befinden sich Fahrstreifenreduktionen (FSR). Darin enthalten sind auch FSR vor Einmündungen der zweibahnigen Strecke auf andere Straßen, d.h. Fälle, in denen sich somit kein längerer einbahniger Abschnitt direkt anschließt. Nur in insgesamt vier Fällen wird der rech-

te Fahrstreifen eingezogen, in allen anderen Fällen bis auf zwei Ausnahmen der linke Fahrstreifen. Bei den Ausnahmen handelt es sich um eine symmetrische Fahrbahnverengung, bei der beide Fahrstreifen in einen gemeinsamen Fahrstreifen münden.

- Fahrstreifenabtraktionen (FSS) treten in beiden Kollektiven in etwa nur halb so häufig wie FSR auf.
- Übergänge, an denen die Strecken mit einer plangleichen Einmündung enden, treten im Kollektiv für den RQ 21 nicht und für den RQ 28 nur an fünf Abschnitten auf.

Die Längenverteilung zeigt, dass in beiden Kollektiven 50 % der Strecken die Länge von 5 km nicht überschreiten. Die Längenverteilung ist in beiden Kollektiven nahezu identisch. Nur sieben der 115 Strecken (das sind 6 % der RQ 21 und 7 % der RQ 28- ähnlichen Strecken) weisen eine Länge über 15 km auf. Von diesen sieben Strecken sind vier ohne Seitenstreifen ausgeführt. Dies zeigt, dass RQ 21-ähnliche Querschnitte im Landstraßenbereich bisher nur selten über eine Länge von 15 km (ohne dazwischenliegende Ortsdurch-

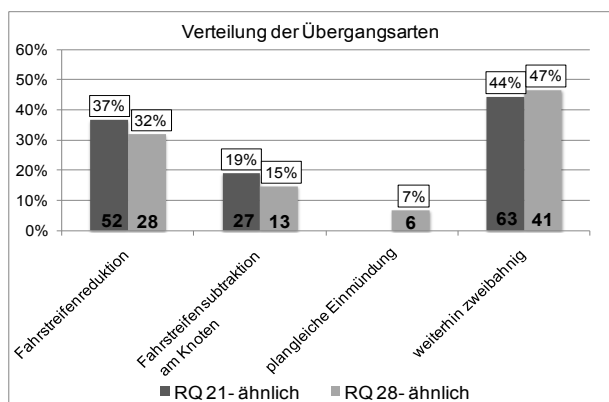


Bild 8: Übergangsarten an den Enden zweibahnig vierstreifiger Landstraßen

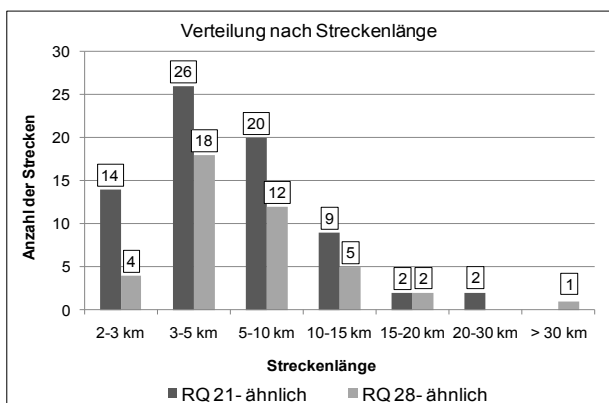


Bild 9: Länge der dokumentierten Strecken

fahrten) eingesetzt werden. Die in der RAL vorgesehene Einsatzgrenze von 15 km für den RQ 21 wird demnach in der gegenwärtigen Praxis bereits überwiegend eingehalten. Die Frage nach einer Anhebung der Einsatzgrenze lässt sich anhand der vorhandenen Strecken nicht untersuchen. Ob ein Wert unter 15 km besser geeignet sein kann, ist sowohl für Belange des Verkehrsablaufes als auch der Verkehrssicherheit zu überprüfen.

Die dokumentierten Strecken weisen in ihrem Verlauf zwischen 0 und 12 Knotenpunkte auf, dabei sind als Knotenpunkttypen sowohl planfreie und teilplanfreie Lösungen als auch Einmündungen wie Kreuzungen mit und ohne LSA-Steuerung anzutreffen. Die mittleren Knotenpunktstände liegen zwischen 0,5 km und 4 km.

- Von 385 dokumentierten Knotenpunkten weisen 16 % eine planfreie Grundform auf, wobei dreiarmige und vierarmige Knoten mit nahezu gleicher Häufigkeit auftreten. Der Anschluss an Bundesautobahnen wird fast ausschließlich mit einer planfreien Grundform ausgeführt.
- 53 % aller Knotenpunkte sind durch einen teilplanfreien Anschluss – planfreie Führung im Bereich des Untersuchungsquerschnittes – gekennzeichnet. Damit ist diese Grundform die häufigste Verbindungsform in das nachgeordnete Netz, welche nach den RAL (FGSV, 2008) die geforderte Knotenart für den Anschluss von Strecken der EKL 1 an Strecken der EKL 2 und EKL 3 darstellt.
- Weitere 31 % der Knotenpunkte entsprechen einer plangleichen Einmündung oder Kreuzung. Von diesen sind 82 % mit einer LSA ausgestattet.

Die Verteilung der Grundformen lässt deutlich werden, welche Fülle an Knotenformen diese Regelquerschnitte aufweisen. In der weiterführenden Betrachtung des Verkehrsablaufes und der Verkehrssicherheit des RQ 21 sind daher streckenspezifische Eigenschaften, die aus der Anordnung und Grundform der Knotenpunkte resultieren, zu berücksichtigen.

4 Analyse Verkehrsablauf

4.1 Vorbemerkung

Da im HBS derzeit keine Aussagen über die Verkehrsqualität auf zweibahnigen Straßen ohne Sei-

tenstreifen vorliegen, werden in diesem Projekt q-V-Diagramme zur Beschreibung des Verkehrsflusses und damit zur Bestimmung der Verkehrsqualität entwickelt. Dabei dienen die Erhebungen als Grundlage für Simulationen des Verkehrsablaufes unter Berücksichtigung von Bedingungen, die in der Praxis nicht oder zu selten angetroffen werden. Die Erhebungen zum Verkehrsablauf verlaufen in zwei Stufen:

- Voruntersuchungen (Streckenbefahrungen durch Nachfolgefahrten) zur Festlegung der lokalen Messquerschnitte in Bereichen der freien Strecke und der Übergangsbereiche sowie anschließend
- lokale Erhebungen des Verkehrsablaufs.

4.2 Voruntersuchungen

4.2.1 Aufgabe

Durch die Voruntersuchung wurde die Lage der lokalen Messquerschnitte für die folgenden Erhebungen an den Messstrecken festgelegt. Dazu war die Frage zu klären, inwiefern und in welchem Ausmaß Knotenpunkte und Übergangsbereiche einen Einfluss auf das Fahrverhalten der angrenzenden Strecke besitzen. Grundlage bildet die Definition von Schwellwerten für die Veränderung der mittleren Geschwindigkeit des Untersuchungskollektives. Anhand der Projektion der Geschwindigkeiten über den Streckenverlauf werden maximale Einflusslängen der Streckenelemente abgeleitet.

4.2.2 Methodik der Voruntersuchungen (Nachfolgefahrten)

Die dynamische Messung wurde mit Hilfe eines mit spezieller Messtechnik ausgestatteten Fahrzeugs durchgeführt. Das im Verkehr mitschwimmende Messfahrzeug zeichnete die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs auf. Durch die Einhaltung eines möglich konstanten Abstandes zum Vorderfahrzeug wird dessen Bewegungsverhalten vom Messfahrzeug aufgenommen. Die Nachfolge des zufällig gewählten Fahrzeugs geschah so unauffällig wie möglich. Sie wurde nach Möglichkeit über den gesamten Streckenabschnitt beibehalten. Verließ das Kfz den Untersuchungsabschnitt oder veränderte der Kfz-Führer sein Verhalten deutlich, wurde die Nachfolge abgebrochen.

Die Nachfolgefahrten erfolgten auf zwei gewählten Untersuchungsstrecken, welche die in der Dokumentation erfassten Kriterien der verschiedenen Knotengrundformen und Übergangsbereiche der Strecke beinhalten. Die Überlagerung der Ge-

schwindigkeitsprofile aller Fahrten je Richtung und Strecke gibt Aufschluss über den Einfluss der Übergangsbereiche an den Enden der zweibahnig vierstreifigen Streckenabschnitte sowie den Einfluss der Knotenpunkte auf die freie Strecke.

4.2.3 Auswahl geeigneter Strecken

Bei der Auswahl der Strecken für die Pilotstudie wurde darauf geachtet, dass sie einen RQ 21-ähnlichen Querschnitt besitzen und verschiedene Übergangsarten, die typischerweise auftreten, aufweisen.

Ausgewählt wurden die Strecken B 8 zwischen Langenzenn und Seukendorf im Ballungsraum Nürnberg sowie die B 95 zwischen Espenhain und Böhlen im Ballungsraum Leipzig. Folgend sind die wichtigsten Streckenmerkmale aufgeführt:

B 8 Langenzenn – Seukendorf

- Länge 5,8 km
- Fahrbahnbreite 8,0/8,5 m je Richtung ohne Seitenstreifen
- DTV: 17.200 Kfz/24h, 7 % SV-Anteil
- v_{zul} freie Strecke: 120 km/h
- geringe Längsneigungen
- Übergang 1 (westliches Ende): Fahrstreifenreduktion im Bereich eines teilplanfreien Knotenpunktes
- Übergang 2 (östliches Ende): Beibehalt der Zweibahnigkeit, Seitenstreifen kommt hinzu
- Teilplanfreier Knoten im Streckenverlauf

B 95 Böhlen – Espenhain

- Länge 7,2 km
- Fahrbahnbreite 7,0 m je Richtung ohne Seitenstreifen
- DTV: 21.300 Kfz/24h, 8 % SV-Anteil
- v_{zul} freie Strecke: 100 km/h
- Längsneigungen zwischen -3% und 1,5%
- Teilweise unebene Fahrbahn
- Übergang 1 (südliches Ende): Beibehalt der Zweibahnigkeit, Wechsel zu Innerortscharakter

- Übergang 2 (nördliches Ende): Beibehalt der Zweibahnigkeit, Seitenstreifen kommt hinzu
- Zwei planfreie Einmündungen im Streckenverlauf

Im Rahmen der Nachfolgefahrten wurden mindestens 2 km angrenzende Strecke über die eigentliche Untersuchungsstrecke hinaus befahren. Ziel war es, das Geschwindigkeitsniveau besser beurteilen zu können. Die Strecke B 95 wurde im gesamten Bereich ihrer Zweibahnigkeit zwischen Markleeberg und Borna befahren.

4.2.4 Abgrenzung der Einflussbereiche

An der B 8 in Langenzenn wurden am 12.06. und 13.06.2008 19 Nachfolgefahrten je Richtung bei überwiegend trockenen Witterungsbedingungen durchgeführt. Am 03.06. und 05.06.2008 erfolgte an der B 95 die Nachfolgefahrt von 16 Fahrzeugen je Richtung. Im Laufe jeder Fahrt wurde ein Fahrzeug über den Verlauf der Messstrecke verfolgt.

Die erhobenen Werte dienen als Anhaltspunkte und müssen aufgrund der kleinen Stichprobenmenge sowie der örtlichen Beschaffenheit der Untersuchungsstrecken (vorhandene Übergangsarten und Knotentypen in Verbindung mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit) anhand der Ergebnisse aus den späteren Querschnittserhebungen verifiziert werden.

Für die Übergänge FSR, FSA, WZB (Innerorts) bzw. WZB (S) und Knotenpunkte (LSA-geregelt) können auf Basis der zwei Untersuchungsstrecken Aussagen zum örtlichen Einflussbereich getroffen werden.

In einem ersten Schritt wurden maßgebliche Streubereiche für ein- und zweibahnige Streckenabschnitte bestimmt, für deren Verlauf solche Einflüsse auszuschließen und die einzelnen Geschwindigkeitsprofile ohne größere Schwankungen auf einem ähnlichen Niveau geblieben sind. Daher wurden Fahrten mit Besonderheiten (Ausreißer), z.B. Behinderungen durch besonders langsame Fahrzeuge oder extreme hohe Geschwindigkeiten, ausgenommen.

Die Streckenbereiche wurden so ausgewählt, dass genügend große Abstände zu den Knotenpunkten eingehalten wurden (≥ 1 km). Im Fall der B 8 wurden derartige Bereiche richtungstrennt ermittelt. In Tab. 5 ist zu sehen, dass ein geringer Unterschied in Bezug auf den Mittelwert, jedoch nicht in Bezug auf die untere und obere Grenze, festzustellen ist. Daher und aufgrund einer Vielzahl von Nachfolgefahrten mit extrem hohen Geschwindigkeiten in der Gegenrichtung wurde im Fall der B 95

nur ein maßgeblicher Streubereich (Werte zwischen beobachteten v_{\min} und v_{\max}) für die zweibahnige Strecke ermittelt und auch für die Gegenrichtung verwendet.

Die dargestellten Streubereiche bilden die Grundlage für die Ermittlung der entsprechenden Einflussbereiche, indem für die relevanten Streckenabschnitte intervallweise die Anzahl der Geschwindigkeitsprofile bestimmt wird, welche innerhalb des maßgeblichen Streubereiches liegen. Anhand des Verlaufes entlang der betrachteten Streckenpunkte kann so abgeleitet werden, ab wann sich wieder ein ungestörter Verkehrsablauf eingestellt hat.

Streckenbereich	v_{\min} in [km/h]	v_{\max} in [km/h]	Mittelwert in [km/h]	Ausreißer
B 8 Ri Würzburg: von km 3,0 bis 5,0 (zweibahnig, $v_{\text{zul}} = 120$ km/h)	99	141	118	Fahrt 2
B 8 Ri Würzburg: von km 8,7 bis 9,5 (einbahnig $v_{\text{zul}} = 100$ km/h)	88	116	104	Fahrten 8,11,14, 19
B 8 Ri Fürth: von km 0,0 bis 0,7 (einbahnig, $v_{\text{zul}} = 100$ km/h)	89	118	105	Fahrten 2,3,9,14
B 8 Ri Fürth: von km 4,3 bis 6,3 (zweibahnig $v_{\text{zul}} = 120$ km/h)	99	141	122	Fahrt 10
B 95 Ri Borna: von km 6,5 bis 8,0 (zweibahnig, $v_{\text{zul}} = 100$ km/h)	86	124	108	-

Tab. 5: maßgebender Streubereich v_{lok} in Abhängigkeit von der Anzahl der Fahrbahnen der Untersuchungsstrecke

Als Grenze des Einflussbereiches wird die Stelle gewählt, an der sich die Anzahl der Fahrzeugführer mit einer Geschwindigkeit innerhalb des Streubereiches kontinuierlich verringert. Mit dieser Methodik werden die maximalen Längen der Einflussbereiche festgelegt. Eine Anordnung der Messquerschnitte außerhalb der ermittelten Einflusslängen gewährleistet mit großer Wahrscheinlichkeit die Aufnahme des Verkehrsablaufes in einem ungestörten Bereich.

Streckenelement		Einflusslänge Zulauf [km]	Einflusslänge Ablauf [km]
FSR	Reduktion	0,5	0,5
	Addition	0,75	0,75
WZB (Innerorts)	Ri. innerorts	Prüfung	-
	Ri. außerorts	-	Prüfung
WZB (S)	Ri. RQ 28	nein	nein
	Ri. RQ 21	nein	nein
LSA-Knotenpunkt		0,7	0,7
planfreier Knotenpunkt		(0,4)*	(0,4)*

*Abstand resultiert aus der Annahme, dass aus-/einfahrende Kfz in Knotennähe verzögern/beschleunigen

Tab. 6: Ermittelte Einflusslängen verschiedener Streckenelemente auf Verkehrsablauf

Die Grafik in Bild 10 verdeutlicht die Methodik beispielhaft am Falle der Fahrstreifenreduktion der B 8 in Richtung Würzburg. Die im rechten Teil der Grafik abfallende Linie gibt die (rückläufige) Anzahl Verkehrsteilnehmer an, die sich im maßgeblichen Streubereich (untere Grenze $v = 99$ km/h) bewegen. Die bauliche Ausprägung der Knotenpunkte ist grau hinterlegt.

Ab km 7,0 (vertikale gestrichelte Linie) ist ein Rückgang der gefahrenen Geschwindigkeiten aufgrund der Fahrstreifenreduktion und der am folgenden Knotenpunkt angeordneten Geschwindigkeitsbeschränkung ersichtlich. Die Anzahl der Verkehrsteilnehmer mit einer höheren Geschwindigkeit über 99 km/h verringert sich von 18 (bei km 6,8 und davor) bzw. 17 (bei km 6,9) auf 5 bei km 7,20. Ab km 7,02 ist eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h, ab km 7,2 von 80 km/h angeordnet. Der bauliche Beginn (Beginn des Ausfädelstreifens) des auf der B 8 planfrei

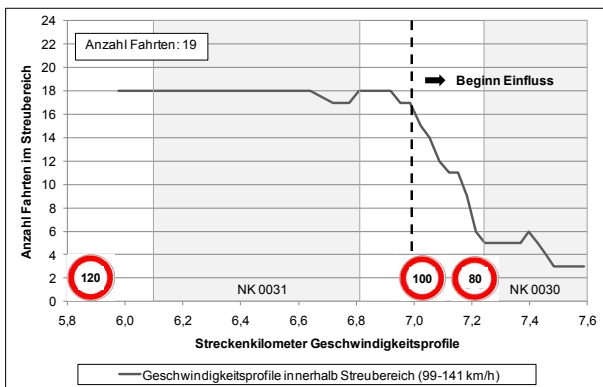


Bild 10: Einflussbereich Fahrstreifenreduktion (zweibahniger Bereich) B 8 FSR Fahrtrichtung Würzburg

gestalteten Netzknotens 030 liegt bei km 7,25. Die Fahrstreifenreduktion befindet sich innerhalb des Knotenbereiches bei km 7,52. Damit ergibt sich der Einflussbereich im Vorfeld der Fahrstreifenreduktion aus der Differenz der Station der Geschwindigkeitsänderung der Fahrzeuge (km 7,0) und der Station der baulichen Fahrstreifenreduktion (km 7,52) mit einer Länge von ca. 500 m. Dessen Ausdehnung ist hier im Wesentlichen durch die angeordneten Geschwindigkeitsbeschränkungen begründet.

Tab. 6 enthält die ermittelten Einflusslängen der verschiedenen Streckenelemente aus der Voruntersuchung. Prinzipiell ergaben sich bei der Bestimmung der Einflusslängen an FSR, FSA, Wechseln der Ortslage und im Vorfeld von Knotenpunkten folgende Sachverhalte:

- Die Länge der Einflussbereiche wird maßgebend durch den Geschwindigkeits-trichter im Zulauf auf einen Knotenpunkt oder eine Reduktion bestimmt. Örtliche Lage und die absolute Änderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit durch anordnende Verkehrszeichen sind bei der Festlegung von Querschnittsmessungen an den jeweiligen Untersuchungsstrecken zu berücksichtigen.
- Übergänge mit der Charakteristik WZB (S), zeigen in den Messungen der Pilotstudie keine Einflüsse auf das Geschwindigkeitsprofil. Untersucht wurden zweibahnige Straßen mit einer zulässigen Geschwindigkeit von 100 bzw. 120 km/h auf der unbeeinflussten Strecke.
- Übergänge, bei denen die Zweibahnigkeit erhalten bleibt, aber ein Wechsel zur Innerortscharakteristik erfolgt, weisen in Richtung Ortschaft keinen Einflussbereich auf die zweibahnige Landstraße auf, da bei der Untersuchungsstrecke das Kriterium zur Abgrenzung (Beginn innerörtlicher Charakter durch Ortstafel) strenger definiert ist, als es das Fahrverhalten widerspiegelt. Beim Verlassen der Ortschaft zeigt sich ein Einflussbereich von 300 m im Außerortsbereich, bis zu welchem sich spätestens ein Geschwindigkeitsniveau im Bereich einer zweibahnigen Landstraße mit einer zulässigen Geschwindigkeit von 100 km/h auf der freien Strecke eingestellt hat. Die Einflusslänge ist zu prüfen, da sie in Abhängigkeit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und der örtlichen Situation unterschiedlich sein kann.
- Bleibt die zulässige Höchstgeschwindigkeit konstant, besitzen die planfreien Haupt-

fahrbahnschlüsse keinen Einfluss auf das Geschwindigkeitsprofil der durchfahrenden Fahrzeuge.

- Abbiegende und einbiegende Kfz wurden bei der Bestimmung von Einflussbereichen der Knotenpunkte nicht berücksichtigt. Im Allgemeinen gilt die Annahme, dass in der unmittelbaren Nähe von Ein- und Ausfädelfahrstreifen keine Erhebungen durchgeführt werden. Dieser Einfluss von ein- und abbiegenden Kfz wird im Rahmen der Untersuchung mit 300 m vom baulichen Anfang/Ende des Ausfädel- bzw. Einfädelfahrstreifens angesetzt.

Aus den Erkenntnissen können Streckenbereiche abgeleitet werden, in denen ein ungestörter Verkehrsablauf vorliegt. An diesen Stellen erfolgt die Einrichtung von Querschnitten zur Erhebung des unbeeinflussten Verkehrsablaufs.

4.3 Methodik Verkehrsablauf

4.3.1 Kenngrößen Verkehrsablauf

Bei der Durchführung von stationären Messungen zur Erhebung der Geschwindigkeiten an einem Abschnitt können zwei verschiedene Methoden zur Anwendung kommen.

An Untersuchungsstrecken mit ausreichend langen Abschnitten (3 km) ohne störende Einflüsse und an Steigungsstrecken kann die Erhebung von Fahrtgeschwindigkeiten erfolgen (BRILON, WEISER, 1997). Dabei wird ein über Zeit und Weg stationärer Verkehrszustand unterstellt. Über dem betrachteten Messabschnitt wird die mittlere Fahrtgeschwindigkeit v_R der Fahrzeuge ermittelt. Diese Bedingungen sind die Grundlage für die Annahme, dass die ermittelten Fahrtgeschwindigkeiten v_R der mittleren momentanen Geschwindigkeit v_{mom} entsprechen.

Bei der Erhebung der mittleren momentanen Geschwindigkeiten mit Hilfe von lokalen Messungen an einem Messquerschnitt wird an einem bestimmten Querschnitt die Fahrzeugmenge i und deren lokale Einzelgeschwindigkeiten v_{lok} über einen bestimmten Zeitraum erfasst. An Erhebungsquerschnitten mit einer Längsneigung von unter 2 % können die mittleren momentanen Geschwindigkeiten v_{mom} mit Hilfe des harmonischen Mittelwerts aus den lokal erfassten Geschwindigkeiten v_{lok} der Fahrzeuge i eines Messintervalles bestimmt werden.

Eine Umrechnung an Strecken mit einer höheren Längsneigung ist nur unter Vorbehalt zulässig, da

hier von instationären Verkehrsabläufen ausgegangen werden muss (BRESSLER, 2001).

$$v_{mom} = \frac{M}{\sum_{i=1}^M \frac{1}{v_{lok,i}}} \quad [\text{km/h}]$$

M = Anzahl Fahrzeuge je Intervall

Die Bestimmung der v_{mom} ist wichtiger Bestandteil für die Beschreibung und Entwicklung von Verkehrsflussmodellen. Dabei stehen nach der Kontinuitätsgleichung die Verkehrsdichte k [Kfz/km], die Verkehrsstärke q [Kfz/h] und die mittlere momentane Geschwindigkeit v_{mom} [km/h] in folgendem Zusammenhang.

$$q = k * v_{mom}$$

Das Zusammenspiel zwischen den Kenngrößen wird in den Quadranten des Fundamentaldiagramms dargestellt. Darin enthalten ist das q - V -Diagramm, welches den Zusammenhang der Verkehrsstärke q und mittleren Geschwindigkeit v_{mom} zeigt.

Als zeitlichen Abstand zwei aufeinander folgender Fahrzeuge an einem lokalen Querschnitt ist die Zeitlücke definiert. Dabei beschreibt die Bruttozeitlücke den Abstand zwischen den Vorderkanten zweier Fahrzeuge, während die Nettozeitlücke als zeitlicher Abstand zwischen Ende des ersten und Anfang des folgenden Fahrzeugs auf einem Fahrstreifen definiert wird. Für die Untersuchungen erfolgt die Erhebung beider Zeitlücken. Eine konkrete Betrachtung des Verkehrsablaufs erfolgt jedoch mittels der Nettozeitlücke, da diese die wahrnehmbare Lücke für den Fahrzeugführer darstellt, an denen er unter anderem sein Abstandsverhalten bewertet. Das Abstandsverhalten stellt einen Faktor der Verkehrssicherheit dar.

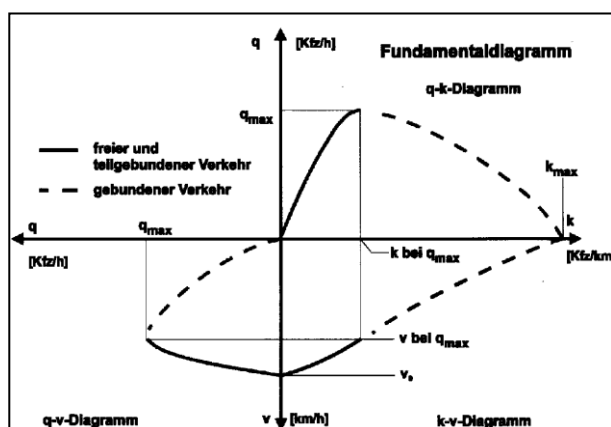


Bild 11: Fundamentaldiagramm (BRESSLER, 2001)

Nach § 4 der Straßenverkehrsordnung (StVO, 2009) gilt: „Der Abstand von einem vorausfahrenden Fahrzeug muss in der Regel so groß sein, dass auch dann hinter ihm gehalten werden kann, wenn es plötzlich gebremst wird.“ In der gängigen Rechtsprechung wird die „halber Tacho Regel“ bzw. der „1,5 Sekunden Weg“ als nähere Beschreibung aufgeführt. Bei einer angespannt fahrenden Person wird von einer Reaktionszeit von 0,8 s ausgegangen. In Summe mit dem fahrdynamischen Bremsschwellenwert von 0,2 s – beschreibt die Zeit, die nach Betätigen des Pedals benötigt wird, bis sich die volle Bremskraft entwickelt – ergibt sich eine Reaktionszeit t_{krit} von 1,0 s, die für Fahrzeugführer in Abhängigkeit ihrer Geschwindigkeit den Mindestabstand zum vorausfahrenden Kfz bestimmt. Abstände unter diesem Wert können im Falle eines Gefahrenbremsmanövers eine Kollision zur Folge haben. Aus der „halber Tacho Regel“ ergibt sich im Geschwindigkeitsbereich über 100 km/h eine Zeitlücke von ca. 1,8 s. Für die weitere Betrachtung wird aus diesen Erkenntnissen eine Größe von 2,0 s als empfohlener Zeitabstand t_{empf} abgeleitet und verwendet. Folgend werden beide Nettozeitlücken zur Beschreibung des Abstandsverhaltens verwendet:

- t_{krit} = kritische Zeitlücke: beschreibt die Nettozeitlücke der Reaktionszeit
- t_{empf} = empfohlene Zeitlücke: beschreibt Nettozeitlücke ca. nach „halber Tacho Regel“

4.3.2 Methodik Querschnittsmessungen

Die Querschnittserhebungen von:

- Verkehrsstärke und – zusammensetzung (fahrstreifenfein),
- Fahrstreifenbelegung,
- sowie (lokalen) Geschwindigkeiten und Zeitlücken

ermöglichen eine Analyse des Verkehrsablaufes in den verschiedenen Bereichen der Untersuchungsstrecke und dienen auch als empirische Grundlage für die Simulationen in den nachfolgenden Arbeitsschritten. Die Lage der Querschnitte für Messungen, die Aufschluss über den Einflussbereich der Übergänge an den Streckenenden sowie den Einflussbereich der unterschiedlichen Knotenpunkttypen geben sollen, wurden dabei u. a. auf Basis der Resultate der Nachfolgefahrten festgelegt. In Abhängigkeit der Funktion des zweibahnigen Streckenabschnittes und der – teilweise daraus resultierenden – Art der Übergänge ergeben sich unterschiedliche Anordnungen für die erforderlichen Messquerschnitte.

Folgende Übergangsformen an den Enden der zweibahnigen Strecken, bezogen auf die „Ausfahrt“ aus dem relevanten zweibahnigen Bereich wurden definiert:

- Fahrstreifenreduktion (FSR, i. d. R. Einzug des linken Fahrstreifens)
- Fahrstreifenabstraktion am Knoten (FSS)
- Strecke bleibt zweibahnig, ändert aber ihren Charakter (WZB)
- Strecke bleibt zweibahnig, es kommt ein Seitenstreifen hinzu/entfällt (WZB (S))

Die Querschnittsanordnungen an den drei Übergangsformen werden nachfolgend näher charakterisiert.

Fahrstreifenreduktion (FSR)

Bild 12 enthält die Anordnung der Querschnitte an einer Fahrstreifenreduktion.

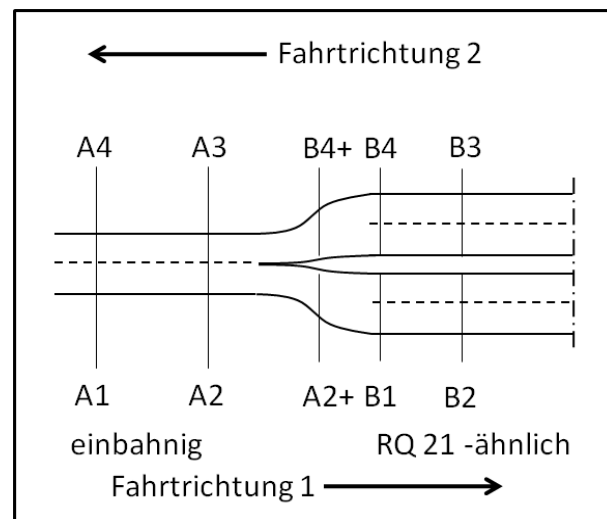


Bild 12: Schematische Anordnung Messquerschnitte an einer FSR als Übergang zum einbahnigen Bereich

Die Querschnittsbezeichnungen bedeuten im Einzelnen:

Fahrtrichtung 1:

- A1: ungestörter Verkehrsfluss auf dem einbahnigen Abschnitt
- A2: Beginn des Einflusses infolge Übergang zum zweibahnigen Abschnitt
- A2+: Ende der einstreifigen Richtungsfahrbahn (Beginn Aufweitung)
- B1: Beginn des zweibahnigen Streckenabschnittes, Verfügbarkeit von zwei kompletten Fahrstreifen
- B2: Ende des Einflusses infolge Übergangsbereich auf den zweibahnigen Abschnitt

Fahrtrichtung 2:

- B3: Beginn des Einflusses infolge Übergang zum einbahnigen Abschnitt
- B4: Ende der Verfügbarkeit zwei kompletter Fahrstreifen
- B4+: Beginn einstreifige Richtungsfahrbahn (reguläre Fahrstreifenbreite erreicht)
- A3: Ende des Einflusses infolge Übergangsbereich auf den einbahnigen Abschnitt
- A4: ungestörter Verkehrsfluss auf dem einbahnigen Abschnitt

Die Messungen an den Querschnitten A2, A3, B2, B3 dienen der Überprüfung, ob der Verkehrsablauf an den Stellen tatsächlich bereits dem ungestörten Verkehrsablauf des einbahnigen bzw. des zweibahnigen Abschnitts entspricht. Die Querschnittsmessungen an den Schnittstellen dienen als Nachweis, ob der auf Basis der Verfolgungsfahrten festgelegter Einflussbereich zutreffend festgelegt ist. In der Theorie müsste durch weitere Messungen an entsprechend verschobenen Messquerschnitten der tatsächliche Einflussbereich verifiziert bzw. ermittelt werden. Um den messtechnischen Aufwand zu begrenzen, wird eine Variation der Querschnittslagen bei den verschiedenen Untersuchungsstrecken (für die Querschnittsmessungen an den Übergängen gleicher Art) durchgeführt. Zur Analyse des Verkehrsablaufes im Übergangsbereich bzw. zur Bestimmung dessen Kapazität reicht die Anordnung eines Messquerschnittes innerhalb des Übergangsbereiches aus. Eine genaue Festlegung der Messquerschnitte erfolgte anhand der Resultate aus der Pilotstudie.

Bei der Fahrstreifenreduktion als Übergangsform ist zu unterscheiden, ob diese unmittelbar vor, nach oder innerhalb eines Knotenpunktbereiches oder auf der freien Strecke angeordnet sind. Dies beeinflusst den Verkehrsablauf im Übergangsbereich wesentlich. Des Weiteren ist zu differenzieren, ob der rechte oder der linke Fahrstreifen eingezogen wird.

Fahrstreifensubtraktion (FSS)

Bei einer Fahrstreifensubtraktion (Bild 13) im Zuge eines Knotenpunktes als Übergangsart entsprechen die erforderlichen Messquerschnitte dem Fall der Fahrstreifenreduktion im zweibahnigen Bereich. Durch das Aufteilen der Verkehrsbelastung auf zwei Strecken ist eine geringere Störung des Verkehrsablaufes im Übergangsbereich als im Fall der Reduktion zu vermuten.

Im Regelfall stimmen die Lage von Fahrstreifenaddition und -subtraktion bzw. -reduktion in einem Übergangsbereich überein.

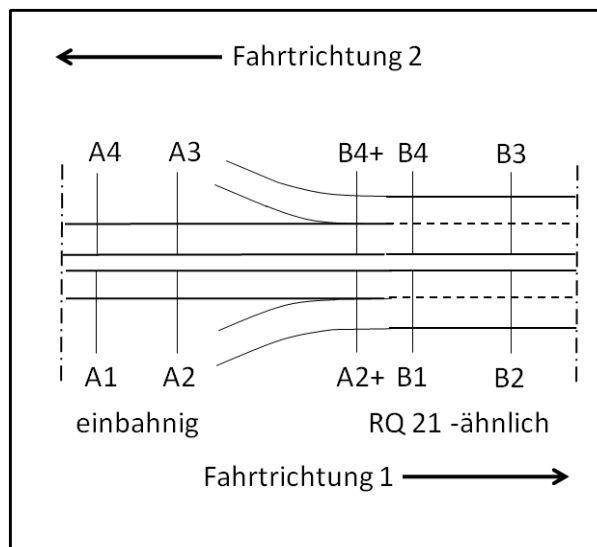


Bild 13: Schematische Anordnung der Messquerschnitte an einer FSS als Übergang zum einbahnigen Bereich

Weiterhin Zweibahnigkeit (WZB)

Eine dritte Übergangsform ist in Bild 14 dargestellt. Die zweibahnige Untersuchungsstrecke behält ihren vierstreifigen Querschnitt grundsätzlich bei, es ändert sich aber eines der folgenden Kriterien:

- Charakter der Strecke (Wechsel zu Innerortscharakter),
- Straßenklasse (Übergang zur Bundesautobahn),
- Bundesland (wenn für das angrenzende Land keine Daten zur Verfügung stehen) oder
- Querschnittsaufteilung (Wegfall oder Hinzukommen eines nutzbaren befestigten Seitenstreifens, Wegfall der baulichen Mitteltrennung).

Vor allem der Wechsel der Strecke vom Landstraßen- zum Innerortscharakter (WZB (Innerorts)) tritt häufig auf, insbesondere im Vorfeld von städtischen Agglomerationen oder im Fall von Ortsdurchfahrten. Dort endet immer die Untersuchungsstrecke.

Da bei den Voruntersuchungen deutlich wurde, dass bei einem Übergang, bei dem die Zweibahnigkeit erhalten bleibt – es gilt die gleiche zulässige Höchstgeschwindigkeit (v_{zul}), lediglich eine Querschnittsänderung tritt ein – das Geschwindigkeitsniveau sich nur unmerklich verändert, ergibt sich eine Messanordnung, die nicht alle Querschnitte berücksichtigt. Auf eine Erhebung der Querschnitte B1, B4, A2 und A3, die in Mutmaßung eines veränderten Geschwindigkeitsniveaus

am Übergang vorgesehen waren, entfallen. Die Querschnitte A1 und A4 dienen zur Aufnahme des Verkehrsablaufes im ungestörten Abschnitt der Strecke mit Seitenstreifen.

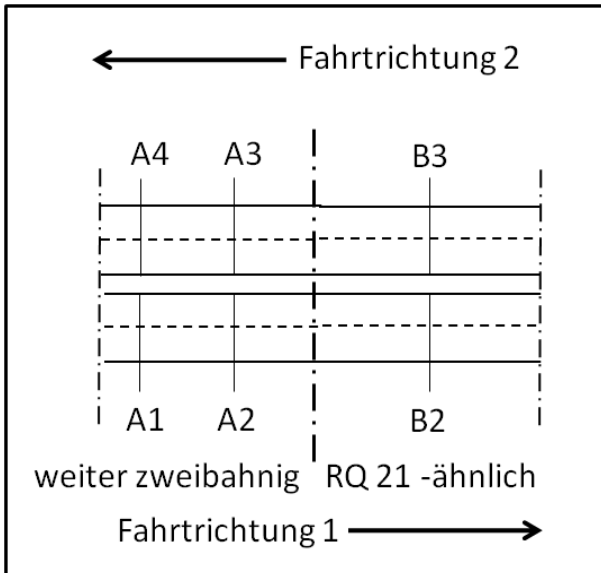


Bild 14: Schematische Anordnung der Messquerschnitte, Querschnitt behält Zweibahnigkeit bei, verändert aber seine Charakteristik

Beim Übergang der Strecke in Bereiche mit innerörtlichem Charakter ist eine Erhebung der Querschnitte A1 bis A4 nicht notwendig. Der Querschnitt B2 dient zur Ermittlung der Grenze des Einflussbereiches in außerörtlicher Richtung, während der Querschnitt B3 zur Kontrolle des Verkehrsablaufes unmittelbar vor dem Übergang in den innerörtlichen Bereich angelegt wird.

Die Aufnahme für die freie Strecke erfolgte außerhalb der in der Voruntersuchung ermittelten Einflussbereiche. Voraussetzung ist ein ungestörter Verkehrsablauf im Vor- und Nachlauf des Abschnittes.

4.3.3 Messaufbau

Zur Auswertung der Daten des Verkehrsablaufes wurde auf zwei technische Systeme zurückgegriffen. Im Bereich einbahnig zweistreifiger Streckenabschnitte erfolgte die Aufnahme der Verkehrsdaten mittels unauffällig im Seitenraum installierter Seitenradare. Mit der dazugehörigen Software können die Daten des Seitenradars hinsichtlich Verkehrsstärke, Geschwindigkeiten der Einzelfahrzeuge, Fahrzeugklasse, Fahrzeuglänge und Zeitlücken ausgewertet werden.

Auf Abschnitten mit getrennter Richtungsführung wurde der Verkehr mit Hilfe von Videokameras, die auf Brücken installiert wurden, erfasst. An Stellen, an denen keine Überführungsbauwerke vorzufinden waren, kamen Stative im Seitenraum zum

Einsatz. Hierbei wurden die Kameras in einer Höhe von 6 bis 8 m am Straßenrand installiert. Trotz der Bemühungen, die Messtechnik so unauffällig wie möglich zu installieren, ist ein geringfügiger Einfluss auf das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer nicht vollständig auszuschließen. Es konnte jedoch der Eindruck gewonnen werden, dass auffällige Messeinrichtungen eher als „normale Bautätigkeiten“ wahrgenommen wurden und wenig Einfluss auf das Verhalten hatten.

Lokale Querschnittserhebungen mit Videotechnik wurden mit dem Detektionssystem Autoscope Solo und dem System RackVision ausgewertet. Hierbei werden innerhalb des Bildes virtuelle Detektoren eingebracht. Die Kalibrierung der Detektoren erfolgte anhand von am Querschnitt mittels Laserpistole erhobenen Geschwindigkeiten von mindestens 20 Fahrzeugen. Die Software ermöglicht die fahstreifenfeine Auswertung von Geschwindigkeit, Fahrzeugklasse, Fahrzeuglänge und Zeitlücke des Verkehrs.

An einzelnen Streckenabschnitten, die zwischen Knotenpunkten einen Mindestabstand von 3 km aufwiesen und an denen von keiner Behinderung des fließenden Verkehrs (Rastanlagen, Änderung der v_{zul}) ausgegangen werden konnte, wurden zusätzlich Fahrtgeschwindigkeitsmessungen durchgeführt. Diese dienten u.a. zur Validierung der lokalen Messungen. An Ein- und Ausfahrquerschnitt installierte Videokameras erfassten die durchfahrenden Fahrzeuge mit einem Zeitstempel. Um eine ausreichende Fahrtzeit zu gewährleisten, betrug die Länge des Abschnittes 3 km, mindestens jedoch 2,0 km. Aus Quotient der Streckenlänge zwischen beiden Querschnitten und der Fahrtzeit ergibt sich die Fahrtgeschwindigkeit der Fahrzeuge.

Um ein breites Spektrum an Verkehrsstärken zu erfassen wurden die Erhebungen zu Zeiten hoher und geringer Belastungen durchgeführt. So kann ein möglicher Einfluss der Verkehrsstärke auf den Verkehrsablauf bestimmt werden. Für jeden Messquerschnitt wurde eine Betrachtungszeit von vier Stunden angestrebt, die mindestens eine Früh- oder Nachmittagsspitze enthält.

Die Ermittlung der Verkehrsstärken erfolgte in Anlehnung an die Untersuchungen von KELLER (1992), der die Zusammenhänge zwischen der Wahl verschiedener Bezugsintervalllängen und der daraus ermittelten stündlichen Verkehrsstärken mit den tatsächlichen Verkehrsstärken gegenüberstellte. Für die Hochrechnungen wurde die von KELLER (1992) als Kompromiss angegebene Intervalllänge von 5 min gewählt. Dieses Intervall liefert eine sehr gute Übereinstimmung im Vergleich zu

stündlich erhobenen Verkehrsstärken. Die stündliche Verkehrsstärke q_{60} ergibt sich aus dem Produkt des 5 min Intervalls q_5 mit dem Faktor 12.

$$q_{60} = q_5 * 12 \quad [\text{Kfz/h}]$$

Die Auswertung von 5 min Intervallen führt in Bereichen sehr hoher Verkehrsstärken gegenüber eine Auswertung mit Stundenintervallen zu einer Ermittlung höherer Kapazitäten. Um eine Überbewertung nur kurzzeitig auftretender Verkehrsstärken in der gewählten Intervalllänge q_5 für die Bestimmung der Kapazität zu vermeiden, bestimmte KELLER (1992) anhand empirischer Werte einen Umrechnungsfaktor für den Wertebereich in der Nähe der Kapazität.

$$q_{60K} = q_{5K} * 0,84 * 12 \quad [\text{Kfz/h}]$$

Die Unterscheidung der Kraftfahrzeuge wird in die Klassen Pkw und Lkw (zulässiges Gesamtgewicht >3,5 t) vorgenommen und ist für die Ermittlung spätere q-V Diagramme für das HBS ausreichend.

Für die mit dem System RackVision ausgewerteten Querschnitte erfolgte eine Kontrolle und gegebenenfalls Korrektur des Schwerverkehrsanteils. Die Detektion des Schwerverkehrs beruht auf einer Analyse der Fahrzeuglängen (Grenzlänge) und Belegungszeiten des virtuellen Detektors. Aufgrund verschiedener Einflüsse (Kameraperspektive, Lichtverhältnisse) kann eine abweichende Anzahl von detektierten Lkw im Vergleich zu der real erfassten Anzahl entstehen. Mit Hilfe einer vergleichenden manuellen fahrstreifenfeinen halbstündigen Zählung des Schwerverkehrs und einer Anpassung der Grenzlänge für den betrachteten Film konnte die Einstellung nachjustiert und mögliche Falschzahlungen minimiert werden.

Die Belegung der Fahrstreifen in Abhängigkeit der Verkehrsstärke wird durch den prozentualen Anteil der Fahrzeuge, die den rechten Fahrstreifen nutzt, angegeben. Dies ermöglicht eine vergleichende Darstellung des Verkehrsablaufes in Bereichen der freien Strecke und in den Übergängen zum einbahnigen Bereich. Darüber werden Aussagen zur Fahrstreifenbelegung unter Berücksichtigung sich ändernder Verkehrsstärken und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit getroffen.

4.3.4 Wahl der Untersuchungsstrecken

In (BRILON, WEISER, 1997) werden für die Auswahl von Untersuchungsstrecken zur Ermittlung von q-V-Diagrammen auf zweistreifigen Straßen außerorts folgende Anforderungen gestellt:

- Streuung der Messstrecken über verschiedene Bundesländer und Landschaftstypen
- Unterscheidung der Messstrecken hinsichtlich Querschnitt, Kurvigkeit, Längsneigung und Schwerverkehrsanteil derart, dass im Nachgang eine Interpolation zwischen den gemessenen Werten möglich ist
- hohe Verkehrsbelastung, um mit den Messwerten in den Bereich der Kapazität der Strecken zu gelangen
- ausreichend lange Streckenabschnitte ohne störende Einflüsse (nach Möglichkeit wurden 3 km angestrebt)
- keine sprunghaften Änderungen in der Streckencharakteristik
- Strecken mit gutem Fahrbahnzustand sowie einwandfrei erkennbaren Markierungen

Für das vorliegende Forschungsvorhaben wurden diese Auswahlkriterien weitgehend übernommen. Der Einfluss der Kurvigkeit bleibt unberücksichtigt, da sich die Trassierungsparameter für Radien für BAB der EKA 2 und Landstraßen der EKL 1 nur geringfügig unterscheiden. Bei richtliniengerechten Ausbau sind die Auswirkungen der Krümmungen auf die Fahrtgeschwindigkeit daher so begrenzt, dass sie für die Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufes nicht berücksichtigt werden müssen (FGSV, 2001).

Die Auswahl der Strecken orientierte sich an den Kriterien, die aus Voruntersuchung, Streckendokumentation und den Anforderungen aus dem Messaufbau resultierten. Neben der Erhebung von zehn Strecken mit RQ 21- ähnlichen Querschnitt wurden zum Vergleich des Verkehrsablaufes auch zwei Strecken mit RQ 28- ähnlichen Querschnitt aufgenommen. Für den Vergleich ist lediglich der Verkehrsablauf auf der freien Strecke von Bedeutung. Daher erfolgte auf Strecken mit RQ 28- ähnlichen Querschnitten keine Aufnahme von Übergangsbereichen. Bei der Wahl der Untersuchungsstrecken wurde versucht, Extremwerte in Bezug auf Längsneigungen und Schwerverkehrsanteil abzubilden. Es zeigte sich aber schon in der Dokumentation, dass aufgrund der durch die geforderte Charakteristik begrenzten Anzahl vorhandener Strecken nicht alle Kriterien abgedeckt werden konnten. Priorität für die Auswahl besaßen vor allem die Kriterien der Verkehrsbelastung und der Streckenlänge.

Zu den bisher beschriebenen Kriterien kommen für diese Untersuchung hinzu:

- Verfügbarkeit von georeferenzierten Unfalldaten
- Verfügbarkeit umfassender Streckeninformationen
- Auswahl von Strecken innerhalb und außerhalb von Ballungsräumen

Die Differenzierung der q-V-Diagramme nach Funktion und Lage der Strecke innerhalb bzw. außerhalb von Ballungsräumen resultiert aus der Annahme, dass der Berufspendleranteil innerhalb von Ballungsräumen deutlich höher erwartet wird. Im Gegensatz zu Pkw-Fahrern im Fernverkehr bleiben die Reiseweiten von Berufspendlern überwiegend im regionalen Bereich, die Pendler können die örtliche Verkehrssituation gut einschätzen und erwarten von hohen Geschwindigkeiten keine erheblichen Zeiteinsparungen. Dementsprechend fällt bei deren Fahrten die Höhe der gewählten Wunschgeschwindigkeiten geringer aus. Auf Strecken außerhalb von Ballungsräumen ist von der Wahl höherer Wunschgeschwindigkeiten auszugehen. Aus diesem Grund wird im HBS für Autobahnabschnitte (Kapitel 3) nach diesem Lagekriterium unterschieden. Für die Dokumentation der zweibahnigen Strecken wird folgende Definition für Ballungsräume angewendet: Das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung hat Deutschland durch die Definition von Raumordnungsregionen in räumliche Analyseeinheiten eingeteilt. Diese werden in (DIW, 2005) als Grundlage für die Festlegung von Agglomerationen verwendet. Als Kriterium wird das Vorhandensein eines städtischen Kerns von mindestens 400.000 Einwohnern herangezogen. Für die untersuchten Bundesländer ergaben sich folgende Ballungsräume (vgl. (DIW, 2005)):

- Hannover
- Dortmund
- Duisburg/Essen
- Düsseldorf
- Köln
- Nürnberg
- München
- Dresden
- Leipzig
- Frankfurt/Main (Raum Aschaffenburg)

Für die Ermittlung von q-V-Diagrammen auf Grundlage von Fahrtzeitmessungen sind Abschnitte von möglichst drei oder mehr Kilometer Länge mit einem ungestörten Verkehrsablauf erforderlich. Tab. 7 zeigt die Anzahl an dokumentierten Strecken, die mindestens einen Abschnitt ≥ 3 km ohne Knotenpunkte aufweisen

Bundesland	RQ 21	RQ 28
Bayern	4	5
Niedersachsen	7	5
Nordrhein-Westfalen	3	4
Sachsen	1	2
Sachsen-Anhalt	2	1
Thüringen	2	-

Tab. 7: Strecken mit Knotenabstand > 3 km

Für die Auswertung wurden Knotenpunktabstände (bezogen auf die Lage der Netzknoten oder bezogen auf den Knotenmittelpunkt bei Knoten, die keine realen Netzknoten darstellen) zugrunde gelegt. Die Ausdehnung des baulichen Knotenbereiches sowie dessen Einflussbereich sind somit noch von der Abschnittslänge abzuziehen, um die Streckenlänge des ungestörten Verkehrsablaufes auf freier Strecke zu erhalten. Die Erhebungen der Geschwindigkeiten erfolgen daher in den Untersuchungen mit lokalen Messungen.

Es zeigte sich, dass für eine Vielzahl von Strecken eine übergreifende Aufnahme der Abschnitte (Übergangsbereich am Anfang und Ende, Fahrtzeitmessungen) aufgrund verschiedener Einflussgrößen nicht möglich war. Dies ging aus der bisherigen Dokumentation hervor. Um eine ausreichende Kollektivgröße zu erhalten, erfolgte die Aufteilung der Messungen auf die verschiedenen Strecken (Bspw. lediglich Querschnittsmessungen auf der unbeeinflussten Strecke der B 19 Würzburg). Tab. 8 enthält die Auflistung der gewählten zwölf Untersuchungsstrecken.

Name	Ort	Querschnittstyp	Länge [km]
B 3	Hannover	RQ 21- ähnlich	10,4
B 4	Erfurt	RQ 21- ähnlich	14,9
B 4	Gifhorn	RQ 21- ähnlich	6,0
B 8	Langenzenn	RQ 21- ähnlich	5,8
B 12	Kempten	RQ 21- ähnlich	9,1
B 19	Würzburg	RQ 21- ähnlich	4,1
B 19	Sonthofen	RQ 21- ähnlich	6,3
B 80	Halle (Saale)	RQ 21- ähnlich	19,9
B 81	Magdeburg	RQ 21- ähnlich	10,9
B 469	Aschaffenburg	RQ 21- ähnlich	22,5
B 2	Roth	RQ 28- ähnlich	12,9
B 6n	Wernigerode	RQ 28- ähnlich	31,9

Tab. 8: Gewählte Untersuchungsstrecken

Der überwiegende Teil der Messungen erfolgte im Zeitraum von Mitte September bis Ende Oktober 2008. Um Beeinträchtigungen durch verringerte Tageslichtzeiten und durch Wetterereignisse zu minimieren wurde ein Teil der Strecken im Frühjahr 2009 erhoben. Alle Erhebungen wurden bei regulären Verkehrsbedingungen (keine temporären Baustellen) und trockenen Witterungsverhältnissen durchgeführt. Lagen Beeinträchtigungen infolge von Regenereignissen oder anderen Zwischenfällen vor, wurden diese Zeiten nicht für weitere Analysen verwendet.

4.3.5 Festlegung der Wunschgeschwindigkeiten

Für eine realistische Darstellung des Fahrverhaltens in später folgenden Simulationen ist die Angabe der gewählten Wunschgeschwindigkeiten freifahrender Pkw und Lkw notwendig. Als freifahrend gelten Kfz, die einen definierten zeitlichen Abstand zu vorausfahrenden und nachfolgenden Kfz aufweisen. Die Wahl zu kleiner Zeitlücken kann zur Folge haben, dass die Fahrzeugführer noch dem Einfluss vorausfahrender Kfz unterliegen. Werden die Zeitlücken zum vorausfahrenden Kfz zu groß gewählt, besteht die Gefahr, dass die Verteilungsfunktion von Pulkführern geprägt wird. Dies hat zur Folge, dass Fahrzeugführer die nach höheren Wunschgeschwindigkeiten streben, in der Verteilungsfunktion unterbesetzt sind und der Mittelwert der freien Geschwindigkeit im Vergleich zur Realität geringer ausfällt. Für zufällig ausgewählte Querschnitte wurden die gefahrenen Pkw-Geschwindigkeiten mit zunehmender Zeitlücke gegenübergestellt. In Anlehnung an die Literatur (BRILON, WEISER, 1997) erfolgte eine Betrachtung der Zeitlücken von 7 s, 11 s und 15 s für jeweils drei Querschnitte, gemessen mit Seitenradar und Videokamera.

v _{lok} Pkw nach Zeitlücke [km/h]			
Zeitlücke	7 s	11 s	15 s
SR4 (Seitenradar)			
B8 A4	104,9	104,9	104,7
B4 Erfurt A2	93,5	93,5	93,1
B4 Gifhorn A2+	94,7	94,5	94,7
RackVision (Kamera)			
B4 Gifhorn B1	92,2	92,3	92,4
B8 R1 FR Ost	123,2	124,2	124,8
B3 R1 FR Nord	127,7	130,2	133,4

Tab. 9: lokale Pkw-Geschwindigkeiten in Abhängigkeit der Zeitlücken

Aus Tab. 9 ist ersichtlich, dass sich die mittleren Pkw-Geschwindigkeiten bei Messungen mit dem Seitenradar unabhängig von der Länge der Zeitlücke auf gleichem Niveau bewegen.

Hingegen ist bei den Erhebungen mit Videokamera in einigen Fällen eine Zunahme der mittleren Geschwindigkeiten abzulesen. Die Betrachtung der Häufigkeitsverteilung dieser drei Querschnitte zeigte, dass sich bei kleineren Zeitlücken eine Spitze in der Pkw-Erfassung im Bereich 85 bis 95 km/h einstellt. Diese Spitze resultiert aus einer Falschzählung von Lkw, die aufgrund bildtechnischer Einflüsse (Bspw. starke Farbunterschiede Führerhaus/Auflieger) in Einzelfällen als Pkw registriert wurden. Eine Beeinflussung der Geschwindigkeitsverteilung mit einer Reduzierung des Geschwindigkeitsniveaus ist die Folge dieser Falscherfassung. Mit einer Anhebung der betrachteten Zeitlücke auf 15 s verringert sich der Anteil der Fehldetektionen in diesem Bereich. Die Verteilungen nähern sich stärker einer Normalverteilung an. Bild 15 zeigt beispielhaft für freifahrende Pkw am Querschnitt R1 FR Ost der Strecke B 8, wie sich eine Veränderung der Zeitlücke auf die Verteilung der freifahrenden Pkw und damit auf die Höhe der gewählten Wunschgeschwindigkeiten auswirkt.

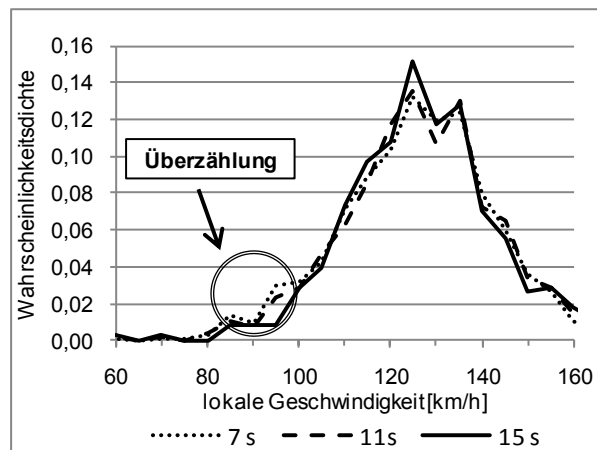


Bild 15: Verteilung freifahrende Pkw in Abhängigkeit der Zeitlücke, B 8 Langenzenn R1 FR Ost

Der Anteil der falsch erfassten Lkw im Verhältnis zur Gesamtzahl aller erfassten Kfz liegt bei < 1 % und kann daher vernachlässigt werden. Für die weiteren Auswertungen wurden folgende Sachverhalte aufgenommen:

- Für die Auswertungen von Messungen, die mit Seitenradar erfolgten, wurde für freifahrende Pkw und Lkw eine Zeitlücke von ≥ 7 s zum vorausfahrenden Kfz festgelegt.
- An Querschnitten, wo die Erfassung des Verkehrs mit dem System RackVision stattfand, diente für weitere Analysen eine

Zeitlücke von ≥ 15 s für freifahrende Pkw als Grundlage.

- Mit einer Zeitlücke von ≥ 7 s wurden die freifahrenden Lkw an Querschnitten erfasst die mit dem System RackVision durchgeführt wurden, da eine Vergrößerung der Zeitlücken die Kollektivgrößen für weitere Auswertungen zu sehr verringert hätte.

4.4 Daten der Messstrecken

Im Zuge der Erhebungen wurde an acht Strecken mit RQ 21- ähnlichem Querschnitt und an zwei Strecken mit RQ 28- ähnlichem Querschnitt der Verkehrsablauf aufgenommen. Bild 16 enthält die Übersicht und Anzahl über alle aufgenommenen Querschnittstypen unter Berücksichtigung ihrer Lage.

Es wurden sieben Übergänge mit einer Fahrstreifenreduktion aufgenommen. An drei Strecken war der Untersuchungsabschnitt durch einen Übergang in den innerörtlichen Bereich gekennzeichnet. An der B 8 Langenzenn und an der B 3 Hannover konnten Erhebungen an Stellen mit einer Veränderung der Streckencharakteristik im Zuge des Hinzukommens eines Seitenstreifens durchgeführt werden.

Der Verkehrsablauf auf Abschnitten der freien Strecke wurde 43-mal erhoben. Hier entfallen neun Messungen auf Strecken mit RQ 28- ähnlichem Querschnitt. An allen dieser Strecken war eine v_{zul} von $v =$ frei angeordnet. Von 34 auf RQ 21- ähnlichen Strecken durchgeführten Messungen weisen 14 Querschnitte eine v_{zul} von $v = 100$ km/h, elf von $v = 120$ km/h und neun von $v =$ frei auf.

