

Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen – Weiterentwicklung der Verfahren

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 263



bast

Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen – Weiterentwicklung der Verfahren

von

Frank Weiser
Sarah Jäger
Christina Riedl

Brilon Bondzio Weiser
Ingenieurgesellschaft für Verkehrswesen mbH
Bochum

Jan Lohoff

Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Verkehrswesen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 263

bast

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

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

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

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

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

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

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: FE 16.0015/2009
Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen -
Weiterentwicklung der Verfahren

Fachbetreuung:
Marco Irzik

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

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

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-197-4

Bergisch Gladbach, Januar 2016

Kurzfassung – Abstract

Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen – Weiterentwicklung der Verfahren

Das vorliegende Bemessungsverfahren für zweistreifige Landstraßen (vgl. HBS 2001) sollte auf eine richtungsgetrennte Betrachtung umgestellt werden. Darüber hinaus sollten Ergänzungen und Vereinfachungen des Verfahrens vorgenommen werden.

Zunächst wurde die verfügbare in- und ausländische Literatur analysiert. Anschließend wurden eine Anwenderbefragung und Expertengespräche durchgeführt. Ferner wurden Fahrtgeschwindigkeitsmessungen an Strecken mit wechselnden Randbedingungen (Längsneigung, Kurvigkeit, Fahrstreifenanzahl etc.), lokale Geschwindigkeitsmessungen und Messungen der Geschwindigkeiten vorausfahrender Fahrzeuge durchgeführt.

Die einzelnen Schritte des Bemessungsverfahrens wurden systematisch überprüft. Vorschläge zur Weiterentwicklung des Verfahrens wurden im Betreuerkreis sowie in den Gremien der FGSV diskutiert. Dies betrifft die Aufnahme von Verfahren für Strecken von dreistreifigen und zweibahnigen Straßen, die Umstellung des bisherigen Verfahrens auf eine richtungsgetrennte Betrachtung, die Herleitung neuer q-V-Diagramme für zweistreifige Strecken, neue Festlegungen zur Bildung von Teilstrecken, eine vereinfachte Zuordnung von Steigungsklassen, neue Ansätze zur Berücksichtigung der Kurvigkeit, den Verzicht auf die Berücksichtigung von Überholverbots sowie die Überprüfung des Maßes der Verkehrsqualität und des Verfahrens zur zusammenfassenden Bewertung von Strecken, die aus Teilstrecken mit unterschiedlicher Ausprägung der Einflussgrößen bestehen.

Mithilfe von Testrechnungen konnte sichergestellt werden, dass die entwickelten Veränderungen und Vereinfachungen des Verfahrens keine unerwünschten Wirkungen auf die Ergebnisse haben. Auf Basis der Ergebnisse des Forschungsprojektes wurde ein Vorschlag für ein neues HBS-Kapitel erarbeitet und mit den zuständigen Gremien der FGSV kontinuierlich abgestimmt.

Capacity and level of service on rural highways – Improvement of existing calculation procedures

The main goal was to convert the calculation procedures for capacity and level of service on two-lane rural highways (cf. HBS 2001, FGSV 2009) into a method which focusses on each direction separately. In addition to that some enhancements and simplifications should be implemented.

At first domestic and international literature was analysed and an opinion survey and expert consultations have been conducted. Furthermore measurements of travel speeds have been performed on rural highways with variable influencing parameters (e.g. vertical and horizontal alignment, number of lanes) as well as local speed measurements and measurements of passenger car velocity profiles.

Each step of the existing calculation procedure has been checked. The proposals for the procedure's improvement have been discussed within the tutor group as well as within the FGSV committees. This applies for the inclusion of separate procedures for three-lane rural highways with alternating sections for overtaking and for small divided highways with two lanes in each direction but without an emergency lane, for the conversion of the procedure for two-lane rural highways into a directional approach, for the implementation of new speed-flow diagrams for two-lane highways, for a new way of splitting a stretch of a road into several sub-sections with homogenous design parameters, for a new approach towards consideration of gradient classes and bendiness, for the proposal to dispense with considering no-passing zones as well as for the measure of effectiveness (MOE) and the procedure for estimation of level of service for a stretch of a highway composed of several sub-sections with different design parameters.

By means of serial test calculations it could be assured that the enhancements and simplifications do not affect the results adversely. Based on the findings of the research project a draft for a new chapter of the German HBS was prepared and adjusted within the responsible FGSV committees simultaneously.

Inhalt

1	Einleitung	7	4.3	Messkonzept.	28
1.1	Ausgangssituation	7	4.3.1	Quasi-Lokale-Messungen.	28
1.2	Aufgabenstellung und Ziele	7	4.3.2	Fahrtgeschwindigkeiten	29
1.3	Vorgehensweise	8	4.3.3	Verfolgungsfahrten	29
2	Literaturübersicht	9	4.4	B 252 bei Herzhausen	30
2.1	Entscheidung der Fahrer zum Überholen	9	4.4.1	Streckeneigenschaften	30
2.2	Mathematische Modelle des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstraßen	10	4.4.2	Auswertung der Fahrtgeschwindigkeitsmessungen	30
2.3	Empirische Analysen des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstraßen	10	4.5	B 28 bei Herrenberg	31
2.4	Simulationsmodelle des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstraßen	12	4.5.1	Streckeneigenschaften	31
2.5	Behandlung dreistreifiger Landstraßen (2+1-Verkehr)	13	4.5.2	Auswertung der Fahrtgeschwindigkeitsmessungen	32
2.6	Internationaler Workshop bei der BAST	15	4.6	B 10 bei Hauenstein	32
2.7	Zweistreifige Landstraßen in Regelwerken der Verkehrstechnik	16	4.6.1	Streckeneigenschaften	32
2.7.1	Maß der Verkehrsstärke	17	4.6.2	Auswertung der Fahrtgeschwindigkeitsmessungen	33
2.7.2	Maß der Verkehrsqualität	17	4.6.3	Auswertung der Verfolgungsfahrten.	34
2.7.3	Entwicklungen im amerikanischen Highway Capacity Manual (HCM)	18	4.6.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	35
2.8	HBS 2001	23	4.7	B 33 bei Allensbach	35
2.9	Schweizer Norm	23	5	Weiterentwicklung des Bemessungsverfahrens	36
3	Hinweise aus der Praxis	23	5.1	Richtungsgetrennte Betrachtung zweistreifiger Strecken	36
3.1	Schriftliche Befragung der Anwender	23	5.2	Festlegung von Teilstrecken	41
3.2	Expertengespräche.	26	5.3	Zuordnung von Steigungsklassen	43
4	Empirische Untersuchungen	27	5.4	Testrechnungen	46
4.1	Ziele der empirischen Untersuchungen	27	5.5	Berücksichtigung der Kurvigkeit.	47
4.2	Auswahl der Untersuchungstrecken	28	5.6	Berücksichtigung der Überholmöglichkeiten	49
			5.7	Neue Verfahren für Strecken dreistreifiger und zweibahniger Straßen.	51
			5.8	Maß zur Beschreibung der Verkehrsqualität	54
			5.9	Bewertung der Verkehrsqualität ganzer Strecken	57

6	Herleitung neuer q-V-Diagramme . . .	60
6.1	Ausgangssituation	60
6.2	Durchführung der Simulations- untersuchungen	60
6.3	Regressionsanalyse	61
6.4	Ergebnisse	61
7	Zusammenfassung	66
8	Literatur	68

Anhang

Die Anhänge zum Bericht sind im elektronischen
BASt-Archiv ELBA unter:

<http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Im technischen Regelwerk, das in Deutschland zur Planung von Straßen heranzuziehen ist, sind bereits seit Jahrzehnten Verfahren zum Nachweis der Kapazität zweistreifiger Landstraßen enthalten. Diese Verfahren sehen im Regelfall eine gemeinsame Betrachtung beider Fahrrichtungen vor. Das derzeit gültige Verfahren, mit dem neben der Kapazität auch die Verkehrsqualität auf Strecken von Landstraßen berechnet werden kann, ist in Kapitel 5 des Handbuchs für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS (vgl. FGSV, 2009) dargestellt.

Darin sind als Grundlage des Verfahrens die Zusammenhänge zwischen den Verkehrsstärken q und den mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten V (bisherige Bezeichnung: Pkw-Reisegeschwindigkeiten) in q - V -Diagrammen angegeben. Die Kurven in diesen Diagrammen sind Ergebnisse umfangreicher empirischer Untersuchungen und systematischer, über alle sinnvollen Kombinationen der Einflussgrößen durchgeführter Simulationen (vgl. BRILON/WEISER, 1997).

Die bisher gebräuchliche, auf den Gesamtquerschnitt bezogene Betrachtung des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstraßen findet ihre Rechtfertigung darin, dass die beiden Fahrrichtungen wegen der theoretisch gegebenen Überholmöglichkeiten nicht völlig unabhängig voneinander sind.

Andererseits kann aber beim Nachweis der Verkehrsqualität unter bestimmten Randbedingungen der Verkehrsablauf in einer der beiden Richtungen maßgebend werden, auch wenn die Gesamtbelastung der Straße noch in einer mittleren Größenordnung liegt. In solchen Fällen kann eine auf den Gesamtquerschnitt bezogene Bemessung zu einem falschen Ergebnis führen, ggf. auch zu Überschreitungen der Kapazität der Verkehrsanlagen sowie zu den damit verbundenen volkswirtschaftlichen Nachteilen.

Ferner ist zu berücksichtigen, dass der Verkehrsablauf auf Landstraßen mit einem durchgängig dreistreifigen Querschnitt, über den erst nach dem erstmaligen Erscheinen des HBS im Jahr 2001 systematische Erkenntnisse gewonnen wurden, wegen der durchgängigen Trennung der Fahrrichtungen mithilfe einer Markierung ebenfalls richtungsgetreunt betrachtet werden muss.

1.2 Aufgabenstellung und Ziele

Aus o. g. Gründen sollte das Bemessungsverfahren für die zweistreifigen Landstraßen im Rahmen des hier dokumentierten Forschungsprojektes auf eine richtungsgetreunte Betrachtung umgestellt werden. Neben dieser Umstellung, mit der gleichzeitig eine Vereinheitlichung mit den in der Zwischenzeit entwickelten Verfahren für Landstraßen mit mehr als zwei Fahrstreifen erreicht wird, sollten verschiedene Ergänzungen vorgenommen und Verbesserungen des Verfahrens entwickelt werden.

Wesentliche Ergänzungen sind die Aufnahme eigener Verfahren für Strecken dreistreifiger und zweibahniger Landstraßen, die im Rahmen anderer Forschungsprojekte entwickelt wurden und zur Anwendung in der Praxis bereitstehen. Mit diesen Ergänzungen sowie auch mit den beabsichtigten Veränderungen des Verfahrens für herkömmliche, zweistreifige Landstraßen sollte das HBS-Kapitel für die Strecken von Landstraßen gleichzeitig auch in eine mit den neuen Entwurfsrichtlinien für Landstraßen RAL (vgl. FGSV, AA 2.2, Entwurf 2011) abgestimmte Struktur überführt werden.

Darüber hinaus sollten verschiedene bei den Anwendern ggf. vorhandene Unsicherheiten bei der Anwendung des Verfahrens und bei der Bewertung der Ergebnisse erkannt und durch geeignete Vorschläge überwunden werden. Dies betrifft u. a. die Abgrenzung von Teilstrecken (bisherige Bezeichnung: Teilabschnitte) sowie die Berücksichtigung von Abschnitten mit Überholverbot. Darüber hinaus können im bisherigen Verfahren sowohl die vorgegebene Methode zur Ermittlung der Steigungsklassen mithilfe eines fiktiven Bemessungsschwerfahrzeuges als auch die Einteilungen der Steigungs- und Kurvigkeitsklassen (bisherige Bezeichnung: Kurvigkeitsbereiche) in einzelnen Fällen zu Ergebnissen führen, die nicht plausibel erscheinen. Aus geringfügigen Veränderungen der Eingangsgrößen können sich z. B. durch einen Wechsel in eine andere Steigungsklasse oder in eine andere Kurvigkeitsklasse deutliche Veränderungen der jeweils ermittelten Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten (bisherige Bezeichnung: Pkw-Reisegeschwindigkeiten) ergeben.

Zur Aufgabenstellung gehörte es daher die einzelnen Verfahrensschritte, auch im Hinblick auf ihre Plausibilität, zu überprüfen und sofern möglich Verbesserungsvorschläge zu entwickeln.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes sollen insofern einen Beitrag zu einer stärker vereinheitlich-

ten Bemessung und Bewertung von Landstraßen leisten und darüber hinaus eine genauere und plausiblere Beurteilung der Verkehrsqualität ermöglichen. Dadurch sollen das Risiko einer fehlerhaften Einschätzung des Verkehrsablaufs verringert und ein effizienterer Einsatz der verfügbaren Investitionsmittel gefördert werden.

1.3 Vorgehensweise

Bei der Weiterentwicklung eines bestehenden und in der Praxis erprobten Verfahrens spielt eine Analyse der vorliegenden Erfahrungen selbstverständlich eine wesentliche Rolle. Neben einer Auswertung der in Deutschland und im Ausland vorliegenden Literatur (vgl. Kapitel 2) wurde daher eine systematische Befragung der Anwender des bisherigen Bemessungsverfahrens durchgeführt und durch eine Reihe von Gesprächen mit Experten aus den Straßenbauverwaltungen der Bundesländer ergänzt. Darüber hinaus wurde die Möglichkeit wahrgenommen, das Verfahren zur verkehrstechnischen Bemessung von Landstraßen im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Straßenwesen durchgeführten internationalen Workshops mit zahlreichen ausländischen Fachleuten zu diskutieren.

Nach der näheren Eingrenzung der noch offenen Fragen zum Verkehrsablauf auf Landstraßen wurde ein Programm zur Durchführung empirischer Untersuchungen aufgestellt und bearbeitet. Im Mittelpunkt des Messprogramms stand die Durchführung von Fahrtgeschwindigkeitsmessungen an Strecken mit unterschiedlichen sowie systematisch wechselnden Randbedingungen (Längsneigung, Kurvigkeit, Anzahl der Fahrstreifen etc.). Zusätzlich wurden je nach Untersuchungsstrecke auch lokale Geschwindigkeitsmessungen sowie Messungen der Geschwindigkeiten vorausfahrender Fahrzeuge durchgeführt und Daten aus automatischen Zählungen bzw. Geschwindigkeitsmessungen ausgewertet.

Das Messprogramm war von Beginn an ausschließlich zur punktuellen Überprüfung einzelner Aspekte des Verkehrsablaufs konzipiert, z. B. zur Klärung des Einflusses einer im Verlauf der Strecke wechselnden Längsneigung bzw. Kurvigkeit. Es bestand nicht die Absicht, eine möglichst große Anzahl von Parameterkombinationen zu untersuchen, um z. B. ein neues Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf Landstraßen zu entwickeln oder ein

bestehendes Simulationsmodell neu zu kalibrieren. Vielmehr sollte geprüft werden, ob die im bestehenden Verfahren enthaltenen Regelungen zur Berücksichtigung der Einflussgrößen weiterhin als plausibel anzusehen sind oder ob Veränderungen dieser Regelungen erforderlich sind.

Im Verlauf der Messungen und Auswertungen hat sich gezeigt, dass der damit erreichbare Erkenntnisgewinn begrenzt ist. Es wurde daher in Abstimmung mit dem Betreuerkreis des Forschungsprojektes festgelegt, die Anzahl der durchzuführenden Messungen zu reduzieren und stattdessen einen höheren Aufwand als ursprünglich vorgesehen in die Herleitung neuer, richtungsgetrennter q-V-Diagramme zu investieren.

Parallel zu den verschiedenen Untersuchungen, die im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden, erfolgte eine systematische Überprüfung der Struktur und der einzelnen Schritte des Bemessungsverfahrens. Die Ergebnisse dieser Überprüfung und die erarbeiteten Vorschläge zur Weiterentwicklung des Verfahrens wurden im Betreuerkreis sowie in verschiedenen Gremien der Forschungsgesellschaft vorgestellt und diskutiert.

Dies betrifft insbesondere die Aufnahme von Verfahren für Strecken dreistreifiger und zweibahniger Straßen, die richtungsgetrennte Betrachtung des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Strecken, die Herleitung neuer, richtungsgetrennter q-V-Diagramme für zweistreifige Strecken, die Überarbeitung der Vorgaben zur Abgrenzung von Teilstrecken, das Verfahren zur Zuordnung von Steigungsklassen, die Berücksichtigung der Kurvigkeit, die Berücksichtigung von Überholverböten, das Maß zur Beschreibung der Verkehrsqualität und die Vorgehensweise zur Bewertung der Verkehrsqualität von Strecken, die sich aus Teilstrecken mit unterschiedlicher Ausprägung der Einflussgrößen zusammensetzen.

Bei den angestellten Überlegungen wurde berücksichtigt, dass die Ergebnisse der verkehrstechnischen Bemessung von Strecken zukünftig auch für eine übergreifende Bewertung der Verkehrsqualität ganzer Netzabschnitte (d. h. über Knotenpunkte hinweg) sowie zur Prüfung der Verbindungsqualität im Sinne der Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN, vgl. FGSV 2008) geeignet sein sollen.

Zu den o. g. Aspekten wurden Testrechnungen durchgeführt, um die Wirkung der einzelnen Faktoren zu beschreiben und die Konsequenzen mögli-

cher Vereinfachungen des Verfahrens einschätzen zu können.

Die Herleitung neuer, richtungsgetrennter q-V-Diagramme für zweistreifige Landstraßen sollte ursprünglich ausschließlich durch eine erneute, richtungsgetrennte Auswertung der noch aus einem vorangegangenen Forschungsprojekt (vgl. BRILON/WEISER, 1997) vorliegenden Simulationsergebnisse erfolgen. Eine mikroskopische Simulation des Verkehrsablaufs sollte nur im Bedarfsfall und zur Klärung einzelner Detailspekte des Verkehrsablaufs durchgeführt werden.

Im Verlauf der Untersuchungen und der mit den o. g. Gremien geführten Beratungen hat sich aber gezeigt, dass es erforderlich ist, neue, umfangreiche Simulationen des Verkehrsablaufs durchzuführen, um die in Zukunft für die verkehrstechnische Bemessung zweistreifiger Landstraßen benötigten q-V-Diagramme zu erzeugen. Der wesentliche Grund hierfür liegt in der vorgenommenen Neueinteilung der Kurvigkeitsklassen, die sich anhand von Erkenntnissen aus der Praxis des Straßenentwurfs als sinnvoll erwiesen hat.

Es wurden daher unter Anwendung des vorliegenden, anhand der empirischen Ergebnisse aus dem vorangegangenen Forschungsprojekt kalibrierten Simulationsmodells LASI (vgl. BRILON/BRANNOLTE, 1977, BRANNOLTE/HOLZ, 1983 sowie BRILON/WEISER, 1997) neue q-V-Diagramme für die einzelnen Fahrtrichtungen zweistreifiger Landstraßen erzeugt. Bei der Durchführung der Regressionsrechnungen zur Herleitung der einzelnen q-V-Kurven auf Basis der simulierten Punktwolken wurde die von BRILON/WEISER (1997) hergeleitete, einfache Wurzelfunktion zugrunde gelegt, mit der die Einzelwerte aus den zahlreichen Simulationsläufen gut repräsentiert werden. Als Ergebnisse dieses Bearbeitungsschrittes liegen neu erzeugte, richtungsgetrennte q-V-Funktionen für alle sinnvollen Kombinationen der Einflussgrößen Längsneigung, Kurvigkeit und Schwerverkehrsanteil vor.

Parallel zur Bearbeitung des Forschungsprojektes wurde ein Formulierungsvorschlag für die Fortschreibung des HBS-Kapitels für den Nachweis der Verkehrsqualität auf Strecken von Landstraßen erarbeitet und kontinuierlich mit den zuständigen Gremien der FGSV abgestimmt. Daneben wurden wesentliche Grundlagen und Bestandteile eines erläuternden Kommentars erarbeitet, die in verschiedenen Kapiteln des vorliegenden Berichts enthalten

sind. Diese Grundlagen können zu einem redaktionell weiterentwickelten Kommentar in Form eines Zeitschriftenaufsatzes umgearbeitet und wie vorgesehen veröffentlicht werden, sobald das neue HBS erscheint.

2 Literaturübersicht

Zweistreifige Landstraßen sind seit vielen Jahren Gegenstand intensiver wissenschaftlicher Untersuchungen in der Verkehrstechnik. Der besondere Reiz dieser Straßen besteht für die verkehrstechnische Forschung darin, dass Überholungen den Verkehrsraum der jeweiligen Gegenrichtung beanspruchen. Dadurch kommt es zu einer wechselseitigen Beeinflussung der Verkehrsströme beider Fahrtrichtungen. Diese Besonderheit hat auch Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und auf den Straßenentwurf.

Die umfangreiche Literatur (vgl. BRILON, 2011) zu diesem Thema muss strukturiert werden, wenn man zu einem zusammenfassenden Verständnis gelangen will. In diesem Projekt geht es darum, die Kapazität und die Verkehrsqualität in Abhängigkeit von der Verkehrsnachfrage zu beschreiben. Unter diesen Aspekten wird die Übersicht über die einschlägige Fachliteratur nach folgenden Teilbereichen gegliedert:

- Entscheidung der Fahrer zum Überholen,
- mathematische Modelle des Verkehrsablaufs,
- empirische Analyse des Verkehrsablaufs,
- Simulationsmodelle,
- Behandlung dreistreifiger Landstraßen (2+1-Verkehr),
- Umsetzung in Regelwerken.

Vorab soll jedoch auf zwei Bücher verwiesen werden, die einen breiteren Überblick über den Verkehrsablauf auf zweistreifigen Straßen bieten: OECD (1972) und insbesondere McLEAN (1989).

2.1 Entscheidung der Fahrer zum Überholen

Der für zweistreifige Landstraßen charakteristische Vorgang ist das Überholen langsamer Fahrzeuge innerhalb des Fahrstreifens der Gegenrichtung. Um eine Überholung durchzuführen, muss der Fahrer

erkennen, ob dieser Fahrstreifen auf ausreichende Länge frei ist. Er muss dazu sein eigenes Beschleunigungsvermögen, die Weite des überschaubaren Raumes sowie den Abstand und die Geschwindigkeit entgegenkommender Fahrzeuge einschätzen und auf dieser Basis eine Entscheidung für oder gegen eine Überholung durchführen. Zu dieser Frage sind insbesondere in der Zeit von 1960 bis 2000 zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden.

BRILON (1976) stellt fest, dass weder kinematische Herleitungen noch psycho-physische Überlegungen hinsichtlich der Wahrnehmungsmöglichkeiten der Fahrer eine realitätsnahe Einschätzung der Entscheidungen der Fahrer zum Überholen ermöglichen. STOLZ (1967) ermittelte durch Messungen im normalen Straßenverkehr, dass Kraftfahrer bei ihrer Entscheidung zu überholen eine Grenzzeitlücke von 13 s anwenden. Gemeint ist damit die Zeit – gemessen vom überholten Fahrzeug aus – zwischen zwei Begegnungen mit dem Gegenverkehr. Sofern eine solche Zeitlücke größer als 13 s ist, akzeptiert ein überholwilliger nachfolgender Fahrer diese Lücke (im Sinne der Theorie vorfahrtgeregelter Knotenpunkte) für die Durchführung eines Überholmanövers. Das Besondere an den Messergebnissen von STOLZ ist, dass diese Grenzzeitlücke nicht vom Geschwindigkeitsniveau abhängt. CRAWFORD (1963) und MILLER, PRETTY (1968) ermittelten vergleichbare Werte von im Mittel 11,6 bis 13,3 s. Beide Literaturquellen geben für diese Grenzzeitlücke auch eine Verteilungsfunktion an, die am ehesten durch eine Log-Normalverteilung angenähert werden kann (vgl. dazu Diskussion dieser Ergebnisse bei BRILON, 1976). Neuere Ergebnisse zu dieser Thematik sind nicht bekannt geworden. Die hier genannte Grenzzeitlücke für die Durchführung einer Überholung lässt sich in den nachfolgend beschriebenen mathematischen Modellen sowie in Simulationsmodellen einsetzen, um das Verhalten der Kraftfahrer zu repräsentieren.

2.2 Mathematische Modelle des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstraßen

Im Verlaufe der letzten 50 Jahre ist eine ganze Reihe von mathematischen Modellen des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstraßen entwickelt worden. Ziel dieser Arbeiten ist es, bei Vorgabe der Verkehrsstärken, der Wunschgeschwin-

digkeiten und des für eine Überholung erforderlichen Raums die tatsächlich zu erwartende Verkehrsqualität vorherzusagen.

Zu nennen sind MILLER (1965), ERLANDER (1965, 1971), JACOBS (1974), BRILON (1976, 1977), van AS, van NIEKERK (2004), WU (2000, 2002) sowie LAVAL (2006). Die theoretischen Modelle sind weitgehend nur für Straßen ohne Überholrestriktionen geeignet. Alle Modelle benötigen erhebliche Vereinfachungen gegenüber der Realität, um lösbar zu sein. Sie sind mit realen empirischen Ergebnissen zu wenig abgeglichen, um direkt für die Verwendung in Regelwerken übernommen zu werden. Sie können jedoch für die Erforschung grundsätzlicher Zusammenhänge zwischen den Parametern des Verkehrsablaufs sowie für Plausibilitätsüberlegungen herangezogen werden. In diesem Sinne zeigen BRILON, WEISER (1997) mithilfe des Modells von BRILON (1976), dass die Stärke des Gegenverkehrs nur einen geringen Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit der betrachteten Fahrtrichtung hat. Die gleichen Autoren belegen auch, dass sich für zweistreifige Landstraßen – anders als auf Autobahnen – stets konkave (d. h. nach oben offene) Verläufe des q-V-Diagramms ergeben. Dies zeigt WU (2002) auch theoretisch auf.

2.3 Empirische Analysen des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstraßen

Im internationalen Kontext gibt es eine sehr große Anzahl von Publikationen über Messungen des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstraßen. Dabei ist auch die Herangehensweise an das Problem sehr vielfältig. Van AERDE, YAGAR (1983) analysieren auf der Basis einer umfangreichen Datenbank über Verkehrsmessungen aus dem Staat Ontario den Einfluss der Verkehrsstärke auf die Geschwindigkeit (10%-, 50%- und 90%-Perzentile) mit einer Unterscheidung beider Fahrtrichtungen. Die Zusammenhänge werden durch Regressionsgleichungen beschrieben. Es zeigt sich, dass die Geschwindigkeiten über einen weiten Bereich nicht von den Verkehrsstärken abhängen. Mit zunehmender Verkehrsstärke der betrachteten Fahrtrichtung wird der Verlauf der Geschwindigkeitskennwerte fast konstant. Dabei zeigt am ehesten noch die 90%-Geschwindigkeit einen Zusammenhang mit der Verkehrsstärke der Fahrtrichtung. Zusammenhänge mit dem

Verkehr der Gegenrichtung sind nur schwach ausgeprägt.

HARWOOD et al. (1999) beschreiben eine umfangreiche Untersuchung des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstraßen in den USA. Sie diente als Grundlage des Kapitels 20 im HCM 2000 und in modifizierter Weise auch des Kapitels 15 im HCM 2010.

Interessant ist eine Studie von POLUS, COHEN (2009), die eine Mischung aus Empirie und theoretischen Herleitungen enthält. Von 15 Strecken in Israel wurden Daten des Verkehrsablaufs erhoben. Diese werden mithilfe eines Modells aus der Warteschlangentheorie interpretiert. Dadurch werden Zusammenhänge zwischen der Länge der Kolonnen und der Verkehrsstärke hergestellt. Daraus kann auch das in den amerikanischen Richtlinien HCM (2000 und 2010) verwendete Qualitätsmaß PTSF (vgl. Kapitel 2.7.3) hergeleitet werden. Sofern man von der Richtigkeit der Herleitungen ausgeht, kann so dieses Maß PTSF empirisch bestimmt werden. Die Analyse ergibt, dass dieses Maß im HCM falsch angegeben wird. Weiterhin schlagen die Autoren ein neues Maß für die Qualität des Verkehrsablaufs vor, das allerdings völlig unanschaulich ist. Sie erläutern auch, dass sich diese Analyse nur für den Gesamtquerschnitt der Straße durchführen lasse.

Von LUTTINEN (2006) sind in Finnland Daten von 20 automatischen Zählgeräten auf Landstraßen über längere Zeiträume (trockenes Sommerwetter) ausgewertet worden. Das Analyse-Intervall hatte eine Länge von 15 Minuten. Die Verkehrsstärke wurde in Pkw-Einheiten pro Stunde ausgedrückt. Die gemessenen Geschwindigkeiten wurden in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke durch Regressionsrechnungen repräsentiert. Dabei bewährten sich konkave Funktionstypen (konkav = nach oben offene Kurven). Es wird darauf hingewiesen, dass große Lücken vor langsameren Fahrzeugen eine unvermeidliche Erscheinung auf Landstraßen sind, die zur Begrenzung der Kapazität führen. Der Einfluss der Stärke des Gegenverkehrs auf die mittlere Geschwindigkeit war gering. Die höchsten festgestellten Verkehrsstärken pro Richtung betragen 1.600 Pkw-E/h bei einer kritischen Verkehrsdichte von 18 bis 22 Pkw-E/km. Im Vergleich zum amerikanischen HCM2000 ergaben sich sehr stark abweichende Resultate.

Die umfassendste Analyse des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstraßen aus jüngerer Zeit in

Deutschland scheint die Untersuchung von BRILON, WEISER (1997) zu sein. Hier wurden an 14 Strecken Querschnittsmessungen sowie Fahrtzeitmessungen (bisherige Bezeichnung: Reisezeitmessungen) durchgeführt. Dabei konnten Verkehrsbelastungen bis zu 2.800 Kfz/h (in 5-Minuten-Intervallen) erhoben werden. Der größte Teil der Messergebnisse betrifft jedoch Verkehrsstärken, die deutlich unter 2.000 Kfz/h (jeweils Summe in beiden Richtungen) liegen. Die Kurzzeitmessungen werden ergänzt durch die Auswertung von Dauerzählstellen mit Verkehrsstärken bis 2.400 Kfz/h. Die Messergebnisse sind im Wesentlichen dazu verwendet worden, ein Simulationsmodell zu eichen. Erst mit diesem Modell werden gültige Zusammenhänge zwischen mittlerer Geschwindigkeit und der Verkehrsstärke ermittelt.

Messungen von BREßLER (2001) konzentrieren sich auf Steigungsstrecken von Autobahnen und Landstraßen. Unter anderem wurden auf Steigungen (bis zu 6 %) von Landstraßen örtliche Geschwindigkeiten und Fahrtzeiten (bisherige Bezeichnung: Reisezeiten) erhoben. Daraus ergaben sich q-V-Diagramme. Eine Interpretation der Daten erfolgte nur in Verbindung mit Simulationsrechnungen, die anhand der Daten kalibriert wurden.

Umfangreiche Messungen von Verkehrskenngrößen auf zweistreifigen Landstraßen sind in Deutschland auch von STEINAUER et al. (2008) durchgeführt worden. Erfasst wurden sowohl Geschwindigkeitsprofile für eine große Anzahl von Messfahrzeugen über längere Streckenabschnitte als auch querschnittsbezogene Werte (Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten). Die lokalen Messungen zeigten, eine gute Übereinstimmung der gemessenen q-V-Diagramme mit den entsprechenden Diagrammen aus dem HBS 2001. Eigentliches Ziel der Untersuchungen war es, den Einfluss von Knotenpunkten auf die Fahrtgeschwindigkeit – gemessen über Streckenabschnitte von ca. 5 bis 10 km Länge – zu beschreiben. So konnte der sogenannte „geometric delay“ (= Zeitverlust durch Bremsen und Anfahren am Knotenpunkt sowie durch langsames Fahren im Knotenpunktbereich) bestimmt werden. Im Ergebnis wird ein Verfahren hergeleitet, mit dem die Qualitätsstufen im Sinne des HBS 2001 für einen Abschnitt des Straßennetzes mit mehreren Strecken und Knotenpunkten bestimmt werden kann. Zusätzlich wurden Einschätzungen der Qualität des Verkehrsablaufs durch die Testfahrer systematisch erhoben, um die Bewertung des Verkehrsablaufs

auf Landstraßen in Qualitätsstufen nach dem HBS auf eine empirische Basis zu stellen.

Bei allen Messergebnissen (ebenso wie bei Ergebnissen von Simulationen) muss beachtet werden, dass Kapazitäten unterschiedlich sind, je nach dem aus welchen Zeitintervallen sie ermittelt wurden. So haben KELLER, SACHSE (1992) aufgezeigt, dass 5-Minuten-Intervalle etwa die 1,2-fache Kapazität von 1-Stunden-Intervallen ergeben. Diese Größenordnung bestätigt sich auch aus neueren stochastischen Analyseverfahren (vgl. z. B. BRILON et al. 2005). Dieser Zusammenhang wird vielfach von den Autoren nicht beachtet, sodass daraus Fehleinschätzungen der Kapazität mit erheblichen praktischen Auswirkungen entstehen können. Dieser Unterschied betrifft aber nur die Kapazität. Dagegen sind q-V-Diagramme aus verschiedenen Messintervallen durchaus vergleichbar, solange man sich dabei innerhalb des fließenden Verkehrs (d. h. bei Verkehrsstärken unterhalb der Kapazität) bewegt.

2.4 Simulationsmodelle des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstraßen

Die Anzahl funktionsfähiger mikroskopischer Simulationsmodelle für den Verkehrsfluss auf zweistreifigen Landstraßen ist begrenzt. Die international bekannten kommerziellen Softwarepakete (z. B. VISSIM, Paramics, Aimsun) enthalten keine direkt anwendbaren Komponenten, die zweistreifige Landstraßen nachbilden können. So ist die mikroskopische Simulation von zweistreifigen Straßen mit Gegenverkehr vornehmlich ein Thema für wissenschaftliche Spezialsoftware.

International ist am ehesten das Programm TRARR, das am Australischen ARRB entwickelt wurde (HOBAN et al. 1991), bekannt geworden. Simuliert werden Straßenabschnitte, zu denen der Verkehr nur an den beiden Enden zufließt oder abfließt (d. h. keine Knotenpunkte). Im Modell können bis zu 18 verschiedene Fahrzeugtypen berücksichtigt werden. Die Parameter dieser Typen müssen an örtliche Bedingungen angepasst werden, wenn das Modell außerhalb von Australien angewendet werden soll. Zusatzfahrstreifen können einbezogen werden (vgl. LOVELL, MAY, 1994). Im Modell können örtliche Überholverbote, Steigungen und Kurven sowie begrenzte Sichtweiten berücksichtigt werden. Die mögliche Verkehrsstärke ist auf 1.700 Kfz/(h und Richtung) begrenzt.

TRARR ist von verschiedenen Autoren angewendet worden (vgl. Hinweise bei LOVELL, MAY). Es besteht aber nach heute vorliegenden Informationen nur eine Version, die unter MS-Dos arbeitet. Insofern ist das Programm für heutige Computer kaum sinnvoll anwendbar.

ROADSIM ist ein Simulationsprogramm, das 1980 für die amerikanische Straßenbauverwaltung FHWA entwickelt wurde. MORALES, PANIATI (1986) haben das Modell mithilfe von beobachteten Verhaltensweisen auf seine Zuverlässigkeit überprüft. Die Daten wurden auf einer zweistreifigen Straße in Virginia erhoben. Als Maßstab wurden verwendet: mittlere Geschwindigkeit der Fahrzeuge, Verkehrsstärken, Länge der Fahrzeugkolonnen, Anteil der Zeit von Fahrzeugen in Kolonnen und andere. Die Analyse ergab eine hervorragende Übereinstimmung zwischen Simulation und Messergebnissen. Dieses Modell hat jedoch später keine weitere Bedeutung erlangt.

In den USA fand zeitweise auch das Modell TWOPASS Beachtung (St. JOHN, HARWOOD, 1986; DIXON et al. 2003). Das Modell ist von HARWOOD et al. (1999) erheblich verbessert worden. Mit dieser Version sind daraufhin von HARWOOD et al. umfangreiche Untersuchungen durchgeführt worden, die Eingang in das HCM 2000 gefunden haben. Weil das Modell nur für das Computer-Betriebssystem MS-Dos existiert, ist es heute praktisch nicht mehr anwendbar.

KIM (2006) hat für Verhältnisse in den USA das Simulationsmodell TWOSIM für zweistreifige Landstraßen entwickelt (siehe auch: KIM, ELEFTERIADOU, 2010). Damit ist der Einfluss verschiedener Parameter (u. a. Lkw-Anteil, Steigungen, einzelne Kurven, Stärke des Gegenverkehrs) auf die Kapazität in 5-Minuten-Intervallen untersucht worden. Die Ergebnisse können als qualitative Aussagen über vorhandene Zusammenhänge gewertet werden. So zeigt sich, dass die Kapazität nicht von dem Vorhandensein von Überholmöglichkeiten abhängt. Ebenso wirkt sich der Gegenverkehr nicht auf die Kapazität der betrachteten Fahrtrichtung aus. Dagegen wirken sich Steigungen, Kurven und Anschlussstellen sowie der Lkw-Anteil auf die Kapazität aus. Die endgültige Anwendbarkeit erfordert – auch nach Aussagen der Autoren – eine weitere empirische Bestätigung sowie eine Weiterentwicklung des Modells.

In den USA ist die Simulations-Software CORSIM sehr weit verbreitet. Die Standardversion verfügt

nicht über eine Möglichkeit zweistreifige Strassen mit Gegenverkehr zu simulieren. Von WASHBURN (siehe LI, WASHBURN, 2011; YU, WASHBURN, 2009) ist zeitgleich mit der Bearbeitung des hier vorliegenden Projekts ein Baustein für CORSIM hergestellt worden, mit dem eine zweistreifige Straße ohne Sichtweitenbegrenzungen durch eine Mikrosimulation behandeln kann. Diese Fassung würde im wissenschaftlichen Austausch – nicht jedoch in der offiziellen Version von CORSIM – zur Verfügung stehen. Eine Bewährungsprobe steht allerdings noch aus. Vor allem weil Steigungen und begrenzte Sichtweiten nicht berücksichtigt werden können, ist dieses Programm nicht für die hier vorliegende Untersuchung einsetzbar.

WU, HEIMBACH (1981) berichten über ein Simulationsmodell, das in Fortran programmiert wurde. Es berücksichtigt Steigungen, Knotenpunkte, Überholverbote, örtliche Geschwindigkeitsbeschränkungen und Zusatzfahrstreifen. Die Verkehrsnachfrage wird durch die Verkehrsstärken für fünf Fahrzeugkategorien in Fahrtrichtung und an den Knotenpunkten dargestellt. Die Wunschgeschwindigkeiten der Fahrer sowie das Beschleunigungs- und Bremsvermögen der Fahrzeuge können vorgegeben werden. Als Ergebnis der Simulation werden die Verteilung der Fahrtgeschwindigkeiten (bisherige Bezeichnung: Reisegeschwindigkeiten), Geschwindigkeitswechsel und ein Index der Verkehrsqualität ausgegeben. Der Verkehrsfluss an bestimmten Streckenabschnitten kann gezielt ausgewertet werden. Das Modell ist mit realen Daten kalibriert und validiert worden. Dabei ist nicht erkennbar, ob das Modell einer allgemeinen Nutzung zugänglich ist.

In Finnland ist das Simulationsprogramm HUTSIM seit mehreren Jahren in Verwendung. Die von der TU Helsinki herausgegebene Fassung (KOSONEN, 1999) enthält nur Autobahnen. Von KOSONEN (dem Entwickler von HUTSIM) ist jedoch in Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität Bochum auch eine Programmversion für zweistreifige Landstraßen entwickelt worden. WIETHOLT (2006) hat dafür eine Kalibrierung und Validierung mit deutschen Daten (BRILON, WEISER, 1997; BRESSLER, 2001; HBS 2001) durchgeführt. Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die realen q-V-Funktionen und die Kapazitäten sehr gut durch die Simulation repräsentiert werden konnten. Auch der Einfluss von Zusatzfahrstreifen an Steigungstrecken wurde realistisch von dem Modell beschrieben. Trotz dieses Resultats wird das

Modell von der TU Helsinki nicht in ihr Programmpaket HUTSIM integriert.

