

Längsebenenheits- auswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil“

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Straßenbau Heft S 73

bast

Längsebenenheits- auswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil“

Weiterentwicklung der Längsebenenheitsbewertung der Zustandserfassung und -bewertung

von

Günther Maerschalk

Ingenieurbüro SEP Maerschalk
München

Andreas Ueckermann

Institut für Straßenwesen (isac)
der RWTH Aachen

Slawomir Heller
Heller Ingenieurgesellschaft mbH
Darmstadt

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 73

bast

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

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

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

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

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

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 29.202/2008:

Weiterentwicklung der Längsebenenbewertung der Zustandserfassung und -bewertung durch das Längsebenenbewertungsverfahren „Bewertetes Längsprofil“

Projektbetreuung

Melanie Irzik
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

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

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

ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-86918-176-9

Bergisch Gladbach, Dezember 2011

Kurzfassung – Abstract

Längsebenheitsauswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil“

Das Längsebenheitsauswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil (BLP)“ soll für die turnusmäßige Zustandserfassung/-bewertung (ZEB) und für bauvertragliche Zwecke angewendet werden. Zur Absicherung dieser Anwendungsoptionen sollten Feinabstimmungen des BLP für den Wellenlängenbereich und die Welligkeit sowie für Ziel-, Abnahme-, Warn- und Schwellenwerte erfolgen. Als zusätzliche Überprüfung waren neben Vergleichsanalysen mit dem „International Roughness Index“ (IRI) und dem österreichischen BLP-Verfahren auch Praxiserprobungen auf ausgewählten Straßen unter Einbeziehung der zuständigen Straßenbauverwaltungen der Länder vorgesehen. Darüber hinaus sollten die Ergebnisvorschläge zum BLP für die Gesamtnetze der ZEB 2005/06 der Bundesautobahnen und die ZEB 2007/08 der Bundesstraßen angewendet werden. Im Ergebnis sollte ein im Vergleich zum bisherigen Bewertungsverfahren deutlich verbesserter Ebenheitsindex für bauvertragliche Zwecke und für die ZEB zur Verfügung stehen.

Für die Feinabstimmung des BLP konnte auf vorliegende Daten sowie auf Daten eines „Untersuchungskollektivs I“ mit Streckenabschnitten im Neubauzustand bzw. innerhalb der Gewährleistungsfrist („ABG-Strecken“) und Streckenabschnitten mit mittelmäßigem/schlechtem Erhaltungszustand („ZEB-Strecken“) zurückgegriffen werden, an denen größtenteils Zweifachmessungen der Längsprofilaten durch die BAST erfolgten. Aus den mit diesen Daten gestützten Parametervariationen des Wellenlängenbereichs und der Welligkeit verbleiben mit BLP_A („österreichische“ Variante, Wellenlängen 0,5 m bis 50 m und Welligkeit $w = 2,6$), BLP_24 (0,3 m bis 50 m, $w = 2,4$) und BLP_25 (0,3 m bis 50 m, $w = 2,5$) drei für die weiteren Untersuchungen relevante BLP-Varianten. Für diese drei Varianten werden Bewertungsvorschläge für Autobahnen mit Normierungsfunktion, Ziel-, Warn- und Schwellenwert für die ZEB sowie Grenzwerten für bauvertragliche Zwecke abgeleitet. Die Überprüfungen für Gesamtnetze und für die ABG-/ZEB-Strecken zeigen, dass die theoretisch hergeleiteten Skalenpunkte in der richtigen Größenordnung liegen. Abnahme- und Gewährleistungswert fügen sich gut in die Skalenwerte für die ZEB ein. Die Parameter der Autobahnen dienen als Ausgangsbasis für die Ableitung von Bewertungsfunktionen für Äste sowie freie Strecken und Ortsdurchfahrten von Bundesstraßen und für Verfahrensleitungen bei unterschiedlichen Abschnittslängen. Analysen zum Einfluss von Deckenbauweisen, Liegedauern und Fahrstreifenarten zeigen für die Strecken des Untersuchungskollektivs I keine signifikanten Abweichungen. Nach einer für konkrete Einzelabschnitte vorgenommenen Prüfung der Wiederholgenauigkeit und exemplarischen Darstellungen der BLP-Bewertung für konkrete Längsprofile mit definierter

Unebenheitscharakteristik wird eine Beziehung zwischen BLP dem IRI hergestellt. Für das verfügbare Kollektiv an Analysestrecken (ca. 580 km) ergibt sich zwischen dem IRI und der Komponente SBL des BLP ein Korrelationskoeffizient von 0,80.

Die Praxisüberprüfung des für die Umsetzung bevorzugten BLP_25 in der Örtlichkeit erfolgte für ein Teilkollektiv der ABG-/ZEB-Stecken (= Untersuchungskollektiv II). Dabei wurden für voreingeteilte Teilabschnitte der jeweiligen Untersuchungsstrecken bei einer Befahrung nach subjektiver Einstufung entsprechend der Ebenheitscharakteristik Noten zwischen 1 und 5 in Erfassungsformblättern angekreuzt. Befahrungsteilnehmer waren Amtschefs, für die Erhaltung zentral zuständige Mitarbeiter sowie Autobahn-/Straßenmeister. Bei der Auswertung der Erfassungsergebnisse für Einzelabschnitte liegen die Abweichungen zwischen subjektiven Noten und den BLP-Komponenten i. Allg. innerhalb einer Notenstufe. Die aggregierten statistischen Auswertungen zeigen, dass das durchschnittliche Zustandsniveau mit den subjektiven Noten tendenziell so eingeschätzt wird, wie es die Komponenten des BLP wiedergeben.

Bei den Anwendungen von ZWBLP (anstelle von ZWAUN) für die ZEB 2005/06 der Bundesautobahnen und die ZEB 2007/08 der Bundesstraßen werden insbesondere einzelne und periodisch auftretende Hindernisse, aber auch allgemeine Unebenheiten in ihrer Bandbreite mit BLP ausgewogener als bisher beschrieben, sodass der gewünschte Effekt eines empfindsamer ansprechenden Längsebenheitsbewertungsverfahrens erreicht wird. Durch die strengere Bewertung der Ebenheit werden, auch bei den Teilwerten, die Längenanteile im sehr guten Zustandsbereich $< 1,5$ geringer, während sich die Anteile im schlechten Zustandsbereich ab 3,5 bei gleichzeitig größerer Spreizung der Anteile im guten bzw. mittleren Bereich (1,5 bis $< 3,5$) erhöhen. Bei den Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen wären die abgeleiteten Alternativvorschläge für Warn- und Schwellenwerte zu empfehlen.

Nach den Feinabstimmungen zum BLP ist ein gutes Längsebenheitsauswerteverfahren für eine umfassende und ortsgenaue Bewertung der Unebenheitscharakteristik verfügbar. Das entwickelte Bewertungskonzept erscheint plausibel und für die ZEB der Bundesfernstraßen anwendungsreif. Die abgeleiteten Abnahme- und Gewährleistungswerte für bauvertragliche Zwecke müssen noch abgestimmt werden. Bei verschiedenen Analyseschritten wurde deutlich, dass Stufen infolge konstruktiv bedingter Einzelhindernisse (z. B. bei Übergangskonstruktionen von Brücken) derzeit nicht identifizierbar in die Ebenheitsbewertung eingehen: Diese aus Sicht der Ebenheitsbewertung korrekte Verfahrensweise kann bei der Erhaltungsplanung zu falschen Annahmen führen. Daher sollten konstruktiv bedingte Einzelhindernisse im ZEB-Raster automatisiert netzweit lokalisiert und geglättet werden. Für die Erhaltungsplanung wäre zudem auch die Häufigkeit größerer Einzelhindernisse für ZEB-Auswertungsabschnitte von Interesse.

Der Originalbericht enthält unter anderem Anhänge zur Berechnung des Bewerteten Längsprofils (TP Eben) (ANL. 1), zu den Ergebnissen der Doppelmessungen (ANL. 2) sowie den Ergebnisvergleich zwischen dem BLP und dem IRL (ANL. 3). Auf die Wiedergabe dieser Anhänge und weiterer Anlagen (1 bis 7b) wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

Analysis procedure for longitudinal road roughness „Weighted Longitudinal Profile“

The analysis procedure for the longitudinal road roughness "Weighted Longitudinal Profile (WLP)" is to be used for pavement monitoring (ZEB) as well as for contracting purposes. A validation of these applications required a fine-tuning of the WLP regarding the wavelength range and waviness as well as the threshold-values. In addition to comparative analysis with the "International Roughness Index (IRI)" and the Austrian WLP-implementation field tests were conducted on selected roads, involving highway state authorities. Moreover, the resulting proposals for the WLP should be applied to the whole network of motorways (ZEB 2005/06) and federal highways (ZEB 2007/08). Compared to the current evaluation method, as a result a significantly improved roughness index could be made available for contracting and monitoring purposes.

The fine-tuning of WLP was based on existing data and data of an "analysis collective I" composed of new roads or roads within the warranty period ("ABG-routes") and roads with moderate/poor condition (ZEB-routes") where mostly duplicate measurements of the longitudinal profile data were made by the Federal Highway Research Institute (BAST). Based on these data parameter variations of the wavelength range and waviness were carried out. As a result three BLP variants were selected for further investigations: WLP_A ("Austrian" version, wavelengths 0.5 m to 50 m and waviness $w = 2.6$), WLP_24 (0.3 m to 50 m, $w = 2.4$) and WLP_25 (0.3 m to 50 m, $w = 2.5$). For these three variants assessment proposals for motorways were derived with evaluation functions, target values, warning values, and threshold values for the ZEB and limits for construction contracts purposes. Application on the complete network and the ABG-/ZEB-routes showed that the theoretically derived values are in the correct dimensions. Acceptance and warranty value fit well within the scale scores for the ZEB. The parameter adjustment for the motorways serve as a basis for the derivation of evaluation functions for out of town branches and town links of federal highways and for instructions on procedures for different section lengths. Tests of the effects of layer construction, road ages and lane type showed no significant deviations for the sections of analysis collective I. After tests of repeatability and

exemplary presentations of the BLP evaluation had been made for specific individual sections with defined roughness characteristics the relationship between the BLP and IRI analyzed. For the available group of sections (580 km) a correlation coefficient of 0.80 was found between the IRI and the SBL-component of the WLP.

Field tests of WLP_25, the preferred version for implementation, were carried out on selected ABG-/ZEB-routes (collective II). Panel ratings between 1 and 5 according to the sensed roughness were asked. Participants were department heads, employees responsible for maintenance and foremen of local road maintenance bases. The variations between subjective ratings and WLP-ratings were generally within the level of one grade. Statistical analysis shows that the average road condition perceived approximately reflects the rating of the WLP.

The analyses for the ZEB 2005/06 of motorways and the ZEB 2007/08 of federal highways showed that especially single and periodical obstacles, but also general roughness are better described by the new index than previously, so that the desired effect of a more sensitive procedure for longitudinal road roughness evaluation is achieved. Due to the better balance the road length shares in the very good condition range < 1.5 decrease, while the shares in the bad range starting with 3.5 increase. In addition the good and medium range (1.5 to 3.5) widens. For town links of federal highways the derived alternative proposals for thresholds could be recommended.

With the fine-tuning of the WLP a good procedure for a comprehensive and locally accurate evaluation of the road roughness characteristics is now available. The developed evaluation concept is plausible and fits for the ZEB of motorways and federal highways. The derived acceptance and warranty values for contracting purposes have yet to be matched.

Design-related obstacles (e.g. in case of expansion joints of bridges) are currently not excluded by the roughness evaluation procedure. This is correct from the perspective of roughness evaluation but may result in incorrect assumptions for maintenance planning. Hence design-related obstacles should be automatically located and smoothed out in future ZEB applications. For road maintenance planning additionally the number of larger obstacles within ZEB-sections would be of interest.

Among other things, the original report contains appendices for calculating the evaluated longitudinal profile (TP even) (APP. 1), the results of the double measurements (APP. 2) and the comparison of results obtained by the BLP and the IRL (APP. 3). These and other appendices (1 to 7b) have not been included in this publication. They are available for insight at the Federal Highway Research Institute. The references in the body of the report have been retained for the information of the reader.

Inhalt

1	Einführung	7	4.3	Vergrößerungsfunktion des Bewerteten Längsprofils	27
1.1	Aufgabenstellung und Zielsetzung	7	4.4	Einfluss der charakteristischen Steigung auf das Bewertete Längsprofil	27
1.2	Methodische Vorgehensweise	7	4.5	Überprüfung der mathematischen Grundlagen für das BLP	28
2	Auswahl der Strecken für das Untersuchungskollektiv I	11	4.6	Untersuchungen an ausgewählten Straßenkollektiven	29
2.1	Abnahme- und Gewährleistungs- strecken („ABG-Strecken“)	12	4.7	Korrelationen zwischen BLP-Varianten	32
2.1.1	ABG-Streckenabschnitte des Untersuchungskollektivs I für Bundesautobahnen	12	4.8	Schlussfolgerungen aus den Parametervariationen	35
2.1.2	ABG-Streckenabschnitte des Untersuchungskollektivs I für Bundesstraßen	12	5	Grenzwertvorschläge für das Bewertete Längsprofil	35
2.2	Streckenabschnitte mit mittelmä- ßigem und schlechtem Erhaltungs- zustand („ZEB-Strecken“)	15	5.1	Darstellung der Normierungs- funktion	35
2.2.1	ZEB-Streckenabschnitte des Untersuchungskollektivs I für Bundesautobahnen	16	5.2	Herleitung von Ziel- und Schwellenwert	36
2.2.2	ZEB-Streckenabschnitte des Untersuchungskollektivs I für Bundesstraßen	19	5.3	Herleitung weiterer Grenzwerte für ZEB und bauvertragliche Zwecke	37
2.3	DEGES-Strecken	19	5.4	Überprüfung der Grenzwert- vorschläge (netzweit)	37
3	Grundlagen der Ebenheits- bewertung	21	5.5	Überprüfung der Grenzwert- vorschläge an Teilkollektiven	39
3.1	Spektrale Leistungsdichte des Höhenlängsprofils	21	5.6	Schlussfolgerungen	40
3.2	Bewertetes Längsprofil (BLP)	22	6	Untersuchungen an verschie- denen Straßenkollektiven	40
3.3	Zusammenhang zwischen Bewertetem Längsprofil und Spektraler Dichte	23	6.1	Unterscheidung nach Asphalt- und Betonbauweise	41
3.4	Welligkeiten im deutschen Fernstraßennetz	25	6.2	Unterscheidung nach Ober- bauweisen	42
4	Untersuchungen mit unterschied- lichen Varianten des BLP	25	6.3	Unterscheidung nach Liege- dauer	45
4.1	Wellenlängenbereich	26	6.4	Unterscheidung nach Fahrstreifen	47
4.2	Charakteristische Steigung („Welligkeit“) des Bewerteten Längsprofils	26	6.5	Schlussfolgerungen aus der Analyse unterschiedlicher Straßenkollektive ...	53

7	Anwendung der BLP-Varianten für die ZEB 2005/06 und die ZEB 2007/08	54
7.1	Ergebnisvergleich für die ZEB 2005/2006 der Bundesautobahnen ...	54
7.2	Ergebnisvergleich für die ZEB 2007/2008 der Bundesstraßen	65
7.3	Schlussfolgerungen aus der Anwendung für ZEB-Kampagnen	74
8	Fazit der bisherigen Untersuchungen	75
9	Grenzwertvorschläge für andere Straßenklassen	75
9.1	Äste	76
9.2	Bundesstraßen – freie Strecke und Ortsdurchfahrt	76
9.3	Verschiedene Abschnittslängen	77
10	Wiederholmessungen	77
11	Darstellung am Einzelprofil	79
12	Zusammenhang zwischen SBL und IRI	83
13	Überprüfung des BLP-Vorschlags in der Örtlichkeit	86
13.1	Auswahl der Strecken für das Untersuchungskollektiv II	86
13.2	Konzept für die Überprüfung in der Örtlichkeit	88
13.3	Durchführung der Überprüfung in der Örtlichkeit	91
13.4	Ergebnisse der Überprüfung in der Örtlichkeit	91
13.4.1	Ergebnisse für die Bundesautobahnen	92
13.4.2	Ergebnisse für die Bundesstraßen	97
14	Zusammenfassung und Ausblick	100
Literatur	105

1 Einführung

Das Längsebenheitsauswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil“ wurde in den letzten Jahren entwickelt, grundsätzlich untersucht und ausführlich dokumentiert (UECKERMANN 2007). Das Verfahren ist zur Bewertung des Straßenlängsprofils im Rahmen der turnusmäßigen Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) wie auch zur Anwendung für bauvertragliche Zwecke vorgesehen. Das Bewertete Längsprofil (BLP) ist daher Bestandteil des Entwurfs der TP Eben (FGSV 2009). Zwischenzeitlich ist auch in Österreich die Entscheidung gefallen, das Verfahren sowohl für die turnusmäßige Zustandserfassung und -bewertung als auch für bauvertragliche Zwecke zunächst in einer Erprobungsphase einzusetzen. Auch in der Schweiz wird es offenbar derzeit als eines von mehreren möglichen Bewertungsverfahren in den Normungsprozess aufgenommen. Auf europäischer Ebene laufen ebenfalls Aktivitäten, das Verfahren in eine europäische Norm zu überführen.

1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Das Bewertete Längsprofil (BLP) sollte erstmalig bei der ZEB 2009 der Bundesautobahnen probenhalber in die Auswertungen aufgenommen werden. Dazu wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts (SOCINA 2007) Vorschläge für Ziel-, Warn- und Schwellenwerte zum BLP vorgelegt. Diese Vorschläge erwiesen sich bei einer Überprüfung mit den Zustandsdaten der ZEB 2005/2006 der Bundesautobahnen in einem Forschungsprojekt (OERTEL, HELLER MAERSCHALK 2009) als noch nicht schlüssig. Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben sollen daher letzte Feinabstimmungen am Bewerteten Längsprofil vorgenommen werden, sodass die Zustandsgröße BLP für künftige Zustandserfassungen erfolgreich zur Anwendung kommen kann. Zu dieser Feinabstimmung gehört insbesondere auch die letztendliche Festlegung des Wellenlängenbereiches und der Welligkeit des Bezugsspektrums für das BLP. Sind diese beiden Parameter definiert, können unter Berücksichtigung der bisherigen Erfahrungen und Kenntnisse, die für das BLP vorliegen, Grenzwerte für die systematische Straßenerhaltung wie auch für bauvertragliche Zwecke analysiert und festgelegt werden. Dabei ist eine einheitliche Vorgehensweise bei der Berechnung des BLP anzustreben. So hat z. B. Österreich derzeit bei der Wahl der „Parameter“ Wellenlängenbereich, Welligkeit und bei den

Grenzwerten andere Vorstellungen als die deutsche Seite. Das vorliegende Projekt soll daher auch Wege für eine Harmonisierung der unterschiedlichen Vorstellungen aufzeigen.

Um die Akzeptanz bei den Anwendern zu erhöhen und das BLP-Verfahren für die ZEB und für bauvertragliche Zwecke zu ertüchtigen, ist eine Praxiserprobung erforderlich. Für diese Erprobung eignen sich repräsentative Streckenkollektive, bestehend aus Straßen im Neubauzustand und nach Ablauf der Gewährleistungsfrist sowie aus Straßen in mäßig gutem und schlechtem Erhaltungszustand. Zur Anbindung an die Erhaltungspraxis ist es darüber hinaus hilfreich, die Ergebnisse mit Maßnahmerelevanten von Länderverwaltungen vor Ort zu diskutieren.

Um die Akzeptanz auch auf internationaler Ebene voranzutreiben, sind der Zusammenhang und Vergleich zum „International Roughness Index“ (IRI) herzustellen.

Die vorgesehenen Analysen sollen insgesamt gewährleisten, dass bei Anwendung des BLP-Verfahrens ein Ebenheitsindex zur Verfügung steht, der gegenüber den bisherigen Bewertungsverfahren nicht nur in der Theorie, sondern auch in praktischer Hinsicht eine deutliche Verbesserung darstellt. Dies betrifft sowohl den Wellenlängenbereich (im Vergleich zur 4-m-Latte) als auch die Vielfalt der detektierbaren Unebenheitsformen (im Vergleich zum bisher verwendeten Unebenheitsmaß AUN). Ein umfassendes, gut funktionierendes Längsebenheitsbewertungsverfahren trägt wesentlich dazu bei, dass rechtzeitig die entscheidenden Oberflächenmängel erkannt, bewertet und auf wirtschaftliche Weise beseitigt werden können. Es ist damit ein wichtiger Baustein zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Rahmen einer systematischen Straßenerhaltung.

1.2 Methodische Vorgehensweise

Die Aufgabenstellung erfordert, zeitlich weitgehend parallel, zum einen wissenschaftlich-theoretische Analysen zur Feinabstimmung des BLP, zum anderen eher anwendungsbezogene Arbeiten für die Praxiserprobung.

Die wissenschaftlich-theoretischen Analysen umfassen die im Folgenden kurz beschriebenen Arbeitsschritte:

- Sichtung aller für das Projekt relevanten Unterlagen und Veröffentlichungen

Eine wesentliche Grundlage für das Projekt ist die Analyse der bisher zum BLP vorliegenden Untersuchungsergebnisse. Sie geben wichtige Hinweise darauf, welche Auswirkungen die bisher verwendeten Parametereinstellungen zu „Welligkeit“, „Wellenlängenbereich“ und „Grenzwerte“ auf das Bewertungsergebnis für ganze Straßennetze (Länderebene, Bundesebene) haben und stellen daher einen unverzichtbaren Ausgangspunkt für die weiteren Untersuchungen dar.

- Analyse des BLP-Austria und des IRI sowie Umsetzung in entsprechende Auswerteprogramme

Um zu einer Harmonisierung der Bewertungsansätze in Österreich und Deutschland zu kommen und die Akzeptanz für das Verfahren auch international weiter zu fördern, ist ein Vergleich mit dem „International Roughness Index“ (IRI) und mit dem BLP, wie es derzeit in Österreich berechnet wird, unerlässlich. Dafür müssen die Beschreibungen der beiden Berechnungsverfahren und die betreffenden Grenzwertfestlegungen beschafft und untersucht werden. Anschließend können die Verfahren programmiert und vergleichenden Analysen unterzogen werden.

- Übernahme und Aufbereitung der Datengrundlagen

Die Aufbereitung von Ebenheitsdaten erfordert immer eine gewisse Anpassung an die eigene Softwareumgebung, zumal wenn Daten und Indikatoren aus anderen europäischen Ländern in die Analysen eingeschlossen werden sollen. Zu den Arbeiten gehören, neben der möglichen Umwandlung von Rohdaten-Formaten, die Entfernung von Headern und zusätzlichen Spalten, die keine Ebenheitsdaten enthalten, die Konvertierung der Höhenwerte vom Komma- ins Punkt-Format, die Korrektur von falschen Zeilenbrüchen, die Interpolation von streuenden oder kleineren Messpunktabständen als 0,1 m, die Anpassung von abnehmender und ansteigender Kilometrierung, die Berücksichtigung unterschiedlicher Datenvorläufe bei der Abschnittseinteilung, die unterschiedlichen Auswertelängen, die Berücksichtigung einer weiteren Messspur (links), die Konvertierung der Daten auf dieselben Einheiten (z. B. Höhe in mm auf m)

sowie die Sicherstellung gleicher Profilanfangs- und -endpunkte bei Profil- u. Indikatorvergleichen.

- Schaffung einer Softwareumgebung für vergleichende statistische Untersuchungen.

Zur Durchführung der vergleichenden und statistischen Analysen müssen Programme geschrieben werden, die die Rohdaten einlesen, vorverarbeiten, den verschiedenen Berechnungsverfahren zuführen, die unterschiedlichen Parametervariationen steuern und die Ergebnisse vergleichend in Form von Einzelprofilvergleichen, Streckenbändern und statistischen Verteilungen grafisch darstellen.

- Grundsätzliche Untersuchungen zu einem gleitenden BLP

Ein wichtiger Schritt für die Durchführung von Kampagnenvergleichen, für die Optimierung der Prognosefähigkeit des BLP sowie für die Kompatibilität von kürzeren Abschnittslängen und die Anwendung für bauvertragliche Zwecke ist die Überführung des BLP in ein gleitendes Verfahren, bei dem das 102,4 m lange Auswertefenster in 10-Zentimeter-Schritten gleitend über das Längsprofil geschoben und das BLP nur für den jeweils in Fenstermitte befindlichen Ort festgehalten wird. Das auf diese Weise gerechnete Profil ist unabhängig von der örtlichen Festlegung der Auswerteabschnitte und bildet daher eine ideale Basis für kürzere Abschnittsbildungen (z. B. OD, Äste). Es ist reproduzierbarer und daher besser geeignet für die Analyse von Ebenheitsentwicklungen wie auch für das Bauvertragswesen. In diesem Arbeitspaket erfolgen grundsätzliche Untersuchungen dazu. (Diese Arbeiten wurden zunächst durchgeführt, sind aber auf Wunsch des begleitenden Betreuerkreises dann nicht weiter verfolgt und daher auch in diesen Bericht nicht mehr aufgenommen worden).

- Charakterisierung kürzerer Abschnitte, Konsistenz der Bewertung

Es wird erwartet, dass die Vorteile der gleitenden BLP-Berechnung ersichtlich werden und daraus Vorschläge für die Anwendung des BLP auf kürzere Abschnittslängen (für OD, Äste) abgeleitet werden können. Aus Zeit- und Kostengründen ist dazu nur eine ansatzweise Bearbeitung möglich. (s. Schlussbemerkung des vorhergehenden Kapitels).

- Grundsätzliche Untersuchungen zum Einfluss von Welligkeit und Wellenlängenbegrenzung auf das BLP

In diesem zentralen Arbeitspunkt des Projekts werden die Einflüsse der wichtigsten Parameter auf das Auswertergebnis in systematischer Weise untersucht. Dazu gehören die Variation sowohl der unteren und oberen Grenzwellenlängen des Erfassungsbereiches als auch die Variation der Welligkeiten des Bezugsspektrums des BLP. Diese grundlegenden Untersuchungen sollen dazu beitragen, die Auswirkungen der Parametervariation auf das Auswertergebnis des BLP besser beurteilen zu können.

- Detailanalyse: Sensitivitätsuntersuchungen vorliegender Forschungsergebnisse

Im Rahmen eines Forschungsprojekts (SOCINA 2009) wurden bereits bestimmte Parametervarianten des BLP auf ein größeres Netz angewendet und daraus Vorschläge für Grenzwerte und Verknüpfungsregeln abgeleitet. Bei einer Testanwendung im Forschungsprojekt FE 04.212 (OERTELT, HELLER, MAERSCHALK 2009) stellten sich diese Bewertungsansätze als zu restriktiv dar. Vor diesem Gesamtbild werden die bereits gewählten Parametereinstellungen noch einmal einer Detailanalyse am Beispiel konkreter Unebenheitsformen bzw. Einzelprofile unterzogen. Die Sensitivität des derart parametrisierten Verfahrens wird überprüft und die Frage untersucht, ob die Parametereinstellungen verändert werden müssen bzw. können oder ob eher die Grenzwertvorschläge (Normierungsfunktionen) oder gar Gewichtungen von Verknüpfungsregeln betroffen werden.

- Detailanalyse: Sensitivitätsuntersuchungen des BLP-Austria und des IRI

Im Zusammenhang mit den o. g. Detailanalysen werden auch die Berechnungsverfahren des BLP-Austria und des IRI auf ihre Sensitivität, d. h. auf ihre Eignung zur qualitativen und quantitativen Bewertung der verschiedenen Unebenheitsformen und Unebenheitsgrade, untersucht. Aus dem Ergebnisvergleich ergeben sich Hinweise und Vorschläge für eine Parametereinstellung des BLP, die sowohl den Anforderungen der Sensitivität als auch den Anforderungen aus der Gesamtsystematik der Zustandsbewertung genügen.

- Detailanalyse: Erarbeitung einer BLP-Konfiguration als mögliche deutsch-österreichische Harmonisierungsgrundlage

Die in den o. g. Detailanalysen gesammelten Erkenntnisse münden in einer oder mehreren Parameterkonfigurationen, die den Ebenheitszustand insgesamt am umfassendsten und harmonischsten repräsentieren können. Diese Konfigurationen sollen nunmehr einer abschließenden Detailanalyse unterzogen werden, um die beste Einstellung für das BLP herauszufinden. Eine besondere Aufmerksamkeit wird dabei dem Vergleich mit dem BLP-Austria gewidmet. Die vergleichenden Untersuchungen sollen als Grundlage für einen Harmonisierungsvorschlag dienen, der darauf abzielt, dass in Deutschland und Österreich das BLP in gleicher Weise berechnet wird und damit die Auswertergebnisse direkt vergleichbar werden. Eine gemeinsame BLP-Version stellt auch die beste Grundlage dafür dar, die Akzeptanz für das Verfahren international voranzubringen.

- Überprüfung der erarbeiteten Konfiguration anhand weiterer bzw. erweiterter Datenkollektive

Die besten Parameterkonstellationen sollten netzweit (Länder, Bund) abgesichert werden, um ihre Brauchbarkeit für die ZEB abschließend überprüfen zu können. In einer ersten, erweiterten Anwendung werden die Varianten jedoch zunächst an dem Gesamtdatensatz, der in der Ausschreibung als „Untersuchungskollektiv I“ bezeichnet ist und Straßen von „Neubauqualität“ über „Zustand nach Gewährleistungsfrist“ bis zu einem mäßig guten und schlechten Erhaltungszustand enthält, untersucht. Für eine erste Praxiserprobung des BLP im Rahmen bauvertraglicher Prüfungen ist dieser Schritt unumgänglich. Statistische Analysen liefern erste Hinweise darauf, inwiefern das Kollektiv in seiner Zusammensetzung richtig bewertet wird. An Einzelprofilen und in der späteren Diskussion mit Maßnahmeverantwortlichen wird die Brauchbarkeit des Verfahrens überprüft.

- Erarbeitung von Grenzwertvorschlägen für ZEB und bauvertragliche Zwecke

Die in den bisherigen Arbeitsschritten durchgeführten Untersuchungen stellen die Grundlage für die Empfehlung von Grenzwerten für die ZEB (Ziel-, Warn- und Schwellenwert) wie auch für bauvertragliche Zwecke (Abnahme- und Ge-

währleistungswert) bei Bundesstraßen und Bundesautobahnen dar. In diesem Arbeitspaket werden die abschließenden Analysen dazu durchgeführt. Verschiedene Grenzwertkonstellationen werden anhand ihrer statistischen Auswirkungen, aber auch anhand von Detailanalysen an den Längsprofilen überprüft. Dabei wird auch noch mal der Parameter „Welligkeit“ variiert, um den Einfluss auf das Auswertergebnis zu untersuchen. Als Ergebnis steht ein Verfahren mit Grenzwertvorschlägen für ZEB- und Abnahmezwecke fest. In der Diskussion mit Maßnahmeverantwortlichen in den Ländern wird die Brauchbarkeit des Verfahrens und der Grenzwertvorschläge überprüft (s. u.).

- Behandlung anderer Funktionsklassen (FK II und III) und kürzerer Auswertelängen

Zu Grenzwertvorschlägen für andere Funktionsklassen als Bundesfernstraßen sowie für Ortsdurchfahrten und Äste können wichtige Hinweise und sinnvolle Vorschläge aus den obigen Untersuchungen abgeleitet werden. Eine ausführlichere Untersuchung ist aufgrund der Datengrundlage wie auch aus Zeit- und Kostengründen jedoch nicht möglich.

Die im Folgenden kurz beschriebenen anwendungsbezogenen Arbeitspunkte müssen z. T. rekursiv behandelt werden; daher entspricht ihre Kurzbeschreibung nur teilweise der zeitlichen Abfolge:

- Vorschlag, Abstimmung mit dem Auftraggeber (AG) und Auswahl der Bundesländer für die Untersuchungsstrecken

Für einen Feinabgleich der Größe verschiedener Auswerteparameter des Längsebenenheitsauswerteverfahrens „Bewertetes Längsprofil (BLP)“ ist für Bundesautobahnen (BAB) und Bundesstraßen (BStr.) zum Praxistest der Auswirkungen einer prototypischen Einführung bei der ZEB eine Auswahl von Untersuchungsstrecken erforderlich. In einem ersten Schritt wird dazu in verschiedenen Bundesländern abgeklärt, inwieweit die für die Untersuchungsstrecken geforderten Randbedingungen (s. u.) erfüllt werden können. Zu beachten ist dabei auch, inwieweit die Ansprechpartner und Maßnahmeverantwortlichen der jeweiligen Länder mit der systematischen Straßenerhaltung und speziell der ZEB vertraut sind.

- Auswahl von Untersuchungsstrecken (ZEB, Neubau, Gewährleistung) und Abstimmung mit dem AG

Für die ausgewählten Bundesländer werden in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Ansprechpartnern bzw. Maßnahmeverantwortlichen und dem AG Untersuchungsstrecken ermittelt. Berücksichtigt werden jeweils ca. 8 Strecken in 3 Bundesländern für Bundesautobahnen und Bundesstraßen

- mit mittelmäßigem und schlechtem Erhaltungszustand („ZEB-Strecken“),
- unmittelbar nach dem Neubau („Abnahme“) und
- zum Zeitpunkt der Frist für Mängelansprüche („Gewährleistung“).
- Festlegung der Strecken für ein repräsentatives Untersuchungskollektiv I in Abstimmung mit dem AG

Aus den o. g. Untersuchungsstrecken werden repräsentative Abschnitte als Untersuchungskollektiv I ausgewählt. Dazu müssen alle vorhandenen Informationen der Untersuchungsstrecken zum Querschnitt, zur Bauweise, zum Verkehr und zum Zustand aufbereitet, ausgewertet und visualisiert werden.

Auf den Abschnitten des Untersuchungskollektivs I werden, von der BAST, Messungen durchgeführt. Die Messdaten werden dem Forschungsnehmer zur Verfügung gestellt (Längsprofildaten gemäß ZTV-ZEB im XML-Rohdatenformat incl. Frontvideoaufnahmen). Für fachtechnische Diskussionen (s. u.) werden standardisierte Datenvisualisierungen der Messergebnisse und anderer Daten (z. B. Querprofildaten gemäß ZTV-ZEB) erstellt,

- Festlegung des reduzierten Untersuchungskollektivs II für Detailanalysen in Abstimmung mit dem AG

Für den exemplarischen Nachweis

- der Sensitivität des Längsebenenheitsauswerteverfahrens „Bewertetes Längsprofil (BLP)“, insbesondere hinsichtlich der verschiedenen Unebenheitsformen (regellos, Einzelhinderung und periodische Unebenheit) sowie
- einer für zukünftige Vertragsabwicklungen ausreichend genauen quantitativen Charak-

terisierung von Unebenheiten hinsichtlich des generellen Unebenheitsniveaus sowie für einzelne Unebenheitsereignisse verschiedener Unebenheitsformen

muss eine Unterauswahl aus den Abschnitten des Untersuchungskollektivs I getroffen werden. Diese Unterauswahl wird als Untersuchungskollektiv II bezeichnet. In engem Kontakt mit den Ansprechpartnern der Länder und auf der Grundlage der verfügbaren Datenauswertungen/-visualisierungen sind dazu aus dem Untersuchungskollektiv I Abschnitte auszuwählen mit

- einzelnen bautechnisch- oder trassierungsbedingten Ebenheitsmängeln (z. B. Stufen, Mulden, Waschbretter, periodische Unebenheiten),
 - (fertigungs-)typischem Ebenheitscharakter ohne besondere Merkmale.
- Entwicklung eines Konzepts für die Befahrung und Sichtung ausgewählter Untersuchungsstrecken aus Untersuchungskollektiv II

Es kann erfahrungsgemäß nicht davon ausgegangen werden, dass die benötigten Informationen für alle Abschnitte des Untersuchungskollektivs II eindeutig und vollständig sind. Aus diesem Grund sind für ein Teilkollektiv Befahrungen und Sichtungen vorzusehen, die teilweise mit dem AG durchgeführt werden. Diese Befahrungen sind sinnvoll, wenn erste Analyseergebnisse zum BLP vorliegen.

Die Abschnitte für die Befahrungen werden entsprechend dem Informationsstand ausgewählt und in Routenpläne eingebunden. Für die Erstellung von einheitlichen und nachvollziehbaren Befahrungsprotokollen werden geeignete Formblätter entwickelt.

- Befahrungen ausgewählter Strecken und Erstellung von Protokollen

Die ausgewählten Abschnitte werden entsprechend den vorbereiteten Routenplänen befahren. Nach den Ergebnissen der Sichtung werden dabei Befahrungsprotokolle (Formblätter) ausgefüllt.

- Auswertung aller Daten aus Messungen, Befahrungsprotokollen und anderen Erhebungen

Für inhaltliche Analysen und zur Vorbereitung der für die Diskussionen mit dem AG und den

Länderverantwortlichen vorgesehenen Visualisierungen werden alle Daten aus Messungen, Sichtungsprotokollen und anderen Quellen einheitlich aufbereitet und in einer projektbezogenen Datenbank vorgehalten. Dabei wird so weit wie möglich auf vorhandene Auswerteschemen (z. B. der ZEB) zurückgegriffen.

Zur Datenaufbereitung gehören auch die Sichtung und Auswertung der Frontvideoaufzeichnungen für die Abschnitte des Untersuchungskollektivs I.

- Diskussion der ausgewerteten/visualisierten Daten mit AG und Länderverantwortlichen

Die organisatorischen und fachtechnischen Diskussionen mit den Beteiligten der Länder und dem AG sind als laufender Vorgang während der Bearbeitungszeit des Projekts anzusehen. Wesentliche Grundlage für die Diskussionen sind die erstellten Pläne und Ereignislisten.

Für eine abschließende Wertung der Leistungsfähigkeit des BLP-Verfahrens wird eine Umfrage bei allen beteiligten Maßnahmeverantwortlichen der Länder durchgeführt. Dazu wird ein geeigneter Fragebogen entwickelt. Die Ergebnisse der Umfrage werden für den Schlussbericht aufbereitet und dargestellt.

- Anwendung des BLP-Vorschlags für ZEB-Kampagnen

Für eine erste zusätzliche Absicherung der Ergebnisse zum BLP werden die netzweiten Auswirkungen bei der Anwendung für die ZEB 2005/2006 der Bundesautobahnen und für die ZEB 2007/2008 der Bundesstraßen analysiert. Um den Einfluss des BLP zu isolieren, wird dabei ohne Änderungen am Bewertungsverfahren lediglich der Zustandswert der Allgemeinen Unebenheiten (ZWAUN) durch den Zustandswert des Bewerteten Längsprofils (ZWBPL) ersetzt.

2 Auswahl der Strecken für das Untersuchungskollektiv I

Für das Untersuchungskollektiv I waren Streckenabschnitte von Bundesautobahnen und Bundesstraßen vorzusehen, auf denen von der BAST Messungen durchgeführt werden sollten. Um diese Messungen in vertretbarem Rahmen zu halten, sollten in 3 Bundesländern für Bundesautobahnen

und Bundesstraßen jeweils ca. 8 Streckenabschnitte unmittelbar nach dem Neubau („Abnahme“) und innerhalb der Frist für Mängelansprüche („Gewährleistung“) und jeweils ca. 8 Streckenabschnitte mit mittelmäßigem und schlechtem Erhaltungszustand („ZEB-Strecken“) ausgewählt werden.

2.1 Abnahme- und Gewährleistungsstrecken („ABG-Strecken“)

Als „Abnahmestrecken“ gelten nachfolgend die Autobahn- und Bundesstraßenabschnitte, die im Jahr 2008 neu gebaut bzw. erneuert wurden. Autobahn- und Bundesstraßenabschnitte, die in den Jahren 2004 bis 2007 neu gebaut bzw. erneuert wurden, werden, da sie innerhalb der Frist für Mängelansprüche liegen, als „Gewährleistungsstrecken“ bezeichnet. Das Gesamtkollektiv dieser Streckenabschnitte wird im Folgenden unter der Abkürzung „ABG“ zusammengefasst.

2.1.1 ABG-Streckenabschnitte des Untersuchungskollektivs I für Bundesautobahnen

Für die Auswahl der ABG-Streckenabschnitte des Untersuchungskollektivs I, d. h. der in den fünf Jahren von 2004 bis 2008 neu gebauten oder erneuerten Strecken, mussten zunächst bundesweit Abschnitte der Bundesautobahnen mit den genannten Kriterien ermittelt werden. Das Ergebnis dieser in Abstimmung mit den Bundesländern vorgenommenen Ermittlung zeigt Bild 2.1 schematisch in der regionalen Verteilung. Es handelt sich danach um mehr als 8 Strecken in mehr als 3 Ländern.

Die Auswahl des Untersuchungskollektivs I der ABG-Streckenabschnitte aus der in Bild 2.1 veranschaulichten Gesamtheit erfolgte nach folgenden Hauptkriterien:

- Es sollten alle Neubau-/Erneuerungsjahre von 2004 bis 2008 einbezogen werden.
- Es waren Autobahnen mit Asphalt- und Betondecken zu berücksichtigen.
- Die ausgewählten ABG-Streckenabschnitte sollten auf Wunsch des Auftraggebers eine einigermaßen optimierte Befahrung bei den vorgesehenen Messungen ermöglichen.

Unter Beachtung dieser Kriterien wurden zunächst 8 ABG-Streckenabschnitte in den Bundesländern

Bayern, Berlin, Niedersachsen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen ausgewählt. Mit einer Beschränkung auf 3 Bundesländer waren die genannten Kriterien nicht zu erfüllen.

Die ausgewählten 8 ABG-Streckenabschnitte der Bundesautobahnen weisen eine Gesamtlänge von 271,310 Strecken-km auf. Da alle Fahrstreifen der beiden Richtungen zweifach gemessen werden sollten, ergibt sich bei einer Fahrstreifenlänge von 1.110,156 eine Messlänge von insgesamt 2.220,312 km.

Nach Abstimmung mit dem Auftraggeber sollte diese Messlänge von 2.220,312 km reduziert werden. Dabei sollten auch die Leerfahrten zwischen den Messabschnitten so weit wie möglich minimiert werden. Nach dieser Reduzierung verbleiben 6 ABG-Streckenabschnitte der Bundesautobahnen in den 5 Bundesländern Bayern, Berlin, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen mit einer Gesamtlänge von 206,481 Strecken-km. Die Fahrstreifenlänge der 6 Abschnitte liegt bei 854,988 km, die Messlänge dementsprechend bei 1.709,976 km. In Tabelle 2.1 sind die wesentlichen Kenngrößen der 6 ausgewählten ABG-Streckenabschnitte der Bundesautobahnen zusammengestellt.

Für die Messungen wurden präzise Netzkenngrößen (Netzknoten, Stationierungen usw., gemäß TP 0 der ZEB) übermittelt; diese Daten der ABG-Streckenabschnitte des Untersuchungskollektivs I der Bundesautobahnen sind in Anlage 1 zusammengestellt.

2.1.2 ABG-Streckenabschnitte des Untersuchungskollektivs I für Bundesstraßen

Bei den Bundesstraßen erwies es sich im Vergleich zu den Autobahnen etwas schwieriger, Neubauabschnitte für den Zeitraum von 2004 bis 2008 zu finden, da Neubauten i. Allg. nur noch bei Ortsumgehungen ausgeführt werden. Es mussten daher auch erneuerte Strecken, bei denen (mindestens) die Deck- und Binderschicht ersetzt wurde, als Auswahlgrundlage herangezogen werden. Um den Aufwand für die vorgesehenen Messungen gering zu halten, wurde die Suche möglicher ABG-Streckenabschnitte auf den norddeutschen Raum mit den 3 Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern begrenzt. Bild 2.1 zeigt die regionale Lage geeigneter Streckenabschnitte der Bundesstraßen.



Bild 2.1: Regionale Lage der Gesamtheit der Abnahme-/Gewährleistungsstrecken („AGB-Strecken“) der Bundesautobahnen und Bundesstraßen zur Auswahl des Untersuchungskollektivs I

Nr.	BAB	von Ast.	bis Ast.	Deckenart	Länge [km]	FStr. pro Ri.	Messlänge [km]	Verkehrsfreigabe [Jahr]
1	A 6	Amberg-Ost	AK Oberpfälzer Wald	Asphalt	20,706	2	82,824	2008
		AK Oberpfälzer Wald	Vohenstrauss-Ost		19,382		77,528	2005
		Vohenstrauss-Ost	Pleystein		5,230		20,920	2004
Σ 1		Amberg-Ost	Pleystein		45,318		181,272	
2	A 73	Coburg	Rödental	Asphalt	2,955	2	11,820	2005
		Rödental	Ebersdorf		8,119		32,476	2007
		Ebersdorf	AK Bamberg		39,254		157,016	2008
Σ 2		Coburg	AK Bamberg		50,328		201,312	
3	A 73	AD Suhl	Schleusingen	Asphalt	15,600	2	62,400	2006
		Schleusingen	Eisfeld-Nord		12,400		49,600	2008
Σ 3		AD Suhl	Eisfeld-Nord		28,000		112,000	
4	A 100	Buschkrugallee	Grenzallee	Asphalt	0,520	3	3,120	2004
	A 113	AD Neukölln	Späthstraße	Asphalt/ Beton	1,201	3	7,206	2004
		Späthstraße	Adlershof		4,662		27,972	2005
		Adlershof	AD Waltersdorf		8,149		48,894	2008
Σ 4		Buschkrugallee	AD Waltersdorf		14,012		84,072	
5	A 17	Dresden-Gorbitz	Dresden-Prohlis	Beton	12,510	2	50,040	2004
		Dresden-Prohlis	Pirna		9,500		38,000	2005
Σ 5		Dresden-Gorbitz	Pirna		22,010		88,040	
6	A 38	Heringen	Wallhausen	Beton	22,600	2	90,400	2004
		Eisleben	AD Halle-Süd		23,693		94,772	2008
Σ 6		Heringen	AD Halle-Süd		46,293		185,172	

Tab. 2.1: Ausgewählte Abnahme-/Gewährleistungsstrecken („ABG-Strecken“) der Bundesautobahnen für Untersuchungskollektiv I

Tabelle 2.2 zeigt die genaue örtliche Lage der ausgewählten 8 ABG-Streckenabschnitte der Bundesstraßen. Anders als bei den Autobahnen gibt es bei den ausgewählten Strecken keine Anschlussstellen, sodass die Abschnittsgrenzen mit Klartext nur ungenau beschrieben werden können. Tabelle 2.2 enthält daher zusätzlich die Netzknotennummern und die Stationierungen des Streckenbeginns und Streckenendes.

Die ausgewählten ABG-Streckenabschnitte der Bundesstraßen weisen eine Gesamtlänge von 44,774 km auf. Bei jeweils einem Fahrstreifen pro Richtung ergibt sich eine Messlänge von 179,096 km, wenn zweimal beide Richtungen gemessen werden.

In Tabelle 2.3 sind einige Kenngrößen der ausgewählten ABG-Streckenabschnitte der Bundes-

straßen für Untersuchungskollektiv I zusammengestellt. Der Ermittlung der Messlänge liegt eine Zweifachmessung in beiden Richtungen zugrunde. Da bei den Bundesstraßen kaum Beton- und Pflasterdecken auftreten, weisen ABG-Streckenabschnitte ausschließlich Asphaltdecken (Splittmastix) auf. Die Verkehrsfreigabejahre nach einem Neubau bzw. einer Erneuerung liegen zwischen 2005 und 2008.

Ab.Nr.	B Nr.	von	bis	Streckenbeginn			Streckenende		
				von NK	bis NK	Stat.	von NK	bis NK	Stat.
1	1	Horn	Reelkirchen	4119038	4120066	0	4020051	4020005	1.028
2	64	Müssingen	Warendorf	4013011	4013026	0	4013011	4013026	5.263
		Warendorf	Abzw. B 475	4013026	4013008	0	4013008	4014016	1.991
3	105	Karnin	Kummerow Heide	1642009	1643006	91	1642009	1643006	4.566
4	198	Bredenfelde	Hinrichshagen	2546003	2547212	200	2546003	2547212	5.900
5	104	Amtsgrenze Güstrow	Weitin	2444300	2444358	0	2444200	2445260	2.583
6	168	Friedland	Beeskow	3851007	3851016	664	3851007	3851016	1.511
				3851007	3851016	3.506	3851016	3851004	3.392
7	122	Rheinsberg	Zechliner Hütte	2843005	2843002	944	2843005	2843002	5.768
8	96	Finsterwalde	Sonnewalde	4348006	4347001	1.149	4348006	4347001	4.409
				4348006	4347001	5.360	4348006	4347001	6.938

Tab. 2.2: Netzkenngrößen der ausgewählten ABG-Streckenabschnitte der Bundesstraßen

Ab.Nr.	B Nr.	von	bis	Länge [km]	Messlänge [km]	FStr. pro Ri.	Deckenart	Verkehrsfreigabe [Jahr]
1	1	Horn	Reelkirchen	7,211	28,844	1	Asphalt	2007
2	64	Müssingen	Warendorf	5,263	21,052	1	Asphalt	2005
		Warendorf	Abzw. B 475	3,341	13,364	1		2006
3	105	Karnin	Kummerow Heide	4,475	17,9	1	Asphalt	2005
4	198	Bredenfelde	Hinrichshagen	5,700	22,8	1	Asphalt	2008
5	104	Amtsgrenze Güstrow	Weitin	4,722	18,888	1	Asphalt	2008
6	168	Friedland	Beeskow	0,847	3,388	1	Asphalt	2008
				3,553	14,212	1		
7	122	Rheinsberg	Zechliner Hütte	4,824	19,296	1	Asphalt	2007
8	96	Finsterwalde	Sonnewalde	3,260	13,04	1	Asphalt	2005
				1,578	6,312	1		

Tab. 2.3: Ausgewählte ABG-Streckenabschnitte der Bundesstraßen für Untersuchungskollektiv I

2.2 Streckenabschnitte mit mittelmäßigem und schlechtem Erhaltungszustand („ZEB-Strecken“)

Die nachfolgend mit „ZEB-Strecken“ bezeichneten Streckenabschnitte mit mittelmäßigem und schlechtem Erhaltungszustand sollten ursprünglich in die Messungen der BAST einbezogen werden. Im Hinblick auf den Messaufwand sollten daher in Abstimmung mit dem Auftraggeber Abschnitte mit entsprechenden Kriterien in der Nähe oder möglichst auch in unmittelbarem Anschluss der ABG-

Streckenabschnitte ausgewählt werden. Nach der unter dieser Maxime vorgenommenen Auswahl von Abschnitten mit mittelmäßigem und schlechtem Erhaltungszustand und der Festlegung des Untersuchungskollektivs I wurden die Messungen für die ZEB-Streckenabschnitte aus Aufwandsgründen abgesagt. Für die im Umfeld der ABG-Streckenabschnitte liegenden ZEB-Strecken sollten ersatzweise die Zustandsrohdaten der jüngsten ZEB berücksichtigt werden, d. h. der ZEB 2005/2006 der Bundesautobahnen und der ZEB 2007/2008 der Bundesstraßen.