Nachfolgend ist eine kurze Übersicht über die erhobenen Messstrecken und ihre Charakteristika aufgeführt. Der Schwerverkehrsanteil wurde wie unter Kapitel 4.3.3 dargestellt erfasst und gibt die

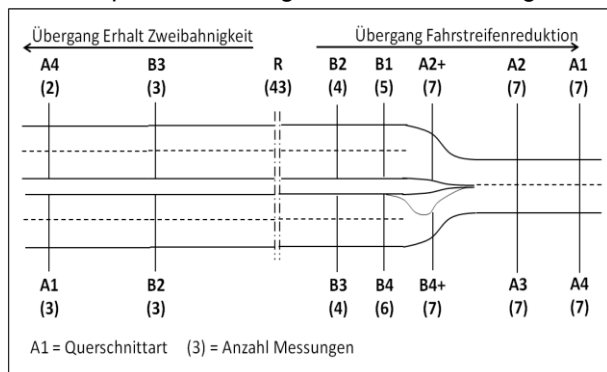


Bild 16: Übersicht über erhobene Messungen an jedem Querschnitt

Spannbreite der Mittelwerte aller erfolgten Messungen wieder. Die Angabe der maximalen Längsneigung umfasst lediglich Bereiche mit einer längeren konstanten Neigung (> 300 m).

B 3 Hannover

Die B 3 bildet im Nordosten des Ballungsraumes Hannover die Verlängerung der BAB 37 Richtung Celle. An der Anschlussstelle Burgdorf ändert sich die Klassifizierung der Strecke Richtung Nordosten von einer BAB zu einer Bundesstraße.

Im Bereich der Bundesstraße bleibt der Querschnitt mit 28 m Breite vorerst bestehen. Ab km 1,72 nach der Anschlussstelle Burgdorf geht die Strecke in einen RQ 21 über. Im weiteren Streckenverlauf variiert jedoch die Mittelstreifenbreite zwischen 2,5 und 9,0 m und erreicht in einem Abschnitt sogar 16 m. Die Längsneigung liegt mit Ausnahme einer Eisenbahnüberführung unter 2 %. Nordöstlich von Ehlershausen änderte sich der Querschnitt zum Erhebungszeitpunkt mittels einer provisorischen FSR auf einen RQ 11. Zu diesem Zeitpunkt erfolgte bereits der weitere Ausbau der Strecke Richtung Celle. Der Anschluss an das untergeordnete Netz erfolgt im betrachteten Abschnitt über teilplanfreie Knotenpunkte. An zwei Querschnitten wurde der Verkehrsablauf der freien Strecke, mit einer v_{zul} von $v = 120$ km/h sowie mit $v = 100$ km/h erhoben. Am südlichen Ende der RQ 21- ähnlichen Strecke erfolgte die Messungen an dem Übergang WZB (S).

B 3 Hannover (Ballungsraum)	
Länge (RQ 21 ähnlich):	10,4 km
V_{zul} freie Strecke:	100/120 km/h
Maximale Verkehrsstärke	1.200 Kfz/h
Übergang 1 (Süd):	WZB (S)
Übergang 2 (Nord):	Im Umbau
Messzeitraum:	23.-24.10.2008
Fahrbahnbreite:	8,0 m
SV-Anteil:	4 % - 15 %
Maximale Längsneigung:	2,5 %

Tab. 10: B 3 Hannover

B 4 Erfurt

Eine typische Radialstrecke zu einer Agglomeration mit entsprechenden Funktionen ist die B 4 im Norden von Erfurt. Der Untersuchungsabschnitt ist durch eine Mischung von planfreien und plan-gleichen Knotenpunkten gekennzeichnet und weist in großen Teilen seines Verlaufes einen RQ 21 auf. Im Tagesverlauf waren erhebliche Vor- und Nachmittagsspitzen in der Verkehrsstärke festzustellen.

Die B 4 verläuft aus dem Stadtzentrum Richtung Norden. Als Grenze zwischen Innerorts- und Außerortsbereich wurde die Straßenüberführung Scheidemantelweg gewählt. An dieser Stelle verjüngt sich der Mittelstreifen, die mittig angeordnete Straßenbeleuchtung endet. Im Anschluss folgt der Knotenpunkt mit der BAB 71. Nördlich von Andisleben wechselt der Regelquerschnitt durch eine FSR nach einem Knotenpunkt von 21 m Breite auf 11 m. Im gesamten Streckenverlauf liegt die Längsneigung unter 2 %, es sind sowohl planfreie, teilplanfreie als auch plangleiche Knotenpunktarten vorhanden. Neben beiden Übergängen wurden zwei Querschnitte der freien Strecke erfasst.

B 4 Erfurt	
Länge (RQ 21 ähnlich):	14,9 km
V _{zul} freie Strecke:	100/120 km/h
Maximale Verkehrsstärke	1.900 Kfz/h
Übergang 1 (Süd):	WZB (Innerorts.)
Übergang 2 (Nord):	FSR
Messzeitraum:	13.-15.10.2008
Fahrbahnbreite:	7,5 m/8,0 m
SV-Anteil:	6 % - 10 %
Maximale Längsneigung:	1,2 %

Tab. 11: B 4 Erfurt

B 4 Gifhorn

Einen Sonderfall in Bezug auf die Querschnittsgestaltung stellt die B 4 im Bereich der Ortschaft Gifhorn dar. Der Untersuchungsabschnitt tangiert Gifhorn am westlichen Stadtrand, behält aber seinen Außerortscharakter bei. Über eine Länge von 6,3 km besitzt die B 4 einen vierstreifig zweibahnigen Querschnitt, wobei die Richtungstrennung der Fahrbahnen lediglich durch eine Doppelschutzplanke erfolgt. Der Querschnitt gleicht nach den RAS-Q am ehesten einem RQ 20, weicht jedoch in der Breite der Fahrstreifen ab. Außerhalb des betrachteten Abschnitts entspricht die bauliche Ausbildung einem RQ 10,5.

B 4 Gifhorn	
Länge (RQ 21 ähnlich):	6,0 km
V _{zul} freie Strecke:	100 km/h
Maximale Verkehrsstärke	1.300 Kfz/h
Übergang 1 (Nord):	FSR
Übergang 2 (Süd):	FSR
Messzeitraum:	27.-28.10.2008
Fahrbahnbreite:	7,25 m
SV-Anteil:	6 % - 16 %
Maximale Längsneigung:	0,8 %

Tab. 12: B 4 Gifhorn

Der zweibahnige Abschnitt wird am südlichen Ende mittels einer FSR auf einen einbahnigen Querschnitt zurückgeführt. Da sich unmittelbar an die FSR ein LSA gesteuerter Knotenpunkt anschließt, wurde auf eine Aufnahme dieses Übergangsbereiches verzichtet. Der Übergang 1 zeichnete sich durch eine größtenteils unbeeinflusste Lage aus.

B 8 Langenzenn

Eine Sammelfunktion für die westliche Peripherie des Ballungsraumes Nürnberg übernimmt die B 8. Aus Richtung Westen kommend, wechselt der Querschnitt der B 8 am Knoten Langenzenn West von einem RQ 11 auf einen RQ 21- ähnlichen Querschnitt. Nach einer Länge von 5,8 km kommt beidseitig ein 2,5 m breiter Seitenstreifen hinzu (RQ 28). Im weiteren Verlauf erreicht die Strecke nach ca. 8 km den westlichen Stadtbereich von Fürth. Ein Teilabschnitt der B 8 war bereits Bestandteil der Voruntersuchung, auf welchem eine V_{zul} von 120 km/h angeordnet ist.

An der Untersuchungsstrecke wurden neben zweimaliger Erfassung des Verkehrsablaufs der freien Strecke sowohl der Übergang mit FSR als auch der Übergang des Bereiches von RQ 21- ähnlichen zum RQ 28- ähnlichen Abschnitt erhoben. Die B 8 zeichnete sich durch erhöhte Verkehrsstärken während der Vor- und Nachmittagspitzenstunden aus, die eine Höhe bis zu 2.500 Kfz/(h**Ri*), berechnet aus 5 min Intervallen, erreichten.

B 8 Langenzenn (Ballungsraum Nürnberg)	
Länge (RQ 21 ähnlich):	5,8 km
V _{zul} freie Strecke:	120 km/h
Maximale Verkehrsstärke	2.500 Kfz/h
Übergang 1 (West):	FSR (Knotenbereich)
Übergang 2 (Ost):	WZB (S)
Messzeitraum:	16.-18.09.2008
Fahrbahnbreite:	8,0/8,5 m
SV-Anteil:	7 % - 16 %
Maximale Längsneigung:	3,3 %

Tab. 13: B 8 Langenzenn

B 12 Kempten

Mit einer Längsneigung von ca. 4 % über einen Abschnitt mit mindestens 3 km Länge, weist diese Strecke als einzige im Kollektiv eine Längsneigung auf, die zur Erhebung von Reisegeschwindigkeiten diente.

Der RQ 21- ähnliche Untersuchungsabschnitt stellt die Verlängerung der BAB 980 südwestlich von Kempten dar. Westlich verlaufend, wechselt die

Strecke nach einer ca. 5 km langen Steigungsstrecke in Höhe Weinerle durch eine FSR auf einen Abschnitt mit einer Breite von 10,5 m über. Besonderheit der FSR ist die teilweise Geschwindigkeitsbeschränkung auf $v = 60$ km/h. Im gesamten Untersuchungsabschnitt ist kein Anschlussknoten vorhanden. Während der Messzeiten wurden nur sehr geringe Verkehrsstärken mit maximal 500 Kfz/h* R_i aufgezeichnet.

B 12 Kempten	
Länge (RQ 21 ähnlich):	8,5 km
V_{zul} freie Strecke:	frei (km/h)
Maximale Verkehrsstärke	500 Kfz/h
Übergang 1 (West):	FSR
Übergang 2 (Ost):	WZB (S)
Messzeitraum:	27.-28.04.2009
Fahrbahnbreite:	8,0 m
SV-Anteil:	7 % - 15 %
Maximale Längsneigung:	5,3 %

Tab. 14: B 12 Kempten

Außer der Aufnahme des westlichen Übergangsbereiches erfolgte eine Reisegeschwindigkeitsmessung im Streckenabschnitt mit einer konstanten Längsneigung von 4 %. Darüber hinaus wurde das Geschwindigkeitsverhalten von zwölf beliebig gewählten Lkw im Steigungsabschnitt aufgenommen. Ziel war es, Auskunft über die gefahrenen Geschwindigkeiten im Abschnitt zu erhalten, um eine weitere Referenz für spätere Simulationen zu erhalten.

B 19 Sonthofen

Von Sonthofen nach Norden in Richtung Kempten verläuft die B 19. Die Strecke tangiert den Sonthofener Stadtbereich, behält aber durch die Gestaltung der Seitenräume ihren außerörtlichen Charakter bei. Am südlichen Ende weist der RQ 21-ähnliche Abschnitt eine Fahrstreifenreduktion auf.

B 19 Sonthofen	
Länge (RQ 21 ähnlich):	6,3 km
V_{zul} freie Strecke:	100/120 km/h
Maximale Verkehrsstärke	1.100 Kfz/h
Übergang 1 (Süd):	FSR
Übergang 2 (Nord):	FSR (provisorisch)
Messzeitraum:	30.09.-02.10.2008
Fahrbahnbreite:	8,5 m
SV-Anteil:	4 % - 5 %
Maximale Längsneigung:	1,5 %

Tab. 15: B 19 Sonthofen

Im mittleren Bereich der Strecke ist eine v_{zul} von $v = 120$ km/h – sonst $v = 100$ km/h – angeordnet. In Höhe Stein im Allgäu endet nach einer Streckenlänge von 6,3 km der zweibahnig vierstreifige Abschnitt, welcher nur (teil-)planfreie Knotenpunktgrundformen aufweist, in einer provisorischen FSR. Dieser Übergang wurde nicht mit erhoben.

Mehrere Regenschauer während der Erhebungszeit beeinflussten den Verkehrsablauf derart, dass eine weitere Verwendung der Messung nicht möglich war. Eine Besonderheit des südlichen Überganges ist eine planfreie Einmündung im Bereich der nordwärts führenden Fahrbahn unmittelbar nach der Fahrstreifenaddition.

B 19 Würzburg

Diese Strecke wurde nachträglich in das Kollektiv aufgenommen, um einen Querschnitt der freien Strecke zu erheben, der ein hohes Verkehrsaufkommen aufweist. Der RQ 21-ähnliche Abschnitt stellt die Verbindung zwischen der A 7 westlich von Würzburg und der Innenstadt her. An der mit $v = 100$ km/h beschränkten Strecke erfolgte die Aufnahme des Verkehrsablaufes auf der Strecke. Auf diesem Abschnitt wurden Verkehrsstärken bis zu 2.500 Kfz/(h* R_i) gemessen.

B 19 Würzburg	
Länge (RQ 21 ähnlich):	4,4 km
V_{zul} freie Strecke:	100 km/h
Maximale Verkehrsstärke	2.500 Kfz/h
Übergang 1 (West):	WZB (Innerorts.)
Übergang 2 (Ost):	FSR
Messzeitraum:	17.06.2009
Fahrbahnbreite:	8,5 m
SV-Anteil:	3 % - 5 %
Maximale Längsneigung:	nicht bekannt

Tab. 16: B 19 Würzburg

B 80 Halle

Mit einer Länge von 19,9 km für den Abschnitt mit RQ 21-ähnlicher Gestaltung ist die B 80 westlich von Halle eine der längsten Untersuchungsstrecken. Darüber wird das untergeordnete Netz im Außerortsbereich überwiegend mit plangleichen Knotenpunkten angeschlossen, während im innerörtlichen Bereich die Erschließung durch teilplanfreie Knotenpunkte erfolgt. Die B 80 verbindet Halle mit der Stadt Eisleben und übernimmt für die umliegenden Gemeinden die Funktion einer Radialstrecke Richtung Halle. Eine Fahrstreifenreduktion unmittelbar nach einer plangleichen unsignalisierten Einmündung markiert das westliche

Ende der Strecke, während die B 80 im Osten ihren zweibahnig vierstreifigen Querschnitt beibehält und in den innerörtlichen Bereich wechselt. Hier ist die Grenze unscharf, da durch die Gestaltung der Seitenräume und der unveränderten Höhe der v_{zul} der Charakter einer Außerortsstrecke erhalten bleibt. Als Grenze wurde der Anschlussknoten der L 164 in Halle-Neustadt gewählt.

B 80 Halle (Saale)	
Länge (RQ 21 ähnlich):	19,9 km
V_{zul} freie Strecke:	100 km/h
Maximale Verkehrsstärke	1.800 Kfz/h
Übergang 1 (West):	FSR
Übergang 2 (Ost):	WZB (Innerorts.)
Messzeitraum:	20.10.-22.10.2008 02/15.04.2009
Fahrbahnbreite:	8,0 m
SV-Anteil:	6 % - 17 %
Maximale Längsneigung:	3,6 %

Tab. 17: B 80 Halle

Um weitere Informationen über das Fahrverhalten im innerörtlichen Bereich nach dem festgelegten Übergang zu erhalten, wurde in diesem Abschnitt eine weitere Messung, analog dem Aufbau eines Übergangs mit Erhalt der Zweibahnigkeit (Querschnitt A1, A4), durchgeführt. Das Fahrverhalten auf der freien Strecke wurde an drei Querschnitten erhoben.

B 81 Magdeburg

Ähnliche Funktionen wie die B 80 in Halle oder die B 8 im Ballungsraum Nürnberg besitzt die B 81 im Süden von Magdeburg. Die Untersuchungsstrecke nimmt zum Einen den Verkehr des südlichen Magdeburger Umlandes auf. Des Weiteren dient die RQ 21- ähnliche Strecke, die durch den gesamten Magdeburger Innenstadtbereich verläuft, als Verbindung der Innenstadt zur BAB 14.

B 81 Magdeburg	
Länge (RQ 21 ähnlich):	10,1 km
V_{zul} freie Strecke:	100 km/h
Maximale Verkehrsstärke	1.500 Kfz/h
Übergang 1 (Süd):	FSR
Übergang 2 (Nord):	WZB (Innerorts.)
Messzeitraum:	29.10.-30.10.2008 30.03.-31.03.2009
Fahrbahnbreite:	8,0/7,5 m
SV-Anteil:	8 % - 15 %
Maximale Längsneigung:	0,9 %

Tab. 18: B 81 Magdeburg

Von Richtung Halberstadt aus wechselt der Querschnitt von einbahnig zweistreifig mit einer Breite von 11 m mittels einer Fahrstreifenaddition/ -reduktion auf eine Breite von 22,5 m im zweibahnig vierstreifigen Bereich. Der südliche Übergang liegt im Außerortsbereich und zeichnet sich durch eine von Knotenpunkten nahezu unbeeinflusste Lage aus. Erhebungen der Reisegeschwindigkeiten wurden an zwei Querschnitten durchgeführt. Die Strecke ($v_{zul}=100$ km/h) verläuft im ebenen Gelände, der Anschluss an das untergeordnete Netz erfolgt mit teilplanfreien Knotenpunkten. Die maximale Längsneigung liegt unter 1 %. Am südlichen Magdeburger Stadtrand wechselt die Strecke in den innerörtlichen Bereich. Als Grenze wurde der Anschlussknoten Salbker Chaussee festgelegt, da sich hier die Ortstafel befindet. Der RQ 21- ähnliche Abschnitt setzt sich in der Ortschaft fort.

B 469 Aschaffenburg

Eine Strecke mit mehreren Besonderheiten ist die B 469 südwestlich von Aschaffenburg. Im Gegensatz zu vielen bereits angeführten Untersuchungsstrecken nimmt die B 469 überwiegend eine Verbindungsfunktion wahr. Sie verknüpft die im Süden gelegenen Städte des Landkreises Miltenberg mit den BAB 3 und BAB 45 sowie ferner dem Ballungsraum Frankfurt. Ursprünglich war diese Strecke als Autobahn konzipiert. Auf weiten Teilen des betrachteten Abschnittes ist die zulässige Höchstgeschwindigkeit unbeschränkt. Die Längsneigung überschreitet im gesamten betrachteten Abschnitt den Wert von 1 % nicht.

B 469 Aschaffenburg	
Länge (RQ 21 ähnlich):	33,4 km
V_{zul} freie Strecke:	100/120 km/h frei (km/h)
Maximale Verkehrsstärke	2.400 Kfz/h
Übergang 1 (Nord):	FSR
Übergang 2 (Süd):	Sonderform
Messzeitraum:	22.09.-24.09.2008 19.03.-20.03.2009
Fahrbahnbreite:	8,0 m
SV-Anteil:	10 % - 19 %
Maximale Längsneigung:	0,9 %

Tab. 19: B 469 Aschaffenburg

Mit einem Übergang der Strecke von RQ 11 auf einen RQ 21- ähnlichen Querschnitt unmittelbar an der Landesgrenze zu Hessen beginnt der Untersuchungsabschnitt. Ein sich im Bereich der Reduktion befindender teilplanfreier Knotenpunkt besaß augenscheinlich nur einen sehr geringen Einfluss auf den Verkehrsablauf, da dieser lediglich als Anschluss für den Versorgungsweg einer Main-

schleuse dient. Die Erhebung des südlichen Überganges bei Trennfurt entfiel, da hier eine unkonventionelle Variante einer Fahrstreifenreduktion an einem teilplanfreien Knotenpunkt auftritt.

Die FSR am nördlichen Ende des Untersuchungsabschnittes ist auf eine v_{zul} von $v = 80$ km/h beschränkt. Beide Querschnitte für die lokalen Erhebungen der freien Strecke wurden in Bereichen mit einer unbeschränkten Höchstgeschwindigkeit angeordnet. Aufgrund der ermittelten hohen Geschwindigkeiten wurden im Frühjahr 2009 erneut Messungen durchgeführt.

B 2 Roth

Die B 2 bei Roth ist eine von zwei gewählten RQ 28-ähnlichen Vergleichsstrecken. Der Untersuchungsabschnitt liegt südlich von Nürnberg und entspricht in seiner Charakteristik einer Autobahn. Die B 2 stellt die Verbindung zwischen den Städten Roth und Schwabach im Ballungsraum Nürnberg her. Bei Schwabach beginnt die Strecke in einem Kleeblatt-ähnlichen planfreien Knoten an der BAB 6 und verläuft in südlicher Richtung. Zur Zeit der Erhebungen wurde das derzeitige Ende der Strecke südlich von Roth ausgebaut. Im bestehenden Streckenteil nordöstlich von Roth erfolgte die Erhebung von lokalen- und Fahrtgeschwindigkeiten.

B 2 Roth (Ballungsraum Nürnberg)	
Länge (RQ 28 ähnlich):	12,9 km (im Ausbau)
V_{zul} freie Strecke:	frei (km/h)
Maximale Verkehrsstärke	1.500 Kfz/h
Messzeitraum:	17.09.2008
Fahrbahnbreite:	11,5 m
SV-Anteil:	10 % - 12 %
Maximale Längsneigung:	1,6 %

Tab. 20: B 2 Roth

Die Querschnitte R1 und R2 mit einem Abstand von 2,12 km zueinander, dienten zur Erfassung des Verkehrsablaufes. Im gesamten Bereich ist keine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit angeordnet. Auffällige Merkmale der Strecke sind die Breite beider Fahrstreifen mit 3,75 m und die Seitenstreifenbreite mit 3,00 m. Zwischen beiden Querschnitten erfolgte eine Fahrtgeschwindigkeitsmessung als auch eine lokale Erfassung des Verkehrsablaufs.

Die Videokameras wurden auf Brücken installiert. Mit Hilfe des Zeitstempels der Kameras und dem räumlichen Abstand beider Punkte konnten für diesen Abschnitt die Fahrtgeschwindigkeiten ermittelt und den lokalen Messungen gegenübergestellt werden.

B 6n Wernigerode

Nördlich des Harzes in Ost-West Richtung verläuft über eine Länge von 90 km die neugebaute B 6n, mit einer Querschnittsbreite von 28 m. Als zweite Vergleichsstrecke, hier mit außerörtlichem Charakter, wurde ein Abschnitt nördlich Wernigerode zwischen Reddeber und Benzingerode für die Untersuchungen ausgewählt. Im Verlauf der B 6n gibt es zwei Steigungsstrecken die eine Längsneigung zwischen 2 % und 3 % aufweisen. Im gesamten Untersuchungsbereich lag keine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit vor.

B 6n Wernigerode	
Länge (RQ 28 ähnlich):	15,4 km (U.-Abschnitt)
V_{zul} freie Strecke:	frei (km/h)
Maximale Verkehrsstärke	1.300 Kfz/h
Messzeitraum:	15.10.-16.10.2008 01.04.2009
Fahrbahnbreite:	10,5 m
SV-Anteil:	5 % - 16 %
Maximale Längsneigung:	2,8 %

Tab. 21: B 6n Wernigerode

An der B6n wurden an drei verschiedenen Querschnitten lokale Messungen durchgeführt. Neben diesen erfolgte die Erhebung der Fahrtgeschwindigkeiten zwischen zwei Messpunkten mit einem Abstand von 3,0 km zueinander.

Da dieser Tag im Bundesland Sachsen-Anhalt ein Feiertag ist, müssen die Messergebnisse für diese Querschnitte separat betrachtet werden. Inwiefern sie für weitere Analysen zu verwenden sind, ist im weiteren Vorgehen zu prüfen.

4.5 Verkehrsablauf freie Strecke RQ 21

4.5.1 Geschwindigkeiten

An 34 Messstellen wurde die Geschwindigkeit der Fahrzeuge erfasst. Die Querschnitte liegen entsprechend den in der Voruntersuchung definierten Rahmenbedingungen außerhalb der Einflüsse möglicher Störfaktoren und stellen somit Bereiche mit einem unbeeinflussten Verkehrsablauf dar. Aufgrund der planerischen Größen für die Geschwindigkeitsanordnungen auf Straßen der EKL 1 und EKL 2 mit Richtungstrennung sowie der §§ 3 und 18 StVO erfolgte eine Klassifizierung in der Messungen in drei Kollektive:

v_{zul} [km/h]	Messungen	Strecken	Maximale Verkehrsstärke [Kfz/h]
100	14	5	2.500
120	10	4	1.600
frei	8	1	2.400

Tab. 22: Kollektive RQ 21, freie Strecke

Bild 17 zeigt die mittleren lokalen Geschwindigkeiten für die Klassen „freifahrende Pkw“ und „freifahrende Lkw“ aufgetragen über die einzelnen Erhebungsstellen. Die vertikale Linie jedes Balkens symbolisiert die Standardabweichung s der jeweiligen Klasse. Die Verteilungsfunktionen beruhen auf einer Klassifizierung der Geschwindigkeitswerte in einer Klassenbreite in 5 km/h Schritten. Die Beschriftung der Messstellen setzt sich aus der Stre-

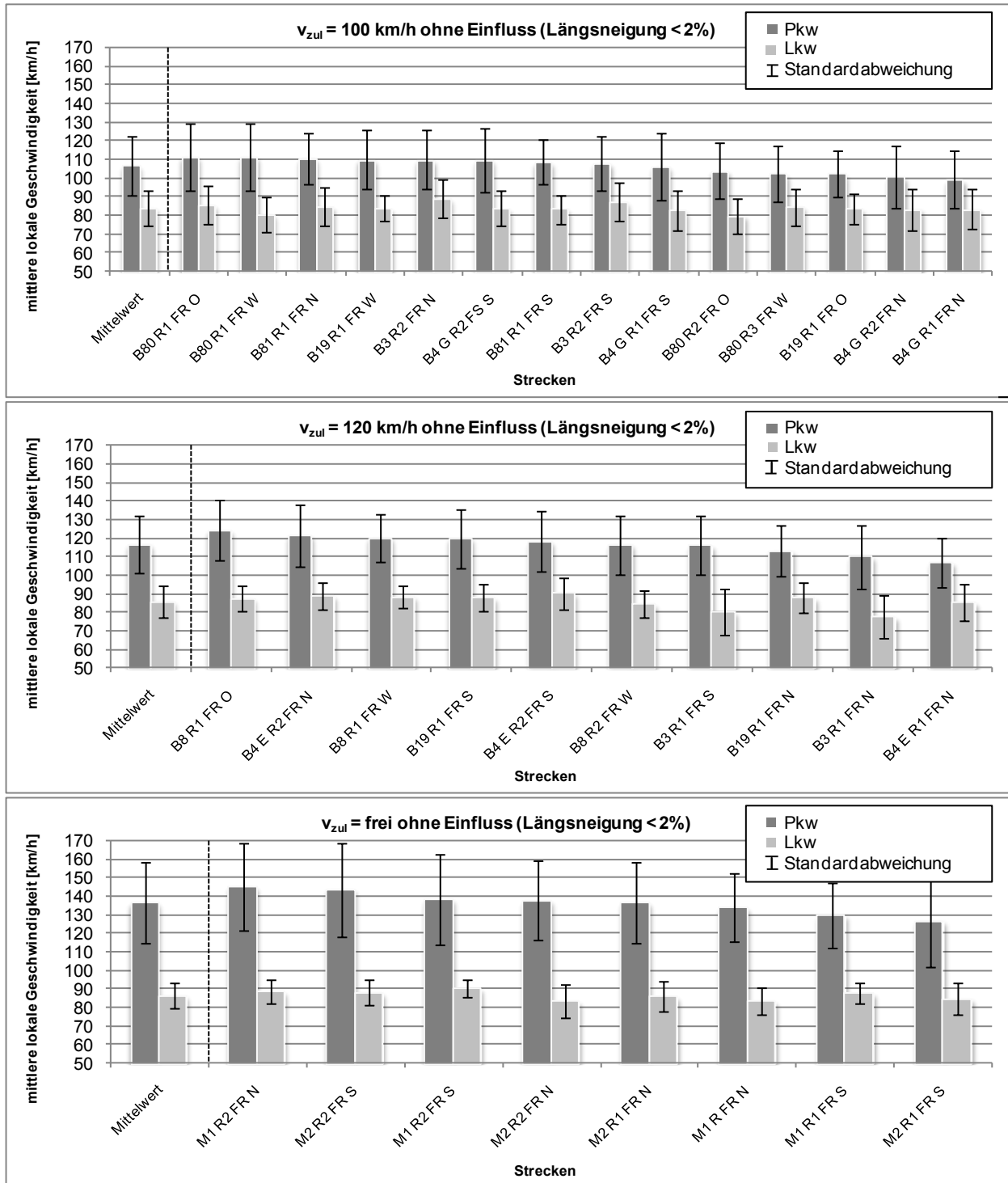


Bild 17: lokale Geschwindigkeiten der Typen RQ 21- ähnliche Strecken mit unterschiedlicher v_{zul}

ckenbezeichnung, der Nummer des Querschnittes und der Fahrtrichtung der Fahrzeuge nach Himmelsrichtung zusammen. Da im Kollektiv „ $v_{zul} = frei$ “ alle Querschnitte von der B 469 Aschaffenburg stammen, wurde an Stelle der Straßenbezeichnung die Nummer der ersten Messung (M 1) und der wiederholten Messungen (M 2) vergeben. Die Messungen an der B 4 in der Nähe der Orte Erfurt und Gifhorn sind mit E bzw. G gekennzeichnet.

Im Kollektiv „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “ sind mit 14 Messungen von fünf verschiedenen Strecken die meisten Erhebungen aller Kollektive enthalten. Die höchste gemessene Verkehrsstärke beträgt 2.500 Kfz/h. Mit der B 80 Halle besitzt das Kollektiv eine Strecke mit vier Messungen, welche auf Abschnitten mit ausschließlich plangleichen Knotenpunkte erhoben wurden. Für diese Teilgruppe werden in der weiteren Analyse des Verkehrsablaufs in einigen Bereichen gesonderte Betrachtungen durchgeführt.

Von vier verschiedenen Strecken stammen die zehn Messungen im Kollektiv „ $v_{zul} = 120 \text{ km/h}$ “. Mit einer maximalen Höhe von 1.600 Kfz/h sind die erhobenen Verkehrsstärken eher gering.

Das Kollektiv „ $v_{zul} = frei$ “ wird lediglich aus acht Messungen an der Strecke B 469 Aschaffenburg gebildet. Streckenabschnitte ohne Geschwindigkeitsbeschränkung stellen auf RQ 21- ähnlichen Strecken die Ausnahme dar. Im Regelfall wird hier eine Beschränkung auf $v = 100$ oder $v = 120 \text{ km/h}$ angeordnet. Um einen Vergleich des Verkehrsablaufs mit RQ 28- ähnlichen Querschnitten zu ermöglichen, für die nach den RAA (FGSV, 2008B) keine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit vorgesehen ist, wird dieses Kollektiv mit in die Auswertung übernommen.

Um die Aussagekraft zu erhöhen, erfolgte ein halbes Jahr später eine wiederholte Aufnahme der freien Streckenabschnitte auf der B 469.

In Bild 18 sind die Verteilungen der freifahrenden Pkw für die einzelnen Typen dargestellt. Während jede dünne Linie die Geschwindigkeitsverteilung an einem Querschnitt charakterisiert, repräsentiert die dickere Linie den Mittelwert aus allen Messungen. Um eine übermäßige Beeinflussung des Mittelwertes durch einzelne Messungen mit einer großen Anzahl von Fahrzeugen auszuschließen, erfolgte die Ermittlung des gesamten Mittelwertes über die Verteilungsfunktionen der einzelnen Messungen. Bereits aus Bild 18 werden die Streuungen der Messwerte in den einzelnen Klassen ersichtlich. Die Verteilungen in den Kollektiven „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “ und „ $v_{zul} = 120 \text{ km/h}$ “ liegen nahe beieinander,

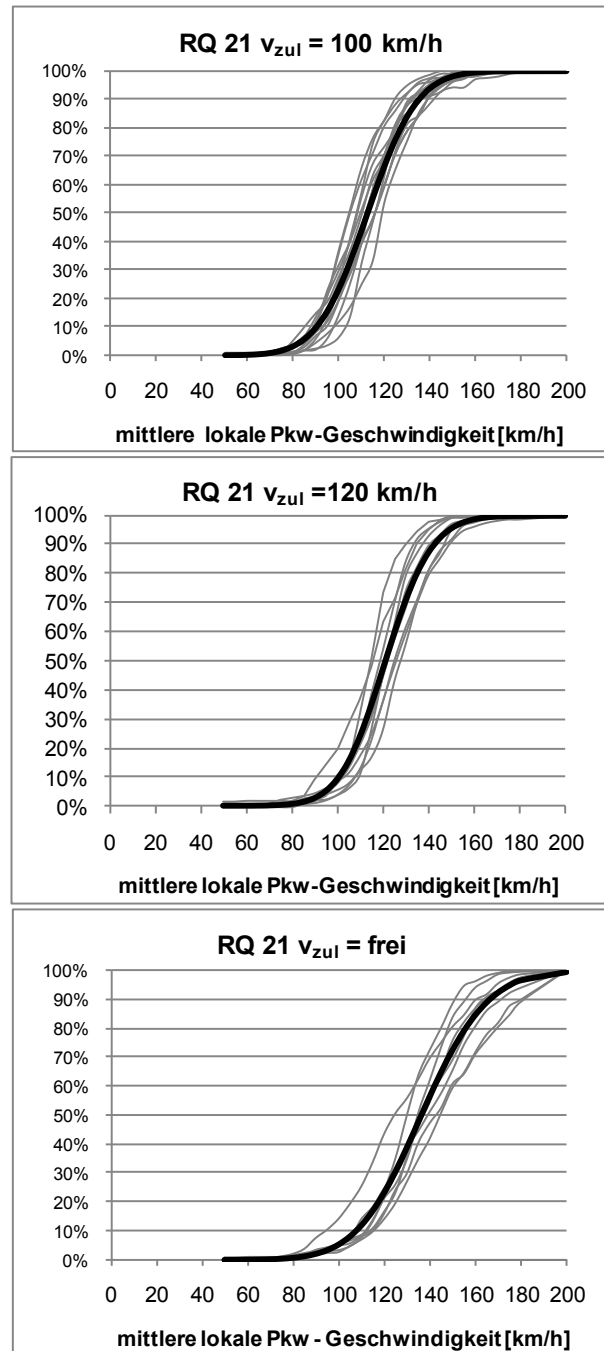


Bild 18: Verteilung v_{lok} freifahrender Pkw, (Zeitlücke $\geq 15 \text{ s}$) an einzelnen Messstellen und mittlere Verteilung der Stellen, RQ 21- ähnliche Abschnitte

während sie im Kollektiv „ $v_{zul} = frei$ “ einer größeren Streuung unterliegen. Dies wird besonders im Bereich hoher Geschwindigkeiten deutlich. Während bei allen drei Typen im Bereich geringer Geschwindigkeiten die Kurven eng beieinander liegen, streuen sie auf Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} weiter auseinander als es in den anderen Kollektiven der Fall ist. Die abweichende linksliegende Verteilung im Kollektiv „ $v_{zul} = frei$ “ ist mutmaßlich auf eine im Vorfeld liegende Geschwindigkeitsbeschränkung auf $v = 100 \text{ km/h}$

zurückzuführen. Trotz einem Abstand von über 400 m zur Änderung der Geschwindigkeitsbeschränkung, wirkt sich diese immer noch auf die Wunschgeschwindigkeiten aus.

Eine grafische Zusammenfassung der klassifizierten Werte für die mittleren lokalen Geschwindigkeiten v_{lok} getrennt nach den Fahrzeuggruppen ist Bild 19 zu entnehmen. Die vertikalen Linien entsprechen der jeweiligen Standardabweichung.

Die das Geschwindigkeitsverhalten beschreibenden Kenngrößen für Pkw sind in Tab. 23 aufgeführt. Es sind die Geschwindigkeiten v , die Standardabweichungen s , unterteilt für die Typenklassen Kfz, freifahrende Pkw und Lkw, sowie Exzeß und Schiefe der Verteilungen für die freifahrenden Pkw aufgeführt.

Die Standardabweichung beschreibt die Weite der Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert. Die Parameter Schiefe und Exzeß liefern Aussagen zur Symmetrie einer Kurve. Die Schiefe gibt Aufschluss über die Symmetrie einer Verteilung auf der X-Achse. Eine symmetrische Normalverteilung besitzt bspw. eine Schiefe von Null. Der Exzeß trifft eine Aussage über die Stauchung (negativ) oder Streckung (positiv) einer Kurve.

Für den Mittelwert der Geschwindigkeitskollektive wurde eine Prüfung der Pkw-Geschwindigkeiten untereinander mittels Kolmogoroff-Smirnoff Test durchgeführt, ob beide Funktionen aus der gleichen Grundgesamtheit stammen. Darüber hinaus erfolgte für jeden Einzelquerschnitt eine Prüfung der Funktion auf Normalverteilung mit Hilfe des Chi-Quadrat Anpassungstests. Bei einem komplett unbeeinflussten Verkehrsablauf ist davon auszugehen, dass die frei gewählten Geschwindigkeiten in ihrer Verteilung einer Normalverteilung gleichen. Die Geschwindigkeiten freifahrender Pkw entsprechen bei nur rund der Hälfte der Mess-

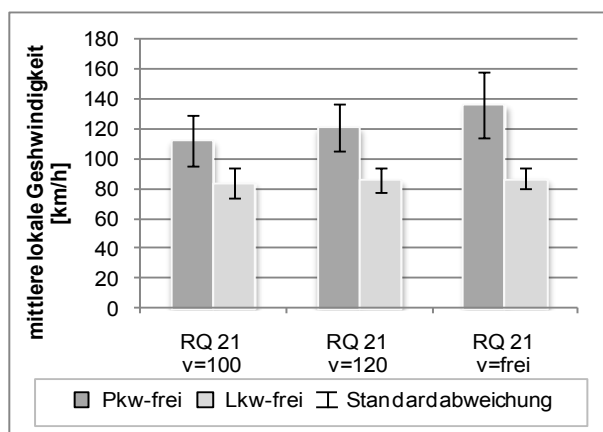


Bild 19: RQ 21- ähnliche Strecken, Zusammenfassung der v_{lok} für freifahrende Lkw und Pkw

querschnitte einer Normalverteilung. Dies lässt darauf schließen, dass an ca. 50 % der Messquerschnitte die Wahl der Wunschgeschwindigkeiten durch verschiedene Einflüsse geprägt wird.

Die mittlere lokale Geschwindigkeit für den Typ „ $v_{zul} = 100$ km/h“ liegt um 12,6 km/h über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Diese wird von 76,8 % der freifahrenden Pkw überschritten. Mit einem Wert von 129,7 km/h bewegt sich auch die v_{85} für diesen Streckentyp deutlich über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.

Geschwindigkeitsparameter Pkw-frei			
RQ 21			
Kollektiv	$v_{zul}=100$ [km/h]	$v_{zul}=120$ [km/h]	$v_{zul}=frei$ [km/h]
v_{lok} Pkw:	112,6	121,4	136,6
s Pkw:	17,1	15,6	22,1
v_{15} Pkw:	95,7	106,7	114,5
v_{50} Pkw:	111,5	121,5	136,3
v_{85} Pkw:	129,7	136,7	160,5
Schiefe*:	0,32	-0,02	-0,25
Exzeß*:	0,62	1,31	0,15

*beide Kenngrößen beziehen sich auf die Verteilung freifahrender Pkw und sind einheitenlos

Tab. 23: Parameter Geschwindigkeitsverteilung v_{lok} freifahrende Pkw, RQ 21- ähnliche Strecken

Die Tendenz unbehindert fahrender Pkw-Führer zur einer Überschreitung der v_{zul} ist auf Strecken mit einer angeordneten Höchstgeschwindigkeit von $v = 120$ km/h niedriger ausgeprägt als auf Strecken mit einer Beschränkung auf $v = 100$ km/h, denn eine weitaus geringere Überschreitungshäufigkeit der v_{zul} liegt auf Strecken mit „ $v_{zul} = 120$ km/h“ vor. Mit 53,2 % übertritt die Hälfte der freifahrenden Pkw-Führer das geltende Geschwindigkeitsgebot. Die mittlere Geschwindigkeit bewegt sich mit 121,4 km/h nur geringfügig über der v_{zul} von $v = 120$ km/h. Im Vergleich zu den Strecken mit $v_{zul} = 100$ km/h fällt die Standardabweichung etwas geringer aus. Gleiches gilt für die v_{85} , welche 16,7 km/h über der v_{zul} liegt und damit in ihrer Höhe um 13,0 km/h niedriger im Grad der Abweichung zur v_{zul} im Vergleich zum Kollektiv „ $v_{zul} = 100$ km/h“ ausfällt.

Der Mittelwert auf Strecken ohne Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit liegt bei 136,6 km/h. Damit wird mit einem Unterschied von 15,2 km/h im Vergleich zur Klasse „ $v_{zul} = 120$ km/h“ deutlich schneller gefahren. Der Unterschied zwi-

schen einer Beschränkung der v_{zul} von 100 oder 120 km/h beträgt 8,8 km/h. Dass im Kollektiv „ $v_{zul} = frei$ “ die höchste Standardabweichungen bei der Geschwindigkeitswahl auftritt, ist auf die fehlende Beschränkung der v_{zul} zurückzuführen. In Bild 20 sind die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der empirisch ermittelten Kurven und der zugehörigen Normalverteilungen (gleicher Mittelwert und Standardabweichung) dargestellt.

Die hohe Überschreitungshäufigkeit der v_{zul} im Zusammenhang mit der Linksschiefe zeigt für Strecken mit einer v_{zul} von 100 km/h, dass der überwiegende Teil der Verkehrsteilnehmer eine Geschwindigkeit über der v_{zul} anstrebt. Die Bereitschaft, langsamer als erlaubt zu fahren, ist weniger vorhanden als das Bedürfnis schneller zu fahren. Als Ursache ist die optische Erscheinung des zweibahnig vierstreifigen Querschnitts zu vermuten, denn er wird mit dem Verkehrsablauf auf BAB assoziiert.

Die Wunschgeschwindigkeiten für Strecken mit einer v_{zul} von 120 km/h streuen nur geringfügig um den Mittelwert. Aus den Symmetrieparametern ist eine deutliche Streckung der Kurve abzulesen (Bild 20). Im Bereich des Mittelwertes sind die gezählten Fahrzeuge überrepräsentiert. Dies zeigt die von allen Klassen geringste Standardabweichung mit 15,6 km/h. Aus dem Schiefeparameter wird deutlich, dass die Verteilung der Geschwindigkeitsverteilung nahezu symmetrisch ist. Untermauert wird dies durch die geringen Differenzen der v_{15} und v_{85} zur v_{50} .

Die Überstreckungen der Verteilungskurven an Strecken, die eine Beschränkung der v_{zul} besitzen, sind auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer zurückzuführen. Die Wahl der Wunschgeschwindigkeiten ist im Vergleich mit dem Kollektiv „ $v_{zul} = frei$ “, nicht absolut frei. Ohne Tempolimit wird aus den die Verteilung beschreibenden Parametern

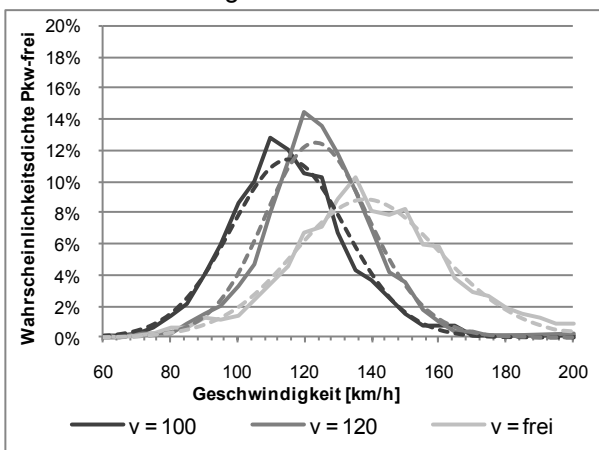


Bild 20: Wahrscheinlichkeitsdichte der verschiedenen v_{lok} im Vergleich mit der entsprechenden Normalverteilung

deutlich, dass auf diesen Strecken eine relativ gleichmäßige Verteilung der Wunschgeschwindigkeiten stattfindet. Eine starke Bündelung der Geschwindigkeiten in einem Bereich liegt kaum vor (was zu der erwähnt hohen Standardabweichung führt). Die negative Schiefe lässt darauf schließen, dass im Vergleich zu den beiden anderen Kollektiven die Pkw-Führer eher niedrigere Geschwindigkeiten wählen, jedoch eine größere Streuung im Bereich höherer Geschwindigkeiten auftritt. Deshalb fällt mit 21,8 km/h die Abweichung zwischen v_{15} und v_{50} geringer aus als die Differenz zwischen v_{50} und v_{85} mit 24,2 km/h.

Der Vergleich der Geschwindigkeiten von Strecken mit einer Anordnung von plangleichen und teilplanfreien (planfrei auf Untersuchungsabschnitt) Knotenpunkten soll die Frage klären, ob und in welchem Umfang die Knotengrundform und –art einen Einfluss auf das Fahrverhalten der freien Strecke besitzt. Dabei geht es nicht um die Abschätzung von Einflussbereichen der Knotenpunkte. In der Auswertung erfolgte eine Unterteilung des Kollektivs „ $v_{zul} = 100$ km/h“ in Streckenabschnitte mit einer stetigen Abfolge von plangleichen (LSA-geregelten) und (teil-)planfreien Knotenanschlüssen. Alle vier Querschnitte der plangleichen Variante stammen von der gleichen Untersuchungsstrecke.

Kollektiv "v _{zul} = 100 km/h", Pkw-frei		
Folge Knotengrundform	(teil-) planfrei [km/h]	plangleich (LSA) [km/h]
Anzahl Messquerschnitte	10	4
v_{lok} Pkw:	112,9	111,8
s Pkw:	15,8	18,6
v_{15} Pkw:	96,8	92,9
v_{50} Pkw:	111,5	111,7
v_{85} Pkw:	129,2	131,0
Schiefe:	0,39	0,22
Exzeß:	0,90	0,05

Tab. 24: Parameter v_{lok} freifahrende Pkw, „ $v_{zul} = 100$ km/h“, Vergleich planfrei, plangleich

Bild 21 und Tab. 24 enthalten Verteilungsfunktion sowie Geschwindigkeitsparameter beider Teilkollektive. Auf Strecken mit einer plangleichen Führung liegt die mittlere Geschwindigkeit um 1,1 km/h unter dem Wert des Vergleichskollektivs. Auch die Differenz der Standardabweichung liegt auf einem höheren Niveau.

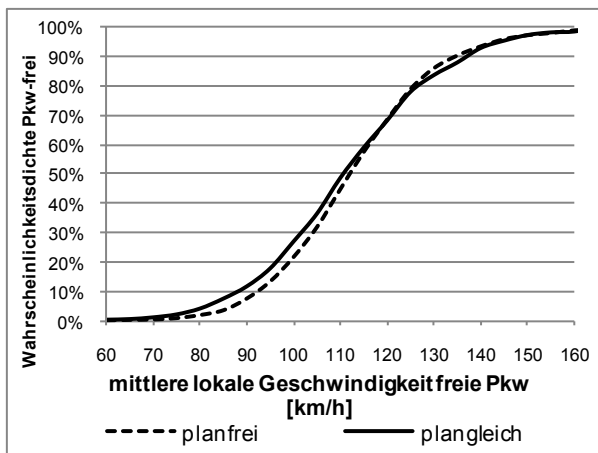


Bild 21: Verteilungsfunktion v_{10k} freifahrende Pkw Kollektiv „ $v_{zul} = 100$ km/h“ (teil-) planfreie und plangleiche Streckenführung, RQ 21- ähnlich

Die Kurvenverläufe zeigen, dass auf Abschnitten mit (teil-) planfreien Knotenpunkten eine stärkere Bündelung der freien Pkw- auftritt. Dies kann im Zusammenhang mit einem veränderten Verkehrsablauf aufgrund der Knotencharakteristik stehen. Eine durchgehende Streckengestaltung mit (teil-) planfreien Knotenpunkten führt – im Gegensatz zu einer Streckengestaltung mit plangleichen Knotenpunkten – aufgrund der nicht vorhandenen Unterbrechungen des Verkehrsablaufes zu einer stärkeren Homogenisierung der Geschwindigkeiten. Eine Überprüfung, ob beide Verteilungen aus einer gemeinsamen Grundgesamtheit stammen, zeigte bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,01$ keinen signifikanten Unterschied.

Aufgrund der geringen Unterschiede kann davon ausgegangen werden, dass auf Streckenabschnitten außerhalb der Einflüsse anderer Teilelemente die allgemeine Ausstattung der Gesamtstrecke mit plangleichen oder (teil-) planfreien Knotenpunkten einen geringen Einfluss auf das Geschwindigkeitsverhalten besitzt.

Die Auswertung der Geschwindigkeiten freifahrender Lkw wurde ebenfalls für die drei Kollektive nach v_{zul} durchgeführt.

Aus Bild 22 sind die gemittelten Wahrscheinlichkeitsdichten der Geschwindigkeitskollektive zu entnehmen. Die Verteilungen weichen von einer entsprechenden Normalverteilung ab. Dabei spiegelt sich in den Kurvenparametern und -verlauf für die Kollektive „ $v_{zul} = 120$ km/h“ und „ $v_{zul} = frei$ “ das typische Fahrverhalten der Lkw auf zweibahnig vierstreifigen Straßen wider. Im Vergleich zu Pkw-Führern sind Lkw-Führer bestrebt, im Rahmen der Möglichkeiten, eine möglichst hohe Geschwindigkeit zu erreichen. Diese wird durch die verkehrsrechtliche Anordnung und technischen Geschwindigkeitsbegrenzer für Lkw beschränkt. Demzufolge

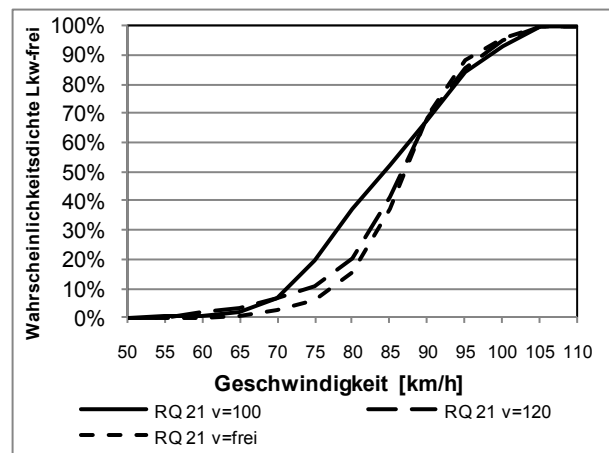


Bild 22: Verteilungsfunktion v_{10k} freifahrende Lkw, Strecken RQ 21- ähnlich

ist der untere Bereich des Kurvenverlaufs im Vergleich zur Normalverteilung eher unterbesetzt. Die Geschwindigkeiten von über 95 km/h sind u. a. auf die (Fehl-)Detektion von Reisebussen oder größeren Pkw-Anhängergespanssen zurückzuführen.

Geschwindigkeitsparameter Lkw-frei			
	RQ 21		
Kollektiv	$v_{zul}=100$ [km/h]	$v_{zul}=120$ [km/h]	$v_{zul}=frei$ [km/h]
v_{10k} Lkw:	84,0	85,9	86,7
s Lkw:	9,7	8,5	7,0
v_{15} Lkw:	73,8	76,9	79,8
v_{50} Lkw:	83,7	86,3	86,5
v_{85} Lkw:	95,0	94,8	93,7
Schiefe:	0,04	-0,88	-0,39
Exzeß:	0,11	2,28	1,75

Tab. 25: Parameter v_{10k} freifahrende Lkw, RQ 21- ähnliche Strecken

Bei Vergleich der Geschwindigkeitstypen tritt in der Gruppe „ $v_{zul} = 100$ km/h“ die geringste Geschwindigkeit freifahrender Lkw mit 84,0 km/h auf, gefolgt vom Kollektiv „ $v_{zul} = 120$ km/h“ mit 85,9 km/h. Auf Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} liegt die Geschwindigkeit nochmals um 1,8 km/h höher. Während es zwischen der Verteilung der Kollektive „ $v_{zul} = 100$ km/h“ und „ $v_{zul} = 120$ km/h“ einen signifikanten Unterschied gibt, konnte dieser zwischen den Klassen „ $v_{zul} = 120$ km/h“ und „ $v_{zul} = frei$ “ nicht nachgewiesen werden.

Die Unterschiede in den mittleren Geschwindigkeiten begründen sich vorrangig aus der Streckencharakteristik. Denn Strecken mit einer Be-

schränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit weisen in ihrem Verlauf öfters teilplangleiche Knotenpunkte oder Kreuzungen/Einmündungen auf, häufig mit einer dichten Abfolge von Knotenpunkten verbunden. Der Streckenzug des Kollektivs „ $v_{zul} = \text{frei}$ “ besitzt in seinem gesamten Verlauf planfreie Knotenanschlüsse der Hauptfahrbahn. Diese Aspekte, verbunden mit dem Beschleunigungsverhalten von Lkw, finden sich in den unterschiedlichen Mittelwerten wieder.

Deutlich wird weiterhin die abnehmende Streuung in den Kollektiven mit Zunahme der v_{zul} . Dies ist mutmaßlich auf die Ausprägungen der Strecken zurückzuführen. Die Gruppe „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “ wird zu einem Teil von Strecken geprägt, deren Gesamtlänge relativ kurz ausfällt (B 4 Gifhorn, B 19 Würzburg). Die Messwerte in der Gruppe „ $v_{zul} = \text{frei}$ “ stammen hingegen alle von der B 469 Aschaffenburg, einer Strecke die ursprünglich als Autobahn konzipiert war und ihren Charakter über einer Streckenlänge von 30 km beibehält. Auffällig ist die gleichmäßige Verteilung der Geschwindigkeitsanteile in den Klassen der Gruppe „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “ Diese Besonderheit ist nicht auf eine bestimmte Querschnittserhebung zurückzuführen.

Die Trennung nach Streckenabschnitten zwischen je plangleichen und (teil-) planfreien Knotenpunktgrundformen (Tab. 26) zeigt, dass die mittlere Geschwindigkeit auf Strecken mit (teil-) planfreier Führung um 2 km/h höher liegt. Die Höhe der v_{50} besitzt in beiden Teilkollektiven mit 95,2 und 94,4 km/h nahezu das gleiche Niveau. Mit Hilfe des Kolmogoroff-Smirnoff-Tests wurde jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Verteilungen ermittelt. Daher wird in den weiteren Arbeitsschritten auf eine getrennte Betrachtung der Strecken verzichtet.

Kollektiv " $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ ", Lkw-frei		
Knotenpunktgrundform	planfrei [km/h]	plangleich (LSA) [km/h]
Anzahl Messquerschnitte	10	4
v_{lok} Lkw:	84,7	82,7
s Lkw:	9,7	9,7
v_{15} Lkw:	74,2	72,7
v_{50} Lkw:	84,5	81,7
v_{85} Lkw:	95,2	94,4
Schiefe:	0,01	0,26
Exzeß:	0,31	-0,27

Tab. 26: Parameter v_{lok} freifahrende Lkw „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “, Vergleich Einfluss Knotenpunktgrundform

Eine Zusammenfassung der Messergebnisse in q-V-Diagrammen (bestimmt aus den 5 min Intervallen) für die einzelnen Geschwindigkeitstypen enthält Bild 23.

Es zeigt für eine Richtungsfahrbahn die Mittelwerte der momentanen Pkw-Geschwindigkeiten, hochgerechnet auf Stundenwerte, basierend auf der Erfassung von 5-min Intervallen. Da in dieser Abbildung die Verkehrsdaten verschiedener Strecken zusammenfließen, die sich in ihrer Verkehrszusammensetzung unterscheiden, wurde der Mittelwert des Schwerverkehrs über alle Messintervalle angegeben. Die Längsneigung liegt bei allen Messprofilen unter 2 %.

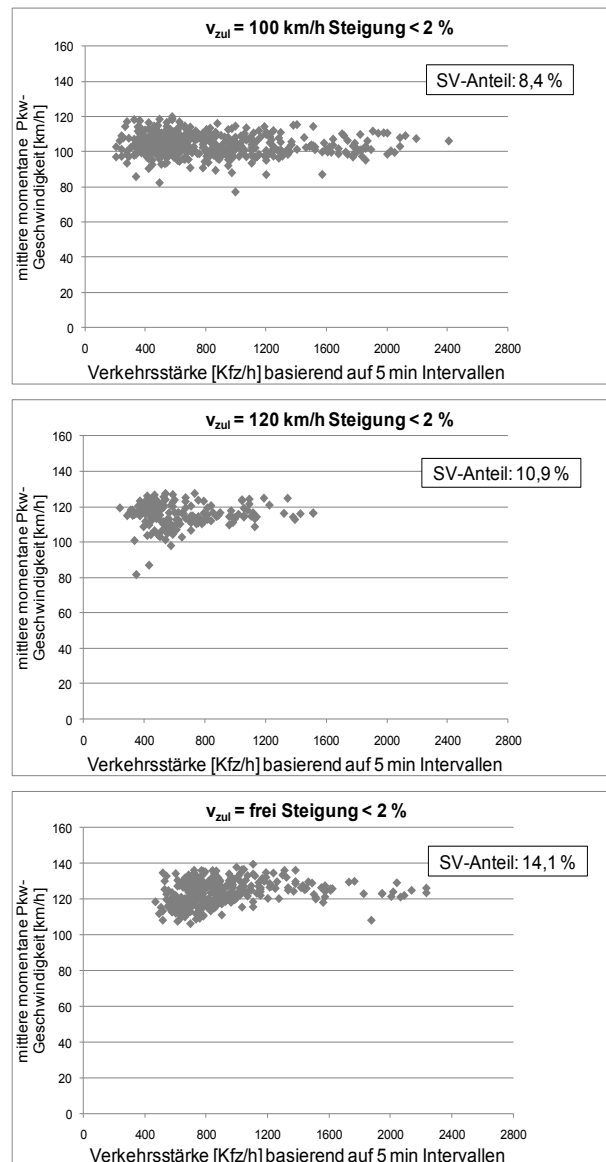


Bild 23: q-V-Diagramme Kollektive RQ 21- ähnliche Strecken, mittlere momentane Pkw-Geschwindigkeiten, Bestimmung aus 5 min Intervallen

Für das Kollektiv „ $v = 100 \text{ km/h}$ “ wurden Verkehrsstärken zwischen 300 und 2.500 Kfz/h erfasst. Dabei streuen die Geschwindigkeiten zwischen 80 und 120 km/h. Mit zunehmender Verkehrsstärke verringert sich die Streuung der Geschwindigkeiten. Der Grund liegt im geringen Schwerverkehrsanteil von $< 5 \%$ bei den Messwerten ab einer Verkehrsstärke von 1.600 Kfz/h. Je geringer die Verkehrsstärke, desto öfter werden die Messintervalle durch einen hohen Schwerverkehrsanteil geprägt.

Die geringste Spannweite der beobachteten Verkehrsstärken mit 200 bis 1.600 Kfz/h weist das Kollektiv „ $v_{zul} = 120 \text{ km/h}$ “ auf. Die erfassten mittleren momentanen Pkw-Geschwindigkeiten variieren mit Ausnahmen zwischen 100 und 130 km/h. Der mittlere Schwerverkehrsanteil beträgt 10,9 %. Auch für dieses Kollektiv ist festzustellen, dass der Schwerverkehrsanteil mit Zunahme der Verkehrsstärke tendenziell abnimmt. Alle Messintervalle mit einer Verkehrsstärke über 1.100 Kfz/h weisen einen maximalen Schwerverkehrsanteil von 10 % auf.

Gleiche Eigenschaften wie die Kollektive mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung weist das Kollektiv „ $v_{zul} = \text{frei}$ “ auf. Die breitere Streuung der mittleren Pkw-Geschwindigkeiten beruht auf einer höheren Streuung des Schwerverkehrsanteils in der Verkehrszusammensetzung der Messintervalle. Mit Zunahme der Verkehrsstärke verringert sich neben dem Schwerverkehrsanteil in den Messintervallen auch der Streubereich der mittleren Pkw-Geschwindigkeiten. Dabei verringerten sich die maximal auftretenden Geschwindigkeiten von 140 auf 130 km/h.