In Deutschland ist von BRILON, BRANNOLTE (1977) ein Simulationsmodell (SIMLA) für eine gerade zweistreifige Straße (mit Verkehr in zwei Richtungen) entwickelt worden. BRANNOLTE, HOLZ (1983) haben dieses Modell auf die Anwendung für kurvige Straßen mit begrenzter Sichtweite weiterentwickelt. BRANNOLTE hat das Modell später unter dem Namen LASI weiterentwickelt und kalibriert. Es wurde in dem Projekt von BRILON, WEISER (1997) mit den dort gemessenen Daten neu kalibriert. Auf dieser Basis wurde das Modell eingesetzt, um q-V-Diagramme für Landstraßen zu erstellen. Die darin geschätzten Punkte werden durch Regressionslinien repräsentiert. Diese Ergebnisse wurden schließlich in das HBS 2001 (Kapitel 5) übernommen. Diese Linie von Programmen ist nicht öffentlich zugänglich. Für das vorliegende Forschungsprojekt hat Prof. BRANNOLTE, Leiter der Professur Verkehrsplanung und Verkehrstechnik an der Bauhaus Universität Weimar, eine Version der Software zur Verfügung gestellt.

BASELAU (2006) hat das Modell auf dreistreifige Straßen mit der Betriebsform „2+1“ erweitert. Mit dem Modell sind – nach einer Eichung an Messergebnissen – Vorschläge für die standardisierte Analyse von „2+1“-Straßen erarbeitet worden.

Insgesamt muss festgestellt werden, dass ein öffentlich verfügbares mikroskopisches Simulationsmodell für zweistreifige Landstraßen nicht existiert. Die sinnvollste Lösung für dieses Projekt war somit die erneute Anwendung des Programms LASI.

2.5 Behandlung dreistreifiger Landstraßen (2+1-Verkehr)

Dreistreifige Landstraßen entstanden in Deutschland aus der Diskussion über sogenannte Zwischenquerschnitte (BRANNOLTE et al., 1992). Gemeint war damals damit der Versuch, zwischen den zweistreifigen Landstraßen und den vierstreifigen Autobahnen sinnvolle Übergangslösungen zu finden. Dabei wurden dreistreifige Straßen vor allem dadurch hergestellt, dass überbreite zweistreifige Strecken ummarkiert wurden. Aus ersten Versuchen (MEEWES, MAIER, 1984) ist in der Folge auf dem Weg über zahlreiche positive Erfahrungsberichte (u. a. FROST et al., 1992, MEEWES, MAIER,

1984, LINDNER, 1987, 1988, 1998) als Standard der Straßenquerschnitt RQ 15,5 in den RAS-Q (1996) entstanden, der nach dem Prinzip „2+1“ betrieben wird. Dies bedeutet: der mittlere der drei Fahrstreifen wird wechselweise einer der beiden Richtungen mittels der Fahrbahnmarkierung (ergänzt durch weitere Verkehrszeichen) als Überhol-Fahrstreifen zugewiesen.

Dazu gibt es eine große Reihe von Publikationen, von denen hier vor allem solche angesprochen werden, die mit der Beurteilung der Verkehrsqualität und mit der Schätzung der Kapazität zusammenhängen. Alle Berichte sind sich dahingehend einig, dass durch die 2+1-Verkehrsführung die Fahrtgeschwindigkeiten gegenüber der zweistreifigen Verkehrsführung ansteigen – ein im Grunde genommen triviales Resultat. Ein Zuwachs an Kapazität (d. h. maximal mögliche Verkehrsstärke) tritt durch die 2+1-Führung nur in einem begrenzten Umfang von bis zu 15 % ein. Dieser Effekt ergibt sich durch die Auflösung der Kolonnen in den zweistreifigen Abschnitten, die sich bis in die einstreifigen Abschnitte hinein günstig auf den Verkehrsablauf auswirkt.

Die notwendige und die zulässige Länge der zweistreifigen Abschnitte ergibt sich zunächst aus Überlegungen des Verkehrsablaufs (vgl. ROOS, 1989). Eine maßgebende Rolle spielen dabei aber auch Aspekte der Verkehrssicherheit und der Akzeptanz durch die Verkehrsteilnehmer. So haben WEBER, LÖHE (2004) festgestellt, dass aus Gründen der Verkehrssicherheit einstreifige Abschnitte nicht länger als 1.000 m sein sollten. IRZIK (2009) hat der Frage der optimalen Abschnittslänge innerhalb von 2+1-Strecken eine ausführliche Untersuchung gewidmet. Er hat durch Messungen Zusammenhänge der Kolonnenbildung auf den einstreifigen Strecken sowie der Kolonnenauflösung auf den zweistreifigen Abschnitten und auf der anderen Seite der Verkehrsstärke, dem Schwerverkehrsanteil und der Länge der Abschnitte hergeleitet. Daraus entwickelt er ein Verfahren zur Optimierung der Abschnittslängen. Dies führt zu optimalen Längen zwischen 800 m und 1.700 m, wobei die Resultate von der maßgebenden Verkehrsstärke und dem Anteil an Schwerverkehr abhängen. Diese Untersuchungen beziehen sich demnach eher auf eine Anwendung im Rahmen des Straßenentwurfs.

Dreistreifige Landstraßen mit der Betriebsform „2+1“ wurden in Deutschland insbesondere von

BASELAU (2006), (vgl. auch BRANNOLTE et al., 2004) auf ihre verkehrstechnische Leistungsfähigkeit untersucht. In der Untersuchung sind zunächst empirische Analysen des Verkehrsablaufs an sechs Strecken des Typs 2+1 durchgeführt worden. Die Ergebnisse dienten im Wesentlichen zur Kalibrierung des mikroskopischen Simulationsprogramms LASI (siehe Kapitel 2.4) mit seiner Erweiterung auf 2+1-Straßen. Mit diesem Programm wurden Simulationen für unterschiedlich konfigurierte Strecken von dreistreifigen Straßen, die nach den 2+1-Schema betrieben werden, durchgeführt. Die Simulationsergebnisse sind jeweils für die beiden Fahrtrichtungen statistisch analysiert worden und durch geeignete Regressionsfunktionen repräsentiert worden. Dabei ergaben sich unterschiedliche Funktionen für die einstreifigen (Wurzelfunktion für q-V-Funktion) und die zweistreifigen (lineare k-v-Funktion) Abschnitte. Die Kapazität der Strecken hat sich dabei nicht als vorrangig wichtig erwiesen, weil einerseits die wenigsten real vorhandenen dreistreifigen Strecken von Landstraßen tatsächlich ausgelastet sind und weil andererseits die nur abschnittsweise zweistreifige Verkehrsführung nicht primär der Kapazitätserhöhung dienen kann. Ab einer Verkehrsstärke von 1.500 Kfz/(h und Richtung) ist mit Störungen bei den Verflechtungsvorgängen von zwei auf einen Fahrstreifen vor den kritischen Wechselbereichen zu rechnen.

Aus den ermittelten q-V-Diagrammen entwickelt BASELAU ein Rechenverfahren zum Nachweis der Qualität des Verkehrsablaufs. Er schlägt dieses für die Aufnahme in ein zukünftiges HBS vor. Kennzeichnend sind u. a.:

- Die Länge der ein- und zweistreifigen Abschnitte hat einen Einfluss auf die erreichbaren Fahrtgeschwindigkeiten. Dieser wird durch Korrekturfaktoren berücksichtigt.
- Die Position des Abschnitts innerhalb der wechselnden Folge von ein- und zweistreifigen Strecken wirkt sich auf die erreichbare Fahrtgeschwindigkeit aus. Die höchste mittlere Geschwindigkeit wird sowohl für einen als auch für zwei Fahrstreifen auf dem jeweils ersten Abschnitt in Fahrtrichtung erreicht. Auch dieser Effekt wird durch Korrekturfaktoren berücksichtigt.

Die Anwendung des Verfahrens führt zu der Erkenntnis, dass ein 2+1-Querschnitt bis zu einem DTV von circa 20.000 Kfz/d sinnvoll eingesetzt werden kann. Die analytische Behandlung der Qualitätsanalyse führt nur zu näherungsweise gültigen

Resultaten, weil sie starke Vereinfachungen erfordert. Um eine realistischere Analyse zu ermöglichen, ist das Simulationsprogramm LASI2+1 so aufbereitet worden, dass Dritte es benutzen können. Tatsächlich steht es aber nicht allgemein zur Verfügung.

Im europäischen Ausland sind 2+1-Straßen insbesondere in Schweden angewendet worden. Wegen des hohen Unfallrisikos auf breiten (13 m befestigte Breite) Fernstraßen wurden ab Mitte der 1990er Jahre größere Streckenabschnitte in der Mitte durch Barrieren aus Drahtseilen geteilt, um Frontalzusammenstöße zu vermeiden. Im Zusammenhang damit wurden die Querschnitte in drei Fahrstreifen aufgeteilt, wobei der mittlere abschnittsweise je einer der beiden Fahrrichtungen zugewiesen wurde. Nach dem Jahr 2000 gab es bereits mehr als 1.000 km solcher Strecken. Von den anfänglichen Erfolgen berichten BERGH et al. (2000, 2003). Neben Aspekten des Entwurfs und der Sicherheit werden q-V-Diagramme dargestellt. Es wurden Verkehrsstärken bis zu 1.300 Fz/h pro Richtung beobachtet. Dabei wurde die mittlere Geschwindigkeit selbst bei dieser hohen Belastung noch nicht im Vergleich zu geringeren Verkehrsstärken reduziert. Die schwedischen Erfahrungen mit 2+1-Straßen finden im internationalen Rahmen die weitest gehende Beachtung.

Auch in Irland hatten sich überbreite zweispurige Landstraßen unter dem Gesichtspunkt der Verkehrssicherheit nicht bewährt. Seit ca. 2006 werden deshalb auch dort vorhandene Landstraßen in 2+1-Strecken umgewandelt. Basis dafür ist ein sehr ausführliches Regelwerk über die Gestaltung dieser Straßen (NRA, 2006). Wie in Schweden werden dabei Richtungstrennungen mithilfe von an Pfosten befestigten Drahtseilen verwendet. Berichte von 2+1-Straßen gibt es auch aus Finnland und Dänemark (HERRSTEDT, 2001). In Österreich gibt es eine Norm (FSV, 2008) über die geometrische Gestaltung der 2+1-Strecken. Aus allen diesen Ländern liegen jedoch keine Dokumentationen über Kapazität und Verkehrsqualität vor, die für ein verkehrstechnisches Berechnungsverfahren als Grundlage dienen können.

In Japan sind 2+1-Straßen unter der speziellen Problematik des Betriebs bei winterlichen Bedingungen geprüft worden (MUNEHIRO, 2011). In den USA fanden die europäischen Erfahrungen erst in jüngerer Zeit Beachtung. Dazu wurde eine Studienreise einer Expertengruppe in mehrere europäische

Ländern durchgeführt. Der daraufhin erschienene Bericht (POTTS, 2003) ist möglicherweise die beste Quelle für eine internationale Übersicht. Realisierungen von 2+1-Stecken sind daraufhin auch in den USA zur Erfahrungssammlung durchgeführt worden. In all diesen Fällen richtet sich aber das hauptsächliche Augenmerk auf die Verkehrssicherheit.

2.6 Internationaler Workshop bei der BAST

Die Bundesanstalt für Straßenwesen hat am 25. August 2010 – auch im Hinblick auf das hier behandelte Forschungsprojekt – einen internationalen Workshop zum Thema der zweistreifigen Landstraßen durchgeführt. Dabei wurde über den Stand der Erkenntnisse und der Regelwerke für die Ermittlung der Kapazität und der Verkehrsqualität von Landstraßen in den nordeuropäischen Ländern sowie in Spanien berichtet.

In Dänemark gilt noch eine Methodik als Standard, die auf dem HCM in seiner Interimsausgabe von 1994 beruht. Darin befinden sich auch Elemente aus älteren deutschen Richtlinien. Eine Neufassung war im Jahr 2010 in Bearbeitung. Darin werden die Pkw-Gleichwerte für schwere Fahrzeuge neu gefasst. Für Lastzüge ergeben sich dabei Werte um 2,0. Es werden neue q-V-Diagramme entwickelt, die bis zu einer Kapazität von 1.800 Pkw-E/h reichen. Dafür wurden bei dem Workshop konkrete Funktionen angegeben. Diese sind jedoch nicht nach Deutschland übertragbar, weil die zulässige Höchstgeschwindigkeit bei 80 km/h (90 km/h bei 2+1) liegt. Der Einfluss des Gegenverkehrs auf die Geschwindigkeit der betrachteten Fahrtrichtung erweist sich als äußerst gering. In die Untersuchung wird auch die Kolonnenbildung einbezogen, um die mögliche Anlehnung an die neueren Entwicklungen des amerikanischen HCM zu prüfen.

Aus Finnland berichtete LUTTINEN über umfangreiche Forschungsaktivitäten. Bei Messungen konnten nur Verkehrsbelastungen von bis zu 1.500 bis 1.600 Kfz/h beobachtet werden. Dennoch geht man davon aus, dass in einer Richtung maximal 1.700 Kfz/h verkehren können. Die Summe aus beiden Fahrtrichtungen kann danach maximal 3.200 Fz/h betragen. Die Verkehrsdichte bei Erreichen der Kapazität wird bei 20 Kfz/(km und Richtung) gesehen. Der Abfluss aus dem Stau

	HBS 2001	HCM 2000 + 2010
Verkehrsstärke	Fahrzeuge/Stunde	Pkw-E/h (pcu/h)
Schwerverkehr	in % des Gesamtverkehrs	durch Umrechnung in Pkw-Einheiten, die von der Steigung und weiteren Parametern abhängen
Dauer des Bemessungsintervalls	1 Stunde	15 Minuten
Maß der Qualität des Verkehrsablaufs	MQV = Verkehrsdichte in Fz/h	MOE = percent time spent following (PTSF)
Berücksichtigung der horizontalen Trassierung und Sichtweite	Krümmung in Richtungsänderungen [gon] pro km	Findet Eingang in die Free Flow Speed (FFS)
Berücksichtigung der Steigung	Umrechnung des Steigungsmaßes und der Länge der Steigung in eine Steigungsklasse (1 bis 5) mithilfe des Bemessungs-Schwerfahrzeugs	Umrechnung des Schwerverkehrs in Pkw-Einheiten

Tab. 1: Charakteristika der Regelungen im HBS und im HCM

(queue discharge flow) wird bei 300 bis 400 Kfz/h unter der Kapazität angesetzt (capacity drop). Zum Vergleich mit dem amerikanischen HCM wurde auch die dort verwendete Größe PTSF (vgl. Kapitel 2.7.3) analysiert. Dabei traten Abweichungen gegenüber amerikanischen Resultaten ein.

Aus der Praxis in Spanien wurde berichtet, dass man sich dort an amerikanischen Normen orientiert, jedoch auch deutsche Regelwerke zum Vergleich hinzuzieht. Aus eigenen Erfahrungen ist bekannt, dass die Kapazität pro Fahrtrichtung bei etwa 1.700 Kfz/h anzusetzen ist (vgl. auch ROMANA, NUNEZ, 2011). Die Anzahl der Überholungen findet bei der Qualitätsbeurteilung für den Verkehrsfluss eine erhebliche Aufmerksamkeit. Einige vorgestellte quantitative Ergebnisse können nur schlecht mit deutschen Resultaten verglichen werden, weil die zulässigen Geschwindigkeiten unterschiedlich sind.

Als Schlussfolgerungen aus dem Workshop lassen sich festhalten:

- Zahlreiche Länder in Europa orientieren sich vornehmlich an dem amerikanischen HCM, obwohl man erhebliche Abweichungen des HCM-Kapitels von der vor Ort beobachteten Realität feststellt. Eine hohe Beachtung finden jedoch auch deutsche Regelwerke. In allen Ländern werden aktuell empirische Untersuchungen mit dem Ziel eigener nationaler Regelwerke angestellt. Eine gegenseitige Abstimmung dieser Regelwerke in der Entstehungsphase wird von allen Beteiligten begrüßt.

- In allen Ländern konzentriert man sich auf die getrennte Betrachtung der Verkehrsströme beider Fahrtrichtungen der zweistreifigen Landstraßen.
- Die Kapazität einer Fahrtrichtung wird weitestgehend in der Größenordnung von 1.500 bis äußerstenfalls 1.800 Kfz/h gesehen.
- In allen Ländern hat sich gezeigt, dass die q-V-Diagramme einen konkaven Verlauf (d. h. besonders steiler Abfall bei geringen Verkehrsstärken mit Übergang in einen flachen Verlauf bei starkem Verkehr) aufweisen.
- Details können jedoch nicht direkt nach Deutschland übernommen werden, weil die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten durchweg unterschiedlich sind. Dazu kommt, dass die verschiedenen Regelwerke auch Widersprüche in wichtigen Details aufweisen.

2.7 Zweistreifige Landstraßen in Regelwerken der Verkehrstechnik

Die verkehrstechnische Bewertung zweistreifiger Landstraßen ist in Regelwerken zahlreicher Länder standardisiert. Die Betrachtung wird hier auf das deutsche HBS 2001 und das US-amerikanische HCM 2010 konzentriert. Die Besonderheiten dieser Regelwerke werden anhand der Tabelle 1 hinsichtlich der verwendeten Maße für die Quantität und die Qualität des Verkehrsablaufs verglichen.

Fahrzeugart	<ul style="list-style-type: none"> • alle Kfz • Pkw • Lkw, Schwerfahrzeuge (SV) • Umrechnung in Pkw-Einheiten (Pkw-E oder pcu)
Fahrtrichtung	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamtquerschnitt (= Summe über beide Fahrtrichtungen) • einzelne Fahrtrichtung

Tab. 2: Parameter zur Beschreibung der Verkehrsnachfrage

2.7.1 Maß der Verkehrsstärke

Als Maß zur Beschreibung der Verkehrsnachfrage (MBV) kommen für Landstraßen verschiedene Parameter in Betracht:

In Deutschland besteht seit Jahrzehnten die Tradition, als MBV alle Kfz (ohne irgendeine Umrechnung) für den Gesamtquerschnitt einzusetzen.

In den USA wird seit dem HCM 1950 die Stärke des Verkehrs für alle Arten von Verkehrsanlagen eine Umrechnung des Schwerverkehrs (aufgeteilt in Lkw und Freizeitfahrzeuge) in Pkw-Einheiten (pcu = passenger car unit) vorgenommen. Ihre Größe berücksichtigt in einer sehr komplexen Weise auch die Geländebeziehungen und die Auswirkung einzelner Steigungen. Dazu kommt – und das beeinträchtigt die eigentliche Logik der Pkw-Gleichwerte – dass die Verkehrsstärke selbst zu einem Parameter wird, von dem die Gleichwerte abhängen.

2.7.2 Maß der Verkehrsqualität

Als Maß der Qualität des Verkehrsablaufs (MQV) kommen in Betracht:

- mittlere Fahrtgeschwindigkeit (u. U. unterschieden nach Pkw und Schwerverkehr oder Gesamtverkehr),
- Kolonnenbildung; in USA: PTSF (= percent time spent following),
- Verkehrsdichte,
- Auslastungsgrad,
- Fahrzeitindex,
- Sonstige.

Die Verfasser von Regelwerken stimmen weitgehend darin überein, dass das Kriterium 1 eigentlich maßgebend sein sollte. Im HCM 1965 wurde dieses

Kriterium für zweistreifige Landstraßen angewendet. Auch in der aktuellen Fassung HCM 2010 wird die mittlere Fahrtgeschwindigkeit ATS (Average travel speed) als ergänzendes Maß für schnell befahrene Fernverkehrsstraßen (Klasse I) benutzt.

Der Verwendung der Fahrtgeschwindigkeit steht allerdings im Weg, dass sie als absolutes Maß nicht in Betracht kommt, denn verschieden trassierte Straßen bringen grundsätzlich unterschiedliche Fahrtgeschwindigkeiten mit sich. Eine Fahrtgeschwindigkeit von 40 km/h auf einer Hochgebirgsstraße muss als sehr gut angesehen werden, während sie auf einer flachen und geraden Strecke erst durch eine Überlastung herbeigeführt wird und insofern mit schlechter Verkehrsqualität einhergeht. Unter diesem Gesichtspunkt werden von den Regelwerken durchweg als MQV Surrogate (Ersatz-Parameter) für die mittlere Fahrtgeschwindigkeit verwendet. So kommt im HBS 2001 die Verkehrsdichte als MQV für Landstraßen zur Verwendung. Zusätzlich wird aber im HBS 2001 auch die mittlere Fahrtgeschwindigkeit durch v-q-Diagramme angegeben. Dabei werden – der langjährigen deutschen Tradition folgend – nur die Geschwindigkeiten der Pkw betrachtet.

Ein solches Surrogat ist im amerikanischen HCM die Größe PTSF (Percent Time Spent Following; übersetzt: mittlerer Prozentsatz der Zeit in der ein Fahrzeug einem anderen folgt). Dieser Parameter wird seit dem HCM 1985 verwendet. Damals wurde der Parameter zunächst PTD (= percent time delay) genannt. Gemeint war damit: der durchschnittliche Anteil der Fahrtzeit, den Fahrzeuge in Kolonnen hinter langsameren Fahrzeugen verbringen. In den Ausgaben des HCM 1997 sowie in den Fassungen des HCM 2000 und 2010 wird praktisch die gleiche Variable mit der Bezeichnung PTSF verwendet. Diese Variable ist aber inzwischen stark in die Kritik geraten (siehe unten).

Die Verkehrsdichte wird im deutschen HBS 2001 als MQV verwendet. Dabei wird eine fiktive Verkehrsdichte definiert.

$$k = \frac{q}{v} \quad (1)$$

mit

k fiktive Verkehrsdichte [Kfz/km]

q Verkehrsstärke [Kfz/h]

v mittlere Geschwindigkeit der Pkw [km/h]

Diese Variable ist deshalb als fiktive Größe anzusehen, weil für q alle Fahrzeuge (Pkw + SV) eingesetzt werden. Für V wird aber nur die Geschwindigkeit der Pkw verwendet. Der Schwerverkehr bleibt bei diesem Qualitätsmaß unberücksichtigt. Deswegen ist die Verkehrsdichte in der Realität größer als dieser fiktive Wert.

Ein Fahrzeitindex setzt die aktuelle Fahrzeit ins Verhältnis zu einer genormten Fahrzeit, z. B.:

$$I_{Fz} = \frac{T_{\text{aktuell}}}{T_0} \quad (2)$$

mit

I_{Fz}	Fahrzeitindex	[-]
T_{aktuell}	Fahrzeit für eine beliebige Strecke bei der untersuchten Verkehrslage	[s]
T_0	Fahrzeit für dieselbe Strecke bei einer Verkehrsstärke, die gegen null tendiert	[s]

Umgekehrt könnte man statt des Fahrzeitindex auch einen Geschwindigkeitsindex bilden.

Beide Arten der Indexbildung werden in Regelwerken bisher nicht für 2-streifige Landstraßen verwendet. Solche Indices werden aber in Fachkreisen (vgl. ESTEL, 2009 und die dort gegebene Literaturübersicht) inzwischen als besonders gut geeignetes MQV angesehen, weil sie auch im Zustand der Überlastung konsistente Beurteilungsmöglichkeiten ergeben. Die Indices eignen sich allerdings weniger für die Klassifizierung der Verkehrsqualität auf Landstraßen. Wegen des flachen Verlaufs der q - V -Kurven im Bereich hoher Verkehrsstärken ergeben die Indices keine sinnvolle Möglichkeit zur Abgrenzung unterschiedlicher Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs.

2.7.3 Entwicklungen im amerikanischen Highway Capacity Manual (HCM)

HCM 1950 bis 1985

Eine sehr authentische Übersicht über die historische Entwicklung des Highway Capacity Manual HCM von 1950 bis zum HCM 2000 gibt KITTELSON (2000).

Das Kapitel über 2-streifige Landstraßen im ersten HCM 1950 beruhte auf den Forschungsergebnissen von NORMAN (1942) und NORMAN, WALKER

(1949). Damals gab es noch nicht das Level-of-Service (LOS)-Konzept. Stattdessen wurden drei Stufen der Kapazität betrachtet:

- Basiskapazität (bei idealen Bedingungen),
- mögliche Kapazität (größte mögliche Verkehrsstärke bei den tatsächlich vorhandenen Bedingungen),
- praktische Kapazität (Verkehrsstärke bei zumutbarer Verkehrsqualität).

Die Verkehrsstärke wurde in Pkw-Einheiten umgerechnet. Berücksichtigt wurden Steigungen, Sichtweiten, Fahrstreifenbreiten, Überholraten. Insgesamt wurde eine Kapazität von bis zu 2.000 pcu/h (Summe beider Richtungen) für möglich gehalten. Dieser Basiswert war durch zahlreiche Faktoren abzumindern. Insgesamt wurde also ein vergleichsweise zu heutigen Erkenntnissen geringes Leistungsvermögen unterstellt.

Im HCM 1965 erschien erstmals das LOS-Konzept – also eine Klassifizierung der Verkehrsqualität in der Art amerikanischer Schulnoten von A = „sehr gut“ bis F = „ungenügend“. Es verwendet als MQV (auf amerikanisch: MOE = measure of effectiveness) die mittlere Geschwindigkeit (genau: operating speed = höchste Fahrtgeschwindigkeit, gemittelt über alle Fahrzeuge, bei guten äußeren Bedingungen (Wetter), ohne Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit oder der Entwurfsgeschwindigkeit).

Für die Geschwindigkeit wird hier ein konkaver Verlauf der q - V -Kurven unterstellt. Der Schwerverkehr wird je nach Länge und Maß von Steigungen in Pkw-Einheiten umgerechnet (mit Gleichwerten bis zu 108!). Dabei hängt der Umrechnungsfaktor von der Verkehrsstärke ab, was eigentlich dem Grundverständnis eines Pkw-Gleichwertes widerspricht. Auch im HCM 1965 wird 2.000 pcu/h als Höchstwert der denkbaren Kapazität (Summe aus beiden Fahrtrichtungen) angesehen.

Im HCM 1985 wird diese maximal unter idealen Bedingungen denkbare Kapazität auf 2.800 pcu/h angehoben. Als MQV werden in etwas unübersichtlicher Weise drei verschiedene Parameter definiert:

- Auslastungsgrad (v/c -ratio),
- percent time delay (PTD; siehe oben),
- mittlere Fahrtgeschwindigkeit.

Dabei ist die mittlere Fahrtgeschwindigkeit (bisherige Bezeichnung: Reisegeschwindigkeit = Mittel über alle Fahrzeuge und beide Richtungen) entscheidend für die Einstufung in den LOS.

Die tatsächliche Kapazität wird berechnet unter Berücksichtigung des Auslastungsgrades, der Verkehrsanteile beider Fahrtrichtungen, der Fahrstreifenbreite, der Lkw-Anteile, der Steigungen (gehen in die SV-Umrechnung in pcu ein). Die maßgebliche Geschwindigkeit muss iterativ oder grafisch ermittelt werden.

In der Neuauflage des HCM von 1997 wurden neue Elemente eingebracht, die bis zu der heute noch gültigen Fassung des HCM 2010, Kapitel 15, führen. Dieses Kapitel ist aus dem HCM 2000, Kapitel 20, entwickelt, das sich weitestgehend auf die Untersuchungen von HARWOOD et al., 1999 abstützt.

HCM 2000, Kapitel 20 in Verbindung mit Kapitel 12

Es werden zwei Klassen von 2-streifigen Landstraßen definiert (Kapitel 12):

- Klasse I: wichtige Hauptverkehrsstraßen auf denen die Fahrer hohe Geschwindigkeiten erwarten. Hier hängt die Einstufung in den LOS von zwei Kriterien ab:
 - mittlere Fahrtgeschwindigkeit (bisherige Bezeichnung: mittlere Reisegeschwindigkeit = ATS, average travel speed). Die Grenze für LOS D liegt bei 70 km/h,
 - PTSF (percent time spent following) = mittlerer Prozentsatz der Fahrtzeit, in der Fahrzeuge gezwungen sind, einem voranfahrenden Fahrzeug zu folgen. Bei LOS D darf dieser Prozentsatz bis zu 80 % betragen.
- Klasse II: regionale Straßen auf denen die Fahrer nicht unbedingt hohe Fahrtgeschwindigkeiten erwarten. Hier wird nur PTSF als Kriterium verwendet.

Die grundsätzliche Kapazität für eine Fahrtrichtung wird zu 1.700 pcu/h angesetzt. Eine Abhängigkeit vom Gegenverkehr wird dabei nicht gesehen. Über längere Abschnitte wird jedoch keine höhere Verkehrsstärke als 3.200 pcu/h als möglich angesehen. Für kürzere Abschnitte, z. B. Brücken oder Tunnel erhöht sich dieser Wert auf 3.600 pcu/h.

Die betrachtete Verkehrsstärke umfasst grundsätzlich die Summe aus beiden Fahrtrichtungen. Alle Betrachtungen beziehen sich auf das am stärksten belastete 15-Minuten-Intervall. Die für den einzelnen Anwendungsfall vorgegebene stündliche Verkehrsnachfrage wird korrigiert durch:

- PHF = peak hour factor = Verhältnis der Verkehrsstärke in der Stunde dividiert durch die Verkehrsstärke in der höchstbelasteten Viertelstunde (d. h. $PHF \leq 1$).
- Faktor zur Berücksichtigung des Geländetyps (Flachland, Hügellandschaft), der wiederum von der Verkehrsstärke abhängt. Der Faktor muss zur Berechnung der ATS anders angesetzt werden als zur Ermittlung der PTSF.
- Faktor zur Berücksichtigung des SV (unterschieden nach Lkw/Busse und Freizeitfahrzeugen). Hier wird wiederum nach Geländetyp sowie nach der Zielgröße ATS oder PTSF unterschieden.

Einerseits werden dabei einige Einflussgrößen in anscheinend kritischer Weise vereinfacht (nur 2 Geländetypen). Andererseits erfordern die ineinander verflochtenen Definitionen eine iterative Ermittlung der maßgebenden Verkehrsstärke. Dies erweist sich für die Anwendung der Rechnung als ein erhebliches Problem.

Für die Berechnung der mittleren Fahrtgeschwindigkeit muss zunächst die FFS (= free flow speed = Geschwindigkeit bei sehr geringer Verkehrsstärke) geschätzt werden. Diese könnte im Einzelfall auch aus Messungen auf der betrachteten Strecke ermittelt werden. Dann soll jedoch der Messwert korrigiert werden. Daneben gibt es eine Schätzmethode für die FFS. Im Kern geht diese aber von einem frei zu schätzenden Basiswert (BFFS) aus, für den kein klarer Anhaltswert geboten wird. Obwohl für die Festlegung von BFFS eher Willkür vorgegeben ist, wird dieser Wert dann aber detaillierten Korrekturen unterworfen (für die Fahrstreifen- und Bankettbreite sowie die Dichte der Zufahrten/Anschlusswege).

Die mittlere Fahrtgeschwindigkeit ergibt sich dann in linearer Abhängigkeit von der Verkehrsstärke (Summe aus beiden Fahrtrichtungen und von einem Faktor zur Berücksichtigung von Überholverböten/Überholmöglichkeiten).

Kritisch muss dazu angemerkt werden, dass man das Ergebnis für die mittlere Fahrtgeschwindigkeit

fast beliebig ermitteln kann, weil es für den Ausgangswert FFS keine klaren Vorgaben gibt. Dagegen erscheinen die anschließenden Korrekturen in Stufen von 0.1 km/h eher als überzogen genau.

Für die Feststellung des Parameters PTSF gibt es dagegen eine klare Rechenanweisung. Neben der grundsätzlichen e-Funktion gibt es Korrekturwerte für den Einfluss der Aufteilung des Verkehrs auf die beiden Richtungen und für den Anteil der Überholverbotszonen.

Neben der Rechenvorschrift für den Gesamtquerschnitt gibt es eine Methode für die beiden einzelnen Fahrtrichtungen. Diese ist vor allem anzuwenden für Steigungs- und Gefällestrecken ($s > 3\%$ und Länge $> 0,4$ km). Die Rechenschritte sind ähnlich wie zuvor für die normale Behandlung. Jedoch gibt es eine Reihe von besonderen Anpassungsfaktoren für alle betrachteten Parameter, die in mehreren großen Tabellen angegeben sind. Darunter befinden sich Pkw-Gleichwerte für Lkw von bis zu 34. Unübersichtlich wird dabei, wie sich das Maß und die Länge der Steigung in ihren Einflüssen auf die einzelnen Korrekturwerte überlagern. Obwohl die einzelnen Rechenschritte eher einer sehr einfachen Arithmetik folgen, wird die Durchführung der Rechnung sehr kompliziert. Vor allem verliert der Anwender dabei jeglichen Eindruck einer Plausibilität.

Schließlich gibt es noch Rechenanweisungen zur Berücksichtigung von Zusatzfahrstreifen. Dabei wird PTSF in Abhängigkeit von den Längenverhältnissen der Strecken mit und ohne Zusatzfahrstreifen umgerechnet. Ähnlich wird auch die mittlere Fahrtgeschwindigkeit korrigiert.

Funktionen für die Parameter ATS und PTSF sind auch für Verhältnisse in Brasilien hergeleitet worden (BESSA, SETTI, 2011).

Dieses Kapitel im HCM 2000 hat eine erhebliche Kritik erfahren. Van AS, van NIEKERK (2004) zeigen anhand von Daten aus Südafrika, dass das HCM-Kapitel teilweise völlig falsche Resultate liefert. Auch die Mitglieder des Komitees, das das HCM-Kapitel bearbeitet, halten dieses Kapitel eher für einen Schwachpunkt des gesamten Werkes. Ein entsprechendes Arbeitspapier dieses Komitees ist unter LUTTINEN et al. (2008) zitiert. Dabei geht es nicht um die oben anklingende Kritik am Konzept zahlreicher Details. Vielmehr werden die im Kapitel 20 verwendeten quantitativen Zusammenhänge angezweifelt. Dazu gehören:

- PTSF für den Gesamtquerschnitt und für die einzelne Fahrtrichtung werden nach unterschiedlichen Ansätzen ermittelt. Daraus werden deutlich widersprüchliche Resultate errechnet.
- Die Schätzmethode kann zu $PTSF > 100\%$ führen. Dies wird in einem später erschienenen Forschungsbericht (HARWOOD et al., 2003) korrigiert.
- Resultate aus der Methode für die einzelne Fahrtrichtung werden als realistischer eingeschätzt.
- Die benutzte Einflussgröße (Verkehrsstärke Richtung 1/Richtung 2) wird als nicht aussagekräftig erkannt. Wichtiger ist die absolute Verkehrsstärke des jeweiligen Gegenverkehrs. Dies deckt sich mit Ergebnissen nach BRILON (1976), die von BRILON, WEISER (1997) entsprechend ausgearbeitet wurden und theoretischen und empirischen Ergebnissen anderer Autoren.
- Als Konsequenz aus der kritischen Überprüfung wird empfohlen, in Zukunft nur noch die Methode zu verwenden, die sich auf eine einzelne Fahrtrichtung konzentriert.

Zusätzlich wird kritisch angemerkt:

- PTSF ist praktisch nicht messbar. Es hängt zu unpräzise von Überlastungserscheinungen ab.
- Auch für die Fahrer sei dieses Maß nicht erfassbar. Deshalb entspricht es auch nicht ihrem Empfinden von der Qualität des Verkehrsablaufs.
- Aus diesen Gründen wird PTSF als entscheidendes Qualitätskriterium zu überprüfen sein.
- Die unterstellte Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Verkehrsstärke wird völlig als falsch angesehen.

Die Beurteilung des Kapitels 20 (zusammen mit 12) des HCM 2000 führt eindeutig zu dem Schluss: Das HCM 2000 ist hinsichtlich zweistreifiger Landstraßen auf keinen Fall ein Regelwerk, an dem sich die Weiterentwicklung der Methoden in Deutschland orientieren sollte.

HCM 2010, Kapitel 15

Das HCM 2010 ist im März 2011 veröffentlicht worden. Das Kapitel 15 übernimmt viele Bestandteile von der Fassung aus dem HCM 2000, obwohl die zuvor genannte Kritik seit einiger Zeit bekannt ist. Damit beruht es weiterhin im Wesentlichen auf dem Bericht von HARWOOD et al. (1999). Grund für die

Beibehaltung der bisherigen Grundlagen ist die Tatsache, dass für dieses Kapitel keine Forschungsmittel bereitstanden. Es werden aber einige Änderungen in dem neuen Kapitel vorgenommen. Diese stammen aus dem Bericht von HARWOOD et al. (2003) und der kritischen Sicht im Papier des HCM-

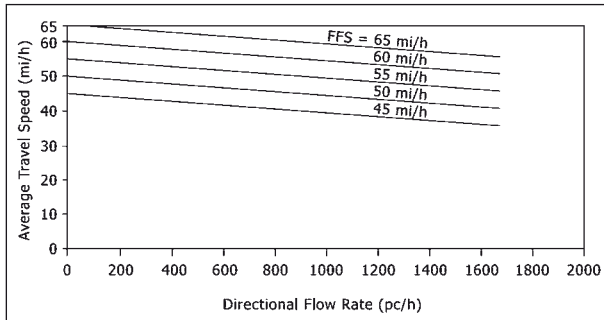


Bild 1: Mittlere Fahrtgeschwindigkeit (ATS als Funktion der Verkehrsstärke (eine Fahrtrichtung); Quelle: HCM 2010, Exhibit 15-2

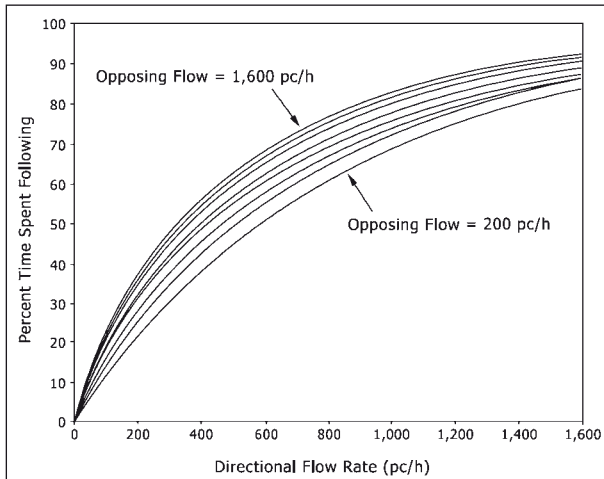


Bild 2: PTSF als Funktion der Verkehrsstärke in Fahrtrichtung und in Gegenrichtung; Quelle: HCM 2010, Exhibit 15-2

Komitees (LUTTINEN et al., 2008). Aus europäischer Sicht ist ein bedeutender Unterschied, dass das HCM 2010 erneut nur als Version mit den alten amerikanischen Maßen (nicht mehr metrisch wie das HCM 2000) erscheint.

Es werden nun drei Klassen von zweistreifigen Landstraßen definiert:

- Klasse I: wichtige Haupt- und Fernverkehrsstraßen auf denen die Fahrer hohe Geschwindigkeiten erwarten,
- Klasse II: regionale Straßen auf denen die Fahrer nicht unbedingt hohe Fahrtgeschwindigkeiten erwarten, weil keine großen Entfernungen zurückgelegt werden oder weil die Strecke durch bewegtes Gelände führt,
- Klasse III: Straßen, die durch Ortschaften führen.

Wesentliche Neuerung ist es, dass jetzt eine richtungsbezogene Analyse vorgenommen wird.

Die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen der Verkehrsstärke und den beiden verwendeten Qualitätsmaßen sind in Bild 1 und Bild 2 dargestellt. Die grundsätzliche Kapazität für eine Fahrtrichtung liegt weiterhin bei 1.700 pcu/h. Bei einer so hohen Verkehrsbelastung wird das Maximum des Gegenverkehrs bei 1.500 pcu/h gesehen, sodass keine höhere Verkehrsstärke als 3.200 pcu/h als Summe beider Richtungen als möglich angesehen wird. Für kürzere Abschnitte, z. B. zwischen mehrstreifigen Anschlussstrecken erhöht sich dieser Wert auf 3.400 pcu/h.

Als Maße der Verkehrsqualität werden die Parameter verwendet, die in Tabelle 3 dargestellt sind.