2.2.1 ZEB-Streckenabschnitte des Untersuchungskollektivs I für Bundesautobahnen

Bild 2.2 veranschaulicht schematisch die regionale Lage der ZEB-Streckenabschnitte und der ABG-Abschnitte der Bundesautobahnen. Es wird ersichtlich, dass 2 ZEB-Abschnitte beibehalten sind, obwohl die in der Nähe liegenden ABG-Abschnitte aus Aufwandsgründen nicht in die Messungen einbezogen wurden.

Tabelle 2.4 enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten Netzkenngößen und Bestandsdaten der ZEB-Streckenabschnitte für Bundesautobahnen; die genauen Netzknotenbezeichnungen finden sich in Anlage 1. Die Gesamtlänge der ausgewählten ZEB-Streckenabschnitte für Bundesautobahnen liegt bei 151,637 km. Da die ZEB bei den Bundesautobahnen fahrstreifenweise erfolgt und dementsprechend für alle Fahrstreifen Zustandsdaten vorliegen, ist jedoch die Gesamtfahrstreifenlänge mit 683,920 km die wichtigere Bezugsgröße.

Bei der Auswahl der aus Tabelle 2.4 ersichtlichen ZEB-Streckenabschnitte der Bundesautobahnen für das Untersuchungskollektiv I wurde wie folgt verfahren:

- Aus der Ergebnisdatei der ZEB 2005/2006 wurden für die Zustandswerte der Allgemeinen Unebenheiten (ZWAUN), des Längsebenheitswirkindex (ZWLWI) und der Spurrinnen-tiefe (ZWSPT) die Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet, und zwar getrennt für die Hauptfahrstreifen (1. Fahrstreifen), die

Überholfahrstreifen (2. Fahrstreifen) und für die restlichen Fahrstreifen (3. und 4. Fahrstreifen). Außerdem wurden die prozentualen Summenhäufigkeiten für die Notenstufen 1,5, 2,5, 3,5 und 4,5 bestimmt (s. Beispiel in Bild 2.3).

- Die genannten mathematisch-statistischen Kenngrößen, d. h. die Mittelwerte, Standardabweichungen und relativen Summenhäufigkeiten, wurden anschließend, getrennt nach Fahr-richtungen, für die einzelnen Fahrstreifen der an die ABG-Strecken an beiden Enden anschließenden Streckenabschnitte ermittelt. Dabei wurden, je nach Lage der Anschlussstellen, Streckenabschnitte zwischen (knapp) 15 km und ca. 50 km betrachtet.

Aus einem Vergleich der mathematisch-statistischen Kenngrößen der gesamten ZEB 2005/2006 mit den entsprechenden Kenngrößen an die ABG-Strecken anschließender Abschnitte wurden die in Tabelle 2.4 aufgeführten Streckenabschnitte der Bundesautobahnen mit mittelmäßigem und schlechtem Erhaltungszustand („ZEB-Strecken“) des Untersuchungskollektivs I nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Um mittelmäßige und schlechte Zustände vorzufinden, sollten die Mittelwerte der Einzelabschnitte für mindestens einen der betrachteten Zustandswerte (ZWAUN, ZWLWI, ZWSPT, s. o.) größer (= schlechter) als der zugehörige Mittelwert im Gesamtnetz sein.
- Zur Gewährleistung einer erwünschten Streuung des Zustands sollten auch die Standardab-

Abs. Nr.	BAB	von Ast	bis Ast	Länge [km]	FS pro Ri.	Fahrstreifenlänge [km]	Deckenart
1	6	Altdorf	Amberg-Ost	49,742	2	198,968	Asphalt
2	73	AK Bamberg*	Hirschaid	14,741	2	58,964	Asphalt
3	71	Gräfenroda	AD Suhl	20,527	2	82,108	Asphalt
4	100	AD Funkturm	AD Neukölln	12,684	3	76,104	Asphalt
5	2	AK BS-Nord	AK WOB-Königs-lutter	14,337	3	86,022	Asphalt
6	4	AD Dresden-West	AD Dresden-Nord	11,665	3	69,990	Beton
7	38	AD Halle-Süd	Merseburg-Süd	13,508	2	54,032	Beton
8	21	Wahlstedt	Leezen	14,433	2	57,732	Asphalt

Tab. 2.4: Streckenabschnitte der Bundesautobahnen mit mittelmäßigem und schlechtem Erhaltungszustand („ZEB-Strecken“) des Untersuchungskollektivs I

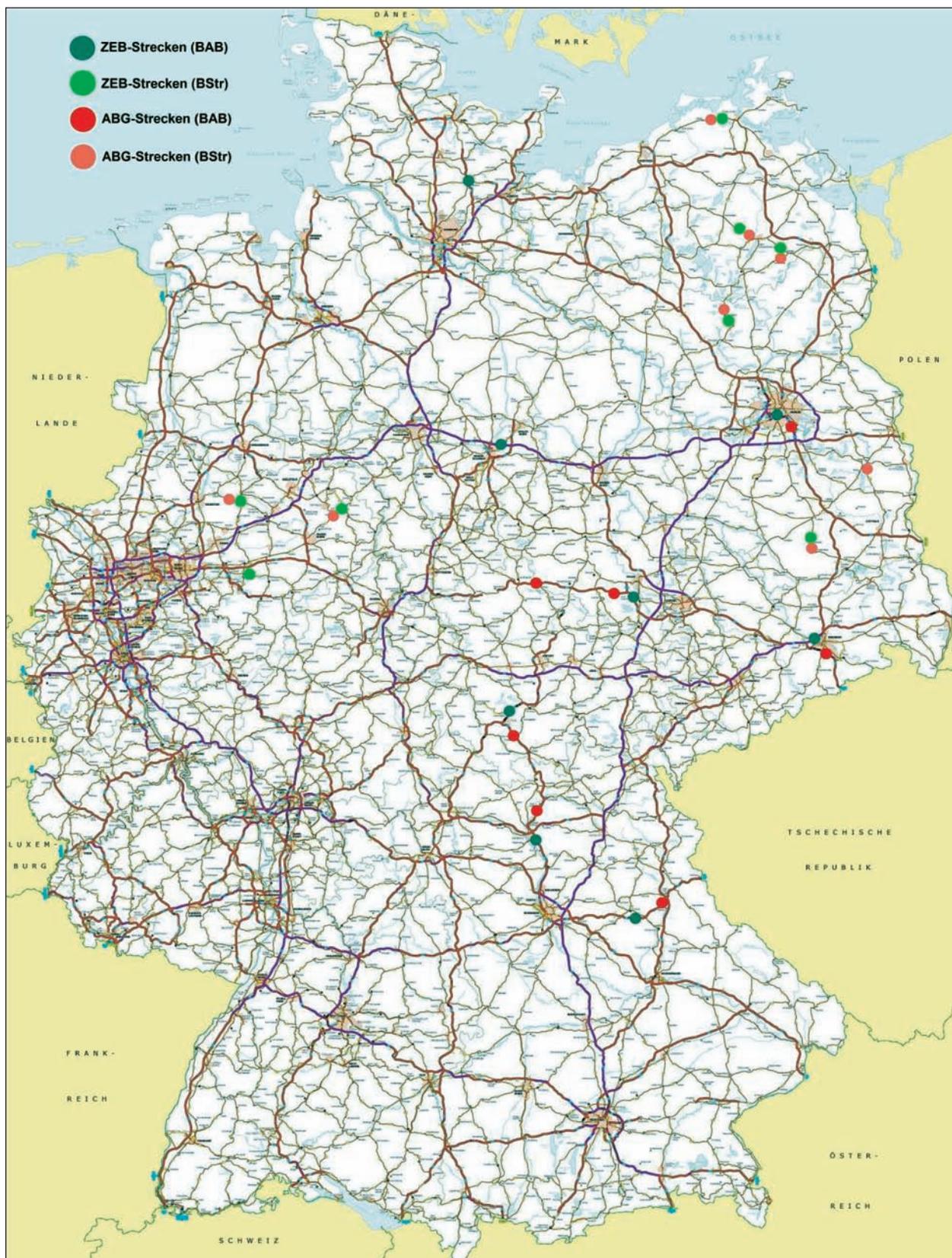


Bild 2.2: Regionale Lage der ausgewählten Abnahme-/Gewährleistungsstrecken („ABG-Strecken“) und der ZEB-Strecken des Untersuchungskollektivs I der Bundesautobahnen und Bundesstraßen

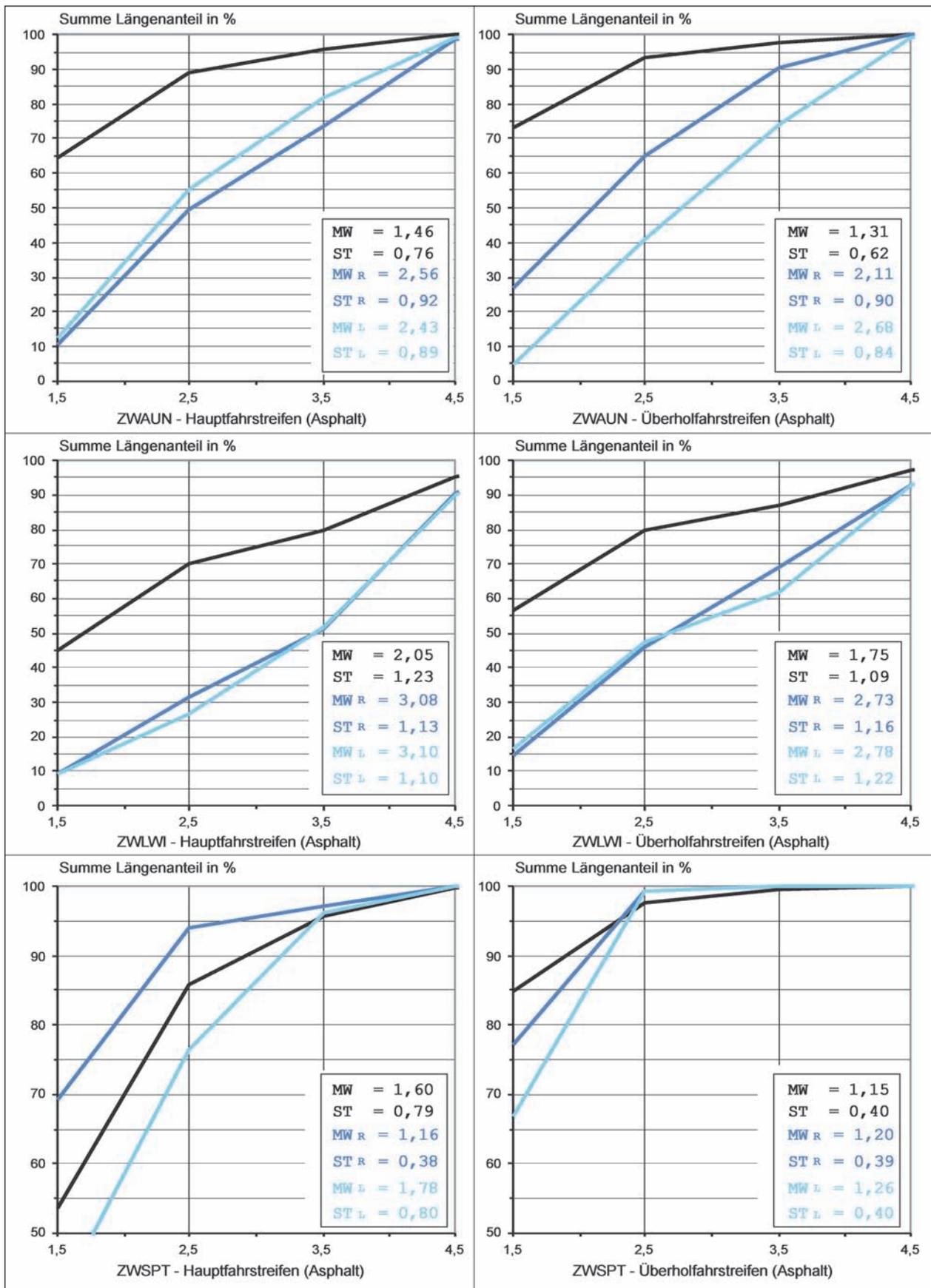


Bild 2.3: Exemplarische Darstellung der fahrstreifenbezogenen Mittelwerte, Standardabweichungen und Summenhäufigkeiten der ZEB 2005/2006 (MW, ST, schwarz) und der an die ABG-Strecken anschließenden Abschnitte (MWR, STR, MWL, STL, blau)

weichungen für mindestens einen der betrachteten Zustandswerte über dem zugehörigen Mittelwert des Gesamtnetzes liegen.

- Die Häufigkeiten der sehr guten Zustandswerte (bis 1,5) sollten für mindestens einen der betrachteten Zustandswerte unter den entsprechenden Häufigkeiten im Gesamtnetz liegen.

Mit Hilfe der Größe der Mittelwerte und anhand des Verlaufs der Summenhäufigkeiten kann abgeschätzt werden, ob der Zustand der betrachteten Streckenabschnitte mittelmäßig oder schlecht ist. Der in der Beispieldarstellung in Bild 2.3 berücksichtigte Abschnitt ist bezüglich der Zustandswerte ZWAUN und ZWLWI für den Hauptfahrstreifen im schlechten bis sehr schlechten Zustandsbereich, da die mittleren Zustandswerte deutlich größer sind als die Netzmittelwerte und nur ca. 10 % der Zustandswerte unter 1,5 liegen (gegenüber ca. 65 % im Netzmittel bei ZWAUN und ca. 45 % beim ZWLWI). Beim Zustandswert ZWSPT des Hauptfahrstreifens ist nur eine Richtung (L für „links“) im Zustand deutlich schlechter als das Netzmittel.

Die Bilddarstellungen und die zugehörigen Zahlenwerte der mathematisch-statistischen Kenngrößen der für die Bundesautobahnen ausgewählten und in Tabelle 2.4 aufgeführten ZEB-Strecken sind in Anlage 2 zusammengestellt.

2.2.2 ZEB-Streckenabschnitte des Untersuchungskollektivs I für Bundesstraßen

Die Streckenabschnitte der Bundesstraßen mit mittelmäßigem und schlechtem Erhaltungszustand

(„ZEB-Strecken“) des Untersuchungskollektivs I wurden nach ähnlichen Gesichtspunkten ausgewählt wie die entsprechenden Strecken der Autobahnen:

- Da ursprünglich geplant war, die ZEB-Strecken der Bundesstraßen in die BAST-Messungen einzubeziehen, sollten sie möglichst gut an die ABG-Strecken anschließen.
- Die endgültige Auswahl der ZEB-Strecken aus den an die ABG-Strecken anschließenden Abschnitten erfolgte auf Basis der Zustandsdaten aus der ZEB 2007/2008; bevorzugt wurden dabei Strecken mit mittelmäßigem und schlechtem Zustand.

Tabelle 2.5 enthält die Netzkenngrößen der ZEB-Strecken des Untersuchungskollektivs I der Bundesstraßen. Die Gesamtlänge der ausgewählten Abschnitte beträgt 37,469 km.

2.3 DEGES-Strecken

Im Rahmen des FE 89.0197/2007/AP „Bewertung unterschiedlicher Bauweisen für den Oberbau von Straßenkonstruktionen“ wurden Untersuchungsstrecken für Bundesautobahnen definiert und mit sehr vielen Detailangaben dokumentiert. Diese Strecken, die nachfolgend als „DEGES-Strecken“ bezeichnet werden, stehen zusätzlich für die Analysen des BLP-Verfahrens zur Verfügung.

Bild 2.4 veranschaulicht die regionale Lage der DEGES-Strecken; ergänzend sind auch die ausge-

Ab.Nr.	B Nr.	von	bis	Streckenbeginn			Streckenende			Länge [km]
				von NK	bis NK	Stat.	von NK	bis NK	Stat.	
1	1	Reelkirchen	Blomberg	4020005	4020013	0	4020013	4020055	1.591	4.892
2	64	Warendorf	Beelen	4014016	4014007	0	4014022	4014005	1.197	7.363
3	516	Theiningsen	Körbecke	4414003	4414004	200	4414005	4416006	934	4.779
4	105	Kummerow Heide	Martensdorf	1642009	1643006	4.566	1642009	1643006	9.054	4.488
5	104	Neu Käbelich	Petersdorf	2446356	2547355	0	2446356	2547355	1.917	4.478
6	104	Gädebehn	Amtsgrenze Güstrow	2344261	2344360	0	2444359	2444300	1.546	4.199
7	122	K 6813 -> Zechow	Rheinsberg (L 15)	2943004	2843006	0	2943004	2843006	4.352	4.352
8	96	Sonnenwalde	Abzweig L 56	4347003	4248010	0	4248009	4248008	2.918	2.918

Tab. 2.5: Streckenabschnitte der Bundesstraßen mit mittelmäßigem und schlechtem Erhaltungszustand („ZEB-Strecken“) des Untersuchungskollektivs I



Bild 2.4: Regionale Lage zusätzlicher Untersuchungsstrecken („DEGES-Strecken“) sowie der ausgewählten Abnahme-/Gewährleistungsstrecken („ABG-Strecken“) und der ZEB-Strecken des Untersuchungskollektivs I der Bundesautobahnen und Bundesstraßen

wählten ABG-Strecken und ZEB-Strecken eingetragen. Angaben zur genauen Lage der DEGES-Strecken mit einer Gesamtlänge von ca. 285 km finden sich in Anlage 3.

3 Grundlagen der Ebenheitsbewertung

Zum besseren Verständnis und zur späteren Herleitung von Grenzwertvorschlägen für das bewertete Längsprofil soll an dieser Stelle zunächst auf einige Grundlagen eingegangen werden. Insbesondere der Zusammenhang zwischen der Standardabweichung bzw. der Varianz des Höhenlängsprofils und ihrer Spektralen Leistungsdichte soll betrachtet werden.

3.1 Spektrale Leistungsdichte des Höhenlängsprofils

Eine Straße im Längsschnitt weist in vielen Fällen eine regellose Unebenheit auf. Mathematisch gesehen kann man sich das Straßenlängsprofil als eine Überlagerung (Addition) vieler Sinus-Wellen mit jeweils unterschiedlicher Wellenlänge und Amplitude vorstellen. Das soll in Bild 3.1 anhand eines Würfels mit 4 parallel angeordneten Sinus-Wellen verdeutlicht werden.

Schräg von links auf den Würfel geschaut sieht man auf der Würfeloberfläche das Ergebnis der

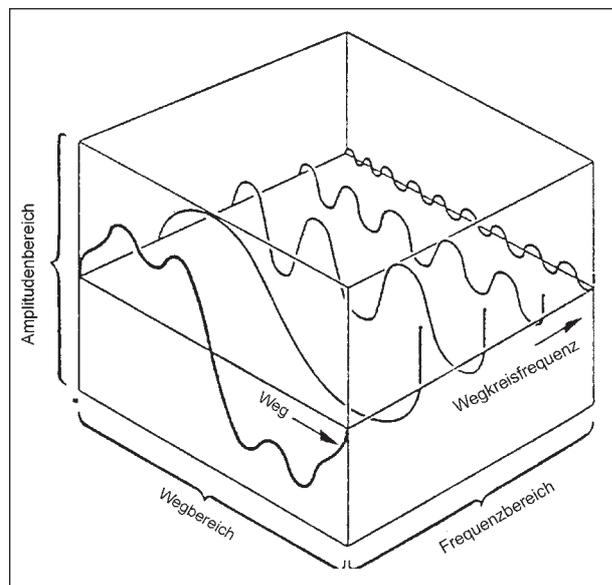


Bild 3.1: Zur Erklärung der Spektralen Dichte des Höhenlängsprofils

Überlagerung der 4 Wellen: das Höhenlängsprofil. Diese Blickrichtung – Unebenheitshöhe über dem Weg – entspricht der Darstellung im Wegbereich.

Schräg von rechts auf den Würfel geschaut ergibt sich der gleiche Sachverhalt – nur eben aus einem anderen Blickwinkel: dem Frequenzbereich. Hier sind – ohne die linke Würfelfkante – lediglich 4 Linien oder Punkte zu sehen. Sie markieren die zu den Wellen gehörenden Amplituden, und zwar angeordnet über ihrer Wegfrequenz ($1/\text{Wellenlänge}$, L^{-1}). Diese Darstellung nennt man Amplitudengang.

Was die Skizze allerdings nicht richtig wiedergibt, ist, dass die einzelnen Wellen nicht alle mit dem Wert Null beginnen, sondern jede einzelne Welle ihre eigene Phasenverschiebung gegenüber dem Längsprofilanfang (hier: der linken Würfelfkante) hat, und zwar zwischen $-\pi$ und $+\pi$ ihrer Periode. Diese Phaseninformation – aufgetragen ebenfalls über der Wegfrequenz $1/L$ – nennt man Phasengang (in Bild 3.1 nicht dargestellt).

Amplituden- und Phasenspektrum (bzw. „-gang“) zusammen bilden das komplette Fourier-Spektrum, auch „Fourier-Transformierte“ genannt. Das mathematische Hinüberschwenken von der linken Draufsicht auf die rechte nennt man Fourier-Transformation. Sie wird bewältigt durch eine mathematische Transformations-Vorschrift, die auf das gemessene Straßenlängsprofil angewandt wird und die in der für Rechner optimierten Version als „Fast Fourier Transform“ (FFT) bekannt ist. Durch die Fourier-Transformation kann das Straßenlängsprofil in seine spektralen Bestandteile – Wellenlänge, Amplitude und Phase – überführt werden.

Ein wahres Straßenlängsprofil kann durch die Addition von nur 4 verschiedenen Wellen nicht annähernd abgebildet werden. Für ein Längsprofil bestehend aus $N = 1.024$ Höhenpunkten im Abstand von $\Delta x = 0,1$ m beispielsweise ergibt die Fourier-Transformation $N/2 = 512$ Wellen, wobei die kleinste eine Wellenlänge von $0,2$ m ($2 \Delta x$) und die größte eine Wellenlänge von $102,4$ m ($1.024 \Delta x$) aufweisen.

Das heißt, die Fourier-Transformierte bzw. das Spektrum weist 511 Linien oder Punkte auf, die die Amplituden, aufgetragen über ihrer jeweiligen Wegfrequenz $1/L$ oder Wegkreisfrequenz $\Omega = 2\pi/L$, markieren. Die Frequenzstützpunkte liegen zwischen $\Omega_{\min} = 2\pi/102,4 \text{ m}^{-1}$ und $\Omega_{\max} = 2\pi/0,2 \text{ m}^{-1}$ in Schrittweiten zu $\Delta\Omega = \Omega_{\min}$.

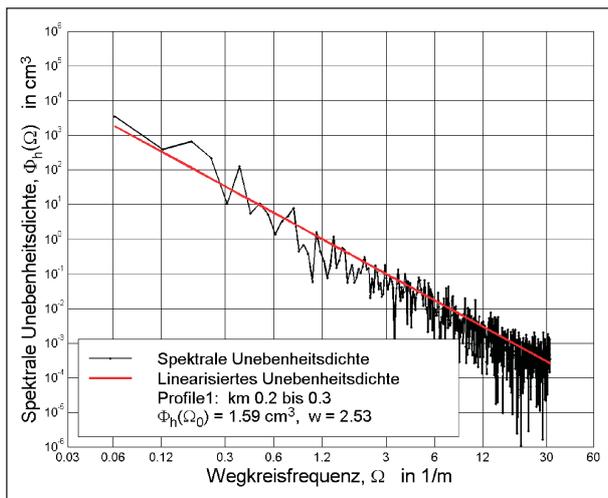


Bild 3.2: Spektrale Leistungsdichte des Höhenlängsprofils

Quadriert man jede dieser 512 Amplituden und dividiert sie anschließend durch die Frequenz, genauer gesagt durch $N \cdot \Omega_{max}$, so erhält man das Leistungsdichtespektrum oder die Spektrale Leistungsdichte des Straßenlängsprofils. Die Spektrale Leistungsdichte ist ein Indikator für die allgemeine oder regellose Unebenheit der Straße.

Bild 3.2 zeigt die Spektrale Leistungsdichte eines 102,4 m langen Längsprofils. Sie ist im doppelt-logarithmischen Maßstab dargestellt. Zur Bestimmung des so genannten Unebenheitsmaßes (AUN) wird in dieses Diagramm mit Hilfe der „Methode der kleinsten quadratischen Abweichungen“ eine Ausgleichskurve eingepasst (gerade Linie). Das allgemeine Unebenheitsmaß (AUN) ist der Wert dieser „linearisierten“ Spektralen Unebenheitsdichte bei einer Wegkreisfrequenz $\Omega_0 = 2\pi / L_0 = 1m^{-1}$, d. h. bei einer Wellenlänge von $L_0 = 6,28$ m.

Ein Unebenheitsmaß von 1 cm^3 ($= 10^{-6}\text{ m}^3$) kennzeichnet eine gute Straße. Die Steigung der Geraden im doppelt-logarithmischen Maßstab wird als Welligkeit (w) bezeichnet. Befestigte Straßen haben eine Welligkeit zwischen 1,5 und 3. Eine große Welligkeit bedeutet, dass die langen Wellen (d. h. kleine Ω) die Unebenheit prägen; eine kleine Welligkeit dagegen, dass die kurzen Wellen (also große Ω) die Straßenoberfläche prägen („kurzwellige“ Unebenheiten).

Die Gleichung für das linearisierte Spektrum lautet:

$$\Phi_h(\Omega) = \Phi_h(\Omega_0) \left(\frac{\Omega}{\Omega_0} \right)^{-w} \quad (3.1)$$

mit

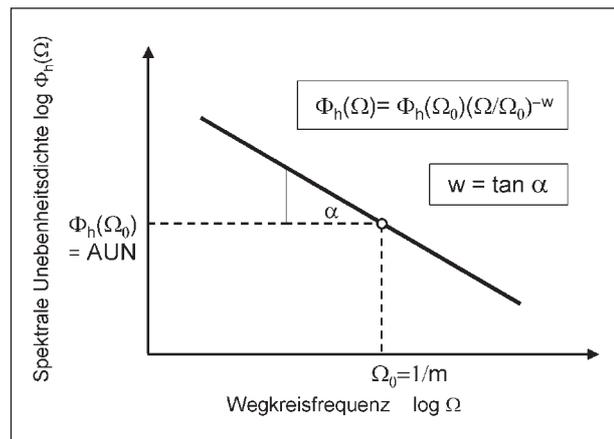


Bild 3.3: Ermittlung des Unebenheitsmaßes (AUN)

$\Phi_h(\Omega_0)$ Unebenheitsmaß (AUN) in m^3

$\Omega_0 = 1\text{ m}^{-1}$ Bezugswegkreisfrequenz

w Welligkeit

Bild 3.3 verdeutlicht die Ermittlung von Unebenheitsmaß und Welligkeit. Für die Bewertung der Längsebenheit ist die Tatsache von Bedeutung, dass die Fläche unter der Spektralen Leistungsdichte der Varianz bzw. dem Quadrat der Standardabweichung des Straßenlängsprofils entspricht:

$$\sigma_h^2 = \int \Phi_h(\Omega) d\Omega \quad (3.2)$$

Der Erwartungswert für die Streuung des Längsprofils lässt sich somit auch aus der Summation der 511 Spektrallinien des Leistungsdichte-Spektrums berechnen:

$$s_h^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N h^2(x_i) = \Delta\Omega \cdot \sum_{k=1}^{N/2-1} \Phi_h(\Omega_k) \quad (3.3)$$

Dabei stellt $h(x)$ das Straßenlängsprofil dar, das in unserem Beispiel $N = 1.024$ Stützpunkte mit einer Stützweite von $0,1$ m aufweist.

3.2 Bewertetes Längsprofil (BLP)

Das Berechnungsschema des Bewerteten Längsprofils ist in Bild 3.4 dargestellt.

- a) Das Längsprofil $h(x)$ wird zunächst in sein Spektrum (Fourier-Transformierte) überführt und anschließend mit einer Bewertungsfunktion $B(\Omega)$ multipliziert.
- b) Damit liegt ein Bewertetes Spektrum vor, das in insgesamt 9 Oktaven zerlegt einzeln zurück-

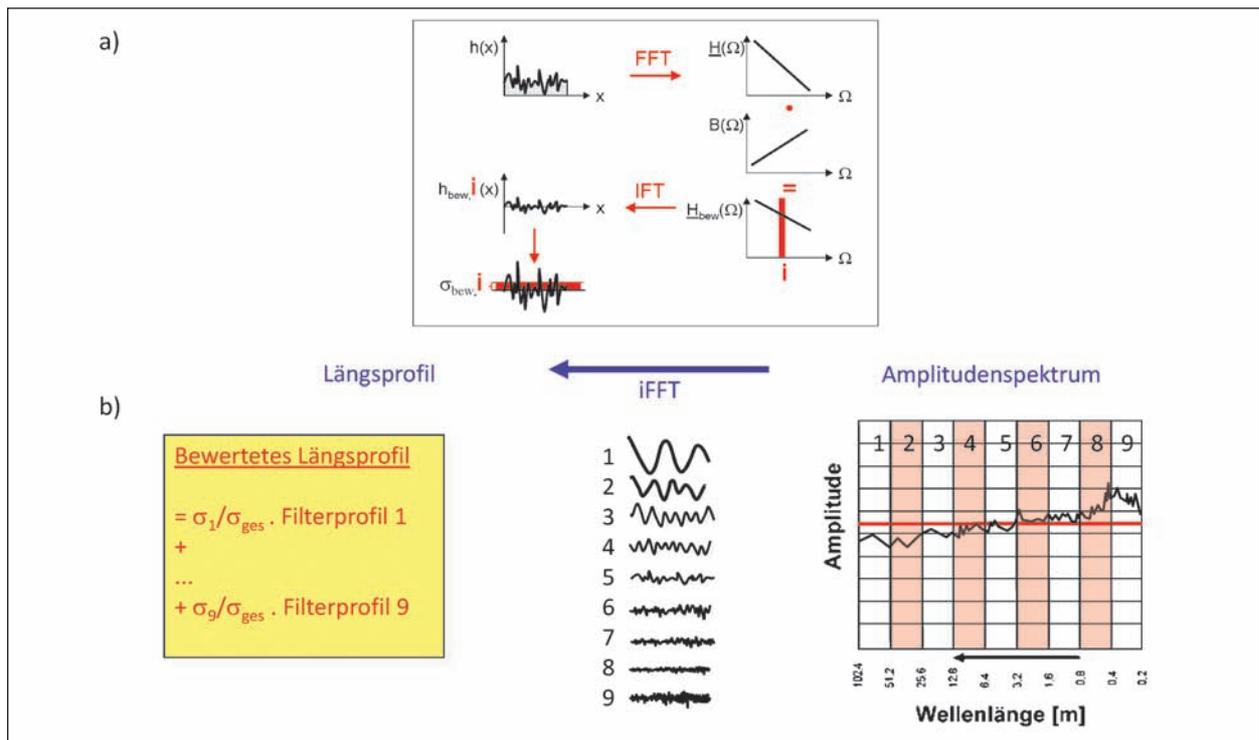


Bild 3.4: Berechnungsschema des Bewerteten Längsprofils (BLP)

transformiert wird (inverse Fourier-Transformation, IFFT). Nach der IFFT liegen 9 Oktavbandgefilterte bewertete Längsprofile vor, die nach einer bestimmten Additionsvorschrift aufsummiert das Bewertete Längsprofil ergeben.

Die Additionsvorschrift ist im unteren Teil der Abbildung angegeben; danach werden die 9 Teilprofile mit einem Gewichtungsfaktor versehen aufsummiert. Der Gewichtungsfaktor stellt das Verhältnis der Standardabweichung des jeweiligen Teilprofils zur Standardabweichung der Summe aller 9 Teilprofile und damit eine leistungsbezogene Gewichtung dar. Als Unebenheitsindikatoren werden die Spannweite (DBL) sowie die Standardabweichung (SBL) für definierte Abschnittslängen (beispielsweise 100 m) angegeben.

Das Quadrat der Bewertungsfunktion $B(\Omega)$ hat folgende Form:

$$B^2(\Omega) = \frac{L_{\max}^{w^*-1} - L_{\min}^{w^*-1}}{(2\pi)^{w^*-1} (2^{\frac{w^*-1}{2}} - 2^{-\frac{w^*-1}{2}})} \cdot \Omega^{w^*-1} \quad (3.4)$$

mit w^* als „charakteristische Steigung“, die zwischen 2 und 3 liegt.

Für die visuelle Darstellung des Bewerteten Längsprofils wird an dieser Stelle auf Kapitel 11 „Darstellung am Einzelprofil“ verwiesen, in dem Bewertungsbeispiele dargestellt werden.

3.3 Zusammenhang zwischen Bewertetem Längsprofil und Spektraler Dichte

Zur Festlegung von Grenzwerten für das Bewertete Längsprofil ist der Zusammenhang zwischen der Spektralen Dichte des Straßenlängsprofils und dem Bewerteten Längsprofil wichtig. An dieser Stelle soll dieser Zusammenhang hergeleitet werden. Die folgenden Ausführungen sind jedoch zum Gesamtverständnis nicht zwingend notwendig, sodass weniger geneigte Leser aus diesem Kapitel lediglich die Tatsache mitnehmen möchten, dass die Indikatoren des Bewerteten Längsprofils aus den Indikatoren der Spektralen Dichte berechnet werden können, und auf die hergeleiteten Formeln am Ende dieses Abschnittes verwiesen werden.

Gemäß der Definition in Kapitel 3.2 ergibt sich die Gesamtleistung des Bewerteten Längsprofils aus der Summe der gewichteten Teilleistungen in den 9 Oktavbändern zu:

$$\sigma_{BLP}^2 = \sum_{i=1}^9 \left(\frac{\sigma_i^2}{\sigma_{ges}^2} \cdot \sigma_i^2 \right) \quad (3.5)$$

mit

$$\sigma_{ges}^2 = \sum_{i=1}^9 \sigma_i^2 \quad (3.6)$$

Für σ_i^2 gilt analog zu Gl. (3.2):

$$\sigma_i^2 = \int \Phi_{BLP}(\Omega) d\Omega \quad (3.7)$$

wobei die entsprechenden Oktavbandgrenzen in die Formel eingesetzt werden müssen. Für die Spektrale Dichte des Bewerteten Längsprofils wiederum gilt:

$$\Phi_{BLP}(\Omega) = B^2(\Omega) \cdot \Phi_h(\Omega) \quad (3.8)$$

mit $B(\Omega)$ als Bewertungsfunktion. Mit Gl. (3.1) ergibt sich

$$\sigma_i^2 = \int B^2(\Omega) \cdot \Phi_h(\Omega) d\Omega = AUN \cdot \Omega_0^w \int B^2(\Omega) \cdot \Omega^{-w} d\Omega \quad (3.9)$$

$B^2(\Omega)$ wiederum kann nach Gl. (3.4) als $k(w^*) \cdot \Omega^{w^*-1}$ geschrieben werden, womit

$$\sigma_i^2 = k(w^*) \cdot AUN \cdot \Omega_0^w \int \Omega^{w^*-w-1} d\Omega \quad (3.10)$$

Nach Ausführung der Integration erhält man

$$\sigma_i^2 = k(w^*) \cdot AUN \cdot \Omega_0^w \frac{(2\pi)^{w^*-w}}{w-w^*} (L_2^{w-w^*} - L_1^{w-w^*}) \quad (3.11)$$

Dieser Ausdruck kann weiter vereinfacht werden zu

$$\sigma_i^2 = k(w, w^*) (L_2^{w-w^*} - L_1^{w-w^*}) \quad (3.12)$$

mit

$$k(w, w^*) = \frac{L_{\max}^{w^*-1} - L_{\min}^{w^*-1}}{2^{\frac{w^*-1}{2}} - 2^{-\frac{w^*-1}{2}}} \cdot \frac{AUN \cdot \Omega_0^w}{(w-w^*)(2\pi)^{w-1}}$$

wobei L_1, L_2 Oktavbandgrenzen und L_{\min}, L_{\max} die Grenzen des gesamten Spektrums sind.

Setzt man

$$\sigma_{ges}^2 = k(w, w^*) (L_{\max}^{w-w^*} - L_{\min}^{w-w^*})$$

so ergibt sich die Varianz des Bewerteten Längsprofils mit Gl. (3.5) zu

$$\sigma_{BLP}^2 = C(w, w^*) \cdot \sum_{i=0}^9 (L_{i+1}^{w-w^*} - L_i^{w-w^*})^2 \quad (3.13)$$

mit

$$C(w, w^*) = \frac{L_{\max}^{w^*-1} - L_{\min}^{w^*-1}}{L_{\max}^{w-w^*} - L_{\min}^{w-w^*}} \cdot \frac{AUN \cdot \Omega_0^w}{(2^{\frac{w^*-1}{2}} - 2^{-\frac{w^*-1}{2}})(w-w^*)(2\pi)^{w-1}}$$

L_i steht für die Oktavbandgrenzen 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8, 25.6, 51.2 und 102.4 m. L_{\max} be-

zeichnet die größte betrachtete Wellenlänge, in diesem Beispiel 102.4 m, und L_{\min} die kleinste betrachtete Wellenlänge, hier 0.2 m. AUN ist das spektrale Unebenheitsmaß nach Gl. (3.1) und w die Welligkeit der Straße. w^* bezeichnet die „charakteristische“ Steigung der Bewertungsfunktion nach Gl. (3.4).

Sonderfall: $w = w^*$

Gl. (3.13) kann nicht angewendet werden, wenn die charakteristische Steigung der Bewertungsfunktion, w^* , gleich groß ist wie die Welligkeit w der Straße. In diesem Falle wird Gl. (3.10) zu

$$\sigma_i^2 = k(w^*) \cdot AUN \cdot \Omega_0^{w^*} \int \Omega^{-1} d\Omega \quad (3.14)$$

mit

$$k(w^*) = \frac{L_{\max}^{w^*-1} - L_{\min}^{w^*-1}}{(2\pi)^{w^*-1} (2^{\frac{w^*-1}{2}} - 2^{-\frac{w^*-1}{2}})}$$

Nach Ausführung der Integration erhält man

$$\sigma_i^2 = k(w^*) \cdot AUN \cdot \Omega_0^{w^*} \ln \frac{L_2}{L_1} = k(w^*) \cdot AUN \cdot \Omega_0^{w^*} \ln 2$$

(für Oktaven gilt: $L_2/L_1 = 2$).

Die Varianz σ_i^2 ist in diesem Falle also für alle Oktaven gleich. Das bedeutet, dass jede Oktave gleich viel zur Gesamtleistung des Bewerteten Längsprofils beiträgt. Mit

$$\sigma_{ges}^2 = \sum_{i=1}^9 \sigma_i^2 = 9 \cdot \sigma_i^2$$

ergibt sich die Gesamtleistung bzw. Varianz des Bewerteten Längsprofils nach Gl. (3.5) damit zu:

$$\sigma_{BLP}^2 = \sum_{i=1}^9 \left(\frac{\sigma_i^2}{\sigma_{ges}^2} \cdot \sigma_{ges}^2 \right) = \sigma_i^2 = k(w^*) \cdot AUN \cdot \Omega_0^{w^*} \ln 2$$

Damit ist (3.15)

$$\sigma_{BLP}^2 = \frac{AUN \cdot \Omega_0^{w^*} \ln 2}{(2\pi)^{w^*-1} (2^{\frac{w^*-1}{2}} - 2^{-\frac{w^*-1}{2}})} \cdot (L_{\max}^{w^*-1} - L_{\min}^{w^*-1})$$

Näherungsformel für den Sonderfall $w = w^*$

Näherungsweise – insbesondere für $w \leq 2,5$ gilt:

$$\frac{2^{\frac{w^*-1}{2}} - 2^{-\frac{w^*-1}{2}}}{\ln 2} \approx w^* - 1$$

In Gl. (3.15) eingesetzt ergibt sich:

$$\sigma_{BLP}^2 = \frac{AUN \cdot \Omega_0^{w^*}}{(w^* - 1)(2\pi)^{w^* - 1}} \cdot (L_{\max}^{w^* - 1} - L_{\min}^{w^* - 1}) \quad (3.16)$$

Der Fehler durch Gebrauch der Näherungsformel kann sehr leicht bestimmt werden, indem man die Gleichungen (3.16) und (3.15) durcheinander dividiert:

$$\varepsilon = \frac{2^{\frac{w^* - 1}{2}} - 2^{-\frac{w^* - 1}{2}}}{(w^* - 1) \cdot \ln 2} - 100\%$$

Die Fehler sind 2 % bzw. 4 % für $w = w^* = 2,0$ und $2,4$ respektive. Maximal wird der Fehler bei $w = w^* = 3$ mit 8,2 % (siehe Bild 3.5).

Sonderfall: $w = w^* = 2$

Für den Sonderfall, dass $w = w^* = 2$, vereinfacht sich der Ausdruck zu:

$$\sigma_{BLP}^2 = \frac{1}{2\pi} AUN \cdot \Omega_0^2 \cdot (L_{\max} - L_{\min}) \quad (3.17)$$

Für den Sonderfall, dass $w^* = w$ gesetzt werden kann, gilt:

Die Varianz des Bewerteten Längsprofils ist genauso groß wie die Varianz des unbewerteten, d. h. des

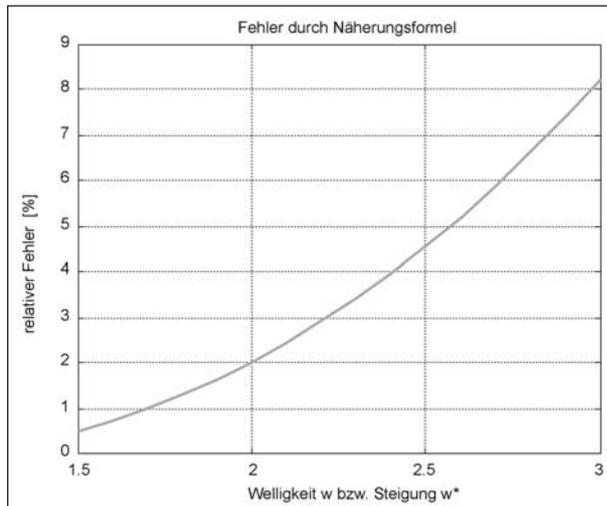


Bild 3.5: Fehler durch Gebrauch der Näherungsformel

Originalprofils. Das kann auf einfache Weise nachgeprüft werden, indem man Gl. (3.1) in Gl. (3.2) einsetzt und integriert und das Ergebnis mit Gl. (3.16) bzw. Gl. (3.17) (für $w^* = 2$) vergleicht, was an dieser Stelle jedoch nicht extra ausgeführt wird.

3.4 Welligkeiten im deutschen Fernstraßennetz

Aus den regelmäßigen Zustandserfassungen und -bewertungen (ZEB) der Bundesstraßen und Bundesautobahnen sind die mittleren Welligkeiten (w) auf der Basis von 100-m-Abschnittslängen ermittelt worden (Daten der Bundesanstalt für Straßenwesen), die in Tabelle 3.1 zusammengestellt sind. Die Datengrundlage umfasst die Zustandserfassungen der Jahre 1999 bis 2006. Danach ergeben sich für Autobahnen Welligkeiten um 2,2 und für Bundesstraßen (in der Regel Asphaltbauweise) Welligkeiten um 2,6.

Für das österreichische Autobahn- und Schnellstraßennetz werden in [SPIELHOFER et al. 2009] Welligkeitsverteilungen angegeben, die ein Maximum bei $w = 2,6$ aufweisen. Die angegebenen Verteilungen lassen auf einen Mittelwert von etwa 2,5 schließen. Allerdings sind diese Welligkeiten nicht mit den in Tabelle 3.1 angegebenen zu vergleichen, da ihre Berechnung auf eine Abschnittslänge von 1.000 m beruht und daher auch Wellenlängen über 100 m bis zu 1.000 m in die Ermittlung der spektralen Steigung eingehen.

4 Untersuchungen mit unterschiedlichen Varianten des BLP

Die wichtigsten Parameter des Bewerteten Längsprofils (BLP) sind der zugrunde gelegte Wellenlängenbereich, charakterisiert durch L_{\min} und L_{\max} , sowie die charakteristische Steigung w^* (siehe

Kapagne	Alle Bauweisen		Asphalt		Beton	
	w	Anzahl	w	Anzahl	w	Anzahl
BAB 2001/02	2,23878	505.349	2,27214	370.389	2,13990	124.965
BAB 2005/06	2,22342	523.719	2,24434	387.844	2,16373	135.843
BS 1999/2000	2,60655	488.134	2,61140	483.553	2,21565	2.397
BS 2003/2005	2,59564	732.511	2,59993	726.512	2,14453	2.520

Tab. 3.1: Welligkeiten (w) im deutschen Fernstraßennetz (Bundesanstalt f. Straßenwesen)

Gl. 3.4). Im Folgenden werden die Parametereinstellungen diskutiert.

4.1 Wellenlängenbereich

In der Europäischen Norm EN 13036-5 ist der Wellenlängenbereich für die Längsebenheit definiert. Danach umfasst die Längsebenheit Wellenlängen zwischen 0,5 und 50 m. Die maximale Wellenlänge ergibt sich beispielsweise aus einer angenommenen Höchstgeschwindigkeit von 50 m/s (180 km/h) und einer minimalen Fahrzeugeigenfrequenz von 1 Hz (Aufbauresonanz) über den Zusammenhang $L = v/f$. Die minimale Wellenlänge von 0,5 m ist ein akademischer Wert, der so festgelegt wurde, weil er gut mit den Wellenlängendefinitionen der Rauheit (Mikro-, Makro- und Megatextur) zusammenpasst. Danach schließt die Ebenheit unmittelbar an die Megatextur (max. Wellenlänge: 0,5 m) an. Realitätsnah ist diese Festsetzung nicht, weil auch kürzere Unebenheiten, wie sie etwa an Bahnübergängen oder an Brückenübergängen anzutreffen sind, große Auswirkungen haben können. Sinnvoller ist es, die untere Grenzwellenlänge an der Länge der Reifenaufstandsfläche festzumachen, wobei der Reifenlatsch als ein Filter anzusehen ist, der Wellenlängen, die kleiner als die Latschlänge sind, zunehmend unterdrückt. In diesem Falle liegt die untere Grenzwellenlänge bei etwa 0,2 bis 0,3 m, wenn man die typischen Latschlängen von Pkw und Lkw in Betracht zieht. Diese Betrachtung bot sich in Deutschland in der Vergangenheit auch deswegen an, weil der Messpunktabstand des Längsprofils auf 0,1 m und damit die untere Grenzwellenlänge bei der Fourier-Transformation auf 0,2 m festgelegt waren.

Die Wellenlängenbegrenzung des Bewerteten Längsprofils auf 50 m erfolgt über einen Butterworth-Filter 4. Ordnung, wie er in Anhang A1 beschrieben ist. Die Begrenzung zu kleinen Wellenlängen wurde ebenfalls mit Butterworth-Filtern mit Grenzwellenlängen von 0,2, 0,3 und 0,5 m vorge-

nommen, in der endgültigen Version des BLP jedoch aus Gründen, die im Verlauf des Berichtes noch aufgeführt werden, über einen Gleitenden Mittelwert realisiert, der über jeweils 3 Profilpunkte mittelt. Er bildet den Latsch-Effekt ab und stellt eine untere Wellenlängenbegrenzung auf 0,2 bis 0,3 m dar. Bild 4.1 veranschaulicht schematisch den Gleitenden Mittelwert gegenüber dem Originalprofil.

4.2 Charakteristische Steigung („Welligkeit“) des Bewerteten Längsprofils

Die Wahl der charakteristischen Steigung (w^*) beeinflusst, in welchem Verhältnis lang- und kurzwellige Unebenheiten in das Bewertete Längsprofil eingehen. Ein hohes w^* (siehe Gl. 3.4) führt zu einer Anhebung (Betonung) der kurzwelligen Unebenheiten (hohe Ω) gegenüber den langwelligen, eine niedrige Steigung dagegen legt die Betonung eher auf die langwelligen Unebenheiten (niedrige W). Will man eine möglichst gleichmäßige Bewertung aller Wellenlängen über den gesamten Wellenlängenbereich erreichen, so ist die charakteristische Steigung w^* möglichst so einzustellen, dass sie dem „Gros“ der Welligkeiten (w) im betrachteten Straßennetz entspricht. Das ist jedoch gar nicht so einfach. Die Welligkeiten im deutschen Fernstraßennetz variieren zwischen $w = 1,5$ und $w = 3,0$, wobei der Durchschnittswert nach den Angaben in Tabelle 3.1 zwischen $w = 2,4$ und $w = 2,5$ liegt. Zudem weisen Bundesstraßen mit $w = 2,6$ im Mittel eine andere Welligkeit auf als Autobahnen, bei denen die Welligkeit im Durchschnitt bei etwa 2,2 liegt. Das legt den Gedanken nahe, für Autobahnen ein anderes w^* zu wählen als für Bundesstraßen. Dieser Gedanke soll jedoch nicht weiter verfolgt werden, weil das dazu führen würde, dass man die Ebenheit auf BAB und auf BStr. mit „zweierlei Maß“ bewertet und damit eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse nicht mehr gewährleistet wäre. Daher wird die Entscheidung

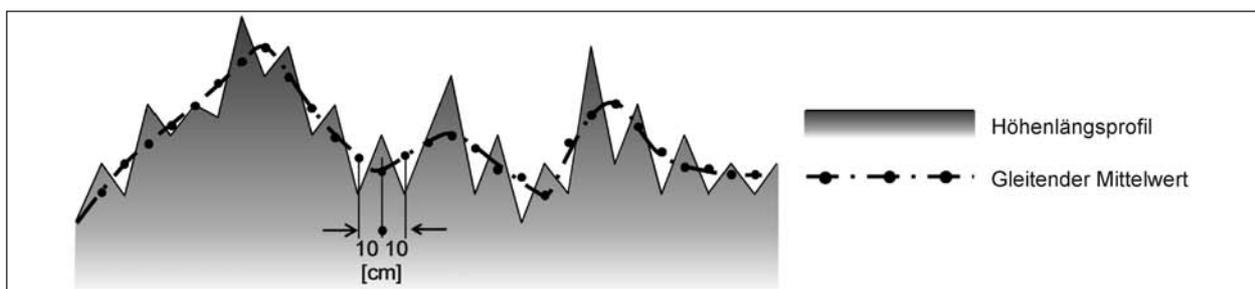


Bild 4.1: Hochpassfilterung durch Gleitende Mittelung des Längsprofils über jeweils 3 Stützpunkte zur Bild des Latsch-Effektes

getroffen, eine charakteristische Steigung w^* für das gesamte Fernstraßennetz anzuwenden. Im Rahmen des Projektes sind Untersuchungen mit Welligkeiten zwischen $w^* = 2,0$ und $2,6$ durchgeführt worden. Die ausgewogensten Ergebnisse wurden für w^* zwischen $2,4$ und $2,5$ erzielt, was auch von daher plausibel erscheint, als es eben jener Bereich ist, der dem Mittel der Welligkeiten (w) im deutschen Fernstraßennetz entspricht. Auf die Untersuchungen wird an späterer Stelle noch eingegangen. „Ausgewogenheit“ meint an dieser Stelle die Ausgewogenheit in der Berücksichtigung von kurzen und langen Wellenlängen und damit einhergehend auch die Ausgewogenheit in der Sensitivität des Verfahrens über den gesamten Wellenlängenbereich.

