

# **Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Straßenbau Heft S 46**

**bast**

# **Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen**

von

Bernhard Steinauer  
Andreas Ueckermann

Institut für Straßenwesen  
RWTH Aachen

Günther Maerschalk  
Ingenieurbüro SEP Maerschalk, München

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Straßenbau Heft S 46**

**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, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

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

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

## Impressum

### **Bericht zum Forschungsprojekt FE 77.469/2002**

Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen

Projektbetreuung  
Eckhard Kempkens

### **Herausgeber**

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

### **Redaktion**

Referat Öffentlichkeitsarbeit

### **Druck und Verlag**

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

ISSN 0943-9323

ISBN-13: 978-3-86509-545-9

ISBN-10: 3-86509-545-3

Bergisch Gladbach, September 2006

## Kurzfassung – Abstract

### **Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen**

Mit Hilfe der Datenbestände von 7 Städten werden die Grundlagen für eine praxisgerechte Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens für den messtechnisch erfassten Zustand von Innerortsstraßen mit den erforderlichen Normierungsfunktionen, den Ziel-, Warn- und Schwellenwerten und maßgeblichen Funktionsklassen erarbeitet.

Für die Auswerteabschnitte ergab sich eine Länge von 10 m als sinnvoll, aus der problemlos Zustandsindikatoren auch für längere Abschnitte ermittelt werden können.

Die bisher verwendeten Zustandsindikatoren für die Längsebenheit, Querebenheit und Substanz werden auf ihre Brauchbarkeit untersucht und verbesserte bzw. neue Indikatoren mit den dazugehörigen Normierungsfunktionen vorgeschlagen. Für die Griffigkeit standen keine Analysedaten zur Verfügung. Hier konnte für die Festlegung von Ziel-, Warn- und Schwellenwerten auf entsprechende Normierungsfunktionen für Außerortsstraßen zurückgegriffen werden. Weiterhin werden Vorschläge für die Verknüpfung zum Gebrauchs- und Substanzwert erarbeitet.

Für die Relativierung der Anforderungen an den Zustand von Asphaltfahrbahnen werden zwei Funktionsklassen für die Straßekategorien „Hauptverkehrs-/verkehrs-/Sammelstraßen“ (FK 1) und „Anlieger-/Wohnstraßen“ (FK 2) vorgeschlagen. Weiterhin wird eine dritte Funktionsklasse für Pflasterstraßen eingeführt. Ihre unterschiedlichen Normierungsfunktionen gewährleisten bei gleichen Zustandsausprägungen eine unterschiedliche Einstufung der Dringlichkeit von Maßnahmenteilen.

Die Untersuchungsergebnisse sind zusätzlich in Form eines Arbeitspapiers aufbereitet.

Der Originalbericht enthält als Anhänge die Entwürfe der Arbeitspapiere K 1.2 („Ordnungssystem und Netzbeschreibung für innerörtliche Verkehrsflächen“) und K 3.1 („Zustandsbewertung bei messtechnischer Erfassung“) des Arbeitsausschusses 9.15 „Systematik der Straßenerhaltung“. Auf die Wiedergabe dieser Anhänge wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei

der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anhänge im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

### **Analysis of measured pavement data and extension of evaluation parameters for the pavement management of municipal roads**

By means of pavement data from 7 cities the basics for a practical development of the evaluation method for measured pavement data from municipal roads are gathered, including the required scaling functions, the target, warning and threshold values as well as the applicable functional classes.

Regarding the proper length of the road sections to be evaluated a standard length of 10 metres is found to be useful, from which pavement indicators for multiples of 10 metres can easily be developed.

Pavement indicators already in use for longitudinal evenness, transverse evenness and the condition of the pavement substance are analyzed regarding their usability and improved or new indicators are developed along with the corresponding scaling functions. Since there were no data available for skid resistance, target, warning and threshold values have been adopted according to existing limits for rural roads. Besides establishing limiting values and their corresponding scaling functions proposals are made concerning the concatenation of pavement indicators to give an index of rideability as well as an index of pavement substance.

Three functional classes – two for asphalt pavement (FK 1 for major and FK 2 for minor communal roads) and one for cobble-stoned pavements – are recommended. Their different scaling functions allow for different levels of action in spite of the same pavement condition.

In addition, the results of the research are presented in the form of a working draft containing the essentials of the evaluation of pavement data for pavement management purposes.

The original report includes the drafts of the working papers K 1.2 (“Order system and network description of traffic surfaces within city limits“)



and K 3.1 (“Evaluation of conditions in metrological compilations”) of the working committee 9.15 “Road maintenance systems”, as appendices. The reproduction of these appendices was rejected in the present publication. They are available at the Federal Highway Research Institute and can be viewed there. References to the appendices in the text of the report have been maintained for the reader’s information.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung und Untersuchungsziel</b> .....	7	3.3.4	Zustandsgrößen für Fahrstreifen .....	58
1.1	Ausgangssituation .....	7	3.3.5	Ergebnisse der derzeitigen Bewertungsverfahren – Asphalt .....	59
1.2	Aufgabenstellung .....	7	3.3.6	Ergebnisse der derzeitigen Bewertungsverfahren – Pflaster .....	73
1.3	Untersuchungsablauf .....	8			
<b>2</b>	<b>Datengrundlagen und Netzdefinition</b> .....	11	<b>4</b>	<b>Schwachstellenanalyse des derzeitigen Bewertungsverfahrens</b> .....	76
2.1	Datengrundlagen .....	11	4.1	Unstetigkeiten der Normierungsfunktionen .....	76
2.1.1	Anzahl und Länge der Erfassungsabschnitte .....	11	4.2	Einschränkungen des Wertebereichs .....	78
2.1.2	Dateninhalte .....	12	4.3	Durchschlagsregel .....	79
2.2	Anforderungen an die Messsysteme für Innerortsstraßen .....	14	4.4	Numerisches Verknüpfungsverfahren bei der Wertsynthese .....	85
2.3	Vergleichbarkeit mit der Erfassung von Ortsdurchfahrten .....	19	4.5	Einbindung des Längsebenheitswirkindex LWI in das derzeitige Bewertungsverfahren .....	85
2.4	Behandlung von aufgeweiteten Netzknotten (Kreuzungsbereiche) .....	22	4.6	Kennzeichnung und Bewertung von Grabungsflächen .....	86
2.5	Funktionale Untergliederung von Innerortsstraßen .....	23			
<b>3</b>	<b>Beschreibung und Anwendung des derzeitigen Bewertungsverfahrens (Status-quo-Analyse)</b> .....	24	<b>5</b>	<b>Inhaltliche Analyse des Bewertungsverfahrens</b> .....	87
3.1	Zustandsmerkmale, Zustandsgrößen und -indikatoren .....	24	5.1	Länge der Auswerteabschnitte .....	87
3.1.1	Ebenheit im Längsprofil .....	24	5.2	Bewertungsrelevante Zustandsgrößen/-indikatoren und Fixpunkte der Normierungsfunktionen .....	101
3.1.2	Ebenheit im Querprofil .....	25	5.2.1	Vorbemerkung: Schwellen-, Warn- und Zielwerte .....	101
3.1.3	Griffigkeit .....	25	5.2.2	Längsebenheit .....	102
3.1.4	Substanzmerkmale (Oberfläche) .....	26	5.2.2.1	Unebenheitsmaß AUN .....	103
3.2	Grundsätzliche Beschreibung des derzeitigen Bewertungsverfahrens .....	27	5.2.2.2	Längsebenheitswirkindex LWI .....	105
3.2.1	Funktionsklassenabhängige Normierung .....	28	5.2.2.3	Der Längsebenheitswirkindex für geänderte Geschwindigkeiten .....	113
3.2.2	Wertsynthese .....	36	5.2.2.4	Schlussfolgerungen für die Bewertung der Längsebenheit .....	116
3.3	Anwendung des derzeitigen Bewertungsverfahrens .....	38	5.2.3	Querebenheit .....	118
3.3.1	Bewertungsparameter der sieben Analysestädte .....	38	5.2.3.1	Mittlere Spurrinnentiefe und mittlere Fiktive Wassertiefe .....	118
3.3.2	Ausgangsverteilungen der Zustandsgrößen für Asphaltdecken .....	40	5.2.3.2	Bewertung regelloser Querunebenheiten .....	121
3.3.3	Ausgangsverteilungen der Zustandsgrößen für Pflasterdecken .....	53	5.2.3.3	Modifizierte Bewertung der fiktiven Wassertiefe .....	126
			5.2.4	Griffigkeit .....	127

5.2.5	Substanzmerkmale .....	128
5.2.6	Teilzielwerte .....	134
5.2.6.1	Gebrauchswert TWGEB .....	134
5.2.6.2	Substanzwert-Oberfläche TWSUB .....	136
5.2.6.3	Teilzielwert Umwelt/Dritte TWUMD .....	139
5.2.7	Gesamtwert .....	140
5.3	Funktionsklassen für Innerortsstraßen .....	140
5.3.1	Bewertung von Pflasterdecken .....	140
5.3.2	Verkehrliche und funktionale Faktoren (Funktionsklassen) .....	145
5.3.2.1	Hintergrund einer funktionalen Relativierung .....	145
5.3.2.2	Normierung nach Funktionsklassen .....	146
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Vorschläge für die Umsetzung .....</b>	<b>151</b>
<b>Literatur</b>	.....	<b>154</b>

# 1 Aufgabenstellung und Untersuchungsziel

Im Anhang der „Empfehlungen für das Erhaltungsmanagement von Innerortsstraßen E EMI 2003“ (FGSV 2003) ist in eher nachrichtlicher Weise ein Verfahren für die Zustandsbewertung aufgeführt. Grundlage für diese Verfahrensbeschreibung in den E EMI 2003 ist ein Projekt des Forschungsprogramms Stadtverkehr (MAERSCHALK 2002), das den Gesamtrahmen für das innerörtliche Erhaltungsmanagement absteckt und, in Form von Anhängen, auch detaillierte Anleitungen enthält, die als Grundgerüst für die Erstellung von problembezogenen Arbeitspapieren dienen können. Die darin enthaltenen Vorschläge zur Zustandsbewertung leiten sich im Ursprung aus dem Verfahren für die Außerortsstraßen ab, das in einem Arbeitspapier dokumentiert ist (FGSV 2002). Sie basieren darüber hinaus sehr stark auf Erfahrungen mit den früher ausschließlich verfügbaren Daten aus visuellen Zustandserfassungen (MAERSCHALK, SCHMUCK 1985).

## 1.1 Ausgangssituation

Das in pragmatischer Weise den Gegebenheiten von Innerortsstraßen angepasste und stark auf visuelle Zustandserfassungen ausgerichtete Verfahren für die Zustandsbewertung hat sich im Zusammenhang mit messtechnischen Zustandserfassungen nur teilweise als praxistauglich erwiesen. Aus diesem Grund wurden bei größeren messtechnischen Zustandserfassungen in verschiedenen Städten seitens der Auftragnehmer Lösungsansätze bei der Auswertung und Bewertung von Messdaten angewendet, die weder in technischer noch in wissenschaftlicher Hinsicht vollständig systematisch analysiert sind. Derartige Analysen sind aus den folgenden Gründen notwendig:

- Messtechnische Zustandserfassungen von Innerortsstraßen erfordern einen hohen organisatorischen und erfassungstechnischen Aufwand. Die Kosten für die Messungen sind deutlich höher als bei Außerortsstraßen.
- Die gemessenen Zustandsdaten werden auch von den politischen Entscheidungsträgern als besonders konsistente Grundlage für das Erhaltungsmanagement und die Erhaltungsplanung angesehen. Entscheidungen in diesen Bereichen haben in der Regel eine so große wirt-

schaftliche Bedeutung, dass Lücken in den Verfahrensweisen zur Ermittlung der Entscheidungsgrundlagen nicht hingenommen werden können.

Die Schlüssigkeit und auch die Vermittelbarkeit eines Verfahrens für die Zustandsbewertung sind eine wesentliche Voraussetzung dafür, die Belange und Nutzeffekte einer systematischen Straßenerhaltung für die Öffentlichkeit und die Entscheidungsebene zu verdeutlichen. In diesem Zusammenhang erscheint es zumindest fragwürdig, Zustandsdaten mit modernsten Geräten und Systemen zu erfassen, bei der anschließenden Auswertung und Bewertung aber auf Algorithmen zurückzugreifen, die ursprünglich für ein deutlich größeres Erfassungsverfahren entwickelt wurden. Aus den o. e. messtechnischen Zustandserfassungen liegen umfangreiche und repräsentative Datenbestände und erste Erfahrungen zur messtechnischen Erfassung von innerörtlichen Straßen für weitergehende Analysen vor. Auf dieser Grundlage können die Konsistenz und die Praxisnähe eines Verfahrens für die Zustandsbewertung verbessert werden. Die Fortschreibung des Bewertungsverfahrens soll dabei unter realistischen Rahmenbedingungen erfolgen. Dies erscheint möglich, wenn für repräsentative Netze Vergleiche der Ergebnisse des bisherigen Bewertungsmodus mit den Resultaten aus vorliegenden, teilweise von der Erhaltungspraxis und FGSV-Gremien eingebrachten und neu entwickelten Änderungsvorschlägen zu Bewertungsalgorithmen durchgeführt werden. Mit diesen Vergleichen können Entscheidungsgrundlagen für eine praxisgerechte Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens erarbeitet werden. Da ein objektiv wissenschaftlicher Nachweis der Validität von Bewertungsalgorithmen nicht möglich ist, muss dabei die Plausibilität der vorgenommenen Änderungen in enger Abstimmung mit den Hauptanwendern der Bewertungsergebnisse, den Straßenbauverwaltungen der Kommunen, beurteilt werden. Aus dieser Abstimmung können Vorschläge für die Einarbeitung eventueller Änderungen und Ergänzungen des Bewertungsverfahrens in die einschlägigen technischen Regelwerke abgeleitet werden.

## 1.2 Aufgabenstellung

Mit einer systematischen wissenschaftlichen Analyse der verfügbaren Zustandsdaten ist es möglich, die derzeit üblichen Verfahrensweisen der mess-

technischen Zustandserfassung und der Zustandsbewertung von Innerortsstraßen kritisch zu überprüfen, zu modifizieren, vergleichend im Ergebnis darzustellen und zu verbessern. Dabei müssen sowohl der Bewertungshintergrund wie auch die Bewertungsmethodik mit den Normierungsfunktionen, den Warn- und Schwellenwerten und den dafür maßgeblichen Funktionsklassen hinterfragt werden. Ausgehend von den Erfordernissen einer innerörtlichen Zustandsbewertung muss die Eignung der gebräuchlichen Zustandsmerkmale und ihrer Erfassungs- und Aufbereitungstechnik, z. B. hinsichtlich der benötigten Indikatoren und ihrer messtechnisch und wirtschaftlich vertretbaren Bezugslängen, untersucht werden. Die Analysen und die Ergebnisse müssen dabei mit einem FE-Projekt abgestimmt werden, das eine ähnliche Problematik für die nicht in Baulast von Kommunen befindlichen Ortsdurchfahrten von Bundesstraßen behandelt (HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003). Ein Konzept für die Innerortsstraßen muss allerdings neben Ortsdurchfahrten und Hauptverkehrsstraßen auch alle andere Straßenkategorien einschließen.

Im Gesamtergebnis soll ein Konzept für die Zustandserfassung und -bewertung von Innerortsstraßen verfügbar sein, das unter Berücksichtigung der speziellen Gegebenheiten eine umsetzbare und von der Erhaltungspraxis akzeptierte Verfahrensweise beinhaltet, die den Betreibern von Messsystemen und den Straßenbauverwaltungen von Kommunen künftig eindeutige Vorgaben und Empfehlungen bietet. Die zu erwartenden Änderungen in der Verfahrensweise für die Innerortsstraßen haben dabei Auswirkungen auf die Ergebnisdarstellung, -visualisierung und -interpretation. Ein wesentliches Nebenziel besteht dementsprechend darin, die Voraussetzungen für die praktische Umsetzung der Ergebnisse in ein Arbeitspapier für die „Messtechnische Zustandserfassung und -bewertung von Innerortsstraßen“ zu schaffen. Dieses Arbeitspapier ist ein grundlegender Baustein für alle weiteren Arbeitsschritte des Erhaltungsmanagements und der Erhaltungsplanung im Rahmen einer Fortschreibung der EEM I 2003. Mit einer schlüssigen Verfahrensweise für die Zustandserfassung/-bewertung von Innerortsstraßen kann eine wesentlich gezieltere Erhaltungsplanung durchgeführt werden. Die derzeitige Gleichbehandlung von allen innerörtlichen Straßenkategorien ist im Hinblick auf eine gesamtwirtschaftlich optimale Erhaltungsplanung wenig zufrieden stellend, da die Anforderungen unterschiedlich sind. Die Berücksichtigung dieser Unterschiede führt zu einem bes-

seren Realitätsbezug und zu einer erhöhten Akzeptanz sowohl auf der Fachebene als auch auf der Ebene der Entscheidungsträger.

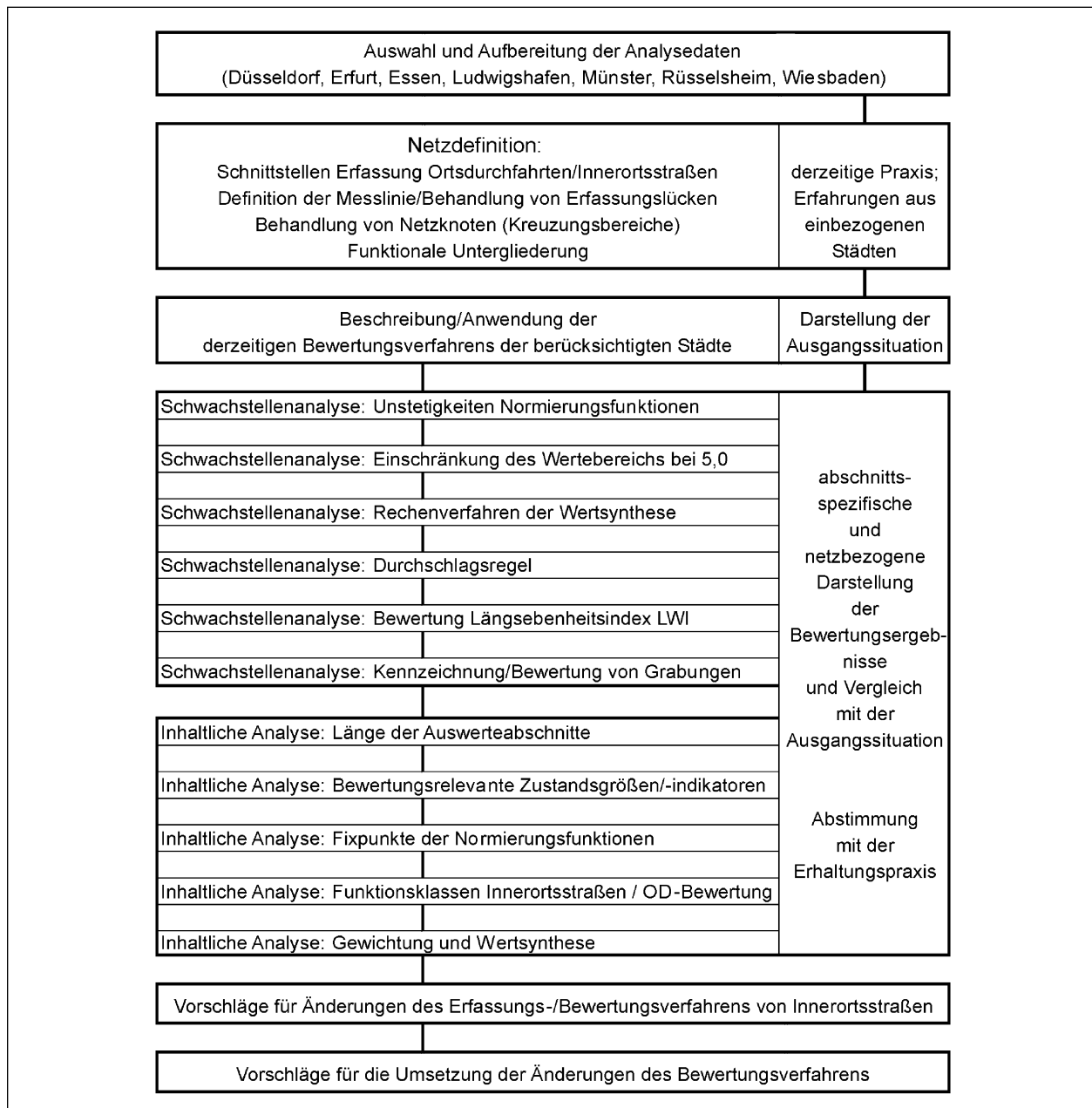
### 1.3 Untersuchungsablauf

Bei der Zielsetzung, den Praxisbezug des Bewertungsverfahrens zu verbessern, müssen sukzessive die erkannten Schwachstellen und die teilweise bereits vorliegenden Änderungsvorschläge aufgegriffen und analysiert werden. Zusätzlich ist auch ein Neuansatz in Form einer inhaltlichen Analyse erforderlich. Diese Analysen sollen mit vorliegenden Daten aus Zustandserfassungen/-bewertungen in Kommunen untermauert werden. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass letztlich kein wissenschaftlicher Beweis der Richtigkeit oder Überlegenheit eines Bewertungsverfahrens erbracht werden kann, sondern stets nur Aussagen zur Plausibilität von Bewertungsergebnissen möglich sind, kann dabei grundsätzlich wie folgt vorgegangen werden:

- Die Änderungen werden anhand einzelner charakteristischer Straßenabschnitte dargestellt und beurteilt. Neben einer systematischen Auswahl aus dem Datenbestand können dazu auch fiktive Abschnitte mit konstruierten Zustandsdaten hilfreich sein.
- Die vorgenommenen Änderungen werden netzbezogen anhand von Zustandsverteilungen in ihrer Plausibilität beurteilt.

Für beide Optionen ist eine möglichst breite und statistisch repräsentative Datenbasis erforderlich. Es ist daher vorgesehen, die zum Zeitpunkt der Auftragserteilung verfügbaren Zustandsdaten aus den messtechnischen Erfassungen der Städte Düsseldorf, Erfurt, Essen, Ludwigshafen, Münster, Rüsselsheim und Wiesbaden zugrunde zu legen. Sofern für bestimmte Fragestellungen neben den Zustandsdaten auch Verkehrs- und Bauweisedaten benötigt werden, ist aus den jeweiligen Gesamtnetzen eine Auswahl von Strecken mit ausreichender Datenqualität zu treffen. Mit Hilfe der nach Qualitätskriterien ausgewählten Datenbasis werden, so weit sinnvoll sowohl abschnittsbezogen als auch netzbezogen, die Konsequenzen aller nachfolgend genannten und in Bild 1 zusammengefassten Untersuchungsschritte aufgezeigt und beurteilt.

- Aufgrund der Funktion verschiedener Typen von Innerortsstraßen und den daraus resultierenden



**Bild 1:** Schematische Darstellung des Untersuchungsablaufs

speziellen Gegebenheiten, z. B. im Hinblick auf Breiten, Kurvenradien, Nutzung durch ÖPNV oder Regelungen für den ruhenden Verkehr, können messtechnische Erfassungen in wirtschaftlicher Weise nur auf innerörtlichen Teilnetzen durchgeführt werden. Bei den bisherigen Messungen wurden im Wesentlichen Hauptverkehrsstraßen berücksichtigt. In enger Abstimmung mit der Praxis ist daher zunächst zu klären, welche Straßenkategorien grundsätzlich in eine messtechnische Erfassung einbezogen werden können und sollen. Dabei müssen auch Überlegungen angestellt werden, wie die Verknüpfungen mit den restlichen Innerortsstraßen

oder den Ortsdurchfahrten von klassifizierten Straßen zu behandeln sind und wie größerflächige Kreuzungsbereiche zugeordnet werden sollen. Daraus ergibt sich die Frage, wie Erfassungslücken gekennzeichnet und Messlinien definiert werden sollen. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Vorgaben muss geklärt werden, ob und unter welchen Voraussetzungen alle Fahrstreifen der Hauptverkehrsstraßen gemessen und inwieweit dabei Abwägungen zwischen Informationsgewinn und Wirtschaftlichkeit der Erfassung vorgenommen wurden. Mit den Ergebnissen der streckenbezogenen Analysen kann überprüft werden, inwieweit und in wel-

chen Bereichen (z. B. im Zulauf von signalisierten Knoten) die Zustandsausprägungen der Fahrstreifen signifikant voneinander abweichen.

- Wenn Klarheit über die Netzdefinition für die messtechnische Erfassung besteht, kann geprüft werden, inwieweit eine Anlehnung an bestehende Typisierungen von Innerortsstraßen, z. B. im Hinblick auf vorhandene oder fehlende angrenzende Bebauung, die Nutzungsart oder die Art und Anordnung vorhandener Nebenflächen, möglich ist. Aus dieser funktionalen Untergliederung ergeben sich wesentliche Randbedingungen für die Vorgehensweise bei der Zustandserfassung und insbesondere der Zustandsbewertung.

Als Ausgangsbasis für alle weiteren Analysen muss zunächst das derzeit in den Städten gebräuchliche Bewertungsverfahren beschrieben und angewendet werden. Die Ergebnisse dieser Anwendung sind die Vergleichsgrundlage (der „Nullfall“) für alle im Untersuchungsablauf eingebrachten Änderungen. Ein Teil der zu analysierenden Änderungen ergibt sich aus bereits in der Vergangenheit erkannten Schwachstellen, wie sie derzeit auch beim Bewertungsverfahren für Außerortsstraßen analysiert werden (FE 09.132). Diese im FGSV-Arbeitskreis 9.15.7 („Zustandsbewertung“) laufend diskutierten Schwachstellen sind größtenteils in einem „Leitfaden für die Erfassung und Bewertung des Zustandes von Straßen“ (BÜHLER, KLINGHAMMER, MAERSCHALK, OERTELT 2002) aufgeführt. Die Schwachstellenanalyse bezieht sich im Wesentlichen auf die folgenden Aspekte (s. auch Bild 1).

- Unstetigkeit der Normierungsfunktionen bei den Zustandswerten von 1,5 und 4,5.
- Extrapolation der Normierungsfunktionen über den Zustandswert 5,0 hinaus (für weitergehende Anwendungen, z. B. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen).
- Verknüpfungsalgorithmen zur Bildung von Teilzielwerten im Rahmen der Wertsynthese.
- Durchschlagsregel bei der Wertsynthese.
- Derzeitige Einbindung des Längsebenenheitswirkindex LWI in das Bewertungsverfahren.
- Die Kennzeichnung und Bewertung von Grabungsflächen.

Bei der inhaltlichen Überprüfung und Überarbeitung des Bewertungsverfahrens stehen die folgenden Gesichtspunkte in Vordergrund (s. auch Bild 1):

- Die Länge der Auswerteabschnitte bei der messtechnischen Zustandserfassung. Bei Innerortsstraßen muss davon ausgegangen werden, dass die bei Messungen kontinuierlich erfassten Zustandsausprägungen in der Längsabwicklung größeren Schwankungen unterliegen als auf der freien Strecke. Bei der Bildung von Mittelwerten für die im Außerortsbereich gebräuchlichen 100-m-Auswerteabschnitte werden diese Zustandsausprägungen vielfach so weit nivelliert, dass ein den tatsächlichen Verhältnissen in keiner Weise entsprechendes Zustandsbild entsteht. Bei den Messungen in Städten wurden daher verschiedentlich bereits Auswerteabschnitte von 20 m gebildet. Bei einer Änderung der Auswertelänge ergeben sich aber Probleme mit den derzeit erfassten bzw. ermittelten Zustandsmerkmalen, Zustandsgrößen und -indikatoren, speziell in Bezug auf die Längsebenheit. Ausgehend von den derzeitigen Erfahrungen ist daher zu prüfen, inwieweit die Bezugslängen modifiziert werden müssen und welche Konsequenzen daraus im Hinblick auf die Erfassungstechnik zu ziehen sind. Zur Variation der Abschnittslängen muss dabei auch auf die ursprünglich kontinuierlich erfassten Zustandsdaten („Rohdaten“) zurückgegriffen werden. In diesem Zusammenhang ist auch auf die Behandlung von örtlich-punktuellen Ereignissen (z. B. überstehende Schachtdeckel, extreme Spurrinnen an Bushaltestellen) einzugehen. Es ist zu prüfen, inwieweit derartige lokale Ereignisse bei der Ermittlung der Zustandsindikatoren angemessen berücksichtigt werden.
- Relevanz der in die Bewertung einbezogenen Zustandsgrößen/-indikatoren. Aus den Analysen zur zweckmäßigen Lage der Auswerteabschnitte für Innerortsstraßen ergeben sich Hinweise, inwieweit die derzeitigen Zustandsmerkmale ergänzt bzw. geändert und welche Zustandsgrößen und Zustandsindikatoren für ihre erfasst werden müssen.
- Inhaltliche Bedeutung und Lage der Fixpunkte der Normierungsfunktionen. Die bisher angesetzten Warn- und Schwellenwerte der Normierungsfunktionen wurden entweder von Außerortsbereich oder vom visuellen Bewertungskonzept übernommen. Bei der Überprüfung ihrer inhaltlichen Bedeutung und ihrer Lage müssen ggf. auch die bisher als relevant angesehenen Zielkriterien hinterfragt werden, ins-

besondere im Hinblick auf einen Zielbereich Umwelt/Dritte. Speziell zu berücksichtigen sind dabei auch die fahrdynamischen Wirkungen, die in Bezug auf die Verkehrssicherheit, den Fahrkomfort, die Ladegut- und die dynamische Beanspruchung von Innerortsstraßen bestehen.

- Berücksichtigung funktionaler Kenngrößen bei der Zustandsbewertung. Die Lage der Festpunkte für die Normierung ist abhängig von der Bedeutung und den daraus resultierenden Anforderungen von Innerortsstraßen. Bei der Zustandsbewertung für Innerortsstraßen wird derzeit in Bezug auf die Warn-/Schwellenwerte nicht nach Funktionsklassen differenziert. Bei der Definition von Funktionsklassen ist insbesondere zu klären, welche zusätzlichen Sachinformationen benötigt werden und in der Praxis verfügbar sind. Dabei sind auch die Ergebnisse der Studie „Ergänzung der Bewertung des Straßenzustandes freier Strecken um eine gleichwertige Bewertung von Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen“ (HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003) zu berücksichtigen.
- Gewichtung der Zustandsmerkmale bei der Wertsynthese. Wenn zusätzliche zustandsbezogene Wirkungen und Zielkriterien einbezogen werden, ist bei der Verknüpfung der einzelnen Zustandsmerkmale zu Teilzielwerten die bisherige Gewichtung im Rahmen des nutzwertanalytischen Ansatzes zu prüfen und zu modifizieren. Diese Analysen liefern Hinweise zu Defiziten, die bei Innerortsstraßen möglicherweise noch im Hinblick auf Bestands- und Zustandsdaten bestehen. Zu klären ist dabei z. B., wie künftig mit Pflasterdecken (und Plattenbelägen) verfahren werden soll, für die derzeit kein Substanzwert-Oberfläche auf messtechnischer Basis gebildet werden kann.

Bei allen nach den Schwachstellen- und inhaltlichen Analysen vorgeschlagenen Änderungen des Bewertungsverfahrens wird ausdrücklich analysiert, ob und in welcher Weise die bisherigen Bewertungsergebnisse mit den neuen Ergebnissen vergleichbar gemacht werden können. Sofern die Vergleichbarkeit an Grenzen stößt, ist dies explizit aufzuzeigen.

Die Festlegung eines Feinkonzepts für das künftige Auswerte- und Bewertungsverfahren für Innerortsstraßen ergibt sich aus den Ergebnissen der voran-

gegangenen Schwachstellenanalysen und der inhaltlichen Analysen sowie aus Ergebnisdiskussionen mit Vertretern ausgewählter Kommunen bzw. Mitgliedern des FGSV-AK 9.15.5. Die daraus abgeleiteten praxisorientierten Änderungsvorschläge des Bewertungsverfahrens werden eingearbeitet und in ihren Konsequenzen dargestellt. Die abgestimmten Änderungsvorschläge am Bewertungsverfahren werden so aufbereitet, dass sie ohne großen zusätzlichen Aufwand in ein im Entwurf erstelltes Arbeitspapier übernommen werden können.

## 2 Datengrundlagen und Netzdefinition

Eine Analyse von Verfahren für die messtechnische Zustandserfassung/-bewertung kann nicht losgelöst von Fragen der Netzdefinition erfolgen. Nachfolgend wird auf die wichtigsten diesbezüglichen Aspekte eingegangen. Dazu müssen vorab die verfügbaren Datengrundlagen und die Vorgehensweisen in den einbezogenen Städten dargestellt werden.

### 2.1 Datengrundlagen

Zustandsdaten und erste Erfahrungen zur messtechnischen Erfassung von innerörtlichen Straßen lagen zu Projektbeginn für die Städte Düsseldorf, Erfurt, Essen, Ludwigshafen, Münster, Rüsselsheim und Wiesbaden vor. Die betreffenden Kommunen stellten bis Mitte Mai 2003 die jeweils erfassten und aufbereiteten Daten anonymisiert für Forschungszwecke zur Verfügung. Die Zustimmung erfolgte unter der Bedingung, dass die Daten durch das Erfassungsbüro (Firma Schniering) an die Auftragnehmer des vorliegenden Projektes übermittelt werden. Der Unterauftrag zur Datenübermittlung wurde am 30.05.2003 erteilt. Die Daten aller 7 Städte lagen Anfang Oktober 2003 vollständig vor.

#### 2.1.1 Anzahl und Länge der Erfassungsabschnitte

In Tabelle 1 ist eine exakte Aufschlüsselung der verfügbaren Daten für die einzelnen Städte zusammengestellt. Folgende Informationen sind darin enthalten:

- Die Dateigrößen der Zustandsdaten der verschiedenen Städte, die in Form von dBase-Da-



	Düsseldorf	Erfurt	Essen	Ludwigshafen	Münster	Rüsselsheim	Wiesbaden	Summe	
Einwohner, Dateigrößen, Anzahl der Erfassungsabschnitte und Abschnittslängen									
Einwohnerzahl	571.005	196.517	591.890	168.130	267.367	59.677	270.873		
Dateien in MB	13,005	22,817	20,579	1,317	13,868	4,431	8,373		
Erfassungs- abschnitte	Anzahl	28.578	47.930	42.251	2.888	27.785	10.158	25.291	184.881
	Gesamtlänge [km]	535,445	465,234	790,870	52,068	527,418	189,631	469,214	3.029,880
	Standardlänge [m]	20	10	20	20	20	20	20	
	Kürzeste Länge [m]	1	1	1	1	1	1	1	
Gesamtlänge der Erfassungsabschnitte je Bauweise [km]									
Asphalt	501,803	381,217	755,965	51,389	525,749	183,149	460,914	2.860,186	
Beton	4,013	17,917	2,871	0,679	1,236	0,02	4,644	31,380	
Pflaster	29,629	62,929	31,954	0	0,433	6,462	3,656	135,063	
unbestimmt	0	3,171	0,08	0	0	0	0	3,251	
Summe	535,445	465,234	790,870	52,068	527,418	189,631	469,214	3.029,880	
Anzahl der Erfassungsabschnitte je Bauweise									
Asphalt	26.805	39.237	40.321	2.846	27.694	9.778	24.835	171.516	
Beton	210	1.838	156	42	64	1	244	2.555	
Pflaster	1.563	6.530	1.770	0	27	379	212	10.481	
unbestimmt	0	325	4	0	0	0	0	329	
Summe	28.578	47.930	42.251	2.888	27.785	10.158	25.291	184.881	
Anzahl der ausgewerteten Erfassungsabschnitte je Bauweise									
Asphalt	25.919	38.882	39.802	2.834	27.694	9.524	24.835	169.490	
Beton	207	1.825	156	42	64	1	244	2.539	
Pflaster	1.543	6.522	1.737	0	27	379	212	10.420	
unbestimmt	0	325	0	0	0	0	0	325	
Summe	27.669	47.554	41.695	2.876	27.785	9.904	25.291	182.774	
nicht bewertet	909	376	556	12	0	254	0	2.107	

Tab. 1: Datenbestände der einbezogenen Kommunen

teien übermittelt und in eine gemeinsame ACCESS-Datenbank übernommen wurden.

- Die Gesamtlänge der Erfassungsabschnitte je Bauweise und Stadt.
- Die Anzahl der Erfassungsabschnitte je Bauweise und Stadt.
- Die Anzahl der ausgewerteten Erfassungsabschnitte je Bauweise und Stadt.

Die erfassten Netzlängen liegen zwischen ca. 52 km (Ludwigshafen) und ca. 790 km (Essen). Die Summe der Erfassungslängen beträgt insgesamt ca. 3.030 km. Die Standardlänge der Auswertabschnitte, die als Bezug für die Zustandsdaten dienen, liegt in sechs Städten bei 20 m; in Erfurt wurde ein Auswerteraster von 10 m zugrunde gelegt. Rund 2.860 km bzw. gut 94 % der Erfassungslänge haben eine Asphaltdecke. Eine Betondecke

weisen insgesamt ca. 31 km auf (ca. 18 km in Erfurt). Die Gesamtlänge der erfassten Pflasterdecken umfasst ca. 135 km (ca. 63 km in Erfurt).

### 2.1.2 Dateninhalte

In den Tabellen 2 und 3 sind die Daten der Straßen mit Asphaltdecken aufgelistet, die derzeit bei messtechnischen Erfassungen in Kommunen ermittelt werden. Die Dateninhalte der verschiedenen Kommunen wurden auf namentliche und inhaltliche Übereinstimmung sowie Vollständigkeit geprüft. Es zeigte sich, dass bis auf eine Ausnahme in den Dateien aller Städte einheitliche Feldbezeichnungen vorhanden waren. Die Reihenfolge der Felder war allerdings sehr uneinheitlich. Sie wurde deshalb entsprechend vereinheitlicht. Danach können folgende Datenblöcke unterschieden werden:

Gruppe	Feldname	Erläuterung	Status
1. Ordnungs- und Informationsdatenblock	LFD_NUMMER	laufende Nummer des Datensatzes	7 Städte
	STRASSE	Straßenbezeichnung	
	STRKENNUNG	Straßenschlüssel	
	STR_NAME	Straßenname	
	VON_NK	von Netzknoten	7 Städte
	BIS_NK	bis Netzknoten	
	RICHTUNG	Messrichtung, H = Hinrichtung, R = Rückrichtung	
	FS	Fahrstreifen, 0 = Rampe, 1 = Hauptfahrstreifen, 2 = Überholstreifen	
	VONSTATION	von Netzknotenstation	
	BISSTATION	bis Netzknotenstation	
	BAUWEISE	Bauweise, A = Asphalt, B = Beton, P = Pflaster	
2. Ebenheit im Längsprofil	TP1A_FLAG	Flag für Daten des TP 1A (Längsebenheit)	7 Städte
	DATUM_1A	Messdatum TP 1A (Längsebenheit)	
	S01	Standardabweichung der Differenz zum 1 m gl. Mittelwert [mm]	
	S03	Standardabweichung der Differenz zum 3 m gl. Mittelwert [mm]	
	S10	Standardabweichung der Differenz zum 10 m gl. Mittelwert [mm]	
	S30	Standardabweichung der Differenz zum 30 m gl. Mittelwert [mm]	
	PGR_AVG	Mittelwert der Planografensimulation [mm]	
	ZWPGR_AVG	Zustandswert Mittelwert Planografensimulation	
	PGR_MAX	Maximalwert der Planografensimulation [mm]	
	ZWPGR_MAX	Zustandswert Maximum aus Planografensimulation	
	ZWPGR	Zustandswert Planografensimulation	
	LN	Längsneigung [%]	
	K	Krümmung [1/100 m]	
3. Ebenheit im Querprofil	TP1B_FLAG	Flag für Daten des TP 1B (Querebenheit)	7 Städte
	DATUM_1B	Messdatum für Querebenheit	
	MSPTR	Mittlere Spurrinnentiefe rechts [mm]	
	MSPTL	Mittlere Spurrinnentiefe links [mm]	
	ZWSPT	Zustandswert Spurrinnentiefe	
	SPTR_MAX	Maximale Spurrinnentiefe rechts [mm]	
	SPTL_MAX	Maximale Spurrinnentiefe links [mm]	
	MSPHR	Mittlere Fiktive Wassertiefe rechts [mm]	
	MSPHL	Mittlere Fiktive Wassertiefe links [mm]	
	ZWSPH	Zustandswert Fiktive Wassertiefe	
	SPHR_MAX	Maximale Fiktive Wassertiefe rechts [mm]	
	SPHL_MAX	Maximale Fiktive Wassertiefe links [mm]	
	SSPTR	Standardabweichung rechte Spurrinnentiefe [mm]	
	SSPTL	Standardabweichung linke Spurrinnentiefe [mm]	
	SSPHR	Standardabweichung rechte Fiktive Wassertiefe [mm]	
	SSPHL	Standardabweichung linke Fiktive Wassertiefe [mm]	
QN	Querneigung [%]		
4. Griffigkeit	TP2_FLAG	Flag für Daten des TP2 (Griffigkeit)	2 Städte
	DATUM_2	Messdatum Griffigkeit	1 Stadt
	GRI	Griffigkeit Seitenreibungsbeiwert [-]	2 Städte
	ZWGRI	Zustandswert Griffigkeit	
	V_GRI_MIN	minimale Messgeschwindigkeit im Kapitel [km/h]	

**Tab. 2:** Inhalt der Datenbestände aus der messtechnischen Zustandserfassung für die Netzkennzeichnung, die Ebenheit im Längs- und Querprofil und die Griffigkeit bei Asphaltdecken

- Ein Ordnungs- und Informationsdatenblock mit der Netz-, Abschnitts- und Richtungskennzeichnung und Angaben zur Bauweise (Tabelle 2),
- ein Block mit Angaben zur Ebenheit im Längsprofil (Tabelle 2),
- ein Block mit Angaben zur Ebenheit im Querprofil (Tabelle 2),
- ein Block mit Griffigkeitsdaten (Tabelle 2),
- ein Block mit Angaben zu den Substanzmerkmalen – Oberfläche (Tabelle 3),

Gruppe	Feldname	Erläuterung	Status
5. Substanzmerkmale/ Oberflächenbild	TP3_FLAG	Flag für Daten des TP3 (Substanzmerkmale)	7 Städte
	DATUM_3	Messdatum Substanzmerkmale	
	RI_U	Unregelmäßige Risse, Prozent der Fläche [%]	
	ZWRI_U	Zustandswert für unregelmäßige Risse	
	RI_G	geradlinige Risse, Summe der Längen [m]	
	FLI	Flicken allgemein, Prozent der Fläche	
	ZWFLI	Zustandswert Flickstellen	
	BIN	Bindemittelanreicherung, Prozent der Fläche [%]	
	AUS	Ausbrüche, Prozent der Fläche [%]	
	AMA	Ausmagerung, Prozent der Fläche [%]	
	ZWAMA	Zustandswert Ausmagerung	1 Stadt
	FLI_A	aufgebrachte Flicker, Prozent der Fläche [%]	7 Städte
	FLI_E	eingelegte Flicker wg. Oberflächenschäden, Proz. der Flä. [%]	
6. Teil-/ Gesamt- wert	TWSUB	Teilwert Substanz	7 Städte
	TWGEB	Teilwert Gebrauch	
	GW	Gesamtwert	

**Tab. 3:** Inhalt der Datenbestände aus der messtechnischen Zustandserfassung für die Substanzmerkmale (Oberfläche) und die verknüpften Zustandswerte bei Asphaltdecken

- ein Block mit verknüpften Zustandswerten (Tabelle 3).

Auf die im Zusammenhang mit der Aufgabenstellung relevanten Datenfelder wird im weiteren Untersuchungsablauf detailliert eingegangen.

In der Spalte „Status“ der Tabellen 2 und 3 ist aufgeführt, für wie viele der insgesamt 7 Städte die jeweiligen Dateninhalte verfügbar sind. Für eine Stadt (Wiesbaden) musste die Zustandsbewertung, d. h. die Berechnung der Zustandswerte (s. dazu Kapitel 3.2), nachgeholt werden. Es wird ersichtlich, dass einige Datengruppen (Griffigkeit, Ausmagerung) nur für wenige Städte vorliegen.

Aus Tabelle 1 wird deutlich, dass auch eine geringe Menge an Straßen mit Betondecken erfasst wurde (ca. 31 km, d. h. ca. 1 %). Bei Betondecken werden andere Substanzmerkmale ausgewertet als bei Asphaltdecken (Längs-/Querrisse, Eckabbrüche, Kantenschäden, siehe dazu FGSV 2002). Aufgrund der geringen Kollektivs an Analysedaten und aufgrund der Tatsache, dass es sich bei Straßen mit Betondecken um ältere Restbestände handelt, die, anders als Pflasterstraßen, früher oder später durch andere Bauweisen ersetzt werden, wird nachfolgend nicht explizit auf die Bewertung der Substanzmerkmale (Oberfläche) bei Beton eingegangen. Die Bewertung der Ebenheit und der Griffigkeit erfolgt wie bei den Asphaltdecken. Für die Bewertung der Substanzmerkmale der Betondecken wurde in den 7 ausgewählten Städten das

Verfahren für Außerortsstraßen angewendet, das im entsprechenden FGSV-Arbeitspapier dokumentiert ist (FGSV 2002).

Straßen mit Pflasterdecken sind im Analysedatenbestand ebenfalls nicht sehr häufig vertreten (ca. 135 km, d. h. ca. 4,5 %, s. Tabelle 1). Die Auswertung und Bewertung erfolgten i. d. R. wie bei den Asphaltdecken (s. dazu Kapitel 3.2.1). Nur in einer Stadt (ca. 63 km) wurde eine auf Pflasterdecken ausgerichtete Auswertung vorgenommen; anstelle von Rissen wurden dabei die Zustandsmerkmale „mangelnder Verbund“ und „Bruch“ (von Pflastersteinen) ausgewertet. Pflasterdecken (und Plattenbeläge) müssen nachfolgend trotz des geringen Kollektivs an Analysedaten in die Untersuchungen einbezogen werden.

## 2.2 Anforderungen an die Messsysteme für Innerortsstraßen

Die Systematik und die Verfahrensweise der messtechnischen Zustandserfassung von Innerortsstraßen entsprechen bezüglich der Vorgehensweise in der Örtlichkeit weitestgehend dem im Rahmen der ZEB angewendeten Verfahren für Außerortsstraßen, das im „Leitfaden für die Zustandserfassung und -bewertung“ dokumentiert ist (BÜHLER, KLINGHAMMER, MAERSCHALK, OERTEL 2002). Die zunächst für die Erfassung von freien Strecken und Autobahnen entwickelten Systeme wurden kontinuierlich so weit verbessert, dass sie sich ab

Ende der 90er Jahre für Innerortsstraßen eigneten. Mit der heutigen Technik werden seit jüngerer Zeit sogar Wohnstraßen erfasst.

Die Frage, welche Straßen visuell und welche Straßen messtechnisch erfasst werden sollten, ist nicht definitiv zu beantworten. Für die Gesamtnetze verschiedener Städte wurden sowohl visuelle als auch messtechnische Zustandserfassungen durchgeführt. Die Vorgehensweisen bei den beiden Verfahren sind im Detail beschrieben im FGSV-Arbeitspapier (Entwurf) K 2.1 „Vorbereitung und Durchführung der messtechnischen Zustandserfassung für innerörtliche Verkehrsflächen“ bzw. K 2.2 „Vorbereitung und Durchführung der visuellen Zustandserfassung für innerörtliche Verkehrsflächen“. Generell kann festgestellt werden:

- Visuelle Erfassungen von Fahrbahnen, die eine hohe Verkehrsbelastung aufweisen, sind schwierig durchzuführen und für das Erfassungspersonal auch gefährlich, weil für die Messung der Spurrinnentiefe (mit 2-m-Latte und Messkeil) die Fahrbahn betreten werden muss.
- Messtechnische Erfassungen in Anlieger- oder Wohnstraßen können aufgrund nicht ausreichend breiter Fahrbahnen oder aufgrund von engen Kurvenradien problematisch sein. Darüber hinaus besteht bei speziellen Gegebenheiten die Gefahr gravierender Fehlinterpretationen (z. B. Einstufung von Pendelrinnen oder von Dachprofilen im Knotenbereich als Unebenheiten), die sich allenfalls durch eine sorgfältige Auswertung von Frontkameraaufnahmen reduzieren lassen.

Visuelle Erfassungen können, nach entsprechender Schulung, durch Mitarbeiter der Straßenbauverwaltungen durchgeführt werden, für Zustandsmessungen sind Spezialisten erforderlich. Eine Gegenüberstellung von Erfassungskosten erscheint wenig sinnvoll, da diese Werte einem relativ raschen zeitlichen Wandel unterliegen und insbesondere die Informationsdichte und -qualität der beiden Verfahren nicht vergleichbar ist. Im Hinblick auf die o. a. Aspekte und im Hinblick auf die Anforderungen an die Informationsdichte/-qualität kann insgesamt empfohlen werden,

- Hauptverkehrs-, Verkehrs- und stark belastete Sammelstraßen messtechnisch zu erfassen und bei

- den restlichen (Sammel-, Anlieger-, Wohn-) Straßen sowie den Nebenflächen (Geh-/Radwege) visuelle Zustandserfassungen durchzuführen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass ein Vergleich der Ergebnisse von visuellen und messtechnischen Erfassungen grundsätzlich problematisch ist, da, z. B. im Hinblick auf die Querebenheit (visuell: Erfassung einmal pro Abschnitt, messtechnisch ein Querprofil pro m), völlig unterschiedliche Ausgangssituationen gegeben sind. Einige der nachfolgend genannten Zustandsgrößen können visuell nicht ermittelt werden (z. B. Wassertiefe, Griffbarkeit). Ein Vergleich der Wirtschaftlichkeit der beiden Verfahren ist daher äußerst problematisch; in einer groben Abschätzung kann derzeit davon ausgegangen werden, dass für eine Messung pro km in etwa der doppelte Betrag aufzuwenden ist wie für eine visuelle Erfassung (jeweils einschließlich Auswertung).

Tabelle 4 veranschaulicht, in Anlehnung an das o. e. FGSV-Arbeitspapier K 2.1, für die messtechnische Zustandserfassung der nachfolgend noch erläuterten Merkmalsgruppen des Zustands (s. Kapitel 3.1) die wichtigsten allgemeinen Grundsätze der Erfassungssystematik mit den hauptsächlich angewendeten Messverfahren.

Im Gegensatz zu den klassifizierten Außerortsstraßen ist bei den Innerortsstraßen in der Örtlichkeit keine Information zu Netzknotenbezeichnungen oder Stationierungen vorhanden. Bei den Messungen im Innerortsbereich wird daher eine messroutenbezogene fiktive Messkilometrierung zugrunde gelegt. Dabei wird die Lage von Referenzpunkten (Netzknoten) für die spätere Zuordnung der Messergebnisse zur Örtlichkeit registriert (Stützung). Zusätzlich erfolgt in jüngerer Zeit eine fortlaufende Registrierung von Lagekoordinaten mit Hilfe von GPS-Systemen.

Aufgrund des häufig relativ inhomogenen Straßenzustandes bei Innerortsstraßen wurde bei den bisherigen Erfassungen die Regellänge der Auswerteabschnitte, die im Außerortsbereich bei 100 m liegt, auf 20 m herabgesetzt (in einem Fall auf 10 m, s. Kapitel 2.1.1). Durch die Verkürzung der Auswerteabschnittslänge erhöhen sich die Anforderungen an die Genauigkeit der Zuordnung der Messergebnisse zur Netzknotenstationierung. Zuordnungsfehler von 10 m ergeben bei einem Auswerteabschnitt von 100 m Länge einen Fehler von 10 %,

Merkmale	Systematik der Erfassung	Messverfahren
Ebenheit im Längsprofil	<p>Berechnung aus dem kontinuierlich gemessenen Längsprofil der rechten Radspur des zu untersuchenden Fahrstreifens; dazu Erfassung eines dem „wahren“ Profil im Wellenlängenbereich zwischen 0,5 m und 50 m angenäherten Längsprofils mittig in der rechten Radspur;</p> <p>Aufnahme dieses Längsprofils in Form von äquidistanten Einzelprofilhöhenpunkten mit einem maximal zulässigen Messpunktabstand von 10 cm (unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit des Messfahrzeugs); Anforderungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- keine signifikanten Phasenverschiebungen im Wellenlängenbereich 0,5 m bis 50 m;</li> <li>- Fehler der ermittelten Amplituden <math>\leq 10 \%</math></li> </ul>	Mehrfachabtastung (HRM-Prinzip)
Ebenheit im Querprofil	<p>Berechnung aus in dichter Folge gemessener Querprofile des jeweiligen Fahrstreifens; Messpunktabstand innerhalb des Querprofils <math>\leq 10</math> cm; möglichst vollständige Erfassung der Fahrstreifenbreite; Aufnahme der Querprofile in gleich bleibendem Abstand von maximal 1 m in Fahrbahn­längsrichtung (unabhängig von der Fahrtgeschwindigkeit des Messfahrzeugs)</p>	Berührungslose Einzelpunkt­ab­stands­messung Lichtschnittverfahren
Rauheit (Griffigkeit)	<p>kontinuierliche Messung der Reibungskraft zwischen einem Messrad und der definiert angenästen Fahrbahnoberfläche in der Mitte der rechten Radspur (mit in der Regel der niedrigsten und somit für die Verkehrssicherheit maßgeblichen Griffigkeit); Messgeschwindigkeit ist für Straßenklassen festgelegt (Bundesautobahnen 80 km/h, Toleranz 50 – 90 km/h; Bundesstraßen 60 km/h, Innerortsstraßen 40 km/h; Toleranz 30 – 70 km/h); Abweichungen von den vorgeschriebenen Messgeschwindigkeiten werden durch eine rechnerische Korrektur der Messergebnisse berücksichtigt; Messungen erfolgen mit speziellen Messreifen und definierter Radlast; Anforderungen für Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Messzeitraum vom 1. Mai bis zum 31. Oktober,</li> <li>- Lufttemperatur <math>\geq 10</math> °C,</li> <li>- Temperatur der trockenen Fahrbahn zwischen 8 °C und 50 °C,</li> <li>- Einhaltung der rechnerischen Wasserfilmdicke (Dynamisches Messverfahren gem. TP Griff-StB: 0,5 mm, SRM: 1,0 mm).</li> </ul>	Dynamisches Messverfahren gem. TP Griff-StB
Substanzmerkmale	<p>Ermittlung durch visuelle Erfassung des Oberflächenbilds des Fahrstreifens, entweder direkt in der Örtlichkeit oder von Videofilm; Zuordnung der an der Fahrbahnoberfläche sichtbaren Schäden zu den Zustandsmerkmalen und Einstufung nach Größe bzw. Häufigkeit; Erfassung der Schadenshäufigkeit bei Asphaltfahrbahnen auf der Basis eines rechteckigen bzw. quadratischen Rasters; Erfassung der Schadenshäufigkeit bei Betonfahrbahnen für einzelne Platten in einem Rasterfeld bzw. auf einer Platte ggf. gleichzeitig auftretende Schäden mehrerer Merkmale werden mehrfach berücksichtigt; Anforderungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erkennen von Rissen ab einer Rissweite von 1 mm,</li> <li>- Erfassung bei Asphalt bis innerer Rand der Fahrstreifenmarkierung,</li> <li>- Erfassung der vollen Plattenbreite bei Beton.</li> </ul>	photo- bzw. videotechnische Aufzeichnung und visuelle Auswertung

**Tab. 4:** Systematik der Zustandserfassung und Messverfahren

bei einem Auswerteabschnitt von 20 m Länge bereits einen Fehler von 50 %. Daher sollten Zuordnungsfehler bei einer Auswerteabschnittslänge von 20 m auf keinen Fall größer als 10 m sein. Die Untersuchungen im Rahmen der Zustandserfassung von Ortsdurchfahrten (HELLER, KÖHLER, SCHIERING 2003) zeigen, dass diese Zuordnungsgenauigkeit durch eine Registrierung der Netzknoten während der Vorbeifahrt mittels Ereignistaste in Kombination mit einem zuverlässigen und präzisen

Ortungssystem erreicht werden kann. Als Absolutwertgeber empfiehlt sich danach der Einsatz eines Global-Positioning-Systems (GPS) – Empfängers mit Phasenauswertung, dessen Daten mit Hilfe eines Echtzeit-Differential-Datendienstes (wie SAPOS-Rasant oder ALF) korrigiert werden. Höchste Präzision lässt sich mit Phasempfängern durch Postprocessing mit Korrekturdaten von Referenzstationen erreichen. Durch so genanntes Dead-Reckoning mit Inertialdaten wie

Drehraten und Weglängen können GPS-Empfangslücken überbrückt werden. Falls Widersprüche zwischen den gemessenen und den vorab (im sog. Teilprojekt TPO) aufbereiteten Netzdaten festgestellt werden, müssen diese zweifelsfrei aufgeklärt werden, um eine fehlerlose Zuordnung sicherzustellen. Dazu sind Frontvideobilder erforderlich, die präzise mit der Messkilometrierung verknüpft sind.

Ähnlich wie bei Ortsdurchfahrten (HELLER, KÖHLER, SCHIERING 2003) muss das Messfahrzeug auch bei Innerortsstraßen die eigentlich zu erfassende Messspur wesentlich häufiger verlassen als auf der freien Strecke. Außerdem ist gelegentlich unklar, welcher Fahrstreifen als Hauptfahrstreifen zu erfassen ist. Aufgrund der Verkehrssituation kann der Fahrstreifen nicht immer an der richtigen Stelle gewechselt werden. Mit Hilfe der Frontvideobilder kann auch in diesen Fällen im Nachhinein sicher festgestellt werden, auf welcher Spur die Messung tatsächlich durchgeführt wurde und welches die Gründe für ein mögliches Abweichen von der Sollspur waren. Diese Abweichungen, Messlücken und -ausfälle werden in der Ergebnisdatei abschnittsweise gekennzeichnet. In Tabelle 5 sind die dafür herangezogenen Kennziffern zusammengestellt.

Bei Innerortsstraßen muss das Messsystem im Einsatz sehr häufig anhalten. Bei Messverfahren, die eine konstante Geschwindigkeit oder eine Mindestgeschwindigkeit benötigen, entstehen daher Lücken und unverwertbare Messergebnisse.

Messsysteme, die für die Erfassung von Innerortsstraßen eingesetzt werden, sollten daher nach geschwindigkeitsunabhängigen Messprinzipien arbeiten und dies auch nachweisen. Sollte dies, wie bei dem Dynamischen Messverfahren gem. TP Griff-StB (s. u.), messprinzipbedingt nicht möglich sein, muss die Messgeschwindigkeit genau aufgezeichnet werden, damit, so weit zulässig, eine rechnerische Korrektur der Werte und ein zuverlässiger Ausschluss der nicht mehr korrigierbaren Werte möglich sind (HELLER, KÖHLER, SCHIERING 2003).

Aufgrund der Funktion verschiedener Typen von Innerortsstraßen und der daraus resultierenden geometrischen Gegebenheiten, z. B. im Hinblick auf Breiten, Kurvenradien, Nutzung durch ÖPNV oder Regelungen für den ruhenden Verkehr, ergeben sich für die einzelnen Zustandsmerkmale Besonderheiten in der Vorgehensweise bei der messtechnischen Zustandserfassung, die nachfolgend stichpunktartig aufgeführt werden (s. auch HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003).

Code	Ereignis
- 94	Netzkorrektur
- 95	Erfassungsabschnitt nicht relevant
- 96	Umleitung, Sperrung, Einbahn
- 97	Längsebenheit: Kurvenradius < 100 m Griffigkeit: unzulässige Messgeschwindigkeit
- 98	Baustellendurchfahrt, Überholung, Fahrbahnverschmutzung o. Ä.
- 99	Erfassungslücke (vom Auftragnehmer zu vertreten)

**Tab. 5:** Kennziffern zur Beschreibung von Abweichungen von der Sollmesslinie, von Messlücken und -ausfällen in der Ergebnisdatei

#### A) Erfassung der Längsebenheit

- Das Messsystem sollte, neben der vertraglich geforderten und bei den Verfahren aus Tabelle 4 gewährleisteten Geschwindigkeitsunabhängigkeit, einen Erfassungsstillstand sicher erkennen können, um während längerer Wartepausen, z. B. vor Lichtsignalanlagen, das Weiterlaufen der Messkilometrierung aufgrund von Fahrzeugvibrationen zu verhindern.
- Bei Innerortsstraßen ergeben sich, z. B. über Schachtdeckeln oder Straßenabläufen in der Messlinie, ungültige Distanzmesswerte, deren Verwendung bei der Berechnung des Höhenlängsprofils fälschlicherweise zu scheinbar gravierenden Unebenheiten führen. Das Messsystem muss ungültige Distanzmesswerte sicher erkennen und so weit wie möglich eliminieren bzw. als ungültig kennzeichnen.
- Das in Tabelle 4 aufgeführte und allgemein gebräuchliche Verfahren der Mehrfachabtastung nach dem HRM-Prinzip durch 4 hintereinander angeordnete Distanzsensoren setzt voraus, dass alle Sensoren auf einer Linie messen. Bei den innerorts unvermeidlichen Kurvenfahrten weichen die Messlinien der einzelnen Sensoren mit zunehmender Krümmung voneinander ab. Die Größe der Abweichung nimmt mit der Länge der Basislinie (Abstand zwischen erstem und letztem Distanzsensor) zu. Der Einfluss der Abweichung auf die Genauigkeit des ermittelten Längsprofils hängt von den Höhendifferenzen zwischen den Messlinien, d. h. von den Querunebenheiten an der betreffenden Stelle, ab. Um die Abweichung der einzelnen Lasermesslinien in Kurven gering zu halten, muss die Basislinie kurz gehalten werden, andererseits verbessert sich die Auflösung langer Wellenlängen bei langen Basislinien. Eine 2 m lange Basis stellt nach

dem derzeitigen Stand einen guten Kompromiss für diesen Zielkonflikt dar.

- Die Messsysteme für Innerortsstraßen sollten über ein präzises Verfahren zur Erfassung des Kurvenradius  $R$  verfügen, da die Zuverlässigkeit der Längsebenheitsergebnisse vom Maximalwert des Absolutwertes der Krümmung ( $= 1/R$ ) im Auswerteabschnitt abhängt (s. o.). Zusätzlich zur mittleren Krümmung sollte daher künftig auch dieser Maximalwert gespeichert werden.

#### B) Erfassung der Querebenheit

- Bei dem in Tabelle 4 aufgeführten und allgemein üblichen geschwindigkeitsunabhängigen Messprinzip der Querebenheitserfassung durch berührungslose Einzelpunkt Abstandsmessung mit Punkt-Laserdistanzsensoren an einem Querbalken ergeben sich, hauptsächlich aufgrund von Schachtdeckeln und Schieberkapfen, häufiger Ausreißer bei den Abstandswerten. Die Auswertung der Querlaserdaten im Hinblick auf mittlere Spurrinnen- und Wassertiefen muss sicherstellen, dass solche Ausreißer zuverlässig erkannt und von der Mittelwertbildung ausgeschlossen werden, da ihr Einfluss bei kurzen Auswerteabschnittslängen groß und verfälschend sein kann. Diese Ausreißer, die de facto als Einzelereignis eine Störung der Ebenheit im Querprofil darstellen, sollten jedoch mit mathematischen Filtern, die einzelne Abstandswerte in Längs- und Querrichtung auf Plausibilität prüfen, ermittelt und in der Ergebnisdatei mitgeführt werden. Eine allgemein verbindliche Festlegung diesbezüglicher Filterkriterien liegt derzeit noch nicht vor.
  - Bei Systemen, die bei schmalen Fahrstreifen mit schräg gestellten Distanzsensoren arbeiten, um Überbreiten des Messsystems zu vermeiden, können die äußeren Messwerte auf Rinnen oder Bordsteine fallen. Auch diese Messwerte müssen im Nachhinein sicher erkannt und von der Auswertung automatisch ausgeschlossen werden. Dies ist bei den häufig sehr inhomogenen Querprofilen von Innerortsstraßen oft nur mit Frontvideoaufnahmen durchführbar. Bei Messsystemen, die eine Breite von 2,55 m im Messmodus überschreiten, muss an Engstellen (z. B. Stadttore) die Möglichkeit bestehen, das System ohne Unterbrechung der Messung während der Fahrt auf max. 2,55 m feste Breite zu reduzieren.
  - Aufgrund der bei Innerortsstraßen teilweise engen Kurvenradien und der häufigen und starken Geschwindigkeitsänderungen ist eine präzise Fliehkraftkorrektur notwendig, damit für kurze Auswerteabschnitte noch verlässliche Querneigungswerte angegeben werden können. Dieses setzt wiederum die bei der Längsebenheit aus anderem Grund bereits aufgeführte (s. o.) genaue Messung des Kurvenradius voraus.
- C) Die Griffigkeit wurde nur in einer der 7 Analysestädte erfasst und in die Bewertung einbezogen. Zur Vollständigkeit sollen aber auch die Besonderheiten bei Griffigkeitsmessungen von Innerortsstraßen mit dem seit 1992 ausschließlich eingesetzten Dynamischen Messverfahren gem. TP Griff-StB aufgeführt werden (nach HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003):
- Das Dynamische Messverfahren gem. TP Griff-StB liefert, wie auch alle derzeit gebräuchlichen alternativen Systeme zur Griffigkeitsmessung (Stuttgarter Reibungsmesser SRM, Griptester), geschwindigkeitsabhängige Messwerte. Nur die derzeit noch in der Entwicklung befindlichen berührungslosen Verfahren zur Erfassung der Griffigkeit versprechen messgeschwindigkeitsunabhängige Ergebnisse.
  - Um den Einfluss der Messgeschwindigkeit auf die Ergebnisse möglichst gering zu halten, sollte die Richtgeschwindigkeit bei Innerortsstraßen 40 km/h betragen. Diese Geschwindigkeit kann bei Hauptverkehrs- und Verkehrsstraßen meist eingehalten werden, solange es nicht zu Staus an Lichtsignalanlagen und Kreuzungen kommt. Die vorliegende Formel zur Geschwindigkeitskorrektur von Werten aus dem Dynamischen Messverfahren gem. TP-Griff StB, die nicht mit der Sollgeschwindigkeit gemessen wurden, gleicht den Geschwindigkeitseinfluss, je nach Beschaffenheit der Messoberfläche, mehr oder weniger gut aus. Daher ist es wichtig, die Abweichung zwischen der Ist- und der Sollgeschwindigkeit im Mittel möglichst gering zu halten.
  - Für das zulässige Messgeschwindigkeitsintervall, in welchem die Geschwindigkeitskorrekturformel angewandt werden darf, wäre der Bereich von 20 bis 50 km/h anzustreben.
  - Aufgrund der relativ kurzen Auswerteabschnitte von Innerortsstraßen sollte von den bei der Griff-

figkeitsmessung erfassten Hilfsgrößen (Fahrbahn-, Luft- und Wassertemperatur) zumindest die Fahrbahntemperatur fortlaufend in einem so engen Intervall erfasst werden, dass eigenständige 20-m-Mittelwerte gebildet werden können. Aus Sicht der weiteren Datenverarbeitung wäre eine Aufzeichnung der Hilfsgrößen entsprechend der Seitenkraft im 1-m-Raster günstig.

- Griffigkeitswerte, die bei kleineren Kurvenradien als 30 m erfasst werden, müssen bei der Auswertung korrigiert oder ausgeschlossen werden. Dazu muss der Kurvenradius bei der Griffigkeitsmessung ausreichend genau erfasst werden.
- In Fahrbahnquerrichtung sind erfahrungsgemäß zum Teil erhebliche Unterschiede des Griffigkeitsniveaus vorhanden. Zur Dokumentation der messtechnischen Zustandserfassung erscheint es daher notwendig, neben der Positionierung und der Messgeschwindigkeit des Fahrzeuges sowie den Videobildern der Frontkamera auch möglichst präzise die Lage der Messspur, bezogen z. B. auf den rechten/linken Fahrbahnrand oder eine Fahrbahnmarkierung, zu erfassen und aufzuzeichnen. Dazu wäre ein für Innerortsstraßen wie für Ortsdurchfahrten einsetzbares automatisch arbeitendes System erforderlich, das derzeit nicht verfügbar ist.

#### D) Erfassung der Substanzmerkmale (Oberflächenbild)

- Bei den Innerortstraßen und vielfach auch bei den Ortsdurchfahrten sind die Fahrbahnoberflächen aufgrund von Aufgrabungen deutlich inhomogener als außerorts. Eine schlüssige Zuordnung zu den Zustandsmerkmalen ist mit einer reinen Detailansicht der Videoaufnahmen oft nicht zuverlässig möglich. Daher sollten Systeme zur Erfassung der Substanzmerkmale zusätzlich mit einer Farb-Frontvideokamera ausgestattet sein, deren Aufnahmen mit denen der Detailkameras zur Schadenserfassung synchronisiert sind. Die Kombination aus Detail- und Übersichtsbild ermöglicht dem Auswerter eine zuverlässigere Klassifizierung der Schäden.
- Bei der derzeit gültigen Definition von Flickstellen werden verschlossene Aufgrabungen und sonstige Flickstellen nicht unterschieden. Für Innerortsstraßen erscheint diese Unterscheidung zwingend notwendig, da der Baulastträ-

ger durch Erkenntnisse über Aufgrabungen in die Lage versetzt wird, evtl. Ansprüche gegenüber Versorgungsträgern geltend zu machen.

Die Aufzählung der Besonderheiten und Anforderungen einer messtechnischen Erfassung von Innerortsstraßen verdeutlicht, warum bei den innerörtlichen Messungen in der Vergangenheit weit- aus überwiegend nur Hauptverkehrs- bzw. Verkehrsstraßen berücksichtigt wurden. Mitbedingt durch die Weiterentwicklung des Systems im Zusammenhang mit der Erfassung von Ortsdurchfahrten (HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003) besteht zwischenzeitlich auch die Möglichkeit, untergeordnete Straßen messtechnisch zu erfassen. In einer für die Analysen ausgewählten Stadt wurde diese Option in begrenztem Rahmen angewendet (s. dazu Kapitel 2.5).

### 2.3 Vergleichbarkeit mit der Erfassung von Ortsdurchfahrten

Wie in Kapitel 2.2 ausführlich dargelegt, kann in Bezug auf die Erfassungstechnik ein wesentlicher Teil der Weiterentwicklungen von dem inzwischen abgeschlossenen Forschungs-/Entwicklungsprojekt „Ergänzung der Bewertung des Straßenzustandes freier Strecken um eine gleichwertige Bewertung von Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen“ (HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003) für Innerortsstraßen unverändert übernommen werden. Einzugehen ist daher nachfolgend vor allem auf die Vergleichbarkeit der Netzbeschreibung und, damit zusammenhängend, der daraus resultierenden Probleme mit der Abschnittseinteilung bei Ortsdurchfahrten bzw. bei Innerortsstraßen.

Von entscheidender Bedeutung für die Netzbeschreibung von Innerortsstraßen und Ortsdurchfahrten ist ein einheitliches, umkehrbar eindeutiges Ordnungssystem, das eine fehlerfreie Lokalisierung aller Straßenobjekte und aller Sachdaten ermöglicht. Als Ordnungssysteme sind i. A. Knoten-Kanten-Systeme im Einsatz, die das Straßennetz als Folge von Kanten repräsentieren, die jeweils durch Knoten verbunden sind. Eine Kante bildet hierbei die Mittelachse der Straße oder der Fahrbahn hinreichend genau ab. Auf Details soll hier nicht näher eingegangen werden; sie finden sich in einem FGSV-Arbeitspapier „Ordnungssystem und Netzbeschreibung für innerörtliche Verkehrsflächen“ (Reihe K, Kapitel K 1.2), das in einem zweiten Entwurf vorliegt und derzeit in Teilen über-

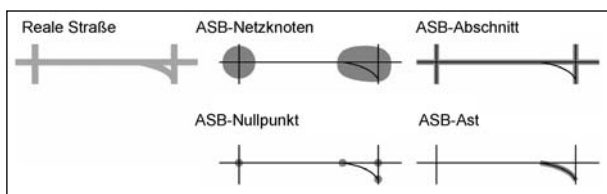


arbeitet wird (FGSV 2004). Dieses Arbeitspapier mit Stand März 2005 wurde auf Wunsch des Betreuungsausschusses diesem Bericht als Anhang 1 beigelegt.

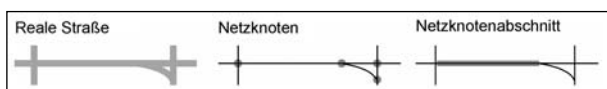
Für die Netzkennzeichnung von Ortsdurchfahrten wird das Netzknoten-/Stationierungssystem gemäß der „Anweisung Straßendatenbank (ASB), Teilsystem Netzdaten“ verwendet. Für Innerortsstraßen wird im o. g. Arbeitspapier ein ergänztes Modell vorgeschlagen, das bestimmte Strukturelemente der ASB übernimmt und damit teilweise übertragbar ist. Die Problematik einer vollständigen Übertragbarkeit der ASB auf den kommunalen Bereich wird anhand der Bilder 2 und 3 exemplarisch aufgezeigt (nach FGSV 2004).

Die Netzknoten liegen bei Außerortsstraßen und den klassifizierten Ortsdurchfahrten, verglichen mit ihrer Ausdehnung, relativ weit auseinander. Innerhalb der Netzknoten sind i. A. klare Differenzierungen zwischen Straßen, Parallelfahrbahnen und Rampen möglich. Unterschieden wird zwischen Ästen, die Netzknoten verbinden, und Abschnitten, die zur Modellierung der Rampen und Parallelfahrbahnen dienen. Die Verbindungsstellen der Abschnitte mit anderen Abschnitten oder Ästen werden als Nullpunkte bezeichnet (s. Bild 2).

In kommunalen Bereichen ist der Abstand zwischen den Netzknoten in der Regel eher gering. Häufig schließt ein Netzknoten unmittelbar an den nächsten Netzknoten an. Die Menge von Knoten pro Flächeneinheit ist um ein Vielfaches größer als bei Außerortsstraßen. Eine mit dem außerörtlichen Straßennetz vergleichbare Differenzierung zwischen Rampe und Hauptfahrbahn funktioniert nur in einfachen Fällen. Sehr häufig finden sich komplexe Verflechtungen großer Kreuzungen, die eine



**Bild 2:** Vereinfachte Darstellung der ASB-Strukturelemente (nach FGSV 2004)

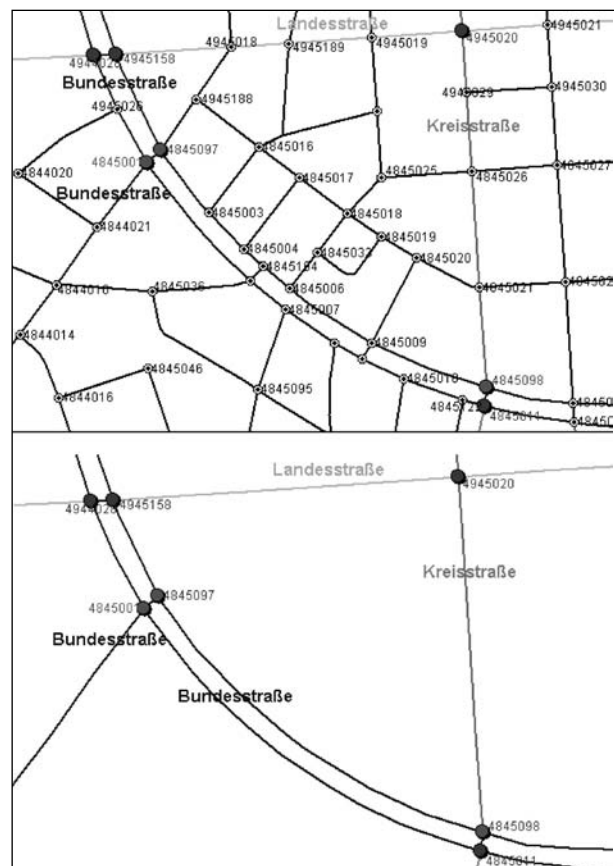


**Bild 3:** Vereinfachte Darstellung der Strukturelemente für Kommunen (nach FGSV 2004)

Aufteilung in übergeordnete Netzknoten nicht oder nur schwer zulassen (s. Kapitel 2.4).

Aus den schematischen Darstellungen der Bilder 2 und 3 lässt sich ableiten, dass kommunale Netze im Vergleich zum Netz der klassifizierten Straßen (Bundes-, Landes- und Kreisstraßen) deutlich mehr Netzknoten und Netzknotenabschnitte aufweisen. Während im Netz der klassifizierten Straßen sehr große Abschnittslängen zwischen zwei Netzknoten auftreten, werden diese Abschnitte im kommunalen Netz von zahlreichen zusätzlichen Netzknoten, die aus einmündenden und kreuzenden Innerortsstraßen resultieren, in kurze und kürzeste Abschnitte zerteilt. In Bild 4 ist die unterschiedliche Netzknotendichte für Innerortsstraßen (oberer Teil – Bild 4) und für Ortsdurchfahrten klassifizierter Straßen (unterer Teil – Bild 4) schematisch und exemplarisch veranschaulicht. Die daraus deutlich erkennbaren Unterschiede in der Länge der Netzknotenabschnitte hat, wie nachfolgend gezeigt, Konsequenzen im Hinblick auf die Länge der Auswertabschnitte der messtechnischen Erfassung.

Bei der Zustandserfassung von Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen werden die Netzknoten der

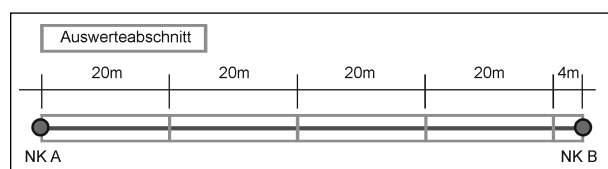


**Bild 4:** Ausschnitte zweier Netzknotenkarten, oben: komplettes Straßennetz, innerorts, unten: nur klassifizierte Straßen

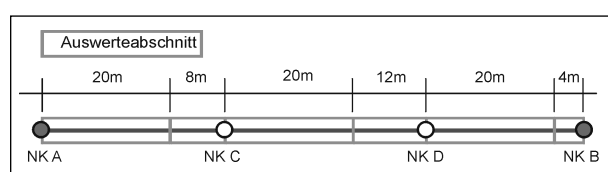
klassifizierten Straßen zugrunde gelegt; bei der Abschnittsbildung sind dementsprechend auch nur diese Netzknoten beteiligt. Bei einer Auswerteabschnittslänge von 20 m, d. h. dem häufigsten Fall in den Analysestädten (s. Kapitel 2.1.1) und der empfohlenen Abschnittslänge für Ortsdurchfahrten, liegen i. d. R. mehrere Auswerteabschnitte innerhalb eines Netzknotenabschnittes. Nur der letzte Abschnitt vor Erreichen des „Nach-Netzknotens“ wird üblicherweise eine kürzere Länge als 20 m aufweisen, da der gesamte Netzknotenabschnitt nur in Ausnahmefällen eine Länge besitzt, die dem ganzzahligen Vielfachen von 20 m entspricht (vgl. Prinzipskizze in Bild 5).

Dieser kürzere letzte Erfassungsabschnitt vor dem „Nach-Netzknoten“ (NK B in Bild 5) tritt bei Innerortsstraßen um ein Vielfaches häufiger auf, da die Zahl der Netzknoten entlang der Ortsdurchfahrt der Bundesstraße, wie Bild 4 zeigt, ebenfalls deutlich höher ist. Damit ergibt sich die in Bild 6 prinzipiell aufgezeigte Situation, nach der im Vergleich zu der Anzahl der Auswerteabschnitte mit der Standardlänge (im Beispiel 20 m) zusätzlich eine sehr große Zahl an kürzeren Abschnitten zu erwarten ist. Wie in Tabelle 1 gezeigt, liegt die geringste Länge der Auswerteabschnitte in allen Analysestädten bei 1 m.

Bei Anwendung der ASB-Systematik, wonach Netzknoten als höhengleiche Verbindungspunkte zweier oder mehrerer Straßen bzw. Abbiegebeziehungen, Rampen usw. definiert sind, ist für Innerortsstraßen im Vergleich zu Ortsdurchfahrten von einer weit größeren Anzahl von („Rest“-)Auswerteabschnitten auszugehen, deren Länge teilweise deutlich unterhalb der Standardlängen liegt. Diese



**Bild 5:** Auswerteabschnitte innerhalb des Netzknotenabschnitts A – B einer Ortsdurchfahrt



**Bild 6:** Netzknotenabschnitte und Auswerteabschnitte des Netzknotenabschnitts A – B der Ortsdurchfahrt aus Bild 5 im innerörtlichen Straßennetz

Restabschnitte haben für das Erhaltungsmanagement keine selbstständige Bedeutung; sie vergrößern zudem die Ergebnisdatei und erschweren Standardauswertungen. Eine Möglichkeit zur Reduzierung der Zahl von Restabschnitten, die bei der Auswertung einer Messung gesondert behandelt werden müssen, besteht darin,

- für die messtechnisch zu erfassenden Straßen ein Globalnetz zu definieren, dessen Netzknoten lediglich die Verknüpfungen mit den klassifizierten Straßen und allen anderen messtechnisch zu erfassenden Straßen beschreiben, und
- diesem Globalnetz alle anderen Netzknoten über Stationierungen zuzuordnen.

Dieses Konzept beinhaltet, dass neben den bisherigen Dateien zur Netzbeschreibung (Netzknotenfolge, Abschnittsfolge) eine Datei mit den Referenzen des differenzierten innerörtlichen Netzes zum Globalnetz vorgehalten werden muss. Darin können auch eventuelle Anbindungen des innerörtlichen Straßennetzes an klassifizierte Außerortsstraßen vermerkt werden. Die bisherigen Auswertungen von Messungen verfolgten diesbezüglich kein eindeutiges Konzept. Es wurden vielfach nicht alle Netzknoten im Sinne der ASB-Systematik beachtet. Andererseits wurde auch nicht konsequent zwischen den Netzknoten des klassifizierten Netzes (Bundes-, Landes- und Kreisstraßen) bzw. des Hauptverkehrsstraßennetzes ausgewertet.

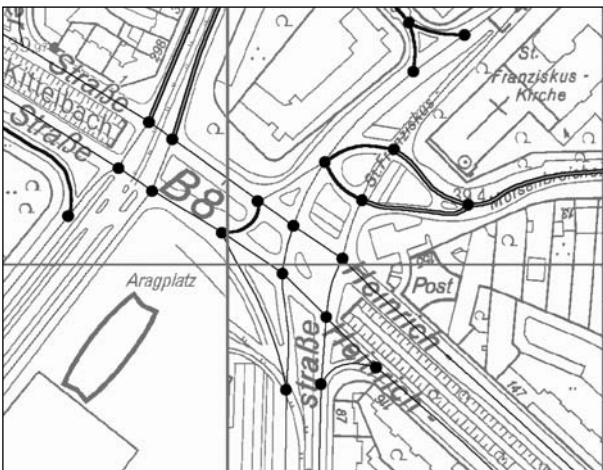
Wenn für die messtechnische Erfassung eine Netzbeschreibung nach der o. A. ASB-Systematik oder, wie im FGSV-Arbeitspapier „Ordnungssystem und Netzbeschreibung für innerörtliche Verkehrsflächen“ (FGSV 2004) gezeigt, in noch differenzierter Form erfolgt (z. B. durch Auflösung von Knotenpunkten, s. Kapitel 2.4), sollte versucht werden, die Restabschnitte in einem zweiten Auswertedurchgang angrenzenden Auswerteabschnitten zuzuordnen, um den Datenbestand der Ergebnisdatei zu bereinigen. Ein durchgängiger Algorithmus, der eine Zuordnung zum „Vorgänger“ oder „Nachfolger“ vornimmt, liegt noch nicht vor. Die Vielschichtigkeit der dabei zu beachtenden Teilaspekte, die in einem methodisch vergleichbaren Zusammenhang für Außerortsstraßen im Rahmen eines eigenständigen Forschungsprojekts (RÜBENSAM, SCHULZE 1996) behandelt wurden, kann mit den materiellen und zeitlichen Vorgaben des vorliegenden Projekts nicht gelöst und umgesetzt werden.

## 2.4 Behandlung von aufgeweiteten Netzknoten (Kreuzungsbereiche)

Bei einer Verfahrensweise, die eine Bereinigung von Restabschnitten beinhaltet, müssen spezielle Überlegungen angestellt werden, wie größerflächige Kreuzungsbereiche behandelt und zugeordnet werden sollen. Bei den bisherigen Messungen wurde, mit der in Kapitel 2.3 aufgezeigten Konsequenz („Restabschnitte“), i. A. bis zum Netzknoten, d. h. dem (fiktiven) Schnittpunkt der Straßenachse(n), ausgewertet. Nicht beachtet werden dabei Erfahrungswerte zum häufig von den übrigen Strecken abweichenden Zustand der Fahrbahnflächen innerhalb von größeren Kreuzungen.

Wenn den häufig besonderen Gegebenheiten bei aufgeweiteten Knoten von Innerortsstraßen Rechnung getragen werden soll, muss die Netzbeschreibung so erweitert werden, dass zusätzliche Elemente innerhalb der Kreuzung definiert werden können. Bild 7 zeigt ein Beispiel für diese Auflösung von Netzknoten (nach FGSV 2004). Eine Möglichkeit zur Beschreibung der beispielhaft dargestellten Verbindungen besteht darin, an allen Schnittpunkten Netzknoten zu definieren. Dieses Netzmodell hat folgende Vorteile:

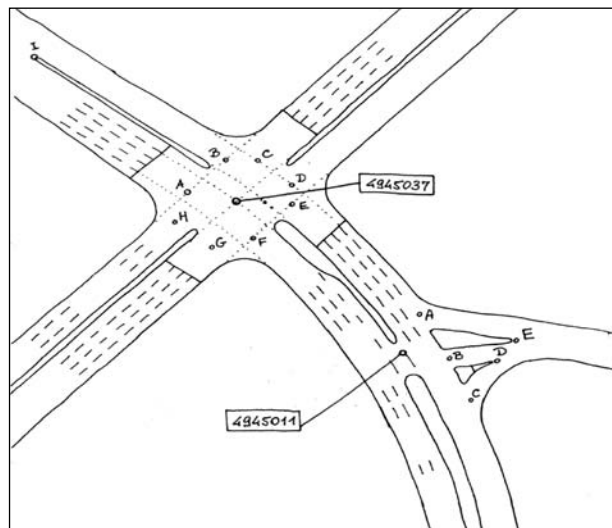
- Die in Kommunen vorhandenen Straßenachsen-Systeme liegen vielfach bereits in einer ähnlichen Form vor oder lassen sich leicht und ohne größeren Zusatzaufwand in das Datenmodell überführen.
- Häufig eingesetzte, käuflich zu erwerbende Straßenachsenetze von Routingsystemen entsprechen mehr oder weniger dem in Bild 7 gezeigten Modell.



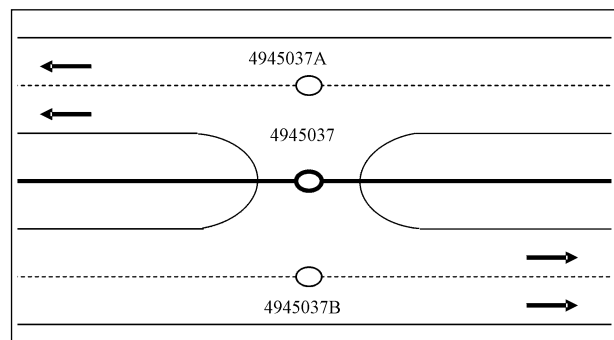
**Bild 7:** Beispiel für die Auflösung einer aufgeweiteten Kreuzung im Straßennetz einer Kommune durch Definition zusätzlicher Netzknoten (nach FGSV 2004)

Die Umsetzung führt zu einer Vielzahl von Netzknoten mit relativ kurzen Netzknotenabschnitten und den in Kapitel 2.3 aufgezeigten Konsequenzen. Als Alternative kann ein planfreier Netzknoten bzw. ein komplexer plangleicher Netzknoten mit erheblicher räumlicher Ausdehnung nach der ASB-Systematik in Teilknoten aufgelöst werden, die auch Äste bzw. Rampen sowie getrennte Fahrbahnflächen abgrenzen.

Für die Kennzeichnung derartiger Teilknoten wird die jeweilige Netzknotennummer um einen zusätzlichen Buchstaben erweitert. In Bild 8 ist ein Beispiel eines komplexen plangleichen Knotens veranschaulicht, der durch Teilknoten mit Buchstabenzusatz in mehrere Elemente aufgelöst ist. Bei Straßen mit baulich getrennten Fahrrichtungen oder baulich abgetrennten Fahrstreifen ist es zweckmäßig, neben dem eigentlichen Netzknoten im Schnittpunkt der Straßenachsen zusätzliche Teilknoten zu vergeben, die mit einem Zusatzbuchstaben gekennzeichnet sind (z. B. auf beiden Fahrbahnachsen, s. Bild 9).



**Bild 8:** Beispiel für die Auflösung eines komplexen plangleichen Knotens in Teilknoten (mit Buchstabenzusatz nach ASB)



**Bild 9:** Vergabe zusätzlicher Netzknoten bei räumlich getrennten Fahrrichtungen mit Buchstabenzusatz nach ASB (FGSV 2004)

Mit dieser Systematik ist eine detaillierte Auswertung verschiedener Einzelelemente innerhalb eines Knotens möglich. Alternativ kann aber auch, wie bei den bisher ausgewerteten Messungen der Analysestädte erfolgt, weiterhin eine Aufbereitung ohne Beachtung der durch Buchstabenzusätze gekennzeichneten Teilelemente vorgenommen werden.

## 2.5 Funktionale Untergliederung von Innerortsstraßen

Wenn Klarheit über die Netzdefinition für die messtechnische Erfassung besteht, können den Netzknotenabschnitten bzw. den Auswerteabschnitten Attribute zugeordnet werden. Ein grundsätzliches und notwendiges Attribut ist zunächst die Verkehrsflächenart (Fahrbahn, Gehweg, Radweg usw.). Da messtechnisch bisher, und auch in absehbarer Zukunft, nur Fahrbahnflächen erfasst werden können, erscheint diese Zuordnung verzichtbar. Wenn jedoch zusätzliche visuelle Erfassungen geplant sind, sollte die Verkehrsflächeart auch in den Ergebnisdateien der Messtechnik mitgeführt werden.

Die i. A. entsprechend der Nutzung vorgenommene Untergliederung nach Verkehrsflächenart ist die oberste Ebene einer funktionalen Einstufung von Straßen. Im Zusammenhang mit der messtechni-

schen Erfassung ist derzeit in der zweiten Ebene vor allem eine funktionale Untergliederung der Fahrbahnen von Interesse. Dabei kann vielfach auf bestehende Typisierungen zurückgegriffen werden, die implizit meist ebenfalls die Nutzungsart beinhalten. Bei den 7 Analysestädten liegen in einem Fall (Wiesbaden) ergänzende Informationen zur ÖPNV-Nutzung (ausschließlich Busverkehr, mit Busverkehr, ohne Busverkehr) und damit zur Beanspruchung von Fahrbahnen vor. Für zwei weitere Städte (Erfurt, Ludwigshafen) liegen Klassifizierungen nach Straßentypen bzw. -kategorien vor, die den Auswerteabschnitten zugeordnet werden können. Nachfolgend ist für einen Fall (Erfurt) beispielhaft das Ergebnis dieser funktionalen Untergliederung in Statistiken ausgewiesen. Dabei ist unterschieden

- zum einen nach Straßentypen (Tabelle 6),
- zum anderen nach Straßenkategorien (Tabelle 7).

Im Anwendungsfall wäre bei Bedarf problemlos auch eine Kreuzklassifikation nach Straßentypen und Straßenkategorien möglich.

Eine funktionale Untergliederung gemäß Tabelle 6 nach Straßentypen (ergänzt noch durch Wohnstraßen) oder gemäß Tabelle 7 nach Straßenkategorien liegt in den meisten Kommunen vor und kann im Regelfall (z. B. mittels des Straßenschlüs-

Straßentypen	Anzahl Erfassungsabschnitte				
	Asphalt	Beton	Pflaster	unbestimmt	Summe
Hauptverkehrsstraßen	12.774	257	337		13.368
Verkehrsstraßen	9.103	325	1.358		10.786
Sammelstraßen	4.274	462	582		5.318
Anliegerstraßen	13.006	742	4.252	325	18.325
Summe aller typisierten Abschnitte	39.157	1.786	6.529	325	47.797
nicht typisierte Abschnitte	80	52	1		133
Gesamt	39.237	1.838	6.530	325	47.930

Tab. 6: Anzahl der Erfassungsabschnitte je Straßentyp

Straßentypen	Anzahl Erfassungsabschnitte				
	Asphalt	Beton	Pflaster	unbestimmt	Summe
Gemeindestraßen	16.562	1.061	4.783	325	22.731
Kreisstraßen	13.046	358	1.398		14.802
Landesstraßen	5.644	367	333		6.344
Bundesstraßen	3.905		15		3.920
Summe aller typisierten Abschnitte	39.157	1.786	6.529	325	47.797
nicht typisierte Abschnitte	80	52	1		133
Gesamt	39.237	1.838	6.530	325	47.930

Tab. 7: Anzahl der Erfassungsabschnitte je Straßenkategorie

sels) auch den Netzknotenabschnitten und den Auswerteabschnitten der messtechnischen Erfassung zugeordnet werden. Diese leicht verfügbare Untergliederung erlaubt jedoch nur eine sehr pauschale Einstufung nach der Nutzungsart. Angaben im Hinblick auf vorhandene oder fehlende angrenzende Bebauung oder die Art und Anordnung vorhandener Nebenflächen sind daraus nicht ableitbar. Aus diesen und anderen Kriterien können sich weitere wesentliche Randbedingungen für die Vorgehensweise insbesondere bei der Zustandsbewertung ergeben. In Kapitel 5.3 wird darauf detaillierter eingegangen.

### 3 Beschreibung und Anwendung des derzeitigen Bewertungsverfahrens (Status-quo-Analyse)

Als Vergleichsbasis für die in der Folge vorgenommenen Änderungen muss zunächst das derzeit angewendete Bewertungsverfahren beschrieben und durch Ergebnisdarstellungen in seinen Konsequenzen beurteilt werden. Dazu muss vorab auf die erfassten bzw. ausgewerteten Zustandsmerkmale, Zustandsgrößen und -indikatoren eingegangen werden.