Eine Trennung der Messquerschnitte nach dem Lagekriterium innerhalb/außerhalb von Ballungsräumen (DIW, 2005) wie bei den Verfahren für Autobahnabschnitte außerhalb der Knotenpunkte üblich, erfolgte für die Kollektive mit Geschwindigkeitsbeschränkung (FGSV, 2001). Da die Messungen im Kollektiv „ $v_{zul} = \text{frei}$ “ nur auf Erhebungen an einer Strecke resultieren, wird dieser Geschwindigkeitstyp nicht mit betrachtet. Die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten der Messintervalle wurden in einer Klassenbreite von 100 Kfz/h (mindestens drei Einzelwerte), getrennt nach dem Lagekriterium zusammengefasst. Bild 24 beinhaltet die Werte der vier Teilkollektive.

Für beide Geschwindigkeitstypen wird deutlich, dass sich die Geschwindigkeiten unter Berücksichtigung des Lagekriteriums nur geringfügig unterscheiden. Im Kollektiv „ $v_{zul} = 120 \text{ km/h}$ “ liegen die mittleren Pkw-Geschwindigkeiten an Messstrecken außerhalb von Ballungsräumen trotz eines im

Mittel um 4 % geringeren Schwerverkehrsanteils geringfügig über dem Niveau der Streckenabschnitte innerhalb von Ballungsräumen.

Bei Verkehrsstärken unter 500 Kfz/h weisen Strecken innerhalb von Ballungsräumen im Kollektiv „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “ höhere mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten als Strecken außerhalb von Ballungsräumen auf. Die maximale Differenz des Schwerverkehrsanteils in den Klassen liegt unter 3 %. Ab einer Verkehrsstärke von 500 Kfz/h bewegen sich die Werte beider Teilkollektive auf gleichem Niveau.

Für den erhobenen Verkehrsstärkebereich kann bezüglich des Lagekriteriums kein Unterschied hinsichtlich der mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten für Strecken mit einer v_{zul} auf 100 bzw. 120 km/h abgeleitet werden. Als mögliche Erklärung kommt neben der Restriktion durch die Beschränkung der v_{zul} die Charakteristik der Strecken mit geringen Abschnittslängen (siehe Kap. 3.2) in Betracht. Eine differenzierte Ausprägung der Wunschgeschwindigkeiten findet auf solchen kurzen Abschnitten nicht statt. Ein Großteil der Untersuchungsstrecken liegt im Vorfeld größerer Agglomerationen (bspw. Würzburg, Erfurt), welche nach Definition (DIW, 2005) nicht als Ballungsräume definiert sind. An diesen Strecken wurden während der Messungen erhebliche Früh- und Nachmittagspitzen im Verkehrsaufkommen registriert, welche auf einen hohen Anteil von Berufspendlern schließen lassen. Dies lässt auf einen Verkehrsablauf und Geschwindigkeitsverhalten wie er eher in Ballungsräumen vorzufinden ist schließen.

Eine Trennung des Verkehrsablaufes auf Strecken des RQ 21 nach der bisherigen Definition für Ballungsräume ist daher nicht klar möglich. In den weiteren Untersuchungen erfolgt für alle Ge-

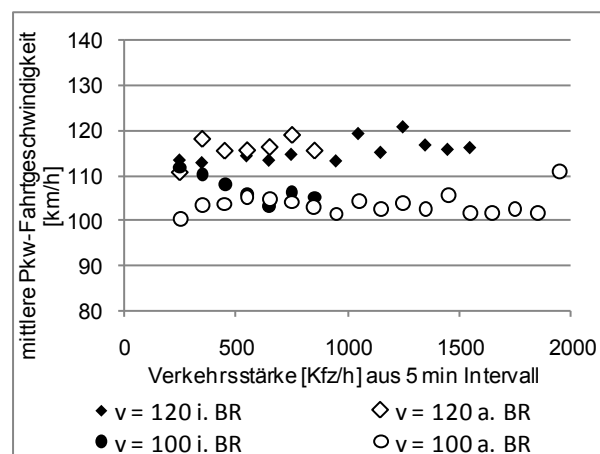


Bild 24: mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten nach Lagekriterium i. BR und a. BR

schwindigkeitskollektive eine einheitliche Betrachtung ohne eine Zuordnung nach dem Lagekriterium innerhalb/außerhalb von Ballungsräumen.

4.5.2 Differenzgeschwindigkeit Fahrstreifen

Für die drei Geschwindigkeitstypen erfolgte eine Auswertung der Geschwindigkeitsdifferenzen der Fahrzeuge zwischen linkem und rechtem Fahrstreifen anhand der v_{lok} . Die Analyse umfasste die mittleren Geschwindigkeiten aller in einem 5 min Intervall erfassten Kfz auf beiden Fahrstreifen. Um die Aussagekraft der Einzelkollektive zu erhöhen wurden nur Intervalle mit einer Anzahl von mindestens 20 Fahrzeugen, davon mindestens 5 im linken Fahrstreifen, berücksichtigt.

Aus Bild 25 wird der breite Streubereich in allen drei Kollektiven bei einer Verkehrsstärke bis 1.100 Kfz/h deutlich. Auf Strecken mit einer v_{zul} von $v = 100$ km/h und $v = 120$ km/h treten ab einer Verkehrsstärke von 1.100 Kfz/h gegenüber den Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} geringere Differenzen der Geschwindigkeiten zwischen den Fahrstreifen auf. Über den gesamten betrachteten Verkehrsstärkebereich sind die höchsten Differenzen für Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} vorzufinden.

Der Unterschied zwischen den Kollektiven beruht unter anderem auf dem unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveau zwischen Lkw und Pkw, welches mit einer höheren v_{zul} gleichermaßen zunimmt. Für alle drei Kollektive gilt, dass mit Zunahme der Verkehrsstärke eine Abnahme der Geschwindigkeitsdifferenz eintritt. Dies ist auf eine verstärkte Anzahl der Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern zurückzuführen. Mit einer Zunahme der Verkehrsstärke können hohe Wunschgeschwindigkeiten seltener verwirklicht werden. Im Bereich sehr hoher Verkehrsstärken ist

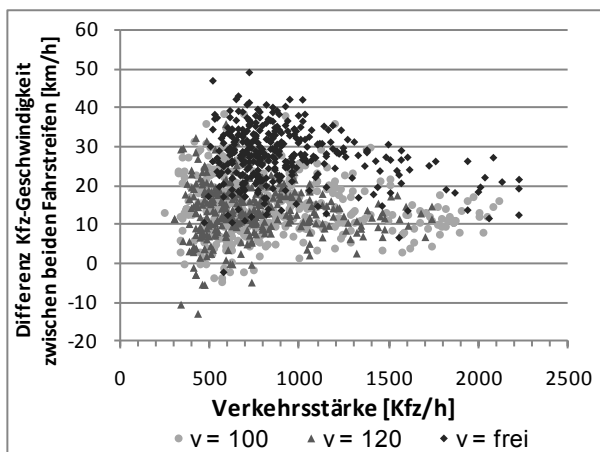


Bild 25: Differenzgeschwindigkeit zwischen linken und rechten Fahrstreifen, v_{lok}

davon auszugehen, dass sich die mittleren Geschwindigkeiten in beiden Fahrstreifen nur noch geringfügig unterscheiden.

4.5.3 Schwerverkehr

Der Schwerverkehr wurde an allen Messprofilen fahrstreifenfein lokal durch Detektion ermittelt. Eine Einschränkung durch ein Lkw-Überholverbot lag nirgends vor.

Für alle Querschnitte an freien Strecken einschließlich der Abschnitte mit RQ 28 ergibt sich im Mittel ein Schwerverkehrsanteil von 11,4 %. Dabei nutzen 96,7 % der Lkw den rechten Fahrstreifen. In Bezug auf die Gesamtverkehrsstärke liegt der Schwerverkehrsanteil im linken Fahrstreifen für alle Kollektive unter 1 %. Der höchste in einem Intervall im linken Fahrstreifen gemessene Wert beträgt 6,1 %. Zwischen der Auftretenswahrscheinlichkeit von Lkw im linken Fahrstreifen und der Höhe des Schwerverkehrsanteils konnte aus den Messdaten kein Zusammenhang abgeleitet werden.

Bild 26 zeigt den Zusammenhang zwischen sinkendem SV-Anteil und den gleichzeitig steigenden Verkehrsstärken für die erhobenen Strecken (Zusammenfassung aller drei Kollektive RQ 21- ähnliche) deutlich und bestätigt die Anordnung der Messwerte in den q-V-Diagrammen. Unabhängig vom Geschwindigkeitstyp sinkt mit zunehmender Verkehrsstärke der SV-Anteil ab. Es ist anzunehmen, dass sich die absolute Anzahl gemessener Lkw je Zeitintervall relativ unabhängig von Verkehrsstärke und Tageszeit auf gleichem Niveau bewegt. Veränderungen der Verkehrsstärke sind eher durch eine überproportionale Zu- und Abnahme der Pkw-Anzahl gekennzeichnet.

4.5.4 Fahrstreifenwahl

Die Fahrstreifenwahl der Verkehrsteilnehmer wird neben der Verkehrsstärke und dem SV-Anteil

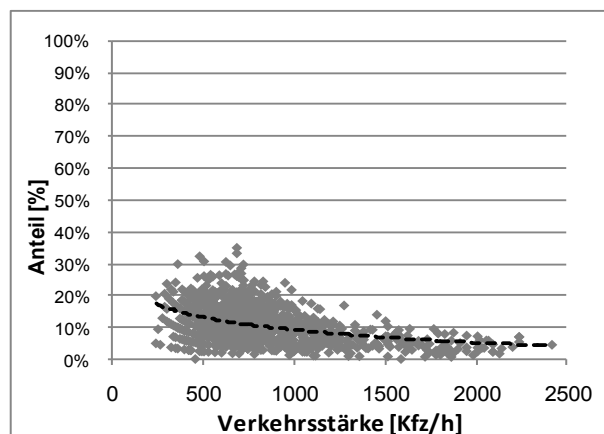


Bild 26: Schwerverkehrsanteil und Gesamtverkehrsstärke, alle Querschnitte freie Strecke, RQ- 21 ähnliche

mutmaßlich durch die Zielwahl am nächsten Knotenpunkt beeinflusst. Während bei einer (teil-) planfreien Grundform des Knotens lediglich die Entscheidungswahl Ausfahren oder Verbleib auf der Hauptstrecke besteht, ist an (LSA- geregelten) plangleichen Kreuzungen in der Regel auch das Linksabbiegen möglich. Diese weitere Option und die Möglichkeit, dass langsamere Verkehrsteilnehmer aufgrund des besseren Beschleunigungsvermögens an LSA-Knoten im linken Fahrstreifen Lkw besser überholen können, besitzen möglicherweise einen Einfluss auf die Fahrstreifenwahl der Kfz auf der freien Strecke. Auf dieser Annahme aufbauend wurde eine getrennte Betrachtung der Messquerschnitte der freien Strecke nach den Kriterien:

- Querschnitt zwischen zwei (teil-) plangleichen Knotenpunkten (pg)
- Querschnitt zwischen zwei (teil-) planfreien Knotenpunkten (pf)

durchgeführt.

Für die Analyse der Fahrstreifenwahl auf Abschnitten zwischen (teil-) planfreien Knoten erfolgte die Bewertung nach zwei verschiedenen Ansätzen.

In Variante 1 wurde die Belegung des rechten Fahrstreifens anhand der Geschwindigkeitstypen der RQ 21- ähnlichen Strecken bestimmt. Eine Unterscheidung nach den bereits in den q-V-Diagrammen gewählten Klassen des Schwerverkehrsanteils erfolgt in Variante 2. Für die einzelnen Verteilungen wurde der Mittelwert der Messwerte in Klassen mit einer Breite von 100 Kfz/h zusammengefasst. Die Darstellung der Kurven erfolgt über exponentielle Regression. Die Parameter sind Tab. 27 zu entnehmen. Die Übersicht beschränkt sich aufgrund der erhobenen Datenbreite auf den Verkehrsstärkenbereich, für den eine Anzahl von

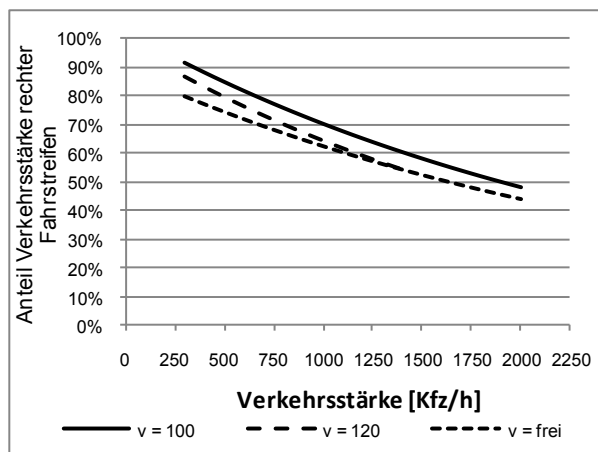


Bild 27: Kfz-Belegung des rechten Fahrstreifens auf der freien Strecke RQ 21- ähnliche, (teil-) planfrei, nach v_{zul}

mindestens drei Messwerten vorlag. Für die Kollektive „ $v_{zul} = 100$ km/h“ und „ $v_{zul} = frei$ “ sowie „SV 0 – 5 %“ konnte ein hohes Bestimmtheitsmaß ($B > 0,8$) ermittelt werden. Durch den geringen Datenumfang im Bereich mittlerer Verkehrsstärken verringert sich die Aussagekraft für die Gruppen „SV 15 – 20 %“ und „SV > 20 %“.

Parameter Fahrstreifenbelegung				
Gruppe	Gleichung	Anzahl Werte	r^2	S [%]
nach Geschwindigkeit (km/h)				
$v = 100$ (pf)	$y = 1,0217 * e^{(-0,0004 * q)}$	333	0,80	0,12
$v = 120$	$y = 0,9861 * e^{(-0,0004 * q)}$	365	0,54	0,08
$v = frei$	$y = 0,8845 * e^{(-0,0004 * q)}$	334	0,60	0,08
$v = 100$ (pg)	$y = 0,9591 * e^{(-0,0004 * q)}$	126	0,60	0,09
nach SV – Anteil (%)				
0 - 5	$y = 1,0058 * e^{(-0,0004 * q)}$	267	0,82	0,13
5 - 10	$y = 0,9953 * e^{(-0,0004 * q)}$	383	0,71	0,12
10 - 15	$y = 1,0489 * e^{(-0,0005 * q)}$	247	0,60	0,11
15 - 20	$y = 1,0059 * e^{(-0,0006 * q)}$	172	0,55	0,10
über 20	$y = 0,9610 * e^{(-0,0005 * q)}$	89	0,40	0,09

Tab. 27: Parameter der Regression für Fahrstreifenbelegung, RQ 21- ähnliche Strecken

Betrachtet man die Fahrstreifenbelegung unabhängig vom Schwerverkehrsanteil wird deutlich, dass mit einer höher angeordneten v_{zul} der Strecke sich der Anteil der Kfz auf dem rechten Fahrstreifen verringert. Dabei ist die Differenz zwischen dem Kollektiv „ $v_{zul} = 100$ km/h“ und „ $v_{zul} = frei$ “ im Bereich geringer Verkehrsstärken am deutlichsten ausgeprägt. Es ist zu vermuten, dass aufgrund höherer Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Verkehrsteilnehmern auf Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} die Fahrzeugführer häufiger den linken Fahrstreifen nutzen als auf Strecken mit einer Beschränkung.

Der Verlauf der Kurven verändert sich mit zunehmender Verkehrsstärke in den einzelnen Klassen unterschiedlich. Jedoch ist eine Annäherung auf ein gleiches Niveau ab einer Verkehrsstärke von 1.000 bis 1.200 Kfz/h festzustellen.

Mit zunehmender Verkehrsstärke nutzen mehr Kfz den linken Fahrstreifen. Die ermittelten Kurven lassen darauf schließen, dass sich bei hohen Verkehrsstärken unabhängig von der Höhe der v_{zul} in allen Kollektiven eine gleiche Verteilung der Fahrzeuganzahl auf den Fahrstreifen ergibt. Einen signifikanten Unterschied gibt es jedoch nur zwischen den Kollektiven „ $v_{zul} = 100$ km/h“ und „ $v_{zul} = frei$ “. Die Aussagekraft wird durch einen parallel zur

Erhöhung der v_{zul} steigenden SV-Anteil in den Klassen eingeschränkt.

Wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit vernachlässigt und der Schwerverkehrsanteil jedes Messintervalles als Bezug gewählt (Bild 28), bleibt der degressive Kurvenverlauf erhalten. Jedoch bündeln sich die Kurven stärker im Bereich geringer Verkehrsstärken, was darauf hindeutet, dass hier die Fahrstreifenwahl unabhängig vom Schwerverkehrsanteil erfolgt. Mit steigender Verkehrsstärke streuen die Kurven stärker, wobei mit steigendem SV-Anteil die Belegung des rechten Fahrstreifens abnimmt. Bei einem Schwerverkehrsanteil > 10 % verringert sich die Belegung des rechten Fahrstreifens besonders deutlich. Mit einem höheren SV-Anteil nutzen Fahrzeugführer in einem Bereich von 750 bis 1.500 Kfz/h tendenziell eher den linken Fahrstreifen. Auch hier ist davon auszugehen, dass die Kurven bei hohen Verkehrsstärken auf einem annähernd gleichen Niveau wieder zusammentreffen. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Kurven liegt jedoch nicht vor.

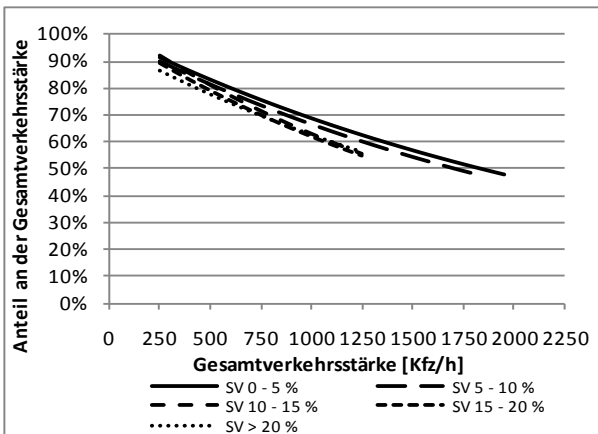


Bild 28: Kfz-Belegung des rechten Fahrstreifens auf der freien Strecke RQ 21- ähnliche, (teil-)planfrei, nach SV-Anteil

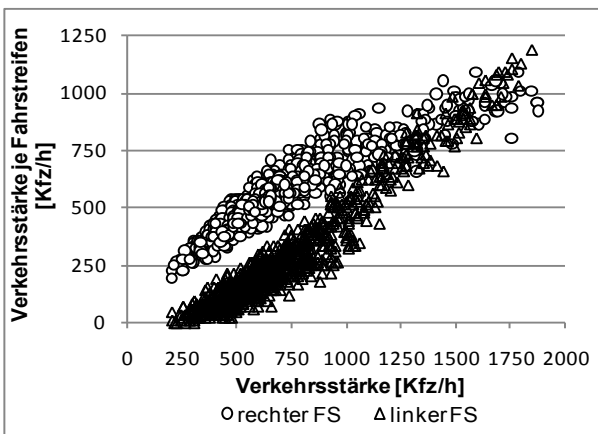


Bild 29: Entwicklung der Verkehrsstärke in den einzelnen Fahrstreifen, freie Strecke ohne Einflüsse

Die Zunahme der Verkehrsstärken in den einzelnen Fahrstreifen ist für den betrachteten Bereich zwischen 200 und 2.000 Kfz/h der freien Strecken nahezu konstant. Sowohl für die einzelnen Geschwindigkeitstypen als auch für die Einteilung nach SV-Anteil ergeben sich mit einer Ausnahme keine signifikanten Unterschiede. Jedoch kann die Vermutung getroffen werden, dass bei einer höheren v_{zul} der Strecke als auch bei einer Zunahme des SV-Anteils, Fahrzeugführer dazu neigen, vermehrt den linken Fahrstreifen zu nutzen.

Bild 29 stellt den Zusammenhang der Belastung RQ 21- ähnlicher Querschnitte, die an Strecken mit (teil-) planfreien Knotenpunktformen aufgenommen wurden, dar. Im Bereich geringer Verkehrsstärken steigt in beiden Fahrstreifen die Kfz Anzahl gleichmäßig an. Bei einer Verkehrsstärke kleiner 200 Kfz/h ist davon auszugehen, dass im linken Fahrstreifen nur vereinzelt Fahrzeuge auftreten. Ab einer Gesamtverkehrsstärke von ca. 1.000 Kfz/h findet eine zunehmende Durchmischung der Werte statt, der linke Fahrstreifen erfährt einen höheren Zuwachs an Kfz. Es wird deutlich, dass im Bereich geringer Verkehrsstärken anteilmäßig eine hohe Belegung des rechten Fahrstreifens vorherrscht, die sich mit zunehmender Kfz-Anzahl verringert. Ab einer Verkehrsstärke von ca. 1.750 Kfz/h ist davon auszugehen, dass sich der überwiegende Anteil der Kfz im linken Fahrstreifen bewegt.

Um eine Aussage über einen Unterschied der Fahrzeugverteilung zwischen Abschnitten mit (teil-) planfreier und plangleicher Führung zu treffen, erfolgt die Gegenüberstellung der Messwerte aus dem Kollektiv „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “ für beide Bereiche. Die Gruppe „(teil-) planfreie Führung“ wurde bereits im obigen Verfahren mit betrachtet.

Aus Bild 30 ist der Verlauf beider Kurven zu entnehmen. Aufgrund geringer Verkehrsstärken war eine Betrachtung der Gruppe mit plangleicher Füh-

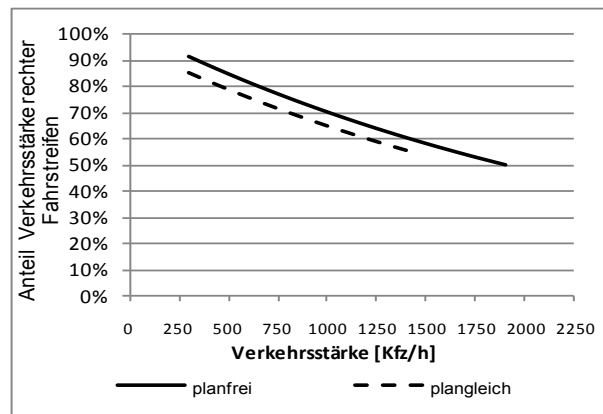


Bild 30: Kfz-Belegung des rechten Fahrstreifens auf der freien Strecke RQ 21- ähnliche, (teil-) planfrei und plangleich, nach $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$

nung nur bis zu einem Verkehrsaufkommen von 1.300 Kfz/h möglich. Im Bereich geringer Verkehrsstärken weist die Belegung des rechten Fahrstreifens beider Varianten mit 6 % die größte Differenz auf, wobei in der Gruppe der (teil-) planfreien Führung bei gleichem Verkehrsaufkommen mehr Kfz den rechten Fahrstreifen nutzen. Mit einer zunehmenden Gesamtanzahl an Fahrzeugen nähern sich die Kurven an. Auch hier ist davon auszugehen, dass sich diese im Bereich hoher Verkehrsstärken auf einem gleichen Niveau bewegen.

Als Ursachen für die geringfügig stärkere Nutzung des linken Fahrstreifens kommen die Zielwahl am folgenden Knoten sowie der Verkehrsablauf am vorangegangenen Knoten in Betracht. Es ist davon auszugehen, dass sich dieser Effekt mit einem zunehmenden Abstand der Knotenpunkte zueinander verringert. Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen war nicht festzustellen. Auf eine Betrachtung nach SV-Anteil wurde aufgrund der geringen Fallzahlen verzichtet. Der Schwerverkehrsanteil des Kollektivs „plangleiche Führung“ liegt mit 9 % um knapp 1 % über dem Wert der Gruppe „(teil-) planfreie Führung“.

4.5.5 Zeitlückenverteilung

Bei der Analyse der Zeitlückenverteilung ist die Verkehrsstärke zu berücksichtigen. Höhere Verkehrsstärken bedingen eine Verringerung der Zeitlücken zwischen den Kfz und somit steileren Anstieg des Kurvenverlaufes über die kumulierte Zeitlückenverteilung. Bei einem regelkonformen Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer wäre der Anteil der Kfz mit einer kritischen Zeitlücke minimal und würde sich unabhängig von der Verkehrsstärke nicht verändern.

Die Auswertung der Fahrzeugabstände für die drei Untersuchungskollektive ergab die in Bild 31 dargestellte Zeitlückenverteilung. Die Kurven repräsentieren die Mittelwerte der Verteilungen in den einzelnen Kollektiven aller Fahrzeuge am Querschnitt, klassifiziert in Intervallen mit je 1 s.

Die mittlere Verkehrsstärke beträgt 790 Kfz/h für „ $v_{zul} = 100$ km/h“, 680 Kfz/h für „ $v_{zul} = 120$ km/h“ sowie 890 Kfz/h für das Kollektiv „ $v_{zul} = frei$ “. Auffällig ist die hohe Unterschreitung der t_{krit} (1 s). Trotz geringer mittlerer Verkehrsstärken ist im Kollektiv „ $v_{zul} = 100$ km/h“ eine um 2 % höhere Unterschreitung als im Kollektiv „ $v_{zul} = frei$ “ festzustellen. Grund hierfür kann ein anderes Sicherheitsempfinden der Verkehrsteilnehmer auf Abschnitten mit einer niedrigen v_{zul} sein. Der Wert t_{empf} von 2 s wird in allen Kollektiven von mehr als einem Fünftel der Fahrzeugführer unterschritten

Um den Einfluss der Verkehrsstärke auf die Zeitlückenwahl zu differenzieren erfolgte eine vertiefende Betrachtung der Geschwindigkeitskollektive. Die einzelnen Messintervalle wurden anhand der jeweiligen mittleren Verkehrsstärke in Klassen mit einer Breite von 100 Kfz/h zusammengefasst und der mittlere Anteil der Kfz mit einer Zeitlücke t_{krit} bestimmt. Berücksichtigung fanden lediglich Klassen die mit mindestens drei Wertepaaren besetzt sind. Die Klassifizierung nach den Verkehrsstärken lässt die verschiedenen Unterschreitungshäufigkeiten in den Kollektiven deutlich werden.

Bild 32 verdeutlicht, dass überwiegend im Kollektiv $v_{zul} = 100$ km/h die höchsten Überschreitungen der t_{krit} auftreten. Bei gleicher Verkehrsstärke liegt der Anteil der Unterschreitungen für genanntes Kollektiv im Mittel um 3,5 % höher als in den andern Kollektiven. Mit zunehmender Verkehrsstärke nimmt der Anteil der Unterschreitungen kontinuierlich zu. Bei einer Verkehrsstärke von 1.500 Kfz/h wird die t_{krit} in allen drei Kollektiven von ca. 20 % der Fahrzeugführer unterschritten.

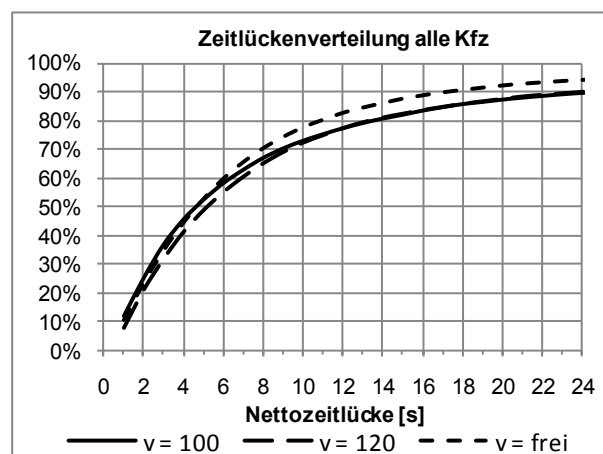


Bild 31: Nettozeitlückenverteilung aller Kfz, Geschwindigkeitstypen RQ 21- ähnlich

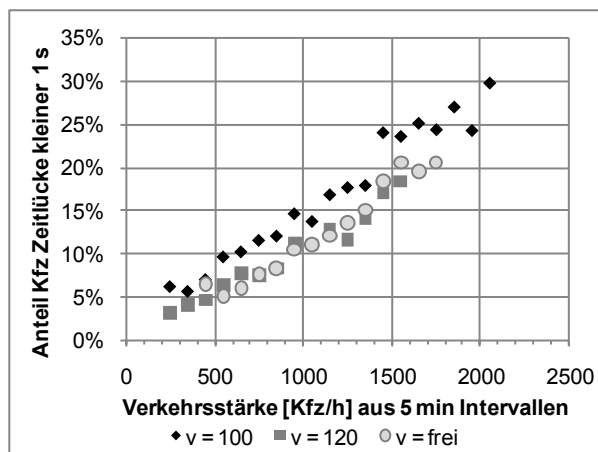


Bild 32: Unterschreitungshäufigkeit t_{krit} , Geschwindigkeitstypen

Im Vergleich zur t_{krit} nimmt der Anteil der Unterschreitungen der t_{empf} mit zunehmender Verkehrsstärke deutlicher zu. Während der Anteil der Unterschreitung bei einer Verkehrsstärke von 500 Kfz/h im Mittel aller Kollektive bei ca. 19 % liegt, so beträgt dieser Anteil bei einem Verkehrsaufkommen von 1.500 Kfz/h 40 %. Wenn auch weniger deutlich als bei der t_{krit} , treten auch hier die meisten Unterschreitungen im Kollektiv „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “ auf.

Allgemein gilt, mit Zunahme der Verkehrsstärke nimmt die Anzahl der zu geringen Sicherheitsabstände zu. Die Fahrzeugführer rücken bei höheren Verkehrsstärken häufiger auf den Vorfahrenden auf. Die erhöhte Unterschreitungshäufigkeit bei Strecken mit einer v_{zul} von 100 km/h kann möglicherweise auf deren im Vergleich mit anderen Kollektiven häufigerer Ausstattung mit (teil-) plangleichen Knotenpunkten zurückgeführt werden. In deren Folge treten häufiger Pulkungen aufgrund von LSA Knotenpunkten auf.

4.6 Vergleich RQ 21 und RQ 28 freie Strecke

Regelquerschnitte mit einer Breite von 28 m entsprechen nach den RAA der EKA 2. Für diese autobahnähnlichen Straßen (die bei einer Widmung als Bundesstraße größtenteils als Kraftfahrstraße beschildert werden) sind im Regelfall keine Geschwindigkeitsbeschränkungen vorgesehen. Im Zuge dieser Randbedingungen erfolgt ein Vergleich der Verkehrsabläufe RQ 21- und RQ 28-ähnlicher Strecken nur für Abschnitte, die eine unbeschränkte zulässige Höchstgeschwindigkeit aufweisen.

Bild 33 enthält die Zusammenfassung der lokalen Geschwindigkeitswerte aller erhobenen Quer-

schnitte. In der Zusammenfassung wurden nur Messprofile an Abschnitten mit einer Längsneigung $< 2 \%$ berücksichtigt. Es fließen die Daten aus neun Querschnitten von zwei Untersuchungsstrecken mit ausschließlich (teil-) planfreien Knotenpunktanschlüssen ein.

Der Mittelwert freifahrender Pkw-Geschwindigkeiten liegt mit 138,0 km/h um 1,4 km/h über dem Wert für RQ 21- ähnliche Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} . Bei höherem Geschwindigkeitsniveau verändert sich das Fahrverhalten auf beiden Streckentypen. Während die mittlere v_{50} freifahrender Pkw der RQ 28- ähnlichen Strecken mit 136,9 km/h nur 0,6 km/h über dem Wert der RQ 21- ähnlichen Strecken liegt, vergrößert sich der Unterschied bei der v_{85} auf 4,6 km/h.

Der Vergleich der RQ 21- und RQ 28- ähnlichen Querschnitte weist mit dem Kolmogoroff-Smirnoff einen signifikanten Unterschied bei der Verteilung der Pkw-Wunschgeschwindigkeiten ab einem Geschwindigkeitsniveau von 150 km/h auf. Hier stammen die Verteilungen nicht aus einer Grundgesamtheit.

Auf RQ 28- ähnlichen Strecken ist eine weitere Streuung der gewählten Geschwindigkeiten festzustellen. Die Standardabweichung weist mit 25,1 km/h für freifahrende Pkw im Vergleich mit dem RQ 21 eine um 0,9 km/h breitere Streuung auf. Aus den Parametern Schiefe und Exzess ist ein symmetrisch gestauchter Kurvenverlauf abzulesen. Dies äußert sich in der Differenz beider Verteilungen im Bereich hoher Verkehrsstärken. Diesbezüglich tritt ab einem Bereich von 150 km/h auf RQ 28- ähnlichen Strecken eine weitläufigere Streuung der Geschwindigkeiten freifahrender Pkw als auf RQ 21- ähnlichen Strecken auf.

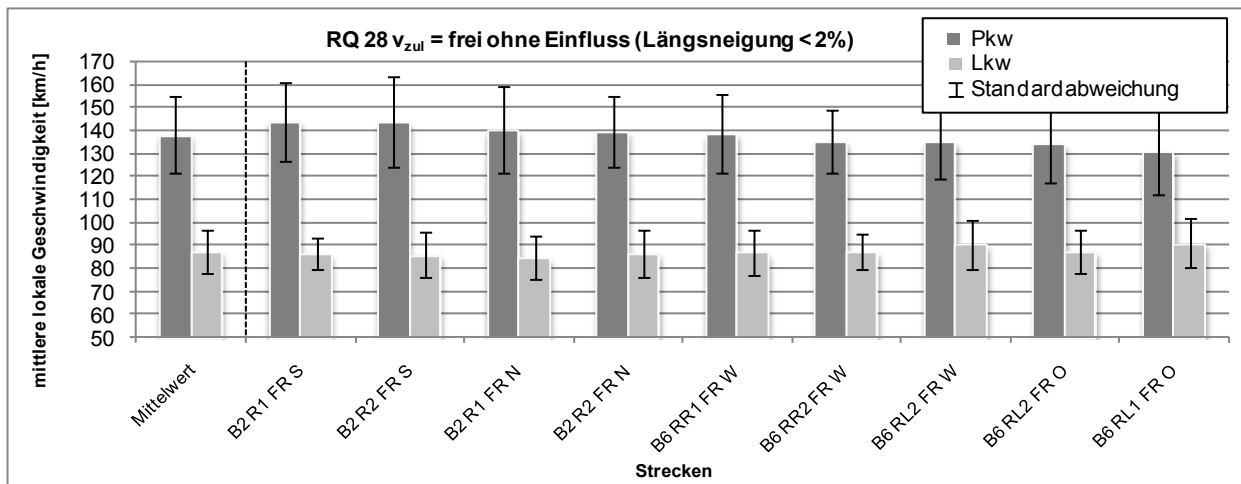


Bild 33: lokale Geschwindigkeiten RQ 28- ähnliche Strecken, $v_{zul} = \text{frei}$

Querschnitt	RQ 21 [km/h]	RQ 28 [km/h]
v_{lok} Pkw:	136,6	138,0
s Pkw:	22,1	25,1
v_{15} Pkw:	114,5	113,1
v_{50} Pkw:	136,3	136,9
v_{85} Pkw:	160,5	165,1
v_{lok} Lkw:	86,7	87,4
s Lkw:	7,0	6,0
v_{15} Lkw:	79,8	81,5
v_{50} Lkw:	86,5	87,3
v_{85} Lkw:	93,7	92,9

Tab. 28: Parameter v_{lok} freifahrende Pkw und Lkw „ $v_{zul} = frei$ “, RQ 21- und RQ 28- ähnlich

Im Vergleich aller freifahrenden Pkw fällt der Unterschied des Geschwindigkeitsniveaus vor dem Hintergrund Querschnitt mit/ohne Seitenstreifen gering aus. Die Messstrecken beider Kollektive besitzen aufgrund ihrer Streckenlänge und ihrer Lage im Netz einen autobahnähnlichen Charakter. Dies wird durch die nahezu identische Höhe der mittleren v_{lok} bestätigt. Lediglich bei der Wahl der Wunschgeschwindigkeiten über 150 km/h tendieren Pkw-Führer auf Strecken mit Seitenstreifen dazu, diese höher als auf RQ 21- ähnlichen Streckenabschnitten zu wählen. Bei der Interpretation ist jedoch die eingeschränkte Kollektivgröße für RQ 21- ähnliche Strecken zu beachten.

Auch aus der Betrachtung der Geschwindigkeiten freifahrender Lkw wird der autobahnähnliche Charakter der RQ 28- ähnlichen Strecken deutlich. Der Anschluss an das Netz erfolgt nach den RAA (FGSV; 2008B) mit (teil-) planfreien Knotengrundformen. Damit wird der Charakter einer Autobahn unterstützt. Einflüsse aufgrund plangleicher Kno-

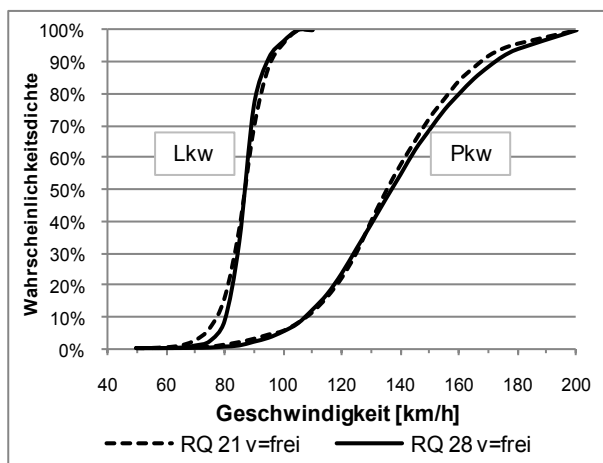


Bild 34: Verteilung v_{lok} freifahrende Pkw und Lkw RQ 28- und RQ 21- ähnlich, „ $v_{zul} = frei$ “

tenpunktelemente auf den Verkehrsablauf sind nicht vorhanden. Die mittlere lokale Geschwindigkeit liegt mit 87,4 km/h um 0,7 km/h über dem Vergleichswert der RQ 21- ähnlichen Strecken. Die Standardabweichung sinkt jedoch um 1,0 auf 6,0 km/h ab. Auf Strecken mit Seitenstreifen ist eine stärkere Konzentration der freien Geschwindigkeiten auf einem Niveau festzustellen.

Sowohl für freifahrende Lkw als auch Pkw treten bei der Wahl der Wunschgeschwindigkeiten zwischen RQ 21- und RQ 28- ähnlichen Strecken signifikante Unterschiede auf. Da diese lediglich im Bereich hoher Geschwindigkeiten auftreten und die mittleren Geschwindigkeiten beider Fahrzeugklassen zueinander nur sehr geringe Differenzen aufweisen, bleibt festzustellen, dass sich das Geschwindigkeitsniveau auf beiden Querschnittstypen mit einer unbeschränkten v_{zul} nur geringfügig unterscheidet.

Die Anteile der Kfz, die sich im rechten Fahrstreifen bewegen, unterscheiden sich nicht signifikant von der Verteilung der RQ 21- ähnlichen Abschnitte. Im Verkehrsstärkebereich von 500 Kfz/h sind auf dem RQ 28 ca. 5 % mehr Fahrzeuge im rechten Fahrstreifen zu verzeichnen. Dies ist möglicherweise auf den geringfügigen Unterschied im SV-Anteil oder auf die höhere Streuung der Geschwindigkeiten zurückzuführen. Mit zunehmendem Verkehrsaufkommen reduziert sich der Abstand beider Kurven. Ab einer Verkehrsstärke von 1.200 Kfz/h weist der rechte Fahrstreifen beider Querschnitte die gleiche Belastung auf. Ein Unterschied in Bezug auf die Fahrstreifenbelegung für den Bereich der erhobenen Verkehrsstärken ist für beide Querschnittstypen nicht zu erkennen.

Die Aussage besitzt Gültigkeit für Strecken mit einer Längsneigung < 2 %. Ableitungen zu Strecken mit einer höheren Längsneigung sind aufgrund des Untersuchungskollektives nicht möglich. Für den Verkehrsablauf zwischen RQ 21 und RQ 28 sind bei einer unbeschränkten v_{zul} nur sehr geringe Unterschiede festzustellen. Für die Praxis kann ein nahezu identischer Verkehrsablauf angenommen werden.

4.7 Verkehrsablauf am Übergang zu einbahnigen Abschnitten

Für den Übergangsbereich RQ 21- ähnlicher Strecken vom zweibahnig vierstreifig auf einen einbahnig zweistreifigen RQ wurden an sieben Untersuchungsstrecken Daten an den vorgesehenen Messprofilen erfasst. Dabei unterscheiden sich die Fahrstreifenreduktionen in verschiedenen Merkma-

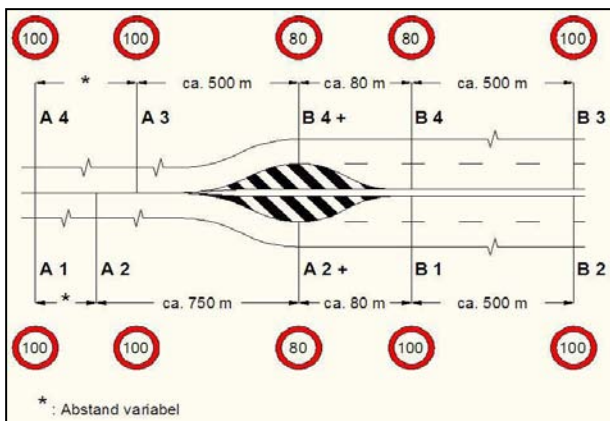


Bild 35: Gewählte „standardisierte Variante“ der Fahrstreifenreduktion

len (Höhe v_{zul} , Einschränkung durch Knoten) voneinander. Diese Faktoren nehmen unterschiedlichen Einfluss auf den Verkehrsablauf in diesem Bereich. Um eine allgemeingültige Aussage treffen zu können, musste eine Standardisierung der Rahmenbedingungen erfolgen. Anhand der Datengrundlage und den verbliebenen erhobenen Messwerten kann die in Bild 35 dargestellte Form der Reduktion als „standardisierte Variante“ näher betrachtet werden. Der Ausdruck Reduktion umschreibt dabei die Gesamtheit der Anlage. Die abgebildeten Geschwindigkeitsbeschränkungen beziehen sich auf die gültige v_{zul} am jeweiligen Querschnitt.

In Fahrtrichtung zum einbahnigen Streckenabschnitt ist im Vorlauf der Reduktion ein Geschwindigkeitstrichter angeordnet, in dem die v_{zul} auf 100 km/h (im Falle einer höheren v_{zul} auf der vorangegangenen Strecke) und darauf auf 80 km/h beschränkt wird. Nach dem Bereich der baulichen Reduktion erfolgt ein Heraufsetzen der v_{zul} auf 100 km/h.

Auch in der Gegenrichtung ist kurz vor dem baulichen Übergang eine Beschränkung der v_{zul} auf 80 km/h angeordnet, welche unmittelbar nach der Fahrstreifenaddition wieder angehoben wird. In aller Regel wird hier die für die Strecke typische Höchstgeschwindigkeit ausgewiesen. Im gesamten Untersuchungsbereich gilt eine Längsneigung von $< 2\%$. Für den beschriebenen Fall wurden die zur Verfügung stehenden Daten aus verschiedenen Untersuchungstrecken zusammengestellt.

4.7.1 Geschwindigkeiten ausfahrende Richtung

Tab. 29 enthält die Geschwindigkeitswerte der verschiedenen Fahrzeugklassen für die Querschnitte der ausfahrenden Richtung.

Geschwindigkeitsparameter ausfahrende Richtung					
Querschnitt:	B3 [km/h]	B4 [km/h]	B4+ [km/h]	A3 [km/h]	A4 [km/h]
Anzahl	2	3	3	2	4
v_{zul}	100	80	80	100	100
v_{lok} Pkw:	111,1	91,7	88,9	98,1	99,1
v_{lok} Lkw:	84,5	77,6	77,6	72,6	76,0
s Pkw:	19,8	18,1	12,7	14,9	13,5
s Lkw:	10,8	10,2	7,7	6,8	7,6
v_{15} Pkw:	90,7	74,7	76,8	83,8	85,8
v_{50} Pkw:	110,1	89,5	86,8	98,4	99,4
v_{85} Pkw:	129,2	109,5	102,1	112,4	112,0
v_{15} Lkw:	72,1	66,9	70,2	66,2	69,1
v_{50} Lkw:	84,0	77,1	77,8	71,6	74,8
v_{85} Lkw:	97,0	89,0	85,1	78,9	84,4
Schiefe:	0,55	0,92	0,91	0,19	0,05
Exzeß:	1,16	1,15	1,29	0,78	0,74

Tab. 29: Übergang Fahrstreifenreduktion Parameter der Querschnitte, v_{lok} -Pkw/Lkw-frei

Am Querschnitt B3, im Bereich des zweibahnigen Streckenabschnittes, weisen sowohl die freifahrenden Pkw als auch Lkw die höchste mittlere Geschwindigkeit auf. 72,0 % der Pkw überschreiten die v_{zul} . Ein Vergleich der Pkw-Geschwindigkeit des Messprofils B3 (ca. 0,5 km vor der baulichen Reduktion) mit dem Wert für unbeeinflusste freie Abschnitte für das Kollektiv „ $v_{zul} = 100$ km/h“ zeigt, dass sich das Niveau der Geschwindigkeiten mit 112,6 km/h zu 111,0 km/h unwesentlich unterscheidet. Es kann angenommen werden, dass die Messprofile B3 in einem Streckenabschnitt angeordnet sind, der bezüglich einer v_{zul} von 100 km/h noch einen ungestörten Verkehrsablauf aufweist.

Am Querschnitt B4+, der den Beginn des Streckenabschnittes mit nur einem Fahrstreifen markiert, treten für Pkw und Lkw die geringsten Geschwindigkeiten auf. Im Vergleich zum vorhergehenden Messprofil B4 verringert sich die mittlere freie Geschwindigkeit in beiden Fahrzeugklassen um ca. 3 km/h, liegt aber immer noch um 8,9 km/h über der v_{zul} . Die Überschreitungshäufigkeit der v_{zul} bleibt bei beiden Querschnitten mit einem Anteil von ca. 74 % verhältnismäßig hoch. Dies kann auf die vorgelagerte und nachfolgende höhere v_{zul} zurückgeführt werden. Es ist anzunehmen, dass die Pkw-Führer im Bereich der Reduktion statt eines starken Abbremsens nur leicht verzögern, um die Geschwindigkeit für den nächsten Abschnitt beizubehalten.

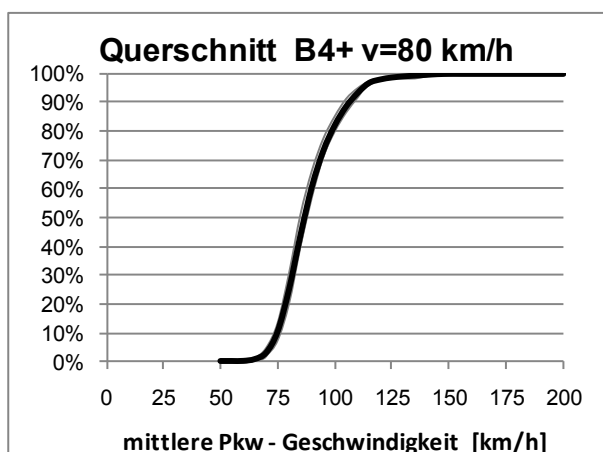


Bild 36: Verteilungsfunktion v_{lok} freifahrende Pkw am Querschnitt B4+, $v_{zul} = 80$ km/h

Die Standardabweichung am Querschnitt B4+ weist mit 12,7 km/h den geringsten Betrag im Reduktionsbereich auf. Aus der Betrachtung der Kurvenparameter Schiefe und Exzeß wird eine linkslastige Überhöhung der Häufigkeitsverteilung im unmittelbaren Reduktionsbereich (B4, B4+) deutlich. Freifahrende Pkw sind bestrebt im Reduktionsbereich ihre Geschwindigkeit nur geringfügig zu verringern. Da ein Herabsetzen der v_{zul} erfolgt, ist der untere Bereich der Verteilungskurve im Vergleich zu einer Normalverteilung der Geschwindigkeiten unterbesetzt. Für die Querschnitte B4 und B4+ fällt die Differenz zwischen v_{15} und v_{50} wesentlich geringer als zwischen der v_{50} und der v_{85} aus. Im oberen Bereich der Verteilungskurve ist eine wesentlich breitere Streuung der gewählten Geschwindigkeiten festzustellen. Die Geschwindigkeiten konzentrieren sich in einem Bereich der über der v_{zul} von $v = 80$ km/h liegt. Bild 36 verdeutlicht den geringen Anteil von freifahrenden Pkw im Bereich zwischen 60 und 80 km/h.

Die Erhebungen der Querschnitte A3 und A4 kennzeichnen sich durch ihre Lage in Bereichen des unbeeinflussten Verkehrsablaufes auf dem einbahnig zweistreifigen Streckenabschnitt aus. Die Wahl des Abstandes des Messprofils A3 zum unmittelbaren Reduktionsbereich variiert zwischen 0,50 und 0,88 km und orientierte sich an den Ergebnissen der Voruntersuchung sowie an den örtlichen Gegebenheiten. Prinzipiell wurde eine Anordnung außerhalb des beeinflussten Verkehrsablaufes angestrebt.

Für die auf dem einbahnigen Abschnitt nachfolgenden Querschnitten A3 und A4 zeigen die Geschwindigkeitswerte mit 98 und 99 km/h für freifahrende Pkw nahezu identische Werte. Im Vergleich zu den vorangegangenen Abschnitten sinkt die Überschreitungshäufigkeit der v_{zul} auf 45 bzw. 48 % ab. Mit zunehmender Entfernung zur Reduk-

tion stellt sich eine symmetrische überhöhte Verteilung der Geschwindigkeitswahl ein. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich ab einem Abstand von 0,5 km zur baulichen Reduktion ein ungestörtes Geschwindigkeitsverhalten eingestellt hat. Aus dem Signifikanztest beider Verteilungen war kein Unterschied festzustellen.

Mit dem Verlassen des zweibahnig vierstreifigen Abschnittes – damit wird in der Regel auch das Ende einer Krafffahrstraße markiert – ändert sich die zulässige Höchstgeschwindigkeit für Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht $> 7,5$ t von 80 auf 60 km/h. Diesbezüglich ist eine Verringerung eines Teils der freien Lkw-Geschwindigkeiten ab dem Bereich der baulichen Reduktion zu erwarten. Da eine Trennung der Fahrzeuggruppen nach zulässigem Gesamtgewicht nicht erfolgte, wurde auch hier lediglich eine Betrachtung des gesamten Schwerverkehrs durchgeführt.

Im Bereich des zweibahnig vierstreifigen Abschnittes weicht die v_{lok} der freifahrenden Lkw mit 84,5 km/h nur um 0,5 km/h vom Vergleichskollektiv „ $v_{zul} = 100$ km/h“ ab. Gleichermäßen gering fällt die Differenz der Streuung mit 0,4 km/h aus. Das Lkw-Fahrverhalten entspricht ca. 500 m vor der Reduktion dem der freien Strecke. Mit Erreichen des unmittelbaren Reduktionsbereiches fällt die mittlere Geschwindigkeit der Lkw mit 77,6 km/h unter den Wert der v_{zul} , die Streuung der Geschwindigkeiten reduziert sich am Querschnitt B4+ deutlich. Diese Verringerung erklärt sich aus der Beschränkung der v_{zul} . Die Lkw-Führer sind bestrebt eine möglichst hohe Geschwindigkeit beizubehalten. Da die Wahl hoher Geschwindigkeiten durch die Vorgabe der v_{zul} beschränkt ist, erfährt die Verteilungskurve eine stärkere Bündelung der Geschwindigkeiten, die Streuung verringert sich. Diese deutliche Verringerung der Geschwindigkeiten freifahrender Lkw ist Merkmal der einbahnigen Streckenabschnitte. Eine mittlere Geschwindigkeit im Bereich von ca. 77 km/h ist auf allen Querschnitten im einbahnigen Bereich festzustellen. Die niedrige Geschwindigkeit am Querschnitt A3 kann auf den geringen Stichprobenumfang zurückgeführt werden.

4.7.2 Geschwindigkeiten einfahrende Richtung

Auch in der Fahrtrichtung zum zweibahnigen Abschnitt wurden die Daten verschiedener Strecken zusammengefasst, um nach Möglichkeit eine standardisierte Form des Überganges mit Fahrstreifenaddition darzustellen.

Das Messprofil B1 ist mit Vorbehalt zu interpretieren. Diese Zusammenfassung beinhaltet die Werte

der Untersuchungsstrecken Langenzenn und Gifhorn. Da im Verlauf der Gifhorer Strecke keine Beschränkung der v_{zul} angeordnet ist, tritt an dieser Stelle ein anderes Fahrverhalten auf. An der B 8 Langenzenn wurde der Messquerschnitt B1 aufgrund der örtlichen Gegebenheiten (planfreier Anschluss der Hauptfahrbahn) erst 400 m nach der Fahrstreifenaddition angeordnet, so dass die erhobenen Geschwindigkeiten für den ursprünglichen Standpunkt des Querschnittes B1 nicht repräsentativ sind. In Tab. 30 sind die Geschwindigkeitsparameter aufgeführt. Allgemein kann man bei den Übergängen vom einbahnig zum zweibahnigen Abschnitt nicht auf eine standardisierte Form schließen. Die Messungen zeigten, dass es aus Sicht der Anordnung von Geschwindigkeitsbeschränkungen eine Vielzahl von Lösungen gibt. Prinzipiell kann in zwei Varianten unterschieden werden:

- Variante 1: Im Übergang bleibt die v_{zul} des vorangegangenen Abschnittes bestehen. Ein Heraufsetzen der v_{zul} erfolgt optional im zweibahnig vierstreifigen Abschnitt.
- Variante 2: Die v_{zul} wird im Übergangsbereich herabgesetzt und im zweibahnig vierstreifigen Abschnitt wieder heraufgesetzt.

Fortfolgend wird Variante 2 näher analysiert.

Die mittlere v_{lok} der freifahrenden Pkw mit 98 km/h entspricht auf den Querschnitten A1 und A2 den Pendanten der ausfahrenden Richtung. Lediglich die Streuung der Geschwindigkeiten fällt mit einem Wert von 15 km/h geringfügig höher aus. An beiden Querschnitten wird die v_{zul} von 45 % der freifahrenden Pkw überschritten. Aus den Kurvenparametern ist für beide Querschnitte eine Überhöhung der Geschwindigkeitsverteilung gleichermaßen wie in der Gegenrichtung zu entnehmen. Die Kennwerte lassen deutlich werden, dass im Bereich des Querschnittspaares A1/A4 für Pkw ein unbeeinflusster Verkehrsablauf vorherrscht. Gleiches gilt für die Querschnitte A2/A3 welche einen mittleren Abstand von 750 bzw. 500 m zur Reduktion aufweisen. Auch aus dem Vergleich der Messquerschnitte nach Abfolge auf der Strecke (A1/A2, A3/A4) sind keine Unterschiede festzustellen. Im Bereich des einbahnigen Abschnittes liegt der Einfluss der Reduktion auf den Verkehrsablauf für beide Richtungen unter 500 m.

Am Querschnitt A2+ verringert sich die mittlere v_{lok} im Verhältnis zu den vorangegangenen Messstellen um 16 km/h. Hier tritt aufgrund der v_{zul} von $v = 80$ km/h mit 11,5 km/h die geringste Streuung freifahrender Pkw auf. Auffällig gering ist die Überschreitungshäufigkeit der v_{zul} mit 51 %. Die Vermu-

tung, dass die Pkw-Führer auf dem kurzen Abschnitt einer Beschränkung der v_{zul} ihrer Geschwindigkeitswahl unwesentlich verändern, kann nicht bestätigt werden.

Geschwindigkeitsparameter einfahrende Richtung					
Querschnitt:	A1 [km/h]	A2 [km/h]	A2+ [km/h]	(B1) [km/h]	B2 [km/h]
Anzahl	4	4	3	2	3
v_{zul}	100	100	80	100	100
v_{lok} Pkw:	97,7	98,1	81,9	99,1	104,4
v_{lok} Lkw:	73,0	74,0	73,5	75,9	84,1
s Pkw:	15,3	14,1	13,5	16,0	15,3
s Lkw:	7,5	7,2	7,9	9,6	9,9
v_{15} Pkw:	77,2	83,8	69,1	82,7	88,8
v_{50} Pkw:	94,6	98,3	80,7	99,0	105,3
v_{85} Pkw:	110,6	111,7	94,2	115,6	118,4
v_{15} Lkw:	66,1	67,4	65,2	66,7	74,0
v_{50} Lkw:	71,5	72,8	73,0	76,4	83,4
v_{85} Lkw:	80,5	81,8	82,5	84,1	95,6
Schiefe:	0,30	0,21	0,95	0,04	-0,10
Exzeß:	0,91	0,87	2,92	-0,01	1,74

Tab. 30: Übergang Fahrstreifenaddition Parameter der Querschnitte, v_{lok} , Pkw/Lkw-frei

Das Geschwindigkeitsniveau freifahrender Pkw für einen unbeeinflussten Streckenabschnitt mit „ $v_{zul} = 100$ km/h“ wird am Querschnitt B2 noch nicht erreicht. Der Unterschied zwischen beiden Verteilungen ist signifikant. Die Entfernung des B2 Profils zum baulichen Ende der Fahrstreifenaddition variiert im Kollektiv zwischen 550 und 650 m. Die v_{zul} wird von 63 % der Pkw-Führer überschritten und damit von 7 % weniger als im Kollektiv „ $v_{zul} = 100$ km/h“. Für den untersuchten Abschnitt ist festzustellen, dass für freifahrende Pkw noch kein ungestörter Verkehrsablauf auftritt.

Für freifahrende Lkw treten an den Querschnitten A1 und A2 eine nahezu unveränderte mittlere Geschwindigkeit und Streuung auf. Im Vergleich zu den jeweilig gegenüberliegenden Querschnitten A3 und A4 ist davon auszugehen, dass es keine Unterschiede im Geschwindigkeitsniveau beider Fahrrichtungen gibt. Auch im Bereich des Endes des einbahnig zweistreifigen Abschnittes tritt keine Veränderung der v_{lok} , hier 73,5 km/h, auf.

Mit Beginn der Richtungstrennung der Fahrbahnen erhöhen sich die gewählten Geschwindigkeiten der Fahrzeugführer. An Querschnitt B2 liegt die mittlere v_{lok} freifahrender Lkw mit 84,1 km/h bereits auf dem Niveau der unbeeinflussten Strecke, ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Verteilungen

liegt nicht vor. Gleichmaßen fällt der Streubereich höher aus. Nach einer Entfernung von 550 bis 650 m zum baulichen Ende der Reduktion entspricht das Geschwindigkeitsverhalten der Lkw dem der unbeeinflussten Strecke.

4.7.1 Fahrstreifenwahl

Die Analyse der Fahrstreifenwahl im Bereich der Reduktion gibt weiteren Aufschluss auf den Verkehrsablauf. In den folgenden Darstellungen erfolgt der Vergleich anhand der in obigen Kapiteln gewählten Form des Übergangsbereiches mit den Messwerten des Kollektives „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “ der unbeeinflussten freien Strecke.