Maße der Verkehrsqualität		Grenze für LOS D	Straßen-Klasse		
			I	II	III
ATS	= (average travel speed) = mittlere Fahrtgeschwindigkeit	> 40-45 mile/h (I)	⊕	⊕	
PTSF	= (percent time spent following) = mittlerer Prozentsatz der Fahrzeit, in der Fahrzeuge gezwungen sind, einem voranfahrenden Fahrzeug zu folgen	< 80 % (I) < 85 % (II)		⊕	
PFFS	= (percent of Free-Flow Speed) = Verhältnis der momentanen Reisegeschwindigkeit zur Geschwindigkeit bei geringem Verkehr in %	< 66,7 % (III)			⊕
BLOS	= (bicycle Level of Service) = eine zusammengesetzte Wertung mehrer Gesichtspunkte zur Bewertung der Verkehrsqualität für Radfahrer	< 4,5			

Tab. 3: Maße der Verkehrsqualität; Quelle: HCM 2010

In dem Analyse-Algorithmus ist zuerst die FFS (Free Flow Speed) zu bestimmen. Bei vorhandenen Straßen werden dafür Messungen empfohlen. Auch ansonsten werden Messungen auf ähnlichen Straßen für eine gute Lösung gehalten. Wenn keine Messung bei geringer Verkehrsstärke möglich ist, sollen die Messwerte anhand der erhobenen Verkehrsstärke durch eine vorgegebene Gleichung in die FFS umgerechnet werden. Aber auch eine reine Schätzung wird als möglich angesehen.

Die so ermittelte FFS wird als Basiswert angesehen. Dieser wird korrigiert, um die Querschnittsbreite und die Dichte der Zufahrten zu berücksichtigen.

Nächste Aufgabe ist die Errechnung der Nachfrage-Verkehrsstärke in pcu/h. Dazu wird die stündliche Verkehrsstärke der betrachteten Fahrtrichtung umgerechnet mit

- dem PHF (= peak hour factor) für die Umrechnung in ¼-Stunden-Intervalle,
- einem Faktor zur Berücksichtigung der Steigungen (nur Unterscheidung nach Flachland und bergab oder hügeligem Gelände (→ Erhöhung um bis zu 50 %, Exh. 15-9) sowie für besondere Steigungsstrecken (→ bei $s > 6.5\%$ und 4 km Länge : Erhöhung um bis zu 300 %, Exh. 15-10),
- einem Faktor zur Berücksichtigung des Schwerverkehrs, der sowohl von der Verkehrsstärke als auch von den Steigungsverhältnissen abhängt (Gleichwerte bis zu 15). Für steile Gefällestrecken wird eine eigene Umrechnung vorgesehen.

Die beiden zuletzt genannten Faktoren überlagern Einflüsse der Verkehrsstärke und der Steigungen in einer kaum nachvollziehbaren Weise. Völlig unübersichtlich wird das Verfahren dadurch, dass zur Errechnung jeder der Zielgrößen ATS und PTSF eine eigene Umrechnung der Verkehrsstärke in Pkw-Einheiten (pcu) erfolgen muss. Allein die Beschreibung dieser Umrechnungen der Verkehrsnachfrage nimmt 10 Seiten mit zahlreichen Formeln und Tabellen in Anspruch.

Versteckt in diesen Seiten finden sich dann relativ einfache Formeln zur Errechnung von

- ATS (eq. 15-6) als einfache lineare Gleichung für die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von den Verkehrsstärken beider Fahrtrichtungen mit einem Korrekturglied für den Anteil von Zonen, in denen nicht überholt werden kann, und

- PTSF (eq. 15-9 und 15-10) als Exponentialfunktion in Abhängigkeit von den Verkehrsstärken beider Fahrtrichtungen mit einem Korrekturglied für den Anteil von Zonen, in denen nicht überholt werden kann.

Zusätzlich gibt es eine Reihe von Methoden zur Einschätzung der Konsequenzen von Zusatzfahrstreifen. Die Auswirkungen eines zusätzlichen Fahrstreifens auf ATS und PTSF werden durch getrennte Gleichungen ermittelt. Dabei wird nach reinen Überholfahrstreifen und Kriechspuren an Steigungsstrecken unterschieden.

Eine weitere längere Methode ist für die Einschätzung der Verkehrsqualität aus Radfahrersicht aufgeführt. In die Qualitätsbeurteilung gehen hier neben verkehrlichen Parametern auch geometrische Eigenschaften der Straße ein.

Weiterhin findet sich eine einfachere Vorgehensweise zur Beurteilung einer zweistreifigen Landstraße im Rahmen einer Vorplanung.

Zusammenfassend ist festzustellen:

- Die Analyse erfolgt jetzt für jede Fahrtrichtung getrennt.
- Die Umrechnung der Verkehrsnachfrage in Pkw-Einheiten (pcu) erfolgt mit Gleichwerten, die ihrerseits von der Verkehrsstärke abhängen. Dies ist eine systematische Schwäche und letztlich ein logischer Widerspruch. Dieses Problem hat bisher in Deutschland dazu geführt, keine Pkw-Einheiten bei der Beurteilung von Landstraßen zu wählen.
- Die Berechnungen nach dem neuen HCM sind – wie zuvor – unübersichtlich. Der Einflussparameter geht an verschiedenen Stellen in die Berechnungen ein. Dies trägt nicht zur Plausibilität der Vorgehensweise bei.
- Die von LUTTINEN et al. (2008) genannte Kritik bezieht sich auch auf die hier gewählte Vorgehensweise. D. h.: auch innerhalb des verantwortlichen Komitees besteht eine erhebliche Distanz zu der neu veröffentlichten Methode.

Insgesamt geben die Unübersichtlichkeit des Verfahrens sowie die distanzierte Sicht der Verfasser hinreichend Anlass, die Verfahren des HCM 2010 distanziert zu betrachten, wenn es um die Frage geht, ob hieraus methodische Ansätze für deutsche Standardverfahren übernommen werden können.

2.8 HBS 2001

Das HBS 2001 enthält in Kapitel 5 eine Methode zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Landstraßen. Die Vorgehensweise wurde auf Basis der Arbeit von BRILON, WEISER (1997) entwickelt. Sie lässt sich durch folgende Stichpunkte kennzeichnen:

- Bearbeitung beider Fahrrichtungen in einer gemeinsamen Sicht. Für eine richtungsorientierte Sicht wird ein provisorisches Verfahren genannt.
- Maß für die Qualität des Verkehrsablaufs ist die Verkehrsdichte (siehe oben: fiktive Verkehrsdichte).
- Die Verkehrsdichte wird aus der vorgegebenen Bemessungsverkehrsstärke und der mittleren Fahrtgeschwindigkeit (bisherige Bezeichnung: Reisegeschwindigkeit) der Pkw errechnet. Als hinnehmbar (Stufe D) wird $k = 30$ Kfz/km angesehen.
- Die Fahrtgeschwindigkeit ist aus einer größeren Anzahl von q - V -Diagrammen zu entnehmen.
- Diese Diagramme sind gegliedert nach der Kurvigkeit (in gon/km) der Straße (eingeteilt in 4 Klassen) und nach 5 Steigungsklassen.
- Die Steigungsklassen ergeben sich aus dem Maß der Steigung und der Länge einer Steigungsstrecke unter Verwendung eines sogenannten Bemessungsschwerfahrzeugs (BSFZ), das in der Arbeit von BREßLER (2001) entwickelt wurde. Gemeint ist mit dem BSFZ ein kinematisches Rechenverfahren, das Geschwindigkeitsprofile eines 85%-Lkw für verschiedene Steigungswerte ermittelt. Der „85%-Lkw“ ist ein Lkw, dessen spezifische Leistung (in kW Motorleistung/Tonne des tatsächlichen Gesamtgewichts) der 85%-Perzentile aller Lkw entspricht (= 7,1 kW/t), d. h. 15 % der Lkw haben ein noch schlechteres Leistungsvermögen. Die grafische Darstellung dieser Geschwindigkeitsprofile ermöglicht es, die geringste Fahrgeschwindigkeit eines solchen Lkw in einer Steigungsstrecke (auch mit wechselnder Gradienten) zu ermitteln.
- Die gesamte untersuchte Strecke kann aus Teilstrecken zusammengesetzt werden. Aus deren Analyse kann eine Beurteilung der gesamten Strecke gebildet werden.
- Die Einbeziehung von Zusatzfahrstreifen in die Berechnung ist nicht vorgesehen. Diese Aufga-

be könnte nur außerhalb des Regelwerks nach der standardisierbaren Methode von BREßLER (2001) durchgeführt werden.

2.9 Schweizer Norm

In der Schweiz ist 2010 eine Norm (VSS, 2010) eingeführt worden, die eine Beurteilung der Verkehrsqualität für zweistreifige Landstraßen ermöglicht. Sie lehnt sich von der Methodik und teilweise auch von den einzelnen Werten der Parameter her eng an das HBS 2001 an.

3 Hinweise aus der Praxis

Bei der Weiterentwicklung eines bestehenden und in der Praxis bereits erprobten Verfahrens spielt eine Analyse der vorliegenden Erfahrungen selbstverständlich eine wesentliche Rolle. Es wurde daher eine systematische Befragung der Anwender des bisherigen Bemessungsverfahrens durchgeführt und durch eine Reihe von Gesprächen mit Experten aus den Straßenbauverwaltungen der Bundesländer ergänzt.

3.1 Schriftliche Befragung der Anwender

Um in einem ersten Schritt die Hinweise der Anwender systematisch erfassen zu können, wurde ein Fragebogen (vgl. Anhang 1) zusammengestellt, der an die zuständigen Landesämter und -betriebe bzw. Ministerien sowie an das Bundesverkehrsministerium versandt wurde.

Von den insgesamt 15 angeschriebenen Dienststellen haben sich 10 mit der Nennung eines Ansprechpartners zurückgemeldet. Nach Versand des Fragebogens an diese 15 Dienststellen gingen Antworten von insgesamt 14 Personen ein. Die Auswertung dieser Antworten hat gezeigt, dass das Verfahren von den Befragten in den meisten Fällen bisher nur relativ selten angewandt wurde (vgl. Tabelle 4). Die konkrete Frage lautete: Wie häufig haben Sie das Verfahren für die Bemessung von Landstraßen aus dem HBS angewandt bzw. anwenden lassen?

Bezüglich der Charakteristik des Verfahrens gehen die Bewertungen weit auseinander (vgl. Tabelle 5). Anhand dieser Antworten lässt sich noch keine

	seit Erscheinen des HBS	im letzten Jahr
vereinzelt	4	9
< 5 mal	6	3
< 10 mal	1	1
10 mal und häufiger	2	-

Tab. 4: Häufigkeit der Anwendung des Verfahrens (Anzahl der Nennungen)

Maß der Zustimmung							
Das Verfahren ist ...	+++	++	+	-	--	---	Das Verfahren ist ...
einfach	1	3	3	3	3		schwierig
plausibel	1	3	2	5	1		unplausibel
zügig anwendbar		6	1	3	2	1	langwierig
eindeutig	1	4		7			uneindeutig
nachvollziehbar		6	1	4	2		nicht nachvollziehbar
realitätsnah		3	3	5	1		realitätsfern
belastbar		2	6	2	1		angreifbar
hilfreich	1	6	1	3	1	1	unbedeutend

Tab. 5: Wie würden Sie das Verfahren charakterisieren? (Anzahl der Nennungen)

klare Aussage darüber treffen, an welchen Stellen Schwierigkeiten auftauchen bzw. aus welchen Gründen das Verfahren relativ selten angewandt wird.

Es zeigt sich allerdings eine insgesamt eher positive Wertschätzung des Verfahrens: Die Gesamthäufigkeit der Nennungen schwach bis deutlich negativer Attribute (rechte Hälfte der Tabelle) liegt bei 45, die Häufigkeit der Nennungen schwach bis deutlich positiver Attribute (linke Hälfte der Tabelle) bei 54. Betrachtet man nur die Antworten, die ein deutliches Maß an Zustimmung zeigen (Kategorien +++ und ++ bzw. - - und - - -), liegt mit 37 Nennungen eine eher positive als negative (13 Nennungen) Bewertung des Verfahrens vor.

Weiteren Aufschluss geben die individuellen Antworten der Befragten zu den einzelnen Elementen und Arbeitsschritten des bisherigen Verfahrens, die in unterschiedlicher Ausführlichkeit und Deutlichkeit abgegeben wurden. Dies werden nachfolgend thematisch sortiert zusammenfassend wiedergegeben:

Bildung von Teilstrecken (bisherige Bezeichnung: Teilabschnitte), (6 Nennungen)

Bei der Bildung der Teilstrecken treten bei den Anwendern verschiedene Unsicherheiten auf. Aufgrund häufiger Änderungen der Längsneigung und

geringer Knotenpunktabstände können in vielen Fällen offensichtlich nur kurze Teilstrecken gebildet werden. Dazu ergibt sich bei den Anwendern die Frage, ob die Vorgaben zur Bildung von Teilstrecken dennoch eingehalten werden sollen bzw. welche Gültigkeit die mit kürzeren Teilstrecken errechneten Ergebnisse haben. Ferner wird darauf hingewiesen, dass es die Bildung von Teilstrecken ermöglichen, Einfluss auf das Ergebnis zu nehmen.

Überholmöglichkeiten (6 Nennungen)

Die Festlegung, welche Abschnitte einer Landstraße den Strecken mit Überholverbot im Sinne des Bemessungsverfahrens zuzurechnen sind, wird von mehreren Anwendern als schwierig eingestuft. Einerseits müssen dazu die Abschnitte einer Strecke bekannt sein, an denen die Sichtverhältnisse ein sicheres Überholen zulassen bzw. nicht zulassen. Diese Information steht aber im Planungsprozess erst in einer relativ späten Phase zur Verfügung, während eine erste Bewertung der Verkehrsqualität häufig bereits in der Vorplanung zweckmäßig ist.

Andererseits sollen nach dem derzeitigen Verfahren nur solche Abschnitte mit einem Kurvigkeitszuschlag für vorhandene Überholverbote belegt werden, in denen die Sichtverhältnisse ein Überholen

zwar grundsätzlich gestatten, das Überholen aber aufgrund anderer Randbedingungen aus Gründen der Verkehrssicherheit dennoch untersagt wird. Für die Anordnung eines Überholverbotes sind jedoch die Verkehrsbehörden zuständig, deren Bewertung der Situation zum Zeitpunkt der verkehrstechnischen Bemessung neu geplanter Strecken noch nicht vorhergesehen werden kann.

Ferner wird der Einfluss des Kurvigkeitszuschlags, der aufgrund von Überholverböten zu berücksichtigen ist, als zu dominant eingestuft (Anmerkung der Verfasser: Dies wird deutlich, wenn eine Teilstrecke aufgrund des Kurvigkeitszuschlags der nächsthöheren Kurvigkeitsklasse (bisherige Bezeichnung: Kurvigkeitsbereich) zugeordnet werden muss. Die Unterschiede der mittleren Fahrtgeschwindigkeiten benachbarter Kurvigkeitsklassen sind in vielen Fällen sehr stark.

Anwendung der Q-V-Diagramme (4 Nennungen)

Das Ablesen der mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten (bisherige Bezeichnung: Reisegeschwindigkeiten) aus den Diagrammen wird als umständlich empfunden. Ferner wird darauf hingewiesen, dass die Anzahl der Diagramme (bedingt durch die Differenzierung anhand der Steigungsklassen und Kurvigkeitsklassen) zu groß sei.

Berücksichtigung der Längsneigung (3 Nennungen)

Die Längsneigung wird als eine wichtige Einflussgröße angesehen. Die Auswertung der Geschwindigkeitsprofile des fiktiven Bemessungsschwerfahrzeugs wird von mehreren Anwendern jedoch als zu unkomfortabel eingestuft. Gleiches gilt für die Darstellung verschiedener q-V-Diagramme für unterschiedliche Steigungsklassen (s. o.).

Berücksichtigung langsamer Fahrzeuge (3 Nennungen)

Vereinzelt wird bemängelt, dass im aktuellen Verfahren kein Möglichkeit besteht, den Einfluss langsamer Fahrzeuge auf den Verkehrsablauf zu berücksichtigen. In einem Fall wurde davon berichtet, dass aus diesem Grund ersatzweise auf die Vorgehensweise im Berechnungsverfahren der RAS-Q 96 (vgl. FGSV, 1996) zurückgegriffen wurde (Anm.: Darin wird die tatsächliche Bemessungsverkehrsstärke mit einem von der Verkehrsstärke der lang-

samen Fahrzeuge abhängigen Faktor multipliziert, um eine fiktive Bemessungsverkehrsstärke zu errechnen, mit der das weitere Verfahren durchgeführt wird. Die empirische Grundlage dieses vereinfachten Verfahrens müsste einer Überprüfung unterzogen werden.).

Seitens der Anwender wird darauf hingewiesen, dass die zum sicheren Überholen langsamer Fahrzeuge erforderlichen Sichtweiten sehr viel häufiger zur Verfügung stehen als die im Regelwerk definierten Überholsichtweiten und in vielen Fällen das Überholen langsamer Fahrzeuge auch in Bereichen mit Überholverbot ausdrücklich zugelassen ist.

Berechnungsbeispiel (3 Nennungen)

Das im bisherigen HBS enthaltene Berechnungsbeispiel wird als weniger geeignet eingestuft. Es zeige einerseits unrealistisch lange Teilstrecken (bisherige Bezeichnung: Teilabschnitte) und sei andererseits zu einfach gehalten. Es wird angeregt zu prüfen, ob das Beispiel durch eine Darstellung des Streckenbandes und des Höhenplans ergänzt werden kann.

Weitere Hinweise (jeweils 1-2 Nennungen)

Das Verfahren wird in einzelnen Fällen als zu umständlich angesehen, bei Änderungen im Planungsprozess würde dies dazu führen, dass der Nachweis der Verkehrsqualität nicht so oft wie eigentlich notwendig aktualisiert wird. Insbesondere für gelegentliche Anwender sei es relativ zeitaufwändig, da in jedem Anwendungsfall eine Einarbeitungsphase erforderlich sei.

In weiteren Hinweisen wurde angeregt, auch ein Berechnungsverfahren für Strecken mit der Betriebsform 2+1 bzw. für Zusatzfahrstreifen an zweistreifigen Landstraßen anzubieten und eine Berücksichtigung der Einflüsse von Knotenpunkten auf den Verkehrsablauf zu ermöglichen.

Darüber hinaus wurde ein Verfahren zur verkehrstechnischen Bemessung von Bestandsstrecken gefordert, die einen heute nicht mehr gebräuchlichen Regelquerschnitt ausweisen (z. B. RQ 14).

Die Bestimmung der Verkehrsqualität auf Grundlage der mittleren Verkehrsdichte wurde begrüßt, in einem Fall wurden aber Zweifel daran geäußert, dass die über einen ganzen Abschnitt anhand der Teilstreckenlängen gewichtete mittlere Verkehrs-

dichte die Verkehrsqualität repräsentativ wiedergibt.

Ferner wurden genauere Hinweise zur Abgrenzung der Fahrzeugarten (Bestimmung des Schwerverkehrsanteils) sowie eine Möglichkeit zur Berücksichtigung von Geschwindigkeitsbeschränkungen gefordert.

3.2 Expertengespräche

Anhand der zurückgesandten Fragebögen (vgl. vorangegangenes Kapitel) wurden Expertengespräche mit insgesamt elf Fachleuten aus acht verschiedenen Dienststellen der Straßenbauverwaltungen in Nordrhein-Westfalen, Hessen und Baden-Württemberg vereinbart und durchgeführt.

Im Verlauf der Expertengespräche wurden zunächst die Ausgangssituation und die Aufgabenstellung des Forschungsprojektes durch den Forschungsnehmer dargestellt. Anschließend wurde anhand der Fragebögen erörtert, welche Einschätzungen der Fachleute zum derzeitigen Verfahren vorliegen und welche Erwartungen der Anwender an die Weiterentwicklung des Verfahrens bestehen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die im Verlauf der Expertengespräche erörterten Aspekte sehr weitreichend mit den Hinweisen aus den bearbeiteten Fragebögen übereinstimmen. Dies war zu erwarten, weil mehrere der Interviewpartner im Vorfeld der Expertengespräche den Fragebogen ausgefüllt hatten.

Die wesentlichen, über die Ergebnisse der schriftlichen Befragung hinausgehenden Erkenntnisse aus den Expertengesprächen werden nachfolgend zusammengefasst. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu bedenken, dass es sich in vielen Fällen – wie bei dieser Methode üblich – um Einzelmeinungen handelt. Eine quantitative Auswertung der Ergebnisse ist aufgrund der geringen Anzahl der Gespräche nicht möglich. Eine wesentlich höhere Anzahl von Expertengesprächen wäre aber mutmaßlich auch bei einem deutlich höheren Budget für diesen Bearbeitungsschritt nicht erreichbar gewesen, weil es offensichtlich nur einen sehr begrenzten Kreis von Experten zu diesem Thema gibt.

Als Ergebnis sind folgende Punkte festzuhalten:

- Die Bedeutung des Verfahrens für eine Festlegung des geeigneten Regelquerschnitts wurde als gering eingestuft. In den meisten Fällen

stehe der Regelquerschnitt schon aus den vorangegangenen Planungsstufen fest oder werde anhand der Abbildung zur Vorauswahl des Regelquerschnitts aus den RAS-Q 96 bestimmt. Die Gesprächspartner plädierten aus diesem Grunde dafür, die Anwendung des HBS-Verfahrens innerhalb des Regelwerks so deutlich wie möglich einzufordern.

- In einem Gespräch wurde die Einschätzung geäußert, dass das derzeitige Verfahren überhaupt nur angewendet werden könne, weil dafür ein geeignetes Softwareprodukt verfügbar ist. Im vorliegenden Fall hat sich daraus die Besonderheit entwickelt, dass eine Dienststelle den Nachweis der Verkehrsqualität im Bedarfsfall auch für die Projekte der anderen Dienststellen führt, die nicht über die Software verfügen. Das Verfahren wird aber als zu aufwändig für eine Bearbeitung „mit Papier und Bleistift“ eingeschätzt.
- In einem anderen Gespräch wurde die Erwartung formuliert, dass die Weiterentwicklung des Verfahrens insbesondere zu Vereinfachungen führen sollte. Als Beispiel wurde genannt, dass mehr Formeln angegeben werden sollen, um weniger in Diagrammen ablesen zu müssen. Eine Anwendung „mit Papier und Bleistift“ müsse weiterhin gewährleistet bleiben, um die Kontrolle extern erarbeiteter Ergebnisse durch die Mitarbeiter der Dienststellen zu ermöglichen.
- Es wurde die Vermutung geäußert, dass die beabsichtigte richtungsgetrennte Betrachtung des Verkehrsablaufs zu einem erhöhten Bearbeitungsaufwand führt. Als Alternative wurde vorgeschlagen, die richtungsgetrennte Betrachtung auf einzelne, kritische Abschnitte zu beschränken.
- Ein Verfahren zur Berücksichtigung des Einflusses langsamer Fahrzeuge wurde mehrfach als wünschenswert bezeichnet. In einem Gespräch wurde geschildert, dass bei Bedarf ersatzweise mit dem Verfahren aus den RAS-Q 96 gerechnet wird.
- In einem anderen Gespräch wurde vorgeschlagen, die Einflüsse der Anzahl bzw. der Dichte von untergeordneten Zufahrten (Wirtschaftswegen, Grundstückszufahrten) ebenfalls mit einer pragmatischen Methode zu berücksichtigen.
- Mehrfach wurde auf das Problem hingewiesen, dass sich aufgrund häufig wechselnder Einfluss-

größen nur sehr kurze Teilstrecken (bisherige Bezeichnung: Teilabschnitte) bilden ließen. Auch sei eine Einbeziehung der Knotenpunkte in den Nachweis der Verkehrsqualität wünschenswert.

- In einem Gespräch wurde darauf hingewiesen, dass häufig aufgrund naturschutzrechtlicher Erwägungen mit Parametern unterhalb der Trassierungsgrenzwerte gearbeitet werde. In diesen Fällen sei nicht klar, ob das Verfahren aus dem HBS überhaupt noch angewendet werden könne.

Die meisten der von den Experten angesprochenen Aspekte sind Gegenstand des vorliegenden Forschungsprojektes (vgl. Kapitel 5). Insofern kann erwartet werden, dass die neuen Erkenntnisse, die im Laufe der Untersuchung erarbeitet wurden, zu der seitens der Praxis gewünschten Weiterentwicklung des Verfahrens beitragen können.

Außer zur Diskussion des aktuellen und des zukünftigen Verfahrens für den Nachweis der Verkehrsqualität wurden die Expertengespräche aber auch dazu genutzt, Hinweise zu möglichen Messstrecken abzufragen. Sofern Vorschläge unterbreitet wurden, erfolgte eine nähere Untersuchung der benannten Strecken. Zwei der benannten Strecken wurden anschließend in das Messprogramm aufgenommen und untersucht.

4 Empirische Untersuchungen

4.1 Ziele der empirischen Untersuchungen

Anhand der im Rahmen des Forschungsprojektes vorgesehenen empirischen Untersuchungen sollte überprüft werden, ob die im bisherigen Verfahren zur Bestimmung der Verkehrsqualität angenommenen Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten unter Berücksichtigung der Einflussgrößen Schwerverkehrsanteil, Längsneigung und Kurvigkeit annähernd zutreffend sind.

Anlass für eine solche Überprüfung waren zwischenzeitlich geäußerte Vermutungen, dass der Einfluss der Kurvigkeit im bisherigen Verfahren nicht realistisch berücksichtigt würde. Als Anhaltspunkte für diese Vermutung wurde einerseits angeführt, dass bei einem Vergleich der q-V-Dia-

gramme benachbarter Kurvigkeitsklassen (bisher: Kurvigkeitsbereiche) bei ansonsten konstanten Randbedingungen zum Teil sehr deutliche Sprünge in den mittleren Fahrtgeschwindigkeiten der Pkw auftreten. Andererseits wurde es mehrfach als unplausibel eingestuft, dass die q-V-Kurven für verschiedene Schwerverkehrsanteile bei bestimmten Kombinationen aus Längsneigung und Kurvigkeit nahezu zusammenfallen, ein Einfluss des Schwerverkehrs also entfällt, während für andere Kombinationen ein erheblicher Einfluss zu verzeichnen ist.

Mit den vorgesehenen Messungen sollten daher insbesondere die tatsächlichen Wirkungen der einzelnen Einflussgrößen geklärt werden. Da für die Messungen nur ein begrenzter Anteil des Budgets eingeplant wurde, konnten diese nur in Form von Stichproben durchgeführt werden. Eine Aktualisierung der von BRILON/WEISER (1997) für alle relevanten Kombinationen der Einflussgrößen vorgeschlagenen q-V-Diagramme war nicht beabsichtigt.

Dem Ziel der Untersuchungen entsprechend wurde festgelegt, die Wirkungen der Einflussgrößen nicht durch einen Quervergleich zwischen verschiedenen Untersuchungsstrecken zu bestimmen, sondern durch Messungen an aufeinander folgenden Streckenabschnitten, an denen systematisch ein identisches Fahrer- und Fahrzeugkollektiv anzutreffen sind. Durch dieses Vorgehen ergaben sich besondere Anforderungen an die Auswahl der Untersuchungsstrecken, die – wie sich im Verlauf der Untersuchungen zeigte – nur sehr schwierig einzuhalten waren.

Neben den o. g. Fragestellungen, die sich hauptsächlich auf die Wirkungen der im Bemessungsverfahren berücksichtigten Einflussgrößen richteten, trat im Verlauf der Untersuchungen (im Wesentlichen motiviert durch Hinweise auf ein offensichtlich insgesamt höheres Geschwindigkeitsniveau auf den Landstraßen in den skandinavischen Ländern) die Frage auf, ob sich in den Jahren seit Durchführung der letzten Messungen (vgl. BRILON/WEISER, 1997) eine systematische Zunahme der Geschwindigkeiten auf Landstraßen eingestellt haben könnte. Um dieser Frage nachzugehen, wurde zusätzlich eine lokale Geschwindigkeitsmessung an einer der Messstrecken aus dem vorangegangenen Forschungsprojekt durchgeführt.

4.2 Auswahl der Untersuchungsstrecken

Die Auswahl der Messstrecken erfolgte sowohl durch eigene Recherche als auch durch die Auswertung der Expertengespräche. Gesucht wurden zunächst Strecken, die entweder einen nennenswerten Wechsel der Längsneigung bei annähernd gleich bleibender Kurvigkeit oder einen nennenswerten Wechsel der Kurvigkeit bei annähernd gleich bleibender Längsneigung aufweisen. Die Strecken sollten eine Länge von mehreren Kilometern haben, die einzelnen Abschnitte Längen von mindestens 500 m.

Selbstverständlich war es darüber hinaus erforderlich, dass auf der gesamten Strecke keine Randbedingungen vorliegen, die zu einer Beeinträchtigung der Ergebnisse hätten führen können wie z. B. Knotenpunkte, Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Überholverbote.

Darüber hinaus war es aber auch erforderlich, dass insbesondere im Bereich der Übergänge zwischen den Streckenabschnitten mit unterschiedlichen geometrischen Eigenschaften geeignete Kamerastandorte vorhanden sind.

Im Zuge der Untersuchungen sollten nicht die Kapazitäten der beobachteten Strecken ermittelt werden. Deshalb war es nicht erforderlich, besonders hoch belastete Strecken auszuwählen. Dennoch erwies es sich im Verlauf der Untersuchungen als sehr schwierig, geeignete Strecken zu finden. Insbesondere die Anforderungen an die o. g. Randbedingungen führten in zahlreichen Fällen dazu, dass eigentlich geeignete Strecken nicht in die Untersuchung einbezogen werden konnten. Anhang 2 zeigt, dass über 50 Strecken in die nähere Auswahl einbezogen wurden, sich aber zum allergrößten Teil als nicht geeignet erwiesen.

Auch aus diesem Grund wurde im Verlauf des Projektes in Übereinstimmung mit dem Betreuerkreis entschieden, den ursprünglich vorgesehenen Aufwand für die Durchführung empirischer Untersuchungen zu Gunsten anderer Arbeitsschritte zu reduzieren.

4.3 Messkonzept

4.3.1 Quasi-Lokale-Messungen

An verschiedenen Querschnitten der Untersuchungsstrecken wurden lokal die Geschwindigkei-

ten der einzelnen Fahrzeuge ermittelt. Diese Erfassung erfolgte je nach Bedarf jeweils mithilfe von zwei unterschiedlichen fest installierten Geräten bzw. mit einem mobilen Gerät.

Die beiden fest an einem Messquerschnitt installierten Geräte erfassen über die gesamte Messdauer die Geschwindigkeit eines jeden einzelnen Fahrzeugs. Zum Einsatz gekommen sind die folgenden Geräte:

- „Leica XV2“: Das Gerät erfasst die Geschwindigkeit eines jeden vorbeifahrenden Fahrzeugs. Da die Anforderungen des Gerätes an einen geraden Straßenverlauf und eine exakte Ausrichtung des Gerätes zum Fahrzeug sehr hoch sind, konnte das Gerät nur in der ersten Messung auf einem geraden Streckenabschnitt eingesetzt werden. Während des Messvorgangs muss das Gerät aufgrund seiner Größe und der damit verbundenen Risiken (Diebstahl, Zerstörung) beobachtet werden. Zur Unterscheidung von Pkw- und Schwerverkehr wird zusätzlich eine Video-Kamera auf den Erfassungsbereich des Radar-Gerätes ausgerichtet. Aus dem Videobild kann den erfassten Geschwindigkeiten ein Fahrzeugtyp zugeordnet werden. Im Idealfall ist der Messquerschnitt der Radarmessung deckungsgleich mit dem Blickwinkel einer der Kameras, mit denen die Fahrtgeschwindigkeiten errechnet werden.
- Seitenradar „Data Collect SDR“: Die Seitenradargeräte befinden sich in unauffälligen schwarzen Kunststoffkästen, die an geeigneten Pfosten (z. B. Verkehrsschilder) befestigt werden. Aufgrund ihrer geringen Größe und der Möglichkeit die Geräte fest anzuschließen müssen Seitenradargeräte nicht bewacht werden. Im Zuge des vorliegenden Projektes wurden Messungen mit einer Dauer von bis zu drei Tagen durchgeführt. Das Gerät unterscheidet bei einer normalen einstreifigen Landstraße automatisch zwischen den beiden Fahrtrichtungen und erkennt aufgrund der Länge des vorbeifahrenden Fahrzeugs den Fahrzeugtyp.
- Mobile Erfassung „Jenoptik Laser Patrol“: Neben der fest installierten Geschwindigkeits Erfassung wurde ebenfalls bei Bedarf mit einem mobilen Hand-Laser-Messgerät die lokale Geschwindigkeit an verschiedenen Querschnitten im Untersuchungsabschnitt ermittelt.

Da die Daten der quasi-lokalen Messung unmittelbar bei der Messung vorliegen, kann vor Ort die Verkehrsstärke am untersuchten Querschnitt be-

stimmt werden. Falls sich bei den anderen Messgeräten Abweichungen ergeben, können diese gegebenenfalls noch justiert werden.

4.3.2 Fahrtgeschwindigkeiten

Der Fokus der empirischen Untersuchungen lag auf der Ermittlung der Fahrtgeschwindigkeiten auf den untersuchten Strecken und Streckenabschnitten. Die Fahrtgeschwindigkeiten wurden mithilfe der digitalen Videotechnik erfasst. Seitlich der Straße wurden zu diesem Zweck unauffällige Videokameras positioniert, die auf die Kennzeichen der einzelnen Fahrzeuge ausgerichtet wurden. Insgesamt wurden auf einer Untersuchungsstrecke bis zu vier Kameras pro Fahrtrichtung installiert. Zur exakten Synchronisierung der einzelnen Kameras wurde jede Kamera auf die GPS-Zeit eingestellt.

Um die unterschiedlichen Charakteristika einer Untersuchungsstrecke besser analysieren zu können, wurde jede Strecke in bis zu drei Abschnitte unterteilt (vgl. Bild 3). An den Messquerschnitten wurden beide Fahrtrichtungen mit getrennten Kameras erfasst und anschließend getrennt ausgewertet. Bei drei Abschnitten und Erfassung beider Fahrtrichtungen ergeben sich also bis zu acht Kameras (vgl. Bild 3).

Die einzelnen Kameras wurden soweit möglich so positioniert, dass sie von den Fahrern nicht wahrgenommen werden konnten. Nach Möglichkeit wurden sie hinter Leitpfosten oder Schutzplanken versteckt. Um auch Lkw und Motorräder erfassen zu können, wurden die Kennzeichen nach Möglichkeit von hinten erfasst.

Aus den in digitaler Form vorliegenden Videos wurden im Anschluss an die Messung von studentischen Hilfskräften die Kennzeichen mit den dazugehörigen GPS-genauen Zeitstempeln ausgewertet. Zusätzlich zu den Kennzeichen und dem Zeitstempel wurde ebenfalls die Fahrzeugart (Pkw, Kleintransporter, Lastzug, Krad) erfasst.

Die an den einzelnen Kameras erfassten Kennzeichen wurden anonymisiert und mithilfe programmierter Makros in einem Tabellenkalkulationsprogramm automatisch den entsprechenden Kennzeichen an der nächsten Kamera stromabwärts zugeordnet. Aufgrund der zuvor über GPS synchronisierten Zeit kann die für den Streckenabschnitt benötigte Fahrtzeit (bisherige Bezeichnung: Reisezeit) der einzelnen Fahrzeuge exakt bestimmt und anschließend die mittlere Fahrtgeschwindigkeit auf dem Streckenabschnitt berechnet werden.

4.3.3 Verfolgungsfahrten

Zusätzlich zur Kennzeichenmethode wurden zur Ermittlung der Fahrtzeiten einzelner Kraftfahrzeuge auch Verfolgungsfahrten durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde ein Fahrzeug mit einem GPS-Empfänger und einem Notebook ausgestattet, das zu jedem Zeitpunkt Informationen über die Geschwindigkeit und die exakte Position des Fahrzeugs aufzeichnet. Mit diesem Fahrzeug wurden andere Fahrzeuge verfolgt. Dadurch konnten die Geschwindigkeitsganglinien der verfolgten Fahrzeuge ermittelt werden.

Um das Geschwindigkeitsprofil eines zufällig ausgewählten Fahrzeugs zu erfassen, muss der Abstand zwischen dem eigenen Fahrzeug und dem fremden Fahrzeug möglichst konstant gehalten werden. Dies ist aufgrund des einzuhaltenden Sicherheitsabstandes jedoch nicht immer exakt möglich. In Abhängigkeit von der Erfahrung des eigenen Fahrers kann der Abstand zwischen den beiden Fahrzeugen um bis zu 20 m variieren. Neben der Erfahrung des Fahrers ist für die Qualität der Ergebnisse entscheidend, dass ein gut motorisiertes Fahrzeug für die Verfolgungsfahrten zur Verfügung steht.

Verfolgungsfahrten sind zur aussagekräftigen Fahrtzeitmessung ungeeignet, da sie aufgrund der benötigten Wendezeiten und der Wartezeiten auf

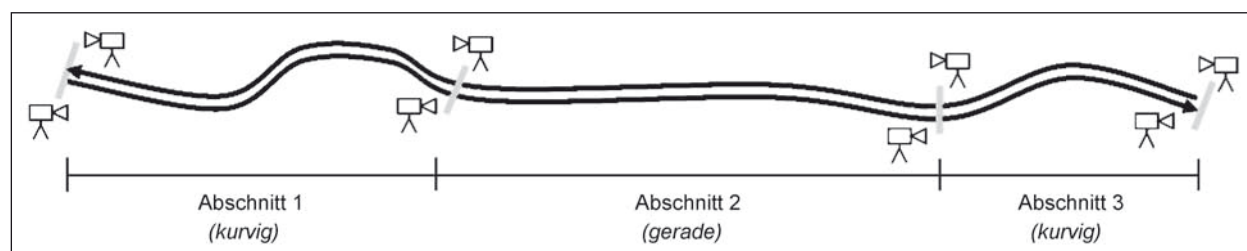


Bild 3: Idealtypische Anordnung der Messquerschnitte und der Kamerastandorte

ein geeignetes zu verfolgendes Fahrzeug sehr zeit-
aufwendig sind und nur eine vergleichsweise geringe
Stichprobenanzahl liefern. Sie dienen deshalb
vornehmlich zur Kontrolle der Ergebnisse der
Kennzeichenmethode, mit der die Fahrtgeschwin-
digkeiten des gesamten Fahrzeugvolumens ermit-
telt wurden.

Wichtiger sind die Informationen der Verfolgungs-
fahrten, wenn eine exakte Trajektorie eines einzel-
nen Fahrzeugs benötigt wird. Diese exakten Infor-
mationen über die Geschwindigkeiten wurden zum
Beispiel bei der Auswertung der Kolonnenbildung
im Fall der Messung auf der B 10 benötigt.

4.4 B 252 bei Herzhausen

4.4.1 Streckeneigenschaften

Die untersuchte Strecke liegt im Zuge der B 252 in
Hessen, nördlich von Marburg zwischen Thalitter
im Norden und Herzhausen im Süden. Die Strecke
hat eine Gesamtlänge von ca. 3.300 m, sie steigt
von Süden nach Norden um ca. 40 m an, weist also
eine mittlere Längsneigung von 1,2 % auf. Die ge-
samte untersuchte Strecke liegt in einem flachen,
zum Teil bewaldeten Tal. Sie ist in einem guten bau-
lichen Zustand und verfügt über einen Querschnitt
mit 3,75 m breiten Fahrstreifen und 1,25 m breiten
Seitenstreifen, die aber Beobachtungen zufolge
nicht systematisch befahren werden, auch nicht
von langsamen Fahrzeugen oder Lkw, die damit
schnelleren Fahrzeugen das Überholen erleichtern
könnten.

Die Strecke wurde in drei Abschnitte mit unter-
schiedlicher Kurvigkeit unterteilt. Die Abschnitte
weisen keine nennenswerten Unterschiede hin-
sichtlich der Längsneigung auf. Aufgrund der in Be-
tracht kommenden Kamerastandorte war es nicht
möglich, die Abschnitte so festzulegen, dass die

Abschnittsgrenzen in beiden Fahrtrichtungen am
gleichen Querschnitt liegen. Daraus ergeben sich
zwischen den beiden Fahrtrichtungen Unterschiede
hinsichtlich der Längen und der geometrischen
Eigenschaften der Abschnitte. Die wesentlichen
Eigenschaften der jeweils drei Abschnitte sind in
Tabelle 6 zusammengestellt. Detaillierte Angaben
finden sich in Anhang 3.

4.4.2 Auswertung der Fahrtgeschwindigkeits- messungen

Im Zeitraum der Messungen von 13:00 bis 17:00
Uhr lag die Verkehrsstärke konstant und ohne deut-
liche Spitzen zwischen 230 und 350 Kfz/h in Fahr-
richtung Süden und 220 bis 330 Kfz/h in Fahrtrich-
tung Norden. Der Schwerverkehrsanteil war mit
20,3 % in Fahrrichtung Süden und 27,4 % in Fahr-
richtung Norden sehr hoch.