#### 3.1 Zustandsmerkmale, Zustandsgrößen und -indikatoren

Das derzeitige Erfassungs- und Bewertungskonzept für Innerortsstraßen orientiert sich in Bezug auf die Messtechnik und die Auswertesystematik stark an der Vorgehensweise für Außerortsstraßen. Da nicht alle Verfahrensweisen auf Innerortsstraßen anwendbar sind, wurden von den mit der Erfassung beauftragten Firmen in Abstimmung mit den jeweiligen Kommunen Modifikationen vorgenommen, auf die nachfolgend gesondert eingegangen wird.

Der Zustand für Innerortsstraßen wird derzeit nach der im „Leitfaden für die Zustandserfassung und -bewertung“ und den angegliederten Arbeitspapieren dokumentierten Verfahrensweise erfasst über die

- Längsebenheit (Kapitel 3.1.1),
- Querebenheit (Kapitel 3.1.2),
- Griffigkeit (in Ausnahmefällen, Kapitel 3.1.3) und die

- Substanzmerkmale für Asphalt (Kapitel 3.1.4).

#### 3.1.1 Ebenheit im Längsprofil

Die Messungen der Ebenheit im Längsprofil werden fahrstreifenweise anhand vorbereiteter Routenpläne in der Regel über längere zusammenhängende Erfassungsabschnitte durchgeführt. Längsprofilmessungen basieren auf Laserabstandsmessungen und setzen daher eine weitgehend trockene Fahrbahnoberfläche voraus. Bei der Durchführung der Messungen ist dem exakten Folgen der rechten Radspur besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Tabelle 8 zeigt die standardmäßig ausgewerteten Zustandsindikatoren und Zustandsgrößen für die Ebenheit im Längsprofil. Als Zustandsgrößen der Allgemeine Unebenheit werden das Unebenheitsmaß  $\Phi_{\eta}(\Omega_0)$  (= spektrale Leistungsdichte des Höhenlängsprofils in  $\text{cm}^3$ ) und die Welligkeit  $w$  ermittelt. Ausgehend von dem im 10 cm Messpunkt-abstand vorliegenden Längsprofil erfolgt die Berechnung auf Basis einer Trendbereinigung durch gleitende Mittelwertbildung über 100 m (1.024 Messpunkte).

Die für Außerortsstraßen im Hinblick auf das Unebenheitsmaß AUN vorgenommene Rasterung in 100-m-Segmente ist für Innerortsstraßen zu grob. Bei den bisherigen Messungen wurden daher meist deutlich kürzere Auswerteabschnitte (i. A. 20 m) zu-

Zustandsmerkmal	Zustandsindikator	Zustandsgröße
Allgemeine Unebenheit	Unebenheitsmaß, spektrale Dichte der Unebenheitshöhen $\Phi_{\eta}(\Omega_0)$ [ $\text{cm}^3$ ]	AUN
	Welligkeit [-]	W
	Standardabweichung der Differenz zum gleitenden Mittelwert bei einer Mittelungslänge von 3 m [mm]	S03
	Standardabweichung der Differenz zum gleitenden Mittelwert bei einer Mittelungslänge von 10 m [mm]	S10
	Standardabweichung der Differenz zum gleitenden Mittelwert bei einer Mittelungslänge von 30 m [mm]	S30

Tab. 8: Zustandsmerkmale, Zustandsindikatoren und Zustandsgrößen der Merkmalsgruppe Ebenheit im Längsprofil für 100-m-Auswerteabschnitte

Zustandsmerkmal	Zustandsindikator	Zustandsgröße
Allgemeine Unebenheit	Mittelwert der Planograf-Simulation [mm]	PGR_AVG
	Maximalwert der Planograf-Simulation [mm]	PGR_MAX
	Standardabweichung der Differenz zum gleitenden Mittelwert bei einer Mittelungslänge von 1 m [mm]	S01
	Standardabweichung der Differenz zum gleitenden Mittelwert bei einer Mittelungslänge von 3 m [mm]	S03
	Standardabweichung der Differenz zum gleitenden Mittelwert bei einer Mittelungslänge von 10 m [mm]	S10
	Standardabweichung der Differenz zum gleitenden Mittelwert bei einer Mittelungslänge von 30 m [mm]	S30

**Tab. 9:** Zustandsmerkmale, Zustandsindikatoren und Zustandsgrößen der Merkmalsgruppe Ebenheit im Längsprofil für Auswerteabschnitte (i. A. 20 m) von Innerortsstraßen

grunde gelegt. Bei den bisherigen Messungen wurde daher auf der Grundlage der Längsprofile eine Planograf-Simulation vorgenommen und in die Auswertung einbezogen (s. Tabelle 9). Zusätzlich wurde auch die Standardabweichung basierend auf der Differenz zum gleitenden Mittelwert mit Mittelungslängen von 1, 3, 10 und 30 m ausgewertet.

### 3.1.2 Ebenheit im Querprofil

Die Zustandsgrößen der Ebenheit im Querprofil werden aus Querprofilen des zu untersuchenden Fahrstreifens berechnet, die in dichter Folge gemessen werden. Diese Querprofile sind von schnell fahrenden Profilografen grundsätzlich möglichst unabhängig von der Messspur aufzunehmen. Der äquidistante Messpunkt Abstand innerhalb des Querprofils soll daher 10 cm nicht übersteigen und die Messbreite des Querprofils eine möglichst vollständige Erfassung des Fahrstreifens ermöglichen. Die Querprofile sind in gleich bleibendem Abstand von maximal 1 m in Fahrbahn längsrichtung unabhängig von der Fahrtgeschwindigkeit des Messfahrzeugs aufzunehmen. Tabelle 10 zeigt die für Innerortsstraßen (i. A. im 20-m-Raster) ausgewerteten Zustandsindikatoren und Zustandsgrößen. Die fiktive Wassertiefe wird aus den Spurrinntiefen und der ebenfalls gemessenen Querneigung berechnet.

Zustandsmerkmal	Zustandsindikator	Zustandsgröße
Spurrinnen	mittlere Spurrinntiefe rechts [mm]	MSPTR
	mittlere Spurrinntiefe links [mm]	MSPTL
	maximale Spurrinntiefe rechts [mm]	SPTR_MAX
	maximale Spurrinntiefe links [mm]	SPTL_MAX
	Standardabweichung rechte Spurrinntiefe [mm]	SSPTR
	Standardabweichung linke Spurrinntiefe [mm]	SSPTL
	mittlere fiktive Wassertiefe rechts [mm]	MSPHR
	mittlere fiktive Wassertiefe links [mm]	MSPHL
	maximale fiktive Wassertiefe rechts [mm]	SPHR_MAX
	maximale fiktive Wassertiefe links [mm]	SPhL_MAX
	Standardabweichung rechte fiktive Wassertiefe [mm]	SSPHR
	Standardabweichung linke fiktive Wassertiefe [mm]	SSPHL
	Querneigung [%]	QN

**Tab. 10:** Zustandsmerkmal, Zustandsindikatoren und Zustandsgrößen der Merkmalsgruppe Ebenheit im Querprofil

### 3.1.3 Griffigkeit

Bei Innerortsstraßen wird die Griffigkeit in der Praxis vielfach als weniger bedeutend angesehen und nicht in die messtechnische Zustandserfassung einbezogen. Sofern eine Erfassung erfolgt, wird die nachfolgend erläuterte Zustandsgröße GRI40 ausgewertet.

Die Zustandsgröße des Merkmals Griffigkeit wird standardmäßig durch eine kontinuierliche Messung der Reibungskraft zwischen einem Messrad und der definiert angenästen Fahrbahnoberfläche in der rechten Radspur mit einem Dynamischen Messverfahren gem. TP Griff-StB erfasst. Die Messungen sind an eindeutig definierte Messbedingungen gebunden, um den Einfluss der Rauheit der Fahrbahnoberfläche auf die Griffigkeit bei Nässe quantifizieren zu können und wiederholbare und vergleichbare Messergebnisse zu erzielen.

Da die Griffigkeit über die Breite des Fahrstreifens stark variieren kann, erfolgt die Messung der Griff-

Zustandsmerkmal	Zustandsindikator	Zustandsgröße
Griffigkeit	Seitenreibungsbeiwert (Mittelwert der mit $V_n$ auf 40 km/h geschwindigkeitskorrigierten $SFC_{k_n}$ ) [-]	GRI40
	Seitenreibungsbeiwert (Mittelwert der mit $V_n$ auf 60 km/h geschwindigkeitskorrigierten $SFC_{k_n}$ ) [-]	GRI60
	Seitenreibungsbeiwert (Mittelwert der mit $V_n$ auf 80 km/h geschwindigkeitskorrigierten $SFC_{k_n}$ ) [-]	GRI80

**Tab. 11:** Zustandsmerkmal, Zustandsindikatoren und Zustandsgrößen der Griffigkeit

figkeit in der Mitte der rechten Radspur des Fahrstreifens. Hier liegt in der Regel die niedrigste und somit im Hinblick auf die Verkehrssicherheit maßgebliche Griffigkeit vor. Die Messung erfolgt mit einer Messgeschwindigkeit, die für die jeweils zu erfassende Straßenklasse festgelegt ist. Da neben den Temperaturbedingungen insbesondere die Messgeschwindigkeit wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis der Griffigkeitsmessung hat, werden Abweichungen von den vorgeschriebenen Messgeschwindigkeiten innerhalb festgelegter Grenzen durch eine rechnerische Korrektur des gemessenen Reibungsbeiwerts berücksichtigt.

Die Zustandsgröße der Griffigkeit wird für den Auswertebereich aus den für die Untersegmente von 20 m Länge erfassten Seitenreibungsbeiwerten und den zugehörigen Messgeschwindigkeiten berechnet. Aus dieser Erfassungslänge erklärt sich u. a. das im Innerortsbereich bisher gewählte Auswertebereich von 20 m. Tabelle 11 zeigt die Zustandsindikatoren und Zustandsgrößen der Griffigkeit. Die Zustandsgröße GRI40 bezeichnet den geschwindigkeitskorrigierten Seitenreibungsbeiwert für eine Geschwindigkeit von 40 km/h.

### 3.1.4 Substanzmerkmale (Oberfläche)

Die Merkmalsgruppe Substanzmerkmale (Oberfläche) umfasst die im Oberflächenbild der Fahrbahn erkennbaren strukturellen Schäden der Fahrbahnbefestigung. Ihre Zustandsmerkmale wurden im Innerortsbereich meist nur für die Bauweise Asphalt ermittelt.

Als Zustandsmerkmale von Fahrbahnen in Asphaltbauweise werden erfasst:

- Netzrisse und Risshäufungen,
- Flickstellen,
- Ausbrüche,
- Einzelrisse und offene Arbeitsnähte,
- Bindemittelanreicherungen.

Die Zustandsgrößen der Merkmalsgruppe Substanzmerkmale (Oberfläche) werden durch eine visuelle Untersuchung des Oberflächenbilds des zu untersuchenden Fahrstreifens ermittelt. Die an der Fahrbahnoberfläche sichtbaren Schäden werden anhand von Merkmalsdefinitionen und Erfassungsregeln den festgelegten Schadensmerkmalen zugeordnet und mit Hilfe entsprechender technischer Registriereinrichtungen ihrer Größe bzw. ihrer Häufigkeit nach ermittelt. Als grundlegende Anforderung an die Erfassungsmethode ist das zuverlässige Erkennen von Rissen ab einer Rissweite von 1 mm festgelegt.

Der in Querrichtung zu erfassende Bereich ist bei der fahrbahnenweisen Erfassung durch den inneren Rand der Randmarkierung und/oder die Achse der Markierung(en) zwischen den Fahrstreifen begrenzt. Die Erfassung auf Asphaltfahrbahnen erfolgt grundsätzlich auf der Basis eines Flächenrasters, das in der Regel in Querrichtung eine Auflösung von 1/3 der Fahrstreifenbreite und in Längsrichtung eine Auflösung von 1 m Messweglänge aufweist. Diesem Raster liegt als Hauptachse in Längsrichtung die Straßenachse zugrunde. Mehrere innerhalb eines Rasterfelds auftretende Merkmale sind zu berücksichtigen. Für die Erfassung erfolgt zunächst eine vollständige film- bzw. videoteknische Aufzeichnung des zu untersuchenden Fahrstreifens. Die Anforderungen an die Qualität der Bildaufzeichnung orientieren sich hierbei an der grundsätzlichen Forderung nach dem zuverlässigen Erkennen von Rissen ab einer Rissweite von 1 mm. Die Auswertung des Bildmaterials erfolgt im Wesentlichen in Analogie zu dem Verfahren der direkten Registrierung bei der Befahrung. Aufgrund der technischen Möglichkeiten bei der Wiedergabe der Bildaufnahmen bestehen für dieses Verfahren prinzipiell keine Einschränkungen. Tabelle 12 zeigt die Zustandsindikatoren und Zustandsgrößen der Substanzmerkmale (Oberfläche) von Fahrbahnen in Asphaltbauweise. Bei der Zustandsbewertung werden derzeit nur die Merkmale Netzrisse/Risshäufungen und Flickstellen berücksichtigt. Alle anderen in Tabelle 12 aufgeführten Merkmale werden bei Innerorts- wie bei Außerortsstraßen nur nachrichtlich mitgeführt.

Zustandsmerkmal	Zustandsindikator	Zustandsgröße
Netzrisse und Risshäufungen	betroffener Flächenanteil der Fahrbahnoberfläche [%]	NRI
Flickstellen	betroffener Flächenanteil der Fahrbahnoberfläche [%]	FLI
Ausbrüche	betroffener Flächenanteil der Fahrbahnoberfläche [%]	AUS
Einzelrisse und offene Arbeitsnähte	Gesamtlänge [m]	ERI
Bindemittelanreicherungen	betroffener Flächenanteil der Fahrbahnoberfläche [%]	BIN

**Tab. 12:** Zustandsmerkmale, Zustandsindikatoren und Zustandsgrößen der Merkmalsgruppe Substanzmerkmale (Oberfläche) von Fahrbahnen in Asphaltbauweise

Bei Zustandserfassungen in jüngerer Zeit wurden häufig die folgenden zusätzlichen Unterscheidungen bei den Substanzmerkmalen (Oberfläche) eingeführt:

- Flächenanteil der unregelmäßigen Risse (betroffener Flächenanteil in %),
- Länge der geradlinigen Risse in m,
- Flächenanteil von Flickstellen allgemein (betroffener Flächenanteil in %, wie in Tabelle 12),
- Flächenanteil aufgebracht Flicker (betroffener Flächenanteil in %),
- Flächenanteil eingelegter Flicker aufgrund von Oberflächenschäden (betroffener Flächenanteil in %).

Als „unregelmäßige Risse“ gelten dabei offene und vergossene Risse, die

- nicht geradlinig verlaufen oder
- geradlinig verlaufen, aber Verzweigungen bzw. Nebenrisse aufweisen, die über die unmittelbare Umgebung des Hauptrisses (ca. 20 cm) deutlich hinausgehen.

„Geradlinig verlaufende Risse“ sind nur offene Risse oder offene Arbeits-/Anschlussnähte mit

- ausgeprägter Längs- oder Querorientierung und
- einer seitlichen Ausdehnung oder Abweichung von der Hauptrichtung unter 20 cm.

„Aufgebrachte Flickstellen“ haben

- meist unregelmäßige Formen und
- keine vergossenen Randfugen.

„Eingelegte Flickstellen“ weisen

- in der Regel regelmäßige (rechteckige) Formen und
- vergossene Randfugen auf.

Aufgebrachte Flicker sind somit häufig dünne, teilflächig im Hocheinbau ausgeführte Asphaltbeläge, deren Oberfläche gegenüber der sonstigen Fahrbahnoberfläche herausragt. Die Oberfläche eingelegter Flicker ist dagegen weitgehend stufenlos höhengleich an das Niveau der Fahrbahnoberfläche angepasst, wobei die Ränder überwiegend als Naht bzw. Fuge ausgeführt sind. Die o. a. Unterscheidungen wurden teilweise auch für die Auswertung von Zustandserfassungen der Ortsdurchfahrten vorgeschlagen (HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003).

Einige Oberflächenschäden, die bei Innortsstraßen mit Asphaltdecken durchaus häufiger zu beobachten sind, werden normalerweise nicht ausgewertet. Dazu gehören Abplatzungen (Ausbrüche, Ablösen der Deckschicht), Splittverlust (Ausmagerung) und Abrieb (feinkörniger Substanzverlust).

Messtechnische Zustandserfassungen für Pflasterdecken und Plattenbeläge wurden bisher nur für geringe Längen durchgeführt (s. Tabelle 1). Ähnlich wie bei visuellen Erfassungen wurden dabei die Zustandsmerkmale „offene Pflaster-/Plattenfugen“ (Verbund) und „Bruch“ von Pflastersteinen/Platten berücksichtigt (= schadhafter Pflasterverbund). Während mit dem Zustandsmerkmal „gebrochene Pflastersteine“ visuell wie messtechnisch Brüche einzelner oder mehrere Pflastersteine gekennzeichnet werden, bestehen bei der Definition des Merkmals „Verbund“ Unterschiede:

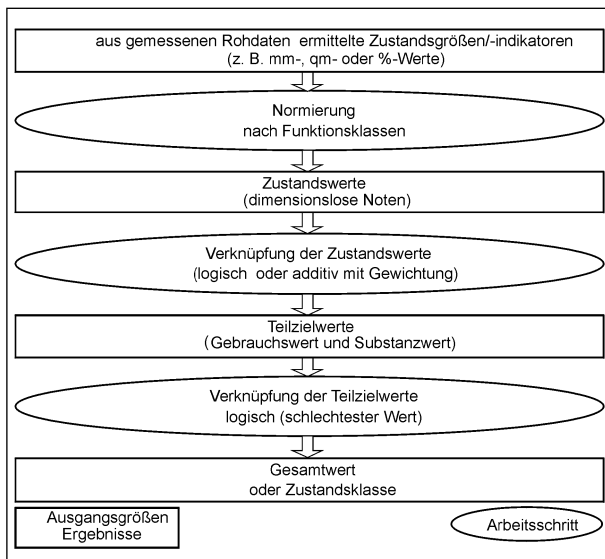
- Als „schadhafter Pflasterverbund“ gelten bei messtechnischen Erfassungen sowohl ein lockerer Verbund (erkennbar durch offene Fugen) als auch herausgelöste oder fehlende Pflastersteine.

Fehlende Pflastersteine werden bei visuellen Erfassungen unter dem Zustandsmerkmal „Ausbrüche“ erfasst.

### 3.2 Grundsätzliche Beschreibung des derzeitigen Bewertungsverfahrens

Im Verfahrensablauf der Zustandsbewertung werden die Zustandsgrößen und -indikatoren, die aus den messtechnisch mit physikalischen Dimensio-





**Bild 10:** Schematische Darstellung des Ablaufs der Zustandsbewertung

nen in der Örtlichkeit erfassten Zustandsdaten ermittelt wurden, zunächst in dimensionslose normierte Zustandswerte umgerechnet und anschließend im Rahmen einer Wertsynthese zu Teilzielwerten und zu einem Gesamtwert verknüpft. In Bild 10 ist dieser Ablauf schematisch veranschaulicht.

**3.2.1 Funktionsklassenabhängige Normierung**

Der erste Teilschritt der Zustandsbewertung, die Überführung von dimensionsbehafteten Zustandsgrößen/-indikatoren in dimensionslose Zustandswerte, wird als Normierung bezeichnet. Die nach dieser Normierung vorliegenden „Zustandswerte“ sind als Notenwerte zu verstehen; sie haben keine Bedeutung im ökonomischen Sinne.

Durch die Abbildung auf einer normierten dimensionslosen Skala lassen sich Zustandsmerkmale, die mit unterschiedlichen Dimensionen erfasst werden, direkt vergleichen. Dies ist erforderlich, wenn der schlechteste Zustandswert aus mehreren Zustandsmerkmalen ermittelt oder die Zustandswerte mehrerer Zustandsmerkmale verknüpft werden sollen. Die Zustandswerte sind insbesondere auch für grafische Darstellungen von großer Bedeutung.

Bei der Normierung werden die aus den Erfassungsdaten ermittelten Zustandsgrößen und -indikatoren in ihren Wirkungen auf die Ziele beurteilt, die der Straßenerhaltung zugrunde liegen. Diese Ziele der Straßenerhaltung leiten sich letztlich aus den gültigen Rechts- und Haushaltsbestimmungen ab. Danach hat der Straßenbaulastträger entsprechend seiner Leistungsfähigkeit einen Straßenzu-

Teilziel	Bedeutung
Verkehrssicherheit	Vermeidung der vom Befestigungszustand ausgehenden Unfallgefahr (auch für Fußgänger und Radfahrer)
Befahrbarkeit	Vermeidung unangemessener physischer Beanspruchungen der Straßennutzer sowie der Fahrzeuge und ihrer Nutzlast
Substanzerhalt	Wirtschaftliche Erhaltung des in Verkehrsflächen investierten Anlagevermögens (des „Substanzwerts“)
Umweltverträglichkeit Wirkungen auf Dritte	Vermeidung zustandsbedingter Lärm-/Spritz-/Sprühwasseremissionen und optischer Beeinträchtigungen des Straßensbildes

**Tab. 13:** Teilziele der Straßenerhaltung

stand aufrechtzuerhalten, der dem Verkehrsteilnehmer eine angemessene Verkehrssicherheit und Befahrbarkeit bei gleichzeitig minimalen gesamtwirtschaftlichen Kosten und höchstmöglicher Umweltverträglichkeit gewährleistet. Aus diesem allgemeinen Leitziel lassen sich die in Tabelle 13 erläuterten Teilziele der Straßenerhaltung ableiten. Bei der Normierung wird versucht, den Erfüllungsgrad im Hinblick auf diese Teilziele abzuschätzen. Die Teilziele „Verkehrssicherheit“ und „Befahrbarkeit“ kennzeichnen dabei die Angebotsqualität für den Straßennutzer. Das Teilziel „Substanzerhalt“ steht für die Anforderungsgerechtigkeit der Befestigungssubstanz und betrifft damit in erster Linie den Baulastträger bzw. den Betreiber. Das Teilziel „Umwelt/Dritte“ ist vor allem in bebauten Bereichen, d. h. für Ortsdurchfahrten und Innerortsstraßen, relevant. Dieses Teilziel wird derzeit nicht in die Bewertung einbezogen.

Bei der Normierung ergibt sich zunächst die Frage, ob die jeweilige Zustandsgröße bzw. der jeweilige Indikator überhaupt eine Wirkung auf das betrachtete Teilziel hat. Ist dies der Fall, muss festgelegt werden, bei welcher Ausprägung oder bei welchem Umfang der durch die Zustandsgrößen/-indikatoren beschriebenen Schäden bzw. Mängel vernachlässigbare, schwache, mittlere, starke oder sehr starke Wirkungen vorhanden sind, d. h., der Zustand in Bezug auf das betrachtete Teilziel sehr gut, gut, mittelmäßig, schlecht oder sehr schlecht einzustufen ist. Für diese Einstufung wurde, auch aufgrund der in der Entwicklungsphase der Bewertungsverfahrens üblichen visuellen Zustandserfassung, eine Notenskala vorgegeben, die von 1,0 bis 5,0 reicht und Wertbegriffe enthält (z. B. 1,0 = „sehr

gut“, 5,0 = „sehr schlecht“). Diese bei 1,0 und 5,0 begrenzte Skala wird auch derzeit noch für die Umwandlung der Zustandsgrößen bzw. -indikatoren in Zustandswerte zugrunde gelegt.

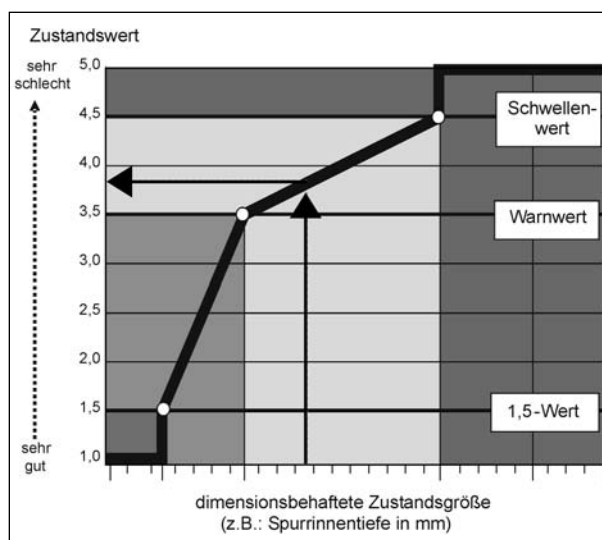
Bei der verfahrensmäßigen Umsetzung der Normierung werden für die Überführung der Zustandsgrößen/-indikatoren in dimensionslose Zustandswerte drei Festpunkte auf der Werteskala vorgegeben:

- Der erste Festpunkt kennzeichnet den Zustandswert 1,5. Bei den Ebenheitsmerkmalen entspricht dieser 1,5-Wert dem sog. Zielwert (Toleranz bei der Abnahme nach der Herstellung bzw. einer Erhaltungsmaßnahme).
- Der zweite Festpunkt kennzeichnet den Zustandswert 3,5, der mit Warnwert bezeichnet wird. Der Warnwert beschreibt einen Zustand, dessen Erreichen Anlass zu intensiver Beobachtung, zur Analyse der Ursachen für den schlechten Zustand und ggf. zur Planung von geeigneten Maßnahmen gibt.
- Der dritte Festpunkt kennzeichnet den Zustandswert 4,5, der mit Schwellenwert bezeichnet wird. Der Schwellenwert beschreibt einen Zustand, bei dessen Erreichen die Einleitung von baulichen oder verkehrsbeschränkenden Maßnahmen geprüft werden muss.

Bild 11 veranschaulicht schematisch den Normierungsvorgang auf der Grundlage der genannten Festpunkte. Die bei den Zustandswerten 1,5 und 4,5 erkennbaren Unstetigkeiten der Normierungslinien wurden im Zuge der Anpassung des Bewertungsverfahrens an die Messtechnik eingeführt; auf die Begründung dieser „Sprünge“ wird an geeigneter Stelle noch näher eingegangen (s. Kapitel 4.1).

Die Wirkungen der Zustandsgrößen/-indikatoren auf die Teilzeile können unterschiedlich sein. So kann der Schwellenwert von 4,5 einer betrachteten Zustandsgröße (z. B. Spurrinntiefe in mm) für ein bestimmtes Teilziel (z. B. Spurführung – Befahrbarkeit) bei einer unterschiedlichen physikalischen Dimension erreicht werden als für eine anderes Teilziel (z. B. Wasserrückhalt – Sicherheit). Diese ursprünglich vorgesehene teilzielspezifische Normierung (MAERSCHALK, PINGEL 1984) wurde aus in erster Linie pragmatischen Gründen nicht umgesetzt.

Bei der Entwicklung eines Verfahrens für die Zustandsbewertung wurde ursprünglich davon aus-



**Bild 11:** Schemadarstellung einer Normierungslinie für die Überführung von Zustandsgrößen/-indikatoren in Zustandswerte auf der Grundlage von drei Festpunkten

gegangen, dass die Anforderungen, die an den Zustand von Straßen zu stellen sind, von der Netzfunktion einer Straße abhängen (AXTHELM, MAERSCHALK, SCHMUCK, SCHULTE, SUß 1984; SCHMUCK 1987). Bei der Bewertung der Wirkungen von Zustandsgrößen/-indikatoren auf die Teilzeile sollte daher das jeweilige Anforderungsniveau berücksichtigt werden. Zur Kennzeichnung des Anforderungsniveaus wurden ursprünglich vier Funktionsklassen (FK) unterschieden; zwischen den Funktionsklassen FK 3 und FK 4 (vorgesehen für Innerortsstraßen) wurde jedoch zunächst nicht getrennt. Die Zuordnung von Straßenabschnitten zu den Funktionsklassen sollte entsprechend einer Typisierung nach den RAS-N erfolgen. Diese Zuordnung auf der Grundlage der RAS-N wurde, so weit bekannt, niemals angewendet. Bei der Zustandserfassung und -bewertung der Bundesfernstraßen ZEB wurde bis einschließlich der Kampagne von 2001/02 (Bundesautobahnen) unabhängig von der Bedeutung von Straßenabschnitten ausschließlich die Funktionsklasse 1 berücksichtigt. Bei der ZEB-Kampagne 2003/04 (Bundesstraßen) wurde für die Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen teilweise die Funktionsklasse 2 angesetzt. Die Funktionsklassen 2 und 3 wurden ansonsten nur für die Zustandsbewertung von Landes- bzw. Staatsstraßen verwendet. Dabei wurde jeweils vereinfachend angenommen, dass die Straßenklasse auch repräsentativ für die Funktion einer Straße ist.

Tabelle 14 zeigt die Festpunkte der Normierungsfunktionen für die bewertungsrelevanten Zustandsgrößen/-indikatoren der drei Funktionsklassen. Als

Zustandsgröße	Dimension	Funktionsklasse 1			Funktionsklasse 2			Funktionsklasse 3		
		1,5-Wert	3,5-Wert (Warnwert)	4,5-Wert (Schwellenwert)	1,5-Wert	3,5-Wert (Warnwert)	4,5-Wert (Schwellenwert)	1,5-Wert	3,5-Wert (Warnwert)	4,5-Wert (Schwellenwert)
Unebenheitsmaß	[cm <sup>3</sup> ]	1	3	9	2	6	18	4	12	36
Spurrinntiefe	[mm]	4	10	20	4	15	25	4	20	30
Wassertiefe	[mm]	0,1	4	6	0,1	6	9	0,1	8	12
Griffigkeit (V-Mess.)	[---]	0,53	0,39	0,32	0,60	0,46	0,39	0,67	0,53	0,46
Netzrisse	[%]	1	5	10	1	15	25	1	25	40
Flickstellen	[%]	1	10	15	1	15	25	1	25	40

Tab. 14: Festpunkte der Bewertungsskalen (1,5-Wert, Warnwert, Schwellenwert) für die Funktionsklassen 1 bis 3

Festpunkte gelten dabei jeweils die 1,5-Werte, 3,5-Werte (Warnwerte) und die 4,5-Werte (Schwellenwerte). Allgemein ist zu den dadurch festgelegten Normierungsfunktionen anzumerken:

- Die Normierung für das bei Innerortsmessungen bisher nicht ermittelte Unebenheitsmaß AUN ist zur Vollständigkeit angegeben. Die Festpunkte werden derzeit auch für den Längsebenheitswirkindex LWI angewendet.
- Aus den Spurrinntiefen MSPT und den Querneigungen (s. Tabelle 10) wird eine Fiktive Wassertiefe MSPH ermittelt. Die Normierungsfunktionen sind unterschiedlich (s. Tabelle 14). Während die Normierungsfunktionen für AUN und MSPT zwischen dem 1,5-Wert und dem Schwellenwert polygonal verlaufen, ist die Funktion für MSPH linear.
- Die Normierungsfunktion für die Griffigkeit GRI verläuft zwischen dem 1,5-Wert und dem Schwellenwert linear. Die Relativierung erfolgt nicht über Funktionsklassen, sondern über die Messgeschwindigkeit (s. dazu Tabelle 11 – v-Messung).
- Bei den Substanzmerkmalen der Asphaltdecken unterscheiden sich die polygonalen Normierungsfunktionen der Netzrisse NRI und der Flickstellen FLI lediglich für Funktionsklasse 1.

Bei den bisherigen Zustandserfassungen und -bewertungen für Innerortsstraßen wurde größtenteils auf die Normierungsfunktionen vorhandener Funktionsklassen zurückgegriffen, allerdings, in Abstimmung mit der jeweiligen Straßenbauverwaltung, in nicht einheitlicher und nachfolgend veranschau-

lichter Weise. Eine grundsätzlich abweichende Vorgehensweise erfolgte bei der Längsebenheit. Da das Unebenheitsmaß AUN eine Mindestauswertlänge von 100 m erfordert, wurde auf der Grundlage des gemessenen Längsprofils eine Planografensimulation durchgeführt. Für die jeweilige Länge der Auswerteabschnitte (i. A. 20 m) wurden dabei ermittelt:

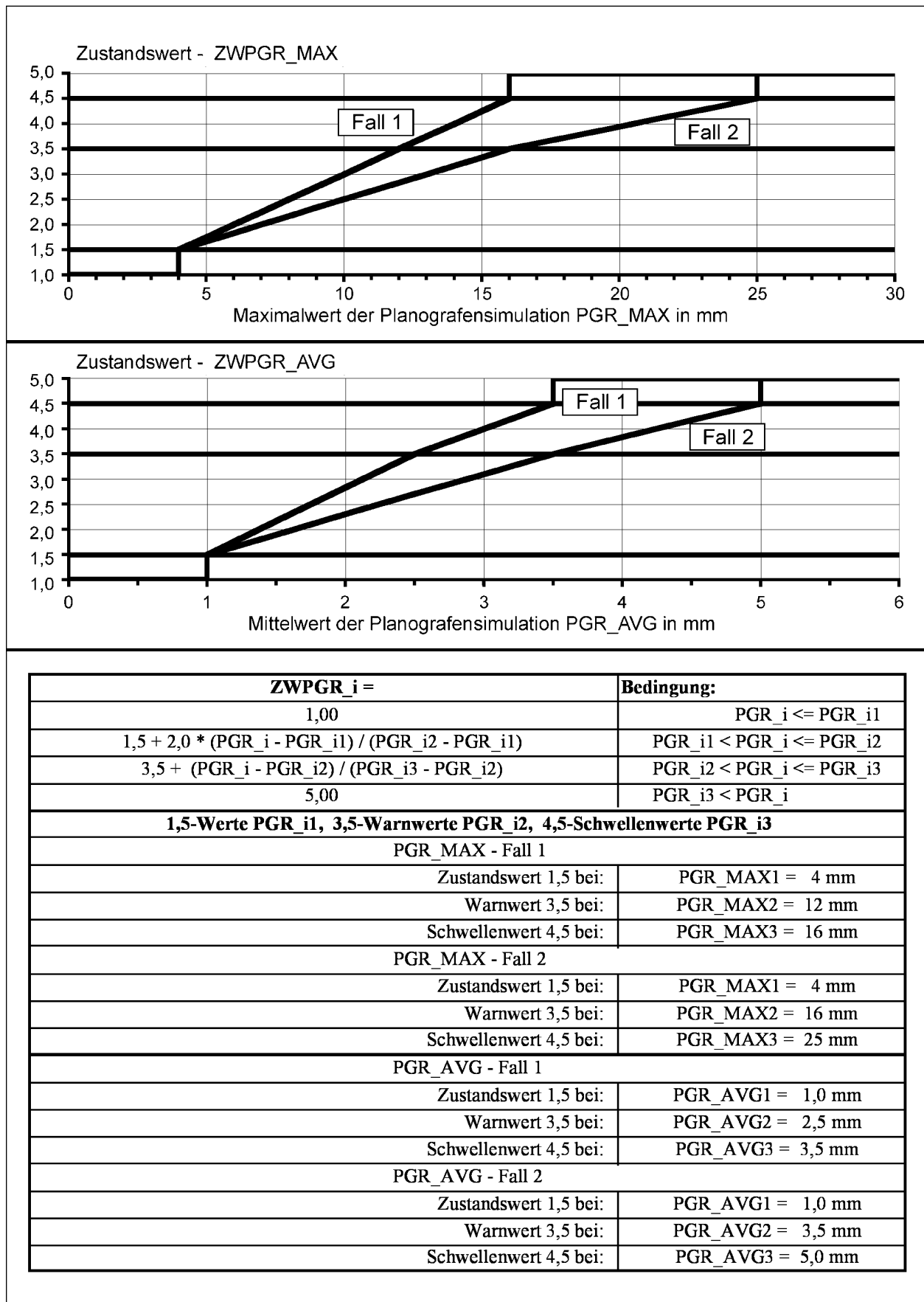
- Der Mittelwert („Average“) PGR\_AVG der Planografensimulation in mm,
- der Maximalwert PGR\_MAX der Planografensimulation in mm.

Bild 12 veranschaulicht die Normierungsfunktionen des Mittelwerts PGR\_AVG und des Maximalwerts PGR\_MAX für bisherige Anwendungsfälle der Planografensimulation. Zusätzlich sind auch die mathematischen Beziehungen für die durch die Festpunkte abgegrenzten Bereiche angegeben. Als maßgeblicher Zustandswert für die Kennzeichnung der Längsebenheit wird bei der Planografensimulation gesetzt:

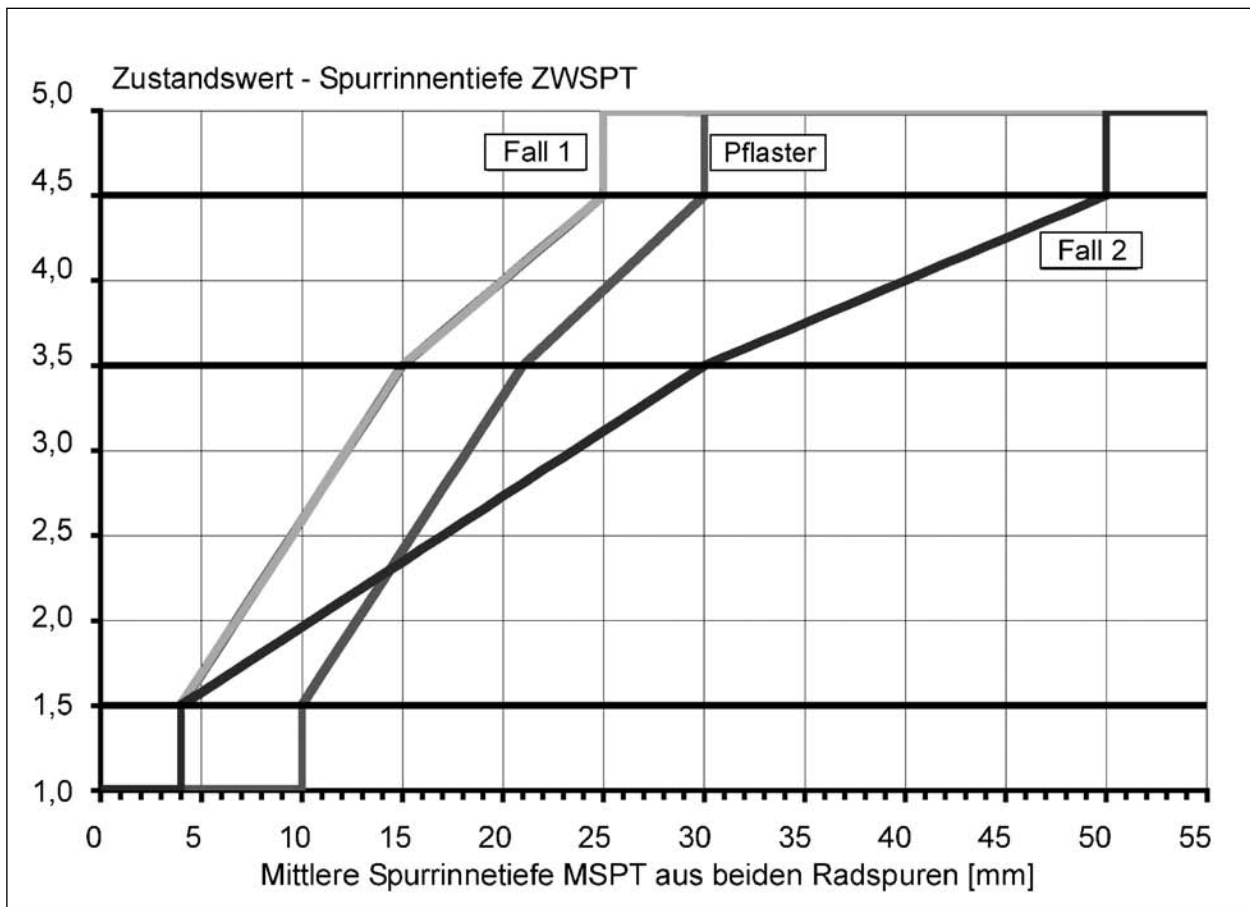
- $ZW\_PGR = \text{Max} (ZWPGR\_AVG, ZWPGR\_MAX)$ .

Die für die restlichen Merkmale bei Zustandserfassungen und -bewertungen für Innerortsstraßen angewendeten Normierungsfunktionen sind, in der Art von Bild 12, dargestellt in:

- Bild 13 für den Zustandswert der Spurrinntiefe ZWSPT (Fall 1 = Funktionsklasse 2 aus Tabelle 14),
- Bild 14 für den Zustandswert der fiktiven Wassertiefe ZWSPH (Fall 1 = Funktionsklasse 1, Fall 2 = Funktionsklasse 3),



**Bild 12:** Normierungsfunktionen für den Maximalwert und den Mittelwert aus der Planografensimulation der Längsebenheit für verschiedene Anwendungsfälle



ZWSPT =	Bedingung:
1,00	$MSPT \leq SPT1$
$1,5 + 2,0 * (MSPT - SPT1) / (SPT2 - SPT1)$	$SPT1 < MSPT \leq SPT2$
$3,5 + (MSPT - SPT2) / (SPT3 - SPT2)$	$SPT2 < MSPT \leq SPT3$
5,00	$SPT3 < MSPT$
<b>1,5-Werte SPT1, 3,5-Warnwerte SPT2, 4,5-Schwellenwerte SPT3</b>	
<b>Fall 1 (Asphalt):</b>	
Zustandswert 1,5 bei:	SPT1 = 4 mm
Warnwert 3,5 bei:	SPT2 = 15 mm
Schwellenwert 4,5 bei:	SPT3 = 25 mm
<b>Fall 2 (Asphalt):</b>	
Zustandswert 1,5 bei:	SPT1 = 4 mm
Warnwert 3,5 bei:	SPT2 = 30 mm
Schwellenwert 4,5 bei:	SPT3 = 50 mm
<b>Pflaster:</b>	
Zustandswert 1,5 bei:	SPT1 = 10 mm
Warnwert 3,5 bei:	SPT2 = 21 mm
Schwellenwert 4,5 bei:	SPT3 = 30 mm

Bild 13: Normierungsfunktionen für die mittlere Spurrinntiefe MSPT

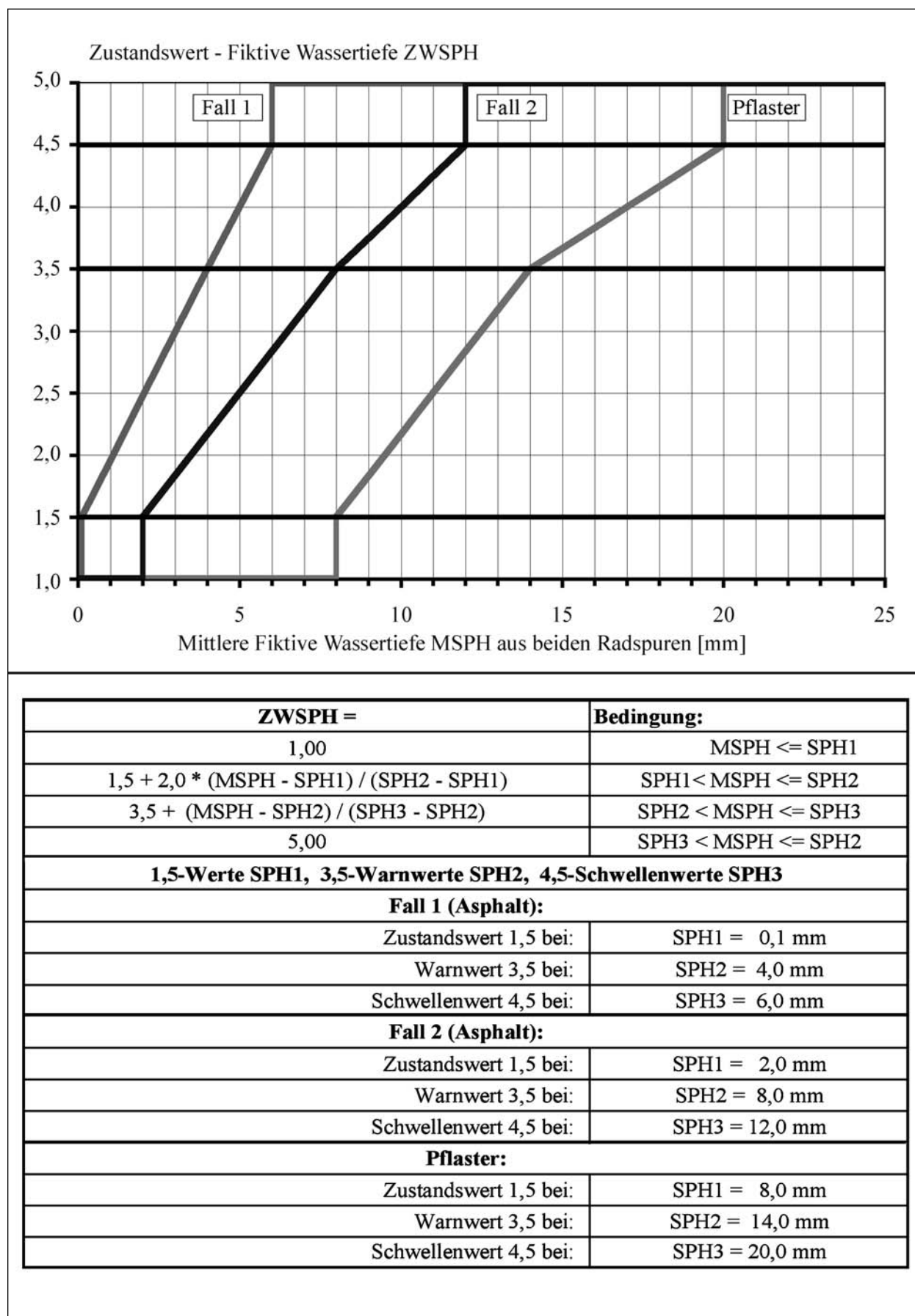
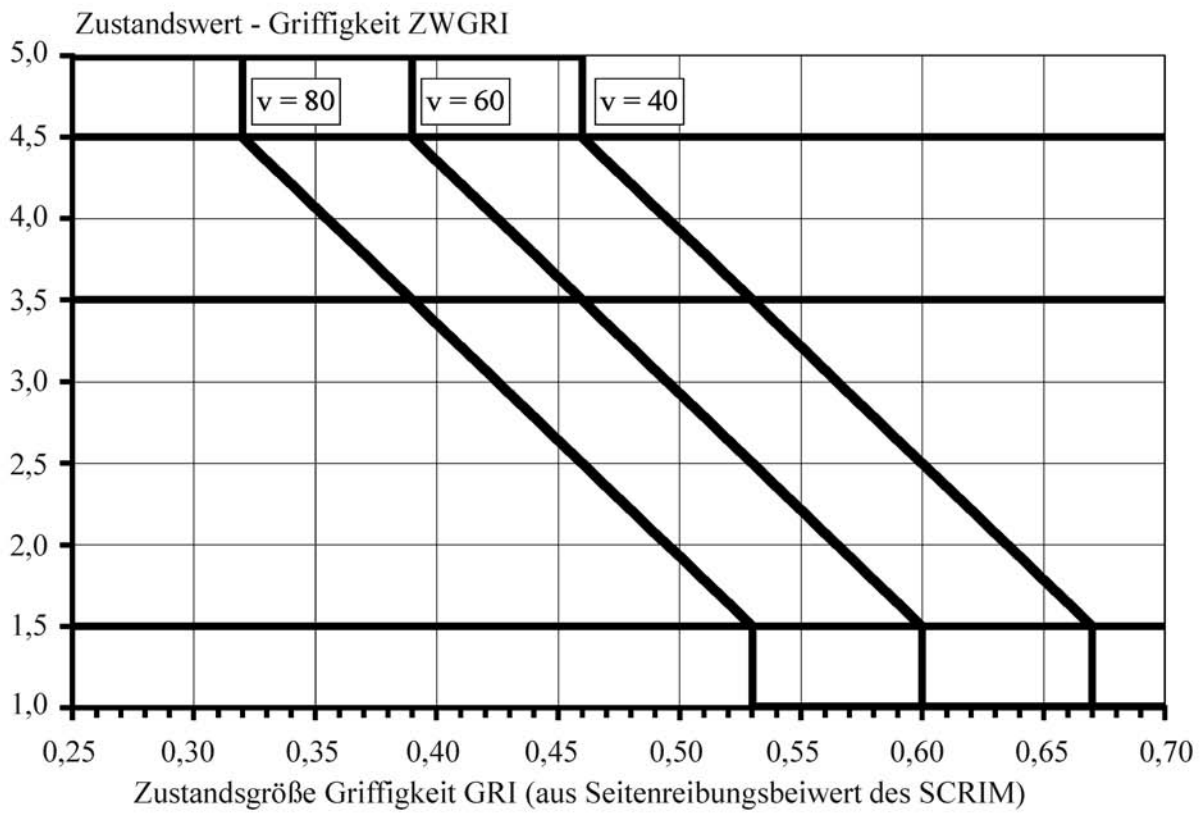


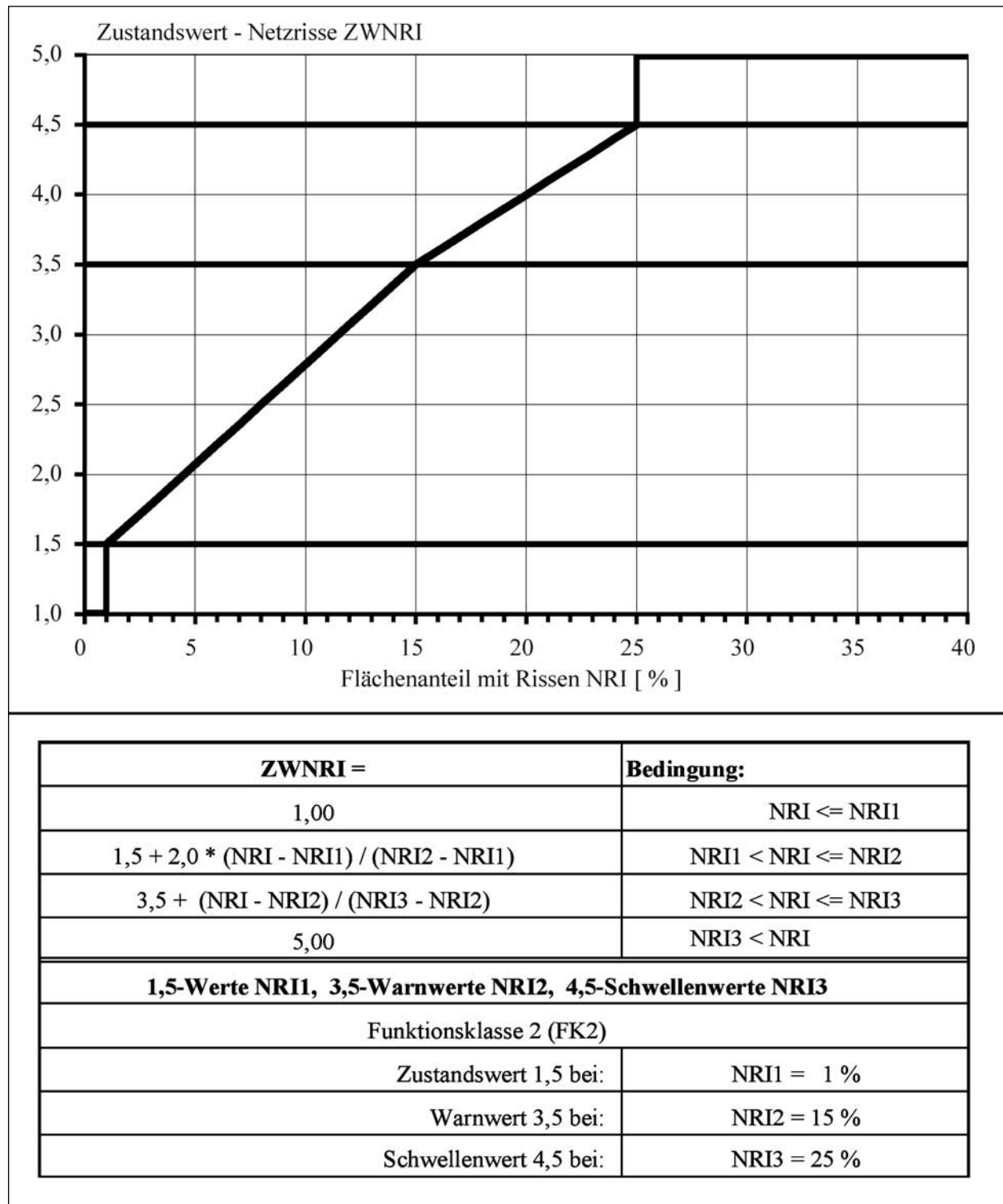
Bild 14: Normierungsfunktionen für die mittlere Fiktive Wassertiefe MSPH



ZWGRI =	Bedingung:
1,00	GRI $\geq$ SFC1
$1,5 + 2,0 * (GRI - SFC1) / (SFC2 - SFC1)$	SFC1 > GRI $\geq$ SFC2
$3,5 + (GRI - SFC2) / (SFC3 - SFC2)$	SFC2 > GRI $\geq$ SFC3
5,00	SFC3 > GRI
<b>1,5-Werte SFC1, 3,5-Warnwerte SFC2, 4,5-Schwellenwerte SFC3</b>	
Meßgeschwindigkeit v = 80 km/h	
Zustandswert 1,5 bei:	SFC1 = 0,53
Warnwert 3,5 bei:	SFC2 = 0,39
Schwellenwert 4,5 bei:	SFC3 = 0,32
Meßgeschwindigkeit v = 60 km/h	
Zustandswert 1,5 bei:	SFC1 = 0,60
Warnwert 3,5 bei:	SFC2 = 0,46
Schwellenwert 4,5 bei:	SFC3 = 0,39
Meßgeschwindigkeit v = 40 km/h	
Zustandswert 1,5 bei:	SFC1 = 0,67
Warnwert 3,5 bei:	SFC2 = 0,53
Schwellenwert 4,5 bei:	SFC3 = 0,46

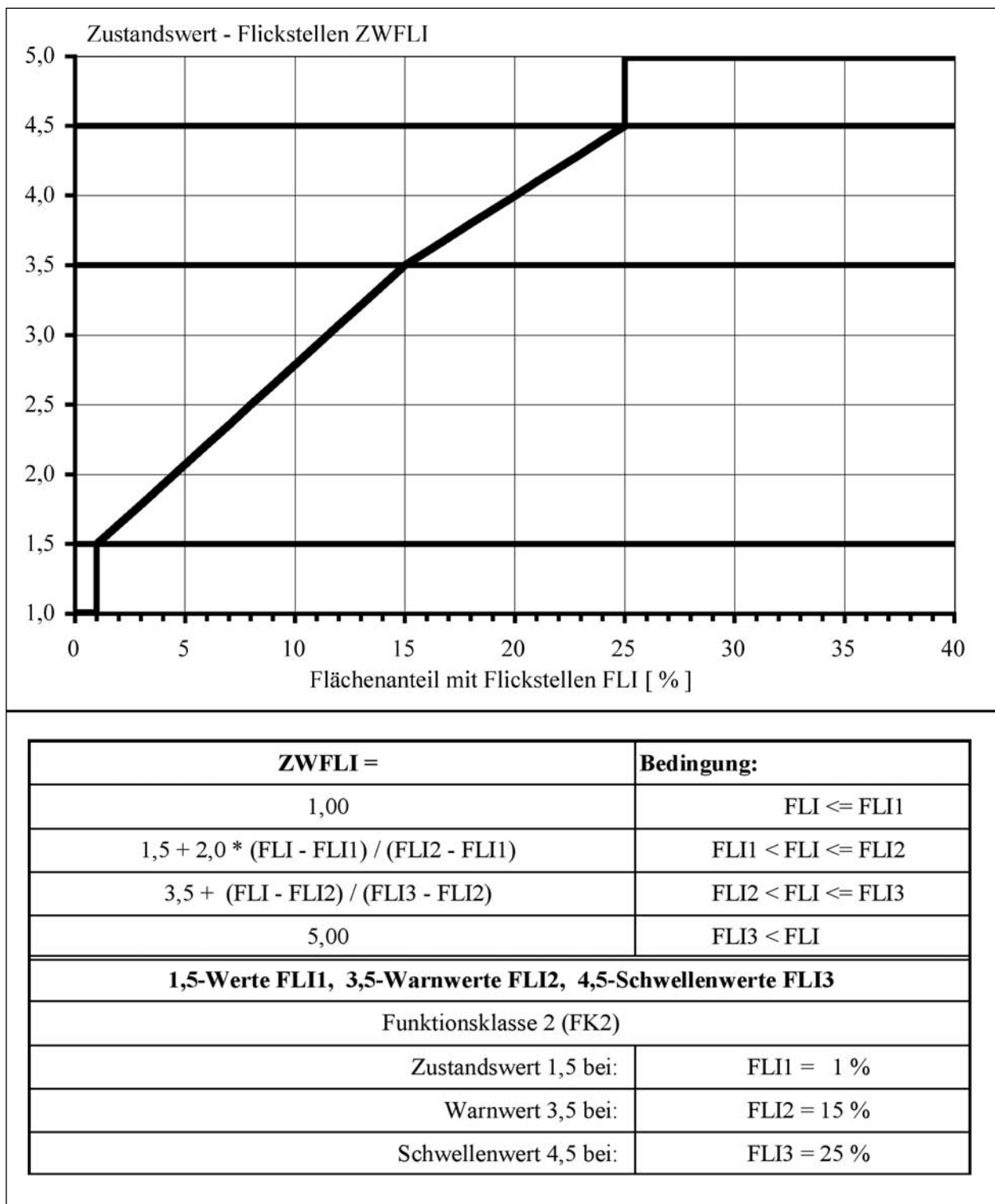
Bild 15: Normierungsfunktionen für die Zustandsgröße Griffigkeit GRI

- Bild 15 für den Zustandswert der Griffigkeit ZWGRI,,
  - Bild 16 für den Zustandswert der Netzrisse ZWNRI (FK 2 aus Tabelle 14),
  - Bild 17 für den Zustandswert der Flickstellen ZWFLI (FK 2 aus Tabelle 14).
- Bei den Rissen wurden i. A. „unregelmäßige Risse“, bei den Flickstellen „aufgebrachte Flickstellen“ zugrunde gelegt (s. Kapitel 3.1.4). Für „mangelnden Pflasterverbund“ und „Bruch von Pflastersteinen/Platten“ wurden in einem Anwendungsfall die Normierungsfunktionen der Risse/Flickstellen verwendet (s. Bild 16 und 17).



**Bild 16:** Normierungsfunktionen für die Netzrisse NRI





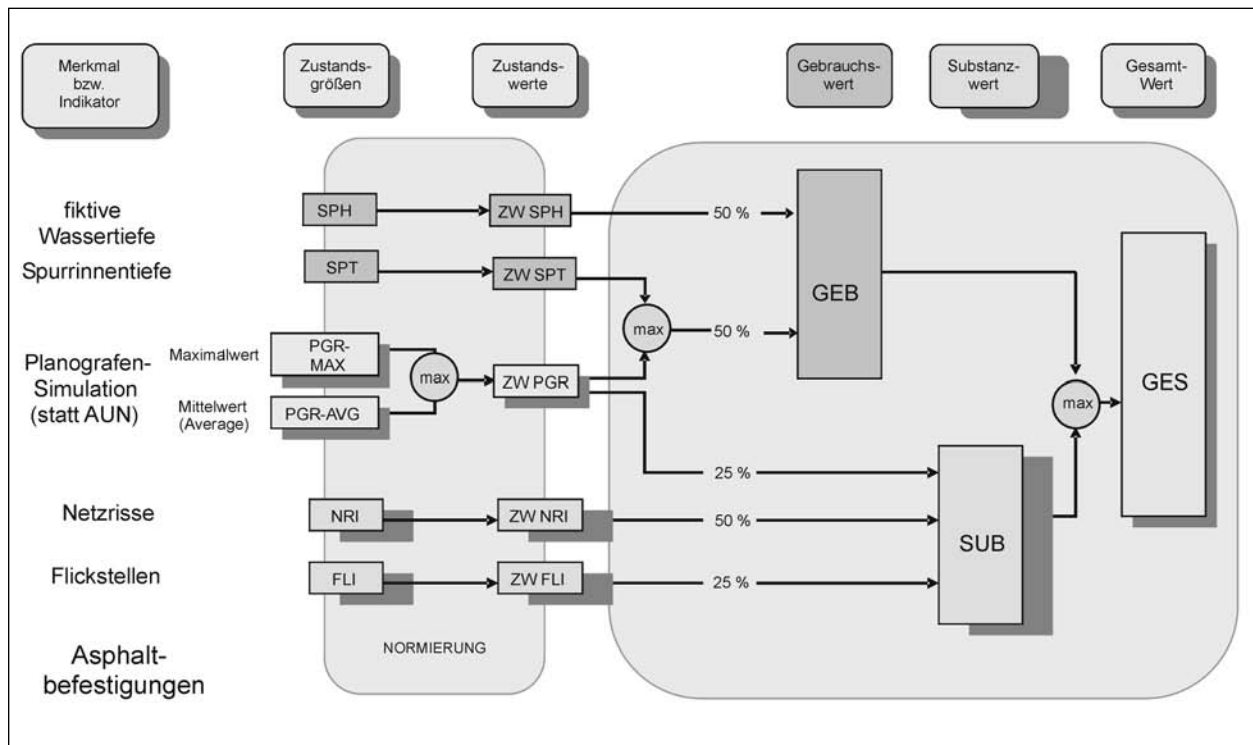
**Bild 17:** Normierungsfunktionen für die Flickstellen FLI

### 3.2.2 Wertsynthese

Bei der Normierung werden die berechneten Zustandswerte nach der zweiten Nachkommastelle abgeschnitten (Griffigkeit – dritte Nachkommastelle). Für die mit den in Tabelle 14 und den Bildern

12 bis 17 dargestellten Beziehungen ermittelten Zustandswerte ZW ist somit zusätzlich noch auszuführen:

- $ZW = \text{Ganzzahl } (100 \cdot ZW) / 100$



**Bild 18:** Verknüpfung der Zustandswerte zum Gebrauchs- bzw. Substanzwert (Oberfläche) sowie zum Gesamtwert

Durch eine Wertsynthese der einzelnen normierten Zustandswerte werden verknüpfte Zustandswerte für die in Tabelle 13 beschriebenen Teilziele ermittelt. Die beiden Teilziele Verkehrssicherheit und Befahrbarkeit werden in einem Gebrauchswert zusammengefasst, der die Angebotsqualität für den Straßennutzer kennzeichnen soll. Zusätzlich wird noch ein Substanzwert gebildet, der mit dem Zusatz „Oberfläche“ eingeschränkt wird, da seine Berechnung ausschließlich auf der Grundlage der bei der ZEB ermittelten (Oberflächen-)Zustandsmerkmale erfolgt. Aus diesen beiden Teilzielwerten kann schließlich noch ein Gesamtwert gebildet werden. Ein Teilzielwert Umwelt/Dritte wird derzeit nicht berücksichtigt.

In Bild 18 sind die einzelnen Schritte der Wertsynthese schematisch dargestellt. Die daraus ersichtlichen Teilzielwerte errechnen sich nach folgenden Formeln:

- $TWGEB = \text{Ganzzahl} (100 \cdot (1,00 + \ln(1 + 0,0028 \cdot I_{GEB}^{2,14}))) / 100$
- $TWSUB = \text{Ganzzahl} (100 \cdot (1,00 + \ln(1 + 0,0028 \cdot I_{SUB}^{2,14}))) / 100$

mit

$I_{GEB}$  Indexsumme für den Gebrauchswert,

$I_{SUB}$  Indexsumme für den Substanzwert.

Prinzipiell gilt zusätzlich die sog. „Durchschlagsregel“:

- „Ist der errechnete Teilwert kleiner als die zum Teilwert zugehörigen Zustandswerte, die gleich oder größer als der Warnwert sind, so wird jeweils der größte aller teilwertrelevanten Zustandswerte als Teilwert angesetzt.“

Diese Durchschlagsregel wurde in einigen Fällen nicht oder in modifizierter Form angewendet (z. B. Zustandswert für Flickstellen ZWFLI schlägt nicht durch). Die Indexsumme  $I_{GEB}$  für den Gebrauchswert  $TWGEB$  ergibt sich wie folgt:

$$I_{GEB} = [\text{Max}(ZW\_PGR, ZWSPT) - 1] \cdot g_1/4 + [ZWSPH - 1] \cdot g_2/4$$

mit den Gewichten

- $g_1 = 50$  (für schlechteren Wert aus Längsebenheit und Spurrinntiefe),
- $g_2 = 50$  (für den Zustandswert der Fiktiven Wassertiefe).

Für die Indexsumme  $I_{SUB}$  des Substanzwerts-Oberfläche gilt:

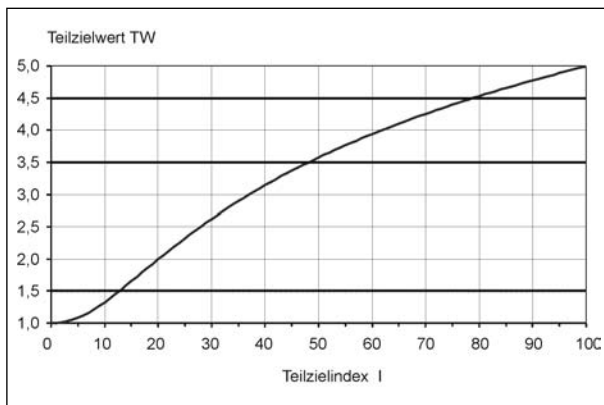


Bild 19: Teilzielindex I und Teilzielwert TW

$$I_{SUB} = \text{Max} (ZW\_PGR, ZWSPT) - 1] \cdot g_3/4 + [ZWNRI - 1] \cdot g_4/4 + [ZWFLI - 1] \cdot g_5/4$$

mit den Gewichten

$g_3 = 25$  (für schlechteren Wert aus Längsebenheit und Spurrinntiefe),

$g_4 = 50$  (für den Zustandswert der Netzkrisse),

$g_5 = 25$  (für den Zustandswert der Flickstellen).

Aus Bild 19 wird ersichtlich, dass bei der Wertsynthese über die Indexbildung zunächst eine Spreizung auf eine Skala erfolgt, die von 0 bis 100 reicht. Der Teilzielwert wird wieder auf einer Skala von 1,0 bis 5,0 abgebildet. Mit dieser relativ umständlichen Verknüpfung wurde in der Entwicklungsphase des Bewertungsverfahrens experimentiert (AXTHELM, MAERSCHALK, SCHMUCK, SCHULTE, SUß 1984; SCHMUCK 1987). Aus der Darstellung des Verlaufs der Transformationskurve in Bild 19 wird deutlich, dass die degressive Tendenz, die bei vielen Normierungsfunktionen zwischen dem Warn- und Schwellenwert sichtbar wird, durch die Teilwertbildung mittels des Index noch verstärkt wird. Allerdings gilt in diesen Bereich die o. a. Durchschlagregel.

### 3.3 Anwendung des derzeitigen Bewertungsverfahrens

Mit den Darstellungen der bisher angewendeten Bewertungsverfahren soll versucht werden, die Schlüssigkeit der bestehenden Normierungsfunktionen und Verknüpfungsalgorithmen zu überprüfen. Zum besseren Verständnis der nachfolgenden Auswertungen werden zunächst die konkret angewendeten Bewertungsverfahren in den Analysestädten beschrieben und im Ergebnis dargestellt.

Dabei wird nur die jeweilige Ausgangssituation betrachtet. Eventuelle Variationen, z. B. durch wechselseitige Anwendung abweichender Bewertungsverfahren für die verschiedenen Analysestädte, sind Gegenstand der Untersuchungen in Kapitel 5.

#### 3.3.1 Bewertungsparameter der sieben Analysestädte

In Tabelle 15 sind die in den 7 Analysestädten konkret berücksichtigten Zustandsgrößen mit den Festpunkten der Normierung, d. h. den 1,5-Werten, den Warnwerten (3,5-Wert) und den Schwellenwerten (4,5-Wert), für die Fahrbahnen mit Asphaltdecken zusammengestellt.

Wird die Durchgängigkeit der Zustandsbewertung als Maßstab herangezogen, lassen sich vier Fälle unterscheiden:

- Fall A umfasst 4 Städte, deren Zustandsgrößen auf der Grundlage der Funktionen normiert wurden, die in Kapitel 3.2.1 als Fall 1 angeführt sind.
- Fall B umfasst eine Stadt mit einer Mischung der in Kapitel 3.2.1 unter Fall 1 und Fall 2 subsummierten Normierungsfunktionen; anstelle der im Fall A berücksichtigten aufgebracht und eingelegten Flickstellen („alle Flickstellen“) sind im Fall B nur aufgebrachte Flickstellen angesetzt.
- Fall C mit einer Stadt weicht von Fall A nur in der Normierung der mittleren fiktiven Wassertiefe ab (Normierungsfunktion für Fall 2 statt Fall 1 aus Kapitel 3.2.1); wie im Fall B sind jedoch auch im Fall C nur aufgebrachte Flickstellen berücksichtigt.
- Fall D mit einer Stadt weicht von Fall A in Bezug auf die Normierung des Mittelwerts der Planografensimulation ab (Normierungsfunktion für Fall 2 statt Fall 1 aus Kapitel 3.2.1); zusätzlich berücksichtigt sind im Fall D geradlinige Risse und Ausmagerungen.

Für eine Stadt kamen ursprünglich andere, in Tabelle 15 nicht enthaltene Normierungsfaktoren zur Anwendung, die jedoch nachträglich so modifiziert wurden, dass sie den Funktionen der Fallgruppe A entsprechen.

Bei der Ermittlung von verknüpften Zustandswerten (Teilziel- bzw. Gesamtwert) können somit die vier Varianten der Fälle A bis D bei der Beschrei-

Zustandsgröße	Fall A (4 Städte)			Fall B (1 Stadt)			Fall C (1 Stadt)			Fall D (1 Stadt)		
	1,5-Wert	3,5-Wert	4,5-Wert	1,5-Wert	3,5-Wert	4,5-Wert	1,5-Wert	3,5-Wert	4,5-Wert	1,5-Wert	3,5-Wert	4,5-Wert
Planograf Max.-Wert PGR_MAX [mm]	4	12	16	4	16	25	4	12	16	4	16	25
Planograf Mittelwert PGR_AVG [mm]	1	2,5	3,5	1	3,5	5	1	2,5	3,5	1	3,5	5
Mittl. Spurrinntiefe MSPT [mm]	4	15	25	4	15	25	4	15	25	4	15	25
Mittlere Wassertiefe MSPH [mm]	0,1	4	6	2	8	12	2	8	12	0,1	4	6
unregelmäßige Risse RI_U [%]	1	15	25	1	15	25	1	15	25	1	15	25
geradlinige Risse RI_G [m]										1	5	10
Ausmagerung AMA [%]										1	25	40
alle Arten Flickstellen FLI [%]	1	15	25							1	15	25
aufgebrachte Flickst. FLI_A [%]				1	15	25	1	15	25			

**Tab. 15:** Festpunkte der Normierungsfunktionen für Asphaltdecken bei den bisher durchgeführten Bewertungen in den 7 Analysestädten

bung der Ausgangssituation unterschieden werden. Bei der Normierung der Einzelmerkmale reduziert sich die Variantenzahl auf die beiden in Kapitel 3.2.1 mit Fall 1 bzw. Fall 2 bezeichneten Optionen, und zwar nur für die Zustandsmerkmale:

- Ebenheit in Längsrichtung mit den Indikatoren Planograf-Maximalwert PGR\_MAX und Planograf-Mittelwert PGR\_AVG.
- Mittlere fiktive Wassertiefe MSPH.

Nur eine bestehende Normierung ist zu untersuchen für die Merkmale:

- mittlere Spurrinntiefe MSPT,
- unregelmäßige Risse RI\_U und
- Flickstellen (aufgebrachte und eingelassene bzw. nur aufgebrachte Flicker).

Da die Flickstellen-Auswertung für alle Städte getrennt nach aufgebrachten und eingelassenen Flickstellen erfolgte (s. Tabellen 2 und 3), kann in den Auswertungen in Kapitel 5 sowohl eine getrennte als auch eine summarische Bewertung erfolgen.

Die Verknüpfung der einzelnen Zustandswerte zum Gebrauchs- und Substanzwert bzw. zum Gesamt-

Verknüpfter Wert	Abkürzung	Gewicht	Zustandswerte
Gebrauchswert	TWGEB	50 %	Max(ZWPGR, ZWSPT)
		50 %	ZWSPH
Substanzwert	TWSUB	25 %	Max(ZWPGR, ZWSPT)
		50 %	ZWRI_U
		25 %	ZWFLI (aus FLI bzw. FLI_A, s. Tabelle 15)
Gesamtwert	GW		Max(TWGEB, TWSUB)
Durchschlagsregel: Städte A vollständige Anwendung/Städte B und C keine Anwendung			

**Tab. 16:** Randbedingungen der Wertsynthese – Asphaltstraßen, Fallgruppen A, B und C

wert erfolgte mit Hilfe der in Kapitel 3.2.2 angegebenen mathematischen Beziehungen. Tabelle 16 veranschaulicht die Gewichtungen der einzelnen Zustandsmerkmale für die Fallgruppen A, B und C. Dabei sind die folgenden Unterschiede zu beachten:

- Bei den vier Städten der Fallgruppe A sind alle Flickstellen, bei der jeweils einen Stadt der Fallgruppen B und C nur die aufgebrachten Flickstellen berücksichtigt.

Im Fall A wurde die Durchschlagsregel (vgl. Kapitel 3.2.2) vollständig angewendet, in den Fällen B und C blieb die Durchschlagsregel unberücksichtigt.

Verknüpfter Wert	Abkürzung	Gewicht	Zustandswerte
Gebrauchswert	TWGEB	50 %	Max(ZWPGR, ZWSPT)
		50 %	ZWSPH
Substanzwert	TWSUB	25 %	Max(ZWPGR, ZWSPT)
		50 %	ZWRI_U
		10 %	ZWRI_G
		15 %	ZWAMA
Gesamtwert	GW		Max(TWGEB, TWSUB)
Durchschlagsregel: Vollständige Anwendung beim Gebrauchswert, Anwendung nur für unregelmäßige Risse beim Substanzwert			

**Tab. 17:** Randbedingungen der Wertsynthese bei Asphaltstraßen für den Fall D

Die Ausgangssituation für Fall D ist durch die Berücksichtigung zusätzlicher Zustandsgrößen (geradlinige Risse und Ausmagerungen, s. Tabelle 15) deutlich anders als bei den Fallgruppen A bis C). Außerdem wurde die Durchschlagsregel in modifizierter Form angewendet. Tabelle 17 zeigt die Randbedingungen der Wertsynthese für Fall D.

### 3.3.2 Ausgangsverteilungen der Zustandsgrößen für Asphaltdecken

Für eine vergleichende Beurteilung der Ausgangssituation bei Anwendung der verschiedenen Bewertungsvarianten müssen zunächst eventuelle örtliche Besonderheiten in den Analysestädten aufgezeigt werden. Dies ist nur auf der Ebene der nach der Erfassung für die (10- oder 20-m-)Auswerteabschnitte ermittelten Zustandsgrößen bzw. -indikatoren möglich. Nachfolgend werden daher die Häufigkeitsverteilungen der Zustandsgrößen/-indikatoren für die Fahrbahnen mit Asphaltdecken vergleichend gegenüber gestellt, und zwar in

- Bild 20 für den Planograf-Mittelwert PGR\_AVG,
- Bild 21 für den Planograf-Maximalwert PGR\_MAX,
- Bild 22 für die mittlere Spurrinntiefe MSPT (Maximalwert aus mittlerer Spurrinntiefe rechts MSPTR und mittlerer Spurrinntiefe links MSPTL),
- Bild 23 für die maximale Spurrinntiefe SPT\_MAX (Maximalwert aus SPTR\_MAX und SPTL\_MAX),
- Bild 24 für die mittlere fiktive Wassertiefe MSPH (Maximalwert aus MSPHR und MSPHL),

- Bild 25 für die maximale fiktive Wassertiefe SPH\_MAX (Maximalwert aus SPHR\_MAX und SPHL\_MAX),
- Bild 26 für unregelmäßige Risse RI\_U,
- Bild 27 für geradlinige Risse RI\_G,
- Bild 28 für aufgebrachte und eingelassene Flickstellen FLI\_GES (Flickstellen insgesamt),
- Bild 29 nur für aufgebrachte FLI\_A,
- Bild 30 nur für eingelegte FLI\_E.

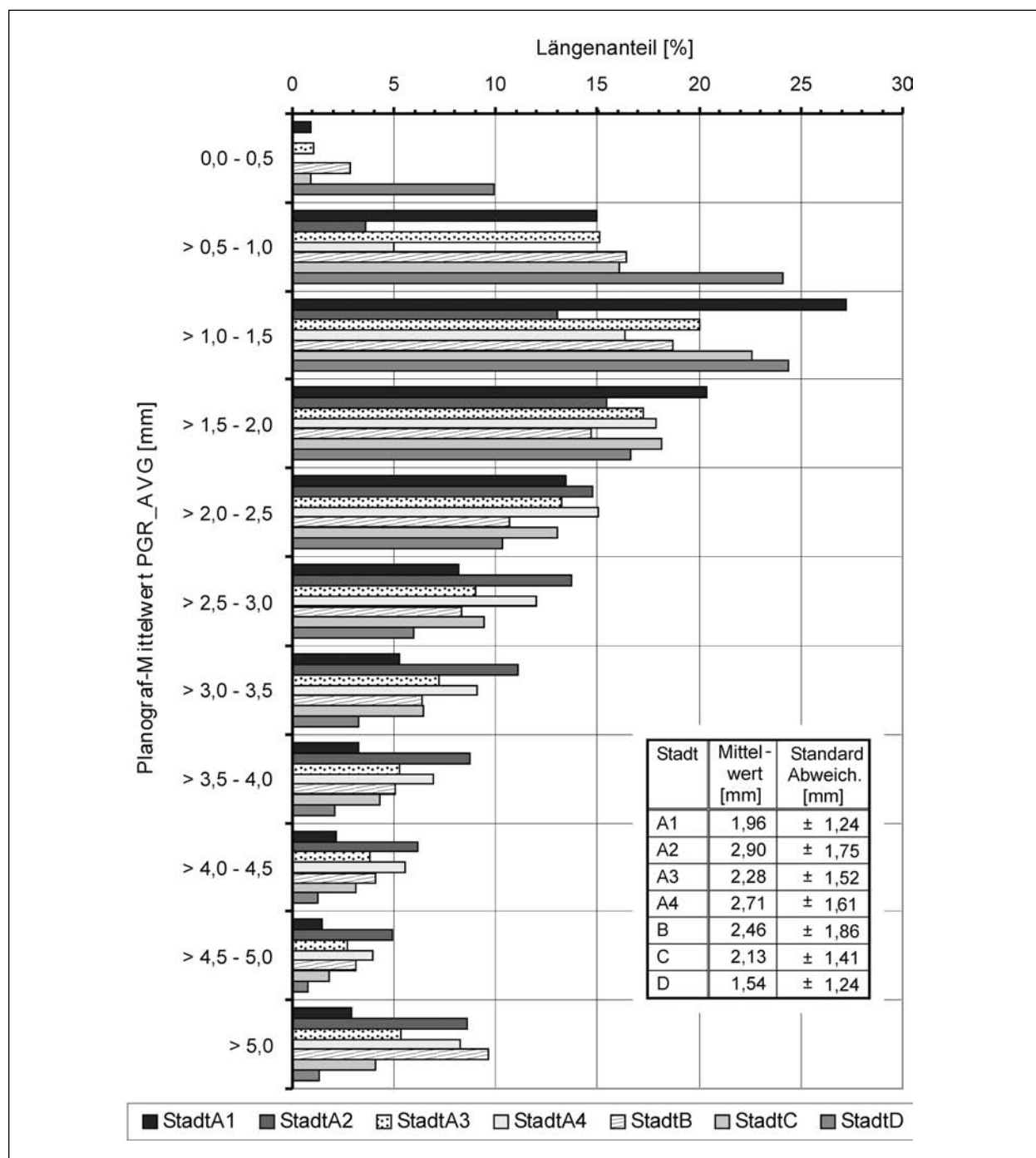
Dargestellt sind jeweils die Prozentanteile an der erfassten Gesamtlänge, und zwar für vorgegebene Klassen der Zustandsgrößen. Zur besseren Einschätzung sind zusätzlich die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Verteilungen angegeben. In den Bildern 20 bis 30 sind dabei für die nach den Bewertungsvarianten (A bis D, s. Tabelle 15) sortierten und benannten 7 Analysestädte berücksichtigt:

- Fahrbahnen mit Asphaltdecken,
- alle Funktionsklassen und
- alle Auswertelängen (10 bzw. 20 m; s. Tabelle 1).

Die Darstellungen vermitteln somit einen Überblick zur Gesamtsituation in Bezug auf die Zustandsgrößen von Asphaltdecken. Insgesamt wird ersichtlich, dass Stadt D für nahezu alle Zustandsgrößen Verteilungen mit den vergleichsweise größten Häufungen im guten Zustandsbereich und dementsprechend den geringsten Häufungen im schlechten Bereich aufweist. Für Stadt B ergeben sich mehrfach größere Häufungen im schlechten Zustandsbereich; zu beachten ist dabei jedoch, dass die Standardauswertelänge hier mit 10 m nur halb so groß ist wie bei den restlichen Städten (s. dazu Kapitel 5.1). Bei den restlichen Analysestädten ändern sich charakteristische Häufungen der Verteilungen von Zustandsgröße zu Zustandsgröße. Nachfolgend wird zusammenfassend auf die einzelnen Zustandsgrößen eingegangen.

#### A) Ebenheit im Längsprofil

Die Ergebnisse der Planografen-Simulation dienen als Ersatzgrößen für die bei Außerortsstraßen standardmäßig ausgewerteten Zustandsgrößen, d. h. für das Unebenheitsmaß AUN (s. Tabelle 8) und



**Bild 20:** Längenanteile für die Zustandsgrößen des Planografen-Mittelwerts PGR\_AVG der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

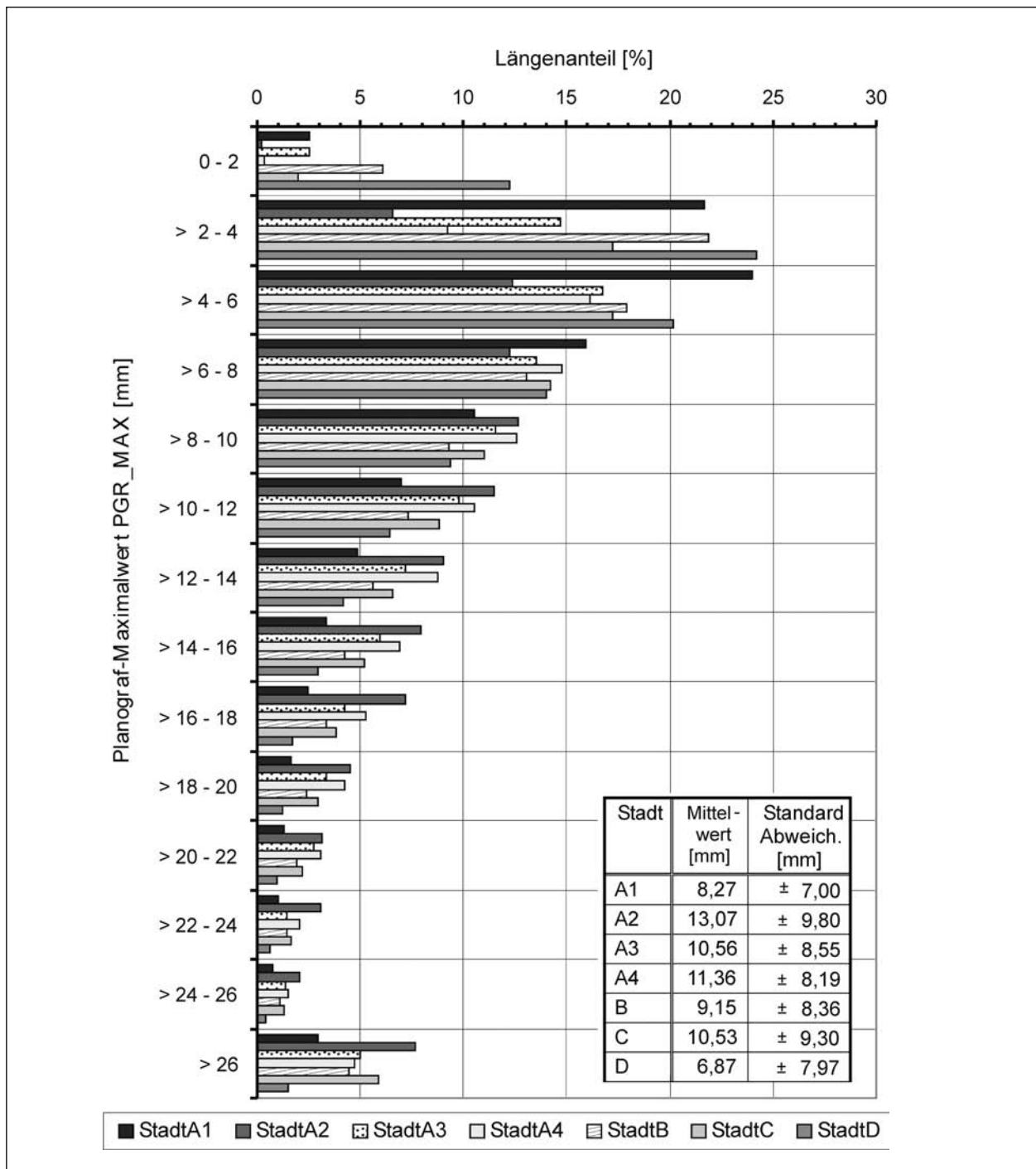
den bei der ZEB seit 2001 berechneten Längsunebenheitswirkindex LWI. Der AUN kann für Abschnittslängen unter 100 m nicht ermittelt werden, der LWI wird für Innerortsstraßen erstmals im Rahmen der vorliegenden Untersuchung analysiert (s. Kapitel 5.2). Der AUN dient zur Kennzeichnung vorwiegend regelloser Unebenheiten, der LWI soll die bei der Ermittlung des AUN weitgehend nivellierten Einzelhindernisse (z. B. Stufen) und periodi-

schen Unebenheiten erfassen. Assoziativ könnte somit der Planograf-Mittelwert PGR\_AVG als Ersatz für den AUN, der Planograf-Maximalwert PGR\_MAX als Ersatz für den LWI angesehen werden. Ähnlich wie beim AUN und LWI weichen die Wertebereiche für den PGR\_AVG und den PGR\_MAX deutlich voneinander ab. Während im Vergleich der 7 Analysestädte zwischen 90 % und 98 % der Mittelwerte PGR\_AVG unter 5 mm liegen

(Bild 20), verschiebt sich dieser Fraktilenbereich bei den Maximalwerten PGR\_MAX auf etwa 24 mm (Bild 21). Die Verteilungen der 7 Städte weichen zwar für einzelne Klassen der Mittel- bzw. Maximalwerte ab, die Verteilungstypen der Längenanteile sind jedoch im Grundsatz sehr ähnlich.

Bei der Bewertung des Planografen-Mittelwerts PGR\_AVG wurden bisher Schwellenwerte von

3,5 mm bzw. 5 mm angesetzt (s. Tabelle 15). Gemessen an den Mittelwerten der Häufigkeitsverteilungen in Bild 20, die zwischen ca. 1,5 mm und 3 mm liegen, und den Längenanteilen von ca. 6 % bis 28 % (Gesamtmittel aller Städte ca. 15 %), die einen Wert von PGR\_AVG = 3,5 mm übertreffen, kann diese Wahl als zu niedrig eingestuft werden. Bei einem Schwellenwert von PGR\_AVG = 5 mm ergeben sich Überschreitungen, die, gemessen

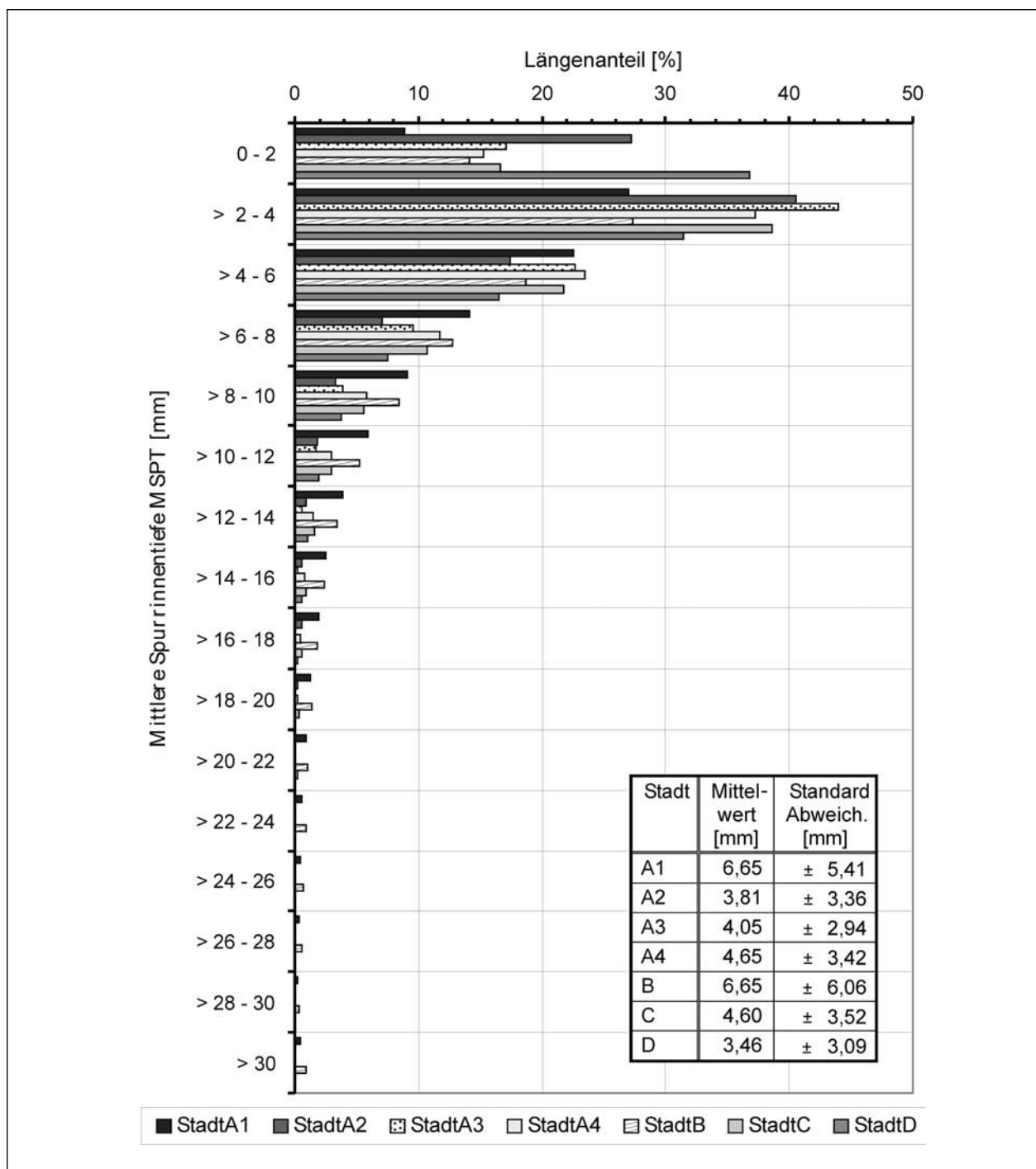


**Bild 21:** Längenanteile für die Zustandsgrößen des Planografen-Maximalwerts PGR\_MAX der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

an den erfassten Gesamtlängen der Fahrbahnen mit Asphaltdecken, zwischen ca. 1,5 % und 8,5 % schwanken (Gesamtmittel aller Städte ca. 5 %). Ein Schwellenwert für PGR\_AVG von 5 mm erscheint danach deutlich plausibler als ein Wert von 3,5 mm.

Die bisher bei Zustandsbewertungen angesetzten Schwellenwerte des Planografen-Maximalwerts

PGR\_MAX lagen bei 16 mm bzw. bei 25 mm (s. Tabelle 15). Die Mittelwerte der Häufigkeitsverteilungen in Bild 21, schwankend zwischen ca. 7 mm und 13 mm, und die Längenanteile von ca. 6,5 % bis 28 % (Gesamtmittel aller Städte 14,7 %) mit einem schlechteren Wert als PGR\_MAX = 16 mm lassen diesen Wert als zu niedrig erscheinen. Bei einem Schwellenwert von PGR\_MAX = 25 mm kommen Überschreitungen für ca. 1,5 % bis 7,5 %



**Bild 22:** Längenanteile für die Zustandsgrößen der mittleren Spurrinnentiefe MSPT der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)



der erfassten Fahrbahnlängen mit Asphaltdecken vor (Gesamtmittel aller Städte gut 4 %). Der Schwellenwert für PGR\_MAX sollte danach näher bei 25 mm als bei 16 mm liegen.