4.3 Vergrößerungsfunktion des Bewerteten Längsprofils

In Bild 4.2 sind die Vergrößerungsfunktionen des BLP in Abhängigkeit von der Wellenlänge ($L \sim \Omega^{-1}$) für unterschiedliche charakteristische Steigungen w^* dargestellt. Die Vergrößerungsfunktionen wurden bestimmt, indem für sinusförmige Unebenheiten $h(x)$ unterschiedlicher Wellenlänge das BLP berechnet und anschließend für jede Wellenlänge das Amplitudenverhältnis von $BLP(x)$ und $h(x)$ ermittelt wurde. Man erkennt die Verstärkung der kleinen Wellenlängen mit zunehmendem w^* . Mit Hilfe von Butterworth-Filtern 4. Ordnung wurden unterschiedliche untere Wellenlängenbegrenzungen ($0,2$ m, $0,3$ m und $0,5$ m) vorgenommen. Die obere Bandbegrenzung wurde einheitlich auf 50 m gesetzt und ebenfalls durch ein Butterworth-Filter 4. Ordnung

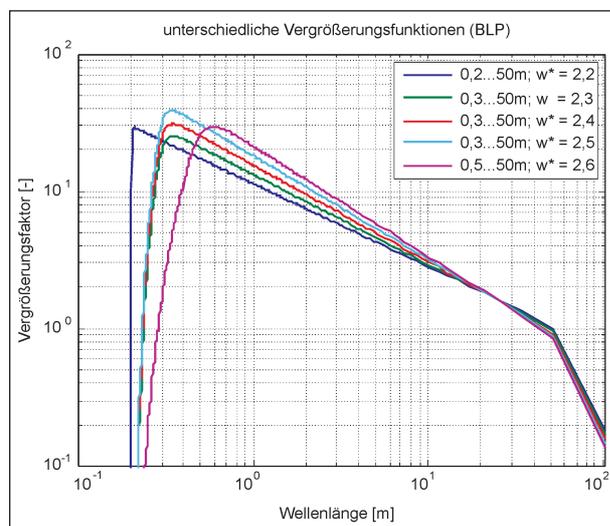


Bild 4.2: Übertragungsfunktion des BLP für unterschiedl. charakteristische Steigungen w^*

realisiert, wie in Kapitel 4.1 bereits erwähnt. Der Bereich zwischen 1 m und 50 m entspricht der in Gl. (3.4) angegebenen Bewertungsfunktion B , während die Randbereiche durch die Flankensteilheit der Butterworth-Filter gekennzeichnet sind.

4.4 Einfluss der charakteristischen Steigung auf das Bewertete Längsprofil

Wie bereits in Kapitel 4.2 beschrieben, wird durch die Wahl der charakteristischen Steigung (w^*) beeinflusst, in welchem Verhältnis lang- und kurzwellige Unebenheiten in das Bewertete Längsprofil eingehen. Ist die Welligkeit der Straße zufällig genauso groß wie w^* , gehen alle Wellenlängenbereiche (hier: Oktaven) mit der gleichen Gewichtung in das Bewertete Längsprofil ein – d. h., alle Oktaven tragen den gleichen Anteil zur Varianz des BLP bei. Das soll anhand von Bild 4.3 verdeutlicht werden. Sie zeigt die Beiträge (Leistungsanteile) aller 9 Oktaven am Bewerteten Längsprofil. Auf der Abszisse sind die 9 Oktavbänder mit ihren jeweiligen Grenzwellenlängen ($0,2$ m bis $102,4$ m) aufgetragen. Auf der Ordinate ist der jeweilige Leistungsanteil in % der Gesamtleistung aufgetragen, jeweils markiert durch einen kleinen Punkt in der Oktavbandmitte. Abgebildet sind die 5 verschiedenen Varianten des BLP, deren Vergrößerungsfunktionen bereits in Bild 4.2 dargestellt sind.

Grundlage für die Berechnung sind zwei regellos normalverteilte Straßen mit einem AUN von 1 cm^3 . Die eine besitzt eine Welligkeit von $2,2$ und repräsentiert eine gute Autobahn und die andere stellt mit einem w von $2,6$ eine typische Bundesstraße guter Ebenheit dar. Die Autobahn ist in der oberen Bildhälfte, die Bundesstraße in der unteren dargestellt. Die Leistungsanteile wurden durch Integration der Spektralen Leistungsdichte des BLP in den einzelnen Oktavbändern ermittelt, wobei die Spektrale Leistungsdichte des BLP mit Hilfe von Gl. (3.8) und (3.1) berechnet wurde. Die Bewertungsfunktion $B(\Omega)$ wurde dabei durch die verwendeten Vergrößerungsfunktionen, wie in Bild 4.2 abgebildet und umgestellt auf Ω , ersetzt.

Die Grafiken machen deutlich, dass für die Straße mit $w = 2,2$ die BLP-Version mit $w^* = 2,2$ (blau) und für die Straße mit $w = 2,6$ die BLP-Version mit $w^* = 2,6$ (magenta) zu einer gleichmäßigen Verteilung der Leistungsanteile über den gesamten Wellenlängenbereich (mit Ausnahme der Randberei-

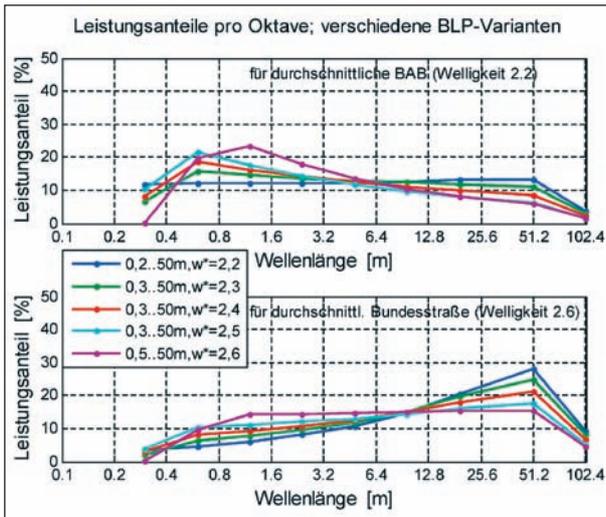


Bild 4.3: Leistungsanteile der Oktavbänder an der Gesamtleistung des BLP

che) führen. Die Randbereiche sind durch die eingesetzten Butterworth-Filter geprägt. Wie in Kapitel 4.2 erwähnt, liegt der Mittelwert der Welligkeit (w) über das gesamte Fernstraßennetz betrachtet zwischen 2,4 und 2,5. Legt man die charakteristische Steigung des BLP (w^*) also auf diesen Wertebereich fest, so erhält man die in Bild 4.3 gezeigten roten bzw. hellblauen Kurven. Für ein derart parametrisiertes BLP gilt dann die folgende Aussage:

Auf Autobahnen ($w_{\text{mittel}} = 2,2$) prägen eher die kurzen Wellen ($L < 5$ m) und auf Bundesstraßen ($w_{\text{mittel}} = 2,6$) eher die langen Wellen ($L > 5$ m) die Längsebenheit.

4.5 Überprüfung der mathematischen Grundlagen für das BLP

In Kapitel 3 wurden die mathematischen Grundlagen für das Bewertete Längsprofil behandelt, die insbesondere den Zusammenhang zwischen der Spektralen Unebenheitsdichte (in Form von AUN und w) und dem BLP (in Form seiner Varianz σ_{BLP}^2) betreffen. Die Ergebnisse sind in den Gleichungen (3.13) und (3.15) bis (3.17) festgehalten, wobei Gl. (3.13) den allgemeinen Fall und Gl. (3.15) den Sonderfall behandeln, wenn $w = w^*$ wird. Gleichungen (3.16) und (3.17) stellen (einfachere) Näherungsformeln dar, die nur für den Sonderfall gelten, dass $w = w^*$ ist, wobei Gleichung (3.15) wiederum eine Vereinfachung für den Fall ist, wenn $w = w^* = 2$ wird.

Mit den in Kapitel 4 dargestellten Ergebnissen, insbesondere mit den ermittelten Übertragungs- bzw. Vergrößerungsfunktionen des BLP, können die in

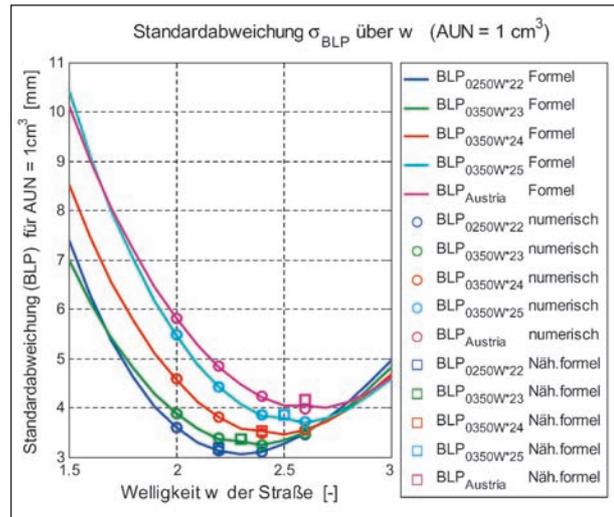


Bild 4.4: Standardabweichung des BLP – Vergleich zwischen numerischen und analytischen Rechnungen

Kapitel 3 hergeleiteten Formeln an dieser Stelle auf ihre Gültigkeit überprüft werden.

Dazu wurden auf die gleiche Weise, wie in Kapitel 4.4 beschrieben, Berechnungen durchgeführt, in denen die Spektralen Unebenheitsdichten verschiedener (AUN,w)-Kombinationen mit (dem Quadrat) der in Bild 4.2 gezeigten Vergrößerungsfunktionen des BLP multipliziert und anschließend die Flächeninhalte unter den resultierenden Kurven als Maß für die Varianz bzw. der Standardabweichung (als Wurzel der Varianz) des BLP bestimmt worden sind. Die Ergebnisse sind in der Legende zu Bild 4.4 mit der Bezeichnung „numerisch“ versehen und in den Graphen mit runden Kreisen gekennzeichnet. Die durchgezogenen Linien in Bild 4.4 stellen die Ergebnisse aus den Gln. (3.13) und (3.15) dar. Die Ergebnisse aus der Näherungsformel Gl. (3.16) sind durch kleine Quadrate markiert. Die Abkürzung 0350W*25 bezeichnet beispielsweise die BLP-Variante mit einem Wellenlängenbereich von 0,3 bis 50 Metern und einer charakteristischen Steigung von $w^* = 2,5$.

Die Abbildung macht deutlich, dass die Standardabweichung des BLP (wie übrigens auch des Originalprofils) stark von der Welligkeit der Straße abhängt. Es ergeben sich parabelförmige Verläufe, deren Minima bei etwa $w = w^*$ (genauer: $w = w^* + 0,1$) liegen. Die wesentliche Aussage aber dieses Graphen ist, dass die aus dem Übertragungsverhalten numerisch bestimmten Varianzen bzw. Standardabweichungen sehr gut mit denen übereinstimmen, die mittels der Gleichungen (3.13) bis (3.16) ermittelt wurden, was die Richtigkeit der in Kapitel 3.3 hergeleiteten Gleichungen bestätigt.

4.6 Untersuchungen an ausgewählten Straßenkollektiven

Die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Varianten 0250W*22, 0350W*23, 0350W*24, 0350W*25 und 0550W*26 (BLP_{Austria}) werden nachfolgend einer vergleichenden Untersuchung an verschiedenen Datenkollektiven unterzogen (die Abkürzung 0350W*25 bezeichnet beispielsweise die BLP-Variante mit einem Wellenlän-

genbereich von 0,3 bis 50 m und einer charakteristischen Steigung von $w^* = 2,5$).

Die Strecken umfassen im Wesentlichen Autobahnen und haben einen Umfang von 2.200 km. Tabelle 4.1 fasst die wichtigsten Informationen zu diesen Datenkollektiven zusammen.

In Bild 4.5 sind die Ergebnisse für das Kollektiv „Neubaustrecken“ gezeigt. Es enthält 4 Diagramme, in denen die Ergebnisse des BLP in der Dar-

Kurzbezeichnung	Zeitraum	Straßenklasse, Land	Umfang	Datenquelle
„Neubaustrecken“	1997	BAB in BY, HE, BB	127,6 km	BASt, Projekt FE 89.033/1997
„DEGES-Strecken“	2000-2001	BAB in RP, BB, SN, SA	882,4 km	BASt, Projekt „Vergleich untersch. Bauweisen“
„ZEB-Strecken“	2005-2008	BAB in BY, TH, BE, NS, SN, SA, SH BStr in NW, MV, BB	BAB: 678,95 km BStr: 31,05 km	BASt, ZEB-Kampagnen
„ABG-Strecken“	2009-2010	BAB in BY, TH, BE, SN BStr in NW, MV, BB	BAB: 512,85 km BStr: 70,2 km	BASt, akt. Messungen

Tab. 4: Untersuchungskollektive für das Bewertete Längsprofil

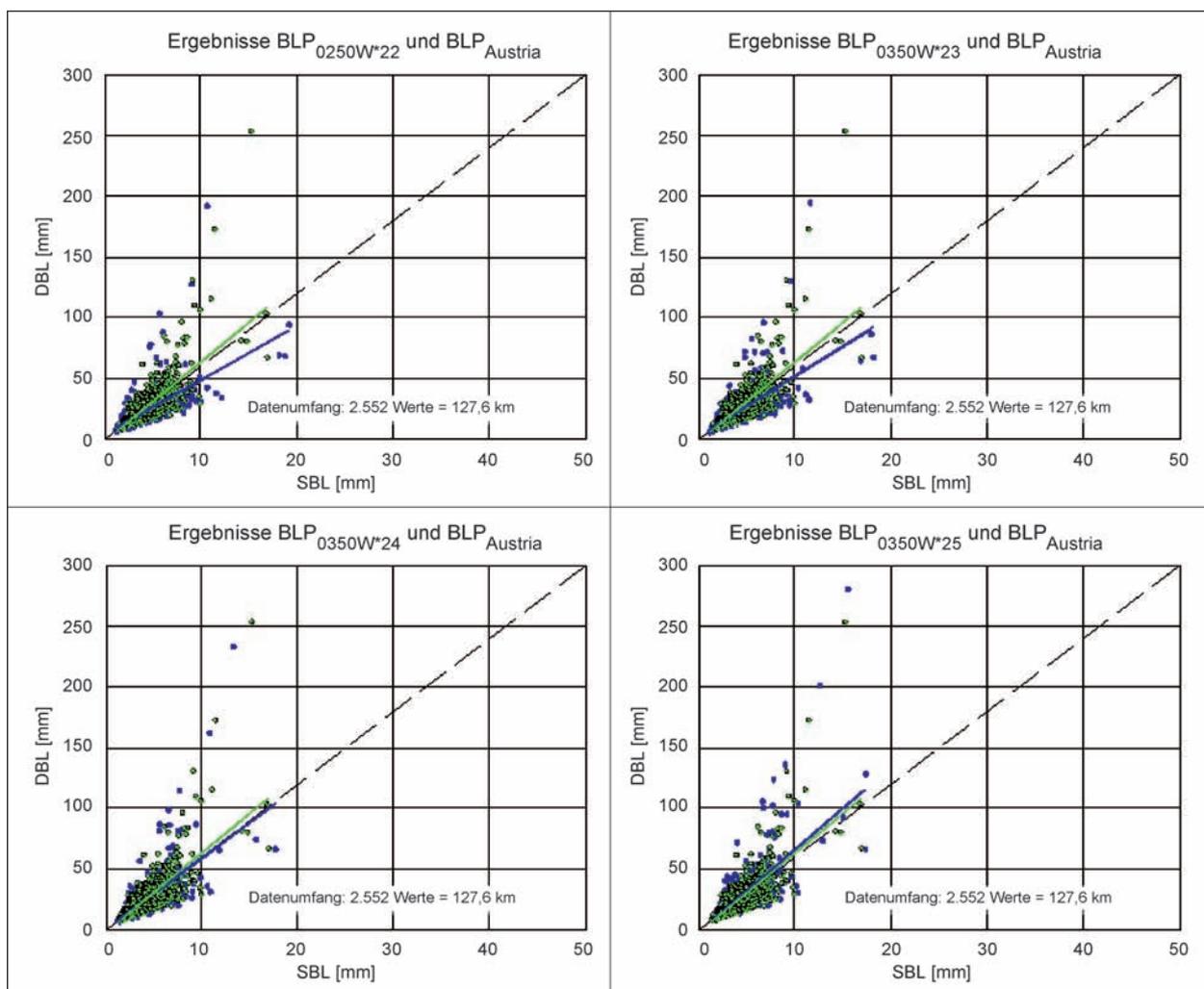


Bild 4.5: 4 BLP-Varianten im Vergleich mit BLP_{Austria} (Datenkollektiv „Neubaustrecken“)

stellung $DBL = f(SBL)$ aufgetragen sind. In jedem der 4 Diagramme wird jeweils eine BLP-Variante (blaue Punkte) im Vergleich mit dem $BLP_{Austria}$ (grüne Punkte) dargestellt. Jeder Punkt steht für einen Auswerteabschnitt mit einer Länge von 50 m. Die jeweiligen BLP-Varianten sind aus den Diagramm-Titeln ersichtlich. Die gestrichelte Diagonale ist als Orientierung für eine regellos normal verteilte Ebenheitscharakteristik gedacht, für die gilt: $DBL \cong 6 \cdot SBL$. Punkte, die deutlich oberhalb der Diagonalen liegen ($DBL \gg 6 \cdot SBL$), markieren Abschnitte, in denen impulsartige Unebenheiten dominieren, während Punkte, die deutlich unterhalb der Diagonalen liegen, Abschnitte mit überwiegend wellenförmigen Unebenheiten repräsentieren (Beispiel: eine sinusförmige Unebenheit hätte $DBL = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot SBL \cong 3 \cdot SBL$). Die Korrelationsgerade für die jeweilige BLP-Variante ist in Blau, die des

$BLP_{Austria}$ in Grün wiedergegeben. Die Ebenheit dieses Kollektivs ist – bis auf wenige Ausnahmen ($DBL > 100$ mm) – sehr gut, wie es bei Neubaustrecken auch zu erwarten ist. Eine Korrelationsgerade, die der gestrichelten Diagonalen nahekommt, kann als ein Indiz für eine ausgewogene Parametereinstellung des Bewerteten Längsprofils gewertet werden, denn insbesondere bei Neubaustrecken kann man, über das gesamte Kollektiv betrachtet, eine insgesamt regellose Unebenheitscharakteristik annehmen. Nach diesem Kriterium stellt die Variante 0350W*24 die ausgewogenste Variante dar, da die dazugehörige Korrelationsgerade mit der Diagonalen zusammenfällt. Auch $BLP_{Austria}$, das der Variante 0550W*26 entspricht, kann mit einer nur leichten Betonung impulsartiger Unebenheiten i. d. S. als eine ausgewogene BLP-Variante bezeichnet werden.

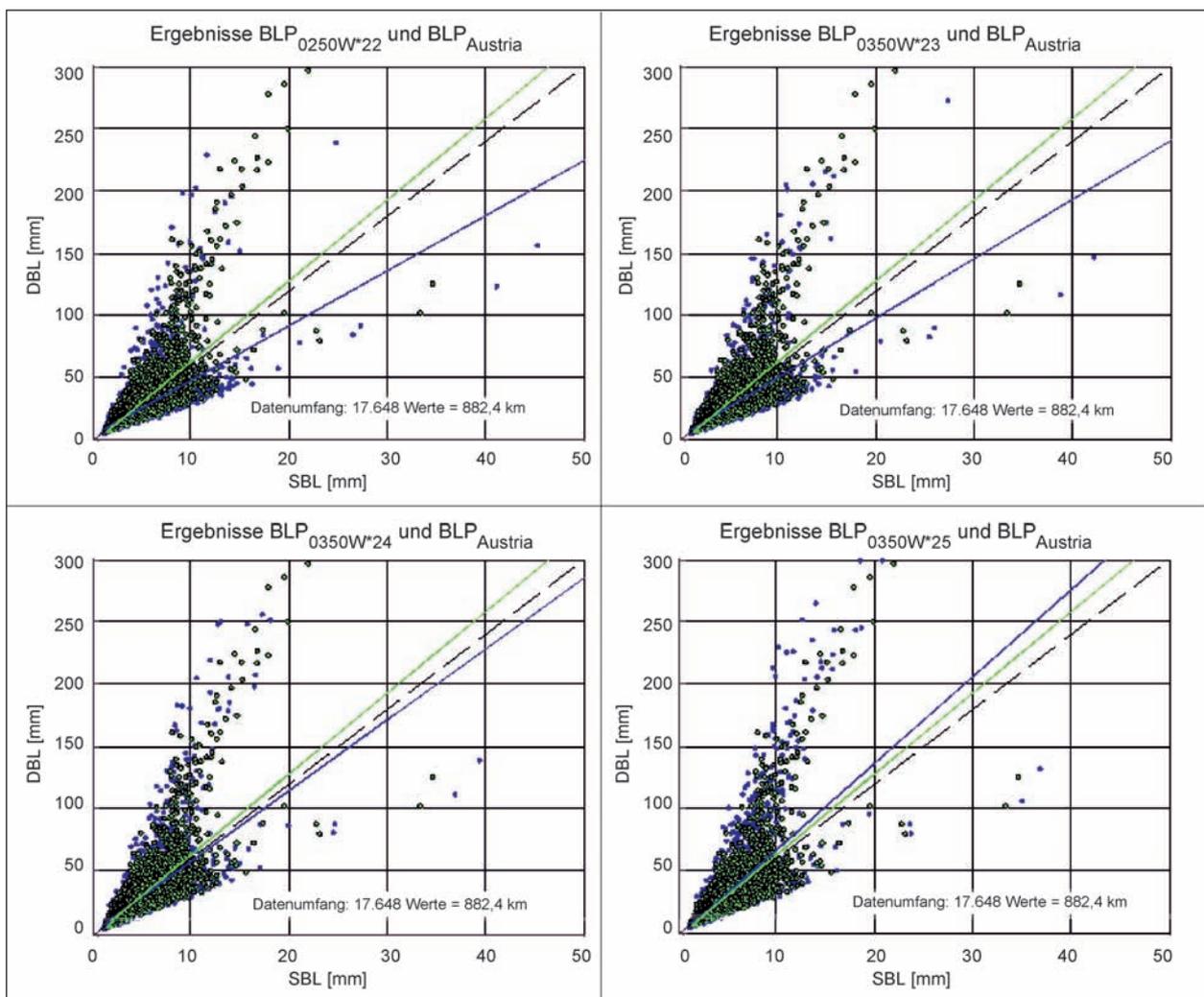


Bild 4.6: 4 BLP-Varianten im Vergleich mit $BLP_{Austria}$ (Datenkollektiv „DEGES-Strecken“)

In Bild 4.6 sind die BLP-Ergebnisse für das Kollektiv der „DEGES-Strecken“ abgebildet, das Straßenabschnitte mit Liegedauern von unter 1 Jahr bis zu 4 Jahren enthält. Die Variante $BLP_{Austria}$ (grün) weist, wie auch im Kollektiv „Neubaustrecken“ zu beobachten, eine nur leichte Betonung impulsartiger Unebenheiten auf. Die Variante 0350W*24 weist eine leichte Unterbetonung, die Variante 0350W*25 eine Überbetonung der impulsartigen Unebenheiten auf.

Ähnliches ist für Bild 4.7 zu sagen, das die Ergebnisse für das Kollektiv „ZEB-Strecken“ zusammenfasst. Demgegenüber ist auffallend, dass die Ergebnisse für das Kollektiv „ABG-Strecken“ eine deutlichere Betonung der impulshaltigen Unebenheiten aufweist.

Vergleicht man die Auswertungen aller Streckenkollektive miteinander, so ergibt sich insgesamt folgendes Bild: Die Variante $BLP_{Austria}$ stellt eine recht ausgewogene BLP-Variante mit einer nur leichten Überbetonung impulsartiger Unebenheiten dar. Ähnliches gilt für Variante 0350W*24 mit einer insgesamt leichten Unterbetonung impulsartiger Unebenheiten. Die optimale charakteristische Steigung des Bewerteten Längsprofils liegt zwischen $W^* = 2,4$ und $W^* = 2,5$, aber näher an $W^* = 2,4$. Damit gehören beide Varianten in die engere Wahl für die endgültige Parametrisierung des BLP.

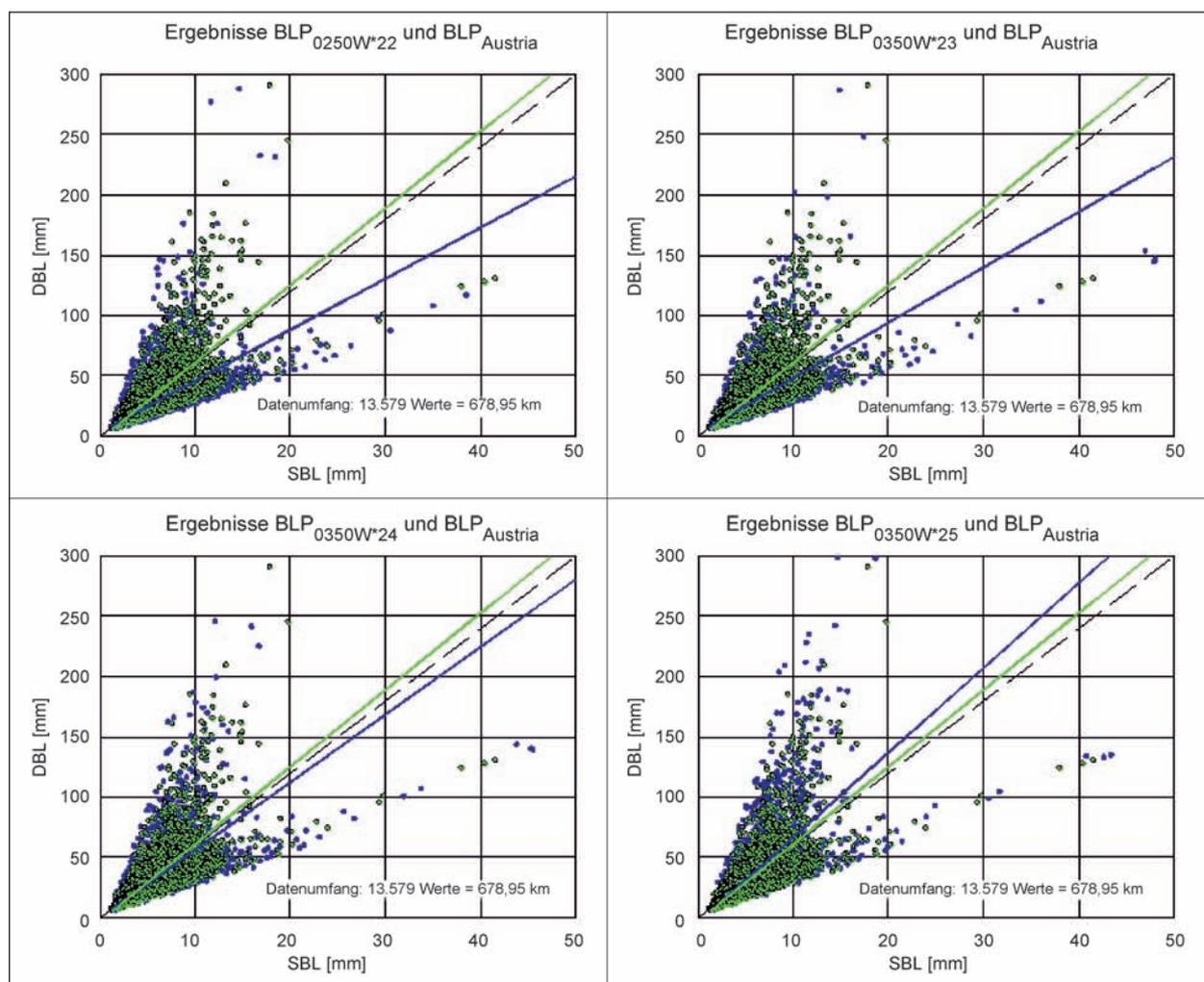


Bild 4.7: 4 BLP-Varianten im Vergleich mit $BLP_{Austria}$ (Datenkollektiv „ZEB-Strecken/BAB“)

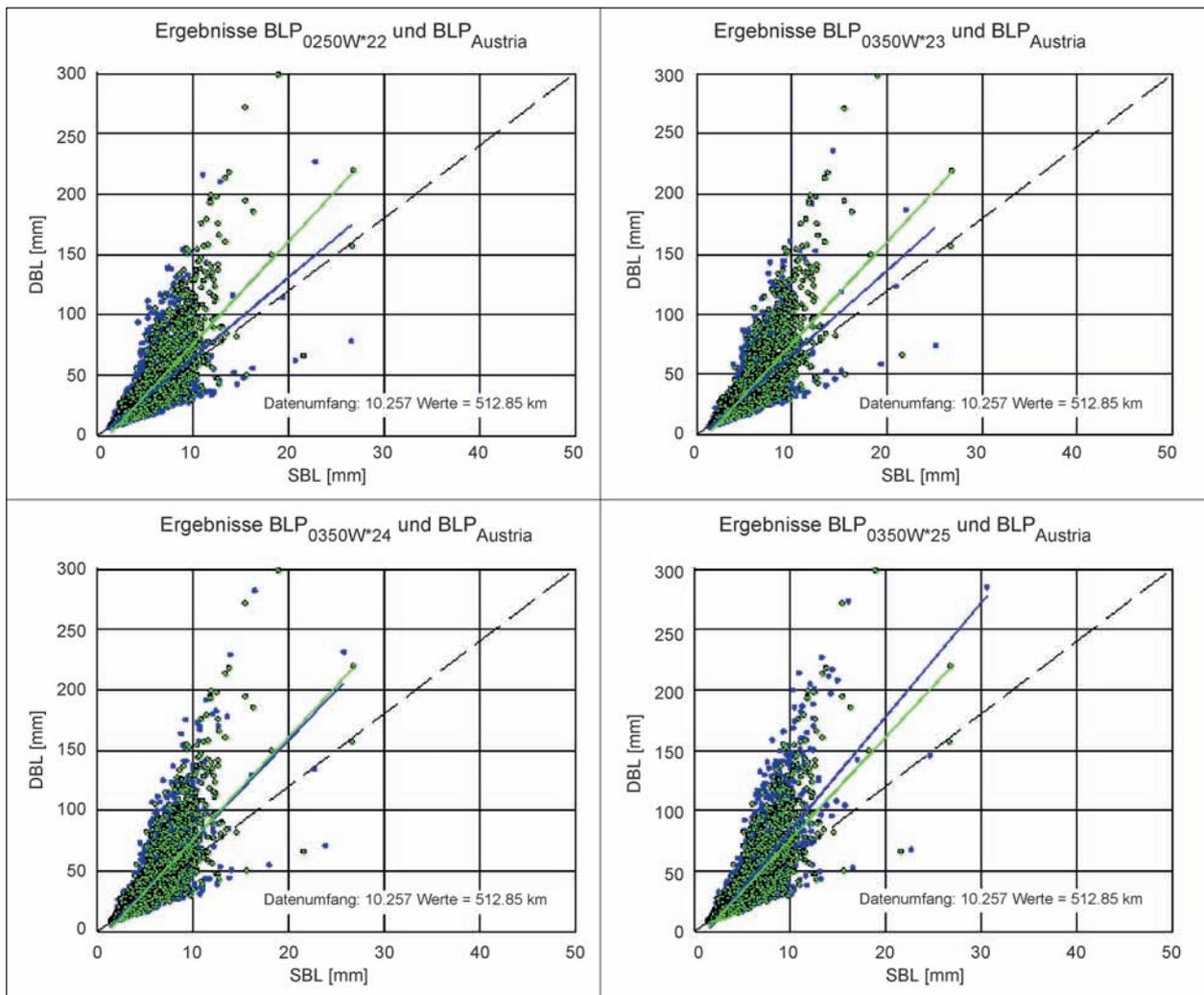


Bild 4.8: 4 BLP-Varianten im Vergleich mit BLP_{Austria} (Datenkollektiv „ABG-Strecken/BAB“)

4.7 Korrelationen zwischen BLP-Varianten

Im Rahmen des Forschungsprojektes (SPIELHOFER et al. 2009) wurde von österreichischer Seite ja bereits eine BLP-Variante (BLP_{Austria}) entwickelt, die auf das dortige Straßennetz optimiert ist. Im Sinne einer gemeinsamen österreichisch-deutschen Initiative zur Verankerung des BLP im europäischen Regelwerk ist es sinnvoll, entweder eine gemeinsame BLP-Version zu verwenden oder aber zumindest die Vergleichbarkeit unterschiedlicher BLP-Varianten nachzuweisen. An dieser Stelle sollen die beiden aus deutscher Sicht favorisierten Vorschläge 0350W*24 und 0350W*25 mit der österreichischen Version durch Bestimmung der Korrelationskoeffizienten verglichen werden.

Bild 4.9 zeigt den Vergleich für das Datenkollektiv „Neubaustrecken“. In der oberen Bildhälfte ist die Korrelation zwischen dem BLP_{Austria} und der Vari-

ante 0350W*24 und in der unteren die Korrelation zwischen BLP_{Austria} und der Variante 0350W*25 dargestellt. Die linke Bildhälfte zeigt jeweils den Zusammenhang für die Standardabweichung SBL und die rechte Bildhälfte den für die Spannweite DBL.

Für die Variante 0350W*24 ergibt sich für beide Indikatoren derselbe Korrelationskoeffizient von 0,98 zur österreichischen Variante. SBL und DBL fallen beim BLP_{Austria} größer aus als bei der deutschen Variante (SBL im Mittel um 8 % und DBL um 10 % größer). Für die Variante 0350W*25 ergibt sich für SBL eine etwas bessere Korrelation von 0,99 zur österreichischen Variante. Für DBL ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von 0,98. SBL fällt für die österreichische Variante geringfügig größer aus. Bei dem Indikator DBL verhält es sich andersherum: Hier fällt die deutsche Variante im Mittel um etwa 8 % größer aus.

Bild 4.10 zeigt die Vergleichsuntersuchungen für das Kollektiv „DEGES-Strecken“. Der Korrelations-

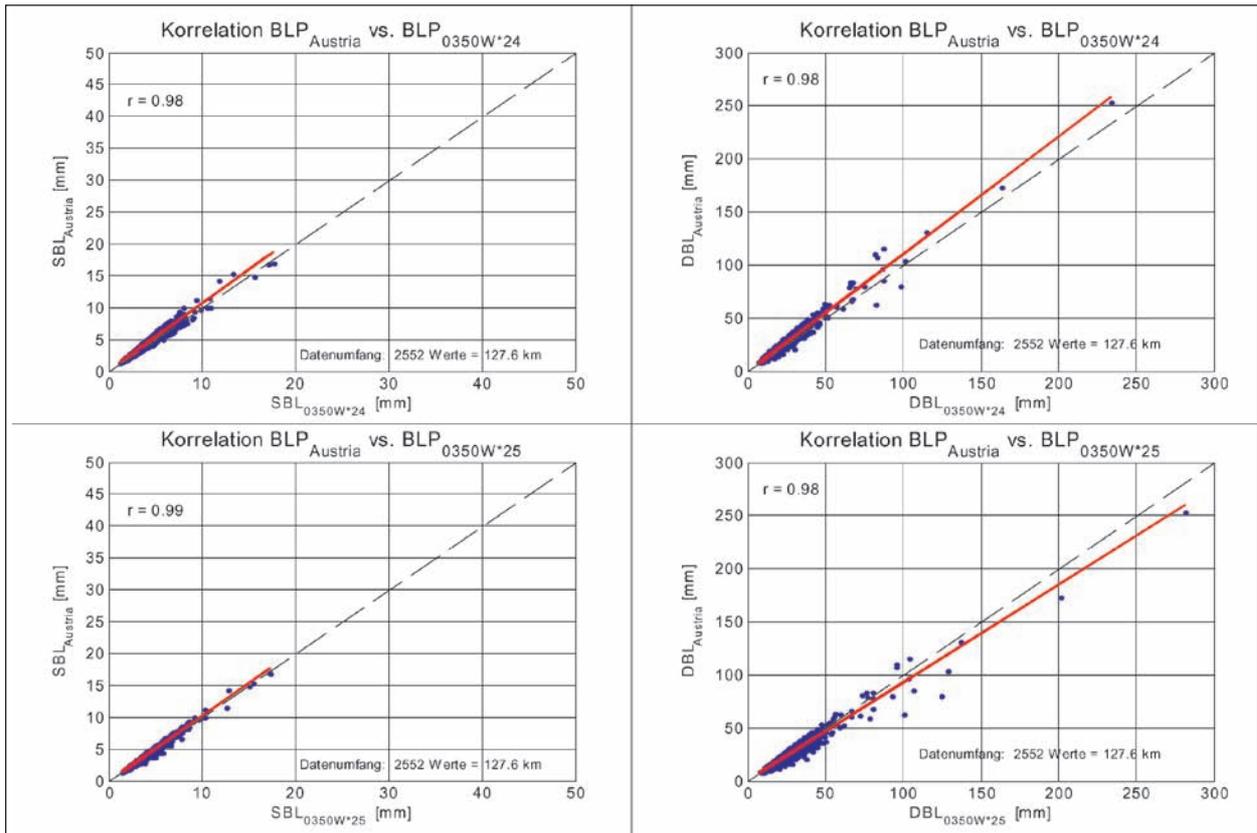


Bild 4.9: 2 BLP-Varianten im Vergleich mit BLP_{Austria} (Datenkollektiv „Neubaustrecken“)

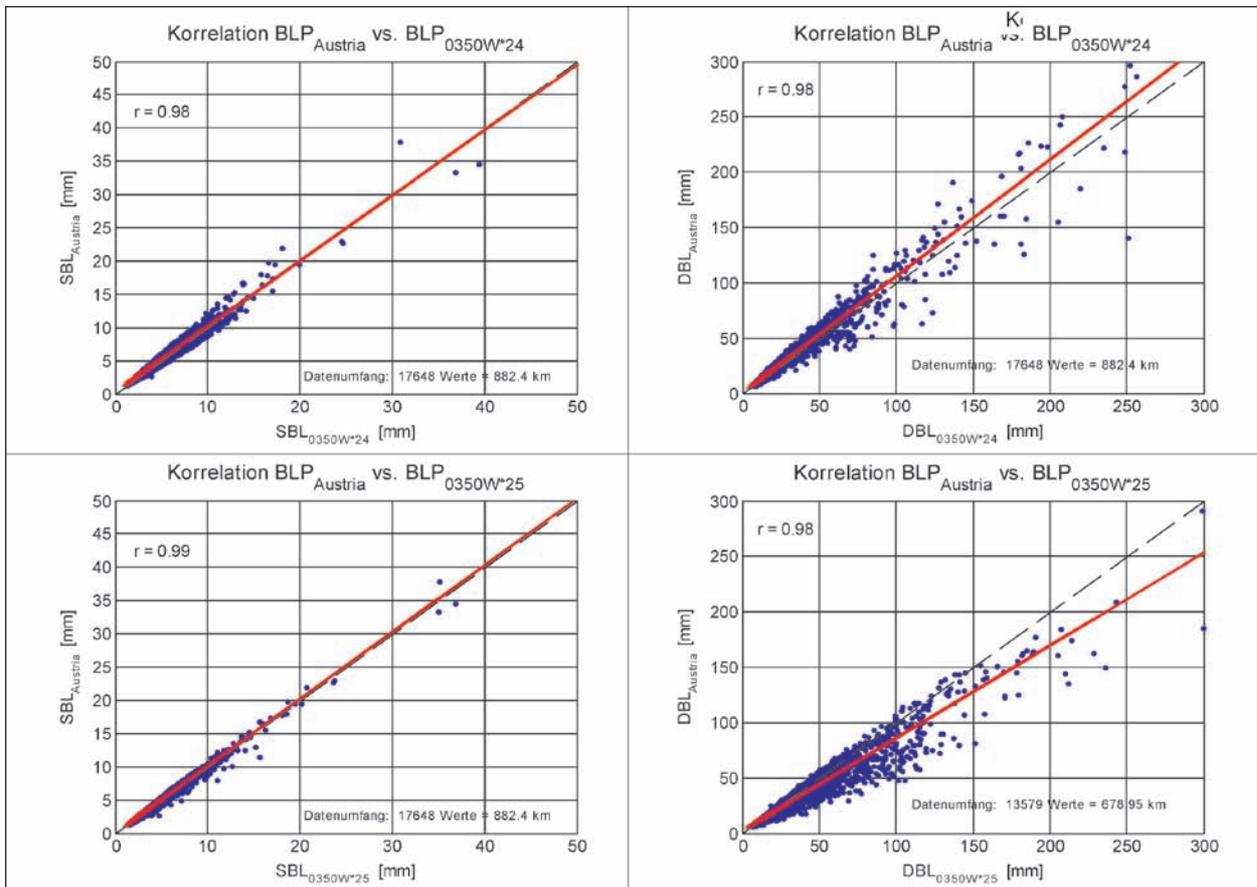


Bild 4.10: 2 BLP-Varianten im Vergleich mit BLP_{Austria} (Datenkollektiv „DEGES-Strecken“)

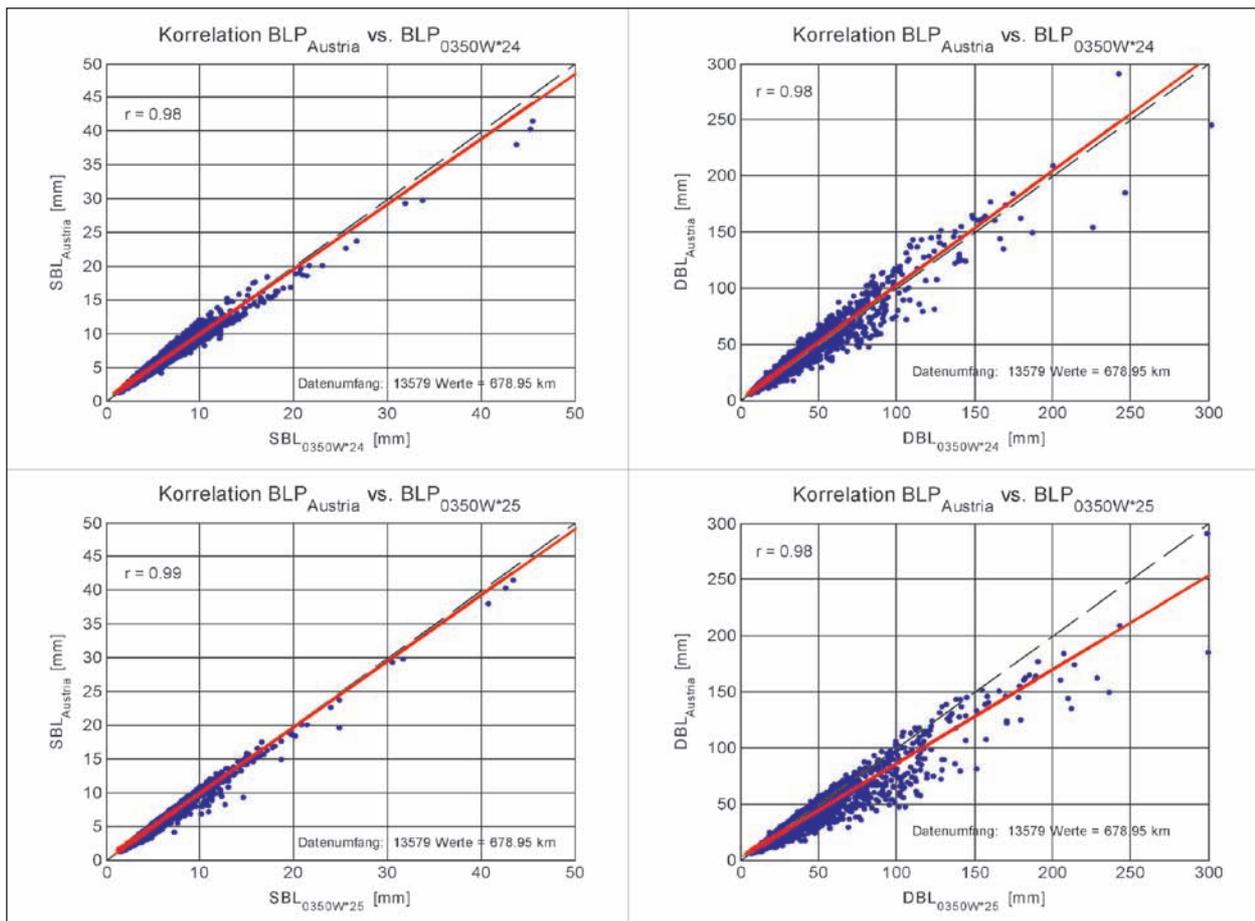


Bild 4.11: 2 BLP-Varianten im Vergleich mit BLP_{Austria} (Datenkollektiv „ZEB-Strecken/BAB“)

koeffizient zwischen BLP_{Austria} und der Variante 0350W*24 beträgt für beide Indikatoren wiederum 0,98. SBL fällt gleich groß aus, während DBL in der österreichischen Version im Mittel um etwa 5 % größer ausfällt.

In dem Vergleich von BLP_{Austria} und der Variante 0350W*25 zeigt sich ebenfalls ein ähnliches Bild wie beim Kollektiv „Neubaustrecken“: ein etwas höherer Korrelationskoeffizient von 0,99 für SBL, dafür aber ein etwas niedrigerer von 0,97 für DBL. SBL fällt gleich groß aus, während DBL in der deutschen Version im Mittel um 11 % größer ausfällt.

Bild 4.11 zeigt die Untersuchungsergebnisse für das Kollektiv „ZEB-Strecken“. Der Vergleich zwischen BLP_{Austria} und der Variante 0350W*24 weist wieder für SBL und DBL Korrelationskoeffizienten von 0,98 auf. In gleicher Weise, wie SBL für die deutsche Variante geringfügig größer ausfällt, fällt für die österreichische Variante DBL geringfügig höher aus.

Wie auch schon bei den Untersuchungskollektiven „Neubaustrecken“ und „DEGES-Strecken“ zu be-

obachten, zeigt sich die höchste Korrelation mit 0,99 für den Indikator SBL im Vergleich zwischen BLP_{Austria} und der Variante 0350W*25. Für DBL wird ein Korrelationskoeffizient von 0,98 ermittelt. SBL fällt in der österreichischen Version gleich groß aus wie in der deutschen. DBL allerdings ist in der deutschen Version im Mittel um etwa 18 % größer als in der österreichischen.

Bild 4.12 schließlich zeigt die Untersuchungsergebnisse für das Kollektiv „ABG-Strecken“. Wieder zeigt sich die höchste Korrelation mit 0,99 für den Indikator SBL im Vergleich zwischen BLP_{Austria} und der Variante 0350W*25. Die 3 anderen Diagramme weisen einen Korrelationskoeffizienten von 0,98 aus.

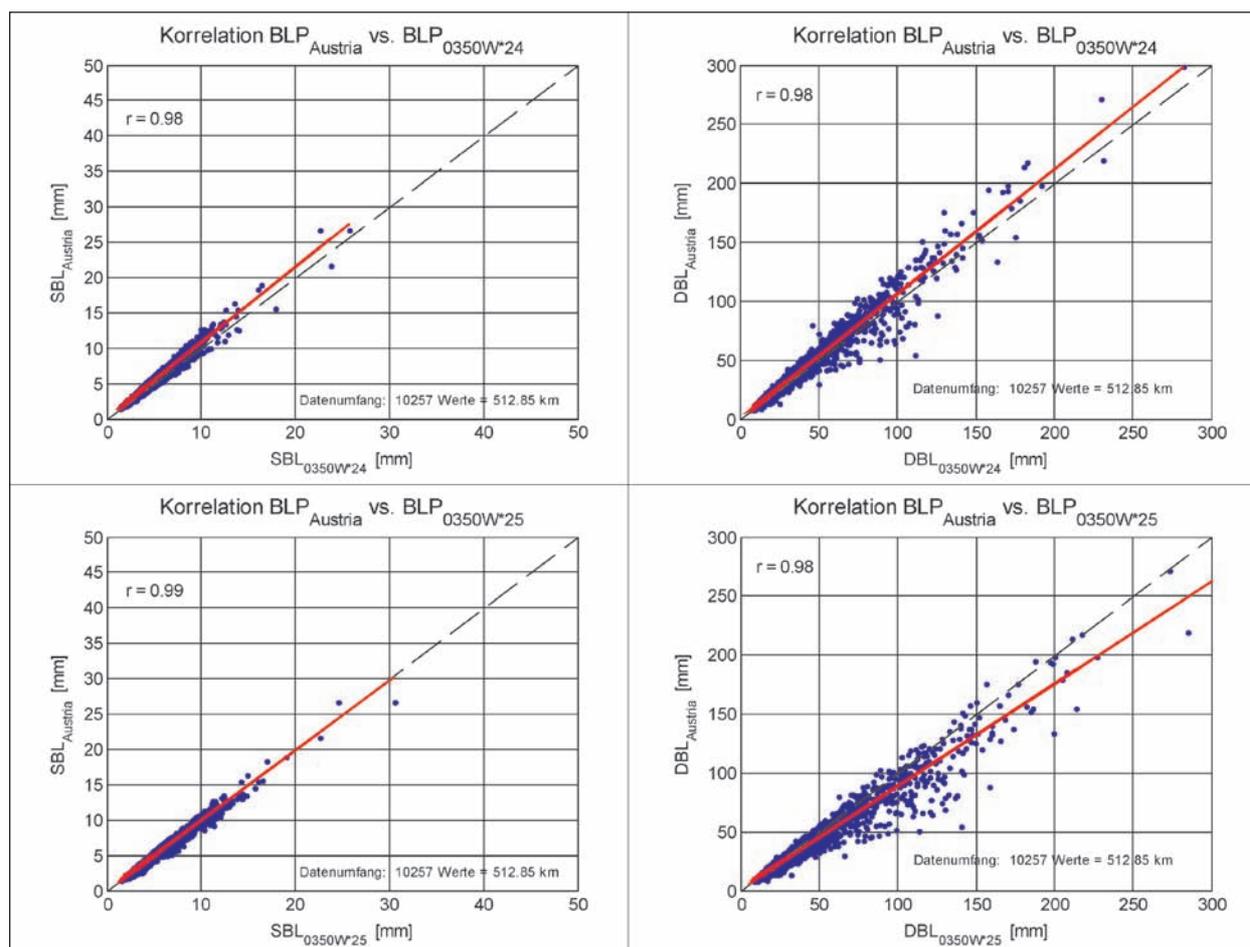


Bild 4.12: 2 BLP-Varianten im Vergleich mit $BLP_{Austria}$ (Datenkollektiv „ABG-Strecken“)

4.8 Schlussfolgerungen aus den Parametervariationen

Aus den Untersuchungen gehen $BLP_{Austria}$ (= $BLP_{0550W*26}$) und $BLP_{0350W*24}$ sowie $BLP_{0350W*25}$ als die ausgewogensten Varianten hervor, womit gemeint ist, dass bei diesen Varianten SBL und DBL in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen. Die Korrelation zwischen $BLP_{Austria}$ und den anderen beiden Varianten liegt mit 0,98 (im Mittel) ebenfalls auf einem sehr hohen Niveau. Auch „wertemäßig“ liefern $BLP_{Austria}$ und $BLP_{0350W*24}$ bzw. $BLP_{0350W*25}$ vergleichbare Ergebnisse. Die weiteren Untersuchungen werden mit diesen drei Varianten durchgeführt.