In Tabelle 7 sind die mittleren Fahrtgeschwindigkei-
ten dargestellt, die in den beiden Fahrtrichtungen
auf den anhand der Kurvigkeit definierten Abschnit-
ten erreicht wurden. Die Darstellung der Geschwin-
digkeiten erfolgt aufgeteilt nach Gesamtverkehr,
Pkw und Schwerverkehr (SV).

Wie Tabelle 7 zeigt, stellen sich in Fahrtrichtung
Süden, die eine leichtes Gefälle aufweist, sowohl
bei einer Betrachtung des Gesamtverkehrs als
auch bei separater Betrachtung der Pkw leichte Ge-
schwindigkeitsdifferenzen zwischen den Abschnit-
ten ein, die möglicherweise auf die unterschiedliche
Kurvigkeit der Abschnitte zurückgeführt werden
können.

Die Differenzen fallen allerdings deutlich geringer
aus als nach den entsprechenden q-V-Diagrammen
aus dem HBS 2001. Danach sind bei den als mitt-
lere Fahrtgeschwindigkeiten der Pkw 68 km/h in
Abschnitten mit einer Kurvigkeit zwischen 75 und
150 gon/km zu erwarten sowie 56 km/h in Ab-

Streckenabschnitt	Fahrtrichtung Süden (leichtes Gefälle)		Fahrtrichtung Norden (leichte Steigung)	
	Kurvigkeit	mittlere Längsneigung	Kurvigkeit	mittlere Längsneigung
Abschnitt 1, Nord (MQ 1 – MQ 2)	185 gon/km	-0,6 %	200 gon/km	+1,1 %
Abschnitt 2, Mitte (MQ 2 – MQ 3)	95 gon/km	-1,6 %	105 gon/km	+0,9 %
Abschnitt 3, Süd (MQ 3 – MQ 4)	215 gon/km	-1,9 %	200 gon/km	+2,0 %

Tab. 6: Kurvigkeit und Längsneigung der untersuchten Abschnitte

		Abschnitt 1: Norden (MQ 1 – MQ 2) KU = 185-200 gon/km		Abschnitt 2: Mitte (MQ 2 – MQ 3) KU = 95-105 gon/km		Abschnitt 3: Süden (MQ 3 – MQ 4) KU = 200-215 gon/km	
		FR Süden	FR Norden	FR Süden	FR Norden	FR Süden	FR Norden
Gesamt- verkehr	v_m [km/h]	73,8	70,4	76,0	72,4	74,4	74,7
	Standardabw. [km/h]	9,2	9,5	13,4	11,6	9,5	10,6
Pkw	v_m [km/h]	74,8	71,4	77,2	73,9	75,2	76,7
	Standardabw. [km/h]	9,2	9,8	13,5	12,1	9,6	10,6
Lkw	v_m [km/h]	67,2	65,3	67,9	66,7	68,0	67,1
	Standardabw. [km/h]	5,2	5,7	8,9	7,1	5,8	6,8

Tab. 7: Mittlere Fahrtgeschwindigkeiten in den drei Abschnitten (FR Süden: $q = 230-350$ Kfz/h, $b_{SV} = 20,3$ %, FR Norden: $q_{max} = 220-330$ Kfz/h, $b_{SV} = 27,4$ %)

schnitten mit einer Kurvigkeit zwischen 150 und 225 gon/km, also eine Differenz von ca. 13 km/h.

In Fahrtrichtung Norden, die eine leichte Steigung aufweist, treten ähnliche Geschwindigkeitsdifferenzen wie in der Gegenrichtung nur zwischen den Abschnitten 1 und 2 auf. Anders als in der Gegenrichtung trifft dies neben den Pkw aber auch auf die Lkw zu. Im dritten Abschnitt, der (wie auch Abschnitt 1) eine höhere Kurvigkeit aufweist als Abschnitt 2, fallen die Fahrtgeschwindigkeiten der Pkw und der Lkw dagegen höher aus als in Abschnitt 2. Der tendenziell geschwindigkeitsmindernde Einfluss der Kurvigkeit tritt in diesem Abschnitt also nicht auf oder wird von anderen Einflüssen überlagert.

Auch im Vergleich zwischen den beiden Fahrtrichtungen zeigt der dritte Abschnitt der Messstrecke eine Besonderheit. Anders als auf den beiden anderen Abschnitten werden in Richtung der Steigung höhere Fahrtgeschwindigkeiten der Pkw erreicht als in Richtung des Gefälles. Auch dieser Effekt kann mit den Eigenschaften der Messstrecke nicht plausibel erklärt werden.

Es ist daher zu bezweifeln, dass die Ergebnisse der Messung zur Klärung der Fragen beitragen können die im Rahmen des Forschungsprojektes untersucht werden sollten.

4.5 B 28 bei Herrenberg

4.5.1 Streckeneigenschaften

Die zweite Strecke, an der Messungen der Fahrtgeschwindigkeiten durchgeführt wurden, liegt im Zuge der B 28 westlich von Herrenberg, ca. 30 km südwestlich von Stuttgart.

Die insgesamt 4,8 km lange Strecke weist nur eine geringe Kurvigkeit auf. Sie wurde anhand der Längsneigungsverhältnisse in zwei Abschnitte unterteilt. Der ca. 1.900 m lange östliche Streckenabschnitt steigt in Fahrtrichtung Westen mit durchschnittlich 6,0 % an, der zweite Streckenabschnitt ist 2.900 m lang und fast eben. Die wesentlichen Eigenschaften der jeweils zwei Abschnitte sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Detaillierte Angaben finden sich in Anhang 4.

Ziel der Messungen war es, Erkenntnisse über die Auswirkungen der Längsneigung zu gewinnen.

Mutmaßlich aufgrund eines relativ hohen Anteils des Pendlerverkehrs sind die Verkehrsbelastungen auf der betrachteten Strecke stark von der Tageszeit abhängig. In Fahrtrichtung Osten (Herrenberg) wurden in der Morgenspitze bis zu 450 Kfz/h beobachtet. In Fahrtrichtung Westen (Oberjettingen) lag die Spitzenstunde mit 500 Kfz/h am Nachmittag.

Streckenabschnitt	Fahrtrichtung West		Fahrtrichtung Ost	
	Kurvigkeit	mittlere Längsneigung	Kurvigkeit	mittlere Längsneigung
Abschnitt 1, Ost	27 gon/km	+6,0 %	27 gon/km	-6,0 %
Abschnitt 2, West	33 gon/km	-0,5 %	33 gon/km	+0,5 %

Tab. 8: Kurvigkeit und Steigung der untersuchten Abschnitte

Parallel zu den Messungen der Fahrtgeschwindigkeiten wurden an der B 28 auf jeweils zwei Abschnitten auch lokale Fahrtzeitmessungen durchgeführt. Des Weiteren wurden zwei stationäre Seitenradargeräte installiert, mit denen jeweils die Geschwindigkeit und Verkehrsstärke in beiden Fahrtrichtungen erfasst wurde.

4.5.2 Auswertung der Fahrtgeschwindigkeitsmessungen

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Fahrtgeschwindigkeitsmessung an der B 28 bei Herrenberg aufgeführt. Im östlichen Abschnitt wurde in Steigungsrichtung mit 74 km/h eine geringfügig niedrigere mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten als in Gefällrichtung (75 km/h) registriert. Auf dem folgenden ebenen Abschnitt steigt die mittlere Fahrtgeschwindigkeit um 3,4 km/h auf 77,4 km/h an. In Fahrtrichtung Ost sinkt die Geschwindigkeit im Vergleich zwischen dem ebenen westlichen Abschnitt und der anschließenden Gefällestrecke deutlich (um 5,6 km/h) von 80,6 km/h auf 75 km/h.

Beim Vergleich der Ergebnisse zwischen den beiden Fahrtrichtungen muss jedoch ein unterschiedliches Fahrerkollektiv berücksichtigt werden. Die Messungen in Fahrtrichtung Ost wurden aufgrund des starken Berufsverkehrs in der Morgenspitze, die Messungen in Fahrtrichtung West dagegen in der Nachmittagsspitze durchgeführt.

Bei den mittleren Fahrtgeschwindigkeiten der Lkw ergeben sich wie erwartet deutlichere Unterschiede in den Ergebnissen der einzelnen Richtungen und Abschnitte. Während die mittleren Fahrtgeschwindigkeiten der Lkw im ebenen westlichen Abschnitt in beiden Fahrtrichtungen mit 71,7 km/h (FR West) und 71,2 km/h (FR Ost) vergleichbar sind, sind im

östlichen Abschnitt in Steigungsrichtung wesentlich geringere Geschwindigkeiten zu beobachten als in der Gegenrichtung.

Die in westlicher Fahrtrichtung zu verzeichnende Differenz der Fahrtgeschwindigkeiten zwischen 63,1 km/h im 1.900 m langen Abschnitt mit im Mittel 6 % Steigung und 71,7 km/h im 2.900 m langen ebenen Abschnitt fällt erwartungsgemäß deutlich größer aus als bei den Pkw. In Fahrtrichtung Ost liegt die mittlere Lkw-Fahrtgeschwindigkeit in der 1.900 m langen Gefällestrecke nur um 2,1 km/h niedriger als in der davor liegenden Ebene, der Geschwindigkeitsunterschied zwischen Ebene und Gefälle ist also deutlich geringer als bei den Pkw.

Die Ergebnisse der mithilfe von Seitenradargeräten durchgeführten lokalen Geschwindigkeitsmessungen im Zuge der B 28 bei Herrenberg (vgl. Anhang 4) korrespondieren mit den Ergebnissen der Fahrtgeschwindigkeitsmessungen.

4.6 B 10 bei Hauenstein

4.6.1 Streckeneigenschaften

Die dritte Messung von Fahrtgeschwindigkeiten wurde für die Fahrtrichtung von Ost nach West an der B 10 zwischen Rinnthal und Hauenstein, 20 km westlich von Landau in Rheinland Pfalz durchgeführt.

Die B 10 weist hier einen 2+1-Querschnitt auf. Innerhalb der ca. 5,7 km langen Untersuchungsstrecke liegen in der untersuchten Fahrtrichtung zwei einstreifige Abschnitte und ein zweistreifiger Abschnitt, die bei den Messungen der Fahrtgeschwindigkeiten zur Abgrenzung der Untersuchungsabschnitte herangezogen wurden. Die we-

		Abschnitt West		Abschnitt Ost	
		FR Ost (Ebene)	FR West (Ebene)	FR Ost (Gefälle)	FR West (Steigung)
Gesamtverkehr	v_m [km/h]	79,8	77,0	74,8	73,3
	Standardabw. [km/h]	10,3	9,5	8,8	10,6
Pkw	v_m [km/h]	80,6	77,4	75,0	74,0
	Standardabw. [km/h]	10,1	9,3	8,8	10,3
Lkw	v_m [km/h]	71,2	71,7	69,1	63,1
	Standardabw. [km/h]	8,6	11,0	6,5	9,7

Tab. 9: Mittlere Fahrtgeschwindigkeiten in den zwei Abschnitten (FR Westen: $q = 260-540$ Kfz/h, $b_{SV} = 4,3$ %, FR Osten: $q = 230-400$ Kfz/h, $b_{SV} = 6,4$ %)

sentlichen Eigenschaften der drei Abschnitte sind in Tabelle 10 zusammengestellt. Detaillierte Angaben und eine Skizze finden sich in Anhang 5.

Die B 10 weist im betrachteten Streckenabschnitt starke, wechselnde Längsneigungen sowie einen hohen Schwerverkehrsanteil auf.

Ziel der Untersuchungen an der B 10 war es, Aussagen über die Veränderungen der Fahrtgeschwindigkeiten zwischen den einstreifigen und den zweistreifigen Bereichen zu treffen. Im Hinblick auf diverse Detailfragen, die im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung des HBS-Kapitels aufgetreten waren, sollte insbesondere überprüft werden, wie weit in einen einstreifigen Abschnitt hinein der Verkehrsablauf davon profitiert, dass in dem jeweils stromaufwärts liegenden zweistreifigen Abschnitt überholt werden kann und sich vorhandene Kolonnen auflösen.

Um diesen Aspekt detailliert zu untersuchen, wurden neben den Fahrtgeschwindigkeitsmessungen und den lokalen Messungen auch Verfolgungsfahrten durchgeführt. Damit lassen sich genauere Aussagen über die Geschwindigkeitsveränderungen im Verlauf der ein- oder zweistreifigen Bereiche treffen.

4.6.2 Auswertung der Fahrtgeschwindigkeitsmessungen

In Tabelle 11 sind die mithilfe der Kennzeichenmethode erfassten mittleren Fahrtgeschwindigkeiten auf den drei Streckenabschnitten zusammen-

gefasst. In dieser Messung wurde lediglich die westliche Fahrtrichtung betrachtet.

Im einstreifigen ersten Abschnitt zeigen sich für Pkw und Lkw sehr ähnliche Geschwindigkeiten. Aufgrund des mit 24 % sehr hohen Schwerverkehrsanteils und der fehlenden Überholmöglichkeiten befinden sich fast alle Pkw in Kolonnen hinter Lkw. Nur einzelne Pkw erreichen eine Fahrtgeschwindigkeit von über 100 km/h. Neben den ähnlichen Geschwindigkeiten von Pkw und Lkw sind auch die vergleichbaren, geringen Streuungen der Geschwindigkeiten ein deutliches Indiz für eine starke Kolonnenbildung.

In dem folgenden 1,4 km langen zweistreifigen Abschnitt lösen sich diese Kolonnen auf. Neben der Differenz von 11 km/h zwischen der mittleren Pkw- und Lkw-Geschwindigkeit zeigen dies auch einzelne Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten von über 110 km/h. Diese hohen Geschwindigkeiten kommen mutmaßlich dadurch zustande, dass die Pkw-Fahrer versuchen, auf dem zweistreifigen Abschnitt möglichst viele langsamere Lkw zu überholen.

Die hohe Standardabweichung des Schwerverkehrs im mittleren Abschnitt (vgl. Tabelle 11), der eine mittlere Steigung von 5,8 % aufweist, ist mutmaßlich auf die unterschiedliche Beladung und Motorisierung der Lkw zurückzuführen. Während die Geschwindigkeiten einzelner Lkw auf bis zu 50 km/h absinken, können andere Lkw die Steigung nutzen um langsamere Lkw zu überholen. In

Streckenabschnitt	Kurvigkeit	mittlere Längsneigung
Abschnitt 1: einstreifig (Osten)	75 gon/km	0 %
Abschnitt 2: zweistreifig (Mitte)	73 gon/km	+5,8 %
Abschnitt 3: einstreifig (Westen)	45 gon/km	-0,4 %

Tab. 10: Kurvigkeit und Längsneigung der untersuchten Abschnitte in Fahrtrichtung Westen

		Abschnitt 1, Ebene (einstreifig, 1,9 km)	Abschn. 2, Steigung (zweistreifig, 1,4 km)	Abschnitt 3, Ebene (einstreifig, 2,5 km)
Gesamtverkehr	v_m [km/h]	70,3	84,1	76,3
	Standardabw. [km/h]	7,7	12,6	11,4
Pkw	v_m [km/h]	70,3	85,7	78,7
	Standardabw. [km/h]	7,8	11,9	11,7
Lkw	v_m [km/h]	70,1	74,0	69,0
	Standardabw. [km/h]	7,6	12,5	5,7

Tab. 11: Mittlere Fahrtgeschwindigkeiten in den drei Abschnitten (FR Westen: $q = 460-530$ Kfz/h, $b_{SV} = 24$ %)

den ebenen Abschnitten 1 und 3 weisen die Lkw-Fahrtgeschwindigkeiten eine deutlich geringere Standardabweichung auf als im Bereich der Steigung (Kapitel 2).

Im einstreifigen Abschnitt nach Ende des zweistreifigen Abschnitts bilden sich wieder Kolonnen und die mittleren Geschwindigkeiten gehen wieder zurück. Die lokalen Seitenradarmessungen, die an zwei Querschnitten unmittelbar am Ende eines zweistreifigen Bereichs sowie im weiteren Verlauf des einstreifigen Abschnitts in einem Abstand von 1.420 m zum Ende des zweistreifigen Bereichs durchgeführt wurden (vgl. Anhang 5) deuten bei Verkehrsstärken von ca. 700 Kfz/h auf eine Differenz der lokalen Geschwindigkeiten von ca. 11 km/h hin. Der hier untersuchte Abschnitt weist in westlicher Fahrtrichtung ein durchschnittliches Gefälle von 3,3 % und eine Kurvigkeit von ca. 60 gon/km auf. Während des Zeitraums der Messungen lag ein mittlerer Schwerverkehrsanteil von 24 % vor.

Aus den Verfolgungsfahrten (vgl. Kapitel 4.6.3) können detaillierte Aussagen zum Prozess der Kolonnenbildung abgeleitet werden, z. B. zu den Entfernungen zum zweistreifigen Bereich, in denen sich die Kolonnenbildung vollzieht.

4.6.3 Auswertung der Verfolgungsfahrten

Parallel zur Durchführung der Fahrtgeschwindigkeitsmessungen wurden auf der B 10 insgesamt 30

Verfolgungsfahrten durchgeführt, von denen jeweils 15 in Fahrtrichtung Hauenstein (Westen) und 15 in Fahrtrichtung Rinnthal (Osten) erfolgten.

Die Mittelwerte der Weg-Geschwindigkeitsprofile der durchgeführten Verfolgungsfahrten sind in Bild 4 und Bild 5 dargestellt. Die Profile der Einzelfahrten sind in Anhang 5 enthalten. Neben den Mittelwerten der Geschwindigkeiten sind ebenfalls die Standardabweichungen und die Übergänge zwischen den ein- und zweistreifigen Bereichen der 2+1-Führung dargestellt.

In Bild 4 und Bild 5 sind zunächst die geringen Geschwindigkeiten zwischen 70 und 90 km/h in der Kolonnenfahrt vor Beginn der zweistreifigen Bereiche zu erkennen. Im zweistreifigen Bereich lösen sich die Kolonnen auf und die mittleren Geschwindigkeiten steigen auf ca. 100 km/h. Das verzögerte Beschleunigen der Fahrzeuge zu Beginn des zweiten zweistreifigen Abschnitts in Richtung Rhinntal (vgl. Bild 4, bei 4.600 m) ist auf die langsamen Fahrzeuge zurückzuführen, die nach der Fahrstreifenaddition erst auf den rechten Fahrstreifen wechseln müssen, bevor die schnelleren Fahrzeuge überholen können.

Die großen Streuungen der Fahrtgeschwindigkeiten im einstreifigen Bereich erklären sich dadurch, dass die Fahrzeuge nur zum Teil in einer Kolonne fahren.

Des Weiteren fällt auf, dass der Mittelwert der Geschwindigkeiten schon vor Ende des zweistreifigen

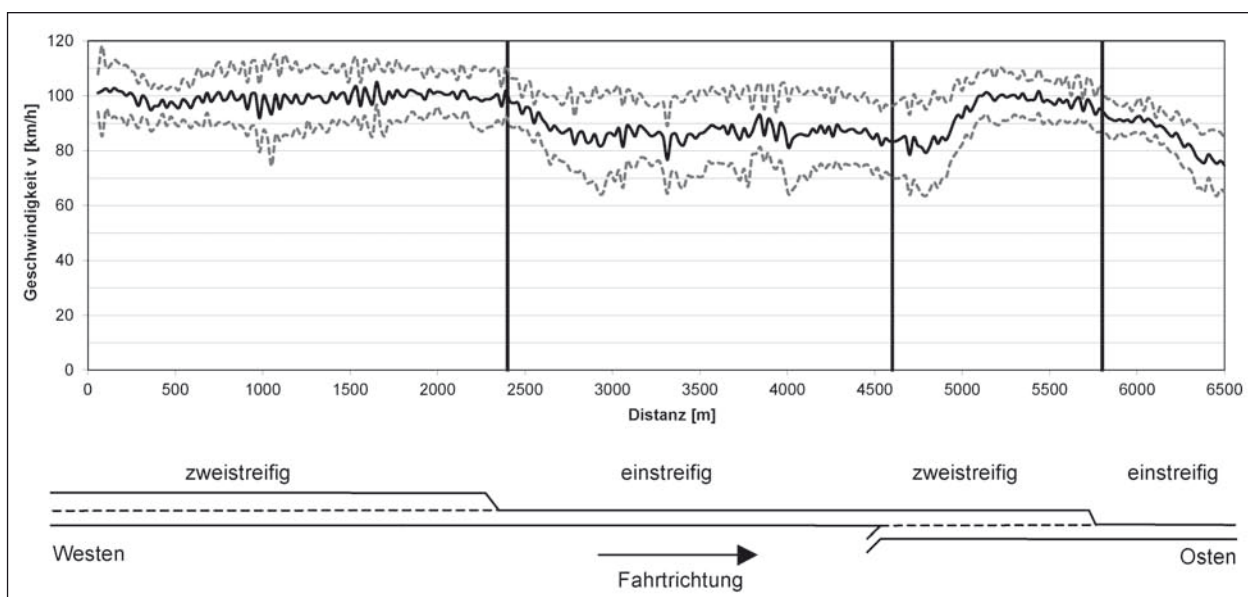


Bild 4: Weg-Geschwindigkeitsdiagramm; Mittelwert (schwarz) und Standardabweichung (grau gestrichelt) der Verfolgungsfahrten in Fahrtrichtung Rinnthal (Osten, Mittelwerte der Geschwindigkeiten über Streckenabschnitte von 20 m)

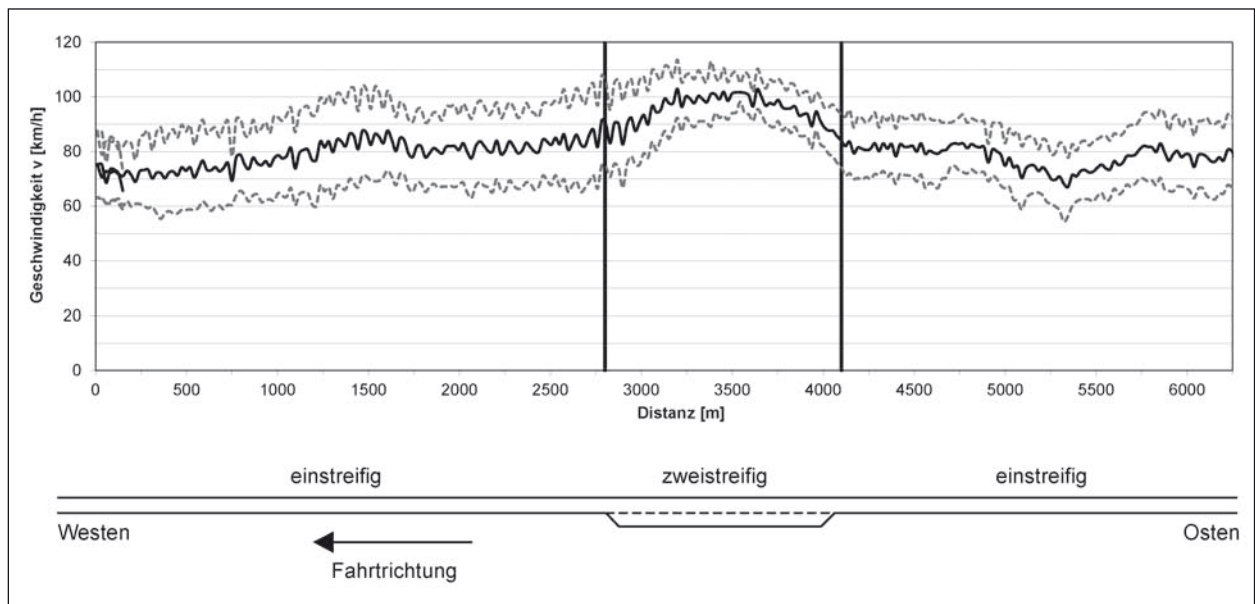


Bild 5: Weg-Geschwindigkeitsdiagramm, Mittelwert (schwarz) und Standardabweichung (grau gestrichelt) der Verfolgungsfahrten in Fahrtrichtung Hauenstein (Westen, Mittelwerte der Geschwindigkeiten über Streckenabschnitte von 20 m)

Bereich wieder absinkt. Eine Betrachtung der Einzeltrajektorien (vgl. Anhang 5) zeigt, dass zwar einige Fahrzeuge auch nach Ende des zweistreifigen Bereichs noch höhere Geschwindigkeiten erreichen, die meisten Fahrzeuge jedoch sehr bald wieder deutlich langsamer werden. Der Geschwindigkeitsrückgang korrespondiert mit den Ergebnissen der Seitenradarmessungen, die in Anhang dargestellt sind. Die relativ schnelle erneute Kolonnenbildung ist selbstverständlich im Zusammenhang mit dem hohen Schwerverkehrsanteil zu sehen, der bei den Untersuchungen an der B 10 festgestellt wurde.

Auffällig ist die im Vergleich zu den Ergebnissen der Fahrtgeschwindigkeitsmessungen sehr geringe Streuung der Geschwindigkeiten im zweistreifigen Bereich. Dies ist mutmaßlich auf unterschiedliche Berechnungsmethoden zurückzuführen: Während hier sehr kurze und homogene Streckenabschnitte von nur 20 m betrachtet werden, wurde die Streuung im Rahmen der Fahrtgeschwindigkeitsmessungen über bis zu 2,5 km lange Streckenabschnitte mit zum Teil sehr unterschiedlichen Geschwindigkeiten gebildet.

4.6.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei den Messungen an der B 10 ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Anzahl der Fahrstreifen in der betrachteten Richtung und den Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten beobachtet wurde. Die Pkw-Fahrt-

geschwindigkeiten lagen im zweistreifigen Abschnitt im Mittel um 15 bis 20 km/h höher als in den einstreifigen Bereichen. Insbesondere aufgrund des hohen Schwerverkehrsanteils waren darüber hinaus schon vor Ende des zweistreifigen Bereichs ein deutlicher Geschwindigkeitsrückgang und eine schnelle erneute Kolonnenbildung zu beobachten.

4.7 B 33 bei Allensbach

An der B 33 bei Allensbach (zwischen Konstanz und Radolfzell) die auch zum Untersuchungskollektiv des im Jahr 1997 veröffentlichten Forschungsprojektes (vgl. BRILON/WEISER) gehörte, wurde eine Seitenradarmessung beider Fahrtrichtungen durchgeführt. Es handelt sich dabei um eine 8,30 m breite, zweistreifige Landstraße mit großzügiger Trassierung und geringen Längsneigungen, auf der bereits im Jahr 1994 eine Verkehrsbelastung von bis zu 2.112 Kfz/h im Querschnitt (hochgerechnete Stundenbelastung auf Basis des am stärksten belasteten 5-Min-Intervalls festgestellt wurde (vgl. BRILON/WEISER, 1997).

Mithilfe einer erneuten Messung am gleichen Querschnitt dieser Landstraße sollte überprüft werden, ob es Anzeichen für eine generelle Zunahme der Geschwindigkeiten auf zweistreifigen Landstraßen in Deutschland gibt.

Ausgangspunkt für diese Frage waren Berichte skandinavischer Fachleute (vgl. Kapitel 2.6), nach

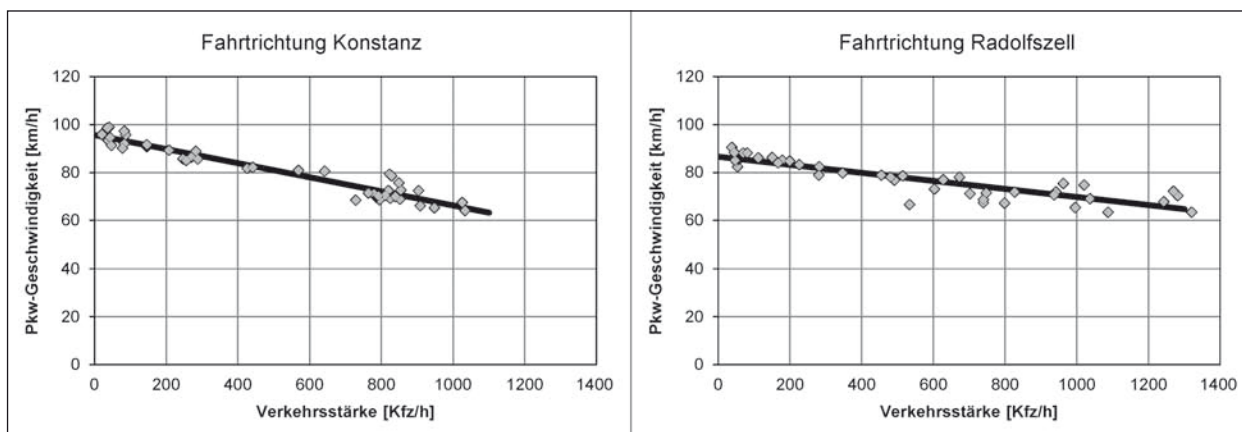


Bild 6: q-V-Diagramme der beiden Seitenradarmessungen (1-h-Intervalle)

denen im Rahmen aktueller Messungen an skandinavischen Landstraßen ein deutlich höheres Geschwindigkeitsniveau angetroffen wurde als in bei den Messungen von BRILON/WEISER (1997), die in der Mitte der 90er Jahre durchgeführt und seinerzeit als Grundlagen für die Simulation der q-V-Beziehungen auf Landstraßen herangezogen wurden.

Neben dem unterschiedlichen Fahrerkollektiv und den unterschiedlichen Randbedingungen, z. B. den Fahrtweiten, die auf den Landstraßen in den skandinavischen Ländern mutmaßlich deutlich höher sind als in Deutschland, kann als Erklärung dafür auch eine generelle Geschwindigkeitszunahme im Zeitraum seit Durchführung der Messungen in Betracht kommen. Diese Vermutung wurde im Kreis der Betreuer des hier beschriebenen Forschungsprojektes geäußert. Für die Plausibilität einer generellen Geschwindigkeitszunahme spricht die zwischenzeitliche Entwicklung der Fahrzeugtechnik. Diese hat ohne Zweifel dazu beigetragen, dass bei gleichem Sicherheitsniveau höhere Geschwindigkeiten möglich sind. Gleichzeitig wurde es durch die erreichten Verbesserungen des Komforts für den Kraftfahrer immer schwieriger, seine Geschwindigkeit intuitiv richtig einzuschätzen.

Das Ziel der Messung an der B 33 bei Allensbach war es daher, Vergleichswerte zu den im Jahr 1994 an derselben Stelle erfassten Messergebnissen bereit zu stellen. Im Fall einer nachweislichen Geschwindigkeitszunahme hätte es erforderlich werden können, die Grundlagen der im HBS angegebenen q-V-Beziehungen in Frage zu stellen, eine deutlich größere Anzahl aktueller Messungen durchzuführen und das Simulationsmodell zur systematischen Untersuchung der q-V-Beziehungen neu zu kalibrieren.

Die aktuelle Messung auf der B 33 umfasste einen Zeitraum von 42 Stunden. Der mittlere Schwerverkehrsanteil lag in Fahrtrichtung Konstanz bei 4,8 % und in Fahrtrichtung Radolfzell bei 4,3 %. Mit bis zu 1.321 Kfz/h in Fahrtrichtung Radolfzell war der einstreifige Querschnitt stark ausgelastet. Aus den für beide Richtungen separat erstellten q-V-Diagrammen (vgl. Bild 6) ist zu entnehmen, dass bei einer Verkehrsstärke von 900 Kfz/h x Richtung mittlere lokale Geschwindigkeiten von ca. 65 km/h in Richtung Konstanz sowie von ca. 71 km/h in Richtung Radolfzell zu verzeichnen waren. Dies entspricht ungefähr der mittleren lokalen Geschwindigkeit 70 km/h, die im Jahr 1994 an exakt der gleichen Stelle für eine Verkehrsstärke von 1.800 Kfz im Querschnitt erfasst wurde (vgl. BRILON/WEISER, 1997, Bild 3-8), seinerzeit allerdings bei einem Schwerverkehrsanteil von ca. 9 %.

Aus der stichprobenhaften Vergleichsmessung in Allensbach ergeben sich also keine Hinweise auf eine generelle Zunahme der Geschwindigkeiten auf Landstraßen. Weitere Informationen über die Messung an der B 33 in Allensbach sind in Anhang 6 enthalten.

5 Weiterentwicklung des Bemessungsverfahrens

5.1 Richtungstrennte Betrachtung zweistreifiger Strecken

Als wesentlicher Grund für die bislang gebräuchliche gemeinsame Betrachtung beider Fahrtrichtungen einer zweistreifigen Landstraße ist das Bestreben anzusehen, die Einflüsse der im Zuge herkömmlicher, zweistreifiger Landstraßen grundsätz-

lich gegebenen Überholmöglichkeiten sachgerecht zu berücksichtigen. Andererseits ist auch bereits seit langem bekannt, dass Überholmanöver, die zu einem nennenswerten Zeitgewinn für einzelne Fahrzeuge führen, nur möglich sind, wenn die Verkehrsstärken beider Fahrtrichtungen gering sind (bis 400 Kfz/h und Richtung, vgl. BRILON, 1976).

Es stellt sich daher die Frage, ob die Berücksichtigung möglicher Überholungen bei der verkehrstechnischen Bemessung von Landstraßen, deren wesentlicher Nutzen in der möglichst zutreffenden Beschreibung der verkehrstechnischen Zusammenhänge bei großen Verkehrsstärken liegt, weiterhin einen so hohen Stellenwert haben sollte. Aus heutiger Sicht werden Überholvorgänge, die aufgrund der Benutzung des Fahrstreifens für den Gegenverkehr systematisch zu einer erhöhten Gefährdung der Verkehrsteilnehmer beitragen, insgesamt eher kritisch bewertet. Dies ist auch an der inzwischen wesentlich differenzierteren Behandlung der Überholmöglichkeiten in den Entwurfsrichtlinien zu erkennen, z. B. in den RAL (vgl. FGSV, Entwurf 2011).

Wie BRILON bereits 1976 auf der Basis theoretischer Vorarbeiten von JACOBS (1970) anhand eines Modells gezeigt hat, haben unterschiedliche Verhältnisse der Verkehrsstärken nur einen geringen Einfluss auf die im Mittel der beiden Fahrtrichtungen erreichbaren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten (bisherige Bezeichnung: mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeiten). Mit dieser Erkenntnis kann nachvollziehbar begründet werden, dass bei der Beschreibung der Verkehrsqualität, die im Mittel beider Fahrtrichtungen herrscht, keine Differenzierung anhand unterschiedlicher Richtungsanteile erforderlich ist.

Dadurch ist aber nicht ausgeschlossen, dass sich die Geschwindigkeiten der beiden Fahrtrichtungen, z. B. bedingt durch unterschiedliche Verkehrsstärken und/oder durch unterschiedliche Längsneigungsverhältnisse, nennenswert unterscheiden. Mit einer nach Fahrtrichtungen getrennten Betrachtung bestehen in solchen Fällen wesentlich genauere Möglichkeiten zur Beschreibung des Verkehrsablaufs. Eine drohende Überlastung in einer der beiden Fahrtrichtungen (z. B. während einer vorläufigen Bemessungsstunde, die sich durch deutliche Richtungsüberhänge auszeichnen kann) kann mit einer richtungsgetrenten Betrachtung identifiziert werden, während eine gemeinsame Betrachtung der kritischen Fahrtrichtung mit der im Regel-

fall unproblematischen Gegenrichtung im gleichen Fall insgesamt ggf. noch eine ausreichende Verkehrsqualität suggerieren würde.

Als ein weiteres Argument für eine richtungsgetrennte Betrachtung der zweistreifigen Landstraßen ist zu berücksichtigen, dass durchgängig dreistreifige Landstraßen, die nach dem Prinzip 2+1 betrieben werden und deren Fahrtrichtungen durch den dafür anzuwendenden Regelquerschnitt RQ 15,5 voneinander getrennt sind, nur richtungsgetrent betrachtet werden können. Für Landstraßen, die abschnittsweise drei Fahrstreifen aufweisen, ist eine solche Betrachtung ebenfalls zweckmäßig: Für eine auf verkehrstechnische Zusammenhänge gestützte Festlegung der Abschnitte, die einen zusätzlichen Fahrstreifen erhalten sollen, ist eine richtungsgetrennte Betrachtung des Verkehrsablaufs erforderlich.

Voraussetzung für die richtungsgetrennte Betrachtung ist selbstverständlich, dass geeignete Grundlagendaten zum Verkehrsaufkommen zur Verfügung stehen. Es reicht nicht aus zu wissen, welche Belastungen der beiden Fahrtrichtungen während der Bemessungsstunde vorliegen bzw. zu erwarten sind, wenn diese Bemessungsstunde (z. B. die 30. Stunde) nur bezogen auf die Verkehrsbelastung des Gesamtquerschnitts bekannt ist. Stattdessen sollten die Verkehrsstärken der 30. Stunde einer jeden Fahrtrichtung bekannt sein. Die Kenntnis der in dieser Bemessungsstunde vorhandenen bzw. zu erwartenden Verkehrsstärken in der Gegenrichtung bzw. im Gesamtquerschnitt spielt dagegen in einem richtungsgetrenten Verfahren keine Rolle.

Ferner ist es für eine richtungsgetrennte Betrachtung natürlich erforderlich, die Zusammenhänge zwischen den Parametern Verkehrsstärke q und mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeit V ebenfalls richtungsgetrent anzugeben. Die Herleitung und Darstellung entsprechender Funktionsgleichungen ist ein Kernpunkt des hier beschriebenen Forschungsprojektes.

In einem ersten Schritt zur Herleitung richtungsgetrenter q - V -Diagramme wurden die aus dem vorangegangenen Forschungsprojekt BRILON/WEISER (1997) für alle Kombinationen der maßgebenden Parameter Längsneigung, Kurvigkeit und Schwerverkehrsanteil vorliegenden Simulationsdaten richtungsgetrent ausgewertet. Dies war möglich, da die Fahrzeuge der beiden Fahrtrichtungen in den seinerzeit durchgeführten Simulations-

untersuchungen zwar gemeinsam untersucht wurden, anhand der dabei produzierten Datensätze aber auch nachträglich noch unterschieden werden können.

Zur Darstellung der Simulationsergebnisse wurden Regressionsrechnungen durchgeführt. Dabei wurde das in der vorangegangenen Untersuchung hergeleitete Verkehrsmodell zugrunde gelegt, das die Zusammenhänge anhand einer einfachen Wurzelfunktion mit der Form

$$V = a + b * \sqrt{q} \quad (3)$$

mit

V mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeit in der betrachteten Richtung [km/h]

q Verkehrsstärke aller Fahrzeuge in der betrachteten Richtung [Kfz/h]

a, b Parameter der Funktion

beschreibt.

Die mit dieser Vorgehensweise erarbeiteten q-V-Diagramme sind in Bild 7 und Bild 8 dargestellt. In den Diagrammen sind neben den q-V-Funktionen auch Linien gleicher Verkehrsdichte dargestellt, die sich anhand der Gleichung

$$K = \frac{q}{V} \quad (4)$$

mit

K Verkehrsdichte in der betrachteten Richtung [Kfz/km]

q Verkehrsstärke aller Fahrzeuge in der betrachteten Richtung [Kfz/h]

V mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeit in der betrachteten Richtung [km/h]

errechnet und wie in Kapitel 5 des Handbuchs für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen zur Abgrenzung der Stufen der Verkehrsqualität herangezogen wird.

Da jeweils nur eine Fahrtrichtung betrachtet wird, wurden die Werte zur Abgrenzung der Stufen der Verkehrsqualität angepasst, d. h. gegenüber einer gemeinsamen Betrachtung beider Fahrtrichtungen halbiert (vgl. Tabelle 12).

Ferner wurde auf eine getrennte Darstellung für die beiden bisherigen Steigungsklassen 1 und 2 (Ein-

QSV	Verkehrsdichte k [Kfz/km]
A	≤ 3
B	≤ 6
C	≤ 10
D	≤ 15
E	≤ 20
F	> 20

Tab. 12: Mögliche Grenzwerte der Verkehrsdichte für die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) einer Richtung

teilung gemäß HBS, vgl. FGSV, 2009) verzichtet, da sich zwischen den q-V-Diagrammen dieser beiden Steigungsklassen keine nennenswerten Unterschiede identifizieren lassen. Die getrennte Darstellung im vorangegangenen Forschungsprojekt (vgl. BRILON/WEISER, 1997) erfolgte bereits nur deshalb, weil der Vergleich der seinerzeit neuen Kurven mit den bis dahin verwendeten, für fünf Steigungsklassen separat angegebenen Kurven erleichtert werden sollte.