B) Spurrinntiefe

Die Verteilungen für die mittleren Spurrinntiefen MSPT rechtfertigen in keiner Weise die Dimen-

sionen, die in Expertengremien bei Diskussionen um die Größe des Schwellenwerts vorgeschlagen wurden und werden (50 mm und mehr). Bild 22 zeigt, dass die mittlere Spurrinntiefen MSPT im Durchschnitt für alle erfassten Asphaltfahrbahnen zwischen 3,5 und knapp 7 mm liegen. 10 mm werden in den ungünstigsten Fällen (Stadt A1, Stadt B) von ca. 19 % der erfassten Längen überschritten (Gesamtmittel aller Städ-

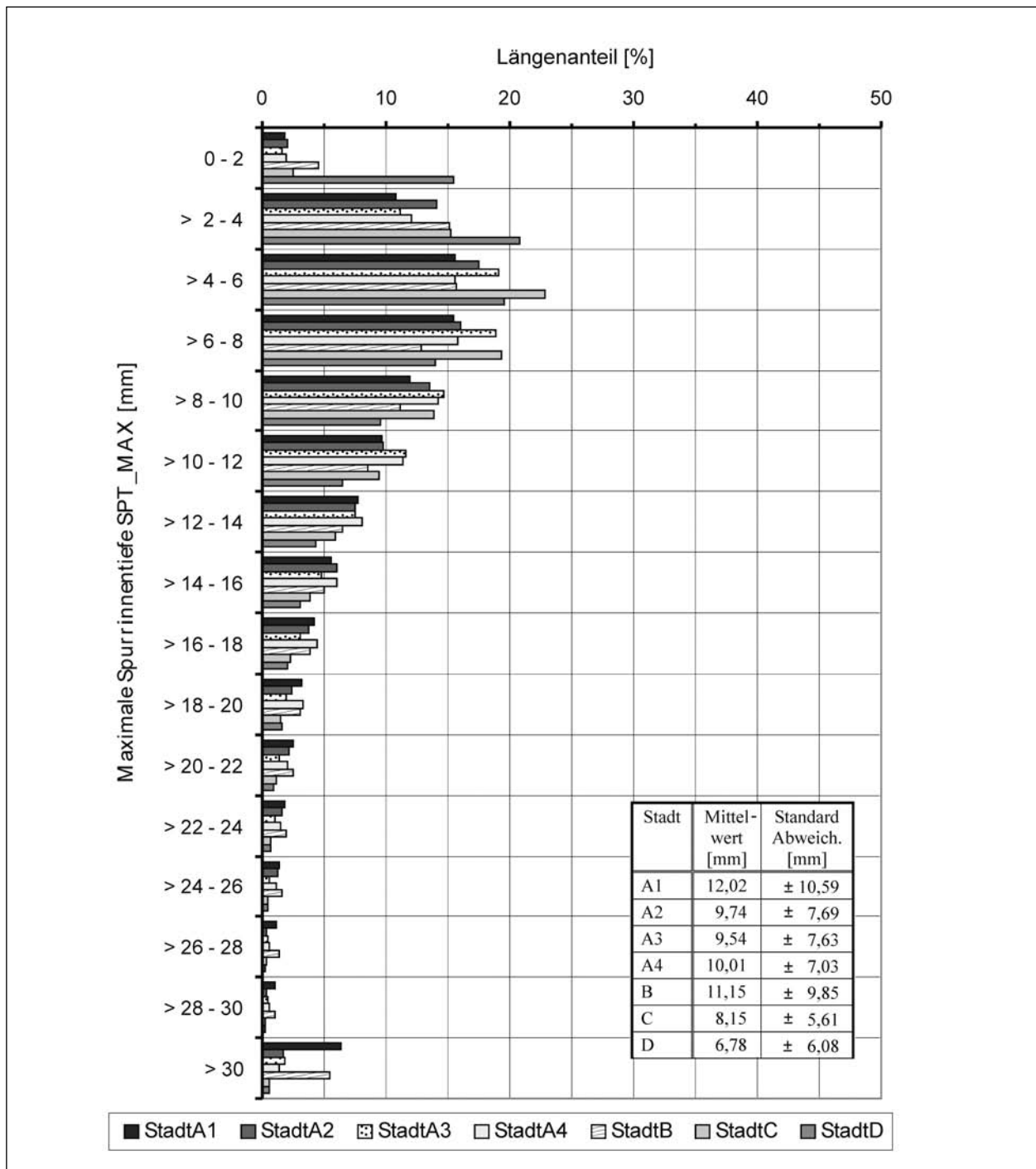
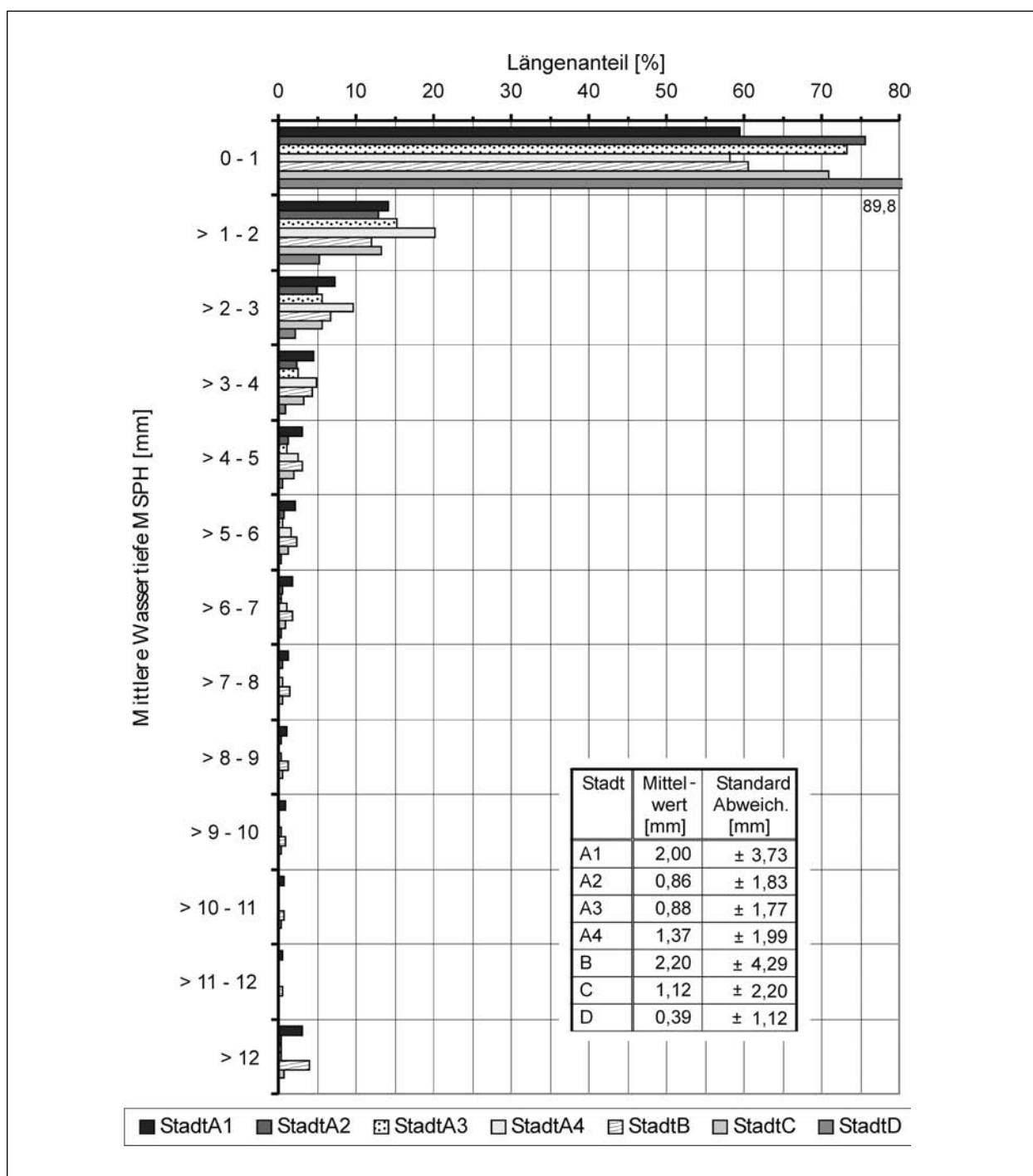


Bild 23: Längenanteile für die Zustandsgrößen der maximalen Spurrinntiefe SPT\_MAX der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

te 9,5 %). Mittlere Spurrinntiefen MSPT über 20 mm sind nur zu geringen Anteilen zu verzeichnen (maximal ca. 4,5 %, Gesamtmittel aller Städte 1,3 %).

Um eine Übersicht zu den Größenordnungen zu bekommen, sind in Bild 23 die Verteilungen der für die Auswerteabschnitte ermittelten (nicht bewertungsrelevanten) maximalen Spurrinntiefen

SPT\_MAX dargestellt. Die Mittelwerte der Häufigkeitsverteilungen, d. h. die Durchschnittswerte für SPT\_MAX bei Berücksichtigung aller Asphaltfahrbahnen, schwanken zwischen ca. 8 und 12 mm. Maximal ca. 14 % dieser Einzelwerte liegen über 20 mm (Gesamtmittel aller Städte ca. 7,5 %). Im Hinblick darauf, dass die maximalen Spurrinntiefen i. d. R. nur einmal pro Kapitel vorkommen, d. h. für eines der 20 (bzw. 10) Quer-



**Bild 24:** Längenanteile für die Zustandsgrößen der mittleren fiktiven Wassertiefe MSPH der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

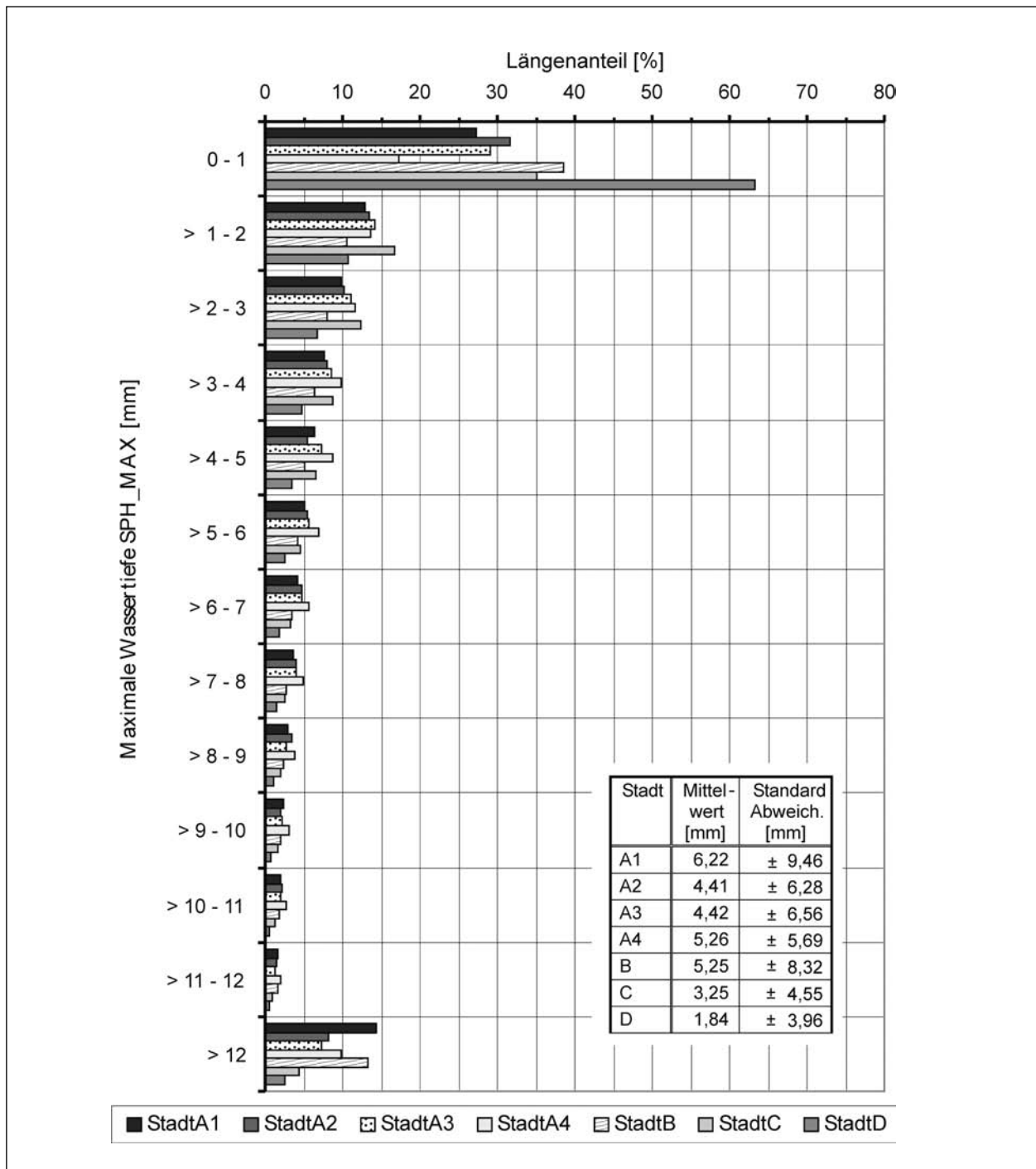
profile eines Auswerteabschnitts, und damit vielfach auch lokale Mulden kennzeichnen, erscheinen die Anteile über 30 mm, die nur für 2 Städte (A1 und B) knapp über 5 % liegen, insgesamt erstaunlich niedrig.

Gemessen an den in Bild 96 dargestellten Häufigkeitsverteilungen sollte der momentan einheitlich bei der Zustandsbewertung verwendete Schwell-

lenwert der mittleren Spurrinntiefe MSPT von 25 mm (s. Tabelle 15) eher mit 20 mm angesetzt werden.

C) Fiktive Wassertiefe

Die Fiktive Wassertiefe wird mit Hilfe der Spurrinntiefe und der erfassten Querneigung ermittelt. Die Häufigkeitsverteilungen für die mittleren

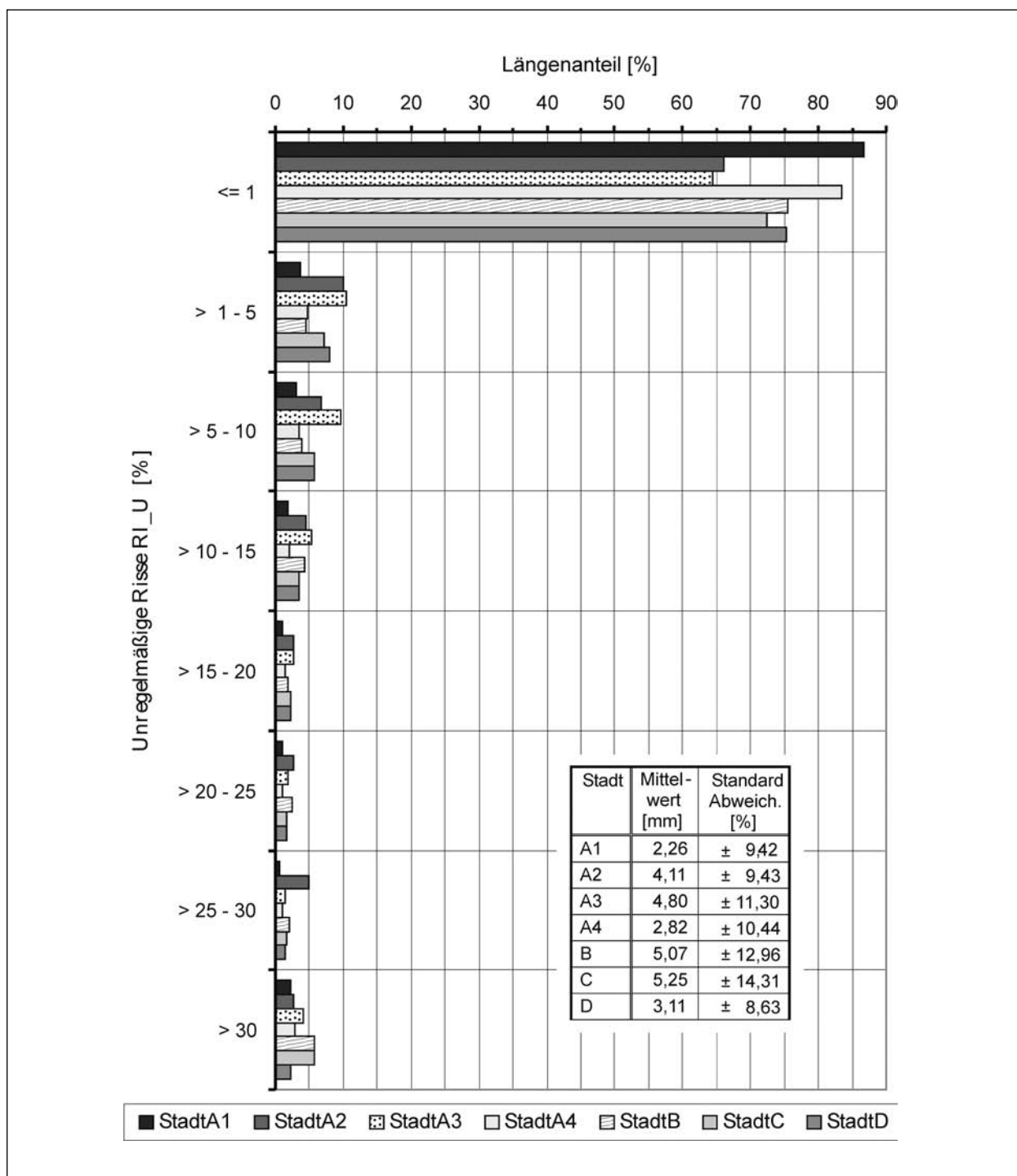


**Bild 25:** Längenanteile für die Zustandsgrößen der maximalen fiktiven Wassertiefe SPH\_MAX der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

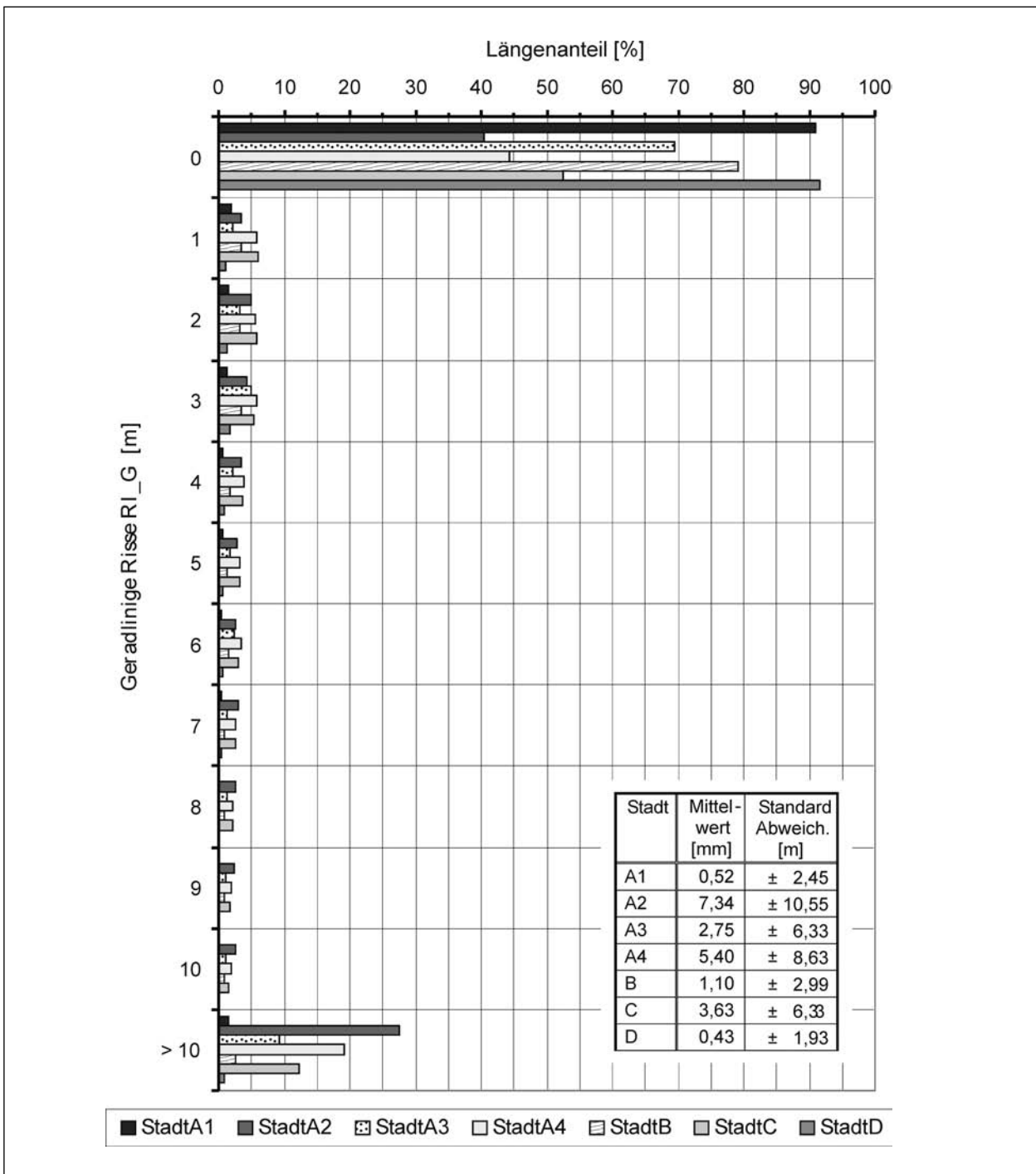
Wassertiefen MSPH sind in Bild 24 dargestellt. Die mittleren Wassertiefen MSPH aller Abschnitte liegen zwischen ca. 0,4 und 2,2 mm. Mittlere Wassertiefen MSPH über 6 mm sind maximal für ca. 11 % der erfassten Längen zu verzeichnen (Gesamtmittel aller Städte 4,8 %). Der teilweise gewählte Schwellenwert von MSPH = 12 mm (s. Tabelle 15) wird im ungünstigsten Fall (Stadt B)

nur für 4 % der Abschnittslängen überschritten (Gesamtmittel aller Städte 1,4 %). Nach Maßgabe der Häufigkeitsverteilungen erscheint der Schwellenwert von MSPH = 6 mm somit schlüssiger.

Bei den singulären (nicht bewertungsrelevanten) maximalen Wassertiefen SPH\_MAX ergeben sich



**Bild 26:** Längenanteile für die Zustandsgrößen der unregelmäßigen Risse RI\_U der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)



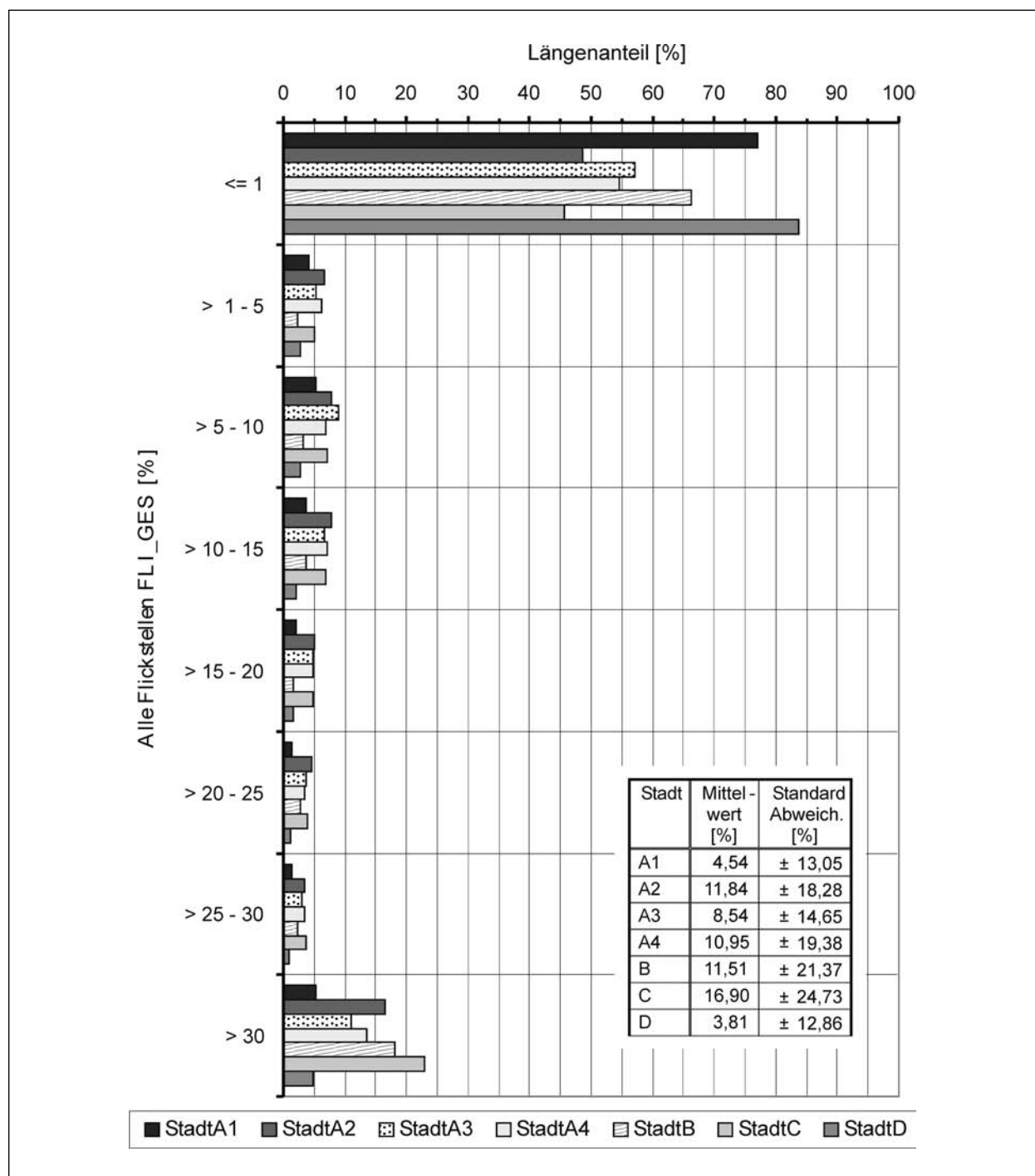
**Bild 27:** Längenanteile für die Zustandsgrößen der geradlinigen Risse RI\_G der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

Mittelwerte, die zwischen 1,8 und 6,2 mm schwanken (Bild 25). Diese Dimensionen stützen zusätzlich einen Schwellenwert von MSPH = 6 mm.

D) Risse

Bei der Auswertung der videoteknisch erfassten Risse ist unterschieden zwischen unregelmä-

ßig und geradlinig verlaufenden Rissen (s. dazu Kapitel 3.1.4). In Bild 26 sind die Häufigkeitsverteilungen der unregelmäßigen Risse RI\_U dargestellt, die als von Rissen betroffene Prozentanteile der gesamten Abschnittsfläche ausgewertet werden (mit vergessenen Rissen). Die durchschnittlichen Anteile der von unregelmäßigen Rissen betroffenen Flächen liegen danach

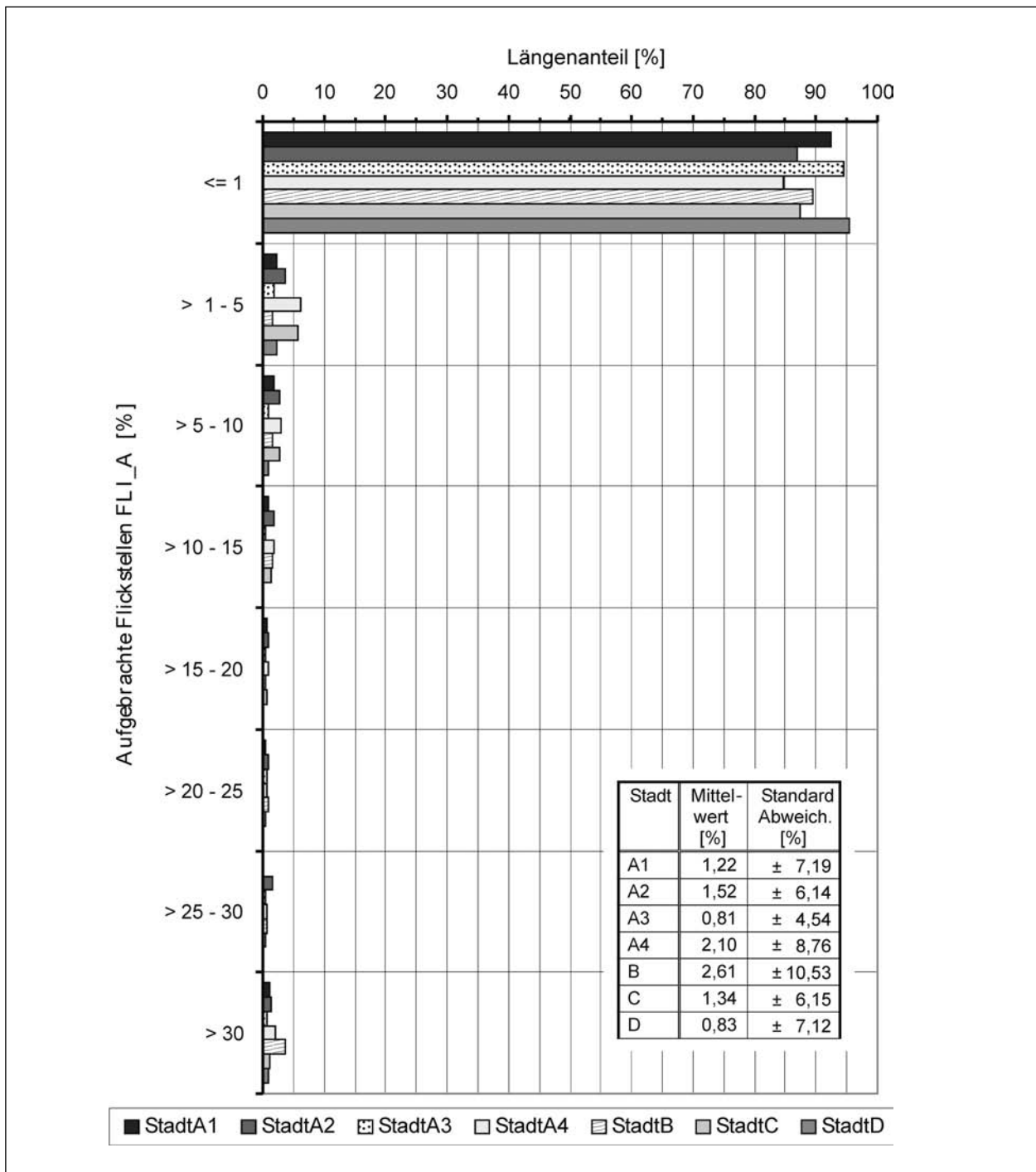


**Bild 28:** Längenanteile für die Zustandsgrößen der Flickstellen insgesamt FLI\_GES der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

bei nur ca. 2 % bis 5 %. Dieser geringe Durchschnittswert ist u. a. darauf zurückzuführen, dass, bezogen auf die erfassten Längen, für Anteile zwischen ca. 65 % und 95 % der Asphaltdecken, d. h. einen relativ großen Schwankungsbereich, so gut wie keine ( $\leq 1$  %) unregelmäßigen Risse registriert wurden. Die Anteile über dem bei der Bewertung von RI\_U einheitlich angenom-

menen Schwellenwert von 25 % (s. Tabelle 15) liegen zwischen ca. 3 % und 7,5 % der Gesamtlänge. Die beobachteten Häufigkeiten bestätigen somit in etwa die Lage des Schwellenwerts für RI\_U.

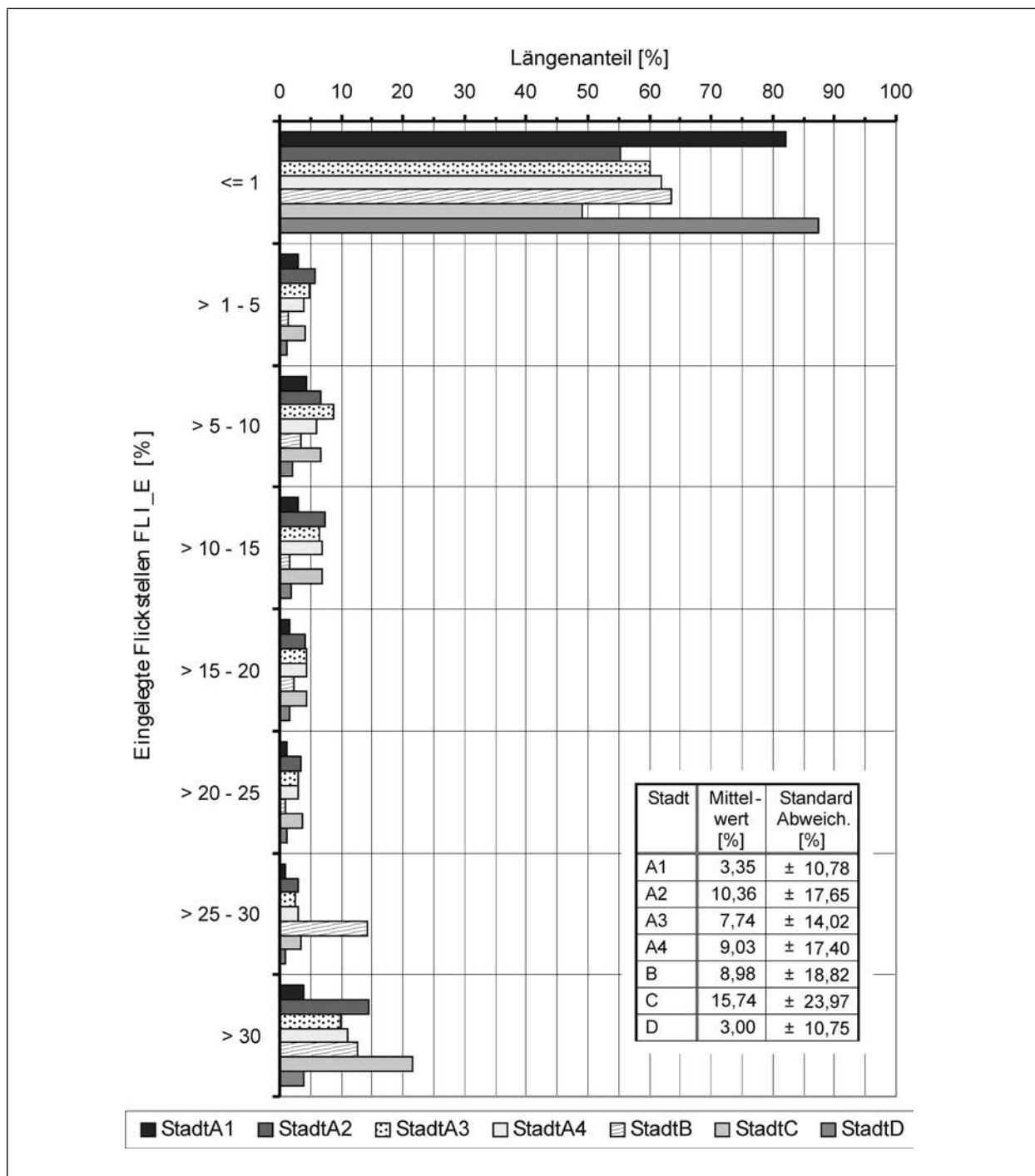
Bei den geradlinigen Rissen RI\_G werden nur offene Risse (und offene Nähte) berücksichtigt



**Bild 29:** Längenanteile für die Zustandsgrößen der aufgetragenen Flickstellen FLI\_A der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

und hinsichtlich ihrer Länge ausgewertet. Wie Bild 27 zeigt, liegen die durchschnittlichen Längen der geradlinigen Risse RI\_G für die Asphaltfahrbahnen der berücksichtigten Analysestädte zwischen ca. 0,5 m und 5 m. Diese relativ große Spanne findet ihre Entsprechung in den sehr stark schwankenden Anteilen ohne geradlinige Risse (0 m). Bezogen auf die Gesamtlängen weisen danach

zwischen ca. 40 % und 90 % aller Asphaltdecken keine derartigen Risse auf (s. Bild 27). Eine Risslänge RI\_G > 10 m ergibt sich dementsprechend für Längenanteile zwischen ca. 1 % und 27,5 %. Diese im Vergleich zu den restlichen Zustandsgrößen enorm streuenden Anteile deuten möglicherweise darauf hin, dass die Auswertung nicht einheitlich erfolgte. Geradlinige Risse wurden dem-



**Bild 30:** Längenanteile für die Zustandsgrößen der eingelegten Flickstellen FLI\_E der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

entsprechend nur in einer Analysestadt in die Bewertung einbezogen (Stadt D, s. Tabelle 15). Der angesetzte Schwellenwert von RI\_G = 10 m erscheint, gemessen an den Häufigkeitsverteilungen, zu hoch.

#### E) Flickstellen

Bei der Auswertung von Flickstellen werden die betroffenen Prozentanteile an der gesamten Ab-

schnittsfläche nach aufgebrauchten und eingelegten Flecken unterschieden (s. dazu Kapitel 3.1.4). Bisher wurden, bei einem einheitlichen Schwellenwert von 25 %, entweder nur aufgebrauchte Flickstellen oder aber alle Flickstellen, d. h. die Summe der aufgebrauchten und eingelegten Flickstellen, berücksichtigt (s. Tabelle 15). Bild 28 zeigt die Häufigkeitsverteilungen Flickstellen insgesamt FLI\_GES. Die Mittelwerte der Verteilungen für FLI\_GES liegen zwischen ca. 4 % und



17 %, wesentlich mitverursacht durch die starke Streuung der Anteile ohne oder fast ohne ( $\leq 1$  %) Flickstellen, die bei den betrachteten Städten zwischen ca. 45 % und knapp 85 % schwanken. Der angesetzte Schwellenwert von  $FLI\_GES = 25$  % wird für ca. 6 % bis 27 % der Längenanteile überschritten (Gesamtmittel aller Städte ca. 16 %), ist also aus Sicht der Häufigkeitsverteilungen eher zu niedrig als zu hoch. Aufgebrachte Flickstellen  $FLI\_A$  sind verhältnismäßig selten. Wie Bild 29 zeigt, kommen, bezogen auf die erfassten Längen, für Anteile zwischen ca. 85 % und 95 % der Asphaltdecken so gut wie keine ( $\leq 1$  %) aufgebrachten Flickstellen vor. Die Mittelwerte der Häufigkeitsverteilungen, d. h. die durchschnittlichen Anteile aufgebrachter Flickstellen  $FLI\_A$ , liegen dementsprechend zwischen ca. 1 und 2 % betroffene Flächen. Der Schwellenwert von  $FLI\_A = 25$  % wird nur auf ca. 1 bis 4 % der Längen überschritten (Gesamtmittel aller Städte ca. 2 %). Nach Maßgabe der beobachteten Häufigkeiten ist dieser Schwellenwert eindeutig zu hoch, wenn nur aufgebrachte Flickstellen in die Bewertung einbezogen werden.

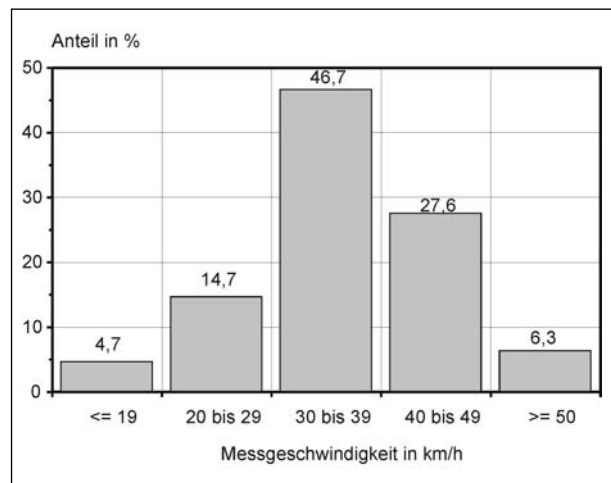
Eingelegte Flickstellen  $FLI\_E$  wurden bisher nicht separat bei Zustandsbewertungen berücksichtigt (s. Tabelle 15). Aufgrund der geringen Häufigkeit aufgebrachter Flickstellen zeigen die in Bild 30 veranschaulichten Verteilungen eine ähnliche Tendenz wie der Verteilungen der Flickstellen insgesamt. Die durchschnittlich von eingelegten Flickstellen betroffenen Flächenanteile liegen zwischen 3 % und gut 15 %. Ohne oder fast ohne ( $\leq 1$  %) eingelegte Flickstellen sind zwischen ca. 50 % und 87 % der erfassten Fahrbahnlängen mit Asphaltdecken. Ein Flächenanteil von 25 % eingelegter Flickstellen wird für 5 % bis 27 % der Gesamtlängen überschritten (Gesamtmittel aller Städte ca. 15 %). Ein entsprechender Schwellenwert für  $FLI\_E$  wäre danach eher zu niedrig.

Die Griffigkeit der Fahrbahnen wurde lediglich in Stadt D erfasst. Die Erfassung erfolgte probeweise für ausgewählte Abschnitte. Insgesamt liegen lediglich Zustandsgrößen der Griffigkeit für 13,4 km vor.

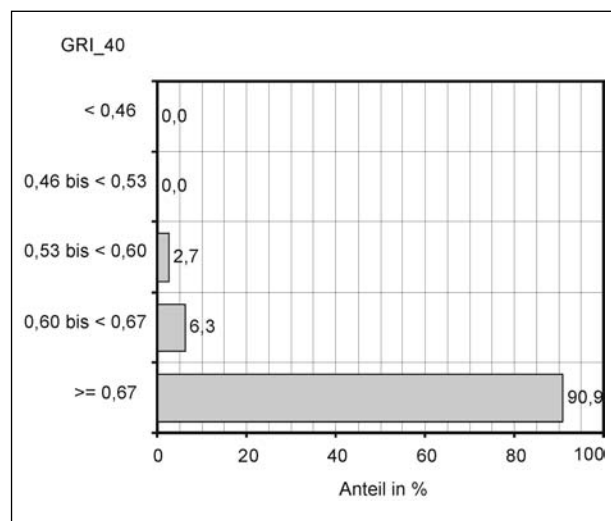
Die gemessenen Seitenreibungsbeiwerte der Griffigkeitsmessungen werden rechnerisch in Bezug zu der erfassten und in der Ergebnisdtaei aufgezeichneten Messgeschwindigkeit gesetzt (s. dazu Tabelle 2). Für Innerortsstraßen liegt

die Soll-Messgeschwindigkeit bei 40 km/h. Die Umrechnung ist bis zu einer Abweichung von  $\pm 10$  km/h zulässig. Bild 31 zeigt die Verteilung der Messgeschwindigkeiten auf Basis der erfassten 13,4 km. Es wird ersichtlich, dass der zulässige Geschwindigkeitsbereich auf 74,3 % der Messlänge eingehalten wurde. Auf den restlichen Strecken (25,7 %) ergaben sich Abweichungen von mehr als  $\pm 10$  km/h; die Zustandsgrößen der Griffigkeit  $GRI\_40$  müssten dementsprechend für diese Strecken gekennzeichnet und ausgesondert werden.

Bild 32 zeigt die Anteile der erfassten Zustandsgrößen der Griffigkeit  $GRI\_40$  für die gesamten 13,4 km, d. h. einschließlich der mit zu geringer



**Bild 31:** Verteilung der Messgeschwindigkeiten bei der Erfassung der Zustandsgröße der Griffigkeit  $GRI\_40$  (Basis 13,4 km)



**Bild 32:** Verteilung der Zustandsgrößen  $GRI\_40$  (Basis 13,4 km)

oder zu großer Messgeschwindigkeit erfassten Messwerte. Die Skalierung der Zustandsgröße GRI\_40 ist dabei angelehnt an die Bewertung (s. Bild 15). Es wird deutlich, dass über 90 % der Zustandsgröße GRI\_40 größer oder gleich 0,67 sind (Zustandswert 1,5, d. h. sehr gute Griffigkeit). Zustandsgrößen GRI\_40, die einen schlechten (0,53, Note 3,5) oder sehr schlechten (0,46, Note 4,5) Zustand kennzeichnen, wurden nicht ermittelt.

Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass die hier aufgrund der Datenlage nur für 13,4 km ausgewiesenen Ergebnis in keiner Weise als repräsentativ einzustufen sind.

### 3.3.3 Ausgangsverteilungen der Zustandsgrößen für Pflasterdecken

Asphalt- und Pflasterdecken können als unterschiedliche Funktionsklassen im Hinblick auf die Bauweise angesehen werden. Fahrbahnen mit Pflasterdecken wurden in den 7 Analysestädten in relativ geringem Umfang erfasst (ca. 135 km, Asphaltfahrbahnen ca. 2.860 km, vgl. Tabelle 1). Da fast die Hälfte der Plasterstrecken in nur einer Stadt erfasst wurde und für die meisten anderen Städte keine repräsentativen Längen vorhanden sind, ist es unzweckmäßig, eine nach Analysestädten getrennte Auswertung vorzunehmen. Sinnvoller erscheint ein Vergleich aller erfassten Pflasterfahrbahnen mit den Asphaltfahrbahnen.

Tabelle 18 zeigt die über alle 7 Analysestädte gemittelten Zustandsgrößen der Asphalt- und Pflasterdecken für vergleichbare Indikatoren, d. h. ohne die bei Pflasterdecken nicht vorkommenden Risse. Ergänzend dazu sind in den Bildern 33 bis 35 für die in erster Linie interessierenden Zustandsindikatoren der Längs- und Querebenheit und der Wassertiefe die Häufigkeitsverteilungen (Längenanteile) dargestellt, und zwar in der in Kapitel 3.3.2 für die Asphaltdecken gewählten Klasseneinteilung. Es wird deutlich:

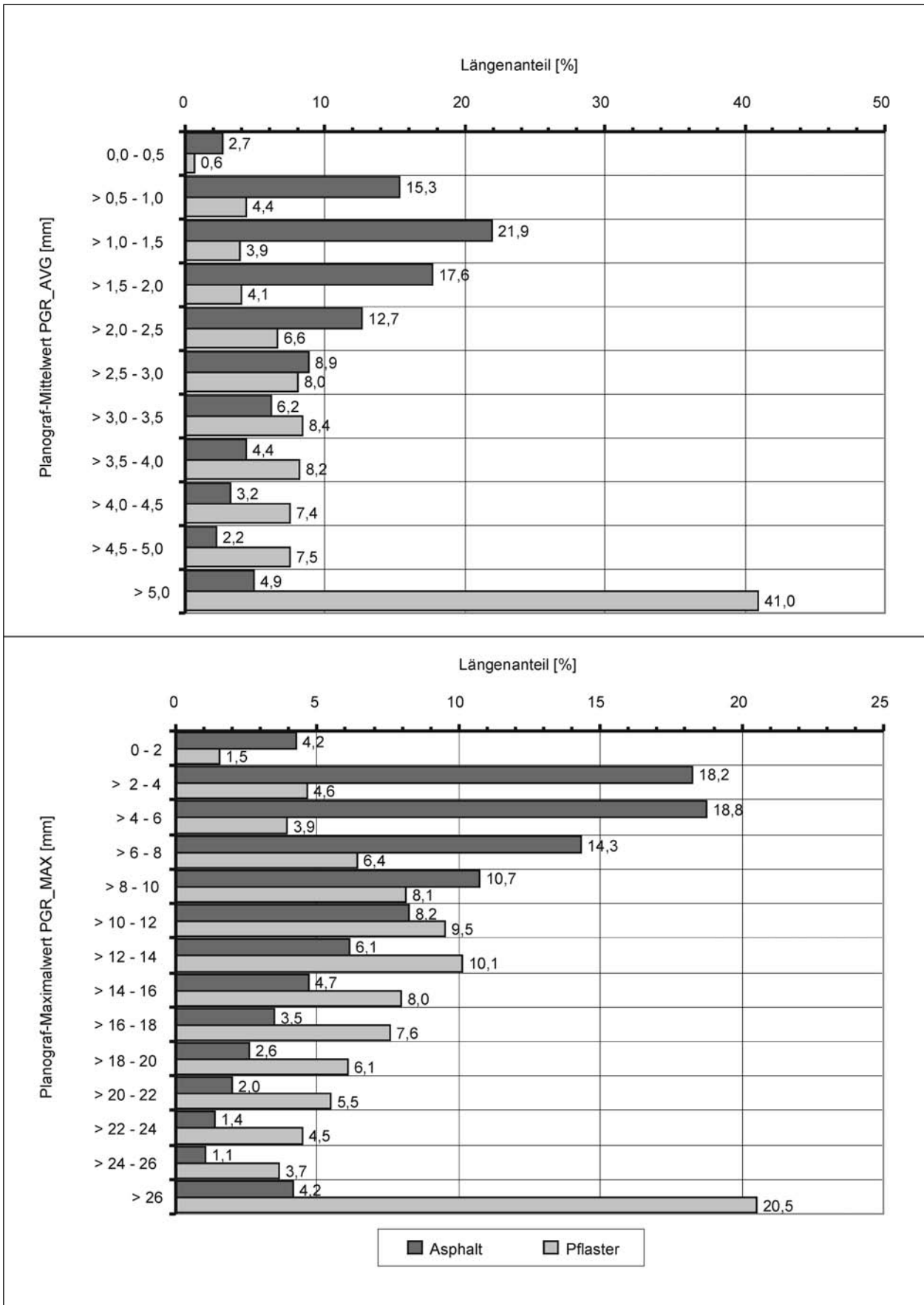
- Die Mittelwerte der für die Beschreibung der Längsebenheit herangezogenen Indikatoren, d. h. des Planografen-Mittelwerts PGR\_AVG und des Planografen-Maximalwerts PGR\_MAX, sind bei den Pflasterdecken gut doppelt so groß wie bei den Asphaltdecken. In den in Bild 33 dargestellten Verteilungen wird diese Verschiebung der Pflasterdecken in Richtung

schlechterer Zustandsgrößen im Detail sichtbar. Für die nach oben offene Klasse mit Werten 5 mm ergeben sich im Vergleich zu Asphalt bei den Pflasterdecken für PGR\_AVG ca. die 8fachen, bei PGR\_MAX ca. die 5fachen Anteile. Die Abweichungen bestätigen zunächst die Schlüssigkeit der Erfassung bzw. der Auswertung, da Pflasterdecken allein bauweisebedingt eine schlechtere Ebenheit aufweisen als Asphaltdecken. Auf die Sinnhaftigkeit einer einheitlichen Bewertung der Längsebenheit von Asphalt- und Pflasterdecken wird an anderer Stelle eingegangen (s. Kapitel 5.2 und Kapitel 5.3); zu bedenken dabei ist, dass Pflaster vielfach eine erwünschte Bauweise ist, die in Bezug auf Erhaltung nicht in direkter Konkurrenz zu Asphalt gesehen werden kann.

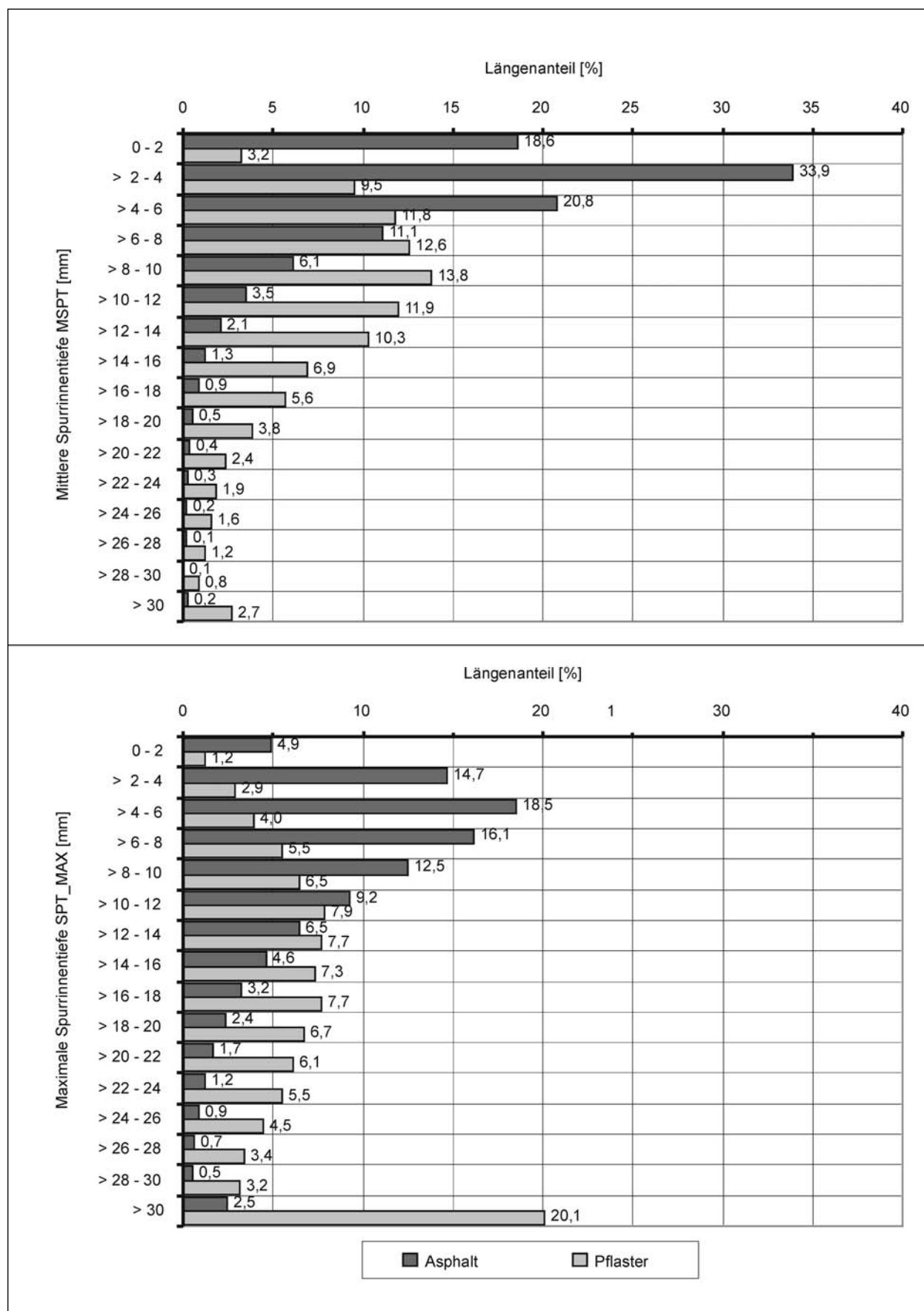
- Auch die Mittelwerte der mittleren Spurrinnentiefe MSPT und der maximalen Spurrinnentiefe SPT\_MAX sind bei Pflasterdecken ungefähr doppelt so groß wie bei Asphaltdecken. Bild 34 zeigt, dass bei Pflasterdecken im Vergleich zu Asphalt weit mehr als die zehnfachen Anteile auf die offene Klasse mit mehr als 30 mm entfallen. Beim bisherigen Bewertungsansatz ist dieser Abweichung insoweit Rechnung getragen, als der Schwellenwert für Pflaster mit 30 mm über dem Wert für Asphalt (25 mm, Tabelle 15) liegt; nach

Zustandsgröße	Dimension	Mittlere Zustandsgrößen für 7 Analysestädte	
		Asphaltdecken	Pflasterdecken
Planograf-Mittelwert PGR_AVG	[mm]	2,15	4,75
Planograf-Maximalwert PGR_MAX	[mm]	9,46	18,03
Mittlere Spurrinnentiefe MSPT	[mm]	4,98	11,14
Maximale Spurrinnentiefe SPT_MAX	[mm]	9,39	20,42
Mittlere Wassertiefe MSPH	[mm]	1,30	6,52
Maximale Wassertiefe SPH_MAX	[mm]	4,20	14,83
Alle Arten Flickstellen FLI	[%]	10,02	5,51

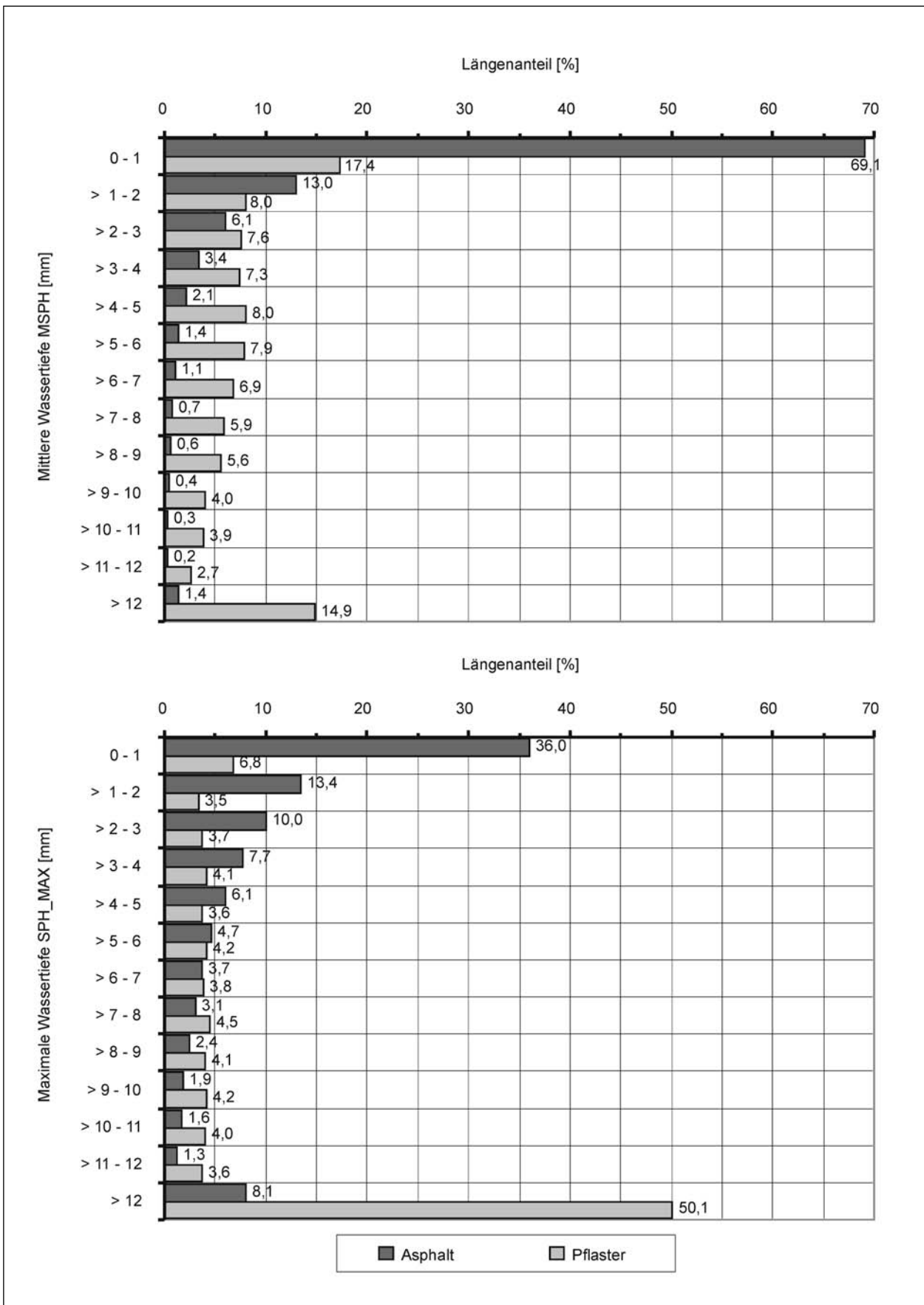
Tab. 18: Mittlere Zustandsgrößen für die Asphaltfahrbahnen und die Pflasterfahrbahnen der 7 Analysestädte



**Bild 33:** Vergleich der Längenanteile für den Planografen-Mittelwert PGR\_AVG und den Planografen-Maximalwert PGR\_MAX für Asphaltdecken und Pflasterdecken



**Bild 34:** Vergleich der Längenanteile für die mittleren Spurrinnentiefen MSPT und die maximalen Spurrinnentiefen SPT\_MAX für Asphaltdecken und Pflasterdecken



**Bild 35:** Vergleich der Längenanteile für die mittleren Wassertiefen MSPH und die maximalen Wassertiefen SPH\_MAX für Asphaltdecken und Pflasterdecken

Bild 34 erscheint sogar ein noch höherer Wert angebracht. Allerdings ist die grundsätzliche Frage zu stellen, inwieweit bei Pflasterdecken tatsächlich Spurrinnen erfasst werden und welchen Einfluss dabei die Pflasterfugen haben. Mit den hier verfügbaren Daten der (bereits aggregierten) mittleren Spurrinnentiefe MSPT und der maximalen Spurrinnentiefe SPT\_MAX ist diese Frage nicht definitiv zu beantworten; dazu wäre ein Rückgriff auf die einzelnen Querprofile der Rohdaten erforderlich. Anzumerken ist jedoch, dass sich im Vergleich von Asphalt und Pflaster für die Querebenheit ähnliche Proportionen ergeben wie für die, zu wesentlichen Anteilen aus der Bauweise resultierenden, Abweichungen in der Längsebenheit.

- Ein weiteres Indiz für die ggf. noch zu überprüfende Erfassung bzw. Auswertung der Querebenheit sind die Abweichungen zu den Asphaltdecken bei der Fiktiven Wassertiefe, die aus den Querprofilen und der gemessenen Querneigung ermittelt wird. Im Durchschnitt ergeben sich bei Pflaster für die mittlere Wassertiefe MSPH in etwa die 5fachen, für die maximale Wassertiefe SPH\_MAX knapp die 4fachen Werte wie bei Asphalt. Bild 35 zeigt, dass, bezogen auf die Längen, knapp 15 % der Pflasterdecken mittlere Wassertiefen MSPH über 12 mm, dem Schwellenwert bei der Bewertung von MSPH bei Asphaltdecken, aufweisen; beim nicht bewertungsrelevanten SPH\_MAX liegen sogar ca. 50 % über 12 mm. Beim bisherigen Bewertungsansatz wurde dementsprechend ein Schwellenwert von 20 mm angenommen. Ähnlich wie bei der Spurrinnentiefe ist allerdings auch bei der Wassertiefe die Art der Erfassung bzw. Auswertung zu hinterfragen. Nach den vorliegenden Erfahrungen bestehen bei Pflasterdecken weit geringere Probleme mit einem durch die fiktive Wassertiefe repräsentierten Wasserrückhalt als bei den ungleich dichteren Asphaltdecken.

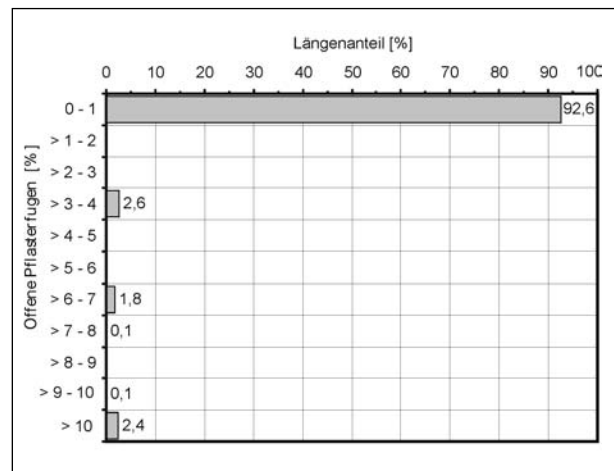
Die aus Tabelle 18 ersichtlichen Abweichungen bei den Flickstellen FLI, wonach die von Flickstellen betroffenen Flächenanteile bei Pflasterdecken im Gesamtdurchschnitt nur ca. halb so groß sind wie bei Asphaltdecken, sind sicherlich dadurch mit bedingt, dass bituminöse Flickstellen bei Pflasterdecken in weit höherem

Maße als Provisorien anzusehen als wie bei den Asphaltdecken. Eine Unterscheidung zwischen aufgetragenen und eingelegten Flickstellen erscheint für Pflaster wenig sinnvoll.

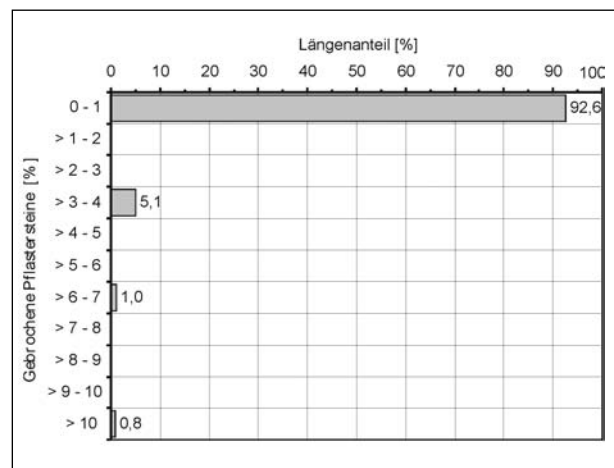
Die Bilder 36 und 37 veranschaulichen die Längsanteile von Zustandsklassen für die spezifisch für Pflasterdecken erfassten Merkmale. Dabei handelt es sich um

- „offene Pflaster-/Plattenfugen“ (mangelnder Verbund, Bild 36) und
- „Bruch“ von Pflastersteinen/Platten (Bild 37).

Für beide Merkmale wurden, bezogen auf die Gesamtlängen, für gut 92 % der Abschnitte keine oder fast keine Schäden (0 bis 1 % betroffener Flächenanteil) registriert. Von Schäden betroffene Flächenanteile über 10 % sind sehr selten (offene



**Bild 36:** Längsanteile für offene Pflasterfugen (mangelnder Verbund von Pflasterdecken)



**Bild 37:** Längsanteile für gebrochene Pflastersteine (Bruch von Pflaster)

Pflasterfugen 2,4 %, Bruch 0,8 %). Für beide Merkmale sind nur bestimmte Zustandsklassen belegt. Da sich die belegten Klassen nicht unterscheiden, ist davon auszugehen, dass durch das Auswertegeraster für die Rohdaten nicht alle möglichen Zahlenbereiche abgedeckt werden und, bei einer entsprechend feinen Klasseneinteilung, diskrete Verteilungen zu erwarten sind.

Insgesamt ist darauf hinzuweisen, dass

- im Analysedatenmaterial nur wenig Pflasterdecken enthalten sind und
- mehr als die Hälfte der vorhandenen Datensätze für Pflaster aus einer Stadt mit (vermutlich) hohen Anteilen an alten Beständen stammt.

Analyseergebnisse für Pflasterdecken sind somit nur begrenzt repräsentativ und allenfalls in Relation zu den Ergebnissen für Asphaltdecken verwertbar.

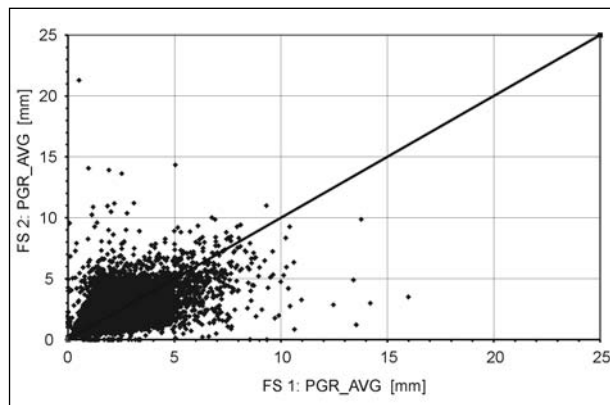
### 3.3.4 Zustandsgrößen für Fahrstreifen

Der Frage, inwieweit die Zustandsgrößen nebeneinanderliegender Fahrstreifen voneinander abweichen, konnte auf der Grundlage der fahstreifenbezogenen Erfassung in einer Analysestadt (A1) nachgegangen werden. Dazu standen für 9.957 Abschnitte die Zustandsgrößen des Fahrstreifens 1 und des Fahrstreifens 2 zur Verfügung.

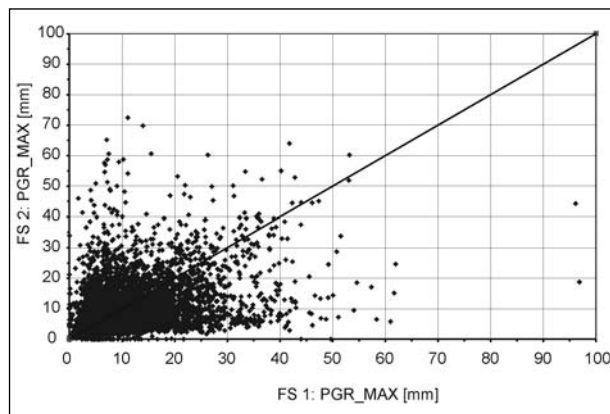
Die Ergebnisse des Vergleichs der Zustandsgrößen nebeneinanderliegender Fahrstreifen sind dargestellt in

- Bild 38 für den Planografen-Mittelwert PGR\_AVG und in Bild 39 für den Planografen-Maximalwert PGR\_MAX,
- Bild 40 für die mittlere Spurrinnentiefe MSPT und Bild 41 für die maximale Spurrinnentiefe SPT\_MAX,
- Bild 42 für die mittlere Fiktive Wassertiefe MSPH und Bild 43 für die maximale Fiktive Wassertiefe SPH\_MAX,
- Bild 44 für die unregelmäßigen Risse RI\_U,
- Bild 45 für die eingelegten Flickstellen FLI\_E.

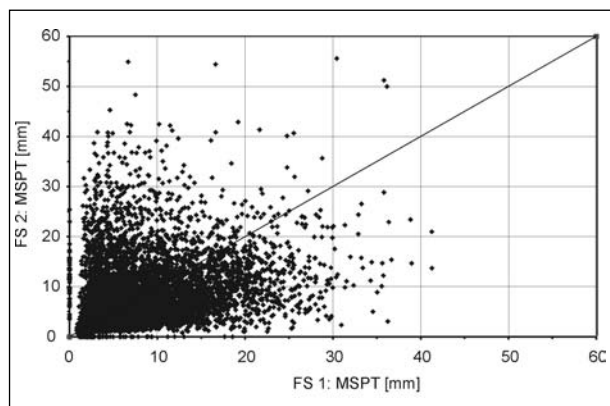
Die übereinstimmenden Zustandsgrößen der beiden Fahrstreifen liegen in den Darstellungen auf



**Bild 38:** Vergleich der Planografen-Mittelwerte PGR\_AVG für den ersten und den zweiten Fahrstreifen (Stadt A1)

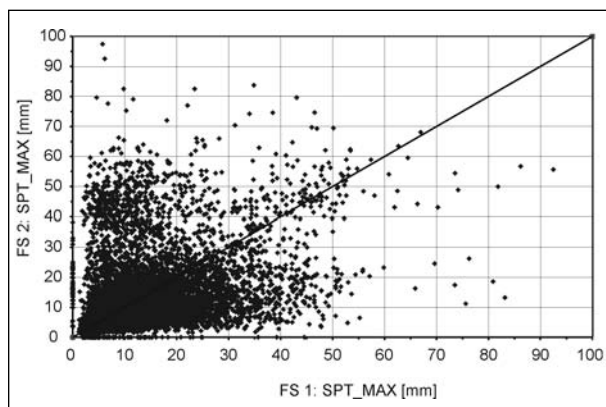


**Bild 39:** Vergleich der Planografen-Maximalwerte PGR\_MAX für den ersten und den zweiten Fahrstreifen (Stadt A1)

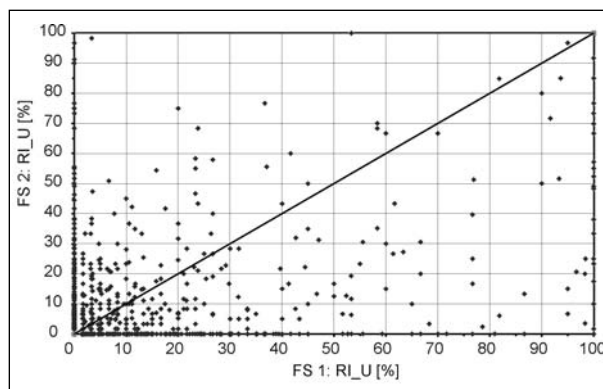


**Bild 40:** Vergleich der mittleren Spurrinnentiefen MSPT für den ersten und den zweiten Fahrstreifen (Stadt A1)

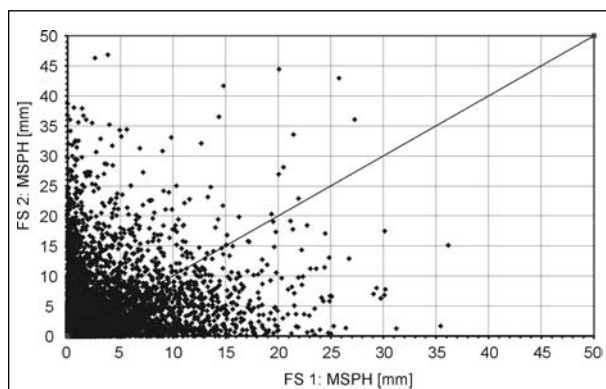
den eingetragenen Diagonalen. Es wird deutlich, dass die Zustandsgrößen der Fahrstreifen überwiegend deutlich voneinander abweichen. Während bei der Längsebeneheit (Planograf, Bilder 38 und 39) ein schwacher tendenzieller Zusammenhang erkennbar wird, ergeben sich bei den restlichen Indikatoren Streuungen, die keinerlei Tendenz erkennen lassen.



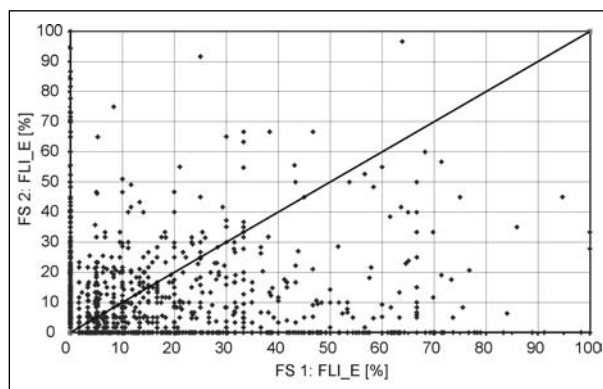
**Bild 41:** Vergleich der maximalen Spurrinntiefen SPT\_MAX für den ersten und den zweiten Fahrstreifen (Stadt A1)



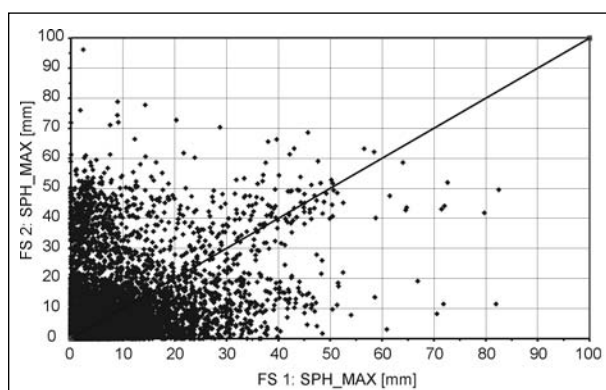
**Bild 44:** Vergleich der unregelmäßigen Risse RI\_U für den ersten und den zweiten Fahrstreifen (Stadt A1)



**Bild 42:** Vergleich der mittleren Fiktiven Wassertiefen MSPH für den ersten und den zweiten Fahrstreifen (Stadt A1)



**Bild 45:** Vergleich der eingelegeten Flickstellen FLI\_E für den ersten und den zweiten Fahrstreifen (Stadt A1)



**Bild 43:** Vergleich der maximalen Fiktiven Wassertiefen SPH\_MAX für den ersten und den zweiten Fahrstreifen (Stadt A1)

Die Ergebnisse der fahrstreifenbezogenen Analyse zeigen sehr eindeutig, dass alle Fahrstreifen erfasst werden sollten, wenn ein Überblick über den Zustand des gesamten Straßennetzes gewünscht ist. Eine repräsentative Hochrechnung auf der Grundlage nur eines erfassten Fahrstreifens ist nicht möglich.

### 3.3.5 Ergebnisse der derzeitigen Bewertungsverfahren – Asphalt

Die in Kapitel 3.3.2 mit ihren Häufigkeitsverteilungen dargestellten Zustandsgrößen der Asphaltfahrbahnen dienen als Grundlage für die Zustandsbewertung. Die Ergebnisse dieser entsprechend den Vorgaben aus Kapitel 3.3.1 (Tabelle 15) durchgeführten Zustandsbewertung sind nachfolgend ausgewiesen. In einer Gesamtübersicht aller 7 Analysestädte sind dazu in Tabelle 19 für alle berücksichtigten Zustandsmerkmale sowie für die aus der Verknüpfung der Einzelmerkmale berechneten Teilzielwerte die Längenanteile zusammengestellt, die den Warnwert von 3,5 bzw. den Schwellenwert von 4,5 erreichen oder übersteigen; auf diese Anteile wird nachfolgend bei der Kommentierung der Einzelergebnisse näher eingegangen.

Die Längenanteile der Zustandswerte sind, unterteilt nach 0,5-Notenklassen, für die Asphaltfahrbahnen der 7 Analysestädte dargestellt in

- Bilder 46 bis 54 für die bewertungsrelevanten Zustandsgrößen und -indikatoren,



- Bilder 55 bis 57 für die Teilzielwerte und für den Gesamtwert.

Ergänzend sind auch die jeweiligen Mittelwerte und die Standardabweichungen der dargestellten Häufigkeitsverteilungen angegeben. Die Darstellungen vermitteln, bezogen auf die Asphaltfahrbahnen, einen netzweiten Überblick zu den Ergebnissen der in den Analysestädten angewendeten Bewertungsverfahren. Wie schon bei der Darstellung der Zustandsgrößen in Kapitel 3.3.2 ersichtlich, weichen, aufgrund des insgesamt relativ guten Zustands, die Bewertungsergebnisse für Stadt D insoweit signifikant von Ergebnissen der restlichen Städte ab, als in den Verteilungen der Zustandswerte i. A. höhere Anteile auf den sehr guten und guten und dementsprechend geringere Anteile auf den schlechten und sehr schlechten Zustandsbereich entfallen (s. auch Tabelle 19). Die Verteilungen der restlichen Analysestädte sind deutlich beeinflusst von der Lage der in Tabelle 15 zusammengestellten Warn- und Schwellenwerte. Nachfolgend wird zusammenfassend auf die Bewertungsergebnisse der einzelnen Zustandsgrößen und -indikatoren und

die Ergebnisse ihrer Verknüpfung zu Teilzielwerten bzw. zum Gesamtwert eingegangen.

#### A) Zustandswert der Ebenheit im Längsprofil ZWPGR

Zur Bewertung der Längsebenheit werden die Zustandswerte des Planografen-Mittelwerts ZWPGR\_AVG (für regellose Unebenheiten, Bild 46) und des Planografen-Maximalwerts ZWPGR\_MAX (für Einzelhindernisse, Bild 47) berechnet; der maßgebliche Zustandswert der Längsebenheit ZWPGR (Bild 48) ergibt sich aus dem schlechtesten (maximalen) Wert dieser beiden Einzelwerte.

Die angesetzten Warn-/Schwellenwerte lagen bei der Ermittlung von (s. Tabelle 15)

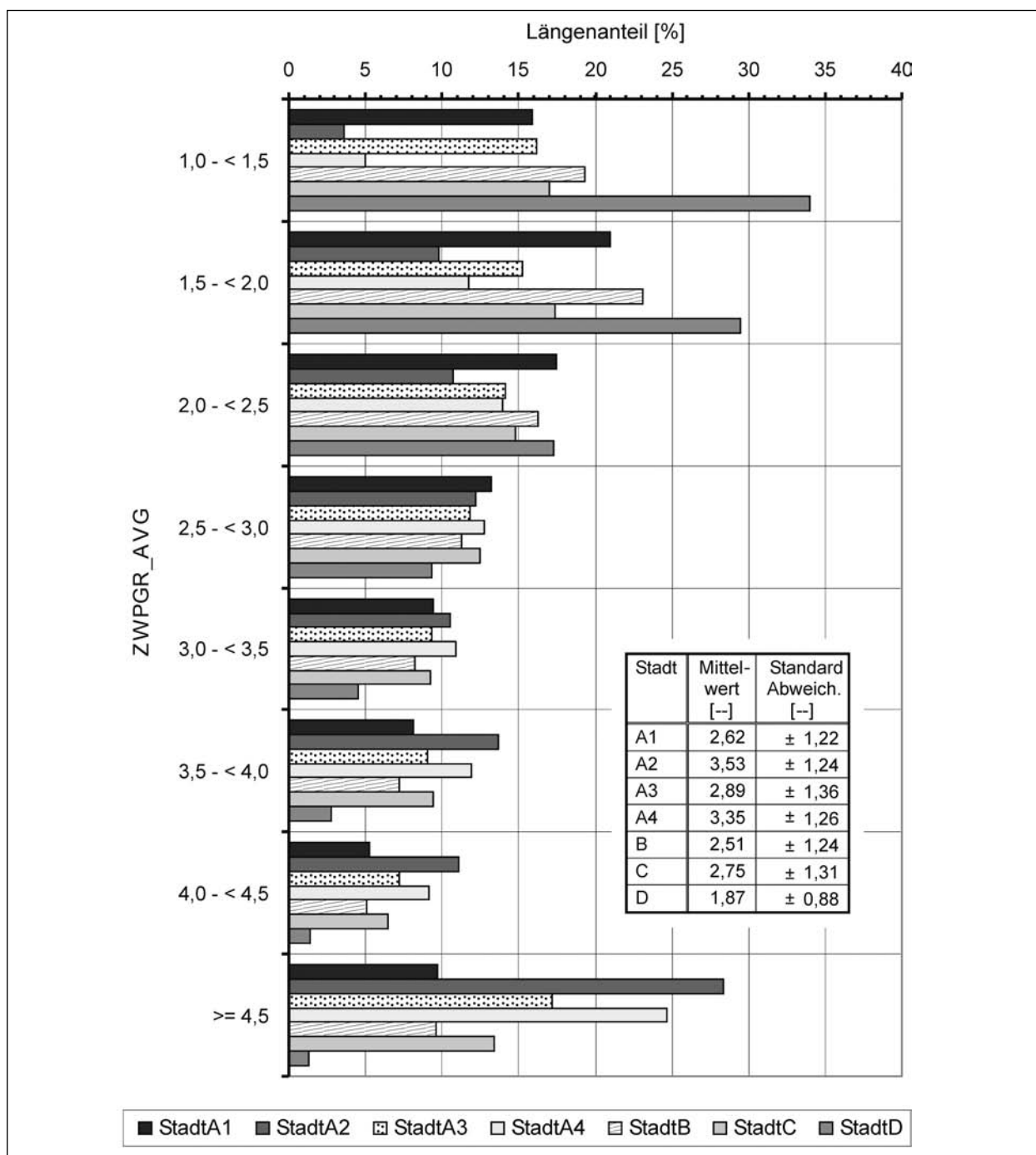
- ZWPGR\_AVG bei 2,5 mm/3,5 mm (Städte A und Stadt C) bzw. bei 3,5 mm/5,0 mm (Städte B und D),
- ZWPGR\_MAX bei 12 mm/16 mm (Städte A und Stadt C) bzw. 16 mm/25 mm (Städte B und D).

Zustandswert Teilzielwert		Stadt A1	Stadt A2	Stadt A3	Stadt A4	Stadt B	Stadt C	Stadt D	Mittel
ZWPGR_AVG	% $\geq$ 3,5	23,1	53,1	33,3	45,7	21,9	29,3	5,5	26,2
	% $\geq$ 4,5	9,7	28,4	17,1	24,7	9,6	13,4	1,3	12,4
ZWPGR_MAX	% $\geq$ 3,5	18,4	44,6	31,2	36,5	14,6	29,6	6,5	22,9
	% $\geq$ 4,5	10,2	27,6	18,1	20,9	5,0	17,8	1,6	12,5
ZWPGR	% $\geq$ 3,5	26,4	57,7	39,1	49,6	23,8	36,5	8,5	30,6
	% $\geq$ 4,5	13,4	35,7	23,2	29,6	10,6	20,9	2,3	16,6
ZWSPT	% $\geq$ 3,5	7,2	1,4	0,5	1,3	8,6	1,7	0,8	3,3
	% $\geq$ 4,5	1,2	0,1	0,1	0,1	2,1	0,1	0,0	0,6
ZWSPH	% $\geq$ 3,5	14,5	4,0	3,1	7,3	7,6	2,1	1,8	5,9
	% $\geq$ 4,5	9,2	2,0	1,3	3,0	4,1	0,7	0,9	3,1
ZWRI_U	% $\geq$ 3,5	4,9	10,5	10,1	6,3	12,0	11,3	7,5	8,7
	% $\geq$ 4,5	2,9	5,1	5,6	3,8	7,6	7,4	3,7	5,2
ZWFLI	% $\geq$ 3,5	10,0	29,2	22,2	25,3	5,8	2,7	8,6	10,8
	% $\geq$ 4,5	6,6	19,8	13,9	17,0	4,3	1,5	5,7	7,2
TWGEB	% $\geq$ 3,5	34,7	60,3	41,1	53,4	21,1	24,8	10,8	29,8
	% $\geq$ 4,5	17,3	36,7	24,0	31,5	5,6	1,1	3,1	11,9
TWSUB	% $\geq$ 3,5	33,1	66,3	51,3	57,5	13,0	12,3	7,8	26,0
	% $\geq$ 4,5	16,6	46,0	34,0	38,7	2,4	2,4	3,7	13,8
GW (Gesamtwert)	% $\geq$ 3,5	39,9	67,5	52,4	60,0	27,5	30,1	17,0	36,0
	% $\geq$ 4,5	22,8	46,9	34,4	40,2	7,6	3,6	6,6	16,7
ZWRI_G	% $\geq$ 3,5							3,4	3,4
	% $\geq$ 4,5							1,1	1,1
ZWAMA	% $\geq$ 3,5							1,0	1,0
	% $\geq$ 4,5							1,0	1,0

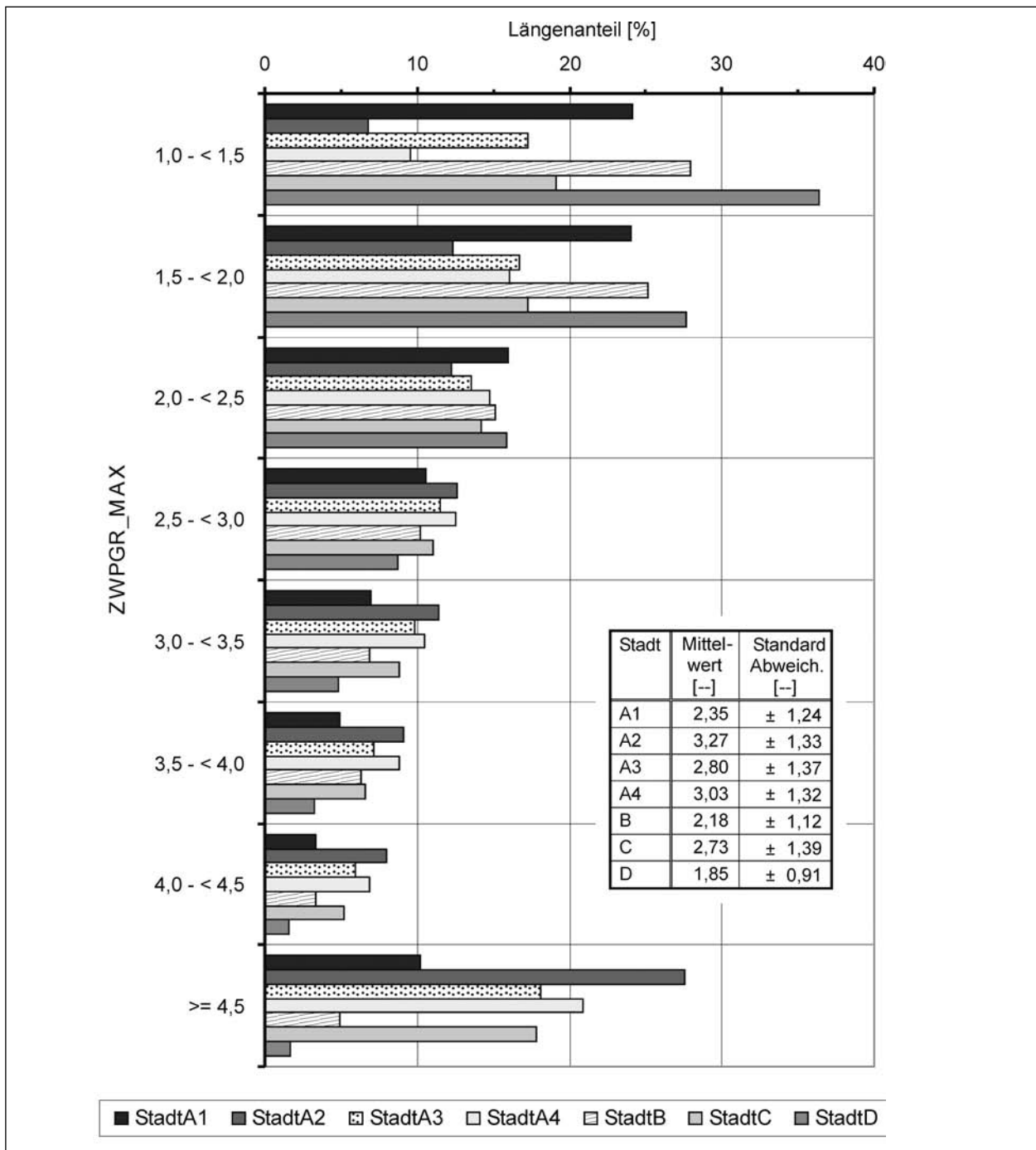
Tab. 19: Längenanteile an Warnwert ( $\geq$  3,5) und Schwellenwert ( $\geq$  4,5) für die 7 Analysestädte und die bewertungsrelevanten Zustandsmerkmale sowie die Teilzielwerte

Wie die ausgewiesenen Mittelwerte und Standardabweichungen verdeutlichen, sind die Häufigkeitserteilungen für ZWPGR\_AVG (Bild 46) und ZWPGR\_MAX (Bild 47) in ihrer Grundtendenz relativ ähnlich. Mit Ausnahme von Stadt D (s. o.) ergibt sich ein meist deutlich sichtbarer u-förmiger Verlauf mit relativ hohen Anteilen im sehr guten ( $< 1,5$ ) und guten ( $< 2,0$ ) bzw. im sehr schlechten ( $\geq 4,5$ ) Zustandsbereich und vergleichsweise geringen Anteilen im mittleren Zustandsbereich. Beim maßgeblichen

chen Zustandswert ZWPGR (Bild 48) zeigt sich dieser Effekt verstärkt. Aufgrund der unterschiedlichen Warn-/Schwellenwerte liegen die Anteile im schlechten ( $\geq 3,5$ ) und sehr schlechten ( $\geq 4,5$ ) Zustandsbereich bei den Städten A und C (Ausnahme A1) deutlich über dem Gesamtdurchschnitt, bei den Städten B und D deutlich darunter (s. Tabelle 19). Bezogen auf den maßgeblichen Zustandswert ZWPGR stellt sich dabei die Frage, inwieweit Anteile ab dem Warnwert von 3,5 zwischen ca. 36 %



**Bild 46:** Längenanteile für die Zustandswerte ZWPGR\_AVG des Planografen-Mittelwerts der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)



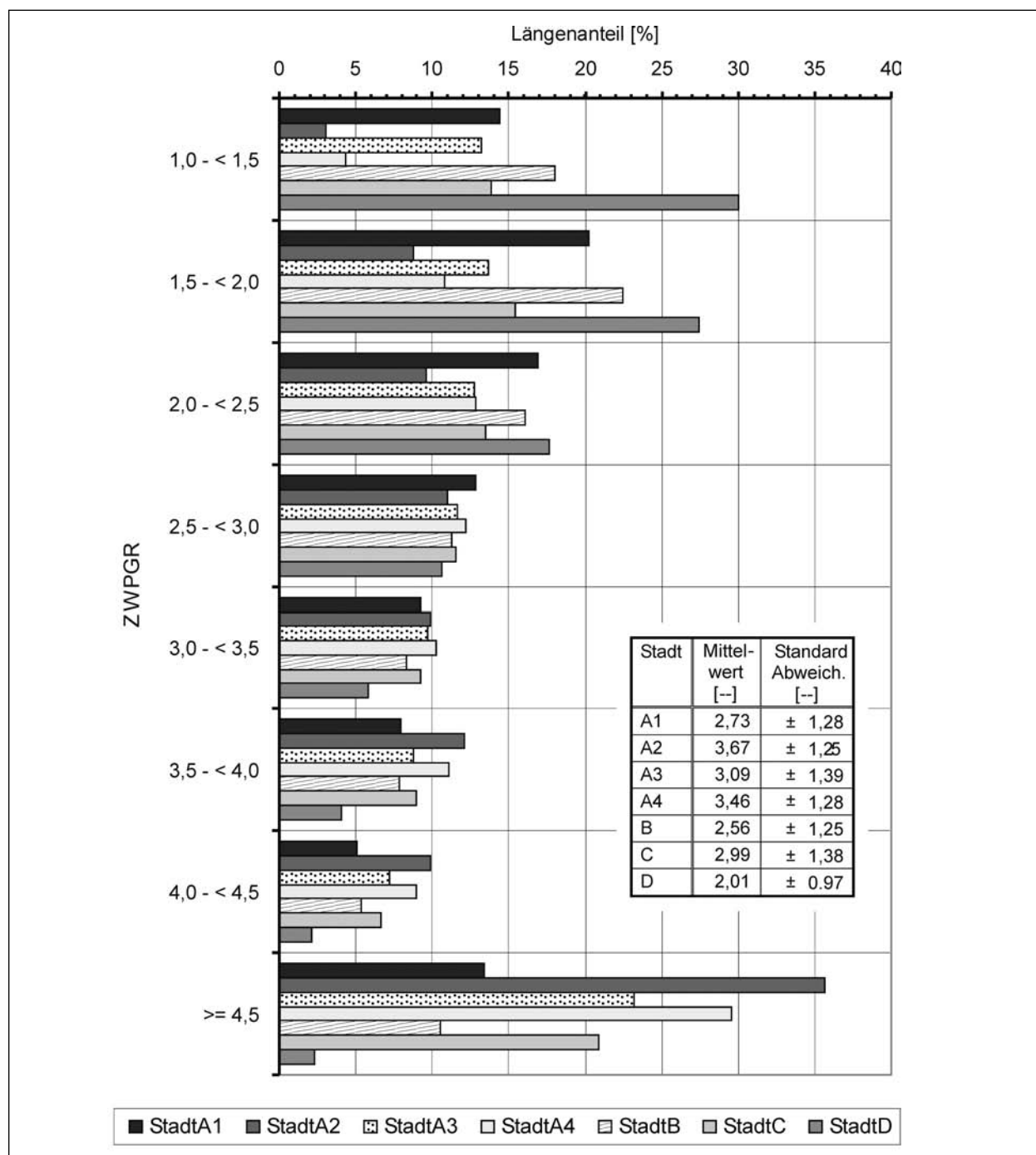
**Bild 47:** Längenanteile für die Zustandswerte ZWPGR\_MAX des Planografen-Maximalwerts der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

und 58 % bzw. ab dem Schwellenwert von 4,5 zwischen ca. 21 % und 36 %, wie sie für die Städte A2 – A4 und C auftreten, in der Außendarstellung, z. B. auf der Ebene des Entscheidungsträgers, auch in ihren Auswirkungen auf einen daraus resultierenden Erhaltungsbedarf vermittelbar sind. Unter Berücksichtigung der Sonderstellung der Stadt D erscheinen die entsprechenden Anteile der Stadt B (23,8 % bzw. 10,6 %, s. Tabelle 19) wesentlich plausibler. Wie schon bei der Darstellung der Zu-

standsgrößen in Kapitel 3.3.2 angemerkt, erscheinen danach die Warn-/Schwellenwerte von 3,5 mm/5,0 mm für ZWPGR\_AVG bzw. von 16 mm/25 mm für ZWPGR\_MAX wesentlich schlüssiger als die o. a. alternativen Werte.