Bild 37 stellt die Belegung des rechten Fahrstreifens für die zweibahnig vierstreifigen Abschnitte im Vergleich mit dem Vergleichskollektiv dar. Die Werte des Messprofils B3 überlagern sich mit denen der unbeeinflussten Strecke. Mit zunehmender Verkehrsstärke nutzen mehr Fahrzeugführer den linken Fahrstreifen. Die Fahrstreifenwahl ca. 500 m vor der Reduktion entspricht der freien Strecke, eine Beeinflussung des Fahrverhaltens ist am Messprofil B3 nicht zu erkennen. Der Schwerverkehrsanteil ist in beiden Gruppen mit 8,4 % identisch. Aufgrund der geringen aufgenommenen Verkehrsstärken wurde auf eine Regressionsgleichung für die Einzelquerschnitte verzichtet.

Ein anderes Verhalten ist am Querschnitt B4 festzustellen (SV-Anteil 11,4 %). Unmittelbar vor Einzug des linken Fahrstreifens befahren 90 % bis 100 % der Fahrzeugführer den rechten Fahrstreifen. Nur in Einzelfällen liegt eine stärkere Nutzung des linken Fahrstreifens vor. Für den erfassten Bereich ist kein Einfluss der Verkehrsstärke auf die Fahrstreifenwahl festzustellen.

Demzufolge wechseln die Fahrzeugführer überwiegend im Bereich zwischen 500 und ca. 30 m vor der baulichen Reduktion vom linken in den rechten Fahrstreifen. Einfädeltvorgänge am unmittelbaren Ende der Zweistreifigkeit sind im Bereich dieser Verkehrsstärken die Ausnahme. Auch in den Beobachtungen vor Ort zeigte sich, dass überwiegend Pkw mit hohen Geschwindigkeiten den linken Fahrstreifen komplett ausnutzen um noch mehrere Fahrzeuge zu überholen.

Die Fahrstreifenbelegungen der Querschnitte B1, B2 und der unbeeinflussten Strecke mit einer v_{zul} von 100 km/h für die einfahrende Richtung sind Bild 38 zu entnehmen.

Der Abschnitt in Höhe des Messprofils B1 ist durch eine stark schwankende Belegung des rechten Fahrstreifens zwischen 45 und 95 % im Bereich bis 400 Kfz/h gekennzeichnet. Über diesen Wert

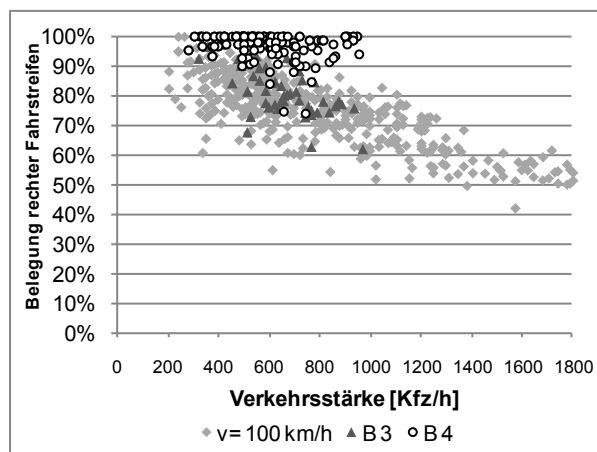


Bild 37: Kfz-Belegung des rechten Fahrstreifens an den Querschnitten ausfahrende Richtung

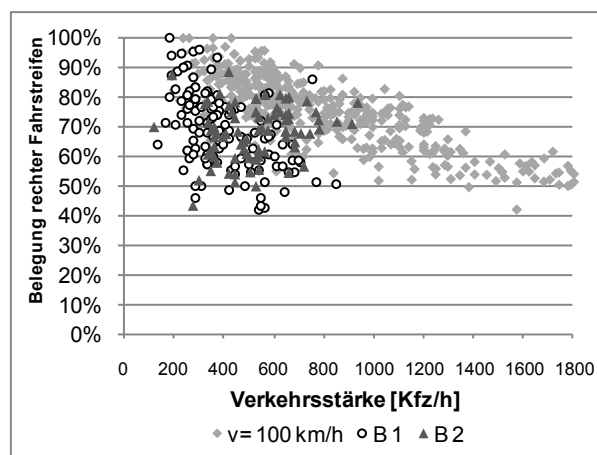


Bild 38: Kfz-Belegung des rechten Fahrstreifens an den Querschnitten einfahrende Richtung

wird der rechte Fahrstreifen anteilig von 40 bis 70 % der Verkehrsteilnehmer genutzt. Deutlich wird die geringere Belastung des Fahrstreifens im Vergleich zur freien Strecke. Die Verteilung lässt sich aus dem vorangegangenen Verkehrsablauf und Streckencharakteristik erläutern. Infolge der Einbahnigkeit und Gegenverkehr sind die Überholmöglichkeiten diesem Streckenabschnitt eingeschränkt. Bei einer breiten Streuung individueller Wunschgeschwindigkeiten entsteht mit fortschreitender Fahrt ein höherer Überholdruck. Mit Beginn der Zweistreifigkeit erhalten die Fahrzeugführer die Möglichkeit, ihre Wunschgeschwindigkeiten besser zu realisieren. Sie überholen langsamere Fahrzeuge. Dies führt zu einer deutlich stärkeren Nutzung des linken Fahrstreifens im Vergleich zur freien Strecke.

Mit einem Abstand von ca. 500 m zur baulichen Fahrstreifenaddition verändert sich die Fahrstreifenbelegung nur unwesentlich. Am Querschnitt B2 nutzen nur geringfügig mehr Verkehrsteilnehmer den rechten Fahrstreifen. Gerade in Bereichen

geringer Verkehrsstärken (< 600 Kfz/h) tritt eine breite Streuung der Werte auf. Die Anteile bewegen sich zwischen 40 und 90 %. Für die Fahrstreifenwahl liegt demnach noch ein ähnliches Verhalten wie an Querschnitt B1 zu Grunde. Die Fahrstreifenbelegung an diesem Querschnitt weicht erheblich von dem der unbeeinflussten Strecke ab.

Aus den Ergebnissen folgt die Schlussfolgerung, dass sich die Fahrstreifenwahl der Verkehrsteilnehmer für beobachtete Verkehrsstärken in Richtung einbahnigen Abschnitt bis 0,5 km vor Beginn der baulichen Reduktion nicht verändert. In der Gegenrichtung tritt am Beginn des zweibahnigen Abschnitts ein hoher Überholwunsch auf, die Belegung des linken Fahrstreifens liegt über dem Wert der freien Strecke. 0,5 km nach der Fahrstreifenaddition wird die Wahl des Fahrstreifens noch immer durch einen vermehrten Überholwunsch geprägt. Die Resultate bestätigen die Ergebnisse der Voruntersuchung, die eine Größenordnung des Einflussbereichs der Fahrstreifenreduktion auf den zweibahnigen Abschnitt von ca. 0,5 km, für die Fahrstreifenaddition mit ca. 0,75 km angibt.

4.8 Verkehrsablauf an Übergängen mit Beibehalt Zweibahnigkeit

An den neun RQ 21- ähnlichen Untersuchungsstrecken besitzen zwei Strecken einen Übergang mit Hinzukommen/Wegfall eines Seitenstreifens. An weiteren drei wechselt die Strecke ihren Charakter von außerorts zu innerorts.

Die einzelnen Messdaten unterscheiden sich dabei in den Kennwerten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bzw. unterliegen sie verschiedenen Einflüssen. Daher besitzt die Gegenüberstellung mit den Messwerten der freien Strecke nur bedingte Aussagekraft und muss anhand von einzelnen Strecken erfolgen.

4.8.1 WZB (Seitenstreifen)

An der B 3 Hannover wechselt der Querschnitt von 28 m auf eine Breite von 21 m. Die v_{zul} beträgt 100 km/h. Da am nördlichen Ende der Untersuchungsstrecke keine Messungen erfolgen konnten, wurde die Kapazität für die Erhebung eines weiteren Messprofils (B2/B3), welches ca. 840 m vor/nach der Grenze beider Regelquerschnitte lag, genutzt.

Sowohl am Querschnitt B2 mit 110,2 km/h als auch am Profil B3 mit 111,4 km/h stimmen die mittlere Geschwindigkeiten der freifahrenden Pkw nahezu mit dem Mittelwert des Kollektivs „ $v_{zul} = 100$ km/h“ überein. Das Profil B3 am Über-

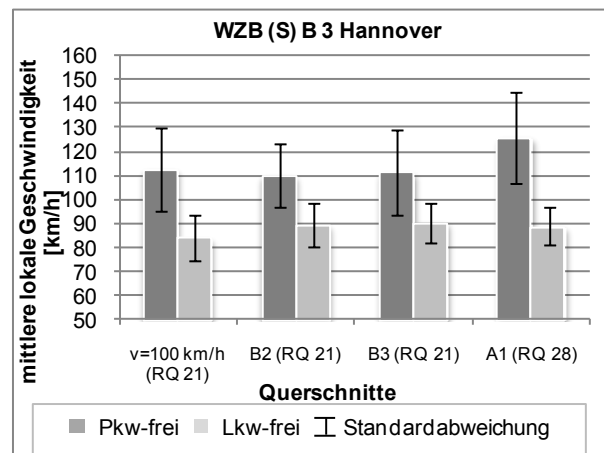


Bild 39: Übergang WZB (S) B 3, lokale Geschwindigkeiten, $v_{zul} = 100$ km/h

gang von RQ 21 in Richtung RQ 28 zeigt in der Geschwindigkeitsverteilung keinen signifikanten Unterschied zum Kollektiv „ $v_{zul} = 100$ km/h“, während dies bei B2 der Fall ist. Ursache hierfür ist eine geringere Streuung der freien Pkw-Geschwindigkeiten um den Mittelwert

Die weitaus höhere Geschwindigkeit am Messprofil A1 (Entfernung zum Übergang ca. 870 m) kann auf dem vorangehenden Autobahnabschnitt mit einer unbeschränkten v_{zul} – darauf zwischenzeitlich auf 120 km/h beschränkt – zurückgeführt werden. Die freien Pkw-Geschwindigkeiten spiegeln an diesem Querschnitt ein Fahrverhalten wider, welches auf die Wahl hoher Geschwindigkeiten im Bereich der Autobahn schließen lässt.

An allen drei Querschnitten liegt die mittlere Lkw-Geschwindigkeit auf einer Höhe von ca. 88 km/h und damit um 3,5 km/h über dem Wert der Strecken mit „ $v_{zul} = 100$ km/h.“. Die erhöhte Geschwindigkeit ist mutmaßlich auf die Streckencharakteristik (Übergang BAB zur Bundesstraße, Streckenführung mit teilplanfreien Anbindungen, Fernverkehr) zurückzuführen. Gerade am Profil A1 ist mit 7,9 km/h für freifahrende Lkw eine geringe Streuung der Geschwindigkeiten festzustellen.

Ein Übergang innerhalb der Zweibahnigkeit mit einer Änderung der Querschnittsgestaltung durch Hinzukommen/Wegfall eines Seitenstreifens bei einer v_{zul} der Strecke von 120 km/h ist an der B 8 Langenzenn vorzufinden.

Der Standort des Messprofils A1/A4 befand sich 3,6 km vor der baulichen Querschnittsänderung. Eine nähere Anordnung zum Übergang war aufgrund einer mehrtägigen Wanderbaustelle in diesem Bereich nicht möglich. Die Werte der Messprofile A1 und A4 weisen mit 126,7 bzw. 123,9 km/h im Vergleich zum Mittelwert der RQ 21-ähnlichen Strecke eine um 5,3 bzw. 2,5 km/h hö-

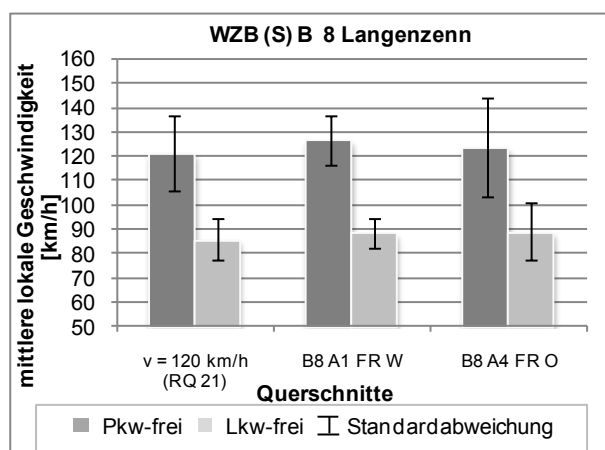


Bild 40: Übergang WZB (S) B 8, lokale Geschwindigkeiten, $v_{zul} = 120$ km/h

here Pkw-Geschwindigkeit auf. Das Geschwindigkeitsniveau der Lkw überschreitet den Mittelwert des Kollektives „ $v_{zul} = 120$ km/h“ um ca. 2,6 km/h. Entgegen der Erkenntnisse aus den Verfolgungsfahrten der Voruntersuchung sind die gewählten Wunschgeschwindigkeiten auf Abschnitten mit Seitenstreifen geringfügig höher als auf Abschnitten ohne Seitenstreifen.

Übergang WZB (S) B 8 Langenzenn				
	Fahrtrichtung 1		Fahrtrichtung 2	
Querschnitt	A1	R1	R1	A4
v_{lok} Pkw-frei [km/h]	126,7	122,0	124,0	124,8
s [km/h]	10,1	11,9	20,4	19,5

Tab. 31: Geschwindigkeitsparameter Übergang WZB (S) B 8 Langenzenn

Eine Gegenüberstellung des Querschnittspaares A1/A4 mit dem nächstgelegenen erhobenen Messprofil R1 auf dem RQ 21- ähnlichen Abschnitt, welches 1,22 km nach dem Querschnittswechsel angeordnet war, offenbart weitere Erkenntnisse.

Die Betrachtung der Fahrtrichtung 1 (RQ 28 Richtung RQ 21) verdeutlichte die Abnahme der mittleren v_{lok} freifahrender Pkw um 4,7 km/h. Es wird das Geschwindigkeitsniveau der freien Strecke für „ $v_{zul} = 120$ km/h“ erreicht. Mutmaßlich verzögern die Verkehrsteilnehmer ihre Geschwindigkeit geringfügig. Während die Streuung in Fahrtrichtung 1 ein Mittel von 11,0 km/h aufweist, beträgt diese in der Gegenrichtung mit 19,9 km/h deutlich mehr. Gründe für diese Unterschiede konnten anhand der Örtlichkeit nicht abgeleitet werden. In Fahrtrichtung 2 ist nur eine unbedeutende Zunahme der mittleren v_{lok} freifahrender Pkw zu verzeichnen. Gleiches gilt für den Parameter der Streuung. Es

ist anzunehmen, dass ein Wechsel von Abschnitten ohne Seitenstreifen zu Abschnitten mit Seitenstreifen das Geschwindigkeitsverhalten der Pkw-Führer geringer beeinflusst als in der Gegenrichtung. Diese Aussage kann aufgrund der geringen Fallzahl nicht als allgemein gültig angenommen werden.

Das Geschwindigkeitsverhalten der Lkw unterliegt keinen Einflüssen durch den Querschnittswchsel. Die v_{lok} der Lkw beträgt auf allen betrachteten Querschnitten ca. 88,3 km/h.

4.8.2 WZB (Innerorts)

Der Streckenübergang zum Innerortsbereich ist zum einen trennscharf anhand der Ortstafel zum anderen fließend durch verschiedene Kriterien, wie Beleuchtung oder verkehrliche Restriktionen, festgelegt. Die Erfassung vor Ort ließ deutlich werden, dass sich die anhand von Orthobildern oder Straßenbankdaten fixierten Grenzen in der Örtlichkeit nur schwer bestimmen lassen. Bspw. behalten die B 80 in Halle und die B 19 in Sonthofen trotz ihres an Luftbildern definierten offensichtlichen Wechsels in den innerörtlichen Bereich die Charakteristik einer Außerortsstrecke aufgrund der Seitenraumgestaltung bei. In der Nähe zu größeren Städten wird der Verkehrsablauf zunehmend von der Knotendichte bestimmt. So zeigen auch die zur Auswertung herangezogenen Strecken der B 80 Halle, B 81 Magdeburg und der B 4 Erfurt eine große Spannweite der mittleren Knotenabstände.

Geschwindigkeiten

Aus Bild 41 werden die Unterschiede der gewählten Übergangsbereiche bezüglich der Geschwindigkeiten ersichtlich.

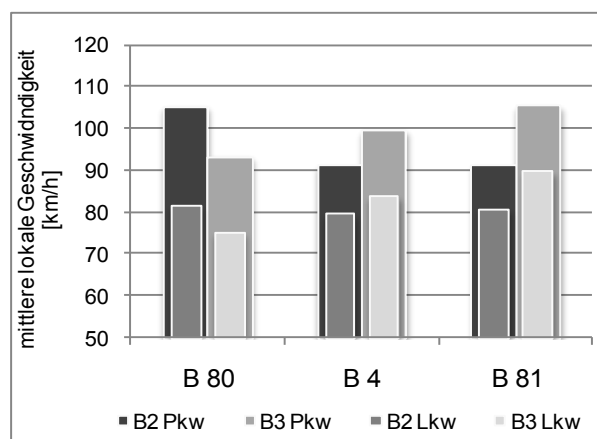


Bild 41: Mittelwert v_{lok} Übergang WZB (Innerorts)

Die zurückgesetzten Balken markieren die mittlere v_{lok} der freifahrenden Pkw, die vorderen schmalen Balken die der Lkw. Um den Einflussbereich des Übergangsbereiches näher zu erörtern, erfolgte

eine sukzessive Annäherung an den definierten Übergang Innerorts. In folgenden Abständen wurden die Messquerschnitte vor dem Übergang in den innerörtlichen Bereich – mit Angabe der v_{zul} Innerorts – angeordnet:

- B 80 Halle: ca. 750 m vor Ortstafel ($v = 100$ km/h)
- B 81 Magdeburg: ca. 200 m vor Ortstafel ($v = 80$ km/h)
- B 4 Erfurt: Grenze Ortstafel ($v = 80$ km/h)

Die Messquerschnitte B2/B3 der B 80 Halle sind eingebettet durch eine 500 m im Außerortsbereich vorgelagerte LSA-Kreuzung und einem teilplanfreien Anschluss der Strecke im Bereich des Überganges zum innerörtlichen Bereich. Die ermittelten mittleren Geschwindigkeiten am Querschnitt B3 sind durch den vorgelagerten plangleichen Knotenpunkt geprägt. Sowohl der Wert für Pkw als auch für Lkw weicht von den Vergleichswerten des Kollektivs „ $v_{zul} = 100$ km/h“ mit 19,3 bzw. 8,8 km/h deutlich ab. Daraus ist abzuleiten, dass die LSA-geregelte Kreuzung einen Einfluss auf die nachfolgende Strecke besitzt, der über eine Länge von 500 m hinausreicht. In der Gegenrichtung sind wesentlich höherer Geschwindigkeiten zu verzeichnen, auch wenn diese ebenfalls nicht die Werte der unbeeinflussten Strecke erreichen. Als mögliche Ursache für die geringeren Geschwindigkeiten kommen die dichte Knotenabfolge sowie der Zulauf auf die LSA-gesteuerte Kreuzung in Betracht. Die Verkehrsteilnehmer wählen mit Erwartung des folgenden Knotens und der damit verbundenen Verringerung der v_{zul} eine niedrigere Wunschgeschwindigkeit.

Querschnitt B2 Richtung Außerorts				
	Strecke	B 80	B 4	B 81
Pkw	v_{lok} [km/h]	105,3	91,2	91,3
	s [km/h]	13,1	13,1	7,3
Lkw	v_{lok} [km/h]	81,7	79,6	80,9
	s [km/h]	9,4	11,5	8,0
Querschnitt B3 Richtung Innerorts				
	Strecke	B 80	B 4	B 81
Pkw	v_{lok} [km/h]	93,3	99,6	105,4
	s [km/h]	11,9	14,0	11,9
Lkw	v_{lok} [km/h]	75,2	83,8	89,7
	s [km/h]	12,7	10,3	7,3

Tab. 32: Geschwindigkeiten v_{lok} freifahrende Pkw/Lkw, Übergang WZB (Innerorts)

Eine gänzlich von (teil-) planfreien Knotenpunkten geprägte Strecke ist die B 81 Magdeburg. Im Außerortsbereich ist die v_{zul} auf $v = 100$ km/h be-

schränkt. Aus den Werten des Querschnittes B3 wird ein geringfügiger Einfluss des innerörtlichen Bereichs auf die freifahrenden Pkw deutlich. Am Querschnitt wurde eine v_{lok} von 105,4 km/h ermittelt. Die in der Gegenrichtung (B2) erfassten Pkw weisen eine deutlich geringere Wunschgeschwindigkeit im Vergleich zur unbeeinflussten Strecke auf. Gleiches gilt für die freifahrenden Lkw. Es ist anzunehmen, dass sich der Querschnitt noch im Wirkungsfeld der vorher auf $v = 80$ km/h beschränkten v_{zul} befindet. Gleichmaßen ist auch ein Einfluss des 400 m vorgelagerten teilplanfreien Knotenpunktes nicht gänzlich auszuschließen.

Ebenfalls mit teilplanfreien Knotenanschlüssen in das untergeordnete Netz im Übergangsabschnitt versehen ist die B 4 in Erfurt. Im außerörtlichen Bereich ist eine v_{zul} von $v = 100$ km/h angeordnet. Die Lage der Messquerschnitte unmittelbar vor der Ortstafel sollte die Frage klären, ob Fahrzeugführer in Richtung Innerorts erst mit Beginn der Ortstafel und der damit verbundenen Herabsetzung der v_{zul} ihrer Wunschgeschwindigkeiten ändern. Für den betrachteten Fall ist festzustellen, dass am unmittelbaren Übergangsbereich die mittlere v_{lok} der freifahrenden Pkw im Vergleich zur B 81 weiter absinkt. Mit 99,6 km/h liegt das Niveau jedoch deutlich über der nachgeordneten v_{zul} . Die mittlere Lkw-Geschwindigkeit bleibt unverändert. In Richtung außerorts liegt das Geschwindigkeitsniveau der freifahrenden Pkw mit einer Differenz von 18,4 km/h noch deutlich unter dem Wert der unbeeinflussten Strecke. Daher ist anzunehmen, dass die Verkehrsteilnehmer erst am Ende der Ortstafel ihrer Geschwindigkeit deutlich erhöhen und im Innerortsbereich keine starke Überschreitung der v_{zul} auftritt. Ähnlich wie auf der B 81 Magdeburg fällt die Differenz der Lkw-Geschwindigkeiten in ausfahrender Richtung mit 4,4 km/h zur freien Strecke gering aus.

Bei gleicher Höhe der v_{zul} im außer- und innerörtlichen Bereich bleibt die Wahl der Geschwindigkeiten durch die Verkehrsteilnehmer nahezu unverändert. Mögliche Beeinflussungen resultieren aus sich verändernden Streckencharakteristiken, wie Knotendichte und Knotengrundformen. Dies gilt für beide Fahrtrichtungen.

Bei einer Herabsetzung der v_{zul} im innerörtlichen Bereich (80 km/h) ist davon auszugehen, dass Fahrzeugführer mit Fahrtrichtung Innerorts ihre Geschwindigkeiten erst sehr spät an die gültige v_{zul} anpassen. Die Messungen an der B 81 verdeutlichen 200 m vor dem Ortseingang ein hohes Geschwindigkeitsniveau der freifahrenden Pkw, welches nur geringfügig unter dem Wert der unbeeinflussten freien Strecke liegt. Dieses verringert sich

bis zum unmittelbaren Übergang zum innerörtlichen Bereich nur gering. Aufgrund der Messungen ist bei den gegebenen Bedingungen (Außerorts $v_{zul} = 100$ km/h, Innerorts $v_{zul} = 80$ km/h) von einer Einflusslänge des Innerortsbereichs auf die Strecke von mindestens 200 m auszugehen. In Fahrtrichtung Außerorts ist ebenfalls ein Einfluss des Innerortsbereichs vorhanden. Die freien Pkw-Geschwindigkeiten weisen bis 200 m nach Ortsausgang ein Geschwindigkeitsniveau deutlich unter dem Niveau der unbeeinflussten Strecke auf. Es ist zu vermuten, dass der Einflussbereich eine Länge von über 200 m aufweist.

Für beide Betrachtungsweisen ist zu berücksichtigen, dass im Übergangsbereich aller drei Untersuchungsstrecken eine hohe Knotendichte zu verzeichnen ist. Auf der B 80 Halle ist im relevanten Bereich im Mittel aller 0,9 km, auf der B 4 Erfurt aller 1,1 km und auf der B 81 Magdeburg aller 1,3 km ein Knotenpunkt angeordnet. Ein Einfluss auf den Verkehrsablauf ist wahrscheinlich.

Fahrstreifenbelegung

Die Bewertung der Fahrstreifenbelegung an den Querschnitten soll weiteren Aufschluss über mögliche Einflüsse des Übergangs zum innerörtlichen Bereich in Verbindung mit einer veränderten Streckencharakteristik geben.

In Bild 42 sind die Belegungen des rechten Fahrstreifens für die drei Untersuchungsstrecken, unterschieden nach den vorhandenen Knotengrundformen im Übergangsbereich, dargestellt. Die beiden dunkleren dicken Linien stellen die Kollektive der unbeeinflussten Strecken „ $v_{zul} = 100$ km/h“ dar, die helleren Linien die des Überganges WZB (Innerorts). Gestrichelte Linien repräsentieren Strecken mit dem Auftreten von LSA-geregelten Kreuzungen/Einmündungen sowie Knoten mit planfreien Anschlüssen der Hauptfahrbahn (gemischt). Durchgezogene Linien stellen die Strecken mit lediglich planfreien Knotenanschlüssen der Hauptfahrbahn (planfrei) dar. Um eine ausreichende Aussagekraft zu erhalten, wurde auf eine Unterscheidung nach den Querschnitten B2/B3 verzichtet. Da beide definierten Gruppen der Übergangsbereiche einen ähnlichen SV-Anteil aufweisen, ist ein Vergleich möglich.

Sowohl die Messungen an der B 81 Magdeburg als auch die an der B 4 Erfurt wurden in der Gruppe „planfrei“ zusammengefasst. Aus der Darstellung wird deutlich, dass im Vergleich zur freien Strecke der Anteil der Verkehrsteilnehmer, die den rechten Fahrstreifen nutzen, mit zunehmender Verkehrsstärke höher ausfällt. Im Bereich geringer Verkehrsstärken nähert sich die Kurve dem Ver-

gleichskollektiv an. Ursache dieses Verhaltens sind möglicherweise die geringen Knotenabstände in diesen Bereichen.

Eine gänzlich andere Belegung zeigt sich an den Querschnitten B2/B3 der B 80 Halle im Vor-/Nachlauf eines LSA-geregelten Knotenpunktes (helle gestrichelte Linie). In Bezug zur unbeeinflussten Strecke fällt die Belegung des rechten Fahrstreifens mit zunehmender Verkehrsstärke etwas geringer aus. Der Unterschied bewegt sich für den betrachteten Bereich auf einem Niveau der 5 % Differenz nicht überschreitet. Die Regressionsberechnung beider Kurvenverläufe ergab keinen signifikanten Unterschied.

Die verhältnismäßig geringe Belegung des rechten Fahrstreifens an den Querschnitten B2 und B3 der Untersuchungsstrecke in Halle kann zum Teil durch den 0,49 km im außerörtlichen Bereich vorgelagerten LSA geregelten Knotenpunkt begründet werden. In Fahrtrichtung Halle ist anzunehmen, dass es aufgrund des vorgelagerten LSA Knotens zu einer relativen Gleichverteilung im Bereich der Aufstellfläche vor der LSA kommt, um im weiteren Streckenverlauf langsamere Kfz zu überholen. Dieses Fahrverhalten spiegelt sich am Querschnitt B3 wider. Die anteilige geringe Belegung des rechten Fahrstreifens in der Gegenrichtung kann zum Teil auf den folgenden LSA Knoten zurückgeführt werden. Die auftretenden Unterschiede sind jedoch marginal. Es ist anzunehmen, dass der folgende plangleiche Knotenpunkt verbunden mit der Zielwahl der Verkehrsteilnehmer den Belegungsanteil der Fahrstreifen beeinflusst. Die Darstellung in Bild 42 unterstützt die Aussage, dass sich die Fahrstreifenbelegung auf Strecken die teilplangleiche Knoten oder Kreuzungen/Einmündung aufwei-

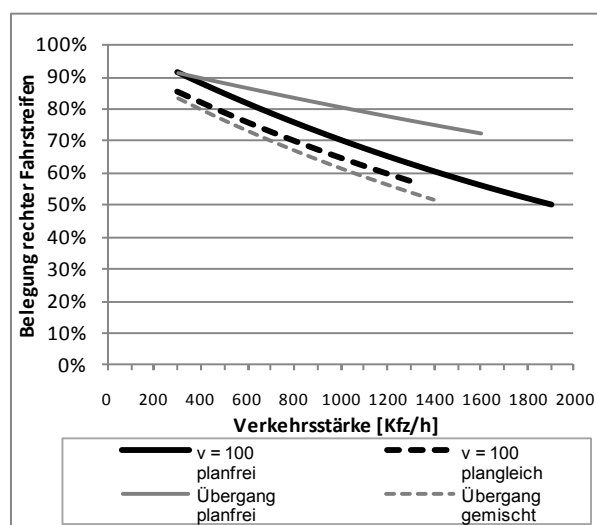


Bild 42: Belegung rechter Fahrstreifen Übergang WZB (Innerorts)

sen, von Strecken mit lediglich planfreien Knotenanschlüssen geringfügig unterscheidet.

Für den Verkehrsablauf an Übergängen innerhalb der Zweibahnigkeit mit Wechsel Innerorts-/Außerorts kann festgehalten werden, dass im Vorfeld des innerörtlichen Bereiches die Fahrstreifenwahl von verschiedenen Faktoren wie der der v_{zul} , Knotendichte, und Knotenregelung – bei (teil-)plangleichen Knotenpunkten gewinnt die Zielwahl an Relevanz– abhängt. Diese Einflüsse sind je nach Abschnittsgestaltung von unterschiedlicher Bedeutung. Das Fahrverhalten ändert sich im Vergleich zur freien Strecke in Bezug auf Fahrstreifenwahl und Geschwindigkeit.

4.9 Zusammenfassung Verkehrsablauf

4.9.1 Freie Strecke

Folgendes ist für den Verkehrsablauf auf RQ 21- und RQ 28- ähnlichen Streckenabschnitten außerhalb von Knotenpunkten und deren Einflussbereich, basierend auf den empirischen Messungen, festzuhalten. Es wurden Strecken mit einer RQ 21- ähnlicher Kronenbreite in Abhängigkeit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in drei Typen eingeteilt:

Geschwindigkeitsparameter der Typen				
	RQ 21			RQ 28
Klasse	v=100 [km/h]	v=120 [km/h]	v=frei [km/h]	v=frei [km/h]
v_{lok} Pkw:	112,6	121,4	136,6	138,0
s Pkw:	17,1	15,6	22,1	25,1
v_{lok} Lkw	84,0	85,9	86,7	87,4
s Lkw:	9,7	8,5	7,0	6,0

Tab. 33: Kennwerte Geschwindigkeit freie Strecke, freifahrende Pkw/Lkw

- Die Wahl der Pkw-Wunschgeschwindigkeiten unterscheidet sich in den einzelnen Klassen des RQ 21 deutlich. Die Anordnung einer v_{zul} von 120 gegenüber 100 km/h führt zu einer Abnahme der Überschreitungshäufigkeit von 77 auf 53 %
- Gegenüber den Kollektiven mit einer Beschränkung der v_{zul} weisen Kollektive mit einer unbeschränkten v_{zul} eine größere Streuung der freien Pkw-Geschwindigkeiten auf.
- Die Geschwindigkeiten freifahrender Lkw unterscheiden sich in den verschiedenen Klassen des RQ 21. Mutmaßlich wirkt sich

der Ausbaustandard der Strecke (Knotenpunktgrundform) auf Höhe und Streuung der Geschwindigkeiten aus. Die Verteilung der Klasse „ $v_{zul} = 100$ km/h“ unterscheidet sich signifikant von den anderen beiden Kollektiven

- Bei einer Beschränkung der v_{zul} der Strecke auf $v = 100$ km/h tritt in Abhängigkeit der Verkehrsstärke im Vergleich zu den anderen Kollektiven eine häufigere Unterschreitung der kritischen (1 s) und empfohlenen (2 s) Zeitlücke auf.
- Auf Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} liegen die mittleren freien Pkw-Geschwindigkeiten des RQ 28 signifikant über dem Niveau des RQ 21. Aufgrund des geringen Unterschiedes von 1,4 km/h, kann auf beiden Strecken von einem gleichen Niveau der freien Pkw-Geschwindigkeiten ausgegangen werden.
- Zwischen den Verteilungskurven der Geschwindigkeiten freifahrender Lkw besteht ein signifikanter Unterschied. Jedoch ist der geringe Unterschied von 0,7 km/h praktisch nicht von Relevanz.
- Im Vergleich der v_{zul} zwischen 100 und 120 km/h wird bei höheren Geschwindigkeiten öfters der linke Fahrstreifen genutzt. Bei Zunahme der Verkehrsstärke verringert sich dieser Unterschied zwischen den Typen. Die anteilige Belegung des rechten Fahrstreifens nimmt kontinuierlich ab.
- Bei gleicher v_{zul} besitzt auch der Schwerverkehrsanteil einen Einfluss auf die Fahrstreifenwahl. Bei niedrigen Verkehrsstärken bis 500 Kfz/h erfolgt die Fahrstreifenwahl nahezu unabhängig vom Schwerverkehrsanteil. Mit steigender Fahrzeuganzahl steigt die Belegung des linken Fahrstreifens. Bei gleicher Verkehrsstärke verringert sich für den beobachteten Bereich tendenziell mit steigendem SV-Anteil der Anteil der Kfz im rechten Fahrstreifen. Ein signifikanter Unterschied konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.
- Der absolute Anteil der Lkw am Verkehrsaufkommen ist relativ unabhängig von der Gesamtverkehrsstärke. Bei höheren Verkehrsaufkommen sinkt der Schwerverkehrsanteil beständig.

4.9.2 Übergänge

Die Erläuterung des Verkehrsablaufes an Übergängen mit einer Fahrstreifenreduktion bzw. –addition erfolgte anhand eines standardisierten Beispiels. In der Örtlichkeit sind verschiedene Ausbauformen anzutreffen, wobei die veränderten

verkehrstechnischen und gestalterischen Elemente Auswirkungen auf den Verkehrsablauf nehmen. Basierend auf der Voruntersuchung wird die standardisierte Übergangsform durch folgende Charakteristik beschrieben:

- Unter der Maßgabe einer v_{zul} von 100 km/h ist der Verkehrsablauf auf dem zweibahnigen Abschnitt bis ca. 0,5 km vor der baulichen Reduktion unverändert. Das Geschwindigkeitsniveau und die Fahrstreifenwahl der Kfz entsprechen dem der unbeeinflussten Strecke. Allgemein variiert die Einflusslänge jedoch in Abhängigkeit des angeordneten Geschwindigkeitstrichters sowie der v_{zul} auf der Strecke.
- Im Reduktionsbereich verringert sich die Streuung der freien Geschwindigkeiten für Pkw und Lkw. Unmittelbar vor dem baulichen Einzug des linken Fahrstreifens liegt der Anteil der rechtsfahrenden Kfz zwischen 85 und 100 %.
- Ausfahrende Pkw und Lkw besitzen im Vergleich zur ihrem Pendant auf der Gegenrichtung im Abschnitt der einbahnigen Strecke ein gleiches Geschwindigkeitsniveau. Der Einflussbereich der Reduktion auf den Verkehrsablauf des einbahnigen Abschnitts liegt für beide Fahrrichtungen unter 0,5 km.
- Der Bereich nach Beginn der Zweibahnigkeit wird durch eine hohe Benutzung des linken Fahrstreifens gekennzeichnet. Ursache ist der Überholwunsch von Verkehrsteilnehmern, die im Bereich des einbahnigen Abschnittes ihre Wunschgeschwindigkeit nicht realisieren konnten. Dabei erreichen Lkw ihre Wunschgeschwindigkeit eher als Pkw. Nach einem Abstand von ca. 0,6 km zum Ende der Fahrstreifenaddition entsprechen die Geschwindigkeiten freifahrender Pkw und die Belegung der Fahrstreifen noch nicht den Kennwerten der freien Strecke. Die in der Voruntersuchung festgelegte Einflusslänge von 0,75 km kann als maßgebend erachtet werden.

Für den Übergangstyp innerhalb der Zweibahnigkeit mit Hinzukommen/Wegfall eines Seitenstreifens (WZB (S)) ohne weitere Merkmalsänderung kann anhand der Datenmenge keine verlässliche Aussage getroffen werden. Eine genaue Abgrenzung einer Einflusslänge der Abschnitte mit Seitenstreifen auf die Streckenbereiche ohne Seitenstreifen ist nicht möglich. Für die Übergangsart muss angenommen werden, dass der Wechsel von RQ 28 auf RQ 21 einen größeren Einfluss auf das

Geschwindigkeitsniveau der Pkw-Führer besitzt, als es beim Wechsel von RQ 21 auf den RQ 28 der Fall ist. Die Höhe der Lkw-Geschwindigkeiten bleibt unbeeinflusst. Basierend auf den Messanordnungen ist davon auszugehen, dass sich 0,8 km nach der Querschnittsänderung für jede Richtung ein ungestörter Verkehrsablauf eingestellt hat.

Der Übergang zweibahnig vierstreifiger Strecken zum Innerortsbereich WZB (Innerorts) wird neben der Höhe der zulässigen Höchstgeschwindigkeit wesentlich durch die mittlere Knotenabfolge sowie die Knotenpunktgrundform und die Verkehrsregelung geprägt. Die Verknüpfung einer engen Knotenabfolge in Zusammenhang mit plangleichen Knotenanschlüssen führt zu einer anteilig häufigeren Nutzung des linken Fahrstreifens. Die Einflussbereiche der Knotenpunkte können sich bei geringen Abständen überlagern, der Verkehrsablauf wird beeinflusst. Allgemein bleibt bei unveränderter Streckencharakteristik und gleicher Höhe der v_{zul} das Geschwindigkeitsniveau der freien Strecke in Fahrtrichtung Innerorts bestehen. Erst die Verringerung der v_{zul} oder die Anordnung plangleicher Knotenpunktanschlüsse beeinflusst die mittleren Geschwindigkeiten. Bei einer Änderung der v_{zul} am Übergang zum außerörtlichen Bereich stellen sich mit zunehmender Länge des RQ 21-ähnlichen Abschnittes die Wunschgeschwindigkeiten der unbeeinflussten Strecke ein. Einflussfaktoren sind die v_{zul} im Innerortsbereich und die Länge des vorangegangenen Abschnitts. Ein Zusammenhang zwischen einer dichten Knotenabfolge und einem geringen Geschwindigkeitsniveau ist nicht auszuschließen, kann aber aufgrund der geringen Datenmenge nicht verifiziert werden.

Aus den bisherigen Erkenntnissen wird der Schluss gezogen, dass die Grenze eines ungestörten Verkehrsablaufs für Übergänge des Typs WZB (Innerorts) in Abhängigkeit des mittleren Knotenabstandes festgelegt werden sollte. Verringert sich die Knotenabfolge im Vorfeld bebauter Gebiete auf einen Abstand < 1 km, ist davon auszugehen, dass ein beeinflusster Verkehrsablauf vorliegt. Die Grenze des Überganges von freier unbeeinflusster Strecke zu innerörtlichem Bereich ist für beide Richtungen auf 0,7 km (in Anlehnung der Einflusslänge eines LSA geregelten Knotens) vor dem ersten/letzten Knoten, der einen Abstand < 1 km zum Nachbarknoten aufweist, festzulegen. Das Grenzkriterium Knotenpunktabstand < 1 km ist ein Anhaltswert aus der bestehenden Untersuchung und statistisch nicht belegt.

Ist der Knotenabstand > 1 km und tritt keine Änderung der Streckenmerkmale auf, gilt in Fahrtrichtung Innerorts weiterhin die Annahme, dass der Wechsel zur Innerortscharakteristik keinen Einflussbereich auf die angrenzende Strecke besitzt. In Gegenrichtung ergibt sich eine differente Einflusslänge.

Streckenelement		Einflusslänge Zulauf [km]	Einflusslänge Ablauf [km]
Fahrstreifenreduktion (FSR)	Reduktion	$< 0,5$	$< 0,5$
	Addition	$< 0,5$	$0,75$
Übergang innerorts WZB (Innerorts) Knotenabstand kleiner 1 km	Ri. innerorts	$0,7$ (vor ersten Knoten)	-
	Ri. außerorts	-	$0,7$ (nach letzten Knoten)
Übergang innerorts Zweibahnigkeit WZB (Innerorts.) Knotenabstand größer 1 km	Ri. innerorts	nein	-
	Ri. außerorts	-	variabel
Übergang innerhalb Zweibahnigkeit WZB (S)	Ri. RQ 28	nein	$< 0,8$
	Ri. RQ 21	nein	$< 0,8$
LSA-Knotenpunkt		$0,7$	$0,7$
planfreier Knotenpunkt		$(0,3)^*$	$(0,3)^*$

*Abstand resultiert aus der Annahme, dass aus-/einfahrende Kfz in Knotennähe verzögern/beschleunigen

Tab. 34: Modifizierte Einflusslängen der Streckenelemente

Die modifizierten Einflusslängen für die Einzelelemente sind in Tab. 34 aufgeführt. Diese gelten als Anhaltswert. Aufgrund örtlicher Gegebenheiten sind Abweichungen möglich.

4.10 Simulation Verkehrsablauf freie Strecke RQ 21

4.10.1 Vorgehensweise

Das HBS (FGSV, 2001) beinhaltet zur Bestimmung der Verkehrsqualität im Kapitel 3 q-V-Diagramme in Abhängigkeit verschiedener Umfeldbedingungen für die Streckenabschnitte von Autobahnen. Mit der Beziehung der Kenngrößen Geschwindigkeit V und Verkehrsstärke q wird der Verkehrsfluss dargestellt. Die Verkehrsqualität, beschrieben durch Kenngröße des anteiligen Auslastungsgrad a , ergibt sich aus dem Quotienten der Bemessungsverkehrsstärke q_b und der Kapazität der Strecke C . Die gestalterischen Unterschiede zwischen RQ 21-ähnlichen und autobahntypischen zweibahnig vierstreifigen Querschnitte sind mit Ausnahme des Vorhandenseins eines Seiten-

streifens gering. Für die Ermittlung von q-V-Beziehungen für RQ 21-ähnliche Streckenabschnitte wird daher das im HBS (FGSV, 2001) in Kapitel 3 dargestellte Verfahren angewandt.

Für die Übertragung des Verfahrens auf den Querschnitt RQ 21 ist die Erzeugung von q-V-Diagrammen im Spektrum der auftretenden Verkehrsstärken notwendig. Als Datengrundlage dienen die aus den Querschnitts- und Reisezeitmessungen erhobenen Daten. Mit deren Hilfe erfolgt die Kalibrierung und Validierung der Verkehrsflusssimulation. Ausgehend von dieser Datenbasis sollen auch ein Verkehrsablauf in Bereich von Verkehrsstärken und unter weiteren Rahmenbedingungen simuliert werden, deren Erhebung in der Örtlichkeit nicht möglich sind. Im Entwurf der RAL (FGSV, 2008) wird die Einsatzgrenze des RQ 21 bei einem DTV von 30.000 Kfz/24h festgelegt. Von diesem Grenzwert ausgehend, verdeutlicht die überschlägige Verkehrsmengenberechnung der Spitzenstunde mit einem DTV-Anteil von 15 %, dass die auftretenden Verkehrsmengen von $2.250 \text{ Kfz}/(h \cdot Ri)$ weit unter den Kapazitäten für vergleichbare zweibahnig vierstreifige Autobahnabschnitte liegen. Belastungen über dieses Verkehrsaufkommen hinaus stellen die Ausnahme dar. Daher wird die Angabe von q-V-Beziehungen bis zur Kapazität vor dem Hintergrund der gewünschten Einsatzgrenzen nicht notwendig. Im Rahmen der Untersuchungen wurde eine Darstellung der Kurven bis zu einer Verkehrsstärke von $2.500 \text{ Kfz}/(h \cdot Ri)$ als ausreichend erachtet. Grundlegend wurde bei der Simulation der freien Strecke in die drei Geschwindigkeitstypen:

- „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “
- „ $v_{zul} = 120 \text{ km/h}$ “
- „ $v_{zul} = \text{frei}$ “

unterschieden.

4.10.1 Simulationsmodell

Als Grundlage der Simulationen diente das mikroskopische Simulationsprogramm VISSIM der PTV AG. VISSIM bildet das Fahrverhalten der einzelnen Verkehrsteilnehmer ab und besitzt eine Vielzahl von Möglichkeiten Streckeneigenschaften und Fahrverhalten zu modellieren. Für den außerörtlichen Bereich wurde das psycho-physische Abstandsmodell nach Wiedemann 99 hinterlegt. Dieses ermöglicht mit der Eingabe der Eigenschaft „Trödeln“ Unachtsamkeit der Kfz-Führer widerzuspiegeln und einen realistischen Verkehrsablauf darzustellen. Die Eigenschaften des Fahrstreifenwechselverhaltens beruhen auf dem Modell von Sparmann 78.

Für die Simulation der freien Strecke erfolgte die Anordnung einer 9 km langen Richtungsfahrbahn, wobei in einem Bereich zwischen 3 und 6 km eine Reisezeitenerhebung der Verkehrsteilnehmer durchgeführt wurde. Somit enthält das Modell eine 3 km lange Vorlaufstrecke, die dem Verkehr eine gleichmäßige Verteilung und Beruhigung erlaubt.

4.10.2 Kalibrierung und Validierung

Aufgrund der geringen Datenlage der Messwerte und dem Nichtvorhandensein verschiedener Merkmalskombinationen in der Örtlichkeit wurde auf eine Betrachtung der Steigungsklassen $> 2\%$ verzichtet.

Eingangsgröße bildeten die in 5 min Intervallen aufbereiteten empirischen Querschnittsdaten (Schwerverkehrsanteil, Fahrzeuganzahl, Fahrstreifenbelegung) der Geschwindigkeitskollektive sowie die jeweiligen Geschwindigkeitsverteilungen der Klassen für Pkw und Lkw. Die Angabe der Verteilungen erfolgte in VISSIM über mehrere Stützstellen. Die Anteile der Fahrzeugklassen wurden „5 min-fein“ eingegeben.

Aus jedem Kollektiv wurden mindestens vier Querschnitte zur Kalibrierung und zwei zur Validierung ausgewählt. Um den Verkehrsablauf möglichst realistisch wiederzugeben erfolgte die Kalibrierung anhand der Parameter Fahrtgeschwindigkeit, und Verkehrsstärke. Ferner diente die Analyse der lokalen Geschwindigkeiten, Fahrstreifenbelegung – insbesondere der Lkw-Verteilung – und die Bewertung der Zeitlücken als Kriterien zur Beurteilung der Güte der Simulation.

Es zeigte sich, dass das Überholverhalten der Lkw durch eine übermäßige Benutzung des linken Fahrstreifens nicht den realen Werten entsprach. Für alle Geschwindigkeitstypen erfolgte eine Sperrung des linken Fahrstreifens für einen Teil der Lkw. Zum Vergleich der Fahrzeuganzahlen und mittleren Geschwindigkeiten wurde der Mittelwert aus zehn Simulationen mit verschiedenen Startzufallszahlen betrachtet. Um die Anpassungsgüte der Simulationen an die Realität zu prüfen, wurden unter anderem die folgenden Kenngrößen verwendet (FGSV, 2006B):

- RMSPE (Root Mean Square Percent Error), gibt Auskunft über die Größe des Fehlers der Performance relativ zum Mittelwert

- MPE (Mean Percent Error), gibt Auskunft über den mittleren prozentualen Fehler einer Über- oder Unterschätzung

Beide aufgeführten Werte werden in Prozent angegeben. Ein Anteil von unter fünf Prozent gilt als gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Realität.

Mittels der vorgegebenen Wunschgeschwindigkeit der Fahrzeugklassen wurde für alle Querschnitte der Kalibrierung ein Parametersatz gesucht, der es ermöglichte, das Verkehrsverhalten aller Querschnitte ausreichend zu beschreiben. Der bestimmte Parametersatz war Grundlage der Validierung.

Klasse	$v_{zul} = 100$		$v_{zul} = 120$		$v_{zul} = \text{frei}$	
	Kfz/h	v_{mom}	Kfz/h	v_{mom}	Kfz/h	v_{mom}
Kalibrierung						
Anzahl	5		6		4	
Mittlerer Fehler	2,1%	3,3%	2,3%	3,9%	2,4%	4,3%
Validierung						
Anzahl	3		2		2	
Mittlerer Fehler	2,1%	3,9%	1,6%	4,3%	3,6%	4,0%

Tab. 35: Fehlerwerte Kalibrierung und Validierung Kollektive RQ 21, MPE für Verkehrsstärke und Pkw-Fahrtgeschwindigkeit

Tab. 35 enthält den mittleren MPE für die einzelnen Kollektive, getrennt nach den Kriterien Verkehrsstärke und mittlere momentane Pkw-Geschwindigkeit. Es wird ersichtlich, dass bezüglich der Kalibrierung in allen drei Kollektiven eine gute Performance erzielt wurde. Lediglich in der Gruppe „ $v_{zul} = \text{frei}$ “ bewegt sich der mittlere MPE für die Geschwindigkeit der Kalibrierung im Grenzbereich. Bei der Kalibrierung der Kollektive trat eine Besonderheit auf. Zwei Messquerschnitte, in deren weitläufigem Vorlauf eine Änderung der v_{zul} angeordnet war, konnten nicht in der Kalibrierung berücksichtigt werden. Bei dem Vergleich der simulierten, mit den aus den harmonischen Mittel bestimmten Fahrtgeschwindigkeiten, zeigten sich hohe Differenzen. Nach Überprüfung der Daten war festzustellen, dass bei beiden Querschnitten dieses eben erwähnte Merkmal auftrat, welches über einen längeren Abschnitt eine Beeinflussung der aus den lokalen Messungen erhobenen Reisegeschwindigkeiten zur Folge hat.

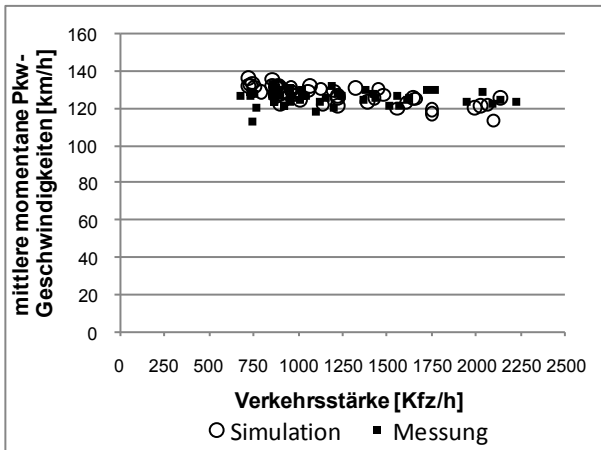


Bild 43: Gegenüberstellung Simulation und Messwerte am Beispiel B 469 R2 FR N

Die grafische Darstellung der Simulationsergebnisse für den Beispielquerschnitt B 469 R2 FR N ist in Bild 43 dargestellt. Es wird die gute Überlagerung der simulierten und in der Realität erhobenen Werte über die gesamte Spannbreite der Verkehrsstärke deutlich.

4.10.3 Ermittlung Kurvenverläufe

Die Kalibrierung und Validierung der Verkehrsstärkeberechnung erfolgte anhand der erhobenen Messintervalle.

Die Berechnung der q-V-Beziehungen nach dem HBS beruht jedoch auf der Auswertung von Stundenintervallen. Grund für diese Vorgehensweise ist die Erkenntnis, dass bei der Auswertung von Stundenintervallen geringere Kapazitäten als bei der Auswertung von 5 min Intervallen ermittelt werden (GEISTEFELDT, 2007). Ursache sind Schwankungen in der Verkehrsstärkeganglinie, die je nach Länge des Intervalls bei der Aggregation

zu Stundenintervallen in einem Zustand zusammengefasst werden. Die Vermeidung dieses Umstandes setzt entsprechend lange Zeitintervalle vor der nächsten Erhöhung der Verkehrsstärke voraus.

Um eine ausreichende auswertbare Datenmenge auf der Grundlage von Stundenintervallen zu erzielen, wäre eine umfangreiche zeitlich aufwändige Simulation notwendig. Deshalb wurde eine Verkehrsstärkenerhöhung aller 30 min um 250 Kfz/h bis zu einer Grenze von 3.000 Kfz/h durchgeführt. Die Auswertung erfolgte in 10 min Intervallen.

VISSIM ermöglicht die Einspeisung der Verkehrsstärke mit Einflüssen durch stochastische Schwankungen, welche die Schwankungen des realen Verkehrsflusses darstellen. Da sich die Verteilung der Messwerte bei einer präzisen Einspeisung im Verkehrsstärkebereich der vorgegebenen Werte gruppierte, erfolgte die Kapazitätvorgabe mit Hilfe programminterner stochastischer Schwankung.

Beispielhaft veranschaulicht Bild 44 ein Ergebnis der Kapazitätsberechnung für die q-V-Beziehung „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “, Steigung $\leq 2 \%$, Schwerverkehrsanteil 10 %.

Dargestellt sind die aus den 10 min Intervallen bestimmten Verkehrsstärken. Die Berechnung der Kurvenverläufe orientierte sich an der Vorgabe nach dem Verfahren von (BRILON, PONZLET, 1995). Grundlage bildete die Auswertung der Verkehrsstärke aus der Hochrechnung der 10 min Intervalle beruhend auf zehn Startzufallszahlen. Die Regression wurde über die Klassenmittelwerte – Klassenbreite 60 Kfz/h – durchgeführt. Die Klassenmittelwerte bestimmten sich aus dem Mittelwert aller Messpunkte im gültigen Abschnitt. Um eine Stabilität der Klassenmit-

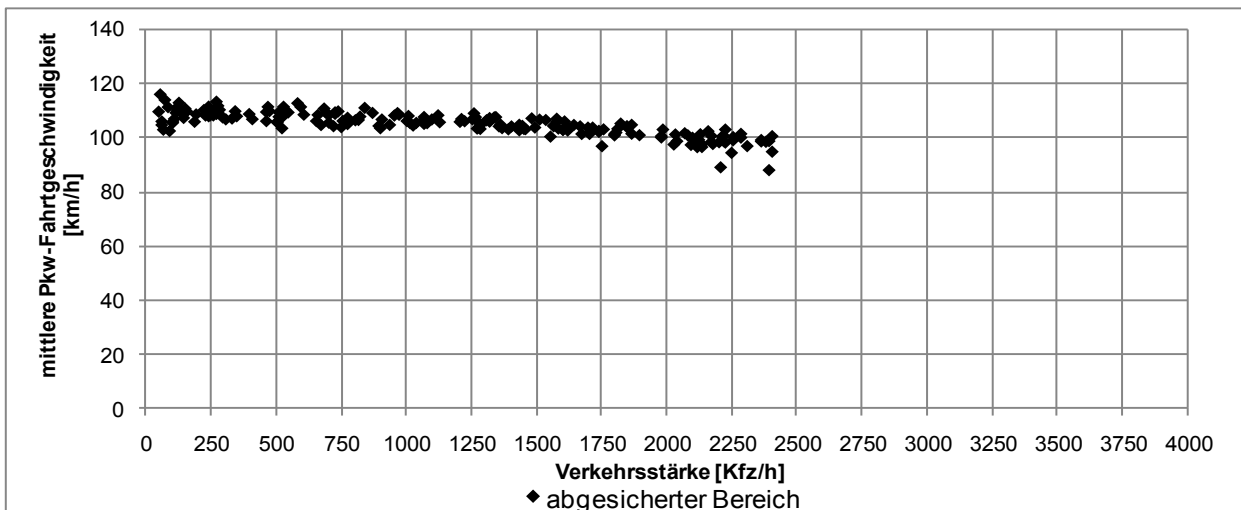


Bild 44: q-V-Diagramm RQ 21 $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$, Steigung $\leq 2 \%$, SV-Anteil 10 %

tenwerte zu erhalten und Einflüsse von Ausreißerwerten zu begrenzen, wurden bei der Erstellung der Klassenmittelwerte nur solche Punkte zugelassen, deren Kollektiv sich aus mindestens drei Messwerten zusammensetzen.

4.10.4 Bewertung Ergebnisse

Die grafischen Verläufe der Kurven im Vergleich zu denen für zweistreifige Autobahnen mit Tempo-limit für $v_{zul} = 100$ km/h nach dem HBS Entwurf

2010 [FGSV, 2009] enthält Bild 45. Das Kollektiv „ $v_{zul} = \text{frei}$ “ ist aufgrund der Nähe der Untersuchungsstrecke zum Ballungsraum Frankfurt/Main den q-V-Beziehungen für Strecken innerhalb von Ballungsräumen gegenübergestellt.

In Tab. 36 sind die Regressionsparameter für die einzelnen Kollektive getrennt nach dem Schwerverkehrsanteil für Strecken mit einer Steigung $\leq 2\%$ aufgeführt.