Die auf der linken Seite von Bild 7 angegebenen Diagramme repräsentieren daher die Zusammenhänge zwischen den Verkehrsstärken und den mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten für die neu definierte Steigungsklasse 1 (entspricht den bisherigen Steigungsklassen 1 und 2), die auf der rechten Seite von Bild 7 angegebenen Diagramme gelten für die damit ebenfalls neu definierte Steigungsklasse 2 (entspricht der bisherigen Steigungsklasse 3).

Die auf der linken Seite von Bild 8 angegebenen Diagramme repräsentieren die Zusammenhänge zwischen den Verkehrsstärken und den mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten für die neu definierte Steigungsklasse 3 (entspricht der bisherigen Steigungsklasse 4), die auf der rechten Seite von Bild 8 angegebenen Diagramme gelten für die neue Steigungsklasse 4 (entspricht der bisherigen Steigungsklasse 5).

Die Einteilung der Kurvigkeitsklassen ist gegenüber der bisherigen Einteilung (Kurvigkeitsbereiche gem. HBS, vgl. FGSV, 2009) unverändert. Die in den Bildern 7 bis 8 dargestellten Diagramme enthalten Kurven, die den für zweistreifige Landstraßen typischen konkaven Verlauf aufweisen.

Die maßgebenden Einflussgrößen wirken sich wie bei der gleichzeitigen Betrachtung beider Fahrtrichtungen aus: Zunehmende Längsneigungen führen

zu einem steileren Abfallen und zu einer Verkürzung der Kurven, d. h. zu einer geringeren Kapazität. Ein höherer Schwerverkehrsanteil verstärkt das Abfallen der Kurven. Eine zunehmende Kurvigkeit

führt zu einem Zusammenrücken der Kurven für verschiedene Schwerverkehrsanteile, in einzelnen Fällen zu einem Zusammenfallen der Kurven (vgl. Bild 7).

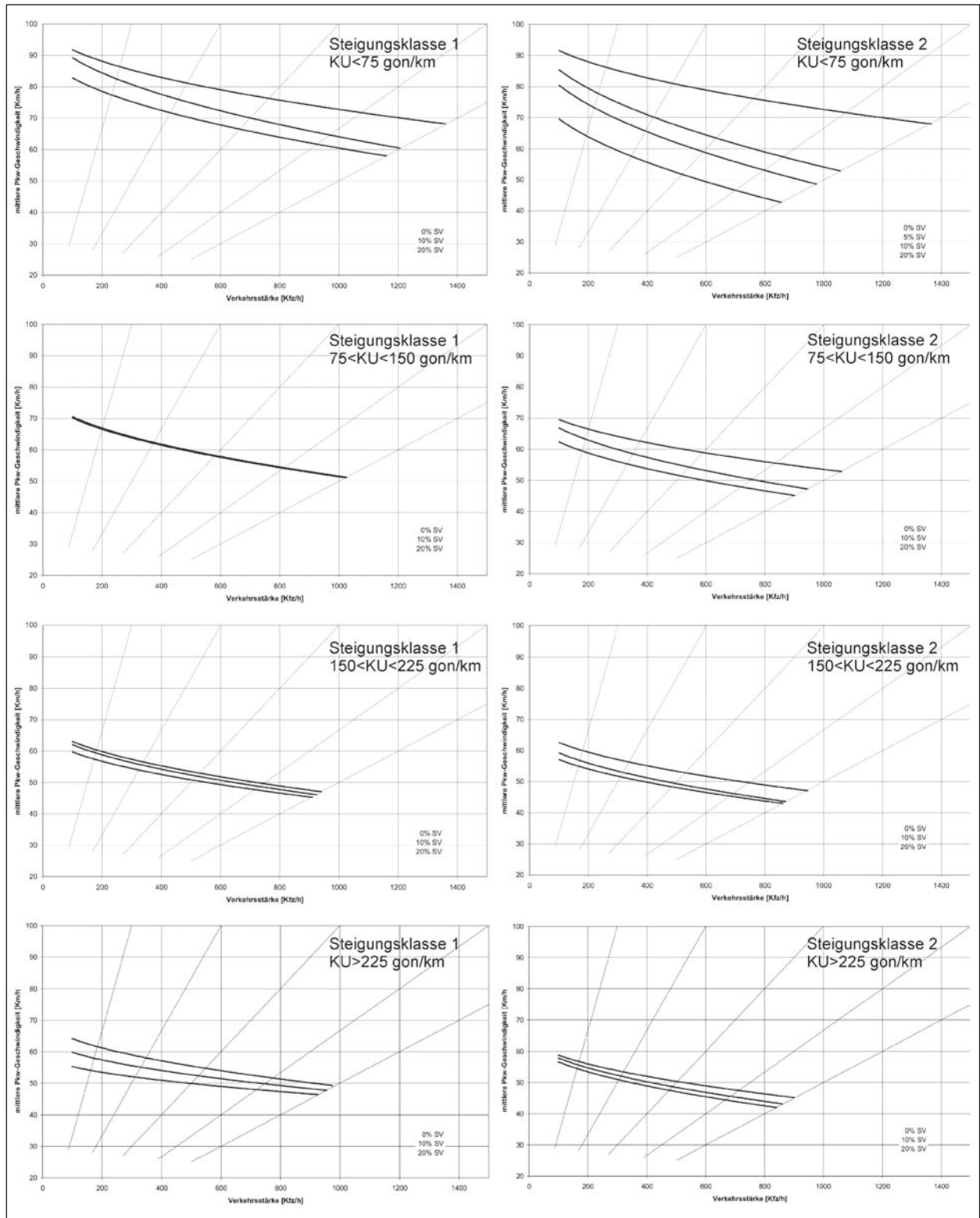


Bild 7: q-V-Diagramme für die Steigungsklassen 1 und 2 (neue Einteilung, vgl. Text), Kurvigkeitsklassen (bisher: Kurvigkeitssbereiche) 1 bis 4 (bisherige Einteilung, vgl. HBS 2009)

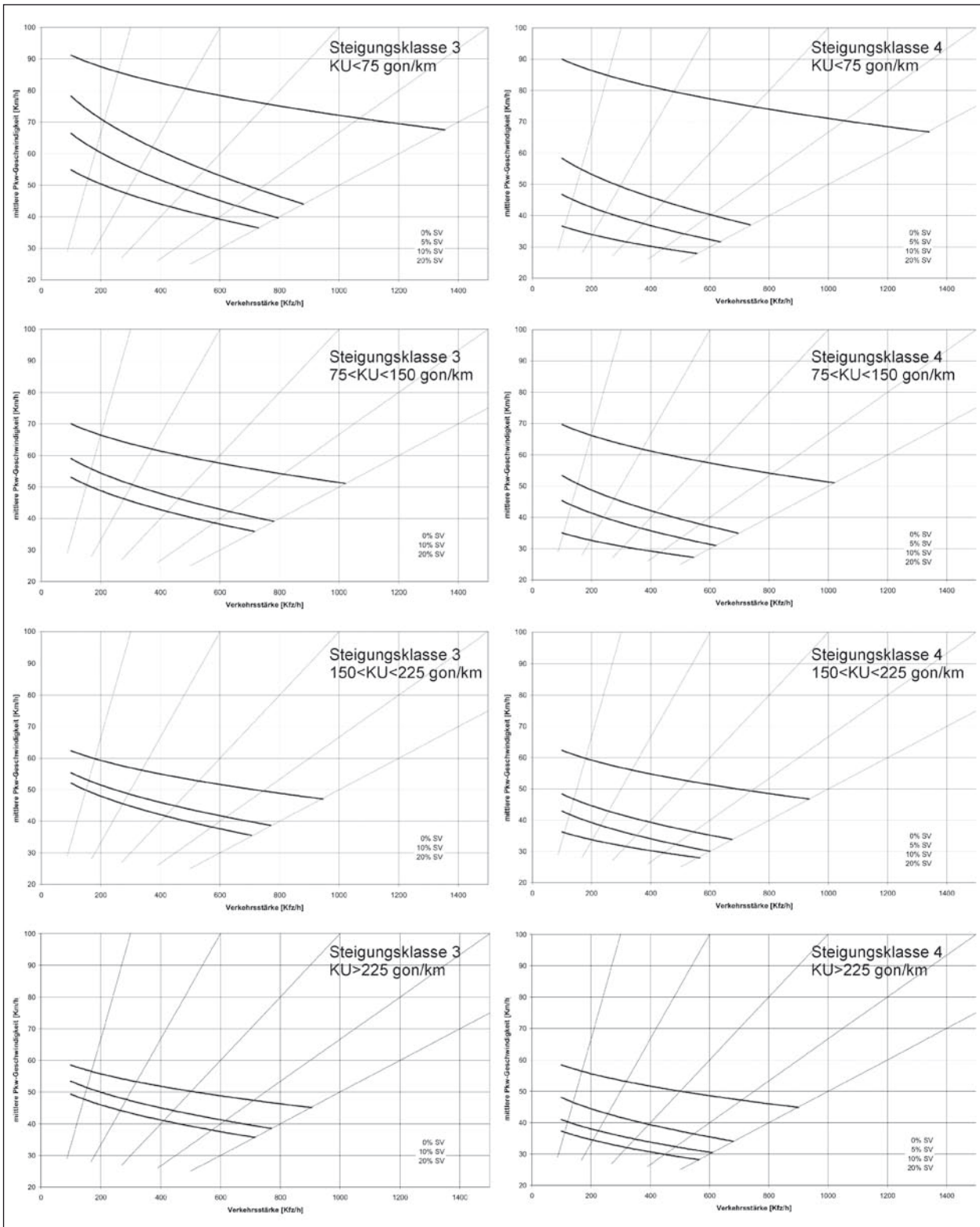


Bild 8: q-V-Diagramme für die Steigungsklassen 3 und 4 (neue Einteilung, vgl. Text), Kurvigkeitsklassen (bisher: Kurvigkeitsbereiche) 1 bis 4 (bisherige Einteilung, vgl. HBS 2009)

Anstelle der in Bild 7 und Bild 8 dargestellten Kurven, die hier nur zur Verdeutlichung der grundsätzlichen Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten zwischen einer querschnittsbezogenen und einer rich-

tungstrennten Betrachtung dargestellt sind, wurden im weiteren Verlauf der Untersuchungen andere Kurven hergeleitet und zur weiteren Verwendung im Rahmen des HBS aufbereitet (vgl. Kapitel 6).

5.2 Festlegung von Teilstrecken

Da die Zusammenhänge zwischen den Verkehrsstärken und den mittleren Geschwindigkeiten auf zweistreifigen Landstraßen von der jeweils vorliegenden Kombination der maßgebenden Einflussgrößen Längsneigung, Kurvigkeit und Schwerverkehrsanteil abhängig sind und sich daher über eine längere Strecke mehrmals ändern können, ist die Strecke bei der Anwendung des Verfahrens zum Nachweis der Verkehrsqualität in Teilstrecken (bisherige Bezeichnung: Teilabschnitte) zu unterteilen. Innerhalb der Teilstrecken sollen die wesentlichen Einflussgrößen annähernd konstant bleiben.

Das Verfahren im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS (vgl. FGSV, 2009) führt dazu unter Kapitel 5.2.3 aus: „Landstraßenabschnitte mit wechselnden Eigenschaften werden in Teilabschnitte eingeteilt. Ein neuer Teilabschnitt beginnt bei Änderung einer streckenbezogenen Einflussgröße. Jeder Teilabschnitt soll wenigstens 300 m lang sein.“

Wie die Befragung der Anwender (vgl. Kapitel 3.1) und die Expertengespräche (vgl. Kapitel 3.2) gezeigt haben, bestehen bei kaum einem Schritt des Verfahrens so viele Unsicherheiten wie bei der Festlegung von Teilstrecken. Offensichtlich ist der bisherige Text (s. o.) zu wenig präzise. Mutmaßlich wurde die Festlegung von Teilstrecken in der Praxis primär anhand der Längsneignungsverhältnisse durchgeführt. Die Kurvigkeit und die Überholmöglichkeiten wurden anschließend innerhalb der so gebildeten Abschnitte bestimmt. Ebenso gut wäre es aber auch möglich, die Teilstrecken anhand der Kurvigkeit zu definieren und innerhalb der so gebildeten Teilstrecken die Längsneigungen bzw. die mittlere Längsneigung zu bestimmen. Dieser Weg ist aber in der Praxis offensichtlich nicht beschränkt worden.

Zur Frage, wie stark eine Änderung der Längsneigung sein sollte, damit die Festlegung einer eigenen Teilstrecke gerechtfertigt ist, enthält das aktuelle HBS ebenfalls nur einen indirekten Hinweis. So heißt es unter Kapitel 5.3.1: „Werden Teilabschnitte aufgrund großer Neigungsänderung gebildet, so ergeben sich die Längen der Abschnitte und die Maße der Neigung zwischen den Tangentenschnittpunkten im Höhenplan.“

In der Praxis hat sich dazu offensichtlich eine Vorgehensweise herausgebildet, bei der zunächst auch geringere Unterschiede der Längsneigung zur

Abgrenzung von Teilstrecken herangezogen werden. Diese werden aber später wieder zu einer Teilstrecke zusammengefasst, wenn die anschließend durchzuführenden Bearbeitungsschritte für zwei benachbarte Teilstrecken die gleiche Steigungsklasse ergeben hat und keine anderen Randbedingungen gegen eine solche Zusammenfassung sprechen.

Dieses Beispiel zeigt, dass sich eine vom Anwender getroffene Entscheidung zur Einteilung der Strecke einer Landstraße in mehrere Teilstrecken anhand des aktuellen Kapitels im HBS nachträglich als unzweckmäßig erweisen kann. In diesem Mechanismus kann einerseits eine willkommene Korrektur gesehen werden, andererseits ist nicht auszuschließen, dass derartige Effekte eine beim Anwender bereits vorhandene Unsicherheit hinsichtlich der Festlegung von Teilstrecken noch verstärken oder neue Unsicherheiten auslösen.

Diese Unsicherheiten führen zu der Frage, ob eine unzweckmäßige Festlegung von Teilstrecken zu einem unabsichtlich falschen Ergebnis führen kann bzw. ggf. sogar eine Möglichkeit bietet, ein Ergebnis zu manipulieren. Diese Frage wurde bereits im Vorfeld der Arbeiten zu einem neuen Landstraßen-Kapitel im HBS durch Testrechnungen beleuchtet. Im Mittelpunkt der Testrechnungen stand die auch hier bereits angesprochene Frage, ob die Festlegung von Teilstrecken zukünftig bevorzugt anhand der Längsneignungsverhältnisse (also mit anschließender Ermittlung der Kurvigkeit innerhalb dieser Teilstrecken) oder anhand der Kurvigkeit (d. h. mit anschließender Ermittlung der Längsneigung innerhalb dieser Teilstrecken) durchgeführt werden sollte.

Mit den seinerzeit für fünf Fallbeispiele durchgeführten Testrechnungen zeigte sich, dass die ermittelte Qualität des Verkehrsablaufs, also das Ergebnis des Verfahrens für den Nachweis der Verkehrsqualität, weitestgehend unabhängig von dem angewandten Prinzip zur Festlegung der Teilstrecken ist. Die Berechnungen führten nur zu geringen Unterschieden in den für die einzelnen Teilstrecken berechneten Verkehrsdichten und Stufen der Verkehrsqualität. Für die gesamte Strecke ergaben sich stets nur sehr geringe Unterschiede in den mittleren Verkehrsdichten. Die Stufe der Verkehrsqualität blieb für die betrachtete Gesamtstrecke in allen untersuchten Fällen identisch. Nur mit einer gezielten Wahl der Eingangs- und der Einflussgrößen konnten Fälle konstruiert werden, in denen sich

aus den verschiedenen Prinzipien der Festlegung von Teilstrecken auch eine andere Stufe der Verkehrsqualität ergab.

Aus den vorliegenden Ergebnissen unterschiedlicher Testrechnungen ist zu entnehmen, dass die von den Anwendern geäußerten Befürchtungen, mit einer ungünstigen Festlegung der Teilstrecken das Ergebnis des Verfahrens in einem nennenswerten Umfang zu beeinträchtigen, weitestgehend unbegründet sind. Dennoch wurden die Regeln zur Abgrenzung von Teilstrecken in den Überlegungen zur Fortschreibung des Verfahrens konkretisiert und deutlich vereinfacht.

Nach dem derzeitigen Entwurf für das neue Kapitel L3, das im Zusammenwirken mit verschiedenen Gremien der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) erarbeitet und in seinen Grundzügen in der ersten Hälfte des Jahres 2011 von der K 3, dem dafür zuständigen Gremium der FGSV beschlossen wurde, sollen die zu untersuchenden Strecken zunächst dort in Teilstrecken unterteilt werden, wo sich die Anzahl der Fahrstreifen in der betrachteten Richtung ändert.

Eine weitere Unterteilung kann erforderlich sein, wenn sich an einem vorfahrtgeregelten Knotenpunkt, an dem die betrachtete Strecke bevorrechtigt ist, die Verkehrsstärke oder der Schwerverkehrsanteil nennenswert ändern. Das Auftreten eines solchen Knotenpunktes stellt für sich betrachtet dagegen noch keinen Grund für die Festlegung einer neuen Teilstrecke dar, da der Verkehrsablauf im Zuge der betrachteten Strecke an solchen Knotenpunkten nicht oder nur unwesentlich beeinflusst wird.

Bei Unterteilungen aufgrund von Knotenpunkten, an denen sich die Verkehrsstärken oder die Verkehrszusammensetzung ändert, sowie bei allen weiteren Unterteilungen ist darauf zu achten, dass die gebildeten Teilstrecken eine Mindestlänge von 300 m aufweisen.

Jede Teilstrecke wird anschließend einer bestimmten Steigungsklasse (vgl. dazu auch Kapitel 5.3) zugeordnet. Dazu ist zunächst anhand des Gradientenbands zu prüfen, ob unterschiedliche Längsneigungsverhältnisse eine weitere Unterteilung in Teilstrecken erforderlich machen.

Bereiche mit einer Längsneigung von -3 % bis 3 % können zu einer Teilstrecke zusammengefasst werden, die der Steigungsklasse 1 zugeordnet wird. In-

nerhalb der Bereiche, die Längsneigungen von mehr als 3 % aufweisen, sollen diejenigen Abschnitte zu Teilstrecken zusammengefasst werden, deren Längsneigung sich nicht um mehr als 2 % unterscheidet. Abschnitte mit größeren Längsneigungsdifferenzen können zu Teilstrecken zusammengefasst werden, wenn nur dadurch die vorgenannte Mindestlänge von Teilstrecken mit 300 m eingehalten werden kann.

Für die so bestimmten Teilstrecken werden getrennt nach Fahrrichtungen die längengewichteten Mittelwerte der einzelnen Längsneigungen berechnet. Diese berechneten Mittelwerte bilden gemeinsam mit der Länge der jeweiligen Teilstrecke die Eingangsgrößen für die Zuweisung der Teilstrecke zu einer Steigungsklasse gemäß einer neu entwickelten Tabelle (vgl. hierzu Kapitel 5.3).

Jede Teilstrecke wird einer Kurvigkeitsklasse zugeordnet, eine weitere Unterteilung aufgrund unterschiedlicher Kurvigkeiten innerhalb einer Teilstrecke wird als in der Regel entbehrlich angesehen.

Die Festlegung der Hierarchie der Einflussgrößen, die sich in den oben dargestellten neuen Regelungen für die Abgrenzung von Teilstrecken wiederfindet, beruht auf der Einschätzung, dass die Längsneigungsverhältnisse im Verlauf einer Strecke am ehesten für eine praktikable Einteilung geeignet sind. Es darf angenommen werden, dass Einteilungen, die aufgrund der Längsneigung getroffen werden, nur ausnahmsweise noch aufgrund der Kurvigkeit weiter verfeinert werden müssen.

Bei Einteilungen, die zunächst aufgrund der Kurvigkeit getroffen werden, ist dagegen zu erwarten, dass auch Längsneigungen mit unterschiedlichen Vorzeichen zu Teilstrecken zusammengefasst werden. In diesen Fällen ist eine Überprüfung erforderlich, in einzelnen Fällen kann es erforderlich sein, anstelle einer weiteren Unterteilung eine Verschiebung der im ersten Schritt (anhand der Kurvigkeit) getroffenen Einteilung vorzunehmen.

Um zu überprüfen, ob die neuen Vorgaben zur Festlegung von Teilstrecken zu abweichenden Ergebnissen führen können, wurde eine Serie von Testrechnungen durchgeführt, in deren Verlauf gleichzeitig aber auch ein neues, vereinfachtes Verfahren zur Festlegung der Steigungsklassen erprobt wurde. Die Ergebnisse der Testrechnungen werden daher unter Kapitel 5.3. dargestellt.

5.3 Zuordnung von Steigungsklassen

Steigungen im Verlauf einer Strecke führen zu spürbaren Veränderungen des Verkehrsablaufs. Dies gilt bereits bei geringen Schwerverkehrsanteilen. Da sich sowohl der Grad einer Steigung als auch deren Länge auf die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge auswirken, kommt im technischen Regelwerk bereits seit Jahrzehnten ein Verfahren zur Charakterisierung der Längsneigungsverhältnisse zum Einsatz, das den Grad einer Steigungsstrecke (bzw. einer Gefällstrecke) sowie deren Länge berücksichtigt und verschiedene Abschnitte mithilfe einer Tabelle einer Steigungsklasse zuordnet.

Die q-V-Diagramme, die zur Ermittlung der Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten (bisherige Bezeichnung: Pkw-Reisegeschwindigkeiten) und der Verkehrsdichte herangezogen werden, werden im HBS nach Steigungsklassen differenziert angegeben.

Das bisherige Verfahren zur Zuordnung einer Steigungsklasse ist relativ abstrakt. Es bedient sich eines physikalischen Modells, das den möglichen Geschwindigkeitsverlauf eines fiktiven Schwerfahrzeugs mit einer anhand statistischer Gesichtspunkte definierten Motorisierung und Beladung auf Strecken mit unterschiedlicher Längsneigung wiedergibt (vgl. Bild 9). Die im HBS (vgl. FGSV, 2009) dargestellte Fassung dieses Diagramms wurde von BREßLER (2001) mithilfe bundesweit gültiger

statistischer Angaben zu den o. g. Einflussgrößen und eines aktualisierten kinematischen Modells erarbeitet.

Bei der Anwendung des Diagramms ist zunächst zu berücksichtigen, mit welcher Ausgangsgeschwindigkeit das fiktive Bemessungsschwerfahrzeug in eine zu untersuchende Teilstrecke (bisherige Bezeichnung: Teilabschnitt) einfahren kann. Für die erste Teilstrecke wird im HBS aus Gründen der Vereinfachung unterstellt, dass es sich dabei um eine ebene Strecke oder einen Abschnitt mit Gefälle handelt, so dass keine Geschwindigkeitsabminderungen aus einem vorangegangenen Abschnitt berücksichtigt werden müssen.

Unter der Annahme, dass die Fahrt durch eine Teilstrecke mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h beginnen kann, kann die Länge der zu untersuchenden Teilstrecke an der X-Achse abgetragen werden. Am Ende der abgetragenen Strecke kann anschließend die Geschwindigkeit abgelesen werden, mit der das fiktive Bemessungsfahrzeug fährt. Dabei ist die Kurve anzusetzen, die dem Grad der Steigung entspricht. Zwischenwerte sind grafisch zu interpolieren.

Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass Fahrzeuge, die dem fiktiven Bemessungsschwerfahrzeug hinsichtlich ihrer möglichen Beladung (und Motorisierung) entsprechen, auf Landstraßen

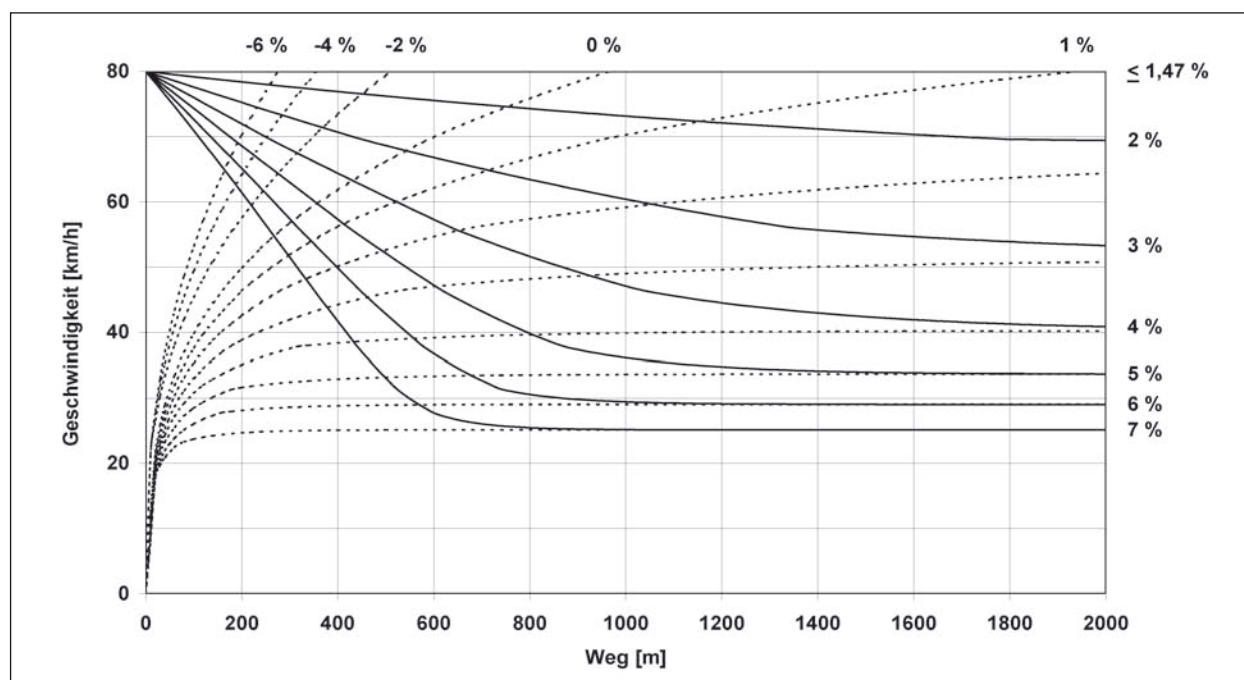


Bild 9: Geschwindigkeitsprofile für das Bemessungs-Schwerfahrzeug (BSFz) bei unterschiedlichen Längsneigungen (vgl. FGSV, 2009)

höchstens 60 km/h schnell fahren dürfen. Dies schränkt die Gültigkeit des Verfahrens zur Zuordnung von Steigungsklassen nicht ein zeigt aber, dass es sich hierbei um eine stark abstrahierende Vorgehensweise handelt.

Wenn die Fahrt durch eine Teilstrecke mit einer geringeren Geschwindigkeit als 80 km/h beginnt, z. B. weil bereits der vorangegangene Abschnitt zu einer Geschwindigkeitsreduzierung geführt hat, kann die Länge der zu untersuchenden Teilstrecke nicht direkt an der X-Achse abgetragen werden, sondern muss so verschoben werden, dass der Beginn der Strecke dort liegt, wo das zu verwendende Geschwindigkeitsprofil die maßgebende Ausgangsgeschwindigkeit darstellt. Anschließend kann die Entwicklung der Geschwindigkeit des Bemessungsschwerfahrzeugs entlang der verschiedenen Profile abgelesen werden, die für unterschiedliche positive und negative Längsneigungen angegeben sind.

Das Ergebnis der Ablesung, die für jede Teilstrecke für beide Fahrtrichtungen durchgeführt werden soll, kann aber nicht in allen Fällen direkt zur Einstufung der Steigungsklassen verwendet werden: Zuvor ist noch zu prüfen, ob das Bemessungsschwerfahrzeug seine sogenannte Beharrungsgeschwindigkeit erreicht hat, eine Geschwindigkeit, mit der das Fahrzeug bei gleich bleibender Längsneigung ohne weitere Geschwindigkeitseinbußen weiterfahren könnte. Nur in diesem Fall soll die abgelesene Geschwindigkeit als maßgebende Geschwindigkeit zur Zuordnung der Steigungsklasse herangezogen werden. Wenn die Beharrungsgeschwindigkeit nicht erreicht wird, gilt das arithmetische Mittel der Ausgangsgeschwindigkeit und der Endgeschwindigkeit als maßgebend.

Diese Unterscheidung ist in mehrfacher Hinsicht unbefriedigend. Einerseits ist nicht bei allen in Bild 9 dargestellten Kurven mit hinreichender Sicherheit einzuschätzen, ob bei einer bestimmten Station bereits die Beharrungsgeschwindigkeit vorliegt, andererseits kann es aber von dieser Einschätzung abhängig sein, welcher Steigungsklasse ein Abschnitt zugeordnet wird. D. h.: Sehr kleine Differenzen in der Geschwindigkeit des Bemessungsfahrzeugs können zur Anwendung eines q-V-Diagramms einer benachbarten Steigungsklasse führen, in der deutlich unterschiedliche Zusammenhänge zwischen den Verkehrsstärken auftreten. Die Differenzierung der maßgebenden Geschwindigkeit des Bemessungsschwerfahrzeugs (Beharrungsgeschwindigkeit bzw. mittlere Geschwindigkeit) ist daher als problematisch einzustufen.

Ungeachtet dieser Differenzierung ist für die Untersuchung des in der betrachteten Fahrtrichtung folgenden Abschnitts n+1 stets die Endgeschwindigkeit des Bemessungsschwerfahrzeugs im Abschnitt n als Ausgangsgeschwindigkeit heranzuziehen. Dies ist plausibel, führt aber in der Anwendung des Verfahrens zu einer weiteren Verkomplizierung.

Als Ergebnis der Untersuchungen liegen anschließend die für die Einstufung der Steigungsklassen maßgebenden Geschwindigkeiten des fiktiven Bemessungsschwerfahrzeugs vor, und zwar für jede Teilstrecke eine maßgebende Geschwindigkeit pro Richtung. Die geringere dieser beiden maßgebenden Geschwindigkeiten wird zur Ablesung der Steigungsklasse in Tabelle 13 herangezogen.

Es wurde bereits unter Kapitel 5.1 darauf hingewiesen, dass die q-V-Diagramme für Strecken der Steigungsklassen 1 und 2 auch bisher schon nahezu identisch waren. Aus diesem Grund wurde bereits im Vorfeld des hier dargestellten Forschungsprojektes festgelegt, die Steigungsklassen 1 (alt) und 2 (alt) zur Steigungsklasse 1 (neu) zusammenzulegen.

Die in der Zwischenzeit gewonnenen Erfahrungen mit der Anwendung des Verfahrens und die Ergebnisse der Anwenderbefragung ließen es aber darüber hinaus zweckmäßig erscheinen, für diesen Verfahrensschritt eine Vereinfachung zu entwickeln. Dabei wurde zunächst festgelegt, die grundsätzliche Vorgehensweise zur Berücksichtigung der Längsneigung durch die Zuordnung von Steigungsklassen beizubehalten.

Der bei der Anwenderbefragung in einem Fall geäußerte Vorschlag, auf die Differenzierung der q-V-Diagramme anhand von Steigungsklassen zu verzichten, wurde nicht weiter verfolgt, weil in diesem Fall die Einflüsse der Längsneigung nur noch über Umrechnungsfaktoren hätte berücksichtigt werden können. Dadurch wäre mutmaßlich eine noch höhere Komplexität des Verfahrens entstanden und

Geringste mittlere Geschwindigkeit des BSFz [km/h]	Steigungsklasse
> 70	1
55-70	2
40-55	3
0-40	4
< 30	5

Tab. 13: Zuordnung von Steigungsklassen zu den maßgebenden Geschwindigkeiten des Bemessungsschwerfahrzeugs BSFz (vgl. FGSV, 2009, Tabelle 5-1)

die bislang sehr plausible, grafische Verdeutlichung der Längsneigungseinflüsse wären verloren gegangen. Aus diesem Grund sollte das System der Steigungsklassen beibehalten werden.

Stattdessen wird daher vorgeschlagen, den Weg zur Ermittlung der Steigungsklassen zu vereinfachen. Dazu bietet sich eine tabellarische Darstellung an. Die in Tabelle 14 angegebenen Steigungsklassen wurden durch eine systematisch durchgeführte Anwendung des bisherigen Verfahrens, d. h. durch Ermittlung der maßgebenden Geschwindigkeit des Bemessungsschwerfahrzeugs und anschließende Zuordnung der Steigungsklasse gemäß Tabelle 13 für bestimmte Kombinationen aus Längsneigung und Streckenlänge hergeleitet. Diese Herleitung erfolgte für Streckenlängen, die in Schritten von jeweils 100 m variiert wurden.

In Tabelle 14 sind die dabei erarbeiteten Ergebnisse zu Längenklassen von jeweils 300 m zusammengefasst. Bei der Anwendung des Verfahrens zur Bestimmung der maßgebenden Geschwindigkeiten wurde die Frage, ob das Bemessungsschwerfahrzeug seine Beharrungsgeschwindigkeit erreicht hat, ausgeblendet. Stattdessen wurde in allen Fällen das arithmetische Mittel der Geschwindigkeiten des Fahrzeugs am Anfang und am Ende des Streckenabschnitts zur Zuordnung der Steigungsklasse herangezogen.

Alle Abschnitte wurden einzeln betrachtet. Als einheitliche Ausgangsgeschwindigkeit, die unabhängig von möglichen Geschwindigkeitseinbußen des Bemessungsschwerfahrzeugs im vorangegangenen Abschnitt n-1 ist, zu plausiblen Ergebnissen führt und eine sinnvolle Zusammenfassung der Ergebnisse zu den in Tabelle 14 dargestellten Werten ermöglicht, wurde nach verschiedenen Testrechnungen 65 km/h gewählt.

In Tabelle 15 sind die Steigungsklassen angegeben, die Teilstrecken mit einem Gefälle zugeordnet

Steigung	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %
Länge							
0-300	1	1	1	2	2	2	2
300-600	1	1	2	2	2	2	3
600-900	1	2	2	2	2	3	3
900-1.800	1	2	2	2	3	3	4
> 1.800	1	2	2	3	3	4	4

Tab. 14: Steigungsklassen (neue Einteilung) in Abhängigkeit vom Grad und der Länge der Steigungsstrecken

werden können. Die in Tabelle 15 angegebenen Steigungsklassen wurden anhand eines nach statistischen Gesichtspunkten vorgenommenen Vergleichs der für Steigungs- und Gefällestrrecken separat erzeugten q-V-Funktionen gewählt. Ablesebeispiel: Die Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärken und mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten auf einer bis zu 1.800 m langen Teilstrecke mit einem mittleren Gefälle von bis zu -7 % können am besten mit den q-V-Diagrammen wiedergegeben werden, die auch für Steigungsstrecken der Steigungsklasse 3 anzuwenden sind.

Die Tabelle 14 und Tabelle 15 enthalten, um Vergleiche mit der bisherigen Vorgehensweise zu erleichtern, jeweils noch eine Zeile für Teilstrecken mit einer Länge von weniger als 300 m. Schon im bisherigen Verfahren sind Teilstrecken (bisherige Bezeichnung: Teilabschnitte) mit einer Länge von weniger als 300 m jedoch nicht zulässig. Dieser Mindestwert wird auch für das zukünftige Verfahren vorgegeben. Bei der Ausarbeitung des Textvorschlags für das neue HBS-Kapitel wurde auf diese Zeilen daher verzichtet.

Ferner wurden die Angaben für Steigungen und Gefällestrrecken gemeinsam in einer Tabelle dargestellt. Dabei wurden die Angaben für Gefällestrrecken als Klammerwerte in die entsprechenden Felder der Tabelle aufgenommen.

Im Zuge der Beratungen des HBS-Verfahrens für die Landstraßen in den Gremien der FGSV wurden die in Tabelle 14 und Tabelle 15 dargestellten Ergebnisse in der Zwischenzeit noch in einzelnen Fällen geringfügig abgeändert, um eine größere Plausibilität für den Anwender zu erreichen. Dabei wurden z. B. Sprünge zwischen benachbarten Tabellenwerten ausgeglichen.

Vor der Übernahme dieses relativ stark veränderten Bearbeitungsschrittes in das neue Verfahren wurde

Gefälle	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %
Länge							
0-300	1	1	1	1	1	2	2
300-600	1	1	1	1	1	1	3
600-900	1	1	1	1	1	3	3
900-1.800	1	1	1	1	3	3	4
> 1.800	1	1	1	3	3	4	4

Tab. 15: Steigungsklassen (neue Einteilung) in Abhängigkeit vom Grad und der Länge der Gefällestrrecken

es als erforderlich angesehen, die dadurch ggf. verursachten Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden systematische Testrechnungen durchgeführt (vgl. Kapitel 5.4).

5.4 Testrechnungen

In einer ersten Serie von Testrechnungen wurden sowohl die unter Kapitel 5.2 dargestellten Vorschläge zur vereinfachten Abgrenzung von Teilstrecken (bisherige Bezeichnung: Teilabschnitte) als auch die vereinfachte Zuordnung von Steigungsklassen erprobt.

Da zum Zeitpunkt der Durchführung dieser Testrechnungen noch keine neuen, richtungsgetrennten q-V-Diagramme vorlagen, wurden die Testrechnungen, die einen Vergleich der Ergebnisse des bisherigen Verfahrens zur Abgrenzung von Teilstrecken und zur Zuordnung von Steigungsklassen mit den Ergebnissen des hier vorgeschlagenen Verfahrens ermöglichen sollen, unter Verwendung der bisherigen q-V-Diagramme für den Gesamtquerschnitt durchgeführt.

Zur Durchführung der Testrechnungen wurden 8 Teststrecken mit einer Länge von jeweils 6 km gebildet, die sich anhand ihrer Trassierung im Lageplan und im Höhenplan systematisch unterscheiden. Bei der Definition der Teststrecken mit Längsneigungen zwischen 0 und 9 % und Kurvigkeiten zwischen 10 und 220 gon/km wurden vorliegende Kenntnisse über Strecken verwendet, die in der Realität existieren. Die Teststrecken sind in Anhang 7 schematisch dargestellt.

Die Teststrecken wurden zunächst nach dem Verfahren aus dem HBS (vgl. FGSV, 2009) in Teilstrecken (bisherige Bezeichnung: Teilabschnitte) gegliedert, denen anschließend ebenfalls nach HBS-Verfahren die maßgebenden Steigungsklassen zugeordnet wurden. Auf eine Zusammenfassung benachbarter Teilstrecken, denen die gleiche Steigungsklasse werden konnte, wurde dabei verzichtet, da sich dies nur auf die Anzahl der Teilstrecken, nicht aber auf die Ergebnisse ausgewirkt hätte.

Anschließend wurden für Verkehrsstärken von 1.000 Kfz/h, 1.800 Kfz/h und 2.200 Kfz/h im Querschnitt, jeweils kombiniert mit Schwerverkehrsanteilen von 5 % und 15 % die erreichbaren mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten aus den q-V-Diagrammen des HBS (vgl. FGSV, 2009) abgelesen bzw.

anhand der dafür vorliegenden Funktionen errechnet. Bei der Auswahl der q-V-Diagramme wurden die jeweiligen Kurvigkeiten der untersuchten Teilstrecken berücksichtigt.

In den Anlagen 7.1 bis 7.8 sind die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten der einzelnen Teilstrecken sowie die sich daraus ergebenden Qualitätsstufen dargestellt, die nach dieser Vorgehensweise für die untersuchten 48 Kombinationen aus Streckenparametern, Verkehrsstärken und Schwerverkehrsanteilen ermittelt wurden.

Anschließend wurden die Teststrecken nach dem neu entwickelten Verfahrensvorschlag in Teilstrecken gegliedert. Dabei ergab sich erwartungsgemäß eine deutlich geringere Anzahl von Teilstrecken: Anstelle von jeweils sieben Teilstrecken pro Teststrecke, die sich nach dem bisherigen, sehr detaillierten Verfahren ergeben, war nach dem neu entwickelten Prinzip eine Zusammenfassung zu einer bis maximal fünf Teilstrecken möglich. Die Tatsache, dass nach der bisherigen HBS-Einteilung für alle Teststrecken genau sieben Teilstrecken zu bilden waren, beruht nicht auf einem Zufall, sondern ist Ergebnis der Herleitung der Teststrecken. Gleichwohl zeigt die Gegenüberstellung, dass mit dem neuen Verfahren zur Abgrenzung von Teilstrecken eine erste Vereinfachung möglich ist.