5 Grenzwertvorschläge für das Bewertete Längsprofil

An dieser Stelle sollen Grenzwertvorschläge für Bundesfernstraßen hergeleitet und anhand netz-

weiter Verteilungsfunktionen sowie anhand der in Kapitel 4 schon verwendeten Straßenkollektive verifiziert werden. Dabei werden gleichzeitig sowohl die Grenzwerte für die Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) als auch die für die Abnahme und Gewährleistungsfrist von Neubaustrecken betrachtet und dargestellt, wohl wissend, dass sie nicht in dieselbe Systematik gehören. Dennoch sollen sie hier zusammen betrachtet werden, um sie in eine harmonische und aufeinander abgestimmte Reihung zu bringen.

5.1 Darstellung der Normierungsfunktion

Unter Normierungsfunktion wird in diesem Zusammenhang diejenige Funktion verstanden, mit der man die dimensionsbehafteten Zustandsgrößen SBL bzw. DBL des Bewerteten Längsprofils in dimensionslose Zustandswerte im Sinne einer Benotung des Ebenheitszustandes von 1,0 für „sehr gut“ bis 5,0 für „sehr schlecht“ überführen kann.

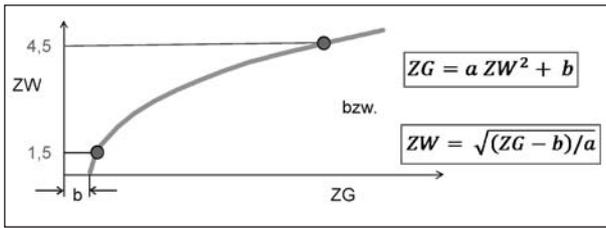


Bild 5.1: Schematische Darstellung der Normierungsfunktion für das Bewertete Längsprofil

Die Normierungsfunktion muss sich von ihrer Charakteristik her daran orientieren, welche Wirkung die Längsunebenheit in Kombination mit der Fahrgeschwindigkeit auf Fahrer, Fahrzeug und Fahrbahn ausübt. Relevant für die Wirkung der Längsunebenheit auf Komfort, Fahrsicherheit und Straßenbeanspruchung ist der Energieeintrag in den Fahrer, das Fahrzeug und die Straße. Der Energieeintrag wiederum wird von zwei Komponenten bestimmt – der Fahrgeschwindigkeit und dem Quadrat der Unebenheitshöhe bzw. -amplitude.

Für die Normierungsfunktion des Bewerteten Längsprofils bedeutet das

- einerseits einen Quadratwurzelsatz und
- andererseits unterschiedliche Funktionen für unterschiedliche Straßenklassen.

In Bild 5.1 ist die Normierungsfunktion schematisch dargestellt. Auf der Abszisse abgetragen ist die Zustandsgröße (in diesem Falle SBL oder DBL) und auf der Ordinate der zugehörige Zustandswert in Form einer Notenskala von 1 bis 5. Die Formel der Wurzelfunktion ist in der rechten Bildhälfte angegeben. Eingetragen sind der „1,5-Wert“, auch als „Zielwert“ bezeichnet, und mit der Note 4,5 der „Schwellenwert“, der zu konkreten Maßnahmen zwingt.

Die Parameter a und b hängen von den Vorgaben für den Ziel- und Schwellenwert ab. Die Vorgaben können über zwei Wege, die miteinander in Einklang stehen müssen, ermittelt werden:

- über theoretische Untersuchungen und
- über empirische Untersuchungen, wie z. B. netzweite Zustandserhebungen.

Beide Wege werden in diesem Kapitel behandelt, wobei die Grenzwertvorschläge zunächst theoretisch abgeleitet und anschließend empirisch untermauert werden.

5.2 Herleitung von Ziel- und Schwellenwert

Hier greifen wir auf die in Kapitel 3 hergeleiteten Zusammenhänge zwischen der Spektralen Dichte des Höhenlängsprofils und dem Bewerteten Längsprofil zurück. Da für die Spektrale Dichte in Form des AUN bereits ein Bewertungshintergrund für die ZEB existiert, kann dieser für eine erste recht treffende Festlegung von Grenzwertvorschlägen verwendet werden. Für den AUN sind in der ZEB festgelegt:

- Zielwert $AUN_{1,5} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 1 \text{ cm}^3$,
- Schwellenwert $AUN_{4,5} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 9 \text{ cm}^3$.

Wir können die mathematischen Zusammenhänge aus Kapitel 3 für die Berechnung verwenden oder auch direkt in Bild 4.4 gehen, in dem die Gleichungen für einen AUN von 1 cm^3 und verschiedene Welligkeiten w dargestellt ist. Gemäß Gleichung (3.16) ist

$$SBL_{grenz}^2 = \frac{AUN_{grenz} \cdot \Omega_0^{w^*}}{(w^* - 1)(2\pi)^{w^* - 1}} \cdot (I_{max}^{w^* - 1} - I_{min}^{w^* - 1}) \quad (5.1)$$

Ferner soll gelten (regellose Unebenheit): $DBL_{grenz} = 6 \cdot SBL_{grenz}$.

Die Formel (5.1) kann angewendet werden, wenn die charakteristische Steigung des BLP einer Welligkeit entspricht, die für das betrachtete Straßennetz repräsentativ ist: $w^* = w_{Netz}$.

Das ist hier der Fall: Sowohl für die österreichische als auch für die deutsche Variante sind charakteristische Steigungen gewählt worden, die für das jeweilige Fernstraßennetz repräsentativ sind: $w^* = 2,6$ für das BLP_{Austria} und $w^* = 2,4$ bzw. $2,5$ für die beiden deutschen Varianten. Setzt man die genannten Werte und die jeweiligen maximalen und minimalen Wellenlängen in GL.(5.1) ein ($L_{max} = 50 \text{ m}$ und $L_{min} = 0,3 \text{ m}$ bzw. $0,5 \text{ m}$ für Österreich), so erhält man für das Bewertete Längsprofil die in Tabelle 5.1 dargestellten Ziel- und Schwellenwerte.

Grenzwerte	Zielwert (1,5)	Schwellenwert (4,5)
„A“ (BLP _{Austria})	SBL = 4 mm DBL = 24 mm	13 mm 78 mm
„B“ (BLP _{0350W*24})	SBL = 3,5 mm DBL = 21 mm	11 mm 66 mm

Tab. 5.1: Ziel- und Schwellenwerte für das Bewertete Längsprofil

5.3 Herleitung weiterer Grenzwerte für ZEB und bauvertragliche Zwecke

Mit den in Kapitel 5.2 berechneten Ziel- und Schwellenwerten liegen auch die Parameter a und b der Normierungsfunktionen für das BLP fest. Damit lauten die Normierungsfunktionen wie in Tabelle 5.2 dargestellt.

Mit diesen Normierungsfunktionen, die nur für den Bereich $1,0 \leq ZW \leq 5,0$ definiert sind, lassen sich nun weitere Grenzwerte wie Warn-, Abnahme- und Gewährleistungswerte berechnen. Es werden festgelegt:

- Abnahmewert: Note ZW = 2,5,
- Gewährleistungswert: Note ZW = 2,87,
- Warnwert: Note ZW = 3,5.

Die Festlegung der Noten orientiert sich an der TP-Griff, in der die Zustandswerte für Annahme, Gewährleistung und Warnwert in gleicher Weise definiert sind. Gibt man diese Werte in die Gleichungen nach Tabelle 5.2 ein, ergeben sich die in Tabelle 5.3 angegebenen Grenzwerte. Damit liegt jetzt folgendes System von Grenzwertvorschlägen für das Bewertete Längsprofil vor (siehe Tabelle 5.3).

Der Zustandswert des Bewerteten Längsprofils berechnet sich aus den Zustandswerten von SBL und DBL zu:

$$ZWBLP = \max(ZWDBL, ZWSBL).$$

WLP _{„A“}	$SBL = \frac{ZW^2}{2} + 2,875$ $ZW = \sqrt{2 \cdot (SBL - 2,875)}$	$DBL = 3 \cdot ZW^2 + 17,25$ $ZW = \sqrt{(DBL - 17,25)/3}$
WLP _{„D“}	$SBL = \frac{ZW^2}{2,4} + 2,5625$ $ZW = \sqrt{2,4 \cdot (SBL - 2,5625)}$	$DBL = 2,5 \cdot ZW^2 + 15,375$ $ZW = \sqrt{(DBL - 15,375)/2,5}$

Tab. 5.2: Normierungsfunktionen für das Bewertete Längsprofil

5.4 Überprüfung der Grenzwertvorschläge (netzweit)

Anhand netzweiter Zustandsverteilungen des Bewerteten Längsprofils sowie anhand der in Kapitel 4 schon verwendeten Straßenkollektive können die Grenzwertvorschläge nun überprüft werden. Die fünf Grenzwerte definieren sechs Ebenheitsklassen, deren Besetzung in Form von Häufigkeitsverteilungen ermittelt werden kann. Aus den Häufigkeitsverteilungen kann ersehen werden, ob die Grenzwerte auf Netzebene sinnvolle Ergebnisse liefern oder ob sie gegebenenfalls noch korrigiert werden müssen.

Für die österreichische Version des BLP sind bereits Summenhäufigkeitsverteilungen für Autobahnen und Schnellstraßen sowie für Abnahmeprüfungen veröffentlicht worden (SPIELHOFER et al. 2009). Auf Basis dieser Verteilungen kann nun untersucht werden, wie die Verteilung im österreichischen Fernstraßennetz unter Zugrundelegung der in Kapitel 5.2 aufgeführten Grenzwertvorschläge aussähe.

Bild 5.2 zeigt das Ergebnis für den Zustand des Fernstraßennetzes (ZEB 2005/2006) und Bild 5.3 das Ergebnis für die in dem gleichen Zeitraum durchgeführten Abnahmeprüfungen.

Nach Bild 5.2 würden etwa 4 bis 5 % der Strecken im österreichischen Fernstraßennetz als über dem Schwellenwert liegend (rot) identifiziert werden. Das entspricht dem Ergebnis, das auch in dem o. g. Bericht (BMVIT, Heft 582) angegeben ist. Etwa 10 % würden über dem Warnwert (gelb) liegen. Ca. 75 % der Strecken erfüllten zum Zeitpunkt der ZEB 2005/06 noch die Abnahmebedingungen (grau + hellblau).

Bei den Abnahmeprüfungen (Bild 5.3) würden unter Zugrundelegung der in diesem Kapitel vorgeschla-

Grenzwert		„A“ (0350W*25 u. „Austria“)		„B“ (für Version 0350W*24)	
Name	ZW	SBL [mm]	DBL [mm]	SBL [mm]	DBL [mm]
Zielwert	1,5	4,0	24,0	3,5	21,0
Abnahmewert	2,5	6,0	36,0	5 (5,16)	31,0
Gewährleistungswert	2,87	7,0	42,0	6,0	36,0
Warnwert	3,5	9,0	54,0	7,5 (7,66)	46,0
Schwellenwert	4,5	13,0	78,0	11,0	66,0

Tab. 5.3: Grenzwertvorschläge für das Bewertete Längsprofil

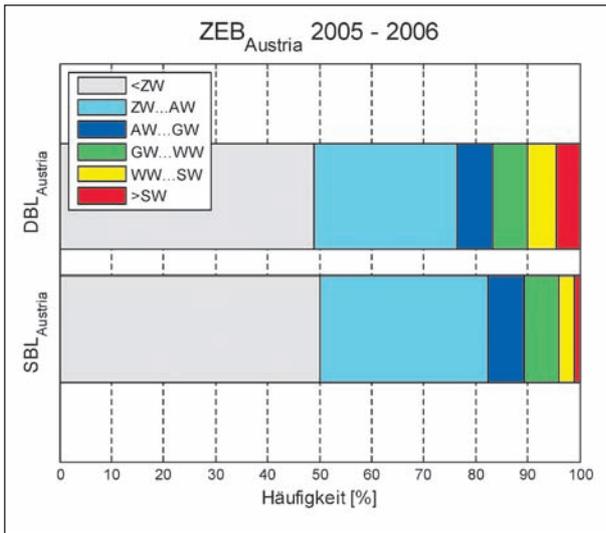


Bild 5.2: Verteilung im österreichischen Fernstraßennetz unter Zugrundelegung der Grenzwertvorschläge

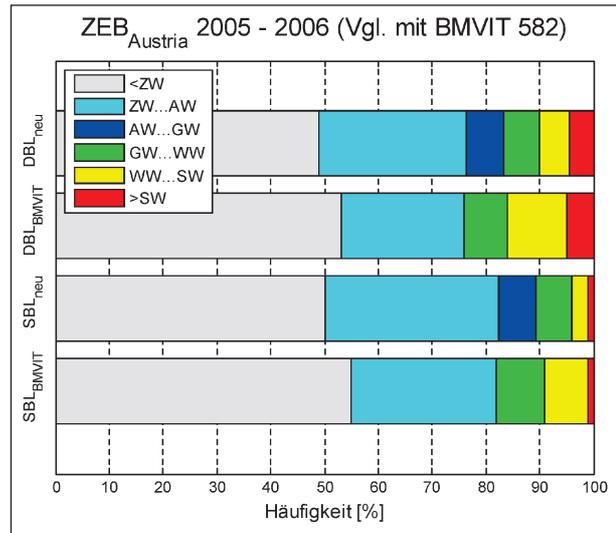


Bild 5.4: Vergleich der Ebenheitsverteilung mit den Verteilungen in SPIELHOFER et al. (2009)

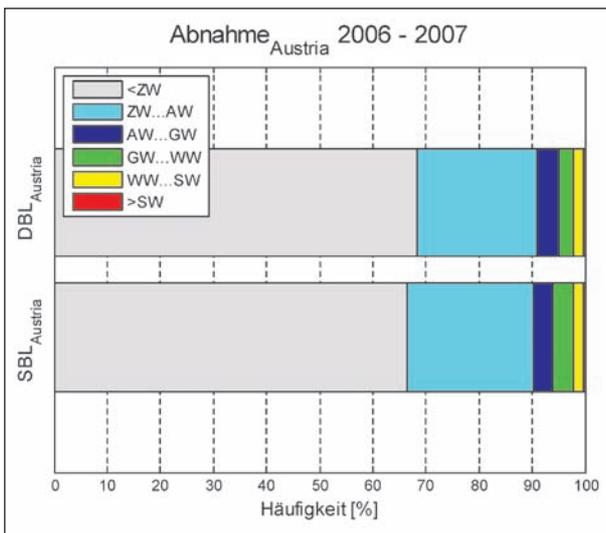


Bild 5.3: Verteilung des Ebenheitszustandes bei Abnahmeprüfungen im österreichischen Fernstraßennetz unter Zugrundelegung der Grenzwertvorschläge

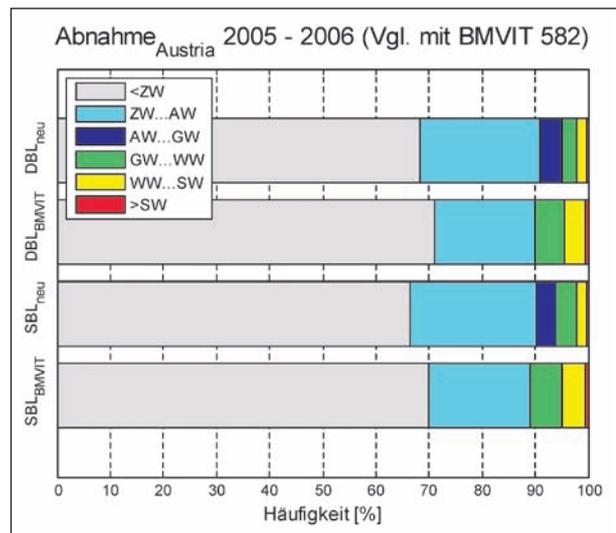


Bild 5.5: Vergleich der Ebenheitsverteilung mit den Verteilungen in SPIELHOFER et al. (2009)

genen Grenzwerte 90 % aller Streckenabschnitte die Abnahmebedingungen (grau + hellblau) erfüllen. Etwa 94 % aller untersuchten Strecken erfüllen die Bedingungen, die an die Gewährleistung geknüpft sind (dunkelblau).

In den Bildern 5.4 und 5.5 sind die Ergebnisse noch mal im Vergleich mit den Ergebnissen aus Heft 582 („SBL_{BMVIT}“ und „DBL_{BMVIT}“) dargestellt. Man erkennt, dass die vorgeschlagenen Grenzwerte im Wesentlichen denen in Heft 582 entsprechen (gleich große Anteile an sehr guten und sehr schlechten Streckenabschnitten) und dass der dazwischenliegende Bereich lediglich durch Hinzufügung zweier zusätzlicher Grenzwerte (Abnahme- und Gewährleistungswert) anders aufgeteilt ist. Es

ist ja bereits am Anfang von Kapitel 5 darauf hingewiesen worden, dass die Grenzwerte an dieser Stelle gesamthaft – d. h. sowohl für ZEB als auch für Bauvertrag – betrachtet werden, weil sie ein aufeinander abgestimmtes und in sich stimmiges System darstellen.

Auch für das deutsche Netz lässt sich eine netzweite Häufigkeitsverteilung abschätzen. Das ist in Bild 5.6 für das Autobahnnetz auf Basis der ZEB-Kampagne 2001/2002 dargestellt. Basis waren Häufigkeitsverteilungen (Auswertungen der BASt) für SBL und DBL auf Basis einer älteren BLP-Variante mit einer maximalen Wellenlänge von 30 m und einer charakteristischen Steigung von $w = 2,0$. Die Ergebnisse wurden anhand

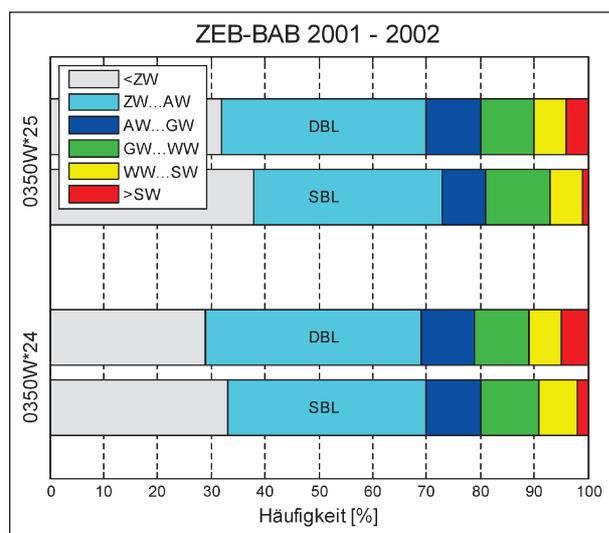


Bild 5.6: Verteilung im deutschen Autobahnnetz unter der Zugrundelegung der Grenzwertvorschläge

von Gl. (3.13) auf die Varianten 0350W*24 und 0350W*25 umgerechnet.

Danach ergibt sich folgendes Bild: Etwa 10 % der Streckenabschnitte liegen über dem Warnwert (gelb/rot). Ein Vergleich mit Bild 5.4 ergibt, dass sich das österreichische und das deutsche Netz in diesem Punkt ähneln. Etwa 70 % des Netzes erfüllen das Abnahme- und etwa 80 % das Gewährleistungskriterium (Österreich: 76 % und 83 %).

Es muss an dieser Stelle noch erwähnt werden, dass für die Häufigkeitsverteilung der Version 0350W*24 die etwas strengeren Grenzwerte (Grenzwerte „D“) und für die Versionen 0350W*25 und „Austria“ die Grenzwerte „A“ aus Tabelle 5.3 zugrunde gelegt worden sind.

In Kombination mit den Grenzwerten „D“ ergibt die Version 0350W*24, wie man aus Bild 5.6 entnehmen kann, eine etwas strengere Bewertung als die Version 0350W*25, die die Grenzwerte „A“ verwendet.

In Kapitel 5.5 werden die Ergebnisse aller 3 Versionen anhand von Auswertungen an Teilkollektiven vergleichend nebeneinander dargestellt.

5.5 Überprüfung der Grenzwertvorschläge an Teilkollektiven

Anhand der in Kapitel 4 schon verwendeten Straßenkollektive „Neubaustrecken“, „DEGES-Strecken“, ZEB-Strecken“ und ABG-Strecken“ sollen

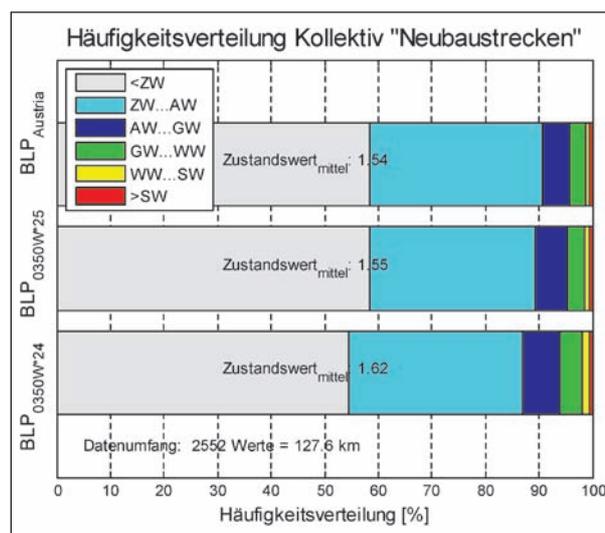


Bild 5.7: Häufigkeitsverteilungen Kollektiv „Neubaustrecken“ – Vergleich der BLP-Varianten

die Grenzwertvorschläge detaillierter untersucht und die 3 BLP-Versionen 0350W*24, 0350W*25 und 0550W*26 ($BLP_{Austria}$) vergleichend nebeneinander dargestellt werden. Dabei werden für die Versionen 0350W*25 und 0550W*26 ($BLP_{Austria}$) die Grenzwerte „A“ und für die Version 0350W*24 die Grenzwerte „D“ zugrunde gelegt. Grundlage für die Bewertung ist der jeweils maßgebende Zustandswert aus SBL und DBL, d. h. $\max(ZWSBL, ZWDBL)$.

Bild 5.7 zeigt das Ergebnis der Auswertungen für das Kollektiv „Neubaustrecken“. Ein nur sehr geringer Prozentsatz des Kollektivs (1 bis 2 %) weist Ebenheitsmängel auf (gelb oder rot). Je nach Variante erfüllen 87 bis 91 % der Streckenabschnitte das Abnahmekriterium (grau + hellblau). $BLP_{Austria}$ und $BLP_{0350W*25}$ (beide mit Grenzwerten „A“) weisen sehr ähnliche Verteilungen auf.

Bild 5.8 zeigt das Ergebnis der Untersuchungen für das Kollektiv „DEGES-Strecken“. Das Ergebnis ähnelt dem Ergebnis für das Kollektiv „Neubaustrecken“. $BLP_{Austria}$ und $BLP_{0350W*25}$ (beide mit Grenzwerten „A“) weisen eine fast identische Verteilung auf. $BLP_{0350W*24}$ (mit Grenzwerten „D“) weist in beiden Fällen eine etwas strengere Beurteilung auf, was auch an dem mittleren Zustandswert deutlich wird, der mit 1,63 bzw. 1,62 in beiden Fällen um etwa 0,1 höher ausfällt.

Bild 5.9 zeigt das Ergebnis für das Kollektiv „ZEB-Strecken“, das, verglichen mit den Verteilungen in den Bildern 5.4 und 5.6, einen deutlich besseren Ebenheitszustand aufweist, d. h. für ein Kollektiv,

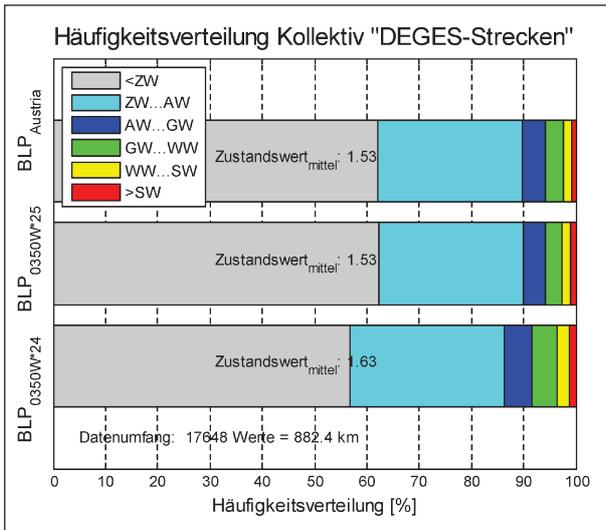


Bild 5.8: Häufigkeitsverteilungen Kollektiv „DEGES-Strecken“ – Vergleich der BLP-Varianten

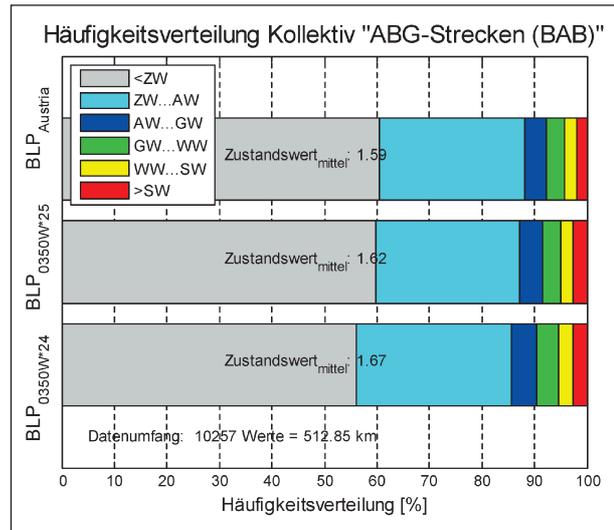


Bild 5.10: Häufigkeitsverteilungen Kollektiv „ABG-Strecken“ – Vergleich der BLP-Varianten

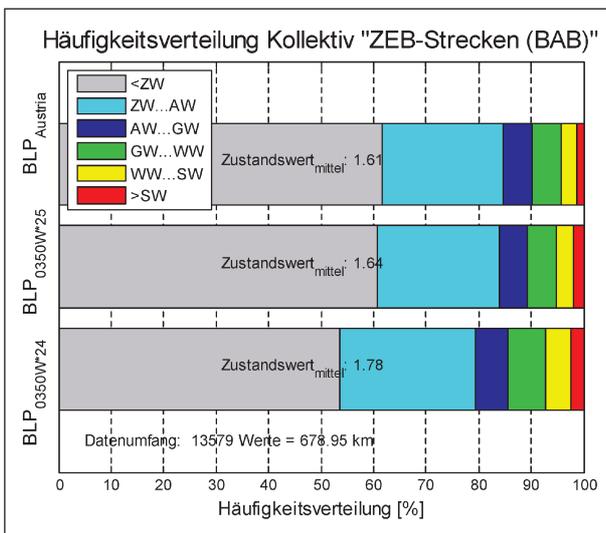


Bild 5.9: Häufigkeitsverteilungen Kollektiv „ZEB-Strecken“ – Vergleich der BLP-Varianten

das den netzweiten Zustand repräsentieren soll, einen insgesamt zu guten Zustand widerspiegelt.

Bild 5.10 zeigt das Ergebnis für das Kollektiv „ABG-Strecken“, das wiederum, verglichen mit den Verteilungen in Bild 5.7 und 5.8, einen sichtbar schlechteren Ebenheitszustand als die „Neubaustrecken“ und „DEGES-Strecken“ aufweist, d. h. für ein Kollektiv, das den Zustand bis zur Gewährleistungsfrist widerspiegeln soll, vielleicht etwas zu viele schlechte Streckenabschnitte enthält.

In allen Fällen fällt auf, dass $BLP_{Austria}$ und $BLP_{0350W*25}$ das Netz in etwa gleich bewerten und $BLP_{0350W*24}$ in Zusammenhang mit den „deutschen“ Grenzwerten eine etwas strengere Bewertung abgibt.

5.6 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen am ganzen Netz und an den 4 Teilkollektiven zeigen, dass die theoretisch hergeleiteten Grenzwerte in der richtigen Größenordnung liegen und vermutlich nur noch geringer Anpassungen bedürfen. $BLP_{Austria}$ und $BLP_{0350W*25}$ (mit Grenzwerten „A“) kommen zu sehr ähnlichen Verteilungen. Die Variante $0350W*24$ (mit Grenzwerten „D“ nach Tabelle 5.3) bewertet etwas strenger. Insgesamt scheinen die Grenzwerte recht harmonisch untereinander abgestimmt zu sein, sodass es zu ausgewogenen Klassenbesetzungen kommt. Die Grenzwerte für bauvertragliche Zwecke (Abnahme- und Gewährleistungswert) fügen sich gut in die Reihung der Grenzwerte für die ZEB ein.

6 Untersuchungen an verschiedenen Straßenkollektiven

Die schon beschriebenen Untersuchungskollektive gestatteten z. T. eine noch etwas detailliertere Auswertung, wie etwa hinsichtlich des Alters, der Bauweise oder der Fahrstreifen. Wo diese Angaben vorlagen, konnten erweiterte Vergleiche angestellt werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, wiederum in Form von Häufigkeitsverteilungen, sind im Folgenden dargestellt. Sie sollen dazu dienen, die Eignung der 3 Varianten und dazugehörigen Grenzwerte weiter zu untersuchen.

6.1 Unterscheidung nach Asphalt- und Betonbauweise

In Bild 6.1 sind die Häufigkeitsverteilungen der 3 Varianten für das Kollektiv „Neubaustrecken“ getrennt nach Asphalt- und Betonbauweise dargestellt. $BLP_{Austria}$ und $BLP_{0350W*25}$ kommen zu sehr ähnlichen Verteilungen und unterscheiden sich in der durchschnittlichen Zustandsnote nur marginal. Bemerkenswert ist, dass beide Deckenarten trotz Unterschieden in der Klassenbesetzung mit einem Mittelwert von 1,54 beim $BLP_{Austria}$ und 1,55 bzw. 1,56 beim $BLP_{0350W*25}$ in der Gesamtbewertung gleich gut abschneiden. Die Variante 0350W*24 (mit Grenzwerten „D“) hebt sich an dieser Stelle von den anderen beiden Varianten ab: Einerseits bewertet sie etwas strenger, aber andererseits erteilt sie auch den Asphaltstrecken eine schlechtere Zustandsnote als den Betonstrecken (1,7 gegenüber 1,57). Das mag daran liegen, dass die Variante 0350W*24 langwellige Unebenheiten etwas stärker bewertet als die anderen beiden Varianten und dass es in dem Kollektiv bestimmte Asphaltstrecken mit langwelliger Charakteristik gibt, die hier den Ausschlag für die etwas schlechtere Note gaben. Ansonsten ließe sich an dieser Stelle noch bemerken, dass die Asphaltstrecken in diesem Kollektiv prozentual mehr „rote“ Abschnitte, also Abschnitte über dem Schwellenwert, aufweisen als die Betonstrecken (etwa 1,3 % gegenüber 0,3 % bei den Betondecken).

Genau andersherum verhält es sich da bei dem Kollektiv „DEGES-Strecken“, dessen Häufigkeitsverteilung in Bild 6.2 gezeigt ist. Hier schneiden die Betonstrecken mit 1,3 % „Rot“ schlechter ab als die Asphaltstrecken mit nur 0,5 % „Rot“. Trotzdem weisen die Betonstrecken mit der Note 1,51 bzw. 1,57 im Schnitt eine geringfügig bessere Ebenheit auf als die Asphaltstrecken mit 1,57 bzw. 1,77. Wieder fällt auf, dass $BLP_{Austria}$ und $BLP_{0350W*25}$ praktisch gleich bewerten, während die Variante 0350W*24 in Verbindung mit den Grenzwerten „D“ etwas strenger bewertet. Und erneut kommen bei der letzteren Variante die Asphaltstrecken vergleichsweise schlechter weg als die Betonstrecken (Notenunterschied von 0,2 zwischen Asphalt und Beton, bei den anderen beiden Versionen nur ein Notenunterschied von 0,07 zwischen Asphalt und Beton). Als Erklärung dafür kann vermutet werden (wie auch schon bei den „Neubaustrecken“ dargelegt), dass bei der Variante 0350W*24 die langwelligigen Unebenheiten die Bewertung stärker prägen als bei den anderen beiden Varianten und dass es diese Charakteristik bei einigen Asphaltstraßen in diesem

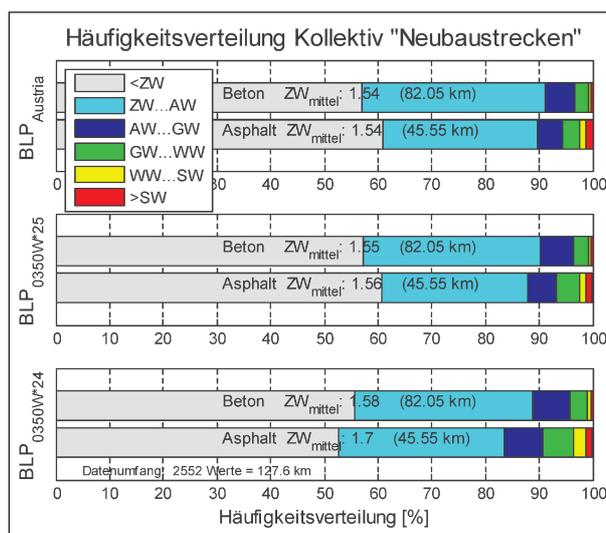


Bild 6.1: Vergleich der BLP-Varianten – Häufigkeitsverteilungen Kollektiv „Neubaustrecken“

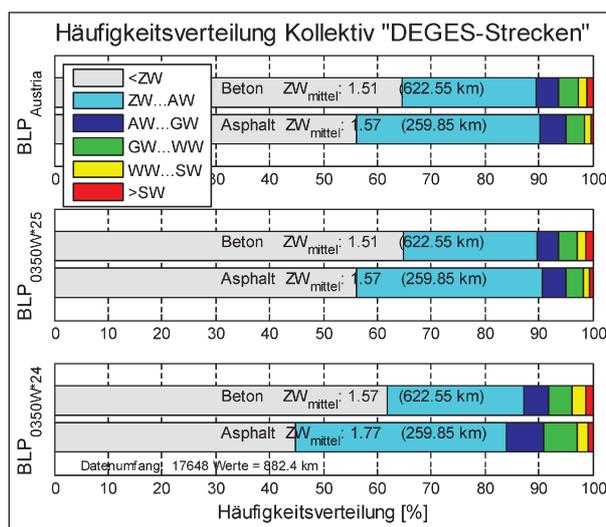


Bild 6.2: Vergleich der BLP-Varianten – Häufigkeitsverteilungen Kollektiv „DEGES-Strecken“

Kollektiv ist, die zu diesem Unterschied in der Bewertung führt.

Dass die Variante 0350W*24 Asphaltstrecken immer schlechter bewertet als Betonstrecken, kann daraus jedoch nicht abgeleitet werden. Das wird an einem weiteren Straßenkollektiv (ZEB-Strecken/BAB) deutlich, dessen Häufigkeitsverteilungen in Bild 6.3 dargestellt sind. Hier fällt auf, dass alle 3 Varianten die Asphaltstrecken als gleich gut mit den Betonstrecken einstufen. Das ist natürlich keineswegs vorauszusetzen, aber es scheint bei diesem Kollektiv der Fall zu sein, dass Asphalt- und Betonstrecken trotz deutlich unterschiedlicher Gesamtlänge die gleiche Ebenheitsverteilung aufweisen; das kommt bei allen 3 BLP-Varianten deutlich zum Ausdruck, auch wenn die Variante 0350W*24

in Verbindung mit den Grenzwerten „D“ wieder etwas strenger bewertet. Überhaupt kann bei allen 3 bisher betrachteten Kollektiven festgestellt werden, dass Beton- und Asphaltstrecken bezüglich der Ebenheit in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander ausgewählt worden sind.

Gleiches kann auch für das Kollektiv „ABG-Strecken“ gesagt werden; auch hier unterscheiden sich die Häufigkeitsverteilungen und Benotungen für Asphalt- und Betondecken nur marginal voneinander. Wieder fällt auf, dass $BLP_{Austria}$ und $BLP_{0350W*25}$ praktisch gleich bewerten, während die Variante $0350W*24$ in Verbindung mit den Grenzwerten „D“ etwas strenger bewertet.

Zusammenfassend kann man aus diesen Betrachtungen das Fazit ziehen, dass die Deckenart per se

keinen Einfluss auf die Ebenheitsbewertung hat, d. h. dass keinerlei „Bias“ von den Bewertungsmethoden hinsichtlich der Deckenart ausgeübt wird. Im Gegenteil – die Ergebnisse dieses Kapitels lassen erwarten, dass im netzweiten Vergleich Beton- und Asphaltbauweisen in ausgewogener und angemessener Weise repräsentiert sein werden. Das heißt jedoch nicht, dass nicht auch einbauspezifische Einflüsse, wie etwa bestimmte Wellenformen, die eher bei gewalzten (Asphalt-)Decken auftreten als bei Beton, das Bewertungsergebnis beeinflussen können, wie es etwa an den Auswertergebnissen der Variante $0350W*24$ zu beobachten ist. Diese Variante in Kombination mit den Grenzwerten „D“ bewertet die Ebenheit etwas strenger als die anderen beiden Varianten, die die Grenzwerte „A“ verwenden.

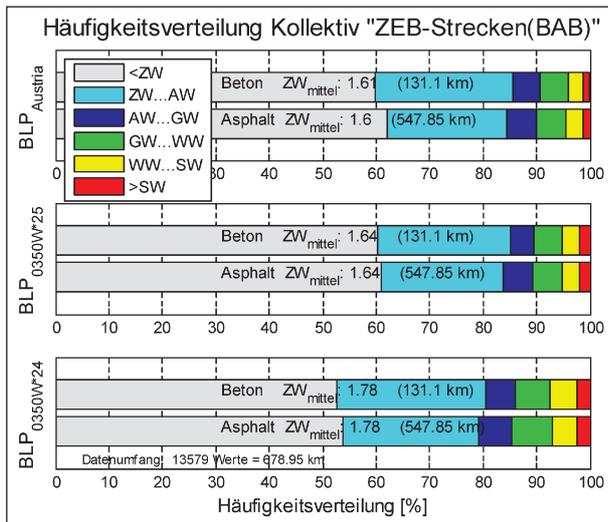


Bild 6.3: Vergleich der BLP-Varianten – Häufigkeitsverteilungen Kollektiv „ZEB-Strecken/BAB“

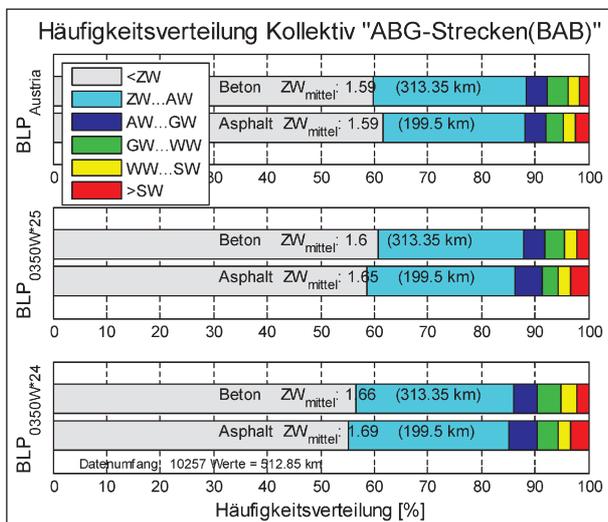


Bild 6.4: Vergleich der BLP-Varianten – Häufigkeitsverteilungen Kollektiv „ABG-Strecken“

6.2 Unterscheidung nach Oberbauweisen

Die Daten aus dem Kollektiv „DEGES-Strecken“ ließen eine detailliertere Betrachtung hinsichtlich verschiedener Oberbauweisen zu.

In Bild 6.5 sind die Ergebnisse dargestellt. Die oberen beiden Grafiken gelten für die Varianten $BLP_{0350W*25}$ und $BLP_{Austria}$, die untere für die Variante $BLP_{0350W*24}$. Jeder Balken in den Grafiken steht für eine Oberbauvariante. Die Abkürzungen bedeuten: AG: Asphaltbauweise mit Gussasphaltdeckschicht, AS: Asphaltbauweise mit SMA-Deckschicht, BA: Betonbauweise auf Asphalttragschicht, BH: Betonbauweise auf HGT ohne Vlies, BU: Betonbauweise auf ungebundener Tragschicht und BV: Betonbauweise auf HGT mit Vlies. Wieder fällt auf, wie sehr sich die Ergebnisse von $BLP_{0350W*25}$ und $BLP_{Austria}$ (obere Grafiken) gleichen: Die mittleren Zustandswerte der 6 Oberbauarten unterscheiden sich maximal um 0,02 (im Falle der AG). Dennoch ergab die Variante $BLP_{0350W*25}$ etwas mehr rote Abschnitte als das $BLP_{Austria}$: im Schnitt 1,2 % gegenüber 0,8 % beim $BLP_{Austria}$. Das liegt mit Sicherheit an den kurzen, impulsartigen Unebenheiten, die beim $BLP_{Austria}$ aufgrund der anderen Filtercharakteristik im kurzwelligen Bereich nicht so stark durchschlagen wie beim $BLP_{0350W*25}$.

An dieser Stelle sei noch mal erwähnt, dass es sich bei dem Kollektiv um Strecken handelt, die höchstens ein Alter von 4 Jahren aufwiesen. Die Variante $BLP_{0350W*24}$ weist gleiche Anteile an roten Abschnitten auf wie die Variante $BLP_{0350W*25}$ (1,2 %).

BLP_{0350W*24} (in Verbindung mit den Grenzwerten „D“) beurteilt etwas strenger als die anderen beiden Varianten, was sich in schlechteren Zustandswerten bemerkbar macht (bei Betonstraßen im Schnitt um 0,07 und bei Asphaltfahrbahnen um 0,19 schlechter, s. untere Grafik in Bild 6.5).

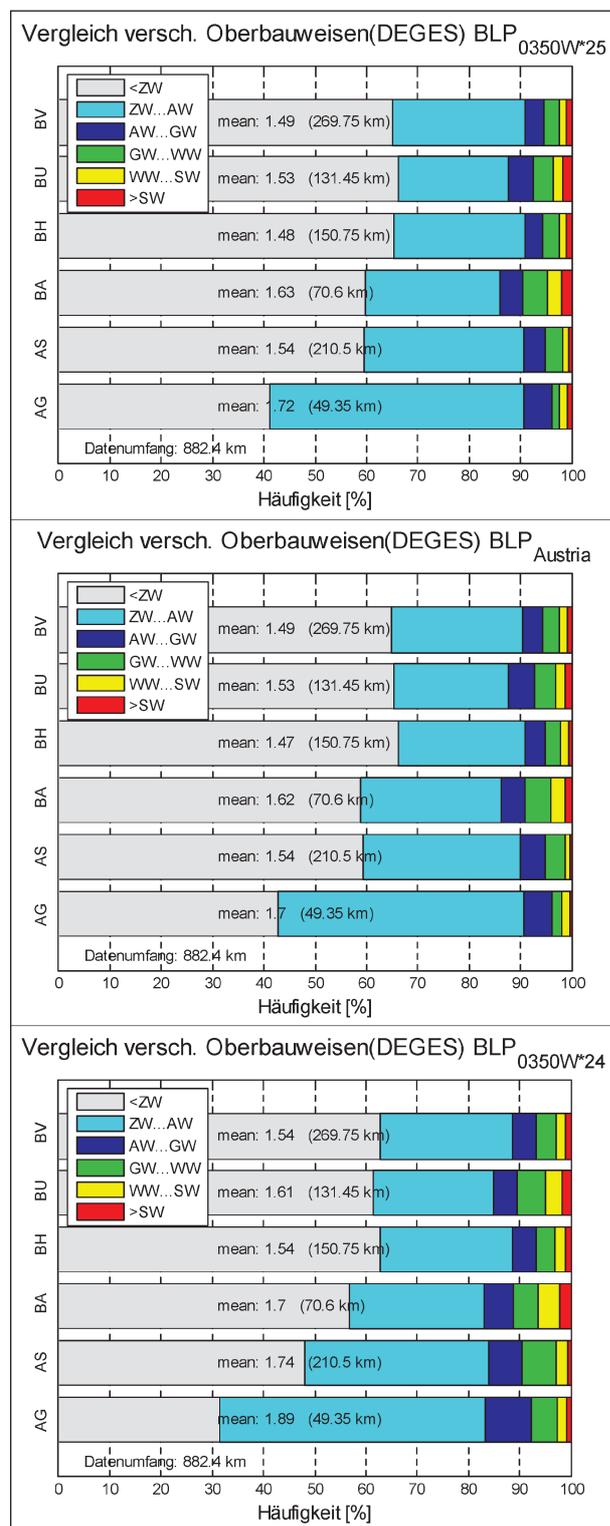


Bild 6.5: Häufigkeitsverteilungen nach Oberbauweisen (Kollektiv „DEGES-Strecken“)

Im Vergleich der Oberbauweisen wiesen die Betonfahrbahnen im Mittel der Zustandswerte etwas bessere Ebenheiten als die Asphaltstrecken auf, obwohl sie einen größeren Anteil an roten Abschnitten als jene enthielten. Das liegt daran, dass sie dafür mehr Abschnitte im sehr guten Bereich haben. Der Befund stellt sich insgesamt so dar: Die Betondecken auf HGT mit und ohne Vlies weisen eine sehr gute Ebenheit auf Zielwert-Niveau auf, gefolgt von der Betonbauweise auf ungebundener Trag-schicht. Danach reihen sich Beton auf Asphalttrag-schicht und Asphaltbauweise mit SMA-Deckschicht ein, wobei die Variante BLP_{0350W*24} die Beton-Deckschicht geringfügig besser einstuft als die Asphaltdecke. Die anderen beiden Varianten (BLP_{Austria} und BLP_{0350W*25}) sehen das genau andersherum. Am schlechtesten schneidet in diesem Kollektiv die Asphaltbauweise mit Gussasphaltdeck-schicht ab. Sie hat zwar vergleichsweise wenig „rote“ Abschnitte, dafür aber auch nur wenige sehr gute Abschnitte (ZW < 1,5).

Dass dieses Ergebnis nicht auf andere Kollektive oder sogar auf das ganze Fernstraßennetz über-tragbar ist, wird am Kollektiv „ZEB-Strecken/BAB“ deutlich, das einen ähnlichen Umfang hat wie das hier betrachtete Kollektiv und in dem die Asphaltbauweise genauso gute Ebenheiten aufweist wie die Betonbauweise (siehe Bild 6.3).

Es scheint aber, dass sich bauweisespezifische Unebenheiten sehr wohl in der Bewertung durch das Bewertete Längsprofil bemerkbar machen: Die Ergebnisse gaben Anlass zu der Vermutung, dass es bei den Betonfahrbahnen eher die kurzen, impuls-artigen Unebenheiten sind, die das Gesamtergebnis prägen, während es bei den Asphaltdecken eher die längeren, welligen Unebenheiten sind. Um dieser Frage nachzugehen, wurde bei jedem 50-m-Abschnitt überprüft, welcher Indikator – SBL oder DBL oder aber beide gleichermaßen – den Ausschlag für die Bewertung gegeben hat. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in Bild 6.6 dargestellt.

Die oberen zwei Grafiken gelten für die Varianten BLP_{0350W*25} und BLP_{Austria}, die untere für BLP_{0350W*24}. Die jeweils 6 horizontalen Balken geben für jede der 6 Oberbauarten die Anteile von SBL und DBL an. In der linken Hälfte der Grafiken, in Dunkelgrau, erkennt man jeweils den Anteil der 50-m-Abschnitte, in denen die Standardabweichung, SBL, den Ausschlag gab. In der Mitte findet man den Anteil, bei dem beide Indikatoren gleichermaßen den Zustandswert bestimmten, und in der

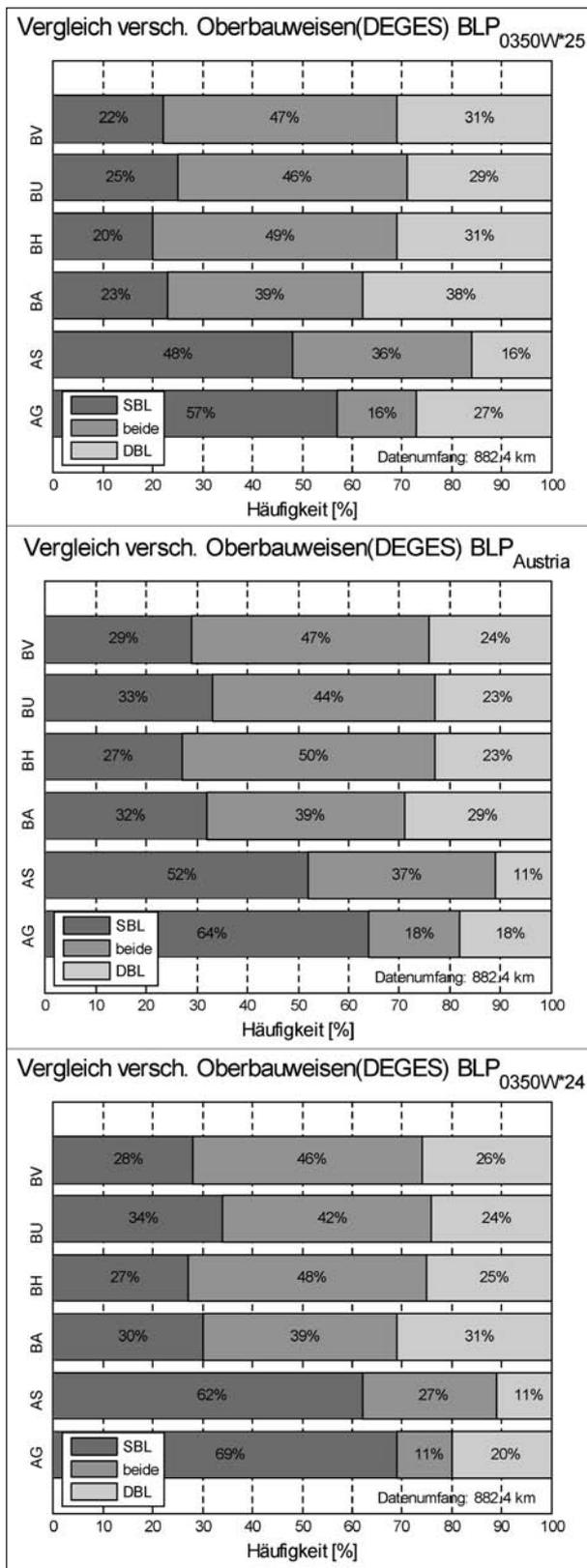


Bild 6.6: Entscheidender Zustandsindikator für die Bewertung (Kollektiv „DEGES-Strecken“)

rechten Hälfte der Grafiken den Anteil, bei dem die Spannweite, DBL, für die Bewertung den Ausschlag gegeben hatte.