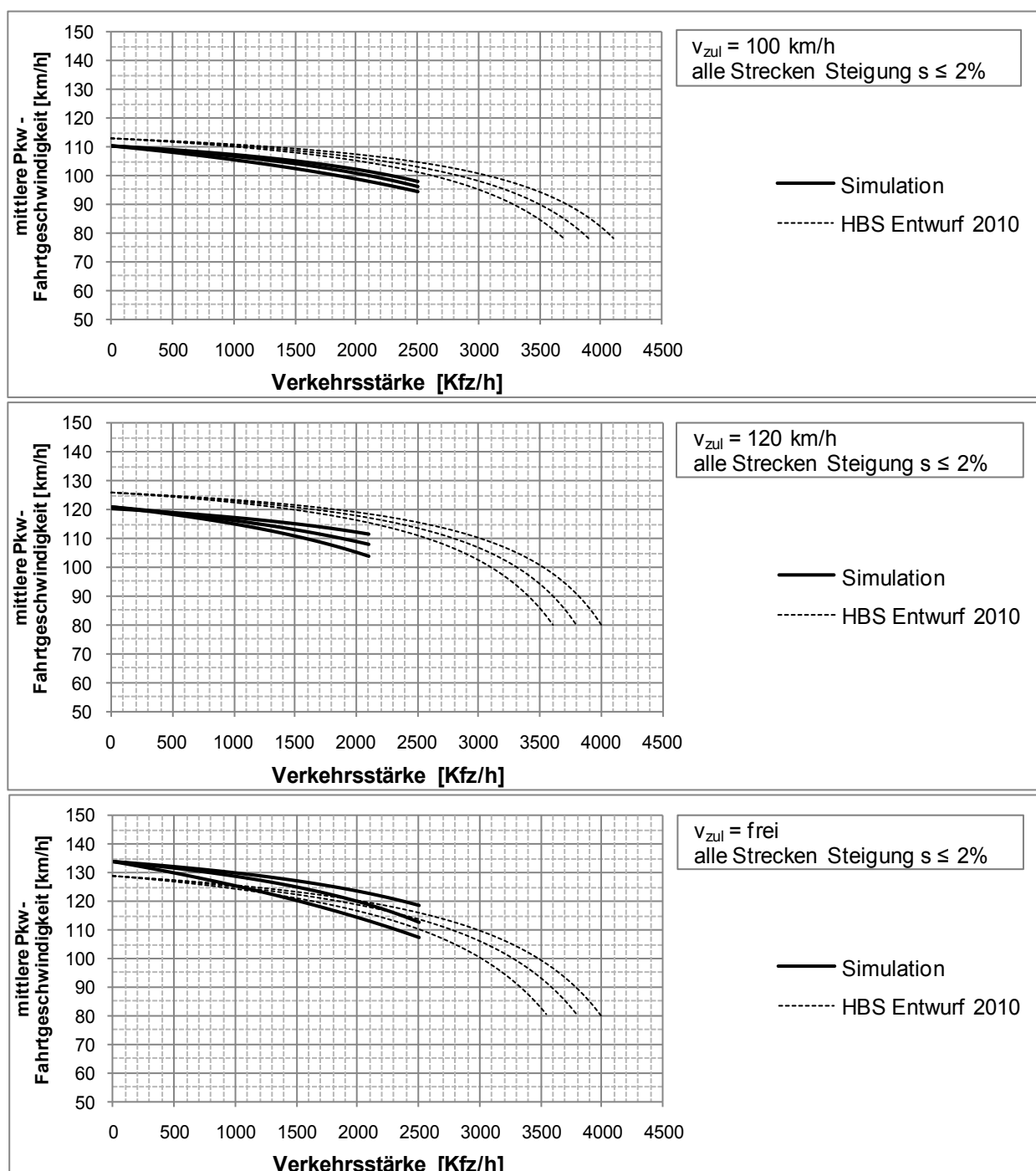


Bild 45: q-V-Diagramme Geschwindigkeitstypen RQ 21, Steigung $\leq 2\%$

Klasse [km/h]	SV-Anteil	L_0 [km]	V_0 [km/h]	C_0 [Kfz/h]
v = 100	0%	0,258	123,1	4389
	10%	0,199	126,4	4571
	20%	0,085	143,8	5716
v = 120	0%	0,269	133,5	4591
	10%	0,167	142,5	4753
	20%	0,177	144,5	4185
v = frei	0%	0,257	151,1	4620
	10%	0,250	153,6	4202
	20%	0,073	196,8	5751

Tab. 36: Parameter Modellfunktion für RQ 21, Grundlage (BRILON, PONZLET, 1995)

Das Kollektiv „ $v_{zul} = 100$ km/h“ unterscheidet sich im Bereich der Ausgangsgeschwindigkeit mit 2,0 km/h nur geringfügig vom Vergleichswert nach dem Entwurf des HBS (FGSV, 2009). Die simulierten Kurven verlaufen unter den Kurven für zweistreifige Autobahnen mit gleicher Beschränkung der v_{zul} . Der Einfluss des Schwerverkehrsanteils auf die Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten im Bereich mittlerer Verkehrsstärken bleibt gering. Als Ursache ist die geringe Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Lkw und Pkw auf Strecken mit einer v_{zul} von $v = 100$ km/h zu nennen.

Eine größere Distanz zwischen simulierten und Vergleichskurven liegt im Kollektiv „ $v_{zul} = 120$ km/h“ vor. Die Ausgangsgeschwindigkeit weist eine Differenz von 6 km/h auf. Bereits bei geringen Verkehrsstärken wird ein Einfluss des SV-Anteils auf die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten deutlich. Vergleichend zu den Kurven nach dem HBS Entwurf streuen die Werte für Strecken des RQ 21 aufgrund des Einflusses des SV-Anteils bereits bei mittleren Verkehrsstärken von 2.000 Kfz/h deutlich mehr.

Eine um 5 km/h höhere Ausgangsgeschwindigkeit gegenüber den HBS Kurven für Strecken innerhalb von Ballungsräumen weist das Kollektiv „ $v_{zul} = frei$ “ auf. Bei einem Vergleich der Strecken mit der Lage außerhalb von Ballungsräumen besitzt das Untersuchungskollektiv eine um 4 km/h geringe Ausgangsgeschwindigkeit. Die aus der Simulation bestimmten Kurven weisen bereits im Bereich geringer Verkehrsstärken einen deutlicheren Geschwindigkeitsrückgang auf. Ebenfalls wirkt sich der Anteil des Schwerverkehrs auf die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten aus. Mit der Zunahme der Überholdichte und damit der Interaktionen der Verkehrsteilnehmer fällt das Geschwindigkeitsniveau ab. Deutlich fällt der Unterschied bei einem SV-Anteil von 20 % aus.

Aus den Kurvenverläufen aller 3 Geschwindigkeitstypen in Abhängigkeit des SV-Anteils lässt sich dessen Einfluss auf die q-V-Beziehungen herleiten. Bei einer höher angeordneten v_{zul} nimmt der Einfluss des SV-Anteils auf die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten zu. Begründet wird dies durch die zunehmende Differenz zwischen den Wunschgeschwindigkeiten der Pkw und der Beschränkung der v_{zul} für den Schwerverkehr. Mutmaßlich wird der Schwerverkehr auf RQ 21-ähnlichen Strecken mehr von Fahrzeugen des Güterverkehrs geprägt, deren Fahrverhalten sich von dem des Güterfernverkehrs unterscheidet.

Die Regression der q-V-Beziehungen beruht auf einer Auswertung der simulierten Werte, die auf dem empirisch erfassten Werten basieren. Mit Hilfe der in VISSIM zur Verfügung stehenden Verhaltensparametern wurden Konfigurationen erzeugt, welche die Verkehrsabläufe der Realität nach gegebenen Möglichkeiten genau abbilden und nur für diesen Bereich Gültigkeit besitzen. Der Umfang des Wertebereiches beeinflusst u. a. den Kurvenverlauf der q-V-Beziehungen. Das Vorliegen von Daten im Bereich höherer Verkehrsstärken kann zu einem veränderten Verlauf der Kurven, bezüglich der Krümmung führen. Nach den Regelwerken sind Verkehrszustände bei denen die Kapazitätsgrenze einer Strecke mit einem RQ 21 theoretisch erreicht werden würde, für die Praxis nicht vorgesehen. Die Kurvenbetrachtung über eine – mit einem Zuschlag behaftete – Grenzbelastung von 2.500 Kfz/h hinaus, entspräche daher vor Ort nur in Ausnahmefällen einer alltäglichen Situation. Laut Streckendokumentation gibt es vereinzelt RQ 21-ähnliche Abschnitte bspw. die B 19 Würzburg/Mühlhausen, die einen DTV (48.600 Kfz/24h) oberhalb der maximalen Grenze nach den RAL aufweisen. Die an der Strecke erhobene Verkehrsstärke während der Spitzenstunde überstieg den Wert von 2.500 Kfz/h nicht.

5 Analyse Verkehrssicherheit

5.1 Zielstellung

Bei der vergleichenden Einordnung der Verkehrssicherheit für RQ 21- und RQ 28-ähnliche Strecken sind neben dem Regelquerschnitt selbst auch die Streckencharakteristik, betriebliche Eigenschaften (v_{zul}), Knotenpunktgrundform und verkehrliche Randbedingungen zu berücksichtigen.

Für Landstraßen mit RQ 21-ähnlichen Querschnitt stellt sich die Frage, ob eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 100 bis

120 km/h aus Sicherheitsgründen sinnvoll oder erforderlich ist. Für den Vergleichsquerschnitt RQ 28 sind laut den RAA (FGSV, 2008B) nur in besonderen Fällen Geschwindigkeitsbeschränkungen vorgesehen. Aus verschiedenen Untersuchungen (HEIDEMANN, 1998) (BRILON, 2001) geht hervor, dass sich das Fehlen eines Seitenstreifens negativ auf die Verkehrssicherheit auswirkt. Jedoch beschränkt sich diese Aussage zu einem großen Teil auf BAB, die mitunter mehr als zwei Fahrstreifen aufwiesen.

5.2 Methodik

Der Sicherheitsvergleich von RQ 21 und RQ 28 beruht auf einer makroskopischen und mikroskopischen Unfallanalyse des Unfallgeschehens ausgewählter Strecken.

Strecken mit Richtungstrennung sind dadurch charakterisiert, dass sich der Verkehrsablauf für beide Richtungen wesentlich unterscheiden kann. Eine gemeinsame Sicherheitsbetrachtung beider Richtungsfahrbahnen kann daher zur Überlagerung von unabhängigen Einflussfaktoren führen. Um dies auszuschließen, erfolgt eine fahrtrichtungsbezogene Auswertung des Unfallgeschehens für alle die Streckenbereiche, bei denen ein differenzierter Verkehrsablauf für beide Richtungsfahrbahnen zu erwarten ist. Diese richtungsgetrennte Analyse erlaubt die genaue Abgrenzung verschiedener Netzelemente nach verkehrlichen und baulichen Kriterien. Folgende Vorgehensweise wurde gewählt:

- Festlegung Grundelemente Streckenzug
- Bestimmung Einflusslängen Knotenpunkte
- Festlegung der Streckenabschnitte ohne Beeinflussung (freie (unbeeinflusste) Strecke)
- Sicherheitsanalyse für Einzelelemente und gesamte Streckenabschnitte

5.2.1 Datengrundlage

Grundlage des Sicherheitsvergleiches bildet das polizeilich erfasste Unfallgeschehen der folgenden Bundesländer für Strecken mit RQ 21- und RQ 28-ähnlichen Querschnitten im Zeitraum vom 01.01.2005 bis zum 31.12.2007:

- Sachsen,
- Sachsen-Anhalt und
- Baden-Württemberg

Nr.	Straße	Raum	Querschnitt
1	B 95	Böhlen	RQ 21- ähnlich
2	B 2	Markleeberg	RQ 21- ähnlich
3	B 95	Espenhain	RQ 21- ähnlich
4	B 6	Schkeuditz	RQ 21- ähnlich
5	B 169	Riesa	RQ 21- ähnlich
6	B 178	Löbau	RQ 21- ähnlich
7	B 173	Flöha	RQ 21- ähnlich
8	B 93	Zwickau	RQ 28- ähnlich
9	B 174	Zschopau	RQ 28- ähnlich
10	S 117	Pirna	RQ 28- ähnlich
11	B 81	Magdeburg Süd	RQ 21- ähnlich
12	B 6n	Wernigerode	RQ 28- ähnlich
13	B 91	Weißenfels	RQ 28- ähnlich
14	B 100	Halle Ost	RQ 21- ähnlich
15	B 189	Magdeburg	RQ 28- ähnlich
16	B 189	Wolmirstedt	RQ 21- ähnlich
17	B 80	Halle West	RQ 21- ähnlich
18	B 6n	Aschersleben	RQ 28- ähnlich
19	B 91	Halle Süd	RQ 21- ähnlich
20	B 1	Magdeburg Stadtfeld	RQ 21- ähnlich
21	B 2	Wittenberg	RQ 21- ähnlich
22	B 27	Donaueschingen	RQ 28- ähnlich
23	B 33	Radolfzell	RQ 21- ähnlich
24	B 30	Ulm	RQ 28- ähnlich
25	B 27	Tübingen	RQ 21- ähnlich
26	B 28	Reutlingen	RQ 21- ähnlich
27	B 28	Kehl	RQ 21- ähnlich
28	B 33	Singen West	RQ 28- ähnlich
29	B 30	Ulm	RQ 21- ähnlich

Tab. 37: Untersuchungsstrecken für Sicherheitsanalyse

Ausgewertet wurden die Merkmale Unfallkategorie, Unfalltyp, Unfallart sowie die Fahrtrichtung. Neben den Unfällen, welche sich auf den Streckenabschnitten ereigneten, wurde auch das komplette Unfallgeschehen an den Anschlussknoten mit erfasst. Im Unterschied zu den anderen Bundesländern werden in Baden-Württemberg in der Kategorie 5 nur Unfälle mit schwerer Ordnungswidrigkeit erfasst werden. Des Weiteren war für dieses Land die Angabe des Richtungsbezugs der Unfälle nicht vorhanden. Aus diesem Grund erfolgte eine nach Bundesländern getrennte Bewertung des Unfallgeschehens. Die Sicherheitsbetrachtung von Netzelementen, die keinen Richtungsbezug erfordert, beruht auf der Auswertung der Unfallkategorien 1 bis 4 aller drei Bundesländer.

Die Analyse umfasst 19 RQ 21- ähnliche Abschnitte mit 114 km Streckenlänge und 10 RQ 28- ähnliche Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 122 km.

Die Bestimmung der Einflussbereiche von Knotenpunkten auf die angrenzende Strecke sowie die allgemeine Bewertung der Verkehrssicherheit von Knotenpunkten basiert auf der Auswertung der Unfallkategorien 1 bis 6 der Bundesländer Sachsen und Sachsen-Anhalt.

Anzahl der Unfälle			
Elemente	U(SP)	U(P)	U(SS)
RQ 21			
freie Strecke	25	85	48
Zwischenelement	30	131	63
Knotenpunkt	53	216	102
erweiterter Knotenpunkt	13	42	25
RQ 28			
freie Strecke	24	100	58
Zwischenelement	23	64	38
Knotenpunkt	38	106	72
erweiterter Knotenpunkt	23	79	51

Tab. 38: Unfallzahlen der einzelnen Netzelemente

5.2.2 Netzeinteilung

Die Netzeinteilung für die Auswertung des Unfallgeschehens orientierte sich an einer Vielzahl von Randbedingungen. Neben dem Vergleich des RQ 21 mit dem RQ 28 sollten weiterhin die Einzelelemente hinsichtlich ihrer Verkehrssicherheit untersucht werden. Es war zu klären, inwieweit verschiedene Knotenformen einen Einfluss auf das Unfallgeschehen der angrenzenden Strecke besitzen. Darüber hinaus sollte eine Gegenüberstellung des Sicherheitsgrades verschiedener Knoten Grundformen und der Elemente Fahrstreifenreduktion, -subtraktion und -addition erfolgen.

Datengrundlage bildete das klassifizierte Straßennetz für Bundes- und Landesstraßen der drei Bundesländer unter Berücksichtigung der Grenzkriterien, die in der Dokumentation der zweibahnig vierstreifigen Straßen erläutert wurden. Aus den Straßeninformationsbanken (SIB) der Länder konnten Daten zum Regelquerschnitt der Strecke, dem DTV sowie den Längsneigungen entnommen werden. Die Abschnittseinteilung nach Höhe der zulässigen Höchstgeschwindigkeit beruht auf der Dokumentation der Strecken nach Durchfahrt und gleichzeitiger Videoaufzeichnung. Die Auslese der SIB ließ erkennen, dass für eine Vielzahl von Anschlussknotenpunkten der DTV des nachfolgenden Straßennetzes nicht vorhanden war. Gleiches galt für die Rampen bei Knoten mit einer (teil-) planfreien Führung. Deshalb musste in den weiteren Untersuchungen eine generalisierte Betrachtung der (teil-) planfreien Knotenpunkte erfolgen.

Bei der Aufbereitung des Netzes wurden mit Hilfe des geografischen Informationssystems MapInfo vorgenommen. Dabei wurde in folgende Elemente unterschieden:

- Knotenpunkt
- Erweiterter Knotenpunkt
- Zwischenelement
- Freie (unbeeinflusste) Strecke

Knotenpunkte

Knotenpunkte sind klassifizierte Achsenschnittpunkte der Hauptfahrbahn mit Anbindung in das weitere Netz. Knotenpunkte werden nach den RAL (FGSV, 2008) in vier verschiedene Grundformen unterschieden:

- Planfreier Knotenpunkt (Einfädeln/Ausfädeln auf über- und untergeordneter Straße)
- Teilplanfreier Knotenpunkt (Einfädeln/Ausfädeln auf übergeordneter Straße, Einbiegen/Abbiegen oder Kreisverkehr auf untergeordneter Straße)
- Teilplangleicher Knotenpunkt (Einbiegen/Abbiegen auf übergeordneter Straße, Einbiegen/Abbiegen oder Kreisverkehr auf untergeordneter Straße)
- Plangleicher Knotenpunkt (Möglichkeiten von Kreisverkehr, Kreuzung oder Einmündung)

Je nach EKL können die Knotenpunkte des RQ 21 nach den genannten Grundformen gestaltet sein. Entscheidend für die Sicherheitsanalyse der Strecke ist der Anschluss der Hauptfahrbahn. Daher wurden bei der Abschnittsbetrachtung die Knotenpunkte in die Kategorien planfrei (bauliche Grundformen mit einem planfreien Anschluss der Hauptfahrbahn) und plangleich (Grundformen mit einem plangleichen Anschluss der Hauptfahrbahn) unterschieden. Teilplangleiche Knotenpunkte waren auf den untersuchten Strecken nicht vorhanden.

Ebenfalls den Knotenpunkten wurden die Elemente der Fahrstreifenreduktion, -subtraktion und -addition zugeordnet.

Bei einem planfreien Anschluss der Hauptfahrbahn wurde lediglich das Unfallgeschehen der Hauptfahrbahn sowie der Ein- und Ausfädelstreifen bis zur Inselspitze in das Untersuchungskollektiv eingeschlossen. Die Unterteilung in Einfädel- und Ausfädelbereich ermöglichte die Betrachtung der Verkehrssicherheit beider Elemente. Der Ausfädelbereich wird definiert als der Abschnitt zwischen

Beginn des Ausfädelstreifens bis zur Inselfspitze des Einfädelstreifens. Folglich ergibt sich die Länge des Einfädelbereichs beginnend von der Inselfspitze des Einfädelstreifens bis 50 m nach Ende des Einfädelstreifens. Die 50 m Zuschlag wurden unter der Annahme gewählt, dass einige Fahrstreifenwechselforgänge, die bei bestimmten Verkehrssituationen über die Länge des Einfädelstreifens hinaus reichen, ebenfalls in diesem Bereich berücksichtigt werden. Erfolgt der Anschluss in das Netz mit einer Verflechtungsstrecke zwischen Aus- und Einfädelstreifen wurde ein Zwischenelement in diesem Bereich eingefügt. Alle diese Elemente wurden mit ihrer Länge in die Unfallkenngrößenrechnung einbezogen.

Die Abgrenzung plangleicher Knotenpunkte umfasst ein Quadrat mit einer Kantenlänge von 50 m. Mittelpunkt bildet der Schnittpunkt beider Straßenachsen. Alle in dem aufgespannten Quadrat vorgefundenen Unfälle wurden dem Element „plangleicher Knotenpunkt“ zugewiesen. In die Berechnung der Unfallkenngrößen wurde die Längenausdehnung des Elementes mit der Größe 1 berücksichtigt.

Für FSR, FSS und FSA erfolgte eine exakte Längenerfassung in zwei Teilbereichen. Im Bereich des zweibahnigen vierstreifigen Abschnittes wurde ein 300 m langer Abschnitt der jeweiligen Übergangsform zugeordnet. Der Abschnitt endet an der Stelle, wo der Hauptfahrbahn nur noch ein vollständiger Fahrstreifen zur Verfügung steht (analog FSA in der Gegenrichtung). Im einbahnig zweistreifigen Bereich wurde für alle drei Übergangsformen ein 200 m langer Teilabschnitt angeordnet.

Erweiterter Knotenpunkt

Das Element „erweiterter Knotenpunkt“ fand bei der Verkehrssicherheitsbewertung (teil-) planfreier Knoten Beachtung. Um eine formal korrekte Gegenüberstellung (teil-) planfreier und plangleicher Knotenpunkte durchführen zu können, ist eine Erfassung des gesamten Unfallgeschehens an den Teilknotenpunkten notwendig, ohne dass die zusätzliche Streckenlänge berücksichtigt wird. Das Unfallgeschehen im Bereich der Rampen, plangleicher Teilknoten und planfreier Bereiche übergeordneter Anschlüsse wurde im Element „erweiterter Knotenpunkt“ erfasst. Auch hier erfolgt die Längenbetrachtung „dimensionslos“ mit der Größe 1. Die Abgrenzung plangleicher Teilknoten erfolgte analog der Vorgehensweise für plangleiche Knoten

auf der Hauptstrecke. Die Begrenzung planfreier Elemente orientierte sich an der baulichen Ausprägung des Teilknotens. Das Ende von Aus- oder Einfädelstreifen auf der untergeordneten Strecke markiert die Grenze.

Zwischenelement

Die Gruppe der Zwischenelemente umfasst eine Vielzahl von verschiedenen Streckenbereichen, die sich an den Knotenpunkten beidseitig anordnen.

Um eventuelle Einflüsse von Knotenpunkten auf die Verkehrssicherheit der nachfolgenden Fahrbahn auszuschließen, wurde dem Knotenpunkt nachfolgend eine Pufferstrecke von 400 bzw. 500 m angeordnet.

Zwischenelemente wurden darüber hinaus im Annäherungsbereich von Knotenpunkten angeordnet, um eine längenmäßige Bestimmung des mutmaßlichen Einflusses von Knotenpunkten auf die angrenzende zulaufende Fahrbahn zu erhalten. Der Abschnitt des Annäherungsbereiches beinhaltete zehn 100 m lange Elemente. Eine genaue Erläuterung enthält Kapitel 5.2.4.

Freie Strecke

Nach dem Festlegen der Knotenpunkte und der Zwischenelemente ergab sich aus den verbliebenen Streckenabschnitten der Bereich, welcher der freien bzw. unbeeinflussten Strecke zugeordnet wurde. Für diese Elemente erfolgte die Zuordnung des Kriteriums der v_{zul} . Dies geschah für jede Richtung. Trat im Streckenverlauf eine Änderung der v_{zul} auf, wurde der Abschnitt in der Auswertung unterteilt. Eine differenzierte Betrachtung der Verkehrssicherheit nach Höhe der v_{zul} wurde nicht für alle Netzelemente durchgeführt, da gerade im Bereich plangleicher Knotenpunkte Geschwindigkeitstrichter angeordnet sind, die eine elementfeine Betrachtung der Verkehrssicherheit nach der v_{zul} nicht zulassen.

Da das Unfallgeschehen einer Poissonverteilung unterliegt, kann die Betrachtung sehr kurzer Streckenabschnitte in der Höhe der fahrleistungsbezogenen Unfallkenngrößen extreme Unterschiede aufweisen. Deshalb wurden bei der Netzanalyse nur Abschnitte mit einer Mindestlänge von 200 m berücksichtigt.

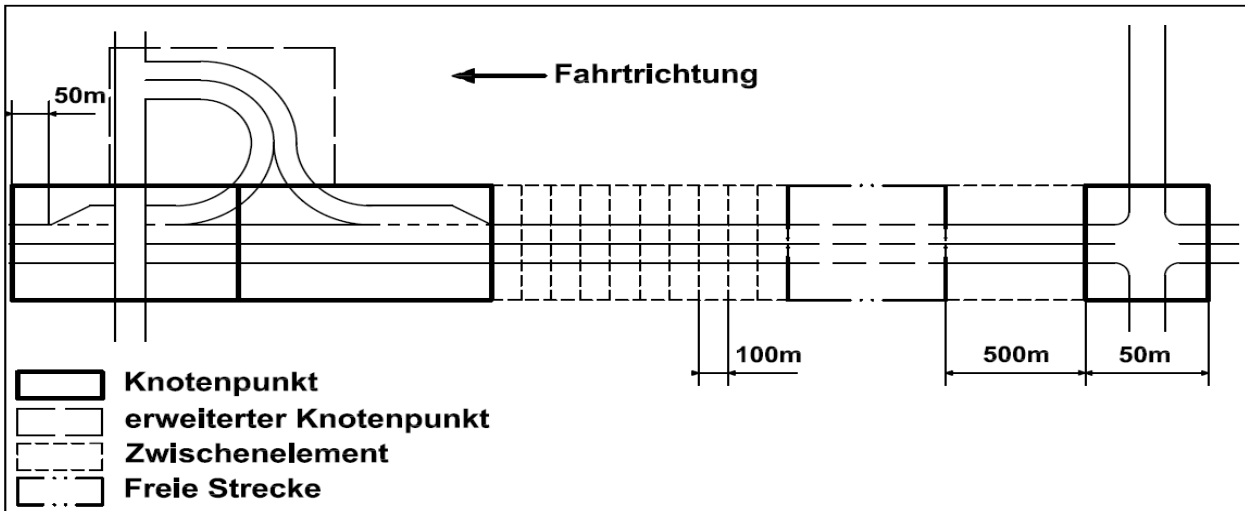


Bild 46: Netzaufteilung der Einzelemente zur Sicherheitsanalyse eine Fahrtrichtung

Bild 46 stellt beispielhaft die Zuordnung der Elemente für eine Richtungsfahrbahn dar. Linksseitig befindet sich ein teilplanfreier Knotenanschluss, der rechte Knoten entspricht einer plangleichen Grundform. Im Zulauf auf den teilplanfreien Knoten erfolgt die Anordnung der Zwischenelemente zur Bestimmung der Einflusslänge des teilplanfreien Knotens. Daran schließt sich die freie Strecke an, die streckenaufwärts durch den 500 m langen Pufferbereich des plangleichen Knotens begrenzt wird.

Da die Unfalldaten des Landes Baden-Württemberg ohne Richtungsbezug vorlagen, konnte hier keine fahrbahnfeine Unfallanalyse der Knotenpunkte und Zwischenelemente erfolgen. Bei fahrbahnfeinen Betrachtungen fanden lediglich Abschnitte Berücksichtigung, die in beide Fahrrichtungen keine unterschiedlichen Merkmale aufwiesen.

5.2.3 Unfallkenngrößen

Die Begrifflichkeiten und Berechnung der Unfallkenngrößen orientiert sich an der Vorgabe nach dem Merkblatt zur Auswertung von Straßenverkehrsunfällen (FGSV, 2003). Mit Hilfe der Unfalldichte, Unfallrate und Unfallkostenrate ist eine Betrachtung der Streckenelemente möglich.

Die Unfalldichte UD beschreibt die jährliche Zahl der Unfälle U oder Verunglückten V auf 1 km Strecke. Da die Dichte die Häufigkeit von Ereignissen über einen definierten Zeitraum t (gebräuchlich sind ganzzahlige 12-Monatszeiträume) und Abschnitt L (in Kilometer) beschreibt, enthält sie keine verkehrlichen Kenngrößen.

Die Formel lautet:

$$UD = \frac{U}{L * t} \quad [U/(km * Zeit)]$$

Gegenüber der Unfalldichte berücksichtigt die Unfallrate UR darüber hinaus die Fahrleistung des Abschnittes. Die Unfallrate beschreibt das Risiko eines Verkehrsteilnehmers in einen Unfall verwickelt zu werden. Folglich erweitert sich die Gleichung um die jährliche Verkehrsleistung, welche sich aus der Hochrechnung des DTV der Strecke auf ein Jahr ergibt. Die Ermittlung der Unfallrate wird nach folgender Formel vorgenommen:

$$UR = \frac{U * 10^6}{365 * DTV * L * t} \quad [U/(10^6 * Kfz * km * Zeit)]$$

Die Unfallkostenrate UKR bezieht im Vergleich zur Unfallrate die volkswirtschaftlichen Kosten eines Unfalls in Sicherheitsbetrachtung mit ein. Die Unfallkosten UK ergeben sich aus der Überlegung, dass bei jedem Unfall der Volkswirtschaft finanzielle Ausfälle entstehen. Zur Gewichtung der Unfallschwere werden verschiedene Unfallkostensätze WU bei der Bewertung des Unfallgeschehens verwendet. Die UKR ergibt sich aus:

$$UKR = \frac{UK * 1000}{365 * DTV * L * t} \quad [€/(1000 * Kfz * km * Zeit)]$$

Mit:

$$UK = \sum_{K=1}^n U_K * WU_K \quad [€]$$

K = Unfallkategorie

Im Merkblatt zur Auswertung von Straßenverkehrsunfällen (FGSV, 2003) werden für verschiedene Straßenkategorien pauschale Unfallkostensätze in Abhängigkeit der Unfallkategorie vorgegeben. Diese Berechnungen basieren auf dem Preisstand des Jahres 2000 und geben die mittlere Unfallstruktur wieder. Demnach sind bei Unfällen mit Personenschaden Außerorts höhere Unfallkosten zu erwarten als im innerörtlichen Bereich. Wenn von einer veränderten Verunglücktenstruktur im Untersuchungskollektiv auszugehen ist, können auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Verunglücktenanzahl und der Menge der Unfälle mit Personenschäden angepasste Unfallkostensätze ermittelt werden. Voraussetzung einer solchen Anpassung ist das Vorhandensein von mindestens 100 Unfällen mit Personenschaden U(P) für Strecken Außerorts sowie neben der Aufschlüsselung der U(P) in die Schwerekategorien die Anzahl der verunglückten Personen, ebenfalls getrennt nach den Folgen.

(FGSV, 2003) enthält die Verunglücktenstrukturen für Außerortsstraßen gegliedert nach BAB und Landstraßen. Da die Werte für BAB auch zweibahnig vierstreifige Außerortsstraßen berücksichtigen, wurde diese Klasse als Vergleichswert hinzugezogen (Tab. 39). Der Vergleich der Verunglücktenstruktur des Unfallgeschehens über den kompletten Streckenzug einschließlich Knotenpunkte verdeutlicht, dass die Unfallschwere auf dem RQ 28 dem Niveau von BAB entspricht. Damit kann die Struktur des Unfallgeschehens auf zweibahnig vierstreifigen Landstraßen dem von BAB gleichgesetzt werden, denn die Differenz aus der relativen Häufigkeit leichtverletzter Personen wirkt sich nur gering aus. Die Anzahl der getöteten und schwerverletzten Personen auf dem RQ 21 und damit die Verletzungsschwere fallen geringer aus.

Verunglücktenstruktur					
	(FGSV, 2003)	Kompletter Streckenzug		ohne Knoten	
	BAB	RQ 28	RQ 21	RQ 28	RQ 21
GT	12	11,8	9,3	17,0	12,7
SV	123	123,5	106,5	114,9	107,3
LV	64	42,4	43,5	29,9	23,6

Tab. 39: Verunglückte je 100 Unfälle mit schwerem Personenschaden

Ohne Berücksichtigung der Knotenelemente zeigt sich eine deutliche Differenz zwischen beiden Querschnitten. Die Gefahr auf Abschnitten des RQ 28 außerhalb von Knotenpunkten bei einem Unfall mit schwerem Personenschaden U(SP) tödlich zu verunglücken, ist im Vergleich zum RQ 21 um ein

Drittel höher. Dies kann mit der unterschiedlichen Anordnung der v_{zul} zusammenhängen.

Die Verunglücktenstruktur für alle Unfälle mit Personenschaden U(P) verdeutlicht, dass der Anteil der schwerverletzten Personen bei Unfällen auf dem RQ 28 höher als auf dem RQ 21 ist, während auf dem RQ 21 die Anzahl der Leichtverletzten überwiegt.

Die Verkehrssicherheit der Streckenabschnitte zwischen Knotenpunkten wird u. a. beeinflusst vom Regelquerschnitt (FGSV, 1997) (ECKSTEIN, MEEWES 2002) und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (BARK, BAIER 2008). Dementsprechend werden im Entwurf des HVS (BARK, 2008) in Abhängigkeit der v_{zul} verschiedene Grundunfallkostenraten (gUKR) für den RQ 21 vorgegeben. Eine Bewertung der Verkehrssicherheit anhand dieser Kriterien erscheint daher sinnvoll.

Die Anpassung der Unfallkostensätze über die Verunglücktenstruktur setzt außerorts eine Kollektivgröße von ≥ 100 U(P) voraus (FGSV, 2003). Diese Anzahl wird bei Berücksichtigung der o. g. Kriterien nicht in jedem Kollektiv erfüllt. Um eine ausreichende Vergleichbarkeit der beiden RQ zu gewährleisten, erfolgt im Weiteren die Bewertung der Elemente „Zwischenbereich“ und „freie Strecke“ mit dem pauschalen Kostensatz U(P) für Autobahnen nach FGSV (2003).

Für die Knotenpunkte erfolgte eine Trennung nach der Knotengrundform im Bereich der Hauptfahrbahn, da dieses Kriterium u.a. als maßgebend für die Verkehrssicherheit eingestuft wird. Aufgrund ausreichender Kollektivgrößen erfolgt die Ermittlung entsprechender Unfallkostensätze (Tab. 40).

Ursache für die niedrigeren Kostensätze bei plangleichen Knotenpunkten ist die geringere zulässige Höchstgeschwindigkeit im Knotenbereich (das Kollektiv besteht fast ausschließlich aus LSA-regelerten Knoten) und die damit verbundene geringere Unfallschwere.

Elemente	WU U(P) [€]
Strecke ohne Knoten	
RQ 21 / RQ 28	105.000
Knoten	
Planfreie Grundform	87.000
Plangleiche Grundform	67.000
alle Knoten (gemischt)	78.500

Tab. 40: Unfallkostensätze zur Bewertung der Schwere von Verkehrsunfällen

Aufgrund der folgenden Auswertung kleinerer Kollektive erfolgte lediglich eine Berechnung der UKR mit den WU U(P) ohne Unterscheidung nach schwerem oder leichtem Personenschaden. Dies verringert zufallsbedingte Schwankungen bei der Berechnung der UKR.

5.2.4 Berechnung Einflusslängen Knoten

Die Überprüfung der mutmaßlichen Einflusslänge von Knotenpunkten auf die angrenzende Strecke wurde nach dem Ansatz von ECKSTEIN, MEEWES (2002) durchgeführt. Es wurden auf Knotenpunkte zulaufende Richtungsfahrbahnen, die zum Vorgängerknoten eine Mindestlänge von 1,4 km – ergibt sich aus der Addition des Pufferbereiches und der Untersuchungslänge für den Einflussbereich von 1.000 m – aufwiesen, näher betrachtet. Beginnend von der Grenze des Untersuchungsknotens wurde die zulaufende Strecke in zehn jeweils 100 m lange Abschnitte aufgeteilt. Die Berücksichtigung des sich anschließenden Pufferbereiches ließ die Annahme zu, dass sich der stromaufwärts liegende Knoten nicht auf das Unfallgeschehen des Annäherungsbereiches auswirkt.

Für den 1 km langen Abschnitt wurde eine iterative Berechnung der UKR_{nah} und UKR_{fern} mit wachsendem Abstand L (in 100 m Schritten) zum Knotenpunkt durchgeführt. Die UKR_{nah} ergibt sich aus der Unfallbetrachtung des jeweiligen Abstandes L , während die UKR_{fern} aus dem verbleibenden Streckenstück bestimmt wird. Prinzipiell kann der Knotenpunkt einen positiven, negativen oder neutralen Einfluss auf die angrenzende Strecke besitzen:

- Steigen die Werte der UKR_{nah} und UKR_{fern} mit wachsendem Abstand zum Knotenpunkt an, ist der Einfluss des Knotenpunktes positiv. Die Einflussgrenze wird erreicht wenn sich die UKR_{fern} in ihrer Höhe nicht mehr verändert.
- Weisen UKR_{nah} und UKR_{fern} mit zunehmender Entfernung zum Knotenpunkt fallende Werte auf, besitzt der Knotenpunkt

einen negativen Einfluss. Auch hier gilt, dass sich die UKR_{fern} mit Erreichen der Einflussgrenze nicht mehr verändert. Der Wert nähert sich dem Niveau der freien Strecke an.

- Zeigen UKR_{nah} und UKR_{fern} keine Veränderung mit zunehmendem Abstand zum Knoten, ist dessen Einfluss auf die Verkehrssicherheit neutral.

Entscheidend für die mutmaßliche Einflusslänge am Knotenpunkt sind die Verkehrsregelung und Knotenrundform. Daher erfolgte eine Differenzierung nach der Grundform, für plangleiche Knotenpunkte ferner nach Verkehrsregelung (LSA- bzw. Verkehrszeichen geregelt). Die Grundformen Einmündung und Kreuzung wurden zusammengefasst.

Für Strecken mit einem Knotenabstand zwischen 1,0 und 1,4 km wurde ebenfalls eine abschnittsfeine Unterteilung durchgeführt. Diese Gruppe wurde jedoch separat erfasst. Lag ein Knotenabstand unter 1 km vor, erfolgte die Verbindung beider Knoten mit einem Zwischenelement.

Auf eine Untersuchung der Einflusslängen von FSR und FSS auf den zweibahnig vierstreifigen Abschnitt wurde aufgrund zu geringer Fallzahlen verzichtet.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Freie Strecke

Tab. 41 enthält die Unfallkenngrößen der Elemente „freie Strecke“ getrennt nach Höhe der v_{zul} und dem Regelquerschnitt. Zu Grunde liegen die Unfalldaten der Kategorie 1 bis 4. Die Längenangabe bezieht sich auf die Betrachtung einer Richtungsfahrbahn nach Abzug aller Zwischenelemente und Knotenpunkte. Die Differenzierung nach Höhe der v_{zul} erfolgt nach der Aufteilung der Gruppen, welche bereits in der Betrachtung des Verkehrsab-

Klasse [v_{zul}]	RQ 21		RQ 28		
	$v = 100$	$v = 120$	$v = 100$	$v = 120$	$v = frei$
Anzahl Unfälle	76	34	11	94	50
Anzahl Abschnitte	35	9	9	9	14
Länge [km]	50,0	13,2	14,6	54,0	37,0
UKR U [$€/(1000 \cdot Kfz \cdot km)$]	10,1	13,6	7,5	11,0	10,7
UR U [$U/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)$]	0,13	0,21	0,09	0,16	0,13
UR(P) [$U/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)$]	0,09	0,11	0,07	0,09	0,10

Tab. 41: Unfallkenngrößen der Elemente „freie Strecke“ nach RQ und Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, U.-Kat. 1 - 4

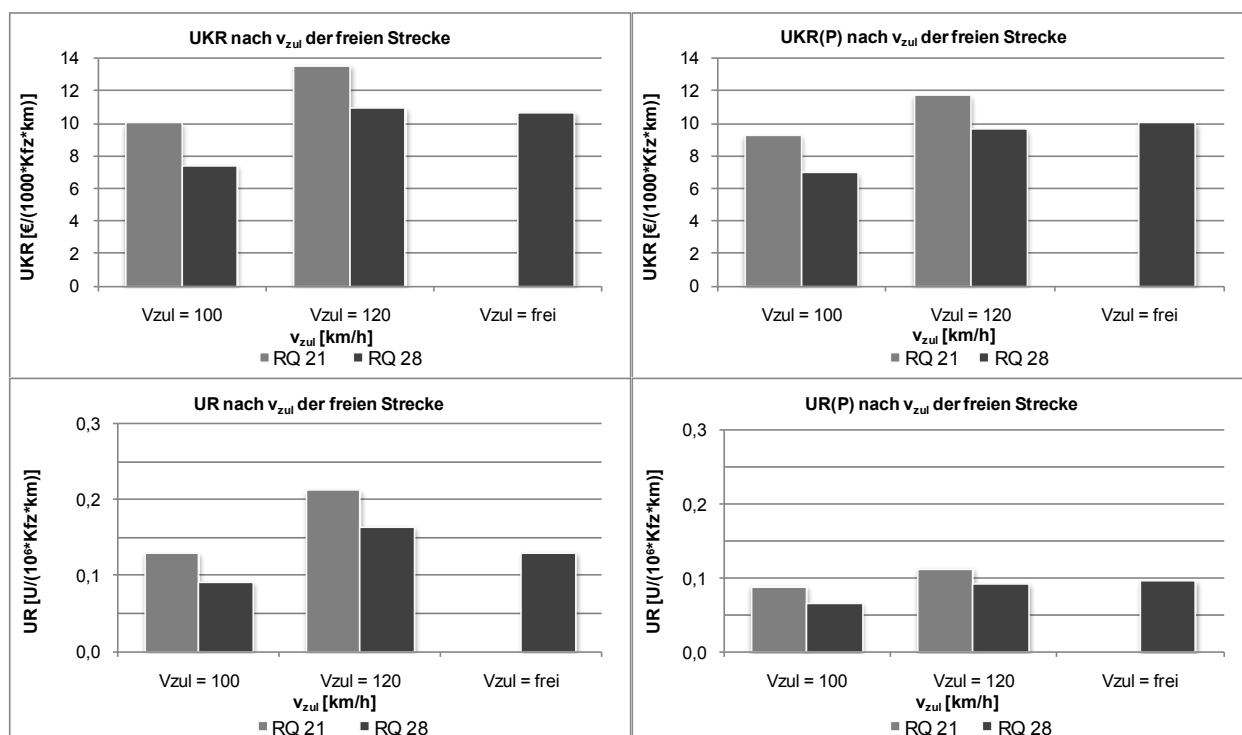


Bild 47: Unfallkenngrößen UKR und UR beide RQ, freie Strecke, U.-Kat. 1 - 4

laufs gewählt wurden. Der Mittelwert des DTV der Kollektive bewegt sich zwischen 7.500 und 11.100 Kfz/(d* Ri). Der Anteil der Unfälle mit schwerem Sachschaden U(SS) am Unfallgeschehen liegt für beide Regelquerschnitte im Mittel bei 45 bzw. 48 %. Die Anteile der Unfallkategorie 1 (2 %) und 2 (14 %) sind bei beiden RQ identisch. Es wurden 63,2 km Richtungsfahrbahn des RQ 21, bzw. 105,6 km des RQ 28 untersucht.

Aus den Längen der einzelnen Gruppen wird bereits ersichtlich, dass für Strecken ohne Seitenstreifen überwiegend eine v_{zul} von $v_{zul} = 100$ km/h angeordnet wird (64 %). Strecken mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von weniger als 100 km/h bzw. ohne Beschränkung treten selten auf. Da die Aussagekraft für das Kollektiv „ $v_{zul} = \text{frei}$ “ aufgrund der geringen Unfallzahlen nicht abgesichert ist, sind Ableitungen über den Sicherheitsgrad dieser Gruppe nicht zulässig. Das Kollektiv wurde daher nicht in den Darstellungen berücksichtigt. Die Aussagekraft des Kollektivs „ $v_{zul} = 120$ km/h“ ist ebenfalls eingeschränkt.

Höhere Geschwindigkeiten im Vergleich einer v_{zul} von 100 und 120 km/h führen auf RQ 21-ähnlichen Strecken zu einer Zunahme der UKR von 10,1 auf 13,6 €/(1000*Kfz*km). Dabei weist das Kollektiv $v_{zul} = 100$ km/h gegenüber dem Kollektiv für „ $v_{zul} = 120$ km/h“ eine breitere Streuung der Einzelwerte auf.

Die Unfallrate aller betrachteten Unfälle verändert sich von 0,13 U/(10⁶*Kfz*km) auf 0,21 U/(10⁶*Kfz*km). Auch bei der UR(P) ist in Abhängigkeit der v_{zul} eine kontinuierliche Zunahme der UR(P) zu verzeichnen. Schließt man das Kollektiv „ $v_{zul} = \text{frei}$ “ mit in die Betrachtung ein, ist eine weitere Zunahme der UR(P) auf 0,12 U/(10⁶*Kfz*km) festzustellen. Trotz der geringen Aussagekraft wird deutlich, dass eine Anordnung einer höheren v_{zul} auf RQ 21-ähnlichen Abschnitten mit einer Erhöhung des Unfallrisikos für Unfälle mit Personenschaden korrespondiert. Damit weisen Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} auf RQ 21-ähnlichen Strecken eine hohe Verkehrsunsicherheit auf.

Obwohl laut den RAA (FGSV, 2008B) keine Beschränkung der v_{zul} für den RQ 28 notwendig ist, weist ein hoher Anteil der erfassten Abschnitte eine Beschränkung auf $v = 120$ km/h oder geringer auf. Mit 14,6 km erfasster Länge ist die Teilgruppe „ $v_{zul} = 100$ km/h“ für RQ 28-ähnliche Strecken am geringsten besetzt. Die Aussagekraft dieses Kollektivs ist aufgrund der geringen Unfallzahlen erheblich eingeschränkt.

Für RQ 28-ähnliche Strecken wird ebenfalls ein deutlicher Sprung der UKR zwischen einer v_{zul} von 100 auf 120 km/h ersichtlich. Auf Strecken mit einer höheren v_{zul} wurde ein Anstieg der UKR von 7,5 auf 11,0 €/(1000*Kfz*km) festgestellt.

Gegenüber den Strecken mit „v = 120 km/h“ ist die UKR auf Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} nahezu unverändert. Die Betrachtung der UR zeigt jedoch, dass einer Abnahme der U(S) eine geringe Zunahme der U(P) gegenübersteht.

Die Gegenüberstellung von RQ 21 und RQ 28 für die jeweils gleiche Geschwindigkeitsregelung „ $v_{zul} = 100$ “ und „ $v_{zul} = 120$ km/h“ lässt einen höheren Sicherheitsgrad für Strecken mit RQ 28 deutlich werden. Die Standardabweichung in der Klasse „ $v_{zul} = 100$ “ beträgt für beide Kollektive $9 \text{ €}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$.

Die Differenz der UKR zwischen den RQ beträgt für beide Klassen mit Beschränkung der v_{zul} $2,6 \text{ €}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$. Mutmaßlich besitzen weitere Straßeneigenschaften des Kollektivs Einfluss auf das Ergebnis (BRILON, BÄUMER 2001). Der Vergleich beider RQ bestätigt die Untersuchungen zur Verkehrssicherheit von Seitenstreifen (Kap. 2.2.2).

Die Kombination der Merkmale UKR, UR und Verunglücktenstruktur lässt den Schluss zu, dass auf Strecken mit Seitenstreifen das Risiko für alle U und für U(P) niedriger ausfällt als auf dem RQ 21. Für die untersuchten Strecken gilt:

- Die UR(P) liegt auf RQ 28- ähnlichen Strecken in allen Geschwindigkeitskollektiven mit $0,02 \text{ U}/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ unter dem Vergleichswert des RQ 21.
- Kommt es zu einem Unfall, ist die Wahrscheinlichkeit für eine schwere Unfallfolge mit einer höheren Anzahl schwerverletzter Personen auf dem RQ 28 größer als auf dem RQ 21. Dies belegt die Verunglücktenstruktur.
- Für das Untersuchungskollektiv zeigt sich, dass die Veränderung des Geschwindigkeitsverhaltens durch die Anordnung einer höheren v_{zul} von 100 auf 120 km/h, zu einer Abnahme der Verkehrssicherheit auf beiden RQ führt.

In einem zweiten Vergleich erfolgte die Aufschlüsselung beider Kollektive nach dem DTV der Richtungsfahrbahn. Die Abschnitte wurden in Klassen mit einer Breite von 5.000 Kfz/d unterteilt. Auch hier dienen die fahrleistungsbezogenen Kenngrößen als Maßstab des Sicherheitsvergleiches (Tab. 42).

Untersuchte RQ 21- ähnliche Querschnitte wiesen einen DTV zwischen 3.800 und 18.300 Kfz/(d* R_i) auf. Der Bereich $\leq 5.000 \text{ Kfz}/(d \cdot R_i)$ weist nur 7,8 km Streckenlänge mit insgesamt 11 Unfällen auf, so dass die Aussagekraft für dieses Teilkollektiv beschränkt ist. Aufgrund einer sehr geringen Kollektivgröße im Bereich bis 5.000 Kfz/(d* R_i) für beide RQ wird dieser Bereich nicht dargestellt. Bei höheren Verkehrsstärken weist das Kollektiv RQ 21 eine deutliche Abnahme der UKR auf. Gleiches zeigt sich für die aussagefähigen Klassen des RQ 28 in stärkerer Größenordnung.

Die Unfallrate fällt bei steigender Verkehrsstärke infolge eines Rückgangs der Unfälle mit Personenschaden niedriger aus. Die UR(P) fällt im Mittel um ca. $0,02 \text{ U}/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ je Klasse mit steigendem DTV ab. Dient die Verkehrsstärke als Vergleichskriterium für die Sicherheit zwischen beiden Quer-

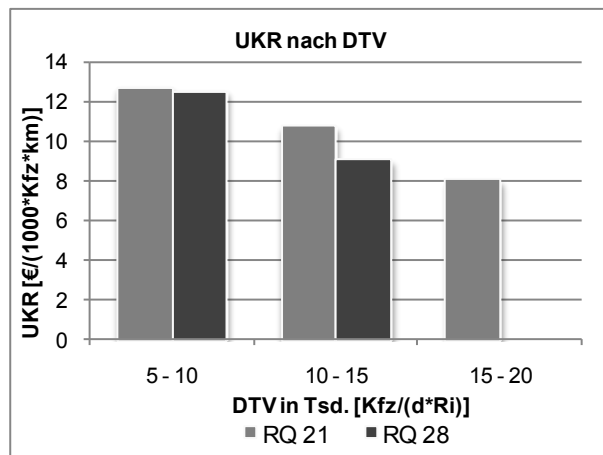


Bild 48: UKR nach DTV Klasse für „freie Strecke“ RQ 21 und RQ 28, U.-Kat. 1 - 4

DTV in Tsd. und Richtung	RQ 21			RQ 28	
	5 - 10	10 - 15	15 - 20	5 - 10	10 - 15
Anzahl Unfälle	27	75	20	75	82
Anzahl Abschnitte	17	20	7	22	12
Länge [km]	19,5	38,5	11,3	54,1	48,2
UKR U [€/1000*Kfz*km]	12,7	10,7	8,0	12,5	9,0
UR U [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	0,15	0,15	0,09	0,16	0,13
UR(P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	0,11	0,09	0,07	0,11	0,08

Tab. 42: Tabellarische Auflistung Unfallkenngrößen der Elemente „freie Strecke“ getrennt nach RQ und DTV, U.-Kat. 1 - 4

schnitten, ist das Risiko in einen Unfall mit Personenschaden verwickelt zu werden für gleiche DTV-Werte nur marginal verschieden. Gegenüber dem RQ 21 weist der RQ 28 bei gleicher Verkehrsstärke eine niedrigere UKR auf.

Für einen Verkehrsstärkebereich zwischen 5.000 und 20.000 Kfz/(d* R_i) wird für den RQ 21- ähnliche Strecken deutlich: Je geringer die Verkehrsbelastung, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für einen Verkehrsunfall mit Personenschaden. Diese Aussage besitzt auch für das Untersuchungskollektiv des RQ 28 im Bereich zwischen 5.000 und 15.000 Kfz/(d* R_i) Gültigkeit.

Zu bemerken ist, dass die aufgeführte DTV-Bandbreite ausgehend von dem Einsatzbereich des RQ 28 laut den RAA (FGSV, 2008b) nur den unteren Bereich der möglichen Belastung abdeckt. Mit einer mittleren UR aller Strecken von 0,15 $U/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ für beide Regelquerschnitte bei mittleren Verkehrsstärken von 10.000 Kfz/(d* R_i) ordnet sich die Höhe des Unfallrisikos im Bereich der Untersuchungen von BRILON, BÄUMER (2001) ein. Dies würde die Annahme eines U-förmigen Verlaufs der UR über der Verkehrsstärke bestätigen (HEIDEMANN, 1998). Es wird davon ausgegangen, dass bei geringen und hohen Belastungen eine hohe UR auftritt, während sie bei mittleren Belastungen niedriger ausfällt.

Bild 49 veranschaulicht die Streuung der UKR für die einzelnen Streckenabschnitte mit einem Box-Whisker-Diagramm. Die Box umfasst das 25 und 75 % Quantil, die mittlere waagerechte Linie bildet den Medianwert ab. Die vertikalen Linien umfassen den maximalen und minimalen Wert des Kollektivs. Der Maximalwert unterscheidet sich zwischen beiden Kollektiven um 9,5 $\text{€}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$. Auffällig ist der breitere Box-Streubereich der Messwerte des RQ 28. 25 % der Strecken wiesen

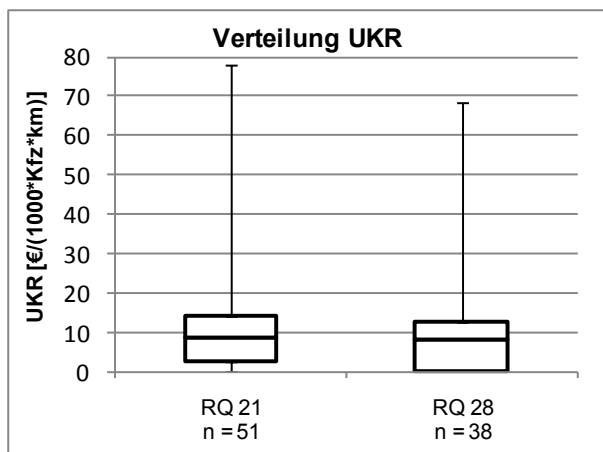


Bild 49: Box-Whisker Darstellung UKR Messwerte „freie Strecke“ RQ 21 und RQ 28, U.-Kat. 1 - 4

kein Unfallgeschehen mit Personenschaden beziehungsweise schwerem Sachschaden auf. Das 25 % Quantil des RQ 21 liegt hingegen bei einer UKR von 2,4 $\text{€}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$. Mit 8,3 $\text{€}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ liegt der Medianwert aller Abschnitte für beide Kollektive auf gleicher Höhe.

Für RQ 21 und RQ 28 gilt, dass UKR über 14 bzw. 12,4 $\text{€}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ nur in 25 % der Fälle auftreten. Trotzdem weisen in beiden Kollektiven die unsichersten Strecken eine sehr hohe Verkehrsunsicherheit von ca. 78,0 bzw. 68,5 $\text{€}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ auf.

Bei der UR liegt der Median für das Kollektiv RQ 21 mit 0,13 $U/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ um 0,02 $U/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ über dem Wert des RQ 28. Die absolute Differenz zwischen oberer und unterer Boxgrenze ist für beide Regelquerschnitte fast identisch. Bemerkenswert ist, dass trotz eines fast auf gleicher höher liegenden Medianwert für die UR beider Kollektive sich Unterschiede für den Abstand zwischen Median und 75 % Quantil einstellen. Für RQ 21- ähnliche Strecken ergibt sich eine Konzentration der UR für den Bereich unterhalb des Median, während oberhalb dieses Wertes eine breitere Streuung der Werte zu erkennen ist. Eine gegenläufige Tendenz zeigt das Kollektiv des RQ 28. Die Höhe der Überschreitung des Medianwertes fällt wesentlich geringer aus. Die Quantilgrenze liegt mit 0,17 $U/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ um 0,05 niedriger als der Wert des RQ 21. Abschnitte, die einen sehr hohen Sicherheitsgrad besitzen, treten auf RQ 21- ähnlichen Strecken seltener als auf Strecken des RQ 28 auf. Die höchste Unfallrate einer Strecke enthält das Kollektiv RQ 21 mit einer Größenordnung von 1,94 $U/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$.

Eine Zusammenfassung der Kollektive auf Grundlage der Gewichtung der Abschnitte nach Fahrleistung verdeutlicht, dass eine globale Betrachtung

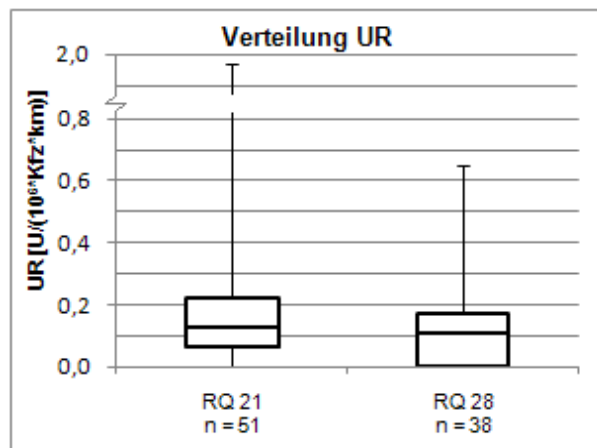


Bild 50: Box-Whisker Darstellung UR Messwerte „freie Strecke“ RQ 21 und RQ 28, U.-Kat. 1 - 4

ohne Beachtung der Randbedingungen ein nicht eindeutiges Ergebnis liefert. Für die Untersuchungsstrecken zeigt sich hier eine geringfügig höhere Unsicherheit für den RQ 21 mit einer UKR von $10,7 \text{ €}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ gegenüber dem RQ 28 mit $10,4 \text{ €}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$, beruhend auf der überrepräsentierten Teilkollektivgröße „ $v_{\text{zul}} = 100 \text{ km/h}$ “ und dem niedrigeren Anteil der UKR U(P) mit $9,7 \text{ €}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$. Diese allgemeine Betrachtungsweise berücksichtigt weder die Verteilung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit noch den DTV. Der Zusammenhang mit den UR(P) veranschaulicht, dass auf dem RQ 28, unabhängig der Betrachtung von weiteren Randbedingungen, das Risiko in einen Unfall mit Personenschaden verwickelt zu werden, die gleiche Größe wie auf dem RQ 21 besitzt ($0,09 \text{ U}/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$). Der mittlere Anteil der Unfälle mit schwerem Sachschaden ist auf beiden Querschnitten mit $0,05 \text{ U}/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ identisch.

Für die Verkehrssicherheit der freien Strecke bleibt festzuhalten:

- Die Verkehrssicherheit der freien Strecke unterscheidet sich mit der Veränderung der v_{zul} von 100 auf 120 km/h auf beiden Querschnitten. Strecken mit einer v_{zul} von $v = 100 \text{ km/h}$ weisen für beide RQ eine hohe Verkehrssicherheit auf. Der Sicherheitsgrad verringert sich bei Strecken des RQ 28 ohne Geschwindigkeitsbeschränkung im Vergleich zu einer v_{zul} von $v = 120 \text{ km/h}$ für das Untersuchungskollektiv nur marginal.
 - Sowohl bei einer v_{zul} von $v = 100 \text{ km/h}$ als auch bei $v = 120 \text{ km/h}$ weist der RQ 28 gegenüber dem RQ 21 einen höheren Sicherheitsgrad auf.
 - Für den Geschwindigkeitstyp mit dem Merkmal „ $v_{\text{zul}} = \text{frei}$ “ des RQ 21 ist aufgrund unzureichender Kollektivgröße keine allgemeine Aussage möglich.
 - Das Risiko eines Unfallereignisses mit Personenschaden ist unter der Voraussetzung einer identischen v_{zul} für Strecken mit RQ 28 niedriger. Im Vergleich zum RQ 21 fällt die UR(P) unabhängig von der Höhe der angeordneten Höchstgeschwindigkeit um $0,02 \text{ U}/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ niedriger aus.
 - Eine höhere v_{zul} ist bei beiden Regelquerschnitten mit höheren UR(P) verbunden. Die Kollektive mit einer unbeschränkten v_{zul} weisen die höchsten UR(P) auf.
- Aus den Untersuchungskollektiv geht hervor, dass in der praktischen Anwendung für Strecken des RQ 21 überwiegend eine Beschränkung der v_{zul} auf 100 km/h erfolgt, während auf Strecken RQ 28 größtenteils keine oder eine Beschränkung auf $v_{\text{zul}} = 120 \text{ km/h}$ vorzufinden ist.

Die höhere Anzahl V(GT) und V(SV) je 100 U(SP) auf Strecken des RQ 28 gegenüber dem RQ 21 ist auf die Verteilung des Merkmales v_{zul} in den Kollektiven und den damit einhergehenden höheren Geschwindigkeiten zurück zu führen.

5.3.2 Einflussbereich Knotenpunkte

Die Besonderheit des RQ 21 liegt in der Vielzahl der möglichen Knotenanschlüsse in das weitere Netz. Je nach EKL kann der Anschluss an einen Knotenpunkt auf der Hauptfahrbahn planfrei oder plangleich erfolgen. Der Anschluss des RQ 28 an das untergeordnete Netz ist nach RAA (FGSV, 2008B) planfrei durchzuführen. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass bei einer Klassifizierung des RQ 28 als Bundes- oder Landesstraße sowohl planfreie als auch plangleiche Varianten der Anschlussknoten vorliegen. Auch im Kollektiv des RQ 21 sind unterschiedliche Knotenpunktformen festzustellen.