Für die nach dem neuen Prinzip eingeteilten Strecken wurden für die gleichen Verkehrsstärken und Schwerverkehrsanteile ebenfalls die erreichbaren mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten aus den q-V-Diagrammen des HBS (vgl. FGSV, 2009) abgelesen. Dabei wurden die jeweiligen Kurvigkeiten der untersuchten Teilstrecken berücksichtigt.

In den Anlagen 7.9 bis 7.16 sind die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten der einzelnen Teilstrecken sowie die sich daraus ergebenden Qualitätsstufen dargestellt, die nach dieser Vorgehensweise ermittelt wurden. Danach ergab sich nur in einem von insgesamt 48 Rechenbeispielen eine ergebnisrelevante Abweichung: Für Teststrecke Nr. 8 wurde bei einer angenommenen Verkehrsstärke von 1.800 Kfz/h im Querschnitt und einem Schwerverkehrsanteil von 15 % mit der bisherigen Vorgehensweise zur Abgrenzung von Teilstrecken und zur Zuweisung von Steigungsklassen für eine Teilstrecke eine Qualität des Verkehrsablaufs der Stufe F berechnet, mit der vorgeschlagenen Vereinfachung ergibt sich für diese Teilstrecke (und die damit zusammengefasste, benachbarte Teilstrecke) eine Qualität des Verkehrsablaufs der Stufe E.

Nur in diesem einen Fall wirkt sich (da eine Teilstrecke mit der Qualitätsstufe F die Verkehrsqualität der Gesamtstrecke bestimmt) die Abweichung der Ergebnisse auf die Bewertung der Gesamtstrecke aus. Der weitere Vergleich der Ergebnisse bezieht sich daher auf die Zusammenfassung der Berechnungswerte zu einer über die Länge der Teilstrecken gewichteten Verkehrsdichte und die sich daraus ergebende Verkehrsqualität der Gesamtstrecke. Dieser Vergleich ist in Anlage 7.17 dargestellt.

Darin zeigt sich, dass die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten, die nach den beiden verschiedenen Vorgaben zur Einteilung der Teilstrecken und zur Zuordnung der Steigungsklassen für die Gesamtstrecke mit einer Länge von 6 km zu erwarten sind, in einzelnen Fällen um bis zu 5,9 km/h voneinander abweichen können. Die Verkehrsdichten weichen um bis 6,4 Kfz/km voneinander ab.

Sowohl bei den mittleren Fahrtgeschwindigkeiten als auch bei den Verkehrsdichten treten Abweichungen in dieser Größenordnung aber nur in den Kombinationen aus Streckenparametern, Verkehrsstärken und Schwerverkehrsanteilen auf, für die sich – jeweils nach beiden Verfahren zur Bildung von Teilstrecken und zur Zuordnung von Steigungsklassen – eine Verkehrsqualität der Stufen E oder F für die betrachtete Strecke bzw. für eine Teilstrecke errechnet. Bei denjenigen Kombinationen aus Streckenparametern, Verkehrsstärken und Schwerverkehrsanteilen, für die sich – ebenfalls jeweils nach beiden Verfahren zur Bildung von Teilstrecken und zur Zuordnung von Steigungsklassen – eine Verkehrsqualität der Stufen A bis D für die betrachtete Strecke errechnet, lagen die Abweichungen zwischen den beiden Verfahren bei höchstens 4,1 km/h bzw. (in einer anderen Kombination) bei 2,0 Kfz/km.

Wesentlich ist aber, dass die Einstufung der Verkehrsqualität der gesamten Strecke in 47 von 48 untersuchten Kombinationen aus Streckenparametern, Verkehrsstärken und Schwerverkehrsanteilen jeweils identisch ausfällt, damit also weitestgehend unabhängig von der Vorgehensweise bei der Festlegung von Teilstrecken und bei der Zuordnung von Steigungsklassen ist.

Die Testrechnungen, die zunächst anhand der im HBS (vgl. FGSV, 2009) dargestellten Vorgehensweise sowie anschließend anhand des hier entwickelten vereinfachten Verfahrens durchgeführt wurden, haben also ergeben, dass aufgrund der vorge-

schlagenen Vereinfachungen keine nennenswerten Auswirkungen auf die Ergebnisse des Verfahrens zur verkehrstechnischen Bemessung zweistreifiger Straßen zu erwarten sind.

5.5 Berücksichtigung der Kurvigkeit

Die Kurvigkeit einer Landstraße stellt für den Verkehrsablauf eine wesentliche Einflussgröße dar. Sie wird bei der verkehrstechnischen Bemessung traditionell berücksichtigt. Empirisch abgesicherte Kenntnisse liegen allerdings nur für zweistreifige Landstraßen vor. Für die zweistreifigen Abschnitte dreistreifiger Landstraßen sowie für die zweibahnig vierstreifigen Landstraßen mit dem Regelquerschnitt RQ 21 gemäß RAL (vgl. FGSV, Entwurf 2011) ist eine anhand der Kurvigkeit differenzierte Betrachtung des Verkehrsablaufs daher nicht möglich.

Um die Berücksichtigung der Einflussgröße Kurvigkeit, definiert als die Summe der Absolutbeträge der Winkeländerungen der Trasse bezogen auf deren Streckenlänge, zu ermöglichen, wird die Kurvigkeit der Teilstrecken von Landstraßen anhand der Formel

$$KU_i = \frac{\sum_{j=1}^n |\gamma_j|}{L_i} \quad (5)$$

mit

KU_i	Kurvigkeit der Teilstrecke i	[gon/km]
j	Index für eine Kurve innerhalb einer Teilstrecke	[-]
n	Anzahl der Kurven im Lageplan innerhalb der betrachteten Teilstrecke i	[-]
γ	Winkeländerung im Lageplan innerhalb der Kurve j	[gon]
L_i	Länge der Teilstrecke i	[km]

berechnet und anschließend unter Berücksichtigung eines ggf. erforderlichen Kurvigkeitszuschlags für Überholverbote (vgl. hierzu Kapitel 5.6) bestimmten Kurvigkeitsklassen (bisher: Kurvigkeitsbereichen) zugeordnet. Für jede dieser Kurvigkeitsklassen sind im HBS (vgl. FGSV, 2009) eigene Diagramme mit q-V-Funktionen angegeben, die zur Ablesung der erreichbaren mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten (bisherige Bezeichnung: mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeiten) bzw. der Stufe der Verkehrsqualität heranzuziehen sind.

Die Kurvigkeitsklassen (bisherige Bezeichnung: Kurvigkeitsbereiche) sind gemäß HBS (vgl. FGSV, 2009) wie folgt eingeteilt:

- Kurvigkeitsbereich 1: 0-75 gon/km,
- Kurvigkeitsbereich 2: 75-150 gon/km,
- Kurvigkeitsbereich 3: 150-225 gon/km,
- Kurvigkeitsbereich 4: > 225 gon/km.

Die Unterschiede der mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten, die sich zwischen den q-V-Funktionen für verschiedene, benachbarte Kurvigkeitsklassen ergeben, sind teilweise relativ groß: Bei einer Verkehrsstärke von 1.500 Kfz/h als Summe beider Richtungen, einem Schwerverkehrsanteil von 10 % und einer geringen Längsneigung (Steigungsklasse 1) ergibt sich für eine Teilstrecke mit einer Kurvigkeit von 70 gon/km eine mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeit von 69,0 km/h, mit einer Kurvigkeit von 80 gon/km eine mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeit von 55 km/h.

Es liegt auf der Hand, dass ein Geschwindigkeitsunterschied von 14 km/h nur unzureichend durch einen derartig geringen Kurvigkeitsunterschied erklärt werden kann. Selbstverständlich spielt hierbei das grundsätzliche Problem der Klassenbildung eine wesentliche Rolle.

Das HBS gibt keine Hinweise auf die Möglichkeit, zwischen den mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkei-

ten, die aus den q-V-Funktionen benachbarter Kurvigkeitsklassen abgelesen wurden, zu interpolieren. Es kann aber erwartet werden, dass mit einer solchen Interpolation eine realistischere Einschätzung der erreichbaren mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten möglich ist.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde zunächst systematisch untersucht, wie sich die Kurvigkeit auf die mittleren Pkw-Geschwindigkeiten auswirkt. Dieser Schritt war erforderlich, weil bislang nicht ausgeschlossen werden konnte, dass die zum Teil sehr deutlichen Unterschiede zwischen den q-V-Funktionen benachbarter Kurvigkeitsklassen durch ungünstige Festlegungen der Streckenparameter für die Simulationsstrecken mit verursacht wurden. In der vorangegangenen Untersuchung (vgl. BRILON/WEISER, 1997) wurden die Simulationsstrecken so trassiert, dass deren Kurvigkeiten jeweils im Bereich der Klassenmitten der im Regelwerk gebräuchlichen Kurvigkeitsklassen lagen.

Wie Bild 10 zeigt, waren diese Festlegungen aber nicht falsch: Die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten nehmen mit steigender Kurvigkeit gleichmäßig ab. Es zeigen sich keine auffälligen Sprünge oder andere Hinweise darauf, dass möglicherweise auch das verwendete Simulationsmodell mit einer (eigenen) Klassierung der Kurvigkeit operiert. Bei einer solchen Klassierung der Kurvigkeit innerhalb des Simulationsmodells wäre es denkbar gewesen,

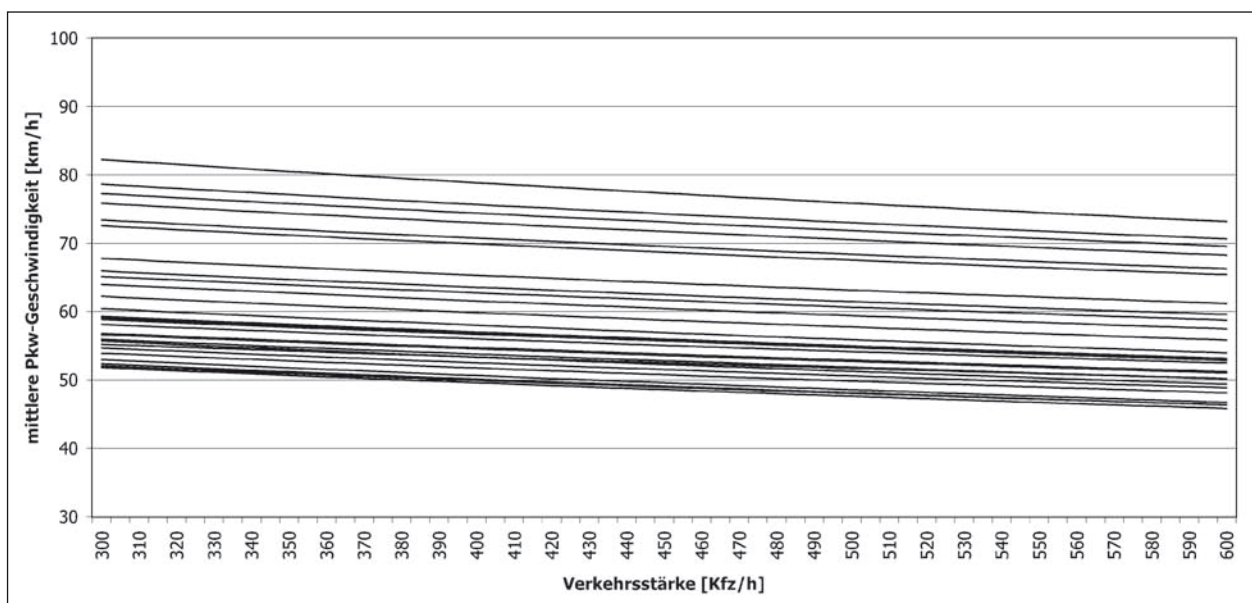


Bild 10: Einfluss der Kurvigkeit auf die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten (Ergebnisse von Simulationen mit dem Programm LASI für verschiedene Verkehrsstärken, 10 % Schwerverkehr, Steigungsklasse 1), dargestellt sind die q-V-Funktionen für Kurvigkeiten von 0 gon/km (obere Linie) bis 300 gon/km (untere Linie)

dass sich die mittleren Fahrtgeschwindigkeiten der q-V-Funktionen benachbarter Kurvigkeitsbereiche allein deshalb so deutlich unterscheiden, weil die bei der Simulation konkret verwendeten Kurvigkeitswerte innerhalb des Simulationsmodells zwei Bereichen zugeordnet werden, die nicht benachbart sind. Dies ist aber offensichtlich nicht der Fall.

Die Möglichkeiten zur zukünftigen Behandlung der Kurvigkeit wurde im Rahmen des hier dargestellten Forschungsprojektes ausführlich untersucht und mit den zuständigen Gremien der FGSV erörtert. Dabei wurde festgelegt, dass im Berechnungsverfahren auch in Zukunft keine Interpolation zwischen den Fahrtgeschwindigkeiten benachbarter Kurvigkeitsklassen verlangt werden soll. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass in bestimmten Konstellationen keine q-V-Werte aus einer benachbarten (höheren) Kurvigkeitsklasse vorliegen, weil die Verkehrsstärken bei höherer Kurvigkeit gar nicht mehr abgewickelt werden können.

Ein weiterer Grund ist, dass das Verfahren durch eine fest vorgegebene Interpolation für den Anwender komplizierter wird. Selbstverständlich spricht aber nichts dagegen, in bestimmten Fällen eine Interpolation vorzunehmen, um ein genaueres Ergebnis zu erzielen. Auf diese Möglichkeit ist im Rahmen des Kommentars hinzuweisen.

Im Zusammenhang mit der Entscheidung, eine Interpolation zwischen verschiedenen Kurvigkeitsklassen auch zukünftig nicht vom Anwender zu fordern, stellt sich die Frage, ob die bisherige Einteilung der Kurvigkeitsklassen beibehalten werden sollte, oder ob Hinweise darauf vorliegen, dass eine andere Einteilung zweckmäßiger ist. Zur Klärung dieser Frage wurde in den Gremien der FGSV eine Liste der Kurvigkeiten neu geplanter Landstraßen diskutiert, die Straßen umfasst, für die in den vergangenen Jahren Sicherheitsaudits durchgeführt wurden (vgl. BARK, 2011).

Die Auswertung dieser Liste, die 45 neu geplante Landstraßen in verschiedenen Bundesländern umfasst, ergab:

- über 70 % der Strecken hatten eine Kurvigkeit von bis zu 100 gon/km,
- 18 % der Strecken hatten eine Kurvigkeit zwischen 100 und 150 gon/km,
- nur 11 % der Strecken hatten eine Kurvigkeit über 150 gon/km,

- als Höchstwert traten in einem Fall 223 gon/km auf (gleichzeitig der einzige Wert > 200 gon/km).

Die Auswertung der bei neuen Planungen tatsächlich auftretenden Kurvigkeiten weist darauf hin, dass für den Bereich niedrigerer Kurvigkeiten eine feinere Einteilung der Kurvigkeitsklassen als bisher sinnvoll ist. Mit einer feineren Einteilung wird gleichzeitig das Problem größerer Sprünge zwischen den mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten benachbarter Kurvigkeitsklassen tendenziell verringert.

Eine Unterscheidung der Kurvigkeiten jenseits von 150 gon/km scheint dagegen für die Praxis nicht relevant zu sein. Es kann daher trotz einer feineren Einteilung auf eine höhere Anzahl von Kurvigkeitsklassen verzichtet werden.

Die Kurvigkeitsklassen sollen daher zukünftig wie folgt eingeteilt werden:

- Kurvigkeitsklasse 1:
KU ≤ 50 gon/km,
- Kurvigkeitsklasse 2:
50 gon/km < KU ≤ 100 gon/km,
- Kurvigkeitsklasse 3:
100 gon/km < KU ≤ 150 gon/km,
- Kurvigkeitsklasse 4:
KU > 150 gon/km.

Aus der geänderten Einteilung der Kurvigkeitsklassen, für die sich in den zuständigen Gremien der FGSV eine breite Zustimmung fand, ergab sich die Notwendigkeit, neue Simulationsläufe für die relevanten Kombinationen der Streckenparameter, der Verkehrsstärken und der Schwerverkehrsanteile durchzuführen. Von dem Versuch einer Interpolation der Ergebnisse, die für die Klassenmitten der bisherigen Kurvigkeitsklassen vorlagen, wurde Abstand genommen.

5.6 Berücksichtigung der Überholmöglichkeiten

Das Verfahren zur verkehrstechnischen Bemessung von Landstraßen im HBS (vgl. FGSV, 2009) geht davon aus, dass auf zweistreifigen Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften im Regelfall das Überholen vorausfahrender Fahrzeuge unter Mitbenutzung des Fahrstreifens für den Gegenverkehr möglich ist. Die im HBS dargestellten q-V-Diagramme basieren dementsprechend auf Simula-

tionsuntersuchungen (vgl. BRILON/WEISER, 1997), deren Randbedingungen so vorgegeben waren, dass Überholungen stattfinden konnten. Die Häufigkeit von Überholungen in den Simulationsläufen und ihr Einfluss auf den Verkehrsablauf wurden seinerzeit jedoch nicht detailliert untersucht.

Im Zusammenhang mit der Umstellung des Verfahrens auf eine richtungsgetrennte Betrachtung sowie insbesondere mit der angestrebten Bewertung des Verkehrsablaufs auf Strecken, die längere einstreifige Abschnitte ohne Überholmöglichkeiten aufweisen (vgl. RAL, FGSV, Entwurf, 2011 sowie Kapitel 5.7) stellt sich die Frage, welche Bedeutung die Überholmöglichkeiten für den Verkehrsablauf haben. Hinzu kommt, dass die bisherige Vorgehensweise, Überholverbote durch einen Zuschlag zur Kurvigkeit zu berücksichtigen, in vielen Fällen zu unplausiblen Ergebnissen geführt hat und daher angezweifelt wurde.

Zuschläge zur Kurvigkeit ergeben sich nach dem HBS (vgl. FGSV, 2009) aufgrund von Überholverbotten, wobei aber nur solche Strecken zu einem Zuschlag führen, an denen trotz ausreichender Überholbarkeit ein Überholverbot besteht. Das Maß eines solchen Zuschlags ergibt sich anhand einer Tabelle, in die der Streckenanteil mit Überholverbot als Ausgangsgröße eingeht. Die Zuschläge können bis zu 250 gon/km betragen. Diese Vorgehensweise ist aus den folgenden Gründen kritisch zu beurteilen:

Einerseits hängt es vom Zufall ab, ob sich Zuschläge überhaupt auf das Ergebnis der Bemessung auswirken. Sofern ein moderater Kurvigkeitszuschlag aufgrund eines Überholverbots nicht dazu führt, dass ein Streckenabschnitt einer anderen (höheren) Kurvigkeitsklasse zuzuordnen ist, bleibt eine Wirkung des Zuschlags vollständig aus. Es hängt also nicht nur vom Zuschlag selbst ab, ob durch ein Überholverbot im o. g. Sinne eine Veränderung der Fahrtgeschwindigkeiten bewirkt wird, sondern auch von der Frage, welche Kurvigkeit der betrachtete Streckenabschnitt bereits aufgrund seiner Trassierung im Lageplan aufweist.

Andererseits können die Zuschläge – wenn sie sich auswirken (s. o.) – einen Einfluss auf das Ergebnis der Bemessung ausüben, der aus heutiger Sicht als unangemessen stark eingestuft werden muss. Wie bereits im vorangegangenen Kapitel dargestellt wurde, hat ein Sprung in eine andere (höhere) Kurvigkeitsklasse häufig eine deutliche Abminderung der mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten zur Folge. Insofern ist es als ein Schwachpunkt der bisherigen

Vorgehensweise anzusehen, dass die Wirkungen von Überholverbotten – wie schon in vorangegangenen Bemessungsverfahren – mithilfe der Kurvigkeit berücksichtigt werden sollen.

In Bild 11 und Bild 12 sind die Ergebnisse aktueller Simulationsuntersuchungen dargestellt, bei deren Auswertung anhand verschiedener Pkw-Kollektive differenziert wurde: Die einzelnen Funktionen zeigen die Zusammenhänge zwischen den Verkehrsstärken q und den mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten (bisher: Pkw-Reisegeschwindigkeiten) V einer Fahrtrichtung

- für alle Pkw,
- für Pkw, die mindestens einmal überholt haben,
- für Pkw, die mindestens einmal überholt wurden.

In Bild 11 sind diese Zusammenhänge für eine Strecke der Steigungsklasse 1 und der Kurvigkeitsklasse 1 ($KU \leq 50$ gon/km) bei einem Schwerverkehrsanteil von 20 % dargestellt. Bild 12 repräsentiert die Zusammenhänge zwischen den Verkehrsstärken und den mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten für eine Strecke der Steigungsklasse 4 und der Kurvigkeitsklasse 4 ($KU > 150$ gon/km).

Beide Bilder verdeutlichen, dass zwar vor allem im Bereich geringer Verkehrsstärken nennenswerte Differenzen zwischen den Fahrtgeschwindigkeiten der überholenden und der nicht überholenden Pkw auftreten, die Differenzen zwischen den Fahrtgeschwindigkeiten der überholenden Pkw und der Gesamtheit der Pkw jedoch über den gesamten Bereich der Verkehrsstärken gering ausfallen.

In Bild 11 liegen die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den überholenden Pkw und der Gesamtheit der Pkw zwischen 4,9 km/h im Bereich geringer Verkehrsstärken und 2,4 km/h im Bereich hoher Verkehrsstärken. In Bild 12 liegen die Geschwindigkeitsdifferenzen über den gesamten dargestellten Bereich der Verkehrsstärken zwischen 2,6 und 2,0 km/h.

Aus Bild 11 und Bild 12 wird deutlich, dass die Einflüsse der Überholmöglichkeiten auf die erreichbaren mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten relativ gering sind.

Das bedeutet auch: Mit der bislang geübten Praxis, Streckenabschnitte, die ein Überholverbot aufweisen, mit einem Kurvigkeitszuschlag zu belegen, der leicht zu Abminderungen der Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten um 15 km/h führen kann (Geschwindig-

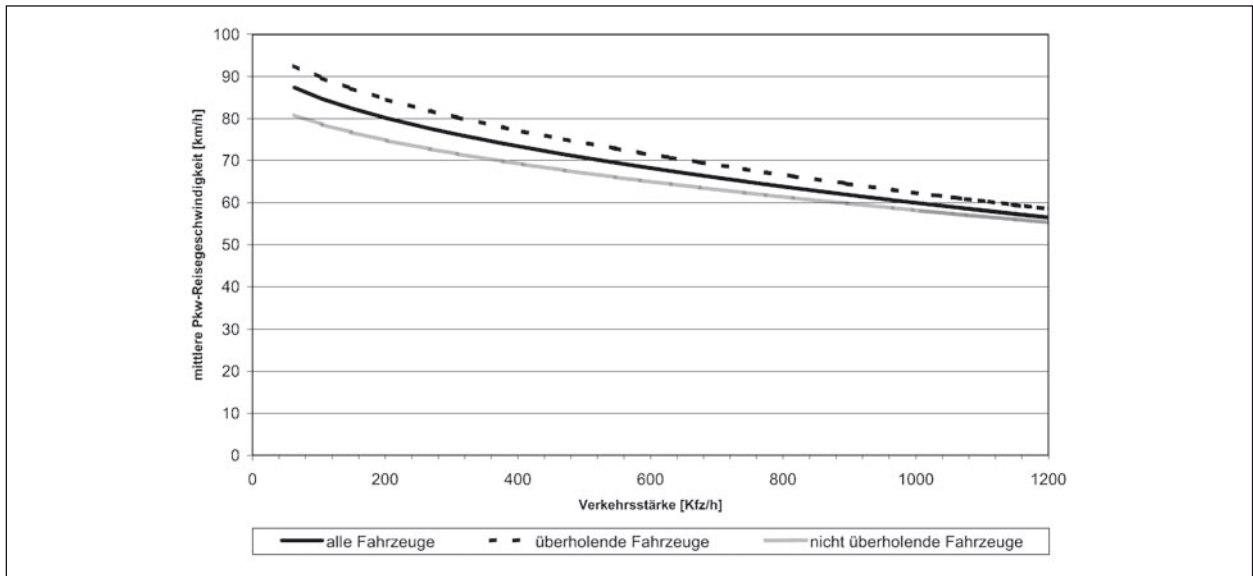


Bild 11: q-V-Beziehungen verschiedener Pkw-Kollektive für eine Strecke der Steigungsklasse 1, der Kurvigkeitsklasse 1 und einen Schwerverkehrsanteil von 20 %

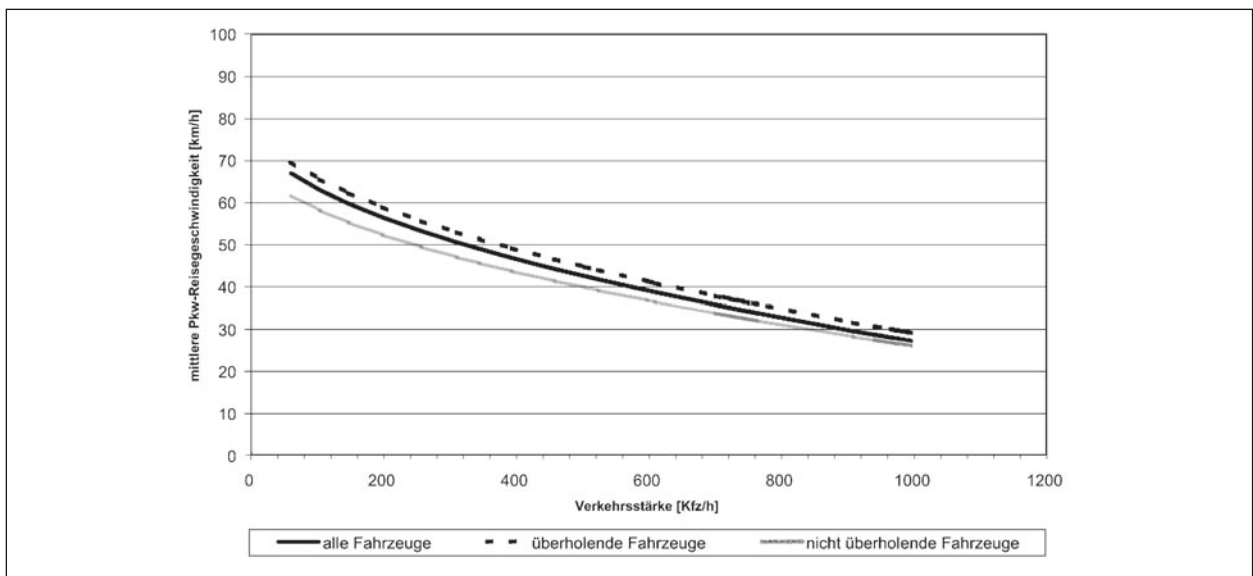


Bild 12: q-V-Beziehungen verschiedener Pkw-Kollektive für eine Strecke der Steigungsklasse 4, der Kurvigkeitsklasse 4 und einen Schwerverkehrsanteil von 5 %

keitsdifferenz zwischen Streckenabschnitten der Steigungsklasse 1 bei einer Verkehrsstärke von 500 Kfz/h je Richtung, einem Schwerverkehrsanteil von 10 % und der Kurvigkeitsklasse 1 bzw. 2), werden die Wirkungen des Überholens bzw. zusätzlicher Überholverbote auf den Verkehrsablauf deutlich überschätzt.

Stattdessen führt es offensichtlich zu genaueren Ergebnissen, wenn auf Abminderungen der errechneten Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten für Teilstrecken mit Überholverbot verzichtet wird. Dies ermöglicht es, Streckenabschnitte herkömmlicher zweistreifiger Straßen mit und ohne Überholverbot sowie

längere einstreifige Abschnitte von Landstraßen, die nur abschnittsweise dreistreifig sind, in gleicher Weise, d. h. mit den identischen q-V-Diagrammen zu beurteilen.

5.7 Neue Verfahren für Strecken dreistreifiger und zweibahniger Straßen

Die Weiterentwicklung des HBS-Kapitels für die verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen umfasst auch die Ergänzung eigener Verfahren für Straßen mit mehrstreifigen Querschnitten, die nach

dem Entwurf der Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL (vgl. FGSV, Entwurf 2011) zukünftig systematisch eingesetzt werden sollen. Es handelt sich dabei um

- abschnittsweise dreistreifige Straßen mit dem Regelquerschnitt RQ 11,5+,
- durchgängig dreistreifige Straßen mit dem Regelquerschnitt RQ 15,5 und
- zweibahnig vierstreifige Straßen mit dem Regelquerschnitt RQ 21.

Für die durchgängig dreistreifigen Straßen und die zweibahnig vierstreifigen Straßen liegen aus anderen Forschungsprojekten (vgl. BRANNOLTE/BASELAU/DONG, 2004 sowie MAIER/BERGER, 2011) bereits sehr weitreichend ausformulierte Vorschläge zur Übernahme in das HBS vor, die im Rahmen der Weiterentwicklung des HBS-Kapitels nur noch geringfügig angepasst werden mussten. Beide Verfahrensvorschläge gehen von einer richtungsgetreuen Betrachtung aus. Eine der erforderlichen Anpassungen betrifft die Festlegung der Grenzwerte der Verkehrsdichte, die zur Abgrenzung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs herangezogen werden (vgl. hierzu Kapitel 5.8).

Etwas umfangreichere methodische Überlegungen und entsprechende Erörterungen in den zuständigen Gremien der FGSV erforderte die Frage, mit welchen Verfahrensschritten sowie insbesondere anhand welcher q-V-Diagramme zukünftig der Verkehrsablauf auf Strecken beurteilt werden soll, die in einzelnen, zum Teil relativ weit auseinander liegenden Abschnitte zusätzliche Überholfahrstreifen aufweisen. Für diese abschnittsweise dreistreifigen Straßen (RQ 11,5+ gemäß RAL, vgl. FGSV, Entwurf 2011) liegen noch keine systematischen Untersuchungen vor, in denen der Verkehrsablauf im Mittelpunkt stand.

Mit dieser Ausgangssituation erschien es zunächst naheliegend, die von BRANNOLTE/BASELAU/DONG (2004) auf Basis umfangreicher empirischer und mithilfe eines Simulationsmodells durchgeführter Untersuchungen vorgeschlagenen q-V-Diagramme für zweistreifige und für einstreifige Abschnitte durchgängig dreistreifiger Straßen (RQ 15,5 gemäß RAL, vgl. FGSV, Entwurf 2011) auch zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf abschnittsweise dreistreifigen Straßen heranzuziehen.

Diese Vorgehensweise kommt allerdings bei genauerer Betrachtung nur für die Abschnitte mit

Überholfahrstreifen in Betracht. Für diese Abschnitte sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen abschnittsweise dreistreifigen Straßen und durchgängig dreistreifigen Straßen zu erkennen. Zwar kann die Länge solcher Bereiche an abschnittsweise dreistreifigen Straßen geringer ausfallen als an durchgängig dreistreifigen Straßen. Aus dem o. g. Forschungsprojekt steht ein Diagramm zur Verfügung, mit dessen Hilfe die Auswirkungen unterschiedlicher Längen der Bereiche mit Überholfahrstreifen ermittelt und in den weiteren Berechnungen berücksichtigt werden kann.

Bei der Herleitung eines Verfahrens zur Bewertung des Verkehrsablaufs in den einstreifigen Bereichen der abschnittsweise dreistreifigen Landstraßen wurde angestrebt, die vorhandenen Kenntnisse zum Verkehrsablauf auf herkömmlichen, zweistreifigen Landstraßen und auf den einstreifigen Abschnitten der durchgängig dreistreifigen Landstraßen miteinander in Einklang zu bringen. Bei einem Vergleich der für diese beiden Landstraßentypen vorliegenden q-V-Diagramme zeigen sich allerdings deutliche Unterschiede.

Wie Bild 13 verdeutlicht, wird in einem einstreifigen Abschnitt einer durchgängig dreistreifigen Straße mit dem Regelquerschnitt RQ 15,5 über alle Verkehrsstärkenbereiche eine deutlich höhere mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeit erreicht als auf einer herkömmlichen, zweistreifigen Landstraße bei Betrachtung einer einzelnen Fahrtrichtung.

Dieser Effekt wirkt auf den ersten Blick erstaunlich, zumal doch in den q-V-Beziehungen, die für die einzelnen Fahrtrichtungen auf zweistreifigen Landstraßen ermittelt wurden, Überholvorgänge in nicht näher bekannter Anzahl berücksichtigt sind, während das Überholen in den einstreifigen Bereichen einer durchgängig dreistreifigen Straße mit dem RQ 15,5 systematisch ausgeschlossen ist.

Die Erklärung für die in Bild 13 erkennbaren Unterschiede liegt stattdessen in den beiden folgenden Aspekten:

- Die q-V-Diagramme für einstreifige Abschnitte eines RQ 15,5 aus der Untersuchung von BRANNOLTE/BASELAU/DONG (2004), gelten für einstreifige Abschnitte, die auf einen Abschnitt mit Überholfahrstreifen folgen, denn die Kalibrierung des Simulationsmodells erfolgte anhand der Messergebnisse solcher Strecken. In einem vorangehenden Abschnitt mit systema-

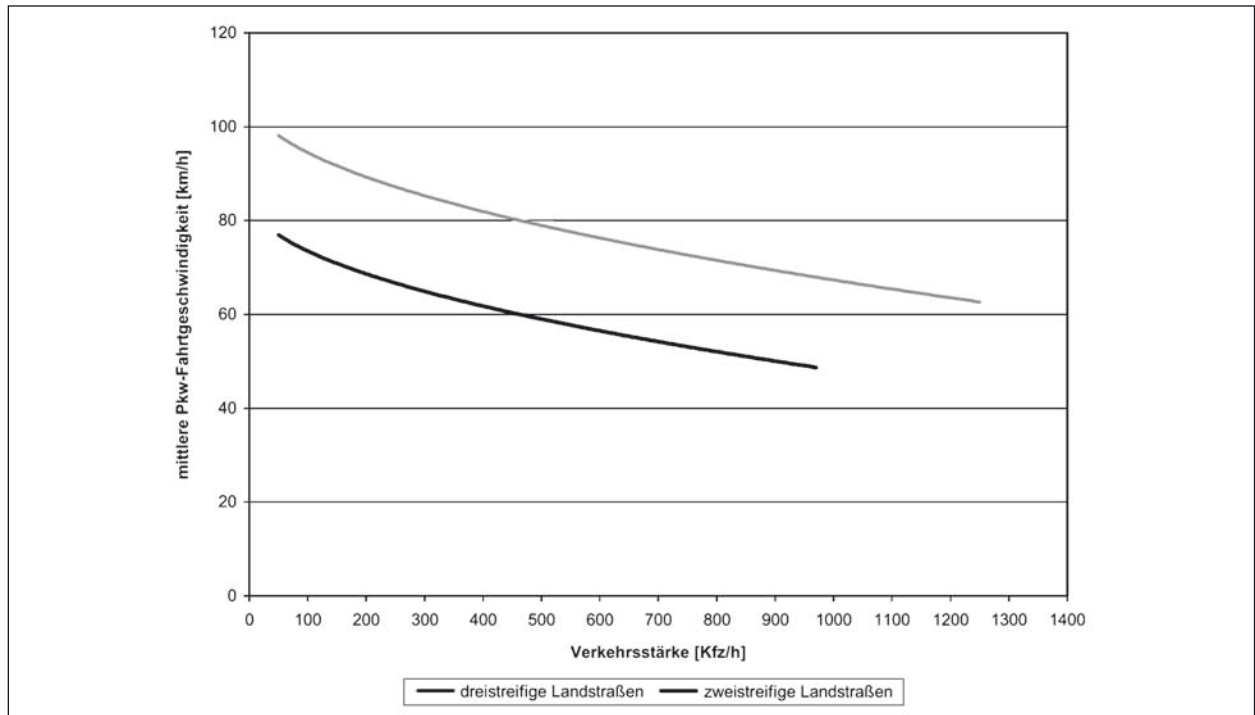


Bild 13: Vergleich der einstreifigen Bereiche bei abschnittsweise dreistreifigen Landstraßen mit zweistreifigen Landstraßen in Kurvigkeitsklasse 1 und Steigungsklasse 2 bei einem Schwerverkehrsanteil von 10 %

tisch geregelten, guten Überholmöglichkeiten können sich bestehende Kolonnen weitgehend auflösen. Bei der Einfahrt in den einstreifigen Abschnitt liegt eine Entmischung der Fahrzeugarten vor, die sich positiv auf die im einstreifigen Abschnitt erreichbaren Geschwindigkeiten der Pkw auswirkt.

- Die einstreifigen Abschnitte einer durchgängig dreistreifigen Landstraße weisen eine Länge von 1.200 m bis 1.600 m auf. Die q-V-Diagramme aus der o. g. Untersuchung gelten für eine Länge von 1.400 m. Für Abschnitte mit abweichender Länge steht ein Korrekturdiagramm zur Verfügung. Die Abschnitte, die zur Herleitung der q-V-Diagramme für zweistreifige Landstraßen untersucht wurden, hatten demgegenüber eine für die Untersuchungen relevante Länge von 5 km. Es ist daher davon auszugehen, dass sich auf den untersuchten Abschnitten herkömmlicher zweistreifiger Straßen eine wesentlich stärker ausgeprägte Kolonnenbildung vollzieht und sich negativ auf die Fahrtgeschwindigkeit der Pkw auswirkt als auf den vergleichsweise kurzen einstreifigen Abschnitten der durchgängig dreistreifigen Landstraßen.

Anhand dieser Erkenntnisse wurde zur Bewertung der einstreifigen Bereiche abschnittsweise dreistreifiger Landstraßen zunächst folgende Vorge-

hensweise angestrebt, in der die beiden o. g. Aspekte berücksichtigt sind:

- Die Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten auf den ersten 2 km von einstreifigen Abschnitten, die auf einen zweistreifigen Abschnitt folgen, sollten anhand der q-V-Diagramme ermittelt werden, die von BRANNOLTE/BASELAU/DONG, 2004 für die einstreifigen Abschnitte durchgängig dreistreifiger Landstraßen vorgeschlagen wurden.
- Die erreichbaren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten auf Abschnitten, die nicht auf einen zweistreifigen Abschnitt folgen bzw. von diesem mehr als 2 km entfernt sind, sollten anhand der neuen q-V-Diagramme für die einzelnen Fahrrichtungen zweistreifiger Landstraßen ermittelt werden, die im Verlauf der hier beschriebenen Untersuchungen aufgestellt wurden.

Zwischenzeitlich hat sich jedoch im Zusammenhang mit der Herleitung von Berechnungsbeispielen, die noch in das HBS-Kapitel aufgenommen werden sollen, ein Hinweis darauf ergeben, dass die zunächst angestrebte Vorgehensweise (s. o.) mutmaßlich noch weiter konkretisiert werden muss:

Die von BRANNOLTE/BASELAU/DONG, 2004 für die einstreifigen Abschnitte durchgängig dreistreifiger Landstraßen vorgeschlagenen q-V-Diagramme sehen keine Differenzierung anhand der Kurvigkeit

vor. Dies ist mutmaßlich darauf zurückzuführen, dass zum Zeitpunkt der Bearbeitung des Forschungsprojektes nur zügig trassierte Strecken mit der Betriebsform 2+1 zur Untersuchung zur Verfügung standen.

Die bislang beabsichtigte Vorgehensweise bei der verkehrstechnischen Bewertung einstreifiger Abschnitte im Zuge nur abschnittsweise dreistreifiger Straße, die durchaus eine höhere Kurvigkeit aufweisen, hätte daher möglicherweise zu einer Überschätzung der Verkehrsqualität auf diesen Abschnitten führen können. Darüber enthielt die ursprünglich vorgesehene Regelung noch keine Differenzierung anhand der Frage, ob der vor dem betrachteten Abschnitt liegende zweistreifige Abschnitt überhaupt eine hinreichende Länge aufweist, um die hier angenommene Auflösung der Fahrzeugkolonnen zu gewährleisten.