**B) Zustandswert der Spurrinntiefe ZWSPT**

Als bewertungsrelevante Zustandsgröße wird derzeit der schlechtere Wert der mittleren Spurrinnen-



**Bild 48:** Längenanteile für die Zustandswerte ZWPGR (= Maximum aus ZWPGR\_AVG und ZWPGR\_MAX) der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

tiefen MSPT der beiden Radspuren angenommen und in den Zustandswert ZWSPT umgerechnet. Als Warn- und Schwellenwerte sind dabei einheitlich für alle Analysestädte 15 mm bzw. 25 mm angenommen (1,5-Wert bei 4 mm, entsprechend Funktionsklasse 2 der Außerortsstraßen, s. Tabelle 14 und Tabelle 15).

Bild 49 zeigt die Längenanteile der 0,5-Notenklassen für die Spurrinntentiefe ZWSPT im Vergleich der

7 Analysestädte. Es zeigen sich poissonartige Verteilungen mit den größten Anteilen im sehr guten Zustandsbereich (< 1,5) und stark abnehmenden Anteilen im schlechten Bereich ab dem Warnwert von 3,5. Die netzweiten Mittelwerte der Asphaltfahrbahnen bleiben für 5 Analysestädte unter dem 1,5-Wert, für die restlichen 2 Städte unter dem Zustandswert von 2,0 (s. Bild 49). Die Standardabweichungen liegen bei oder deutlich unter einem Zustandswert. Die Längenanteile ab dem Warnwert

schwanken zwischen 0,8 % und 8,6 %, der Schwellenwert wird maximal für 2,1 % der Fahrbahnlängen (Stadt B) erreicht oder überschritten (s. Tabelle 19).

Die Bewertungsergebnisse für ZWSPT bei Ansatz der mittleren Spurrinntiefe MSPT lassen sich dahingehend interpretieren, dass in den 7 Analysestädten keine nennenswerten Probleme in Bezug auf Spurrinnen vorhanden sind. Bei der Ermittlung

der mittleren Spurrinntiefen erfolgt offenbar, auch bereits bei einer Standardauswertelänge von 10 m (Stadt B), eine so starke Nivellierung, dass die angenommenen Warn- und Schwellenwerte sehr selten erreicht oder überschritten werden. Sofern mit dem Zustandswert ZWSPT nicht nur durchgehende Spurrinnen, sondern auch generell Mängel in Bezug auf die Querebenheit bewertet werden sollen, entspricht dieses Ergebnis in keiner Weise den vorliegenden Erfahrungen, die sich u. a. aus

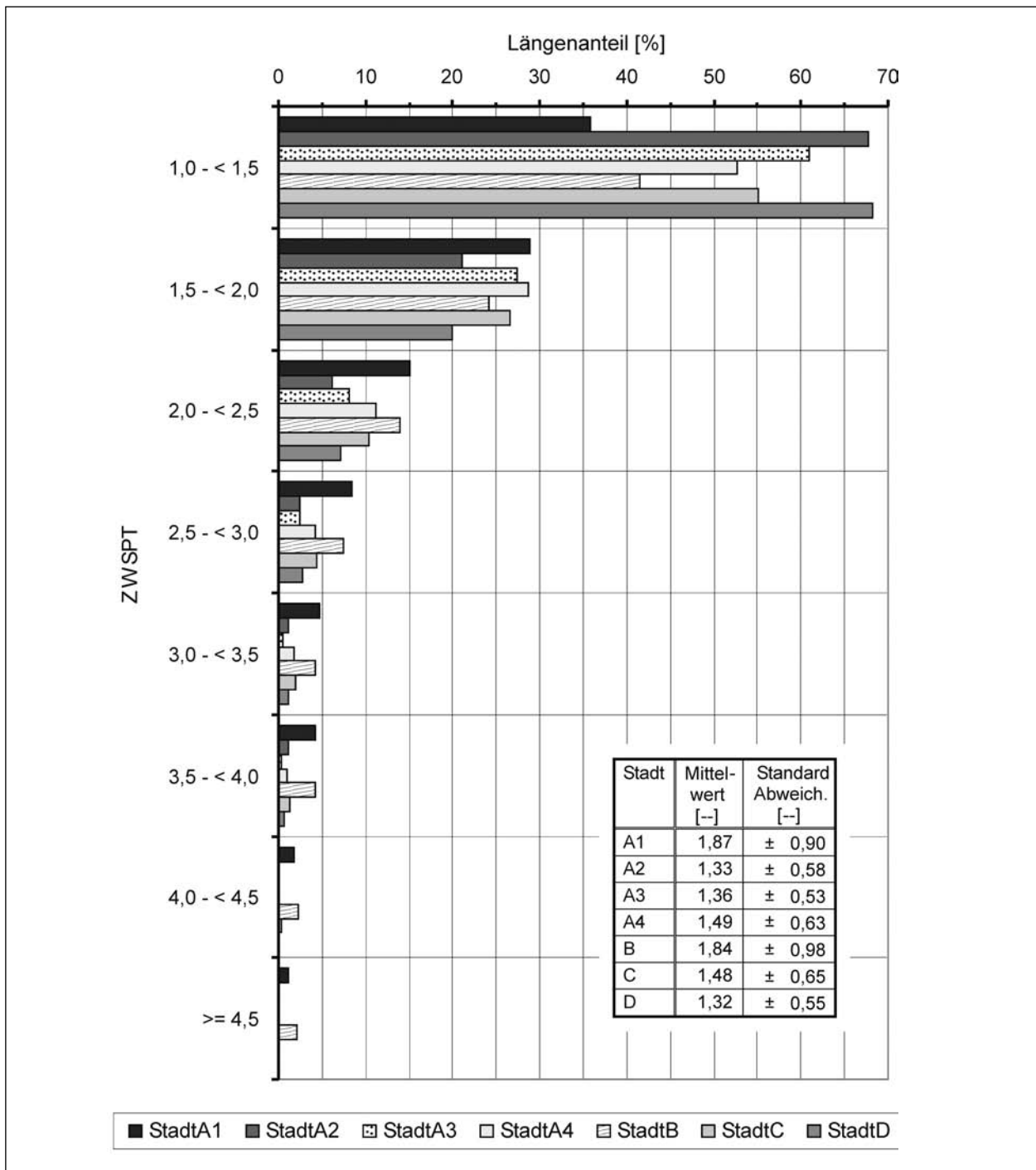


Bild 49: Längenanteile für die Zustandswerte ZWSPT der Spurrinntiefe der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

den sehr unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen für die mittleren Spurrinntiefen MSPT und die lokal auftretenden maximalen Spurrinntiefen SPT\_MAX ableiten lassen (s. dazu Bilder 22 und 23). Bei einer alleinigen Bewertung der mittleren Spurrinntiefen MSPT werden lokale Querun- ebenheiten, die, z. B. bei einem Wechsel der Fahr- spur, durchaus Einfluss auf den Fahrkomfort und die Verkehrssicherheit haben können, weitestge- hend ausgeblendet.

Um zu einer realistischeren Bewertung der Querun- ebenheit zu gelangen, können prinzipiell die fol- genden Verfahrensweisen angewendet werden:

- Reduzierung des Schwellenwerts für die mittlere Spurrinntiefe MSPT (z. B. von 25 mm auf 20 mm);
- Einbeziehung weiterer Zustandsgrößen in die Bewertung, z. B. durch eine stärkere Berücksichtigung von Einzelereignissen in Form der maximalen Spurrinntiefen SPT\_MAX.

Eine Verringerung des Schwellenwerts von 25 mm der mittleren Spurrinntiefe MSPT erscheint pro- blematisch, da in diesem Fall der Schwellenwert für Funktionsklasse 1 der Außerortsstraßen (20 mm, s. Tabelle 14) völlig oder annähernd erreicht würde. Bei dem Unterschied im Geschwindigkeitsniveau von Außerorts- und Innerortsstraßen wäre ein na- hezu identischer Schwellenwert für die Bewertung von Spurrinnen bzw. Querun- ebenheiten kaum ver- mittelbar. Es ist daher zu analysieren, inwieweit zu- sätzliche Zustandsgrößen in die Bewertung einbe- zogen werden können (s. Kapitel 5.2.2). Geeignet erscheint in erster Linie die maximale Spurrinnen- tiefe SPT\_MAX, die derzeit zwar ermittelt, aber bei der Zustandsbewertung nicht berücksichtigt wird. In der Verfahrensweise ergäbe sich in diesem Fall eine Annäherung der Bewertungen für die Längs- und die Querebenheit.

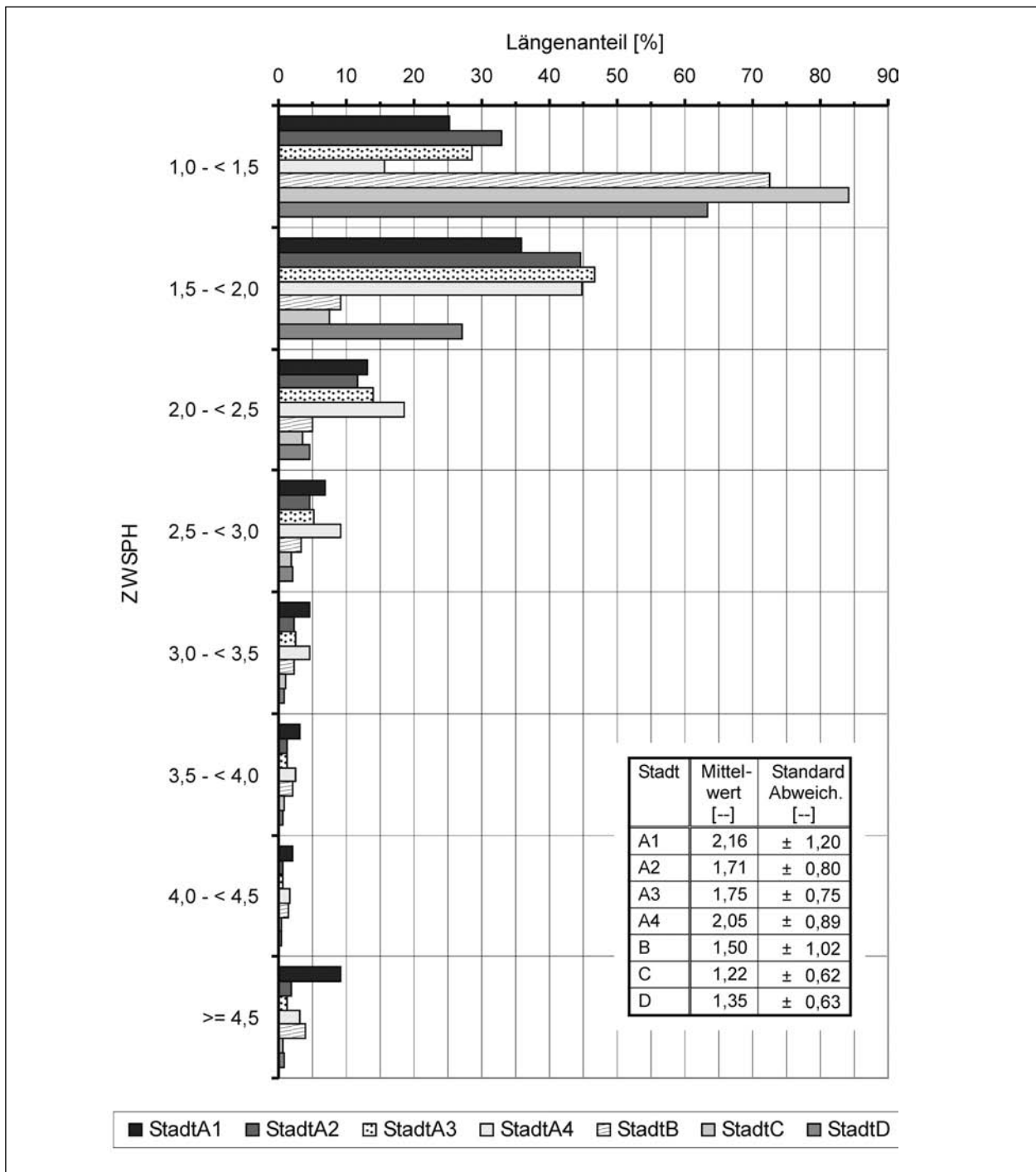
#### C) Zustandswert der Fiktiven Wassertiefe ZWSPH

Bewertungsrelevant bei der Ermittlung des Zu- standswerts ZWSPH ist derzeit die auf Basis der mittleren Spurrinntiefe MSPT und der Quernei- gung ermittelte mittlere Wassertiefe MSPH. Als Warn- und Schwellenwerte wurden 4 mm/6 mm (Städte A und Stadt D) bzw. 8 mm/12 mm ange- nommen (Städte B und C, s. Tabelle 15).

Bild 50 veranschaulicht die Längenanteile der 0,5- Notenklassen für die Fiktive Wassertiefe ZWSPH

der 7 Analysestädte. Die Verteilungen sind in der Verlaufstendenz ähnlich wie die Verteilungen des Zustandswerts der mittleren Spurrinntiefe MSPT (s. o.). Die Mittelwerte der Verteilungen bleiben für 2 Analysestädte (C und D) unter dem 1,5-Wert, für 3 weitere Städte (A2, A3, B) unter dem Zustands- wert von 2,0 (s. Bild 50). Für zwei Städte (A1, A4) wird der Zustandswert von 2,0 im Gesamtmittel aller Asphaltfahrbahnen knapp überschritten. Die Standardabweichungen schwanken um einen Zu- standswert von 1,0. Die Längenanteile ab dem Schwellenwert bzw. dem Warnwert fallen bei Stadt A1, die auch bei der Verteilung der mittleren Spur- rintiefen MSPT etwas schlechter als die restli- chen Städte liegt (s. Bild 22), mit 9,2 % bzw. 14,5 % deutlich aus dem Rahmen. Für die restlichen Städte der Version 4 mm/6 mm schwanken die An- teile ab dem Schwellenwert zwischen 0,9 % und 3 %, ab dem Warnwert zwischen 1,8 % und 7,3 %. Bei der Bewertungsvariante 8 mm/12 mm ergeben sich Anteile ab dem Schwellenwert von 0,7 % und 4,1 %, ab dem Warnwert von 2,1 % und 7,6 % (s. Tabelle 19).

Für die Fiktive Wassertiefe zeigt sich in Bezug auf die derzeitige Bewertung eine ähnliche Problematik wie bei der Spurrinntiefe bzw. der Querebenheit. Ausgehend von den Häufigkeitsverteilungen und den Anteilen über dem Warn- bzw. Schwellenwert erscheint die Version 4 mm/6 mm insgesamt schlüssiger. Da diese Version jedoch auch für Funktionsklasse 1 der Außerortsstraßen, also ins- besondere auch für die Bundesautobahnen, ange- wendet wird, ist der Schwellenwert von 6 mm im Hinblick auf das vom Geschwindigkeitsniveau ab- hängige Zielkriterium „Verkehrssicherheit“ sicher- lich schwer vermittelbar. Eine Bewertung der mitt- leren Wassertiefe MSPH für das Zielkriterium „Spritzbelästigung“ ist problematisch, da die dazu erforderlichen Informationen zum Straßenumfeld derzeit in der Regel nicht verfügbar sind (z. B. An- ordnung der Querschnittselemente/Verkehrs- flächen, s. dazu Kapitel 5.2.2). Ein Schwellenwert der mittleren Wassertiefe MSPH von 12 mm, ent- sprechend Funktionsklasse 3 der Außerortsstraßen (s. Tabelle 14), erscheint im Hinblick auf die Häufig- keitsverteilungen und die Anteile im kritischen Be- reich ab dem Warnwert nicht schlüssig. Als Lösung bietet sich, ähnlich wie bei der Spurrinntiefe (s. o.), eine stärkere Berücksichtigung von Einzelereig- nissen bezüglich des Wasserrückhalts an, die z. B. mit Hilfe der maximalen Wassertiefen SPH\_MAX erfasst werden können (s. Kapitel 5.2.2).

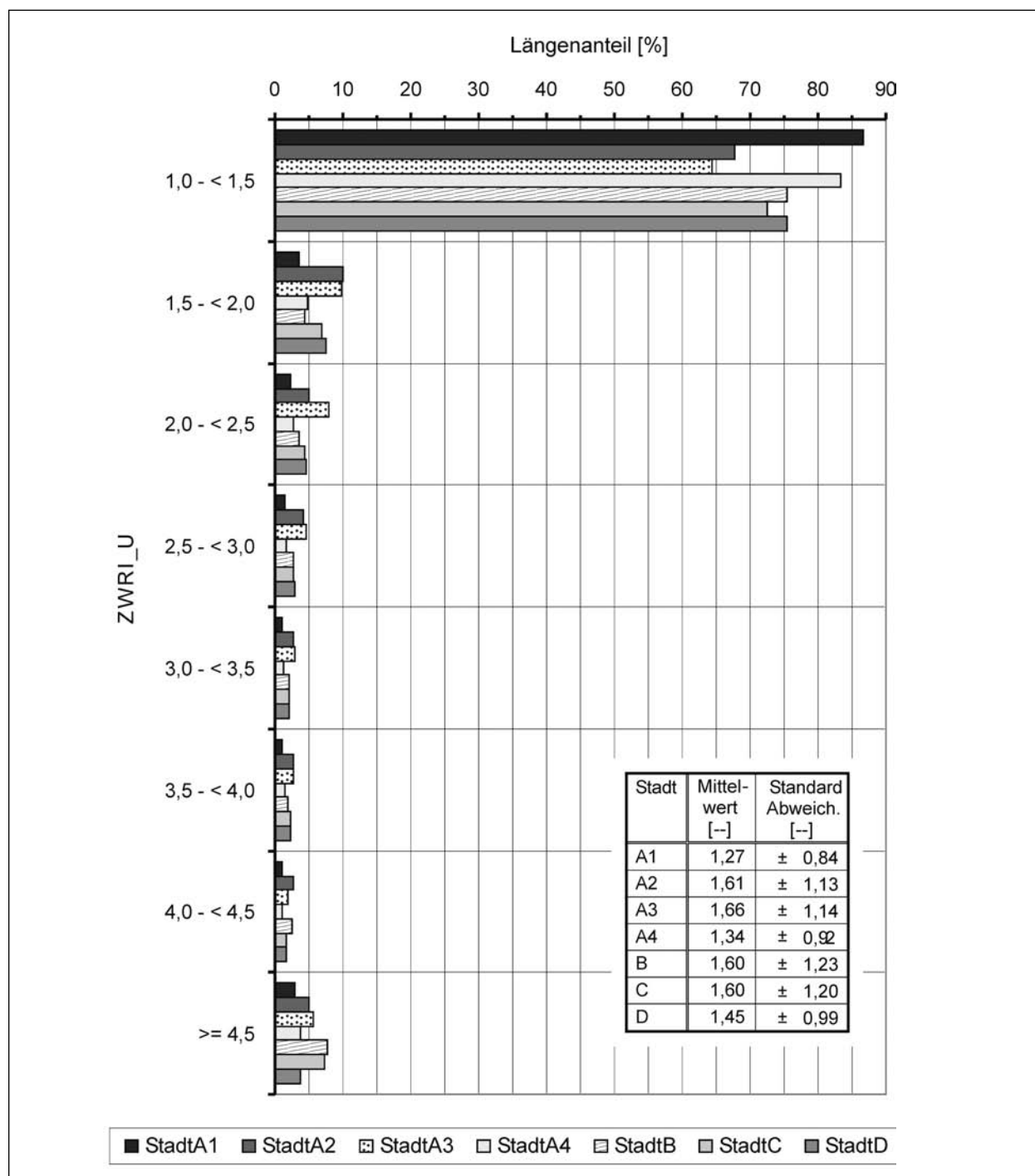


**Bild 50:** Längenanteile für die Zustandswerte ZWSPH der Fiktiven Wassertiefe der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

D) Zustandswerte ZWRI\_U und ZWRI\_G für Risse

Eine Bewertung in allen 7 Analysestädten erfolgte nur im Hinblick auf unregelmäßige Risse RI\_U. Geradlinige Risse RI\_G wurden zusätzlich nur in Stadt D bewertet (s. u.). Der Warn- und Schwellenwert der unregelmäßigen Risse RI\_U wurde entsprechend der Funktionsklasse 2 der Außerortsstraßen mit 15 % bzw. 25 % festgelegt (s. Tabelle 14 und 15).

Aufgrund der hohen Anteile an Asphaltfahrbahnen, für die so gut wie keine ( $\leq 1\%$ ) unregelmäßigen Risse registriert wurden (65 % bis 95 % der Längen, s. Kapitel 3.3.2), ergibt sich gemäß Bild 51 die weitaus größte Häufung der Zustandswerte ZWRI\_U für die Klasse 1,0 bis < 1,5. Die Mittelwerte der Verteilungen schwanken dementsprechend um den Zustandswert 1,5, die Standardabweichungen um den Wert 1,0 (Bild 51). Die Anteile ab Schwellenwert liegen zwischen



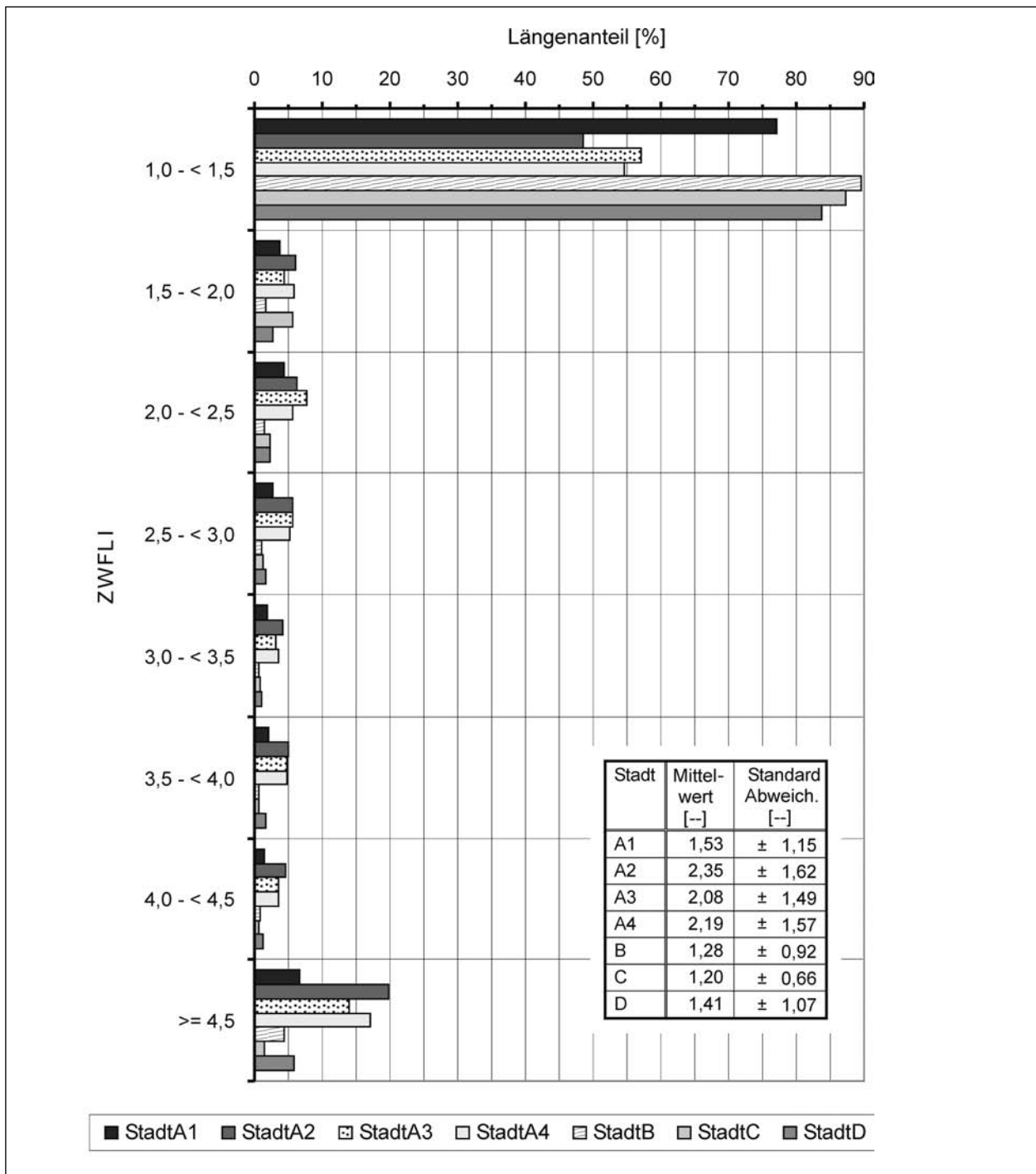
**Bild 51:** Längenanteile für die Zustandswerte ZWRI\_U der unregelmäßigen Risse der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

ca. 2,9 % und 7,6 %, die Anteile ab Warnwert zwischen 5 % und 12 %. Nach Maßgabe dieser Häufigkeitsspannen im kritischen Zustandsbereich erscheint die Lage des Warn- bzw. Schwellenwerts für die unregelmäßigen Risse RI\_U plausibel.

Bei den ausschließlich in Stadt D bewerteten geradlinigen Rissen RI\_G wurden ein Warnwert von 5 m und ein Schwellenwert von 10 m angesetzt. Bild 53 zeigt, dass bei dieser Festle-

gung nur 3,4 % der Fahrbahnlängen den Warnwert und lediglich 1 % den Schwellenwert für ZWRI\_G erreichen bzw. überschreiten. Für einen Anteil von weit über 90 % ergeben sich Zustandswerte ZWRI\_G unter 1,5. Dieses Ergebnis für eine Stadt ist sicherlich nicht repräsentativ, kann aber trotzdem nicht als Bestätigung für die Lage des Warn- bzw. Schwellenwerts angesehen werden.



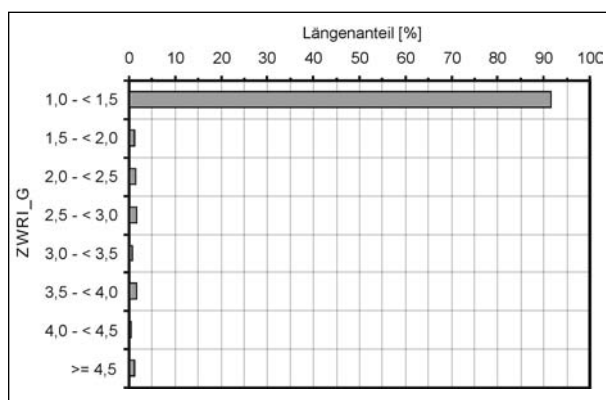


**Bild 52:** Längenanteile für die Zustandswerte ZWFLI der Flickstellen der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen; A u. D alle Flickstellen, B u. C aufgebrachte Flickstellen)

Aufgrund der für die 7 Analysestädte sehr unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen geradliniger Risse RI\_G (s. Bild 27) und der daraus erkennbaren Probleme einer einheitlichen Auswertung erscheint ihre separate Betrachtung unzweckmäßig. Es wäre zu überprüfen, inwieweit geradlinige Risse RI\_G völlig vernachlässigt oder alternativ den unregelmäßigen Rissen RI\_U zugeschlagen werden können (s. Kapitel 5.2.4).

E) Zustandswert der Flickstellen ZWFLI

Bei der Bewertung von Flickstellen wurden einheitlich für alle 7 Analysestädte Warn-/Schwellenwerte von 15 % und 25 % zugrunde gelegt (entsprechend Funktionsklasse 2 bei Außerortsstraßen, s. Tabellen 14 und 15). Unterschiede sind insoweit zu verzeichnen, als für 5 Städte (A1 – A4 und D) alle Flickstellenarten und für 2 Städte (B und C) nur auf-

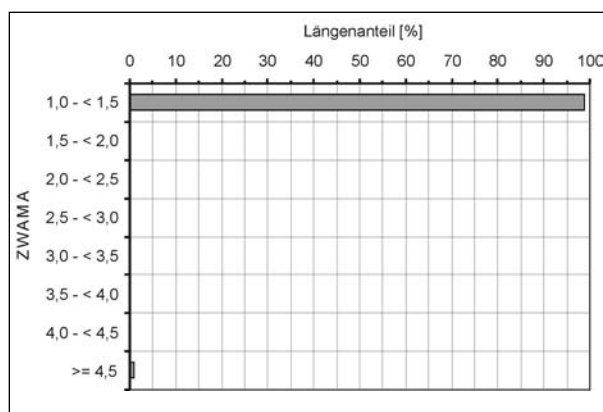


**Bild 53:** Längenanteile für den Zustandswert ZWRI\_G der geradlinigen Risse für Stadt D

gebrachte Flickstellen in die Bewertung einbezogen sind.

Bild 52 mit den Häufigkeitsverteilungen für ZWFLI zeigt, dass bei alleiniger Berücksichtigung aufgebrauchter Flickstellen für die Städte B und C die Anteile unter dem Zustandswert von 1,5 bei nahezu 90 % liegen und damit sogar etwas größer sind als der entsprechende Anteil für den Ausnahmefall der Stadt D. Die Mittelwerte der Verteilungen der Städte B und C unterschreiten deutlich den Zustandswert 1,5, die entsprechenden Werte der restlichen Städte liegen bei 1,5 oder sogar über dem Zustandswert 2,0 (Bild 52). Bei den 5 Städten, deren Zustandswert ZWFLI unter Berücksichtigung der eingelegten und aufgebrauchten Flickstellen berechnet wurde, ergeben sich Anteile ab dem Schwellenwert zwischen 5,7 % und 19,8 %, ab dem Warnwert zwischen 8,6 % und 29,2 % (Tabelle 19). Bei der Bewertung der Teilmenge der aufgebrauchten Flickstellen für die Städte B und C liegen die entsprechenden Anteile zwischen 1,5 % und 4,3 % (ab Schwellenwert) bzw. zwischen 2,7 % und 5,8 % (ab Warnwert).

Vor einer Festlegung von Warn- bzw. Schwellenwerten für Flickstellen ist grundsätzlich zu klären, ob alle Flickstellen oder nur eine Teilmenge einzubeziehen sind. Bei den ursprünglichen Analysen für ein Bewertungskonzept (z. B. AXTHELM, MAERSCHALK, SCHMUCK, SCHULTE, SUß 1984) wurde davon ausgegangen, dass Flickstellen, die eigentlich eine Reparaturmaßnahme darstellen, in jedem Fall die Homogenität der vorhandenen Befestigung beeinträchtigen. Diese Wirkung gilt für alle Flickstellen, d. h. für eingelegte wie aufgebrauchte Flickstellen. Dementsprechend müssten die Flickstellen insgesamt bewertet werden. Für diesen Fall erscheint der Schwellenwert von 25 % (betroffener Fläche) tendenziell eher zu niedrig.



**Bild 54:** Längenanteile für den Zustandswert ZWAMA der Ausmagerungen für Stadt D

#### F) Zustandswert ZWAMA für Ausmagerungen

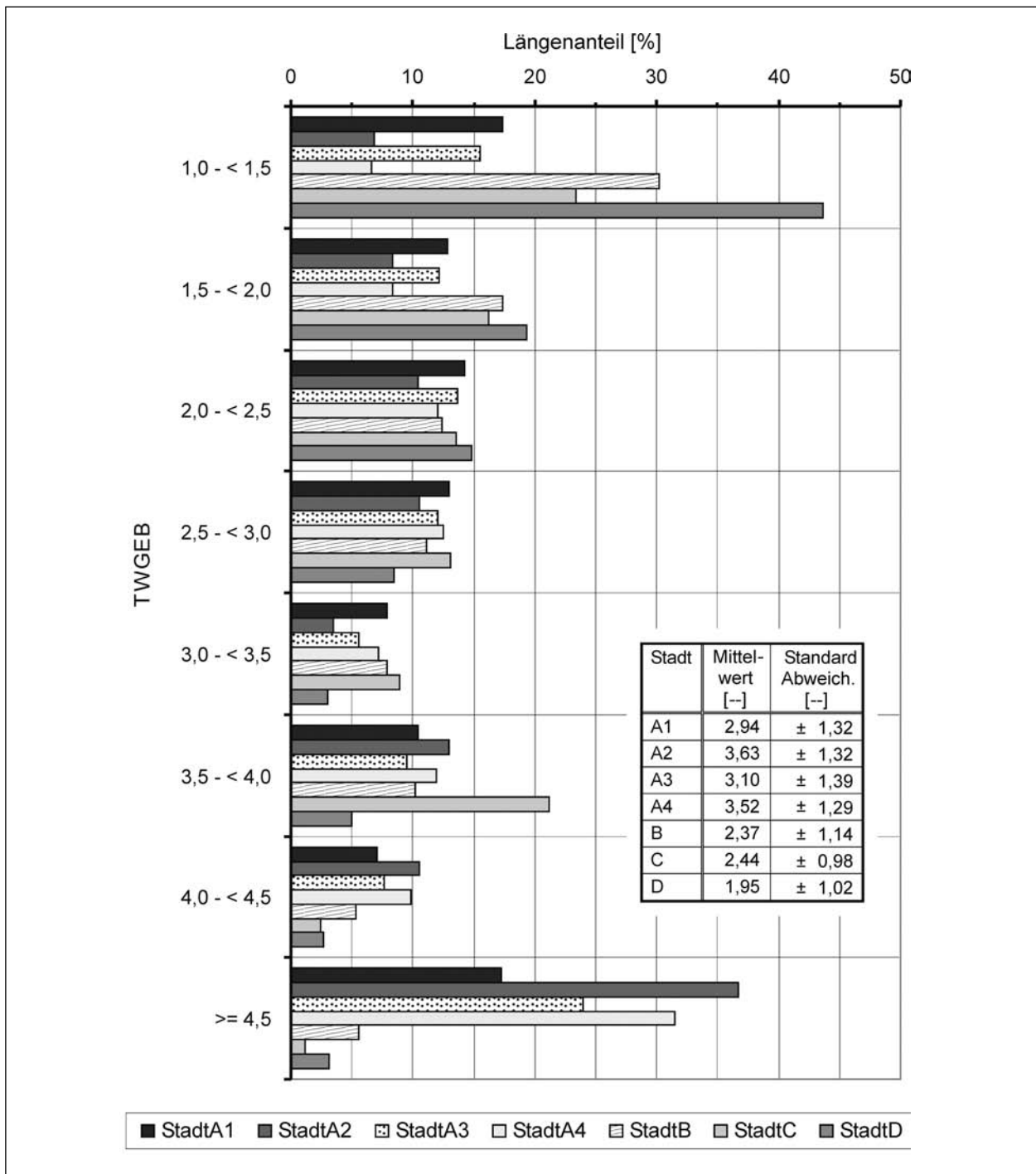
Ausgemagerte Asphaltdecken wurden nur für Stadt D in die Bewertung einbezogen. Als Warn- und Schwellenwert wurden 25 % bzw. 40 % zugrunde gelegt.

Bild 54 zeigt, dass 99 % der Zustandswerte der Ausmagerung ZWAMA unter 1,5 liegen; 1 % dieser Werte liegt bei oder über 4,5. Die dazwischen liegenden 0,5-Notenklassen sind nicht belegt. Es ist zu vermuten, dass diese aus praktischer Sicht äußerst unwahrscheinliche Verteilung auf Probleme bei der Auswertung der Videoaufnahmen zurückzuführen ist. Aussagen zur Schlüssigkeit der Bewertung sind auf dieser Grundlage nicht möglich.

#### G) Gebrauchswert TWGEB

Bei der Bildung des Gebrauchswerts TWGEB, der als repräsentativ für die Befahrbarkeit und die Verkehrssicherheit angenommen wird, werden die Zustandswerte der Längs- und Querebenheit (schlechterer Wert aus ZWPGR und ZWSPT) gleichgewichtig (jeweils 50 %) mit dem Zustandswert der Fiktiven Wassertiefe ZWSPH verknüpft. Für die Städte A1 bis A4 und D wurde zusätzlich die sog. Durchschlagsregel angewendet (vgl. Kapitel 3.2.2. und Kapitel 3.3.1). Bei den Städten B und C kam die Durchschlagsregel nicht zur Anwendung.

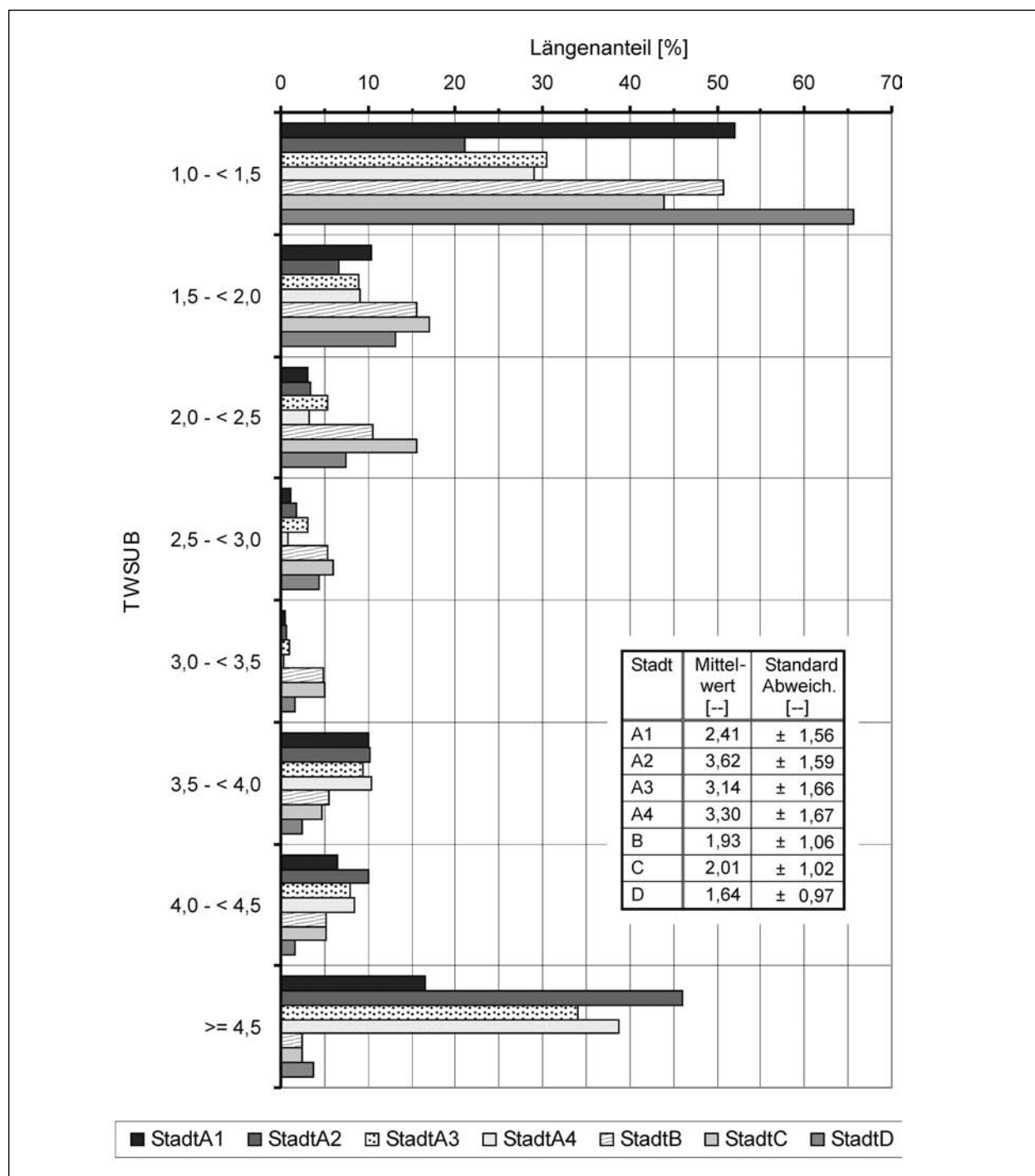
Bild 55 zeigt, dass, wenn von dem Ergebnis für die Stadt D zunächst abgesehen wird (s. u.), zwei unterschiedliche Verlaufstypen der Häufigkeitsverteilungen des Gebrauchswerts zu verzeichnen sind. Bei Anwendung der Durchschlagsregel (Städte A1 bis A4) sind sowohl die Mittelwerte der Verteilungen, die zwischen 2,94 und 3,63 liegen, als auch



**Bild 55:** Längenanteile für den Gebrauchswert TWGEB der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen; A u. D mit Durchschlagsregel, B u. C ohne Durchschlagsregel)

die Anteile ab Warn- bzw. Schwellenwert, die zwischen ca. 41 % und 60 % bzw. zwischen ca. 17 % und 37 % schwanken (Tabelle 19), wesentlich größer als bei einer Verknüpfung ohne Durchschlagsregel. Für die Städte B und C ergeben sich Mittelwerte von 2,37 bzw. 2,44 und Anteile ab Warnwert von 21,1 % bzw. 24,8 %, ab Schwellenwert von 5,6 % bzw. 1,1 %. Bei Anwendung der Durchschlagsregel müsste somit aufgrund des Ge-

brauchswerts auf ca. 1/5 bis 1/3 der Asphaltfahrbahnen sofort reagiert werden, da der Schwellenwert erreicht oder überschritten ist; auf weiteren 17 % bis 25 % der Strecken, die zwischen dem Warn- und Schwellenwert liegen, wäre eine Analyse der Ursachen für den schlechten Gebrauchswert und ggf. Planungen von geeigneten Maßnahmen erforderlich. Daraus wird ersichtlich, dass die Verknüpfung unter Berücksichtigung der Durch-



**Bild 56:** Längenanteile für den Substanzwert TWSUB der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen; A u. D mit Durchschlagsregel, B u. C ohne Durchschlagsregel)

schlagsregel ein im Hinblick auf den Gebrauchswert sehr schlechtes Bild vom Zustand der Asphaltstraßen in den betroffenen Analysestädten A1 bis A4 erzeugt; es wird noch im Detail nachgewiesen, dass dies weitaus überwiegend auf die Durchschlagsregel zurückzuführen ist (Kapitel 4.3). Die Vernachlässigung der Durchschlagsregel führt offenbar zu einer vergleichsweise günstigen Abbildung des Gebrauchswerts-niveaus.

Für Stadt D ergibt sich trotz der Anwendung der Durchschlagsregel eine ähnliche Verteilung wie für die Städte B und C. Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass nur relativ wenige der im Gebrauchswert verknüpften Einzelwerte im Bereich ab 3,5 liegen, sodass die Durchschlagsregel nur vergleichsweise selten maßgeblich wird (s. dazu Bilder 48 bis 50).

H) Substanzwert – Oberfläche TWSUB

Bei der Bildung des Substanzwertes TWSUB, der als Indikator für ein rechtzeitiges und damit wirtschaftliches Eingreifen steht, werden die Zustandswerte der Längs- und Querebenheit (schlechterer Wert aus ZWPGR und ZWSPT, Gewicht 25 %) mit den Zustandswerten der unregelmäßigen Risse ZWRI\_U (Gewicht 50 %) und der Flickstellen (Gewicht 25 %) verknüpft (Städte A1 bis A4 alle Flickstellen, Städte B und C nur aufgebrauchte Flickstel-

len). Für die Städte A1 bis A4 kam dabei zusätzlich die Durchschlagsregel zur Anwendung (vgl. Kapitel 3.2.2. und Kapitel 3.3.1). Bei den Städten B und C wurde die Durchschlagsregel nicht berücksichtigt.

Eine Sonderstellung in Bezug auf ZWSUB nimmt die Stadt D ein (s. Tabelle 17). Zusätzlich zu den unregelmäßigen Rissen sind beim Substanzwert noch die regelmäßigen Risse und die Ausmagerungen berücksichtigt. Die Durchschlagsregel wurde nur für

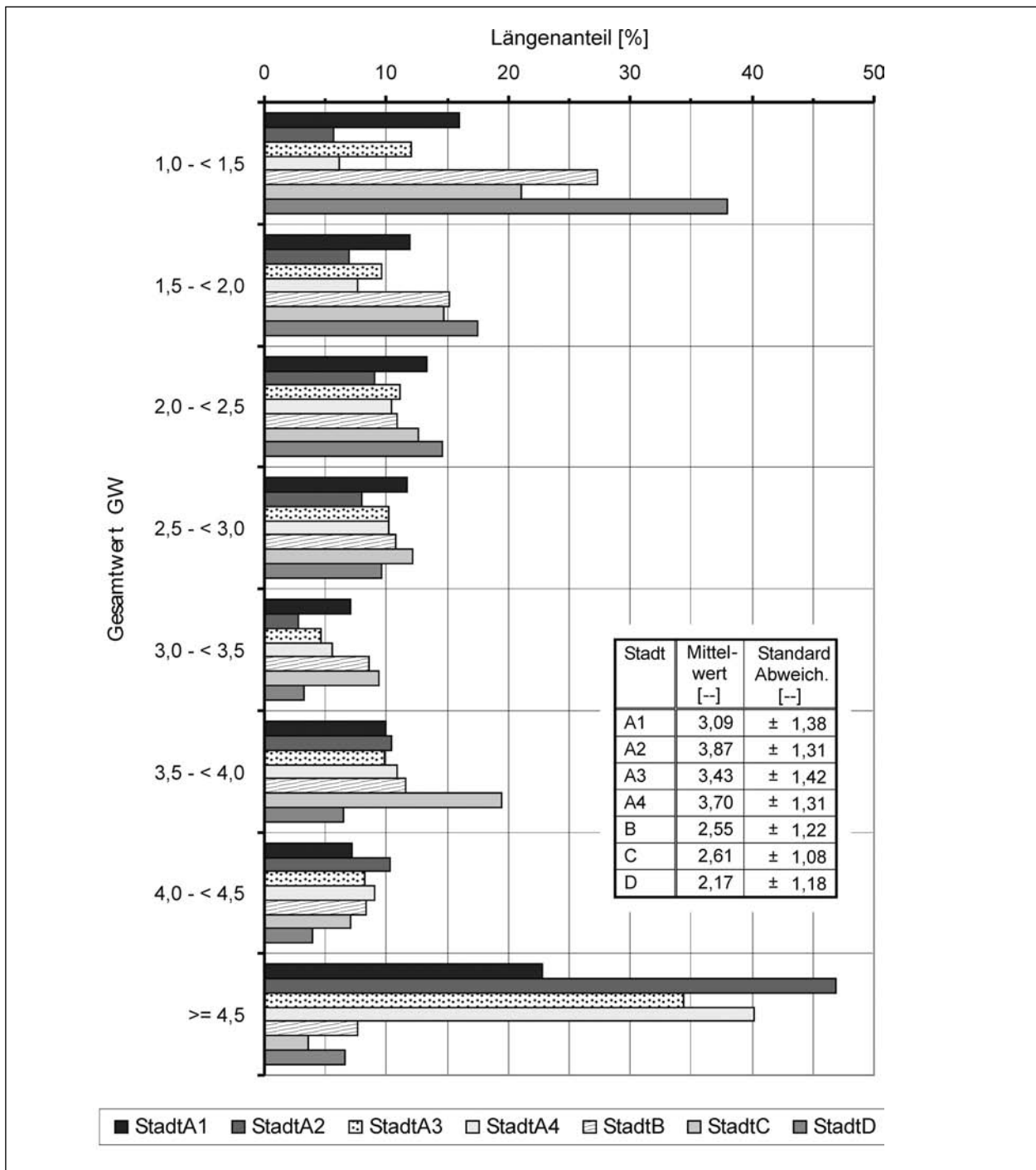


Bild 57: Längenanteile für den Gesamtwert GW der 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

den Zustandswert der unregelmäßigen Risse ZWRI\_U angewendet. Trotz der Einbeziehung zusätzlicher Zustandsindikatoren und der teilweisen Anwendung der Durchschlagsregel sind die Bewertungsergebnisse des TWSUB für Stadt D sehr ähnlich den Ergebnissen für die Städte B und C (s. Bild 56). Maßgeblich dafür ist der generell sehr geringe Anteil an schlechten Zustandswerten für Stadt D (s. o. Gebrauchswert, s. auch Bilder 51 bis 54).

Ähnlich wie für den Gebrauchswert ergeben sich auch für den Substanzwert TWSUB der Städte A1 bis A4 einerseits und der Städte B und C andererseits unterschiedliche Verlaufstypen der Häufigkeitsverteilungen. Bei Anwendung der Durchschlagsregel (Städte A1 bis A4) und Berücksichtigung aller Flickstellen zeigen sich gemäß Bild 56 bipolare Verteilungen mit großen Häufigkeiten im sehr guten (< 1,5) und sehr schlechten (ab 4,5) Zustandsbereich. Die Mittelwerte der Verteilungen liegen zwischen TWSUB-Werten von 2,4 und 3,6. Die Anteile ab Warn- bzw. Schwellenwert schwanken zwischen 33 % und 66 % bzw. zwischen ca. 17 % und 46 % (Tabelle 19). Für die Städte B und C ergeben sich Mittelwerte des TWSUB von 1,9 bzw. 2,0. Der Warnwert wird bei 12 % bzw. 13 % der Asphaltfahrbahnen erreicht oder überschritten, der Schwellenwert bei 2,4 %. Die Folgen der Verknüpfung ohne Durchschlagsregel und der Einbeziehung ausschließlich aufgebracht Flickstellen werden daraus sehr deutlich. Ähnlich wie schon beim Gebrauchswert ist festzustellen, dass die Verknüpfung unter Berücksichtigung der Durchschlagsregel ein relativ ungünstiges Bild vom Substanzzustand der Asphaltstraßen in den betroffenen Analysestädten A1 bis A4 liefert, die Vernachlässigung der Durchschlagsregel zusammen mit der Einbeziehung nur einer Teilmenge der Flickstellen bei den Städten B und C dagegen zu einem vergleichsweise günstigen Eindruck bezüglich des Substanzwertes TWSUB führt.

#### l) Gesamtwert GW

Der Gesamtwert GW ergibt sich als schlechtester Wert aus dem Gebrauchswert TWGEB und dem Substanzwert TWSUB. Der Gesamtwert GW ist für das Erhaltungsmanagement und insbesondere für die Erhaltungsplanung nur begrenzt nützlich; er eignet sich in erster Linie für zusammenfassende Darstellungen.

Beim Gesamtwert GW, in der Häufigkeitsverteilung dargestellt in Bild 57, treten die bereits beim

TWGEB bzw. beim TWSUB beschriebenen Effekte in verstärkter Form auf (s. auch Tabelle 19). Aufgrund der direkten Abhängigkeit des Gesamtwerts GW von den beiden Teilzielwerten muss darauf nicht mehr im Detail eingegangen werden.

#### 3.3.6 Ergebnisse der derzeitigen Bewertungsverfahren – Pflaster

Für die Fahrbahnen mit Pflasterdecken existieren bisher nur bezüglich der Spurrinntiefe MSPT und der Fiktiven Wassertiefe MSPH Vorgaben, die in mehreren Analysestädten angewendet wurden (s. Bilder 13 und 14). Danach gelten bei Pflaster für

- MSPT ein 1,5-Wert von 10 mm, ein Warnwert von 21 mm und ein Schwellenwert von 30 mm,
- MSPH ein 1,5-Wert von 8 mm, ein Warnwert von 14 mm und ein Schwellenwert von 20 mm.

Für die Ergebnisse der Planografen-Simulation wurde in Stadt B nach folgenden Vorgaben bewertet:

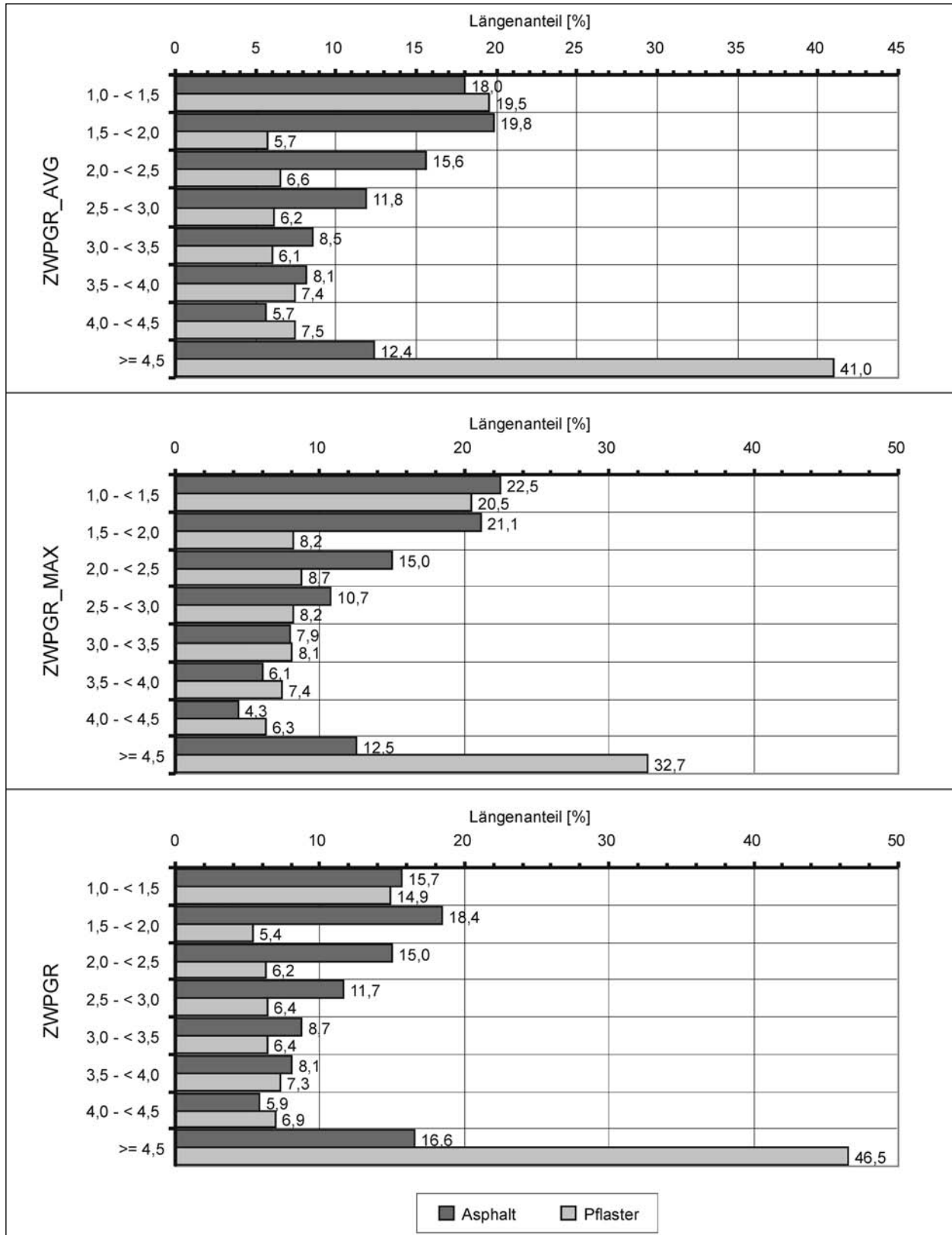
- Der Planograf-Mittelwert PGR\_AVG mit einem 1,5-Wert von 2,5 mm, einem Warnwert von 4 mm und einem Schwellenwert von 5 mm,
- der Planograf-Maximalwert PGR\_MAX mit einem 1,5-Wert von 10 mm, einem Warnwert von 18 mm und einem Schwellenwert von 22 mm.

Für die nachfolgenden Vergleiche wurden diese Bewertungsvorgaben für die Pflasterdecken aller Analysestädte übernommen. Neben den genannten Einzelwerten kann damit auch der Gebrauchswert TWGEB ermittelt werden. Bei der Berechnung des TWGEB wurde, aus Gründen der Vergleichbarkeit, in allen Analysestädten die Durchschlagsregel berücksichtigt, und zwar sowohl für Asphalt- wie für Pflasterdecken sowie auch für die Städte (B und C), deren Zustandswerte ohne Anwendung der Durchschlagsregel ermittelt wurden.

Ein Substanzwert – Oberfläche der Pflasterdecken kann nur für eine Stadt (B) berechnet werden, weil nur hier die Zustandsmerkmale „offene Pflaster-/Plattenfugen“ (Verbund) und „Bruch“ von Pflastersteinen/Platten erfasst wurden. Dabei ist die Zuverlässigkeit der Erfassung eher fraglich (s. dazu Bilder 36 und 37). Aufgrund der nicht repräsentativen Teilmenge an Analysedaten wird im Folgenden auf einen, aufgrund der unterschiedlichen Zustandsmerkmale ohnehin nur wenig sinnvollen, Vergleich

der Substanzmerkmale und des TWSUB für Pflaster- und Asphaltdecken verzichtet.

Bild 58 zeigt den Vergleich Asphalt – Pflaster für die mit der Planografen-Simulation ermittelten Zustandswerte der Längsebenheit. Trotz der großzü-



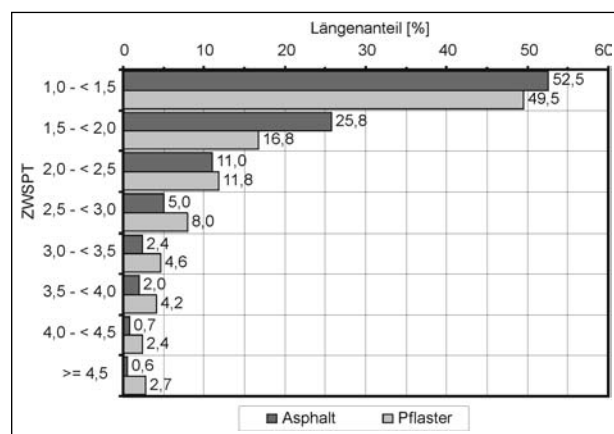
**Bild 58:** Vergleich der Längenanteile für die Zustandswerte des Planografen-Mittelwerts ZWPGR\_AVG, des Planografen-Maximalwerts ZWPGR\_MAX und des maßgeblichen Werts ZWPGR für Asphaltdecken und Pflasterdecken

gigeren Festlegung der Schwellenwerte ist der Anteil im sehr schlechten Zustandsbereich ab 4,5 für Pflaster deutlich höher als für Asphalt:

- Bei Planograf-Mittelwert ZWPGR\_AVG ergibt sich für Asphalt (Schwellenwert Städte A und D von 3,5 mm, Städte B und C von 5 mm) mit 12,4 % ein wesentlich geringerer Längenanteil als für Pflaster mit 41 % (Schwellenwert durchgehend 5 mm).
- Auch beim Planograf-Maximalwert ist der Unterschied zwischen Asphalt (12,5 %, Schwellenwert Städte A und D von 25 mm, Städte B und C von 16 mm) deutlich niedriger als für Pflaster (32,7 %, Schwellenwert 22 mm).
- Beim maßgeblichen Zustandswert ZWPGR verstärken sich infolge des Durchschlags des schlechteren Werts aus ZWPGR\_AVG und ZWPGR\_MAX die Unterschiede (16,6 % zu 46,5 %).

Die Anteile der Asphaltdecken sind vor allem im guten und mittleren Zustandsbereich (zwischen 2,0 und 3,0) höher. Die enorm hohen Anteile der Pflasterdecken im Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 weisen daraufhin, dass die Bewertung der Längsebenheit bei dieser Bauweise zu überprüfen ist.

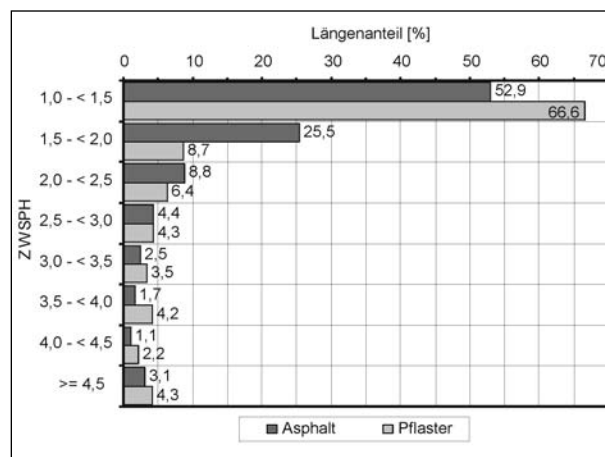
Die aus den Querebenheitsmessungen abgeleiteten Zustandswerte für die Spurrinntentiefen ZWSPT und die Fiktiven Wassertiefen ZWSPH zeigen im Hinblick auf die Häufigkeitsverteilungen der Asphalt- und Pflasterdecken deutlich geringere Abweichungen als die Zustandswerte der Längsebenheit. Wie Bilder 59 und 60 veranschaulichen, ergeben sich für Pflaster etwas höhere Anteile im



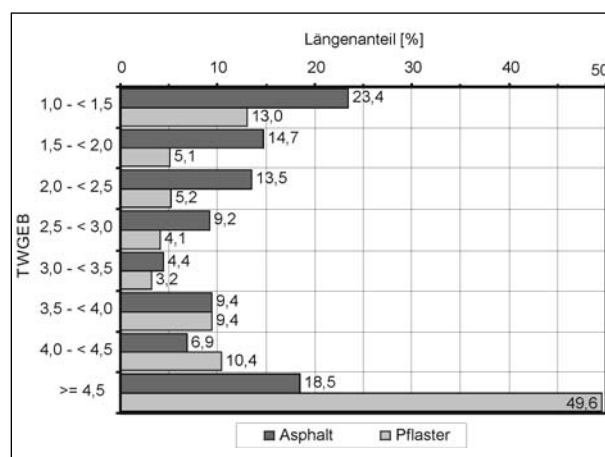
**Bild 59:** Vergleich der Längenanteile für die Zustandswerte der mittleren Spurrinntentiefen ZWSPT für Asphaltdecken und Pflasterdecken

kritischen Zustandsbereich ab 3,5 bzw. ab 4,5. Die Unterschiede zwischen den Bauweisen sind jedoch nicht gravierend. Die gegenüber Asphaltdecken (s. Tabelle 15) geänderten Bewertungsvorgaben für Pflasterdecken führen zu einer relativ guten Übereinstimmung der netzbezogenen Ergebnisse.

Bei der Bildung des Gebrauchswertes TWGEB treten die Unterschiede zwischen Asphalt und Pflaster, wegen des dominierenden Einflusses der Längsebenheit, in ähnlich ausgeprägter Form wie bei den Zustandswerten der Längsebenheit auf. Im Zustandsbereich ab dem Schwellenwert, für den per Definitionen ein sofortiges Eingreifen erforderlich ist, liegt gemäß Bild 61 bei den Asphaltdecken ein Längenanteil von 18,5 %, bei den Pflasterdecken von 49,6 %. Die Asphaltdecken weisen demgegenüber deutlich höhere Anteile im sehr guten bis mittleren Zustandsbereich (1,0 bis 3,0)



**Bild 60:** Vergleich der Längenanteile für die Zustandswerte der mittleren Wassertiefen ZWSPH für Asphaltdecken und Pflasterdecken



**Bild 61:** Vergleich der Längenanteile des Gebrauchswerts TWGEB für Asphaltdecken und Pflasterdecken



auf. Trotzdem kann auch der mittlere Längenanteil aller Analysestädte von knapp 20 %, der für die Fahrbahnen mit Asphaltdecken bei durchgehender Anwendung der Durchschlagsregel am oder über dem Schwellenwert liegt, als relativ hoch eingestuft werden.

## 4 Schwachstellenanalyse des derzeitigen Bewertungsverfahrens

Einige der nachfolgend behandelten Komponenten des derzeitigen Bewertungsverfahrens werden seit längerer Zeit kritisch im Hinblick auf ihre Plausibilität diskutiert, z. B. im Rahmen des bereits mehrfach erwähnten Leitfadens, aber auch im zuständigen Gremium der FGSV, dem Arbeitskreis 9.15.7, sowie im Rahmen des FE 09.132/2003/MGB „Verbesserung der praxisnahen Bewertung des Straßenzustandes“ (FE 9.132). Zu diesen erkannten und z. T. bereits in Kapitel 3 aufgezeigten Schwachstellen gehören:

- Die Unstetigkeiten der Normierungsfunktionen bei den Zustandswerten 1,5 und 4,5 (s. Kapitel 4.1).
- Die Begrenzungen der Bewertungsskalen bei 1,0 bzw. 5,0 (s. Kapitel 4.2).
- Die Aufhebung der numerischen Werteverknüpfung durch die Durchschlagsregel (s. Kapitel 4.3).
- Das komplizierte numerische Verknüpfungsverfahren bei der Wertsynthese (s. Kapitel 4.4).

Neben diesen Schwachstellen, für die teilweise bereits Änderungsvorschläge vorliegen, gibt es einige Aspekte des derzeitigen Bewertungsverfahrens, deren Plausibilität zumindest hinterfragt werden sollte. Dazu gehören:

- Die derzeitige Normierung des Längsebenenheitswirkindex LWI (s. Kapitel 4.5).
- Die Bewertung von Flächen mit (wiederhergestellten) Aufgrabungen (s. Kapitel 4.6).

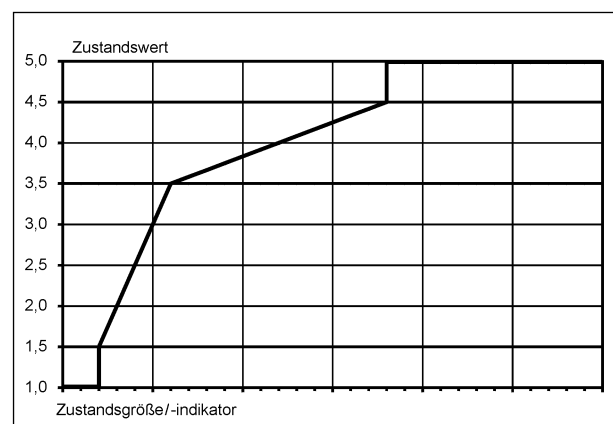
Nachfolgend wird auf diese Aspekte eingegangen. Dabei werden vorliegende Änderungsvorschläge aufgegriffen bzw. neue Vorschläge eingebracht. Die Konsequenzen dieser Änderungsvorschläge werden, so weit erforderlich, anhand der Analysedaten abschnittsbezogen und netzbezogen beurteilt.

### 4.1 Unstetigkeiten der Normierungsfunktionen

Die derzeit gebräuchlichen Normierungsfunktionen weisen bei den Zustandswerten 1,5 und 4,5 Unstetigkeiten in Form von Sprüngen um 0,5-Zustandswerte auf. Zwischen der Zustandswerten 1,0 und 1,5 sowie 4,5 und 5,0 werden dementsprechend keine Zwischenwerte ausgewiesen. Zur Verdeutlichung ist in Bild 62 der schematische Verlauf der Normierungsfunktionen dargestellt (s. auch Bild 11).

Eine plausible Erklärung für die aus Bild 62 ersichtlichen Unstetigkeiten war bisher nicht zu finden. Zwar wurden auch bei den ersten Entwicklungsschritten des Bewertungsverfahrens 0,5-Notenstufen vorgesehen (MAERSCHALK, PINGEL, SCHMUCK 1983; AXTHELM, MAERSCHALK, SCHMUCK, SCHULTE, SUß 1984; SCHMUCK 1987), allerdings durchgängig von 1,0 bis 5,0 und in ausdrücklichem Zusammenhang mit den Genauigkeitsvoraussetzungen und -anforderungen einer visuellen Zustandserfassung. Bei einer messtechnischen Erfassung, deren Zustandswerte mit zwei Nachkommastellen ausgewiesen werden, können Einschränkungen der Messgenauigkeit, trotz der erschwerten Messbedingungen bei Innerortsstraßen, weder für den Bereich unter 1,5 noch für den Bereich über 4,5 als plausible Erklärung akzeptiert werden.

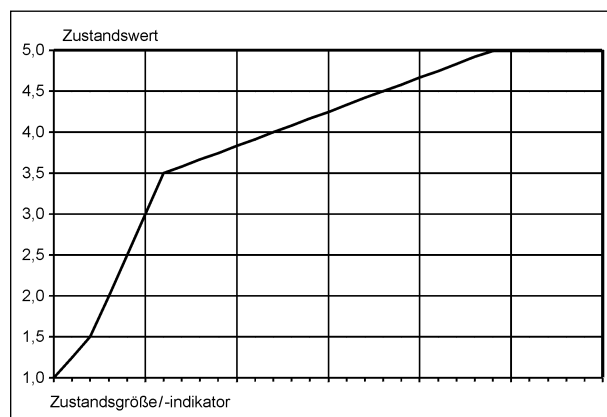
Die für eine messtechnische Erfassung nicht erklärbaren Unstetigkeiten der Normierungsfunktionen sind äußerst abträglich für die Vermittelbarkeit des Bewertungsverfahrens, da sie, auch von Nichtfachleuten, früher oder später hinterfragt werden. Es wurde daher vorgeschlagen, die Unstetigkeiten zu beseitigen, indem, wie in Bild 63 schematisch dargestellt,



**Bild 62:** Unstetigkeiten der Normierungsfunktionen bei den Zustandswerten 1, 5 und 4,5

- die Normierungslinie vom Zustandswert 1,0 zum Zustandswert 1,5 geführt wird,
- die bei 3,5 beginnende Polygonlinie der Normierungsfunktion bis 5,0 verlängert wird.

Die in Bild 63 dargestellte Möglichkeit zur Beseitigung der Unstetigkeiten der Normierungsfunktionen bei den Zustandswerten 1,5 und 4,5 ist allge-



**Bild 63:** Schemadarstellung zur Beseitigung der Unstetigkeiten der Normierungsfunktionen bei den Zustandswerten 1, 5 und 4,5

mein akzeptiert und auch im zuständigen FGSV-Gremium (Arbeitskreis 9.15.7) in dieser Weise beschlossen, aber bisher weder in das Verfahren für Außerortsstraßen noch in das Bewertungsverfahren für Innerortsstraßen übernommen. Eine Überprüfung der einzelnen Zustandsgrößen/-indikatoren mit den Analysedaten erübrigt sich, da

- abschnittsbezogen einige Zustandswerte, die früher genau bei 1,00 oder 5,00 lagen, lediglich Dezimalstellen zwischen 1,01 und 1,49 bzw. 4,50 und 4,99 erhalten und da
- netzbezogen auf der Grundlage der derzeitigen Bewertung minimal eine Klassifizierung in Bereichen von 0,5-Zustandswerten möglich ist, deren Anteile sich nach der Beseitigung der Unstetigkeiten nicht ändern.

Die Indexfunktion zur Bildung von Teilzielwerten weist im Gegensatz zu den Normierungsfunktionen der einzelnen Zustandsgrößen/-indikatoren keine Unstetigkeitsstellen auf (s. Kapitel 3.2.2). Die Beseitigung der Unstetigkeiten der Normierungsfunktionen führt bei der Ermittlung der Teilzielwerte zu folgenden Veränderungen:

Zustandswerte der Einzelmerkmale beim Gebrauchswert Gewichte in %	Max(ZWPGR, ZWSPT) 50 %	ZWSPH 50 %		TWGEB D = Durchschlag
Zustandswerte mit Unstetigkeiten	1,00	1,99		1,47
Zustandswerte ohne Unstetigkeiten	1,49	1,99		1,89
Zustandswerte mit Unstetigkeiten	1,00	2,49		1,90
Zustandswerte ohne Unstetigkeiten	1,49	2,49		2,30
Zustandswerte mit Unstetigkeiten	1,00	2,99		2,31
Zustandswerte ohne Unstetigkeiten	1,49	2,99		2,67
Zustandswerte mit Unstetigkeiten	1,00	3,49		2,68
Zustandswerte ohne Unstetigkeiten	1,49	3,49		3,00
Zustandswerte mit Unstetigkeiten	1,00	3,99		3,99 D
Zustandswerte ohne Unstetigkeiten	1,49	3,99		3,99 D
Zustandswerte mit Unstetigkeiten	1,00	4,49		4,49 D
Zustandswerte ohne Unstetigkeiten	1,49	4,49		4,49 D
Zustandswerte der Einzelmerkmale beim Substanzwert-Oberfläche Gewichte in %	Max(ZWPGR, ZWSPT) 25 %	ZWNRI 50 %	ZWFLI 25 %	TWSUB D = Durchschlag
Zustandswerte mit Unstetigkeiten	1,99	1,00	1,99	1,47
Zustandswerte ohne Unstetigkeiten	1,99	1,49	1,99	1,89
Zustandswerte mit Unstetigkeiten	2,49	1,00	2,49	1,90
Zustandswerte ohne Unstetigkeiten	2,49	1,49	2,49	2,30
Zustandswerte mit Unstetigkeiten	2,99	1,00	2,99	2,31
Zustandswerte ohne Unstetigkeiten	2,99	1,49	2,99	2,67
Zustandswerte mit Unstetigkeiten	3,49	1,00	3,49	2,68
Zustandswerte ohne Unstetigkeiten	3,49	1,49	3,49	3,00
Zustandswerte mit Unstetigkeiten	3,99	1,00	3,99	3,99 D
Zustandswerte ohne Unstetigkeiten	3,99	1,49	3,99	3,99 D
Zustandswerte mit Unstetigkeiten	4,49	1,00	4,49	4,49 D
Zustandswerte ohne Unstetigkeiten	4,49	1,49	4,49	4,49 D

**Tab. 20:** Maximale Änderungen der Teilzielwerte bei Beseitigung der Unstetigkeiten in den Normierungsfunktionen

- Wenn alle Zustandswerte der jeweils berücksichtigten Einzelmerkmale unter 1,5 liegen, ergeben sich für einige Teilzielwerte, die früher genau bei 1,00 lagen, Dezimalstellen zwischen 1,01 und 1,49.
- Wenn ein Zustandswert der jeweils berücksichtigten Einzelmerkmale bei oder über 3,5 liegt, ergeben sich so gut wie keine Veränderungen, da im Bereich ab 3,5 in fast jedem Fall die Durchschlagregel maßgeblich ist (s. Kapitel 4.3).

Wenn ein Zustandswert der jeweils berücksichtigten Einzelmerkmale unter 1,50 liegt und die restlichen Zustandswerte im Bereich zwischen 1,50 und 4,49 liegen, können sich maximal die in Tabelle 20 dargestellten Veränderungen ergeben.

In Tabelle 20 sind, mit den Beziehungen aus Kapitel 3.2.2, für Asphaltdecken die maximalen Änderungen der Teilzielwerte bei Beseitigung der Unstetigkeiten in den Normierungsfunktionen berechnet. Der Zustandswert mit dem größten Gewicht ist dabei jeweils mit 1,00 (mit Unstetigkeiten) und 1,49 (maximaler Wert ohne Unstetigkeiten) angenommen. Für die Zustandswerte der restlichen Merkmale sind die 0,5-Notengrenzen des Bereichs von 1,50 bis 4,49 gewählt. Eine zyklische Vertauschung dieser Werte ist ohne weiteres möglich, die maximalen Verschiebungen treten jedoch auf, wenn die Zustandswerte mit und ohne Unstetigkeiten bei dem Zustandsmerkmal mit dem größten Gewicht angesetzt werden. Die Änderungen liegen bei maximal 0,42 Zustandswerten. Bei einer 0,5-Noten-Klassifizierung für eine netzbezogene Darstellung können sich somit in wenigen Fällen Verschiebungen um eine Klasse ergeben; bei der üblichen Farbdarstellung von Anteilen der Zustandsklassen (blau – grün – gelb – rot) treten keine Veränderungen auf. Wenn die größte Gewichtung unter 50 % liegt, sind die maximalen Verschiebungen noch etwas schwächer ausgeprägt.

Für den Einsatz des derzeitigen Bewertungsverfahrens in der Erhaltungsplanung sind die Unstetigkeiten von größtem Nachteil, weil sie in den betroffenen Bereichen keine Differenzierung nach Eingreifzeitpunkten zulassen und auch die Zustandsprognose und die Maßnahmenbewertung verzerren. Aufgrund der nur geringfügigen Konsequenzen sollte die Beseitigung der Unstetigkeiten in das Bewertungsverfahren für Innerortsstraßen aufgenommen werden.

## 4.2 Einschränkungen des Wertebereichs

Die Bewertungsskala, auf der die Zustandsgröße/-indikatoren bei der Normierung abgebildet werden, ist nach unten und nach oben begrenzt:

- Die untere Begrenzung beim Zustandswert 1,00 soll den technisch bestmöglichen Zustand kennzeichnen.
- Die obere Begrenzung beim Zustandswert 5,00 soll verdeutlichen, dass es bei einem bereits sehr schlechten Zustand relativ unbedeutend ist, ob eine weitere Verschlechterung zu verzeichnen ist.

Die untere Begrenzung beim Zustandswert 1,00 zur Bewertung des Zustands bei 0 mm oder 0 % ist sinnvoll und sollte beibehalten werden. Problematisch ist in diesem Zusammenhang lediglich das Merkmal Griffigkeit. Die Festlegung des 1,5-Werts bei der 5%-Fraktile der Gesamtverteilung aller Griffigkeitswerte besagt, dass ca. 5 % der Messwerte besser sind. Der Zustandswert 1,00 müsste somit bei der „0%-Fraktile“ liegen.

Die o. a. Begründung für die obere Begrenzung beim Zustandswert 5,00 ist nicht haltbar und widerspricht jeder Erfahrung der Praxis. Sie beinhaltet z. B. im Zusammenhang mit Zustandsprognosen, dass Zustandsverschlechterungen zum Stillstand kommen. Diese Begrenzung bei 5,00 ist daher in einer neueren Version des Pavement-Management-Systems dadurch aufgehoben, dass die zwischen 3,5 und 4,5 verlaufende Polygonlinie der Normierungsfunktion linear verlängert und für die Ermittlung von Zustandswerten > 5,00 herangezogen wird. Die Öffnung der Bewertungsskala ist für Anwendungen, die Nutzerkosten berücksichtigen, unerlässlich (LOHSE et al. 2004).

Inwieweit eine einfache lineare Verlängerung der zwischen 3,5 und 4,5 verlaufenden Polygonlinie der Normierungsfunktion sinnvoll ist, soll hier nicht vertieft werden (s. dazu Kapitel 5.3). Abschnittsbezogen ergeben sich durch diese Öffnung sowohl Zustandswerte als auch Teilzielwerte, die über der Note 5 liegen. Bei netzbezogenen Darstellungen von Anteilen für Zustandsklassen (z. B. mit einer Klassenbreite von 0,5-Zustandswerten) ergeben sich keine Änderungen, wenn, wie schon derzeit, abschließend eine nach oben offene Klasse definiert wird (derzeit:  $\geq 4,5 = \text{rot}$ ). Dieser Logik folgend erscheint es sinnvoll, im Rahmen künftiger Anwen-

dungen in Übereinstimmung mit den Vorschlägen im Rahmen der „Verbesserung der praxisnahen Bewertung des Straßenzustandes“ (FE 9.132)

- für Außendarstellungen weiterhin eine Begrenzung bei 5,00 vorzusehen und
- für interne Berechnungen die Bewertungsskala zu öffnen.

### 4.3 Durchschlagsregel

Bei der Wertsynthese zur Verknüpfung der einzelnen Zustandswerte zu Teilzielwerten gilt derzeit i. A. die Durchschlagsregel. Diese Durchschlagregel lautet (s. Kapitel 3.2.2):

- „Ist der errechnete Teilzielwert kleiner als die zum Teilzielwert zugehörigen Zustandswerte, die gleich oder größer als der Warnwert sind, so wird jeweils der größte aller teilwertrelevanten Zustandswerte als Teilzielwert angesetzt.“

Die Durchschlagsregel gilt somit nur, wenn einer der Zustandswerte, die zum jeweiligen Teilzielwert verknüpft werden, bei oder über 3,5 liegt. Die zusätzliche Anwendung einer Durchschlagsregel signalisiert, dass die Teilzielwerte auf der Basis der Verknüpfungsfunktion im Bereich ab dem Zustandswert von 3,5 in vielen Fällen zu gut, d. h. im Ergebnis nicht zufrieden stellend sind, (s. dazu Kapitel 3.3.4).

In Tabelle 21 sind für die Asphaltfahrbahnen der 7 Analysestädte die Verknüpfungsarten mit den Zustandswerten aufgeführt, die für den Gebrauchswert maßgeblich sind. Grundsätzlich ist dabei unterschieden, ob die Durchschlagsregel oder die rechnerische Verknüpfung zur Anwendung kommt. Bei Gültigkeit der Durchschlagsregel sind zusätz-

lich die Zustandswerte angegeben, die für den Gebrauchswert maßgeblich werden. Für diesen Vergleich wurde der Gebrauchswert TWGEB auch in den Städten B und C mit Hilfe der Durchschlagsregel gebildet; ansonsten kamen die derzeitigen Bewertungsansätze zur Anwendung (s. Kapitel 3.3.1).

Tabelle 21 veranschaulicht, dass bei der Ermittlung der Gebrauchswerte ab dem Warnwert die Durchschlagsregel stark dominiert. Die rechnerische Verknüpfung wird nur bei ca. 5 % bis 18 % der Gebrauchswerte maßgeblich (Mittelwert 9,6 %), stellt also eher den Ausnahmefall dar. Bei 82 % bis ca. 95 % der Gebrauchswerte  $\geq 3,5$  schlagen ein oder mehrere einzelne Zustandswerte durch. Stark dominierend beim Durchschlag ist dabei der Zustandswert ZWPGR der Längsebenheit (ca. 52 % bis 92 % der Fälle, Mittel ca. 79 %, s. Tabelle 21); in der Kombination mit anderen (gleich großen) Zustandswerten ist dieser Anteil sogar noch um ca. 2 % größer. Deutlich weniger häufig schlägt der Zustandswert der fiktiven Wassertiefe durch (Mittel ca. 7 %).

In Tabelle 22 sind die maßgeblichen Zustandswerte für den Substanzwert – Oberfläche TWSUB zusammengestellt. Dabei sind die in Kapitel 3.3.1 beschriebenen Bewertungsverfahren herangezogen, allerdings für die Städte B und C unter Berücksichtigung der Durchschlagsregel (aber nicht mit allen Flickstellen, sondern nur aufgebrachten Flickstellen). Stadt D fehlt in Tabelle 22, da die Bildung von TWSUB hier sehr stark von den anderen Analysestädten abweicht (Berücksichtigung von geradliniger Rissen und Ausmagerungen, s. Kapitel 3.3.1).

Bei der Bildung der Substanzwerte TWSUB  $\geq 3,5$  ist die rein rechnerische Verknüpfung nur in sehr seltenen Ausnahmefällen (0,5 % bis 1,3 %, Mittel

Gebrauchswerte TWGEB $\geq 3,5$ : aus Durchschlagsregel infolge ...	Längenanteil in % für Stadt							Mittel
	A1	A2	A3	A4	B	C	D	
ZWPGR	51,8	92,2	90,6	84,7	67,2	92,2	75,2	78,7
ZWSPT	1,1	0,2	0,1	0,1	4,5	0,6	1,2	1,0
ZWSPH	21,2	2,3	2,4	4,5	6,3	1,8	11,0	7,2
ZWPGR+ZWSPT	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
ZWPGR+ZWSPH	4,5	1,4	1,5	2,4	1,8	0,3	0,8	1,9
ZWSPT+ZWSPH	2,5	0,0	0,1	0,1	5,0	0,2	0,3	1,2
ZWPGR+ZWSPT+ZWSPH	0,9	0,2	0,1	0,1	0,7	0,0	0,1	0,3
Summe mit Durchschlag	82,0	96,2	94,8	91,8	85,7	95,1	88,5	90,4
ohne Durchschlag	18,0	3,8	5,2	8,2	14,3	4,9	11,5	9,6
Summe – Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 21: Entstehung der Gebrauchswerte TWGEB  $\geq 3,5$  bei den Asphaltfahrbahnen der 7 Analysestädte

Substanzwerte TWSUB $\geq$ 3,5: aus Durchschlagsregel infolge	Längenanteil in % für Stadt							Mittel
	A1	A2	A3	A4	B	C	D	
ZWPGR	51,1	56,7	52,1	58,1	45,3	72,7		59,2
ZWSPT	14,0	0,7	0,2	0,9	15,8	2,6		5,5
ZWNRI	7,2	4,8	9,8	3,4	20,0	12,8		9,9
ZWFLI	16,8	15,3	20,7	18,1	6,7	1,6		11,3
ZWPGR+ZWSPT	0,8	0,1	0,0	0,0	0,6	0,1		0,3
ZWPGR+ZWNRI	0,9	2,3	3,0	2,0	4,0	7,2		3,8
ZWPGR+ZWFLI	5,0	16,5	11,2	14,6	3,0	0,8		6,9
ZWSPT+ZWNRI	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0		0,1
ZWSPT+ZWFLI	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0		0,0
ZWNRI+ZWFLI	1,5	1,3	0,8	0,6	1,3	0,6		0,9
ZWPGR+ZWSPT+ZWNRI	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0		0,0
ZWPGR+ZWSPT+ZWFLI	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0		0,0
ZWPGR+ZWNRI+ZWFLI	1,6	0,9	0,9	1,8	2,1	1,1		1,5
ZWSPT+ZWNRI+ZWFLI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
ZWPGR+ZWSPT+ZWNRI+ZWFLI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
Summe mit Durchschlag	99,0	98,7	98,8	99,5	99,3	99,5		99,3
ohne Durchschlag	1,0	1,3	1,2	0,5	0,7	0,5		0,7
Summe – Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		100,0

Tab. 22: Entstehung der Substanzwerte TWSUB  $\geq$  3,5 bei den Asphaltfahrbahnen der 7 Analysestädte

0,7 %, s. Tabelle 22) maßgebend. TWSUB ergibt sich fast ausschließlich (im Mittel in ca. 99,3 % der Fälle) aus dem Durchschlag eines Zustandswerts, wobei, in etwas geringerem Maße wie beim Gebrauchswert TWGEB (s. Tabelle 21), der Zustandswert der Längsebenheit dominiert (im Mittel ca. 59 %, in Kombination mit anderen Zustandswerten ca. 72 %). Wesentlich seltener schlagen die Zustandswerte der Flickstellen (ZWFLI, ca. 11 %), der Risse (ZWNRI, ca. 10 %) und der Spurrinnen (ZWSPT, 5,5 %) durch. Sofern die Durchschlagsregel bei der derzeitigen Bewertung Beachtung findet, könnte somit problemlos auf die rechnerische Verknüpfung verzichtet werden. Die Dominanz im Durchschlag des Zustandswerts der Längsebenheit ZWPGR erscheint allerdings speziell im Zusammenhang mit dem Substanzwert TWSUB nicht unproblematisch.

In der Praxis stößt die Durchschlagsregel für Flickstellen bei der Ermittlung des Substanzwerts häufig auf Kritik. Da bei einem Zustandswert von ZWFLI  $\geq$  3,5 selten die rechnerische Verknüpfung, sondern, neben dem dominierenden Zustandswert ZWPGR, häufiger auch der Zustandswert für Flickstellen ZWFLI maßgeblich wird (s. Tabelle 22), erhalten Abschnitte, an denen z. B. Risse durch Flicker abgedichtet werden, in der Regel eine schlechtere Bewertung als Abschnitte, an denen derartige Unterhaltungsmaßnahmen unterbleiben.

Ein Bewertungsalgorithmus, der die zur Substanzkonservierung durchgeführten und örtlich-punktuell zustandsverbessernd wirkenden Unterhaltungsmaßnahmen schlechter einstufte als „Nichts-tun“, stellt den Sinn der baulichen Unterhaltung in Frage und ist damit in der Praxis sehr schwer vermittelbar.

Wenn die Flickstellen bei der Durchschlagsregel keine Berücksichtigung finden, ist der Anteil an Substanzwerten TWSUB  $\geq$  3,5, die aus der rechnerischen Verknüpfung entstehen, etwas höher (im Mittel 2,3 %, s. Tabelle 23) als bei einem Durchschlag der Flickstellen. Beim derzeitigen Bewertungsverfahren wird der Einfluss des Zustandswerts der Längsebenheit ZWPGR noch größer (74,2 %, in Kombination mit anderen Zustandswerten mehr als 80 %).

Die Vergleiche in den Tabellen 21 bis 23 beziehen sich auf die Teilnetze mit Gebrauchs- bzw. Substanzwerten ab dem Warnwert von 3,5. Nachfolgend ist die Wirkung der Durchschlagsregel für die Gesamtnetze der Asphaltfahrbahnen der 7 Analysestädte veranschaulicht. Tabelle 24 zeigt dazu die Mittelwerte der beiden Teilzielwerte und des Gesamtwerts mit und ohne Anwendung der Durchschlagsregel. Die Häufigkeitsverteilungen aller Teilzielwerte der Asphaltfahrbahnen sind, jeweils mit und ohne Anwendung der Durchschlagsregel, dargestellt in

Substanzwerte TWSUB $\geq$ 3,5: aus Durchschlagsregel infolge ... (ohne Durchschlag ZWFLI)	Längenanteil in % für Stadt							Mittel
	A1	A2	A3	A4	B	C	D	
ZWPGR	67,1	84,4	77,5	88,4	51,4	74,6		74,2
ZWSPT	16,1	1,0	0,4	1,1	16,7	2,6		6,1
ZWNRI	9,6	6,4	12,0	4,4	22,1	13,6		11,5
ZWPGR + ZWSPT	1,0	0,1	0,1	0,1	0,7	0,1		0,3
ZWPGR + ZWNRI	2,7	3,4	4,4	4,1	6,3	8,3		5,6
ZWSPT + ZWNRI	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0		0,1
ZWPGR + ZWSPT + ZWNRI	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0		0,0
Summe mit Durchschlag	96,5	95,4	94,5	98,0	97,8	99,2		97,7
ohne Durchschlag	3,5	4,6	5,5	2,0	2,2	0,8		2,3
Summe – Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		100,0

**Tab. 23:** Entstehung der Substanzwerte TWSUB  $\geq$  3,5 ohne Durchschlag von Flickstellen den Asphaltfahrbahnen der 7 Analysestädte

- Bild 64 für den Gebrauchswert TWGEB,
- Bild 65 für den Substanzwert – Oberfläche TWSUB.

Dabei sind die Zustandsbereiche unterschieden, die normalerweise bei der Aufbereitung von messtechnischen Erfassungen dargestellt werden (< 1,5, 1,5 bis < 3,5, 3,5 bis < 4,5, ab 4,5). Nach dieser Systematik sind in Bild 66 zusätzlich die Anteile dargestellt, die sich mit und ohne Durchschlag der Flickstellen ergeben.

Aus Tabelle 24 wird ersichtlich, dass die mittleren Gebrauchs- und Substanzwerte der Asphaltfahrbahnen mit Anwendung der Durchschlagsregel maximal um einen Zustandswert, im Mittel um ca. 0,5-Zustandswerte größer sind. Diese Unterschiede führen in den Häufigkeitsverteilungen zu Abweichungen:

- Beim Gebrauchswert TWGEB (Bild 64) werden bei der Vernachlässigung der Durchschlagsregel die Anteile im gesamten kritischen Bereich ab dem Warnwert zwar geringer, die Änderungen sind jedoch nicht gravierend. Innerhalb dieses Bereichs ab 3,5 werden erhebliche Verschiebungen erkennbar, da sich die Anteile ab 4,5 ohne Durchschlagsregel erheblich verringern.
- Beim Substanzwert TWSUB (Bild 65, ohne Stadt D, s. o.) werden die Anteile im Zustandsbereich ab dem Warnwert von 3,5 ohne Anwendung der Durchschlagsregel ganz erheblich geringer als beim Durchschlag einzelner Zustandswerte. Auch die Anteile ab dem Schwellenwert reduzieren sich ohne Durchschlag sehr stark. Die netzbezogenen Verteilungen mit und

Stadt	Gebrauchswert		Substanzwert-Oberfläche		Gesamtwert	
	mit Durchschlag	ohne Durchschlag	mit Durchschlag	ohne Durchschlag	mit Durchschlag	ohne Durchschlag
A1	3,0	2,0	2,5	1,9	3,2	2,9
A2	3,6	3,1	3,5	2,6	3,9	3,3
A3	3,1	2,8	3,1	2,4	3,4	3,0
A4	3,5	3,2	3,3	2,3	3,7	3,2
B	2,6	2,4	2,4	1,9	2,8	2,6
C	2,9	2,5	2,7	2,0	3,0	2,6
D	2,0	1,9	1,7	1,6	2,3	2,1
Gesamt	2,8	2,4	2,6	2,0	3,0	2,7

**Tab. 24:** Mittlere Teilzielwerte und mittlerer Gesamtwert mit und ohne Anwendung der Durchschlagsregel

ohne Anwendung der Durchschlagsregel sind beim TWSUB in ihrer Aussage im Hinblick auf das Erhaltungsmanagement bzw. die Erhaltungsplanung nicht mehr vergleichbar.

Bei teilweiser Anwendung der Durchschlagsregel für den Substanzwert TWSUB unter Vernachlässigung des Zustandswerts der Flickstellen ergeben sich relativ geringfügige Änderungen der netzbezogenen Häufigkeitsverteilungen. Wie Bild 66 zeigt, werden die Anteile im kritischen Zustandsbereich an dem Warnwert von 3,5 etwas geringer, ebenso die Anteile ab dem Schwellenwert von 4,5. Die teilweise fast vernachlässigbaren Reduzierungen sind darauf zurückzuführen, dass, wie oben gezeigt (s. Tabelle 22), bei der Bildung des Substanzwerts TWSUB sehr häufig der Zustandswert der Längsebene und nur relativ selten der Zustandswert der Flickstellen durchschlägt.