Man erkennt deutlich den Unterschied zwischen Beton- (obere 4 Balken) und Asphaltbauweise (jeweils untere 2 Balken): Bei den Betonbauweisen ist das Verhältnis von SBL zu DBL recht ausgeglichen, während bei den Asphaltbauweisen der Indikator SBL in mehr als 50 % der Fälle ausschlaggebend ist. Wenn SBL den Ausschlag gibt, deutet das immer auf eine wellige Unebenheitscharakteristik hin, während DBL als ausschlaggebender Indikator ein starkes Indiz für eine impulsartige Charakteristik ist (s. die Ausführungen in Kapitel 4.5). Die Asphaltbauweisen weisen also in der Tendenz eine „welligere“ Charakteristik auf als die Betonbauweisen. Um die dominierenden Wellenlängen sichtbar zu machen, wurde in einer weiteren Untersuchung für jeden 50-m-Abschnitt aus dem Kollektiv untersucht, welcher Wellenlängenbereich (in Form der jeweiligen Oktave) die höchsten Amplitudenanteile aufwies. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in Bild 6.7 dargestellt.

Die oberen zwei Grafiken in Bild 6.7 gelten wieder für die Varianten BLP_{0350W*25} und BLP_{Austria}, während die untere die Variante BLP_{0350W*24} repräsentiert. Jede der 3 Grafiken enthält 6 Kurven – eine jede zu einer bestimmten Oberbauart gehörig. Diese Kurven geben die Häufigkeiten der dominierenden Wellenlängen im Bewerteten Längsprofil wieder.

Das Ergebnis der Untersuchung ist überraschend eindeutig: Bei den Asphaltbauweisen (Kurven AG und AS in Dunkelblau und Dunkelgrün) dominieren die langen Wellen (über 7 m Wellenlänge) die Bewertung, während bei den Betonbauweisen die kurzen Wellen (unter 7 m Wellenlänge) die Bewertung prägen. Das ist ein klarer Hinweis darauf, dass die Asphaltbauweisen dieses Kollektivs ein anderes Unebenheitsspektrum (eine höhere Welligkeit) aufweisen als die Betonbauweisen. Von den Bundesstraßen, die fast ausschließlich in Asphaltbauweise gefertigt werden, kennt man das auch: Sie weisen mit $w = 2,6$ eine deutlich höhere Welligkeit auf als etwa Autobahnen in Betonbauweise ($w = 2,2$, siehe dazu auch Kapitel 4.4 mit Bild 4.3, wo dieser Effekt ebenfalls dargestellt ist und die Grenze auch bei etwa 7 m liegt).

Als Fazit aus diesen Untersuchungen lässt sich feststellen, dass das Bewertete Längsprofil den Asphaltbauweisen des Kollektivs „DEGES-Strecken“ gleich gute Ebenheiten bescheinigt wie den Betonbauweisen, dass aber sehr wohl die bauweisespezifischen Ebenheitsmerkmale in die Bewertung eingehen.

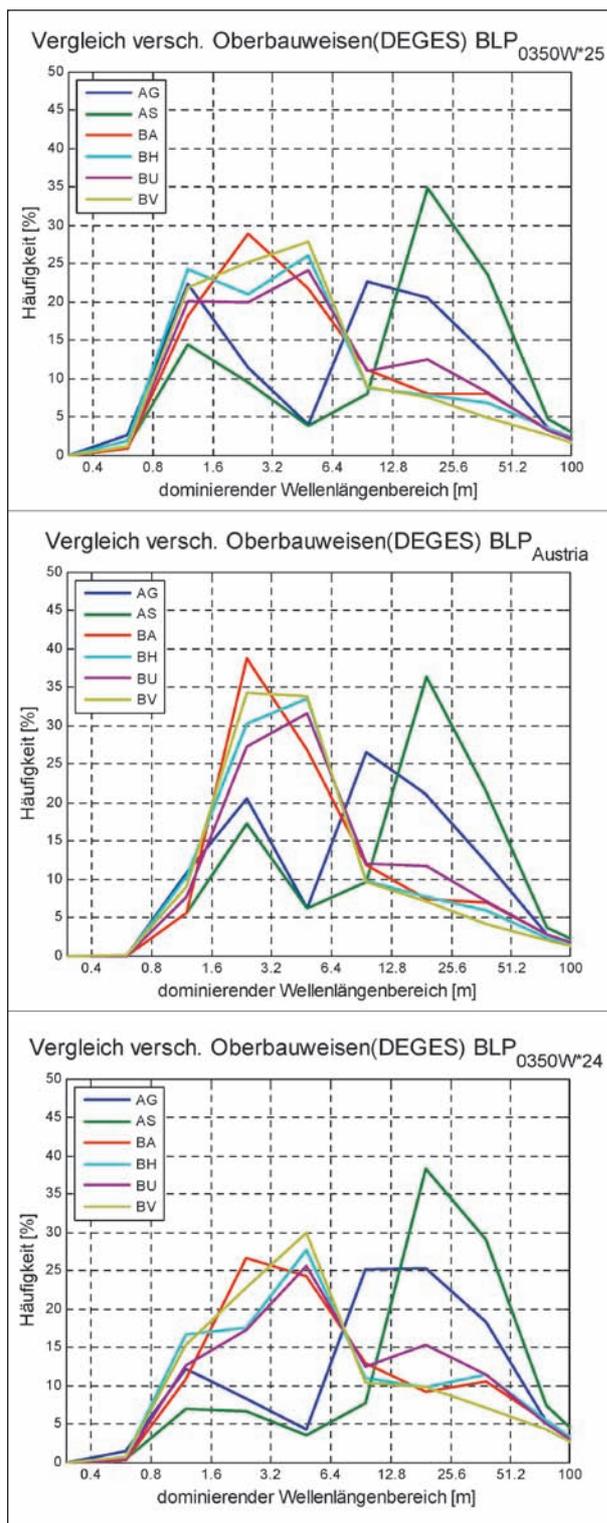


Bild 6.7: Dominierende Wellenlängen im Bewerteten Längsprofil (Kollektiv „DEGES-Strecken“)

6.3 Unterscheidung nach Liegedauer

Die Daten aus dem Kollektiv „DEGES-Strecken“ ließen eine nach der Liegedauer getrennte Darstellung der Häufigkeitsverteilungen zu. Dabei wurden die Abschnitte, die jünger als ein Jahr waren, auf-

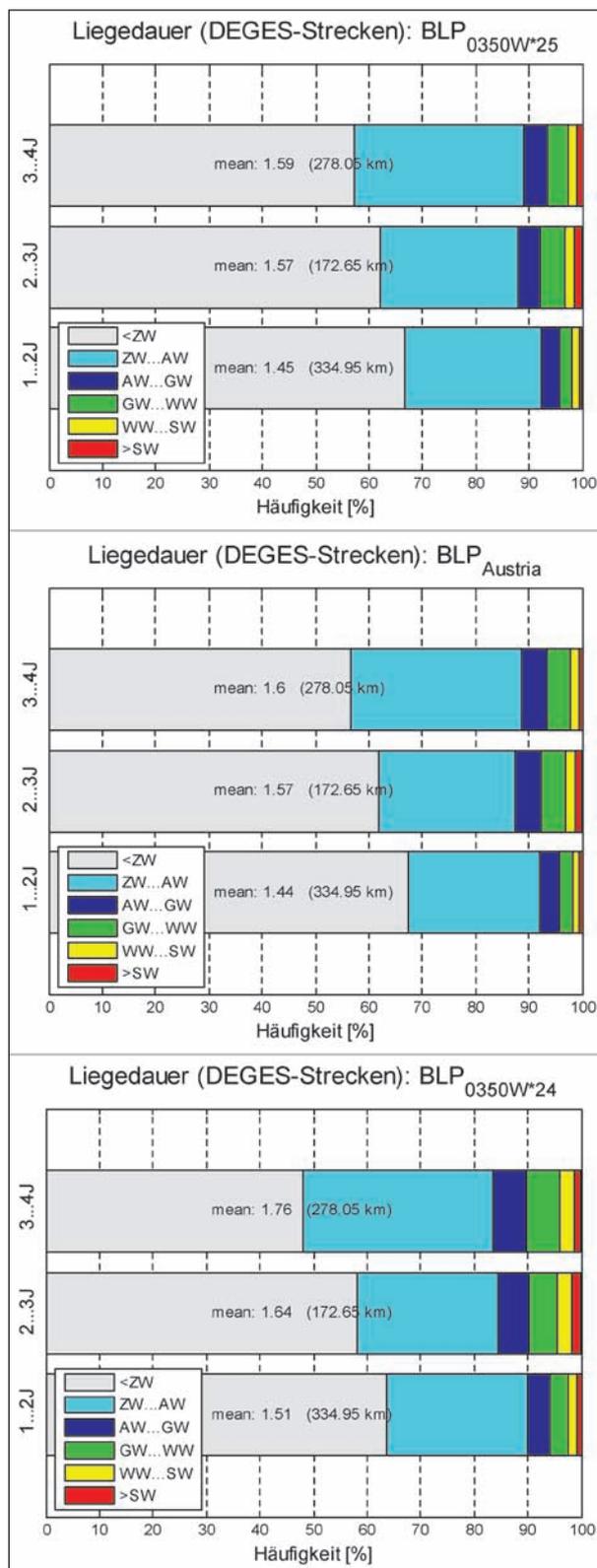


Bild 6.8: Einteilung nach Liegedauer (Kollektiv „DEGES-Strecken“)

grund eines zu geringen Datenumfangs aus den Untersuchungen herausgenommen. Die Streckenabschnitte wurden nach den Klassen 1...2 Jahre, 2...3 Jahre und 3...4 Jahre eingeteilt. Bild 6.8 zeigt

das Ergebnis der Untersuchungen. Das Bild enthält 3 Grafiken, deren obere zwei das Ergebnis für die Varianten BLP_{0350W*25} und BLP_{Austria} wiedergeben und deren untere den Befund für die Variante BLP_{0350W*24} darstellt.

Wie schon oft beobachtet und erwähnt ergeben BLP_{0350W*25} und BLP_{Austria} sehr ähnliche Ergebnisse. BLP_{0350W*24} (in Verbindung mit den Grenzwerten „D“) bewertet etwas strenger. Alle Varianten geben eine sich mit der Liegedauer verschlechtern-

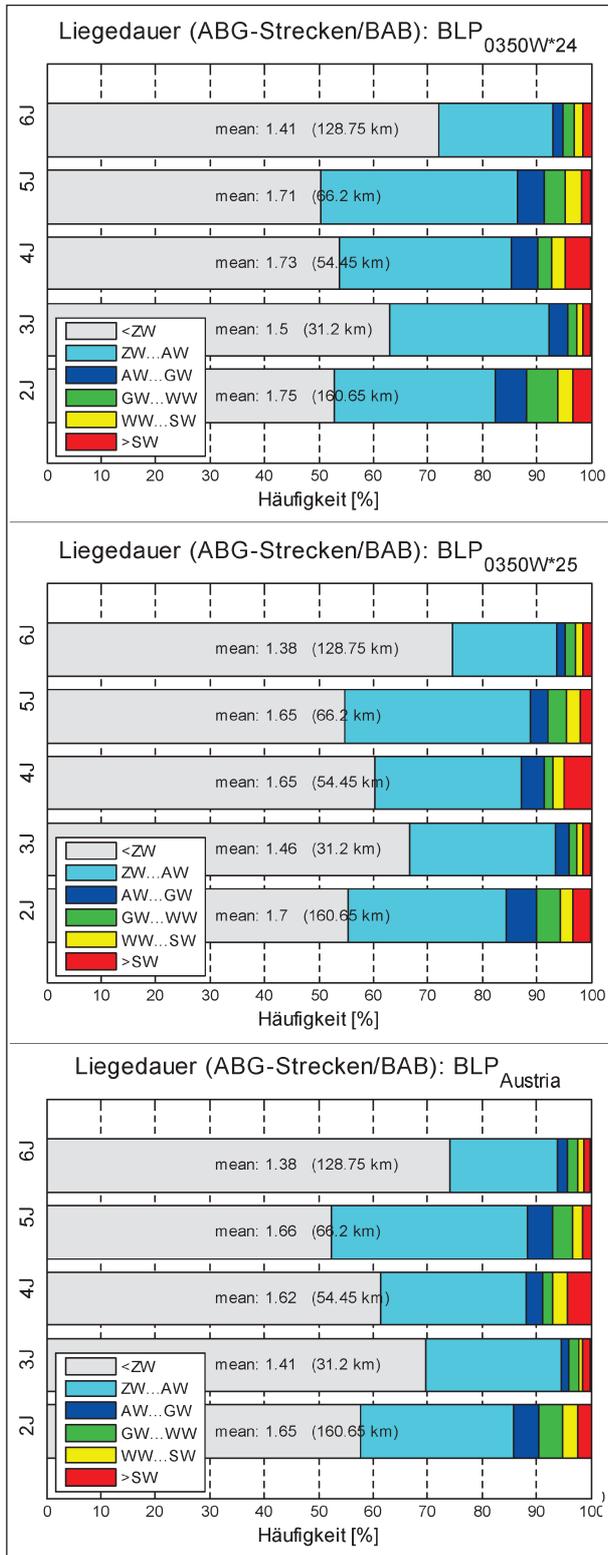


Bild 6.9: Einteilung nach Liegedauer (Kollektiv „ABG Strecken/BAB“)

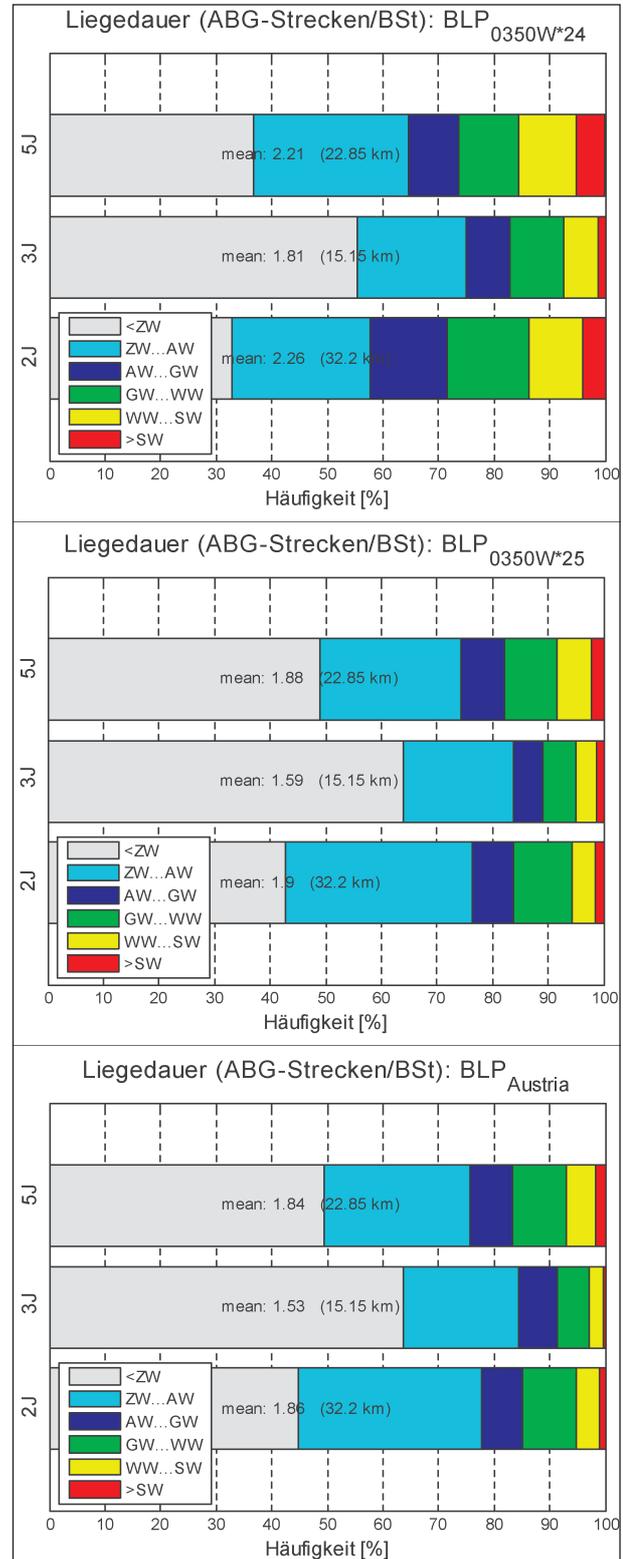


Bild 6.10: Einteilung nach Liegedauer (Kollektiv „ABG-Strecken/BSt.“)

de Ebenheit wieder. Die mittleren Zustandswerte unterscheiden sich allerdings nur geringfügig voneinander. Dass das Ergebnis hier „so schön passt“, dürfte bei diesen kurzen Liegedauern und geringen Streckenlängen (zusammen knapp 800 km) allerdings eher Zufall sein.

In Bild 6.9 und Bild 6.10 ist das Ergebnis für das Kollektiv „ABG-Strecken“ (BAB und BStr.) dargestellt. Die Ebenheitsuntersuchungen ergeben keinen Zusammenhang zur Liegedauer und bestätigen, dass eine solche Untersuchung nur auf Objektebene sinnvoll ist.

6.4 Unterscheidung nach Fahrstreifen

Die Auswertung nach Fahrstreifen beim Kollektiv „DEGES-Strecken“ ergab keine eindeutigen Trends, was wegen der kurzen Liegedauern auch nicht zu erwarten war. So sollen die Untersuchungen hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt werden. In Bild 6.11 bis Bild 6.13 sind die Ergebnisse wiedergegeben. Bild 6.11 gibt die Häufigkeitsverteilungen für die Zustandswerte der Variante BLP_{0350W*24} getrennt nach den 6 Oberbauweisen wieder. Für die zweispurige Strecke in

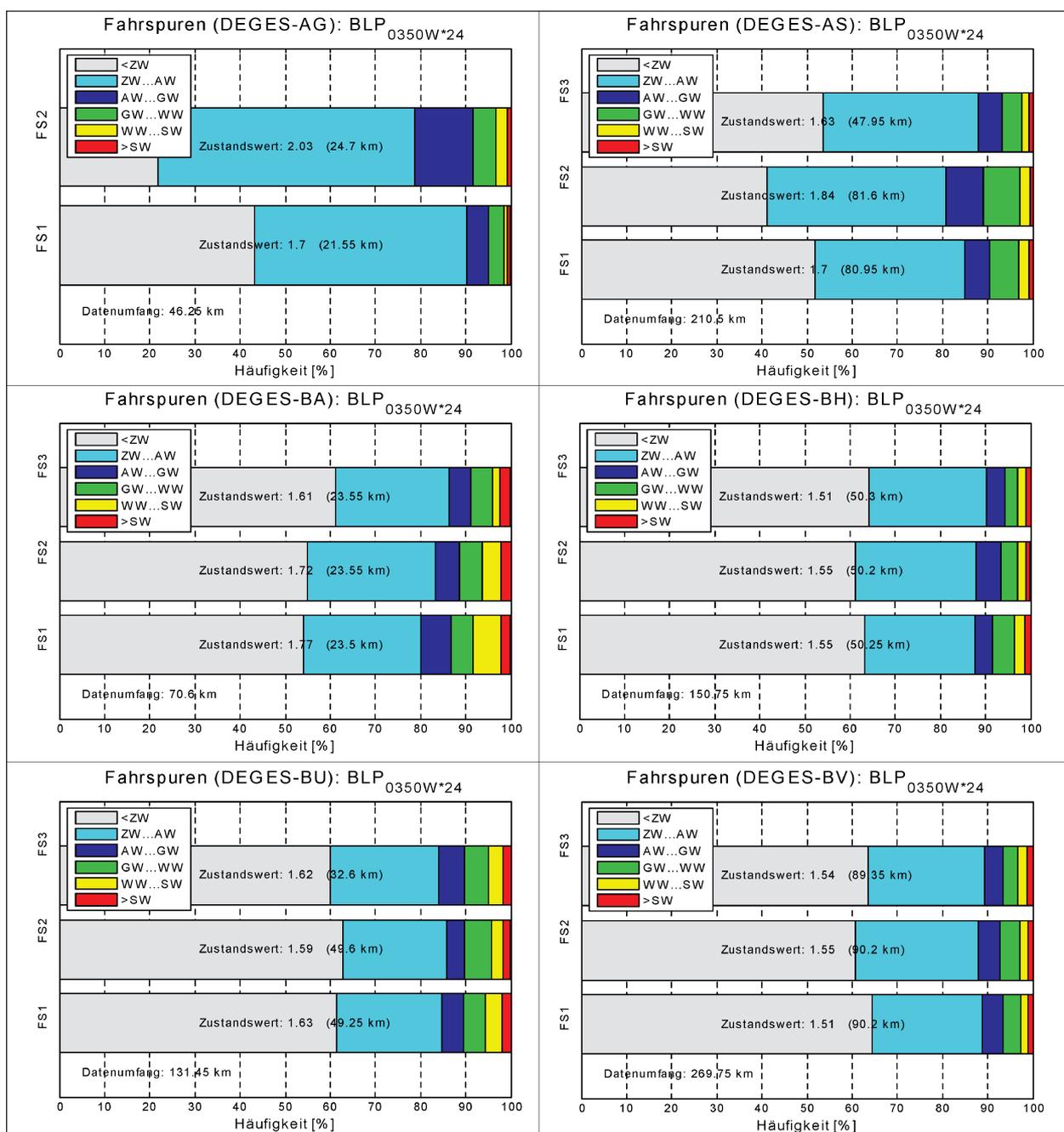


Bild 6.11: Einteilung nach Fahrstreifen (Kollektiv „DEGES-Strecken“ – Variante BLP_{0350W*24})

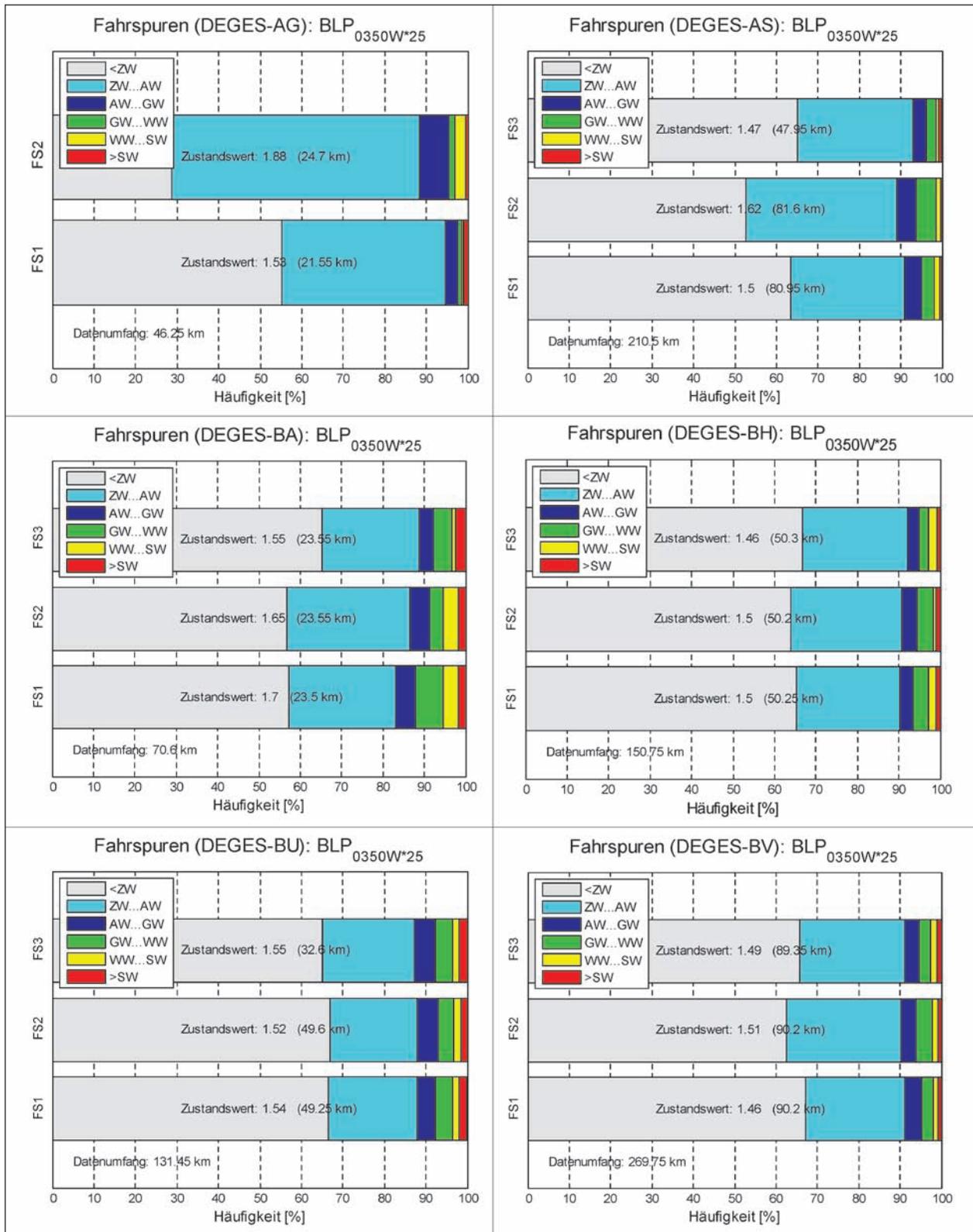


Bild 6.12: Einteilung nach Fahrstreifen (Kollektiv „DEGES-Strecken“ – Variante BLP_{0350W*25})

Gussasphaltausführung (GA) sind große Ebenheitsunterschiede zwischen linkem und rechtem Fahrstreifen zu verzeichnen. Für die 3-spurigen Betonfahrbahnen (Bauweisen BA, BH, BU und BV) sind die Unterschiede zwischen den Fahrstreifen

nur klein; eine eindeutige Reihung ist nicht möglich.

Gleiches gilt für die anderen beiden BLP-Varianten. In Bild 6.12 sind die Ergebnisse für die Variante

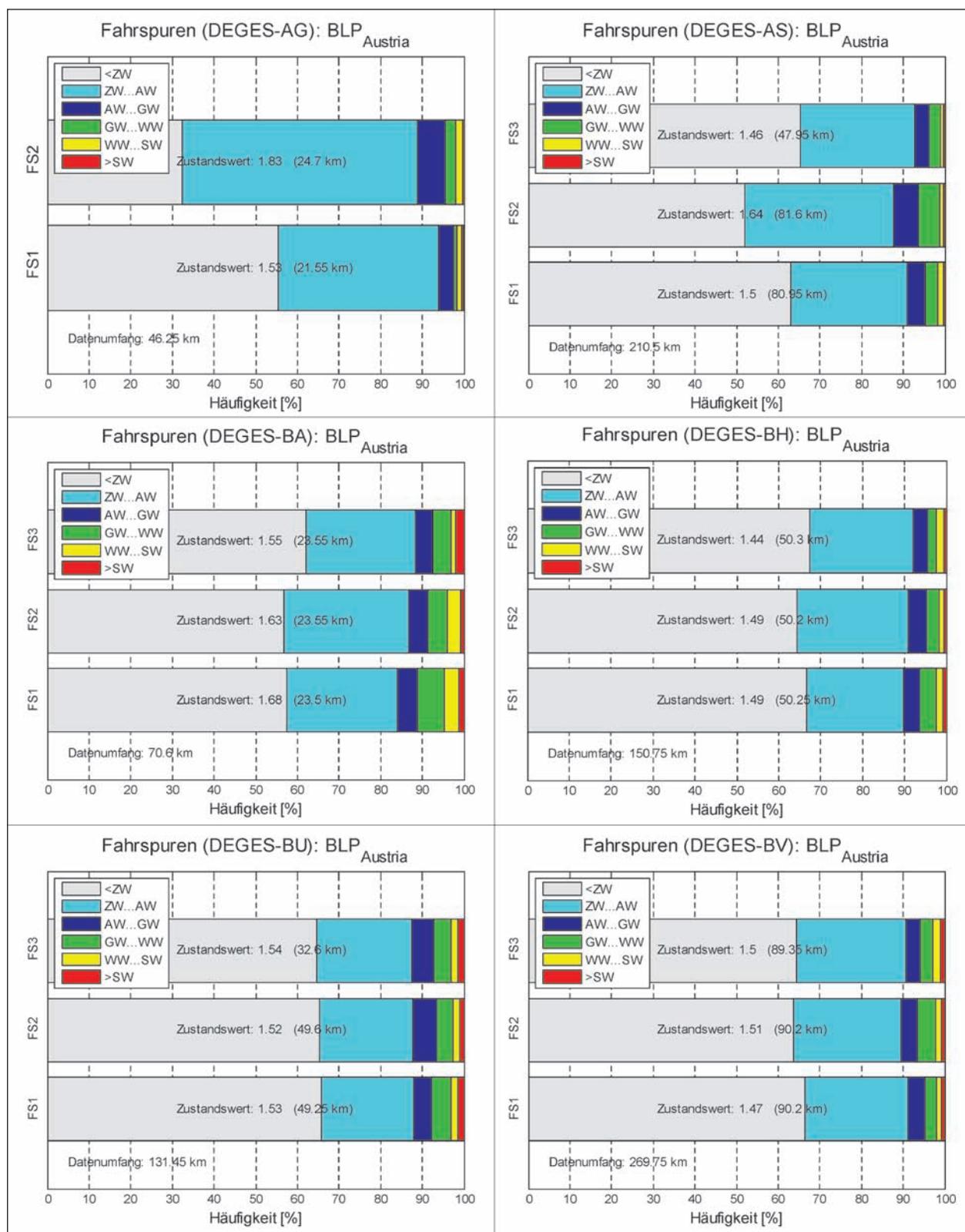


Bild 6.13: Einteilung nach Fahrstreifen (Kollektiv „DEGES-Strecken“ – Variante BLP_{Austria})

BLP_{0350W*25} und in Bild 6.13 die Ergebnisse für BLP_{Austria} wiedergegeben. Die Ebenheiten weisen Zustandswerte auf, wie sie für Straßen, die erst wenige Jahre liegen, typisch sind. Etwa 90 %

der Abschnitte weisen sehr gute Ebenheiten auf Zielwert-Niveau (ZW = 1,5) auf.

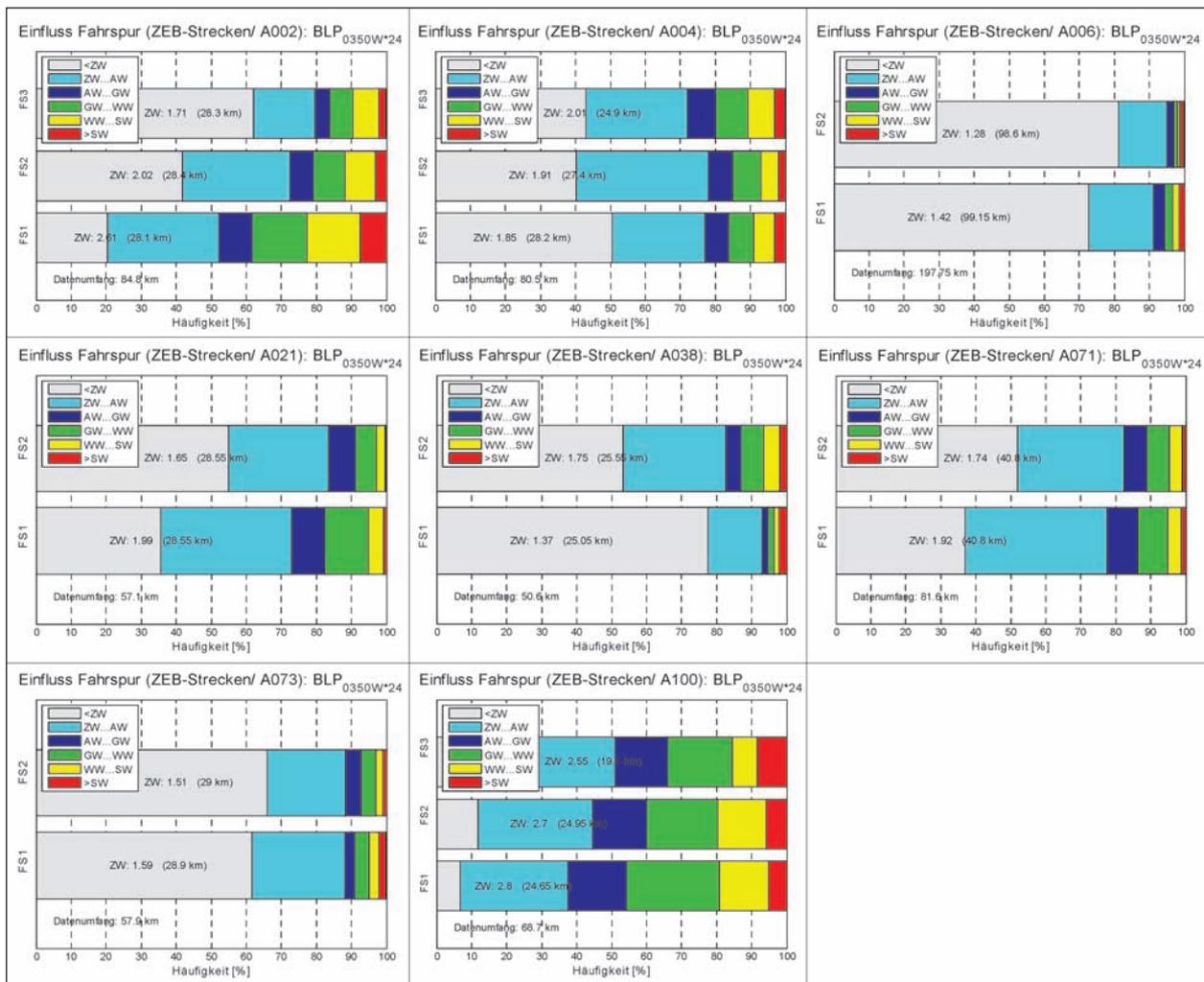


Bild 6.14: Einteilung nach Fahrstreifen (Kollektiv „ZEB-Strecken/BAB“ – Variante BLP_{0350W*24})

Bild 6.14 bis Bild 6.16 zeigen die Auswertungen für das Kollektiv „ZEB-Strecken/BAB“. Die Ergebnisse für die Variante BLP_{0350W*24} sind in Bild 6.14 dargestellt. Die Abbildung besteht aus acht Einzelgrafiken. Jede Einzelgrafik gehört zu einer Untersuchungsstrecke. Entsprechend der zugehörigen Autobahn werden diese Abschnitte mit A002, A004, A006, A021, A038, A071, A073 und A100 bezeichnet.

Jede Einzelgrafik weist, je nach Anzahl der Fahrstreifen, 2 bzw. 3 Balken zur Veranschaulichung der Ebenheitsverteilung in den jeweiligen Fahrstreifen auf. In 6 von 8 Fällen wird die Ebenheit vom rechten Fahrstreifen zur Mitte hin besser, in 2 Fällen ist es allerdings umgekehrt (A004 und A038). Deutliche Fahrstreifenunterschiede gibt es beispielsweise bei der Strecke A002, während andere Strecken, wie etwa A073, kaum Unterschiede aufweisen. Das Kollektiv umfasst sehr gute Strecken (wie A006) und solche, die bis zu 20 % mangelhafte Abschnitte enthalten (A100).

Gleiches ist im Prinzip für die Bilder 6.15 und 6.16 zu sagen, die die Ergebnisse für die Varianten BLP_{0350W*25} und BLP_{Austria} (beide mit Grenzwerten „A“) zusammenfassen. Diese beiden Versionen ergeben wieder eine sehr ähnliche Bewertung, während die Bewertung der Variante BLP_{0350W*24}, wie erwartet, etwas strenger ausfällt, was an den strengeren Grenzwerten „D“ liegt. Auch hier nimmt die Ebenheit in denselben 6 von 8 Fällen vom rechten Fahrstreifen zur Mitte hin zu, jedoch ist es nur in einem Fall andersherum (A038). Bei der Strecke A004 ist der mittlere Fahrstreifen am ebensten, gefolgt vom rechten und dann vom mittleren. Die Ebenheitsunterschiede sind jedoch so klein, dass es von Variante zu Variante zu solchen Reihungsunterschieden kommen kann.

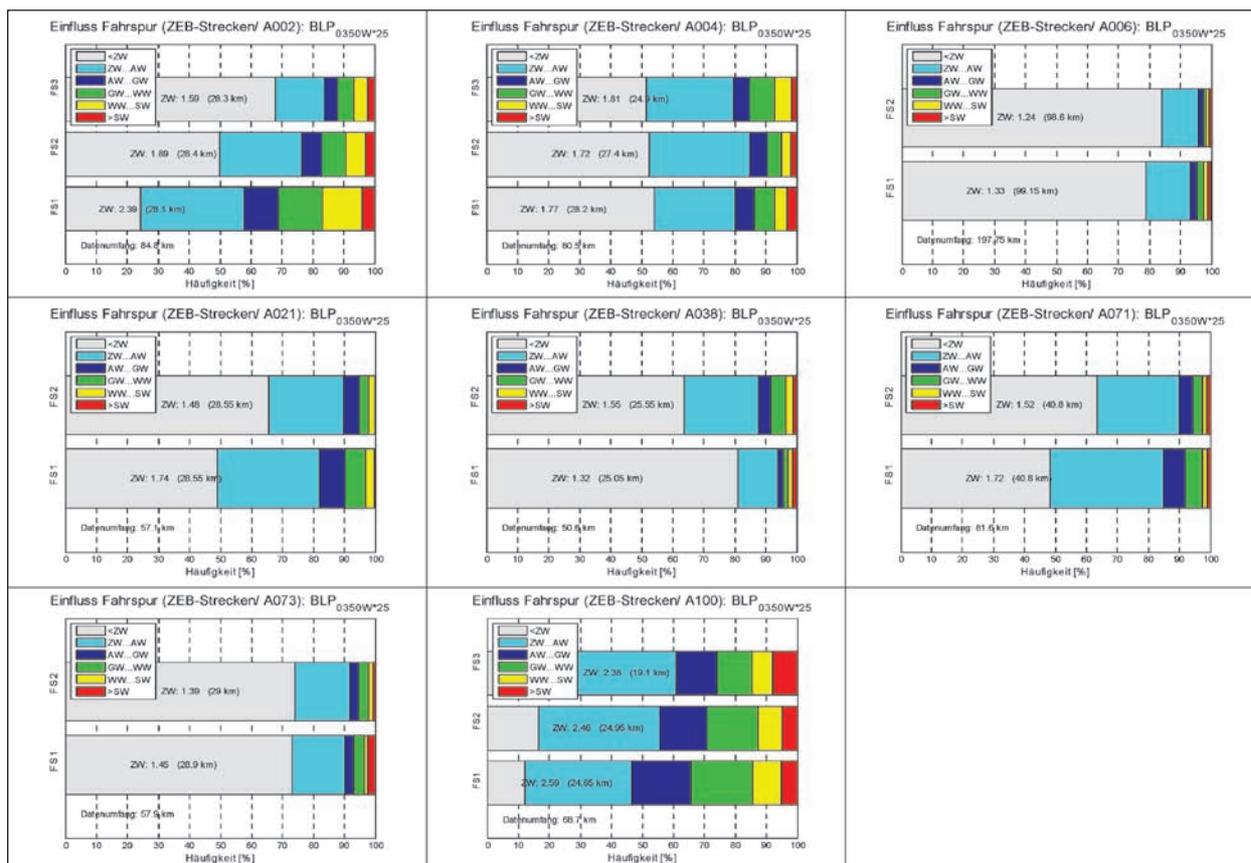


Bild 6.15: Einteilung nach Fahrstreifen (Kollektiv „ZEB-Strecken/BAB“ – Variante BLP_{0350W*25})

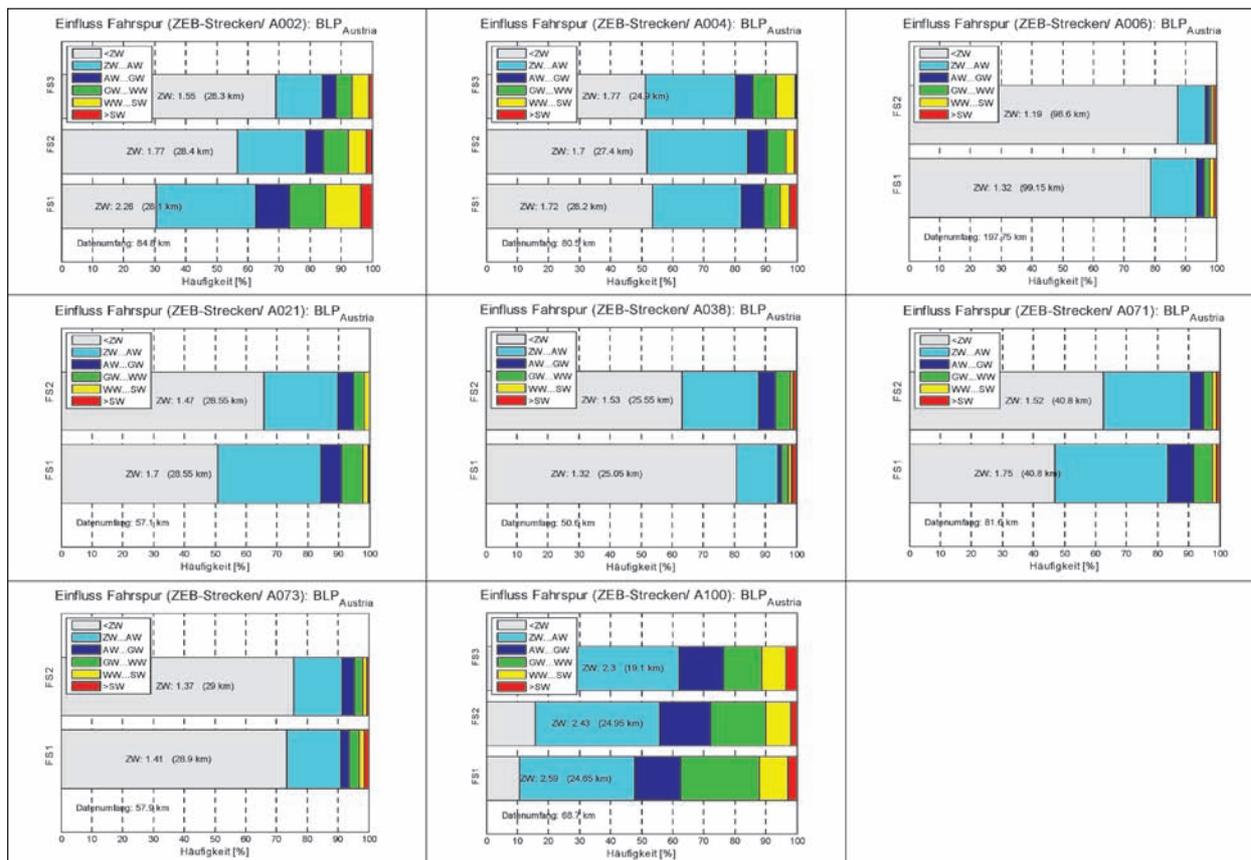


Bild 6.16: Einteilung nach Fahrstreifen (Kollektiv „ZEB-Strecken/BAB“ – Variante BLP_{Austria})

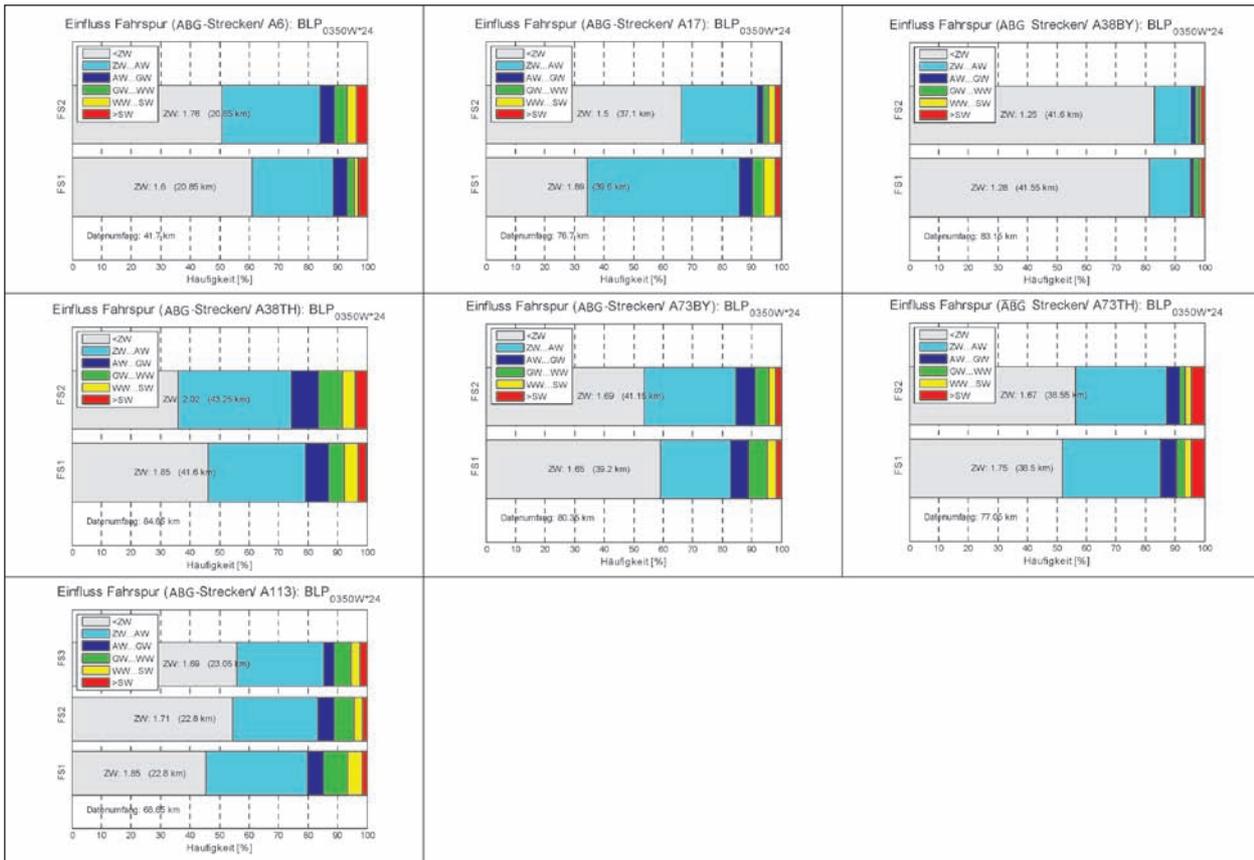


Bild 6.17: Einteilung nach Fahrstreifen (Kollektiv „ABG-Strecken/BAB“ – Variante BLP_{0350W24})

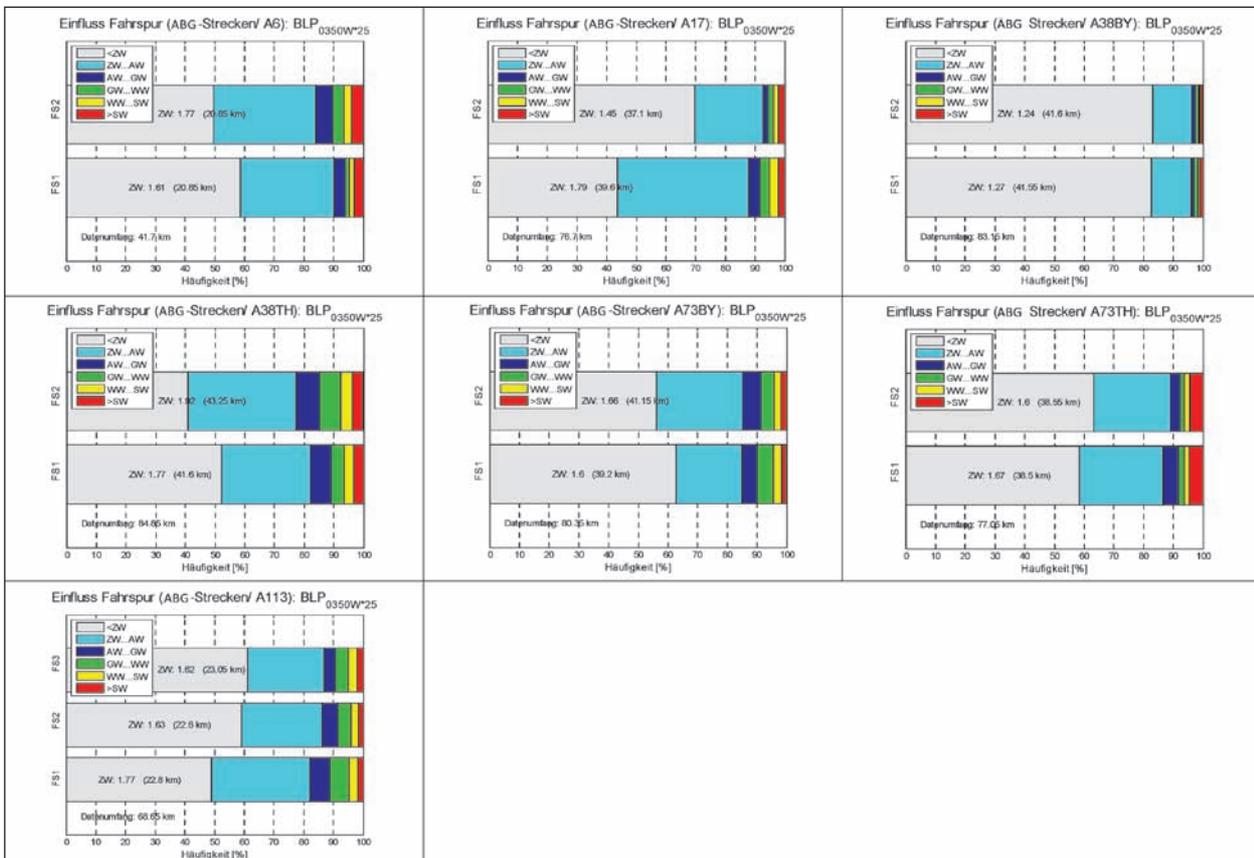


Bild 6.18: Einteilung nach Fahrstreifen (Kollektiv „ABG-Strecken/BAB“ – Variante BLP_{0350W25})

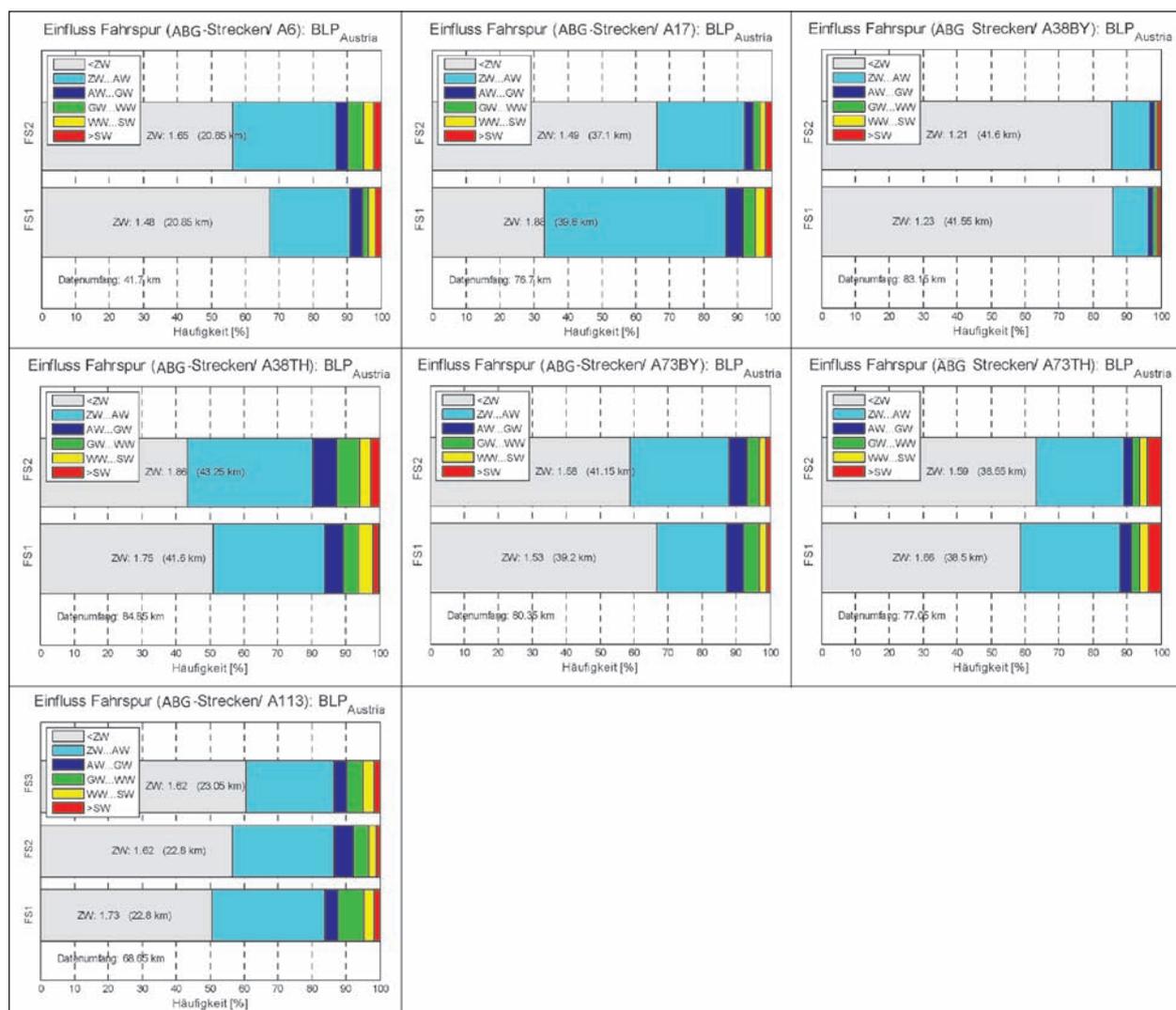


Bild 6.19: Einteilung nach Fahrstreifen (Kollektiv „ABG-Strecken/BAB“ – Variante BLP_{Austria})

6.5 Schlussfolgerungen aus der Analyse unterschiedlicher Straßenkollektive

Die Untersuchungen zeigen, dass die Deckenart per se keinen Einfluss auf die (Note der) Ebenheitsbewertung hat, d. h., dass keinerlei „Bias“ vom Bewerteten Längsprofil hinsichtlich Beton und Asphalt zu erwarten ist. Das heißt jedoch nicht, dass nicht auch bauweisespezifische Unterschiede in die Bewertung eingehen. So wird aus den Untersuchungen sehr deutlich, dass die Beton- und Asphaltdecken ganz unterschiedliche Unebenheitscharakteristiken aufwiesen: Bei Beton prägen die kurzen Wellen (< 7 m) und bei Asphalt die langen Wellen (> 7 m) die Charakteristik. Die Untersuchungen bzw. Liegedauer- und Fahrstreifeneinfluss auf die Ebenheitsbewertung ließen bei dem hier

vorliegenden Datenbestand keinerlei Aussagen zu und legen nahe, dass solche Betrachtungen nur auf Objektebene sinnvoll sind.