Die Sicherheitsanalyse beruht auf der Auswertung der Unfälle der Kategorie 1 bis 6 der Bundesländer Sachsen und Sachsen-Anhalt. Für die Varianten der planfreien Führung in der Hauptfahrbahn und des plangleichen Anschlusses war zu prüfen, inwieweit sich die Knotengrundform bzw. Verkehrsregelung auf die Verkehrssicherheit des Annäherungsbereiches der Strecke auswirkt. Während für die planfreien Knotenpunkte keine weitere Differenzierung nötig ist, wurden die plangleichen Knoten nach den Kriterien Kreuzung oder Einmündung sowie LSA- oder durch Verkehrszeichen geregelt unterteilt. Durch Verkehrszeichen geregelte plangleiche Knotenpunkte stellen auf Strecken des RQ 21 die seltene Ausnahme dar. Eine separate Auswertung erfolgte nicht. Die Kollektive umfassen die Annäherungsbereiche, die zum Vorgängerknoten einen Sicherheitsbereich von 400 m aufweisen. Bei der planfreien Führung wurden für den RQ 21 und für den RQ 28 insgesamt 15 bzw. 24 Annäherungsbereiche untersucht. Eine Trennung nach Höhe der v_{zul} wurde aufgrund der geringen Kollektivgrößen nicht vorgenommen. Die Grenze zu planfreien Knotenpunkten bildet der Beginn des Ausfädelfahrstreifens. Der Bereich plangleicher Knoten beginnt 25 m vor dem Achsenschnittpunkt von Haupt- und Anschlussstrecke in Richtung Annäherungsbereich.

Die Entwicklung der UKR_{fern} für Zufahrten auf planfreie Knotenanschlüssen RQ 21- ähnlicher Strecken zeigt mit Zunahme des Abstandes L kaum Veränderungen und liegt auf einem Niveau von 17 bis 19 $€/ (1000 * Kfz * km)$. Die deutliche Zunahme im Abstandsbereich von 900 m ist auf die kurze Distanz zur Berechnung der UKR zurückzuführen. Auch die UR_{fern} bleibt nahezu unverändert. Auch hier ist zu beachten, dass sich mit zunehmender Entfernung zum Knotenpunkt das hohe Unfallgeschehen der letzten 100 m auf die Höhe der Unfallkenngrößen der Gesamtstrecke auswirkt. Ein Einfluss des planfreien Knotenpunktes über eine Länge von 1 km, der zu einer höheren UKR und UR führt, ist nicht wahrscheinlich. Die erhöhten Kenngrößen beruhen damit wahrscheinlich auf der geringen Anzahl von Annäherungsbereichen.

planfreier Anschluss Hauptfahrbahn, RQ 21					
Abstand [m]	Anzahl Unfälle fern	UKR $€/ (10^3 * Kfz * km)$		UR $U / (10^6 * Kfz * km)$	
		nah	fern	nah	fern
(100)	110	16,4	18,7	1,27	0,65
200	95	14,8	19,3	1,03	0,63
300	88	16,2	19,4	0,81	0,67
400	75	18,6	18,3	0,78	0,66
500	58	19,8	17,1	0,80	0,61
600	48	18,0	19,0	0,76	0,64
700	38	18,5	18,3	0,73	0,67
800	24	18,3	19,0	0,73	0,64
(900)	14	17,9	23,0	0,71	0,74

Tab. 43: Unfallkenngrößen Einflusslänge RQ 21 planfreier Anschluss Hauptfahrbahn, U.-Kat. 1 - 6

Die UKR_{fern} im Kollektiv RQ 28- ähnliche Strecken zeigt nach 200 m Abstand zum Beginn des Ausfädelstreifens einen Rückgang um 2,1 $€/ (1000 * Kfz * km)$. Mit zunehmendem Abstand verringert sich die UKR_{fern} geringer. Auch die UR_{fern} , welche im Bereich der ersten 200 m mit 0,7 $U / (10^6 * Kfz * km)$ stark erhöht ist, sinkt mit steigendem Abstand zum Knotenpunkt ab. Ausgehend von dem geringen Sprung der Sicherheitskenngrößen im Bereich 200 bis 300 m kann für diese Länge dem planfreien Knotenpunkt ein geringer negativer Einfluss auf die angrenzende Strecke unterstellt werden. Trotz der Anzahl von untersuchten 24 Zufahrten, wies das Kollektiv nur 24 U(P) auf. Durch die Aufteilung der Unfälle auf zehn Abschnitte wird die Aussagekraft der UR(P) erheblich eingeschränkt.

planfreier Anschluss Hauptfahrbahn, RQ 28					
Abstand [m]	Anzahl Unfälle fern	UKR $€/ (10^3 * Kfz * km)$		UR $U / (10^6 * Kfz * km)$	
		nah	fern	nah	fern
(100)	132	20,0	17,1	0,76	0,70
200	118	17,6	17,3	0,72	0,70
300	93	23,0	15,0	0,88	0,63
400	78	21,0	15,0	0,84	0,62
500	64	20,7	14,0	0,80	0,61
600	47	20,1	13,4	0,80	0,56
700	28	19,0	13,7	0,82	0,45
800	18	18,3	13,7	0,78	0,43
(900)	10	16,8	22,9	0,73	0,48

Tab. 44: Unfallkenngrößen Einflusslänge RQ 28 planfreier Anschluss Hauptfahrbahn, U.-Kat. 1 - 6

Da es im Vorfeld des Ausfädelstreifens planfreier Knotenanschlüsse zur erhöhten Anzahl von Fahrstreifenwechselvorgängen aufgrund der Zielwahl verschiedener Verkehrsteilnehmer kommt, ist eine geringe Erhöhung der Verkehrsunsicherheit im Bereich der vorgelagerten 300 m festzustellen. Diese resultiert mutmaßlich aus der Anzeige der Ausfahrt mit den Zeichen 450 bis 452 StVO (100 m Barken). Für Netzanalysen sollte der Bereich bis 300 m vor dem Beginn des Ausfädelstreifens planfreier Knoten gesondert betrachtet werden.

plangleicher LSA Knoten, RQ 21					
Abstand [m]	Anzahl Unfälle fern	UKR $€/ (10^3 * Kfz * km)$		UR $U / (10^6 * Kfz * km)$	
		nah	fern	nah	fern
(100)	82	22,6	11,9	1,77	0,60
200	73	17,2	11,9	1,18	0,60
300	63	17,9	10,9	1,01	0,59
400	47	18,9	9,0	1,02	0,51
500	35	17,8	8,2	0,97	0,46
600	26	15,7	8,9	0,91	0,43
700	22	13,8	11,1	0,82	0,48
800	17	12,4	15,4	0,76	0,56
(900)	13	12,0	22,3	0,70	0,85

Tab. 45: Unfallkenngrößen Einflusslänge RQ 21 plangleicher LSA Knoten, U.-Kat. 1 - 6

Im Kollektiv plangleicher LSA-geregelter Knotenpunkte sind 17 Annäherungsbereiche zusammengefasst. Für die UKR_{fern} ist bis zu einem Abstand von 500 m ein Rückgang auf 8,2 $€/ (1000 * Kfz * km)$ festzustellen. Ab einer Entfernung von 600 m steigt die Verkehrsunsicherheit an. Die UR_{fern} verhält sich

wie die UKR_{fern} : Einem hohen Ausgangswert folgt nach vorübergehendem Absinken wieder ein Anstieg. Auffällig ist, dass die $UR_{fern} U(P)$ im Bereich ab 300 bis zu 700 m Abstand vom Knoten mit $0,5 U/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)$ im Vergleich zu freien Strecke – $0,09 U/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)$ – um fast die Hälfte niedriger ausfällt. Damit sinkt die Unfallschwere im Zulauf auf plangleiche Knotenpunkte ab, jedoch erhöht sich der Anteil des Risikos für $U(S)$ deutlich. Der Bereich bis zu einem Abstand von 200 bis 300 m wird aufgrund der ansteigenden UKR_{nah} und UK_{fern} vom Verkehrsablauf des Knotenpunktes geprägt. Mutmaßlich treten hier knotentypische Unfälle wie bspw. Unfälle im Längsverkehr aufgrund des Verkehrsablaufes mehr in Erscheinung.

Aus den Daten kann entnommen werden, dass plangleiche durch LSA-gesteuerte Knotenpunkte zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit auf der angrenzenden Strecke bis zu einer Entfernung von ca. 600 bis 700 m führen. Dies beruht auf einem Rückgang der $U(P)$. Mutmaßlich trägt auch die im Vorfeld von plangleichen Knotenpunkten angeordnete Verringerung der v_{zul} – im Regelfall auf 70 km/h – zu einer Verbesserung der Verkehrssicherheit bei. Im unmittelbaren Bereich des Knotens ist jedoch eine Zunahme des Unfallgeschehens zu verzeichnen. Dies beruht auf einer Erhöhung der $U(S)$. Im Rahmen weiterer Analysen des Unfallgeschehens ist dieser Einfluss bei der Abgrenzung der freien Strecke zu berücksichtigen. Dieser variiert in Abhängigkeit der Längenausdehnung des Geschwindigkeitstrichters in der Zufahrt.

Aufgrund der geringen Kollektivgrößen und fehlender Differenzierung der Einflussbereiche nach weiteren Merkmalen sind quantitative Aussagen zur Höhe des Einflusses der Knotenpunktgrundformen auf die Annäherungsbereiche nicht zulässig. Anhand der Untersuchung konnte ermittelt werden, dass es im unmittelbaren Vorfeld von Ausfädelefahrstreifen planfreier Knotenanschlüsse zu einem leicht erhöhten Unfallgeschehen kommt. Plangleiche Knotenpunktgrundformen wirken weitaus mehr auf das Unfallgeschehen des Annäherungsbereiches ein. Einer Zunahme von $U(S)$ steht eine Abnahme von $U(P)$ gegenüber, die sich tendenziell positiv auf die Verkehrssicherheit auswirkt. Die Länge des Einflusses orientiert sich mutmaßlich an straßenverkehrstechnischen Bedingungen des Streckenzulaufes.

5.3.3 Knotenpunkte

Die Darstellung der Sicherheitsergebnisse für die verschiedenen Formen der Knotenpunkte sowie FSR, FSS und FSA erfolgt anhand der Daten aus den Bundesländern Sachsen und Sachsen-Anhalt. Für alle genannten Grundformen erfolgte die Be-

rechnung der UKR mit den Kostensätzen für planfreie Elemente richtungsgetreunt. Aufgrund der verkehrstechnischen Charakteristik durch Hinzu-kommen oder Wegfall eines Fahrstreifens und der damit ähnlichen Verkehrsabläufe wie an planfreien Knotenpunkten wurden die FSR, FSS und FSA gemeinsam mit den Elementen Knotenpunkten und damit mit angepassten Unfallkostensätzen bewertet. In Tab. 46 sind die verschiedenen Elemente der Hauptfahrbahn aufgeführt. Da für (teil-) planfreie Knotenpunkte nur der DTV für die Hauptfahrbahn und nicht für die Rampen vorlag, konnte eine differenzierte Betrachtung nach der Stärke von Abbiege- und Einbiegeströmen als weiterer möglicher Einfluss auf die Verkehrssicherheit nicht durchgeführt werden. Für diese Knotenpunktgrundform erfolgte die Unfallkenngrößenberechnung anhand der DTV-Werte der Hauptfahrbahn. Berücksichtigt wurden die Unfallkategorien 1 bis 6.

Der Vergleich der Knotenpunkte nach baulicher Grundform, welcher das gesamte Unfallgeschehen (teil-) planfreier Knoten beinhaltet, erfolgt im Abschnitt erweiterter Knotenpunkte.

Form	Knoten (teil-) planfrei	FSR/FSS	FSA
Anzahl	99	11	10
Unfälle	696	52	32
$UR \text{ €}/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)$	0,97	1,28	0,76
$UR(P) \text{ €}/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)$	0,12	0,32	0,14
$UKR U/(10^3 \cdot Kfz \cdot km)$	18,5	36,4	18,6

Tab. 46: Unfallkenngrößen planfreie Elemente Knotenpunkte und Übergangsbereiche, U.-Kat. 1 - 6

Aufgrund der geringen Anzahl von FSR und FSS im Untersuchungsnetz erfolgte die Zusammenfassung beide Elemente in einer Gruppe. Aus gleichem Grund wurden bei den FSR und FSA auch Abschnitte berücksichtigt, die sich in Bereichen (teil-) planfreier Knotenpunkte befinden. Eine Trennung der FSR, FSS und FSA nach den Bereichen einbahniger und zweibahniger Abschnitt wurde in der Sicherheitsanalyse beruhend auf den geringen Unfallzahlen nicht weiter verfolgt.

FSR/FSS

Den höchsten Unsicherheitsgrad weisen die Elemente der FSR/FSS auf. Das Kollektiv setzt sich aus 8 FSR und 3 FSA zusammen. Die $UR(P)$ liegt für den gesamten Übergangsbereich mit $0,32 U/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)$ deutlich über Wert der freien Strecke des RQ 21 als auch RQ 28. Das Risiko in einen Unfall mit Personenschaden verwickelt zu werden, ist somit um das 3,5 fache höher. Als Ursachen für die mangelhafte Verkehrssicherheit

sind möglicherweise abrupte Fahrstreifenwechselforgänge im Bereich des Überganges bzw. das Überschätzen der noch zur Verfügung stehenden Länge eines Fahrstreifens zu sehen, welche im Verkehrsablauf zu Risiko behafteten Situationen führen. Die UKR für FSR/FSS mit 36,4 €/ (1000*Kfz*km) verdeutlicht die erhöhte Gefährdung. Die Aufschlüsselung nach dem DTV der Richtungsfahrbahn lässt eine UR im Bereich zwischen 1,0 und 1,5 U/(10⁶*Kfz*km) erkennen. Eine Tendenz kann jedoch anhand des geringen Datenkollektives nicht bestimmt werden.

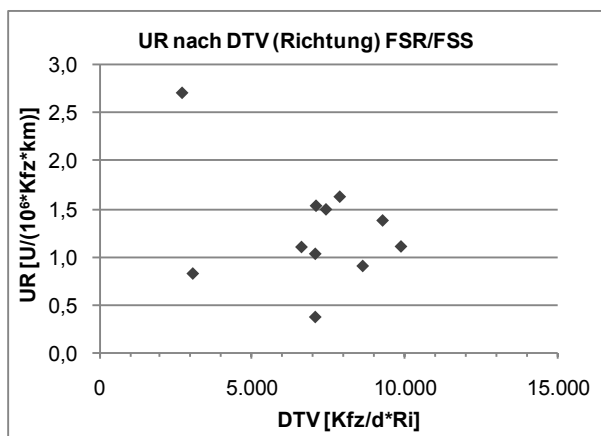


Bild 51: UR in Abhängigkeit der Verkehrsstärke an FSR/FSS

FSA

FSA besitzen mit 18,6 €/ (1000*Kfz*km) im Vergleich zu FSR/FSS eine halb so hohe UKR. Das Niveau der UR(P) liegt über dem Niveau der unbeeinflussten Strecken des RQ 21. Damit ist der Verkehrsablauf an FSA sicherer als an FSR/FSS.

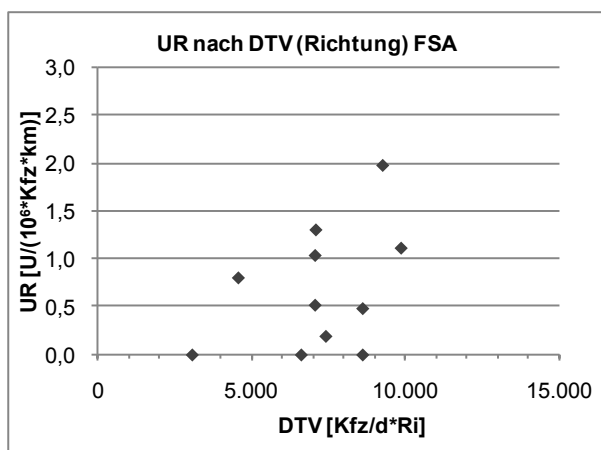


Bild 52: UR in Abhängigkeit der Verkehrsstärke an FSA

Jedoch sind die Aussagen anhand der geringen Unfallzahlen nicht zuverlässig. Aus der Darstellung der UR für die einzelnen Abschnitte kann keine eindeutige Entwicklung abgeleitet werden. Mit Zunahme der Verkehrsstärke tritt eine breitere Streuung der UR auf. Die Erhöhung der Verkehrs-

stärke in Verbindung mit der Zunahme an Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern könnte einen Anstieg der UR zur Folge haben.

Richtungsfahrbahn planfreier Anschluss

Ungleich niedriger als an den FSA ist der Sicherheitsgrad für den kompletten Abschnitt einer Hauptfahrbahn bei planfreien Knotenpunktanschlüssen der Hauptfahrbahn.

Die übergreifende Bewertung aller Einfädel- und Ausfädelbereiche ergab eine UKR (Kat. 1 bis 6) von 18,5 €/ (1000*Kfz*km). Die UR(P) bewegt sich nur gering über dem Gesamtkollektiv der unbeeinflussten Strecke des RQ 21 bzw. RQ 28. Die Gegenüberstellung aller Elemente verdeutlicht, dass die Einfädelbereiche mit 19,4 €/ (1000*Kfz*km) eine höhere Verkehrsunsicherheit aufweisen, als die Ausfädelbereiche mit 17,6 €/ (1000*Kfz*km). Dabei resultiert das Sicherheitsrisiko aus einer deutlich höheren UR(S) im Einfädelbereich, während die Gefahr für U(P) nahezu unverändert bleibt.

DTV [Kfz*10 ³ /d]	UR [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]		UKR [€/ (10 ³ *Kfz*km)]
	UR	UR(P)	
Ausfädeln			
≤ 5	1,48	0,19	27,4
≤ 10	1,09	0,14	20,8
≤ 15	0,93	0,12	17,1
≤ 20	0,35	0,05	7,3
alle	0,93	0,12	17,6
Einfädeln			
≤ 5	1,57	0,26	35,2
≤ 10	0,89	0,12	17,8
≤ 15	1,16	0,15	21,9
≤ 20	0,98	0,09	15,6
alle	1,01	0,13	19,4

Tab. 47: Unfallkenngrößen Aus- und Einfädelbereiche planfreier Knotenpunktanschlüsse beide RQ nach DTV, U.-Kat. 1 - 6

Für alle planfreien Knotenpunkte erfolgte eine getrennte Sicherheitsbewertung nach Ein- und Ausfädelbereich. Um einen möglichen Einfluss der Verkehrsstärke auf die Höhe des Unfallgeschehens zu prüfen, wurde eine Klassifizierung der Abschnitte nach dem DTV der Richtungsfahrbahn vorgenommen. Analog dem Verfahren der „freien Strecke“ wurden Klassen mit einer Breite von 5.000 Kfz/(d**Ri*) gebildet.

Mit Zunahme der Verkehrsstärke verbessert sich im Ausfädelbereich der Sicherheitsgrad kontinuierlich.

lich. Die UR für alle Unfälle als auch die UR(P) weisen einen Rückgang auf. Mögliche Ursache für den Sicherheitsgewinn kann eine Harmonisierung des Verkehrsablaufes sein. Aufgrund steigender Verkehrsbelastung passen sich die Geschwindigkeiten der Fahrzeugführer mehr und mehr an. Dies führt zu einer Minderung der Unfallschwere. Bei der Interpretation ist zu beachten, dass die kleinste und höchste Klasse für Aus- und Einfädelbereich mit nur acht Werten besetzt ist. Die Interpretation der Unfallkenngrößen bei hohen Verkehrsstärken war aufgrund der fehlenden Empirie nicht möglich.

Im Bereich des Einfädelstreifens ist die Aussage über die Entwicklung der Verkehrssicherheit in Abhängigkeit der Verkehrsstärke weitaus schwieriger. Zwar kann mit Zunahme des DTV ein Rückgang der UKR und UR in drei von vier Klassen verzeichnet werden, jedoch liefern nur die mittleren beiden Klassen (5.000 bis 15.000 DTV) durch ihre Kollektivgröße eine abgesicherte Aussage. Hier steigt die UKR von 17,8 auf 21,9 €/((1000*Kfz*km)) an. Im Gegensatz zum Ausfädelbereich – Standardabweichung für die UR $0,7 U/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ – tritt für diesen Knotenabschnitt eine breitere Streuung der UR mit $1,1 U/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ auf. Dies lässt den Rückschluss zu, dass hier das Unfallgeschehen mehreren verschiedenen Einflussfaktoren unterliegt. Eine genaue Aussage über die Entwicklung des Unfallgeschehens ist nur bei einer Betrachtung von weiteren Zufahrten mit einer höheren Verkehrsbelastung möglich.

Eine Untergliederung der planfreien Knotenpunkte nach dem Querschnitt der Hauptfahrbahn zeigt einen geringen Unterschied in der Sicherheit für den gesamten Knotenbereich. Die UKR liegt für RQ 21- ähnliche Strecken bei 19,1, für RQ 28- ähnliche Strecken bei 17,8 €/((1000*Kfz*km)).

Querschnitt	UR [$U/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$]		UKR [$\text{€}/(10^3 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$]
	UR	UR(P)	UKR
Ausfädeln			
RQ 21 n = 44	0,86	0,10	15,5
RQ 28 n = 55	0,99	0,14	19,9
Einfädeln			
RQ 21 n = 44	1,12	0,16	23,2
RQ 28 n = 55	0,91	0,09	15,6

Tab. 48: Unfallkenngrößen Aus- und Einfädelbereich planfreie Knotenpunktanschlüsse, U.-Kat. 1 - 6

Die tieferegehende Analyse nach Aus- und Einfädelbereich zeigt deutliche Unterschiede zwischen

den Querschnitten. Trotz der hohen Anzahl von 44 und 55 Knotenpunkten auf RQ 21- ähnlichen bzw. RQ 28- ähnlichen Strecken waren nur geringe Anzahlen der U(P) zu verzeichnen.

Der Ausfädelbereich RQ 21- ähnlicher planfreier Knotenpunktanschlüsse ist durch eine deutlich niedrigere UR von $0,10 U/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ gegenüber dem RQ 28 gekennzeichnet. Dies spiegelt sich in der Differenz der UKR mit $4,4 \text{ €}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ wider. Auch hier kommt als Ursache für die höhere Verkehrsunsicherheit des RQ 28 die große Geschwindigkeitsbreite der Kfz bei niedriger Auslastung in Betracht (Vergleiche auch Kap. 4.5.2). Während auf dem RQ 21 überwiegend eine v_{zul} von $v = 100 \text{ km/h}$ angeordnet ist, weisen die Abschnitte des RQ 28 hauptsächlich eine v_{zul} von $v = 120 \text{ km/h}$ bzw. keine Beschränkung der v_{zul} auf. Die Zunahme der v_{zul} scheint auch hier mit einer Zunahme der UR(P) in Zusammenhang zu stehen.

Im Bereich des Einfädelstreifens und der sich anschließenden 50 m beträgt die UKR des RQ 21 $23,2 \text{ €}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$, während der RQ 28 mit $15,6 \text{ €}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ einen wesentlich höheren Sicherheitsgrad aufweist. Im Verlauf der Strecke des RQ 21 ist in diesem Abschnitt die Gefahr in einen U(P) verwickelt zu werden, mit Ausnahme der FSR/FSS am höchsten. Die unterschiedlichen Sicherheitseigenschaften von RQ 21 und RQ 28 in diesem Knotenteilbereich können auf die bauliche Ausprägung und dem damit veränderten Verkehrsablauf zurückgeführt werden. Mit zunehmender Verkehrsstärke auf der Hauptfahrbahn stehen einfahrenden Fahrzeugführern weniger ausreichende Zeitlücken zum Fahrstreifenwechsel zur Verfügung. Zu einem zügigen Einfahren sind sie auf die Kooperation der Verkehrsteilnehmer im Hauptstrom angewiesen. Beschleunigen die einfahrenden Kfz auf dem Einfädelstreifen und erhalten keine ausreichende Zeitlücke müssen sie gegebenenfalls wieder abbremsen. Auf RQ 28- ähnlichen Strecken kann im Notfall der sich an den Einfädelstreifen anschließende Seitenstreifen mitbenutzt werden. Auf RQ 21- ähnlichen Strecken ist aufgrund des fehlenden Seitenstreifens davon auszugehen, dass es im Einfädelbereich auf dem RQ 21 öfters zu Konfliktsituationen in Folge der Fehleinschätzung des Verkehrs auf der Hauptfahrbahn kommt.

Der planfreie Anschlussbereich der Hauptfahrbahn auf RQ 21- ähnlichen Strecken an Knotensysteme weist im Vergleich zu Knoten auf Strecken mit der Anordnung eines Seitenstreifens tendenziell eine größere Verkehrsunsicherheit auf. Diese resultiert überwiegend aus dem höheren Unfallgeschehen

im Bereich des Einfädelfahstreifens. Als unfallbegünstigender Faktoren sind zu vermuten:

- das Fehlen eines Seitenstreifens als Auslaufzone sowie
- die Höhe der gefahrenen Geschwindigkeiten auf der Hauptfahrbahn, die Einfluss auf das Fahrverhalten ein- und ausbiegender Kfz und damit auf die Sicherheit am Knoten nehmen.

Knotengrundformen

Für eine vergleichende Aussage zum Sicherheitsgrad zwischen plangleichen und (teil-) planfreien Knotenpunkten reicht die reduzierte Betrachtung der Hauptfahrbahn nicht aus, vielmehr ist die Erfassung des Unfallgeschehens aller Teilknoten eines Knotensystems unter Berücksichtigung der Verkehrsstärken erforderlich. Die Aufnahme plangleicher Knotenpunkte beinhaltet deshalb neben der räumlichen Abgrenzung auch die Erfassung des gesamten DTV am Knoten. Für alle teilplanfreien und planfreien Knotenpunkte mit vorhandenen DTV-Werten wurde das Unfallgeschehen des Anschlussbereiches erfasst. Anschlüsse an BAB Knotenpunkte fanden aufgrund der Komplexität der Knoten keine Berücksichtigung.

Da die Verkehrsstärken der Rampen für die (teil-) planfreien Knotenpunkte nicht bekannt waren, erfolgte die Zusammenfassung des DTV der über- und nachgeordneten Fahrbahn. Die Länge des Knotens geht „dimensionslos“ mit der Größe 1 ein. Im Kollektiv der planfreien Knotenpunkte sind lediglich dreiarmlige Knotenpunkte berücksichtigt. Entsprechend der auftretenden Verkehrsführung an den Knotenpunkten wurden die jeweiligen Kostensätze zur Bestimmung der UKR gewählt. Eine Trennung nach dem Regelquerschnitt der Strecke erfolgte nicht.

Knotengrundform	planfrei	teil-planfrei	plan-gleich (LSA)
Anzahl	12	32	8
Unfälle	107	452	183
UR $\text{€}/(10^6 \cdot \text{Kfz})$	0,62	0,85	1,04
UR(P) $\text{€}/(10^6 \cdot \text{Kfz})$	0,11	0,15	0,22
UKR $\text{U}/(10^3 \cdot \text{Kfz})$	14,5	18,6	22,5

Tab. 49: Unfallkenngrößen Knotengrundformen, komplette Knotenpunkte, U.-Kat. 1 - 6

Im untersuchten Netz von Sachsen und Sachsen-Anhalt waren acht LSA-geregelte plangleiche Knotenpunkte vorzufinden. Die häufigste Anschlussform ist der teilplanfreie Knotenpunkt.

Den höchsten Sicherheitsgrad weisen die planfreien Knoten mit einer UKR von 14,5 $\text{€}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$, gefolgt von den teilplanfreien Knoten mit 18,6 $\text{€}/(1000 \cdot \text{Kfz})$ auf. Die unsicherste Variante stellt die plangleiche Knotengrundform dar. Durch Verkehrszeichen geregelte plangleiche Knotenpunkte wurden wegen der geringen Anzahl im Netz nicht mit bewertet.

Die Gefahr des Ereignisses eines U(P) ist unabhängig von der Grundform an allen Knotenpunkten immer höher als auf unbeeinflussten Strecken Das Risiko in einen Unfall mit Personenschaden verwickelt zu werden, ist an plangleichen LSA-Knoten mit 0,22 $\text{U}/(10^6 \cdot \text{Kfz})$ doppelt so hoch wie an Knoten mit einer komplett planfreien Verkehrsführung. Die Unfallauffälligkeit für U(S) liegt an plangleichen Knoten um 0,3 $\text{U}/(10^6 \cdot \text{Kfz})$ über dem Niveau der planfreien Knotenpunktformen.

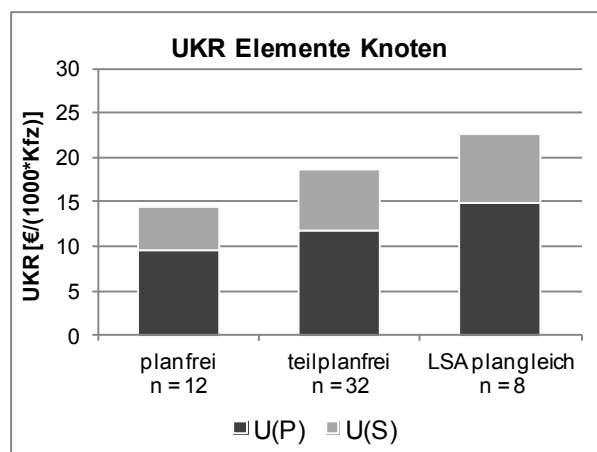


Bild 53: UKR der Knotenpunkte nach baulicher Grundform

Aus der Gegenüberstellung der Grundformen wird ersichtlich, dass die planfreie Verkehrsführung die sicherste Variante des Anschlusses an das weitere Netz darstellt.

5.3.4 Übergreifende Bewertung

Die übergreifende Analyse der Streckenabschnitte soll die Verkehrssicherheit der beiden Regelquerschnitte unter Berücksichtigung aller Grundelemente der Strecke darstellen.

Es erfolgte die zusammengefasste Berechnung der Unfallkenngrößen für die Abschnitte „freie Strecke“ und „Zwischenelement“ zu dem Bereich „Strecke ohne Knoten“ (Tab. 50) mit pauschalen Kostensätzen. Die mittlere UKR der RQ 21- ähnlichen Streckenabschnitte, die eine Fahrbahnlänge von 185,4 km aufweisen, beträgt 11,6 $\text{€}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$. Für das Kollektiv der RQ 28- ähnlichen Strecken mit 182,5 km Netzlänge wurde eine UKR von 10,6 $\text{€}/(1000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ ermittelt. Damit erhöht sich die Differenz der Sicherheit

Klasse	RQ 21			RQ 28		
	freie Strecke	Strecke ohne Knoten	Gesamte Strecke	freie Strecke	Strecke ohne Knoten	Gesamte Strecke
UKR U [€/ (1000*Kfz*km)]	10,7	11,6	13,0	10,4	10,6	11,4
UR U [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	0,14	0,15	0,19	0,14	0,14	0,17
UR(P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	0,09	0,10	0,12	0,09	0,09	0,10
Länge (Fahrbahn) [km]	77,5	185,4	228,3	108,0	182,5	243,0

Tab. 50: Unfallkenngrößen, RQ übergreifende Bewertung, U.-Kat. 1 - 4

zwischen beiden Regelquerschnitten auf 1,0 €/ (1000*Kfz*km). Die Veränderung resultiert aus einer Zunahme der UR(P) in der Gruppe des RQ 21. Interessant ist, dass das Niveau der UKR für das Kollektiv RQ 28 nahezu unverändert bleibt. Bei dem Vergleich gilt zu berücksichtigen, dass 59 % der Länge für den RQ 21 und 41 % für den RQ 28 dem Bereich „Zwischenelement“ zugeordnet sind. Ein Unterschied im Unfallgeschehen der freien Strecke und den knotenpunktnahen Bereichen liegt bei Strecken des RQ 28 nicht vor. Die Be-

rücksichtigung der Einflussbereiche führt bei Strecken des RQ 21 nur zu einer geringen Zunahme der Verkehrsunsicherheit.

Der Vergleich der UKR und UR aller Untersuchungsstrecken, abgetragen über dem mittleren gewichteten DTV der Strecke (Bild 55), lässt bei beiden Querschnitten keine Tendenz erkennen. Mit Verringerung der Verkehrsstärke tritt auf RQ 21- ähnlichen Strecken eine stärkere Streuung der UR auf.

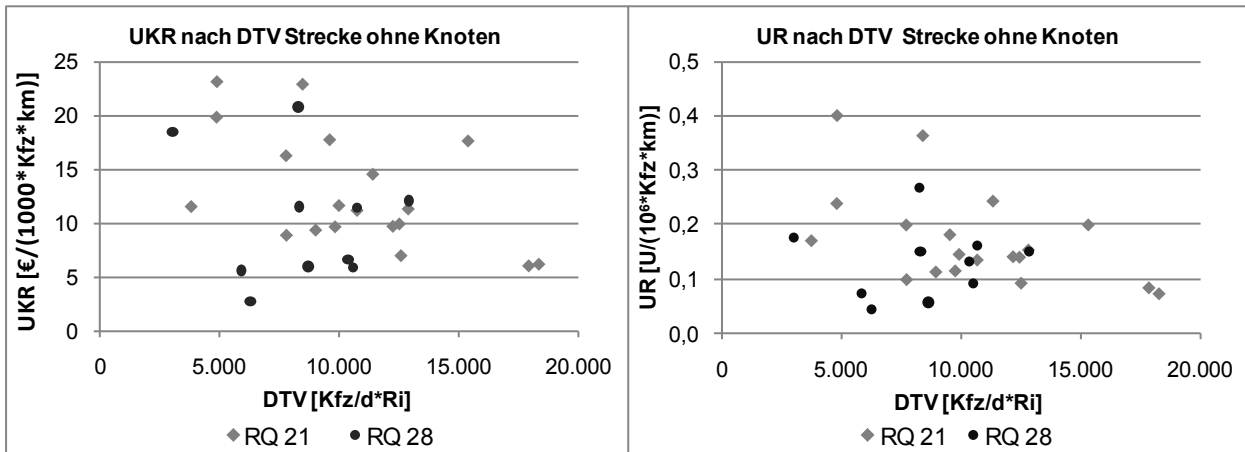


Bild 55: UKR und UR „Strecke ohne Knoten“ nach DTV, beide RQ, U.-Kat. 1 - 4

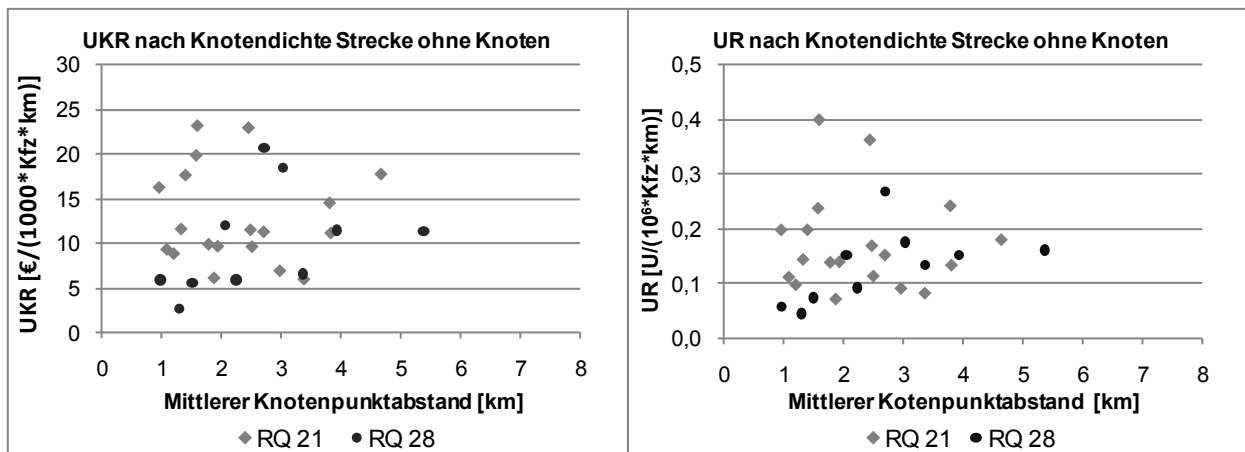


Bild 54: UKR und UR „Strecke ohne Knoten“ nach Knotendichte, beide RQ, U.-Kat. 1 - 4

Die Berücksichtigung der mittleren Knotendichte (Anzahl aller Knoten je Strecke) verdeutlicht die unterschiedliche Charakteristik der Regelquerschnitte (Bild 54). Strecken mit RQ 21 weisen mit 1,8 km Abstand im Mittel eine wesentlich höhere Knotendichte als die Strecken des RQ 28 mit 2,7 km auf. Damit liegt der mittlere Abstand für den RQ 28 im Bereich der nach den RAL empfohlenen Knotenpunktabstände von 2 bis 3 km für zweibahnig vierstreifige Streckenabschnitte. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass laut den RAA (FGSV, 2008B) für den RQ 28 mittlere Knotenabstände von mindestens 5 km anzustreben sind, wobei in Agglomerationsräumen dieser Abstand auch unterschritten werden kann.

Der geringe mittlere Knotenabstand des RQ 21 resultiert aus den verschiedenen Situationen für den Einsatz dieses Querschnittes. Des Weiteren ist durch die Ausstattung mit plangleichen Knotenpunkten eine dichtere Verknüpfung der Strecke in das nachgeordnete Netz möglich. Diese Knotengrundform benötigt eine geringere Längenentwicklung.

26 von 62 Knotenpunkten des RQ 21 besitzen eine plangleiche Grundform. Auf den Untersuchungsabschnitten des RQ 28 sind lediglich 3 von 45 Knoten durch einen plangleichen Anschluss gekennzeichnet. Die restlichen Anschlüsse in das nachgeordnete Netz erfolgen über eine planfreie Anbindung der Hauptfahrbahn. Die Verkehrssicherheit im weiteren Umfeld von Knotenpunkten für den RQ 21 fällt nur geringfügig schlechter aus, als im Bereich der freien unbeeinflussten Strecke.

Die weitere Analyse beinhaltete die Zusammenstellung des gesamten Unfallgeschehens inklusive der Knotenpunktunfälle auf der Hauptfahrbahn differenziert nach den einzelnen Untersuchungsstrecken. Für die Berechnung der Unfallkenngrößen wurden alle Bereiche, für die DTV-Werte vorlagen, nach Länge und den entsprechenden Unfallkostensätzen berücksichtigt. Bei dem RQ 21 konnten 46 von 62 Knoten (74 %), bei dem RQ 28 42 von 45 Knoten (93 %) bei der Berechnung bewertet werden. Alle fehlenden Knoten

sind der Grundform plangleich zuzuordnen. Da sie überwiegend eine Verknüpfung in das untergeordnete Kreisstraßennetz darstellen, fehlen für diese Anschlüsse die DTV-Angaben. Die Bewertung der Knotenpunktunfälle erfolgt je nach Grundform angepasster Unfallkostensätze.

Die Berechnung der Unfallkenngrößen aus dem gesamten Unfallgeschehen der Hauptfahrbahn und der kompletten Abschnittslänge führt zu einer höheren Differenz der UKR mit 13,0 und 11,4 €/((1000*Kfz*km) für den RQ 21 bzw. RQ 28 (Tab. 50). Der deutlichere Anstieg der Verkehrsunsicherheit auf RQ 21-ähnlichen Abschnitten resultiert aus der höheren Knotendichte, dem Anteil plangleicher Knotenpunkte und der damit verbundenen stärkeren Zunahme der UR(P) und UR(S). Eine dichte Knotenabfolge führt zu einer Verringerung der Verkehrssicherheit des gesamten Streckenzuges.

Die Bewertung der Streckenzüge nach dem DTV weist für den RQ 21 mit zunehmender Verkehrsstärke eine tendenziell sinkende UKR und UR auf. Beide Kenngrößen werden durch den hohen Fahrleistungsanteil der Streckenabschnitte geprägt, welche in der Zusammenfassung gewichtet einfließen. Auch hier gilt die Vermutung, dass sich im Bereich sehr geringer Verkehrsstärken eine hohe UR einstellt. Aussagen über den Sicherheitsgrad in Bereichen sehr hoher Belastungen waren nicht möglich.

Neben der Knotendichte ist die Knotengrundform maßgebend für die Verkehrssicherheit eines Streckenzuges. Dies zeigt die Unterteilung der RQ 21-ähnlichen Streckenzüge anhand der auftretenden Knotengrundformen. Maßgebend war die Anschlussform auf der Hauptfahrbahn. Da wurde in folgende Charakteristiken unterschieden:

- Planfrei (nur planfreier Anschlüsse der Hauptfahrbahn)
- Plangleich (nur plangleiche Anschlüsse der Hauptfahrbahn)
- Gemischt (Kombination beider Anschlussformen)

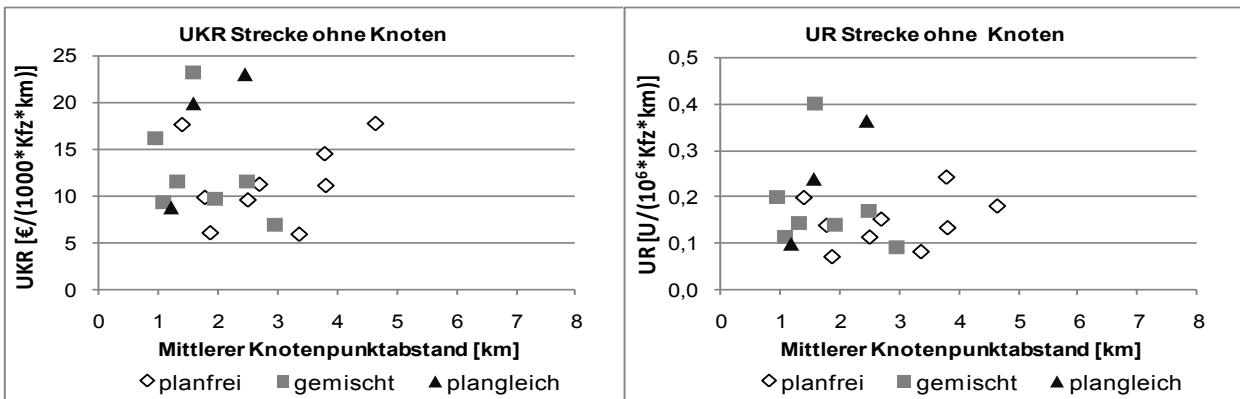


Bild 56: UKR und UR „Strecke ohne Knoten“ nach Knotendichte und Knotengrundform, RQ 21, U.-Kat. 1 – 4

Die Betrachtung des mittleren Knotenabstandes über alle Knoten verdeutlicht den Unterschied zwischen Strecken mit lediglich planfreien Knotenpunkten und den anderen beiden Gruppen. Ähnlich wie bei dem RQ 28 tritt hier ein mittlerer Knotenabstand von 2,6 km auf. Die höchste Unfallrate ist auf plangleichen Strecken mit $0,25 U/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)$ zu verzeichnen. Diese resultiert aus einer deutlich höheren UR(P) für diese Abschnitte. Da dieser Gruppe jedoch nur 10,1 km Streckenlänge als Datenbasis zu Grunde lagen, ist die Aussagekraft eingeschränkt. 19 von 35 Knotenpunkten der Gruppe „gemischt“ besitzen eine plangleiche Grundform. Da sowohl die Teilgruppe „plangleich“ als auch „gemischt“ einen ähnlichen mittleren Knotenabstand aufweisen, ist zu vermuten, dass die stetige Abfolge von plangleichen Knotenpunkten in Zusammenhang mit geringer Knotenpunktfolge zu einem negativen Einfluss auf die Verkehrssicherheit der Streckenabschnitte zwischen den Knotenpunkten führt. Aus Bild 56 wird der geringe mittlere Knotenabstand für die drei Strecken mit ausschließlich plangleichen Knotenanschlüssen deutlich. Im Mittel weisen Strecken mit einer ausschließlich planfreien Anbindung die höchsten mittleren Knotenpunktstände auf. RQ 21- ähnliche Strecken mit diesem Merkmal gleichen in ihrer Charakteristik am ehesten den Autobahnen.

Knotengrundformen der Strecke RQ 21			
Knotengrundform Strecke	plangleich	planfrei	gemischt
Streckenlänge [km]	10,1	51,5	52,1
mittlerer Knotenabstand alle Knoten [km]	1,4	2,6	1,5
UR Strecke ohne Knoten $[U/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)]$	0,25	0,14	0,15
UR(P) Strecke ohne Knoten $[U/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)]$	0,14	0,09	0,09
UKR Strecke ohne Knoten $[\text{€}/(10^3 \cdot Kfz \cdot km)]$	17,5	10,9	11,2

Tab. 51: Unfallkenngrößen Streckenzug nach vorhandenen Knotengrundformen, RQ 21, Kat. 1 – 4

Aus dem Vergleich aller drei Gruppen wird deutlich, dass für Strecken mit einer geringen Knotendichte der Anschluss der Hauptfahrbahn häufiger über planfreie Elemente erfolgt.

Die UR für die Kollektive „planfrei“ und „gemischt“ überschreitet den Wert von $0,2 U/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)$ nur in Ausnahmefällen, unabhängig von der mittleren Knotendichte. „Plangleiche“ Strecken weisen eine breite Streuung bei den UR auf. Da sich das Kollektiv aus lediglich drei Strecken zusammensetzt, können allgemeingültige Aussagen nicht abgeleitet werden. Vor dem Hintergrund der Erkenntnisse zum Einfluss LSA-gesteuerter Knotenpunkte auf die angrenzende Strecke (vergleiche Kap.5.3.2) sind mutmaßlich streckenspezifische Besonderheiten der Strecken für einen Teil der hohen UR verantwortlich.

Tendenziell weisen Strecken mit einer geringen mittleren Knotendichte eine breitere Streuung der UKR und UR auf. Ein konkreter Einfluss der Knotengrundform kann nicht abgeleitet werden. Das Niveau der UKR und UR fällt für Strecken mit ausschließlich planfreien Knotenpunkten am niedrigsten aus.

5.3.5 Unfalltypen

Die Analyse des Unfalltyps erlaubt Aussagen zu den verkehrstechnischen Konstellationen, die zu Unfällen geführt haben. Berücksichtigung fand das Unfallgeschehen der Kategorien 1 bis 4. Unter „Andere“ sind (in Abweichung von der sonst üblichen Definition) die Unfalltypen 4, 5 und 7 zusammengefasst.

Auf beiden RQ tritt auf der freien Strecke am häufigsten der Fahrnfall (Unfalltyp 1) auf. Dabei weist der RQ 21 mit 68,4 % einen um 8,4 % höheren Anteil als der RQ 28 auf. Diese Differenz spiegelt sich in der Häufigkeit der Längsverkehrsunfälle (Unfalltyp 6) wider, welche in den Kollektiven mit 16,5 bzw. 25,6 % Anteil vertreten sind. Über alle Unfallschwerekategorien hinweg weist das Kollektiv

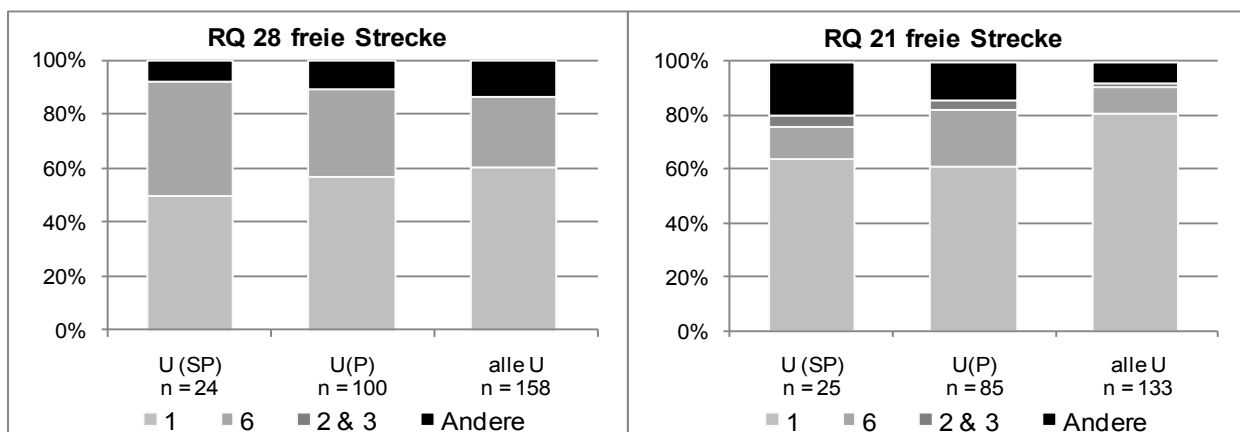


Bild 57: Unfalltypenverteilung nach RQ, freie Strecke, U.-Kat. 1 - 4

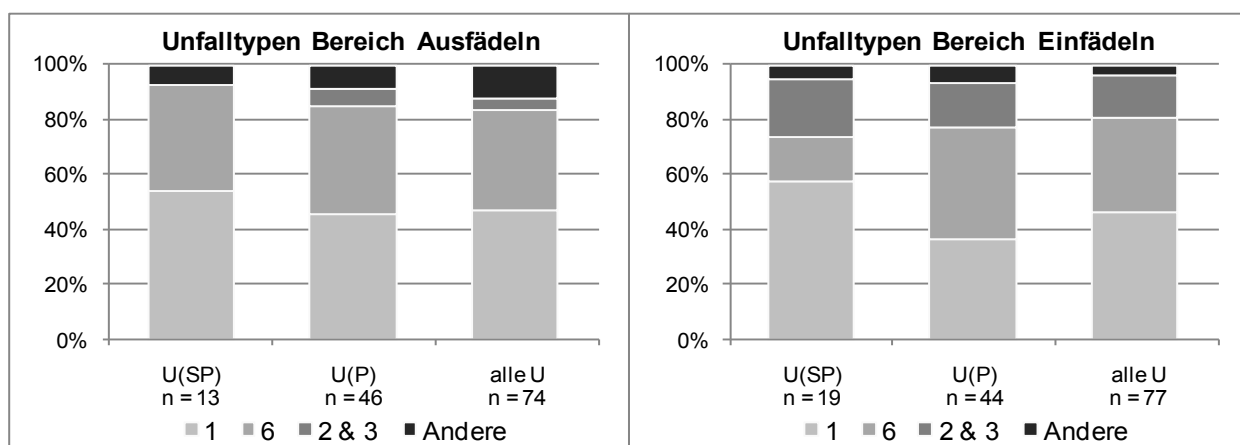


Bild 58: Unfalltypenverteilung beide RQ, Aus-/Einfädelbereich, U.-Kat. 1 - 4

tiv RQ 21 einen mit 2 bis 4 % hohen Anteil von Knotenpunkunfällen (Unfalltypen 2 und 3) auf. Dies ist auf den Ausbaustandard einiger RQ 21-ähnlichen Strecken zurückzuführen, die in ihrem Verlauf vereinzelt nicht klassifizierte Wegeeinmündungen aufweisen. In beiden Kollektiven beinhaltet der Fahrnfall mit 90 % das Merkmal, des Abkommens von der Fahrbahn nach links oder rechts. 70 % der Unfälle im Längsverkehr bei RQ 21 und RQ 28 ereigneten sich mit einem Aufprall auf ein vorausfahrendes oder parallel in gleicher Richtung fahrendes Fahrzeug.

Sowohl bei den Klassen U(P) als auch U(SP) bleibt die Verteilung der Unfalltypen im Kollektiv RQ 21 nahezu unverändert. Lediglich bei der Unfalltypengruppe „Andere“ ist bei den U(SP) ein Anstieg auf 20 % zu verzeichnen. Das Kollektiv RQ 28 ist bei zunehmender Unfallschwere durch einen Rückgang der Fahr- und sonstiger Unfälle bei gleichzeitiger Zunahme der Längsverkehrsunfälle gekennzeichnet. 12 von 24 U(SP) entsprechen dem Typ Fahrnfall. Aufgrund der geringen Unfallzahlen kann in der Gruppe U(SP) von keinem signifikanten Unterschied der Unfalltypen-

verteilung zwischen beiden Querschnitten ausgegangen werden.

Für die Analyse der Knotenpunkte werden die Unfälle beider Regelquerschnitte zusammengefasst und nach der Knotengrundform ausgewertet.

Einen geringeren Anteil der Fahrnfälle im Vergleich zur freien Strecke besitzen die Ausfädelbereiche. Mit 47 % ist der Fahrnfall der häufigste Unfalltyp, jedoch steigt der Anteil des Unfalls im Längsverkehr im Vergleich zur freien Strecke auf 36 % zu. Dieser Anstieg resultiert aus den häufigeren Fahrstreifenwechsellvorgängen in diesem Abschnitt. Einbiegen/Kreuzen und Abbiege-Unfälle nehmen in diesem Bereich des Knotenpunktes nur eine untergeordnete Rolle ein.

Dass sich die Vorgänge des Verkehrsablaufes zwischen Aus- und Einfädelbereich unterscheiden, spiegelt sich in der veränderten Unfalltypenverteilung wider. Der Anteil der Unfalltypen 2 und 3 steigt auf 16 % des gesamten Unfallgeschehens an. Mit der Unfallschwere steigt auch der Anteil dieser beiden Unfalltypen. Mit 34 % behält der Unfalltyp Längsverkehr das Niveau des Ausfädelbereiches. Es ist zu beachten, dass nach FGSV

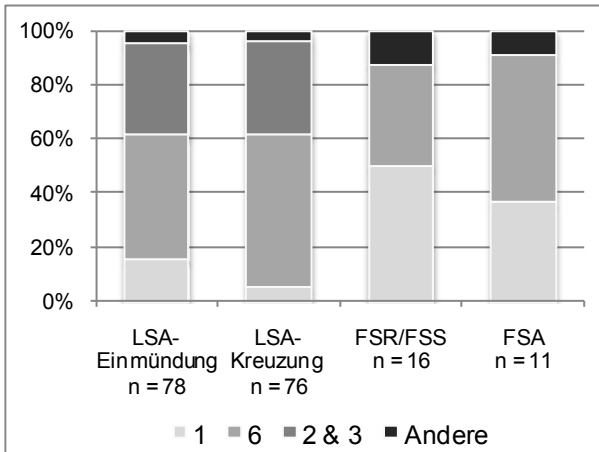


Bild 59: Unfalltypenverteilung plangleicher Knoten, FSR/FSS und FSA, U.-Kat. 1 - 4

(2003) Unfälle, die sich zwischen einfädelnden und auf der Hauptfahrbahn nachfolgenden Kfz ereignen, als Unfalltyp 3 (Einbiegen/Kreuzen) definiert sind. Fährt ein Verkehrsteilnehmer auf ein im Einfädelfahstreifen vorausfahrendes Fahrzeug auf, gilt auch hier die Definition des Unfalltyps 6.

Die zusammengefasste Bewertung des planfreien Hauptfahrbahnanschlusses verdeutlicht, mit einem Anteil der Unfalltypen 2 und 3 von ca. 11 % sowie 35 % Längsverkehrsunfälle bezogen auf das gesamte Unfallgeschehen, die zur freien Strecke verschiedene Unfallkonstellation.

Bild 59 enthält die Unfalltypen weiterer Elemente der Hauptfahrbahn. Für die LSA-geregelten plangleichen Knotenpunkte erfolgte eine Trennung nach Einmündung und Kreuzung.

Sowohl bei den Einmündungen als auch bei den Kreuzungen beträgt der Anteil der Unfalltypen 2 und 3 ca. 34 %. Die Höhe des Anteils entspricht für Kreuzungen den Anteilen nach ECKSTEIN, MEEWES (2002) für LSA-geregelte Kreuzungen mit separatem Linksabbiegerschutz. Der Anteil der

Fahrnfälle am Knotenpunkt fällt im Vergleich zur freien Strecke deutlich geringer aus. An LSA-geregelten Kreuzungen weist dieser Unfalltyp nur einen Anteil von 5 % auf, während mehr als die Hälfte der Unfälle dem Unfalltyp 6 zuzuordnen sind. Bei 80 % des Unfalltyps 6 an Kreuzungen liegt der Zusammenstoß auf ein vorausfahrendes oder wartendes Fahrzeug vor, während es bei Einmündungen nur 47 % sind. Mehr noch als an planfreien Knotenelementen wird hier das Unfallgeschehen durch die Charakteristik des Knotens und seiner Verkehrsregelung geprägt. Die Anordnung von Knotenpunkten auf der Strecke führt zu einem Ansteigen der Längsverkehrsunfälle, während sich die Häufigkeit von Fahrnfällen verringert.

Die Unfalltypenverteilung an FSR/FSS und FSA ist aufgrund der geringen Unfallzahlen nicht aussagekräftig. Tendenziell bewegt sich der Anteil der Fahrnfälle an FSR/FSS etwas unter dem Niveau der freien Strecke. Dafür sind 6 von 16 Unfällen dem Unfalltyp 6 zuzuordnen. Dies scheint plausibel, aufgrund der Fahrmanöver und der notwendigen Fahrstreifenwechsellvorgänge kommt es zu einem erhöhten Konfliktpotenzial im Längsverkehr.

6 von 11 Unfällen an FSA entsprechen dem Unfalltyp 6. Zu beachten ist, dass sich 9 von 11 Unfällen im einbahnigen Bereich der Fahrstreifenaddition ereigneten. Anhand der Unfalldaten kann keine Erklärung für diesen Zusammenhang gefunden werden.

Die Zusammenfassung des Unfallgeschehens der Hauptfahrbahn über die gesamte Strecke verdeutlicht, dass der Anteil der Fahrnfälle in beiden Kollektiven für alle Unfälle bei 44 % liegt. Aufgrund der höheren Anzahl plangleicher Knotenpunkte und der dichteren Knotenfolge liegt der Anteil der Unfalltypen 2 und 3 im Kollektiv RQ 21 bei 12 %, während er im Kollektiv RQ 28 nur die Hälfte be-

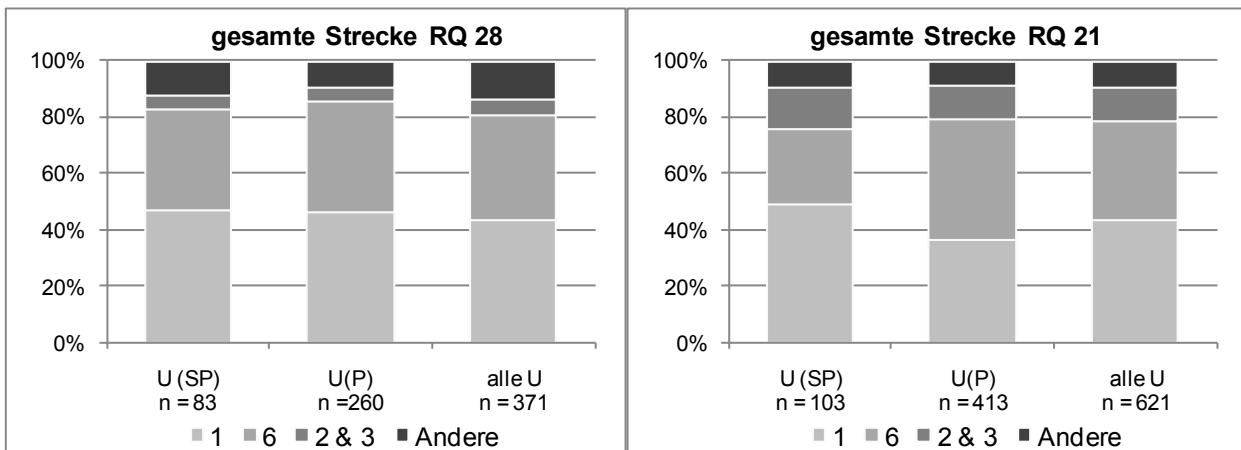


Bild 60: Unfalltypenverteilung gesamte Strecke, beide RQ, U.-Kat. 1 - 4

trägt. Die Verteilung der U(SP) ist durch einen geringen Zuwachs des Anteils der Fahrurfälle – 6 % bei RQ 21 bzw. 4 % bei RQ 28 – gekennzeichnet.