Die Problematik der derzeitigen Bewertung der Längsebene von Innerortsstraßen, die sich bei

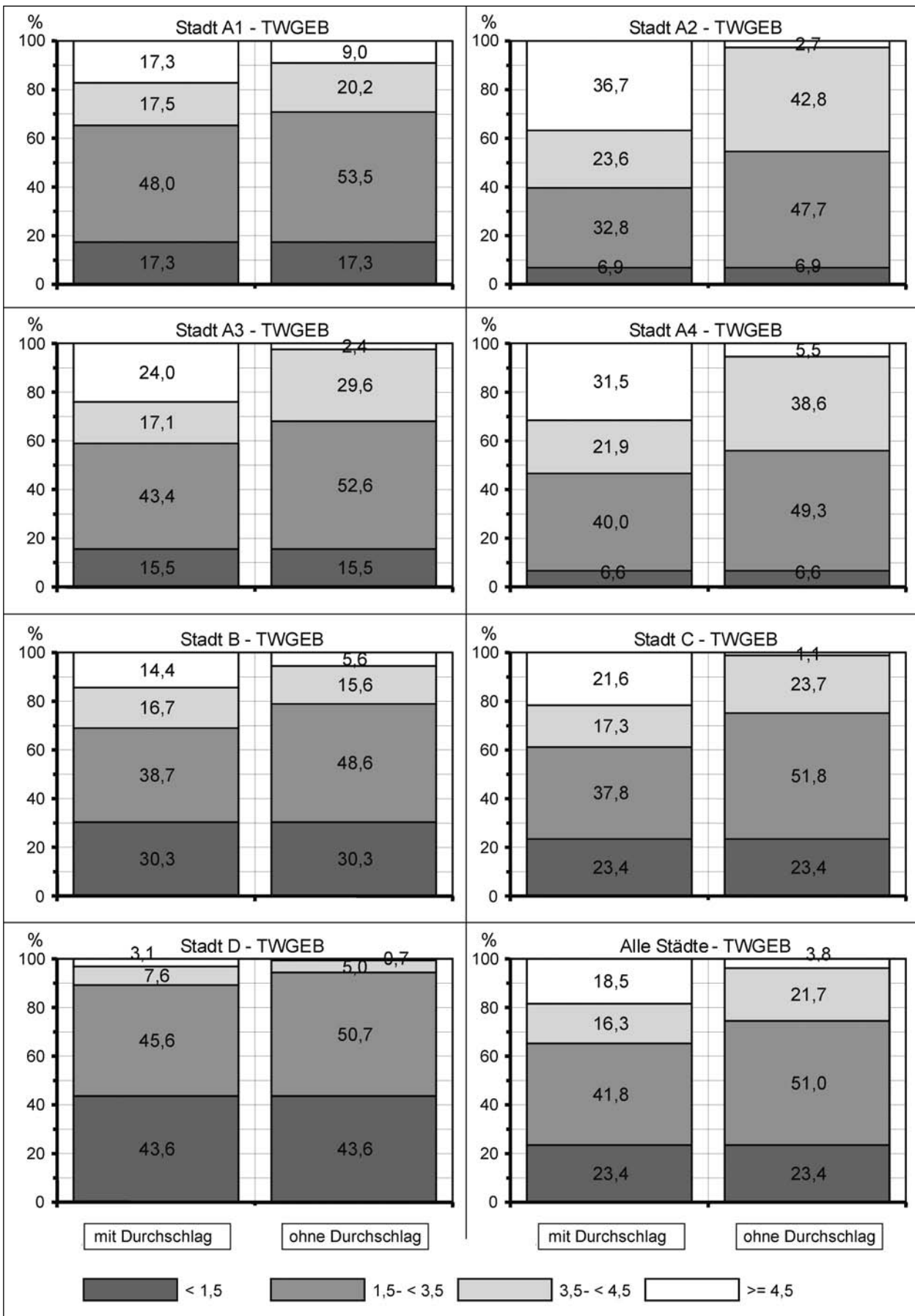


Bild 64: Längenanteile des Gebrauchswerts TBGEB mit und ohne Durchschlagsregel für die 7 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

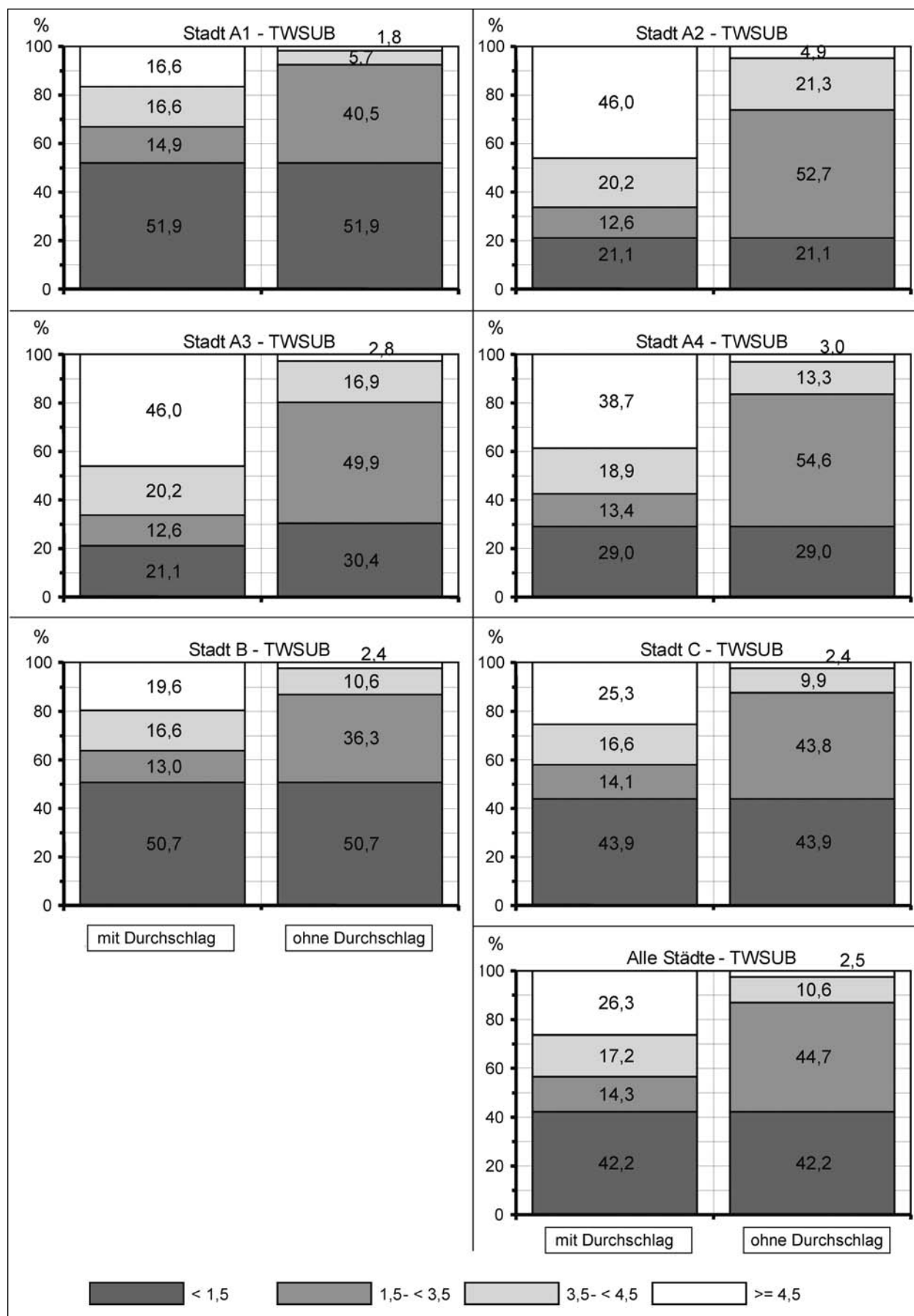
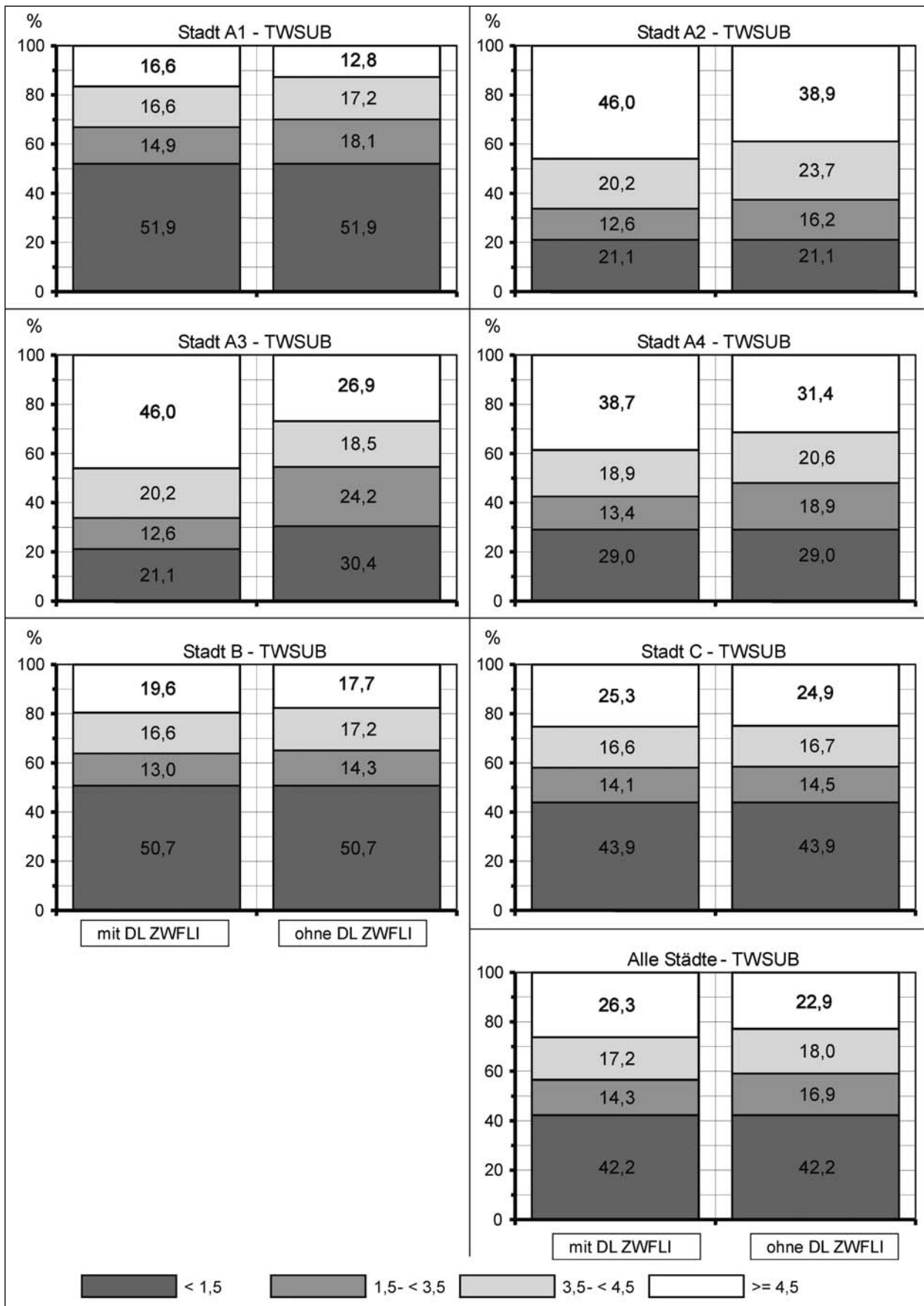


Bild 65: Längenanteile des Substanzwerts TWSUB mit und ohne Durchschlagsregel für 6 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)





**Bild 66:** Längenanteile des Substanzwerts TWSUB mit und ohne Flickstellen bei der Durchschlagsregel für 6 Analysestädte (Asphaltfahrbahnen)

der Anwendung der Durchschlagsregel im dominierenden Einfluss des Zustandswerts ZWPGR zeigt, war ein wesentlicher Anlass für die Durchführung der vorliegenden Untersuchung; in Kapitel 5 wird darauf ausführlich eingegangen. Insgesamt zeigt sich jedoch, dass der Durchschlag einzelner Zustandswerte zu sehr hohen und in dieser Höhe schwer vermittelbaren Anteilen im schlechten Zustandsbereich ab 3,5 und insbesondere im sehr schlechten Bereich ab 4,5 führt. Bei einer rein rechnerischen Verknüpfung ohne Durchschlag besteht die Tendenz zu einer zu guten Zustandsbewertung, eine Tatsache, die in der Vergangenheit zur ergänzenden Einführung der Durchschlagsregel geführt hat. Ein Verfahren, das schon bei der rechnerischen Verknüpfung durch die Skalenspreizung auf 0 bis 100 und die anschließende Komprimierung auf 1 bis 5 (s. Kapitel 3.2.2) nur mühsam nachvollziehbar ist, wird durch die zusätzliche Einbeziehung der Sonderregelung eines Durchschlags weiter kompliziert und damit fehlerträchtig. Nachfolgend in Kapitel 4.4 wird daher versucht, einfachere und besser nachvollziehbare Verknüpfungsverfahren zu entwickeln.

#### 4.4 Numerisches Verknüpfungsverfahren bei der Wertsynthese

Die Analysen zur Durchschlagsregel zeigen, dass bei

- strikter Anwendung des Durchschlags einzelner Zustandswerte sehr hohe Netzanteile im Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 zu erwarten sind,
- völliger Vernachlässigung der Durchschlagsregel nur sehr geringe Netzanteile den Schwellenwert von 4,5 erreichen oder überschreiten,
- teilweiser Anwendung der Durchschlagsregel (Ausklammerung von Flickstellen) infolge der derzeitigen Dominanz der Längsebenheit keine großen Änderungen gegenüber einer vollständigen Anwendung zu erwarten sind.

Das derzeitige Verknüpfungsverfahren stellt somit in jedem Fall eine Schwachstelle im Bewertungsablauf dar, die beseitigt werden sollte. Da für empirische Analysen zu einem modifizierten Verknüpfungsansatz zunächst zu klären ist,

- welche Standardlänge die Auswerteabschnitte haben sollen,
- welche Indikatoren der einzelnen Zustandsmerkmale berücksichtigt werden sollten und

- wie deren Schwellenwerte und Normierungsfunktionen festgelegt werden sollten,

werden die entsprechenden Änderungsvorschläge in Kapitel 5.2 vorgestellt und in ihren Auswirkungen beurteilt. In einer Schwachstellenanalyse ist jedoch auf zwei grundsätzliche Aspekte der derzeitigen numerischen Verknüpfung hinzuweisen. Wie aus der Darstellung in Kapitel 3.2.2 hervorgeht, ist diese Verknüpfung

- so kompliziert, dass sie mit der erforderlichen Indexberechnung und der Einbindung dieses Index in eine logarithmischen Funktion nur schwer und für Anwender kaum mehr verständlich in einer durchgängigen Beziehung dargestellt werden kann,
- unschlüssig, weil das Skalenniveau der einzelnen Zustandswerte und der Teilzielwerte (Noten 1 bis 5) in dem Zwischenschritt der Indexbildung (Punkte von 0 bis 100) erheblich verändert wird (s. dazu Bild 19).

In den Analysen in Kapitel 5.2 werden daher Vorschläge für die numerische Verknüpfung analysiert und dargestellt, die auf durchgehenden Funktionen ohne Skalensprünge basieren und damit die Schwachpunkte des derzeitigen Verknüpfungsverfahrens vermeiden.

#### 4.5 Einbindung des Längsebenheitswirkindex LWI in das derzeitige Bewertungsverfahren

Für die Bewertung der Längsebenheit wurde zusätzlich zum Unebenheitsmaß in Form des Längsebenheitswirkindex (LWI) ein Zustandsindikator entwickelt (UECKERMANN 2002), der Einzelhindernisse und periodische Unebenheiten besser berücksichtigten soll. Damit kann möglicherweise das Problem gelöst werden, dass die bisherigen Ergebnisse der Längsebenheitsbewertung das subjektive Empfinden bei der Befahrung und auch die Erfahrungswerte der Erhaltungspraxis vielfach nicht ausreichend abbilden. Voraussetzung dafür ist, dass der LWI auf der Grundlage von empirischen Analysen für eine repräsentative Auswahl von Straßen schlüssig in das Bewertungsverfahren eingebunden wird.

In einer Auftragserweiterung wurde der Längsebenheitswirkindex LWI für die Analysestadt B in mehreren Varianten und für verschiedene Abschnittslängen ermittelt. Die Analysen zur Auswahl

einer LWI-Variante und zur Einbindung in das Bewertungsverfahren erfolgen im Zusammenhang mit der Ermittlung der bewertungsrelevanten Zustandsgrößen und -indikatoren in Kapitel 5.2.1. Da der LWI derzeit bereits für Außerortsstraßen und für Ortsdurchfahrten ermittelt wird (vgl. HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003), existieren auch erste Vorgaben zu einer Bewertung. Die Warn- und Schwellenwerte sind dabei völlig identisch mit den entsprechenden Werten für das Unebenheitsmaß AUN (s. dazu Tabelle 14). Unter Berücksichtigung der sehr unterschiedlichen Spannweiten der AUN- bzw. LWI-Werte (vgl. z. B. HINSCH, KRAUSE, MAERSCHALK, RÜBENSAM 2004), sollte dieser vorläufige Ansatz überprüft werden. Diese Überprüfung unter besonderer Berücksichtigung der Belange von Innerortsstraßen ist Gegenstand der Analysen in Kapitel 5.3; dabei werden konkrete Vorschläge für die Bewertung und Einbindung des LWI in die Wertsynthese unterbreitet. Dies erfolgt unabhängig von dem Ergebnis des derzeit anlaufenden, für Außerortsstraßen und Ortsdurchfahrten konzipierten Projekts des FE 04.200/2004/DRB „Umsetzung des Längsebenheitsindex (LWI) in ein praxisnahes, Erhaltungsmaßnahmen auslösendes Verfahren im Rahmen der systematischen Straßenerhaltung“.

#### 4.6 Kennzeichnung und Bewertung von Grabungsflächen

Aufgrabungen der Leitungsträger bzw. -betreiber im Fahrbahnbereich werden i. A. in zwei Baustufen, d. h. zunächst provisorisch und später endgültig, wiederhergestellt. Die endgültige Wiederherstellung soll nach ZTVA-StB 97 (FGSV 1997) so erfolgen, dass die aufgegrabene Fläche dem ursprünglichen Zustand technisch gleichwertig ist. Der Frage, inwieweit dies erreichbar ist, kann hier nicht näher nachgegangen werden. Im Zusammenhang mit der Zustandsbewertung ist von Bedeutung, dass die aufgegrabenen Flächen nach der Wiederherstellung als Flickstellen in Erscheinung treten.

Bei messtechnischen Zustandserfassungen wird derzeit i. A. zwischen aufgebrachten und eingelegten Flickstellen unterschieden (s. Kapitel 3.1.4). Grabungsflächen, die nach der endgültigen Wiederherstellung eher eingelegten Flickstellen entsprechen dürften, werden nicht gesondert gekennzeichnet.

Wenn Flickstellen im Straßenraum vorhanden sind, wurden entweder örtlich-punktuell bzw. kleinflächige Reparaturen durchgeführt oder Grabungen geschlossen. Flickstellen sind somit das Resultat von Instandhaltungsmaßnahmen (bauliche Unterhaltung) bzw. von Wiederherstellungsmaßnahmen. Die Gründe, warum das Ergebnis von durchgeführten Maßnahmen als Schadensmerkmal betrachtet und in die Zustandsbewertung einbezogen wird, können wie folgt zusammengefasst werden:

- Flickstellen können beeinträchtigende Auswirkungen auf die Ebenheit haben (z. B. in Form „aufgebrachter“ Flickstellen).
- Flickstellen beeinträchtigen den Zusammenhang bzw. die Homogenität der ursprünglichen Befestigung. Örtliche Inhomogenitäten sind eine potenzielle Gefahrenstelle für Folgeschäden (z. B. offene Anschlussnähte, Risse).

Der Einfluss von Flickstellen auf die Querebenheit wird bei einer messtechnischen Erfassung mit großer Wahrscheinlichkeit berücksichtigt, da im 1-m-Abstand Querprofile aufgezeichnet werden. Die Wirkung von Flickstellen auf die Längsebenheit kann messtechnisch nur erfasst werden, wenn sich die Flickstellen in der Messlinie befinden. Aus der videotechnischen Ermittlung aufgebrachter Flickstellen lässt sich kein Indikator ableiten, der für eine Bewertung der Längsebenheit brauchbar ist. Die mit ihrem Flächenanteil ausgewerteten aufgebrachten Flickstellen können, wie auch die eingelegten Flickstellen, somit nur hinsichtlich ihrer Wirkungen auf die Substanz bewertet werden.

Es ist nicht nachvollziehbar, wieso aufgebrachte Flickstellen, die sicherlich i. d. R. die Ebenheit beeinträchtigen, in ihrer Substanzwirkung anders bewertet werden sollten als eingelegte Flickstellen. Bei beiden Erscheinungsformen handelt es sich um Inhomogenitäten und potentielle Gefahrenstellen. Eingelegte Flickstellen werden wahrscheinlich i. A. sorgfältiger hergestellt, sodass Folgeschäden möglicherweise später auftreten als bei aufgebrachten Flickstellen. Bei der Zustandsbewertung soll jedoch eine vor Ort vorgefundene Situation bewertet werden und keine Verhaltensprognose gestellt werden. Beide Flickstellenformen beeinträchtigen den Zusammenhang der Befestigung und sollten daher, wie bisher auch überwiegend erfolgt (s. Kapitel 3.3.1), in gleicher Weise bewertet werden. In diesem Falle ist die Unterscheidung „aufgebracht“ und „eingelegt“ verzichtbar.

Nicht für die Zustandsbewertung, aber für vielfältige andere Anwendungen, wäre anstelle der Trennung von aufgebracht und eingelegten Flickstellen eine Unterscheidung zwischen „Reparaturflickstellen“ und „Flickstellen infolge Grabung“ zweckmäßig: Diese Unterscheidung in den Videobildern erscheint bei zusätzlicher Einbeziehung der Frontkamera zumindest genauso möglich und zuverlässig wie die Auswertung aufgebracht und eingelegter Flickstellen. Die Erfassung von „Flickstellen infolge Grabung“ ermöglicht Aussagen zu den Grabungsflächen und zur Grabungshäufigkeit. Diese Parameter werden z. B. benötigt, wenn, wie zunehmend der Fall, betriebswirtschaftliche Kostenrechnungen eingeführt und eventuelle Regressansprüche an Leitungsträger gestellt werden sollen (s. z. B. Becker, BÜHLER, KRAUSE 1998). Das Grabungsgeschehen und die damit verbundenen Zustandsentwicklungen sind darüber hinaus, insbesondere auch im Vergleich zu Bereichen mit keinen oder mit wenigen Grabungen, sowohl von praktischem wie auch von wissenschaftlichem Interesse. Da der Auswerteaufwand nicht erheblich größer als bei der Unterscheidung von aufgebracht und eingelegten Flickstellen ist, sollte eine getrennte Auswertung von grabungsbedingten und sonstigen Flickstellen erfolgen. Für die Zustandsbewertung wären die von beiden Flickstellenarten betroffenen Flächen zu addieren („Flickstellen – Gesamt“).

## 5 Inhaltliche Analyse des Bewertungsverfahrens

Während in Kapitel 4 Unstimmigkeiten und Ungeheimheiten im Bewertungsablauf angesprochen sind, die allgemein, auch bei der Bewertung für Außerortsstraßen (FE 9.132), als Schwachstellen angesehen werden, geht es im Folgenden um inhaltliche Aspekte des Bewertungsverfahrens. Dabei müssen, ausgehend von einer Analyse mit Empfehlungen zur Länge der Auswerteabschnitte, zunächst die Zustandsgrößen und -indikatoren spezifiziert werden, die im Rahmen der Zustandsbewertung berücksichtigt werden sollten. Nach Festlegung der bewertungsrelevanten Zustandsgrößen/-indikatoren können, in Abhängigkeit von vorab ermittelten Funktionsklassen, Festpunkte in Form von Warn- bzw. Schwellenwerten empfohlen werden. Die Schlussfolgerungen aus diesen inhaltlichen Analysen, die durch empirische Auswertungen des verfügbaren Datenmaterials unterstützt

werden, bilden zusammen mit den Vorschlägen zur Beseitigung der Schwachstellen die Grundlage für die Neukonzeption des Bewertungsverfahrens.

### 5.1 Länge der Auswerteabschnitte

Für eine der 7 Analysestädte (Stadt B) liegen die Zustandsgrößen/-indikatoren für eine Standardauswertelänge von 10 m vor. In einer Auftragserweiterung wurden für Stadt B auf der Grundlage der Rohdaten zusätzlich Auswertungen für 20-m-Abschnitte und für 40-m-Abschnitte durchgeführt. Neben den bereits mehrfach aufgeführten Zustandsgrößen/-indikatoren (s. z. B. Kapitel 3.3) wurde auch der Längsebenheitswirkindex LWI für 4 Geschwindigkeitsvariationen und für 10-m-, 20-m- und 40-m-Abschnitte ermittelt; die entsprechenden Analysen sind Gegenstand von Kapitel 5.2.1.

Bei Innerortsstraßen werden, z. B. im Einzugsbereich von signalisierten Knoten, häufiger Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen für relativ kurze Abschnittslängen durchgeführt. Von größerem Interesse sind daher neben abschnittsbezogenen Zustandsdaten auch Einzelereignisse in Bezug auf den Zustand. Bei allen Zustandsgrößen/-indikatoren, die aus einer Mittelwertbildung bzw. einer vergleichbaren Berechnung entstehen, werden diese Einzelereignisse mit zunehmender Abschnittslänge i. A. so weit nivelliert, dass sie häufig nicht mehr erkennbar sind. Da ein Umgang mit den Rohdaten, die Einzelereignisse am schärfsten abbilden, aufgrund der Dateigrößen unhandlich und in der Interpretation und Darstellung Schwierigkeiten bereitet, ist eine Auswertung für vorgegebene Standardabschnittslängen erforderlich. Für die Ortsdurchfahrten der Bundesfernstraßen wird für eine Standardlänge von 20 m ausgewertet (HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003); diese Standardlänge wurde auch in 6 der 7 Analysestädte gewählt. Im Hinblick auf eine möglichst gute Erfassung von Einzelereignissen erscheint eine Standardauswertelänge von 10 m, wie sie für Stadt B eingehalten wurde, ein guter Kompromiss zwischen der Rohdatenebene und der Gefahr einer Nivellierung bei größerer Länge. Da bei 10-m-Abschnitten zudem die Zustandsausprägungen von Kreuzungsbereichen (s. Kapitel 2.4) relativ gut dokumentiert werden können, spricht auch dies für eine Standardauswertelänge von 10 m.

Alle bisher betrachteten Zustandsgrößen/-indikatoren können, wie auch der in Kapitel 5.2.1 einge-

führte Längsebenheitswirkindex LWI, problemlos für Standardlängen von 10 m ausgewertet werden; eine Ausnahme bildet nur das für Außerortsstraßen zur Beschreibung unregelmäßiger Unebenheiten verwendete Unebenheitsmaß AUN (Auswertelänge von 100 m, vgl. Kapitel 3.1.1). Sofern aus der Rohdatenaufbereitung für 10-m-Abschnitte für bestimmte Aufgabenstellungen auch andere Abschnittseinteilungen (z. B. 20 m, 40 m) erzeugt werden können, sind alle Vergleichs- und sonstigen Auswertemöglichkeiten gegeben. Bei der Ermittlung von Zustandsgrößen/-indikatoren auf der Grundlage aggregierter 10-m-Abschnitte sind prinzipiell die folgenden Fälle zu unterscheiden:

- Bei Zustandsgrößen/-indikatoren, die aus Maximalwerten entstehen (z. B. PGR\_MAX, SPT\_MAX, SPH\_MAX oder auch LWI), wird bei der Zusammenfassung von 10-m-Abschnitten zu längeren Abschnitten (z. B. 20 m, 30 m, 40 m) stets der schlechteste Wert aus den eingeschlossenen 10-m-Abschnitten als repräsentativ angenommen.
- Bei Zustandsgrößen/-indikatoren, die sich aus einer Mittelwertbildung oder vergleichbaren Algorithmen ergeben (z. B. PGR\_AVG, MSPTR, MSPHR, Prozent betroffene Fläche), kann bei der Zusammenfassung von 10-m-Abschnitten zu längeren Abschnitten (z. B. 20 m, 30 m, 40 m) der Mittelwert der eingeschlossenen 10-m-Abschnitte als repräsentativ angesetzt werden.

Standardabweichungen der Zustandsgrößen/-indikatoren können allerdings nicht durch einfache Mittelung von 10-m-Abschnitten auf längere Abschnitte übertragen werden. Alle Analysen, die einen Rückgriff auf Standardabweichungen benötigen, können nur für die auf Basis der Rohdaten ausgewerteten Standardabschnittslängen, d. h. entsprechend der Empfehlung für 10-m-Abschnitte, erfolgen.

Bei der Verknüpfung von 10-m-Abschnitten zu längeren (20-m- oder 40-m-)Abschnitten können sich in der Praxis größere Probleme in der Netzzuordnung ergeben. Um zu überprüfen, inwieweit der mathematisch eindeutige Zusammenhang bei der Mittelwertbildung von Zustandsgrößen/-indikatoren auch in der praktischen Umsetzung bestätigt werden kann, wurden auf der Grundlage der verfügbaren Daten für Analysestadt B vergleichend gegenübergestellt die

- mittleren Zustandsgrößen/-indikatoren, die sich bei Aggregation der 10-m-Abschnitte zu 20-m-Abschnitten und zu 40-m-Abschnitten ergeben,
- mittleren Zustandsgrößen/-indikatoren, die aus den Rohdaten für die 20-m-Abschnitte bzw. die 40-m-Abschnitte ermittelt wurden.

Zur Veranschaulichung der praktischen Umsetzbarkeit werden die Verteilungen der folgenden abschnittsbezogenen Differenzen gebildet:

$$\Delta z_{ij} = z_{ij} (\sum \text{Abschnitte}) - z_{ij} (\text{Rohdaten})$$

mit

$z_{ij} (\sum \text{Abschnitte})$  = mittlere Zustandsgröße für Merkmal i und Abschnitt j aus der Aggregation von 10-m-Auswerteabschnitten zu 20-m- bzw. 40-m-Abschnitten,

$z_{ij} (\text{Rohdaten})$  = mittlere Zustandsgröße für Merkmal i und Abschnitt j aus der Auswertung der Rohdaten für 20-m- bzw. 40-m-Abschnitte.

Die Verteilungen der abschnittsbezogenen Differenzen  $\Delta z_{ij}$  sind dargestellt in:

- Bild 67 (Asphalt) und Bild 68 (Pflaster) für den Planografen-Mittelwert PGR\_AVG,
- Bild 69 (Asphalt) und Bild 70 (Pflaster) für die mittleren Spurrinntiefen MSPTR und MSPTL (rechte und linke Radspur),
- Bild 71 (Asphalt) und Bild 72 (Pflaster) für die mittleren Fiktiven Wassertiefen MSPHR und MSPHL (rechte und linke Radspur),
- Bild 73 für die unregelmäßigen Risse RI\_U bei Asphaltdecken,
- Bild 74 für die aufgebracht und eingelegten Flickstellen FLI\_A und FLI\_E bei Asphaltdecken.

Bei den Pflasterdecken ist dabei aufgrund der relativ geringen Abschnittszahlen nur die Aggregation von 10 m auf 20 m sinnvoll. Die Darstellungen zeigen, dass die 10-m-Abschnitte auch in der praktischen Umsetzung relativ problemlos zu 20-m- oder zu 40-m-Abschnitten zusammengefasst werden können:

- Die Mittelwerte (MW) der Differenzverteilungen zeigen bis zur 2. Nachkommastelle keine Abweichung von 0 und entsprechen damit für diese Genauigkeitsstufe den theoretischen Erwartungswerten.

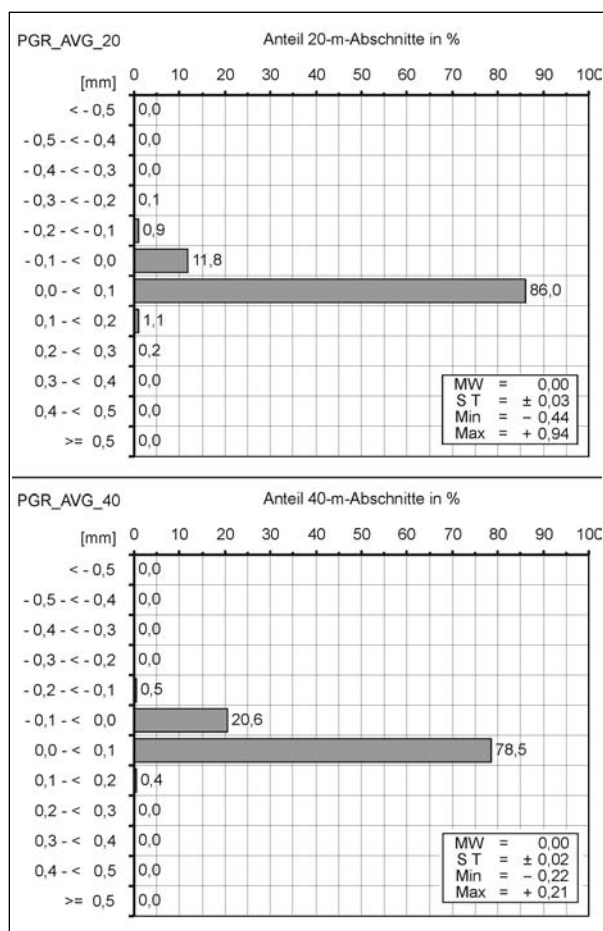
- Bei allen Zustandsgrößen/-indikatoren liegen mehr als 95 % der Differenzen in einem Abweichungsbereich, der allein durch die Rechengenauigkeit verursacht wird. Die Standardabweichungen (ST) der Verteilungen sind dementsprechend minimal.
- Die minimalen (Min) und Maximalen (Max) Abweichungen, die aus Ungenauigkeiten in der lokalen Zuordnung resultieren, liegen durchweg in einem Bereich, der bei der Zustandsbewertung nicht durchschlägt.

Die praxisorientierte Gegenüberstellung der aus 10-m-Abschnitten aggregierten und der für die entsprechenden Abschnittslängen aus den Rohdaten ermittelten Zustandsgrößen/-indikatoren unterstreicht somit, dass bei einer Standardauswertelängen von 10 m entsprechend einer jeweiligen Aufgabenstellung in flexibler Weise und ohne signifikante Genauigkeitsverluste nachträglich längere Abschnitte gebildet werden können.

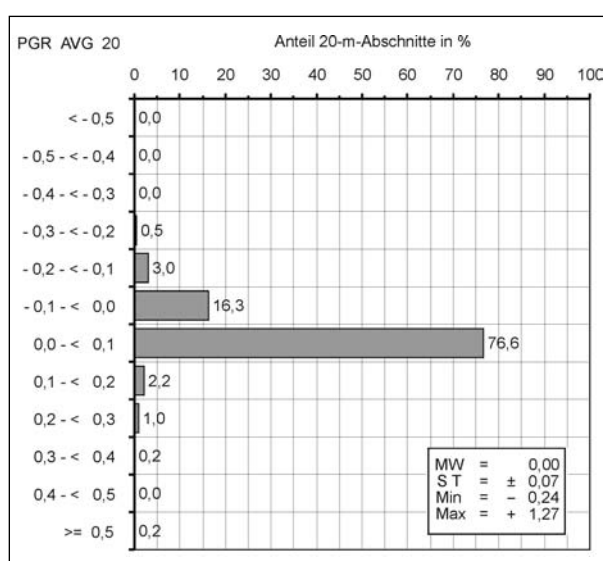
In den Bildern 67 bis 74 wurden nur 20-m- oder 40-m-Abschnitte berücksichtigt, die 2 oder 4 komplette 10-m-Abschnitte einschließen. Da Netzknoten stets den Beginn neuer Auswerteabschnitte bedingen, ergeben sich Restabschnitte, die kürzer als 10 m sind (s. Kapitel 2.3, Bilder 5 und 6). Diese Restabschnitte mit einer geringeren Länge als 10 m wurden bei den vergleichenden Auswertungen nicht berücksichtigt. Bei einer Zusammenfassung von Abschnitten sind diese Restabschnitte kein grundsätzliches Problem, da bei der Berechnung von Mittelwerten längengewichtete Ansätze herangezogen werden können. Für die Aufbereitung der Rohdaten muss jedoch festgelegt werden, wie mit diesen Restabschnitten verfahren werden soll. Um eine Vielzahl sehr kurzer Abschnitte zu vermeiden, wird vorgeschlagen,

- bei jedem definierten Netzknoten mit der 10-m-Rasterung zu beginnen und
- die Restabschnitte mit Längen unter 10 m vor dem Folgenetzknoten in Stationierungsrichtung grundsätzlich dem Vorgängerabschnitt, d. h. dem letzten kompletten 10-m-Abschnitt vor dem Folgeknoten, zuzuordnen.

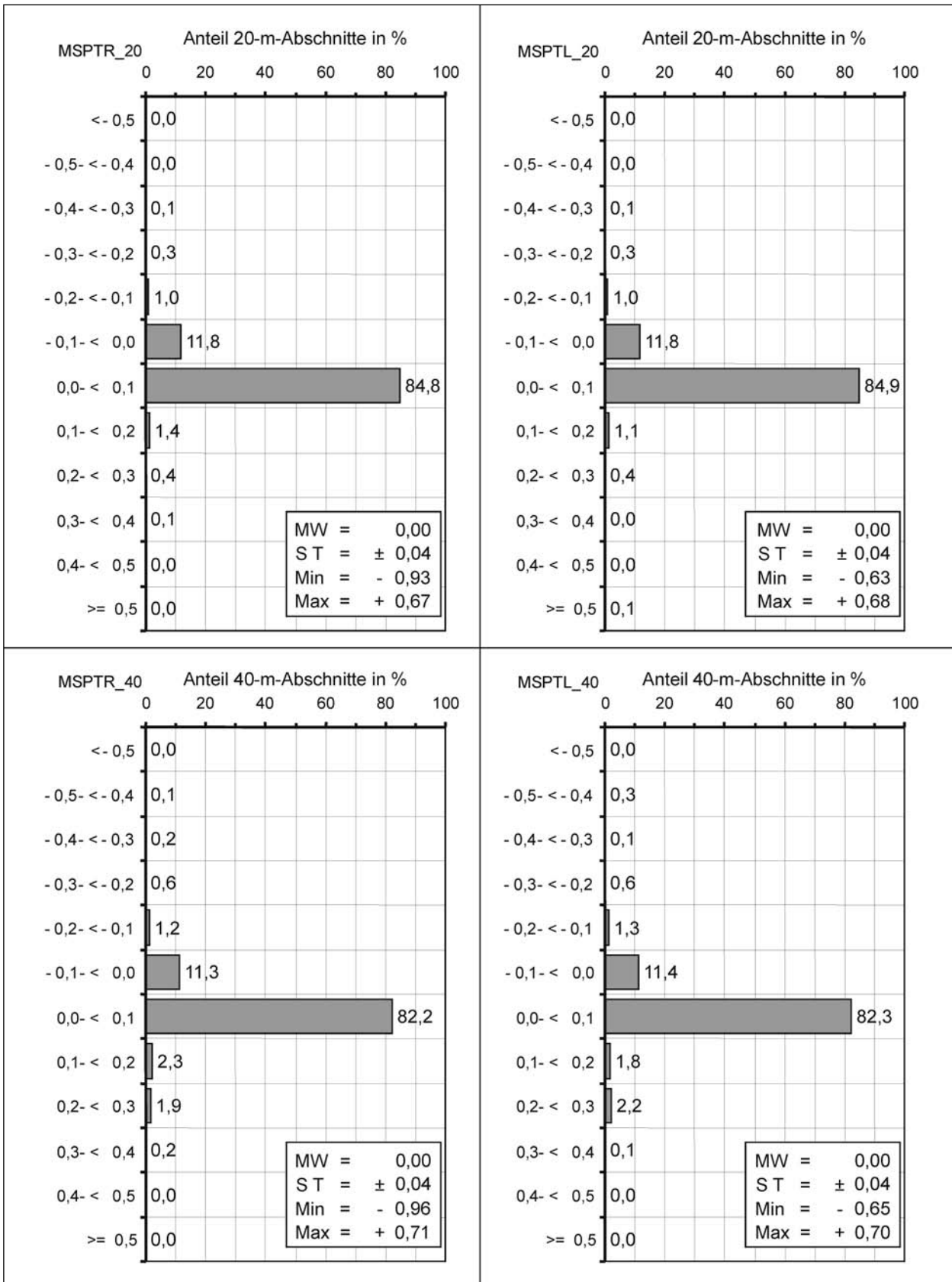
Bei einer 10-m-Rasterung liegt die maximale Auswertelänge dementsprechend bei 19 m (bei 20-m-Rasterung bei 39 m). Anders als bei den Ortsdurchfahrten von klassifizierten Straßen besteht bei Innerortsstraßen in Baulast von Kommunen nicht die Notwendigkeit, das Auswerteraster an



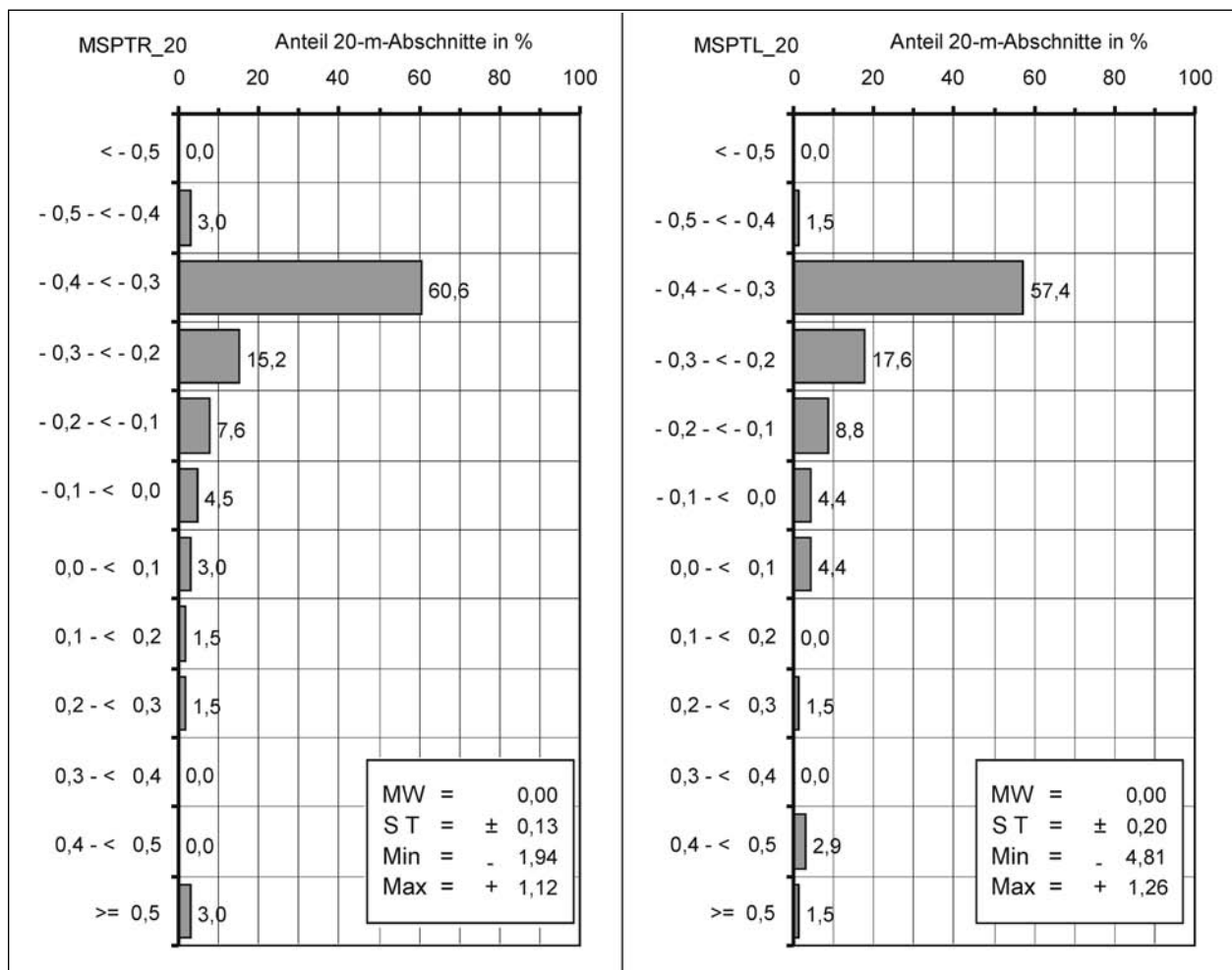
**Bild 67:** Verteilungen der Differenzen  $\Delta PGR\_AVG$  (in mm) der Planogramfen-Mittelwerte aus der Aggregation von 10-m-Abschnitten zu 20-m- bzw. 40-m-Abschnitten und aus der Rohdatenauswertung für 20-m- bzw. 40-m-Abschnitte bei Asphaltdecken



**Bild 68:** Verteilungen der Differenzen  $\Delta PGR\_AVG$  (in mm) der Planogramfen-Mittelwerte aus der Aggregation von 10-m-Abschnitten zu 20-m-Abschnitten und aus der Rohdatenauswertung für 20-m-Abschnitte bei Pflasterdecken



**Bild 69:** Verteilungen der Differenzen  $\Delta$ MSPTR und  $\Delta$ MSPTL (in mm) der mittleren Spurrinntiefen aus der Aggregation von 10-m-Abschnitten zu 20-m- bzw. 40-m-Abschnitten und aus der Rohdatenauswertung für 20-m- bzw. 40-m-Abschnitte bei Asphaltdecken



**Bild 70:** Verteilungen der Differenzen  $\Delta$ MSPTR und  $\Delta$ MSPTL (in mm) der mittleren Spurrinntiefen aus der Aggregation von 10-m-Abschnitten zu 20-m-Abschnitten und aus der Rohdatenauswertung für 20-m-Abschnitte bei Pflasterdecken

eine andere Rasterung (z. B. 100 m) anzupassen (s. dazu HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003). Für eine eindeutige Zuordnung ist es jedoch erforderlich, an den Schnittpunkten der Straßenachsen mit Ortsgrenzen Netzknoten zu definieren.

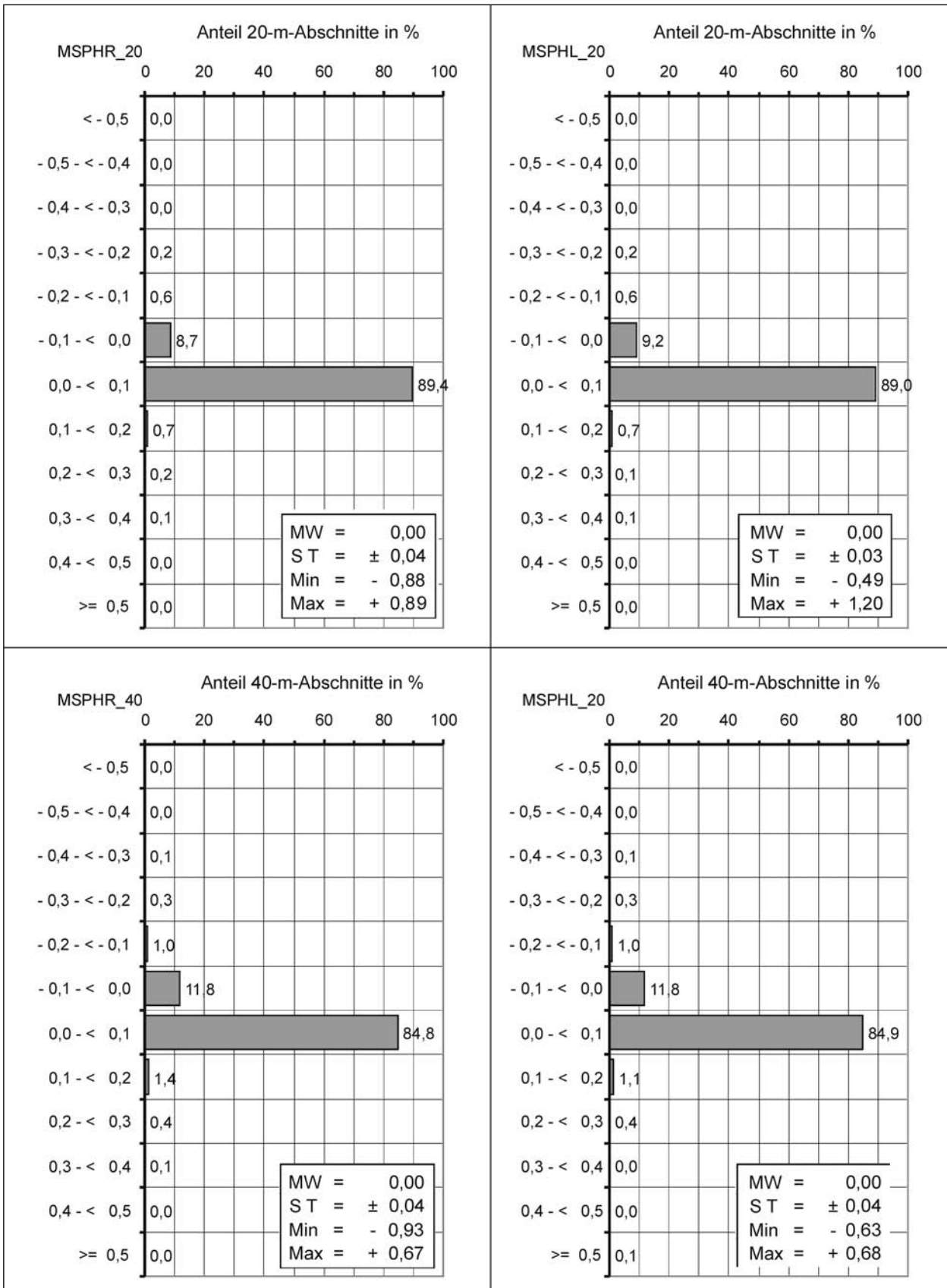
Die netzbezogenen Häufigkeitsverteilungen der Zustandsgrößen/-indikatoren bei der Rohdatenauswertung für Standardabschnittslängen von 10 m, 20 m bzw. 40 m sind dargestellt in

- Bild 75 (Asphalt) und Bild 76 (Pflaster) für den Planografen-Mittelwert PGR\_AVG,
- Bild 77 (Asphalt) und Bild 78 (Pflaster) für die mittleren Spurrinntiefen MSPTR und MSPTL (rechte und linke Radspur),
- Bild 79 (Asphalt) und Bild 80 (Pflaster) für die mittleren Fiktiven Wassertiefen MSPHR und MSPHL (rechte und linke Radspur),

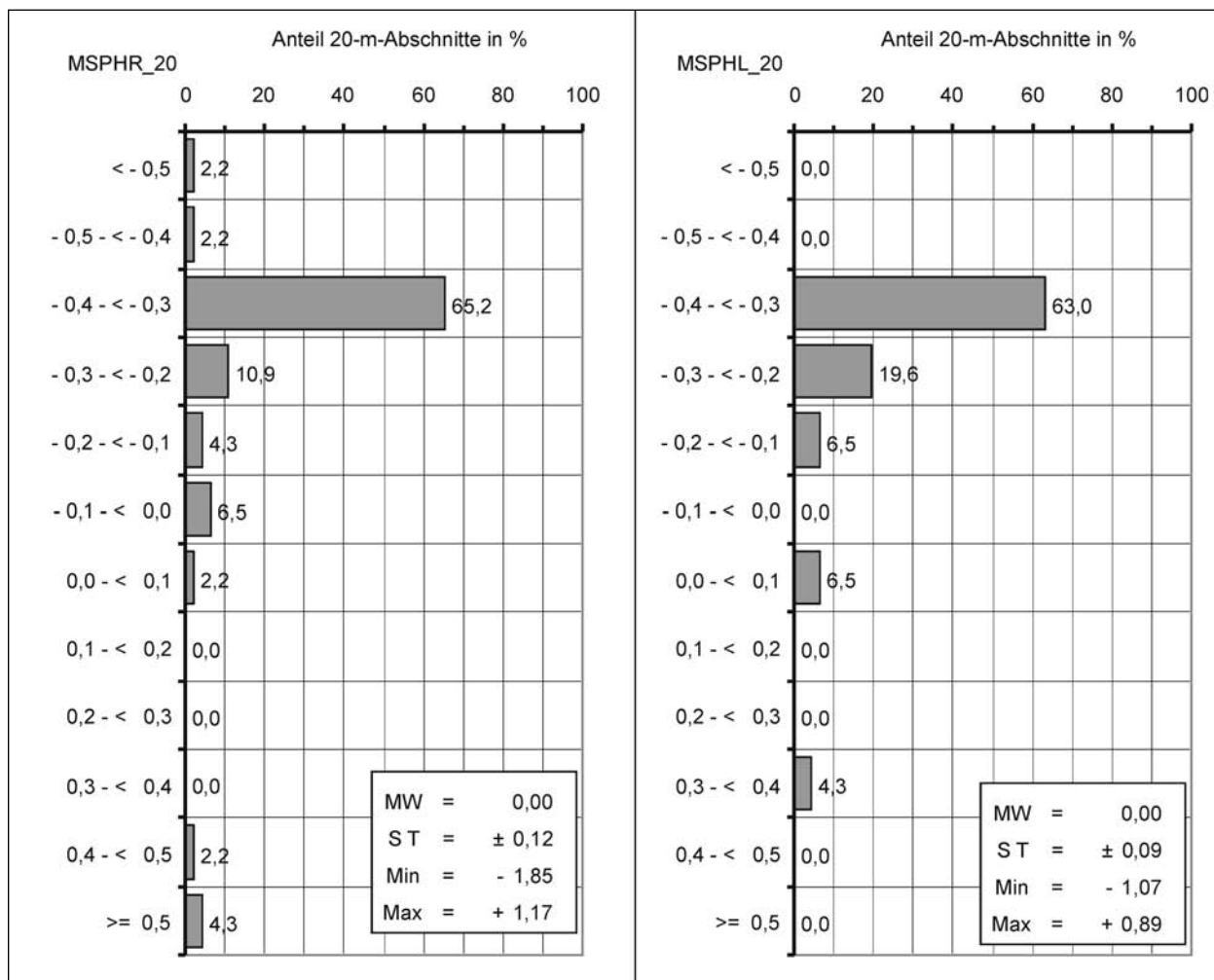
- Bild 81 für die aufgebracht und eingelegten Flickstellen FLI\_A und FLI\_E bei Asphaltdecken,
- Bild 82 für die unregelmäßigen Risse RI\_U bei Asphaltdecken.

Die o. g. Darstellungen der netzbezogenen Häufigkeitsverteilungen veranschaulichen, dass, bei Asphaltdecken wie bei Pflasterdecken, der Netzzustand bei einer Standardauswertelänge von 10 m geringfügig schlechter abgebildet wird als bei einer 20-m- oder 40-m-Rasterung. Wie die angegebenen Mittelwerte und Standardabweichungen zeigen, sind die Unterschiede so klein, dass bei der Vorgabe einer Standardauswertelänge von 10 m trotz der wesentlich größeren Anzahlen der Auswerteabschnitte und trotz des durchaus erwünschten stärkeren Durchschlags von Einzelereignissen kein grundsätzlich anderes Bild von Zustand des Netzes entsteht.

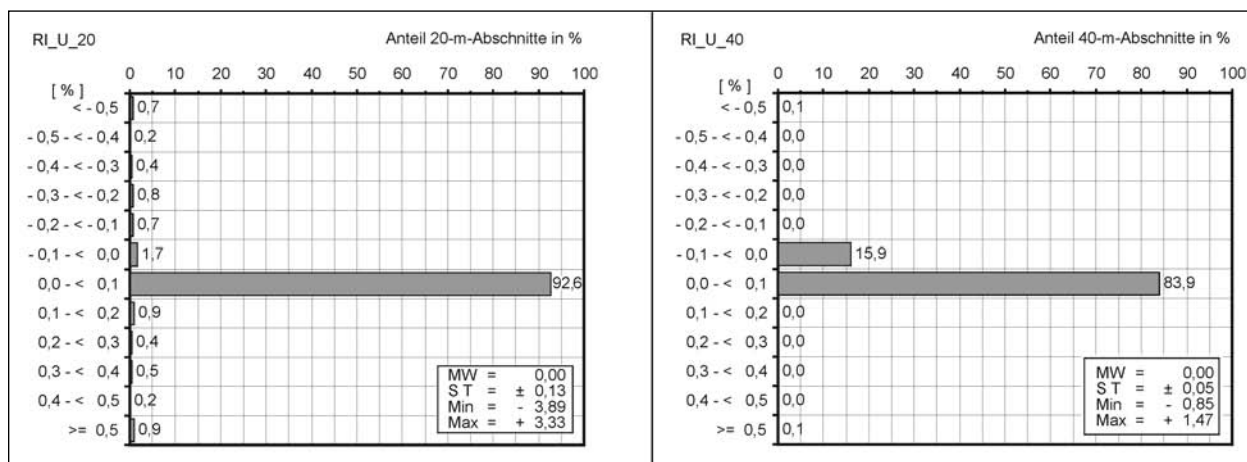




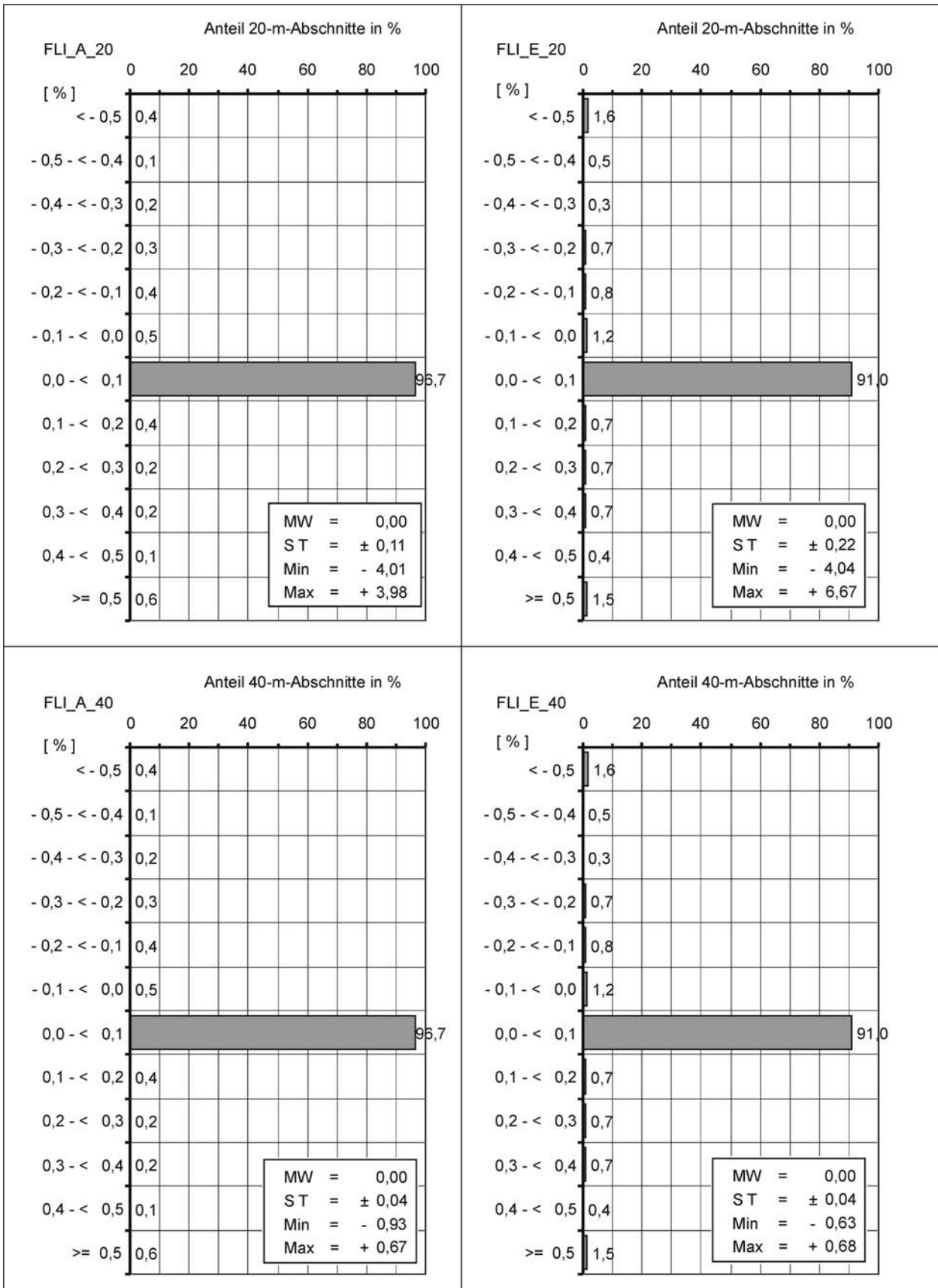
**Bild 71:** Verteilungen der Differenzen  $\Delta$ MSPTR und  $\Delta$ MSPHL (in mm) der mittleren Fiktiven Wassertiefen aus der Aggregation von 10-m-Abschnitten zu 20-m- bzw. 40-m-Abschnitten und aus der Rohdatenauswertung für 20-m- bzw. 40-m-Abschnitte bei Asphaltdecken



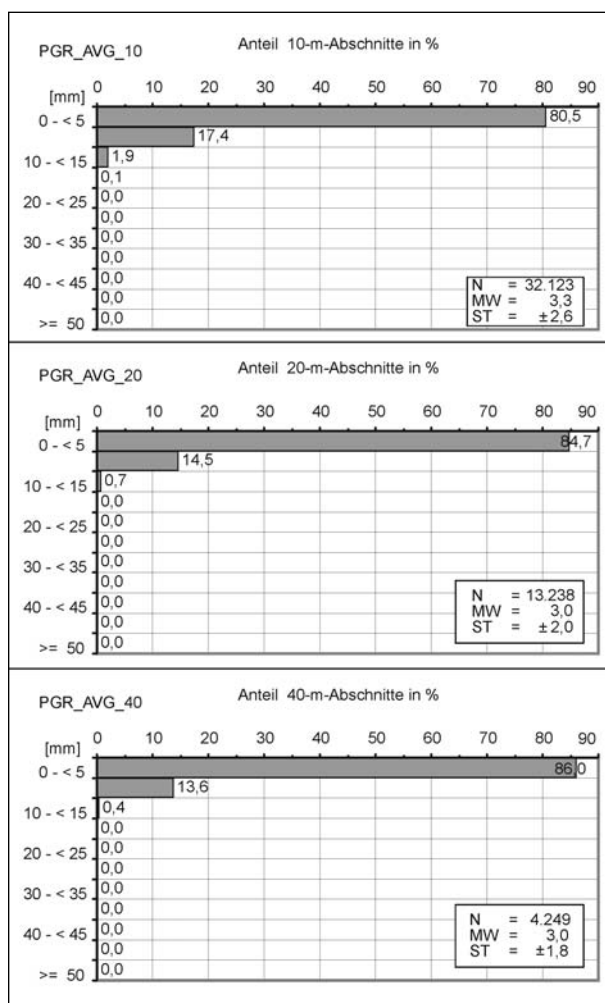
**Bild 72:** Verteilungen der Differenzen  $\Delta$ MSPTR und  $\Delta$ MSPTL (in mm) der Fiktiven Wassertiefen aus der Aggregation von 10-m-Abschnitten zu 20-m-Abschnitten und aus der Rohdatenauswertung für 20-m-Abschnitte bei Pflasterdecken



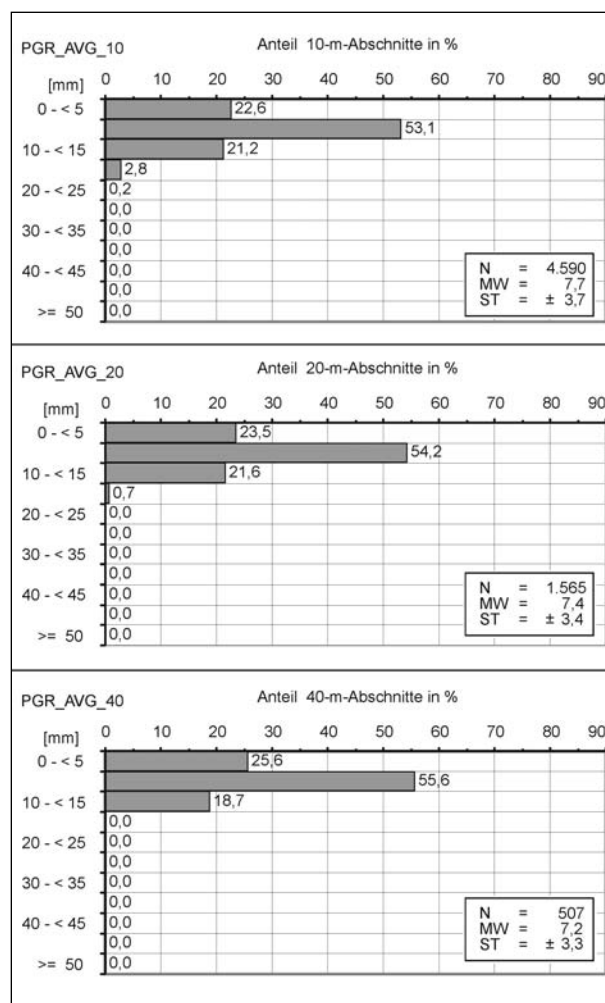
**Bild 73:** Verteilungen der Differenzen  $\Delta$ RI\_U (in %) der unregelmäßigen Risse aus der Aggregation von 10-m-Abschnitten zu 20-m- bzw. 40-m-Abschnitten und aus der Rohdatenauswertung für 20-m- bzw. 40-m-Abschnitte bei Asphaltdecken



**Bild 74:** Verteilungen der Differenzen  $\Delta FLI_A$  und  $\Delta FLI_E$  (in %) der aufgebracht und eingelegten Flickstellen aus der Aggregation von 10-m-Abschnitten zu 20-m- bzw. 40-m-Abschnitten und aus der Rohdatenauswertung für 20-m- bzw. 40-m-Abschnitte bei Asphaltdecken



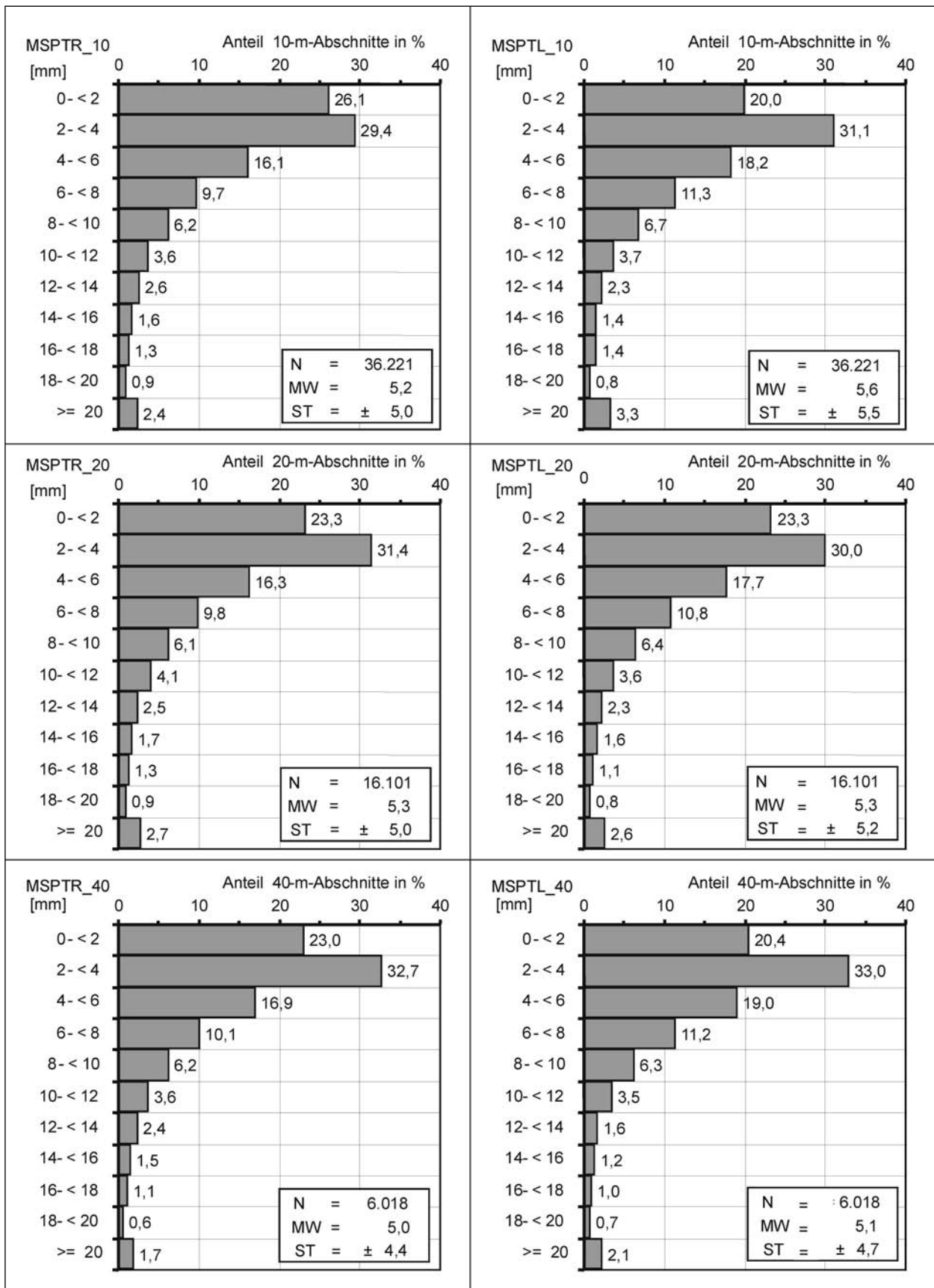
**Bild 75:** Häufigkeitsverteilungen der Planogramfen-Mittelwerte PGR\_AVG für eine Rasterung der Rohdatenauswertung von 10 m, 20 m bzw. 40 m bei Asphaltdecken



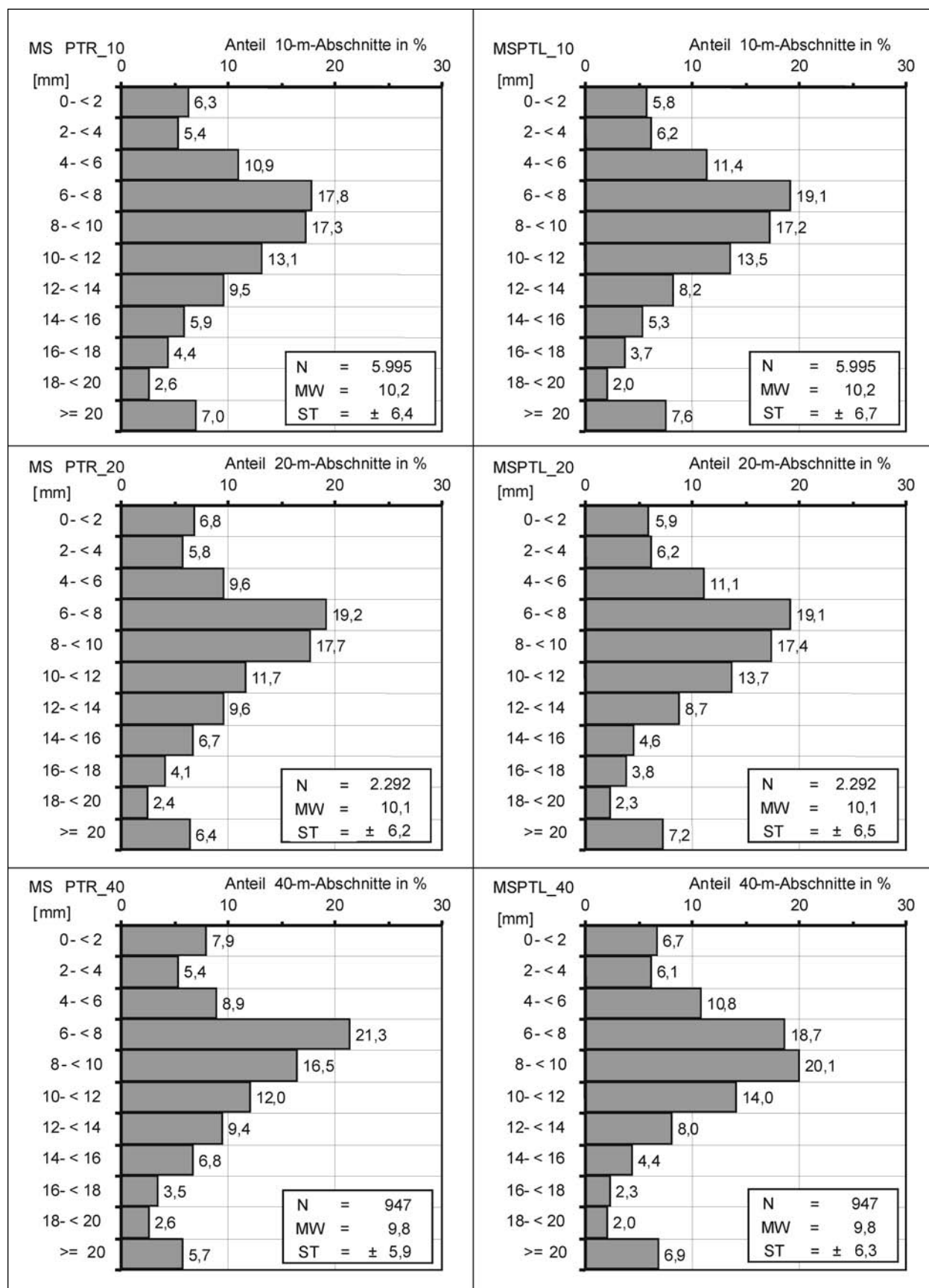
**Bild 76:** Häufigkeitsverteilungen der Planogramfen-Mittelwerte PGR\_AVG für eine Rasterung der Rohdatenauswertung von 10 m, 20 m bzw. 40 m bei Pflasterdecken

Einschränkend anzumerken ist zu den in den Bildern 67 bis 74 dargestellten abschnittsbezogenen Abweichungen und den in den Bildern 75 bis 82 dargestellten netzbezogenen Häufigkeitsverteilungen, dass die Analysen zur Länge der Auswertabschnitte auf der relativ kleinen Datenbasis von nur

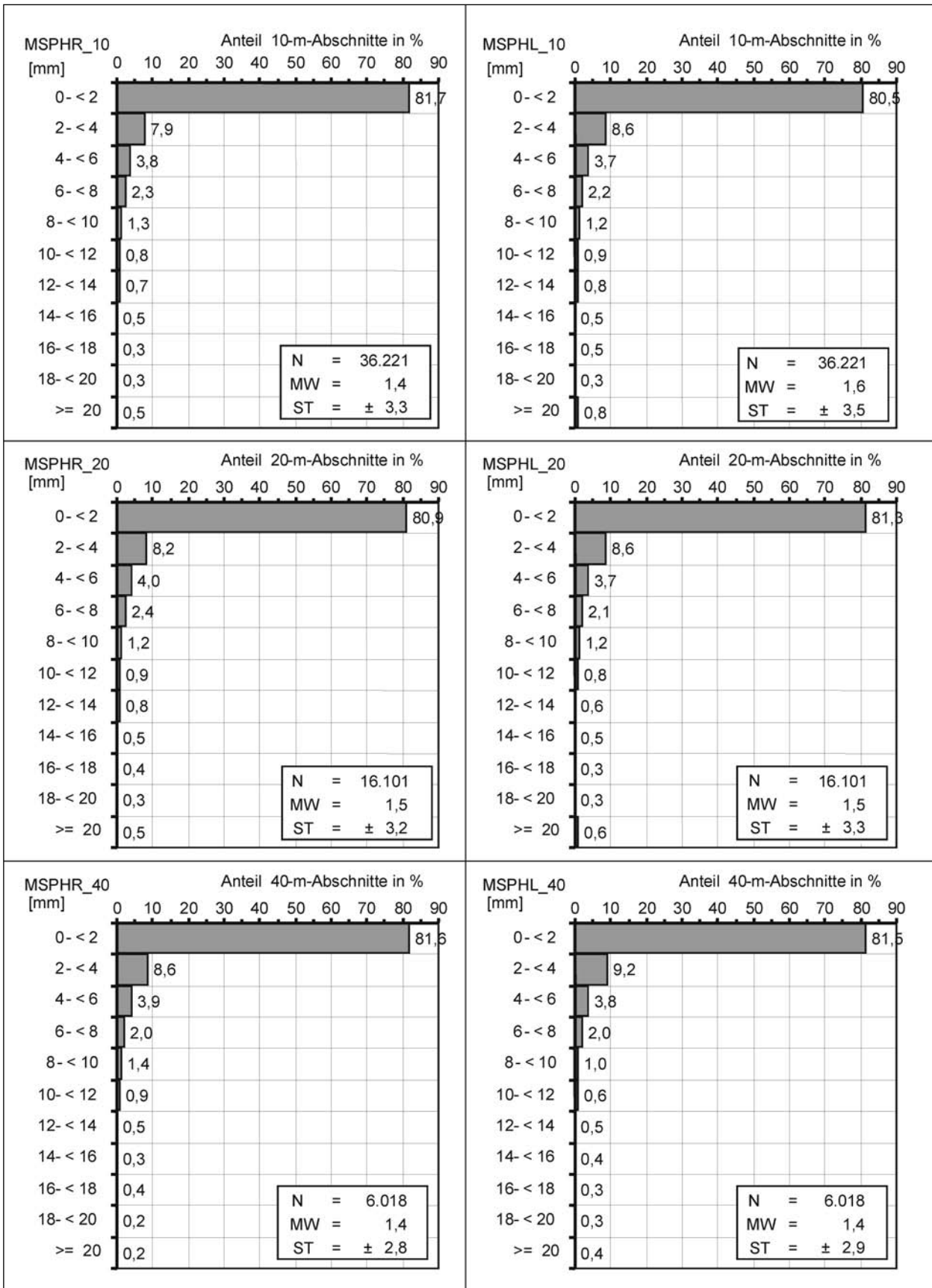
einer Stadt (Stadt B) basieren. Es ist daher nicht auszuschließen, dass die Ergebnisse auch durch örtliche Besonderheiten beeinflusst werden. Es wäre daher zweckmäßig, weitere Städte in die Analysen zur Abschnittslänge (und zum LWI) einzubeziehen.



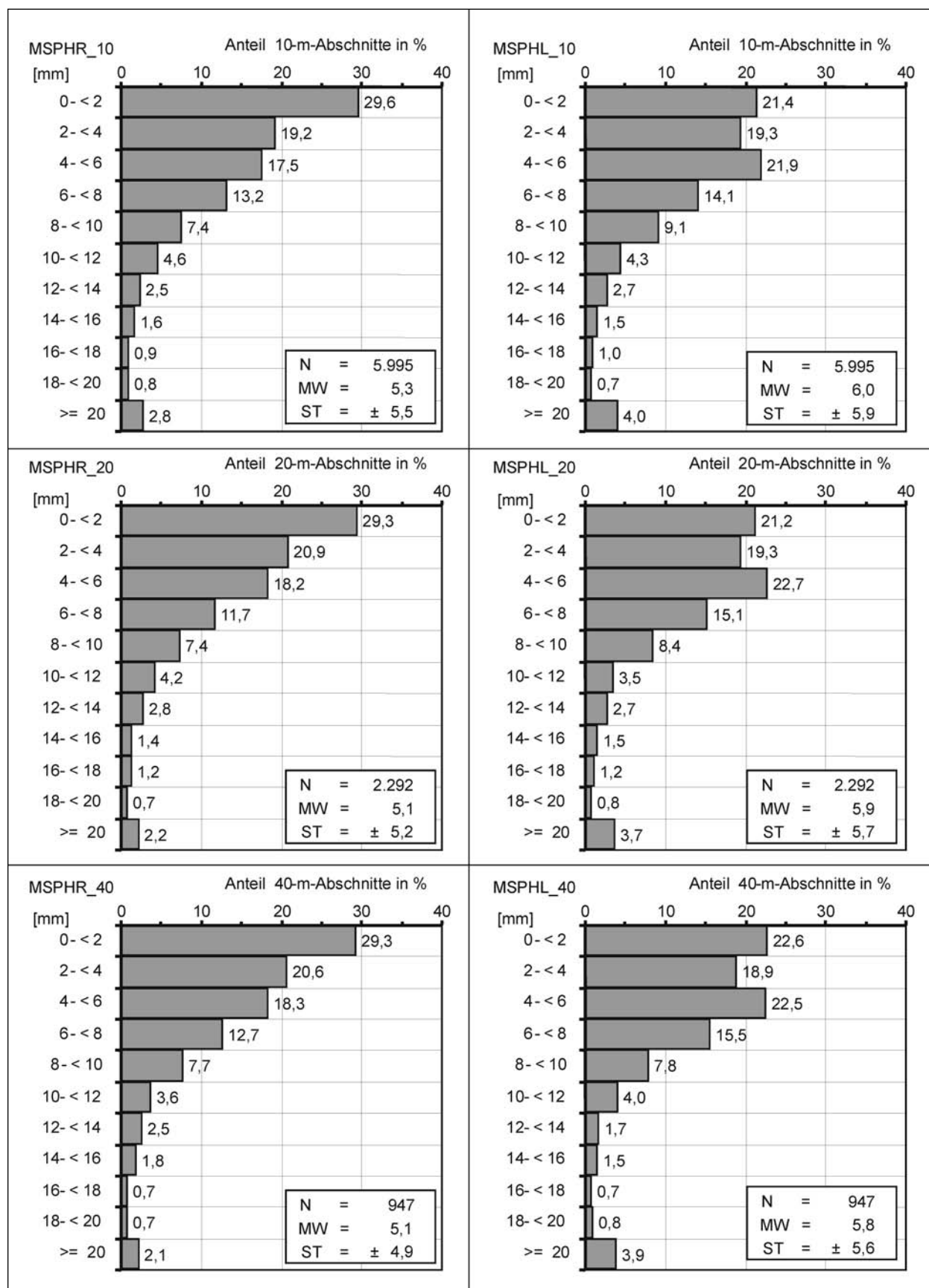
**Bild 77:** Häufigkeitsverteilungen der mittleren Spurrinntiefen MSPTR und MSPTL (linke und rechte Radspur) für eine Rasterung der Rohdatenauswertung von 10 m, 20 m bzw. 40 m bei Asphaltdecken



**Bild 78:** Häufigkeitsverteilungen der mittleren Spurrinntiefen MSPTR und MSPTL (linke und rechte Radspur) für eine Rasterung der Rohdatenauswertung von 10 m, 20 m bzw. 40 m bei Pflasterdecken

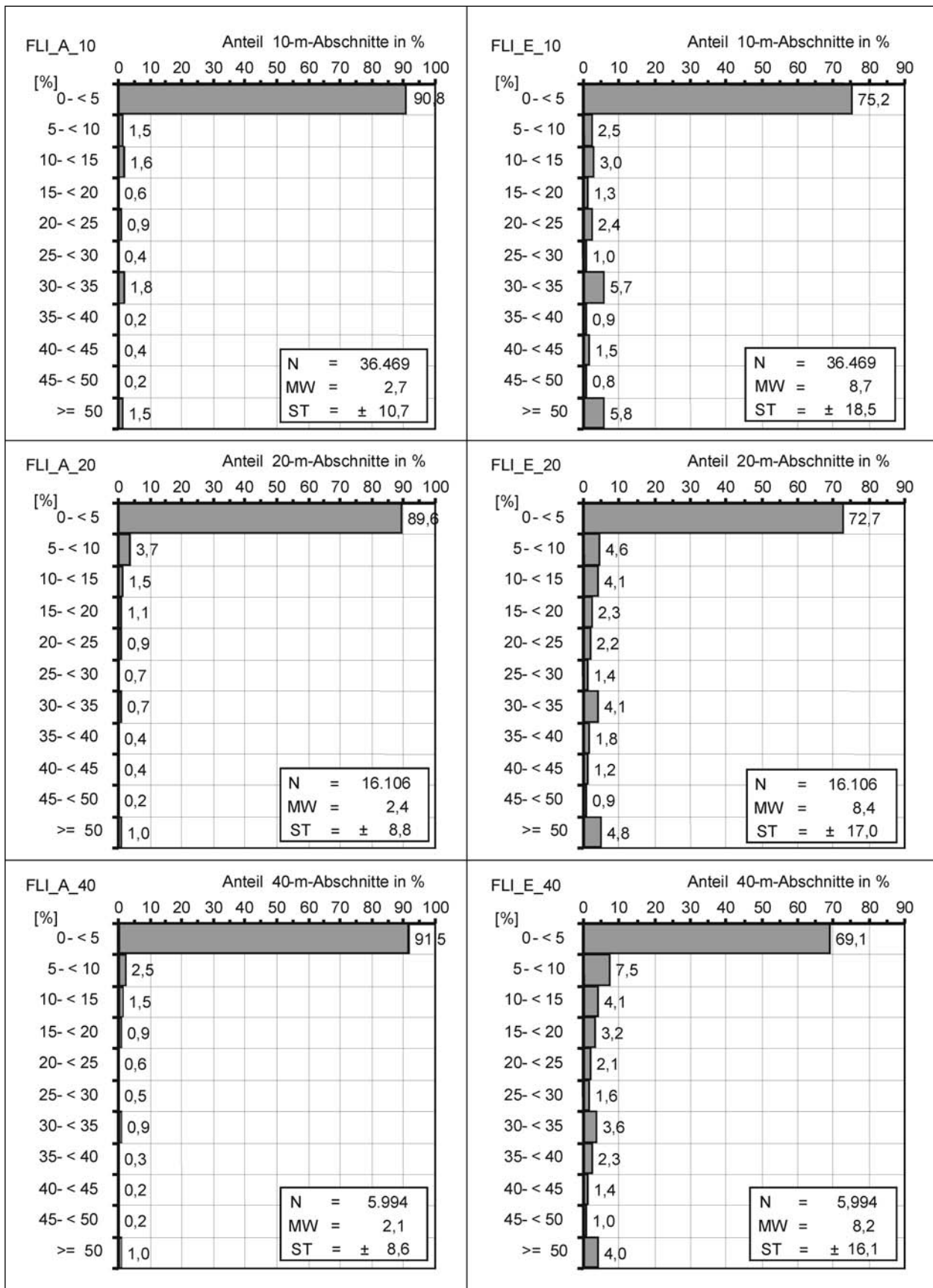


**Bild 79:** Häufigkeitsverteilungen der mittleren Wassertiefen MSPHR und MSPHL (linke und rechte Radspur) für eine Rasterung der Rohdatenauswertung von 10 m, 20 m bzw. 40 m bei Asphaltdecken

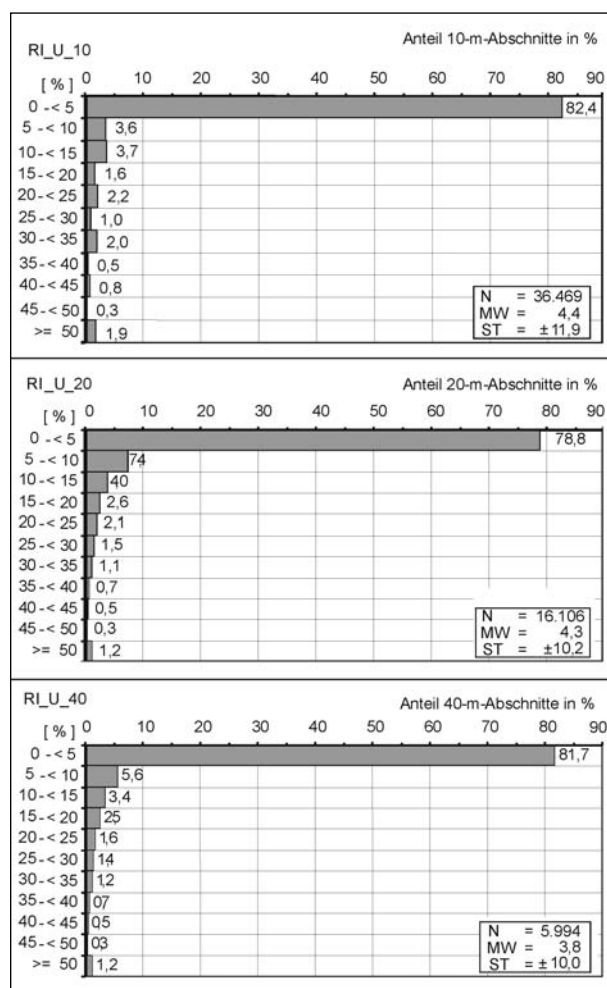


**Bild 80:** Häufigkeitsverteilungen der mittleren Wassertiefen MSPHR und MSPHL (linke und rechte Radspur) für eine Rasterung der Rohdatenauswertung von 10 m, 20 m bzw. 40 m bei Pflasterdecken





**Bild 81:** Häufigkeitsverteilungen der aufgebrachten Flickstellen FLI\_A und der eingeleagten Flickstellen FLI\_E für eine Rasterung der Rohdatenauswertung von 10 m, 20 m bzw. 40 m bei Asphaltdecken



**Bild 82:** Häufigkeitsverteilungen der unregelmäßigen Risse RI\_U für eine Rasterung der Rohdatenauswertung von 10 m, 20 m bzw. 40 m bei Asphaltdecken

## 5.2 Bewertungsrelevante Zustandsgrößen/-indikatoren und Fixpunkte der Normierungsfunktionen

Aufgrund der Unterschiede in der Erfassungstechnik (s. Kapitel 2) ist es bei der Analyse der bewertungsrelevanten Zustandsgrößen und -indikatoren zweckmäßig, wie auch bei den Außerortsstraßen und den Ortsdurchfahrten die vier Merkmalsgruppen der Längsebenheit, der Querebenheit, der Griffigkeit und der Risse/Schäden (= Substanzmerkmale – Oberfläche) getrennt zu betrachten.

Der Untersuchungsschwerpunkt liegt nachfolgend bei den bewertungsrelevanten Zustandsgrößen/-indikatoren und Normierungsfunktionen der Asphaltdecken. Vergleichend werden teilweise auch Auswertungen für Pflasterdecken dargestellt. Auf die Normierungsfunktionen für Pflaster wird in Kapitel 5.3 näher eingegangen.

### 5.2.1 Vorbemerkung: Schwellen-, Warn- und Zielwerte

Neben der Auswahl von bewertungsrelevanten merkmalspezifischen Zustandsgrößen und -indikatoren sollen im Folgenden auch die Funktionen für ihre Umwandlung in Zustandswerte, d. h. die sog. Normierungsfunktionen, festgelegt werden. Der Verlauf dieser Normierungsfunktionen wird durch charakteristische Punkte bestimmt. Die wichtigsten Punkte sind der Schwellen- und der Warnwert. Diese Punkte haben eine Position auf der Bewertungsskala und eine Bedeutung, die zur Verdeutlichung nachfolgend wiederholt sei (s. auch Kapitel 3.2):

- Der Schwellenwert, der beim Zustandswert 4,5 liegt, beschreibt einen Zustand, bei dessen Erreichen die Einleitung von baulichen oder verkehrsbeschränkenden Maßnahmen geprüft werden muss.
- Der Warnwert, der beim Zustandswert 3,5 liegt, beschreibt einen Zustand, dessen Erreichen Anlass zu intensiver Beobachtung, zur Analyse der Ursachen für den schlechten Zustand und ggf. zur Planung von geeigneten Maßnahmen gibt.

Der wichtigere dieser beiden charakteristischen Punkte ist eindeutig der Schwellenwert. Nachfolgend wird daher versucht, Schwellenwerte aufgrund wissenschaftlich abgesicherter Erkenntnisse festzulegen. Wenn, wie im Regelfall, keine eindeutigen wissenschaftlichen Erkenntnisse vorliegen, werden Schwellenwerte vorgeschlagen, die, z. B. im Außerortsbereich, bereits einvernehmlich akzeptiert sind oder akzeptiert werden können. Die Definition der Schwellenwerte, d. h. der Zustandsgrößen/-indikatoren, denen die Note 4,5 zugeordnet wird, hat absoluten Vorrang vor allen anderen Festlegungen.

Ausgehend von der o. a. Definition erscheint es kaum möglich, wissenschaftlich belegte Erkenntnisse zur Lage von Warnwerten anzuführen. Die Planung von geeigneten Maßnahmen erfolgt im Rahmen von Pavement-Management-Systemen über eine Nutzen-Kosten-Bewertung technisch in Frage kommender Maßnahmealternativen. Bei einem entsprechenden Nutzen-Kosten-Verhältnis ist es durchaus möglich, dass Maßnahmen für Abschnitte mit Zustandsgrößen vorgeschlagen werden, die besser sind als die derzeit den Warnwerten zugeordneten Zustandsgrößen/-indikatoren. Der Warnwert dient somit in erster Linie als Markposten für darstellerische Zwecke; aus diesem

Grund liegen die derzeit angesetzten Warnwerte bei „glatten“ Zustandsgrößen/-indikatoren unterhalb der Schwellenwerte, vielfach sogar bei 5er- oder 10er-Größen (s. Tabellen 14 und 15). Inwieweit genau bei diesen Zustandsgrößen/-indikatoren „Anlass zu intensiver Beobachtung, zur Analyse der Ursachen für den schlechten Zustand und ggf. zur Planung von geeigneten Maßnahmen“ besteht, ist somit nicht einmal eine einvernehmlich akzeptierte, sondern lediglich eine rein pragmatische Festlegung. Nachfolgend wird daher bei der Ermittlung von Normierungsfunktionen wie folgt vorgegangen:

- Der Zustandswert 3,5 auf der Bewertungsskala wird weiterhin als Warnwert definiert.
- Die den Warnwerten zugeordneten Zustandsgrößen/-indikatoren ergeben sich aus dem Verlauf der in erster Linie durch die Schwellenwerte festgelegten Normierungsfunktionen.

Bei der Definition des Verlaufs der nachfolgend abgeleiteten Normierungsfunktionen stehen Aspekte wie Plausibilität und einfache Umsetzbarkeit im Vordergrund; im Zweifelsfall wird die einfachere Variante vorgeschlagen. Warnwerte können somit durchaus bei Zustandsgrößen/-indikatoren liegen, die im Extremfall mit 2 Nachkommastellen anzugeben sind.

Bei den derzeit angewendeten Normierungsfunktionen existiert noch ein weiterer Festpunkt, der den Zustandswert 1,5 kennzeichnet. Dieser 1,5-Wert wird, insbesondere bei den Ebenheitsmerkmalen, auch als Zielwert bezeichnet. Die Bezeichnung Zielwert ist zumindest missverständlich. Der Zielwert sollte eigentlich einen Zustand kennzeichnen, der bei der Herstellung bzw. bei einer Erhaltungsmaßnahme anzustreben ist. Dies kann nur der mit der vorhandenen Technik erzielbare „bestmögliche Zustand“ sein. Wenn es derzeit und voraussehbar auch in Zukunft technisch nicht möglich ist, einen Zustand zu erzielen, der durch  $0 \text{ cm}^3$ , mm oder % gekennzeichnet ist, muss der Zustandswert 1,0 für den Zustand vergeben werden, der tatsächlich erzielbar ist (z. B.  $4 \text{ mm} \equiv 1,0$ ). Die Bezeichnung Zielwert ist somit ausschließlich beim Zustandswert 1,0 angebracht.