Im Verlauf der Diskussion dieses Sachverhalts hat sich daher ein neuer Vorschlag entwickelt, der im HBS-Kapitel L3.3.4 umgesetzt werden wird. Danach ist die Bewertung des Verkehrsablaufs auf einstreifigen Abschnitten wie folgt vorgesehen:

- Im Regelfall wird zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf einstreifigen Abschnitten im Zuge abschnittsweise dreistreifiger Straßen das anhand der vorliegenden Steigungs- und Kurvigkeitsklasse zutreffende q-V-Diagramm der durchgängig zweistreifigen Landstraßen herangezogen.
- Nur unter der Voraussetzung, dass der auf einen mindestens 1.200 m langen zweistreifigen Abschnitt folgende einstreifige Abschnitt der Kurvigkeitsklasse 1 ($KU < 50 \text{ gon/km}$) zugeordnet werden kann, erfolgt die Bewertung der Verkehrsqualität anhand der q-V-Diagramme für die einstreifigen Abschnitte der durchgängig dreistreifigen Straßen.

5.8 Maß zur Beschreibung der Verkehrsqualität

Bis zur Einführung des Handbuchs für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS im Jahr 2001 wurde die mittlere Fahrtgeschwindigkeit (bisherige Bezeichnung: Reisegeschwindigkeit) der Pkw als alleinige Zielgröße des Verfahrens verwendet. Als Maß der Verkehrsqualität im Sinne des HBS ist diese Größe aber nur begrenzt geeignet.

Wie sich u. a. bereits bei den Vorarbeiten zur ersten Ausgabe des HBS bestätigt hat, können auf Landstraßen, die eine nennenswerte Längsneigung und/oder eine nennenswerte Kurvigkeit aufweisen, bestimmte mittlere Fahrtgeschwindigkeiten auch bei sehr geringer Verkehrsstärke nicht erreicht werden.

So liegen die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten nach dem aktuellen HBS (vgl. FGSV, 2009) bei einer Strecke der Steigungsklasse 3 mit einer Kurvigkeit von mehr als 75 gon/km und einem Schwerverkehrsanteil von 10 % schon bei einer Verkehrsstärke von 300 Kfz/h in der Summe beider Fahrtrichtungen bei weniger als 70 km/h.

Der Verkehrsablauf auf einer zügig trassierten Landstraße könnte bei dieser Fahrtgeschwindigkeit, die dort natürlich erst bei deutlich höheren Verkehrsstärken zu erwarten ist, mutmaßlich nicht mehr der Qualitätsstufe A zugeordnet werden. Der Verkehrsablauf auf der o. g. Beispielstrecke, die nur sehr gering belastet ist und auf der auch bei noch geringen Verkehrsstärken nicht wesentlich schneller gefahren wird, kann dagegen als sehr gut eingestuft werden (Qualitätsstufe A).

Um die mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten als Kriterium zur Abgrenzung der Stufen der Verkehrsqualität heranziehen zu können, wäre es also erforderlich, eine auf die Trassierung der Strecke (und ggf. darüber hinaus auch auf den erwartenden Schwerverkehrsanteil) abgestimmte, individuelle Einteilung der Qualitätsstufen anzuwenden. Davon wurde bei der Erarbeitung des HBS Abstand genommen.

Die zwischenzeitlich in Erwägung gezogene Anwendung von Indizes (z. B. Fahrtgeschwindigkeitsindex oder Fahrtzeitindex), bei denen die unter verschiedenen Verkehrsbelastungen erreichbaren Kennwerte mit denen bei nahezu unbelasteter Strecke ins Verhältnis gesetzt würden, wurde aus einem anderen Grund wieder aufgegeben: Durch den insbesondere im Bereich mittlerer und hoher Verkehrsstärken häufig sehr flachen, konkaven Verlauf der q-V-Kurven für zweistreifige Landstraßen und die einstreifigen Abschnitte dreistreifiger Landstraßen müssten zum Teil sehr geringe Geschwindigkeitsunterschiede von wenigen km/h bzw. wenigen Prozent zur Abgrenzung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs herangezogen werden.

Zudem ist sehr fraglich, ob für alle sinnvollen Kombinationen der für Landstraßen maßgebenden Ein-

flussgrößen (Längsneigung, Kurvigkeit und Schwerverkehrsanteil) ein einheitliches Schema zur Bewertung der Geschwindigkeits- bzw. Fahrtzeitunterschiede zwischen den weniger und den stärker belasteten Zuständen hätte gefunden werden können.

Stattdessen wird mit der Verkehrsdichte k [Kfz/km] seit Veröffentlichung des HBS 2001 ein Parameter des Verkehrsablaufs zur Einstufung der Verkehrsqualität herangezogen, der eine über alle sinnvollen Kombinationen der Einflussgrößen einheitliche Einteilung der Qualitätsstufen ermöglicht, gleichzeitig aber auch in der Lage ist, die Wahrnehmung des Verkehrsablaufs durch den Verkehrsteilnehmer widerzuspiegeln.

Für die Bewertung der Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten, deren Verkehrsablauf nicht durch Knotenpunkte beeinflusst wird, soll es daher bei der Verkehrsdichte als Kriterium der Qualität des Verkehrsablaufs bleiben. Ebenso wie die Fahrtgeschwindigkeiten können die Verkehrsdichten mithilfe von q-V-Diagrammen ermittelt werden. Während die Fahrtgeschwindigkeiten aus diesen Diagrammen direkt abgelesen werden können, sind die entsprechenden Verkehrsdichten mithilfe der Formel

$$k = \frac{q}{V_R} \text{ [Kfz/km]} \quad (6)$$

mit

k Verkehrsdichte [Kfz/km]

q Verkehrsstärke [Kfz/h]

V_R mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeit [km/h]

aus den verfügbaren Daten zu errechnen. Dabei wird in Kauf genommen, dass es sich bei der Verkehrsdichte um eine fiktive Größe handelt, da sie als Quotient aus der Verkehrsstärke aller Fahrzeuge und der mittleren Fahrtgeschwindigkeit der Pkw (bisherige Bezeichnung: mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeit) errechnet wird.

Der Aspekt der erreichbaren Fahrtgeschwindigkeiten wird dagegen zukünftig durch ein neues Kapitel im HBS abgedeckt, das eine Betrachtung des Verkehrsablaufs über Streckenzüge (d. h. einschließlich der Zeitverluste an Knotenpunkten) erlaubt und zum Abgleich der erreichbaren Reisegeschwindigkeiten mit den Vorgaben der Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung RIN (vgl. FGSV, 2008) heranzuziehen ist.

Um den Anwendern die Bewertung der Verkehrsqualität anhand der q-V-Diagramme zu erleichtern, sind die bei der Erarbeitung des HBS definierten Werte zur Abgrenzung der Qualitätsstufen in die dargestellten q-V-Diagramme eingearbeitet worden. Diese Geraden entsprechen Kombinationen aus Verkehrsstärken mit mittleren Pkw-Reisegeschwindigkeiten, die eine identische Verkehrsdichte aufweisen.

Die zur Abgrenzung der Qualitätsstufen herangezogenen Dichtewerte sind im HBS (Tabelle 5-3, vgl. FGSV, 2009) wie folgt angegeben:

Von den in Tabelle 16 angegebenen Werten weist nur die Grenze zwischen den Qualitätsstufen E und F eine durch die vorliegenden Untersuchungen belegbare Rechtfertigung auf: Bei den Simulationsstudien zur Herleitung der bisher gebräuchlichen q-V-Diagramme hatte sich für eine Vielzahl von Parameterkombinationen gezeigt, dass bei einer Verkehrsdichte von etwa 40 Kfz/km häufig die Kapazität einer Landstraße erreicht wurde.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei den Simulationsläufen systembedingt keine Zusammenbrüche des Verkehrsablaufs auftraten. Die Kapazität der untersuchten Strecken wurde dadurch ermittelt, dass sich im Bereich der Kapazität eine deutliche und zunehmende Abweichung zwischen der in das Simulationsmodell eingespeisten Verkehrsstärke und der abgewickelten Verkehrsstärke einstellte.

Die übrigen Grenzen zwischen den Qualitätsstufen wurden auf der Basis von Einschätzungen durch Experten festgelegt. Dabei wurde es als zweckmäßig erachtet, im Bereich geringerer Verkehrsdichten eine feinere Unterteilung anzubieten.

Dies entspricht mutmaßlich der Bewertung des Verkehrsablaufs durch die Verkehrsteilnehmer, da nur

QSV	Verkehrsdichte k^1 [Kfz/km]
A	≤ 5
B	≤ 12
C	≤ 20
D	≤ 30
E	≤ 40
F	> 40

¹ Die Verkehrsdichte k bezieht sich auf die Fahrzeuge beider Fahrrichtungen

Tab. 16: Grenzwerte der Verkehrsdichte für die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstraßen gemäß HBS (vgl. FGSV, 2009)

bei sehr geringem Verkehr eine wirklich sehr gute Verkehrsqualität wahrnehmbar ist. Für die praktische Anwendung, bei der es wesentlich häufiger um die Frage gehen dürfte, ob eine Strecke mit ihren wesentlichen Einflussgrößen in der Lage ist, eine bestimmte Bemessungsverkehrsstärke abzuwickeln, ist die feinere Unterteilung im Bereich der Qualitätsstufen A bis C allerdings nicht von Bedeutung.

Die in Tabelle 16 angegebenen Werte beziehen sich auf die Summe der Fahrzeuge beider Fahrtrichtungen. Bei einer Umstellung des Verfahrens für zweistreifige Landstraßen auf eine richtungsgerechte Betrachtung ist es daher erforderlich, eine neue Abstufung festzulegen.

Darüber hinaus ist aber auch zu berücksichtigen, dass zukünftig nicht nur herkömmliche, zweistreifige Landstraßen mit dem HBS-Verfahren bewertet werden sollen, sondern auch durchgängig dreistreifige, abschnittsweise dreistreifige und zweibahnig vierstreifige Landstraßen.

Für die Betrachtung der einstreifigen Abschnitte von Landstraßen mit dem Regelquerschnitt RQ 15,5 haben BRANNOLTE/BASELAU/DONG (2004) eine Einteilung vorgeschlagen, die in Tabelle 17 dargestellt ist. Diese Einteilung ist auch für die Bewertung einer einzelnen Fahrtrichtung einer herkömmlichen Landstraße plausibel.

Für die Bewertung zweistreifiger Abschnitte im Zuge von Landstraßen mit dem RQ 15,5 schlagen die o. g. Verfasser die gleiche Einteilung vor. Damit kann jedoch nur unzureichend wiedergegeben werden, dass der Verkehrsablauf bei gleicher Verkehrsstärke auf einem zweistreifigen Abschnitt einer Strecke mit dem RQ 15,5 erheblich günstiger ausfällt als auf einem einstreifigen Abschnitt.

QSV	Verkehrsdichte k^1 [Kfz/km]
A	≤ 3
B	≤ 6
C	≤ 10
D	≤ 15
E	≤ 20
F	> 20

¹ Die Verkehrsdichte k bezieht sich auf die Fahrzeuge beider Fahrtrichtungen

Tab. 17: Vorschlag zur Festlegung Grenzwerte der Verkehrsdichte für einstreifige Abschnitte des RQ 15,5 (vgl. BRANNOLTE, BASELAU, DONG, 2004))

Nach den von BRANNOLTE/BASELAU/DONG (2004) angegebenen q-V-Diagrammen und der in Tabelle 16 dargestellten Einteilung der Qualitätsstufen wird auf einer Strecke der Steigungsklasse 1 bei einer Verkehrsstärke von 1.000 Kfz/h in der betrachteten Fahrtrichtung und einem Schwerverkehrsanteil von 10 % sowohl auf einem einstreifigen Abschnitt als auch auf einem zweistreifigen Abschnitt eines RQ 15,5 eine Verkehrsqualität der Stufe D erreicht.

Der Qualitätsunterschied besteht allein darin, dass auf dem zweistreifigen Abschnitt mit ca. 96 km/h eine deutlich höhere mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeit und damit eine geringere Verkehrsdichte von ca. 10,4 Kfz/km zu erwarten ist als auf dem einstreifigen Abschnitt mit einer mittleren Pkw-Reise-geschwindigkeit von 81 km/h und einer Verkehrsdichte von 12,3 Kfz/km.

Es ist offenkundig, dass die Verbesserung der Verkehrsqualität, die durch die zweistreifigen Abschnitten eines RQ 15,5 erreicht werden soll, durch die in Tabelle 17 angegebene Einteilung der Qualitätsstufen nicht zutreffend repräsentiert werden kann. Auf Basis dieser Überlegung wurde der Vorschlag entwickelt, die Verkehrsdichten, die zukünftig zur Abgrenzung der Qualitätsstufen herangezogen werden sollen, auf die Fahrstreifen bezogen anzugeben (vgl. Tabelle 18).

Dieser Vorschlag hat den Vorteil, dass für die einbahnigen Straßen, ob sie als zweistreifige, als abschnittsweise dreistreifige oder als durchgängig dreistreifige Straßen vorliegen, eine einheitliche Skalierung zur Verfügung steht. Dies dient nicht nur der Nachvollziehbarkeit der einzelnen Verfahren, sondern ist auch eine Voraussetzung für weiterführende Berechnungen, z. B. für die Ermittlung der Verkehrsqualität ganzer Strecken anhand des längengewichteten (harmonischen) Mittelwerts der Verkehrsdichten der Teilstrecken.

Es kann dagegen als ein Nachteil des Vorschlags angesehen werden, dass die Stufen der Verkehrs-

QSV	Verkehrsdichte k [Kfz/km x Fahrstreifen]
A	≤ 3
B	≤ 6
C	≤ 10
D	≤ 15
E	≤ 20
F	> 20

Tab. 18: Vorschlag zur zukünftigen Festlegung der Grenzwerte der Verkehrsdichte für einbahnige Landstraßen

qualität nicht auf die besonderen Eigenschaften der zweistreifigen Teilstrecken abgestimmt sind. Mutmaßlich wird die dort erreichbare Verkehrsqualität mit diesem Vorgehen tatsächlich zu günstig bewertet. Zumindest muss eingeräumt werden, dass die tatsächliche Verkehrsdichte auf beiden Fahrstreifen eines zweistreifigen Abschnitts unterschiedlich ausfallen wird und die Dichte [Kfz/(km x Fahrstreifen)] daher nur eine fiktive Größe im Sinne einer „mittleren Dichte“ darstellt.

Beides ist aber in der Praxis nicht relevant. Insbesondere werden die zweistreifigen Abschnitte stets nur mit Verkehrsbelastungen beaufschlagt, die über die benachbarten, einstreifigen Abschnitte herangeführt werden können. Es ist daher nicht zu erwarten, dass sich ein zweistreifiger Abschnitt eines RQ 15,5 in einem tatsächlichen Anwendungsfall jemals als maßgebend für die verkehrstechnische Bemessung erweist.

In diesem Zusammenhang wird auch deutlich, dass die in den q-V-Diagrammen für zweistreifige Abschnitte dargestellten Linien gleicher Verkehrsdichte, mit denen die Grenzen zwischen den Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs angegeben werden, gegenüber den von BRANNOLTE/BASELAU/DONG dargestellten Linien verändert werden müssen. Durch diese Veränderung in den Diagrammen zeigt sich auch grafisch, dass mit den angegebenen Verkehrsstärken bis maximal 1.550 Kfz/h nur die Qualitätsstufen A bis C erreicht werden können, ein zweistreifiger Abschnitt also gar nicht maßgebend werden kann.

Die veränderten Dichtegrenzen in den q-V-Diagrammen für zweistreifige Abschnitte von Straßen mit dem Querschnitt RQ 15,5 und die in Tabelle 18 angegebenen Werte stehen scheinbar in einem Widerspruch zueinander. Während die Werte in der Tabelle aus den o. g. Gründen bezogen auf einen Fahrstreifen angegeben werden sollten, müssen in den Diagrammen, auf deren X-Achse die Verkehrsstärken der betrachteten Richtung als Summe beider Fahrstreifen) angegeben ist, die Grenzen der Verkehrsdichte bezogen auf beide Fahrstreifen der betrachteten Richtung angegeben werden. Sie sind daher doppelt so hoch wie die Grenzwerte in Tabelle 18, die sich auf einen Fahrstreifen beziehen.

Zur Beschreibung der Verkehrsqualität auf den schmalen, zweistreifigen Richtungsfahrbahnen des RQ 21 sind dagegen, wie sich im Rahmen der hierzu durchgeführten Untersuchungen (vgl. MAIER/BERGER, 2011) gezeigt hat, andere, deutlich hö-

here Grenzwerte der Verkehrsdichten zweckmäßig. Diese wurden auf Basis der Empfehlungen der o. g. Verfasser in einer separaten Spalte der Tabelle L3-1 in Kapitel L3 des HBS aufgenommen.

5.9 Bewertung der Verkehrsqualität ganzer Strecken

Nach der Berechnung der Verkehrsdichten, die unter den gegebenen Randbedingungen auf den einzelnen Teilstrecken zu erwarten sind, erfolgt im HBS (vgl. FGSV, 2009, Formel 5-5) eine zusammenfassende Bewertung der Verkehrsqualität auf der betrachteten Strecke (bisherige Bezeichnung: Abschnitt). Zu diesem Zweck wird anhand der Formel

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot L_i}{L} \quad (7)$$

mit

k mittlere Verkehrsdichte auf dem Landstraßenabschnitt [Kfz/km]

L_i Länge des Teilabschnitts i [km]

L Länge des Landstraßenabschnitts [km]

k_i Verkehrsdichte auf dem Teilabschnitt i [Kfz/km]

n Anzahl der Teilabschnitte [-]

das längengewichtete Mittel der einzelnen Verkehrsdichten der Teilstrecken (bisherige Bezeichnung: Teilabschnitte) errechnet und anschließend anhand der bereits unter Kapitel 5.8 wiedergegebenen Tabelle (= Tabelle 5-3 aus dem HBS, vgl. FGSV, 2009) einer Stufe der Verkehrsqualität zugeordnet.

Als Randbedingung gilt, dass alle Teilstrecken mindestens eine Verkehrsqualität der Stufe E erreichen. Wird für eine Teilstrecke die Qualitätsstufe F ermittelt, so gilt diese automatisch für die gesamte Strecke.

Durch die Erweiterung der Landstraßenquerschnitte, für die das Verfahren zur verkehrstechnischen Bemessung gültig sein soll, kann bei der Berechnung der mittleren Dichte einer Strecke das Problem auftreten, dass sowohl einstreifige als auch zweistreifige Teilstrecken berücksichtigt werden müssen. Bei gleicher Verkehrsstärke unterscheidet sich der Verkehrsablauf auf einstreifigen und zwei-

streifigen Abschnitten erheblich, daher wird auch im Hinblick auf die Betrachtung ganzer Strecken vorgeschlagen (vgl. Kapitel 5.8), die auf einen Fahrstreifen bezogene Verkehrsdichte k bzw. k_j jeweils in der Einheit [Kfz/(km x Fahrstreifen)] zu verwenden. Unter dieser Bedingung kann Formel (7) weiterhin zur Anwendung kommen.

Neben der bislang im HBS angewandten Methode zur Bestimmung der Verkehrsqualität einer ganzen Strecke kommt dafür grundsätzlich auch die Vorgehensweise in Betracht, die im HBS unter Kapitel 3.6.2 für die Bestimmung der Verkehrsqualität einer Autobahnstrecke angegeben ist. Dabei werden den errechneten Qualitätsstufen der Teilstrecken (bisherige Bezeichnung: Teilabschnitte) zunächst mithilfe einer Tabelle Bewertungskennziffern von 0 bis 5 zugeordnet. Anschließend wird anhand der Formel

$$B_{Ges} = \frac{L}{\sum_{i=1}^m \frac{L_i}{B_i}} \quad (8)$$

mit

B_{Ges}	Bewertung der Qualitätsstufe des Abschn.	[-]
B_i	Bewertung der Qualitätsstufe des Teilabschnitts i	[-]
L	Länge des Abschnitts	[km]
L_i	Länge des Teilabschnitts i	[km]
m	Anzahl der Teilabschnitte	[-]

das harmonische Mittel der Bewertungen der einzelnen Qualitätsstufen errechnet und anschließend wieder einer Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs zugeordnet. Dabei wird kaufmännisch gerundet.

Im Rahmen des hier dargestellten Forschungsprojektes wurde untersucht ob sich aus der unterschiedlichen Vorgehensweise bei der Bestimmung der Verkehrsqualität ganzer Strecken Unterschiede ergeben können. Zu diesem Zweck wurden die bereits unter Kapitel 5.4 erläuterten Testrechnungen herangezogen. Als Grundlage diente die in den Anlagen 7.9 bis 7.16 dargestellte Einteilung der Teststrecken in Teilstrecken.

Neben der im HBS angegebenen Methode zur Bestimmung der Verkehrsqualität einer ganzen

Strecke (vgl. Formel (7)) wurde auch die hier dargestellte Alternativmethode angewandt, d. h. die Verkehrsqualität mithilfe von Formel (8) bestimmt. Die Ergebnisse für insgesamt 48 Rechenbeispiele (8 Teststrecken x 3 Verkehrsstärken x 2 Schwerverkehrsanteile) sind in Anhang 7.18 dargestellt: Danach ergab sich in nur einem von 48 Rechenbeispielen ein abweichendes Ergebnis.

Für Teststrecke Nr. 6 wurde bei einer angenommenen Verkehrsstärke von 500 Kfz/h in der betrachteten Richtung und einem Schwerverkehrsanteil von 15 % mit der Bestimmung des längengewichteten Mittelwertes der Verkehrsdichten eine Qualität des Verkehrsablaufs auf der gesamten Strecke der Stufe D berechnet, mit der o. g. Alternativmethode eine Qualität des Verkehrsablaufs der Stufe E. Es konnte weder geklärt werden, warum genau und nur bei dieser Konstellation eine Abweichung auftritt noch welches der beiden Ergebnisse zutreffender ist.

Zusammenfassend ist aber festzustellen, dass die beiden hier diskutierten Verfahren zur Bestimmung der Verkehrsqualität einer Strecke, die sich aus mehreren Teilstrecken mit ggf. unterschiedlichen Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs zusammensetzt, offensichtlich zu weitestgehend identischen Ergebnisse führen und daher als gleichwertig zu bezeichnen sind.

Unter dieser Voraussetzung hat sich im Verlauf der Beratungen in den zuständigen Gremien der FGSV eine Präferenz dafür entwickelt, die bisherige Vorgehensweise zur Berechnung der Verkehrsqualität auf einer Strecke auf Basis des längengewichteten Mittelwertes der Verkehrsdichte beizubehalten.

Für diese Vorgehensweise spricht, dass es sich bei der Verkehrsdichte um ein Maß handelt, das den bekannten Zusammenhängen des Verkehrsablaufs direkt zu entnehmen ist und das bereits in den zuvor zu durchlaufenden Arbeitsschritten zur Bestimmung der Verkehrsqualität der einzelnen Teilstrecken anzuwenden ist. Die im Alternativverfahren zu verwendenden Kennwerte stellen demgegenüber nur eine abstrakte Hilfsgröße dar, die keinen direkten Bezug zum Verkehrsablauf oder zur Wahrnehmung dessen Qualität durch die Verkehrsteilnehmer aufweist.

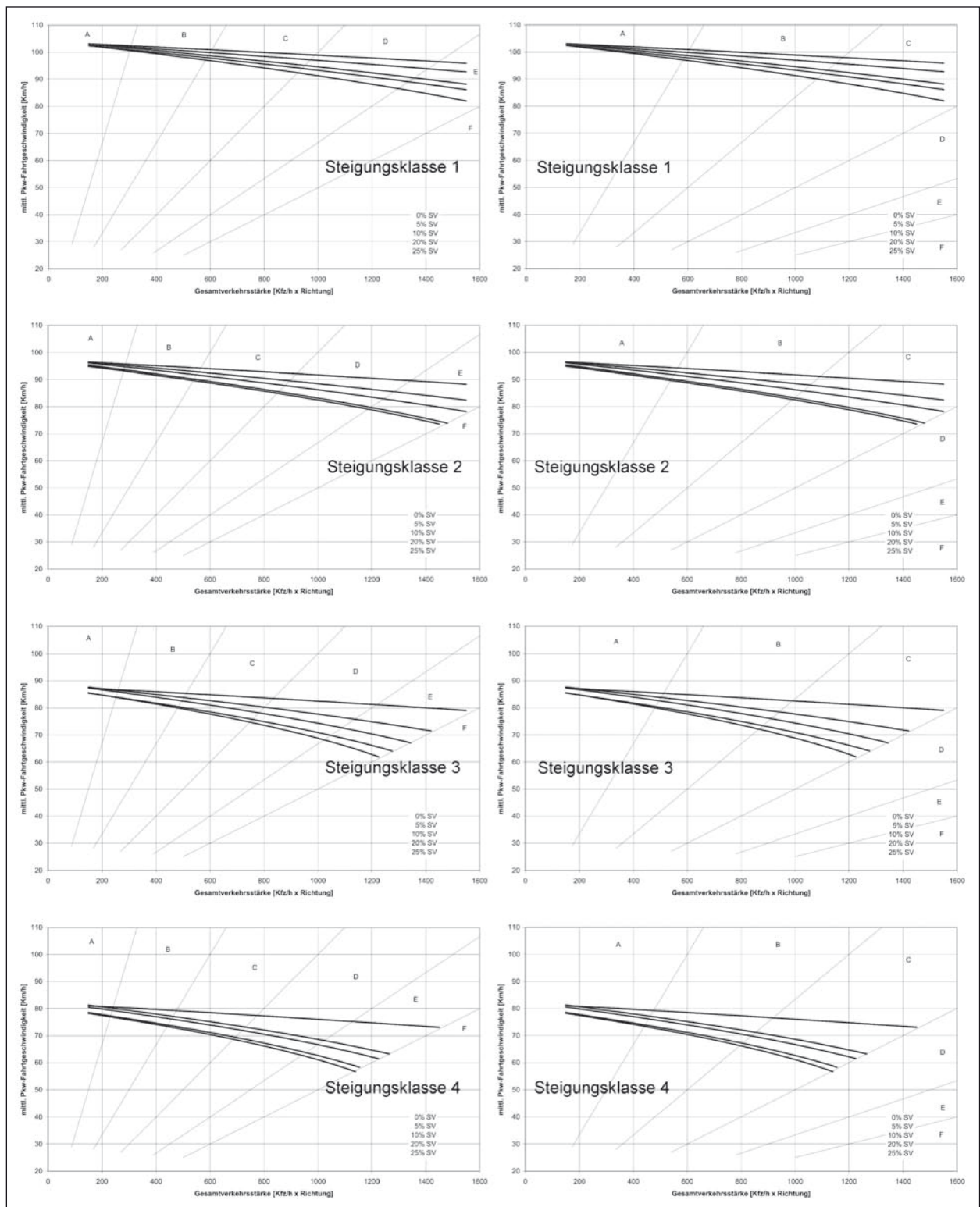


Bild 14: q-v-Diagramme mit Grenzwerten der Verkehrsdichten für zweistreifige Abschnitte dreistreifiger Landstraßen für die Steigungsklassen 1 bis 4. Links: bisheriger Vorschlag zur Einteilung der Verkehrsdichte (vgl. Tabelle 17), rechts: neuer Vorschlag zur Einteilung der Verkehrsdichte (vgl. Tabelle 18)

6 Herleitung neuer q-V-Diagramme

6.1 Ausgangssituation

Es wurde bereits unter Kapitel 1.3 darauf hingewiesen, dass die Anwendung der Simulation im Rahmen des hier dargestellten Forschungsprojektes ursprünglich nur als Option sowie in einem sehr begrenzten Umfang vorgesehen war, etwa um einzelne Aspekte des Verkehrsablaufs bei Bedarf nochmals zu überprüfen. Die erwünschte Umstellung der q-V-Diagramme auf eine richtungsgetrennte Betrachtung sollte anhand statistischer Analysen der Simulationsergebnisse durchgeführt werden, die aus dem vorangegangenen Forschungsprojekt (vgl. BRILON/WEISER, 1997) für alle seinerzeit untersuchten Kombinationen der maßgebenden Einflussgrößen vorlagen.

Nachdem es sich als zweckmäßig erwiesen hatte, die Differenzierung der q-V-Diagramme anhand der Kurvigkeit zu überarbeiten (vgl. Kapitel 5.5), ergab sich aber die Notwendigkeit, neue richtungsgetrennte q-V-Diagramme mithilfe der Simulation zu erzeugen. Dafür wurde, wie auch im Rahmen der 1997 veröffentlichten Untersuchungen, das Programm LASI angewandt.

Die dazu erbetene Erlaubnis wurde von der Professur für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Fakultät für Bauingenieurwesen, Bauhaus-Universität Weimar freundlicherweise erteilt. Das Programm LASI, das dort inzwischen zu einer gegen geringe Gebühr erhältlichen Version zur Untersuchung des Verkehrsablaufs auf durchgängig dreistreifigen Straßen weiterentwickelt wurde (LASI2+1), basiert auf Arbeiten von BRILON/BRANNOLTE, 1977 sowie BRANNOLTE/HOLZ, 1983. Die Version zur Untersuchung herkömmlicher, zweistreifiger Landstraßen wurde u. a. im Zusammenhang mit den Untersuchungen von BRILON/WEISER (1997) umfassend kalibriert.

6.2 Durchführung der Simulationsuntersuchungen

Zur Durchführung der Simulationsuntersuchungen wurden die im Rahmen des vorangegangenen Forschungsprojektes entwickelten Simulationsstrecken herangezogen, deren Trassierungsdaten noch zur Verfügung standen. Da die Grenzen der Kurvigkeitsklassen neu definiert wurden (vgl. Kapi-

tel 5.5), war es aber erforderlich, die Trassierung der Simulationsstrecken so zu überarbeiten, dass die Kurvigkeit jeweils dem Mittelwert der neu definierten Kurvigkeitsklassen entsprach bzw. im Fall der nach oben offenen Kurvigkeitsklasse 4 die darin mutmaßlich auftretenden Kurvigkeiten angemessen repräsentieren. Die mit der Neutrassierung der Simulationsstrecken realisierten Kurvigkeiten sind in Tabelle 19 dargestellt.

Hinsichtlich der Längsneigungsverhältnisse wurden keine Änderungen der Trassierung an den bereits vorliegenden Simulationsstrecken vorgenommen. Aufgrund der bereits im Vorfeld der Untersuchungen beschlossenen Zusammenlegung der bisherigen Steigungsklassen 1 und 2 (vgl. Kapitel 5.1 sowie Kapitel 5.3) konnte aber auf die Durchführung separater Simulationsläufe für diese beiden (alten) Steigungsklassen verzichtet werden. In den Simulationen wurden stattdessen Strecken für die vier neuen Steigungsklassen untersucht.

Eine weitere Anpassung ergab sich durch eine Ausweitung der betrachteten Schwerverkehrsanteile. Neben Anteilen von 0 %, 5 %, 10 % und 20 % wurde auch ein 30%iger Schwerverkehrsanteil in den Simulationen berücksichtigt.

Aus den sinnvollen Variationen der wesentlichen Randbedingungen ergeben sich 80 Kombinationen aus 4 Längsneigungsklassen, 4 Kurvigkeitsklassen und 5 Schwerverkehrsanteilen, deren Zusammenhänge zwischen den Verkehrsstärken und den mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten mithilfe der Simulationen untersucht wurden.

Für jeden Parametersatz wurden Verkehrsstärken von 50 Kfz/h pro Richtung bis mindestens 1.200 Kfz/h pro Richtung simuliert. Die Schrittweite betrug dabei 50 Kfz/h pro Richtung. Für die beiden Fahrtrichtungen wurde jeweils die gleiche Verkehrsstärke angesetzt. Für Strecken mit geringer Kurvigkeit und geringer Längsneigung wurden auch Verkehrsstärken oberhalb von 1.200 Kfz/h pro Richtung

Kurvigkeitsklassen	1	2	3	4
Kurvigkeit in den Klassen [gon/km]	$KU \leq 50$	$50 < KU \leq 100$	$100 < KU \leq 150$	> 150
Kurvigkeit der Sim.-Strecken [gon/km]	25	75	125	200

Tab. 19: Kurvigkeit in den neu definierten Klassen und Kurvigkeit der Simulationsstrecken

untersucht, um auch für diese Strecken Angaben zur mutmaßlichen Kapazität ableiten zu können.

Das Erreichen der Kapazität zeigt sich im Simulationsmodell nicht durch einen Zusammenbruch des Verkehrsablaufs, also durch ein plötzliches Absinken der Geschwindigkeit am Übergang in den gebundenen Verkehr. Vielmehr ist vom Erreichen der Kapazität auszugehen, wenn die Verkehrsstärken am Ende der Simulationsstrecke („output“-Verkehrsstärken) nicht weiter zunehmen, obwohl die Verkehrsstärken am Beginn der Strecke („input“-Verkehrsstärken) weiter systematisch gesteigert werden.

Untersuchungen dieser Art wurden für jede einzelne Simulationsstrecke durchgeführt. Die Verkehrsdichte, die sich beim Erreichen der Kapazität einstellte, lag im Mittel bei etwa 20 Kfz/km x Richtung. Eine Verkehrsdichte von 20 Kfz/km x Richtung entspricht der Hälfte des Wertes, der im derzeitigen HBS-Kapitel bei gleichzeitiger Betrachtung beider Fahrtrichtungen zur Abgrenzung der Qualitätsstufen E und F herangezogen wird. Es ist daher gerechtfertigt, die einzelnen Kurven in den q-V-Diagrammen für die richtungsgetrennte Betrachtung bis zu einer Verkehrsdichte von 20 Kfz/km x Richtung darzustellen.

Die Auswertung der Simulationsergebnisse erfolgte in 5-Minuten-Intervallen. Dabei wurde die tatsächliche Verkehrsstärke am Ausfahrquerschnitt der Simulationsstrecke gemessen, sowie die mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeit.

6.3 Regressionsanalyse

Um die Punktwolken aus der Simulation (Kombinationen aus Verkehrsstärken und mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeiten für jeweils zwölf 5-Minuten-Intervalle pro Stufe der untersuchten Richtungsverkehrsstärke, bei Simulation bis zu einer Richtungsverkehrsstärke von 1.200 Kfz/h, d. h. 24 Stufen, also $12 \times 24 = 288$ Einzelpunkte bzw. 5-Minuten-Intervalle) vergleichbar zu machen und in einer anwendbaren Form darzustellen, wurden Regressionsrechnungen durchgeführt.

Dabei wurde analog zu der vorangegangenen Untersuchung (vgl. BRILON/WEISER, 1997) ein Verkehrsmodell zugrunde gelegt, das die Zusammenhänge zwischen der Verkehrsstärke in der betrachteten Richtung und der mittleren Fahrtgeschwindigkeit der Pkw anhand einer einfachen Wurzelfunktion in der Form

$$V = a + b * \sqrt{q} \quad (9)$$

mit

V mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeit
in der betrachteten Richtung [km/h]

q Verkehrsstärke aller Fahrzeuge
in der betrachteten Richtung [Kfz/h]

a, b Parameter der Funktion

beschreibt. Details zur Herleitung dieser Funktion und Vergleiche mit anderen Verkehrsflussmodellen sind der o. g. Untersuchung aus dem Jahr 1997 zu entnehmen.

In der Regression wurden die Wertepaare, deren Verkehrsdichte oberhalb von 20 Kfz/km x Richtung lag, mit berücksichtigt. Die unter Kapitel 6.2 beschriebene Kürzung einzelner Kurven auf eine maximale Verkehrsdichte von 20 Kfz/km x Richtung erfolgte erst bei der Darstellung der Kurven (vgl. Kapitel 6.4). Einzelne Wertepaare im Bereich sehr geringer Verkehrsstärken, die zufällig nur einzelne Fahrzeuge des Schwerverkehrs enthielten, aber keine Pkw, blieben dagegen bei der Regression unberücksichtigt, da für diese Wertepaare keine Pkw-Fahrtgeschwindigkeit vorlag.

6.4 Ergebnisse

Bilder 15 bis 18 zeigen die erzeugten q-V-Diagramme als Ergebniss der Simulationen und der Regressionsanalyse.

Im Gegensatz zum heutigen HBS mit 20 Diagrammen handelt es sich dabei um 16 Diagramme, also die möglichen Kombinationen aus 4 Steigungsklassen und 4 Kurvigkeitsklassen. Jedes Diagramm stellt bis zu 5 Kurven zur Beschreibung der Auswirkungen des Schwerverkehrsanteils dar. Die Darstellung der Schwerverkehrsanteile in den Diagrammen entsprechen der angegebenen Reihenfolge. Die 0%-Kurve zeigt in allen Fällen das höchste Geschwindigkeitsniveau. Zwischenwerte können interpoliert werden.

Sofern keine nennenswerten Abweichungen zwischen den Kurven für verschiedene Schwerverkehrsanteile auftraten, wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit auf eine Darstellung einzelner Kurven verzichtet.