Im Vergleich mit der Unfalltypenverteilung für BAB nach DESTATIS (2008) für das Jahr 2008 liegt für U(P) der Anteil der Fahrurfälle auf dem RQ 21 um 4 % über dem Mittelwert der BAB, während der Anteil des Unfalltyps 6 auf dem RQ 21 mit 43 % um ca. 11 % unter dem Bundesdurchschnitt liegt. Dementsprechend höher liegt der Anteil der knotenpunktcharakteristischen Unfalltypen 2 und 3. Unter Berücksichtigung der baulichen Besonderheiten des RQ 21, wie die Anordnung plangleicher Knotenpunkte, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Unfalltypenverteilung nur geringfügig von den Werten für BAB unterscheidet.

5.3.6 Zusammenfassung Verkehrssicherheit

Die Ergebnisse der Unfalluntersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Verunglücktenstruktur des gesamten Kollektivs zeigt die größere Wahrscheinlichkeit einer höheren Verletzungsschwere auf dem RQ 28 gegenüber dem RQ 21 bei einem Unfall mit Personenschaden. Dies resultiert u. a. aus den Kollektivzusammensetzungen nach der v_{zul} und dem damit veränderten Geschwindigkeitsniveau.
- Im Bereich unbeeinflusster Streckenabschnitte weisen bei gleicher Höhe der v_{zul} RQ 21- ähnliche Strecken eine höhere UR(P) als RQ 28- ähnliche Strecken auf. Die Größenordnung der schweren Sachschadenunfälle unterscheidet sich zwischen beiden Kollektiven nicht.
- Gegenüber einer v_{zul} von $v = 100$ km/h weisen beide Querschnitte bei $v = 120$ km/h eine höhere Verkehrsunsicherheit auf. RQ 28- ähnliche Abschnitte mit einer unbeschränkten v_{zul} besitzen das gleiche Sicherheitsniveau wie Strecken mit einer Beschränkung der v_{zul} auf $v = 120$ km/h“.
- Bei beiden RQ weisen die Kollektive mit einer unbeschränkten v_{zul} die höchste UR(P) auf, während die niedrigsten UR(P) für beide RQ bei einer Beschränkung der v_{zul} auf $v = 100$ km/h zu verzeichnen ist.
- Planfreie Knotenpunkte stellen die sicherste Variante der Verbindung des RQ 21 in das weitere Netz dar. Dem folgen die Grundformen mit einem planfreien Anschluss der Hauptfahrbahn. Die höchste

Verkehrsunsicherheit besitzen plangleiche Knotenpunkte.

- Planfreie Knotenpunkte beeinträchtigen das Unfallgeschehen des Annäherungsbereiches bis zu einer Länge von 300 m geringfügig negativ. Ursache sind die vermehrten Fahrstreifenwechsellvorgänge vor dem Ausfädelbereich. Die Länge von 300 m erscheint vor dem Hintergrund der Ankündigung der Ausfahrt mit den VZ 450 bis 452 StVO plausibel. Plangleiche LSA-geregelte Knotenpunkte hingegen wirken sich geringfügig positiv auf die Verkehrssicherheit der Annäherungsstrecke, insbesondere auf die UR für Unfälle mit Personenschaden aus. Die Länge und Höhe des Einflusses wird maßgeblich durch die Länge und das Ausmaß der Reduzierung der v_{zul} im Annäherungsbereich geprägt.
- Die Verteilung der Unfalltypen RQ 21- ähnlicher Strecken ähnelt dem Durchschnitt nach DESTATIS (2008) für BAB. Am häufigsten tritt auf beiden RQ der Fahrurfälle gefolgt vom Unfall im Längsverkehr in Erscheinung. Wegen der Ausstattung des RQ 21 mit plangleichen Knotenpunkten ist der Anteil der knotencharakteristischen Unfalltypen 2 und 3 um ca. 10 % höher.
- Die Sicherheitsbewertung des Unfallgeschehens der gesamten Strecken offenbart ein unterschiedliches Sicherheitsniveau beider RQ in den untersuchten Fällen. Bei einer knotenpunktübergreifenden Bewertung liegt die UR(P) des RQ 21 um $0,02 U/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)$ über dem RQ 28. Dies setzt sich aus unterschiedlichen Kennwerten der freien Strecke und Knotenpunkte zusammen. Strecken des RQ 21 sind überwiegend mit einer v_{zul} von 100 km/h ausgezeichnet, während auf RQ 28- ähnlichen Strecken zu einem großen Anteil eine v_{zul} von „ $v = 120$ km/h“ angeordnet ist oder die Geschwindigkeit nicht beschränkt wird. Des Weiteren weist der RQ 21 gegenüber dem RQ 28 eine Vielzahl von Strecken mit plangleichen Knotengrundformen aus.

6 Bewertung Verkehrsqualität

6.1 Definition der Verkehrsqualität

Im Grundsatz kommen zwei Betrachtungsweisen zur Verkehrsqualität von Landstraßen in Frage:

- Die elementbezogene Beurteilung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten getrennt wie bisher im HBS (FGSV, 2001)
- Die übergreifende Bewertung längerer Abschnitte nach den RIN (FGSV, 2008c)

Die Richtlinien für integrierte Netzgestaltung RIN (FSGVB, 2008) basieren auf dem System der zentralen Orte und deren Erreichbarkeit mittels mittlerer Reisezeiten. In Abhängigkeit der Verkehrswegkategorien für den Kfz-Verkehr gibt die RIN (FGSV, 2008c) angestrebte mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten über einen definierten Entfernungsbereich vor. Deshalb dient zum Nachweis der Erfüllung die angestrebte Fahrtgeschwindigkeit auf dem Gesamtabschnitt als Maß der Verkehrsqualität (MVQ).

Das Bewertungskriterium der Verkehrsqualität von Außerortsstraßen wird in sechs verschiedene Qualitätsstufen (QSV) von A bis F unterschieden (FGSV, 2001).

Für Streckenabschnitte einbahnig zweistreifiger Landstraßen wird nach HBS (FGSV, 2001) die Verkehrsdichte k als Maß der Verkehrsqualität (MVQ) verwendet. Dabei wird berücksichtigt, dass auf Steigungstrecken und kurvenreichen Abschnitten trotz geringer mittlerer Reisegeschwindigkeiten eine gute Qualität des Verkehrsablaufes erreicht werden kann. Die Qualitätsstufen der Verkehrsdichte gelten einheitlich für alle streckencharakteristischen und verkehrlichen Randbedingungen. Aus Diagrammen von Verkehrsstärke und mittlerer Fahrtgeschwindigkeit kann die Verkehrsdichte bestimmt werden.

Die Verkehrsqualität von Autobahnabschnitten außerhalb von Knotenpunkten wird mit dem Auslastungsgrad a als Quotient der Bemessungsverkehrsstärke und der Kapazität bestimmt. Mittlere Fahrtgeschwindigkeit und Verkehrsdichte sind als weitere Kenngrößen an den Auslastungsgrad gekoppelt. Trotz einer in letzter Zeit entstandenen Diskussion über ein geeigneteres Qualitätskriterium wird derzeit noch mit dem Auslastungsgrad als Kriterium die Verkehrsqualität bestimmt.

Es bestand die Aufgabe für RQ 21- ähnliche Strecken außerhalb von Knotenpunkten die Verkehrsqualitätsstufen für verschiedene verkehrliche Randbedingungen zu bestimmen. Dabei richtet sich die Bandbreite der QSV nach den RAL (FGSV, 2008) definiertem Verkehrsstärkenspektrum für diesen Regelquerschnitt.

6.2 Vorgehensweise

Abschnitte des RQ 21 gleichen in ihrer baulichen Gestaltung und Verkehrsablauf (q-V-Beziehung) den Querschnitten von BAB. Daher wird die Differenzierung nach dem dort üblichen Qualitätskriterium „Auslastungsgrad“ als Grundlage zur Bestimmung der Verkehrsqualität gewählt. Im HBS (FGSV, 2001) erfolgt eine Bestimmung des Auslastungsgrades unabhängig von den auftretenden verkehrlichen und streckencharakteristischen Kenngrößen. Im Highway Capacity Manual (HCM, 2000) dient die Verkehrsdichte als Maßstab der Verkehrsqualität für Freeways. Der Schwerverkehr (SV) wird in Pkw-Einheiten umgerechnet, wobei die Faktoren in Abhängigkeit mehrerer Parameter unterschieden werden. Dabei gelten für unterschiedliche Randbedingungen (z.B. v_{zul}) die gleichen Grenzwerte. Mit Ausnahme der Stufe E variiert der Auslastungsgrad für eine Qualitätsstufe in verschiedenen Geschwindigkeitstypen. Gegenüber dem HBS (FGSV, 2001) ermöglicht das HCM (HCM, 2000) eine vergleichende Darstellung der Verkehrsdichte und der mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten für verschiedene Schwerverkehrs- bzw. Geschwindigkeitstypen in einem Diagramm.

Im HBS (FGSV, 2001) ist für den Fall einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn mit einer unbeschränkten Höchstgeschwindigkeit und weiteren Randbedingungen bereits die Verknüpfung zu anderen möglichen Qualitätskriterien dargestellt.

QSV	Mittl. Pkw-Reisezeit [min/(100*km)]	Mittl. Pkw-Reisege- schwindig- keit [km/h]	Verkehrs- dichte [Kfz/km]	Aus- lastungs- grad a [-]
A	≤ 46	≥ 130	≤ 8	$\leq 0,3$
B	≤ 48	≥ 125	≤ 16	$\leq 0,55$
C	≤ 52	≥ 115	≤ 23	$\leq 0,75$
D	≤ 60	≥ 100	≤ 32	$\leq 0,$
E	≤ 75	≥ 80	≤ 45	≤ 1
F	> 75	< 80	> 45	-

Quelle: HBS (FGSV, 2001, Tabelle 3-1)

Tab. 52: Bsp. Verknüpfung Auslastungsgrad mit anderen Kenngrößen für zweistreifige Autobahn, kein Tempolimit, Steigung $< 2\%$, kein Lkw-Verkehr, außerhalb von Ballungsräumen

Die Bestimmung der QSV für den RQ 21 erfolgte unter Berücksichtigung des Auslastungsgrades als maßgebende Größe.

Bei einer vom Auslastungsgrad abhängigen Verkehrsdichte als Qualitätskriterium verändert sich der Dichtewert in Abhängigkeit der Kapazität und der q-V-Beziehung (Fahrtgeschwindigkeit). Dies bedeutet, dass für unterschiedliche SV-Anteile unterschiedliche Dichten auftreten. Das Ablesen der Qualitätsstufen, basierend auf der mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeit, ist anhand des gängigen q-V-Diagramms ohne Berechnung der jeweiligen Auslastungsgrade aus der gegenwärtigen Verkehrsstärke nicht möglich.

Um die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten in Abhängigkeit verschiedener Parameter in einem Diagramm abzubilden und die direkte Bestimmung der QSV mit Bezug auf das Kapitel „Strecke von Landstraßen“ des HBS-Entwurfs 2010 zu ermöglichen, wurde die Berechnung anhand der Verkehrsdichte als MQV gewählt.

Grundlage bildeten die Simulationen des Verkehrsablaufes der freien Strecke mit folgenden Rahmenbedingungen:

- Abbildung der drei Geschwindigkeitstypen „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “, „ $v_{zul} = 120 \text{ km/h}$ “ und „ $v_{zul} = \text{frei}$ “ anhand der simulierten q-V-Beziehungen für mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten
- Nur Strecken mit einer Steigung $< 2 \%$ aufgrund der empirischen Daten
- Bewertung bis $2.500 \text{ Kfz}/(\text{h} \cdot \text{Ri})$, da diese Verkehrsstärke die Grenze nach dem zukünftigen Regelwerk für den RQ 21 abdeckt
- Für die Ableitung der Verkehrsqualität wurde die Annahme getroffen, dass sich die Kapazität des RQ 21 nur unwesentlich von den Werten zweistreifiger Autobahnen mit gleicher Höhe der v_{zul} nach dem neuen HBS-Entwurf unterscheiden. Für alle Geschwindigkeitstypen wurde die Kapazität der Strecken mit einer Beschränkung der v_{zul} auf 120 km/h nach HBS Entwurf (FGSV, 2009) unterstellt. Diese wurden um jeweils 200 Kfz/h gemindert damit die ermittelten Verkehrsdichten auf der sicheren Seite liegen.

Die q-V-Wertepaare wurden mittels der Kontinuitätsgleichung in die k-V Ebene überführt. Für die Beschreibung der k-V-Beziehung wurde mittels verschiedener mathematischer Ansätze nach einer geeigneten Regression gesucht. Die Berechnung zeigte mit einem Polynom zweiten Grades für alle Klassen die beste Übereinstimmung und wurde weiter angewendet.

$$v = a + b \cdot k + c \cdot k^2 \quad [\text{km/h}]$$

Tab. 54 enthält die Kennwerte der Regressionsrechnung. Bei der Überführung der Gleichung in die q-V-Ebene entstand ein Polynom dritten Grades. Ausgehend von den Kapazitäten der einzelnen Klassen erfolgte für die Übergänge der Qualitätsstufen von A bis C anhand des Auslastungsgrades und der q-V-Beziehung die Berechnung der jeweiligen Verkehrsdichten.

Der Übergang von Qualitätsstufe C zu D konnte anhand der empirischen Daten nicht immer abgebildet werden. Basierend auf dem Auslastungsgrad liegt dieser Übergang bei Verkehrsstärken zwischen ca. 2.550 und 2.850 Kfz/h je Richtung. Diese Werte entsprechen Spitzenstundenbelastungen zwischen 15 und 19% für eine Fahrtrichtung. Solche anteiligen Auslastungen liegen über den zu erwartenden täglichen Verkehrsbelastungen nach EWS (FGSV, 1997). Eine Bestimmung dieser QSV ist mit Blick auf den zukünftigen Einsatzbereich des RQ 21 nicht notwendig.

SV-Anteil	Verwendete Kapazität zweistreifige Richtungsfahrbahn	QSV	Auslastungsgrad [a]
0%	3.800 Kfz/h	A	$\leq 0,3$
10%	3.600 Kfz/h	B	$\leq 0,55$
20%	3.400 Kfz/h	C	$\leq 0,75$

Tab. 53: theoretische angenommene Kapazität RQ 21 und QSV für Autobahnabschnitte außerhalb von Knotenpunkten

SV - Anteil	Formel	r^2	$S_{x,y}$ [km/h]
$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$			
0%	$v = 111 - 0,319 \cdot k - 0,007 \cdot k^2$	0,83	2,2
10%	$v = 111 - 0,378 \cdot k - 0,007 \cdot k^2$	0,88	2,2
20%	$v = 111 - 0,511 \cdot k - 0,005 \cdot k^2$	0,89	2,4
$v_{zul} = 120 \text{ km/h}$			
0%	$v = 121 - 0,330 \cdot k - 0,011 \cdot k^2$	0,77	2,5
10%	$v = 121 - 0,476 \cdot k - 0,010 \cdot k^2$	0,82	2,6
20%	$v = 121 - 0,649 \cdot k - 0,009 \cdot k^2$	0,86	3,2
$v_{zul} = \text{frei (km/h)}$			
0%	$v = 134 - 0,238 \cdot k - 0,022 \cdot k^2$	0,83	2,1
10%	$v = 134 - 0,527 \cdot k - 0,018 \cdot k^2$	0,82	2,6
20%	$v = 134 - 0,939 \cdot k - 0,009 \cdot k^2$	0,86	2,6

Tab. 54: Kennwerte der Regressionsrechnung zur Ermittlung der k-V-Beziehung

Tab. 55 verdeutlicht die Differenzen der Verkehrsdichte bei unterschiedlichem SV-Anteil ausgehend

von einem feststehenden Auslastungsgrad. Eine Zunahme des SV-Anteils führt zu einer Verringerung der Verkehrsdichte. Dieser Effekt resultiert überwiegend aus den vom SV abhängigen Kapazitäten. Die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten prägen den Unterschied zwischen den Geschwindigkeitstypen. Da sich im Kollektiv „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “ für den betrachteten Bereich nur geringe Unterschiede zwischen den Kurven einstellen, zeigen die Verkehrsdichtewerte für gleiche QSV in Abhängigkeit des SV höhere Differenzen als in den beiden anderen Kollektiven. Aus der Kontinuitätsbeziehung ergibt sich aus der Division von gleicher Verkehrsstärke q und zunehmenden Geschwindigkeiten v eine abnehmende Verkehrsdichte k .

QSV	Verkehrsdichte [Kfz/(km* R_i)]			
	SV 0 %	SV 10 %	SV 20 %	VD_A
$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$				
A	10,8	10,2	9,6	10
B	20,6	19,6	18,7	20
$v_{zul} = 120 \text{ km/h}$				
A	9,8	9,3	8,9	9
B	18,8	18,2	17,5	18
$v_{zul} = \text{frei (km/h)}$				
A	8,8	8,4	8,1	8
B	16,9	16,4	16,0	16

Tab. 55: berechnete Verkehrsdichten der Geschwindigkeitskollektive

Die in Kapitel „Streckenabschnitte von zweistreifigen Landstraßen“ des HBS (FGSV, 2001) beinhalteten Verkehrsdichtewerte sind unabhängig von verschiedenen Bedingungen (SV-Anteil, Steigungsklasse) für alle charakteristischen Streckentypen gültig. Diese Voraussetzung führt bei der Rückrechnung mit gegebener Kapazität der Strecke zu einem veränderlichen Auslastungsgrad für die jeweilige QSV. Mit einer möglichen Zuordnung der RQ 21- ähnlichen Abschnitte in das Kapitel der „Streckenabschnitte von zweistreifigen Landstraßen“ liegt die Festlegung einheitlicher – vom SV-Anteil und der v_{zul} unabhängiger – Verkehrsdichtewerte nahe. Mit dieser Bestimmung wird der Auslastungsgrad nicht mehr als feste Größe betrachtet.

Mit den angepassten Verkehrsdichten (VD_A) erfolgt eine Vereinheitlichung der verschiedenen Verkehrsdichten nach SV-Anteil. Die VD_A ergeben sich aus dem Mittelwert der QSV für die verschiedenen SV-Anteile eines Geschwindigkeitstyps. Im

Rahmen einer dem Verfahren entsprechenden Genauigkeit wurden die Werte auf volle Stellen gerundet. Die Rückrechnung auf den Auslastungsgrad zeigt mit einer maximalen Differenz von 0,03 für die VD_A eine hohe Übereinstimmung mit den ursprünglichen Werten. Legt man der Qualitätsbewertung des Verkehrsablaufs die VD_A in Abhängigkeit der v_{zul} zu Grunde, treten unabhängig vom Berechnungsansatz entweder nach Auslastungsgrad oder der Verkehrsdichte nur geringfügige Unterschiede in der Bewertung der Verkehrsanlage auf.

Vor dem Hintergrund einer einheitlichen Grundlage der QSV für alle Geschwindigkeitstypen ist eine weitere Standardisierung der VD_A notwendig. Aus den Werten in Tab. 55 wird deutlich, dass eine allgemeine Anpassung der Werte zwangsläufig zu einer Entkopplung der Beziehung von Verkehrsdichte und Auslastungsgrad führt. Es gilt die Überlegung anzustellen, ob für den Nutzer eines RQ 21- ähnlichen Streckenabschnitts die Verkehrsdichte und damit die Bewegungsfreiheit auf der Strecke oder der Auslastungsgrad, verbunden mit der Fahrzeugbelegung eines Querschnitts, das maßgebende Kriterium für die Beurteilung der Verkehrsqualität darstellt.

Als einheitliche für den RQ 21 gültige Dichtegrenzen für die QSV (VD_E) wurden die VD_A des Kollektivs „ $v_{zul} = 120 \text{ km/h}$ “ gewählt. Dies gewährleistet eine Minimierung der Abweichung zu den beiden anderen Kollektiven.

6.3 Ergebnisse

Tab. 56 enthält für das gewählte Kollektiv, das aktuelle HBS (FGSV, 2001) und den Entwurf des HBS die Verkehrsdichtewerte für die freie Strecke von Landstraßen. Ebenfalls enthalten sind die Werte für eine zweistreifige Richtungsfahrbahn einer Autobahn mit den Eigenschaften: keine Beschränkung der v_{zul} , a. BR, SV 0 % Steigung $\leq 2 \%$ (FGSV, 2001).

QSV	Verkehrsdichte [Kfz/(km* R_i)]			
	RQ 21 zweistreifig	Landstraße einstreifig		Autobahn zweistreifig
	VD_E	HBS 2001	HBS Entwurf	HBS 2001 $v_{zul} = \text{frei}$
A	≤ 9	$\leq 2,5$	≤ 3	≤ 8
B	≤ 18	≤ 6	≤ 6	≤ 16
C	-	≤ 10	≤ 10	≤ 23

Tab. 56: QSV Verkehrsdichte

Die VD_E liegen deutlich über den Landstraßenwerten nach HBS. Eine Unterscheidung der QSV für zweibahnig vierstreifige und einbahnig mehrstreifige Querschnitte erscheint plausibel. Dies begründet sich aus dem veränderten Verkehrsablauf und der eingeschränkten Bewegungsfreiheiten auf einbahnigen zweistreifigen Streckenabschnitten im Gegensatz zu zweibahnig mehrstreifigen. Ein gleichmäßiger Verkehrsablauf auch bei höheren Verkehrsstärken ist durch die Beschränkung der Überholmöglichkeiten nicht gegeben. Auch bei

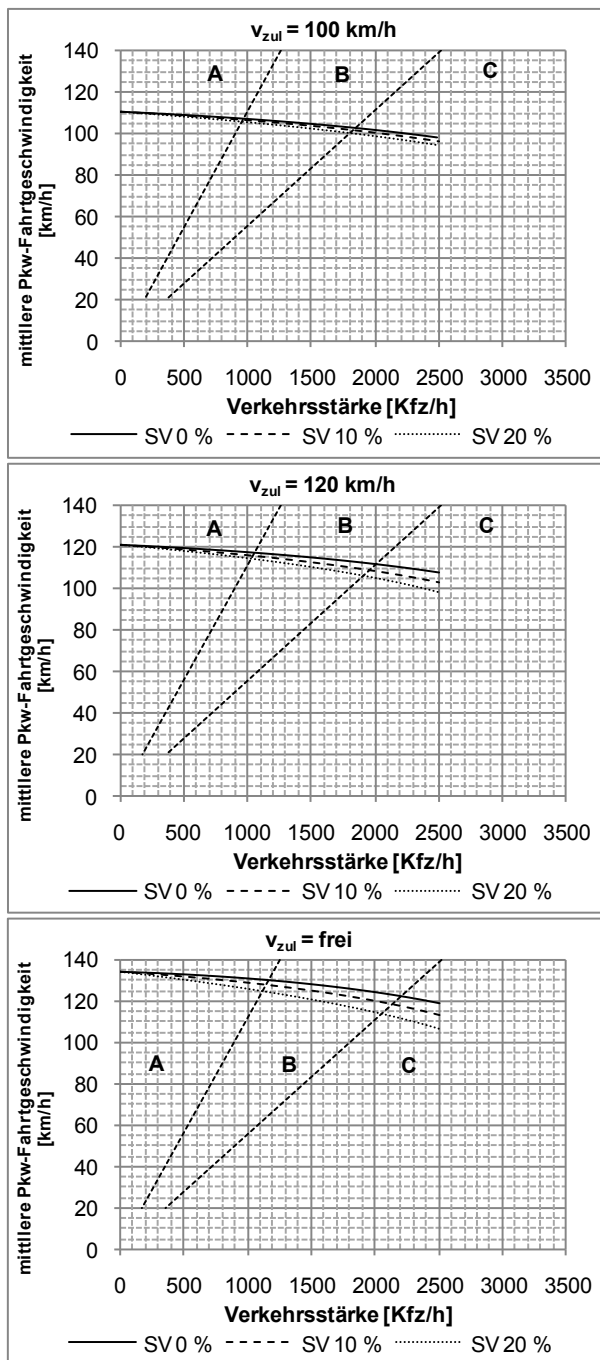


Bild 61: QSV Geschwindigkeitstypen RQ 21, mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten, Steigung $\leq 2\%$

dreistreifigen und zwei-/dreistreifigen Landstraßen wird die Verkehrsqualität durch die Kapazität des einstreifigen Streckenabschnitts begrenzt. Daher ist davon auszugehen, dass der Verkehrsablauf in Bezug auf die Verkehrsdichte auf einbahnig kurzzeitig mehrstreifigen Strecken (Bspw. RQ 15,5) im Vergleich zu durchgängig zweibahnig mehrstreifigen von Verkehrsteilnehmern unterschiedlich bewertet wird.

Die Unterschiede der VD_E zu den Autobahnwerten resultieren aus dem Kriterium der Lage außerhalb von Ballungsräumen und der q-V-Beziehungen.

Aufgrund seiner autobahnähnlichen Charakteristik (durchgängige Überholmöglichkeit im gesamten Streckenabschnitt) ist für den RQ 21 eine andere Skalierung der QSV bei der Wahl von Verkehrsdichten gegenüber der Einteilung von einbahnigen Landstraßen notwendig. Die gewählte Anlehnung der ermittelten Verkehrsdichtewerte an den Auslastungsgrad stellt einen Kompromiss zwischen dem Verkehrsablauf auf zweibahnig mehrstreifigen Straßentypen und der Einordnung des RQ 21 in das Segment der Landstraßenquerschnitte dar. Durch die Festlegung allgemeingültiger Grenzen der QSV für den RQ 21 unterscheiden sich die Auslastungsgrade von den QSV für Autobahnabschnitte. Die maximale Differenz ist im Kollektiv „ $v_{zul} = 100 \text{ km/h}$ “ mit 0,06 vorzufinden.

QSV	Auslastungsgrad [-]		
	SV 0 %	SV 10 %	SV 20 %
$v_{zul} = 100 \text{ km/h}$			
A	0,25	0,27	0,30
B	0,49	0,51	0,53
$v_{zul} = 120 \text{ km/h}$			
A	0,28	0,29	0,30
B	0,53	0,54	0,56
$v_{zul} = \text{frei (km/h)}$			
A	0,31	0,32	0,33
B	0,58	0,59	0,60

Tab. 57: Rückrechnung auf Auslastungsgrad mit VD_E

Aus den Kurvenverläufen in den Diagrammen von Bild 61 können die Stufen der Verkehrsqualität abgelesen werden. Grundlage bilden die VD_E . Um einen gleichmäßigen Kurvenzug zu erzielen, wurden die Kurvenparameter durch die Minimierung der Fehlerquadrate gegenüber den Ursprungsfunktionen modifiziert (siehe Tab. 54).

Während die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten an der Grenze der QSV A für die drei Geschwindigkeitstypen nur geringe Differenzen aufweisen, tritt mit zunehmender Verkehrsstärke

eine breitere Streuung der Werte an den folgenden Qualitätsstufen auf. Maßgebend ist der SV-Anteil. Bei Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} wirkt sich dieser Unterschied auf die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten am deutlichsten aus.

Eine Darstellung der Kurven oberhalb einer Verkehrsstärke von 2.500 Kfz/h ist nicht notwendig. Die Berücksichtigung der laut den Entwurf der RAL (FGSV, 2008) vorgesehenen Einsatzgrenze von 30.000 Kfz DTV, unter der Maßgabe einer Spitzenstunde mit 10 bis 15 % Anteil am DTV für den RQ 21 lässt deutlich werden, dass nach den zukünftigen Regelwerken Verkehrsbelastungen, die zu einer schlechteren Verkehrsqualität als Stufe C führen, nicht vorgesehen sind.

Die entwickelten Diagramme ermöglichen eine einfache Bestimmung der Qualitätsstufe, basierend auf der Verkehrsstärke in Kfz/h für die gängigen v_{zul} RQ 21- ähnlicher Strecken in Abhängigkeit des SV-Anteils. Als Maß für die Qualität des Verkehrsablaufs wird, wie für Streckenabschnitte von Landstraßen üblich, die Verkehrsdichte [Kfz/(km* R_i)] verwendet (FGSV, 2001). Ein Bezug zu den Kenngrößen der Angebotsqualität nach den RIN (FGSV, 2008c), wie angestrebte Pkw-Fahrtgeschwindigkeit und Reisezeit, ist gegeben. Da die Charakteristik des RQ 21 eher der von Autobahnabschnitten entspricht, dienen die QSV des Auslastungsgrades für Autobahnabschnitte ohne Knotenpunkte als Grundlage des Verfahrens. Da für RQ 21- ähnliche Strecken keine Kapazität vorlag, wurde auf die Werte ähnlicher Autobahnabschnitte zurück gegriffen. Diese Größe beeinflusst maßgeblich die dargestellten Ergebnisse. Aufgrund der Trassierungsparameter des RQ 21 bleibt die Kurvigkeit im Verfahren unberücksichtigt. Eine Betrachtung von Strecken mit Steigungen > 2 % erfolgt nicht.

Für die betrachteten Streckentypen und Einsatzbereiche fallen die Unterschiede der QSV in Abhängigkeit des MVQ nur gering aus. Im Bezug auf eine Anwendung in der Praxis sind daher die Wahl des Kriteriums - Auslastungsgrad oder Verkehrsdichte - zur Bewertung der Strecke nur von nachgeordneter Bedeutung. Eine Verwendung der Verkehrsdichte als Maß der Verkehrsqualität mit eigenen QSV für den RQ 21 erscheint mit Blick auf die Einheitlichkeit der Bewertung aller Typen von Landstraßen als angebracht.

7 Eignung der Einsatzlänge

In den RAL (FGSV, 2008) ist bisher eine Längenbegrenzung des RQ 21 auf 15 km vorgesehen.

Wird die Planung eines Streckenzuges über diese Grenze hinaus erforderlich, soll dieser gemäß den RAA (FGSV, 2008b) mit einem RQ 28 ausgestattet werden. Ziel der Untersuchung war es, diese Längenbegrenzung mittels einer Methodik zu überprüfen. Neben der Überprüfung der Verkehrssicherheit waren auch Einflüsse durch den Verkehrsablauf zu untersuchen. Ausgangspunkte dieser Überprüfung waren mehrere Überlegungen zu verkehrlichen Rahmenbedingungen, welche auf dem RQ 21 gegenüber dem RQ 28 ein höheres Störpotenzial besitzen.

Diese sind:

- Fahrstreifeneinzug aufgrund Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD)
- Engpässe durch liegengebliebene Fahrzeuge auf der freien Strecke
- Behinderungen des Verkehrsablaufs bzw. Stauerscheinungen durch Pannenfahrzeuge beruhend auf der Kapazitätsminderung durch den temporären Wegfall eines Fahrstreifens
- Behinderungen aufgrund erhöhten Unfallgeschehens gegenüber dem RQ 28

Die Vorgehensweise sah vor, aufbauend auf diesen Kriterien, die Beeinflussungen des Verkehrsablaufs auf dem RQ 21 mittels einer Anzahl von zu erwartenden Störungen je km darzustellen. In einem zweistufigen Modell erfolgte in einem ersten Schritt die Bestimmung der Leistungsfähigkeit des RQ 21 bei Verlust eines Fahrstreifens aufgrund liegengebliebener Kfz. Darauf aufbauend konnte in einem weiteren Schritt eine Abschätzung der Störfälle im Bereich der Spitzenstunde im Zusammenhang mit möglichen Stauerscheinungen abgebildet werden.

7.1 Kapazitätsermittlung Engpass

7.1.1 Vorgehensweise

Eine Annäherung an diese Problematik gelingt teilweise über Untersuchungen, die sich mit dem Verkehrsablauf an Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) beschäftigten (KELLER, 1983) (BECKMANN, 2001) (STÖCKERT, 2001). Ferner geben die Arbeiten von LAFFONT (1995), RESSEL (1994) und FRIEDRICH (2003) zu Fahrstreifenreduktionen und Baustellenengpässen Anhaltswerte über die Größenordnung der Kapazität. Eine Ankündigung der AkD erfolgt im Streckenvorlauf, in der Regel verbunden mit einer Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Dem Fahrzeugführer wird Zeit gegeben, sich auf die Situati-

on einzustellen und sein Fahrverhalten anzupassen. Das Auftreten von Pannenfahrzeugen, welche fast ausschließlich den rechten Fahrstreifen blockieren, geschieht dagegen für den Fahrzeugführer ohne Vorankündigung. In einem begrenzten Zeitraum ist er gezwungen, angemessen zu reagieren, ohne dabei sich selbst und andere Verkehrsteilnehmer zu gefährden.

Die Kapazitätsermittlung an Engpässen mit Pannenfahrzeugen erfolgte mit Hilfe des Programms VISSIM. Im Modell wurde dies durch den Einzug des rechten Fahrstreifens über eine Länge von 20 m dargestellt. Aufgrund fehlender empirisch belegter Daten mussten eine Reihe von Annahmen für die Simulation getroffen werden:

- Sich annähernde Kfz erkennen den Engpass in einer Entfernung von 200 m und beginnen ihr Fahrverhalten zu ändern.
- Fahrzeuge, die in den linken Fahrstreifen wechseln, müssen den Kfz im linken Fahrstreifen Vorrang gewähren. Im Zuge der gegenseitigen Rücksichtnahme wurde ein Parametersatz hinterlegt, der bei hohen Verkehrsstärken zu einem Reißverschlussverhalten führt.
- Die Reduzierung der Wunschgeschwindigkeiten ist abhängig von der v_{zul} der Strecke. Desweiteren gilt: Je höher die Wunschgeschwindigkeit der Fahrzeuge ist, desto stärker verzögern diese. Für Lkw erfolgte eine konstante Reduzierung der Wunschgeschwindigkeit um 10 km/h.
- Es werden lediglich Strecken mit einer Steigung $< 2 \%$ abgebildet.

Basierend auf den drei untersuchten Geschwindigkeitstypen wurde in Abhängigkeit des SV-Anteils der Verkehrsablauf an den Engpässen simuliert. Vor und nach dem Engpass entsprach die Wunschgeschwindigkeitsverteilung der freien unbeeinflussten Strecke nach v_{zul} . Bei der Einspeisung wurde die Verkehrsstärke aller 25 min um 200 Kfz/h erhöht. Da nach verschiedenen Quellen Kapazitäten über 1.600 Kfz/h für einstreifige Querschnitte nicht gemessen wurden sind, wurde die Obergrenze auf 2.000 Kfz/h festgesetzt.

Reduzierung Wunschgeschwindigkeiten [km/h]				
Klasse Quantil	Geschwindigkeitstyp v_{zul}			
	v=100	v=120	v=frei	Lkw alle Kl.
15%	-15	-25	-35	-10
50%	-20	-30	-40	-10
80%	-25	-35	-50	-10

Tab. 58: Reduzierung Wunschgeschwindigkeiten am Engpass in Abhängigkeit der v_{zul}

Es wurden drei Messquerschnitte, 200 m und 50 m vor sowie ein Querschnitt im Engpass, angeordnet. Zur Kapazitätsbestimmung wurden nur die beiden letztgenannten Querschnitte ausgewertet. Die q-V-Beziehung ergibt sich aus der Hochrechnung der Verkehrsstärken aus 5 min Intervallen und den mittleren Pkw-Geschwindigkeiten, bestimmt aus dem harmonischen Mittel. Die Kapazität des Engpasses ergab sich aus der Kurvenberechnung nach Regression der q-V-Werte mittels des Verfahrens von BRILON, PONZLET (1995). Maßgebend war die kleinere Kapazität beider Querschnitte. Als „Lücke“, welche die Trennung des teilgebundenen vom gebundenen Verkehr darstellt, wurde eine Geschwindigkeit von 60 bis 70 km/h festgelegt.

7.1.2 Ergebnisse

Die in Tab. 59 dargestellten Kapazitäten verdeutlichen den Einfluss des SV-Anteils und der mittleren Pkw-Geschwindigkeiten. In Abhängigkeit der v_{zul} der Strecke erhöht sich die Leistungsfähigkeit deutlich. Dieser Unterschied resultiert mutmaßlich aus dem verschiedenen Geschwindigkeitsniveau der Kfz, bezogen auf die v_{zul} der Strecke. Da auf Abschnitten mit einer Beschränkung der v_{zul} die Pkw eine geringere Streuung der Geschwindigkeiten im Vergleich zu Strecken ohne Beschränkung aufweisen, können die Einzelfahrzeuge aufgrund eines gleichen Geschwindigkeitsniveaus besser miteinander interagieren.

Kapazitäten Engpass [Kfz/h]			
SV-Anteil	Geschwindigkeitstyp v_{zul}		
	v = 100 [km/h]	v = 120 [km/h]	v = frei [km/h]
0%	1.480	1.340	1.260
10%	1.300	1.230	1.210
20%	1.190	1.090	1.140

Tab. 59: Ermittelte Kapazitäten bei Störfall Pannenfahrzeug rechter Fahrstreifen, RQ 21

Mit Zunahme des SV-Anteils verringern sich die Kapazitäten bezüglich der Teilgruppe ohne SV-Anteil, als auch innerhalb der Teilgruppen. Bei einem SV-Anteil von 20 % weist der Engpass für alle drei Geschwindigkeitstypen mit 1.090 Kfz/h bis 1.190 Kfz/h eine ähnliche Leistungsfähigkeit auf. Mit Zunahme des SV-Anteils wird dieser gegenüber der v_{zul} maßgebender.

Kurzzeitig stellte sich eine höhere Leistungsfähigkeit unmittelbar vor dem Verkehrszusammenbruch ein (RESSEL, 1994). Diese liegt teilweise um bis zu 100 Kfz/h über dem Wert, der bei permanentem Rückstau abgewickelt werden kann. Die Kapazitätä-

ten des Engpasses weisen gegenüber Engpässen mit Einzug des linken Fahrstreifens bei höherem SV-Anteil eine geringere Leistungsfähigkeit auf (LAFFONT, 1995) (RESSEL, 1994). Dies begründet sich aus einem veränderten Verkehrsablauf, wie bspw. den Wechsel des SV in den linken Fahrstreifen und damit verbundener stärkerer Behinderungen. Die Werte ordnen sich in ihrer Größenordnung bei den von RESSEL (1994) ermittelten Kapazitäten für Baustellenengpässe ein. Bild 62 beinhaltet die Entwicklung der mittleren Reisezeiten aller Kfz in Abhängigkeit der Verkehrsstärke am Beispiel des Kollektives „v = frei“. Die Messung erfolgte in einem Abschnitt 1,5 km vor, bis 0,5 km nach dem Engpass. Bis zu einer Verkehrsstärke von 1.000 Kfz/h liegen die Reisezeiten in allen SV-Klassen auf annähernd gleichem Niveau. In Abhängigkeit des SV-Anteils steigen die Reisezeiten im Bereich 1.000 und 1.300 Kfz/h sprunghaft an. Aufgrund der Kapazität des Engpasses wurden bei der Reisezeitmessung nur Verkehrsstärken im Bereich der Kapazität erfasst. Für das Teilkollektiv „SV 0 %“ wird die kurzzeitig höhere Leistungsfähigkeit des Engpasses im Bereich von 1.300 Kfz/h bei einer Reisezeit von 75 s sichtbar. Die Darstellung der Reisezeiten verdeutlicht, dass die ermittelten Kapazitäten den Schwellwert für Stauercheinungen gut repräsentieren.

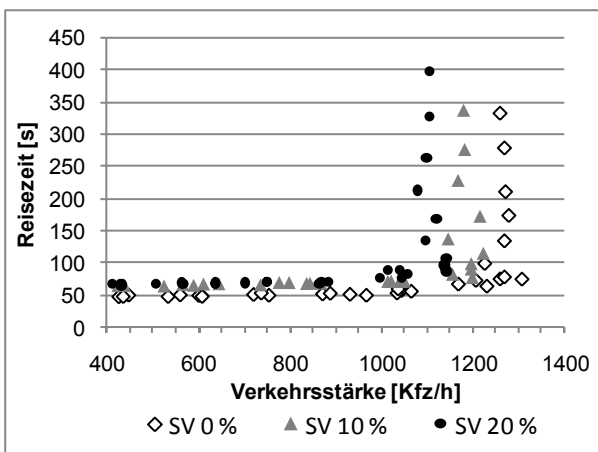


Bild 62: Entwicklung der Reisezeiten in Abhängigkeit der Verkehrsstärke und dem SV-Anteil, Bsp. „v_{zul} = frei“

An dieser Stelle ist nochmals darauf zu verweisen, dass den ermittelten Werten keine Erkenntnisse zum Verkehrsablauf unmittelbar im Bereich des Engpasses zu Grunde liegen. Das Hauptaugenmerk der Untersuchung lag auf einer Abschätzung der Größenordnung der Verkehrsstärken für das Auftreten von Stauercheinungen. Zusammenfassend können folgende Erkenntnisse festgehalten werden:

- Engpässe auf dem RQ 21 durch die Sperrung des rechten Fahrstreifens führen zu

einer deutlichen Reduzierung der Leistungsfähigkeit. Mit Erhöhung der v_{zul} und des SV-Anteils verringert sich die Kapazität am Engpass.

- Ausgehend von einem mittleren SV-Anteil von 10 % wird der mittlere Schwellwert – entspricht dem Auftreten von Störungen im Verkehrsablauf (Staubildung) – auf 1.200 Kfz/h festgelegt. Der Schwellwert berücksichtigt die abfließende Verkehrsstärke bei permanentem Rückstau und beinhaltet einen Sicherheitsspielraum. Der mittlere Schwellwert ist unabhängig von den betrachteten v_{zul} der Strecke und entspricht nicht der Kapazität des Engpasses.
- Die ermittelten Werte dienen als Grundlage für die Abschätzung der Anzahl möglicher Stauercheinungen aufgrund von Engpässen auf dem RQ 21.

Für die weiteren Berechnungen der Häufigkeit von Engpässen wird ein mittlerer SV-Anteil von 10 % vorausgesetzt.

7.2 Häufigkeit von Engpässen

7.2.1 Vorgehensweise

Das Auftreten von Pannenfahrzeugen auf Strecken ohne Seitenstreifen wurde von BRILON, BÄUMER (2001) näher untersucht. Prinzipiell muss die Begrifflichkeit Pannenfahrzeuge in zwei Kategorien unterteilt werden.

- Pannenfahrzeug: Fahrzeug mit technischem Defekt/Problem, dass aus eigener Kraft in der Lage ist, den Streckenabschnitt ohne Stillstand zu räumen.
- Nothaltendes (verkehrsbehinderndes) Fahrzeug: Fahrzeug mit technischem Defekt/Problem, dass unmittelbar im Streckenabschnitt liegenbleibt und somit ein Verkehrshindernis darstellt.

BRILON, BÄUMER (2001) ermittelten für BAB-Abschnitte innerhalb von Ballungsräumen eine mittlere Grundpannenrate PR_0 von $4,87 P/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)$ für alle Kfz bei Strecken ohne Steigung (Kap. 2.3). Ein steigungsabhängiger Anteil kann bei der Analyse des gesamten Querschnitts vernachlässigt werden, da beide Fahrtrichtungen in die Betrachtung einfließen und sich der lineare Zusammenhang zwischen Steigungsstrecke und Pannenhäufigkeit ausgleicht. Für die Untersuchungen des RQ 21 wurde eine Grundpannenrate von $5,0 P/(10^6 \cdot Kfz \cdot km)$, beruhend auf einem middle-

ren SV-Anteil von 10 % am Verkehrsaufkommen angenommen. Dabei wurde berücksichtigt, dass sich der überwiegende Teil der RQ 21- ähnlichen Strecken im Vorfeld von Agglomerationen befindet und dementsprechend sich auch die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte gestaltet. Die Pannensrate gilt für das Auftreten von Pannenfahrzeugen. Um den Anteil der Fahrzeuge mit Nothalt abzubilden, entwickelten BRILON; BÄUMER (2001) basierend auf der Auswertung von Notrufsäulenprotokollen eine Formel, die den prozentualen Anteil der nothaltenden (verkehrsbehindernden) Fahrzeuge VB in Abhängigkeit des Abstandes der Nothaltebuchten (NHB) angibt.

$$VB = 5,6 + 0,016 * D + 1,97 * s \quad [\%]$$

Da für diese Fahrzeuggruppe, die Möglichkeit des Erreichens einer NHB eine Rolle spielt, wird der mittlere Abstand der Nothaltebuchten D in dieser Formel berücksichtigt. Eine weitere Randbedingung dieser Berechnung liegt in der Voraussetzung, dass es beim Nothalt im gesamten Streckenverlauf keine Möglichkeit gibt das Kfz komplett auf dem Bankett abzustellen. Laut den zukünftigen RAL sind für RQ 21- ähnliche Strecken mittlere Abstände der NHB von 0,5 bis 1,0 km vorgesehen, wenn der Abschnitt an Knotenpunkten planfrei geführt und als Kraftfahrstraße betrieben wird. Die mittleren Knotenpunktabstände sollen je nach EKL mindestens 2 bis 3 km betragen. Aus diesen Überlegungen wurden folgende Fälle für die Betrachtung der Pannensrate abgeleitet:

- Hoher Ausbaustandard (mittlerer NHB-Abstand 0,5 km)
- Mittlerer Ausbaustandard (mittlerer NHB-Abstand 0,75 km)
- Geringer Ausbaustandard (mittlerer NHB-Abstand 1,0 km)
- Keine NHB (Knotenabstand 2,5 km)

Neben dem Auftreten von Pannenfahrzeugen, die den Verkehrsablauf beeinflussen können, ergeben sich weitere Störungen aus der Anordnung von AkD auf der Strecke. Arbeitsstellen längerer Dauer wurden in der Analyse nicht berücksichtigt. Im Gegensatz zu AkD ist deren Errichtung und Betrieb mit einem höheren Sicherungsaufwand sowie differenzierten Beeinflussung des Verkehrsablaufs verbunden. Deren Auswirkungen auf den Verkehrsablauf sind solcher Art, dass von einem Unterschied zwischen RQ 21 und RQ 28 nicht mehr ausgegangen werden kann. Bei beiden Querschnitten ist eine 4+0 Führung des Verkehrs in Baustellen nicht möglich.

In STÖCKERT (2001) erfolgte eine detaillierte Untersuchung der AkD, unter anderem auf zweibahnig vierstreifen Strecken ohne Seitenstreifen. Neben der Auftretenshäufigkeit von AkD/(km*a) wurden diese unter anderem nach Arbeitszweck und Auftreten auf dem jeweiligen Fahrstreifen unterschieden. In Bezug auf den RQ 21 ist gegenüber den RQ 28 dann von weiteren Störfällen durch AkD zu sprechen, wenn Arbeitsstellen die auf dem rechten Fahrstreifen angeordnet sind, ansonsten auf dem Seitenstreifen durchgeführt werden könnten (Bspw. Schutzplankenreparaturen, Gehölzpflege). Nach Abzug der Arbeiten die zwingend auf dem Fahrstreifen erfolgen, wurde anhand der Datengrundlage von STÖCKERT (2001) ein zusätzlicher Anteil von 4 AkD/(km*a) für den RQ 21 gegenüber dem RQ 28 der Literatur entnommen. Tendenziell steigt die Anzahl der AkD durch Schutzplankenreparaturen am Mittelstreifen mit der Zunahme des DTV an (STÖCKERT, 2001). Da eine genaue Abschätzung der Größenordnung aufgrund der speziellen Problematik – es würde lediglich die rechte Fahrbahnseite gesondert berücksichtigt – nicht möglich war, wurde dieser Anteil nicht mit bewertet.

Ob ein Pannenfahrzeug ein entscheidendes Hindernis im Verkehrsablauf darstellt, hängt maßgeblich von der aktuellen Verkehrsbelastung während des Ereignisses ab. Entscheidend hierbei ist die Verkehrsstärke der Richtungsfahrbahn. Die Auftretenswahrscheinlichkeit von Pannenfahrzeugen steht im direkten Zusammenhang mit der Verkehrsstärke. Um den Einfluss der verkehrsbehindernden Pannenfahrzeuge abzubilden, wurden Ganglinien des Verkehrs verwendet.

PINKOFSKY (2006) typisierte in seinen Untersuchungen verschiedene Streckenabschnitte des Bundesfernstraßennetzes anhand von Jahres-, Wochen-, und Tagesganglinien. Für die Darstellung von Tagesganglinien fanden sieben verschiedene Typen Berücksichtigung. Der auf Bundesstraßen häufig auftretende Typ B – mit einer ausgeprägten Morgenspitze – korrespondiert nach PINKOFSKY (2006) regelmäßig mit dem Typ E, dem Pendant mit einer ausgeprägten Nachmittagspitze. Die Spitzenstunden der Werktage (Montag – Freitag) weisen für beide Typen einen Anteil von 9 bis 10 % des DTV auf. Das Auftreten einer Spitzenstunde in den Früh- und Nachmittagsstunden war ein Merkmal, was an mehreren Messquerschnitten RQ 21- ähnlicher Strecken beobachtet werden konnte. So ergibt sich bei einer nach Fahrtrichtung getrennten Betrachtung, bezogen auf die Anzahl der Werktage pro Jahr, eine Anzahl von ca. 520 Spitzenstunden mit einer Verkehrsbelastung von mindestens 9 % des DTV.

In der EWS (FGSV, 1997) werden für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen der verschiedenen Regelquerschnitte Dauerlinien des Verkehrs verwendet. Die Anteilswerte der Verkehrsstärken werden klassifiziert für alle Stunden des Jahres in Abhängigkeit des Straßentyps, DTV, Fahrzeuggruppe (Pkw, SV) und der Fahrtzweckgruppe angegeben. Für die Untersuchungen wurden die Anteile der stündlichen Verkehrsstärke des Straßentyps 1 – BAB mit zweistreifiger Richtungsfahrbahn Außerorts, innerhalb bebauter Gebiete mit einem DTV ≤ 40.000 Kfz – verwendet, da diese Klassifizierung den baulichen Merkmalen des überwiegenden Teils RQ 21- ähnlicher Strecken entspricht. Eine Addition der Stundenwerte, die Anteile an der Verkehrsstärke von 9 % und höher aufweisen, ergab bei einer richtungsgetrennten Betrachtung in Summe 540 h. Im Vergleich mit den Untersuchungen von PINKOFSKY (2006) wurde deutlich, dass ein guter Zusammenhang zwischen den täglichen Ganglinien und dem Dauerlinienmodell nach den EWS vorliegt und der gewählte Straßentyp für die weitere Bewertung der RQ 21- ähnlichen Strecken zum Einsatz kommen konnte.

Zeitabschnitt t		Anzahl Stunden pro Jahr T [h/a]	Gesamtverkehr (Straßentyp 1, 3) 2 FS DTV [Kfz/24h] ≤ 40.000 > 40.000	
		4.824	$k_{ges,w}$	
Normal- werktag (w)	1	30	0,1047	0,0920
	2	40	0,0970	0,0901
	3	130	0,0890	0,0849
	4	500	0,0790	0,0793
	5	4.124	0,0346	0,0349
		2.424	$k_{ges,u}$	
Urlaubs- werktag (u)	6	30	0,0983	0,0860
	7	40	0,0945	0,0845
	8	130	0,0860	0,0810
	9	500	0,0650	0,0657
	10	1.724	0,0293	0,0300
		1.512	$k_{ges,s}$	
Sonn- und Feiertage (s)	11	30	0,1025	0,0915
	12	40	0,0875	0,0800
	13	130	0,0790	0,0760
	14	500	0,0640	0,0645
	15	812	0,0174	0,0184

Tab. 60: Dauerlinien stündliche Verkehrsstärken DTV_{ges} nach EWS (1997)

Gegenüber dem RQ 28 ist auf Streckenzügen des RQ 21 ein erhöhtes Unfallgeschehen zu verzeich-

nen. Die UR des RQ 21 für das zu Grunde liegende Kollektiv fällt gegenüber dem Vergleichsquerchnitt RQ 28 um $0,02 \text{ U}/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ höher aus. Dieser Unterschied ist nicht groß und wirkt sich bei der Bewertung nur sehr gering aus.

7.2.2 Auftreten von Engpässen

Bild 63 enthält die zusammengefasste Anzahl von Engpässen durch nothaltende Fahrzeuge und den auftretenden AkD, welche in allen Teilkollektiven mit einer Höhe von $4 \text{ AkD}/(\text{km} \cdot \text{a})$ eingehen. Die AkD entsprechen hierbei den gegenüber dem RQ 28 höheren Anteil von Sperrungen eines Fahrstreifens. Bei regelkonformem Ausbau der Abschnitte mit den entsprechenden Abständen von NHB treten innerhalb des richtliniengetreuen Verkehrsstärkenbereiches des RQ 21 zwischen 8 und 17 Engpässe/ $(\text{km} \cdot \text{a})$ auf. Ausgehend von einem mittleren Knotenabstand von 2,5 km und der Variante des Fehlens von NHB steigt die Anzahl auf 18 bis 32 Engpässe/ $(\text{km} \cdot \text{a})$ je nach DTV an. Vernachlässigt man den Anteil der AkD wird deutlich, dass sich die Anzahl der Engpässe für Strecken ohne NHB gegenüber denen mit einem geringen Ausbaustandard verdoppelt. Aus der Berechnungsgrundlage ergibt sich ein linearer Zuwachs der Häufigkeit nothaltender Fahrzeuge.

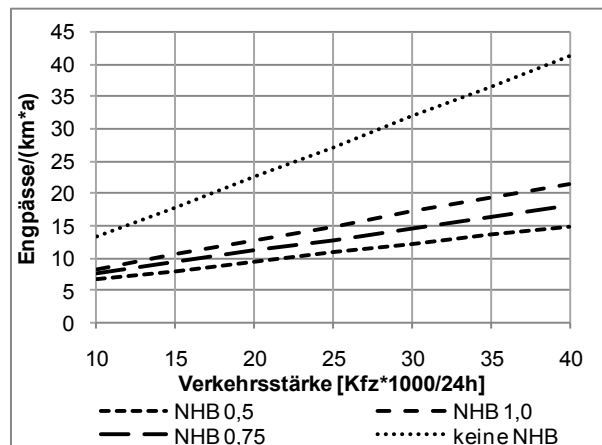


Bild 63: Auftretende Engpässe auf RQ 21- ähnlichen Strecken in Abhängigkeit Abstand NHB

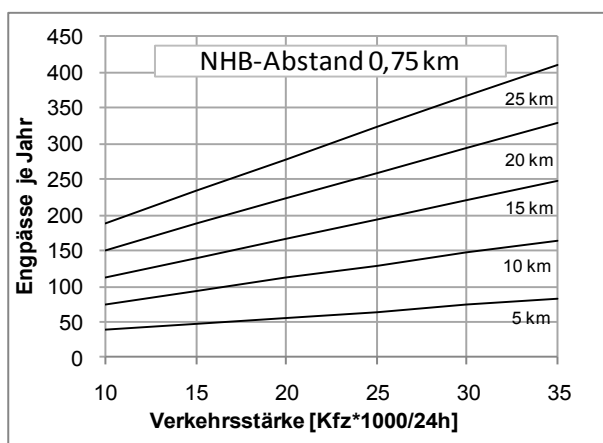


Bild 64: Häufigkeit Engpässe in Abhängigkeit der Streckenlänge und DTV für mittleren Ausbaustandard (NHB-Abstand 0,75 km)

In der weiteren Betrachtung wird eine standardisierte Variante mit einem NHB-Abstand von 0,75 km nach der Vorgabe im Entwurf der RAL (FGSV, 2008) bewertet. Bild 64 enthält die Höhe der auftretenden Engpässe in Abhängigkeit der Verkehrsstärke und der Streckenlänge mit einer Differenz von je 5 km. Laut der nach den RAL (FGSV; 2008) vorgesehenen Einsatzgrenze von 15 km sind je nach auftretendem DTV 140 bis 220 Engpässe auf der Strecke zu erwarten. Bei einem 25 km langen RQ 21- ähnlichen Streckenabschnitt mit einem DTV von 30.000 Kfz ist im Mittel an jedem Tag des Jahres mit einem Engpass (Einzug eines Fahrstreifens) aufgrund einer Störung zu rechnen. Die Werte der Engpässe pro Jahr erscheinen hoch, aber treten nur in dem unwahrscheinlichen Fall auf, dass von einer über den Streckenzug durchgängigen nichtvorhandenen Möglichkeit des Abstellens des Fahrzeuges im Seitenraum ausgegangen wird.

Das Auftreten von nothaltenden Fahrzeugen bei dieser Betrachtung beinhaltet zwar die Einengung des Querschnittes, diese führt aber nicht zwangsläufig zu Behinderungen im Verkehrsablauf. Der Zuwachs der Engpässe ist mit der Zunahme der Streckenlänge verbunden. Je länger der Abschnitt ist, desto mehr wirkt sich die Verkehrsstärke auf die Anzahl der Engpässe aus. Ab Verkehrsstärken von 15.000 Kfz/24h resultiert der überwiegende Teil der Engpässe aus dem Auftreten von Pannenfahrzeugen auf der Strecke. Störungen durch AkD besitzen nur noch einen geringen Einfluss.

7.2.3 Auftreten von Stauerscheinungen

Aus dem Ganglinienmodell der Verkehrsbelastungen nach den EWS (FGSV, 1997) konnte in Abhängigkeit des DTV der Richtungsfahrbahn und dem ermittelten Kapazitätswert am Engpass, der Anteil der Stunden mit einer Verkehrsstärke über

dem Schwellwert für Stauerscheinungen ($1.200 \text{ Kfz}/(\text{h} \cdot \text{Ri})$) am Engpass ermittelt werden.

Wird angenommen, dass die vorgegebenen Stundenanteile nicht überschritten werden, ist bis zu einem DTV am Querschnitt von 20.000 Kfz – eine Gleichverteilung der Kfz auf beide Fahrbahnen vorausgesetzt – nicht mit Stauerscheinungen aufgrund nothaltender Fahrzeuge zu rechnen.

Dies ist eine theoretische Annahme. In der Praxis kann eine Vielzahl von Faktoren aus dem Umfeld der Strecken dazu führen, dass in Einzelfällen auch bei niedrigen DTV Werten die Stundenwerte nach den EWS überschritten werden. Bei der vorgesehenen Verkehrsstärkenobergrenze von 30.000 Kfz/24h ist bei 12 % der abgewickelten Fahrleistung auf dem RQ mit Stauerscheinung bei Auftreten von Engpässen zu rechnen. Dies entspricht einem Anteil an allen Jahresstunden von ca. 5 %. Eine Erhöhung des DTV um 5.000 Kfz würde eine Staugefährdung an 13 % der Stunden des Jahres, bzw. bei ca. 25 % der abgewickelten Fahrleistung hervorrufen.

Aus Bild 65 wird die differenzierte Zunahme der Nothalte in Abhängigkeit des NHB-Abstandes über den gesamten DTV deutlich.

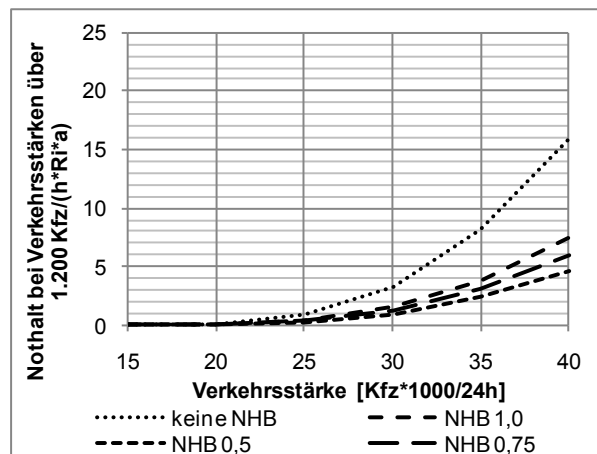


Bild 65: Anzahl jährlicher Nothalte mit Stauerscheinungen bei Verkehrsstärken über 1.200 Kfz/(h*Ra) in Abhängigkeit des DTV

Bis zu Verkehrsstärken von 20.000 Kfz auf dem Querschnitt sind theoretisch keine Stauerscheinungen aufgrund liegendegebliebener Kfz zu erwarten. Bei einem DTV von 30.000 Kfz treten bei geringem Ausbaustandard 1,5 Nothalte/(km*a) während kritischer Verkehrsbelastungen auf.