Derzeit bezeichnet bei den Ebenheitsmerkmalen der 1,5-Wert bzw. der Zielwert die Toleranz, die bei der Abnahme nach der Herstellung bzw. einer Erhaltungsmaßnahme zulässig ist. Dieser Abnahmewert ist im Rahmen der Zustandsbewertung ohne

jede Bedeutung. Es handelt sich dabei um einen Zustand, der in der Praxis mindestens, d. h. im ungünstigsten Fall, erzielt werden muss. Wie die Darstellungen mit den Häufigkeitsverteilungen der Zustandsgrößen im Kapitel 3.3.2 zeigen, gibt es, sogar nach längeren Liegezeiten, große Anteile von Zustandsgrößen/-indikatoren, die unter den für den sog. Zielwert kennzeichnenden Größen liegen. Die 1,5-Werte bzw. Zielwerte im bisherigen Sinne spielen bei der nachfolgenden Definition von Normierungsfunktionen keine Rolle. Zur Vollständigkeit werden jedoch Zustandsgrößen/-indikatoren für die jeweiligen 1,5-Werte angegeben, auch wenn sie so unsinnig sind, wie einige derzeitige, den 1,5- („Ziel“-)Werten zugeordnete Zustandsgrößen/-indikatoren (z. B. 0,1 mm für die fiktive Wassertiefe oder 1 % für Risse und Flickstellen, s. Tabellen 13 und 15).

### 5.2.2 Längsebenheit

Für die Bewertung der Längsebenheit werden derzeit in allen 7 Analysestädten Zustandsindikatoren herangezogen, die auf der Grundlage des erfassten Längsprofils der rechten Radspur des befahrenen Fahrstreifens mit einer Planografensimulation ermittelt werden (s. Kapitel 3.1). In die Bewertung gehen, bezogen auf die derzeit gewählten Längen der Auswerteabschnitte (20 m bzw. 10 m), ein der

- Mittelwert der Planografensimulation PGR\_AVG und der
- Maximalwert der Planografensimulation PGR\_MAX.

Maßgeblich für die Bewertung der Längsebenheit ist der schlechtere Zustandswert aus PGR\_AVG und PGR\_MAX (s. Kapitel 3.3.1).

Die Bewertung der Längsebenheit auf der Grundlage einer Planografensimulation erscheint aus den folgenden Gründen nicht optimal:

- Der Planograf ist nur zur Messung von Unebenheiten bis zu einer Wellenlänge von 4 Metern geeignet. Innerstädtisch sind aber auch Unebenheiten mit Längen deutlich über 4 Metern relevant.
- Selbst unterhalb von 4 Metern misst der Planograf nicht richtig; Unebenheiten von 2 Metern vor bis 2 Metern hinter dem mittig angeordneten Messrad beeinflussen die Messung und führen zu Verzerrungen in Fahrbahnlängsrichtung. Ferner führen das Messprinzip (Uneben-

heiten werden nur in eine Richtung gemessen) sowie die Tatsache, dass jeweils zwischen den Rollen befindliche Unebenheiten die Bezugslinie der Messung „nach oben hin“ durchbrechen können, zu Verzerrungen in der Unebenheitshöhe.

Aus diesen Gründen sollten zwar die Ergebnisse der Planografensimulation bei der Auswertung berücksichtigt und, bezogen auf eine Auswertelänge von 10 m, in der Ergebnisdatei gespeichert werden und für ergänzende Betrachtungen, auch im Hinblick auf Einzelereignisse, verfügbar sein. Für die Bewertung der Längsebenheit sollten jedoch andere Zustandsindikatoren verwendet werden.

Für die Bewertung der Längsebenheit von Ortsdurchfahrten (HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003) wurde vorgeschlagen, bezogen auf eine Auswertelänge von 20 m das Unebenheitsmaß AUN und den Längsebenheitswirkindex LWI zu berücksichtigen. Nachfolgend wird die Eignung dieser Indikatoren für Innerortsstraßen analysiert.

### 5.2.2.1 Unebenheitsmaß AUN

Für die Beschreibung der Längsebenheit kommt bei den Außerortsstraßen wie bei den Ortsdurchfahrten der Zustandsindikator AUN (= Unebenheitsmaß) zur Anwendung. Dieser Indikator charakterisiert das Niveau der Allgemeinen Unebenheiten. Zusätzlich zu den Allgemeinen Unebenheiten, die den regellosen Anteil der Unebenheiten im Längsprofil beschreiben, wird noch nach periodischen Unebenheiten und Einzelhindernissen unterschieden. Hierfür ist derzeit der Längsebenheitswirkindex LWI (JECKERMANN 2002) als möglicher zusätzlicher Indikator in der Erprobung (s. Kapitel 5.2.1.2).

Als Auswirkungen der Längsebenheit werden im Allgemeinen der Fahrkomfort, die Radlastschwankungen und die Beanspruchung von Transportgut im Güterverkehr betrachtet. Für den Zusammenhang von Auswirkungen und Allgemeinen Unebenheiten kann mit guter Näherung folgende Gleichung in Ansatz gebracht werden:

$$\text{var}(q) = \text{AUN} \cdot v^w - 1 \cdot F_q(w)$$

Diese Gleichung besagt, dass die Varianz (das Quadrat der Standardabweichung) der von den Längsunebenheiten verursachten Auswirkungen  $q$  (i. A. in Form vertikaler Kräfte und Beschleunigungen) abhängig von 3 Einflussgrößen ist:

- der Straße, repräsentiert durch AUN und  $w$ , wobei  $w$  für „Welligkeit“ steht, einer dimensionslosen Größe zwischen 1.5 und 3.0, die angibt, ob eine Straße eher von kurzen oder von langen Unebenheiten geprägt ist;
- der Fahrgeschwindigkeit  $v$  und
- den Schwingungseigenschaften des Fahrzeugs bzw. des Menschen,  $F_q(w)$ .

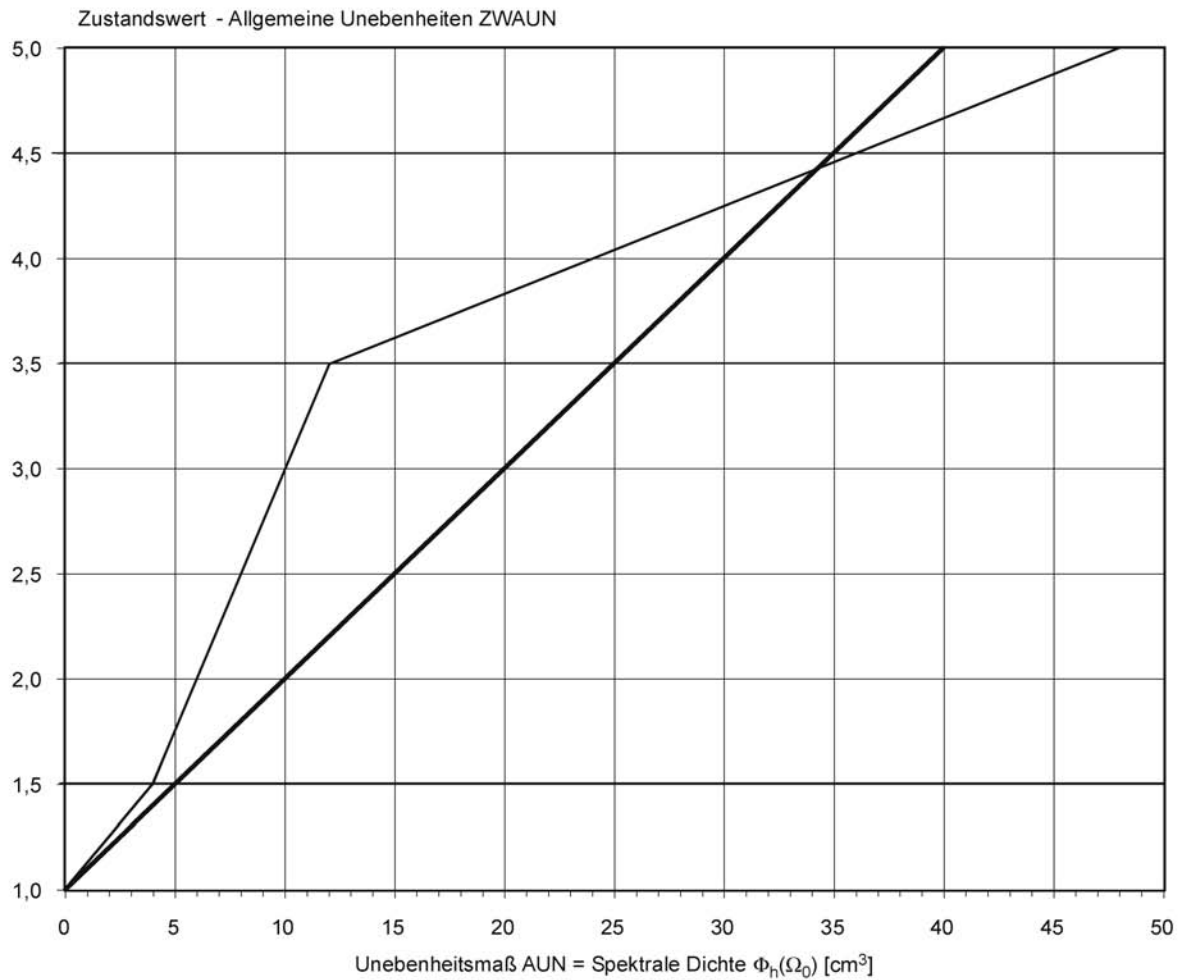
Die Anwendung dieser Gleichung ist jedoch auf Straßenoberflächen beschränkt, die keine auffälligen Periodizitäten oder Einzelhindernisse beinhalten.

Die Welligkeit für Bundesfernstraßen liegt im Schnitt bei knapp über 2. Es kann davon ausgegangen werden, dass Innerortsstraßen, z. B. auch durch sog. „Waschbretter“ bei signalisierten Knoten, im Mittel kurzweilig unebener sind, d. h., eine kleinere Welligkeit  $w$  haben. Wenn ein Wert von  $w \approx 2$  die Innerortsstraßen angemessen repräsentiert, kann aus der o. a. Gleichung geschlossen werden, dass die durch die Straße verursachten Schwingungen proportional zur Fahrgeschwindigkeit sind.

Eine Halbierung der Fahrgeschwindigkeit beispielsweise von 80 km/h auf 40 km/h resultiert also in einer Halbierung der Schwingungsauswirkungen in Form ihrer Varianz. Werden die genannten Geschwindigkeiten als typische Niveaus für Innerortsstraßen angesetzt, können doppelt so hohe Schwellenwerte für das Unebenheitsmaß AUN zugelassen werden wie für Außerortsstraßen der Funktionsklasse 2 (s. dazu Tabelle 14). Diese Verdoppelung entspricht der Funktionsklasse 3 (von Außerortsstraßen). Für Straßen der Funktionsklasse FK3 sind im Rahmen der ZEB bereits Warn- und Schwellenwerte für den AUN definiert, die dem Verhältnis 2:1 in Bezug auf die Funktionsklasse 2 entsprechen (BÜHLER et al. 2002). Bei einer Übernahme für die Innerortsstraßen ergäben sich folgende Stützwerte für die Normierung des Unebenheitsmaßes AUN (s. auch Tabelle 14):

- 1,5-Wert            AUN = 4 cm<sup>3</sup>,
- Warnwert            AUN = 12 cm<sup>3</sup>,
- Schwellenwert    AUN = 36 cm<sup>3</sup>.

Wenn, im Sinne einer Vereinfachung, eine lineare Normierungsfunktion in Betracht gezogen würde, können ein 1,5-Wert von 5 cm<sup>3</sup>, ein Warnwert von 25 cm<sup>3</sup> und ein Schwellenwert von 35 cm<sup>3</sup> angesetzt werden (vgl. Bild 83).



Zustandswert Allgemeine Unebenheiten ZWAUN	
ZWAUN = $1,0 + AUN / (2 * AUN_1)$ $1,5 + 2,0 * (AUN - AUN_1) / (AUN_2 - AUN_1)$ Min (5; $3,5 + (AUN - AUN_2) / (AUN_3 - AUN_2)$ )	für: $AUN \leq AUN_1$ $AUN_1 < AUN \leq AUN_2$ $AUN_2 < AUN$
1,5-Wert, Warn- und Schwellenwert (= Funktionsklasse 3 - Bundesfernstraßen)	
Zustandswert 1,5 bei:	$AUN_1 = 4 \text{ cm}^3$
Warnwert 3,5 bei:	$AUN_2 = 12 \text{ cm}^3$
Schwellenwert 4,5 bei:	$AUN_3 = 36 \text{ cm}^3$
Lineare Normierung	
ZWAUN = $1,0 + 0,1 * AUN$	alle AUN
1,5-Wert, Warn- und Schwellenwert	
Zustandswert 1,5 bei:	$AUN_1 = 5 \text{ cm}^3$
Warnwert 3,5 bei:	$AUN_2 = 25 \text{ cm}^3$
Schwellenwert 4,5 bei:	$AUN_3 = 35 \text{ cm}^3$

**Bild 83:** Normierungsfunktion für das Unebenheitsmaß AUN entsprechend Funktionsklasse 3 von Außerortsstraßen und in einer linearen Variante

Mit der direkten Übernahme des AUN für Innerortsstraßen ist jedoch bei einer Standardauswertelänge von 10 m die Schwierigkeit verbunden, dass der AUN eine Bezugslänge von 100 m (= 1.024 Profilwerte) voraussetzt.

Es gibt drei denkbare Lösungen für dieses Problem:

- Das 100-m-Auswertefenster wird in Schrittweiten von 10 m über das Längsprofil geschoben. Das bedeutet allerdings, dass Unebenheiten 45 Meter vor und hinter dem eigentlichen Auswertabschnitt noch mit in die Bewertung einfließen. Dies setzt außerdem voraus, dass ein ausreichender Datenvorlauf und -nachlauf existiert. Vor- und Nachlauf müssen allerdings sowieso für die Messsysteme, für die Datenverarbeitung (z. B. gleitende Mittelungen) und auch für die Berechnung des LWI vorhanden sein. Dieses überlappende Auswerteverfahren für den AUN könnte z. T. damit gerechtfertigt werden, dass sowieso nur ein Durchschnittswert (eben die Allgemeine Unebenheit) für die jeweilige Straße ermittelt und nicht bezweckt wird, diese genau in 10-m-Abschnitte zu sezieren.
- Eine zweite Möglichkeit wäre, den Auswertalgorithmus für den AUN auf die geringere Auswertelänge für den Innerortsbereich anzupassen. Das setzt (neben einigen weiteren Modifikationen im Algorithmus) u. a. eine Filterung des Längsprofils mittels gleitender Mittelungsfenster von kürzerer Länge als den bisher verwendeten 100 Metern voraus. Im Prinzip spricht nichts dagegen, Straßenspektren auch für kürzere Abschnittslängen, z. B. 10 m, zu berechnen und ihre auf denselben Bezugspunkt bezogenen Indikatoren miteinander zu vergleichen. Die Bezugswegkreisfrequenz, auf die sich der AUN bezieht, und die Schrittweite würden unverändert bleiben, nur der Datenumfang würde sich auf 128 statt auf 1.024 Profilwerte verringern. Die Konsequenz wäre allerdings, dass zwei Indikatoren AUN100 (Aussage stützt sich auf Wellenlängen bis 100 m) und AUN10 (Aussage stützt sich nur auf Wellenlängen bis 10 m) unterschieden werden müssten.
- Eine dritte Variante wäre, innerstädtisch auch den AUN für 100-m-Abschnitte zu berechnen und jedem 10-m-Unterabschnitt denselben AUN zuzuordnen.

Nach der Diskussion der genannten Alternativen erscheint es wenig sinnvoll, den AUN für Innerorts-

straßen beizubehalten. Alle drei Varianten lassen die Vergleichbarkeit zur Bewertung von Außerortsstraßen vermissen und müssen für die Bewertung von 10-m-Abschnitten als zu grob eingestuft werden.

### 5.2.2.2 Längsebenheitswirkindex LWI

Der Längsebenheitswirkindex LWI (UECKERMANN 2002) basiert auf der Auswertung der bereits in Kapitel 5.2.2.1 genannten Bewertungskriterien für die Ebenheit, der Beanspruchung

- der Straße,
- des Fahrers und
- des Ladegutes.

Dazu werden drei Schwingungserscheinungen ausgewertet:

- die Radlastschwankungen einer 11,5-t-Achse,
- die vertikale Beschleunigungen auf das Transportgut und
- der vertikale Schwingungseintrag in den sitzenden Menschen.

Das Maximum der drei normierten Auswirkungen bestimmt den LWI. Aufgrund der Definition des LWI – er bezieht die Filterantworten auf diejenigen Antworten, die die 3 Filter bei derselben Geschwindigkeit auf einer guten Referenzstraße (mit AUN = 1 cm<sup>3</sup> und Welligkeit  $w = 2$ ) abgeben würden – charakterisiert der LWI regellose Unebenheiten geschwindigkeitsunabhängig (im rechnerischen Idealfall regellos normal verteilte Unebenheiten, die im logarithmisch bemaßten Leistungsdichte-Spektrum eine Gerade der Welligkeit  $w$  darstellen). Das heißt:

- Reine regellose Unebenheiten erfahren vom LWI eine geschwindigkeitsunabhängige (quasi-geometrische) Bewertung. Für Straßen der Welligkeit  $w = 2$  ergibt der LWI betragsmäßig die gleichen Werte wie der AUN.

Der LWI wird bei Außerortsstraßen für 100-m-Abschnitte ermittelt. Die Schwingungsauswirkungen werden mittels dreier harmonisch aufeinander abgestimmter Filter (Radlast-, Ladegut- und Mensch-Filter, s. o.) aus den vorliegenden Längsprofilen errechnet. Dabei werden Geschwindigkeiten von 80 km/h (Radlast- und Ladegut-Filter) und 100 km/h (Mensch- bzw. Komfort-Filter) vorausgesetzt.

Für regellos normalverteilte Straßen existiert folgender mathematische Zusammenhang zwischen dem LWI und dem AUN:

Die Wegkreisfrequenz  $\Omega_0$  ist eine Konstante,  $w$  ist die „Welligkeit“ der Straße (eine dimensionslose Zahl zwischen 1.5 und 3, die angibt, ob die Längsebenheit eher durch kurze oder lange Unebenheiten geprägt ist),  $v$  ist die Geschwindigkeit und  $F(w)$  die Vergrößerungsfunktion des jeweils ausschlaggebenden Filters, die wiederum abhängig von der Welligkeit  $w$  ist.

$AUN_{ref}$  ist das Unebenheitsmaß der Referenzstraße und vom Betrag her:  $1 \text{ cm}^3$ . Für eine Welligkeit  $w = 2$  (durchschnittliche Welligkeit) reduziert sich die Definition des LWI auf [AUN], also den Betrag des jeweils vorliegenden Unebenheitsmaßes der Straße.

Aufgrund des o. a. engen Zusammenhangs zwischen LWI und AUN wurden für die ZEB der Bundesfernstraßen für den LWI zunächst die gleichen Warn- und Schwellenwerte vorgeschlagen wie für den AUN (s. dazu Tabelle 14). Eine Überprüfung dieses Bewertungsansatzes für Außerortsstraßen ist vorgesehen in:

- FE 04.200/2004/DRB  
„Umsetzung des Längsebenheitswirkindex (LWI) in ein praxisnahes, Erhaltungsmaßnahmen auslösendes Verfahren im Rahmen der systematischen Straßenerhaltung“

Der LWI kann auf Innerortsverhältnisse angepasst werden. Um die diesbezüglichen Möglichkeiten zu analysieren, wurde in einer Auftragserweiterung für Analysestadt B der Längsebenheitswirkindex LWI ermittelt für

- Auswertelängen von 10 m, 20 m und 40 m sowie
- für zwei verschiedene Geschwindigkeiten (30 und 50 km/h) und zwei verschiedene Definitionen – also in 4 Varianten.

Vor dem Hintergrund, dass der LWI eine Bezugsgröße in der Form Zähler/Nenner (Z/N) ist (siehe obige Formel), wurden die 4 Varianten wie folgt festgelegt:

- LWI\_30/30:  $Z = f(30 \text{ km/h})$  und  $N = f(30 \text{ km/h})$ ,
- LWI\_30/100:  $Z = f(30 \text{ km/h})$  und  $N = f(100 \text{ km/h})$ ,
- LWI\_50/50:  $Z = f(50 \text{ km/h})$  und  $N = f(50 \text{ km/h})$ ,
- LWI\_50/100:  $Z = f(50 \text{ km/h})$  und  $N = f(100 \text{ km/h})$ .

LWI\_30/30 und LWI\_50/50 stellen direkte Übertragungen des LWI für Außerortsstraßen auf das geringere Geschwindigkeitsniveau im Innerortsbereich von 30 bzw. 50 km/h dar. Sie sind nicht direkt vergleichbar mit dem LWI für Außerortsstraßen.

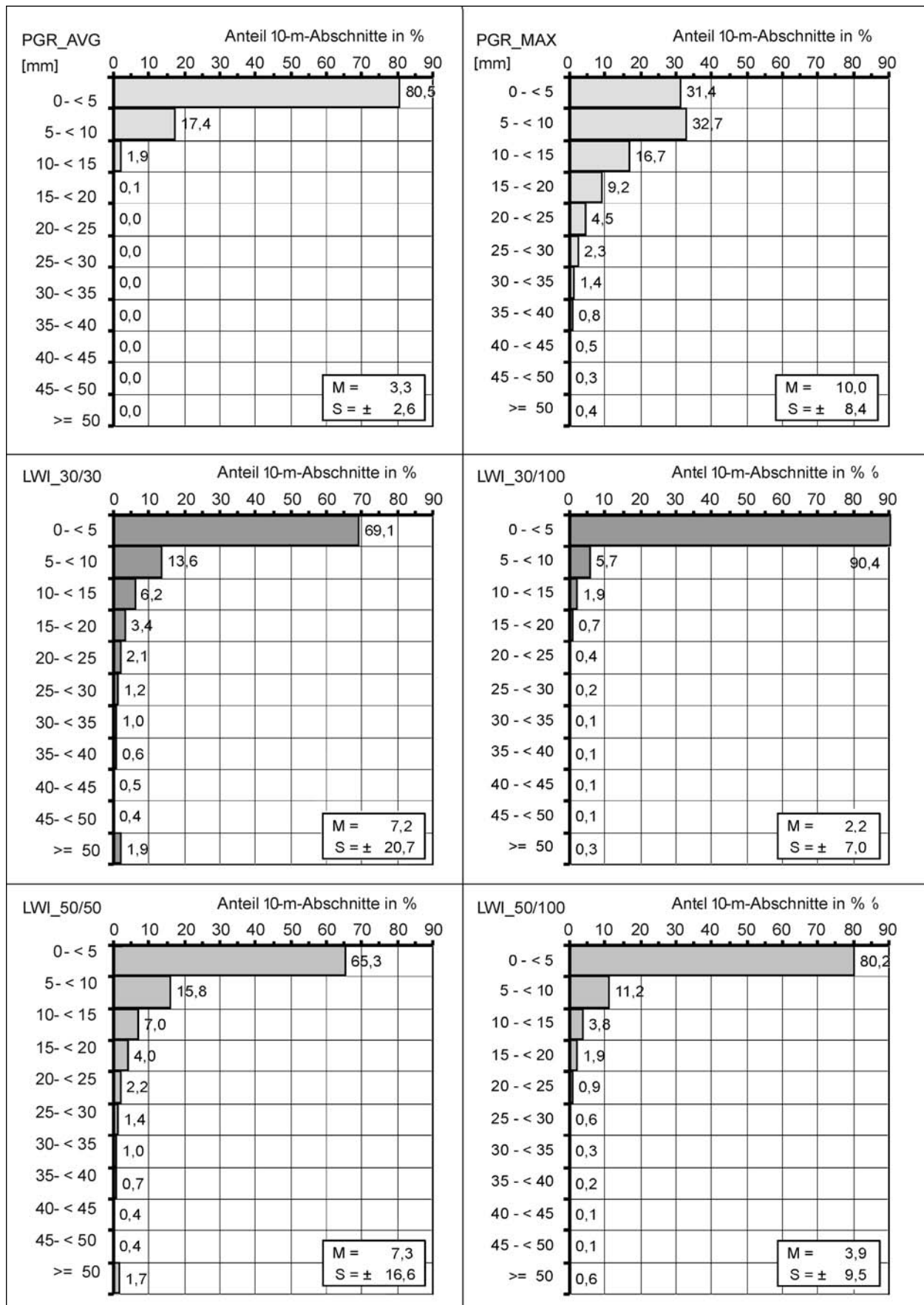
LWI\_30/100 und LWI\_50/100 hingegen besitzen den gleichen Nenner wie die Außerortsdefinitionen und sind aufgrund dieses einheitlichen Bezuges mit dem LWI für Außerortsstraßen vergleichbar. Sie stellen ein Maß für die Schwingungsauswirkungen auf Straße, Fahrer und Ladegut dar und berücksichtigen dabei den Einfluss der niedrigeren Fahrgeschwindigkeit von 30 bzw. 50 km/h im Innerortsbereich.

Die Ergebnisse der Zusatzauswertungen zum LWI sind als Häufigkeitsverteilungen dargestellt in

- Bild 84 (Asphaltdecken) und Bild 85 (Pflasterdecken) für eine Auswertelänge von 10 m,
- Bild 86 (Asphaltdecken) und Bild 87 (Pflasterdecken) für eine Auswertelänge von 20 m,
- Bild 88 (Asphaltdecken) und Bild 89 (Pflasterdecken) für eine Auswertelänge von 40 m.

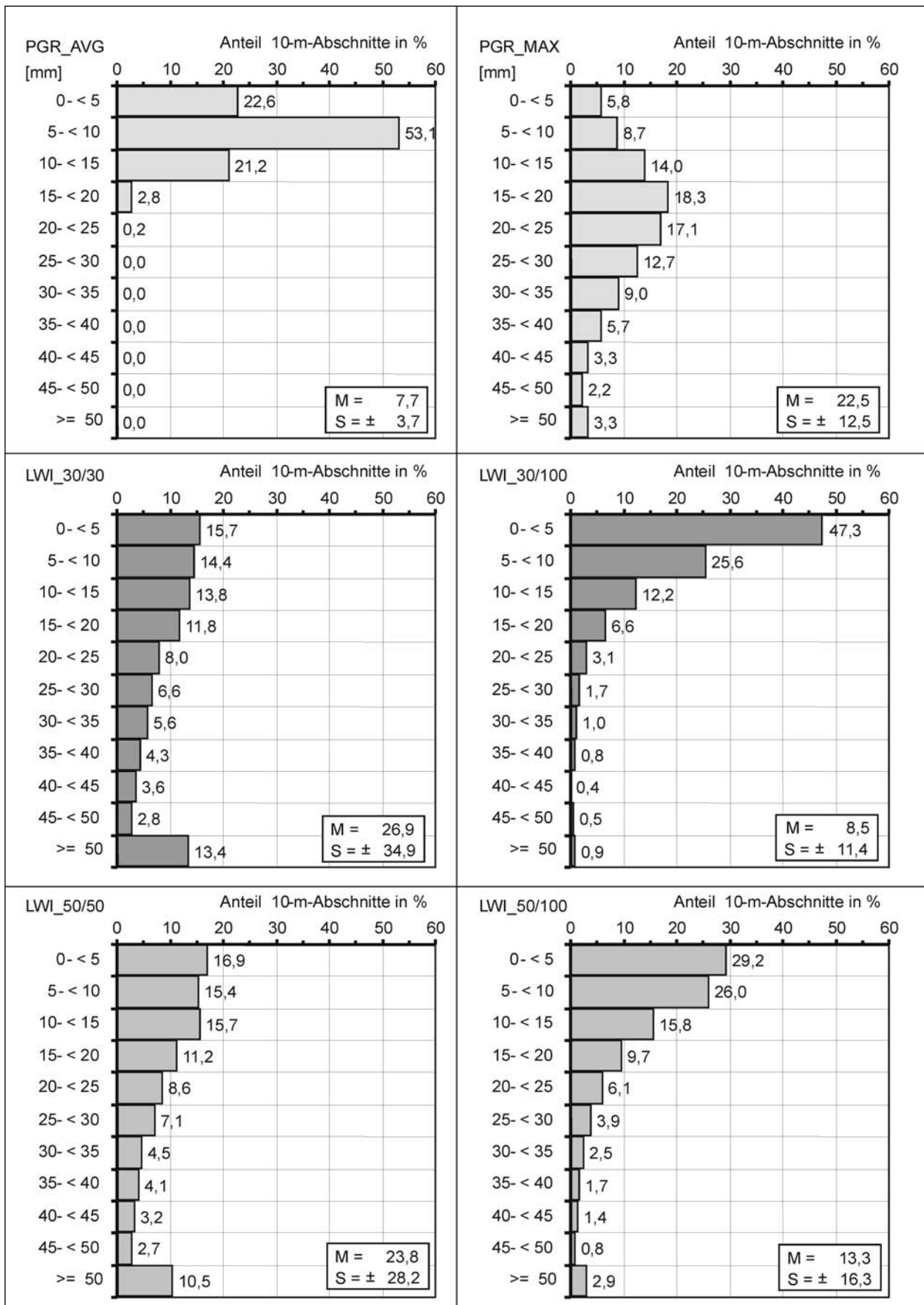
Zum Vergleich sind in diesen Darstellungen jeweils die Häufigkeitsverteilungen für die Indikatoren der Planografensimulation, der Durchschnittswert PGR\_AVG und der Maximalwert PGR\_MAX, für die drei Auswertelängen veranschaulicht. Aus den Verteilungen und den zusätzlich angegebenen Mittelwerten (M) und Standardabweichungen (S) wird deutlich:

- Die Auswertungen für LWI\_30/30 und LWI\_50/50 unterscheiden sich im Ergebnis kaum voneinander. Das war zu erwarten, weil die (untersuchten) Straßen im Allgemeinen durch regellose Unebenheiten geprägt sind und für diese Charakteristik LWI\_30/30 und LWI\_50/50 geschwindigkeitsunabhängig sind (im Prinzip: gleiche Geschwindigkeit im Zähler wie im Nenner mit dem Resultat, dass der Geschwindigkeitseinfluss sich herauskürzen lässt).
- Die Pflasterdecken zeigen im Vergleich zu den Asphaltdecken wesentlich schlechtere Ebenheiten mit deutlichen Verschiebungen hin zu höheren Unebenheitsklassen (s. dazu Kapitel 5.3).
- Die Häufigkeitsverteilungen der LWI-Varianten zeigen im Prinzip einen monoton abfallenden Verlauf hin zu höheren Unebenheitsklassen, während sich in der Planografenbewertung das

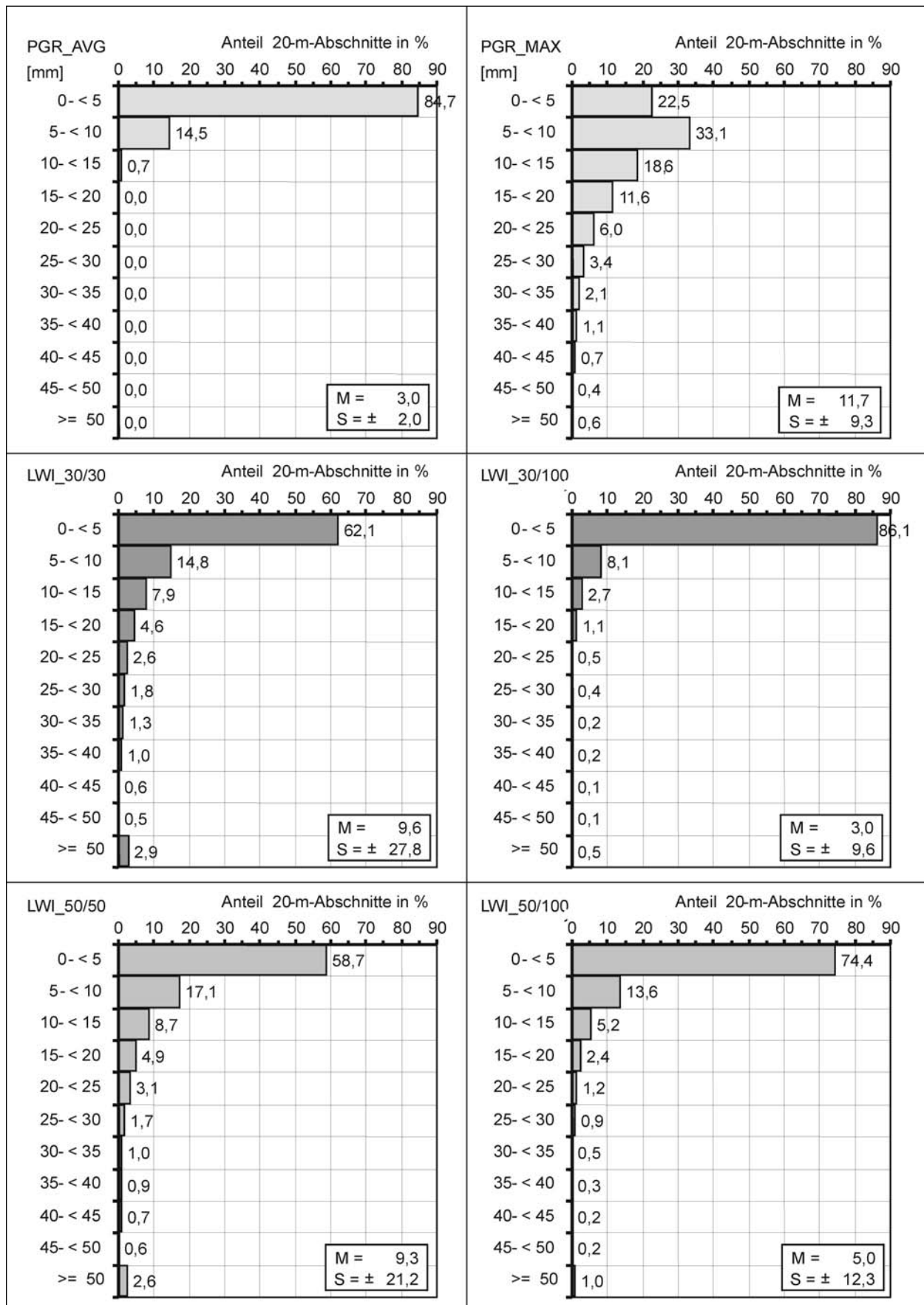


**Bild 84:** Häufigkeitsverteilungen für die Indikatoren der Planografensimulation (PGR\_AVG und PGR\_MAX) und für 4 Geschwindigkeitsvarianten des Längsebenenheitswirkindex LWI bei einer Auswertlänge von 10 m für Asphaltdecken (N = 32.123)

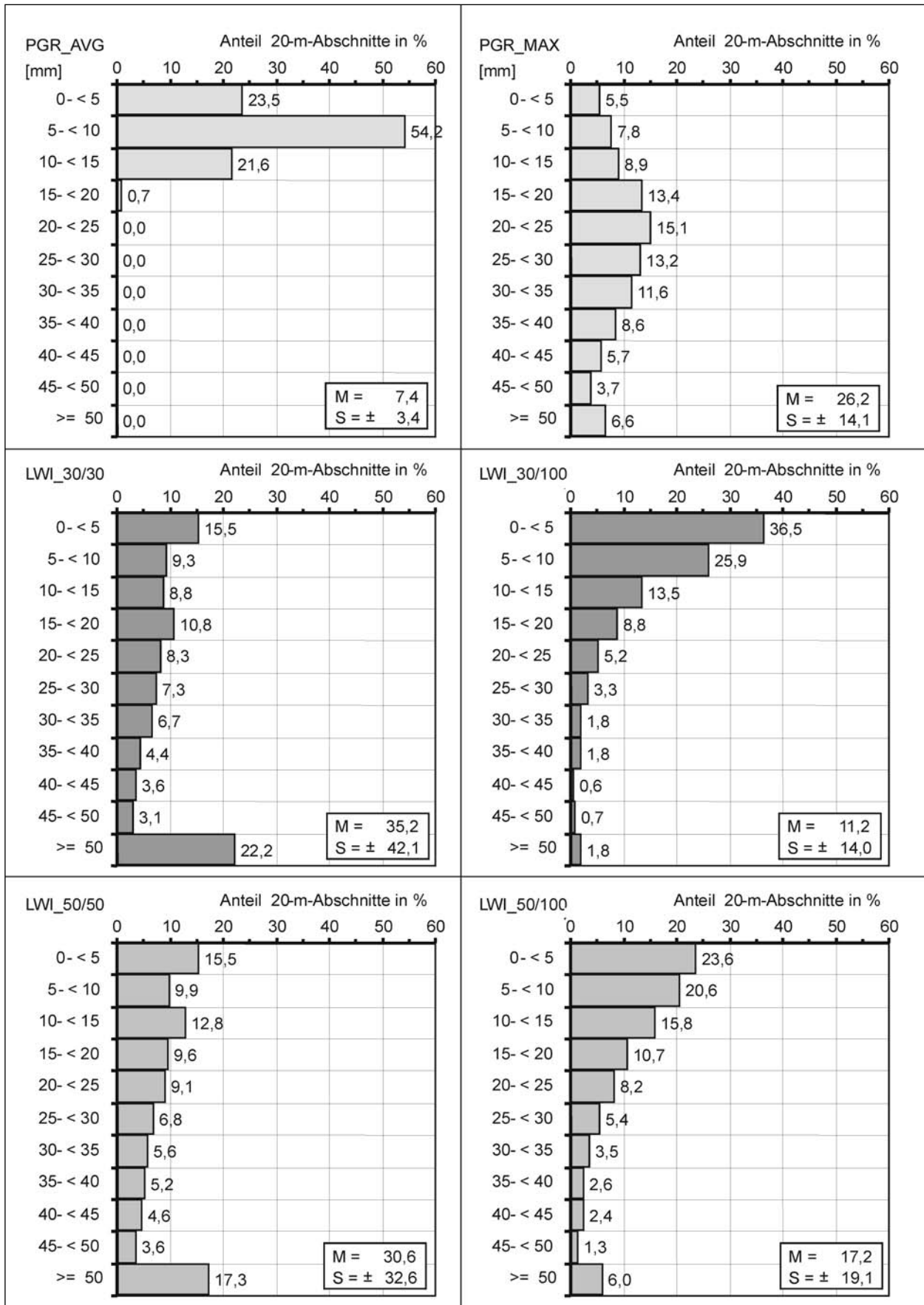




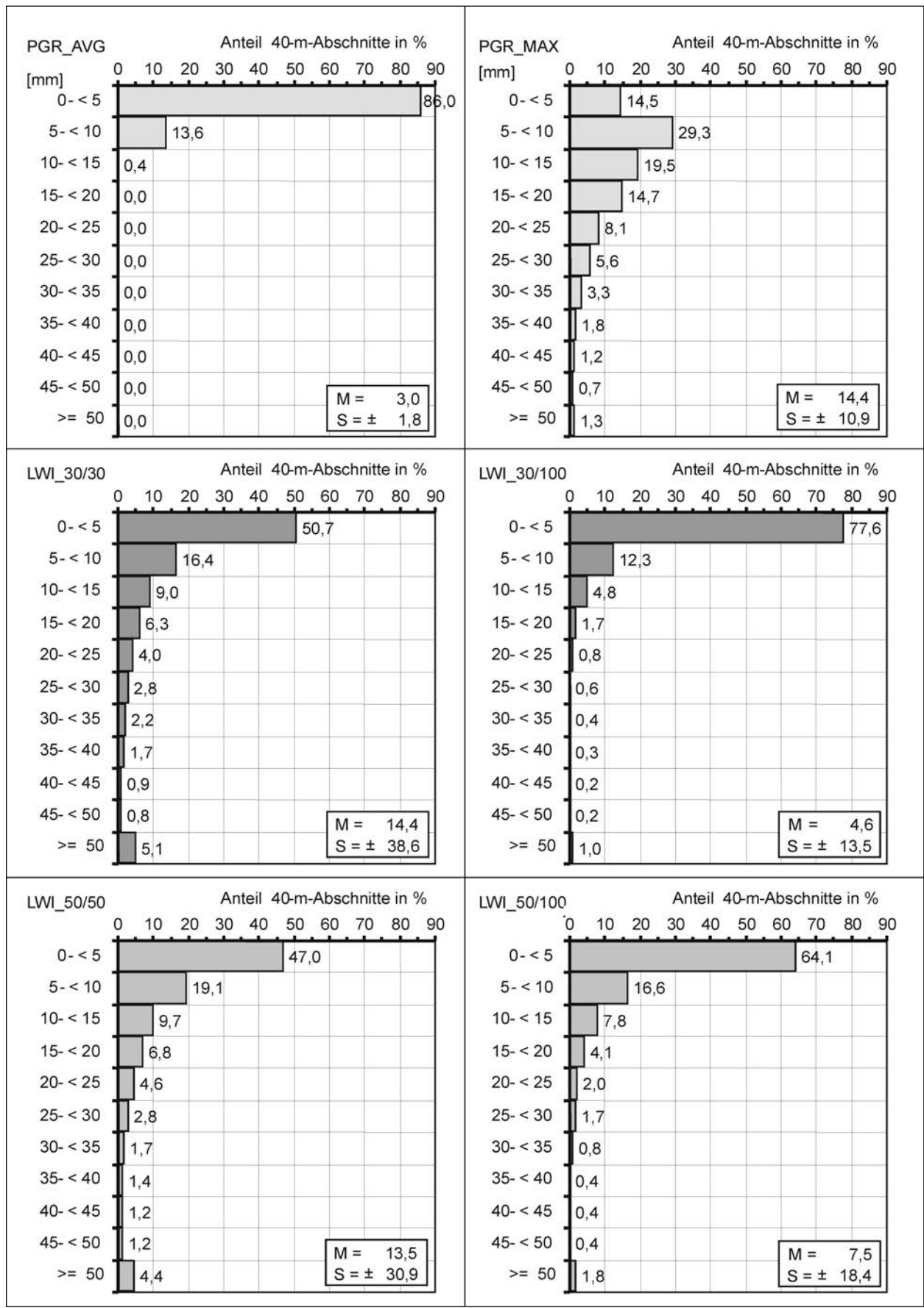
**Bild 85:** Häufigkeitsverteilungen für die Indikatoren der Planografensimulation (PGR\_AVG und PGR\_MAX) und für 4 Geschwindigkeitsvarianten des Längsebenheitswirkindex LWI bei einer Auswertelänge von 10 m für Pflasterdecken (N = 4.590)



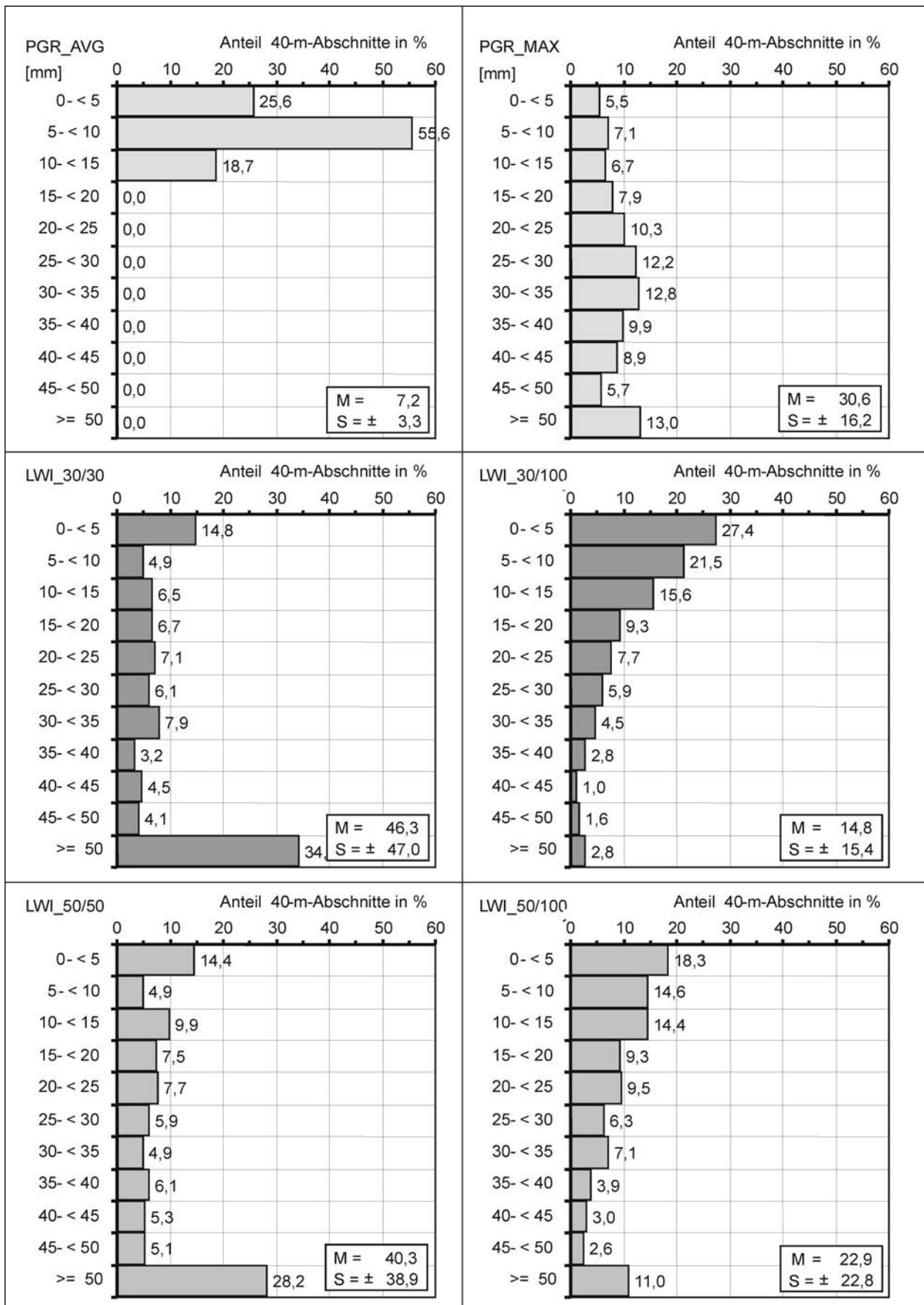
**Bild 86:** Häufigkeitsverteilungen für die Indikatoren der Planografensimulation (PGR\_AVG und PGR\_MAX) und für 4 Geschwindigkeitsvarianten des Längsebenenwirkeindex LWI bei einer Auswertlänge von 20 m für Asphaltdecken (N = 13.238)



**Bild 87:** Häufigkeitsverteilungen für die Indikatoren der Planografensimulation (PGR\_AVG und PGR\_MAX) und für 4 Geschwindigkeitsvarianten des Längsebenheitswirkindex LWI bei einer Auswertelänge von 20 m für Pflasterdecken (N = 1.565)



**Bild 88:** Häufigkeitsverteilungen für die Indikatoren der Planografensimulation (PGR\_AVG und PGR\_MAX) und für 4 Geschwindigkeitsvarianten des Längsebenheitswirkindex LWI bei einer Auswertlänge von 40 m für Asphaltdecken (N = 4.249)



**Bild 89:** Häufigkeitsverteilungen für die Indikatoren der Planografensimulation (PGR\_AVG und PGR\_MAX) und für 4 Geschwindigkeitsvarianten des Längsebenheitswirkindex LWI bei einer Auswertelänge von 40 m für Pflasterdecken (N = 507)

Maximum tendenziell nicht in der kleinsten Unebenheitsklasse einstellt.

- Da der LWI den Maximalwert eines Abschnittes charakterisiert, fallen mit zunehmender Abschnittslänge (und entsprechend kleiner werdender Abschnittszahl immer mehr lokale Maxima aus der Statistik heraus. Entsprechend werden die Mittelwerte der in den Bildern 84 bis 89 dargestellten Verteilungen mit zunehmender Auswertelänge immer größer. Dies gilt in sehr eindeutiger Weise auch für den Maximalwert der Planografensimulation PGR\_MAX, der den jeweils schlechtesten Einzelwert der verschiedenen Auswertelängen abbildet.

In Kapitel 5.2.2.3 wird ein Verfahren beschrieben, das es erlaubt, die in diesem Kapitel gezeigten Häufigkeitsverteilungen für die Geschwindigkeiten 30 und 50 km/h auf andere – in jenem Falle 70 km/h – umzurechnen.

### 5.2.2.3 Der Längsebenheitswirkindex für geänderte Geschwindigkeiten

Sicherlich ist auf der Objektebene keine mathematische Übertragung der Messergebnisse des LWI von einer Geschwindigkeitsvariante auf eine andere möglich. Auf Netzebene allerdings, wo wie in diesem Falle die Grundgesamtheit einer ganzen Stadt zugrunde liegt, verhält sich das anders; insbesondere trifft das auf die (Mehrheit der) Abschnitte mit sehr guten und guten LWI-Bewertungen zu, bei denen davon auszugehen ist, dass sie eine eher regellose Unebenheitscharakteristik aufweisen (Bemerkung: Die Abschnitte mit auffälligen singulären oder periodischen Anteilen finden sich in den Häufigkeitsverteilungen eher in den (gering besetzten) Klassen hoher LWI-Werte wieder).

An dieser Stelle soll ein Verfahren beschrieben werden, das es erlaubt, die in Kapitel 5.2.2.2 dargestellten Häufigkeitsverteilungen in Häufigkeitsverteilungen für andere LWI-Geschwindigkeitsvarianten umzurechnen. Dazu sollen beispielhaft die in den Bildern 84, 86 und 88 dargestellten Häufigkeitsverteilungen für den LWI 30/100 in Häufigkeitsverteilungen für einen LWI 70/100 überführt werden – also einen LWI, dem eine Geschwindigkeit von 70 km/h zugrunde liegt. Voraussetzung ist, dass die Häufigkeitsverteilungen für 2 Geschwindigkeitsvarianten des LWI (hier: für 30 und 50 km/h) bereits vorliegen.

Das Verfahren besteht aus 3 Schritten:

- 1) Ermittlung der mittleren Welligkeit des Datenkollektivs,
- 2) Ermittlung des Streckungsfaktors für die Häufigkeitsverteilung und
- 3) Berechnung der Häufigkeitsverteilung für den LWI mit der geänderten Geschwindigkeit.

Die Schritte werden im Folgenden angewandt.

Ermittlung der mittleren Welligkeit ( $w$ ) des Datenkollektivs (aus ZEB-Daten)

Für die Datenkollektive kann gemäß obiger Formel folgende Beziehung angesetzt werden:

$$\frac{LWI(v_2)}{LWI(v_1)} \approx \frac{v_2^{w-1}}{v_1^{w-1}} \approx \frac{\overline{LWI(v_2)}}{\overline{LWI(v_1)}} = \text{Streckungsfaktor, SF}$$

Als Grundlage für die Berechnung von  $w$  dient in diesem Falle das größte vorhandene Datenkollektiv: die auf eine Abschnittslänge von 10 Metern berechneten LWI-Werte (Datenmenge:  $N = 32.123$ ).

Es gilt:

$$\left( \frac{50 \text{ km/h}}{30 \text{ km/h}} \right)^{w-1} = \frac{\overline{LWI}_{50/100}}{\overline{LWI}_{30/100}}$$

Mit den Mittelwerten  $\overline{LWI}_{50/100} = 3.9$  und  $\overline{LWI}_{30/100} = 2.2$  (s. Bild 84) ergibt sich für das Datenkollektiv eine mittlere Welligkeit von  $w = 2.1$ .

Ermittlung des Streckungsfaktors für die Häufigkeitsverteilung von LWI 70/100

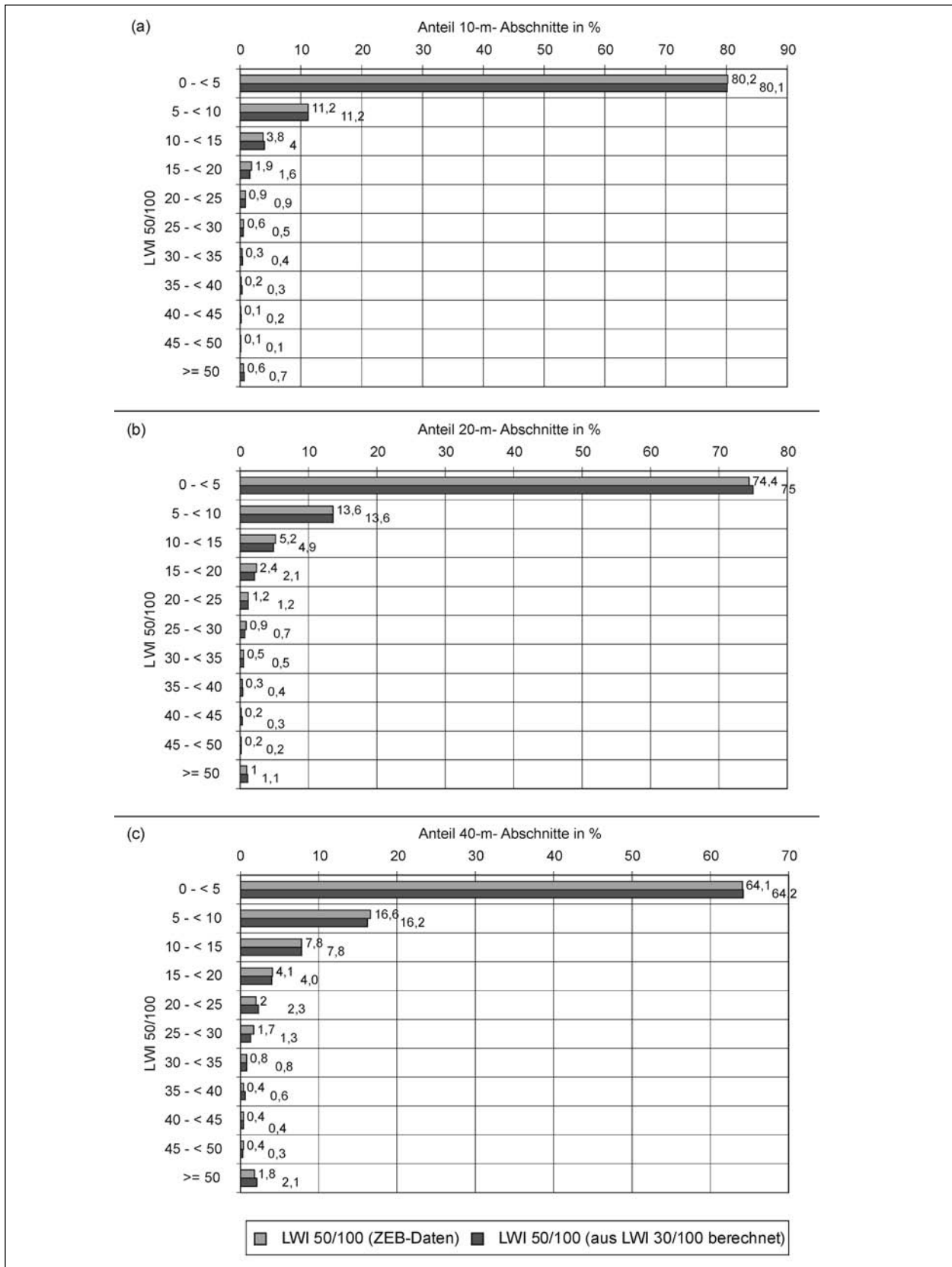
Bezogen auf die Häufigkeitsverteilung von LWI 30/100 ergibt sich für LWI 70/100 unter Berücksichtigung der mittleren Welligkeit von  $w = 2.1$  ein Streckungsfaktor von

$$SF = \frac{\overline{LWI}_{70/100}}{\overline{LWI}_{30/100}} = \left( \frac{70 \text{ km/h}}{30 \text{ km/h}} \right)^{w-1} = 2.54$$

Das heißt, dass die Varianz der Kräfte und Beschleunigungen bei 70 km/h im Durchschnitt 2,54-mal so groß ist wie bei 30 km/h. Die Klasseneinteilung der Häufigkeitsverteilung muss folglich um den Faktor 2.54 gestreckt werden. Die Ebenheitsklasse von zuvor  $5 \leq LWI < 10$  verschiebt sich bei einer Geschwindigkeit von 70 km/h beispielsweise in den Bereich von  $12.7 \leq LWI < 25.4$ .

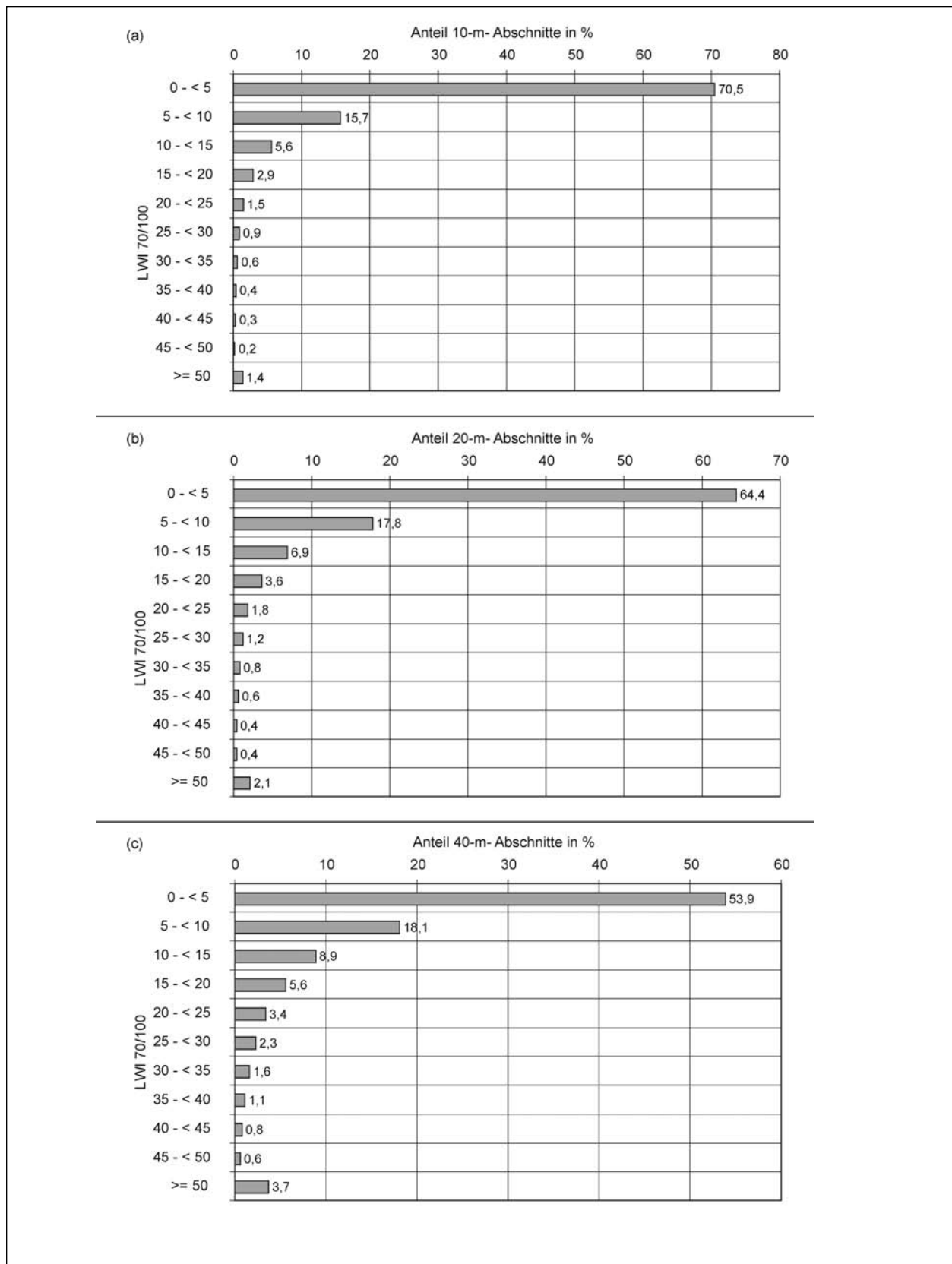
Berechnung der Häufigkeitsverteilung für LWI 70/100 aus LWI 30/100

Um die Häufigkeitsverteilung für die geänderte Geschwindigkeit zu ermitteln, muss die gewählte Aus-



**Bild 90:** Vergleich von empirisch (ZEB-Daten) und rechnerisch aus LWI 30/100 ermittelten Häufigkeitsverteilungen für den LWI 50/100 für Auswertelängen von a) 10 m, b) 20 m und c) 40 m

gangsverteilung (LWI 30/100) zunächst mittels einer mathematischen Funktion beschrieben werden, wodurch es möglich wird, die Häufigkeitsverteilung auf beliebige Klassenbreiten umzurechnen.



**Bild 91:** Rechnerisch aus LWI 30/100 ermittelte Häufigkeitsverteilungen für den LWI 70/100 für Auswertelängen von a) 10 m, b) 20 m und c) 40 m



Zur Anwendung kamen in den nachfolgend aufgeführten Berechnungen Polynome 4. bis 6. Grades, mit denen die zugrunde liegende Häufigkeitsdichte-Funktion sehr genau beschrieben werden konnte. Ist die Häufigkeitsverteilung in ihrer mathematischen Beschreibung bekannt, wird sie mittels des Streckungsfaktors zunächst gestreckt und anschließend in Klassen der Breite  $\Delta\text{LWI} = 5$  regroupiert. Wie gut das Verfahren funktioniert, ist aus dem Vergleich der gemessenen  $\text{LWI}_{50/100}$ -Werte (ZEB-Daten) mit den  $\text{LWI}_{50/100}$ -Werten ersichtlich, die mittels des soeben beschriebenen Verfahrens aus gemessenen  $\text{LWI}_{30/100}$ -Werten erzeugt worden sind.

Der Vergleich ist in den Bildern 90 (a–c) für die gewählten Abschnittslängen von 10, 20 und 40 Meter gezeigt.

Die auf dieselbe Weise erzeugten Häufigkeitsverteilungen für den auf 70 km/h basierenden  $\text{LWI}_{70/100}$  sind in den Bildern 90 (a–c) dargestellt (ebenfalls bezogen auf die Abschnittslängen von jeweils 10, 20 und 40 Meter).

#### 5.2.2.4 Schlussfolgerungen für die Bewertung der Längsebenheit

Als bewertungsrelevante Zustandsgröße für die Längsebenheit bietet sich im Innerortsbereich der  $\text{LWI}_{50/100}$  an. Der Unterschied im Ergebnis zum  $\text{LWI}_{30/100}$  ist so klein, dass ein  $\text{LWI}_{30/100}$  verzichtbar erscheint.

- Der  $\text{LWI}_{50/100}$  bietet die Möglichkeit der Vergleichbarkeit zu dem für außerorts gewählten  $\text{LWI}$ , da beide die gleiche Bezugsgröße (Nenner) besitzen. Der  $\text{LWI}_{50/100}$  stellt ein Maß für die Schwingungsauswirkungen im Innerortsbereich dar und berücksichtigt das gegenüber dem Außerortsbereich geringere Geschwindigkeitsniveau.
- Die Auswertelänge sollte auf 10 Meter festgelegt werden. Die Bewertung größerer Auswertelängen (20 m, 40 m) kann auf einfache Weise (Maximum der darin enthaltenen  $\text{LWI}$ -Bewertungen) abgeleitet werden.
- Auf eine zusätzliche Bewertung der allgemeinen Unebenheit kann verzichtet werden, da
  - auf 10 Meter etwa 1 Ladegut-, 2 Sitz- und etwa 5 Achseigenschwingungen fallen, was bedeutet, dass die schwingungstechnisch relevanten Unebenheiten bis 50 km/h von

der Charakteristik her eher kurze Einzelereignisse oder Periodizitäten bis 10 m Länge sind,

- der  $\text{LWI}$  auch regellose Unebenheiten bewerten kann, falls es keine auffälligen Unebenheiten oder Periodizitäten in dem Kapitel geben sollte.

Ein Bewertungsverfahren für den  $\text{LWI}$  soll im Rahmen eines eigenständigen, derzeit laufenden Forschungsprojekts entwickelt werden (FE 04.200/2004/DRB): In einem vorläufigen Lösungsvorschlag bieten sich folgende Varianten einer Normierungsfunktion für den  $\text{LW}_{50/100}$  an:

- In Anlehnung an die Normierung des AUN bei den Außerortsstraßen:

Variante 1:	1,5-Wert	$\text{LWI} = 2$
(Funktionsklasse 2)	Warnwert	$\text{LWI} = 6$
	Schwellenwert	$\text{LWI} = 18$
Variante 2:	1,5-Wert	$\text{LWI} = 4$
(Funktionsklasse 3)	Warnwert	$\text{LWI} = 2$
	Schwellenwert	$\text{LWI} = 36$

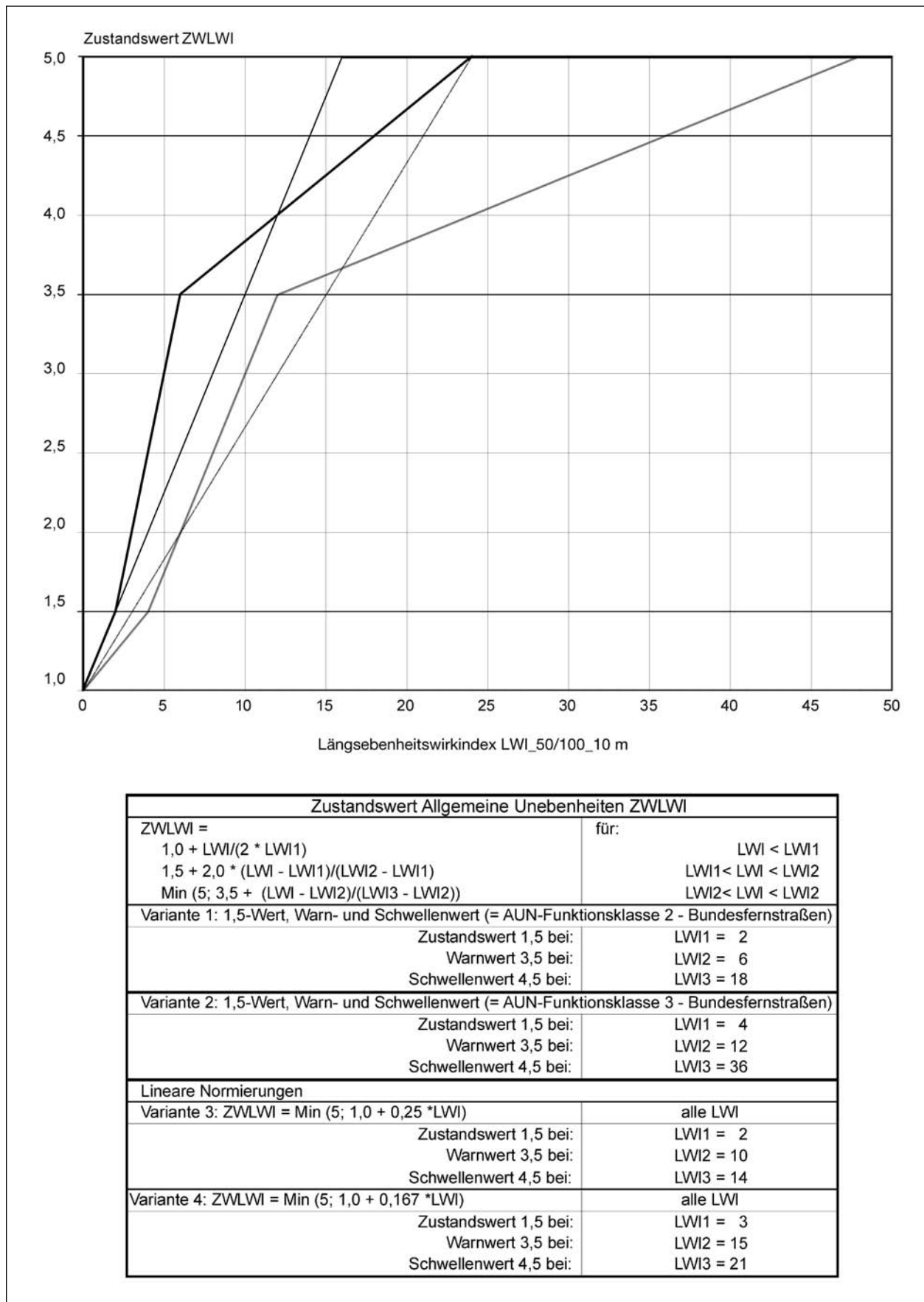
- In einer vereinfachten Form als lineare Normierungsfunktionen:

Variante 3:	1,5-Wert	$\text{LWI} = 2$
(linear)	Warnwert	$\text{LWI} = 10$
	Schwellenwert	$\text{LWI} = 14$
Variante 4:	1,5-Wert	$\text{LWI} = 3$
(linear)	Warnwert	$\text{LWI} = 15$
	Schwellenwert	$\text{LWI} = 21$

In Bild 92 sind die 4 Normierungsfunktionen grafisch und mit den Rechenbeziehungen dargestellt.

Auf der Grundlage eines Ergebnisvergleichs bei Anwendung der Normierungsfunktionen wird vorgeschlagen, vorläufig (s. o. FE 04.200/2004/DRB) eine lineare Normierung nach Variante 3 für die Bewertung des  $\text{LWI}_{50/100}$  zugrunde zu legen. In Bild 93 sind die Anteile der 0,5-Notenbereiche dieser Normierungsvariante dargestellt, und zwar im Vergleich zu den entsprechenden Anteilen des ZWPGR aus der Planografensimulation und zu den Anteilen für die nicht-lineare Normierung nach Variante 1 aus Bild 92 (Außerortsstraßen, Funktionsklasse 2). Aus Bild 93 wird deutlich:

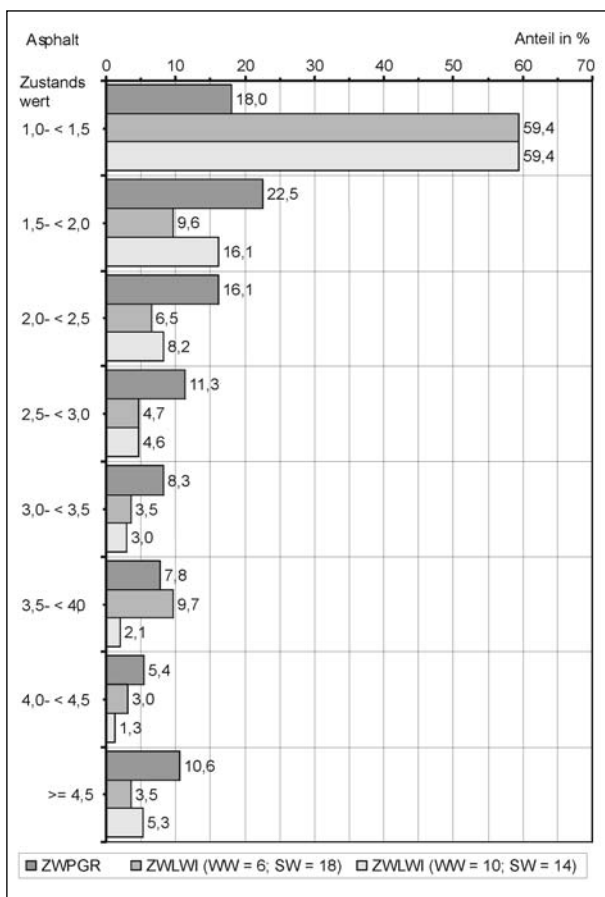
- Für den ZWPGR ergeben sich wesentlich geringere Anteile im Bereich unter dem 1,5-Wert und gut doppelt so hohe Anteile im Bereich ab dem Schwellenwert; auch die Anteile zwischen dem Warn- und Schwellenwert sind für ZWPGR höher als für die Vergleichsvarianten.



**Bild 92:** Normierungsvorschläge für den Längsebenheitswirkindex LWI in Anlehnung an den AUN für Außerortsstraßen und in linearer Form

- Bei den beiden Normierungsvarianten des ZWLWI liegen gleich hohe Anteile im Bereich unter dem 1,5-Wert, die im Vergleich zu ZWPGR einen mehr als dreifachen Prozentwert erreichen. Der Anteil ab dem Schwellenwert liegt bei der nicht-linearen Variante 1 des ZWLWI bei 3,5 %, bei der linearen Variante 3 bei 5,3 % (ZWPGR 10,6 %). Der sehr stark dominierende Einfluss der durch den ZWPGR beschriebenen Längsebenheit bei der Bildung des Gebrauchswerts (s. dazu Kapitel 4.3 und 4.4) wird infolge dieser geringeren Anteile in durchaus erwünschter Weise abgeschwächt.
- Im Bereich zwischen dem Warn- und Schwellenwert liegen für den ZWLWI 12,7 % (Variante 1 – nicht-linear) bzw. 3,4 % (Variante 3 – linear; ZWPGR 13,2 %).

Trotz des relativ geringen Anteils zwischen dem Warn- und Schwellenwert wird für die (vorläufige) Normierung des ZWLWI die lineare Funktion gemäß Variante 3 vorgeschlagen. In aller Deutlich-



**Bild 93:** Anteile der 0,5-Notenbereiche des Zustandswerts ZWPGR aus der Planografensimulation und der Zustandswerte ZWLWI aus Variante 1 der nicht-linearen und Variante 3 der linearen Normierung

keit ist jedoch darauf hinzuweisen, dass bei den in Bild 93 dargestellten Ergebnissen infolge der Begrenzung einer Auftragserweiterung auf nur eine Analysestadt Einschränkungen in der Repräsentanz hinzunehmen sind.

### 5.2.3 Querebenheit

Bei der messtechnischen Zustandserfassung werden aus einer stützpunktbezogenen Erfassung von Querprofilen (im 1-m-Abstand) als Zustandsgrößen der Querebenheit abgeleitet die

- Spurrinnentiefe in mm und die
- fiktive Wassertiefe in mm.

Für die beiden Zustandsgrößen werden jeweils, bezogen auf die rechte und linke Radspur, die Mittelwerte, die Maximalwerte und die zugehörigen Standardabweichungen für die jeweiligen Auswertelängen in der Ergebnisdatei abgespeichert. Als bewertungsrelevante Zustandsgrößen werden derzeit, jeweils als schlechtester Wert aus beiden Radspuren, die mittlere Spurrinnentiefe MSPT und die mittlere Fiktive Wassertiefe MSPH berücksichtigt.

Spurrinnen, oder (allgemeiner) Querunebenheiten, werden bei der Zustandsbewertung Wirkungen im Hinblick auf die Befahrbarkeit zugeschrieben: Bei entsprechendem Wasserrückhalt, quantifiziert durch die fiktive Wassertiefe SPH, werden auch Auswirkungen für die Verkehrssicherheit angenommen.

#### 5.2.3.1 Mittlere Spurrinnentiefe und mittlere Fiktive Wassertiefe

Bei Untersuchungen (BRAUN et al. 1983; BABBEL 1985) zum Einfluss von Spurrinnen und Spurranten auf die Befahrbarkeit (den „Fahrkomfort“) zeigten sich sowohl in Versuchen als auch in mathematischen Simulationsrechnungen die auch im subjektiven Fahrindruck zu beobachtenden Fälle, dass das Fahrzeug bei sehr kleinen (spitzen) Winkeln von Rinne und Kante abgewiesen, bei etwas größeren „eingefangen“ wird und in der Rinne weiterfährt und bei noch größeren Winkeln die Spurrinne überfährt. Es ergaben sich im „Einfangbereich“ deutliche Unterschiede zwischen profilierten und abgefahrenen Reifen. Während ein Reifen mit Profil sich immer dann die Spurrante hinaufzieht, wenn er gerade mit einer Profilrippe über die Kante läuft und abweisende Kräfte entwickelt, wenn sich gerade eine Profilrippe über der Kante befindet, zieht sich ein abgefahrener Reifen bei Überfahrt

grundsätzlich die Kante hinauf. Aufgrund dieser Vorgänge ist das Überfahren von Querunebenheiten im Allgemeinen von leichten Gierbewegungen (Drehbewegungen um die Fahrzeug-Hochachse) begleitet, die der Fahrer als „Schwimmen“ empfunden. Eine größere Ausprägung von Querunebenheiten macht sich dahingehend bemerkbar, dass im Anlaufen höhere abweisende Kräfte wirksam werden. Diese abweisenden Kraftspitzen sind maßgebend für den Lenkradwinkel, der aufgebracht werden muss, um die Spurkante überwinden zu können. Fährt der Fahrer in einem sehr spitzen Winkel an die Kante an, kann das Fahrzeug zunächst die Kante nicht überwinden. Der Fahrer muss einen Lenkwinkel aufbringen, dessen Größe von der größten abweisenden Kraftspitze im Verlauf der Spurkanten-Seitenkraft und von der Seitensteifigkeit der gesamten Vorderachse abhängt (Reifen, Radaufhängung, Lenkung).

Ein Teil der vom Fahrer als „Schwimmen“ wahrgenommenen Giergeschwindigkeitsbeeinflussung ist darauf zurückzuführen, dass die Spurrinne ein zusätzliches Lenkmoment hervorruft, das den Lenkwinkel beeinflusst. Diese Effekte werden beim unerwarteten Auftreten von Spurrinnen bei normaler Geradeausfahrt vermutlich deutlicher in Erscheinung treten, weil der Fahrer in solchen Fällen das Lenkrad nur relativ locker halten wird. Die o. g. Untersuchungen (BRAUN et al. 1983; BABBEL 1985) kommen zu dem Schluss, dass bei der Festlegung von zulässigen Schwellenwerten die Spurrinnentiefe, die Flankenneigung, der Abstand der Rinnenschwerpunkte im Querprofil, die Fahrgeschwindigkeit und auch das Fahrerverhalten als wichtige Parameter berücksichtigt werden müssen. Quantitative Empfehlungen über Schwellenwerte von Spurrinnen und -kanten konnten nicht gegeben werden, da das Fahrzeugmodell dafür noch nicht ausreichend ausgelegt war und zudem der Fahrereinfluss auf das Fahrverhalten nicht Teil der Untersuchungen war. Eine Auswertung zusätzlicher Indikatoren, z. B. in Form der Flankenneigung von Spurrinnen bzw. Querunebenheiten oder in Form des Abstands der Rinnenschwerpunkte, erscheint daher derzeit nicht erforderlich.

Hydrodynamische Effekte von Spurrinnen, die mit Wasser gefüllt sind, wurden im Rahmen der Forschungsprojekte FE 04.138 (SCHMIDT 1990) und FE 04.166 (SCHMIDT, RIEDEL 1994) untersucht. Aufgrund fortgeschrittener Softwareentwicklungen auf dem Gebiet der Fahrdynamik stand dabei nicht nur ein nichtlineares Vollfahrzeugmodell inklusive

eines geeigneten Reifenmodells zur Verfügung, sondern auch ein Fahrermodell, mit dem komplexe und kritische Fahrmanöver realitätsnah simuliert werden konnten. Zusätzlich war es auch möglich, Wasseransammlung in den Spurrinnen ortsabhängig korrekt nachzubilden und den Effekt des Aufschwimmens von Reifen in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeiten und der Wasserfilmdicken zu berücksichtigen. Die Simulationsrechnungen beinhalteten eine Betrachtung verschiedener Beschleunigungs-, Brems- und Spurwechselmanöver bei Geradeausfahrt und Spurwechsel unter Berücksichtigung unterschiedlicher realer Querprofilverläufe mit variierter Wassertiefe und Fahrstreifenbreiten von 3,50 m und 3,75 m. Es ergab sich u. a., dass die Spurrinnentiefe bei trockener Fahrbahn keinen signifikanten Einfluss auf das Fahrverhalten hat und die Wassertiefe derjenige Indikator ist, der den größten Einfluss auf die Verkehrssicherheit hat. Als Kennwert für die Charakterisierung von Spurrinnen wurden daher kritische mittlere Wassertiefen als Mittel aus linker und rechter Spurrinne vorgeschlagen. Tabelle 25 zeigt die ermittelten kritischen Wassertiefen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und der Fahrbahnbreite.

Die Ergebnisse aus den o. g. fahrdynamischen Untersuchungen wurden in den Kontext der ZEB durch Extrapolation in Warn- und Schwellenwerte für die fiktive Wassertiefe SPH (HERRING 1996) in Abhängigkeit von der Entwurfsgeschwindigkeit  $v_{85}$  gemäß RAS-L-1 (FGSV 1995) überführt. Dabei musste zusätzlich berücksichtigt werden, dass sich in der Realität kein horizontaler, sondern ein wellenförmig überhöhter Wasserspiegel in Spurrinnen ausbildet. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 26 zusammengestellt.

Bei einer Geschwindigkeit  $v_{85}$  von 60 km/h entsprechen die in Tabelle 26 angegebenen Warn- und Schwellenwerte den derzeitigen Festlegungen für Außerortsstraßen der Funktionsklasse 3 (s. Tabelle 14). Bei den bisherigen Bewertungsansätzen für Innerortsstraßen wurden bei Straßen mit Asphaltdecken für die mittlere Wassertiefe MSPH die

Kritische Fahrgeschwindigkeit [km/h]	Kritische mittlere Wassertiefe [mm]	
	Fahrspurbreite 3,75 m	Fahrspurbreite 3,50 m
80	14,5	13,5
100	10,0	8,5
130	3,0	3,0

Tab. 25: Kritische Fahrgeschwindigkeiten und zugehörige kritische Wassertiefen (SCHMIDT, RIEDEL 1994)

Warn-/Schwellenwertvarianten 4 mm – 6 mm (entsprechend 100 km/h) bzw. 8 mm – 12 mm (entsprechend 60 km/h) zugrunde gelegt (s. Tabelle 15).

Die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten für die Mehrzahl der Innerortsstraßen liegen bei 50 km/h bzw. bei 30 km/h; es ist davon auszugehen, dass die in Tabelle 26 angeführten 85%-Fraktile der Geschwindigkeiten unter diesen Werten liegen. Es erscheint daher sinnvoll, für den Normalfall der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h den entsprechenden Schwellenwert aus Tabelle 26 von 14 mm anzusetzen und eine lineare Normierungsfunktion zu wählen (Funktionsklassen s. Kapitel 5.3). Bild 94 zeigt den Verlauf dieser Normierungsfunktion für die Asphaltdecken. Der Warnwert liegt danach bei MSPH = 10 mm, der 1,5-Wert bei 2 mm. Wie schon ausgeführt (Kapitel 5.2.1), gilt als Zielwert der Zustandswert 1,0 bei MSPH = 0 mm.

Zustandsmerkmal	Geschwindigkeit $V_{85}$ [km/h]	Warnwert [mm]	Schwellenwert [mm]
Ebenheit im Querprofil	130	2	4
	120	2	4
	110	3	5
	100	4	6
Fiktive Wassertiefe MSPH	90	5	7
	80	6	9
	70	7	10
	60	8	12
	50	9	14
	40	11	16

Tab. 26: Warn- und Schwellenwerte für die Fiktive Wassertiefe MSPH in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit  $V_{85}$  (HERRING 1996)

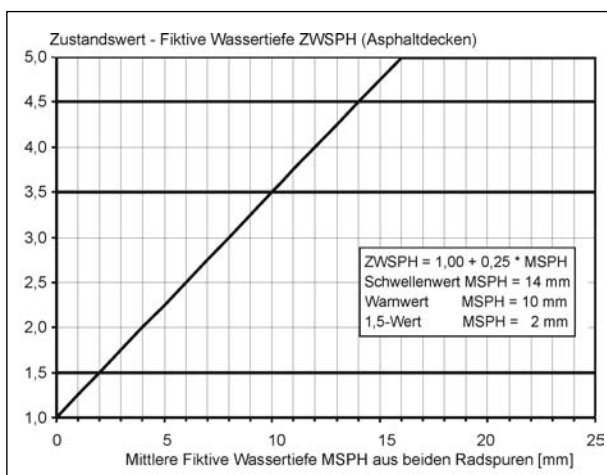


Bild 94: Normierungsvorschlag für die mittlere Fiktive Wassertiefe MSPH bei Fahrbahnen mit Asphaltdecken

Für die Bewertung der mittleren Spurrinntiefen MSPT in ihren Wirkungen auf die Querebenheit („Spurführungseffekte“) wurde bisher ein Schwellenwert von 25 mm angesetzt (s. Tabelle 15), entsprechend Funktionsklasse 2 für Außerortsstraßen (s. Tabelle 14, Funktionsklasse 3 = 30 mm). Ausgehend von dieser Wertevorgabe und dem Normierungsvorschlag für MSPH (Bild 94) erscheint es sinnvoller, für die Bewertung der mittleren Spurrinntiefen MSPT einen Schwellenwert von 28 mm vorzuschlagen. Bei diesem Vorschlag kann eine lineare Normierungsfunktion gewählt werden. Bei diesem in Bild 95 dargestellten Verlauf der Normierungsfunktion liegen der Warnwert bei 20 mm und der 1,5-Wert (zufällig, s. Kapitel 5.2.1) bei 4 mm.

Die netzbezogenen Veränderungen bei Anwendung der Normierungsfunktionen aus den Bildern 94 und 95 sind in der Summe für alle 7 Analysestädte als Längenanteile für 0,5-Zustandswertklassen dargestellt in

- Bild 96 für den aus der Zustandsgröße MSPT ermittelten Zustandswert der mittleren Spurrinntiefe ZWSPT,
- Bild 97 für den aus der Zustandsgröße MSPH ermittelten Zustandswert der mittleren Fiktiven Wassertiefe ZWSPH.

Bei den Spurrinntiefen ZWSPT (Bild 96) ergibt sich beim neuen Bewertungsvorschlag aufgrund der linearen Normierungsfunktion eine Verschiebung vor allem in den Notenbereich 1,5 bis < 2,0. Die bereits bei der bisherigen Bewertung sehr kleinen Anteile der Bereiche von 2,0 bis < 4,5 werden dadurch noch etwas geringer. Durch die Verschie-

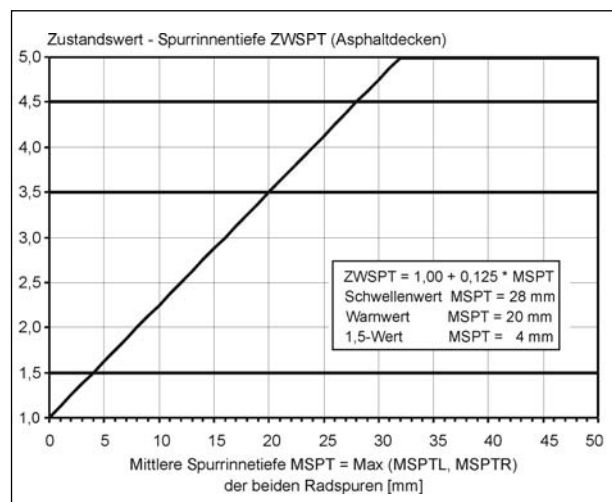


Bild 95: Normierungsvorschlag für die mittlere Spurrinntiefe MSPT bei Fahrbahnen mit Asphaltdecken

bung des Schwellenwertes (von 25 mm auf 28 mm) geht der bereits bisher minimale Längenanteil mit Zustandswerten ab 4,5 weiter zurück.

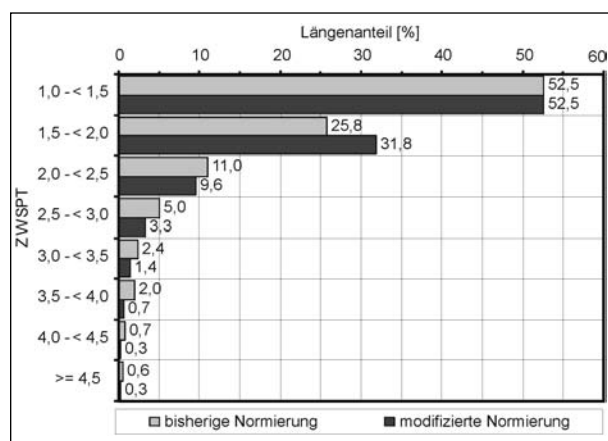
Bei den Wassertiefen ZWSPH (Bild 97) nimmt der Anteil im Zustandsbereich  $< 1,5$  beim modifizierten Bewertungsansatz mit einer linearen Normierungsfunktion sehr stark zu. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der 1,5-Wert, der in der bisherigen Bewertung uneinheitlich bei 5 Städten mit 0,1 mm und bei 2 Städten mit 2 mm angesetzt war, in der modifizierten Version generell bei 2 mm liegt. Wissenschaftlich fundierte Begründungen können weder für 0,1 mm noch für 2 mm geliefert werden; für einen 1,5-Wert von 0,1 mm lässt sich jedoch, in Anbetracht der üblichen Messtoleranzen (bei SPT 1 mm, d. h.  $10 \cdot 0,1$  mm), auch schwerlich eine nachvollziehbare pragmatische Begründung finden. Durch die Verschiebung der Anteile in den Bereich unter 1,5, die Linearisierung der Normierungsfunk-

tion und die Verlegung des Schwellenwertes (s. Tabelle 15, bisher für 5 Städte bei 6 mm, für 2 Städte bei 12 mm, neu bei 14 mm) werden die auch bisher schon kleinen Längenanteile in den schlechteren Zustandsbereichen für ZWSPH noch geringer.

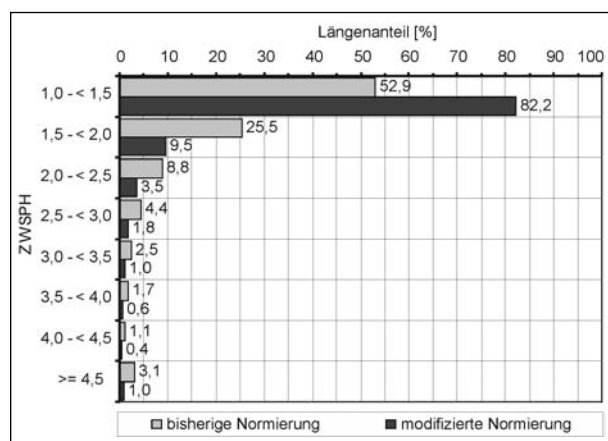
### 5.2.3.2 Bewertung regelloser Querunebenheiten

Die Anteile, die aufgrund der mittleren Spurrinnentiefe MSPT bzw. der mittleren Wassertiefe MSPH auf den sehr schlechten Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 entfallen, sind sowohl bei der bisherigen Bewertung wie auch beim modifizierten linearen Ansatz so gering, dass sie den praktischen Erfahrungen, z. B. aus visuellen Erfassungen, widersprechen. Dies liegt z. T. daran, dass die auf der linken und rechten Fahrstreifenseite separat ermittelten Zustandsindikatoren SPTL und SPTR bzw. SPHL und SPHR (Spurrinnentiefe bzw. Wassertiefe links und rechts) für den gesamten Querschnitt des Auswerteabschnitts gemittelt und damit vielfach nivelliert werden. Diese Nivellierung ist insbesondere dann gravierend, wenn die Indikatoren der beiden Messlinien sehr stark voneinander abweichen.

Das derzeit angewendete Bewertungsverfahren für die Querunebenheiten bei Innerortsstraßen wurde wesentlich aufgrund der Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Außerortsbereich erarbeitet. Vor allem bei den Bundesfernstraßen orientiert sich der Verkehr vorrangig an Fahrstreifen, deren Lage, Breite und Befestigung (Deckenart, Aufbau) über größere Längen relativ konstant bleibt. Dabei bilden sich bei Asphaltdecken vielfach in den beiden Radspuren der Lkw ausgeprägte rinnenartige Verformungen, d. h. Spurrinnen, aus. Bei Innerortsstraßen, und auch bei Ortsdurchfahrten, gelten die o. g. Randbedingungen nur zum geringen Teil (HELLER, KÖHLER, SCHNIERING, 2003). Durch häufige Ummarkierungen sowie Spurwechsel ist die Belastung einzelner Fahrbahnteile unregulär und schwer zu modellieren; der Befestigungsaufbau ist vielfach inhomogen, z. B. aufgrund von (Handeinbau-)Maßnahmen kleineren Umfangs, Aufgrabungen oder häufigen Instandsetzungen. Dementsprechend zeigt sich vielfach (z. B. in HELLER, KÖHLER, SCHNIERING, 2003), dass Querunebenheiten bei Innerortsstraßen ein anderes, von rinnenförmigen Verformungen abweichendes Erscheinungsbild aufweisen. Anstelle von längeren Rinnen treten eher inhomogene Verformungen auf, die als unregelmäßige Querunebenheiten bezeich-



**Bild 96:** Vergleich der Längenanteile für den Zustandswert der mittleren Spurrinnentiefe ZWSPT nach der bisherigen und der modifizierten Bewertung



**Bild 97:** Vergleich der Längenanteile für den Zustandswert der mittleren Wassertiefe ZWSPH nach der bisherigen und der modifizierten Bewertung

net werden können. In einem schlüssigen Bewertungsverfahren sollten diese Mängel an der Querebene stärker berücksichtigt werden, als es derzeit mit den häufig stark nivellierten mittleren Spurrinnen- bzw. Wassertiefen der Fall ist, da auch bei diesen unregelmäßigen Ausprägungen (evtl. nur psychologische) Wirkungen des Spurführungseffektes bei Spurwechselvorgängen bzw. von Wasseransammlungen in Form von Spritzwasserbelästigungen vorhanden sind.

Bei der Ermittlung der Zustandsindikatoren für die Querebene wird, jeweils für die rechte und linke Radspur, neben der mittleren und maximalen Spurrinnentiefe auch die Standardabweichung der mittleren Spurrinnentiefe ausgewertet: Diese Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der ermittelten Einzelwerte eines Auswertabschnitts. Sie ermöglicht Aussagen zur Homogenität der erfassten Profiltiefen. Da Auswertabschnitte mit großen mittleren Spurrinnentiefen i. A. eine größere Standardabweichung aufweisen als Abschnitte mit kleinem Mittelwert muss für einen Vergleich aller Auswertabschnitte eine Normierung erfolgen. Dazu eignet sich der relative Variationskoeffizient, der wie folgt definiert werden kann (SACHS 1983):

$$VK_i = (SSPT_i / MSPT_i \cdot 100) / (n_i)^{1/2}$$

mit

$VK_i$  Variationskoeffizient (%) für Auswertabschnitt  $i$ ,

$MSPT_i$  mittlere Spurrinnentiefe (mm) für Auswertabschnitt  $i$ ,

$SSPT_i$  Standardabweichung (mm) der mittleren Spurrinnentiefe,

$n_i$  Anzahl Profilwerte für Auswertabschnitt  $i$ .