Im Folgenden werden die 3 BLP-Varianten der einfacheren Lesbarkeit halber in

- BLP_24 (zuvor BLP_{0350W*24}),
- BLP_25 (zuvor BLP_{0350W*25}),
- BLP_A (zuvor BLP_{Austria})

umbenannt.

7 Anwendung der BLP-Varianten für die ZEB 2005/06 und die ZEB 2007/08

In einem weiteren Untersuchungsschritt soll geprüft werden, welche Auswirkungen bei Berücksichtigung des BLP netzweit für die Ergebnisse der Zustandsbewertung zu erwarten sind. Diese Überprüfung wird vorgenommen mit den Daten der

- ZEB 2005/2006 der Bundesautobahnen,
- ZEB 2007/2008 der Bundesstraßen.

Folgende Varianten werden in die Untersuchung einbezogen:

- die Variante mit berücksichtigten Wellenlängen von 0,3 m bis 50 m und einer mittleren Welligkeit $w = 2,4$ (Kurzbezeichnung „BLP_24“),
- die Variante mit berücksichtigten Wellenlängen von 0,3 m bis 50 m und einer mittleren Welligkeit $w = 2,5$ (Kurzbezeichnung „BLP_25“),
- die österreichische Variante mit berücksichtigten Wellenlängen von 0,5 m bis 50 m und einer mittleren Welligkeit $w = 2,6$ (Kurzbezeichnung „BLP_A“).

Die beiden Komponenten SBL und DBL der BLP-Varianten sollen im Rahmen der ZEB das Unebenheitsmaß AUN und den Längsebenheitswirkindex LWI bzw. die entsprechenden Zustandswerte ZWAUN und ZWLWI ersetzen. Netzweite Änderungen sind dementsprechend zu erwarten bei

- den Zustandswerten der Längsebenheit ZWAUN und ZWLWI im Vergleich mit den als Ersatz herangezogenen Zustandswerten des BLP und bei den
- Teilwerten, die unter Berücksichtigung der Zustandswerte der Längsebenheit ermittelt werden, d. h. beim Gebrauchswert TWGEB und beim Substanzwert-Oberfläche TWSUB.

Um den Einfluss der BLP-Varianten auf die Bewertungsergebnisse zu isolieren, werden nachfolgend nur die o. g. Zustandswerte der Längsebenheit sukzessive ausgetauscht, aber keinerlei weitergehende Änderungen am Bewertungsverfahren vorgenommen. Auch bei der Bildung der Teilwerte wird das derzeitige Verknüpfungsverfahren der ZEB unverändert übernommen.

Nachfolgend werden mit den unterschiedlichen Zustandswerten der Längsebenheit nur Vergleiche für die Gesamtnetze der jeweiligen ZEB-Kampagnen vorgenommen. Mögliche weitergehende Analysen, z. B. auf der Ebene der Zustandsgrößen oder in einer Differenzierung nach Bundesländern oder nach Fahrstreifen, müssen aus Zeit- und Aufwandsgründen unterbleiben. Die aufbereiteten ZEB-Kampagnen stehen jedoch zu Verfügung, falls derartige Analysen in anderem Zusammenhang erfolgen sollen.

7.1 Ergebnisvergleich für die ZEB 2005/2006 der Bundesautobahnen

Bei den Vergleichen auf der Grundlage der Zustandsdaten aus der ZEB 2005/06 der Bundesautobahnen erscheint es zweckmäßig, grundsätzlich zwischen Asphalt- und Betondecken zu unterscheiden, weil das bisher für die Zustandsbewertung verwendete Unebenheitsmaß AUN (bzw. ZWAUN) insbesondere bei den Betondecken vielfach das deutliche schlechtere subjektive Empfinden zur Fahrbahnebenheit nicht richtig abbildet. Bei den nachfolgend getrennt für Asphalt- und Betondecken vorgenommenen Gegenüberstellungen werden jeweils alle ZEB-Auswerteabschnitte berücksichtigt, für die gültige Zustandswerte der Längsebenheit vorliegen bzw. auf Basis aller relevanten Zustandswerte gültige Teilwerte gebildet werden können.

Eine gute Basis für die beabsichtigten Vergleiche sind Häufigkeitsverteilungen der Längenanteile für Zustandsbereiche. Nachfolgend werden dementsprechend Häufigkeitsverteilungen für folgende Bereiche dargestellt:

- $ZW < 1,5$,
- $1,5 < ZW < 2,5$,
- $2,5 < ZW < 3,5$,
- $3,5 < ZW < 4,5$,
- $\geq 4,5$.

Die Farbgebung der für diese Zustandsbereiche erstellten Darstellungen entspricht der ZEB-Systematik. Da die Anteile für den Zustandsbereich von 3,5 bis $< 4,5$ und insbesondere für den Bereich $\geq 4,5$ teilweise sehr gering sind, enthalten die folgenden Darstellungen entsprechende Vergrößerungen. Bei den Zustandsbereichen von 1,5 bis $< 4,5$ sind die Anteilswerte für die eingeschlossenen und zusätz-

lich abgegrenzten 0,5-Notenstufen angegeben. Für die Vergleiche einzelner Zustandswerte sind dargestellt in

- Bild 7.1a die Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Asphaltdecken für ZWAUN und die drei eingangs erwähnten Varianten von ZWSBL;
- Bild 7.1b die Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Betondecken für ZWAUN und die drei Varianten von ZWSBL;
- Bild 7.2a die Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Asphaltdecken für ZWLWI und die drei Varianten von ZWDBL;
- Bild 7.2b die Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Betondecken für ZWLWI und die drei Varianten von ZWDBL;
- Bild 7.3a die Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Asphaltdecken für ZWAUN und die drei Varianten von ZWBLP;
- Bild 7.3b die Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Betondecken für ZWAUN und die drei Varianten von ZWBLP.

Für ZWBLP gilt dabei:

ZWBLP = Max (ZWSBL, ZWDBL).

Aus Bild 7.1 mit dem Vergleich der Häufigkeitsverteilungen für ZWAUN und die drei Varianten des ZWSBL wird ersichtlich:

- Für Autobahnen mit Asphaltdecken (Bild 7.1a) sind die Anteile im Zustandsbereich $< 1,5$ (sehr gute Längsebenheit) bei allen ZWSBL-Varianten geringer als der entsprechende Anteil für ZWAUN, der bei ca. 68,7 % liegt (rund 26.600 Fstr.-km). Die deutlichste Verringerung um gut 14 %, entsprechend immerhin ca. 5.538 Fahrstreifen-km, auf ca. 54,4 % ergibt sich für ZWSBL_24. Erkennbar geringer ist der Rückgang für ZWSBL_A (auf ca. 63,6 %, d. h. um 5,1 % bzw. um ca. 1.975 Fstr.-km) und für den zur Anwendung vorgeschlagenen ZWSBL_25 (auf 64,1 %, d. h. um 4,2 % bzw. um ca. 1.626 Fstr.-km).

Die Spreizungen im guten und mittleren Zustandsbereich von 1,5 bis $< 3,5$ sind für alle ZWSBL-Varianten ausgeprägter als für ZWAUN.

Die Anteile im schlechten und sehr schlechten Zustandsbereich ab 3,5 sind für ZWSBL_A und

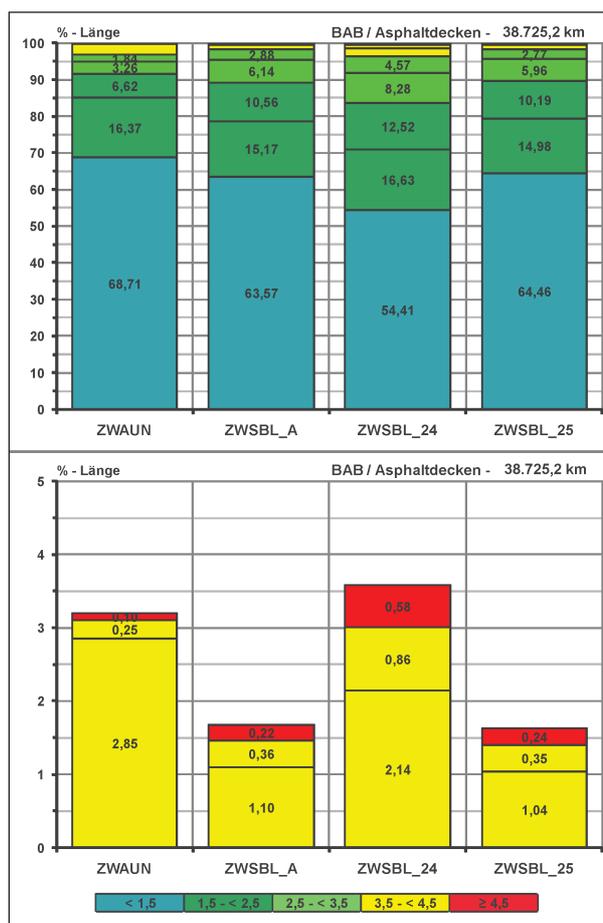


Bild 7.1a: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Asphaltdecken (ZEB 2005/06) für ZWAUN und drei Varianten von ZWSBL

ZWSBL_25 nur in etwa halb so groß wie für ZWAUN (ca. 3,2 %, entsprechend ca. 1.239 Fstr.-km). Für ZWSBL_24 liegt der Anteil im Bereich ab 3,5 bei ca. 3,6 % (ca. 1.394 Fstr.-km).

Auf den Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 entfallen für ZWAUN nur 0,1 % (ca. 39 Fstr.-km). Für ZWSBL_A und ZWSBL_24 ist dieser Anteil etwas mehr als doppelt so hoch. Für ZWSBL_24 ergibt sich mit 0,58 % (ca. 225 Fstr.-km) nahezu der sechsfache Anteil wie bei ZWAUN.

- Für Autobahnen mit Betondecken (Bild 7.1b) zeigen sich in der Tendenz größtenteils ähnliche Änderungen wie für Autobahnen mit Asphaltdecken. Die Anteile im Zustandsbereich $< 1,5$ (sehr gute Längsebenheit) sind bei allen ZWSBL-Varianten geringer als der entsprechende Anteil für ZWAUN (78,4 %, rund 10.863 Fstr.-km). Für ZWSBL_24 ist diese Verringerung am stärksten ausgeprägt (auf ca. 67,5 %, d. h. um 10,9 %, entsprechend ca. 1.510 Fstr.-km). Deut-

lich geringere Rückgänge sind für ZWSBL_A (auf ca. 71 %, d. h. um 7,4 % bzw. um ca. 1.025 Fstr.-km) und für ZWSBL_25 (auf 72,8 %, d. h. um 5,6 % bzw. um ca. 776 Fstr.-km) zu verzeichnen.

Wie für Asphaltdecken sind auch für Autobahnen mit Betondecken die Spreizungen im guten und mittleren Zustandsbereich von 1,5 bis < 3,5 für alle ZWSBL-Varianten erkennbar ausgeprägter als für ZWAUN.

Der Längenanteil im schlechten und sehr schlechten Zustandsbereich ab 3,5 ist für ZWAUN (2,45 %, d. h. ca. 340 Fstr.-km) annähernd doppelt so groß wie die entsprechenden Anteile für ZWSBL_A (1,37 %, ca. 190 Fstr.-km) und für ZWSBL_25 (1,22 %, ca. 169 Fstr.-km). Für ZWSBL_24 liegt der Anteil ab 3,5 bei 1,9 % (ca. 263 Fstr.-km).

Im Unterschied zu den Asphaltdecken entfallen für Autobahnen mit Betondecken auf den Zu-

standsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 für alle ZWSBL-Varianten nur geringfügig größere Anteile als für ZWAUN (0,34 %, ca. 47 Fstr.-km). Für ZWSBL_A und ZWSBL_24 ergeben sich identische Anteile (0,42 %, ca. 58 Fstr.-km), für ZWSBL_25 liegt dieser Anteil leicht darüber (0,55 %, ca. 76 Fstr.-km).

In der Erhaltungsplanung werden derzeit bei ZWAUN $\geq 4,5$ Maßnahmen kurzfristig vorgeschlagen, bei ZWAUN 3,5 bis < 4,5 Maßnahmen in den nächsten Jahren eingeplant. Wird ZWSBL als Entsprechung für ZWAUN angesehen, werden, insbesondere bei den Asphaltdecken, mehr kurzfristige Maßnahmen vorgesehen. In den Folgejahren werden zunächst weniger Maßnahmen eingeplant. Dies wird jedoch weitgehend ausgeglichen, da bei ZWSBL im Vergleich zu ZWAUN deutlich größere Anteile auf den mittelmäßigen Zustandsbereich von 2,5 bis < 3,5 entfallen, die im Zeitablauf einen höheren Zuwachs für den Bereich 3,5 bis < 4,5 bewirken. Insgesamt gesehen wird die Längsebenheit auf der Basis von ZWSBL_A (Mittelwert-Asphalt 1,63, Mittelwert-Beton 1,54) und ZWSBL_25 (Mittelwert-Asphalt 1,62, Mittelwert-Beton 1,51) geringfügig schlechter, auf der Basis von ZWSBL_24 (Mittelwert-Asphalt 1,77, Mittelwert-Beton 1,59) deutlich schlechter bewertet als bei der Berücksichtigung von ZWAUN (Mittelwert-Asphalt 1,57, Mittelwert-Beton 1,47). Eine Substitution von ZWAUN durch ZWSBL zeigt somit insbesondere für ZWSBL_A und ZWSBL_25 die gewünschte Tendenz.

Für die Berechnung des Zustandswerts des Längsebenheitswirkindex ZWLWI werden derzeit die Bewertungsfunktionen angesetzt, die auch für den Zustandswert ZWAUN herangezogen werden. Auch wenn ZWLWI bei der Bildung von Teilwerten keine Berücksichtigung findet, erscheint doch ein Vergleich mit den ZWDBL-Varianten zweckmäßig, da beide Zustandswerte hauptsächlich unregelmäßige und periodische Einzelhindernisse bewerten. In Bild 7.2 sind die Häufigkeitsverteilungen für ZWLWI und die drei Varianten des ZWDBL veranschaulicht. Es wird ersichtlich:

- Anders als beim ZWAUN (s. o.) sind für Autobahnen mit Asphaltdecken (Bild 7.2a) die Anteile im Zustandsbereich < 1,5 bei allen ZWSBL-Varianten größer als der entsprechende Anteil für ZWLWI (ca. 50,9 %, entsprechend rund 19.705 Fstr.-km). Deutlich größer, nämlich um ca. 10,9 %, entsprechend ca. 4.220 Fstr.-km, ist

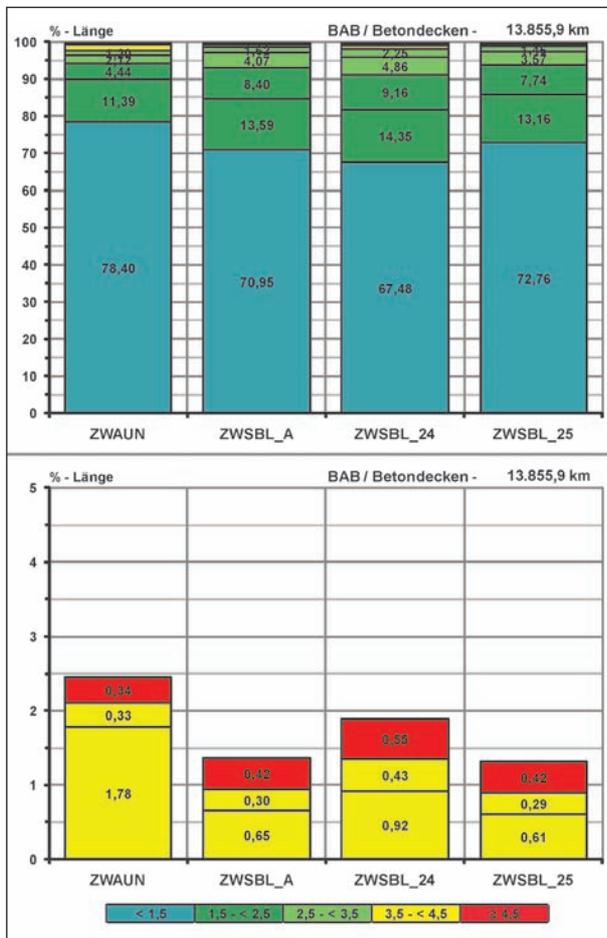


Bild 7.1b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Betondecken (ZEB 2005/06) für ZWAUN und drei Varianten von ZWSBL

der Anteil < 1,5 für ZWDBL_A (ca. 61,5 %, ca. 23.815 Fstr.-km). Etwas geringer ist die Zunahme für ZWDBL_25 (auf ca. 58,1 %, d. h. um 7,2 % bzw. um ca. 2.788 Fstr.-km). Für ZWDBL_24 ist der Anteil im Bereich < 1,5 nur relativ geringfügig höher als bei ZWLWI (ca. 54,3 %, d. h. Zunahme um 3,4 % bzw. um ca. 1.317 Fstr.-km).

Die Spreizungen im guten und mittleren Zustandsbereich von 1,5 bis < 3,5 sind für ZWLWI und für alle ZWDBL-Varianten in ähnlicher Größenordnung.

Der Anteil im schlechten und sehr schlechten Zustandsbereich ab 3,5 sind für ZWLWI fast dreimal so groß (ca. 16,2 %, ca. 6.277 Fstr.-km) wie für alle ZWDBL-Varianten. Die Anteile $\geq 3,5$ betragen ca. 5,4 % (ca. 2.090 Fstr.-km) für ZWDBL_A, ca. 6,8 % (ca. 2.633 Fstr.-km) für ZWDBL_24 und ca. 6,5 % (ca. 2.505 Fstr.-km) für ZWDBL_25.

Auch im Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 ist der Anteil für ZWLWI am höchsten (ca. 3,9 %, ca. 1.510 Fstr.-km). Verglichen mit den Anteilen ab 3,5 sind die Differenzen für ZWDBL_A (ca. 1,8 %, ca. 697 Fstr.-km), ZWDBL_24 (ca. 2,5 %, ca. 968 Fstr.-km) und ZWDBL_25 (ca. 2,6 %, ca. 1.007 Fstr.-km) jedoch deutlich geringer.

- Für Autobahnen mit Betondecken (Bild 7.2b) ergeben sich, mit etwas veränderten Anteilswerten, qualitativ nahezu identische Tendenzen wie für Autobahnen mit Asphaltdecken. Die Unterschiede zwischen den Anteilen für ZWLWI und den Anteilen der ZWDBL-Varianten sind etwas geringer ausgeprägt. Bemerkenswert erscheint, dass der Anteil im Bereich < 1,5 für ZWDBL_A etwas höher ist (ca. 62,3 %, ca. 8.632 Fstr.-km) als für ZWLWI (ca. 61,2 %, ca. 8.480 Fstr.-km). Die Unterschiede zwischen den Anteilen für ZWLWI und die ZWDBL-Varianten im Zustandsbereich $\geq 4,5$ sind für die Autobahnen mit Be-

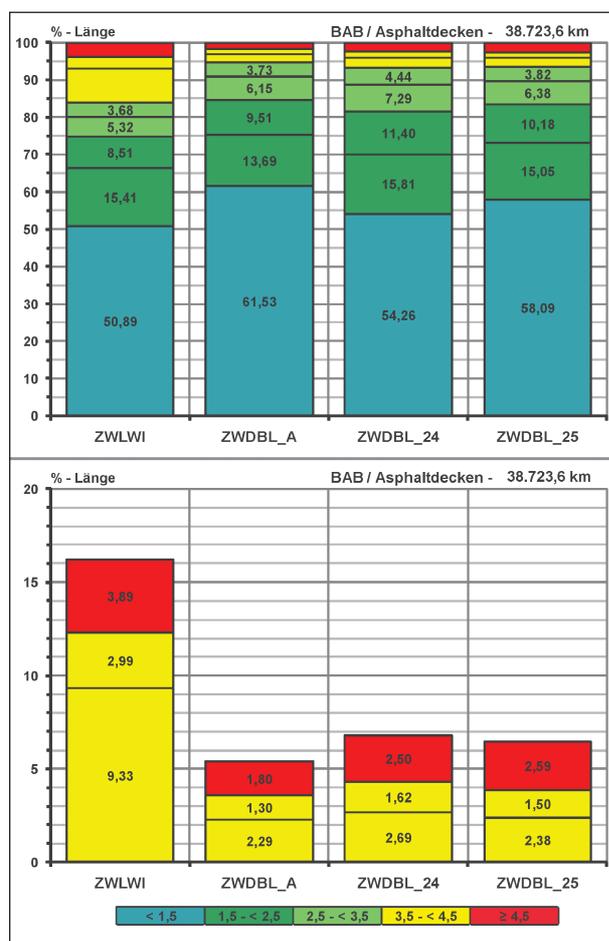


Bild 7.2a: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Asphaltdecken (ZEB 2005/06) für ZWLWI und drei Varianten von ZWDBL

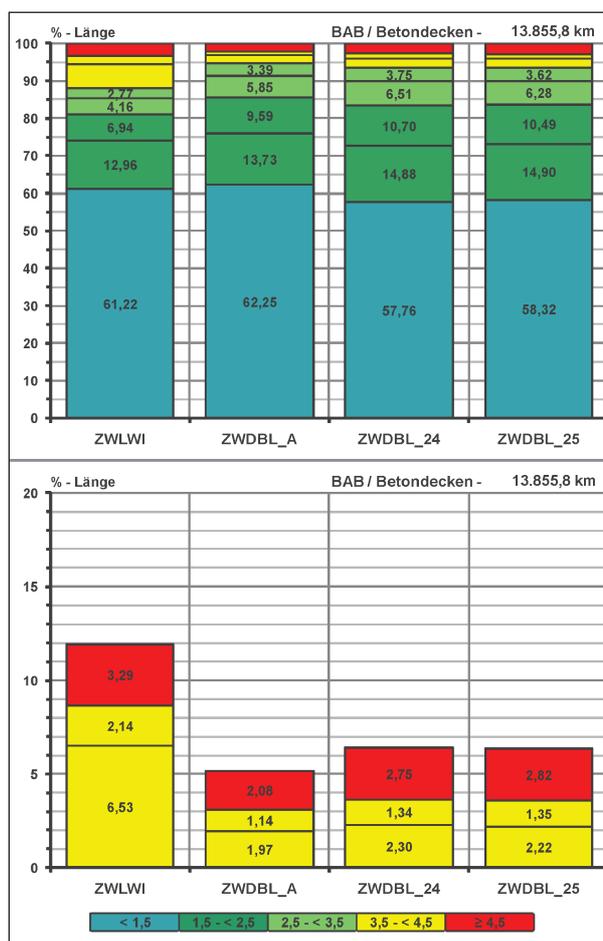


Bild 7.2b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Betondecken (ZEB 2005/06) für ZWLWI und drei Varianten von ZWDBL

tondecken etwas schwächer ausgeprägt als für Asphaltdecken.

Umgekehrt wie beim Vergleich von ZWAUN mit den ZWSBL-Varianten zeigt sich bei der Gegenüberstellung von ZWLWI und den ZWDBL-Varianten, dass die erfassten Komponenten der Längsebenheit auf der Basis von ZWLWI (Mittelwert-Asphalt 2,02, Mittelwert-Beton 1,84) deutlich schlechter bewertet werden als auf der Basis von ZWDBL_A (Mittelwert-Asphalt 1,74, Mittelwert-Beton 1,73), ZWDBL_24 (Mittelwert-Asphalt 1,84, Mittelwert-Beton 1,80) oder ZWDBL_25 (Mittelwert-Asphalt 1,79, Mittelwert-Beton 1,79). Die Befahrungen in der Örtlichkeit verdeutlichten in signifikanter Weise, dass schlechte (3,5 bis < 4,5) und sehr schlechte ($\geq 4,5$) Zustandswerte ZWLWI sehr häufig von baulichen Gegebenheiten, bei den Autobahnen in aller Regel von den Fahrbahnübergangskonstruktionen der Brücken, verursacht werden. Bei den ZWDBL-Varianten wirken sich diese baulich bedingten Einzelhinder-nisse netzweit offenbar seltener und moderater aus.

Als maßgeblich bei der Verwendung des Bewerteten Längsprofils soll der Zustandswert ZWBLP angesetzt werden. ZWBLP ergibt sich aus dem schlechteren Wert für ZWSBL bzw. ZWDBL der ZEB-Auswerteabschnitte. In Bild 7.3 sind die Längenanteile der Zustandsbereiche der drei ZWBLP-Varianten den Anteilen für den derzeit maßgeblichen Zustandswert der Längsebenheit ZWAUN gegenübergestellt. Wie nach den vorhergehenden, in Bild 7.1 und Bild 7.2 dargestellten Auswertungen zu erwarten, wird die Längsebenheit bei Ansatz der ZWBLP-Varianten deutlich schlechter bewertet. Im Einzelnen wird aus Bild 7.3 ersichtlich:

- Für Autobahnen mit Asphaltdecken (Bild 7.3a) sind die Anteile im Zustandsbereich < 1,5 (sehr gute Längsebenheit) bei allen ZWBLP-Varianten deutlich kleiner als der entsprechende Anteil für ZWAUN (ca. 68,7 %, ca. 26.600 Fstr.-km). Am größten mit ca. 22,9 % (ca. 8.868 Fstr.-km) ist diese Verringerung für ZWBLP_24 (auf ca. 45,8 %, ca. 17.736 Fstr.-km). Für ZWBLP_A ergibt sich bei einer Abnahme von ca. 13,8 % (ca. 5.344 Fstr.-km) ein Anteil im Bereich < 1,5 von ca. 54,9 % (ca. 21.260 Fstr.-km), für ZWBLP_25 bei einer Abnahme von ca. 16,2 % (ca. 6.273 Fstr.-km) ein Anteil in diesem Zustandsbereich von ca. 52,5 % (ca. 20.330 Fstr.-km).

Im guten und mittleren Zustandsbereich von 1,5 bis < 3,5 ergeben sich für alle ZWBLP-Varianten erkennbar höhere Anteile als für ZWAUN.

Die Anteile im schlechten und sehr schlechten Zustandsbereich ab 3,5 sind für alle ZWBLP-Varianten deutlich größer als für ZWAUN (ca. 3,2 %, entsprechend ca. 1.239 Fstr.-km). Für ZWBLP_A liegt der entsprechende Anteil bei ca. 6 % (ca. 2.327 Fstr.-km), für ZWBLP_24 bei ca. 8,5 % (ca. 3.280 Fstr.-km) und für ZWBLP_25 bei ca. 7,1 % (ca. 2.760 Fstr.-km).

Für ZWAUN wird nur in extrem wenigen Fällen der Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 erreicht oder überschritten (0,1 %, ca. 39 Fstr.-km). Gemessen an diesem Anteilswert ist für alle ZWBLP-Varianten ein erheblicher Zuwachs zu verzeichnen. Der Anteil liegt für ZWBLP_A bei 1,9 % (ca. 736 Fstr.-km), für ZWBLP_24 bei ca. 2,9 % (ca. 1.104 Fstr.-km) und für ZWBLP_25 bei 2,7 % (ca. 1.046 Fstr.-km).

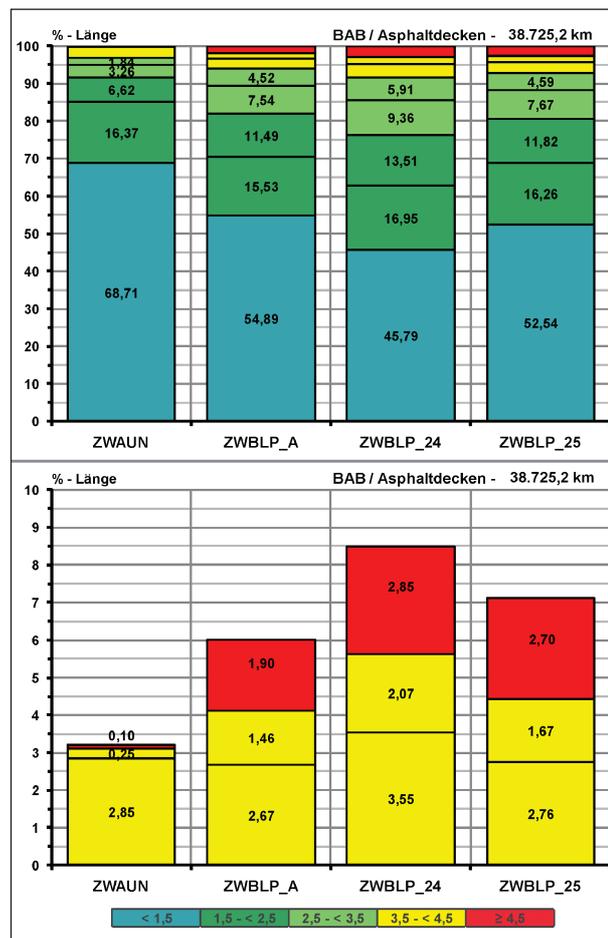


Bild 7.3a: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Asphaltdecken (ZEB 2005/06) für ZWAUN und drei Varianten von ZWBLP

- Für Autobahnen mit Betondecken (Bild 7.3b) sind die Unterschiede zwischen den Häufigkeitsverteilungen für ZWAUN und für die ZWBLP-Varianten in der Tendenz ganz ähnlich wie für Autobahnen mit Asphaltdecken. Die Anteile im Zustandsbereich $< 1,5$ (sehr gute Längsebenheit) verringern sich gegenüber dem entsprechenden Anteil für ZWAUN (78,4 %, rund 10.863 Fstr.-km) für alle ZWBLP-Varianten relativ gesehen sogar noch deutlicher als bei den Asphaltdecken. Für ZWBLP_A ergibt sich eine Verringerung um 19 % (ca. 2.633 Fstr.-km) auf einen Anteil im Bereich $< 1,5$ von ca. 58,8 % (ca. 8.151 Fstr.-km), für ZWBLP_24 eine Abnahme von ca. 24,8 % (ca. 3.436 Fstr.-km) auf einen Anteil von ca. 53,6 % (ca. 7.427 Fstr.-km), für ZWBLP_25 eine Abnahme von ca. 22,7 % (ca. 3.145 Fstr.-km) auf einen Anteil von ca. 55,7 % (ca. 7.718 Fstr.-km). Im guten und mittleren Zustandsbereich von 1,5 bis $< 3,5$ ist die Spreizung für alle ZWBLP-Varianten annähernd doppelt so groß wie für ZWAUN.

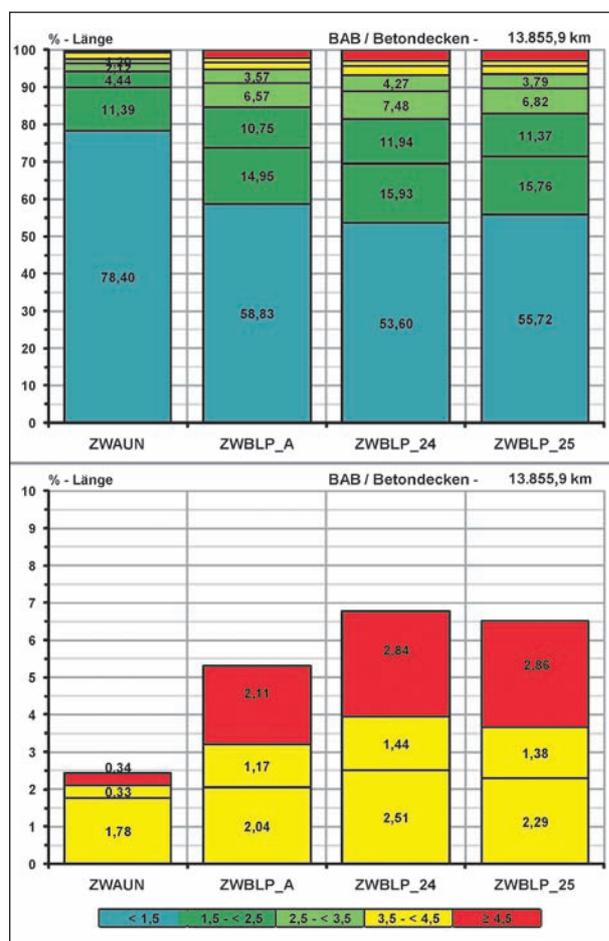


Bild 7.3b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Betondecken (ZEB 2005/06) für ZWAUN und drei Varianten von ZWBLP

Der Längenanteil im schlechten und sehr schlechten Zustandsbereich ab 3,5 ist für ZWAUN (2,45 %, entsprechend ca. 340 Fstr.-km) wesentlich geringer als die entsprechenden Anteile für ZWBLP_A (ca. 5,3 %, ca. 734 Fstr.-km), für ZWBLP_24 (ca. 6,8 %, ca. 942 Fstr.-km) und für ZWBLP_25 (ca. 6,5 %, ca. 900 Fstr.-km).

Auf den Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 entfallen für alle ZWBLP-Varianten deutlich größere Anteile als für ZWAUN (0,34 %, ca. 47 Fstr.-km). Für ZWSBL_A liegt dieser Anteil bei ca. 2,1 % (ca. 290 Fstr.-km), für ZWSBL_24 bei 2,84 % (ca. 394 Fstr.-km) und für ZWSBL_25 bei 2,86 % (ca. 396 Fstr.-km).

Die aus Bild 7.3 erkennbaren deutlichen Verschiebungen zeigen sich auch bei den mittleren Zustandswerten (ZWAUN: Mittelwert-Asphalt 1,57, Mittelwert-Beton 1,47; ZWBLP_A: Mittelwert-Asphalt 1,82, Mittelwert-Beton 1,76; ZWBLP_24: Mittelwert-Asphalt 1,98, Mittelwert-Beton 1,85; ZWBLP_25: Mittelwert-Asphalt 1,87, Mittelwert-Beton 1,82).

Der in Bild 7.3 zusammengefasste Vergleich und die unterschiedlichen mittleren Zustandswerte zeigen, dass eine Substitution von ZWAUN durch ZWBLP sowohl für die netzweite Beurteilung der Längsebenheit als auch bei der weiteren Verwendung der Daten für die Erhaltungsplanung erhebliche Konsequenzen hat. Festzuhalten ist zunächst, dass bei Ansatz von ZWBLP ein häufig angeführter Kritikpunkt an der ZEB, wonach die Längsebenheit auf der Grundlage des Unebenheitsmaßes AUN bzw. des Zustandswerts ZWAUN, gemessen insbesondere am subjektiven Empfinden, zu gut und damit nicht zutreffend bewertet wird, für alle Zustandsbereiche weitestgehend ausgeräumt wird. Durch den bei der Verwendung von ZWBLP zu erwartenden erheblichen Anstieg der Anteile im Zustandsbereich von 3,5 bis $< 4,5$ und insbesondere im Bereich ab dem Schwellenwert ab 4,5 werden im Rahmen der Erhaltungsplanung kurzfristig auf größeren Längenanteilen Maßnahmenvorschläge generiert. Da zur Behebung von Ebenheitsproblemen vielfach Erneuerungsmaßnahmen erforderlich sind, ist auch mit einem signifikanten Anstieg des finanziellen Erhaltungsbedarfs zu rechnen. Dies gilt durch die für ZWBLP zu erwartende Zunahme des mittelmäßigen Zustandsbereichs und die deutliche Abnahme des sehr guten Bereichs $< 1,5$ durchaus auch für die mittel- und langfristige Erhaltungspla-

nung bzw. den entsprechenden Erhaltungsbedarf. Vor diesem Hintergrund ist auf die folgende Problematik hinzuweisen:

- Wie oben schon erwähnt, zeigte sich bei den Befahrungen in der Örtlichkeit (s. Kapitel 11) für die ZEB-Auswerteabschnitte in sehr eindeutiger Weise, dass Zustandswerte des Längsebenheitswirkindex ZWLWI, die über dem Warnwert von 3,5 oder über dem Schwellenwert von 4,5 liegen, nahezu ausschließlich auf bauliche Gegebenheiten, bei den Autobahnen fast ausnahmslos auf Fahrbahnübergangskonstruktionen von Brücken, zurückzuführen sind. Da bei diesen Übergangskonstruktionen tatsächlich sehr starke Stufen auftreten, werden diese Einzelhindernisse bei der Bewertung durch ZWLWI korrekt abgebildet. Bei der Erhaltungsplanung für die Autobahnen sind Niveauunterschiede infolge von Fahrbahnübergängen kein Anlass für Erhaltungsmaßnahmen an längeren Abschnitten. Da der Längsebenheitswirkindex derzeit weder bei der Bildung von Teilwerten noch bei der Erhaltungsplanung berücksichtigt wird, war diese Problematik bisher nicht in allen Konsequenzen bekannt und auch nicht relevant.
- Der Zustandswert des Bewerteten Längsprofils ZWBLP enthält infolge der logischen (Max-)Verknüpfung mit ZWDBL ebenfalls eine Komponente, die auf Einzelhindernisse und damit eben auch auf Fahrbahnübergänge anspricht. Tabelle 7.1 veranschaulicht, dass für die ZEB 2005/06 der maßgebliche Wert für ZWBLP ist (Zeile ZWSBL < ZWDBL in Tabelle 7.1), insbesondere bei den Betondecken. Die Analysen zum Zusammenhang ZWLWI mit ZWDBL (Bild 7.2) zeigen zwar, dass ZWDBL nicht so häufig den Zustandsbereich ab 3,5 erreicht wie ZWLWI. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass für ZWDBL-Werte $\geq 4,5$ konstruktiv bedingte Einflüsse maßgeblich sind. In diesen Fällen sind bei der Verwendung von ZWBLP für die Erhaltungsplanung irrelevante Maßnahmenvorschläge zu erwarten.
- Die Einzelamplituden, die für DBL bzw. ZWDBL maßgeblich sind, wurden in der Örtlichkeit erfasst, sie sind demgemäß vorhanden und müssen bei einer Ebenheitsbewertung auch zum Ausdruck kommen. Für die Erhaltungsplanung müssten jedoch die konstruktiv bedingten Einzelhindernisse erkannt und eliminiert werden. Für die bei den Autobahnen weitest häufigste Ursache konstruktiv bedingter Einzelhindernisse, die Fahrbahnübergangskonstruktionen von Brücken, erscheint eine Lokalisierung in der ZEB-Rasterung auf der Grundlage der Angaben in den Straßendatenbanken bzw. in SIB-Bauwerke möglich. Der Versuch einer Zuordnung,

ZEB 2005/2006	ZWBLP_A		ZWBLP_24		ZWBLP_25	
	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%
Alle Abschnitte						
ZWSBL > ZWDBL	127.498	23,7	163.255	30,4	109.176	20,3
ZWSBL < ZWDBL	190.027	35,4	197.096	36,7	226.644	42,2
ZWSBL = ZWDBL	219.676	40,9	176.850	32,9	201.381	37,5
Summe	537.201	100,0	537.201	100,0	537.201	100,0
Abschnitte mit Asphaltdecken						
ZWSBL > ZWDBL	106.680	27,2	139.619	35,6	94.095	24,0
ZWSBL < ZWDBL	132.388	33,8	134.709	34,4	158.311	40,4
ZWSBL = ZWDBL	152.885	39,0	117.625	30,0	139.547	35,6
Summe	391.953	100,0	391.953	100,0	391.953	100,0
Abschnitte mit Betondecken						
ZWSBL > ZWDBL	20.969	15,0	23.669	17,0	15.200	10,9
ZWSBL < ZWDBL	57.621	41,3	62.412	44,8	68.336	49,0
ZWSBL = ZWDBL	60.863	43,6	53.372	38,3	55.917	40,1
Summe	139.453	100,0	139.453	100,0	139.453	100,0

Tab. 7.1: Maßgebliche Komponenten für ZWBLP bei den Bundesautobahnen (ZEB 2005/06)

der zunächst für ein Teilnetz erfolgen kann und nachträglich in der Örtlichkeit kontrolliert werden sollte, kann im Rahmen der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht unternommen werden.

Solange das angesprochene Problem nicht ausgeräumt ist, müssen bei einer Verwendung des ZWBLP in der Erhaltungsplanung Zusatzinformationen (z. B. Örtlichkeit von Fahrbahnübergängen) herangezogen werden. Dies gilt auch bei der Bildung des Gebrauchs- und Substanzwerts, die derzeit ZWAUN und, im Falle einer Substitution, ZWBLP einbeziehen. Die Teilwerte gehen zwar nicht direkt in die Erhaltungsplanung ein, sie dienen jedoch für zusammenfassende Ergebnisdarstellungen. Nachfolgend wird der Einfluss der ZWBLP-Varianten auf die Teilwerte betrachtet. Dazu sind dargestellt in

- Bild 7.4 die Häufigkeitsverteilungen für den Gebrauchswert auf der Basis von ZWAUN bzw. der ZWBLP-Varianten,

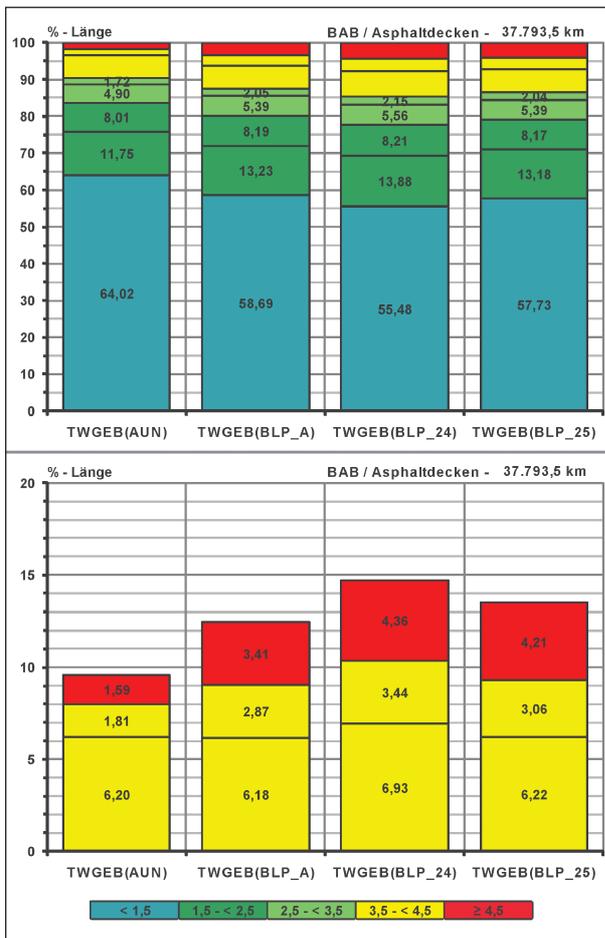


Bild 7.4a: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Asphaltdecken (ZEB 2005/06) für den Gebrauchswert TWGEB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWBLP

- Bild 7.5 die Häufigkeitsverteilungen für den Substanzwert-Oberfläche auf der Basis von ZWAUN bzw. der ZWBLP-Varianten.

Dabei wurde bei der Verknüpfung nur ZWAUN ersetzt, aber nichts am Verfahren geändert.

Da die Teilwerte vorwiegend zur komprimierten Ergebnisdarstellung verwendet werden, erscheint es ausreichend, nachfolgend auf die qualitativen Änderungen einzugehen. Bild 7.4a (Asphaltdecken) und Bild 7.4b (Betondecken) zeigen, dass diese Änderungen beim Gebrauchswert TWGEB für Asphalt- und Betondecken tendenziell gleich sind:

- Die Anteile für TWGEB < 1,5 werden beim Ansatz der ZWBLP-Varianten etwas kleiner als bei der herkömmlichen Verknüpfung mit ZWAUN. Am größten ist dieser Rückgang für ZWBLP_24, am geringsten für ZWBLP_A, zwischen diesen beiden Varianten liegt die Abnahme für ZWBLP_25. Bei allen ZWBLP-Varianten liegt

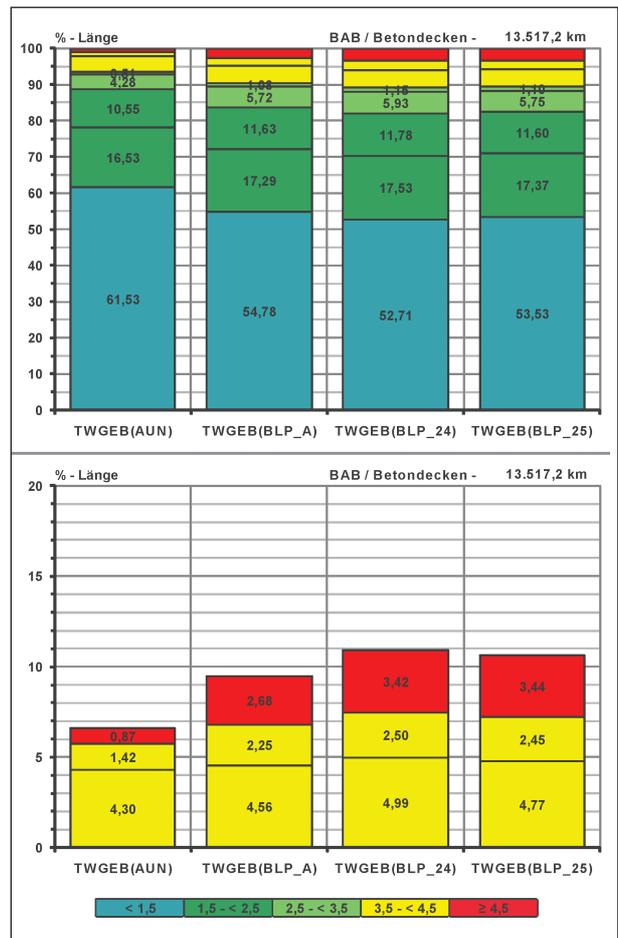


Bild 7.4b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Betondecken (ZEB 2005/06) für den Gebrauchswert TWGEB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWBLP

der Anteil für TWGEB < 1,5 über 50 %, ein Rückgang auf einen Anteilswert unter 10 %, der bei einem früheren Bewertungsvorschlag für ZWBLP auftrat (SOCINA 2009), ist am Beispiel der ZEB 2005/06 nicht zu beobachten.