Eine Ausstattung ohne NHB würde bei gleicher Belastung eine Häufigkeit von 3,3 Nothalte/(km*a) und damit eine Verdopplung der Stauwahrscheinlichkeit nach sich ziehen. Maßgebend ist also das Vorhandensein von Nothaltebuchten. Bis zu einer Verkehrsstärke von 30.000 Kfz/24h beträgt der

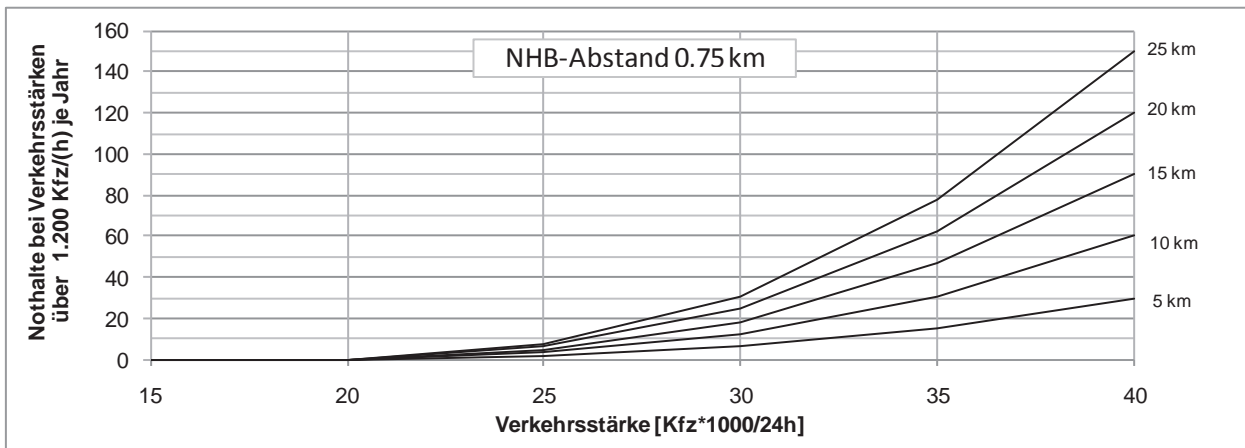


Bild 66: Anzahl Nothalte je Jahr oberhalb der Schwellverkehrsstärke bei einem NHB-Abstand von 0,75 km

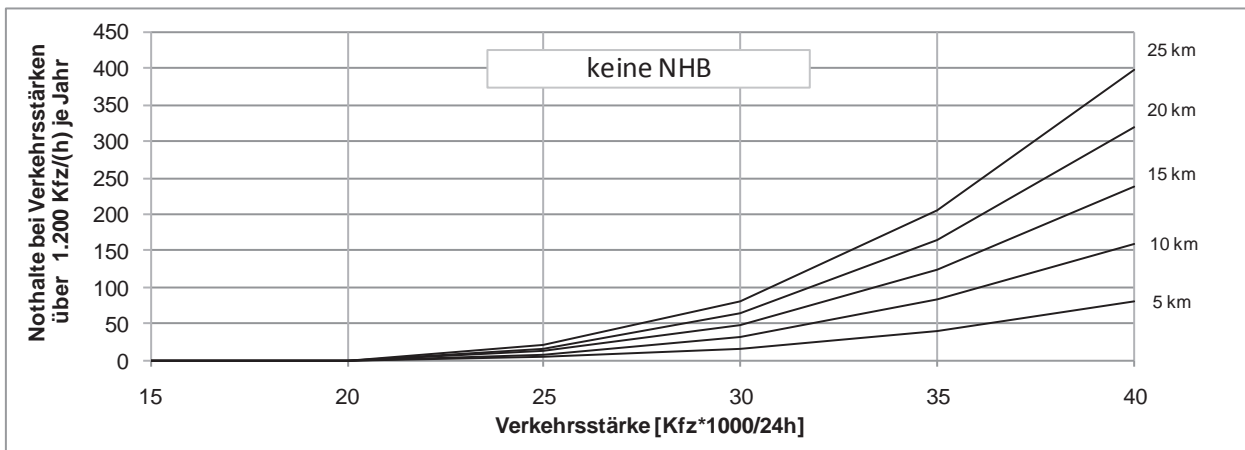


Bild 67: Anzahl Nothalte je Jahr oberhalb der Schwellverkehrsstärke bei Fehlen von NHB

Unterschied zwischen hohem und niedrigem Ausbaustandard der NHB 0,6 Nothalte/(km*a). Mit Zunahme der Verkehrsstärke steigen die Kurven an. Über einen DTV von 30.000 Kfz sind die Kurvenverläufe durch eine stärkere Streuung und steilerem Anstieg gekennzeichnet. Die gebrochene Linienführung ist auf die fünfzehnstufige Einteilung der Jahresstunden in den EWS (FGSV, 1997) zurückzuführen.

Bild 66 und Bild 67 verdeutlichen für das Beispiel eines mittleren Ausbaustandards mit NHB bzw. ohne NHB die Anzahl der Nothalte in Abhängigkeit des DTV. Nach der vorläufigen Richtlinienversion wäre mit dem Ausnutzen der Grenzwerte bei einem 15 km langen Abschnitt mit einem DTV von 30.000 Kfz im Mittel eine Anzahl von 19 Nothalten pro Jahr bei Verkehrsstärken über dem Schwellwert zu erwarten. Die Folge wäre ein mit hoher Wahrscheinlichkeit eintretendes Stauereignis. Bei einer Zunahme des DTV um 5.000 Kfz tritt die Möglichkeit von Stauereignissen bei gleicher Länge mehr als doppelt so häufig auf. Aus der Darstellung ist abzulesen, dass weniger die Streckenlän-

ge sondern vielmehr die durchschnittliche Verkehrsbelastung des RQ zu einer Zunahme von Stauereignissen führt. Dies wird besonders ab einem DTV von 30.000 Kfz deutlich. Der bisher maximale Einsatzbereich des RQ 21 mit einem DTV von 30.000 Kfz stellt neben dem Kriterium der 4+0 Führung in Baustellen auch für den allgemeinen Verkehrsablauf eine sinnvolle Begrenzung des RQ dar. Ab dieser Verkehrsstärke ist eine sprunghafte Zunahme der Wahrscheinlichkeit von Stauereignissen aufgrund nothaltender Fahrzeuge festzustellen.

Sind keine NHB im Streckenabschnitt vorhanden, sind auf einem 15 km langen Abschnitt mit einem DTV von 30.000 Kfz bereits 49 Nothalte je Jahr über dem Schwellwert zu verzeichnen. Dies entspricht ca. einem Störfall pro Woche. Die Anzahl der möglichen Störfälle liegt bei einem Fehlen der NHB im Vergleich zu einem mittleren Ausbaustandard mehr als doppelt so hoch.

7.3 Ableitung Einsatzlänge

Unter Berücksichtigung des Verkehrsablaufs, der Verkehrssicherheit und möglicher Störgrößen war die Praktikabilität der Einsatzgrenze von 15 km für den RQ 21 zu bewerten. Die Einteilung der Kollektive und Ableitung der Einsatzgrenzen (DTV, Abstand NHB) orientierte sich an den planerischen Vorgaben nach dem Entwurf der RAL (FGSV, 2008).

Die Zusammenfassung der verschiedenen Störgrößen verdeutlicht, dass der wesentliche Anteil auf Behinderungen infolge von Pannenfahrzeugen, welche einen Fahrstreifen blockieren, beruht. Mit steigender Verkehrsstärke nimmt diese Störgröße in Abhängigkeit des mittleren NHB-Abstandes linear zu. Die Störungen durch AkD wurden als einfacher Aufschlag unabhängig von der Verkehrsstärke berücksichtigt. Bei Vorhandensein von NHB resultiert der Hauptanteil der Engpässe bis zu einem DTV von ca. 15.000 Kfz auf der Mehreinrichtung von AkD aufgrund fehlenden Seitenstreifens. Tendenziell ist von einer geringfügigen Zunahme der AkD bei steigendem Verkehrsaufkommen auszugehen.

Aus der Simulation eines Engpasses mit Einzug des rechten Fahrstreifens wurde für unbeeinflusste Strecken mit einem SV-Anteil von 10 % und einer Steigung < 2 % ein Schwellwert für das Auftreten von Stauerscheinungen bei einer Verkehrsstärke von 1.200 Kfz/h bestimmt. Auftretende Verkehrsstärken über dem Schwellwert sind mit Verkehrszusammenbrüchen am Engpass und einer deutlichen Zunahme der mittleren Reisezeiten verbunden. Basierend auf den Ganglinien nach den EWS (FGSV, 1997) wurde der Stunden- und Fahrleistungsanteil bestimmt, der den Schwellwert überschreitet.

Die Ableitung der Auftretenswahrscheinlichkeit von Störereignissen in Abhängigkeit des mittleren NHB-Abstandes verdeutlichte, dass es bei einer Verkehrsstärke am Querschnitt von unter 20.000 Kfz/24h theoretisch zu keinem Verkehrszusammenbruch kommt. Verkehrsstärken über der vorgesehenen Einsatzgrenze sind mit einer deutlichen Zunahme von mutmaßlichen Stauereignissen verbunden. Dabei führt das Vorhandensein von NHB gegenüber den Abschnitten ohne NHB mindestens zu einer Halbierung der Anzahl von Nothalten auf der Fahrbahn. Die Begrenzung des DTV auf 30.000 Kfz wird durch die Untersuchungen von Stauerscheinungen bedingt durch nothaltende Kfz bestätigt.

NHB- Abstand [km]	Streckenlänge [km]				
	5	10	15	20	25
Engpässe pro Jahr (30.000 Kfz/24h)					
0,5	61	122	183	244	305
0,75	73	147	220	294	367
1	86	171	257	343	429
keine	160	319	479	638	798
Nothalte über Schwellwert pro Jahr (30.000 Kfz/24h)					
0,5	5	9	14	19	24
0,75	6	12	19	25	31
1	8	15	23	30	38
keine	16	33	49	65	82

Tab. 61: Häufigkeit von Nothalten und Engpässen bei einem DTV von 30.000 Kfz in Abhängigkeit der Streckenlänge pro Jahr

Anhand der Untersuchungen konnte der maximale DTV-Bereich nach den RAL (FGSV, 2008) als ein Richtwert des Verkehrsablaufes herangezogen werden. Basierend auf der Wahrscheinlichkeit von Nothalten wurde für die verschiedenen Ausbaustandards der Strecken für eine abgestufte Länge von 5 bis 25 km beispielhaft die jährliche Anzahl des Ereignisses bestimmt. Analog erfolgte die Auflistung aller Engpässe.

Da mit Ausnahme der AkD alle Störgrößen, die sich auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf des RQ 21 auswirken, die Fahrleistung – und damit auch die Länge des Abschnittes – als Exposition enthalten, nimmt die Anzahl der Störungen in Abhängigkeit der vorgegebenen Länge des Abschnittes zu. Die verkehrsplanerische Beschränkung des RQ 21 anhand der Länge kann daher entweder auf der Vorgabe eines Grenzwertes – der die maximal erwünschte Häufigkeit des Eintretens eines Ereignisses angibt – oder der prinzipiellen Abwägung bei der Wahl eines RQ unter dem Aspekt einer volkswirtschaftlichen Betrachtung des Nutzens und der Kosten erfolgen.

Die Bestimmung der zulässigen Abschnittslänge beruhend auf Grenzwerten könnte wie am folgenden Rechenbeispiel durchgeführt werden:

- Für einen beispielhaften geplanten Streckenabschnitt mit einem RQ 21 wird ein prognostizierter DTV von 30.000 Kfz angesetzt. Er soll als Krafffahrstraße mit planfreien Knotenanschlüssen der Hauptfahrbahn betrieben werden. Die Grenzwerte der akzeptierten Störfälle liegen bei 5 Engpässen pro Woche und 2 monatlichen Nothalten mit der Wahrscheinlichkeit eines Stauereignisses. Dies entspräche einer Anzahl von 260 Engpässen pro Jahr bzw. 24 Nothalten. In Abhängigkeit der geplanten mittleren NHB-Abstände kann die den Rahmenbedingungen entsprechende Streckenlänge abgelesen werden. Bei einer Planung mit einem hohen Ausbaustandard ergäbe sich aus der Vorgabe der maximalen Nothalteanzahl und den berechneten Häufigkeiten (Tab. 61) eine Streckenlänge von 25 km. Die Anzahl der zu erwartenden 305 Engpässe pro Jahr übersteigt bei dieser Streckenlänge jedoch den festgelegten Grenzwert. Daher ist für das Beispiel eine Länge der Strecke von nur 20 km mit den Grenzwerten vereinbar. Bei einem nicht regelkonformen Ausbau ohne NHB kann lediglich eine Abschnittslänge von 5 km geplant werden.
- Analog zu diesem Verfahren kann auch eine Berechnung der zulässigen Abschnittslänge aus den vorgegebenen jährlichen Grenzwerten und den vorgegebenen Rahmenbedingungen erfolgen. Für erläutertes Beispiel wären die jeweiligen Grenzwerte durch die mittlere zu erwartende Anzahl von Engpässen bzw. Nothalten über Schwellwerte für den Planungsfall von einer Strecke mit einer Verkehrsbelastung von 30.000 Kfz/24h und ausgehend von einem NHB-Abstand von 0,5 km mit den Werten aus Tab. 62 zu dividieren. So ergäbe sich aus dem Grenzwert der Engpässe eine zulässige Länge von 21,3 km, aus dem der Nothalte über Schwellwert eine zulässige Länge von 25,5 km. Eine Abrundung der Ergebnisse auf 5 km Werte ergäbe für den Betrachtungsfall eine zulässige Länge von 20 km. Weitere Betrachtungen mit Abständen der NHB von 1,0 km führen zu einer Streckenlänge von 15 km.

DTV [Kfz/24h]	Abstand NHB [m]			
	NHB 0,5	NHB 0,75	NHB 1,0	keine NHB
Nothalte über Schwellwert je Kilometer und Jahr				
10.000	-	-	-	-
15.000	-	-	-	-
20.000	-	-	-	-
25.000	0,24	0,31	0,38	0,83
30.000	0,94	1,23	1,52	3,27
35.000	2,37	3,10	3,83	8,22
40.000	4,59	6,01	7,43	15,92
Engpässe je Kilometer und Jahr				
10.000	6,74	7,56	8,38	13,31
15.000	8,11	9,34	10,57	17,96
20.000	9,48	11,12	12,76	22,62
25.000	10,84	12,90	14,95	27,27
30.000	12,21	14,68	17,14	31,92
35.000	13,58	16,46	19,33	36,58
40.000	14,95	18,24	21,52	41,23

Tab. 62: Übersicht Häufigkeit Nothalte über Schwellwert und Engpässe je Kilometer und Jahr

Der zweite Entscheidungsfall ergibt sich aus einer volkswirtschaftlichen Analyse. Prinzipiell steht auch bei dieser Variante die Problematik im Vordergrund, in welchem Umfang zusätzliche Störungen des Verkehrsablaufes auf dem RQ 21 gegenüber einem Ausbau zu einem RQ 28 akzeptiert werden. In dem Bewertungsverfahren kann der unterschiedliche Ausbaustandard mit NHB berücksichtigt werden. Durch die Anforderungen der zukünftigen RAL in Bezug auf die Anlage von NHB zwischen 0,5 und 1,0 km erfolgt eine Gegenüberstellung der Varianten mit NHB und dem Vergleichsfall einer Strecke mit Seitenstreifen. Das nachfolgende Beispiel stellt die generelle Vorgehensweise des Bewertungsverfahrens dar:

- Beispielhaft soll eine zweibahnig vierstreifige Strecke gebaut werden. Es ist die Frage zu beantworten, wie hoch der volkswirtschaftliche Unterschied beim Ausbau als RQ 21 gegenüber dem RQ 28 ist. Als Einsparungen stehen für den Ausbau als RQ 21 die verringerten Investitionskosten gegenüber dem RQ 28 sowie die geringeren laufenden Kosten zu Buche. Diese variieren je nach mittlerem Abstand der NHB. Demgegenüber stehen die volkswirtschaftlichen Mehrkosten, die der RQ 21 im Vergleich zum RQ 28 aufweist. Dazu zählen neben der Differenzierung der Unfallkosten (UKR) die Kosten aus der Anzahl der pan-

nenbedingten Verkehrsstörungen (Fahrzeitverluste durch Stau) sowie Störungen durch AkD. Mit Ausnahme der AkD fließen bei der Berechnung die Fahrleistung und der mittlere Abstand der NHB mit ein. Da bei einem geringeren NHB-Abstand die Störungshäufigkeit abnimmt, reduzieren sich die Kosten. Jedoch sind die höheren Investitionskosten durch die Mehranzahl der NHB zu berücksichtigen. In einem abschließenden Schritt sind die Nutzen gegenüber dem Kosten abzuwägen. Dabei obliegt es dem Straßenbaulastträger zu bestimmen, bei welchem Verhältnis der Bau eines RQ 21 gegenüber dem RQ 28 einen Vorteil darstellt.

- Eine weitere Form der Einsatzgrenzenbestimmung stellt die Erhebung aller Kosten dar, die auf Störungen des Verkehrsablaufes beruhen, welche bei einem Ausbau der Strecke mit einem Seitenstreifen vermieden werden könnten. Eine Ermittlung der Kosten kann anhand der Addition der Störfälle mit den jeweiligen zu erwartenden mittleren Kosten erfolgen. Auch in diesem Falle fließen die Fahrleistung, der mittlere NHB-Abstand und die Länge der Strecke in die Betrachtung ein. Überschreitet die Summe der Kosten einen bestimmten Grenzwert, ist der Ausbau der Strecke mit RQ 28 zu empfehlen.

Alle Varianten beinhalten die Berücksichtigung der mittleren Anzahl der zu erwartenden Störungen im Verkehrsablauf. Diese basieren im Wesentlichen auf der fahrleistungsbezogenen mittleren Pannensrate. Damit verbunden ist eine kontinuierliche Zunahme der absoluten Störfälle mit steigender Streckenlänge. Eine besondere Charakteristik, die eine Begrenzung des RQ 21 auf 15 km rechtfertigt, konnte aus den Untersuchungen nicht bestimmt werden. Bei der Festlegung der Einsatzlänge sind die Kriterien und Ansprüche an die Straßenkategorien nach den RIN (FGSV, 2008c) und den allgemeinen Anforderungen der RAL (FGSV, 2008) einzubeziehen. Die bisher definierte Einsatzgrenze kann durch eine akzeptierte Anzahl von Störungen je Zeiteinheit, oder durch eine festgelegte Höhe vertretbarer Mehrkosten definiert werden. Die Untersuchungen zeigten weiterhin, dass die Einsatzgrenze in Abhängigkeit des mittleren NHB-Abstandes bei gleichen Randbedingungen variieren kann. Ein Neubau von RQ 21 ohne die Einrichtung von NHB wird nicht empfohlen.

8 Empfehlungen für Einsatz und Betrieb des RQ 21

8.1 Allgemeine Einsatzgrenzen

Laut Entwurf der RAL (FGSV, 2008) kommt der RQ 21 für kurze Abschnitte mit Verkehrsbelastungen zwischen 15.000 und 30.000 Kfz/24h in Betracht. Solche Verkehrsbelastungen treten häufig im Vorfeld mittlerer bis großer Agglomerationsräume auf. Dabei besitzen RQ 21- ähnliche Abschnitte überwiegend die Funktion einer Radialstrecke mit Sammelfunktion für das Umland. Aus den dokumentierten Strecken geht hervor, dass Längen über 15 km im bestehenden Netz eher die Ausnahme darstellen. An einem Großteil der untersuchten Strecken die diese Charakteristik aufwiesen, waren Belastungsspitzen im Verkehrsaufkommen in den Früh- und Nachmittagsstunden festzustellen, was ein typisches Merkmal für den bezeichneten Straßentyp ist. In anderen Fällen stellten RQ 21- ähnliche Abschnitte die Verbindung zwischen städtischen Zentren und dem naheliegenden übergeordneten Netz der BAB her und besitzen somit über einen kurzen Abschnitt eine hohe Verbindungsfunktion. Aus diesen Erkenntnissen können für den allgemeinen Einsatz des RQ 21 folgende Empfehlungen abgegeben werden:

- Der RQ 21 ist für kurze Landstraßenabschnitte mit hohen Verkehrsbelastungen geeignet. Dies gilt bei Situationen, bei denen eine Bündelung von Landstraßen mit einer gemeinsamen Verkehrsbelastung von über 15.000 Kfz/24h auftritt. Weiterhin ist der Einsatz für Strecken im Vorfeld von Agglomerationen vorgesehen, die eine Charakteristik als Radialstraße zur Bündelung der Verkehre des Umlandes besitzen oder welche die Funktion einer Verbindung zwischen der Agglomeration und dem nahegelegenen BAB-Netz aufweisen. Diese stellen in der Regel einen Übergang zu den in den RASt (FGSV, 2006c) aufgeführten typischen Entwurfsituationen der anbaufreien bzw. Verbindungsstraßen dar.
- Der Einsatzbereich des RQ 21 soll eine Verkehrsstärke von 30.000 Kfz/24h nicht überschreiten. Bei höheren Verkehrsbelastungen sind auch kurze Streckenabschnitte nach den RAA (FGSV, 2008b) zu planen. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass Verkehrsbelastungen von mehr als 30.000 Kfz/24h zu einer erheblichen Zunahme von Stauereignissen aufgrund von Störungen des Verkehrsablaufs führen

- Weisen Strecken über längere Abschnitte Verkehrsstärken über auf, die über den jeweiligen Einsatzbereichen einbahniger Abschnitte liegen und besteht deren hauptsächliche Funktion für den überwiegenden Teil der auftretenden Verkehrsmenge in der Bereitstellung einer Verbindungsfunktion zwischen zwei zentralen Orten, sind diese Abschnitte ebenfalls gemäß den RAA zu planen.
 - Für die Beschränkung der zulässigen Abschnittslänge des RQ 21 wird eine Ableitung aus dem Grenzwert der akzeptierten Störungen pro Jahr und Kilometer empfohlen. Dieser berücksichtigt zwei verschiedene Größen. Der Wert „akzeptierte Engpässe“ enthält alle gegenüber einem Ausbau der Strecke mit Seitenstreifen mehr auftretenden Störungen, verbunden durch den temporären Wegfall eines Fahrstreifens. Der zweite Wert „Nothalte über Schwellwert“ beinhaltet die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Staus infolge des Wegfalls eines Fahrstreifens verursacht durch liegengebliebene Kfz. Mit Hilfe der entsprechenden Kenngrößen der Engpässe und Nothalte in Abhängigkeit der verkehrlichen (DTV) und straßengestalterischen Randbedingungen (mittlerer NHB-Abstand), kann die zulässige Einsatzlänge bestimmt werden. Mit Bezug auf den definierten Einsatzbereich des RQ 21 soll die Länge der Abschnitte 15 km nicht überschreiten.
- sind möglichst mit planfreien Knotenpunkten zu gestalten.
- Die Ausstattung der RQ 21 Abschnitte mit Knotenpunktarten der EKL 1 führt gegenüber dem Einsatz von teilplangleichen und plangleichen Knotenpunkten zu einer höheren Verkehrssicherheit des Straßenzuges. Ein weiterer Vorteil der (teil-) planfreien Knotengrundformen ist der flüssigere Verkehrsablauf im gesamten Knotenbereich der Hauptfahrbahn.
 - Die empfohlene komplette Ausstattung des RQ 21 mit planfreien Anschlüssen der Hauptfahrbahn resultiert aus den grundsätzlichen Anforderungen eines einheitlichen Gestaltungskonzeptes, welches die Begreifbarkeit und Kontinuität der Knotengrundformen der Verkehrsanlage sowie die raumordnerisch angestrebten Fahrgeschwindigkeiten nach den RIN (2008B) vereinigt. Der RQ 21 weist durch die Richtungstrennung der Fahrbahnen, der Anordnung (teil-) planfreier Knotenpunkten und den häufigen Betrieb als Kraftfahrstraße – verbunden mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten über $v = 100$ km/h – typische betriebliche und gestalterische Merkmale von Autobahnen auf. Es ist davon auszugehen, dass die Verkehrsteilnehmer beim Befahren von RQ 21 Abschnitten ihre Erwartungen an die Gestaltung der Streckenelemente von BAB auf diesen Abschnitt projizieren. Dementsprechend wird für die Gestaltung der Knotenpunkte des RQ 21 eine an die RAA (2008) angelehnte Entwurfsituation empfohlen. Des Weiteren erlaubt die überwiegende Ausstattung des Abschnittes mit Knotenpunktarten der EKL 1 das Erreichen der angestrebten mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten für Landstraßenkategorien nach den RIN (2008B).
 - Die Anordnung von Knotenpunktarten der EKL 2 kann bei Klassifizierung der Strecke zur Straßenkategorie LS II erfolgen, sollte aber bei einem Streckenneubau vermieden werden. Gründe für eine Anwendung von Knotengrundformen der EKL 2 wären eine geringe Flächenverfügbarkeit, eine sehr enge Knotenabfolge oder andere örtliche Gegebenheiten. Wird im Laufe eines Streckenzuges die Anordnung von mehreren Knotenpunktarten der EKL 2 erforderlich, wird empfohlen alle Knoten in diesem Abschnitt mit den Knotenpunktarten der

8.2 Entwurfstechnische Merkmale

Die Gestaltung der Streckenabschnitte hinsichtlich Querschnitt, Linienführung, Knotenpunktplanung, und -abstand sind wesentliche Bestandteile des Entwurfs der RAL (FGSV, 2008). In Abhängigkeit der EKL sind für den RQ 21 verschiedene bauliche Grundformen von Knotenpunkten sowie deren möglichen Regelungsarten vorgeschrieben. In Anlehnung an die Untersuchungsergebnisse werden für die entwurfstechnischen Merkmale folgende Empfehlungen gegeben:

- Die bauliche Grundform der Knotenpunkte bei Neubau von Strecken sollte dem Standard der EKL 1 nach dem Entwurf der RAL entsprechen. Der Anschluss des RQ 21 erfolgt über planfreie oder teilplanfreie Knotenpunktformen. Verknüpfungen von RQ 21 Abschnitten in das übergeordnete Netz und mit Strecken gleicher Charakteristik

EKL 2 zu gestalten. Die Einheitlichkeit der Gestaltung symbolisiert für den Kraftfahrer die Besonderheit der Streckencharakteristik. Das Fahrverhalten kann infolgedessen angepasst werden. Bei entsprechenden Gegebenheiten kann sich an einen Abschnitt mit Knotenpunktarten der EKL 1 ein Abschnitt mit Knotenpunktarten der EKL 2 anschließen. Mehr als ein Wechsel der EKL sowie die Durchmischung beider Klassen auf einem Abschnitt sind zu vermeiden.

- Die laut den RAL (FGSV, 2008) angestrebten Mindestknotenpunktabstände – 3 km bei Straßen der EKL 1 sowie 2 km bei Straßen der EKL 2 – sollen in der Praxis Verwendung finden. Neben dem Einfluss auf die angestrebten Fahrgeschwindigkeiten nach den RIN (FGSV, 2008c), wirken sich sehr geringe Knotenpunktabstände negativ auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit aus. Knotenabstände von weniger als einem Kilometer sind zu vermeiden. Eine zu geringe Knotenabfolge führt zu einer dichten Abfolge von Fahrstreifenwechsellvorgängen zwischen den Knotenpunkten und damit zu einer Beeinflussung des fließenden Verkehrs. Eine Beruhigung der Fahrströme tritt bei sehr geringen Knotenabständen nicht ein. Fahrstreifenwechsellvorgänge im Bereich von Knotenpunktarten der EKL 1 sind mit Beeinträchtigungen der Verkehrssicherheit verbunden.
- Für den Einfädelsbereich von Knotenpunktformen der EKL 1 wird empfohlen, mit Beginn der Verziehung des Einfädelfahrstreifens eine 100 m lange baulich befestigte Schutzfläche mit der Breite des Einfädelfahrstreifens anzuordnen. Die Analyse der Verkehrssicherheit zeigt für diesen Bereich ein erhebliches Defizit von Strecken ohne Seitenstreifen gegenüber Strecken mit Seitenstreifen. Dies begründet sich mutmaß-

lich aus der fehlenden Möglichkeit, im Falle eines drohenden Konfliktes zwischen einbiegenden und dem die Hauptfahrbahn nutzenden Kfz den Seitenstreifen im Notfall als verlängerten Einfädelfahrstreifen zu nutzen.

- Die Anordnung eines Überganges von Abschnitten des RQ 21 auf Regelquerschnitte mit Seitenstreifen sollten im Bereich von Knotenpunkten angeordnet werden. Durch das Auftreten eines Knotenpunktes wird die Veränderung der Streckencharakteristik erkennbar.
- Der Übergang von zweibahnig vierstreifigen Abschnitten auf einbahnige Abschnitte mittels einer FSR soll außerhalb der baulichen Ausprägung von Knotenpunkten erfolgen. Dem Fahrzeugführer wird die Veränderung der Streckencharakteristik stärker verdeutlicht. Die komplexere Anforderung eines Knotenpunktes mit FSR, bedingt durch die Überlagerung von Fahrstreifenwechsellvorgängen aufgrund der Abbiegebeziehungen und dem Einzug eines Fahrstreifens, wird vermieden. FSR können dann angeordnet werden, wenn auf dem folgenden Regelquerschnitt eine nach dem HBS (FGSV, 2001) ausreichende Qualität des Verkehrsablaufes erreicht werden kann. Im unmittelbaren Zulauf auf den zweibahnigen Abschnitt ist auf eine deutliche Trennung (Bspw. doppelte Fahrstreifenbegrenzungslinie) der beiden Fahrrichtungen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit zu achten.
- Strecken des RQ 21 sollten unabhängig vom Betrieb als Kraftfahrstraße in regelmäßigen Abständen mit Nothaltebuchten (NHB) ausgestattet werden. Empfohlen wird der laut den zukünftigen RAL aufgeführte Abstand von 0,5 bis 1,0 km. Der mittlere NHB-Abstand sollte dabei eine Länge von 1,0 km nicht überschreiten. Das Fehlen von NHB auf Strecken mit einem

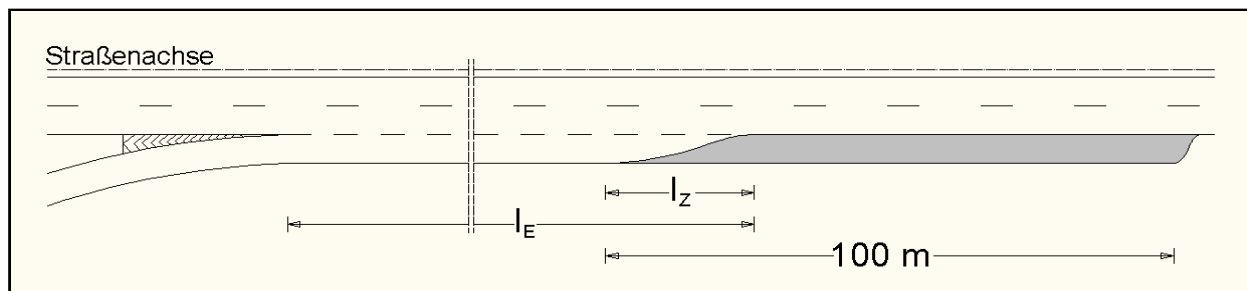


Bild 68: Vorschlag Ausprägung Sicherheitszone am Einfädelsbereich planfreier Anschluss RQ 21

mittleren Knotenpunktabstand von 2,5 km führt zu einer Verdopplung der zu erwartenden Nothalte über dem Schwellwert. Das Einrichten von NHB ermöglicht einen Teil der Kraftfahrzeuge mit technischen Defekten den Querschnitt zu räumen.

8.3 Betriebliche Merkmale

Die Anforderungen an die betrieblichen Merkmale von Abschnitten mit RQ 21 resultieren überwiegend aus der Analyse der Verkehrssicherheit. Aus diesen Ergebnissen und ähnlichen Untersuchungen (BRILON, 2001), (HEIDEMANN, 1998) sind folgende Empfehlungen abzugeben:

- Im allgemeinen Betrieb sollte die zulässige Höchstgeschwindigkeit des RQ 21 auf $v = 100$ km/h beschränkt werden. Dies verdeutlicht trotz der autobahnähnlichen Gestaltung die Nähe des Querschnittes zu seinen Einsatzbedingungen und seiner Einordnung im Landstraßennetz. Primäre Aufgabe des RQ 21 ist die Abwicklung hoher Verkehrsstärken im Landstraßennetz unter der Voraussetzung einer befriedigenden Verkehrsqualität. Weiterhin berücksichtigt diese Grenze ein bereits überwiegend in der Örtlichkeit vorzufindendes Merkmal des RQ. Strecken mit einer Beschränkung der v_{zul} auf $v = 100$ km/h weisen eine niedrige UR(P) und UKR auf. Die Beschränkung wirkt sich gegenüber Strecken mit einer v_{zul} von $v = 120$ km/h und Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} positiv auf die Verkehrssicherheit aus.
 - Von großer Bedeutung ist die Beschränkung der v_{zul} auf $v = 100$ km/h für Strecken mit einer Gestaltung der Knotenpunkte nach der EKL 2. Da außerörtliche Knotenpunkte mit plangleichen Elementen durch eine Beschränkung der v_{zul} auf mindestens 70 km/h gekennzeichnet sind, ist mit Blick auf die Kriterien der Verkehrssicherheit und dem Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer eine Anordnung von höheren v_{zul} als $v = 100$ km/h auf der Strecke als nur bedingt verträglich einzuordnen.
 - Bei Auftreten einer sehr dichten netzbedingten Knotenpunktabfolge der EKL 2 beim Übergang zum innerörtlichen Bereich (Entwurfssituation nach den RASt (FGSV, 2006c)) ist die Beschränkung der v_{zul} auf $v = 80$ km/h für diesen Bereich zu empfehlen. In diesem Fall führt die Verringerung
- der Geschwindigkeiten zu einer Angleichung des Geschwindigkeitsniveaus der Verkehrsteilnehmer. Dies erleichtert an Knotenpunktarten der EKL 2 die aufgrund der Zielwahl häufiger stattfindenden Fahrstreifenwechsel.
 - Wie in den RAL (FGSV, 2008) angegeben, kann ein Betrieb des RQ 21 als Kraftfahrstraße erfolgen, wenn in regelmäßigen Abständen – empfohlen wird ein maximaler Abstand von 1,0 km – Nothaltebuchten angeordnet sind.
 - Die Freigabe der Geschwindigkeiten für den RQ 21 wird nicht empfohlen. Trotz der geringen Kollektivgröße der Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} war die Nichtbeschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit mit einer Zunahme der UR(P) verbunden. Auch die Untersuchungen von BRILON, BÄUMER (2001) und HEIDEMANN (1998) wiesen für Strecken ohne Seitenstreifen (vornehmlich BAB) eine deutlich höhere UR gegenüber Strecken mit Seitenstreifen auf. Daher ist davon auszugehen, dass sich dieser Sicherheitsunterschied bei einer unbeschränkten v_{zul} besonders deutlich auswirkt. Weiterhin stellen RQ 21- ähnliche Abschnitte im aktuellen Netz mit dieser Charakteristik eine Ausnahme dar. Mit der Anordnung einer v_{zul} von maximal $v = 100$ km/h, in begründeten Ausnahmefällen bei Anordnung (teil-) planfreier Knotenpunkte auch $v = 120$ km/h, wird der Unterschied des RQ 21 zur Kategoriengruppe der BAB deutlich.
 - Bei dem Übergang an FSR und FSS vom zweibahnigen zum einbahnigen Abschnitt wird die Anordnung einer v_{zul} von $v = 80$ km/h im unmittelbaren Bereich der FSR empfohlen. In der Gegenrichtung ist eine Reduzierung der v_{zul} des einbahnigen Abschnitts im Bereich der FSA außerhalb von Knoten nicht erforderlich.

8.4 Empfohlene Textpassage RAL

Folgende modifizierte Textpassagen könnten in den RAL für den RQ 21 eingebunden werden, wobei sich die hier genannte Festlegung der Einsatzgrenze an der bisherigen Version der RAL orientiert (FGSV, 2008):

- Der Regelquerschnitt RQ 21 ist ein zweibahniger, durch einen baulichen Mittelstreifen getrennter Querschnitt.

- Die Anwendung des RQ 21 ist für kurze Abschnitte (bis zu 15 km) ansonsten einbahniger Straßen vorgesehen. Dies ist der Fall, wenn zwei Straßen gebündelt geführt werden, oder bei Straßen im Vorfeld mittlerer und größerer Agglomerationen, wenn die Charakteristik dieser Abschnitte entweder einer Bündelung von Verbindungen des Umlandes zur Agglomeration oder eine Verbindung zwischen Agglomeration und dem naheliegenden BAB-Netz entspricht.
- Nicht motorisierter Verkehr ist auszuschließen. Der RQ 21 sollte nach Möglichkeit als Krafffahrstraße betrieben werden.
- Der RQ 21 kommt dann zum Einsatz, wenn in einer Entwurfsklasse die Kapazität des einbahnigen RQ überschritten wird. Bei Verkehrsbelastungen auf kurzen Abschnitten von mehr als 30.000 Kfz/24h sowie auf Abschnitten, die über längere Distanzen Verkehrsstärken im Bereich über 15.000 Kfz/24h aufweisen und deren hauptsächliche Aufgabe in der Bereitstellung einer Verbindungsfunktion zwischen zwei zentralen Orten besteht, sind diese gemäß den RAA zu planen.
- Die Gestaltungsmerkmale (Linienführung, Knotenpunkte) entsprechen in der Regel der EKL 1. In begründeten Ausnahmefällen (enge Knotenabfolge, Flächenverfügbarkeit) kann die Gestaltung nach der EKL 2 erfolgen. Wird im Laufe eines Streckenzuges die Anordnung von mehr als einem Knotenpunkt nach der EKL 2 erforderlich, sind alle Knotenpunkte in diesem Abschnitt nach der EKL 2 zu gestalten.
- Aus Gründen der Verkehrssicherheit sind am Querschnitt beiderseits 2,50 m breite und 50 m lange Nothaltebuchten im Abstand von 500 m bis 1.000 m vorzusehen. Bei ihrer Lage sind die Anforderungen des Betriebsdienstes zu berücksichtigen (z. B. an Brücken).

Weiterhin ist festzuhalten:

- Die Planung eines RQ 21 als Verlängerung eines BAB-Abschnittes ist nicht zulässig.
- Der Betrieb eines RQ 21 mit einer unbeschränkten v_{zul} ist nicht zu empfehlen.
- Der Betrieb eines RQ 21 soll in Absprache mit der zuständigen Verkehrsbehörde aus Verkehrssicherheitsgründen mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erfolgen.

9 Zusammenfassung

Der RQ 21 stellt durch seine zweibahnig vierstreifige Querschnittsaufteilung eine Besonderheit im Landstraßennetz dar. In der vorliegenden Arbeit erfolgte eine Analyse des Verkehrsablaufes und der Verkehrssicherheit. Geklärt werden sollte u. a. die Frage, ob eine nach dem Entwurf der RAL (FGSV, 2008) vorliegende Abgrenzung der Einsatzlänge auf 15 km sinnvoll ist. Als Vergleichsobjekt dienen Strecken mit Seitenstreifen und ähnlicher Charakteristik (RQ 28) nach den RAA (FGSV, 2008B). Die Überprüfung und Ableitung eines Qualitätskriteriums, das eine übergreifende Bewertung der Streckenelemente in Anlehnung an die Vorgaben der RIN (FGSV, 2008c) ermöglicht, war weiterer Bestandteil dieser Arbeit.

Aus der Dokumentation von RQ 21- und RQ 28-ähnlicher Strecken aus verschiedenen Bundesländern ging hervor, dass im bestehenden Netz der überwiegende Teil der Abschnitte die Länge von 15 km nicht überschreitet. Strecken mit dieser Charakteristik liegen überwiegend im Vorfeld mittlerer und großer Agglomeration. Entgegen den zukünftigen Empfehlungen, die eine planfreie Ausstattung der Hauptfahrbahn an Knotenpunkten empfiehlt, weisen knapp ein Drittel der Knotenpunkte eine plangleiche Grundform auf.

Basierend auf den Erkenntnissen einer Voruntersuchung erfolgte die Erhebung des Verkehrsablaufes in Abschnitten des ungestörten Verkehrsablaufes und an Übergangsbereichen von zehn RQ 21- und zwei RQ 28-ähnlichen Strecken.

RQ 21-ähnliche Strecken weisen überwiegend eine Beschränkung der v_{zul} von $v = 100$ km/h und $v = 120$ km/h auf. Der Betrieb mit einer unbeschränkten v_{zul} ist selten. Die freien mittleren Pkw und Lkw Geschwindigkeiten unterscheiden sich für die verschiedenen Geschwindigkeitsregelungen. Gegenüber Strecken mit einer Beschränkung der v_{zul} weisen Strecken ohne Beschränkung eine breitere Streuung der freien Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten auf. Im Gegensatz dazu verringert sich die Streuung bei den Fahrzeugen des Schwerverkehrs. Diese Entwicklung ist u. a. auf die Ausstattungsmerkmale der Strecken zurückzuführen. Die Betriebsform mit einer unbeschränkten v_{zul} erfolgt überwiegend an Strecken, die eine großzügige Trassierung aufweisen und mit Knotenpunktarten der EKL 1 ausgestattet sind. Die Überschreitungshäufigkeit der v_{zul} fällt auf Strecken mit $v = 100$ km/h deutlich höher als auf Strecken mit $v = 120$ km/h aus.

Die Geschwindigkeiten von Pkw und Schwerverkehr unterscheiden sich für Strecken ohne Beschränkung der v_{zul} bei RQ 21 und RQ 28 signifikant. Jedoch sind die geringen Unterschiede für die Praxis nicht von Relevanz.

Es konnte festgestellt werden, dass sowohl die Anordnung der v_{zul} im Bereich höherer Geschwindigkeiten als auch die Zunahme des SV-Anteils zu einer häufigeren Benutzung des linken Fahrstreifens führt. Dies zeigte die getrennte Überprüfung der Kollektive nach den Merkmalen „Höhe der v_{zul} “ bzw. „SV-Anteil“. Signifikante Unterschiede konnten jedoch nur in Einzelfällen nachgewiesen werden. Auf Streckenabschnitten zwischen (teil-)plangleichen Knotenpunkten nutzen gegenüber den Abschnitten mit (teil-)planfreien Knotenpunkten tendenziell mehr Fahrzeugführer den linken Fahrstreifen. Der Grund liegt mutmaßlich im veränderten Verkehrsablauf vor und nach plangleichen Knotenpunkten.

An Übergängen mit Änderung der Streckencharakteristik erfolgten Erhebungen des Verkehrsablaufs. Die Querschnittsanordnung orientierte sich an der Art des Überganges. Aus den Erhebungen ging hervor, dass an FSR/FSA der Einfluss dieser Elemente auf den Verkehrsablauf des zweibahnigen Abschnitts in die ausfahrende Richtung eine geringere Länge aufweist als in der Gegenrichtung. Der Verkehrsablauf an der Übergangsart WZB (Innerorts) wird erheblich durch örtliche Gegebenheiten beeinflusst.

Es war vorgesehen, anhand der empirischen Werte für den RQ 21 q-V-Beziehungen zu entwickeln. Bei den Erhebungen – auch an Strecken mit Verkehrsbelastungen über den Vorgaben der zukünftigen RAL – konnten Verkehrsstärken im Bereich eines gebundenen Verkehrsablaufs nicht beobachtet werden. Auf Grundlage der empirischen Daten erfolgte die Kalibrierung und Validierung der q-V-Beziehungen des RQ 21 für die bereits im Verkehrsablauf definierten Geschwindigkeitstypen für Strecken mit einer Steigung $< 2\%$. Der Einfluss des SV-Anteils auf die mittleren Pkw-Geschwindigkeiten gewinnt in Abhängigkeit der v_{zul} bzw. der Verkehrsstärke an Bedeutung. Da laut RAL-Entwurf (FGSV, 2008) Verkehrsaufkommen über 30.000 Kfz/24h nicht vorgesehen sind, sind Aussagen über die q-V-Beziehungen im Bereich der Kapazität nicht praxisnah. Es ist zu vermuten, dass die theoretische Kapazität des RQ 21 in der Nähe der Kapazitätswerte vergleichbarer zweistreifiger Autobahnabschnitte des HBS Entwurfs liegt.

Die Ermittlung der Verkehrssicherheit basiert auf einem Vergleich des Unfallgeschehens der RQ 21- und RQ 28- ähnlichen Strecken aus drei Bundes-

ländern. Dabei wurde das Netz in verschiedene Elemente unterteilt. Der überwiegende Teil der Untersuchungen beruht auf einer Auswertung der Unfallkategorien 1 bis 4. Es überlagern sich Einflüsse der Querschnittsgestaltung (mit und ohne Seitenstreifen) mit der Geschwindigkeitsregelung, denn auf beiden Querschnitten ist eine Zunahme der UR(P) in Abhängigkeit der v_{zul} zu verzeichnen. Der Betrieb der Strecke mit einer v_{zul} von $v = 100$ km/h stellt bei beiden Querschnitten die verkehrssicherste Variante da. Bei gleicher v_{zul} weist der RQ 21 eine um $0,02 U/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ höhere UR(P) als der RQ 28 auf. Sowohl bei einem Betrieb mit $v_{zul} = 100$ km/h als auch mit $v_{zul} = 120$ km/h besteht für den RQ 28 gegenüber dem RQ 21 ein Sicherheitsvorteil. Für beide RQ gilt, dass Strecken mit einer unbeschränkten v_{zul} die höchste UR(P) aufweisen.

Für Knotenpunkte wurden in Bezug auf die Art des Anschlusses der Hauptfahrbahn unabhängig vom Querschnittstyp Unfallkostensätze für U(P) berechnet. An Knotenpunkten mit planfreien Anschlüssen der Hauptfahrbahn liegt die UKR über dem Niveau der freien Strecke. Dabei weist der Einfädelbereich des RQ 21 gegenüber dem RQ 28 ein besonders hohes Unfallrisiko auf.

Aus der Gegenüberstellung des gesamten Unfallgeschehens der Knotenpunkte, getrennt nach baulicher Grundform, ging hervor, dass die planfreie Knotengrundform gegenüber den Formen teilplanfreier (übergeordnete Zufahrt planfrei, untergeordnete Zufahrt plangleich) und plangleicher Knotenpunkt die sicherste Variante der Netzverknüpfung darstellt.

Für eine übergreifende Streckenbewertung als Grundlage für die Bestimmung der mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten nach den RIN (FGSV, 2008c), wurden q-V-Beziehungen auf Basis der Messwerte bestimmt, in denen die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes anhand der Verkehrsdichte abgelesen werden können. Dabei wurden in Abhängigkeit den zukünftigen RAL und den eigenen Erhebungen verschiedene Randbedingungen berücksichtigt. Da der Verkehrsablauf auf dem RQ 21 ähnlich dem von Autobahnabschnitten ist, dienen die Qualitätsstufen des Auslastungsgrades als Basis. Auf dieser Einteilung aufbauend wurden die QSV mit der Verkehrsdichte als Maß der Verkehrsqualität bestimmt. Mit Blick auf die Bewertung der Strecken von Landstraßen im Entwurf des HBS erfolgte eine Vereinheitlichung der QSV für alle Streckentypen des RQ 21. Der sich gegenüber anderen Landstraßenquerschnitten unterscheidende Verkehrsablauf des RQ 21 lässt die Verwendung eigener QSV für die Verkehrsdichte notwendig werden. Für gleiche QSV können auf dem

RQ 21 gegenüber den derzeitigen Grenzen für Landstraßen höhere Verkehrsdichten erreicht werden. QSV schlechter als Stufe C sind bei Beachtung der Einsatzgrenzen für den RQ 21 nicht zu erwarten.

Die Überprüfung der Einsatzlänge erfolgte durch die Entwicklung eines Bewertungskriteriums zur Analyse der Störfälle auf dem RQ 21 infolge liegendegebliebener Kfz und weiterer Störgrößen. Es erfolgte die Berechnung aller gegenüber dem Ausbau mit einem Seitenstreifen mehr auftretenden Engpässe durch den Einzug eines Fahrstreifens. Das Verfahren berücksichtigt den mittleren Abstand von NHB sowie die zu erwartenden Verkehrsmengen. Um bestimmen zu können, ab welcher Verkehrsstärke der Wegfall eines Fahrstreifens einen Kapazitätsengpass, verbunden mit Stauerscheinungen darstellt, erfolgte die Ermittlung eines Schwellenwertes für Stauerscheinungen anhand einer Simulation. Mit Hilfe dieser Parameter und den Ganglinien nach den EWS (FGSV, 1997) kann geprüft werden, welche mittlere Wahrscheinlichkeit eines Stauereignisses pro Jahr und Kilometer eintritt. Es zeigte sich, dass ab einer Verkehrsstärke von 30.000 Kfz/24h am Querschnitt die Wahrscheinlichkeit von Stauereignissen erheblich zunimmt. In der Untersuchung wurden unter Berücksichtigung verkehrlicher und baulicher Rahmenbedingungen verschiedene Möglichkeiten zur Bestimmung der Einsatzlänge aufgeführt.

Zusammenfassend wurden aus der Untersuchung Empfehlungen zum Einsatz und Betrieb des RQ 21 abgeleitet. Der RQ 21 soll als kurzer Zwischenabschnitt, der eine Länge von 15 km nicht überschreitet, im Vorfeld mittlerer und größerer Agglomerationen eingesetzt. Die Anwendung beschränkt sich auf sonst einbahnige Abschnitte mit einem sehr hohen Verkehrsaufkommen, die vornehmlich als Radialstrecke zum Zentrum oder als Verbindung zum übergeordneten Netz der BAB fungieren. Der Querschnitt kann auch bei der Bündelung von sonst einbahnigen Landstraßen zum Einsatz kommen. Weiterhin wurden aus den Untersuchungen des Verkehrsablaufs und der Sicherheitsanalyse Empfehlungen zum Betrieb abgegeben. Allgemein wird der Betrieb des RQ 21 mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von $v = 100$ km/h sowie eine Verknüpfung in das weitere Netz mit den Knotenpunktformen der EKL 1 nach den RAL (FGSV, 2008) empfohlen.

Hinsichtlich der Ergebnisse der Verkehrssicherheitsanalyse besteht weiterer Forschungsbedarf, um die Erkenntnisse anhand größerer Kollektive, speziell an Strecken mit einer unbeschränkten Höchstgeschwindigkeit zu überprüfen. Die Kapazi-

tät konnte bisher nicht empirisch bestimmt werden. Allgemeiner Forschungsbedarf besteht auch in der Frage, in welchem Umfang Störereignisse auf zweibahnig vierstreifigen Abschnitten ohne Seitenstreifen zu größeren Behinderungen im Verkehrsablauf führen.

Die Untersuchungen des Forschungsprojektes liefern Hinweise und Empfehlungen zum Einsatz und Betrieb des RQ 21 im Landstraßennetz. Die Ansätze bieten die Möglichkeit, eine Bestimmung der Verkehrsqualität anhand der Verkehrsdichte durchzuführen. Darüber hinaus kann in Abhängigkeit der verkehrlichen Rahmenbedingungen eine Abschätzung der zu erwartenden Störfälle auf dem Querschnitt vorgenommen werden. Dadurch ist auch eine längenbezogene Einsatzbegrenzung des RQ 21 möglich.

10 Literatur

- BARK, A., BAIER, R. (2008): *Handbuch der Verkehrssicherheit von Straßen*. Forschungsprojekt der BAST, FE 03.389/2005/FGB, unveröffentlicht, Stand September 2008
- BECKMANN, A., ZACKOR, H. (2001): *Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages und Dauerbaustellen auf Autobahnen*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 808, Bonn 2001
- BMV, (1995): *Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen RSA-95*. Bonn 1995
- BRANNOLTE, U. et al. (1992): *Einsatz von Zwischenquerschnitten*. Bericht der Projektgruppe Zwischenquerschnitte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 1992
- BRANNOLTE, U. et al. (2004): *Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und Verkehrsablauf auf neuen Querschnitten nach RAS-Q 96: Untersuchung des Verkehrsablaufes auf dem Straßentyp RQ 15,5*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 899, Bonn 2004
- BREßLER, A. (2001): *Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf an Steigungsstrecken – Kriterien für Zusatzfahrstreifen*. Schriftenreihe Lehrstuhl für Verkehrswesen Ruhr-Universität Bochum, Heft 24, Bochum 2001
- BRILON, W. et al. (1993): *Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Straßen*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 669, Bonn 1993
- BRILON, W.; WEISER, F. (1997): *Ermittlung von q-v Diagrammen für zweistreifige Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 747, Bonn 1997
- BRILON, W.; BÄUMER, H (2001): *Nothaltemöglichkeiten an stark belasteten Bundesfernstraßen*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V93, Bergisch Gladbach 2001
- BRILON, W.; PONZLET, M. (1995): *Application of traffic flow models. Proceeding of the Workshop in Traffic and Granular Flow*. World Scientific, Singapur 1995
- DESTATIS (2008): *Statistisches Jahrbuch 2008, Fachserie 8 Reihe 7, Verkehr Verkehrsunfälle*. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009
- DIW (2005): *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder, Reihe 2 Kreisergebnisse, Band 1*. Deutsches Institut für Wirtschaft Berlin, Berlin 2005
- ECKSTEIN, K.; MEEWES, V. (2002): *Knotenpunktgrundformen Verkehrsregelung Zufahrten*. Institut für Straßenverkehr Köln, Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V. - GDV, Köln 2002
- ENGELMANN, F. (2003): *Fahrstreifenreduktionen auf Autobahnen - Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf*. Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Universität Hannover, Hannover 2003
- FGSV (1995): *Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS, Teil: Linienführung RAS-L*. FGSV-Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Köln 1995
- FGSV (1996): *Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS, Teil: Querschnitte RAS-Q*. FGSV-Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Köln 1996
- FGSV (1997): *Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen EWS*. FGSV-Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, Köln 1997
- FGSV (2001): *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)*. Ausgabe 2001, Fassung 2005, Köln 2005
- FGSV (2003): *Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten*. FGSV-Arbeitsausschuss Verkehrsunfälle, Köln 2003
- FGSV (2005): *Hinweise zum Fundamentaldiagramm – Grundlagen und Anwendungen*. FGSV-Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit, Köln 2005
- FGSV (2006): *Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS, Teil: Linienführung RAS-L*. FGSV-Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Köln 2006
- FGSV (2006B): *Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation, Grundlagen und Anwendungen*. FGSV-Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit, Köln 2006
- FGSV (2006C): *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen RAS*. FGSV-Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Köln 2006
- FGSV (2008). *Richtlinie für die Anlage von Landstraßen - RAL*. Entwurf 03/2008
- FGSV (2008B): *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen RAA*. FGSV-Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Köln 2008

- FGSV (2008c): *Richtlinien für integrierte Netzgestaltung RIN*. FGSV-Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, Köln 2008
- FGSV (2009): *Entwurf Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)*. Entwurf Autobahnabschnitte außerhalb von Knotenpunkten, Fassung 17.05.2009, unveröffentlicht
- FRIEDRICH, B. et al. (2003): *Verkehrsablauf an Fahrstreifenreduktionen*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 869, Bonn 2003
- GEISTEFELDT, J. (2007): *Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit auf Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen*. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen Ruhr-Universität Bochum, Heft 30, Bochum 2007
- GREBE, N.; HANKE, H. (1991): *Verkehrssicherheit an kurzfristigen und beweglichen Arbeitsstellen auf Autobahnen*. Straßenverkehrstechnik 3/91, Bonn 1991
- HARDING, J. (2007): *Modellierung und mikroskopische Simulation des Autobahnverkehrs*. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen Ruhr-Universität Bochum, Heft 29, Bochum 2007
- HCM, (2000): *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, Washington D.C. 2000
- HEIDEMANN, D. et al. (1998): *Standstreifen und Verkehrssicherheit auf BAB, Statistische Analyse*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V55, Bergisch Gladbach 1998
- KELLER, H. et al. (1983): *Störungen im Fahrt- und Verkehrsablauf auf Schnellstraßen*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 396, Bonn-Bad Godesberg 1983
- KELLER, H.; SACHSE, T. (1992): *Einfluss des Bezugsintervalls in Fundamentaldiagrammen auf die zutreffende Beschreibung der Leistungsfähigkeit von Straßenabschnitten*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 614, Bonn 1992
- LAFFONT, S.; SCHMIDT, G. (1995): *Empfehlungen zur Minderung von Stau- und Unfallrisiko bei einstreifigen Verkehrsführungen in Autobahnbaustellen der neuen Bundesländer*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 701, Bonn-Bad Godesberg 1995
- LISTL, G. (2003): *Anwendungen neuer Technologien zur Erfassung des Verkehrsablaufs*. Schriftenreihe Verkehr, Fachgebiete Verkehrstechnik, Verkehrssysteme und Verkehrsplanung, Heft 14, Universität Kassel 2003
- MAIER, R.; MEEWES, V. (1984): *Modellversuch B 33 "2+1"-spurige Landstraßen*. Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung Nr. 22, Köln 1984
- MATTHEIS, C. (2002): *Auswirkung der Umnutzung von BAB-Standstreifen*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V91, Bergisch Gladbach 2002
- PINKOFSKY, L. (2006): *Typisierung von Ganglinien der Verkehrsstärke und ihrer Eignung zur Modellierung der Verkehrsnachfrage*. Schriftenreihe des Instituts für Verkehr und Stadtbauwesen TU Braunschweig, Heft 54, Aachen 2006
- RESSEL, W. (1994): *Untersuchungen zum Verkehrsablauf im Bereich der Leistungsfähigkeit an Baustellen auf Autobahnen*. Informationen Verkehrsplanung und Straßenwesen, Heft 37, München-Neubiberg 1994
- RICHTER, T. (1993): *Entwurfsstandards für Knotenpunkte an Ortsumgehungen*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 653, Bonn 1993
- SCHMOTZ, M. (2007): *Untersuchung des Abstandsverhaltens von Lastkraftwagen auf Bundesautobahnen unter Berücksichtigung des Unfallgeschehens*. Diplomarbeit am Lehrstuhl Straßenverkehrstechnik TU Dresden, Dresden 2007
- SCHÖNAHRTING, J.; FRIEDRICH, B. (2007): *Netzfunktionen sowie Entwurfs- und Betriebsmerkmale anbaufreier zweibahniger Straßen im Einzugsgebiet von Ballungsräumen*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 958, Bonn 2007
- STEINAUER, B. et al. (2008): *Übergreifende Bewertung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten auf Landstraßen*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1004, Bonn 2008
- STÖCKERT, R. (2001): *Auswirkungen von Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen auf Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes*. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 457, Düsseldorf 2001
- STVO, (2009): *Straßenverkehrs-Ordnung*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn September, 2009
- THEIS, C. (1997): *Modellierung des Fahrverhaltens an Autobahnanschlußstellen*. Doktorarbeit an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Fridericiana Karlsruhe (TH), Karlsruhe 1997

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2007

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

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

2008

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

2009

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

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

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

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

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

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

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

2010

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2011

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

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

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

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

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

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

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

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

2012

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

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

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

Dort ist auch ein Komplettverzeichnis erhältlich.