Der nach obiger Beziehung ermittelte Variationskoeffizient aus dem Quotienten der Standardabweichung und des Mittelwerts der Spurrinnentiefen ergibt sich als Prozentwert: Da der maximale Variationskoeffizient der Quadratwurzel aus  $n$  (= Anzahl der Einzelwerte, z. B. 10 Profilwerte bei einer Länge von 10 m, 20 Werte bei 20 m) entspricht, erfolgt eine Relativierung mit dem Stichprobenumfang. Der o. a. Variationskoeffizient ist somit ein relatives Streuungsmaß, das unabhängig von der absoluten Größe der mittleren Spurrinnentiefe und der Anzahl der für ihre Berechnung berücksichtigten Einzelwerte ist. Er eignet sich damit sehr gut für den Vergleich der Variation mehrerer Datenreihen, die

durch die unterschiedlichen Auswertabschnitte definiert sind.

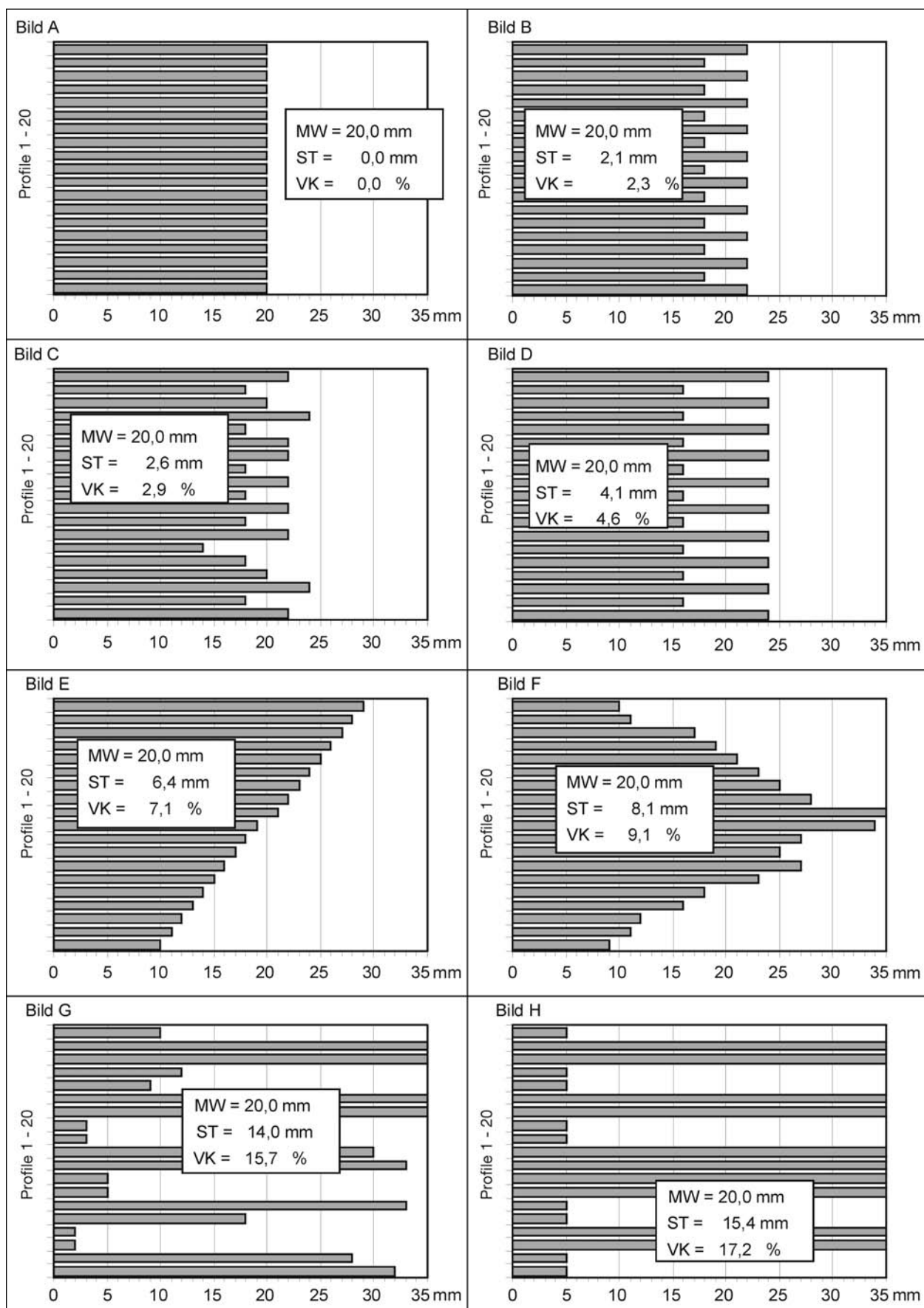
Zur besseren Einschätzung der Aussagekraft des Variationskoeffizienten  $VK$  sind in Bild 98 für beliebig ausgewählt Beispiele Rechenwerte angegeben. Dargestellt sind jeweils 20 Profilwerte fiktiver 20-m-Abschnitte, die stets einen Mittelwert (mittlere Spurrinnentiefe  $MSPT$ ) von 20 mm ergeben; die Abfolge der 20 Profilwerte ist dabei beliebig, da der Variationskoeffizient  $VK$  davon unabhängig ist und dazu auch keine Aussagen erlaubt. Bild A zeigt z. B. den theoretischen Idealfall mit 20 Einzelprofilen von jeweils 20 mm ( $VK = 0$ ). Aus den Bildern B bis H wird erkennbar, dass die Einzelprofile bereits bei Variationskoeffizienten  $VK$  zwischen ca. 5 und 7 % so stark variieren, dass nur noch sehr eingeschränkt von durchgehenden Spurrinnen ausgegangen werden kann.

Die Häufigkeitsverteilungen der Variationskoeffizienten für die mittleren Spurrinnentiefen  $MSPTR$  und  $MSPTL$  der rechten und linken Radspur sind in der Summe aus den 7 Analysestädten dargestellt in

- Bild 99 für die Fahrbahnen mit Asphaltdecken,
- Bild 100 für die Fahrbahnen mit Pflasterdecken.

Bei den Asphaltdecken (Bild 99) weisen 8,7 % (oben) bzw. 11,9 % (unten) der Variationskoeffizienten Werte bis 4 auf: Bei den entsprechenden Abschnitten kann relativ eindeutig von geringen Varianzen in den mittleren Spurrinnentiefen und damit von weitestgehend durchgehenden Rinnen ausgegangen werden. Bei zusätzlich 27,8 % (oben) bzw. 31,2 % (unten), die Variationskoeffizienten zwischen 4 und 8 aufweisen, liegen bereits verhältnismäßig heterogene Verteilungen der Einzelwerte vor (s. dazu Bild 98), die allenfalls mit großen Einschränkungen auf durchgehende Rinnen hindeuten. Bei fast 64 % (oben) bzw. 57 % (unten) der Variationskoeffizienten für die mittleren Spurrinnentiefen  $MSPTR$  und  $MSPTL$ , die Werte von 8 und mehr annehmen, muss von eher regellosen Querunebenen ausgegangen werden.

Da bei der Berechnung des Variationskoeffizienten die absolute Größe des Mittelwerts normiert wird, ergeben sich für die Pflasterdecken (Bild 100) insgesamt gesehen ähnliche Relationen wie für die Asphaltdecken. Die Anteile, die auf eindeutige Spurrinnen hindeuten (Variationskoeffizienten bis 4), sind, verglichen mit den Asphaltdecken, mit 4,2 % (rechts) bzw. 5,1 % (links) etwas geringer, die



**Bild 98:** Exemplarische Darstellung von Variationskoeffizienten VK für 20-m-Auswerteabschnitte mit einer mittleren Spurrinntentiefe (MW) von 20 mm

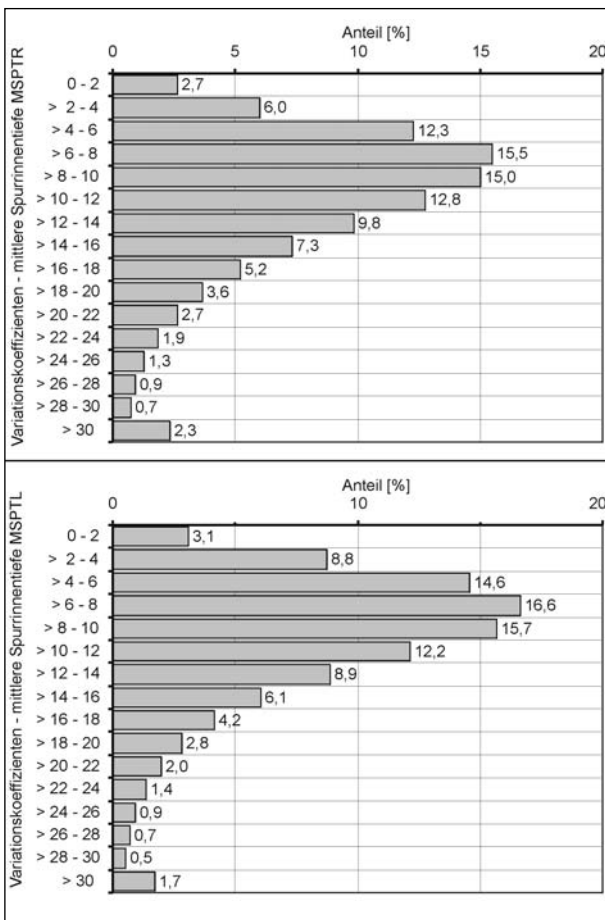


Anteile mit vermutlich regellosen Querunebenheiten (Variationskoeffizienten ab 8) mit 76,8 % (rechts) bzw. 71,5 % (links) etwas höher. Wie auch bei den Asphaltdecken kommen durchgehende Rinnen in den linken Radspuren auch bei den Pflasterdecken offenbar etwas häufiger vor als in den rechten Radspuren.

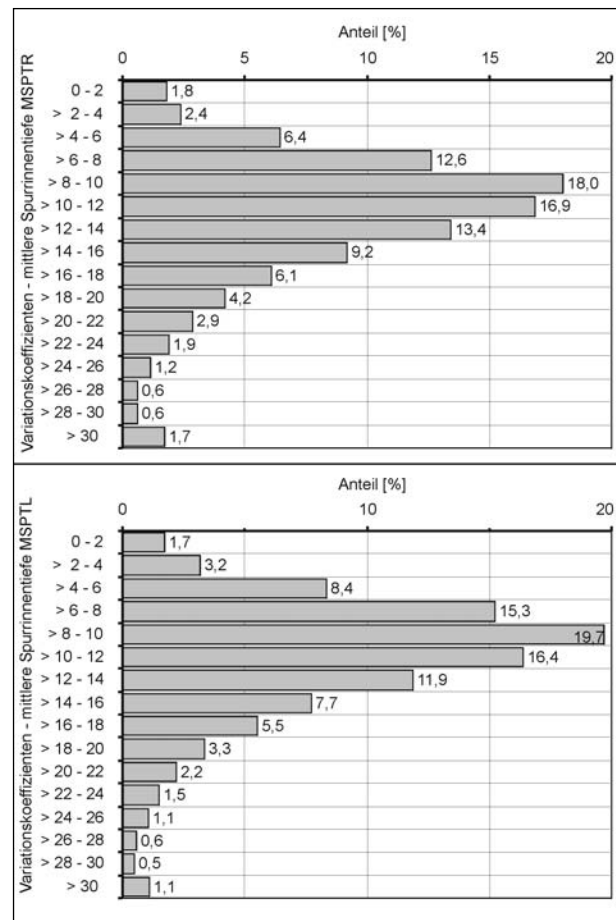
Wenn, wie aus den Bildern 99 und 100 recht eindeutig hervorgeht, deutlich mehr als die Hälfte der vorhandenen Querunebenheiten als regellos einzustufen ist, bildet eine Zustandsbewertung auf der Grundlage der mittleren Spurrinnentiefe MSPT, also des Mittelwerts aus MSPTR und MSPTL der rechten bzw. linken Radspur, die tatsächlichen Gegebenheiten nur unzureichend ab. Diese Unzulänglichkeit wurde auch bei den Untersuchungen für die Ortsdurchfahrten erkannt (HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003): Zur Behebung und besseren Anpassung der Zustandsbewertung an die tatsächlichen Verhältnisse wurde vorgeschlagen, die maximale Spurrinnentiefe in dem jeweiligen Messquerschnitt zu bestimmen und anschließend

einen Mittelwert für alle Messquerschnitte des Auswerteabschnittes zu bilden. Diesem Vorschlag, der eine neue Auswertung der Rohdaten erfordert, kann hier nicht nachgegangen werden. Nachfolgend wird daher analysiert, inwieweit eine Vorgehensweise, die an die derzeitige Bewertung der Indikatoren aus der Planografensimulation angelehnt ist, zielführend sein kann.

Bei der Bewertung der Indikatoren aus der Planografensimulation (s. Kapitel 3.3) werden ein Zustandswert für den Durchschnittswert PGR\_AVG und ein Zustandswert für den Maximalwert PGR\_MAX gebildet; der größere Wert wird als maßgeblich für den Zustandswert der Längsebenheit gesetzt. In Anlehnung daran wären bei der Bewertung der Querebenheit die mittleren Spurrinnentiefen MSPT und die maximalen Spurrinnentiefen SPT\_MAX zu berücksichtigen. In Querrichtung sind allerdings jeweils 2 Spurrinnentiefen, für die rechte und linke Radspur, vorhanden. Bei der mittleren Spurrinnentiefe MSPT wird der größere (= schlechtere) Wert aus MSPTR und MSPTL (rechts und



**Bild 99:** Verteilung der Variationskoeffizienten VK der mittleren Spurrinnentiefe MSPTR und MSPTL (rechts und links) für die Asphaltfahrbahnen der 7 Analysestädte



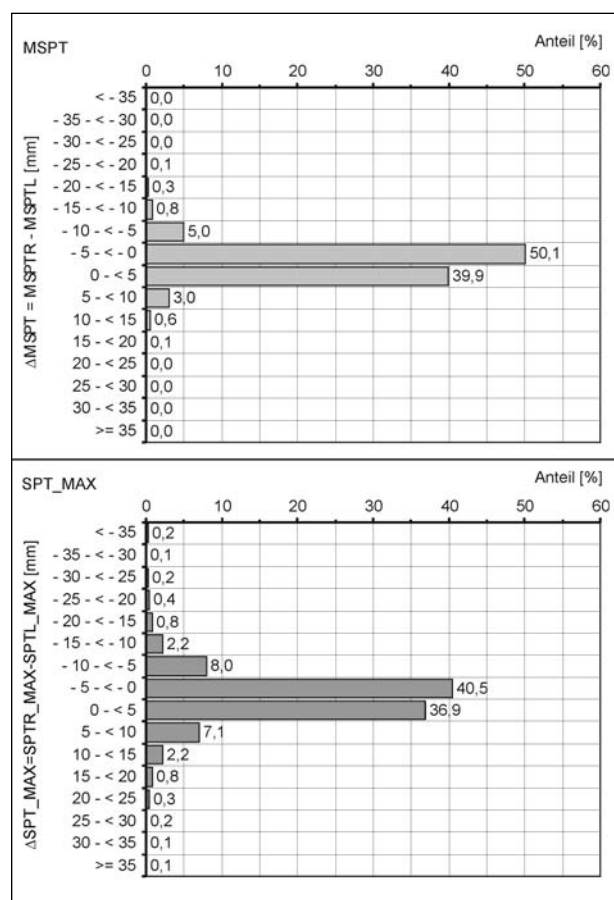
**Bild 100:** Verteilung der Variationskoeffizienten VK der mittleren Spurrinnentiefe MSPTR und MSPTL (rechts und links) für die Pflasterfahrbahnen der 7 Analysestädte

links) als maßgeblich angesetzt. Dies erscheint unproblematisch, weil MSPTR und MSPTL als Durchschnittswerte aus den im 1-m-Abstand ermittelten Querprofilen des Auswerteabschnitts berechnet werden. Bei den singular für die Auswerteabschnitte ermittelten maximalen Spurrinntiefen SPTR\_MAX bzw. SPTL\_MAX ist die Annahme des schlechteren Werts wesentlich problematischer, weil Fehlmessungen bzw. -interpretationen, z. B. bei Einläufen oder andern Straßeneinbauten, nicht auszuschließen sind. Dies wird relativ deutlich aus den abschnittsbezogenen Abweichungen zwischen den rechten und linken mittleren Spurrinntiefen MSPTR – MSPTL und den rechten und linken maximalen Spurrinntiefen SPTR\_MAX – SPTL\_MAX, die mit ihrer Häufigkeitsverteilung, zusammengefasst für alle 7 Analysestädte, dargestellt sind in

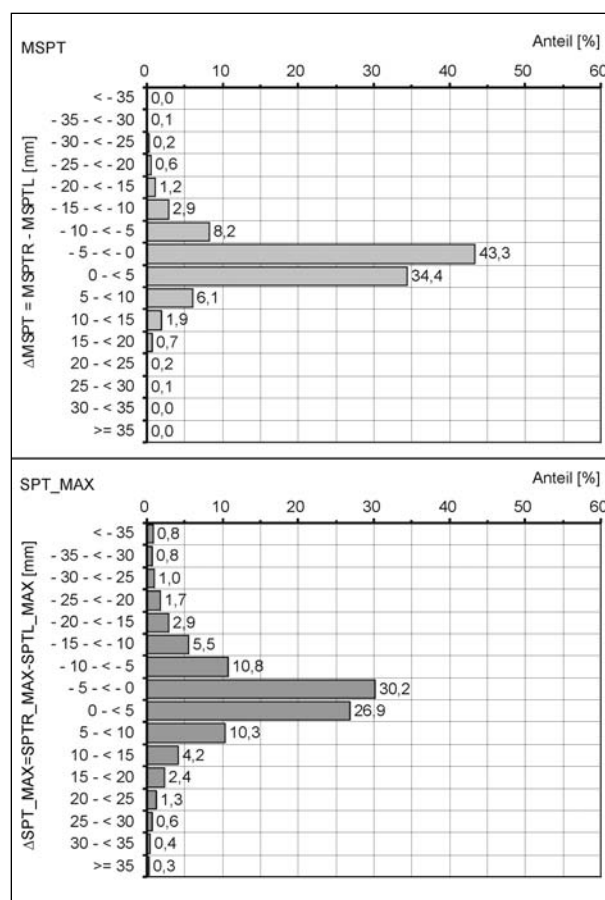
- Bild 101 für die Asphaltdecken,
- Bild 102 für die Pflasterdecken.

Bei den mittleren Spurrinntiefen der Asphaltdecken (Bild 101) ergeben sich für 90 % der Abschnitte Abweichungen der Werte aus der rechten und linken Radspur, die unter  $\pm 5$  mm liegen. Bei den maximalen Spurrinntiefen liegt der entsprechende Anteil bei ca. 77 %. Für die Pflasterdecken (Bild 102) beträgt der Anteil mit Abweichungen bis  $\pm 5$  mm bei den mittleren Spurrinntiefen ca. 78 %, bei den maximalen Spurrinntiefen ca. 57 %. Die extremen Differenzen erreichen für die mittleren Spurrinntiefen Werte zwischen  $-55$  und  $+34$  mm, für die maximalen Spurrinntiefen Werte zwischen  $-96$  und  $+76$  mm. Diese Relationen zeigen, dass die Auswahl des größeren Werts aus SPTR\_MAX und SPTL\_MAX wesentlich problematischer ist als die entsprechende Auswahl aus MSPTR und MSPTL. Daher wird folgende Vorgehensweise für die Bewertung der Querebenheit vorgeschlagen:

- 1) Ermittlung eines Zustandswerts ZWSPT aus  $MSPT = \text{Max}(MSPTR, MSPTL)$  mit Hilfe der be-



**Bild 101:** Verteilung der Differenzen zwischen den mittleren Spurrinntiefen MSPTR und MSPTL und den maximalen Spurrinntiefen SPTR\_MAX und SPTL\_MAX für die Asphaltdecken der 7 Analysestädte

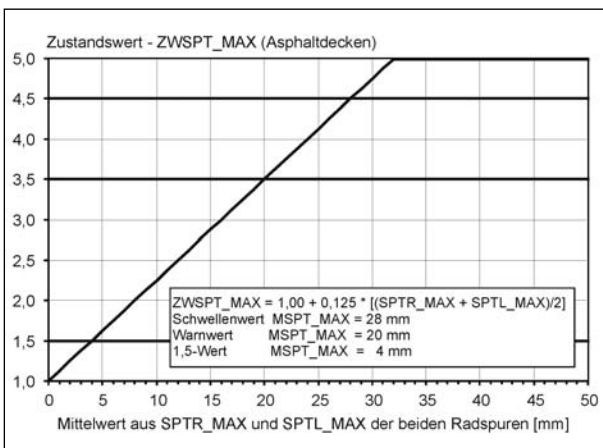


**Bild 102:** Verteilung der Differenzen zwischen den mittleren Spurrinntiefen MSPTR und MSPTL und den maximalen Spurrinntiefen SPTR\_MAX und SPTL\_MAX für die Pflasterdecken der 7 Analysestädte

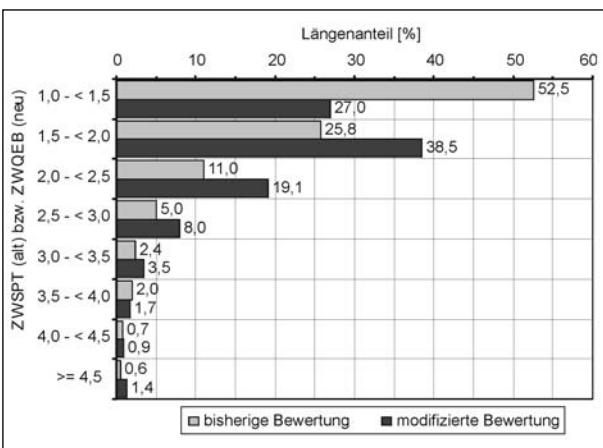
reits in Bild 95 veranschaulichter Normierungsfunktion.  $ZWSPT = 1,0 + 0,125 \cdot MSPT$

- 2) Ermittlung eines Zustandswerts  $ZWSPT\_MAX$  aus  $MSPT\_MAX = (SPTR\_MAX + SPTL\_MAX)/2$ ,
- 3) Ermittlung des Zustandswerts der Querebenheit  $ZWQEB = MAX(ZWMSPT, ZWMSPT\_MAX)$ .

Durch die Mittelwertbildung bei  $MSPT\_MAX$  werden große Abweichungen (s. Bilder 101 und 102) nivelliert; der Einfluss eventueller örtlich-punktuel-ler Besonderheiten wird dadurch verringert. Für die Normierung von  $MSPT\_MAX$  werden die Warn- und Schwellenwerte angenommen, die gemäß Bild 95 bereits bei  $ZWMSPT$  berücksichtigt sind (Warnwert 20 mm, Schwellenwert 28 mm). In Bild 103 ist die lineare Normierungsfunktion für  $ZWSPT\_MAX$  mit der rechnerischen Beziehung für die Fahrbah-



**Bild 103:** Normierungsvorschlag für die mittlere maximale Spurrinnentiefe  $MSPT\_MAX$  bei Fahrbahnen mit Asphaltdecken



**Bild 104:** Vergleich der Längenanteile für den Zustandwert der Querebenheit nach der bisherigen und der modifizierten Bewertung

nen mit Asphaltdecken veranschaulicht (Pflaster s. Kapitel 5.3).

In Bild 104 sind, in der Zusammenfassung für alle 7 Analysestädte, die Häufigkeitsverteilungen für 0,5-Notenklassen nach der bisherigen Bewertung ( $ZWSPT$ ) und nach dem modifizierten Bewertungsvorschlag ( $ZWQEB$ ) im Vergleich dargestellt. Für  $ZWQEB$  ergeben sich im Bereich von 3,5 bis 4,5 ähnliche Anteile wie für  $ZWSPT$  (2,6 %). Im Bereich ab dem Schwellenwert ist der Anteil für  $ZWQEB$  (1,4 %) mehr als doppelt so groß. Mit der modifizierten Bewertung werden damit die tatsächlichen Gegebenheiten der Querebenheit offenbar deutlich zutreffender abgebildet als mit dem bisherigen Verfahren. Bei  $ZWQEB$  schlagen dabei  $MSPT$  zu 11,5 %,  $MSPT\_MAX$  zu 88,5 % durch (Pflaster 8 % zu 92 %). Der Durchschlagsanteil für  $MSPT$  entspricht in etwa dem Anteil, für den nach Maßgabe der Variationskoeffizienten (Bilder 99 und 100) von relativ deutlichen rinnenartigen Verformungen ausgegangen werden kann.

### 5.2.3.3 Modifizierte Bewertung der fiktiven Wassertiefe

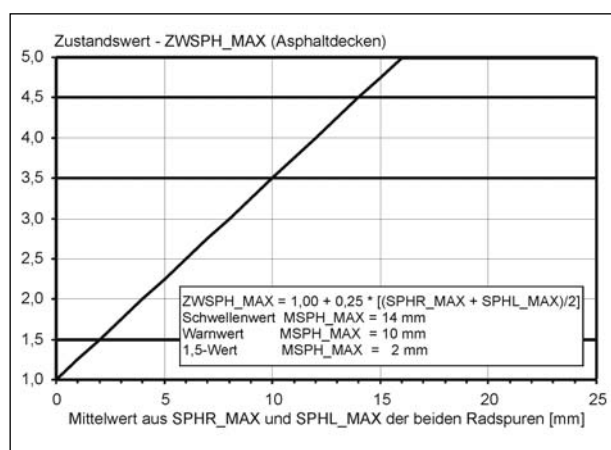
Auch bei der fiktiven Wassertiefe werden für die Auswerteabschnitte zusätzlich zu den Mittelwerten  $MSPHR$  und  $MSPHL$  die Maximalwerte  $SPHR\_MAX$  und  $SPHL\_MAX$  der linken und rechten Radspuren ermittelt. Es bietet sich somit an, bei der Bewertung ähnlich zu verfahren wie bei der Querebenheit (Kapitel 5.2.3.2), da nicht nur Wasserrückhalt in durchgehenden Rinnen, sondern auch Wasserrückhalt in singulären muldenartigen Verformungen die bekannten Wirkungen (z. B. Spritzwasser, s. Kapitel 5.2.3.1) entfalten kann. Dementsprechend ist wie folgt vorzugehen:

- 1) Ermittlung eines Zustandswerts  $ZWSPH$  aus  $MSPH = Max(MSPHR, MSPHL)$  mit Hilfe der bereits in Bild 94 veranschaulichten Normierungsfunktion.  $ZWSPH = 1,0 + 0,25 \cdot MSPH$ ,
- 2) Ermittlung eines Zustandswerts  $ZWSPH\_MAX$  aus  $MSPH\_MAX = (SPHR\_MAX + SPHL\_MAX)/2$ ,
- 3) Ermittlung des Zustandswerts für den (fiktiven) Wasserrückhalt  $ZWWAS = MAX(ZWMSPH, ZWMSPH\_MAX)$ .

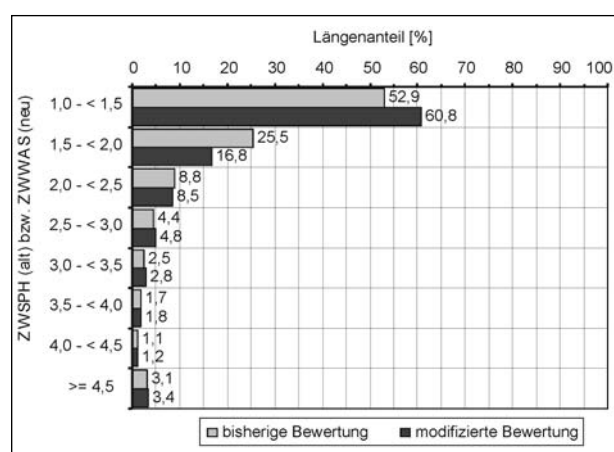
Wie schon bei der Querebenheit soll durch die Mittelwertbildung bei  $MSPH\_MAX$  der Einfluss eventueller örtlich-punktuel-ler Besonderheiten (z. B.

Fehlmessungen/-auswertungen) verringert werden. Für die Normierung von MSPH\_MAX werden die Warn- und Schwellenwerte angenommen, die gemäß Bild 94 bereits bei ZWSPH berücksichtigt sind (Warnwert 10 mm, Schwellenwert 14 mm). In Bild 105 ist die lineare Normierungsfunktion für ZWSPH\_MAX mit der rechnerischen Beziehung für die Fahrbahnen mit Asphaltdecken veranschaulicht (Pflaster s. Kapitel 5.3).

Bild 106 enthält die Häufigkeitsverteilungen für 0,5-Notenklassen nach der bisherigen Bewertung (ZWSPH) und nach dem modifizierten Bewertungsvorschlag (ZWWAS, alle 7 Analysestädte). Anders als bei der modifizierten Bewertung von ZWSPH (s. Bild 97) ergeben sich für ZWWAS im Bereich ab dem Warnwert ähnliche Anteile wie bei der bisher angewendeten Bewertung mit den Schwellenwerten 6 mm bzw. 12 mm (s. dazu Tabelle 15).



**Bild 105:** Normierungsvorschlag für die mittlere maximale Wassertiefe MSPH\_MAX bei Fahrbahnen mit Asphaltdecken



**Bild 106:** Vergleich der Längenanteile für den Zustandswert der fiktiven Wassertiefe nach der bisherigen und der modifizierten Bewertung

## 5.2.4 Griffigkeit

Die mit Hilfe eines Gummi-Messrades gemessene und auf die jeweilige Anpresskraft bezogene Reibkraft zwischen Straßenoberfläche und Messrad wird als Griffigkeit bezeichnet. Sie ist ein vom Messsystem abhängiges Zustandsmerkmal der Straßenoberfläche, das neben der Geschwindigkeit und der Temperatur auch von dem Grad der Annässung abhängig ist. Derzeit wird das Dynamische Messverfahren gem. TP Griff-StB (HIERSCHKE, KNEPPER 1990) eingesetzt. Dafür ist eine rechnerische Wasserfilmdicke von 0,5 mm vorgeschrieben. Das Verfahren soll die sich bei einer Gefahrenbremsung bei Nässe zwischen Fahrzeugreifen und Fahrbahnoberfläche abspielenden Reibungseffekte simulieren und das Potenzial an Reibung beschreiben, das ein Fahrbahnbelag bei Nässe noch dem Straßennutzer vorhalten kann.

Die Griffigkeit hat Einfluss auf den Bremsweg bei nasser Fahrbahn (WEHNER 1970; LAMM, HERRING 1970; MITSCHKE 1982; DAMES, MERKENS, BERGMANN 1984; STEINAUER, MAYER, van der SLUIS 2000). Ein griffigkeitsbedingter längerer Bremsweg kann auch bei den im Innerortsbereich üblichen Geschwindigkeiten von Bedeutung sein, da, wesentlich häufiger als bei Außerortsstraßen, mit spontan auftretenden Ereignissen, z. B. in Form straßenüberquerender Fußgänger, zu rechnen ist. Trotzdem wird eine standardmäßige Erfassung aus Sicht der Kommunen derzeit mehrheitlich als nicht erforderlich erachtet. Griffigkeitsmessungen wurden dementsprechend nur in einer der 7 Analysestädte stichprobenartig durchgeführt (s. Kapitel 2.1.2). Daher sind keine repräsentativen Daten für empirische Analysen verfügbar. Es wird vorgeschlagen, für den Bedarfsfall, z. B. bei Ergänzungsmessungen an Unfallschwerpunkten einer Kommune, die Bewertungsparameter der Außerortsstraßen zu übernehmen. Allerdings existieren derzeit zwei unterschiedliche Varianten für eine Normierung der vom Dynamischen Messverfahren gem. TP Griff-STB gemessenen Seitenreibungsbeiwerte  $\mu$ , und zwar nach den Arbeitspapieren für die Zustandsbewertung (FGSV 2002, s. Bild 15) sowie nach MBGriff (FGSV 2003b). In Tabelle 27 sind die 1,5-Werte sowie die Warn- und Schwellenwerte nach beiden Versionen zusammengestellt. Für die Zustandsbewertung wird die Normierung nach den Arbeitspapieren vorgeschlagen, allerdings ohne die Unstetigkeiten bei 1,5 und 4,5. Die Beziehung zur Ermittlung des Zustandswerts ZWGRI für die Griffigkeit lautet dann:

μ-Werte und Zustandswerte	FGSV- Arbeitspapiere (FGSV 2002)			MBGriff (FGSV 2003b)		
	Messgeschwindigkeit v [km/h]			Messgeschwindigkeit v [km/h]		
	80	60	40	80	60	40
μ <sub>1,5</sub> beim 1,5-Wert	0,53	0,60	0,67	0,53	0,58	0,63
μ <sub>WW</sub> beim Warnwert 3,5	0,39	0,46	0,53	0,39	0,44	0,49
μ <sub>SW</sub> beim Schwellenwert 4,5	0,32	0,39	0,46	0,32	0,37	0,42

**Tab. 27:** 1,5-Werte, Warn- und Schwellenwerte für die Ermittlung des Zustandswerts ZWGRI der Griffigkeit aus den Seitenreibungsbeiwerten  $\mu$

- $ZWGRI = \text{Max}(1,0; \text{Min}(5,0; a_v + b_v \cdot \mu))$

Die Koeffizienten  $a_v$  und  $b_v$  sind abhängig von der Messgeschwindigkeit  $v$ . Es gilt:

- $a_v = 4,5 - \mu_{SW,v} / (\mu_{SW,v} - \mu_{WW,v})$
- $b_v = 1 / (\mu_{SW,v} - \mu_{WW,v})$

mit

$\mu_{SW}$  bzw.  $\mu_{WW}$  messgeschwindigkeitsabhängige  $\mu$ -Werte für den Schwellen- bzw. den Warnwert (s. Tabelle 27)

### 5.2.5 Substanzmerkmale

Zu den Substanzmerkmalen gehören alle an der Oberfläche sichtbaren Schäden, die auf eine aktuell vorhandene oder im Zeitablauf zu erwartende Beeinträchtigung des strukturellen Zustands von Fahrbahnbefestigungen hindeuten. Dazu gehören:

- Rissbildung (Netzrisse/Risshäufungen, Einzelrisse,
- offene Arbeits-/Anschlussnähte,
- Ausbrüche/Schlaglöcher (schalenförmige Ausbrüche) und Abplatzungen (Ablösen der Deckschicht),
- Ausmagerungen (Bindemittelverlust), Splittverluste und Abrieb (feinkörniger Substanzverlust),
- Schwitzen/Bindemittelanreicherungen und
- Flickstellen.

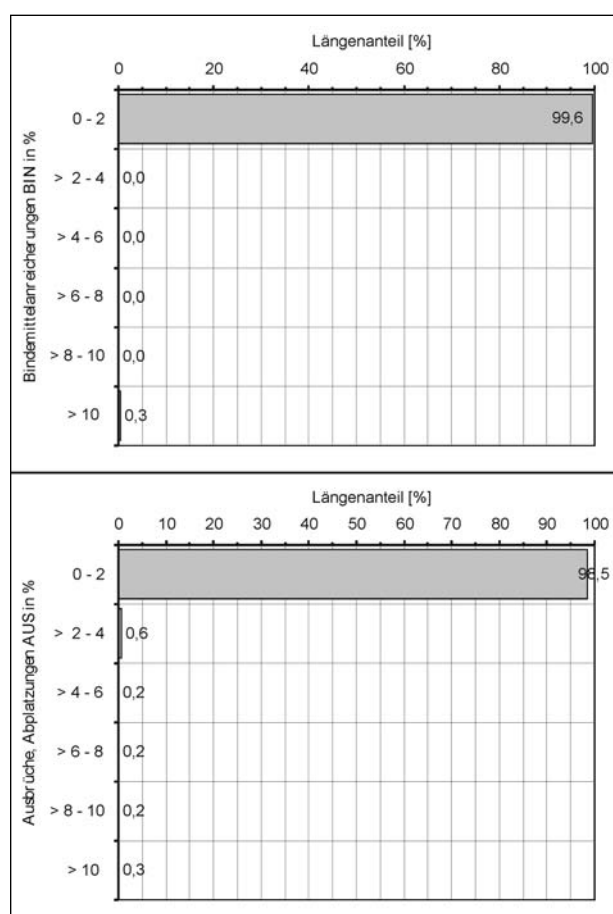
Die Ausprägung der Zustandsindikatoren für die Substanzmerkmale wird durch Auswertung der vor

Ort aufgenommenen Videobilder der Fahrbahnoberfläche ermittelt. Derzeit sind nur die Zustandsmerkmale „Netzrisse, Risshäufungen“ und „Flickstellen“ bewertungsrelevant (s. Kapitel 3.2). Da bei Innerortsstraßen häufig gestalterische Aspekte, Aufgrabungen und Einbauten das Erscheinungsbild der Fahrbahnoberfläche bestimmen, ist die Auswertung dieser Videobilder hinsichtlich der Ausprägung der Zustandsmerkmale aufwändiger als bei Außerortsstraßen. Bei den Auswertungen für die verfügbaren 7 Analysestädte wurde daher der Schwerpunkt auf die bewertungsrelevanten Merkmale „Risse“ und „Flickstellen“ gelegt. Darüber hinaus ausgewertet wurden Einzelrisse (z. T. als geradlinige Risse), Bindemittelanreicherungen und Ausbrüche/Abplatzungen, allerdings teilweise uneinheitlich und auch unvollständig, sodass die betreffenden Daten nur bedingt für Analysezwecke brauchbar sind. Ausmagerungen wurden nur für eine Analysestadt (Stadt D) ausgewertet.

In Bild 107 sind, in der Summe über die 7 Analysestädte, die Längenanteile für die Bindemittelanreicherungen BIN und die Ausbrüche/Abplatzungen AUS dargestellt. Es wird deutlich, dass kaum Anteile von mehr als 2 % betroffener Fläche auftreten. Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass überwiegend Haupt- und wenig Nebenstraßen erfasst wurden (s. Kapitel 5.3). Das Analysematerial ist für eine Normierung dieser Zustandsgrößen nicht brauchbar. Die nachfolgenden empirischen Analysen bleiben somit auf Risse und Flickstellen beschränkt.

Rissbildungen bei Asphaltdecken, die im Rahmen von Zustandserfassungen in Form von Einzelrisen, Risshäufungen und/oder Netzrisen festgestellt werden, können auf eine Reihe unterschiedlicher Ursachen zurückzuführen sein: Als wesentliche Ursachen einer Rissbildung bei Asphaltdecken sind zu nennen (s. auch HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003):

- Erreichen der Festigkeitsgrenze infolge der Verkehrsbelastung (Ermüdungsrisssbildung, eventuell auch als Folge einer unzureichenden Dimensionierung),
- hohe Zugspannungen mit Überschreitung der Zugfestigkeit der Asphaltbefestigung (Tragfähigkeitsrisse),
- Erreichen der Festigkeitsgrenze infolge thermisch induzierter Spannungen (in Überlagerung mit Spannungen aus der Verkehrsbelastung; Kälterisssbildung),



**Bild 107:** Häufigkeitsverteilung der Bindemittelanreicherungen BIN und der Ausbrüche/Abplatzungen AUS für die Asphaltfahrbahnen der 7 Analysestädte

- Durchschlagen von Schrumpfrissen mit großen Rissöffnungsbreiten in hydraulisch gebundenen oder hydraulisch verfestigten Schichten, unterhalb der Asphaltsschichten (Reflexionsrisse),
- Rissbildung aufgrund mangelhaften Schichtenverbundes.

Es ist bisher nicht zuverlässig gelungen, die verschiedenen Erscheinungsformen von Rissen den o. g. Schadensursachen zuzuordnen. Es wird daher vorgeschlagen, alle Arten von Rissen generell als Indikator für strukturelle Schäden zu bewerten, da, mit Ausnahme der Reflexionsrisse, der zeitliche Verlauf der Rissbildung zumeist progressiv ist (s. z. B. HINSCH, KRAUSE, MAERSCHALK, RÜBENSAM 2004). Im diesem Sinne sollten daher im Zustandsmerkmal „Risse“ sowohl Einzel- als auch NetZRisse zusammengefasst und die bisher teilweise vorgenommenen Unterscheidung zwischen unregelmäßigen und geradlinigen Rissen aufgegeben werden. Allerdings erscheint eine Unterscheidung zwischen Rissen und offenen Arbeits- bzw. An-

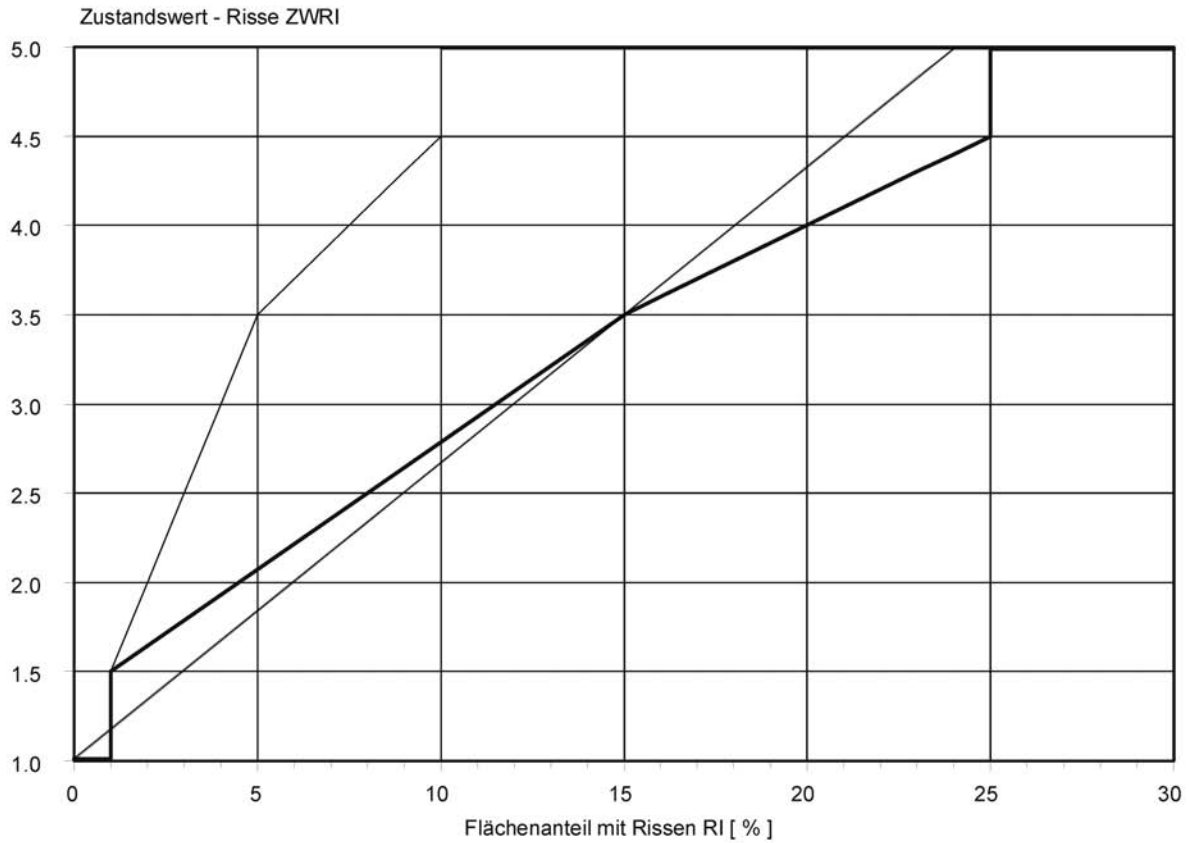
schlussnähten erforderlich. Offene Nähte sind, anders als die meisten Rissformen, kein Indikator für strukturelle Schäden. Sie werden meist im Rahmen der baulichen Unterhaltung vergossen und verursachen i. A. keine größerflächigen Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen. Offene Nähte sind daher nicht bewertungsrelevant, sofern an den Nahrändern keine Risse auftreten. Wenn derartige Risse erkennbar sind, wird eine Erfassung unter dem Merkmal „Risse“ vorgeschlagen.

Durch Rissbildung ist die Abdichtungsfunktion der Asphaltdeckschicht im betroffenen Bereich nicht mehr gegeben, d. h., das Oberflächenwasser in diesem Bereich in den Oberbau eindringen. Damit besteht die Gefahr einer Aufweichung der ungebundenen Schichten mit der Folge einer Verringerung ihrer Tragfähigkeit und der Ausbildung von Setzungsschäden. Im Winter können dadurch Frostschäden auftreten, die infolge der Volumenvergrößerung zu Abplatzungen, Ausbrüchen oder zu Beeinträchtigungen der Ebenheit führen. Diese potenziellen Folgen können bei allen Straßen, d. h. bei Außerorts- wie bei Innerortsstraßen, auftreten. Im Vergleich zu Außerortsstraßen sind allerdings bei Innerortsstraßen aufgrund der Versiegelung mit geringerer Gefahr eines seitlichen Wassereintritts und aufgrund der höheren Lufttemperaturen mit geringerer Frosteindringung bei ausreichender Bemessung weniger gravierende und eventuell auch verzögerte Folgeschäden zu erwarten. Daher wird vorgeschlagen, die Bewertung von Rissen bei Innerortsstraßen nicht entsprechend der Funktionsklasse 1, sondern eher in Anlehnung an Funktionsklasse 2 von Außerortsstraßen vorzunehmen. Für das Merkmal „Netz-/Einzelrisse“ RI wird dementsprechend vorgeschlagen ein

- Schwellenwert (Zustandswert 4,5) bei 21 % betroffener (Riss-)Fläche.

Bei einer linearen Normierungsfunktion liegt der Warnwert bei 15 % betroffener (Riss-)Fläche. Der Zielwert für das Merkmal „Risse“ liegt bei 0 % (Zustandswert 1,0). Der 1,5-Wert fällt auf einen Rissflächenanteil von 3 %. In Bild 108 ist die vorgeschlagene Normierungsfunktion für Risse im Vergleich zu Funktionsklasse 1 und zu der bei den bisherigen Bewertungen angenommenen Funktionsklasse 2 der Außerortsstraßen dargestellt (s. Kapitel 3.3.1, Tabelle 15).

Bild 109 zeigt die Häufigkeiten der 0,5-Notenklassen bei Anwendung der bisherigen und der neu vorgeschlagenen Normierungsfunktionen. Da die



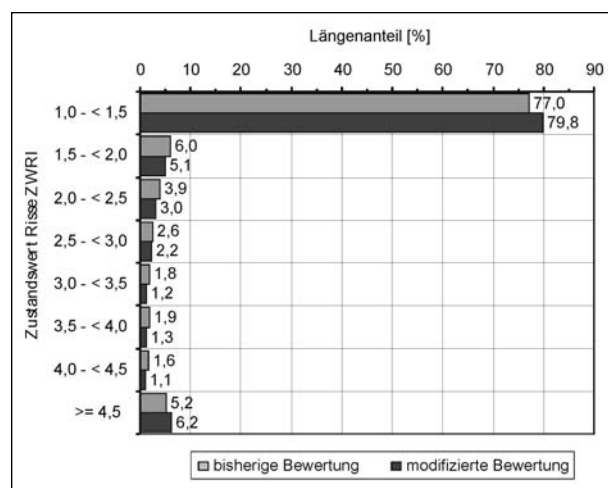
Außerortsstraßen: ZWRI =		Bedingung:
1.00		RI ≤ RI1
$1,5 + 2,0 \cdot (RI - RI1) / (RI2 - RI1)$		RI1 < RI ≤ RI2
$3,5 + (RI - RI2) / (RI3 - RI2)$		RI2 < RI ≤ RI3
5.00		RI3 < RI
<b>Außerortsstraßen: 1,5-Werte RI1, 3,5-Warnwerte RI2, 4,5-Schwellenwerte RI3</b>		
Funktionsklasse 1 (FK1):		
Zustandswert 1,5 bei:	RI1 = 1 %	
Warnwert 3,5 bei:	RI2 = 5 %	
Schwellenwert 4,5 bei:	RI3 = 10 %	
Funktionsklasse 2 (FK2):		
Zustandswert 1,5 bei:	RI1 = 1 %	
Warnwert 3,5 bei:	RI2 = 15 %	
Schwellenwert 4,5 bei:	RI3 = 25 %	
<b>Innerortsstraßen: ZWRI = Min (5; 1,00 + 0,167 * RI)</b>		alle RI
Zustandswert 1,5 bei:	RI1 = 3 %	
Warnwert 3,5 bei:	RI2 = 15 %	
Schwellenwert 4,5 bei:	RI3 = 21 %	

**Bild 108:** Normierungsfunktionen des Flächenanteils von Rissen für die Funktionsklassen 1 und 2 von Außerortsstraßen und Normierungsvorschlag für die Innerortsstraßen

geradlinigen Risse RI\_G mit ihrer Länge ausgewertet wurden, sind in Bild 109 jeweils nur die unregelmäßigen Risse RI\_U berücksichtigt. Es wird ersichtlich, dass sich die Anteile der 0,5-Notenklassen nach der bisherigen und der modifizierten Bewertung nur geringfügig unterscheiden. Die Anteile unter 1,5 werden beim neuen Bewertungsvorschlag um ca. 3 % weniger, die Anteile ab dem Schwellenwert um 1 % höher. Aufgrund dieser Verschiebungen ergeben sich auch geringe Abweichungen für die restlichen Zustandsklassen.

Die Einbeziehung von Flickstellen in eine Bewertung von Schadensmerkmalen wird häufiger in Frage gestellt, weil Flickarbeiten zur Beseitigung von Schäden durchgeführt werden und i. d. R. eine kleinflächige Maßnahme der baulichen Unterhaltung (bzw. Instandhaltung) darstellen. Die im Zuge von Unterhaltungsmaßnahmen erzeugten Flickstellen können der Beseitigung verschiedener Fahrbahnschäden dienen. Flickarbeiten werden u. a. durchgeführt

- zum Abdichten von Rissen, Nahtschäden oder offenen Fugen,
- zur Verfüllung von Ausbrüchen,
- zur Beseitigung von Ausmagerungen/Splittverlusten auf kleineren Flächen,
- zur Beseitigung von Randausbrüchen oder Randabrissen,
- zur Verbesserung der Griffigkeit nach Mörtelaustritt an örtlich begrenzten Stellen der Fahrbahnoberfläche,



**Bild 109:** Vergleich der Längenanteile für den Zustandswert der (unregelmäßigen) Risse ZWRIS nach der bisherigen und der modifizierten Bewertung

- zur Verfüllung von kleinflächigen Unebenheiten in Längs- oder Querrichtung (Mulden oder kurze Rinnen).

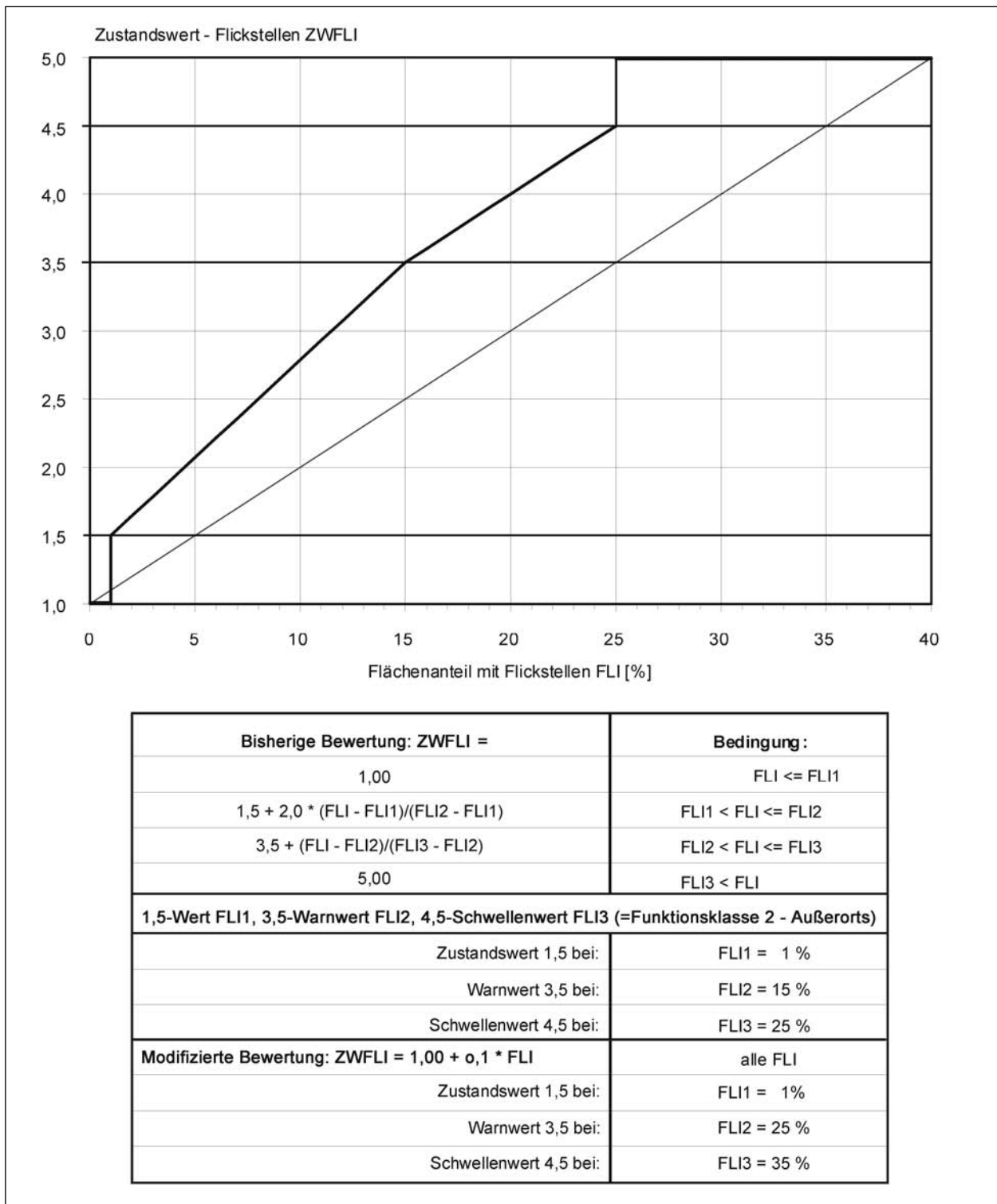
Die im Zuge derartiger Unterhaltungsmaßnahmen erzeugten Flickstellen können vielfach die Auswirkungen von Schäden verringern oder die Entstehung von Folgeschäden verlangsamen, eine vollständige Wiederherstellung der strukturellen Substanz der Fahrbahnbefestigung bewirken sie allerdings nicht. Flickstellen beeinträchtigen in jedem Fall den Zusammenhang bzw. die Homogenität der ursprünglichen Befestigung. Aufgrund dieser Wirkung hinsichtlich der Homogenität wurden die Flickstellen als Schadensmerkmal und potenzielle Gefahrenstelle in die Zustandsbewertung einbezogen (MAERSCHALK, PINGEL, 1984). Diese Beeinträchtigung der Homogenität der Befestigung gilt besonders für wiederhergestellte Grabungen, die an der Oberfläche i. A. als Flickstellen in Erscheinung treten. Auch bei fachgerechter Wiederherstellung von Aufgrabungsbereichen bleibt die ursprünglich vorhandene Gefügestruktur der Fahrbahnkonstruktion gestört, sodass eine erhöhte Gefahr von Folgeschäden besteht. Aufgrund dieser beeinträchtigenden Wirkung auf die Homogenität sind Flickstellen „infolge wiederhergestellter Grabungen“ bei der Zustandsbewertung ebenso zu behandeln wie die o. g. Reparaturflickstellen. Dabei ist es unerheblich, ob die Flickstelle, wie z. T. bei Reparaturen, gegenüber der sonstigen Fahrbahnoberfläche herausragt („aufgebrachte Flickstelle“) oder, wie meist bei wieder hergestellten Grabungen, weitgehend stufenlos höhengleich an das Niveau der übrigen Fahrbahnoberfläche angepasst ist („eingelegte Flickstellen“). In beiden Ausprägungen sind Flickstellen als eine örtliche Inhomogenität der bestehenden Befestigung anzusehen, deren potenziell beeinträchtigende Wirkung auf die Substanz bewertet werden soll. Die Unterscheidung „aufgebracht“ und „eingelegt“ wäre nur sinnvoll, wenn zusätzlich zur Substanzwirkung auch die Wirkung von Flickstellen auf die Fahrbahnebenheit bewertet werden soll. Im Hinblick auf die Längsebenheit ist dies nur dann möglich, wenn aufgebrachte Flickstellen zufällig in der Messlinie der Längsprofileraufnahme liegen. Aufgrund der geringen Häufigkeit aufgebrachter Flickstellen (s. Bilder 28 bis 30) ist dies eher unwahrscheinlich. Eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit einer Registrierung aufgebrachter Flickstellen besteht bei den Querprofileraufnahmen im 1-m-Abstand; durch die beim modifizierten Bewertungsansatz vorgesehenen Berücksichtigung



sichtigung der maximalen Querunebenheiten (s. Kapitel 5.2.3.3) wird die Ebenheitswirkung derartiger Flickstellen weitgehend berücksichtigt.

In eine Bewertung von Flickstellen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Substanz müssen alle Flickstellen

einbezogen werden, eine Unterscheidung ist hierfür nicht erforderlich. Für weitergehende Fragestellungen im Rahmen des Erhaltungsmanagements wäre es aber hilfreich, grabungsbedingte Flickstellen gesondert zu kennzeichnen. Diese Informationen können beispielsweise für die Erstellung eines



**Bild 110:** Normierungsfunktionen des Flächenanteils von Flickstellen für die bisherige Bewertung und für den modifizierten Bewertungsvorschlag

Aufgrabungskatasters oder die Quantifizierung eventueller Folgeschäden verwendet werden. Es wird daher vorgeschlagen, bei der Auswertung der Videobilder zu unterscheiden zwischen

- „(Reparatur-)Flickstellen“ und
- „Flickstellen infolge Grabung“.

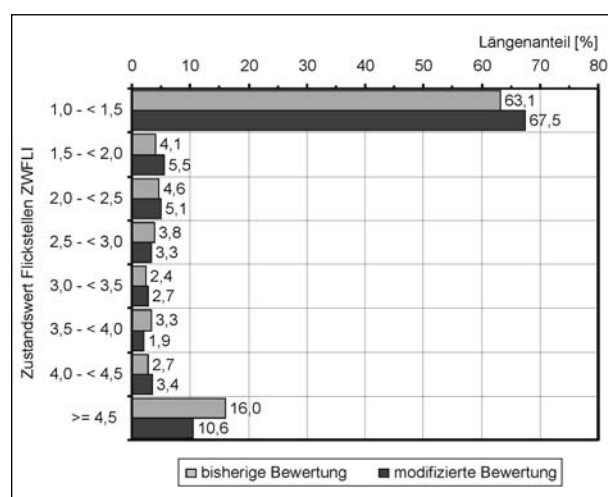
Für beide Erscheinungsformen wäre der von Flickstellen betroffene Flächenanteil zu ermitteln. Bei der Zustandsbewertung wird die Summe der betroffenen Flächenanteile des Auswertebereichs angesetzt.

Da, insbesondere aufgrund grabungsbedingter Flickstellen, die Summen der von Flickstellen betroffenen Flächenanteile bei den Innerortsstraßen nach dem Ergebnis der Status-quo-Analyse häufig relativ groß sind (s. Bild 28), wird vorgeschlagen, den

- Schwellenwert für Flickstellen (-Gesamt) mit 35 % betroffenem Flächenanteil anzusetzen.

Dieser Wert liegt zwischen den Schwellenwerten für die Funktionsklassen 2 und 3 bei den Außerortsstraßen (25 % bzw. 40 %, s. Tabelle 14). In Bild 110 ist die auf der Grundlage dieses Schwellenwerts vorgeschlagene lineare Normierungsfunktion im Vergleich zu der bei den bisherigen Bewertungen angenommenen Normierungsfunktion dargestellt (Schwellenwert 25 %, entsprechend Funktionsklasse 2 der Außerortsstraßen, s. Tabelle 15).

Bild 111 zeigt die Längenanteile der 0,5-Notenklassen für den Zustandwert ZWFLI nach der bisherigen und der modifizierten Normierung. Die Anteile



**Bild 111:** Vergleich der Längenanteile für den Zustandwert der Flickstellen ZWFLI nach der bisherigen und der modifizierten Bewertung

der bisherigen Bewertung entsprechen dabei für die Städte B und C nicht der tatsächlichen Anwendung. Anstelle der aufgebrachten Flickstellen (s. Tabelle 15) sind, wie für die restlichen Analysestädte, die Gesamtflächen der Flickstellen berücksichtigt. Es wird deutlich, dass bei der modifizierten Normierung der nach der herkömmlichen Bewertung sehr hohe Anteil ab dem Schwellenwert erheblich kleiner wird (tatsächliche Anwendung 7,2 %  $\geq$  4,5): Durch die Linearisierung beim neuen Vorschlag ergeben sich im Bereich unter 1,5 etwas höhere Anteile. Die Abweichungen in den restlichen Bereichen sind nicht gravierend.

Der Frage, ob die bei den bisherigen Anwendungen als bewertungsrelevant angenommenen Substanzmerkmale

- Risse und
- Flickstellen

ausreichend für die Beschreibung der Zustandsausprägungen von Innerortsstraßen sind, kann hier nicht mit empirischem Analysematerial nachgegangen werden. Wie schon in Bild 107 gezeigt, kommen bisher nachrichtlich erfasste Schäden, die den Merkmalen

- Abplatzungen, Ausbrüche, Schlaglöcher (AUS) bzw.
- Bindemittelanreicherungen (BIN)

zuzuordnen sind, so gut wie nicht vor, weil im Wesentlichen verkehrsreichere Straßen befahren wurden. Merkmale wie Ausmagerung oder Splittverlust wurden nur in Stadt D teilweise berücksichtigt.

Aufgrund der spezifischen Gegebenheiten bei Innerortsstraßen (z. B. Handeinbau auf kleinen Flächen, geringe Verkehrsbelastung in Wohnstraßen u. Ä.) erscheint ein Bewertungsverfahren, das diese Merkmale unberücksichtigt lässt, wenig realitätsbezogen, wenn nicht nur Hauptverkehrsstraßen betrachtet werden sollen. Allerdings zeigen die Erfahrungen aus visuellen Zustandserfassungen und aus Auswertungen von Videobildern, dass es häufig schwierig ist, zwischen diesen Merkmalen eindeutig zu unterscheiden; der Versuch einer eindeutigen Unterscheidung ist zudem zeit- und kostenaufwändig. Es wird daher vorgeschlagen, die o. g. Schäden zusätzlich zu den Rissen und Flickstellen mit ihren Flächenanteilen auszuwerten und unter der Rubrik

- „Sonstige (Oberflächen-)Schäden“

zusammenzufassen. Unter diesem Sammelmerkmal werden alle Schäden außer Risse und Flickstellen registriert. Diese Schäden müssen in einem bisher im Entwurf vorliegenden Schadenskatalog beschrieben und dokumentiert werden.

Für die Normierung der „Sonstigen Schäden“ (Zustandswert ZWOBS) wird die in Bild 110 dargestellte lineare Funktion der Flickstellen vorgeschlagen (Schwellenwert 35 % betroffener Flächenanteil).

### 5.2.6 Teilzielwerte

Die Normierung der mit unterschiedlichen Dimensionen ermittelten Zustandsgrößen/-indikatoren und ihre Transformation in Zustandswerte sind die Voraussetzung für die Berechnung von Teilzielwerten. In den Teilzielwerten werden einzelne Zustandswerte zusammengefasst, die eine ähnliche Wirkung haben.

#### 5.2.6.1 Gebrauchswert TWGEB

Zum Gebrauchswert werden die Zustandswerte verknüpft, die Auswirkungen auf die Befahrbarkeit (im Sinne von Fahrkomfort) und die Verkehrssicherheit haben (vgl. Kapitel 3.2.2). Dies sind die Zustandswerte der

- Längsebenheit ZWLWI (Kapitel 5.2.2),
- Querebenheit ZWQEB (Kapitel 5.2.3),
- Wassertiefe ZWWAS (Kapitel 5.2.3),
- Griffigkeit ZWGRI (Kapitel 5.2.4).

Auf die Befahrbarkeit wirken sich dabei vor allem die Längs- und die Querebenheit ZWLWI und ZWQEB, auf die Verkehrssicherheit hauptsächlich die Querebenheit ZWQEB, der Wasserrückhalt ZWWAS und die Griffigkeit ZWGRI aus. Substanzmerkmale wie Ausbrüche, Abplatzungen oder („aufgebrachte“) Flickstellen können sich ebenfalls auf die Fahrbahnebenheit und damit auf die Befahrbarkeit bzw. Verkehrssicherheit auswirken. Wie schon erläutert (Kapitel 5.2.5), werden diese Auswirkungen der genannten Schäden bei messtechnischen Zustandserfassungen nur berücksichtigt, wenn sie (zufällig) in der Messlinie der Längs- oder Querebenheitserfassung liegen.

Wie im Rahmen der Schwachstellenanalyse des derzeitigen Bewertungsverfahrens aufgezeigt, kommt bei den Gebrauchswerten im kritischen Zustandsbereich ab dem Warnwert von 3,5 fast aus-

schließlich die Durchschlagsregel zur Anwendung (s. Kapitel 4.3). Das bedeutet, dass in diesem Bereich i. A. ein einziger Zustandswert der im Gebrauchswert verknüpften Merkmale maßgebend ist, beim bisherigen Verfahren meist der Zustandswert der Längsebenheit ZWPGR (s. Tabelle 21). Ein derartiger Durchschlag erscheint insbesondere im Hinblick auf die Gebrauchswertkomponente der Verkehrssicherheit sinnvoll, da die Verkehrssicherheit bereits als beeinträchtigt anzusehen ist, wenn nur ein diesbezüglich relevanter Zustandswert im kritischen Bereich liegt. Aus diesem Grund und aufgrund der gezeigten Dominanz der Durchschlagsregel wird vorgeschlagen, die Komponente TWSIC, die beim Gebrauchswert TWGEB für die Verkehrssicherheit steht, wie folgt zu ermitteln:

$$TWSIC = \text{Max} (ZWQEB, ZWWAS, ZWGRI).$$

Bei diesem Vorschlag kommt die Durchschlagsregel für die sicherheitsrelevanten Zustandswerte stets zu Anwendung, eine rechnerische Verknüpfungsfunktion ist nicht erforderlich. Da die Griffigkeit derzeit meist nicht erfasst wird, vereinfacht sich der Klammerausdruck für TWSIC auf die beiden Terme ZWQEB und ZWWAS.

Bei der zweiten Komponente des Gebrauchswerts TWGEB, der aus dem Zustandswert der Längsebenheit ZWLWI und dem Zustandswert der Querebenheit zusammengesetzten Befahrbarkeit TWBEF gebildet wird, erscheint eine Verknüpfung auf der Basis der Durchschlagsregel prinzipiell ebenfalls sinnvoll. Im Vergleich zur Verkehrssicherheit ist jedoch eine additive Wirkung der beiden Ebenheitsmerkmale bei der Befahrbarkeit sicherlich in stärkerem Maße gegeben. Um den verstärkenden Effekten von gemeinsam vorhandenen Längs- und Querebenen Rechnung zu tragen, wird für die Komponente der Befahrbarkeit TWBEF die nachfolgende kombinierte Durchschlags- und Additionsverknüpfung vorgeschlagen:

$$TWBEF = \text{Min} (5; \text{Max} (ZWLWI, ZWQEB) + (\text{Min} (ZWLWI, ZWQEB) - 1)/5)$$

Für den Gebrauchswert TWGEB wird der schlechtere Wert aus den Komponenten Verkehrssicherheit TWSIC und Befahrbarkeit TWBEF angesetzt:

$$\begin{aligned} TWGEB &= \text{Max} (TWSIC, TWBEF) \\ &= \text{Max} (\text{Max} (ZWQEB, ZWWAS, ZWGRI); \\ &\quad \text{Min} (5; \text{Max} (ZWLWI, ZWQEB) + (\text{Min} (ZWLWI, ZWQEB) - 1)/5)) \end{aligned}$$

Die Bildung des Gebrauchswerts wird damit gegenüber dem bisherigen Verfahren (s. Kapitel 3.2.2) erheblich einfacher. Der geschlossene Ausdruck für die bisherige Verknüpfung zum Gebrauchswert lautet zum Vergleich:

$$\begin{aligned} \text{TWGEB} = & \text{Wenn (Max (ZWPGR, ZWSPT, ZWSPH, ZWGRI)} \geq 3,5; \text{Max (Max (ZWPGR, ZWSPT, ZWSPH, ZWGRI);} \\ & 1 + \text{LN}(1 + 0,0028 \cdot ((\text{Max (ZWPGR; ZWSPT)} - 1) \cdot 25/4 + (\text{ZWSPH} - 1) \cdot 25/4 + (\text{ZWGRI} - 1) \cdot 50/4)^{2,14}); \\ & 1 + \text{LN}(1 + 0,0028 \cdot ((\text{Max (ZWPGR; ZWSPT)} - 1) \cdot 25/4 + (\text{ZWSPH} - 1) \cdot 25/4 + (\text{ZWGRI} - 1) \cdot 50/4)^{2,14})) \end{aligned}$$

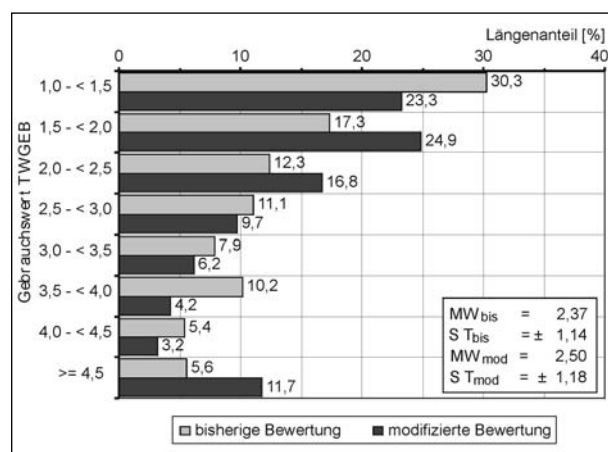
Die ersten 4 Zeilen dieser Beziehung decken dabei die Durchschlagsregel ab.

Eine empirische Überprüfung des Gebrauchswerts TWGEB auf der Basis der vorgeschlagenen Verknüpfung ist nur für Stadt B möglich, da der Längslebenheitswirkindex LWI nur für diese Analysestadt nachträglich ermittelt wurde. Da zudem die Griffigkeit nicht erfasst wurde, gilt bei den nachfolgenden Auswertungen für den Gebrauchswert

$$\text{TWGEB} = \text{Max (Max (ZWQEB, ZWWAS); \text{Min (5; Max (ZWLWI, ZWQEB) + (\text{Min (ZWLWI, ZWQEB)} - 1)/5)}$$

Die aufgrund der Beschränkung auf eine Stadt nur einschränkt repräsentativen Ergebnisse für den Gebrauchswert TWGEB sind dargestellt in Form der Längenanteile von 0,5-Notenklassen in

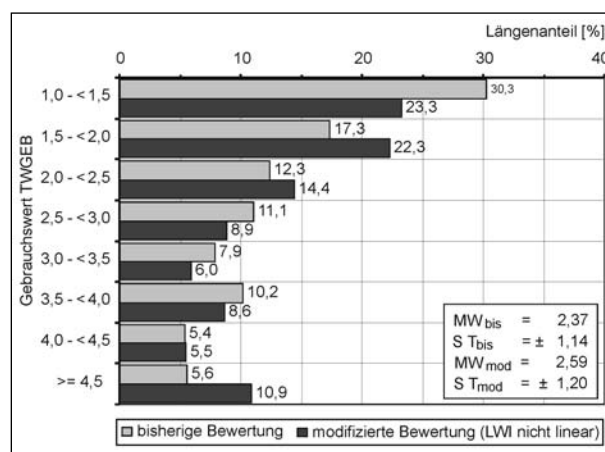
- Bild 112 unter Ansatz des linear normierten ZWLWI (s. Bild 93),



**Bild 112:** Vergleich der Längenanteile für den Gebrauchswert TWGEB nach der bisherigen Bewertung und der modifizierten Bewertung mit linearer Normierung des LWI

- Bild 113 bei Anwendung der nicht linearen Normierung für den ZWLWI.

Zum Vergleich sind jeweils die Längenanteile nach der bisherigen Bewertung mit der o. a. Beziehung dargestellt (Stadt B, keine Anwendung der Durchschlagsregel, s. Tabelle 16). Es wird ersichtlich, dass, bei beiden modifizierten Bewertungsvarianten, gegenüber dem herkömmlichen Verfahren die Anteile unter 1,5 deutlich geringer werden und die Anteile ab dem Schwellenwert von 4,5 erheblich ansteigen (von 5,6 % auf 11,7 % bzw. 10,9 %). Die größten Häufigkeiten treten nicht mehr, wie bisher mit ca. 30 %, im sehr guten, neuwertigen Bereich unter 1,5 sondern mit ca. 25 % bzw. 22 % im Zustandsbereich von 1,5 bis < 2,0 auf (= leichte Schäden/Mängel). Da Innerortsstraßen aufgrund unterschiedlicher Einflüsse (z. B. Handfertigung von Teilflächen, Einbauten, Anschluss-/Arbeitsnähte) bereits nach dem Neubau bzw. einer Erhaltungsmaßnahme vielfach kleine Mängel im Hinblick auf die Längs- und/oder Querunebenheit aufweisen, erscheint dieses Bewertungsergebnis bezüglich des Gebrauchswerts nicht unrealistisch. Unterschiede in den Verteilungen zwischen den modifizierten Varianten mit linearer (Bild 112) bzw. nicht linearer Normierung des LWI treten vor allem im Bereich von 3,5 bis < 4,0 auf (bisheriges Verfahren 10,2 %, linear 4,2 %, nicht linear 8,6 %). Durch diese Verschiebungen in den Verteilungen ergeben sich Veränderungen der Mittelwerte des Gebrauchswerts TWGEB, die allerdings zu keiner grundlegend anderen Einstufung des betrachteten Straßennetzes führen. Gegenüber dem bisherigen Mittelwert von 2,37 steigt der Mittelwert bei linea-



**Bild 113:** Vergleich der Längenanteile für den Gebrauchswert TWGEB nach der bisherigen Bewertung und der modifizierten Bewertung mit nicht linearer Normierung des LWI

rer Normierung auf 2,50, bei nicht linearer Normierung auf 2,59 an. Dabei ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Bildung von Mittelwerten bei nicht linearen Normierungsfunktionen, die sowohl beim bisherigen Bewertungsverfahren wie auch bei der entsprechenden modifizierten Variante für den LWI zur Anwendung kommen, äußerst problematisch und stets besonders zu beachten ist. Bei einer nicht linearen Normierung wird den durch die Zustandswerte gekennzeichneten Qualitätsstufen eine unterschiedliche Menge an Einheiten der betreffenden Zustandsgrößen/-indikatoren zugeordnet; i. d. R. wird bei einer relativ geringen Menge von Einheiten eine Verschlechterung von 2 Notenstufen (von 1,5 auf 3,5), bei einer vergleichsweise großen Menge an Einheiten dagegen nur eine Verschlechterung von einer Notenstufe (von 3,5 auf 4,5) angenommen. Damit werden die auf Basis definierter Einheiten objektiv ermittelten Zustandsgrößen/-indikatoren verzerrt. Aufgrund der insgesamt nur geringen Abweichungen in den Verteilungen der beiden modifizierten Bewertungsvarianten

ZWPGR (alt) ZWLWI (neu)	ZWSPT (alt) ZWQEB (neu)	ZWSPH (alt) ZWWAS (neu)	TWGEB (alt)	TWGEB (neu)
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,50	1,00	1,00	1,13	1,50
2,00	1,00	1,00	1,48	2,00
2,50	1,00	1,00	1,90	2,50
3,00	1,00	1,00	2,32	3,00
3,50	1,00	1,00	2,69	3,50
4,00	1,00	1,00	3,02	4,00
4,50	1,00	1,00	3,31	4,50
5,00	1,00	1,00	3,57	5,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,50	1,50	1,00	1,13	1,60
2,00	2,00	1,00	1,48	2,20
2,50	2,50	1,00	1,90	2,80
3,00	3,00	1,00	2,32	3,40
3,50	3,50	1,00	2,69	4,00
4,00	4,00	1,00	3,02	4,60
4,50	4,50	1,00	3,31	5,00
5,00	5,00	1,00	3,57	5,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,50	1,50	1,50	1,48	1,60
2,00	2,00	2,00	2,32	2,20
2,50	2,50	2,50	3,02	2,80
3,00	3,00	3,00	3,57	3,40
3,50	3,50	3,50	4,02	4,00
4,00	4,00	4,00	4,39	4,60
4,50	4,50	4,50	4,71	5,00
5,00	5,00	5,00	4,99	5,00

**Tab. 28:** Exemplarische abschnittsbezogene Gebrauchswerte TWGEB auf Basis der bisherigen Bewertung ohne Durchschlag (alt) und der modifizierten Bewertung (neu)

(Bilder 112 und 113) wird daher vorgeschlagen, grundsätzlich die linearen Normierungsfunktionen zu bevorzugen. Bei der Bildung des Gebrauchswerts TWGEB wird dementsprechend die Variante 1 der Modifizierung auf der Grundlage des linear transformierten LWI vorgeschlagen.

Tabelle 28 zeigt ergänzend einen exemplarischen abschnittsbezogenen Vergleich der Gebrauchswerte TWGEB der bisherigen und der modifizierten Verknüpfung, basierend jeweils auf den verfügbaren Zustandswerten (d. h. ohne Griffigkeit). Es wird z. B. ersichtlich, dass TWGEB bei der bisherigen Verknüpfung den Warnwert von 3,5 nicht erreicht, obwohl zwei Einzelwerte bei 4,5 liegen; diese Unterschätzung führte zur zusätzlichen Einführung der Durchschlagsregel. Bei der modifizierten Verknüpfung ergibt sich für dieses Beispiel ein Gebrauchswert von TWGEB = 5,0: Insgesamt zeigt Tabelle 28, dass durch die vorgeschlagene modifizierte Verknüpfung keine Nivellierungen der o. a. Art auftreten, die komplizierte und schwer nachvollziehbare Sonderregelungen erfordern. Insgesamt erscheint der gegenüber dem bisherigen Verfahren wesentlich vereinfachte Vorschlag für die Verknüpfung zu Gebrauchswert für die in Tabelle 28 exemplarisch dargestellten Abschnitte äußerst plausibel.

### 5.2.6.2 Substanzwert-Oberfläche TWSUB

Für eine zutreffende Ermittlung des Substanzwerts von Straßen müssen Informationen zur Beschaffenheit der Substanz verfügbar sein. Die Beschaffenheit der Substanz wird durch den Aufbau der Befestigung, d. h. die Art, die Dicke und das Einbaujahr der gebundenen Schichten, beschrieben. Auf der Grundlage der Schichtenfolge des Befestigungsaufbaus kann, unter Berücksichtigung vorhandener, an der Straßenoberfläche sichtbarer Schäden und Mängel, eine Substanzbewertung erfolgen (vgl. z. B. FGSV 2003c).

Die Aufbaudaten der Straßen sind, derzeit und in absehbarer Zukunft, in Kommunen nicht verfügbar. Aus diesem Grund muss versucht werden, aus den Ergebnissen von Zustandserfassungen, d. h. aus Schäden und Mängeln, die an der Oberfläche erkennbar sind, Rückschlüsse auf den Zustand der Straßensubstanz zu ziehen. Dazu soll der Substanzwert-Oberfläche TWSUB dienen.

Als Indikatoren für die Beschaffenheit der Substanz werden angesehen die

- Längs- und Querebenheit, repräsentiert durch die Zustandswerte ZWLWI und ZWQEB, sowie
- Risse, Flickstellen und andere Oberflächenschäden, repräsentiert durch die Zustandswerte ZWRIS, ZWFLI und ZWOBS.

Derzeit werden bei der Ermittlung von TWSUB neben den Ebenheitsmerkmalen die Risse und die Flickstellen berücksichtigt (in unterschiedlicher Ausprägung und teilweise mit bzw. ohne Durchschlag, s. Tabelle 15). Wie bereits in Kapitel 5.2.5 erwähnt, werden damit die für eine Beurteilung der Substanz von Innerortsstraßen relevanten Schäden nicht vollständig berücksichtigt; es fehlen Schadensmerkmale wie Ausbrüche, Bindemittelanreicherungen, Splittverlust oder Ausmagerungen. Da der Substanzwert-Oberfläche TWSUB Hinweise zu einer potenziellen Gefährdung der vorhandenen Substanz unter Einwirkung von Witterung und Verkehr geben soll, erscheinen diese Merkmale durchaus bedeutsam. Ein Fahrbahnabschnitt, der neben Rissen und Flickstellen auch Ausbrüche aufweist, zeigt zusätzlich zu Flächenanteilen, die einen Wassereintritt ermöglichen, und zusätzlich zu Flächenanteilen, die den Zusammenhang der Befestigung beeinträchtigen, bereits Bereiche, die aufgrund von erfolgten Substanzverlusten das Stadium einer nur potenziellen Substanzgefährdung schon überschritten haben. Dies gilt prinzipiell auch für Splittverlust. Bindemittelanreicherungen oder Ausmagerungen können, ähnlich wie Risse und Flickstellen, als potenzielle Gefahrenstellen interpretiert werden. Anders als bei der Sicherheitskomponente des Gebrauchswerts ist die Wirkung der genannten Substanzmerkmale verstärkt additiv, da die Hinweise auf eine potenzielle oder bereits akute Substanzgefährdung umso stärker sind, je mehr Teilflächen von den Schäden betroffen sind. Für die Verknüpfung zum Substanzwert-Oberfläche TWSUB erscheint somit eine additive Beziehung geeignet, die ausgeprägte Einzelschäden nicht zu stark nivelliert. Dies ist durch die folgende Beziehung gewährleistet:

$$\text{TWSUB} = \text{Min} (5; (\text{ZWRIS}/4 + \text{ZWFLI}/4 + \text{ZWOBS}/4 + \text{Max} (\text{ZWLWI}, \text{ZWQEB})/4)/2 + \text{Max} (\text{ZWRIS}, \text{ZWFLI}, \text{ZWOBS}, \text{ZWLWI}, \text{ZWQEB})/2)$$

Im ersten Teil dieser Beziehung werden die substanzrelevanten Schäden kumuliert und mit dem maßgeblichen (schlechteren) Wert der Längs-/Querebenheit verknüpft. Durch die Normierung ist dabei gewährleistet, dass sich, bei gleichen Scha-

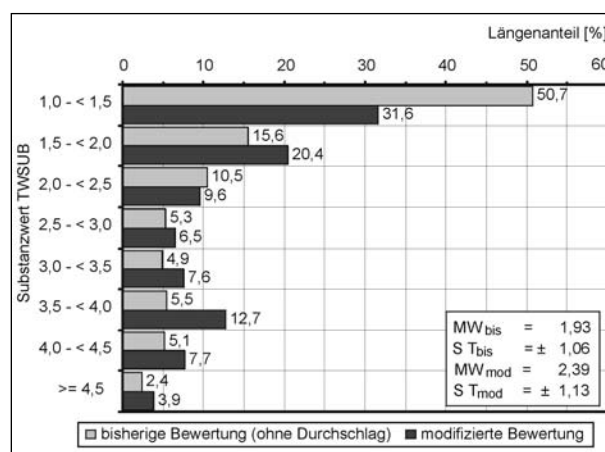
denflächen, die Risse wesentlich stärker auf den Substanzwert auswirken als die Flickstellen und die sonstigen Oberflächenschäden. Mit dem zweiten „Durchschlagsteil“ der Beziehung wird eine zu ausgeprägte Nivellierung vermieden. Durch die additive Verknüpfung der beiden Teile der Beziehung für TWSUB wird verhindert, dass ein einzelner Zustandswert, z. B. der Zustandswert für Flickstellen ZWFLI, den Substanzwert dominiert.

Für den empirischen Test der Verknüpfungsfunktion für TWSUB kann derzeit nicht auf einen Zustandswert ZWOBS für sonstige Oberflächenschäden zurückgegriffen werden (s. dazu Kapitel 5.2.5). Für diesen Test und für den Fall, dass die Informationen zu den sonstigen Oberflächenschäden auch künftig nicht verfügbar sind, wird die Verknüpfungsbeziehung für TWSUB wie folgt modifiziert:

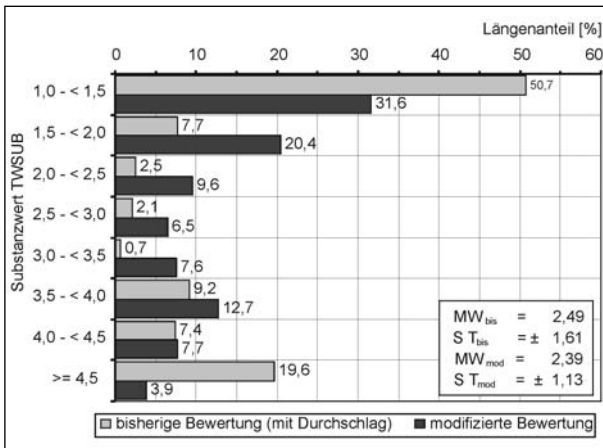
$$\text{TWSUB} = \text{Min} (5; (\text{ZWRIS}/3 + \text{ZWFLI}/3 + \text{Max} (\text{ZWLWI}, \text{ZWQEB})/3)/2 + \text{Max} (\text{ZWRIS}, \text{ZWFLI}, \text{ZWLWI}, \text{ZWQEB})/2)$$

Da der für die Berechnung von TWSUB benötigte Längsebenheitswirkindex LWI in einer Auftragserweiterung nicht, wie beantragt, für 3 Städte, sondern nur für eine Stadt (B) nachträglich ermittelt wurde, ist die Repräsentativität der in den Bildern 114 und 115 dargestellten Auswertergebnisse stark eingeschränkt. Hier sind für Stadt B die Längsanteile für 0,5-Notenklassen des nach der o. a. Beziehung ermittelten modifizierten Substanzwerts TWSUB veranschaulicht, und zwar im Vergleich zum Substanzwert nach der bisher Verfahrensweise

- ohne Durchschlagsregel in Bild 114 (= tatsächliche Anwendung in Stadt B, vgl. Tabelle 15),



**Bild 114:** Vergleich der Längensanteile für den Substanzwert TWSUB nach der bisherigen Bewertung ohne Durchschlagsregel und der modifizierten Bewertung



**Bild 115:** Vergleich der Längenanteile für den Substanzwert TWSUB nach der bisherigen Bewertung mit Durchschlagsregel und der modifizierten Bewertung

- mit Durchschlagsregel in Bild 115.

Die im bisherigen Verfahren verwendete Verknüpfungsfunktion für den Substanzwert lautet dabei wie folgt:

$$TWSUB = \text{Wenn} (\text{Max} (ZWPGR, ZWSPT, ZWNRI, ZWFLI) > = 3,5; \text{Max} (\text{Max} (ZWPGR, ZWSPT, ZWNRI, ZWFLI); 1 + \text{LN}(1 + 0,0028 \cdot ((\text{Max} (ZWPGR; ZWSPT) - 1) \cdot 25/4 + (\text{ZWNRI} - 1) \cdot 50/4 + (\text{ZWFLI} - 1) \cdot 25/4)^{2,14}); 1 + \text{LN}(1 + 0,0028 \cdot ((\text{Max} (ZWPGR; ZWSPT) - 1) \cdot 25/4 + (\text{ZWNRI} - 1) \cdot 50/4 + (\text{ZWFLI} - 1) \cdot 25/4)^{2,14}))$$

Die Zeilen 1 bis 4 beschreiben die Durchschlagsregel, die restlichen beiden Zeilen die numerische Verknüpfung.

Bilder 113 und 114 zeigen, dass die modifizierte Verknüpfung für TWSUB deutlich plausibler ist als das bisherige Verfahren ohne und mit Anwendung der Durchschlagsregel:

- Der Anteil unter einem TWSUB von 1,5 liegt beim bisherigen Verfahren über 50 %, weil Unebenheiten und Schäden, die in geringem Umfang vorhanden sind, bei der Verknüpfung so stark nivelliert werden, dass sie im Substanzwert praktisch nicht mehr erscheinen. Bei der modifizierten Verknüpfung ergibt sich mit ca. 32 % ein wesentlich realistischerer Anteil für TWSUB < 1,5.
- Die Anteile ab dem Schwellenwert von 4,5 liegen beim herkömmlichen Verfahren ohne Durchschlag bei 2,4 %, mit Anwendung der

ZWPGR (alt)	ZWSPT (alt)	ZWNRI (alt)	ZWFLI (alt)	TWSUB (alt)	TWSUB (neu)
ZWLWI (neu)	ZWQEB (neu)	ZWRIS (neu)	ZWFLI (neu)		
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,50	1,50	1,00	1,00	1,03	1,33
2,00	2,00	1,00	1,00	1,13	1,67
2,50	2,50	1,00	1,00	1,29	2,00
3,00	3,00	1,00	1,00	1,48	2,33
3,50	3,50	1,00	1,00	1,69	2,67
4,00	4,00	1,00	1,00	1,90	3,00
4,50	4,50	1,00	1,00	2,11	3,33
5,00	5,00	1,00	1,00	2,32	3,67
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,50	1,50	1,50	1,00	1,29	1,42
2,00	2,00	2,00	1,00	1,90	1,83
2,50	2,50	2,50	1,00	2,51	2,25
3,00	3,00	3,00	1,00	3,02	2,67
3,50	3,50	3,50	1,00	3,44	3,08
4,00	4,00	4,00	1,00	3,80	3,50
4,50	4,50	4,50	1,00	4,12	3,92
5,00	5,00	5,00	1,00	4,39	4,33
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,50	1,50	1,00	1,50	1,13	1,42
2,00	2,00	1,00	2,00	1,48	1,83
2,50	2,50	1,00	2,50	1,90	2,25
3,00	3,00	1,00	3,00	2,32	2,67
3,50	3,50	1,00	3,50	2,69	3,08
4,00	4,00	1,00	4,00	3,02	3,50
4,50	4,50	1,00	4,50	3,31	3,92
5,00	5,00	1,00	5,00	3,57	4,33
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,50	1,00	1,13	1,33
1,00	1,00	2,00	1,00	1,48	1,67
1,00	1,00	2,50	1,00	1,90	2,00
1,00	1,00	3,00	1,00	2,32	2,33
1,00	1,00	3,50	1,00	2,69	2,67
1,00	1,00	4,00	1,00	3,02	3,00
1,00	1,00	4,50	1,00	3,31	3,33
1,00	1,00	5,00	1,00	3,57	3,67
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,50	1,03	1,33
1,00	1,00	1,00	2,00	1,13	1,67
1,00	1,00	1,00	2,50	1,29	2,00
1,00	1,00	1,00	3,00	1,48	2,33
1,00	1,00	1,00	3,50	1,69	2,67
1,00	1,00	1,00	4,00	1,90	3,00
1,00	1,00	1,00	4,50	2,11	3,33
1,00	1,00	1,00	5,00	2,32	3,67

**Tab. 29:** Exemplarische abschnittsbezogene Substanzwerte TWSUB auf Basis der bisherigen Bewertung ohne Durchschlag (alt) und der modifizierten Bewertung (neu)

Durchschlagsregel bei 19,6 %. Der modifizierte Vorschlag vermeidet die bei der Durchschlagsregel auftretende und in keiner Weise gerechtfertigte Überbewertung einzelner Schäden (z. B. von Flickstellen, s. Kapitel 4.3). Der Anteil ab einem TWSUB ≥ 4,5 liegt knapp unter 4 %.

- Der Anteil mit schlechten Substanzwerten TWSUB zwischen dem Warn- und Schwellenwert liegt bei der modifizierten Verknüpfung bei ca. 20 % und ist damit doppelt so groß wie der entsprechende Anteil der bisherigen Verknüpfung ohne Durchschlag (10,6 %) und etwas größer als der Anteil der bisherigen Verknüpfung mit Durchschlag (16,6 %). Eine zu starke Nivellierung mit einer den Erfahrungen widersprechenden Verbesserung der Substanzbewertung wird somit beim modifizierten Verfahren vermieden.
- Beim bisherigen Verfahren mit Anwendung der Durchschlagsregel ist, infolge dieses Durchschlags einzelner Zustandswerte, häufig eine starke Unterbelegung von Zustandsklassen zu beobachten; in Bild 115 zeigt sich dieser Effekt für die Klassen zwischen einem TWSUB von 2,0 und 3,5. Dieses „Ausleeren“ von Zustandsbereichen wird bei der modifizierten Verknüpfung vermieden.
- Bild 122 zeigt die Ergebnisse der Verknüpfung zum Substanzwert TWSUB nach dem bisherigen Verfahren (ohne Durchschlag) und nach dem modifizierten Verfahren für exemplarische Einzelabschnitte. Es wird deutlich, dass beim modifizierten Verfahren insbesondere die starken Nivellierungstendenzen der herkömmlichen Verknüpfung weitestgehend aufgehoben werden.

Die aufgezeigte modifizierte Verknüpfungsfunktion für TWSUB ist wesentlich einfacher und kommt ohne komplizierte und fehlerträchtige Sondervereinbarungen aus (z. B. „Durchschlag für Merkmal Risse, kein Durchschlag für Merkmal Flickstellen“). Sie wird deshalb für die Anwendung vorgeschlagen.

### 5.2.6.3 Teilzielwert Umwelt/Dritte TWUMD

Schäden und Mängeln an den Fahrbahnen von Innerortsstraßen werden vielfach Auswirkungen zugeschrieben, die nicht nur die Fahrbahn selbst, sondern auch die unmittelbare Umgebung betreffen. Wie vorliegende Erfahrungswerte zeigen, kommen Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsmaßnahmen teilweise erst dann zur Ausführung, wenn z. B. Anwohnerbeschwerden über Lärmemissionen, Gebäudeerschütterungen oder Spritzwasserbelästigungen vorliegen. In historisch bedeutsamen Stadtbereichen spielt eventuell auch der optisch-ästhetische Eindruck der Fahrbahnoberfläche eine Rolle, der beispielsweise durch Flickstellen beein-

trächtigt sein kann. Bei den ersten Arbeiten zur Entwicklung eines Bewertungsverfahrens für die visuelle Zustandserfassung (SCHMUCK, MAERSCHALK 1985) wurde daher bereits vorgeschlagen, neben dem Gebrauchswert und dem Substanzwert einen Teilzielwert „Umwelt/Dritte“ TWUMD zu bilden. Dabei waren folgende Verfahrensschritte vorgesehen:

- Ermittlung eines Teilzielwerts für den „optisch-ästhetischen Eindruck“ durch Verknüpfung der Zustandswerte für Netzkrisse (bzw. zertrümmerte Platten/Pflastersteine), Ausbrüche (bzw. fehlende Platten/Pflastersteine), Flickstellen, Wasserrückhalt und Schäden/Mängeln an den Randeinfassungen.
- Ermittlung eines Teilzielwertes für „Lärmbelästigung“ aus dem Zustandswert der Allgemeinen Unebenheiten unter Berücksichtigung der Art des jeweiligen Fahrbahnbelags.
- Verknüpfung der Komponenten „optisch-ästhetischer Eindruck“ und „Lärmbelästigung“ sowie eines Zustandswerts für „Spritzbelästigung“ zu einem Teilzielwert „Umwelt/Dritte“ TWUMD.