- Die Anteile im Bereich mit guten und mittelmäßigen Gebrauchswerten (1,5 bis < 3,5) nehmen bei Anwendung der ZWBLP-Varianten gegenüber ZWAUN geringfügig zu.
- Wie nach dem Vergleichen von ZWAUN und ZWBLP (Bild 7.3) zu erwarten, werden die Anteile mit schlechtem Gebrauchswert (3,5 bis < 4,5) und sehr schlechtem Gebrauchswert (≥ 4,5) bei allen ZWBLP-Varianten größer als bei Ansatz von ZWAUN. Am deutlichsten ausgeprägt ist diese Zunahme für ZWBLP_24, am geringsten für ZWBLP_A. Die Zunahme für ZWBLP_25 liegt dazwischen.

Beim Substanzwert-Oberfläche TWSUB ergeben sich in der Grundtendenz ähnliche Änderungen wie beim Gebrauchswert, allerdings mit kleineren Abweichungen (Bild 7.5):

- Die Anteile für TWSUB < 1,5 werden beim Ansatz von ZWBLP-Varianten bei den Asphaltdecken leicht und bei den Betondecken deutlich größer als bei der Verknüpfung auf der Basis von ZWAUN. Am geringsten ist dieser Anstieg für ZWBLP_24, am größten für ZWBLP_A, dazwischen liegt ZWBLP_25.
- Die Anteile im Bereich mit guten und mittelmäßigen Gebrauchswerten (1,5 bis < 3,5) werden bei Anwendung der ZWBLP-Varianten etwas kleiner als für ZWAUN.
- Die Anteile mit schlechtem Substanzwert (3,5 bis < 4,5) und insbesondere mit sehr schlechtem Substanzwert (≥ 4,5) werden bei allen ZWBLP-

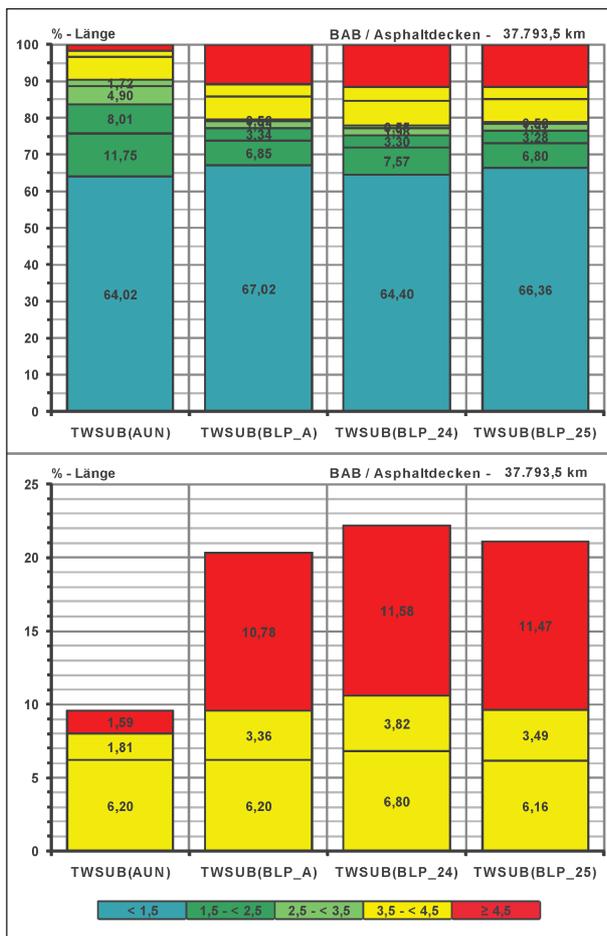


Bild 7.5a: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Asphaltdecken (ZEB 2005/06) für den Substanzwert-Oberfläche TWSUB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWBLP

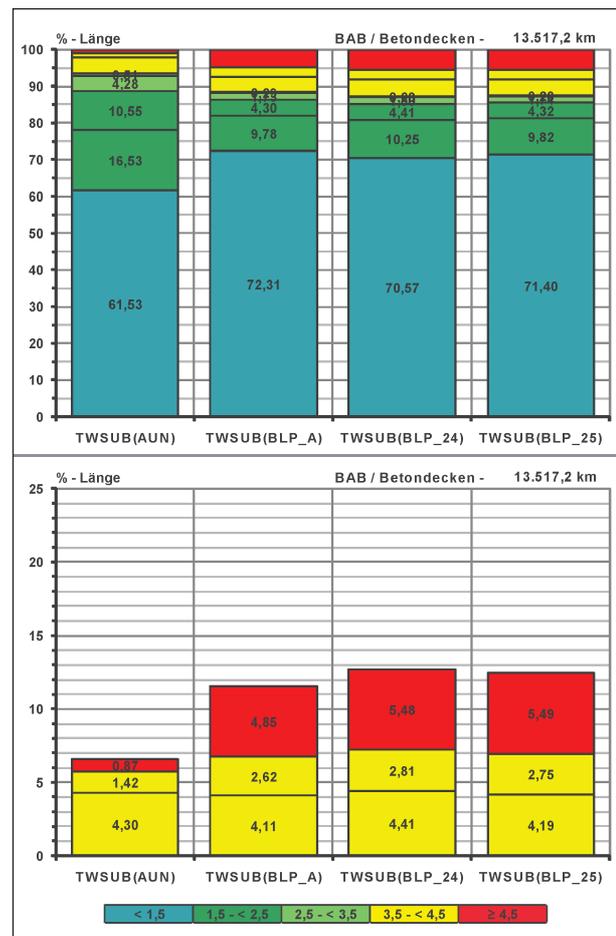


Bild 7.5b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Betondecken (ZEB 2005/06) für den Substanzwert-Oberfläche TWSUB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWBLP

Varianten größer als bei Ansatz von ZWAUN. Wie schon beim Gebrauchswert ist diese Zunahme am größten für ZWBLP_24, am geringsten für ZWBLP_A und dazwischen liegend für ZWBLP_25.

Insgesamt ist festzustellen, dass sich durch die erwünschte strengere Bewertung der Längsebene bei Ansatz der ZWBLP-Varianten auch Verschiebungen zu schlechteren Gebrauchs- und Substanzwerten ergeben: Dies zeigt sich auch bei den mittleren Gebrauchswerten (ZWAUN: Mittelwert-Asphalt 1,76, Mittelwert-Beton 1,69; ZWBLP_A: Mittelwert-Asphalt 1,88, Mittelwert-Beton 1,84; ZWBLP_24: Mittelwert-Asphalt 1,96, Mittelwert-Beton 1,89; ZWPLP_25: Mittelwert-Asphalt 1,91, Mittelwert-Beton 1,87) und den mittleren Substanzwerten (ZWAUN: Mittelwert-Asphalt 1,90, Mittelwert-Beton 1,64; ZWBLP_A: Mittelwert-Asphalt 1,99, Mittelwert-Beton 1,72; ZWBLP_24: Mittelwert-Asphalt 2,05, Mittelwert-Beton 1,76; ZWPLP_25:

Mittelwert-Asphalt 2,02, Mittelwert-Beton 1,75). Diese doch recht geringen Unterschiede in den Mittelwerten und die bildlichen Darstellungen der Verteilungen in Bild 7.4 zeigen jedoch, dass bei der Anwendung der ZWBLP-Varianten keine grundlegenden und dramatischen Änderungen bei den Teilwerten zu erwarten sind.

Die Verteilungen der Teilwerte unter Verwendung des ZWAUN und der ZWBLP-Varianten wären evtl. noch ähnlicher, wenn der Einfluss von konstruktiv bedingten Einzelhindernissen („Fahrbahnübergänge“, s. o.) bei ZWDBL eliminiert werden könnte. Da dies derzeit noch nicht möglich ist, werden nachfolgend die Verteilungen der Teilwerte für den Fall aufgezeigt, wenn ZWAUN bei der Verknüpfung nur durch die BLP-Komponente ZWSBL ersetzt wird. Bild 7.6 zeigt, dass sich dadurch beim Gebrauchswert TWGEB sowohl bei den Asphaltdecken (Bild 7.6a) als auch bei den Betondecken (Bild 7.6b) nur sehr geringfügige Änderungen in den Anteilen der

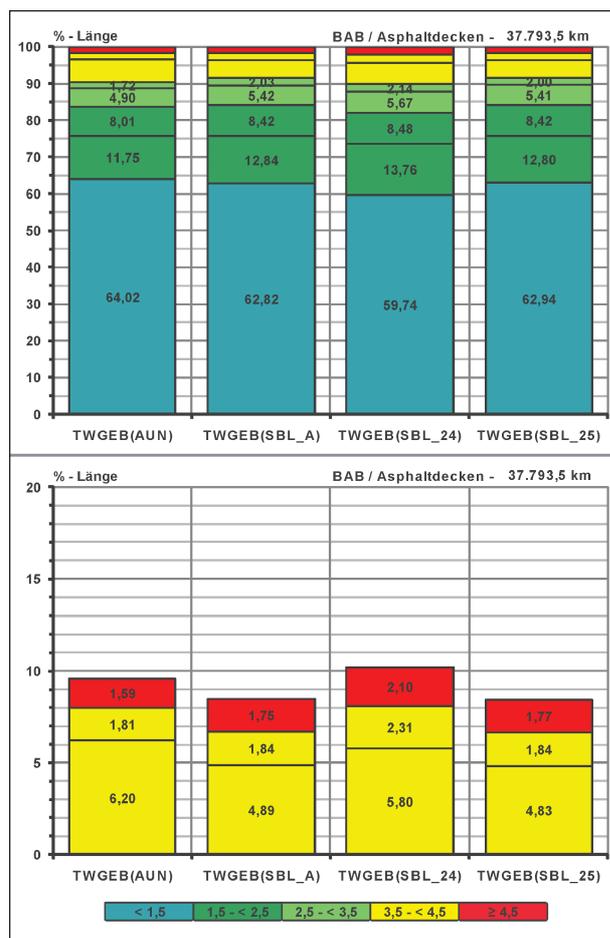


Bild 7.6a: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Asphaltdecken (ZEB 2005/06) für den Gebrauchswert TWGEB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWSBL

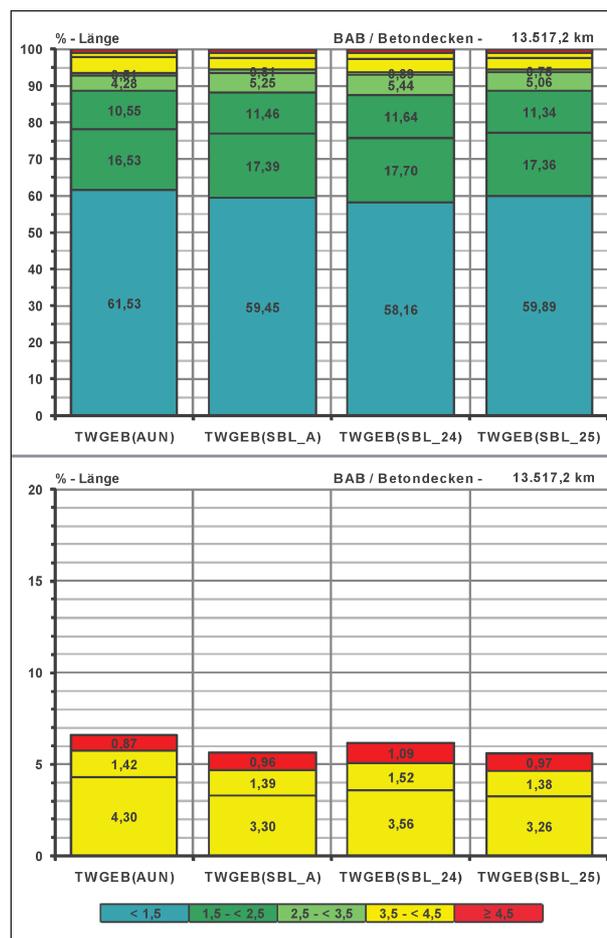


Bild 7.6b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Betondecken (ZEB 2005/06) für den Gebrauchswert TWGEB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWSBL

Zustandsbereiche ergeben. Beim Substanzwert-Oberfläche TWSUB (Bild 7.7) werden beim Ersatz von ZWAUN durch die ZWSBL-Varianten die Anteile im sehr guten Zustandsbereich < 1,5 größer, erkennbar bei den Asphaltdecken (Bild 7.7a), jedoch deutlich ausgeprägt bei den Betondecken (Bild 7.7b). Hier wirkt sich offenbar aus, dass mit SBL bzw. ZWSBL periodische Unebenheiten (Querfugen) nicht ausreichend berücksichtigt werden. Für den Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 ergeben sich insbesondere für die Asphaltdecken, aber auch für die Betondecken bei Ansatz der ZWSBL-Varianten nicht ganz so große Anteile wie bei der Berücksichtigung von ZWBLP (Bild 7.5), aber deutlich größere Anteile als bei der Verwendung des ZWAUN.

Zusammenfassend lässt sich aus den mit den Daten der ZEB 2005/06 der Bundesautobahnen vorgenommenen Vergleichen feststellen, dass bei einem Ersatz des Zustandswerts der Allgemeinen

Unebenheiten ZWAUN durch den Zustandswert des Bewerteten Längsprofils ZWBLP der erwünschte Effekt einer strengeren und damit dem subjektiven Empfinden eher adäquaten Bewertung der Längsebenheit erreicht wird, und zwar für die Asphaltdecken in etwas stärkerem Ausmaß als für die Betondecken. Aufgrund der Durchschlagsoption der Komponente ZWDBL können allerdings auch konstruktiv bedingte Einzelereignisse maßgeblich für den Zustandswert ZWBLP der ZEB-Auswertabschnitte werden. Diese vor Ort vorhandenen Einzelereignisse werden zwar damit abgebildet, der davon beeinflusste Zustandswert ZWBLP ist jedoch für die Erhaltungsplanung nur bei Kenntnis der örtlichen Lage konstruktiv bedingter Einzelhindernisse brauchbar. Bei einem Ersatz des ZWAUN durch die Komponente ZWSBL werden Einzelereignisse insgesamt weitestgehend ausgeblendet, auch wenn sie, wie z. B. periodische Unebenheiten bei den Querfugen von Betondecken, durchaus relevant sein können. Dadurch wird der Gebrauchswert für

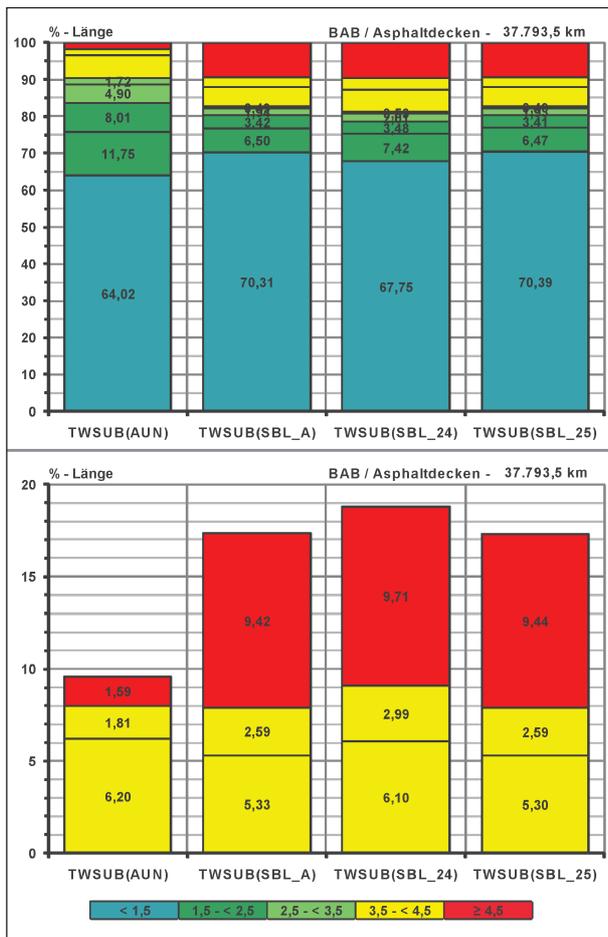


Bild 7.7a: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Asphaltdecken (ZEB 2005/06) für den Substanzwert-Oberfläche TWSUB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWSBL

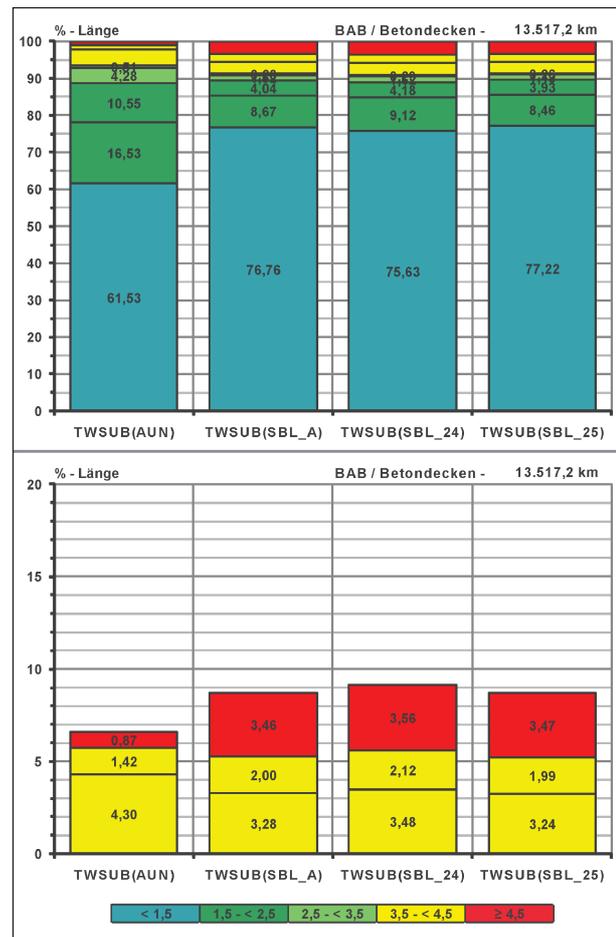


Bild 7.7b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Bundesautobahnen mit Betondecken (ZEB 2005/06) für den Substanzwert-Oberfläche TWSUB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWSBL

Betondecken bei Ansatz von ZWSBL in der Tendenz besser als bei Verwendung des ZWAUN. Dieser Lösungsansatz kann damit nicht empfohlen werden.

Im Vergleich der drei analysierten Varianten ergeben sich auf der Grundlage der Zustandsdaten der ZEB 2005/06 der Bundesautobahnen beim Ersatz des ZWAUN durch ZWBLP_A die geringsten Änderungen in den Häufigkeitsverteilungen der Zustandsbereiche. Die deutlich größten Änderungen sind bei Ansatz des ZEBLP_24 zu verzeichnen. Die Änderungen für die empfohlene Variante ZWBLP_25 liegen i. Allg. zwischen den Veränderungen infolge der beiden anderen Varianten, häufig aber näher an den Verteilungen für ZWBLP_A als an den Verteilungen für ZWBLP_24. Dieses Grundmuster bleibt im Wesentlichen für alle durchgeführten Auswertungen stabil.

7.2 Ergebnisvergleich für die ZEB 2007/2008 der Bundesstraßen

Die Bundesstraßen weisen, abgesehen von sehr wenigen Ausnahmen, Asphaltdecken auf. Bei den nachfolgenden Vergleichen auf der Grundlage der Zustandsdaten aus der ZEB 2007/08 der Bundesstraßen wird daher nicht zwischen Asphalt- und Betondecken unterschieden, sondern zwischen den freien Strecken und den Ortsdurchfahrten, da die Längen der ZEB-Auswerteabschnitte verschieden sind (freie Strecken i. Allg. 100 m, Ortsdurchfahrten i. Allg. 20 m). Bei den nachfolgenden Gegenüberstellungen werden jeweils alle ZEB-Auswerteabschnitte mit Asphaltdecken berücksichtigt, für die gültige Zustandswerte der Längsebenheit vorliegen bzw. auf Basis aller relevanten Zustandswerte gültige Teilwerte gebildet werden können. Als Basis für die Vergleiche dienen die Häufigkeitsverteilungen der Längenanteile für Zustandsbereiche, die analog wie bei den Autobahnen abgegrenzt sind (s. Kapitel 7.1) und in der Farbgebung der ZEB-Systematik entsprechen. Von besonderem Interesse sind dabei die Zustandsbereiche von 3,5 bis < 4,5 und insbesondere $\geq 4,5$, die jeweils separat dargestellt sind. Für die Vergleiche einzelner Zustandswerte sind dargestellt in

- Bild 7.8a die Längenanteile der Zustandsbereiche der freien Strecken der Bundesstraßen für ZWAUN und die drei eingangs erwähnten Varianten von ZWSBL,

- Bild 7.8b die Längenanteile der Zustandsbereiche der Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen für ZWAUN und die drei Varianten von ZWSBL,
- Bild 7.9a die Längenanteile der Zustandsbereiche der freien Strecken der Bundesstraßen für ZWLWI und die drei Varianten von ZWDBL,
- Bild 7.9b die Längenanteile der Zustandsbereiche der Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen für ZWLWI und die drei Varianten von ZWDBL,
- Bild 7.10a die Längenanteile der Zustandsbereiche der freien Strecken der Bundesstraßen für ZWAUN und die drei Varianten von ZWBLP,
- Bild 7.10b die Längenanteile der Zustandsbereiche der Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen für ZWAUN und die drei Varianten von ZWBLP.

Wie bei den Bundesautobahnen gilt dabei für ZWBLP:

ZWBLP = Max (ZWSBL, ZWDBL).

Bild 7.8 mit dem Vergleich der Häufigkeitsverteilungen für ZWAUN und die drei Varianten des ZWSBL verdeutlicht:

- Für die freien Strecken der Bundesstraßen (Bild 7.8a) sind die Anteile im Zustandsbereich < 1,5 (sehr gute Längsebenheit) bei allen ZWSBL-Varianten erheblich geringer als der entsprechende Anteil für ZWAUN, der bei ca. 50,1 % liegt (rund 15.243 km). Die deutlichste Verringerung um ca. 29 %, entsprechend immerhin ca. 8.793 km, auf ca. 21,2 % ergibt sich für ZWSBL_24. Etwas geringer und fast identisch ist der Rückgang für ZWSBL_A und für den zur Anwendung vorgeschlagenen ZWSBL_25 (auf ca. 30,5 %, d. h. um 19,6 % bzw. um ca. 5.963 km).

Mit verursacht durch den sehr deutlichen Rückgang im Bereich < 1,5 sind die Spreizungen im guten und mittleren Zustandsbereich von 1,5 bis < 3,5 für alle ZWSBL-Varianten ausgeprägter als für ZWAUN.

Die Anteile in den Zustandsbereichen ab dem Warnwert von 3,5 sind für ZWSBL_A (ca. 16,1 %) und ZWSBL_25 (ca. 16,8 %) deutlich größer als für ZWAUN (ca. 10,8 %, d. h. ca. 1.825 km weniger). Für ZWSBL_24 liegt der Anteil im Bereich ab 3,5 bei ca. 26,1 % und damit um 15,3 % bzw. ca. 4.655 km über dem entsprechenden Anteil von ZWAUN.

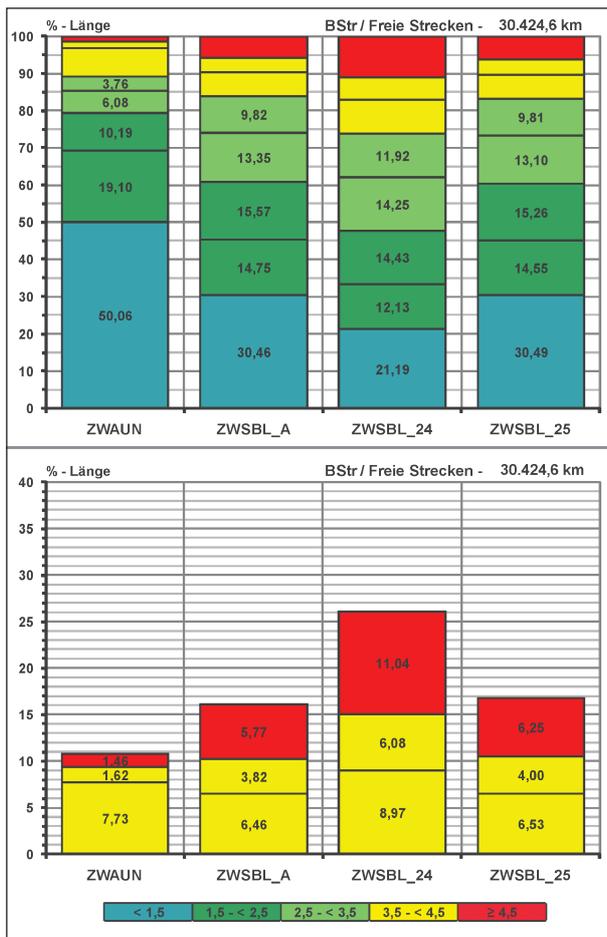


Bild 7.8a: Längenanteile der Zustandsbereiche der freien Strecken der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für ZWAUN und drei Varianten von ZWSBL

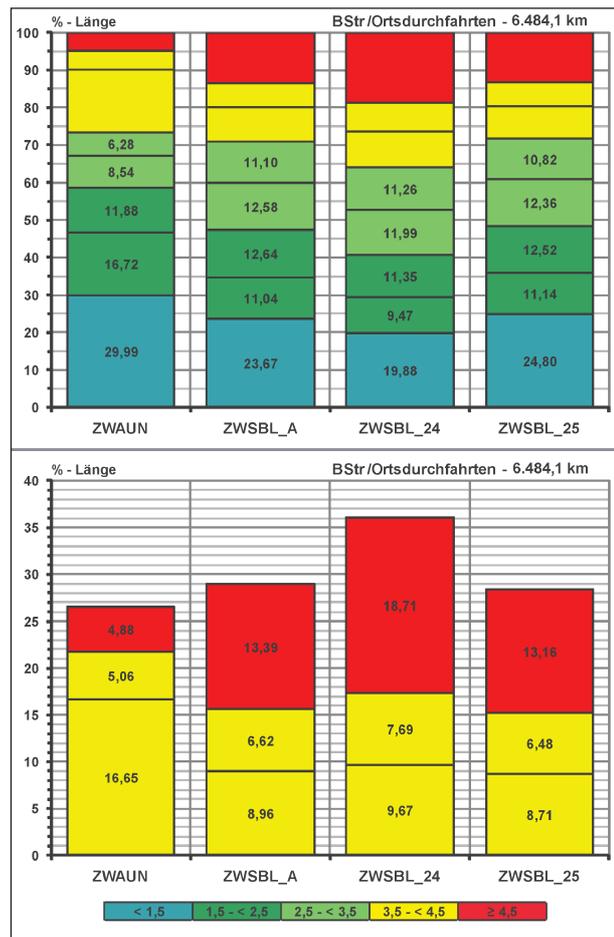


Bild 7.8b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für ZWAUN und drei Varianten von ZWSBL

Auf den Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 entfallen für ZWAUN nur ca. 1,5 % (ca. 444 km). Für ZWSBL_A (ca. 5,8 %, ca. 1.755 km) und ZWSBL_24 (ca. 6,3 %, ca. 1.902 km) ist dieser Anteil ca. viermal so groß. Für ZWSBL_24 ergibt sich mit ca. 11 % (ca. 3.359 km) ein signifikant höherer Anteil wie bei ZWAUN.

- Für die Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen (Bild 7.8b) zeigen sich in der Grundtendenz ähnliche Änderungen wie für die freien Strecken. Die Anteile im Zustandsbereich <math>< 1,5</math> (sehr gute Längsebenheit) gehen jedoch bei allen ZWSBL-Varianten im Vergleich zum entsprechenden Anteil für ZWAUN (ca. 30 %, rund 1.945 km) weniger deutlich zurück als bei den freien Strecken. Für ZWSBL_24 ist diese Verringerung am stärksten ausgeprägt (auf ca. 19,9 %, d. h. um ca. 10,1 %, entsprechend ca. 655 km). Etwas geringere Rückgänge sind für ZWSBL_A (auf ca. 23,7 %, d. h. um 6,3 % bzw. um ca. 410 km)

und für ZWSBL_25 (auf 24,8 %, d. h. um 5,2 % bzw. um ca. 337 km) zu verzeichnen.

Die Spreizungen im guten und mittleren Zustandsbereich von 1,5 bis <math>< 3,5</math> sind für alle ZWSBL-Varianten nur wenig größer als für ZWAUN.

Die Längenanteile in den Zustandsbereichen ab 3,5 sind für die Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen generell sehr hoch. Für ZWAUN (ca. 26,6 %, entsprechend ca. 1.724 km) ergibt sich nur ein geringfügig höherer Anteil als für ZWSBL_A (29 %, ca. 1.878 km) und für ZWSBL_25 (ca. 28,4 %, ca. 1.838 km). Für ZWSBL_24 liegt der Anteil im Bereich ab 3,5 bei ca. 36,1 % (ca. 2.339 km).

Auf den Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 entfallen für alle ZWSBL-Varianten, auch relativ gesehen zu den freien Strecken, erheblich größere Anteile als für ZWAUN (ca. 4,9 %, ca. 316 km). Für ZWSBL_A und

ZWSBL_24 ergeben sich ähnliche Anteile (ca. 13,4 % bzw. 13,2 %, ca. 868 km bzw. 853 km). Für ZWSLB_24 liegt dieser Anteil noch deutlich darüber (ca. 18,7 %, ca. 1.213 km).

Bei den Bundesstraßen ergeben sich im Vergleich zu den Autobahnen bereits bei der Verwendung von ZWAUN, insbesondere für die Ortsdurchfahrten, aber auch für die freien Strecken relativ hohe Anteile im Zustandsbereich $\geq 4,5$, die sofort bzw. kurzfristig zur Erhaltung anstehen (infolge der Längsebenheit). Wenn ZWSBL in der Erhaltungsplanung als Entsprechung für ZWAUN angesetzt wird, fallen noch deutlich mehr kurzfristige Maßnahmen an. Insgesamt gesehen wird die Längsebenheit der Bundesstraßen auf der Basis von ZWSBL_A (Mittelwert-FS 2,35, Mittelwert-OD 2,73) und ZWSBL_25 (Mittelwert-FS 2,37, Mittelwert-OD 2,71) deutlich schlechter, auf der Basis von ZWSBL_24 (Mittelwert-FS 2,70, Mittelwert-OD 2,94) erheblich schlechter bewertet als bei der Berücksichtigung von ZWAUN (Mittelwert-FS 1,91, Mittelwert-OD 2,44).

Auch bei den Bundesstraßen werden durch den Längsebenheitswirkindex ZWLWI und die ZWDBL-Varianten hauptsächlich unregelmäßige und periodische Einzelhindernisse bewertet. In Bild 7.9 sind dazu die Häufigkeitsverteilungen für ZWLWI und die drei Varianten des ZWDBL veranschaulicht. Es wird ersichtlich:

- Für die freien Strecken der Bundesstraßen (Bild 7.9a) bleiben die Anteile im Zustandsbereich $< 1,5$ bei ZWSBL_A und ZWSBL_25 annähernd so groß wie der entsprechende Anteil für ZWLWI (ca. 40,1 %, entsprechend rund 12.185 km). Deutlich kleiner, nämlich um ca. 7,8 %, entsprechend ca. 2.370 km, ist dieser Anteil für ZWDBL_24 (ca. 32,3 %, ca. 9.815 km).

Die Spreizungen im guten und mittleren Zustandsbereich von 1,5 bis $< 3,5$ sind für alle ZWDBL-Varianten etwas größer als für ZWLWI.

Wie auch bei den Autobahnen sind die Anteile in den Zustandsbereichen ab 3,5 für alle ZWDBL-Varianten, insbesondere aber für ZWDBL_A und ZWDDL_25, deutlich geringer als für ZWLWI.

Im Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 sind die Anteile für ZWLWI und ZWDBL_24 annähernd gleich (ca. 5,7 % bzw. 5,3 %, entsprechend ca. 1.746 km bzw. 1.603 km). Etwas geringer sind die entsprechenden Anteile für

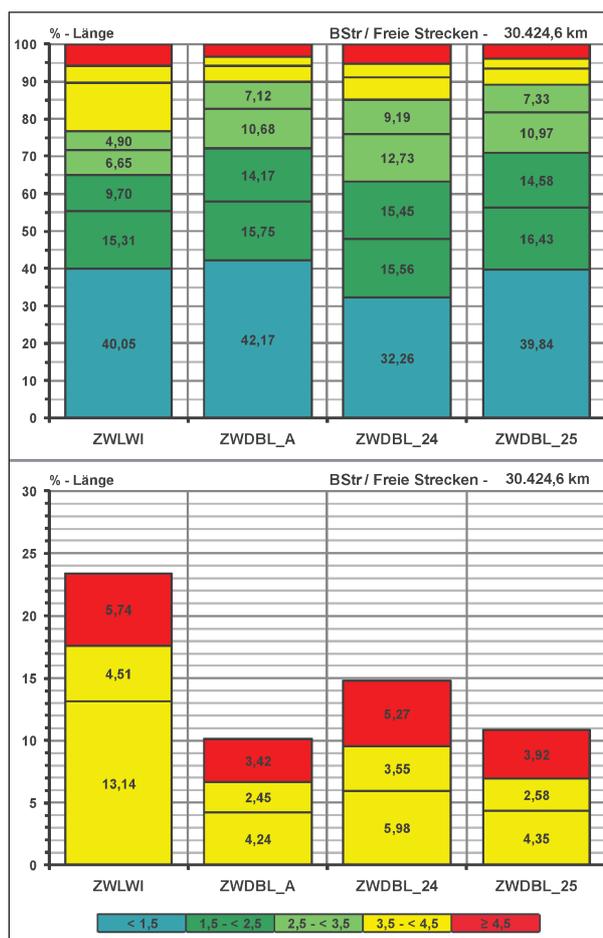


Bild 7.9a: Längsanteile der Zustandsbereiche der freien Strecken der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für ZWLWI und drei Varianten von ZWDBL

ZWDBL_A (ca. 3,5 %, ca. 1.056 km) und ZWDBL_25 (ca. 3,9 %, ca. 1.193 km).

- Für die Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen (Bild 7.9b) ergeben sich, mit deutlich veränderten Anteilswerten, qualitativ nahezu identische Tendenzen wie für die freien Strecken der Bundesstraßen. Die Unterschiede zwischen den Anteilen für ZWLWI und den Anteilen der ZWDBL-Varianten sind, relativ betrachtet, ähnlich ausgeprägt. Dabei sind die Anteile im Bereich $< 1,5$ für ZWDBL_A und für ZWDBL_25 etwas höher (ca. 44,8 % bzw. 44,7 %, ca. 2.907 km bzw. 2.898 km) als für ZWLWI (ca. 39,4 %, ca. 2.552 km).

Wie schon bei den Autobahnen werden die erfassten Komponenten der Längsebenheit (Einzelhindernisse) auch bei den Bundesstraßen auf der Basis von ZWLWI (Mittelwert-FS 2,29, Mittelwert-OD 2,45) deutlich schlechter bewertet als auf der Basis von ZWDBL_A (Mittelwert-FS 2,07, Mittel-

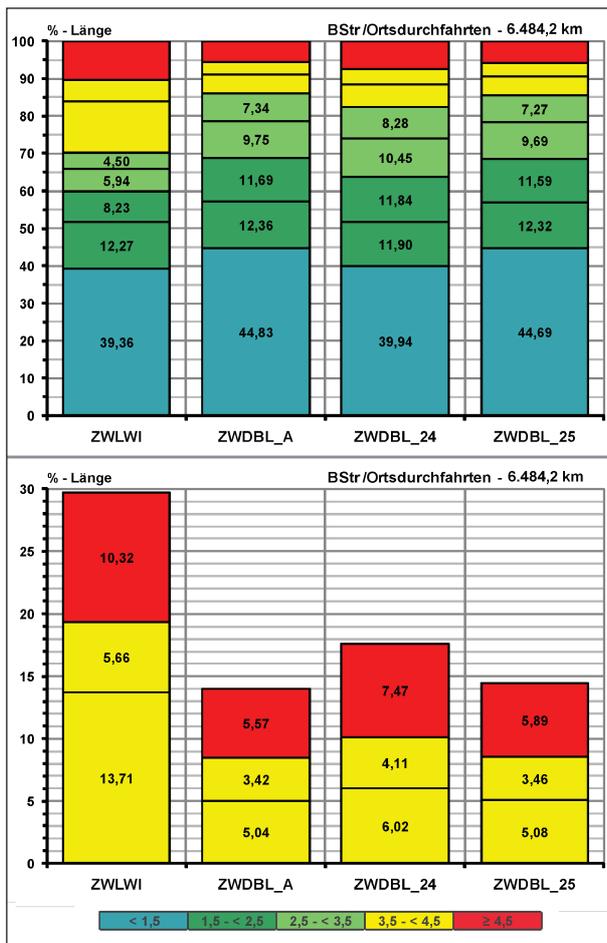


Bild 7.9b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für ZWLWI und drei Varianten von ZWDBL

wert-OD 2,15) oder ZWDBL_25 (Mittelwert-FS 2,11, Mittelwert-OD 2,16). Die Bewertung durch ZWDBL_24 (Mittelwert-FS 2,30, Mittelwert-OD 2,29) ist annähernd vergleichbar mit ZWLWI. Anders als bei den Autobahnen lässt sich aus den Befahrungen in der Örtlichkeit ableiten (s. Kapitel 11), dass schlechte (3,5 bis < 4,5) und sehr schlechte ($\geq 4,5$) Zustandswerte ZWLWI bei den Bundesstraßen nicht überwiegend von den Fahrbahnübergangskonstruktionen der Brücken, sondern zum erheblichen Anteil auch von anderen konstruktiv bedingten Gegebenheiten (Bahnübergänge, Kanaldeckel und Einbauten in Ortsdurchfahrten) verursacht werden. Die ZWDBL-Varianten bewerten diese baulich bedingten Einzelhindernisse netzweit etwas moderater als der Zustandswert des Längsebenheitswirkindex ZWLWI.

In Bild 7.10 sind die Längenanteile der Zustandsbereiche der drei ZWBLP-Varianten, resultierend jeweils aus dem schlechteren Wert für ZWSBL bzw. ZWDBL der ZEB-Auswerteabschnitte, den Anteilen

für den derzeit maßgeblichen Zustandswert der Längsebenheit ZWAUN gegenübergestellt. Wie nach den Analysen zu ZWSBL und ZWDBL zu erwarten, wird die Längsebenheit bei Ansatz der ZWBLP-Varianten deutlich schlechter bewertet. Im Einzelnen wird aus Bild 7.10 ersichtlich:

- Für die freien Strecken (Bild 7.10a) liegen die Anteile im Zustandsbereich < 1,5 (sehr gute Längsebenheit) für alle ZWBLP-Varianten erheblich unter dem entsprechenden Anteil für ZWAUN (ca. 50,1 %, ca. 15.240 km). Am größten (um ca. 31,2 %, ca. 9.495 km) ist diese Verringerung für ZWBLP_24 (auf ca. 18,9 %, ca. 5.745 km). Für ZWBLP_A ergibt sich bei einer Abnahme von ca. 22,6 % (ca. 6.883 km) ein Anteil im Bereich < 1,5 von ca. 27,5 % (ca. 8.356 km), für ZWBLP_25 bei einer Abnahme von ca. 23,5 % (ca. 7.163 km) ein Anteil von ca. 26,5 % (ca. 8.076 km).

Im guten und mittleren Zustandsbereich von 1,5 bis < 3,5 ergeben sich für alle ZWBLP-Varianten erkennbar höhere Anteile als für ZWAUN.

Die Anteile in den Zustandsbereichen ab 3,5 sind für alle ZWBLP-Varianten deutlich größer als für ZWAUN (ca. 10,8 %, entsprechend ca. 3.291 km). Für ZWBLP_A liegt der entsprechende Anteil bei ca. 18,8 % (ca. 5.735 km), für ZWBLP_24 bei ca. 27,8 % (ca. 8.451 km) und für ZWBLP_25 bei ca. 20,1 % (ca. 6.125 km).

Für ZWAUN wird nur relativ selten der Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 erreicht oder überschritten (ca. 1,5 %, ca. 444 km). Gemessen daran ist für alle ZWBLP-Varianten ein enormer Zuwachs zu verzeichnen. Der Anteil liegt für ZWBLP_A bei ca. 7 % (ca. 2.137 km), für ZWBLP_24 bei ca. 12,5 % (ca. 3.796 km) und für ZWBLP_25 bei ca. 7,9 % (ca. 2.399 km).

- Für die Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen (Bild 7.10b) ergibt sich relativ gesehen ein sehr ähnliches Grundmuster an Änderungen wie für die freien Strecken der Bundesstraßen. Die Anteile im Zustandsbereich < 1,5 (sehr gute Längsebenheit) verringern sich gegenüber dem entsprechenden, ohnehin bereits kleinen Anteil für ZWAUN (ca. 30 %, rund 1.945 km) für alle ZWBLP-Varianten noch weiter. Für ZWBLP_A ergibt sich eine Verringerung um 6,5 % (ca. 420 km) auf einen Anteil im Bereich < 1,5 von ca. 23,5 % (ca. 1.524 km), für ZWBLP_24 eine Ab-

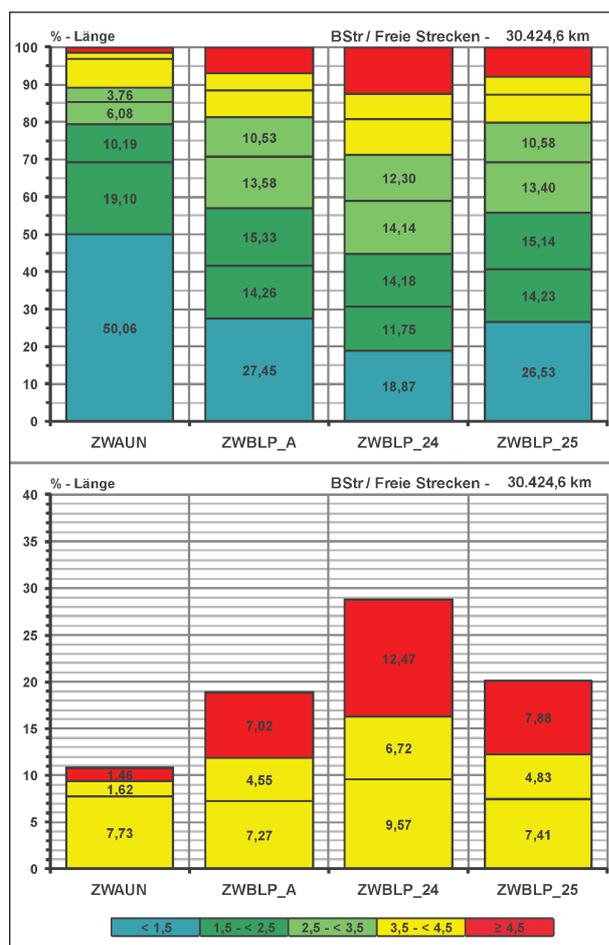


Bild 7.10a: Längenanteile der Zustandsbereiche der freien Strecken der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für ZWAUN und drei Varianten von ZWBLP

nahme von ca. 10,3 % (ca. 668 km) auf einen Anteil von ca. 19,7 % (ca. 1.277 km), für ZWBLP_25 eine Abnahme von ca. 5,5 % (ca. 357 km) auf einen Anteil von ca. 24,5 % (ca. 1.588 km).

Im guten und mittleren Zustandsbereich von 1,5 bis < 3,5 ist die Spreizung für alle ZWBLP-Varianten ähnlich wie für ZWAUN.

Der Längenanteil in den Zustandsbereichen ab 3,5 ist für ZWAUN (ca. 26,6 %, entsprechend ca. 1.724 km) etwas geringer als die entsprechenden Anteile für ZWBLP_A (ca. 29,5 %, ca. 1.915 km) und für ZWBLP_25 (ca. 29,3 %, ca. 1.899 km), jedoch deutlich geringer als für ZWBLP_24 (ca. 36,7 %, ca. 2.380 km).

Auf den Zustandsbereich ab dem Schwellenwert von 4,5 entfallen für alle ZWBLP-Varianten erheblich größere Anteile als für ZWAUN (ca. 4,9 %, ca. 316 km). Für ZWSBL_A liegt dieser Anteil bei ca. 13,9 % (ca. 902 km), für

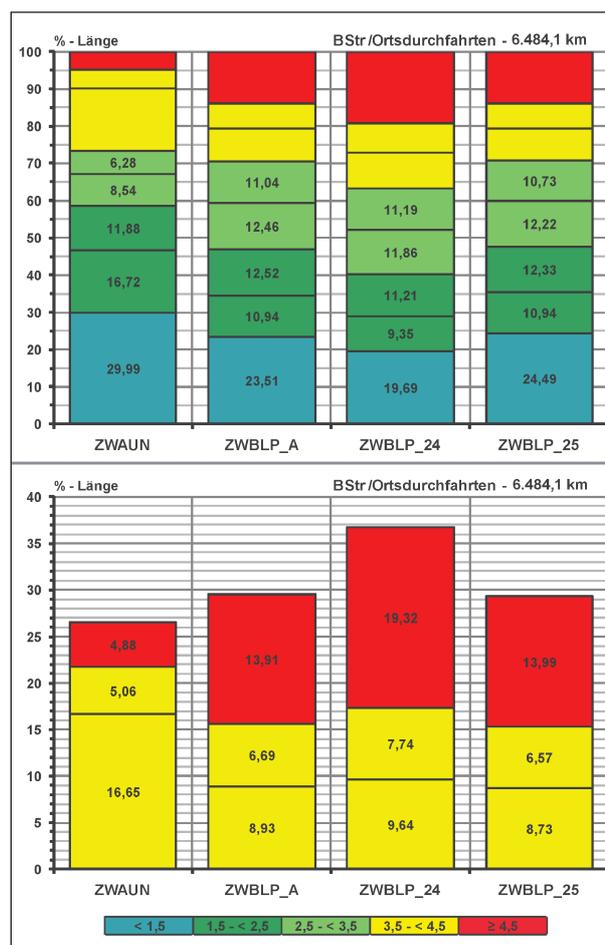


Bild 7.10b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für ZWAUN und drei Varianten von ZWBLP

ZWSBL_24 bei 19,3 % (ca. 1.253 km) und für ZWSBL_25 bei 14 % (ca. 907 km).

Die in den Verteilungen aus Bild 7.10 erkennbaren deutlichen Verschiebungen zeigen sich auch bei den mittleren Zustandswerten (ZWAUN: Mittelwert-FS 1,91, Mittelwert-OD 2,44; ZWBLP_A: Mittelwert-FS 2,45, Mittelwert-OD 2,75; ZWBLP_24: Mittelwert-FS 2,79, Mittelwert-OD 2,96; ZWPLP_25: Mittelwert-FS 2,497, Mittelwert-OD 2,73). Wie schon bei den Autobahnen (Kapitel 7.1) wird auch bei den Bundesstraßen der Kritikpunkt an der ZEB, dass ZWAUN die Längsebenheit nicht ausreichend streng bewertet, durch den Ansatz von ZWBLP weitestgehend ausgeräumt.

Aufgrund der logischen Maximumverknüpfung von ZWSBL und ZWDBL zu ZWBLP ist prinzipiell auch bei den Bundesstraßen davon auszugehen, dass konstruktiv bedingte Einzelhindernisse maßgeblich für die Ebenheitsbewertung von ZEB-Auswerteabschnitten sind. Diese mit ZWDBL erfassten Einzel-

ZEB 2007/2008	ZWBLP_A		ZWBLP_24		ZWBLP_25	
	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%
Alle Abschnitte						
ZWSBL > ZWDBL	445.145	69,7	474.952	74,4	431.365	67,6
ZWSBL < ZWDBL	72.611	11,4	62.797	9,8	86.096	13,5
ZWSBL = ZWDBL	120.497	18,9	100.504	15,7	120.792	18,9
Summe	638.253	100,0	638.253	100,0	638.253	100,0
Abschnitte der freien Strecken						
ZWSBL > ZWDBL	195.868	63,1	221.133	71,3	191.521	61,7
ZWSBL < ZWDBL	56.731	18,3	47.023	15,2	63.389	20,4
ZWSBL = ZWDBL	57.757	18,6	42.200	13,6	55.446	17,9
Summe	310.356	100,0	310.356	100,0	310.356	100,0
Abschnitte der Ortsdurchfahrten						
ZWSBL > ZWDBL	249.277	76,3	253.819	77,7	239.844	73,4
ZWSBL < ZWDBL	15.880	4,9	15.774	4,8	22.707	6,9
ZWSBL = ZWDBL	61.630	18,9	57.194	17,5	64.236	19,7
Summe	326.787	100,0	326.787	100,0	326.787	100,0

Tab. 7.2: Maßgebliche Komponenten für ZWBLP bei den Bundesstraßen (ZEB 2007/08)

hindernisse sind in der Örtlichkeit vorhanden, sie sollten daher bei der Ebenheitsbewertung auch abgebildet werden. Für die Erhaltungsplanung ergeben sich daraus jedoch die bereits in Kapitel 7.1 ausführlich erläuterten Konsequenzen (Vorschläge zu Erneuerungsmaßnahmen bei konstruktiv bedingten Einzelhindernissen). Die in Tabelle 7.2 veranschaulichte Auswertung der maßgeblichen Komponenten für ZWBLP zeigt allerdings, dass bei der Auswertung der Daten der ZEB 2007/08 überwiegend ZWSBL bestimmend ist und relativ selten, insbesondere bei den Ortsdurchfahrten, die Komponente ZWDBL. Aufgrund der doch deutlich anderen Verknüpfungsrelationen bei den Autobahnen (s. Tabelle 7.1) wäre zu prüfen, ob sich die Proportionen aus Tabelle 7.2 auch bei anderen ZEB-Kampagnen der Bundesstraßen (z. B. ZEB 2003/04) bestätigen. Die Frage ist für die Erhaltungsplanung von Bedeutung, da bei den Bundesstraßen nicht nur Fahrbahnübergangskonstruktionen von Brücken zu beachten sind, sondern, vor allem bei den Ortsdurchfahrten (Kanaldeckel und sonstige Einbauten), auch andere, nicht ohne weiteres lokalisierbare konstruktiv bedingte Gegebenheiten. Das Erkennen und Eliminieren ist bei vielen konstruktiv bedingten Einzelhindernissen schwierig bzw. kaum möglich. Es wäre daher zumindest zu erwägen, ob für die Erhaltungsplanung nur die, nach Tabelle 7.2 dominierende Komponente ZWSBL herangezogen werden sollte. Wie in Bild 7.8 gezeigt, wird bei den Bundesstraßen

auch mit ZWSBL die Längsebenheit etwas strenger bewertet als auf der Grundlage von ZWAUN.