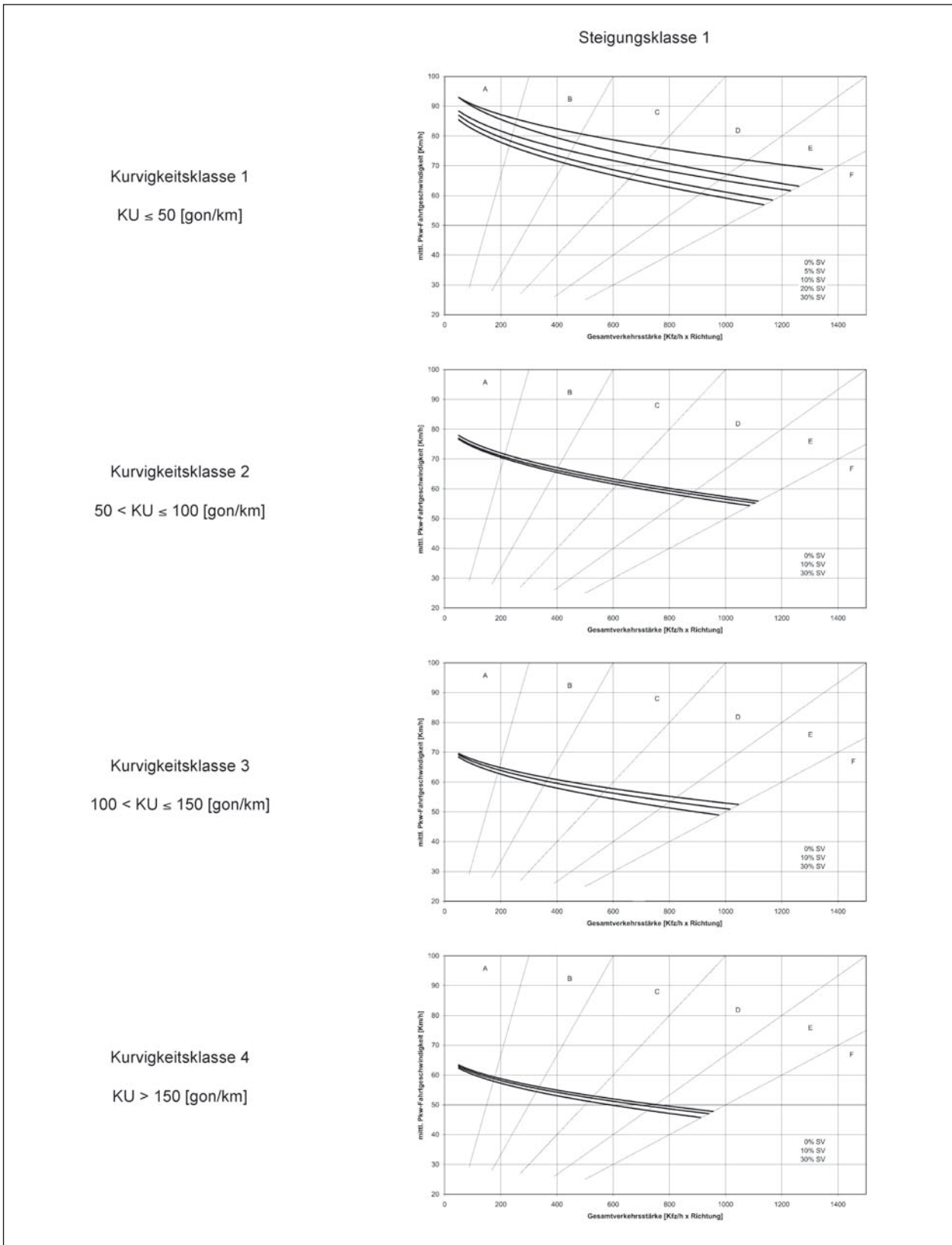


Bild 15: q-V-Diagramme aus der Simulation mit Grenzwerten der Verkehrsdichten für zweistreifige Landstraßen, Steigungsklasse 1

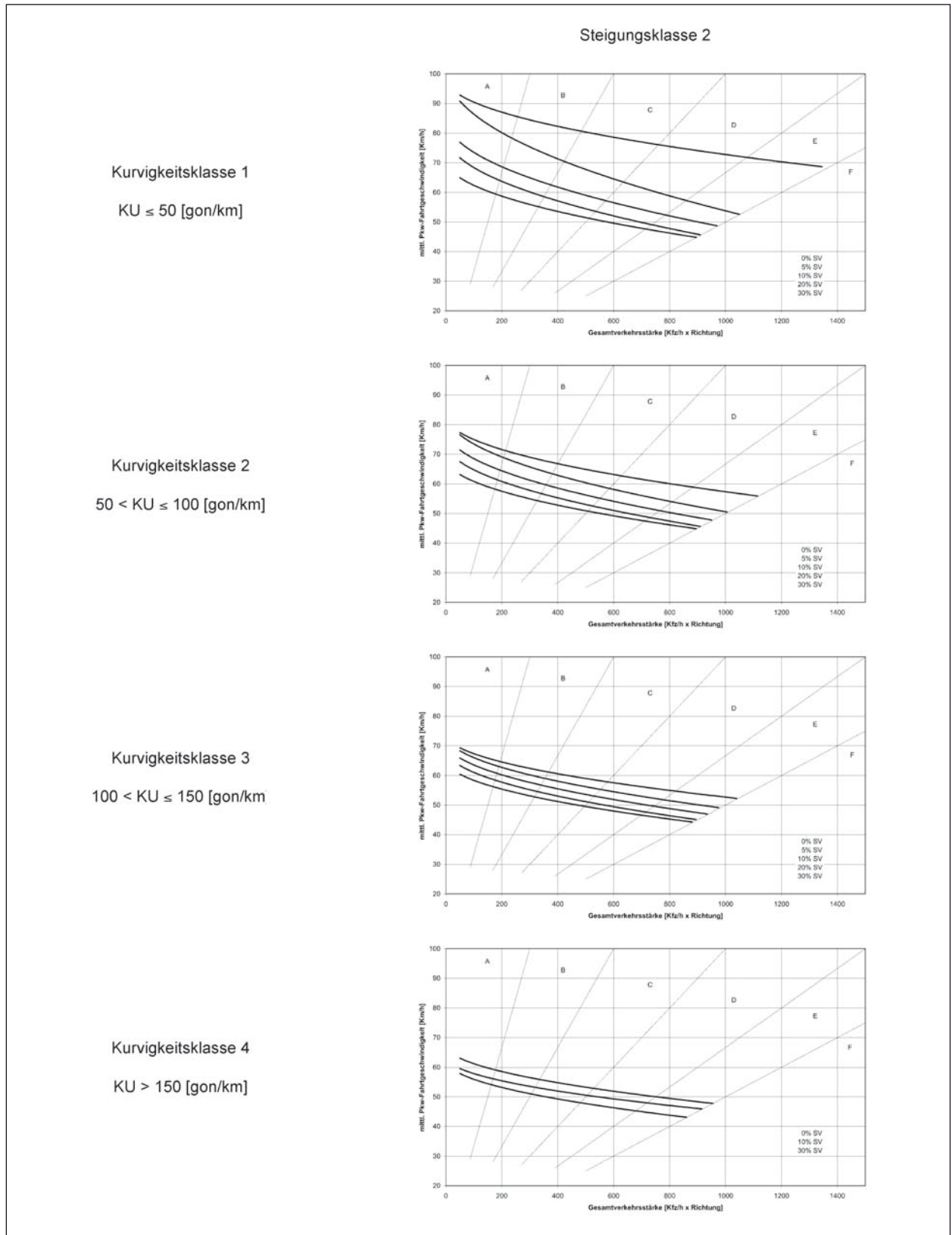


Bild 16: q-v-Diagramme aus der Simulation mit Grenzwerten der Verkehrsdichten für zweistreifige Landstraßen, Steigungsklasse 2

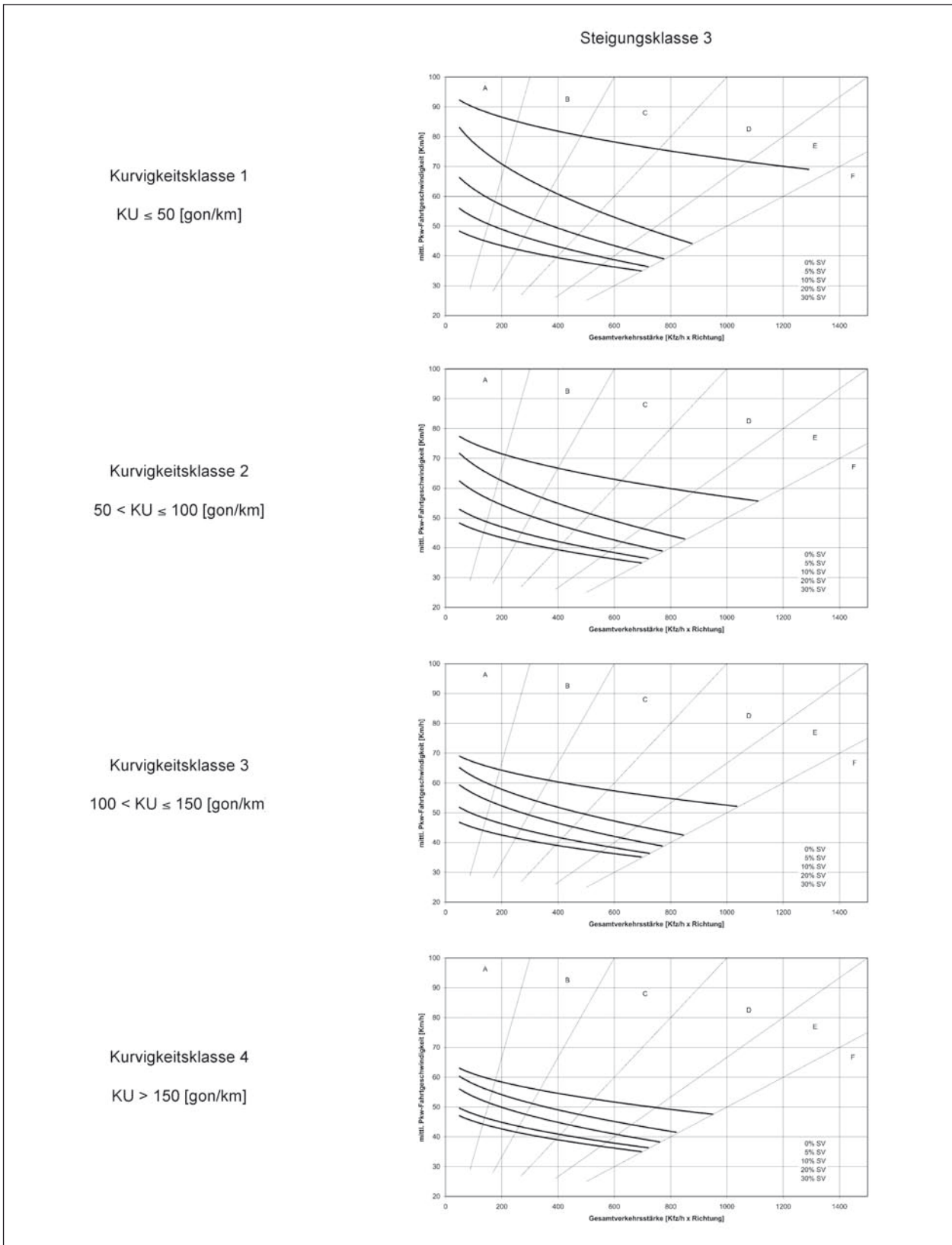


Bild 17: q-V-Diagramme aus der Simulation mit Grenzwerten der Verkehrsdichten für zweistreifige Landstraßen, Steigungsklasse 3

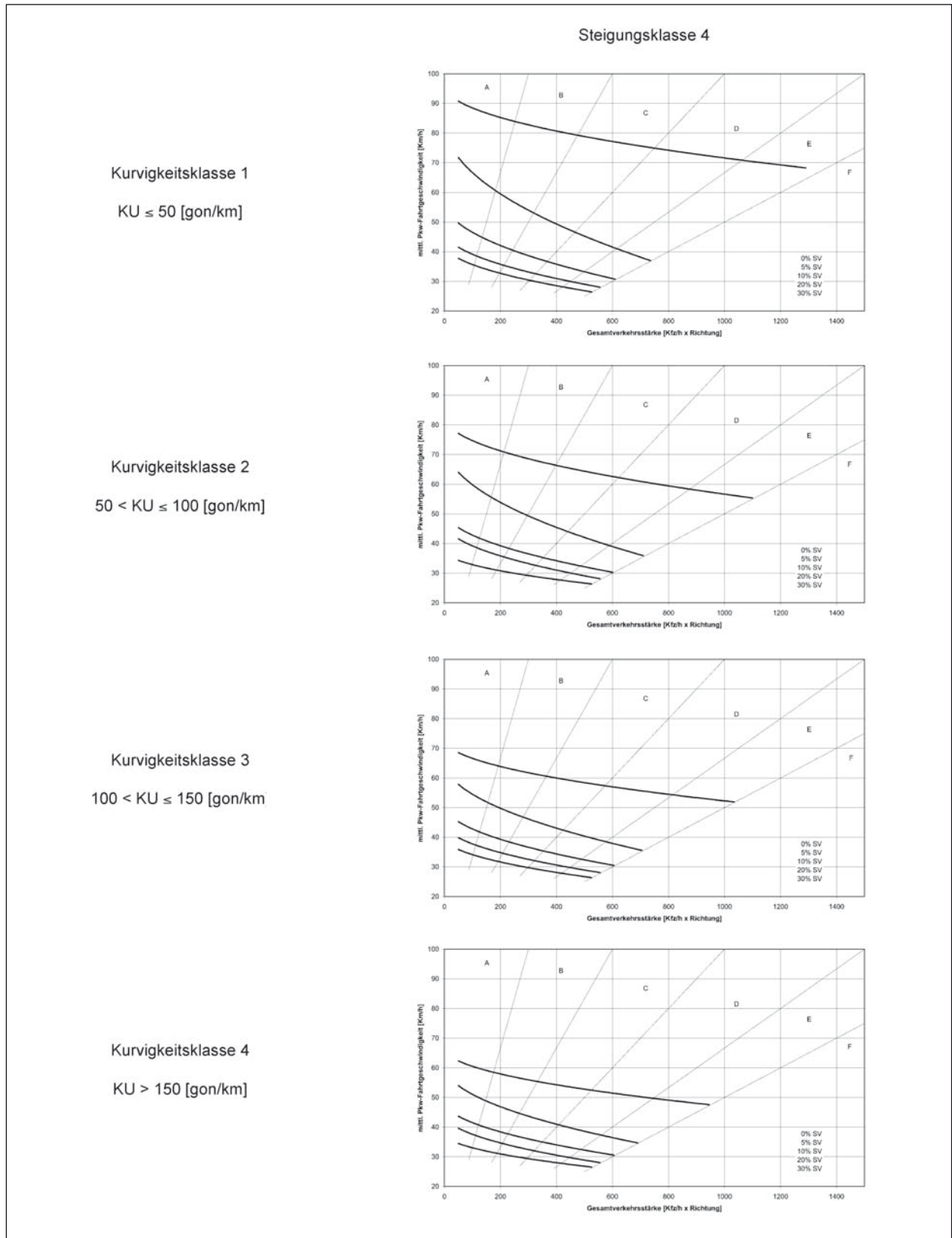


Bild 18: q-v-Diagramme aus der Simulation mit Grenzwerten der Verkehrsdichten für zweistreifige Landstraßen, Steigungsklasse 4

7 Zusammenfassung

Im Rahmen des hier dargestellten Forschungsprojektes sollte das Bemessungsverfahren für zweistreifige Landstraßen auf eine richtungsgetrennte Betrachtung umgestellt werden. Darüber hinaus sollten verschiedene Ergänzungen des Verfahrens durchgeführt und Verbesserungen entwickelt werden. Dies betrifft insbesondere die Vereinfachung verschiedener Verfahrensschritte, deren Durchführung in der Vergangenheit zu Unsicherheiten bei den Anwendern geführt haben wie z. B. die Abgrenzung von Teilstrecken oder die bislang vorgehene, in der Praxis häufig aber nur schwer umzusetzende Berücksichtigung von Abschnitten mit Überholverbot. Ferner sollten Zusammenhänge identifiziert werden, die in Einzelfällen zu unplausiblen (oder scheinbar unplausiblen) Ergebnisse geführt haben.

Im Verlauf der Untersuchungen wurden verschiedene Methoden eingesetzt. Zunächst wurde die verfügbare Literatur analysiert. Dabei zeigte sich, dass in verschiedenen Ländern sehr unterschiedliche Methoden zur Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs zum Einsatz kommen. Das weltweit mutmaßlich am häufigsten zur Anwendung kommende Verfahren aus dem amerikanischen HCM weist auch in seiner aktuellsten Version (vgl. HCM, 2010) mehrere problematische Aspekte auf. Eine Übertragung dieses Verfahrens oder einzelner Verfahrensschritte auf deutsche Verhältnisse stellt daher keine vielversprechende Option dar. Größere Erfolgsaussichten sind in einer Weiterentwicklung der in Deutschland seit Jahrzehnten bewährten Ansätze zu sehen.

Bei dieser Weiterentwicklung spielt die Analyse der in der Praxis vorliegenden Erfahrungen eine wesentliche Rolle. Daher wurden zunächst eine Befragung von Anwendern und mehrere Expertengespräche durchgeführt. Darin zeigte sich, dass das Verfahren von den zuständigen Straßenbauverwaltungen zwar überwiegend positiv eingeschätzt, aber bislang offensichtlich nicht sehr häufig angewendet wird.

Die insgesamt geringe Anzahl von Meinungsäußerungen, die eingeholt werden konnten, erlaubt keine belastbare quantitative Analyse der geäußerten Einschätzungen. Auffällig häufig wurden aber als Schwachpunkte des bisherigen Verfahrens die nicht hinreichend konkreten Hinweise zur Abgrenzung von Teilstrecken und die geforderte Berücksichtigung

von Überholverboten durch Zuschläge zur Kurvigkeit einer betrachteten Teilstrecke angesprochen. Zusätzlich wurden mehrfach das umständliche Ablesen der q-V-Diagramme sowie deren große Anzahl, das relativ komplizierte Verfahren zur Festlegung der Steigungsklassen anhand der Weg-Geschwindigkeitslinie des fiktiven Bemessungs-Schwerfahrzeugs und das Fehlen eines Ansatzes zur Berücksichtigung langsamer Fahrzeuge genannt. Darüber hinaus wurde angefragt, in das neu zu erarbeitende HBS-Kapitel ein realistischeres Berechnungsbeispiel aufzunehmen.

Insgesamt konnte den Befragungen der Anwender entnommen werden, dass ein deutliches Interesse an einer Vereinfachung des Verfahrens besteht.

Nach der näheren Eingrenzung der noch offenen Fragen zum Verkehrsablauf auf Landstraßen wurde ein Programm zur Durchführung empirischer Untersuchungen aufgestellt und bearbeitet. Im Mittelpunkt des Messprogramms stand die Durchführung von Fahrtgeschwindigkeitsmessungen an Strecken mit systematisch wechselnden Randbedingungen (Längsneigung, Kurvigkeit, Anzahl der Fahrstreifen etc.). Zusätzlich wurden je nach Untersuchungsstrecke auch lokale Geschwindigkeitsmessungen sowie Messungen der Geschwindigkeiten vorausfahrender Fahrzeuge durchgeführt.

Das Messprogramm war von Beginn an ausschließlich zur punktuellen Überprüfung einzelner Aspekte des Verkehrsablaufs konzipiert, z. B. zur Klärung des Einflusses einer im Verlauf der Strecke wechselnden Längsneigung bzw. Kurvigkeit. Es bestand nicht die Absicht, eine möglichst große Anzahl von Parameterkombinationen zu untersuchen, um z. B. ein neues Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf Landstraßen zu entwickeln oder ein bestehendes Simulationsmodell neu zu kalibrieren. Vielmehr sollte geprüft werden, ob die im bestehenden Verfahren enthaltenen Regelungen zur Berücksichtigung der Einflussgrößen weiterhin als plausibel anzusehen sind oder ob Veränderungen dieser Regelungen erforderlich sind.

Es wurden jeweils mehrstündige Messungen der Reisegeschwindigkeiten an mehreren, aufeinander folgenden Abschnitten von drei Bundesstraßen mit mittleren bis hohen Verkehrsbelastungen und im Streckenverlauf unterschiedlichen Ausprägungen der maßgebenden Einflussgrößen durchgeführt. Zusätzlich wurden verschiedene zum Teil mehrtägi-

ge (quasi-)lokale Verkehrszählungen und Geschwindigkeitsmessungen mithilfe verschiedener Messgeräte (u. a. Seitenradar) durchgeführt. An einer Messstrecke mit 2+1-Betriebsform wurden darüber hinaus noch Messungen der Geschwindigkeitsprofile vorausfahrender Fahrzeuge durchgeführt, um die unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveaus im Verlauf der Strecke, insbesondere nach dem Ende von Überholabschnitten, detailliert zu untersuchen.

Im Verlauf der Messungen und Auswertungen hat sich gezeigt, dass der damit erreichbare Erkenntnisgewinn begrenzt ist. Es wurde daher in Abstimmung mit dem Betreuerkreis des Forschungsprojektes festgelegt, die Anzahl der durchzuführenden Messungen zu reduzieren und stattdessen einen höheren Aufwand als ursprünglich vorgesehen in die Herleitung neuer, richtungsgetrennter q-V-Diagramme zu investieren.

Parallel zu den verschiedenen Untersuchungen, die im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden, erfolgte eine systematische Überprüfung der Struktur und der einzelnen Schritte des Bemessungsverfahrens. Die Ergebnisse dieser Überprüfung und die erarbeiteten Vorschläge zur Weiterentwicklung des Verfahrens wurden im Betreuerkreis sowie in verschiedenen Gremien der Forschungsgesellschaft vorgestellt und diskutiert.

Dies betrifft insbesondere

- die Aufnahme von Verfahren für Strecken dreistreifiger und zweibahniger Strecken, deren Entwicklung im Fokus anderer Forschungsprojekte lag,
- die Umstellung des Verfahrens auf eine richtungsgetrennte Betrachtung des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Strecken,
- die Herleitung neuer, richtungsgetrennter q-V-Diagramme für zweistreifige Strecken,
- die Festlegung neuer, einfacherer und großzügigerer Regeln zur Abgrenzung von Teilstrecken,
- ein neues, einfacheres Verfahren zur Zuordnung von Steigungsklassen,
- eine weiterentwickelte Berücksichtigung der Kurvigkeit,
- den Verzicht auf die detaillierte Berücksichtigung von Überholverböten,

- das geeignete Maß zur Beschreibung der Verkehrsqualität,
- das Verfahren zur Bewertung der Verkehrsqualität von Strecken, die sich aus Teilstrecken mit unterschiedlicher Ausprägung der Einflussgrößen zusammensetzen.

Zu den vorgeschlagenen Veränderungen wurden umfangreiche Testrechnungen durchgeführt, um die Wirkung der einzelnen Faktoren und der vorgesehenen Vereinfachungen zu beschreiben und die Konsequenzen für die Praxis einschätzen zu können. Bei den Testrechnungen zeigte sich, dass sich die vorgenommenen Vereinfachungen nur in Ausnahmefällen auf das Ergebnis auswirken. Die von der Praxis nachdrücklich erwünschten Vereinfachungen führen aber keinesfalls zu systematischen Veränderungen der mit den Verfahren erzielten Ergebnissen.

Die Herleitung neuer, richtungsgetrennter q-V-Diagramme für zweistreifige Landstraßen sollte ursprünglich ausschließlich durch eine erneute, richtungsgetrennte Auswertung der noch aus einem vorangegangenen Forschungsprojekt (vgl. BRILON/WEISER, 1997) vorliegenden Simulationsergebnisse erfolgen. Eine mikroskopische Simulation des Verkehrsablaufs sollte nur im Bedarfsfall und zur Klärung einzelner Detailaspekte des Verkehrsablaufs durchgeführt werden.

Im Verlauf der Untersuchungen und der mit den zuständigen Gremien der FGSV geführten Beratungen hat sich aber gezeigt, dass es erforderlich war, neue, umfangreiche Simulationen des Verkehrsablaufs durchzuführen, um die in Zukunft für die verkehrstechnische Bemessung zweistreifiger Landstraßen benötigten q-V-Diagramme zu erzeugen. Der wesentliche Grund hierfür liegt in der vorgenommenen Neueinteilung der Kurvigkeitsklassen, die sich anhand von Erkenntnissen aus der Praxis des Straßenentwurfs als sinnvoll erwiesen hat.

Es wurden daher unter Anwendung des vorliegenden, anhand der empirischen Ergebnisse aus dem vorangegangenen Forschungsprojekt kalibrierten Simulationsmodells LASI (vgl. BRILON/BRANNOLTE, 1977, BRANNOLTE/HOLZ, 1983 sowie BRILON/WEISER, 1997) neue q-V-Diagramme für die einzelnen Fahrtrichtungen zweistreifiger Landstraßen erzeugt. Bei der Durchführung der Regressionsrechnungen zur Herleitung

der einzelnen q-V-Kurven auf Basis der simulierten Punktwolken wurde die von BRILON/WEISER (1997) hergeleitete, einfache Wurzelfunktion zugrunde gelegt, mit der die Einzelwerte aus den zahlreichen Simulationsläufen gut repräsentiert werden. Als Ergebnisse dieses Bearbeitungsschrittes liegen neu erzeugte, richtungsgetrennte q-V-Funktionen für alle sinnvollen Kombinationen der Einflussgrößen Längsneigung, Kurvigkeit und Schwerverkehrsanteil vor.

Die Berücksichtigung des Einflusses langsamer Fahrzeuge auf den Verkehrsablauf konnte nicht – wie von verschiedenen befragten Anwendern gewünscht – in das weiterentwickelte Verfahren aufgenommen werden, weil sowohl die dafür erforderlichen empirischen Grundlagendaten als auch ein geeigneter theoretischer Ansatz zur Zeit nicht zur Verfügung stehen. Zu dieser Frage besteht Forschungsbedarf.

Parallel zur Bearbeitung des Forschungsprojektes wurde ein Vorschlag für das neue HBS-Kapitel L3 „Strecken von Landstraßen“ erarbeitet und kontinuierlich mit den zuständigen Gremien der FGSV abgestimmt. Die endgültige redaktionelle Abstimmung des Textes stand bei der Abfassung des vorliegenden Berichts noch aus.

Neben dem Textvorschlag für das Kapitel L3 im neuen HBS wurden wesentliche Grundlagen und Bestandteile eines erläuternden Kommentars erarbeitet, die in den Kapiteln 5. und 6. des vorliegenden Berichts enthalten sind. Diese Grundlagen können ohne großen Aufwand zu einem redaktionell weiterentwickelten Kommentar in Form eines Zeitschriftenaufsatzes ausgearbeitet werden. Dazu sind die bereits vorliegenden Bestandteile noch um konkrete Hinweise an die zukünftigen Anwender zu ergänzen. Wie von den zuständigen Gremien der FGSV gewünscht kann der Kommentar veröffentlicht werden, sobald das neue HBS erschienen ist.

8 Literatur

- BARK, A.: Kurvigkeit von 45 Landstraßen aus durchgeführten Sicherheitsauditierungen. Unveröffentlichte Zusammenstellung, 2011
- BASELAU, C.: Entwicklung eines Verfahrens zur Beurteilung der Verkehrsqualität auf Straßen mit 2+1-Verkehrsführung – ein konsistentes Qualitätsstufenkonzept unter Einschluss von Streckenabschnitten und Knotenpunkten. Schriftenreihe der Professur Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Heft 03, Bauhaus-Universität Weimar, 2006
- BERGH, T., CARLSSON, A.: 2+1-Roads with and without Cable Barriers: speed performance. Proceedings of the 4th International Symposium on Highway Capacity, pp. 188-199, Transportation Research Circular E-C018, TRB, 2000
- BERGH, T., CARLSSON, A.: 2+1-Roads with Cable Barriers: safety and traffic performance results. ITE-conference paper, 2003
- BESSA, J. E., SETTI, J. R.: Derivation of ATS and PTSF Functions for Two-lane, Rural Highways in Brazil. Proceedings of the 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Stockholm, 2011
- BRANNOLTE, U.; HOLZ, S.: Simulation des Verkehrsablaufes auf Landstraßen – Modellerweiterung. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 402, 1983
- BRANNOLTE, U., DILLING, J., DURTH, W., HARTKOPF, G., MEEWES, V., ROHLOFF, M., SCHLIESING, H., STIEVERMANN, P.: Einsatz von Zwischenquerschnitten. Heft 265 der Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 1992
- BRANNOLTE, U., BASELAU, C., DONG, P.: Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und Verkehrsablauf auf neuen Querschnitten nach RAS-Q 96: Untersuchung des Verkehrsablaufs auf dem Straßentyp RQ 15,5. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 899, 2004
- BREßLER, A. (2001): Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf an Steigungsstrecken – Kriterien für Zusatzfahrstreifen. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen an der Ruhr-Universität Bochum, Heft 24. Bochum, 2001

- BRILON, W.: Warteschlangenmodell des Verkehrsablaufs auf zweispurigen Landstraßen. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 201, 1976
- BRILON, W.: Queuing Model of two-lane rural Traffic. Transportation Research, vol. II, S. 95-107, 1977
- BRILON, W.: Literaturlauswertung Landstraßen. Unveröffentlichter Textbeitrag zu vorliegendem Forschungsprojekt, 2011
- BRILON, W., BRANNOLTE, U.: Simulation des Verkehrsablaufs auf Landstraßen. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 239, 1977
- BRILON, W., GEISTEFELDT, J., REGLER, M.: Reliability of Freeway Traffic Flow: a Stochastic Concept of Capacity. Proceed. 16th Internat. Symp. on Transportation and Traffic Theory, Maryland, 2005
- BRILON, W., WEISER, F.: Aktualisierung der Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Querschnitte (RAS-Q 1982). Schlussbericht zum Forschungsauftrag FE-Nr. 02.151 R92F des Bundesministers für Verkehr. Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswesen. Bochum, 1993
- BRILON, W., WEISER, F.: Ermittlung von Q-V-Diagrammen für zweistreifige Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 747, Bundesministerium für Verkehr (Hrsg.), Bonn, 1997
- CRAWFORD, A.: The overtaking driver. Ergonomics, 6 (2), pp. 153-70, 1963
- DIXON, M. P., HADERLIE, S., SAREPALLI, S. S. K.: Using TWOPAS Simulation Model to Provide Design and Operations Information on the Performance of Idaho's Two-Lane Highways. University of Idaho, Report N03-05, Final Report, 2003
- ERLANDER, S.: On a model for rural traffic on a two-lane road. In Proceedings of the 4th International Symposium on the Theory of Traffic Flow, edited by W. LEUTZBACH and BARIN, P., Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Heft 86, pp. 71-80, 1968
- ERLANDER, S.: A mathematical model for traffic on a two-lane road with some empirical results – 1. Theoretical model and estimation problems. Transportation Research, 5 (2), pp. 135-47, 1971a
- ERLANDER, S.: A mathematical model for traffic on a two-lane road with some empirical results – II. Empirical results. Transportation Research, 5 (2), pp. 149-75, 1971b
- HBS: Handbuch für die Bemessung von Straßen (HBS), Ausgabe 2001-2009, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2001
- FROST, U., KELLER, H., KIRCHHOFF, P.: Empirische Untersuchungen zu Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit auf Zwischenquerschnitten in Bayern. Straße und Autobahn, Heft 6, 1992
- FSV: Querschnitte – Dreistreifige Querschnitte (2+1-Querschnitte). Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen. RVS 03.03.33 (Entwurf), Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Wien, Juni, 2008
- FGSV: Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS, Teil: Querschnitte RAS-Q. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Ausgabe 1982
- FGSV: Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS, Teil: Querschnitte RAS-Q 96. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Ausgabe 1996
- FGSV: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Ausgabe 2001, Fassung 2009
- FGSV: Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung RIN. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Ausgabe 2008
- FGSV: Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), AA 2.2 Landstraßen, AK 2.2.1 Gestaltung neuer Straßen. Entwurf, Stand: 24.08.2011
- HARWOOD, D. W., MAY, A., ANDERSON, I., LEIMAN, L., ARCHILLA, A., Capacity and quality of service of two-lane highways. Tech. rep., NCHRP Project 3-55 (3), 1999

- HARWOOD, D. W., POTTS, I. B., K. M., BAUER, J. A., BONNESON, A., ELEFTERIADOU, L.: Two-Lane Road Analysis Methodology in the Highway Capacity Manual, Final Report, NCHRP Project 20-7 (160), Midwest Research Institute, Kansas City Missouri, 2003
- HCM: Highway Capacity Manual, TRB, Special Report 209, Washington, D.C., 1965, 1985 und 2000
- HCM: Highway Capacity Manual, TRB, Special Report 209, Washington, D.C., Chapter 15, 2010
- HERRSTEDT, L.: 2+1 Roads—Danish Experiences. Danish Transport Research Institute, Copenhagen, Denmark, (Kontakt: sp@si.dk), 2001
- HOBAN, C. J., SHEPHERD, R. J., FAWCETT, G. J., ROBINSON, G. K.: A model for simulating traffic on two-lane rural roads: user guide and manual for TRARR version 3.2. ARRB Technical Manual ATM 10B, 1991
- IRZIK, M.: Überholverhalten auf 2+1-Strecken – ein Beitrag zur Gestaltung von dreistreifigen Landstraßen. Heft 55 der Veröffentlichungen des Instituts für Verkehr und Stadtbauwesen, Technische Universität Braunschweig, 2009
- JACOBS, F.: Queues and Overtakings on Two-Lane-Roads; Proceedings of the 6th Intern. Symposium on Transportation and Traffic Theory, Sydney, 1974
- KIM, J.: A Capacity Estimation Method for Two-Lane, Two-Way Highways Using Simulation Modelling. phd-thesis, Pennsylvania State University, 2006
- KIM, J., ELEFTERIADOU, E.: Estimation of Capacity of Two-Lane Two-Way Highways Using simulation Model. Journal of Transportation Engineering, volume 136, Issue 1, pp. 61-66, 2010
- KITTELSON, W.: An Historical Overview of the Committee on Highway Capacity and Quality of Service. Proceedings of the 4th International Symposium on Highway Capacity, Maui, Hawaii, Transportation research Circular E-C018, TRB, pp. 5-16, 2000
- KOSONEN, I.: HUTSIM- Urban Traffic Simulation and Control Model: Principle and Application. Helsinki University of Technology, Transportation Engineering Publication 100, 1999
- LAVAL, J. A., 2006. A macroscopic theory of two-lane rural roads. Transportation Research Part B, 40 (10): 937-944, 2006
- LI, J., WASHBURN, S. S.: Implementing Two-Lane Highway Simulation Modeling into CORSIM. 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Stockholm, Sweden, (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/18770428/16>), 2011
- LINDER, T.: Zwischenquerschnitte. Untersuchung der B 471 bei Dachau. Forschungsprojekt FP 2.8527 und 8527/2 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen. Technische Universität München, 1987
- LINDER, T.: Zwischenquerschnitte. Wirkungen von Zwischenquerschnitten im Zuge einbahniger Außerortsstraßen auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen Universität München. München, 1988
- LINDER, T.: Einbahnige Zwischenquerschnitte. Straßenverkehrstechnik, Heft 6, 1989
- LOVELL, D. J., MAY, A.: Development of TRARR model user interfaces and assessment of passing lanes on two-lane highways. Proceedings of the 2nd International Symposium on Highway Capacity, Volume 2, Sydney, Australian Road Research Board, pp. 409-426, 1994
- LUTTINEN, T.: Capacity and Level-of-Service Estimation in Finland. Fifth International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Yokohama, Japan, 2006
- LUTTINEN, T., DIXON, M., WASHBURN, S.: Two-Lane Highway Analysis in HCM 2000. Discussion paper, unveröffentlicht, 2008
- MAIER, R., BERGER, R.: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21). FE 02.0283/2007/FGB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Schlussbericht, September 2010
- MEEWES, V., MAIER, R.: Modellversuch B 33: „2+1“-spurige Landstraße. Heft 22 der Schriften-

- reihe „Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung“, Köln 1984
- McLEAN, J. R.: Two-Lane Highway Traffic Operations. Gordon and Breach Science Publishers, Melbourne, ISBN 2-88124-725-3, 1989
- MILLER, A. J.: Queuing in rural traffic. In Vehicular Traffic Science, edited by L. C. EDIE, R. HERMAN and R. ROTHERY, pp. 122-37. New York: American Elsevier, 1965
- MILLER, A. J., PRETTY, R. L.: Overtaking on two-lane rural roads. Proceedings 4th Australian Road Research Board Conference, 4 (1), pp. 582-91, 1968
- MORALES, J. M., PANIATI, J. F.: Two-Lane Traffic simulation: A Field Evaluation of ROADSIM. Transportation Research Record, No. 1100, 1986
- MUNEHIRO, K., TAKEMOTO, A., KASAI, S., ASANO, M.: Analysis on Rural Highway Design using Traffic Micro-Simulation in Cold Regions. Proceedings of the 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Stockholm, 2011
- NORMAN, O. K.: Results of Highway Capacity Studies. Public Roads, vol 23, no. 4, pp. 57-81, 1942
- NORMAN, O. K., WALKER, W. P.: Highway Capacity: practical Application of Research. Public Roads, vol 25, no. 10 + 11, pp. 201-234 und 237-277, 1949
- NRA (National Roads authority, Ireland): Interim Advice Note on Road Link Design for 2+1 Roads, Revision 'A' – February, 2006
- OECD: Two-Lane Rural Roads: Design and Traffic Flow. Paris, 1972
- POLUS, A., COHEN, M. A.: Theoretical and Empirical Relationships for the Quality of Flow and for a New Level-of-Service on Two-Lane Highways. Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 135, No. 6, pp. 380-385, 2009
- POTTS, I.: Application of European 2+1 Roadway Designs. Research Result Digest No. 275, (http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rrd_275.pdf), NCHRP, April 2003
- ROMANA, M. G. R., NÚÑEZ, M.: Proposal of an Alternative Model for Speed-Flow Relationship in Two-Lane Highways. Proceedings of the 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Stockholm, 2011
- ROOS, R.: Pulkbildung und Pulkauflösung als Kriterien zur Bemessung dreistreifiger Außerortsstraßen mit der Betriebsform b2+1. Dissertation TH Darmstadt, Fachbereich Wasser und Verkehr. Darmstadt, 1989
- STEINAUER, B., SCHUCKLIEß, W., BECHER, T.: Übergreifende Bewertung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten auf Landstraßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1004, 2008
- St. JOHN, A. D., HARWOOD, D. W.: TWOPAS User's Guide, A User's Guide to TWOPAS – A Microscopic Computer Simulation Model of Traffic on Two-Lane, Two-Way Highways (Performing Organization Report No. 7533-S (6)), Washington, D.C.: Federal Highway Administration, 1986
- STOLZ, M.: Sichtweiten und Verkehrsablauf. Schriftenreihe der deutschen Akademie für Verkehrswissenschaft. Hamburg, 1967
- van AERDE, M.; YAGAR, S.: Volume effects on speeds of 2-lane Highways in Ontario. Transportation Research, vol. 17A, Nr. 4. S. 301-313, 1983
- van AS, S. C., van NIEKERK, A.: The Operational Analysis of two-lane rural Highways. Proceedings of the 23rd Southern African Transport Conference (SATC 2004), ISBN Number: 1-920-01723-2 Pretoria, South Africa, 12 . 15 July 2004, 2004
- VSS: Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit. VSS/SN Norm 640 020a, 2010
- WEBER, R., LÖHE, U.: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1-Strecken mit allgemeinem Verkehr. Heft V 109 der Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2003
- WIETHOLT, T.: Simulation of the traffic flow on rural roads with HUTSIM. Diplomarbeit an der Ruhr-Universität Bochum, 2006

- WU, N. (2000): Verkehr auf Schnellstraßen im Fundamentaldiagramm – Ein neues Modell und seine Anwendungen. Straßenverkehrstechnik, Heft 8, S. 378-388, 2000
- WU, N.: A new approach for Modeling of Fundamental Diagrams and its Applications, Transportation Research A 36, p. 867-884. Elsevier Science Ltd., New York, Tokyo, Oxford, 2002
- WU, S., HEIMBACH, C. L.: Simulation of highway traffic on two-lane, two-way rural highways. US Transportation Research Board, transportation Research Record 806, pp. 21-28, 1981
- YU, Q., WASHBURN, S. S.: Operational Performance Assessment for Two-Lane Highway Facilities. Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, Vol. 135, Issue 4, pp. 197-205, 2009

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2012

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

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

V 212: Anlagenkonzeption für Meistereigehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB
Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00

V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren
Schmellekamp, Tegethof
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 215: Stauprävention auf BAB im Winter
Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00

V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)
Lippold, Weise, Jährig € 17,50

V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen
Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase, Fohlmeister, Häckelmann € 18,50

V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzlösungen
Hausmann € 16,00

V 219: Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter
Roos, Zimmermann, Schulz, Riffel € 16,50

2013

V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie
Pöpping, Pollack, Müller € 16,00

V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS
Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil, Rehberger € 19,50

V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010
Fitschen, Nordmann € 16,50
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 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufenthaltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00

V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst – Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50

V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00

V 227: Radpotenziale im Stadtverkehr
Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann, Mahlau, Gässler € 17,00

V 228: Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr
Baier, Göbbels, Klemps-Kohnen € 15,50

V 229: Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Messsystemen
Schmidt, Frenken, Hellebrandt, Regniet, Mahmoudi € 20,50

V 230: Verkehrsadaptive Netzsteuerungen
Hohmann, Giuliani, Wietholt € 16,50

V 231: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011
Fitschen, Nordmann € 28,50
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 232: Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelgemischen für Markierungssysteme
Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50

V 233: Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse
Lensing € 16,00

V 234: Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik
Lensing € 17,50

2014

V 235: Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe
Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00

V 236: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2012
Fitschen, Nordmann € 28,50
Die Ergebnisdateien sind auch als CD erhältlich oder können außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 237: Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nachweis der Wirksamkeit von Grünbrücken für die Wiedervernetzung im Rahmen der KP II – Maßnahmen
Bund-Länder Arbeitskreis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden. Der Anhang ist interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.

V 238: Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebsdienst – Sommerdienst
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 239: Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen
Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00

V 240: Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen
Baier, Leu, Klemps-Kohnen, Reinartz, Maier, Schmotz € 23,50

V 241: Rastanlagen an BAB – Verbesserung der Auslastung und Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme
Kleine, Lehmann, Lohoff, Rittershaus € 16,50

V 242: Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhöhe und Bodenindikatoren an Überquerungsstellen
Boenke, Grossmann, Piazzolla, Rebstock, Herrnsdorf, Pfeil € 20,00

V 243: Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen über den gesamten Lebenszyklus
Balmberger, Maibach, Schüller, Dahl, Schäfer € 17,50

V 244: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013
Fitschen, Nordmann € 28,50

V 245: Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs
Friedrich, Hoffmann, Axer, Niemeier, Tengen, Adams, Santel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 246: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen
Kathmann, Roggendorf, Kemper, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 247: Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw
Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 248: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagentermittlung
Burg, Röhling
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2015

V 249: Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen
Schlag, Voigt, Lippold, Enzfelder
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 250: Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw
Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 251: Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen von Straßenumgestaltungen nach dem „Shared Space“-Gedanken
Baier, Engelen, Klemps-Kohnen, Reinartz € 18,50

V 252: Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen
Gündra, Barron, Henrichs, Jäger, Höfle, Marx, Peters, Reimer, Zipf € 15,00

V 253: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Sicherheit und den Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen
Baier, Kemper
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 254: Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw
Wellner, Uhlig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 255: Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw
Zimmermann, Riffel, Roos
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 256: Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagen-

teile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Voraussetzung eines umfassenden Asset Managements
Zander, Birbaum, Schmidt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 257: Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen
Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier
Hantschel, Otto € 18,00

V 258: Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten
Holldorb, Streich, Uhlig, Schäufele € 18,00

V 259: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten
Geistefeldt, Sievers
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 260: Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst
Hausmann € 15,50

V 261: Nutzung von Radwegen in Gegenrichtung - Sicherheitsverbesserungen
Alrutz, Bohle, Busek € 16,50

V 262: Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten
Maier, Pohle, Schmotz, Nirschl, Erbsmehl € 16,00

2016

V 263: Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen – Weiterentwicklung der Verfahren
Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 16,50

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.