Die Sinnhaftigkeit eines Teilzielwertes „Umwelt/Dritte“ wurde seinerzeit an zwei wesentliche Bedingungen geknüpft (SCHMUCK, MAERSCHALK 1985):

- Die berücksichtigten Zustandsgrößen/-indikatoren müssen im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die Umwelt bzw. die Anwohner bewertet und normiert werden. Eine Normierung der Längsebenheit im Hinblick auf die Befahrbarkeit oder von Flickstellen im Hinblick auf den Substanzerhalt muss nicht notwendigerweise einer Normierung dieser Zustandsmerkmale im Hinblick auf Lärmemissionen oder im Hinblick auf das optische Erscheinungsbild entsprechen.
- Ein Teilzielwert TWUMD beschreibt keine Wirkungen für die Nutzer der Straße oder den Betreiber der Straße, sondern Wirkungen für Anwohner und Dritte (z. B. Touristen), d. h. für das Umfeld der Straße. Daher müssen auch die Gegebenheiten des Straßenumfelds bekannt sein und operationalisiert werden können.

Beide Bedingungen sind derzeit nicht erfüllt:

- Es liegen keinerlei Erkenntnisse zur Bewertung von Zustandsgrößen/-indikatoren im Hinblick auf ihre Wirkungen auf Umwelt bzw. Anwohner vor. Allein die Ermittlung von verwertbaren Zu-



sammenhängen zwischen dem Straßenzustand (z. B. Ebenheit) und Lärmemissionen ist, wenn überhaupt, nur im Rahmen eines eigenständigen Forschungsprojekts möglich.

- Noch weniger als Informationen zur Straße selbst (z. B. Befestigungsaufbau) sind in den Kommunen derzeit operationalisierbare Angaben zum Umfeld verfügbar, wie z. B.:
  - Art der an die Straße angrenzenden Bebauung (anbaufrei, Wohnbebauung; Geschäfte, Industrie),
  - Dichte der angrenzenden Bebauung (Geschoßflächenzahl),
  - Lage der Verkehrsflächen zueinander und Nutzung der Flächen (z. B. Dauerbeparkung des rechten Fahrstreifens, dadurch keine Spritzbelästigung für Passanten),

(siehe dazu im Detail SCHMUCK, MAERSCHALK 1985). Die Frage dabei ist auch, ob sich die Ermittlung bzw. Umsetzung derartiger Angaben lohnt, wenn sie nur im Zusammenhang mit einem Teilzielwert Umwelt/Dritte Verwendung finden.

Aufgrund dieser fehlenden Voraussetzungen wird derzeit darauf verzichtet, ein Verfahren für die Bildung eines Teilzielwerts „Umwelt/Dritte“ TWUMD zu entwickeln. Der für die Ortsdurchfahrten unterbreitete Vorschlag (HELLER, KÖHLER, SCHNIE-RING 2003), die im Hinblick auf die Befahrbarkeit, die Verkehrssicherheit und den Substanzerhalt normierten Zustandswerte anzusetzen und in veränderter Abfolge mit neuen Gewichtungen zu einem Teilzielwert „Umwelt/Dritte“ TWUMD zu verknüpfen, wird nicht übernommen. Bei einer unveränderten Normierung kann davon ausgegangen werden, dass der Bereich „Umwelt/Dritte“ durch die bereits berücksichtigten Zielkriterien „Befahrbarkeit/Sicherheit“ und „Substanzerhalt“ abgedeckt ist. Jede Erhaltungsmaßnahme, die zur Verbesserung der Befahrbarkeit oder Sicherheit bzw. zur Konservierung der Substanz durchgeführt wird, verringert auch die zustandsbedingten Lärmemissionen oder das optische Erscheinungsbild der Fahrbahn. Kongruente Zielkriterien sollten in einem Bewertungsverfahren nicht berücksichtigt werden.

### 5.2.7 Gesamtwert

Die bisher für den hauptsächlich für Präsentationszwecke benötigten Gesamtwert vorgenommene logische Verknüpfung wird unverändert beibehalten:

$$\text{GES} = \text{Max} (\text{TWGEB}, \text{TWSUB})$$

## 5.3 Funktionsklassen für Innerortsstraßen

Bei den Funktionsklassen von Innerortsstraßen kann eine Differenzierung vorgenommen werden auf

- baulicher Ebene und auf
- verkehrlich-funktionaler Ebene.

Die in Kapitel 5.2 vorgeschlagenen Normierungsfunktionen gelten im Wesentlichen für Fahrbahnen mit Asphaltdecken. Nachfolgend wird zunächst auf zweckmäßige bauweisebedingte Modifikationen für Pflasterdecken eingegangen. Anschließend werden die Möglichkeiten einer Relativierung der Bewertungsansätze auf Basis der verfügbaren verkehrlichen bzw. funktionalen Faktoren analysiert.

### 5.3.1 Bewertung von Pflasterdecken

Pflasterdecken können mit Natursteinen oder mit Betonpflaster belegt sein. Nachfolgend wird vereinfachend davon ausgegangen, dass diese beiden Belagsarten einheitlich bewertet werden können. Die Ausgangssituation für eine Bewertung von Pflasterdecken stellt sich wie folgt dar:

- Die als Grundlage für die Bewertung der Längs- und Querebenheit ausgewerteten Zustandsgrößen/-indikatoren sind für Pflaster- und Asphaltdecken identisch.
- Die Substanzmerkmale von Pflaster- und Asphaltdecken sind, mit Ausnahme der Asphaltflickstellen, unterschiedlich und nicht direkt vergleichbar (s. u.).

Eine Abstimmung der Bewertungsfunktionen ist somit insbesondere für die Zustandsgrößen/-indikatoren der Längs-/Querebenheit erforderlich.

Die für Asphaltdecken vorgeschlagenen Normierungsfunktionen des zur Beschreibung der Längsebenheit herangezogenen Längsebenheitswirkindex LWI sind in Bild 91 alternativ in einer linearen und einer nicht linearen Variante ausgewiesen. Werden diese Funktionen für Pflasterdecken angewendet, ergeben sich die in Bild 116 (linear) bzw. Bild 117 (nicht linear) dargestellten Verteilungen (nur Stadt B). Wie bereits mehrfach angesprochen und aus den Bildern 116 und 117 eindeutig ersichtlich, liegen bei den Pflasterdecken weit höhere Anteile in den kritischen Zustandsbereichen ab dem Warn- bzw. Schwellenwert; die Mittelwerte für ZWLWI sind für Pflaster nahezu doppelt so groß

wie für Asphalt. Dieses Ergebnis ist nicht überraschend, da Pflasterdecken bekanntermaßen bereits aufgrund der Bauweise, d. h. auch unmittelbar nach der Herstellung, eine schlechtere Ebenheit aufweisen als Asphaltdecken.

Für die Zustandsbewertung ergeben sich aus diesem bauweisebedingten Unterschied in der Längsebenheit (und Querebenheit) folgende Optionen:

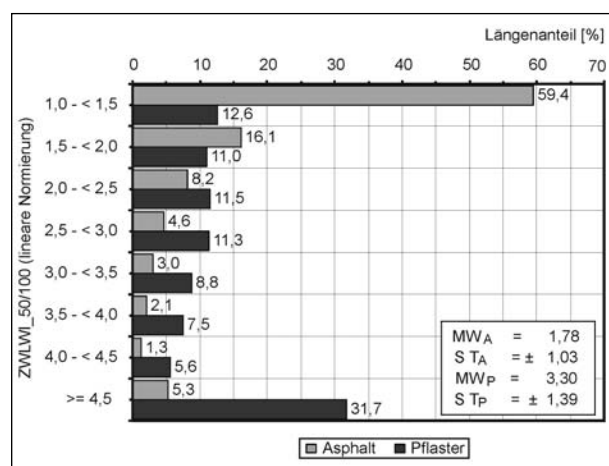
- Sollen auf der Grundlage der Zustandsbewertung eine Dringlichkeitsreihung und ein Erhaltungsprogramm ohne besondere Beachtung der Deckenart erstellt werden, kann eine einheitliche Normierung für Asphalt und Pflaster erfolgen, z. B. mit den in Bild 91 dargestellten Funktionen. Wie die Bilder 116 und 117 zeigen, werden dabei, auch wegen der Bauweise, Pflasterfahrbahnen tendenziell schlechter be-

wertet und in Bezug auf Erhaltungsmaßnahmen als dringlicher angesehen.

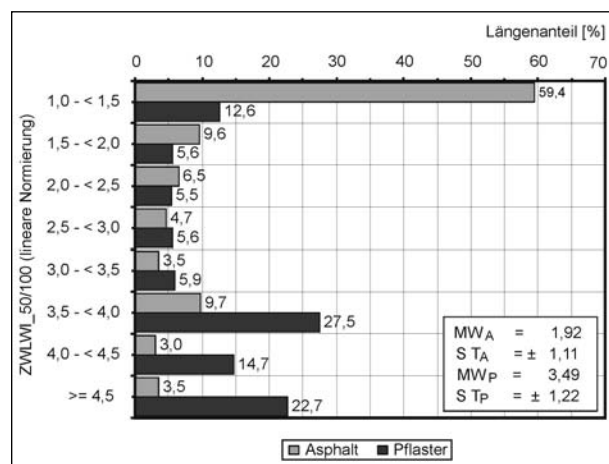
- Werden Pflasterdecken als gegeben und erwünschte Bauweise angesehen, muss der bauweisebedingte Unterschied bei der Bewertung so weit wie möglich neutralisiert werden.

Die erstgenannte Option führt in der letzten Konsequenz dazu, dass alle Pflasterdecken anlässlich der nächsten Erhaltungsmaßnahme durch Asphaltbauweisen zu ersetzen sind. Daher wird die zweite Option, die eine pflasterspezifische Normierung voraussetzt, als realistischer angesehen.

Aus dem verfügbaren Datenmaterial kann nachträglich nicht mehr eindeutig ermittelt werden, welche Asphaltabschnitte und insbesondere welche Pflasterabschnitte zum Zeitpunkt der Zustandserfassung als neuwertig anzusehen waren. Eine direkte Isolierung des bauweisebedingten Einflusses ist somit nicht möglich. Eine für Pflasterdecken geeignete Normierungsfunktion muss somit auf Basis aller verfügbaren Daten entwickelt werden. Wenn in Bezug auf den LWI die mittleren Zustandsgrößen zugrunde gelegt werden (Asphalt 3,9, Pflaster 13,3, s. Bilder 86 und 87), ergibt sich ein Faktor von ca. 3,4. Die Multiplikation dieses Faktors mit den Warn- und Schwellenwerten der Normierungsfunktionen für Asphalt führt bei den Pflasterdecken, im Vergleich zu den Asphaltdecken, zu deutlich geringeren Anteilen im kritischen Zustandsbereich. Für die Normierung des Längsebenheitswirkindex LWI werden daher die in Bild 118 dargestellten Funktionen vorgeschlagen (entsprechend einem Faktor zwischen 2,5 und 3); dabei wird die lineare Variante bevorzugt.



**Bild 116:** Längenanteile für den Zustandswert der Längsebenheit ZWLWI für Asphalt- und Pflasterdecken bei Anwendung der linearen Normierung für Asphalt



**Bild 117:** Längenanteile für den Zustandswert der Längsebenheit ZWLWI für Asphalt- und Pflasterdecken bei Anwendung der nicht linearen Normierung für Asphalt

Bild 119 (linear) und Bild 120 (nicht linear) zeigen, wiederum im Vergleich zu Asphalt, die Häufigkeiten der 0,5-Notenklassen für den Zustandswert ZWLWI. Die Anteile der Pflasterdecken im kritischen Zustandsbereich ab dem Warnwert passen sich nunmehr gut an die entsprechenden Anteile für Asphalt an; bei der nicht linearen Normierung ergibt sich allerdings im Bereich von 3,5 bis 4,0 eine signifikant größere (zufallsbedingte) Häufung. Die sehr hohen Anteile der Asphaltdecken im Bereich bis 1,5 verteilen sich für Pflasterdecken auf die angrenzenden Bereiche bis 2,5. Diese Verschiebungen erscheinen aufgrund der Unterschiede in der Bauweise durchaus plausibel.

Beim Zustandswert für die Querebenheit ZWQEB und dem auf der Grundlage der Querebenheit und

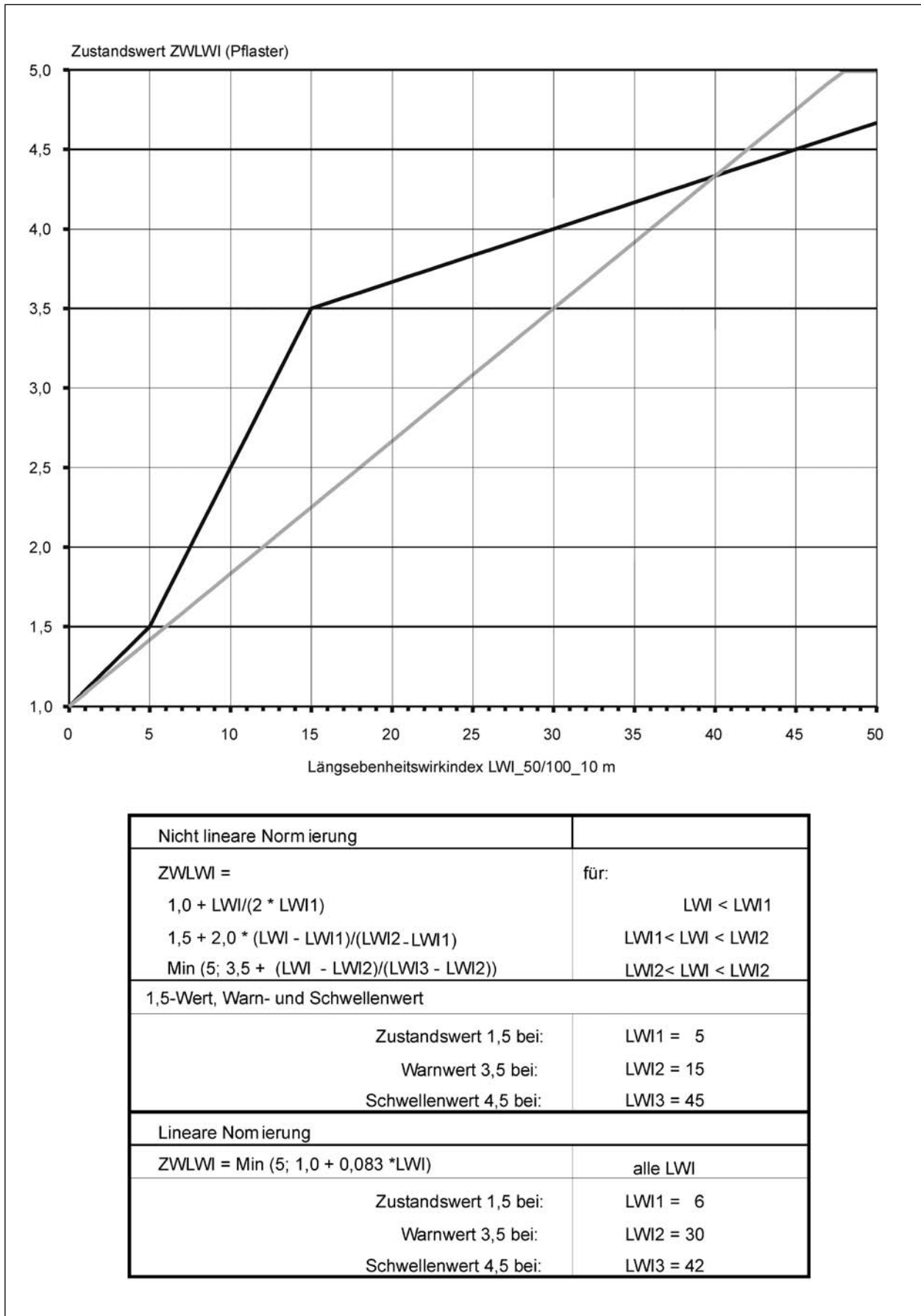
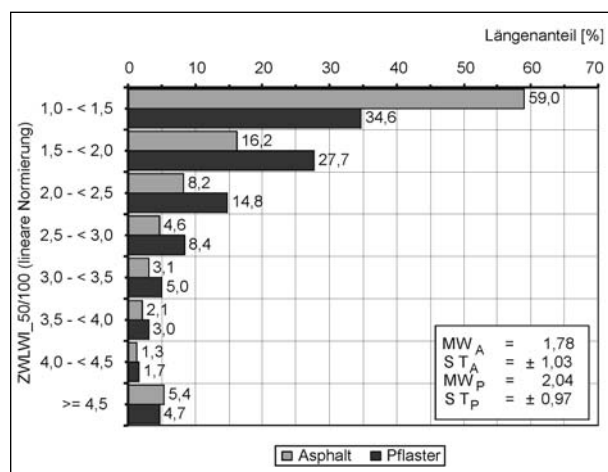
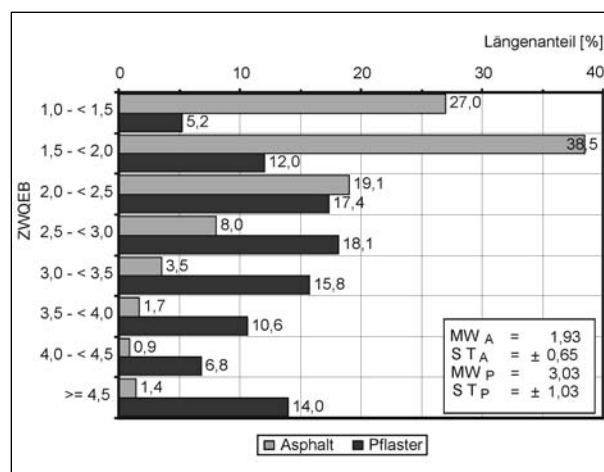


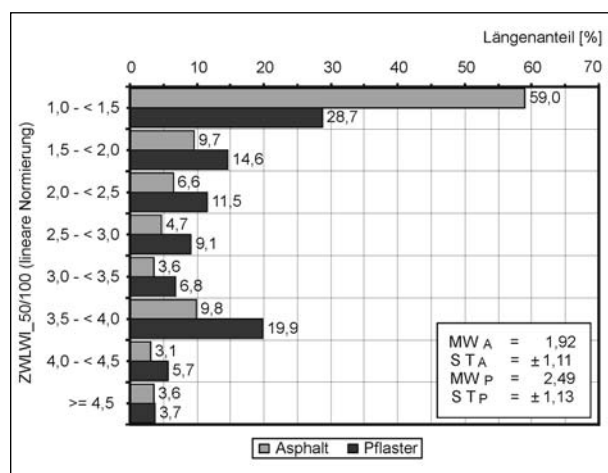
Bild 118: Normierungsvorschläge für den Längsebenheitswirkindex LWI bei Pflasterdecken (nicht lineare und lineare Variante)



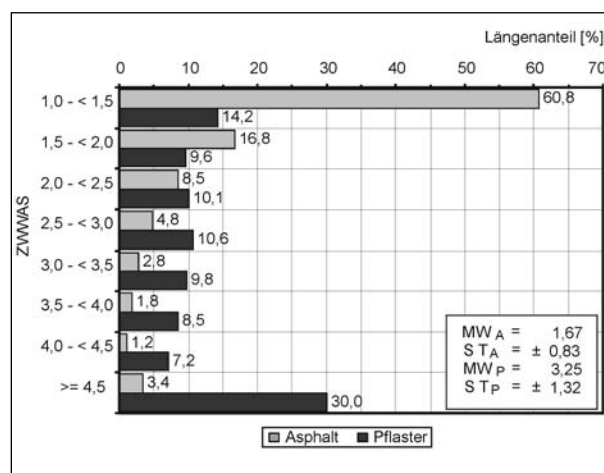
**Bild 119:** Längenanteile für den Zustandwert der Längsebenheit ZWLWI für Asphalt- und Pflasterdecken bei einer angepassten linearen Normierung für Pflaster



**Bild 121:** Längenanteile für den Zustandwert der Querebenheit ZWQEB für Asphalt- und Pflasterdecken bei Anwendung der Normierung für Asphalt



**Bild 120:** Längenanteile für den Zustandwert der Längsebenheit ZWLWI für Asphalt- und Pflasterdecken bei einer angepassten nicht linearen Normierung für Pflaster



**Bild 122:** Längenanteile für den Zustandwert des Wasserrückhalts ZWWAS für Asphalt- und Pflasterdecken bei Anwendung der Normierung für Asphalt

der Querneigung abgeleiteten Zustandwert der Fiktiven Wassertiefe (= Wasserrückhalt) ZWWAS ergeben sich im Verhältnis von Asphalt und Pflaster ähnliche Probleme wie bei der Längsebenheit. Bedingt durch die Bauweise (Pflasterfugen) werden Pflasterdecken bei der Anwendung der für Asphalt vorgeschlagenen Normierungsfunktionen (s. Kapitel 5.2.3) wesentlich schlechter bewertet als Asphaltdecken. Dies wird in aller Deutlichkeit aus den Bildern 121 (ZWQEB) und 122 (ZWWAS) ersichtlich (Berücksichtigung aller Analysestädte): Die Anteile im Bereich ab dem Schwellenwert erreichen bei Pflaster ungefähr die 10fache Höhe wie bei Asphalt, die mittleren Zustandswerte sind bei Pflaster 1,5- bis 2-mal so hoch.

Mit den nachfolgenden Normierungsfunktionen lassen sich die bauweisebedingten Verzerrungen,

die sich z. T. aus Messpunkten in den Pflasterfugen ergeben, weitestgehend ausgleichen. Für die Bewertung der Querebenheit ZWQEB bei Pflasterdecken wird vorgeschlagen:

$$\text{ZWSPT} = \text{Min} (5; 1,0 + 0,071 \cdot \text{MSPT})$$

$$\text{ZWSPT\_MAX} = \text{Min} (5; 1,0 + 0,071 \cdot (\text{SPTR\_MAX} + \text{SPTL\_MAX})/2)$$

Schwellenwert bei 49 mm  
Warnwert bei 35 mm  
1,5-Wert bei 7 mm

$$\text{ZWQEB} = \text{Max} (\text{ZWSPT}, \text{ZWSPT\_MAX})$$

Der Vorschlag für die Normierung des Wasserrückhalts ZWWAS bei Pflaster lautet:

$$\text{ZWSPT} = \text{Min} (5; 1,0 + 0,1 \cdot \text{MSPH})$$

$$ZWSPH\_MAX = \text{Min} (5; 1,0 + 0,1 \cdot (\text{SPHR\_MAX} + \text{SPHL\_MAX})/2)$$

Schwellenwert bei 35 mm  
 Warnwert bei 25mm  
 1,5-Wert bei 5 mm

$$ZWWAS = \text{Max} (ZWSPH, ZWSPH\_MAX)$$

Die Häufigkeiten der 0,5-Notenklassen sind, im Vergleich zu Asphalt, in den Bildern 123 (ZWQEB) und 124 (ZWWAS) veranschaulicht. Mit den modifizierten Normierungsvorschlägen können die bauweisebedingten Verschiebungen vor allem im kritischen Zustandsbereich ab 3,5 weitgehend ausgeglichen werden. Obwohl die Häufigkeiten für Pflaster im Bereich unter 2,5 immer noch eine „Phasenverschiebung“ von ca. 0,5-Notenstufen aufweisen, gleichen sich die Mittelwerte relativ gut an die entsprechenden Werte für Asphalt an. Durch die vorgeschlagene Normierung kann weitgehend verhin-

dert werden, dass Pflasterdecken nur aufgrund ihrer Bauweise vorrangig als erhaltungsbedürftig eingestuft werden.

Bei den Substanzmerkmalen ist ein Vergleich zwischen Asphalt und Pflaster aufgrund der unterschiedlichen Erscheinungsformen der Schäden nicht sinnvoll. Da die Schäden von Pflasterdecken in der Vergangenheit nicht einheitlich und nicht in allen Analysestädten erfasst wurden (s. dazu die Bilder 36 und Bild 37), sind derzeit keine empirischen Auswertungen möglich.

Zur Beschreibung von Schäden für Pflasterdecken wird vorgeschlagen, für die 10-m-Abschnitte die nachfolgenden Zustandsmerkmale auszuwerten:

- Bruch/Zertrümmerung und Fehlen von Pflastersteinen bzw. Platten AUS (vergleichbar mit Rissen und Ausbrüchen bei Asphalt),
- offene Pflasterfugen OFU (mangelnder Verbund),
- (Asphalt-)Flickstellen FLI.

Für die Zustandsgrößen dieser Merkmale wird die Schadensfläche ermittelt (% betroffene Fläche). Bei allen diesen Schäden kann davon ausgegangen werden, dass der Verbund und damit die Substanz einer Pflasterdecke beeinträchtigt oder gefährdet sind. Es wird daher die folgende einheitliche, an die Normierung der Risse bei Asphalt angelehnte Normierungsfunktion vorgeschlagen:

$$ZWZG_i = \text{Min} (5; 1,0 + 0,167 \cdot ZG_i)$$

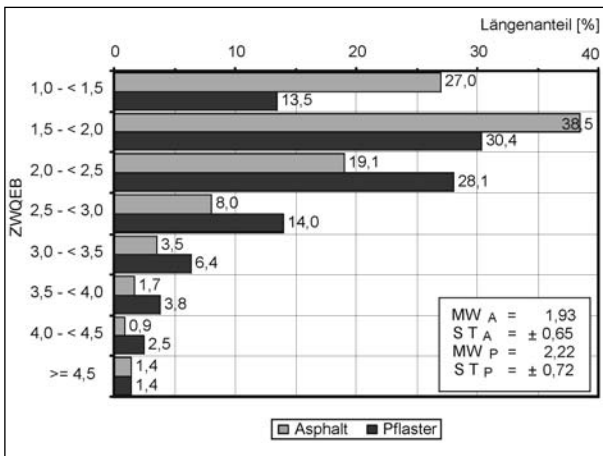
mit

$ZG_i$  Zustandsgröße (% betroffene Fläche) der Pflastermerkmale AUS, OFU, FLI,

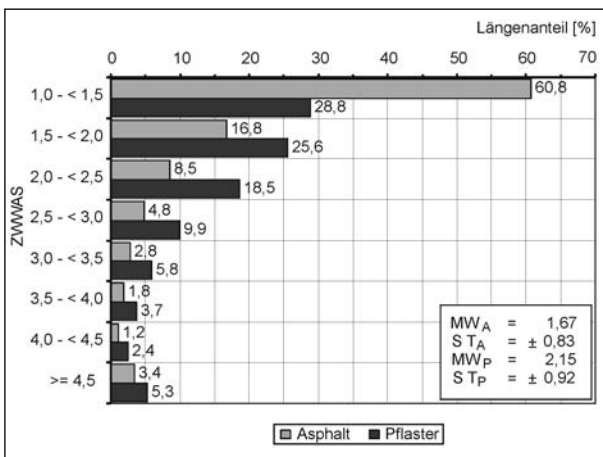
$ZWZG_i$  Zustandswert für Pflastermerkmale AUS, OFU, FLI,  
 Schwellenwert 21 %,  
 Warnwert 15 %,  
 1,5-Wert 3 %.

Die Teilzielwerte TWGEB (Gebrauchswert) und TWSUB (Substanzwert) können mit Hilfe der nach den o. a. Normierungsfunktionen für Pflaster ermittelten Zustandswerte mit den bereits für Asphalt vorgeschlagenen Verknüpfungen berechnet werden (s. Kapitel 5.2.6):

$$TWGEB = \text{Max} (\text{Max} (ZWQEB, ZWWAS); \text{Min} (5; \text{Max} (ZWLWI, ZWQEB) + (\text{Min} (ZWLWI, ZWQEB) - 1)/5))$$



**Bild 123:** Längenanteile für den Zustandswert der Querebene ZWQEB für Asphalt- und Pflasterdecken bei modifizierter Normierung für Pflaster



**Bild 124:** Längenanteile für den Zustandswert des Wasserrückhalts ZWWAS für Asphalt- und Pflasterdecken bei modifizierter Normierung für Pflaster

$$\text{TWSUB} = \text{Min} (5; (\text{ZWAUS}/4 + \text{ZWOFU}/4 + \text{ZWFLI}/4 + \text{Max} (\text{ZWLWI}, \text{ZWQEB})/4)/2 + \text{Max} (\text{ZWAUS}, \text{ZWOFU}, \text{ZWFLI}, \text{ZWLWI}, \text{ZWQEB})/2)$$

Für den Gesamtwert bei Plasterdecken gilt wie bei Asphalt:

$$\text{GW} = \text{Max} (\text{TWGEB}, \text{TWSUB}).$$

### 5.3.2 Verkehrliche und funktionale Faktoren (Funktionsklassen)

Bei den ersten Entwicklungsarbeiten zu einem Konzept für die Zustandsbewertung von Außerortsstraßen wurde davon ausgegangen, dass die Anforderungen an den Zustand in Abhängigkeit von verkehrlichen und funktionalen Faktoren unterschiedlich sein können (AXTHELM, MAERSCHALK, SCHMUCK, SCHULTE, SUß 1984; MAERSCHALK, PINGEL 1984). Aus diesem Grund wurden unterschiedliche Normierungsfunktionen für 3 sog. Funktionsklassen abgeleitet, die jedoch in der Praxis lange Zeit unbeachtet blieben und z. B. im Rahmen der ZEB für die Bundesfernstraßen keine Anwendung fanden.

#### 5.3.2.1 Hintergrund einer funktionalen Relativierung

Unterschiede in den Anforderungen an den Fahrbahnzustand ergeben sich aus sicherheits- und substanzrelevanten Faktoren wie

- Verkehrsstärke (z. B. durchschnittlicher täglicher Verkehr DTV in Kfz/24h),
- Geschwindigkeitsniveau (z. B. zulässige Höchstgeschwindigkeit in km/h).
- Unfallgeschehen (z. B. Unfallrate, Unfallkostenrate),
- Bauweise und Beanspruchung durch Schwerverkehr (z. B. Bemessung).

Bei Innerortsstraßen sind noch zu ergänzen die umweltrelevanten Faktoren

- Art und Anordnung der angrenzenden Bebauung (z. B. im Hinblick auf Lärm),
- Lage im Gemeindegebiet (z. B. für das optische Erscheinungsbild),
- Anordnung der Verkehrsflächen (z. B. im Hinblick auf Spritzbelästigungen).

Die erforderlichen Angaben zu den Ausprägungen dieser Faktoren sind häufig nicht verfügbar und nur mit größerem Aufwand zu ermitteln. Daher werden in der Praxis vielfach leichter verfügbare Kategorisierungen herangezogen und, in der Annahme, dass damit die o. g. Faktoren substituiert werden, als repräsentativ für eine Klassifizierung der Anforderungen an den Zustand angesehen. Im Außerortsbereich wurde beispielsweise verschiedentlich, als Substitut für die Verkehrsstärke und das Geschwindigkeitsniveau, zwischen Straßenklassen differenziert (z. B. Bundesfernstraßen, Landesstraßen): Neuerdings wird im Rahmen der ZEB der Bundesstraßen bei der Bewertung zwischen freien Strecken und Ortsdurchfahrten unterschieden (HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003). Dabei erklären sich Unterschiede in den Anforderungen an den Zustand, wenn von den allenfalls indirekt und pauschal einbezogenen umweltrelevanten Faktoren (s. o.) abgesehen wird, letztlich aus dem i. A. geringeren Geschwindigkeitsniveau in Ortsdurchfahrten. Vernachlässigt wird bei dieser Pauschalierung, dass es auch freie Strecken gibt, die, z. B. infolge von dauerhaften Geschwindigkeitsbeschränkungen, das Geschwindigkeitsniveau von Ortsdurchfahrten aufweisen.

Bei der Berücksichtigung von Funktionsklassen für die Zustandsbewertung wird davon ausgegangen, dass, wenn das Anforderungsniveau als niedriger angesehen wird, objektiv festgestellte Schäden/Mängel als weniger gravierend einzustufen sind als bei höheren Anforderungen. Diese Relativierung objektiver Sachverhalte ist nur dann sinnvoll, wenn auf der Grundlage einer Zustandsbewertung bereits eine Reihung von Straßenabschnitten nach der zeitlichen Priorität, mit der Erhaltungsmaßnahmen eingeleitet werden sollten, erstellt werden soll („Dringlichkeitsreihung“). Dies bildete in der Entwicklungsphase des Instrumentariums der systematischen Straßenerhaltung, als noch keine weiterführenden Module verfügbar waren, den Hintergrund für die funktionsklassenabhängige Relativierung bei der Zustandsbewertung (MAERSCHALK, PINGEL 1984).

Derzeit stehen bereits Verfahren zur Verfügung, die auf die Ergebnisse der Zustandsbewertung zurückgreifen und Relativierungen unter Berücksichtigung der eingangs genannten verkehrlichen und baulichen Faktoren vornehmen. Derartige Verfahren sind in den E EMI 2003 (FGSV 2003a) erwähnt und in der Grundlagenarbeit dazu (MAERSCHALK 2000) in einfacheren und anspruchsvolleren Varianten

ten erläutert. Die Relativierung für Anforderungsniveaus erfolgt dabei nach der Zustandsbewertung und setzt voraus, dass die als wesentliche Ausgangsbasis herangezogenen Bewertungsergebnisse weitestgehend objektive Sachverhalte wiedergeben. Bei einer funktionalen Relativierung bereits bei der Zustandsbewertung besteht die Gefahr, dass diese Relativierung im späteren Verfahrensablauf unter Berücksichtigung derselben Einflussfaktoren wiederholt wird, d. h. eine Mehrfachbewertung vorgenommen wird. Die Anwendung unterschiedlicher Bewertungsfunktionen für Funktionsklassen ist somit nur zulässig, wenn die Zustandsbewertung den letzten Verfahrensschritt bei der Erstellung von Erhaltungsprogrammen und im Rahmen der Bedarfsplanung darstellt. In diesem Fall dient diese funktionale Relativierung letztlich auch dazu, Bewertungsergebnisse für Teilnetze, deren Anforderungsniveau abgesenkt wird, in der Außendarstellung optisch günstiger erscheinen zu lassen.

### 5.3.2.2 Normierung nach Funktionsklassen

Die verfügbaren Datengrundlagen der 7 Analysestädte enthielten weder verkehrliche oder funktionale Angaben noch, mit einer Ausnahme (Stadt B), eine Unterteilung nach Funktionsklassen. Es wurde daher versucht, für die (20-m-)Auswerteabschnitte von 3 Städten (Städte A2, A3, Stadt C) nachträglich Daten für eine Untergliederung nach Funktionsklassen zu ermitteln. Dabei zeigte sich, dass keinerlei Informationen verfügbar waren, die über die auch für Stadt B vorliegende Klassifizierung nach der Netzfunktion (Hauptverkehrs-, Verkehrs-, Sammel-, Anlieger-, Wohnstraße) hinausgehen. Für Stadt C ließ sich auch diese Zuordnung nicht ermitteln, sodass letztlich auf die Daten von 3 Städten zurückgegriffen werden konnte. In Tabelle 30 sind die Längenanteile für die 3 Klassen zusammengestellt, die einigermaßen zuverlässig mit den verfügbaren Informationen abgegrenzt werden konnten. Dabei handelt es sich um Fahrbahnen mit Asphaltdecken: Fahrbahnen mit Pflasterdecken gehören i. A. zur Klasse 3 aus Tabelle 30; für die

Klassen 1 und 2 ergeben sich sehr geringe und nicht repräsentative Belegungen.

Als Ausgangsbasis für eine eventuelle funktionale Relativierung wurden die in Kapitel 5.2 abgeleiteten Normierungs- und Verknüpfungsfunktionen für die 3 in Tabelle 30 aufgeführten Funktionsklassen angewendet. Die Ergebnisse sind dargestellt in Form der Längenanteile für 0,5-Notenklassen in

- Bildern 125 und 126 für den Zustandswert des Längsebenheitswirkindex ZWLWI bei linearer (Bild 125) und nicht linearer (Bild 126) Normierung (nur Stadt B),
- Bild 127 für den Zustandswert der Querebenheit ZWQEB,
- Bild 128 für den Zustandswert des Wasserrückhalts ZWWAS,
- Bild 129 für den Zustandswert der Risse ZWRIS,
- Bild 130 für den Zustandswert der Flickstellen ZWFLI,
- Bildern 131 und 132 für den TWGEB bei linearer (Bild 131) und nicht linearer (Bild 132) Normierung des Längsebenheitswirkindex LWI (nur Stadt B),
- Bild 133 für den Substanzwert-Oberfläche TWSUB (nur Stadt B).

Aus den vergleichenden Darstellungen werden i. A. deutliche Unterschiede zwischen den Funktionsklassen 1 und 2 gemäß Tabelle 30 ersichtlich. Für Funktionsklasse 2 zeigt sich, offenbar aufgrund des relativ geringen Kollektivs, aber auch aufgrund der Schwierigkeiten einer trennscharfen Abgrenzung, keine eindeutige Tendenz. Im Einzelnen wird sichtbar:

- Beim Zustandswert der Längsebenheit ZWLWI (Bilder 125 und 126) entfallen für Funktionsklasse (FK) 3 wesentlich höhere Längenanteile auf den kritischen Zustandsbereich ab dem Warnwert als für FK 1. Für die verfügbaren Analysestrecken ist die Ebenheit der Anlieger-/Wohn-

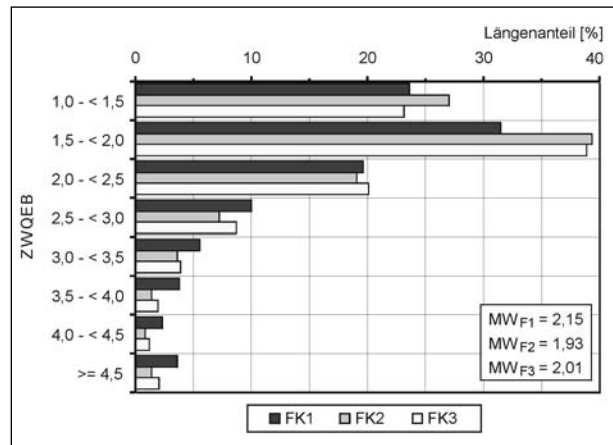
FK	Straßenkategorie	Stadt A2 [km]	Stadt A3 [km]	Stadt B [km]	Summe [km]
1	Hauptverkehrs-/Verkehrsstraßen	7,936	14,317	207,476	229,729
2	(Haupt-)Sammelstraßen	18,664	15,163	41,24	75,067
3	Anliegerstraßen, Wohnstraßen	24,846	130,356	124,769	279,971
Σ		51,446	159,836	373,485	584,767

Tab. 30: Untergliederung der Asphaltfahrbahnen nach der Netzfunktion

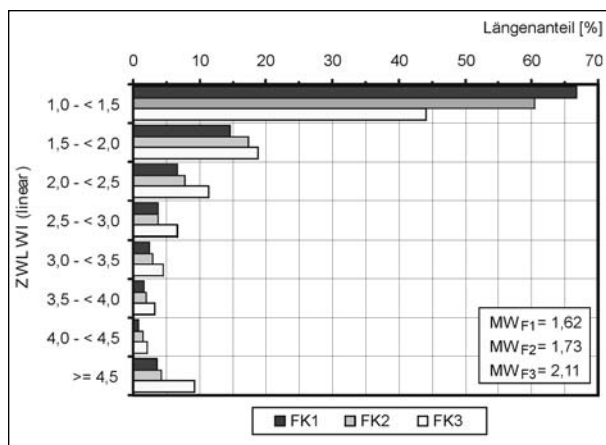
straßen (FK 3) deutlich schlechter als die Längsebenheit der Hauptverkehrs-/Verkehrsstraßen (FK 1, s. Mittelwerte MW in Bilder 125 und 126). Dies gilt sowohl bei Anwendung einer linearen (Bild 125) wie bei Anwendung einer nicht linearen (Bild 126) Normierungsfunktion für ZWLWI.

- Für den Zustandwert der Querebenheit ZWQEB (Bild 127) ergibt sich der entgegengesetzte Effekt wie bei ZWLWI. Die Anteile im kritischen Bereich ab dem Warnwert sind bei FK 1 deutlich höher als bei FK 2 und FK 3. Bedingt durch die höheren Schwerverkehrsbelastungen und die dadurch mitverursachten Spurrinnen ist die Querebenheit der Hauptverkehrs-/Verkehrsstraßen schlechter als die der restlichen Straßenkategorien. In Bezug auf ZWQEB ergibt sich eine funktionale Relativierung z. T. bereits aus der Ausprägung der Querunebenheiten.
- Beim Zustandwert für den Wasserrückhalt ZWWAS (Bild 128) ergeben sich ähnliche funkti-

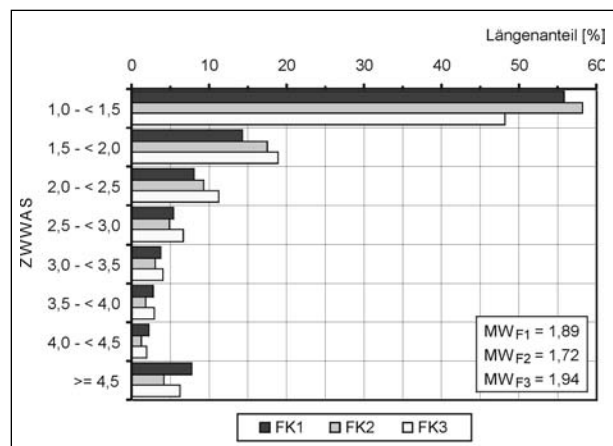
onksklassenspezifische Verteilungen wie bei der Querebenheit, allerdings nur tendenziell und nicht so klar ausgeprägt.



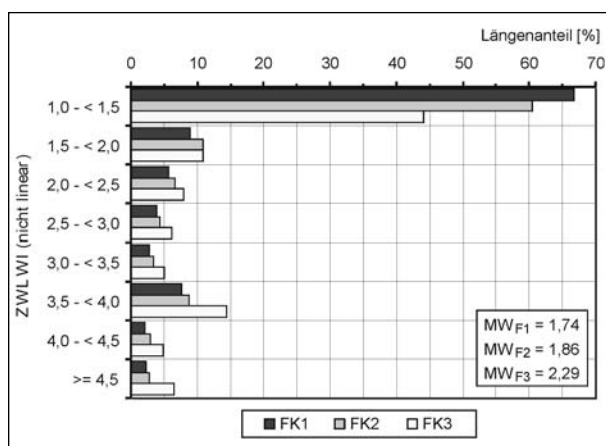
**Bild 127:** Längenanteile für den Zustandwert der Querebenheit ZWQEB für Asphaltdecken bei Untergliederung nach Funktionsklassen



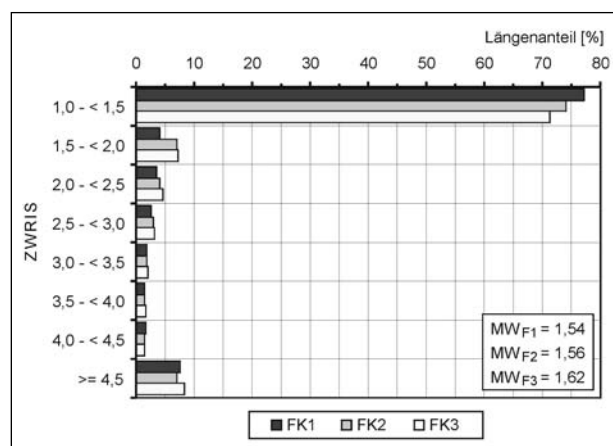
**Bild 125:** Längenanteile für den Zustandwert der Längsebenheit ZWLWI (linear) für Asphaltdecken bei Untergliederung nach Funktionsklassen



**Bild 128:** Längenanteile für den Zustandwert des Wasserrückhalts ZWWAS für Asphaltdecken bei Untergliederung nach Funktionsklassen



**Bild 126:** Längenanteile für den Zustandwert der Längsebenheit ZWLWI (nicht linear) für Asphaltdecken bei Untergliederung nach Funktionsklassen



**Bild 129:** Längenanteile für den Zustandwert der Risse ZWRIS für Asphaltdecken bei Untergliederung nach Funktionsklassen

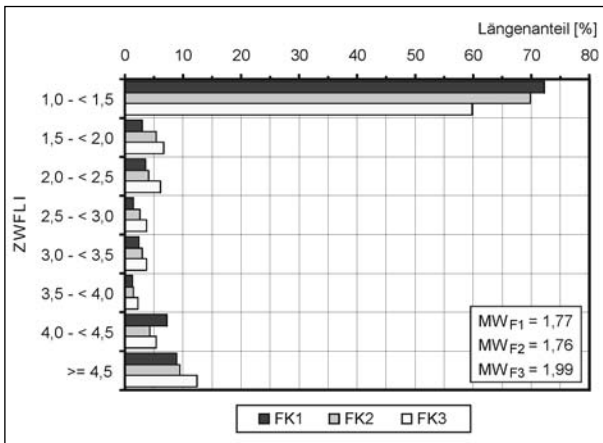


- Für den Zustandswert der Risse ZWRIS (Bild 129) zeigen sich so gut wie keine Unterschiede in den Häufigkeitsverteilungen der Funktionsklassen.
- Auch beim Zustandswert der Flickstellen ZWFLI (Bild 130) ergeben sich keine erheblichen Unterschiede in den Längenanteilen der Funktionsklassen. FK 3 weist einen etwas höheren Anteil im Bereich ab dem Schwellenwert auf. Auch im Gesamtmittel ist FK 3, offenbar aufgrund der größeren Häufigkeit von Flickstellen, schlechter bewertet wie die restlichen Funktionsklassen.
- Bei der Verknüpfung zum Gebrauchswert TWGEB (Bilder 131 und 132) weist FK 3 die deutlich größten Anteile im kritischen Bereich ab dem Warnwert auf. Dies gilt sowohl bei Berücksichtigung des linear normierten ZWLWI

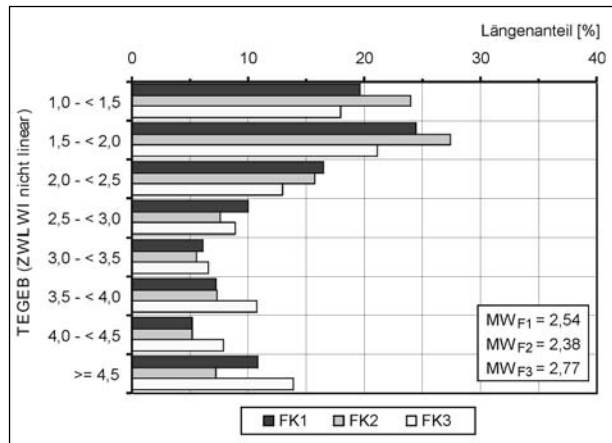
(Bild 131) wie auch bei der nicht linearen Variante (Bild 132).

- Für FK 3 ergeben sich auch beim Substanzwert TWSUB (Bild 133) höhere Anteile im Bereich ab dem Warnwert wie für die restlichen Funktionsklassen.

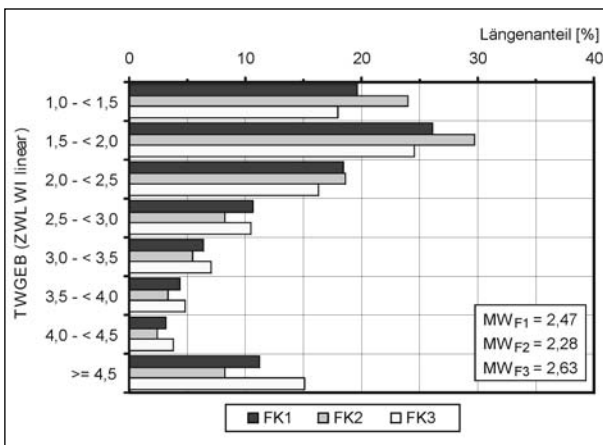
Werden die Ergebnisse der Zustandsbewertung und insbesondere der Verknüpfung zum Gebrauchswert TWGEB und zum Substanzwert TWSUB unverändert ohne weitere Aufbereitung, z. B. durch ein Verfahren zur Dringlichkeitsreihung oder durch eine Nutzen-Kosten-Optimierung im Rahmen eines Pavement-Management-Systems, für die Erstellung eines Erhaltungsprogramms verwendet, stehen für FK 3 höhere Längenanteile zur Erhaltung an als für FK 1. Soll das Ergebnis der Zustandsbewertung direkt für die Erhaltungsplanung eingesetzt und diese aus objektiv schlechteren Zu-



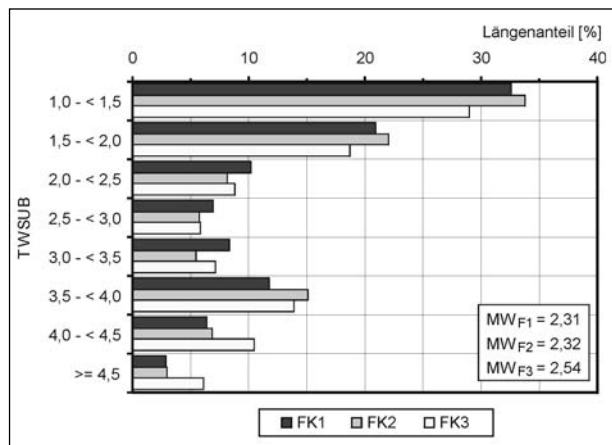
**Bild 130:** Längenanteile für den Zustandswert der Flickstellen ZWFLI für Asphaltdecken bei Untergliederung nach Funktionsklassen



**Bild 132:** Längenanteile für den Gebrauchswert TWGEB für Asphaltdecken bei Untergliederung nach Funktionsklassen (ZWLWI aus nicht linearer Normierung)



**Bild 131:** Längenanteile für den Gebrauchswert TWGEB für Asphaltdecken bei Untergliederung nach Funktionsklassen (ZWLWI aus linearer Normierung)



**Bild 133:** Längenanteile für den Substanzwert – Oberfläche TWSUB für Asphaltdecken bei Untergliederung nach Funktionsklassen

standsbildern resultierende Bevorzugung nachrangiger Straßen, auch in Darstellungen der Zustandswerte, vermieden werden, ist eine Relativierung in Abhängigkeit der Funktionsklassen erforderlich.

Ausgehend von den in den Bildern 125 bis 130 dargestellten Auswertungen und im Hinblick auf ein nachvollziehbares und nicht zu kompliziertes Bewertungsverfahren wird vorgeschlagen, bei der Relativierung zwischen zwei Anforderungsniveaus zu unterscheiden:

- Funktionsklasse 1 mit hohen Anforderungen an den Zustand, bestehend aus Hauptverkehrs-, Verkehrs- und Sammelstraßen (sowie Straßen mit öffentlichen Buslinien), und
- Funktionsklasse 2 mit niedrigen Anforderungen an den Zustand, bestehend aus Anlieger und Wohnstraßen.

Damit werden, in sehr grober Annäherung, die Verkehrsbelastungen und die Geschwindigkeitsniveaus abgebildet. Für Funktionsklasse 1 kommen die in Kapitel 5.2 abgeleiteten Normierungsfunktionen zur Anwendung. Für Funktionsklasse 2 (bisherige Funktionsklasse 3) werden die in Tabelle 31 zusammengestellten Funktionen vorgeschlagen.

Bei den Modifikationen für Funktionsklasse 2 fehlen die Normierungsfunktionen für ZWQEB und ZWWAS, weil, aufgrund der Relativierung bereits durch die Zustandsausprägungen (s. Bilder 127 und 128), gegenüber Funktionsklasse 1 keine Änderungen vorgeschlagen werden. Die Konsequenz, dass bei ungewöhnlich schlechter Querebeneheit von Anlieger-/Wohnstraßen der betreffende Abschnitt als vorrangig eingestuft wird, erscheint vertretbar.

Die Längenanteile der 0,5-Notenklassen für Funktionsklasse 1 (bisherige FK 1 und 2) und für die neuen Normierungen der Funktionsklasse 2 (bisherige Funktionsklasse 3) sind dargestellt in den

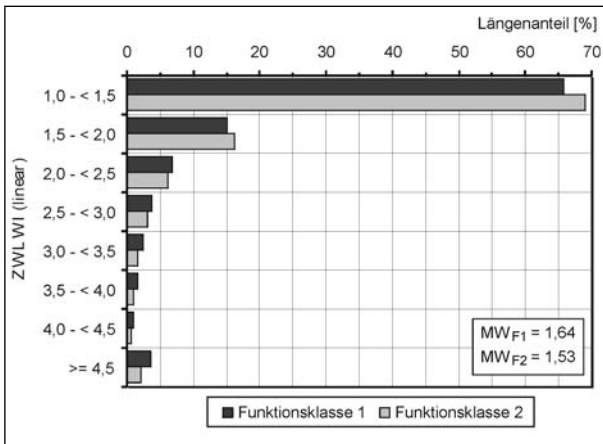
- Bildern 134 und 135 für den Zustandswert des Längsebenheitswirkindex ZWLWI bei linearer (Bild 134) und nicht linearer (Bild 135) Normierung (nur Stadt B),
- Bild 136 für den Zustandswert der Risse ZWRIS (3 Analysestädte),
- Bild 137 für den Zustandswert der Flickstellen ZWFLI (3 Analysestädte),

- Bildern 138 und 139 für den TWGEB bei linearer (Bild 138) und nicht linearer (Bild 139) Normierung des Längsebenheitswirkindex LWI (nur Stadt B),
- Bild 140 für den Substanzwert-Oberfläche TWSUB (nur Stadt B).

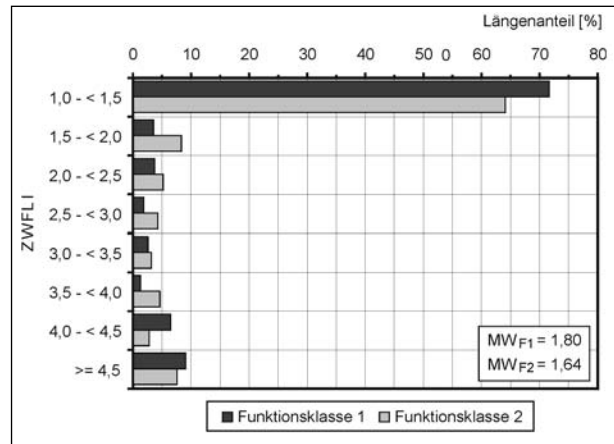
Aus den Darstellungen wird deutlich, dass bei Anwendung der in Tabelle 31 vorgeschlagenen Normierungsfunktionen eine insgesamt sehr zufriedenstellende Angleichung der Häufigkeitsverteilungen erreicht wird. Damit werden die Anforderungen an den Zustand so weit relativiert, dass untergeordnete Straßen der Funktionsklasse 2, trotz der meist schlechteren Zustandsausprägungen, in etwa gleich wie Funktionsklasse 1 eingestuft werden. Insbesondere beim Substanzwert TWSUB ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die aus Gründen der Datenverfügbarkeit erforderliche Untergliederung der Funktionsklassen mit Hilfe von Straßenkategorien wenig zufriedenstellend ist. Für eine Bewertung der Substanz sollten eigentlich Informationen über die vorhandene Substanz, d. h. die Schichtenfolge des Befestigungsaufbaus (Art, Dicke und Einbaujahr der Schichten), verfügbar sein. Mit Kenntnis der Aufbaudaten könnte z. B. verhindert werden, dass eine Hauptverkehrsstraße (FK 1), deren tiefer liegende Schichten bereits alt und abgeschrieben sind (z. B. Tragschicht aus Beton oder Makadam), in ihrem Substanzwert höher veranschlagt wird als eine Anliegerstraße (FK 2) mit standardisiertem Aufbau (z. B. nach Regelbauweise oder RStO). Die Einteilung der Funktionsklassen auf der Grundlage der Straßenkategorie sollte daher, insbesondere im Hinblick auf den Substanzwert, aber auch im Hinblick auf den Gebrauchswert (s. dazu Kapitel 5.3.2.1), überprüft werden, sobald differenziertere Daten verfügbar sind.

Zustandswert	Funktion	4,5-Wert	3,5-Wert	1,5-Wert
ZWLWI =	linear Min (5; 1,0 + 0,1 · LWI)	35	25	5
ZWLWI =	nicht linear $1 + \text{LWI}/(2 \cdot 4)$ für $\text{LWI} \leq 4$ $1,5 + 2 \cdot (\text{LWI} - 4)/(12 - 4)$ für $4 < \text{LWI} \leq 12$ Min (5; 3,5 + (LWI - 12)/(36 - 12)) LWI > 12	36	12	4
ZWRIS =	Min (5; 1,0 + 0,125 · RIS)	28	20	4
ZWFLI =	Min (5; 1,0 + 0,083 · FLI)	42	30	6

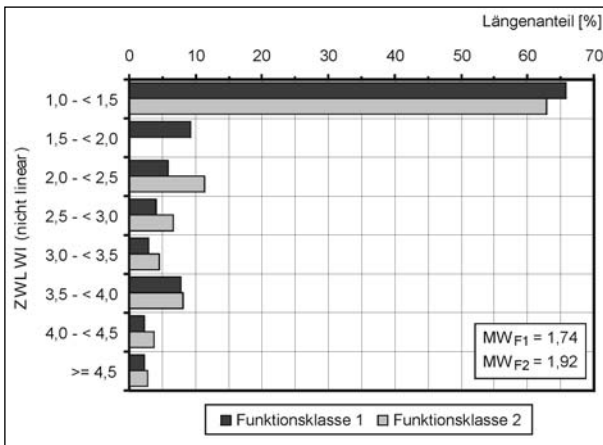
Tab. 31: Normierungsvorschläge für Funktionsklasse 2



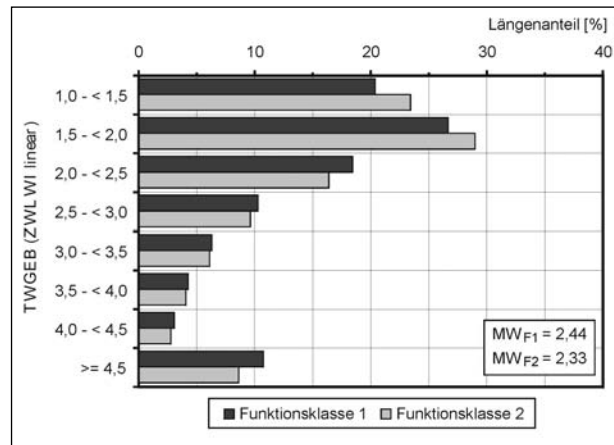
**Bild 134:** Längenanteile für den Zustandwert des Längsebenheitswirkindex ZWLWI für Asphaltdecken bei Untergliederung nach 2 Funktionsklassen (ZWLWI – linear)



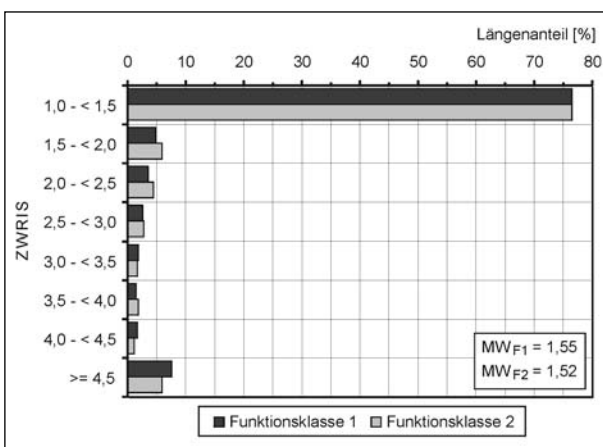
**Bild 137:** Längenanteile für den Zustandwert der Flickstellen ZWFLI für Asphaltdecken bei Untergliederung nach 2 Funktionsklassen



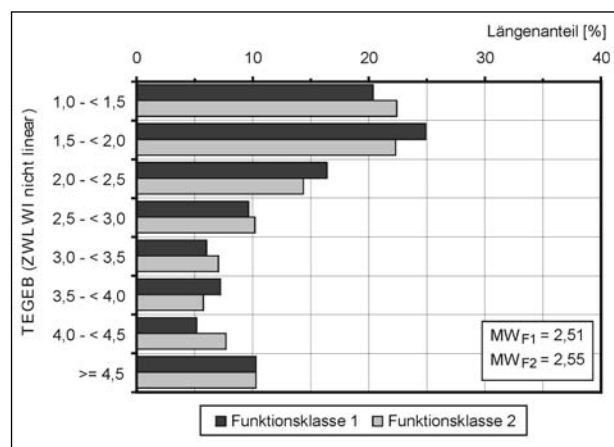
**Bild 135:** Längenanteile für den Zustandwert des Längsebenheitswirkindex ZWLWI für Asphaltdecken bei Untergliederung nach 2 Funktionsklassen (ZWLWI – nicht linear)



**Bild 138:** Längenanteile für den Gebrauchswert TWGEB für Asphaltdecken bei Untergliederung nach 2 Funktionsklassen (ZWLWI aus linearer Normierung)



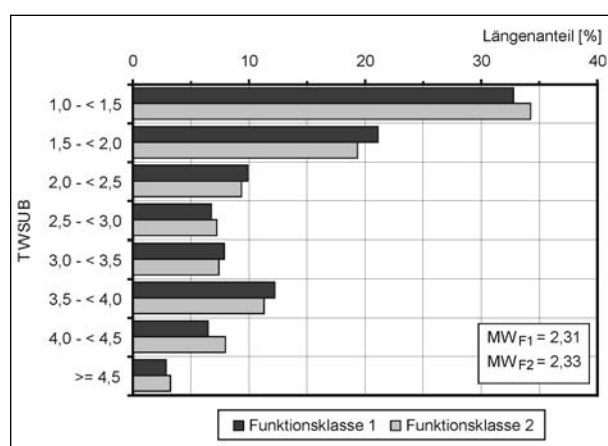
**Bild 136:** Längenanteile für den Zustandwert der Risse ZWRIS für Asphaltdecken bei Untergliederung nach 2 Funktionsklassen



**Bild 139:** Längenanteile für den Gebrauchswert TWGEB für Asphaltdecken bei Untergliederung nach 2 Funktionsklassen (ZWLWI aus nicht linearer Normierung)

Einschränkend zur Repräsentanz der abgeleiteten Ergebnisse ist anzumerken, dass alle Auswertun-

gen, die den Längsebenheitswirkindex LWI einbeziehen (ZWLWI, TWGEB, TWUB), auf den Daten-



**Bild 140:** Längenanteile für den Substanzwert – Oberfläche TWSUB für Asphaltdecken bei Untergliederung nach 2 Funktionsklassen

grundlagen nur einer Analysestadt (B) beruhen, da eine Auftragsweiterung zur entsprechenden Aufbereitung zweier weitere Analysestädte abgelehnt wurde.

## 6 Zusammenfassung und Vorschläge für die Umsetzung

Das derzeitige Verfahren für die Zustandsbewertung von Innerortsstraßen basiert letztlich auf visuell erfassten Zustandsdaten. Für Anwendungen mit Zustandsdaten aus messtechnischen Zustandserfassungen wurden pragmatische Anpassungen vorgenommen, die sich nur teilweise als praxistauglich erwiesen haben und die weder in technischer noch in wissenschaftlicher Hinsicht systematisch analysiert sind.

Die Schlüssigkeit und Vermittelbarkeit eines Verfahrens für die Zustandsbewertung sind eine wesentliche Voraussetzung dafür, die Belange und Nutzeffekte einer systematischen Straßenerhaltung für die Öffentlichkeit und die Entscheidungsebene zu verdeutlichen. Mit Hilfe vorliegender Datenbestände aus messtechnischen Zustandserfassungen von innerörtlichen Straßen sollten daher die Grundlagen für eine praxisperechte Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens mit den erforderlichen Normierungsfunktionen, den Warn- und Schwellenwerten und maßgeblichen Funktionsklassen erarbeitet werden. Da ein objektiv wissenschaftlicher Nachweis der Validität von Bewertungsalgorithmen nicht möglich ist, sollte die Plausibilität der vorgenommenen Änderungen in enger Abstimmung mit Straßenbauverwaltungen der

Kommunen beurteilt und mit den Erkenntnissen eines ähnlichen FE-Projekts für Ortsdurchfahrten von Bundesstraßen abgestimmt werden (HELLER, KÖHLER, SCHNIERING 2003). Damit sollten die Voraussetzungen für die praktische Umsetzung der Ergebnisse in einem entsprechenden Arbeitspapier geschaffen werden, das den Betreibern von Messsystemen und den Straßenbauverwaltungen von Kommunen künftig eindeutige Vorgaben und Empfehlungen bietet.

Bei der Verbesserung des Bewertungsverfahrens können bereits vorliegende Änderungsvorschläge zu erkannten Schwachstellen teilweise aufgegriffen werden. Zusätzlich sind neue inhaltliche Analysen erforderlich, für die Daten aus messtechnischen Zustandserfassungen/-bewertungen von 7 Kommunen (Düsseldorf, Erfurt, Essen, Ludwigshafen, Münster, Rüsselsheim, Wiesbaden) zur Verfügung stehen. Mit der anonymisierten Datenbasis können Änderungsvorschläge zum Bewertungsverfahren abschnittsbezogen und in netzbezogenen Häufigkeitsverteilungen analysiert werden. Bei allen aus Analyseergebnissen abgeleiteten Änderungen des Bewertungsverfahrens wird untersucht, ob und in welcher Weise die bisherigen Bewertungsergebnisse mit den neuen Ergebnissen vergleichbar sind. Sofern die Vergleichbarkeit an Grenzen stößt, werden die Ursachen explizit aufgezeigt.

Bei den verfügbaren Messungen sind im Wesentlichen Hauptverkehrs- bzw. Verkehrsstraßen und in relativ geringem Umfang untergeordnete Straßen berücksichtigt. Zu Untersuchungsbeginn stellte sich somit die Frage, welche innerörtlichen Teilnetze in messtechnische Erfassungen einbezogen werden sollen und wie diese Netze in ihren Verknüpfungen mit den restlichen Innerortsstraßen oder den Ortsdurchfahrten von klassifizierten Straßen und in Bezug auf größerflächige Kreuzungsbereiche, die einzelnen Fahrstreifen, die vorgesehenen Messlinien und eventuell Erfassungslücken behandelt werden sollen. Der Problembereich der Netzdefinition ist in einem zwischenzeitlich verfügbaren Entwurf eines Arbeitspapiers „Ordnungssystem und Netzbeschreibung für innerörtliche Verkehrsflächen“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) aufbereitet, auf das Bezug genommen werden kann. Neuere in der Praxis durchgeführte messtechnische Zustandserfassungen zeigen, dass der Einsatz von Messsystemen auch bei den speziellen Gegebenheiten von untergeordneten Straßen (z. B. im Hinblick auf Breiten, Kurvenradien, Nutzung

durch ÖPNV oder Regelungen für den ruhenden Verkehr) möglich ist. Für die Zustandsbewertung ergibt sich daraus die Konsequenz, dass aufgrund der Netzfunktion eventuell unterschiedliche Anforderungen an den Zustand zu stellen sind.

Als Ausgangsbasis für alle weiteren Analysen werden zunächst die in den 7 Analysestädten angewendeten, stark an der Methodik für Außerortsstraßen ausgerichteten Bewertungsverfahren beschrieben und in einer „Status-quo“-Analyse im Ergebnis dargestellt. Die Untersuchungen zu dieser Vergleichsgrundlage für alle eingebrachten Änderungsvorschläge zeigen, dass teilweise abweichende Zustandsgrößen/-indikatoren und unterschiedliche Normierungsfunktionen mit verschiedenen Schwellenwerten berücksichtigt sind. Auch bei den Verknüpfungsregeln zur Ermittlung der Teilzielwerte (Gebrauchs- und Substanzwert) sind unterschiedliche Ansätze gewählt. Insgesamt können bei den 7 Analysestädten, unter Vernachlässigung kleinerer Differenzen, vier grundsätzlich voneinander abweichende Bewertungsansätze unterschieden werden. Der Vergleich der Bewertungsergebnisse vermittelt wertvolle Hinweise zu den Schwachstellen der angewendeten Verfahren und zu den zweckmäßigen Ansatzpunkten inhaltlicher Analysen.

Ein Teil der auch nach der Status-quo-Analyse offenkundigen Schwachstellen des derzeitigen Bewertungskonzepts ist schon seit längerer Zeit bekannt und u. a. in einem „Leitfaden für die Erfassung und Bewertung des Zustandes von Straßen“ (BÜHLER, KLINGHAMMER, MAERSCHALK, OERTEL 2002) aufgezeigt. Zu den Vorschlägen für die Behebung der Schwachstellen gehören:

- Aufhebung der Unstetigkeiten der Normierungsfunktionen bei den Zustandswerten von 1,5 und 4,5 durch Verwendung stetiger Funktionen.
- Extrapolation der Normierungsfunktionen über den bisher schlechtesten Zustandswert von 5,0 hinaus, aber Einhaltung der Begrenzung bei 5,0 für Darstellungen in Zustandskarten u. Ä.
- Entflechtung und Vereinfachung der Verknüpfungsalgorithmen zur Bildung von Teilzielwerten im Rahmen der Wertsynthese. Dabei soll vor allem die Sonderregelung des Durchschlags einzelner Zustandsmerkmale ab einem Zustandswert von 3,5, die aufgrund einer schlecht funktionierenden numerischen Verknüpfungsfunktion eingeführt wurde, in einen durchgängigen Algorithmus eingebunden werden.

funktion eingeführt wurde, in einen durchgängigen Algorithmus eingebunden werden.

- Verbesserte Einbindung des Längsebenenheitswirkindex LWI in das Bewertungsverfahren im Vorgriff auf eine spezielle Untersuchung (FE 04.200) durch entsprechende inhaltliche Analysen (s. u.).
- Eine Kennzeichnung von Grabungsflächen durch Unterscheidung von grabungsbedingten Flickstellen und sonstigen (Reparatur-)Flickstellen..

Die zu diesen Schwachpunkten unterbreiteten Verbesserungsvorschläge werden derzeit teilweise auch bei einer Modifizierung des Bewertungsverfahrens für Außerortsstraßen analysiert (FE 09.132).

Bei der inhaltlichen Überprüfung und Überarbeitung des Bewertungsverfahrens steht zunächst die Länge der Auswerteabschnitte im Vordergrund, für die aus den vor Ort gemessenen Rohdaten Zustandsgrößen und -indikatoren ermittelt werden. Die bisher in den Analysestädten zugrunde gelegten Standardlängen liegen bei 20 m und, in einem Fall, bei 10 m. Wenn für die Kennzeichnung der Längsebeneheit anstelle des außerorts gebräuchlichen Unebenheitsmaßes AUN der Längsebenenheitswirkindex LWI (s. u.) verwendet wird, empfiehlt sich eine Standardauswertelänge von 10 m. Aus den 10-m-Abschnitten können, wie auch die praktische Umsetzung zeigt, problemlos und mit sehr guter Genauigkeit Zustandsgrößen/-indikatoren für längere Abschnitte ermittelt werden. Bei 10-m-Auswerteabschnitten werden auch örtlich-punktuellere Ereignisse relativ gut berücksichtigt. Die vor Netzknoten unvermeidlichen Restabschnitte kürzerer Länge sollten mit den Vorgängerabschnitten verknüpft werden.

Die inhaltlichen Analysen zu den zweckmäßigen bewertungsrelevanten Zustandsgrößen/-indikatoren und den Fixpunkten ihrer Normierungsfunktionen konzentrieren sich zunächst auf die Längsebeneheit. Da die derzeit verwendeten Indikatoren einer Planografensimulation Schwächen aufweisen und das Unebenheitsmaß AUN für die bei Innerortsstraßen realistischen Auswertelängen ungeeignet ist, wurde in einer Auftragserweiterung für eine Stadt der Längsebenenheitswirkindex LWI für 10-m-, 20-m- und 40-m-Abschnitte für 4 unterschiedliche Geschwindigkeitsvarianten ermittelt. Eine zweite Auftragserweiterung für zusätzliche 2 Städte kam nicht zustande, sodass alle Auswertungen, die, wie

z. B. die Verknüpfungsalgorithmen für Gebrauchs- und Substanzwert, den LWI einbeziehen, auf den Daten nur einer Stadt basieren und daher nur eingeschränkt repräsentativ sind. Die Analysen zur Längsebenheit zeigen, dass der Längsebenheitswirkindex LWI, der sich als Maximum der drei normierten Auswirkungen der Radlastschwankungen einer 11,5-t-Achse, der vertikalen Beschleunigungen auf das Transportgut und dem vertikalen Schwingungseintrag in den sitzenden Menschen ergibt, ein für Innerortsstraßen geeigneter Zustandsindikator ist, und zwar in der Variante LWI\_50/100 (Zähler =  $f(50 \text{ km/h})$ ; Nenner =  $f(100 \text{ km/h})$ ). Diese LWI-Variante ist aufgrund des Nennerbezuges mit dem LWI für Außerortsstraßen vergleichbar. Sie stellt ein Maß für die Schwingungsauswirkungen auf Straße, Fahrer und Ladegut dar und berücksichtigt dabei den Einfluss der niedrigeren Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h im Innerortsbereich. Für die Normierung wird eine lineare Funktion mit einem Schwellenwert bei LWI = 14 vorgeschlagen. Alternativ kommt auch eine nicht lineare Funktion mit einem Schwellenwert bei LWI = 18 in Betracht.

Eine Analyse der Variationskoeffizienten für die Zustandsgrößen/-indikatoren der Querebenheit zeigt, dass bei Innerortsstraßen vielfach regellose Querunebenheiten und in wesentlich geringerem Umfang homogene durchgehende Spurrinnen auftreten. Der bisher verwendete Indikator, der schlechtere Wert der mittleren Spurrinntiefen der rechten und linken Radspur (MSPT), vermittelt dementsprechend ein zu günstiges Bild zur Bewertung der Querunebenheiten. Es wird daher vorgeschlagen, ergänzend zu diesem Indikator den Mittelwert der maximalen Querunebenheiten der rechten und linken Radspur (MSPT\_MAX) zu bewerten. Für die identischen linearen Normierungsfunktionen kann sowohl für MSPT als auch für MSPT\_MAX ein Schwellenwert von 28 mm angenommen werden. Der Zustandswert der Querebenheit ZWQEB ergibt sich als schlechterer Wert aus ZWSPT und ZWSPT\_MAX.

Bei der auf der Grundlage der Querebenheit und der Querneigung ermittelten Fiktiven Wassertiefe kann sinngemäß vorgegangen werden, indem zusätzlich zum schlechteren Wert der mittleren Wassertiefen der rechten und linken Radspur (MSPH) auch der Mittelwert der maximalen Wassertiefen der rechten und linken Radspur (MSPH\_MAX) bewertet wird. Als Schwellenwert der identischen linearen Normierungsfunktionen können 14 mm angesetzt werden. Als Zustandswert für den Was-

serrückhalt ZWWAS wird der schlechtere Wert aus ZWSPH und ZWSPH\_MAX angesehen.

Für die Griffigkeit standen keine repräsentativen Analysedaten zur Verfügung, da in den Kommunen derzeit allenfalls punktuelle Messungen durchgeführt werden (s. dazu Tabelle 2). Da die Messung und Bewertung der Griffigkeit geschwindigkeitsabhängig erfolgen, können die Normierungsfunktionen der Außerortsstraßen, allerdings ohne die Unstetigkeitsstellen bei 1,5 und 4,5, übernommen werden (z. B. für  $v = 40 \text{ km/h}$ , s. Bild 15).

Risse und Flickstellen beeinträchtigen den Zusammenhang von Asphaltdecken, beinhalten damit prinzipiell das Risiko von Folgeschäden und sollten in ihrem Gesamtumfang ermittelt und bewertet werden. Für die Normierung werden lineare Funktionen mit Schwellenwerten bei 21 % (ZWRIS für Risse) bzw. 35 % betroffener Flächenanteil (ZWFLI für Flickstellen) vorgeschlagen. Offene Arbeits-/Anschlussnähte sollten nicht als Risse erfasst und bewertet werden, da sie normalerweise in Rahmen der baulichen Unterhaltung (Instandhaltung) beseitigt werden. Als Beeinträchtigungen der Homogenität der Befestigung und als Indikatoren für beginnende substanzielle Schäden sollten auch die Flächenanteile mit Ausbrüchen, Abplatzungen, Bindemittelanreicherungen und Ausmagerungen ermittelt und einem zusammengefassten Merkmal „sonstige Oberflächenschäden“ zugeordnet werden. Die Bewertung dieser bei Innerortsstraßen häufiger vorkommenden Schäden kann an die Bewertung der Flickstellen angeglichen werden.

Das Ziel der Straßenerhaltung besteht in der Gewährleistung einer angemessenen Befahrbarkeit und Verkehrssicherheit bei gleichzeitig minimalen gesamtwirtschaftlichen Kosten und höchstmöglicher Umweltverträglichkeit. Die Zielkriterien Befahrbarkeit und Sicherheit werden durch den Gebrauchswert TWGEB abgedeckt, der aus einer Verknüpfung der Zustandswerte der Längsebenheit, der Querebenheit und des Wasserrückhalts (und, falls erfasst, der Griffigkeit) ermittelt wird. Ein Indikator für die Wirtschaftlichkeit der Erhaltung ist der Substanzwert TWSUB, der aus der Verknüpfung des schlechteren Werts aus Längs-/Querebenheit mit den Rissen, Flickstellen und sonstigen Oberflächenschäden entsteht. Für die Verknüpfung der einzelnen Zustandswerte kann eine Beziehung angewendet werden, die ohne Sondervereinbarungen (z. B. in Form einer Durchschlagsregel) auskommt. Die Bildung eines Teilzielwerts TWUMD für „Um-

welt/Dritte“ (Lärmentwicklung, Spritzwasser, optisches Erscheinungsbild) ist sinnvoll, wenn die Zustandsgrößen/-indikatoren im Hinblick auf die dafür kennzeichnenden Wirkungen bewertet werden können. Dies ist derzeit noch nicht möglich, weil u. a. auch die dafür erforderlichen Informationen zum Umfeld von Straßen (z. B. Art/Dichte der angrenzenden Bebauung) nicht verfügbar sind. Eine Verknüpfung der in ihren Wirkungen bezüglich des Gebrauchs- oder Substanzwertes bewerteten Zustandsgrößen/-indikatoren zu einem Teilzielwert „Umwelt/Dritte“ führt zu einer unzulässigen Mehrfachbewertung, da die beeinträchtigten Effekte für das Straßenumfeld auch durch Maßnahmen zur Wiederherstellung der Gebrauchsfähigkeit und der Anforderungsgerechtigkeit der Substanz beseitigt werden.

Für die direkte Verwendung der Ergebnisse der Zustandsbewertung zur Erhaltungsplanung und für Ergebnisdarstellungen ist es zweckmäßig, die Bewertung den unterschiedlichen Anforderungen an den Zustand, die sich in Abhängigkeit der Bauweise oder der Straßenfunktion ergeben, anzupassen. Dazu werden zunächst Bewertungsfunktionen für Pflasterdecken angegeben, die den bauweisebedingten Gegebenheiten hinsichtlich der Längs- und Querebene Rechnung tragen und die andere Substanzmerkmale als bei den Asphaltdecken einbeziehen (zertrümmerte/fehlende Pflastersteine, offene Pflasterfugen). Für die Relativierung der Anforderungen an den Zustand von Asphaltfahrbahnen werden zwei Funktionsklassen für die Straßenkategorien „Hauptverkehrs-/Verkehrs-/Sammelstraßen“ (FK 1) und „Anlieger-/Wohnstraßen“ (FK 2) unterschieden. Die unterschiedlichen Normierungsfunktionen gewährleisten, dass Abschnitte mit Funktionsklasse 1 bei gleichen Zustandsausprägungen dringlicher eingestuft werden als Abschnitte mit Funktionsklasse 2.

Die aus den Auswertungsergebnissen abgeleiteten Vorschläge für die Bewertung messtechnisch ermittelter Zustandsdaten bei Innerortsstraßen werden für die praktische Umsetzung so aufbereitet, dass sie in Struktur und Inhalt einem Arbeitspapier entsprechen, das alle wesentlichen Ergebnisse in verdichteter Form enthält. Der Vorschlag für die Bezeichnung dieses Arbeitspapiers lautet:

- „Zustandsbewertung bei messtechnischer Zustandserfassung“.

Der Entwurf zu diesem Arbeitspapier findet sich im Anhang 2.

## Literatur

- AXTHELM, E., MAERSCHALK, G., SCHMUCK, A., SCHULTE, W., SUß, G. (1984): Erprobung und Anwendung von Gebrauchswertindikatoren. Zusammenfassender Schlussbericht zu den Forschungsaufträgen 9.035/9.037/9.038 des Bundesministers für Verkehr, Darmstadt, Mai 1984
- BABEL, E. (1985): Das Verhalten von Reifen an Spurranten und Spurrinnen. Schlussbericht zu FA 04.118 G83D des Bundesministeriums für Verkehr, Braunschweig, März 1985
- BECKER, P. von, BÜHLER, B., KRAUSE, G. (1998): Folgewirkungen von Straßenschäden durch Aufbrüche. Bericht zum Teil I und II des Gutachtens im Auftrag der Stadt Köln, Amt für Straßen und Verkehrstechnik. TÜH GmbH, Darmstadt 1996/SEP MAERSCHALK, München 1998. Bezug durch: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- BRAUN, H., LAERMANN, F.-J., LIESNER, W. (1983): Einfluss von Spurrinnen und Spurranten auf das Fahrverhalten. Schlussbericht zu FA 04.097 G81D des Bundesministeriums für Verkehr, Braunschweig, März 1983
- BÜHLER, B., KLINGHAMMER, S., MAERSCHALK, G., OERTELT, S. (2002): Leitfaden für die Erfassung und Bewertung des Zustandes von Straßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 832, Bonn 2002
- BURCKHARDT, M. (1985): Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen, Fahrzeugtechnische Schriftenreihe, Verlag TÜV Rheinland, 1985
- DAMES, J., MERKENS, R., BERGMANN, J. (1984): Neuermittlung des Bewertungshintergrundes für Ergebnisse von Griffigkeitsmessungen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 413, Bonn-Bad Godesberg 1984
- FE 04.200/2004/DRB: Umsetzung des Längsebeneheitswirkindex (LWI) in ein praxisnahes, Erhaltungsmaßnahmen auslösendes Verfahren im Rahmen der systematischen Straßenerhaltung. HI HELLER Ing.-Ges. und RS-Consult RÜBENSAM. In Bearbeitung
- FE 09.132/2003/MGB: Verbesserung der praxisnahen Bewertung des Straßenzustandes. Ing.-Büro OERTELT und SEP MAERSCHALK. In Bearbeitung

- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (1995): RAS-L – Richtlinie für die Anlage von Straßen. Teil: Linienführung. Ausgabe 1995. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (1997): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen. Arbeitsausschuss Kommunalen Straßenbau. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2002): Arbeitspapier zur Zustandserfassung und -bewertung der Fahrbahnoberflächen von Straßen: Reihe A: Auswertung, A1: Zustandsbewertung. Arbeitsausschuss Systematik der Straßenerhaltung, Köln, 2002
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2003a): Empfehlungen für das Erhaltungsmanagement von Innerortsstraßen. EMI 2003. Arbeitsgruppe Sonderaufgaben, Arbeitsausschuss: Systematik der Straßenerhaltung, Arbeitskreis: Erhaltung kommunaler Straßen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2003b): MB Griff – Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe, Ausgabe 2003, FGSV 401. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2003c): Arbeitsausschuss Systematik der Straßenerhaltung. FGSV-Arbeitspapier Nr. 9/S zur Erhaltungsplanung. Reihe S Substanzwert (Bestand). Ausgabe 2003, Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2004): Ordnungssystem und Netzbeschreibung für innerörtliche Verkehrsflächen. Arbeitspapier Reihe K, Grundlagen, Kapitel K 1.2. Arbeitsgruppe Sonderaufgaben, Arbeitsausschuss: Systematik der Straßenerhaltung, Arbeitskreis: Erhaltung kommunaler Straßen. 2. Entwurf (unveröffentlicht)
- HELLER, S., KÖHLER, M., SCHNIERING, A. (2003): Ergänzung der Bewertung des Straßenzustandes freier Strecken um eine gleichwertige Bewertung von Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen. Schlussbericht zum FE 09.129 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Darmstadt, Oktober Bonn 2003
- HERRING, H. E. (1996): Wasserabfluss von unebenen Fahrbahnoberflächen: Zusammenfassender Bericht und Festlegung von Schwellenwerten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 728, Bonn-Bad Godesberg 1996
- HIERSCHKE, E.-U., KNEPPER, S. (1990): Vergleichsmessungen zwischen dem Stuttgarter Reibungsmesser und der Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine im Hinblick auf ihre Einsatzmöglichkeiten im Rahmen des Managements der Straßenerhaltung. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 582, Bonn-Bad Godesberg 1990
- HINSCH, K., KRAUSE, G., MAERSCHALK, G., RÜBENSAM, J. (2004): Katalogisierung von beschreibenden Größen für das Gebrauchsverhalten von Fahrbahnbefestigungen und die Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen. Schlussbericht zum FE 09.125/2001/MGB 9 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. SEP MAERSCHALK und RS Consult, München, Oktober 2004
- LAMM, R., HERRING, H. E. (1970): Der radiale Kraftschlussbeiwert in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Straße und Autobahn 11, 1970, S. 435-443
- LOHSE, E., SCHMOLKE, U., MAERSCHALK, G., KRAUSE, G., HINSCH, K., SCHNIERING, A. (2004): Entwicklung eines BVWP/EWS-kompatiblen Bewertungsbausteins für Erhaltungsinvestitionen in die Straßeninfrastruktur und dessen bedarfsgerechte Begleitung im Feldversuch nach Integration des Bewertungsbausteins in die Software „VIAPMS“ der „VIAGROUP“, Winterthur. Schlussberichts zu Projekt-Nr. 23.005/1998/ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Zentrum für Logistik und Verkehrsplanung und SEP MAERSCHALK, Berlin/München, April 2004
- MAERSCHALK, G. (2000): Richtlinien für das Erhaltungsmanagement von Innerortsstraßen. Schlussbericht zum Forschungsauftrag 77.418/1997 des Bundesministers für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bun-



- desanstalt für Straßenwesen, SEP MAERSCHALK, München, Mai 2000
- MAERSCHALK, G., PINGEL, C. (1984): Visuelle Zustandsaufnahme, Zustandsbewertung und Dringlichkeitsreihung auf zweistreifigen Außerortsstraßen mit bituminösen Befestigungen. Teil I, II und III. Informationen – Verkehrsplanung und Straßenwesen – Heft 16, 17 und 18. Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Straßenwesen, Universität der Bundeswehr München, München-Neubiberg 1984
- MITSCHKE, M. (1982): Dynamik der Kraftfahrzeuge, Band A: Antrieb und Bremsung, Springer-Verlag, Berlin 1982
- RÜBENSAM, J., SCHULZE, F. (1996): Entwicklung einer Methodik zur zweckmäßigen Zusammenfassung maßnahmebedürftiger Abschnitte der BAB-Betriebsstrecken auf der Grundlage von Zustands- und Bestandsdaten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 736, Bonn-Bad Godesberg
- SACHS, L. (1983): Angewandte Statistik. Anwendung Statistischer Methoden. Sechste Auflage. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo
- SCHMIDT, M. (1990): Untersuchungen zum Einfluss von Spurrinnenformen auf das Fahrverhalten, Teil 3. Schlussbericht zu FE 04.138 G87D des Bundesministeriums für Verkehr, IPG – Ingenieurgesellschaft Prof. Dr.-Ing. R. Gnadler GmbH, Karlsruhe, Mai 1990
- SCHMIDT, E., RIEDEL, A. (1994): Untersuchungen zum Einfluss von Spurrinnenformen auf das Fahrverhalten, Teil 4. Schlussbericht zu FE 04.166 R93D des Bundesministeriums für Verkehr, IPG – Ingenieurgesellschaft Prof. Dr.-Ing. R. Gnadler GmbH, Karlsruhe, Juli 1994
- SCHMUCK, A., MAERSCHALK, G. (1985): Entwicklung und Erprobung eines Konzeptes für die Zustandserfassung und -bewertung auf Ortsdurchfahrten. Schlussbericht zum Forschungsauftrag 9.042 des Bundesministers für Verkehr. Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Straßenwesen, Universität der Bundeswehr München, München-Neubiberg
- STEINAUER, B., MAYER, G., van der SLUIS, S. (2000): Signifikante Griffigkeitswerte aus Verkehrssicherheitssicht, Schlussbericht zu FE 04.182/1998/CGB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Aachen, Nov. 2000
- UECKERMANN, A. (2002): Der Längsebenenheitswirkindex LWI. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 839, Bonn-Bad Godesberg
- WEHNER, B. (1970): Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe – Forschungsergebnisse und Folgerungen. Internationales Colloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, Berlin 1968, Berichte des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen, Heft 2, Berlin/München



## Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt  
für Straßenwesen

## Unterreihe „Straßenbau“

**1993**

- S 1: Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-Baustoffen  
Guth kostenlos
- S 2: Eignung von Grubenbergen als Baustoff für Tragschichten  
ohne Bindemittel  
Guth kostenlos
- S 3: Altlastenerfassung durch geophysikalische Methoden  
Faust kostenlos
- S 4: EPS-Hartschaum als Baustoff für Straßen  
Bull-Wasser kostenlos
- S 5: Baubegleitende Messungen B 73n  
Heinisch, Blume kostenlos
- S 6: Eignung überdeckter Fugen mit Querkraftübertragung  
Fleisch, Bartz kostenlos

**1994**

- S 7: 33. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 14,00

**1995**

- S 8: Anleitung Qualitätsmanagementplan Asphalttragschichten  
Freund, Stöckner € 12,50
- S 9: Meßwert- und rechnergestütztes Management der Stra-  
ßenerhaltung – Niederschrift und Referate des Erfahrungsaustau-  
ches am 16. und 17. Mai 1995 in Berlin € 13,00
- S 10: 34. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 14,00

**1996**

- S 11: Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahrbahngeräusch und  
Rollwiderstand  
Ullrich, Glaeser, Sander € 15,00
- S 12: Offenporige Asphaltdeckschichten auf Außerortsstraßen –  
Projektgruppe „Lärmindernde Straßendecken“ € 10,00
- S 13: Qualität von mineralischen Straßenbaustoffen  
Tabbert € 16,50

**1997**

- S 14: 35. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 16,50
- S 15: Anforderungen an Fugenfüllsysteme aus Temperaturdeh-  
nungen  
Eisenmann, Lechner € 12,50
- S 16: Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnah-  
men im Lande Brandenburg  
Schnüll, Handke, Seitz € 22,00

**1998**

- S 17: Restnutzungsdauer von Asphaltsschichten  
Wolf € 13,00

- S 18: 2. Erfahrungsaustausch über rechnergestütztes Stra-  
ßen-  
erhaltungsmanagement € 14,50

- S 19: Einfluß der Bruchflächigkeit von Edelsplitten auf die Stand-  
festigkeit von Asphalten  
Teil 1: Literaturlauswertung  
Beckedahl, Nösler, Straube  
Teil 2: Einfluß des Rundkornanteils auf die Scherfestigkeit von  
Gesteinskörnungen  
H.G. Diel € 16,50

**1999**

- S 20: 36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 14,00
- S 21: Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und lang-  
jähriger Praxis – Kompendium  
Birmann, Burger, Weingart, Westermann  
Teil 1: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von  
Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (1)  
Schmidt, Bohlmann, Vogel, Westermann  
Teil 2: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von  
Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (2)  
Weingart, Dreßler  
Teil 3: Messungen an einer Versuchsstrecke mit Walzbeton-Trag-  
schicht an der B54 bei Stein-Neukirch  
Eisenmann, Birmann  
Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichte-  
verlauf und Ebenheit von Walzbeton  
Burger € 17,00

**2000**

- S 22: 3. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen  
Straßenerhaltung – Nutzen der systematischen Straßenerhaltung  
€ 19,50
- S 23: Prüfen von Gesteinskörnungen für das Bauwesen  
Ballmann, Collins, Delalande, Mishellany,  
v. d. Elshout, Sym € 10,50

**2001**

- S 24: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Unter-  
grund - Konsolidationsverfahren -  
Teil 1: Vergleichende Betrachtung von Konsolidationsverfahren beim  
Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund  
Teil 2: Erfahrungsberichte über ausgeführte Straßenbauprojekte auf  
wenig tragfähigem Untergrund unter Verwendung von Konsolida-  
tionsverfahren  
Koch € 17,50
- S 25: 37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 16,50

**2002**

- S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Unter-  
grund - Aufgeständerte Gründungspolster  
Rogner, Stelter € 14,00
- S 27: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von  
Markierungsstoffen – Neuentwicklung im Rahmen der Einführung  
der ZTV-M 02  
Killing, Hirsch, Boubaker, Krotmann € 11,50
- S 28: Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundes-  
fernstraßen – Referate eines Forschungsseminars der Universität  
des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am  
25./26. September 2000 in Saarbrücken € 13,00
- S 29: Nichtverkehrliche Straßennutzung – Referate eines For-  
schungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeits-  
ausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saar-  
brücken € 13,50

## 2003

- S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System –  
€ 19,50
- S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues „Straßenrecht“ am 23./24. September 2002 in Saarbrücken  
Golkowski € 13,50
- S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen – Referate eines Forschungsvorhabens der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und 24. September 2003 in Saarbrücken € 13,50
- S 33: 38. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 17,50
- S 34: Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen  
Hillmann, Koch, Wolf € 14,00

## 2004

- S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren  
Grundhoff, Kahl € 17,50
- S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50
- S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“  
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

## 2005

- S 38: Beschleunigung und Verzögerung im Straßenbau – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen am 27./28. September 2004 in Saarbrücken € 16,50
- S 39: Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt  
Renken, Büchler € 16,00
- S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 17,50
- S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben  
Schröder € 13,50
- S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymermodifizierten Bitumen nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren und nach Rückgewinnung aus Asphalt  
Wörner, Metz € 17,50
- S 43: Eignung frostempfindlicher Böden für die Behandlung mit Kalk  
Krajewski, Kuhl € 14,00
- S 44: 30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund  
Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann € 21,50

## 2006

- S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen  
Leutner, Lorenzl, Schmoeckel € 21,00
- S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen  
Steinauer, Ueckermann € 21,00

---

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

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

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.