Die Problematik konstruktiv bedingter Einzelhindernisse ist auch bei einer Substitution von ZWAUN durch ZWBLP zur Bildung des Gebrauchs- und Substanzwerts zu beachten. Auch wenn diese Teilwerte nicht direkt in die Erhaltungsplanung eingehen, dienen sie meist für zusammenfassende Ergebnisdarstellungen. Nachfolgend wird der Einfluss der ZWBLP-Varianten auf die Teilwerte der Bundesstraßen betrachtet. Dazu sind dargestellt in

- Bild 7.11 die Häufigkeitsverteilungen für den Gebrauchswert auf der Basis von ZWAUN bzw. der ZWBLP-Varianten,
- Bild 7.12 die Häufigkeitsverteilungen für den Substanzwert-Oberfläche auf der Basis von ZWAUN bzw. der ZWBLP-Varianten.

Wie schon bei den Autobahnen wurde bei der Verknüpfung nur ZWAUN ersetzt, aber nichts am Verfahren geändert.

Bild 7.11a (freie Strecken) und Bild 7.11b (Ortsdurchfahrten) zeigen, dass die qualitativen Änderungen nach dem Ersatz von ZWAUN durch ZWBLP beim Gebrauchswert TWGEB in der Grundtendenz ähnlich, aber sehr unterschiedlich ausgeprägt sind:

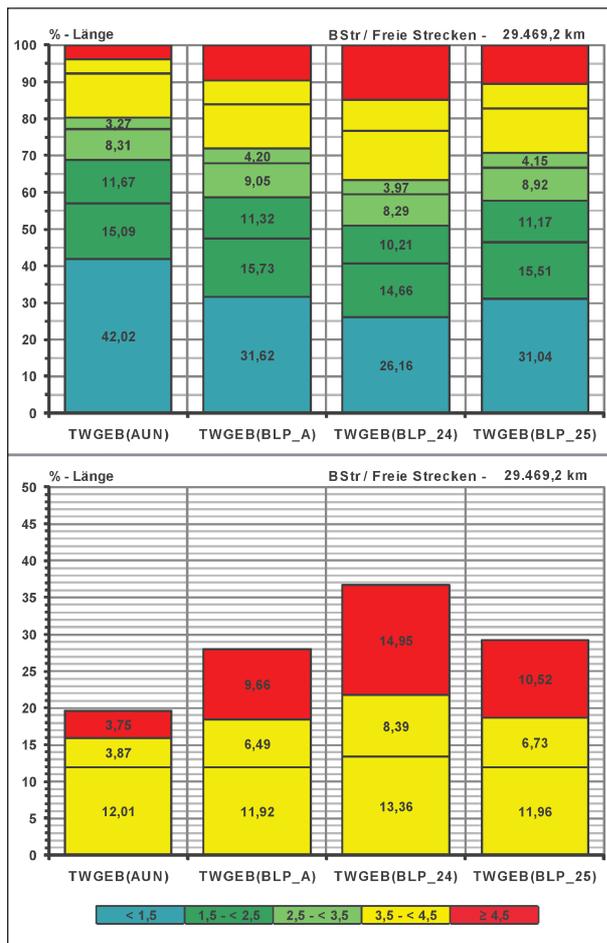


Bild 7.11a: Längenanteile der Zustandsbereiche der freien Strecken der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für den Gebrauchswert TWGEB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWBLP

- Die Anteile für TWGEB < 1,5 werden beim Ansatz der ZWBLP-Varianten kleiner als bei der herkömmlichen Verknüpfung mit ZWAUN. Am größten ist dieser Rückgang für ZWBLP_24, geringer und fast identisch für ZWBLP_A und ZWBLP_25. Bei den Ortsdurchfahrten ergeben sich Anteilswerte für TWGEB < 1,5, die unter 20 % liegen.
- Die Anteile im Bereich mit guten und mittelmäßigen Gebrauchswerten (1,5 bis < 3,5) nehmen bei Anwendung der ZWBLP-Varianten gegenüber ZWAUN geringfügig zu.
- Wie nach dem Vergleich von ZWAUN und ZWBLP (Bild 7.10) zu erwarten, werden die Anteile mit schlechtem Gebrauchswert (3,5 bis < 4,5) und sehr schlechtem Gebrauchswert (≥ 4,5) bei allen ZWBLP-Varianten größer als bei Ansatz von ZWAUN. Am deutlichsten ausgeprägt ist diese Zunahme für ZWBLP_24, am geringsten und nahezu gleich für ZWBLP_A und

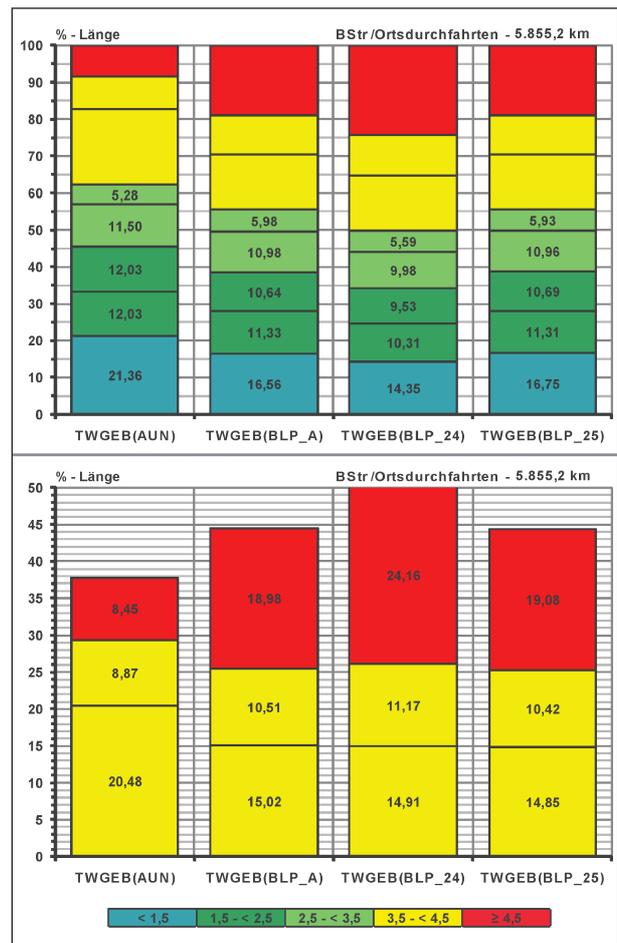


Bild 7.11b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für den Gebrauchswert TWGEB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWBLP

ZWBLP_25. Bei den Ortsdurchfahrten gehen die Anteile für den Bereich 3,5 bis < 4,5 bei den ZWBLP-Varianten sogar etwas zurück. Die Anteile mit einem Gebrauchswert ≥ 4,5, die sofortige Erhaltungsaktivitäten erfordern, steigen allerdings bei ZWBLP_24 auf fast 25 %, bei ZWBLP_A und ZWBLP_25 auf knapp 20 %. Statistisch müsste damit jeder vierte (ZWBLP_24) bzw. jeder fünfte (ZWBLP_A und ZWBLP_25) Kilometer erhalten (oder entsprechend beschildert) werden,

Beim Substanzwert-Oberfläche TWSUB ergeben sich beim Ersatz von ZWAUN durch ZWBLP tendenziell ähnliche Änderungen wie beim Gebrauchswert (Bild 7.12):

- Die Anteile für TWSUB < 1,5 werden beim Ansatz der ZWBLP-Varianten bei den freien Strecken (Bild 7.12a) und bei den Ortsdurchfahrten etwas kleiner (Bild 7.12b) als bei der Verknüpfung auf der Basis von ZWAUN. Am

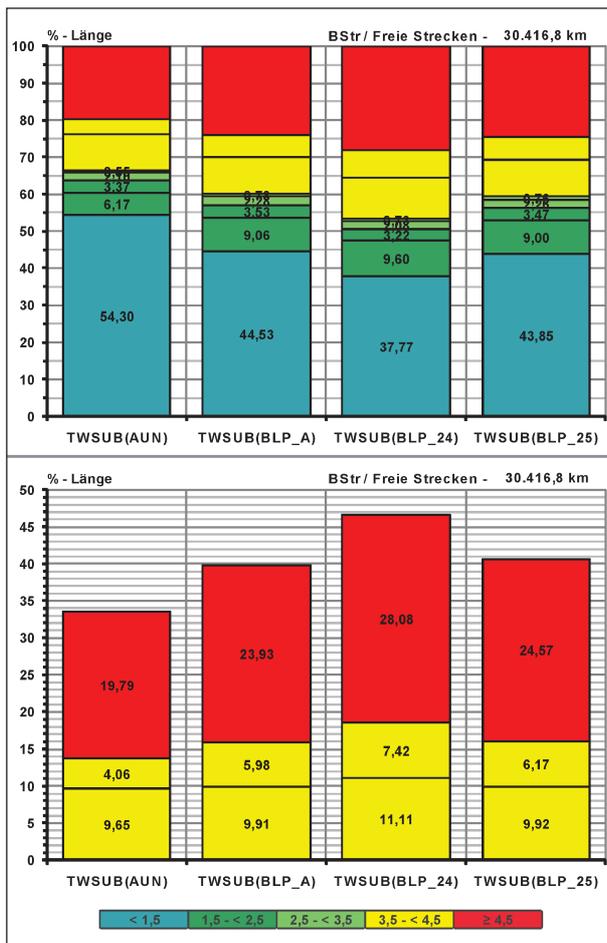


Bild 7.12a: Längenanteile der Zustandsbereiche der freien Strecken der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für den Substanzwert-Oberfläche TWSUB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWBLP

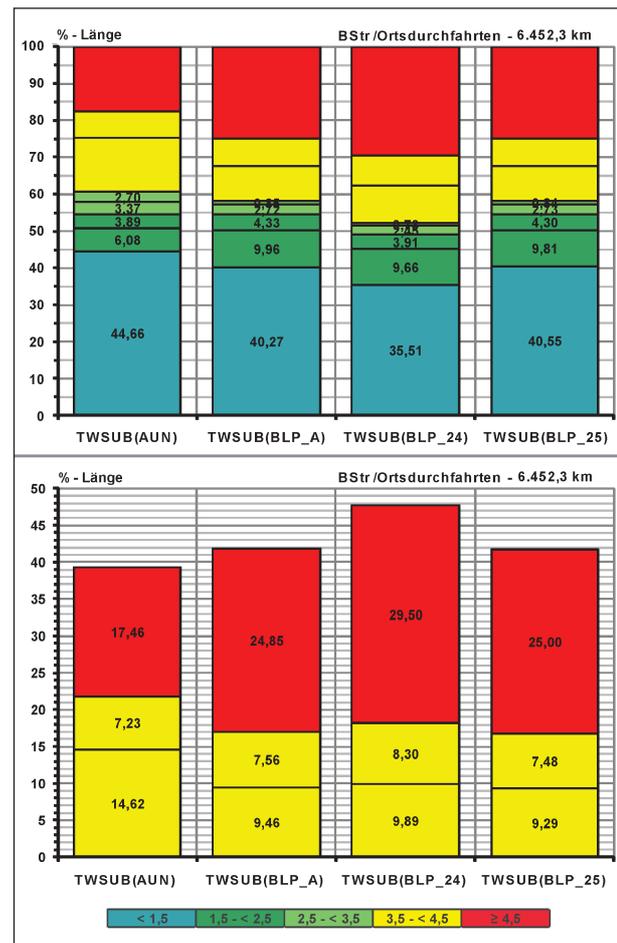


Bild 7.12b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für den Substanzwert-Oberfläche TWSUB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWBLP

größten ist dieser Rückgang für ZWBLP_24, geringer und nahezu gleich für ZWBLP_A, und ZWBLP_25.

- Die Anteile im Bereich mit guten und mittelmäßigen Gebrauchswerten (1,5 bis < 3,5) werden bei Anwendung der ZWBLP-Varianten geringfügig größer als für ZWAUN.
- Die auch bei Ansatz von ZWAUN sehr hohen Anteile mit schlechtem Substanzwert (3,5 bis < 4,5) und insbesondere mit sehr schlechtem Substanzwert ($\geq 4,5$) werden für die freien Strecken bei allen ZWBLP-Varianten noch größer. Wie schon beim Gebrauchswert ist diese Zunahme am größten für ZWBLP_24, geringer und fast gleich für ZWBLP_A und ZWBLP_25. Bei den Ortsdurchfahrten nehmen die Anteile für den Bereich 3,5 bis < 4,5 bei den ZWBLP-Varianten leicht ab, die Anteile mit einem Substanzwert-Oberfläche TWSUB $\geq 4,5$ dagegen deutlich zu.

Beim Ersatz von ZWAUN durch die ZWBLP-Varianten ergeben sich recht deutliche Verschiebungen zu schlechteren Gebrauchs- und Substanzwerten: Dies zeigt sich auch bei den mittleren Gebrauchswerten (ZWAUN: Mittelwert-FS 2,18, Mittelwert-OD 2,78; ZWBLP_A: Mittelwert-FS 2,49, Mittelwert-OD 3,05; ZWBLP_24: Mittelwert-FS 2,74, Mittelwert-OD 3,21; ZWPLP_25: Mittelwert-FS 2,53, Mittelwert-OD 3,05) und den mittleren Substanzwerten (ZWAUN: Mittelwert-FS 2,41, Mittelwert-OD 2,62; ZWBLP_A: Mittelwert-FS 2,65, Mittelwert-OD 2,73; ZWBLP_24: Mittelwert-FS 2,86, Mittelwert-OD 2,92; ZWPLP_25: Mittelwert-FS 2,67, Mittelwert-OD 2,73). Anders als bei den Autobahnen (Kapitel 7.1) ergeben sich bei den Bundesstraßen aus der Anwendung der ZWBLP-Varianten deutliche Änderungen in den Häufigkeitsverteilungen der Teilwerte.

Die Verteilungen der Teilwerte beim Ersatz von ZWAUN durch die BLP-Komponente ZWSBL sind

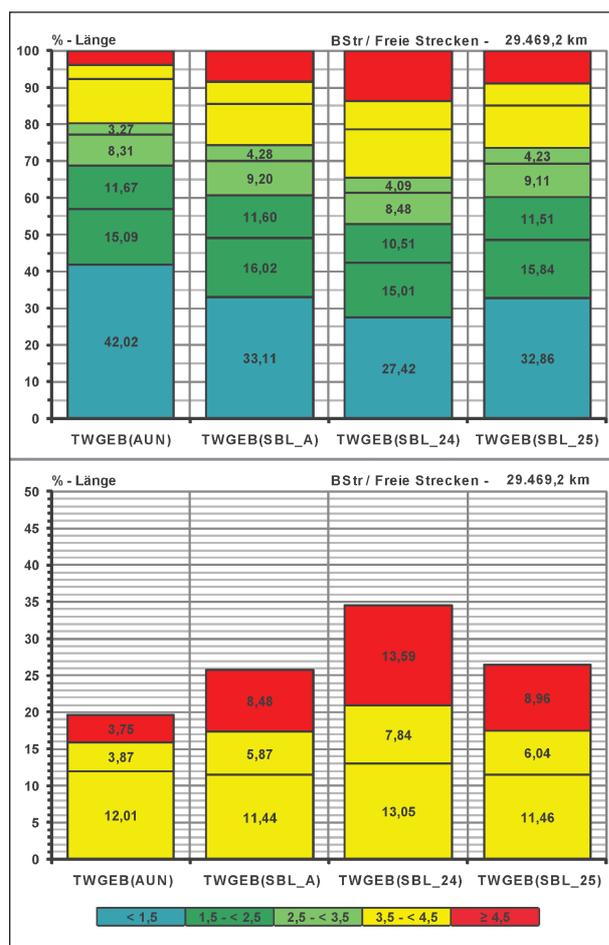


Bild 7.13a: Längenanteile der Zustandsbereiche der freien Strecken der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für den Gebrauchswert TWGEB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWSBL

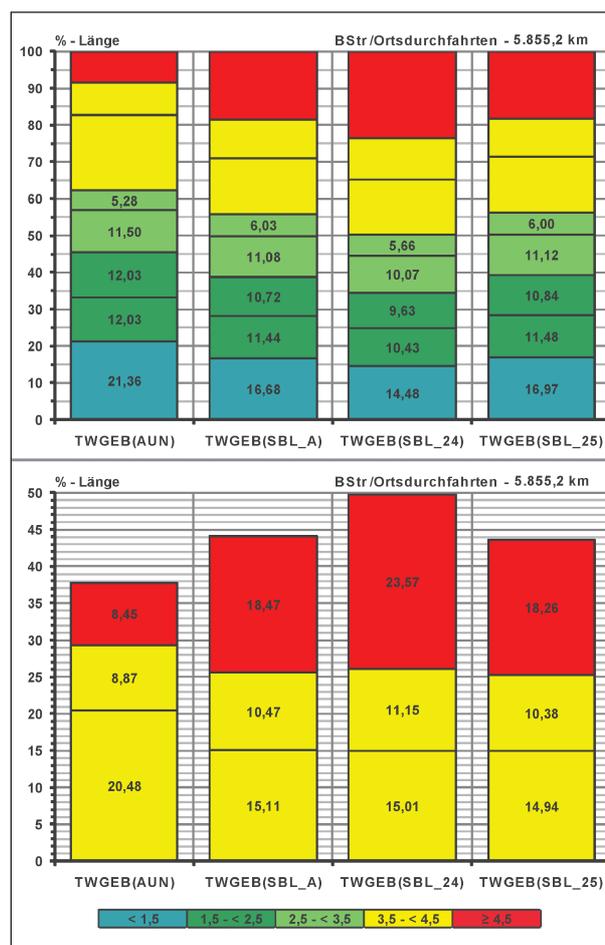


Bild 7.13b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für den Gebrauchswert TWGEB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWSBL

in Bild 7.13 für den Gebrauchswert und in Bild 7.14 für Substanzwert-Oberfläche dargestellt. Im Vergleich zur Berücksichtigung von ZWBLP ergeben sich für beide Teilwerte Verteilungen, die etwas geringere Anteile in den Zustandsbereichen ab 3,5 und etwas höhere Anteile im Zustandsbereich < 1,5 aufweisen. Insgesamt zeigen sich jedoch auch bei allen ZWSBL-Varianten gegenüber der Verwendung des ZWAUN deutliche Verschiebungen in Richtung der schlechten Zustandsbereiche.

Im Vergleich der drei analysierten BLP-Varianten ergeben sich mit den Zustandsdaten der ZEB 2007/08 der Bundesstraßen beim Ersatz des ZWAUN durch ZEBLP_24 die größten Verschiebungen in Richtung der schlechteren Zustandsbereiche. Deutlich geringer und annähernd gleich groß sind die Verschiebungen bei ZWBLP_A und bei der empfohlenen Variante ZWBLP_25. Diese Tendenz ist für alle durchgeführten Auswertungen erstaunlich stabil.

Zusammenfassend lässt sich aus den mit den Daten der ZEB 2007/08 der Bundesstraßen vorgenommenen Vergleichen ableiten, dass bei einem Ersatz des Zustandswerts der Allgemeinen Unebenheiten ZWAUN durch den Zustandswert des Bewerteten Längsprofils ZWBLP der erwünschte Effekt einer strengeren Bewertung der Längsebene sehr deutlich erreicht wird. Im Vergleich zu den Autobahnen verschlechtert sich das Zustandsniveau der Bundesstraßen bei der Verwendung des ZWBLP wesentlich stärker, insbesondere für die Ortsdurchfahrten. Dabei können auch bei den Bundesstraßen aufgrund der Durchschlagsoption der Komponente ZWDBL konstruktiv bedingte Einzelereignisse maßgeblich für den Zustandswert ZWBLP der ZEB-Auswerteabschnitte werden. Diese vor Ort vorhandenen und eigentlich korrekt abgebildeten Einzelereignisse führen dazu, dass der Zustandswert ZWBLP für die Erhaltungsplanung nur bedingt brauchbar ist.

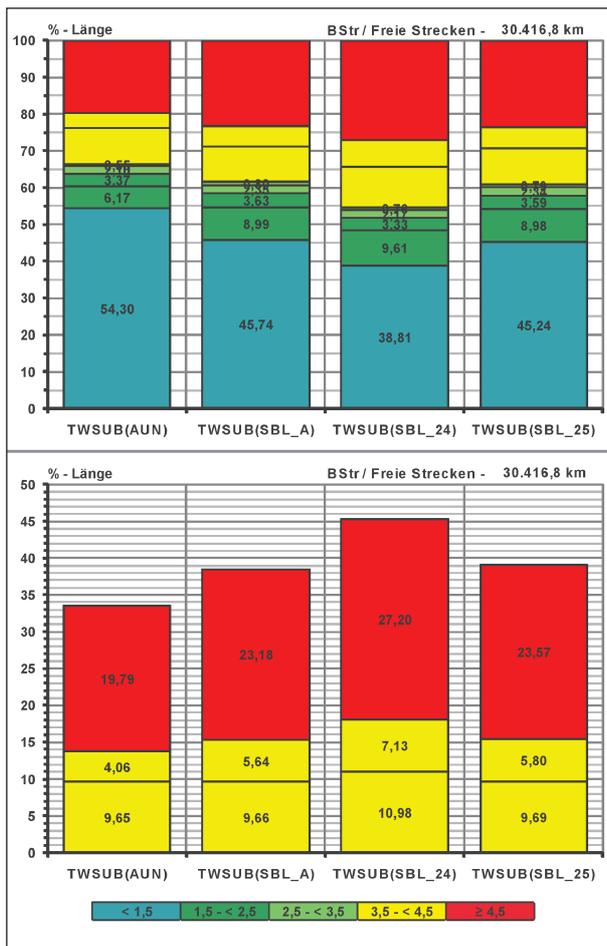


Bild 7.14a: Längenanteile der Zustandsbereiche der freien Strecken der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für den Substanzwert-Oberfläche TWSUB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWSBL

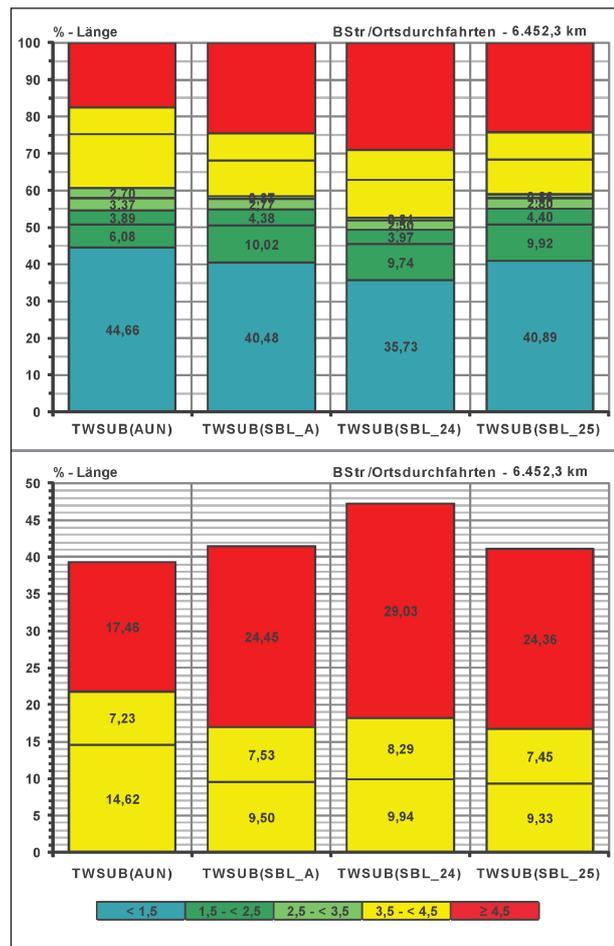


Bild 7.14b: Längenanteile der Zustandsbereiche der Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen (ZEB 2007/08) für den Substanzwert-Oberfläche TWSUB mit ZWAUN und drei Varianten von ZWSBL

7.3 Schlussfolgerungen aus der Anwendung für ZEB-Kampagnen

Das Bewertete Längsprofil erfüllt nach den Ergebnissen der Anwendungen für die ZEB-Kampagnen die Erwartungen eines im Vergleich zum AUN empfindsamer ansprechenden Längsebenheitsbewertungsverfahrens, das insbesondere einzelne und periodisch auftretende Hindernisse, aber auch allgemeine Unebenheiten in ihrer Bandbreite ausgewogener beschreiben kann als der AUN.

Bei Anwendung der hier vorgeschlagenen Grenzwerte bewertet ZWBLP die Ebenheit strenger als ZWAUN, was dazu führt, dass die Längenanteile der sehr guten Straßen (ZW < 1,5) vergleichsweise geringer werden, während sich der Bereich der schlechten Straßen (ZW > 3,5 bzw. 4,5) bei gleichzeitiger größerer Spreizung der Längenanteile mittlerer Ebenheiten erhöht. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die „Strenge“ der Bewertung durch das

BLP in erster Linie eine Frage der Wahl der Grenzwerte ist. Die Untersuchungen an den Bundesstraßen, insbesondere an den Ortsdurchfahrten, legen zumindest nahe, dass für diese Straßenklasse andere Grenzwerte als für die Autobahnen gewählt werden sollten. Hierfür werden in Kapitel 8 entsprechende Vorschläge unterbreitet.

Im Laufe der Untersuchungen wurde allerdings auch deutlich, dass konstruktiv bedingte Einzelhindernisse, insbesondere inForm von Fahrbahnübergangskonstruktionen von Brücken bei Autobahnen, bei der bisherigen Konzeption unreflektiert in die Ebenheitsbewertung eingehen, was zu falschen Annahmen führen kann. Um zu verhindern, dass konstruktiv bedingte Hindernisse, die einen großen Teil der auf Autobahnen vorkommenden Einzelhindernisse darstellen, in die Erhaltungsplanung eingehen, bedarf es eines ergänzenden Analyseschrittes. Dabei muss angestrebt werden, konstruktiv bedingte (nicht relevante) Ein-

zelhindernisse von relevanten Einzelhindernissen zu unterscheiden.

Ein Verfahren zur Identifizierung nicht relevanter Einzelhindernisse muss zusätzliche Informationen heranziehen, um eine Klassifizierung zu ermöglichen. Zusatzdaten können sein:

- Informationen aus Datenbanken zur Örtlichkeit von Brückenbauwerken,
- Informationen aus den Videoaufnahmen während der Messung,
- Informationen aus weiteren Fahrspuren (ermöglichen Rückschlüsse auf konstruktive Formen, die sich meist über die gesamte Fahrbahn- bzw. Straßenbreite erstrecken) sowie
- Informationen aus der Höhe, Form und Wiederholung von Einzelereignissen im Längsprofil, die für eine „intelligente“ Einzelhinderniserkennung genutzt werden können.

Insbesondere im Hinblick auf die Unterscheidung relevanter von nicht-relevanten Einzelhindernissen bietet sich für die Zukunft eine flächenhafte Erfassung der Ebenheit an. Künftige Ebenheitsmessverfahren, die auf 3D- statt 2D-Informationen beruhen, können eine geeignete Grundlage für solch ein Verfahren darstellen.

8 Fazit der bisherigen Untersuchungen

Betrachtet man die bisher dargestellten Untersuchungen mit den unterschiedlichen Varianten des BLP vor dem Hintergrund

- ihrer Korrelationen untereinander sowie der Ausgewogenheit zwischen den Indikatoren SBL und DBL (Kapitel 4),
- der Ausgewogenheit in der Gewichtung zwischen langen und kurzen Wellenlängen sowie zwischen Beton- und Asphaltbauweisen (Kapitel 5 und 6),
- der Ausgewogenheit in den Summenhäufigkeitsverteilungen sowie der Vergleichbarkeit mit dem BLP_{Austria} (Kapitel 7),

dann stellt die Variante BLP_25, d. h. die Variante mit einem Wellenlängenbereich zwischen 0,3 und

Grenzwert		Indikator	
Name	ZW	SBL [mm]	SBL [mm]
Zielwert	1,5	4,0	24,0
Abnahmewert	2,5	6,0	36,0
Gewährleistungswert	2,87	7,0	42,0
Warnwert	3,5	9,0	54,0
Schwellenwert	4,5	13,0	78,0

Tab. 8.1: Grenzwerte für das BLP auf Bundesfernstraßen

50 m und einer charakteristischen Welligkeit von 2,5, die beste Variante dar:

- Sie umfasst alle für die Längsebenheit wichtigen Wellenlängen.
- Ihre charakteristische Welligkeit ist so gewählt, dass eine Straße in ihrer Ebenheitscharakteristik ausgewogen beurteilt werden kann.
- Sie bevorzugt weder Asphalt- noch Betonoberflächen.
- Sie besitzt die beste Vergleichbarkeit zum BLP_{Austria}.
- Sie sorgt dafür, dass in Österreich und Deutschland dieselben Grenzwerte zur Anwendung kommen könnten.

Folgende Normierungsfunktionen und Grenzwerte für das BLP werden für Bundesfernstraßen vorgeschlagen (Grenzwertvorschläge für andere Straßenklassen s. Kapitel 9):

$$\text{ZWSBL} = [2 \cdot (\text{SBL} - 2,875)]^{0,5}$$

Dabei gilt: $1,0 \leq \text{ZWSBL} \leq 5,0$,

$$\text{ZWDBL} = [(\text{DBL} - 17,25)/3]^{0,5}$$

Dabei gilt: $1,0 \leq \text{ZWDBL} \leq 5,0$.

9 Grenzwertvorschläge für andere Straßenklassen

In diesem Kapitel wird auf die Behandlung von Ästen eingegangen. In jüngster Vergangenheit wurden darüber hinaus Vorschläge für die gesonderte Behandlung von Bundesstraßen – freie Strecke und Ortsdurchfahrten – unterbreitet (OERTEL, 2007, SOCINA, 2009). Sie sollen an dieser Stelle aufgegriffen und entsprechende Grenzwerte für das Bewertete Längsprofil daraus abgeleitet

werden. Der vorliegende Datenbestand gestattet allerdings keine Überprüfung dieser Vorschläge. Sie müssten in gesonderten Untersuchungen verifiziert werden.

9.1 Äste

Die dynamischen Auswirkungen q infolge regelloser Unebenheiten verhalten sich mit der Fahrgeschwindigkeit v annähernd wie folgt (UECKERMANN, 2002):

$$\frac{\text{var}(q) | v_2}{\text{var}(q) | v_1} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{w-1}$$

wobei mit $\text{var}(q)$ die Varianz (σ^2) der Auswirkung und mit w die Welligkeit der Straße gemeint sind. Nimmt man eine mittlere Welligkeit von 2,5 an und berücksichtigt zudem, dass die Geschwindigkeit auf Ästen sich gegenüber der freien Strecke wie 50/120 verhält, so ergibt sich

$$\frac{\sigma(q) | v_2}{\sigma(q) | v_1} = \sqrt{0,4^{1,5}} \approx 0,5$$

Das bedeutet, dass auf Ästen die dynamischen Unebenheitsauswirkungen gegenüber der freien Strecke auf 50 % gesunken sind. Im Umkehrschluss würde das bedeuten, dass die Grenzwerte auf Ästen gegenüber der freien Strecke um das Doppelte angehoben werden könnten.

Auf der anderen Seite werden für Äste kürzere Abschnittslängen, z. B. 20 m, benötigt. Hier besagt Gl. 3.16, dass die Höhe der Grenzwerte von der Abschnittslänge bzw. der maximalen Wellenlänge abhängt, die noch berücksichtigt wird. Das führt zu der Aussage, dass sich die Grenzwerte eines 20-m-Abschnittes zu denen, die bis zu 50 m lange Wellen berücksichtigen, wie folgt verhalten:

$$\frac{SBL(20m)}{SBL(50m)} \approx \sqrt{\left(\frac{20}{50} \right)^{1,5}} \approx 0,5$$

Damit ist die Forderung nach einer Halbierung der Grenzwerte verbunden. Beide Forderungen – die Verdoppelung und die Halbierung – kompensieren sich gewissermaßen, sodass es sinnvoll ist, für Äste mit Abschnittslängen von 20 m die Grenzwerte der freien Strecke zu übernehmen. Damit gelten dieselben Grenzwerte wie in Tabelle 5.3 angegeben.

9.2 Bundesstraßen – freie Strecke und Ortsdurchfahrt

In dem oben genannten Bericht (OERTELT, 2007) werden 2 Varianten favorisiert, die, so der Vorschlag, sukzessive Eingang in die ZEB finden könnten. Sie sind in Tabelle 9.1 aufgeführt.

Aufgrund des engen Zusammenhangs zwischen AUN und BLP (Gl. 3.16) können diese Grenzwertvorschläge direkt in entsprechende Grenzwerte für SBL und DBL umgerechnet werden. Eine Verdoppelung des AUN von 9 auf 18 cm^3 führt demnach zu einer Erhöhung des BLP um den Faktor $2^{0,5} = 1,4$ und eine Vervielfachung zu einer Verdoppelung von SBL und DBL. SOCINA (2009) hat in diesem Zusammenhang einen Faktor von $8,5/6,5 = 1,3$ zwischen Ortsdurchfahrt und freier Strecke vorgeschlagen – allerdings basierend auf einer anderen BLP-Variante als die in dieser Arbeit vorgeschlagenen. Welche Grenzwerte sich aus diesen Vorschlägen für das Bewertete Längsprofil ergeben würden, ist in Tabelle 9.2 dargestellt.

		Variante I	Variante II
		LWI [-] bzw. AUN [cm^3]	LWI [-] bzw. AUN [cm^3]
FK I	BAB	9	9
FK II	BStr. freie Strecke	9	18
FK III	BStr. Ortsdurchfahrt	18	36

Tab. 9.1: Grenzwertvorschläge für unterschiedliche Funktionsklassen (OERTELT, 2007)

	Zielwert		Abnah mewert		Gewährleistungswert		Warnwert		Schwellenwert	
	SBL	DBL	SBL	DBL	SBL	DBL	SBL	DBL	SBL	DBL
freie Strecke (V.I)	4	24	6	36	7	42	9	54	13	78
Ortsdurchfahrt (V.I)	6	36	8	48	10	60	13	78	15	90
freie Strecke (V.II)	6	36	8	48	10	60	13	78	15	90
Ortsdurchfahrt (V.II)	8	48	12	72	14	84	18	108	26	156

Tab. 9.2: Grenzwertvorschläge [mm] gemäß OERTELT (2007) für Varianten BLP_25, BLP_A

Auf der anderen Seite können für die Ortsdurchfahrten die gleichen Überlegungen wie für die Äste angestellt werden (s. Kapitel 9.1). Das führt zu der Aussage, dass für die Ortsdurchfahrt, bezogen auf eine Abschnittslänge von 20 m, dieselben Grenzwerte wie für die freie Strecke verwendet werden können. Entsprechend der in Tabelle 9.1 aufgeführten Variante II ($AUN = 18 \text{ cm}^3$ für die freie Strecke) bedeutete das, dass die in den Zeilen 4 bzw. 5 von Tabelle 7.2 aufgeführten Grenzwerte zur Anwendung kämen (Zielwert: SBL 6 mm, DBL 36 mm, Abnahmewert: SBL 8 mm, DBL 48 mm, etc.).

9.3 Verschiedene Abschnittslängen

Auf Ästen oder auch in Ortsdurchfahrten sind bei der ZEB Abschnittslängen von 20 m vorgesehen. Das BLP wird grundsätzlich immer auf der Basis von 2.048 Profilpunkten (also 204,8 m) berechnet. Abhängig von der Abschnittslänge (100 m, 50 m, 20 m) werden jedoch nur die 1.000 bzw. 500 bzw. 200 Punkte in jeweiliger Profilmittelpunkt als Bewertetes Längsprofil ausgegeben und mittels SBL und DBL bewertet. Für die fortlaufende Bewertung der Abschnitte wird das (2.048 Punkte umfassende) Auswertefenster dann lediglich jeweils um eine Abschnittslänge weitergeschoben. Aus diesem Grunde ist eine Verkürzung von Abschnittslängen technisch einfach möglich.

Die Verkürzung auf kürzere Abschnittslängen von 20 m bedingt prinzipiell keine Änderung der Grenzwerte (s. Kapitel 9.1), wenn das Geschwindigkeitsniveau in den 20-m-Abschnitten sich zu dem Geschwindigkeitsniveau in den langen Abschnitten wie 50/120 verhält, also etwa den Faktor 0,4 ergibt. Das kann sowohl für Äste (im Vergleich zur freien Strecke Autobahn) als auch für Ortsdurchfahrten (im Vergleich zur freien Strecke Bundesstraße) angesetzt werden.

Eine Verlängerung der Abschnittslänge von 50 m auf 100 m bringt hinsichtlich der Indikatoren SBL und DBL keine Anpassung der Grenzwerte mit sich, da das Verfahren eine generelle Wellenlängenbegrenzung auf 50 m beinhaltet, längere Abschnitte als 50 m also keine größeren Wellenlängen als 50 m mehr enthalten können.

Für die Zusammenfassung von einzelnen 50-m-Abschnitten L_0 zu längeren Abschnittslängen $k \cdot L_0$ wird folgende Verfahrensweise vorgeschlagen:

$$DBL(k \cdot L_0) = \max (DBL(1 : k)),$$

$$SBL^2(k \cdot L_0) = \text{mean} (SBL^2(1 : k)).$$

Allgemein, für alle Funktionsklassen, gilt für den Zustandswert:

$$ZWBLP = \max (ZWDBL, ZWSBL).$$

10 Wiederholmessungen

Das Kollektiv der ABG-Strecken wurde doppelt gemessen. Das erlaubt, Aussagen über das Bewertete Längsprofil im Hinblick auf Wiederholmessungen zu treffen. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Wiederholungsmessungen dargestellt.

Bild 10.1 stellt beispielhaft das Ergebnis der Doppelmessung für einen etwa 20 km langen Abschnitt (Fahrstreifen 1) der A 38 in Sachsen-Anhalt dar, der eine sehr gute Ebenheit aufweist. Im oberen Drittel sind die 2 gemessenen Längsprofile abgebildet (rot und blau). Die mittlere Grafik gibt die Auswertung des SBL und die untere die Auswertung des DBL bezogen auf eine Abschnittslänge von 50 m wieder. Die 2 Messungen sind in Blau bzw. Rot wiedergegeben.

Die Ebenheit ist so gut, dass sich weite Teile dieser Strecke auf einem Niveau befinden, das noch besser ist als der Zielwert (hellblauer Bereich). Nur am Anfang der Messstrecke liegen schlechtere Werte vor, sowie bei km 6 und km 10. An diesen beiden Stellen könnten Brückenbauwerke sein, was einer näheren Analyse der Bewerteten Längsprofile in den jeweiligen 50-m-Abschnitten entnommen werden müsste.

Der Korrelationskoeffizient für beide Messungen beträgt 0,93. In der Technischen Prüfvorschrift für Ebenheitsmessungen, TP Eben (FGSV 2009), ist ein Verfahren angegeben, mit dem die Wiederholgenauigkeit der Doppelmessung dokumentiert werden soll: Danach wird zunächst die Differenz der SBL- und DBL-Werte (jeweils 1. Messung – 2. Messung) berechnet. Das entspricht im oberen Bild der Differenz der blauen und roten Kurven. Von dieser Differenz werden sowohl der Mittelwert als auch die Standardabweichung als Maß für die Wiederholgenauigkeit berechnet. Der Mittelwert der Differenz darf betragsmäßig nicht höher als 1 mm (SBL) bzw. 3 mm (DBL) sein. Die Standardabweichung darf nicht höher als 2 mm (SBL) bzw. 6 mm (DBL) ausfallen, um der Prüfvorschrift zu genügen.

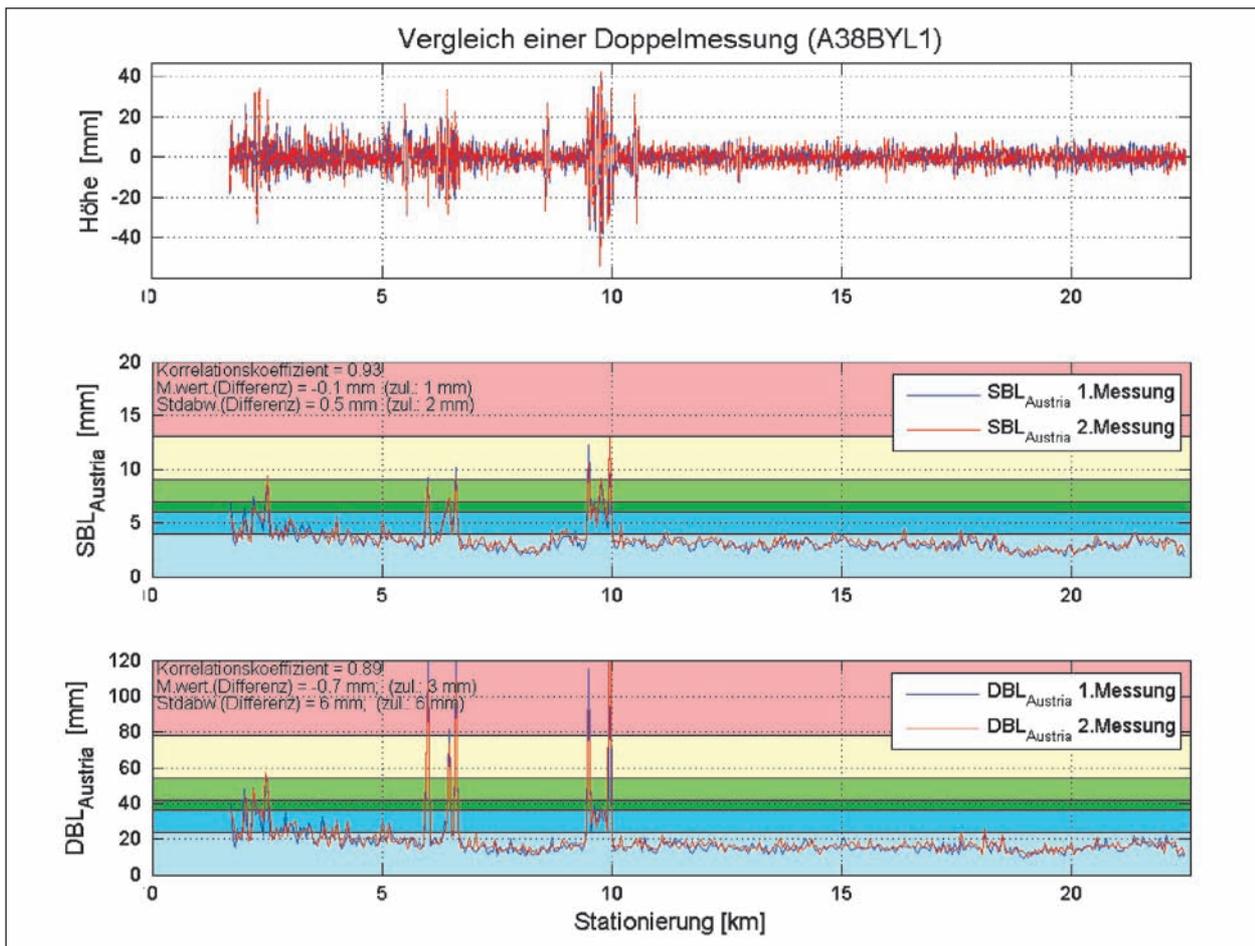


Bild 10.1: Beispiel für Doppelmessung einer Autobahnstrecke (Variante BLP_25)

Im Falle der exemplarischen Doppelmessung aus Bild 10.1 werden diese Bedingungen erfüllt.

Bild 10.2 zeigt das Ergebnis einer Doppelmessung auf einem gut 7 km langen Teilstück der B 1 zwischen Horn und Reelkirchen in Nordrhein-Westfalen. Die Ebenheit ist in weiten Teilen so gut, dass sie die Abnahmeanforderungen erfüllen würde (blauer Bereich). Nur an wenigen Stellen, bei km 0,5 als auch in Streckenmitte und am Ende, müsste nachgebessert werden.

Die Bedingungen an die Wiederholgenauigkeit der Messung werden auch in diesem Beispiel eingehalten (Mittelwert d. Differenz: 0 bzw. -0,1 mm; Standardabweichung d. D.: 0,2 bzw. 2,3 mm).

Alle weiteren Auswertergebnisse sind im Anhang A2 zusammengestellt.

Insgesamt konnten 41 doppelt erfasste Messstrecken in den Varianten BLP_25 und BLP_A ausgewertet werden. Beide Varianten brachten vergleichbare Ergebnisse.

Von den 41 Doppelmessungen konnte in 10 Fällen die in der TP Eben geforderte Wiederholgenauigkeit nicht erreicht werden. Die Gründe waren:

- Horizontale Profilverschiebungen relativ zueinander (in einem Fall),
- große lokale Unebenheitsunterschiede zwischen den 2 Messungen (Messung 1 misst hohe Unebenheiten, die in Messung 2 nicht mehr auftauchen),
- viele hohe Peaks im DBL-Verlauf, die über dem Schwellenwert liegen (in 9 Fällen).

Ausschlaggebend in diesen Fällen war immer die Standardabweichung der DBL-Differenz zwischen den 2 Messungen, die den vorgeschriebenen Grenzwert von 6 mm überschritt.

Folgende Beobachtungen können aus den Wiederholmessungen festgehalten werden:

- Die Wiederholgenauigkeit ist deutlich von der Ebenheit der Messstrecke abhängig:

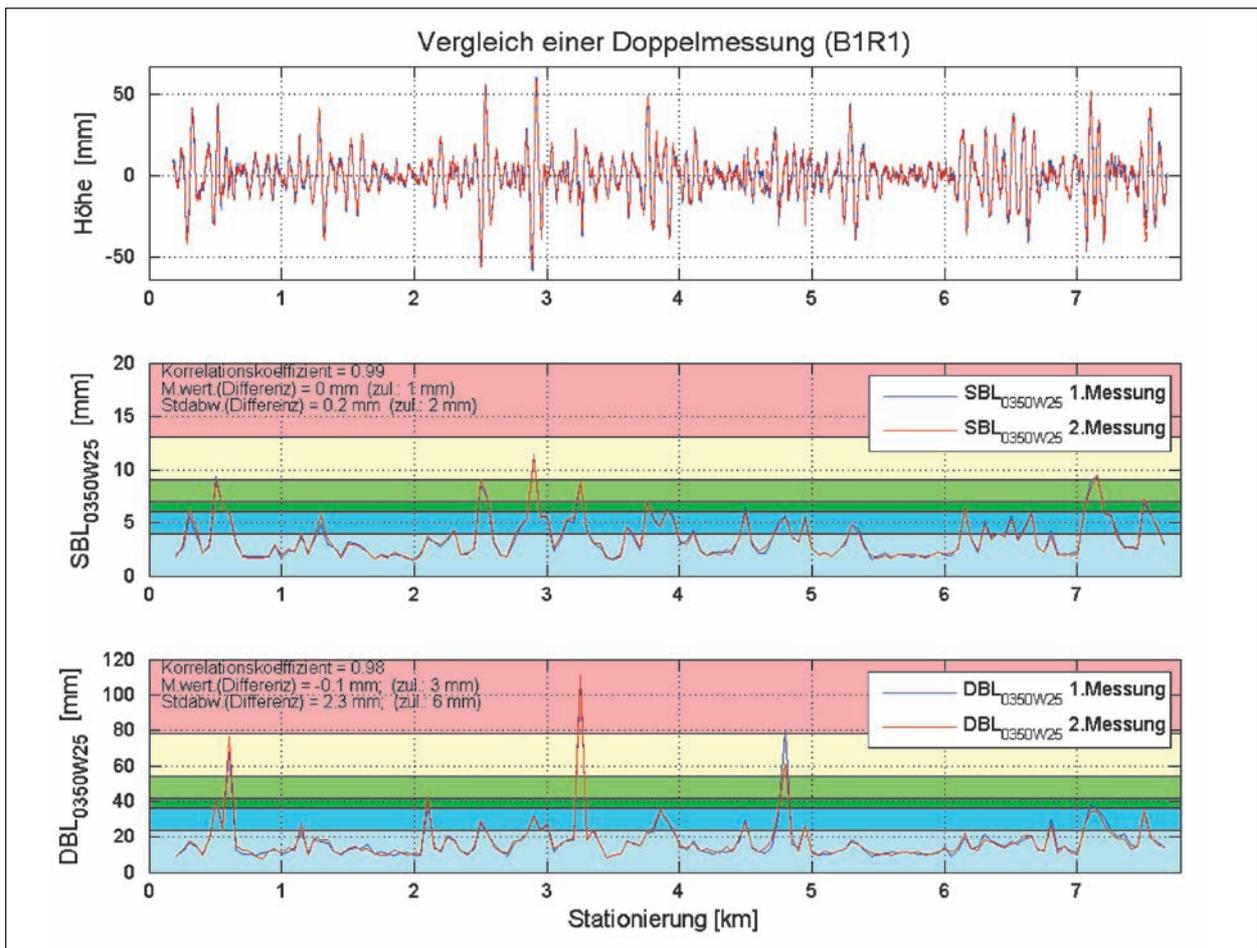


Bild 10.2: Beispiel für Doppelmessung einer Bundesstraßenstrecke (Variante BLP_25)

je höher das Unebenheitsniveau, desto schlechter wird die Wiederholgenauigkeit.

- Überschreitungen der geforderten Wiederholgenauigkeit treten immer dann auf, wenn der Unebenheitsverlauf (DBL-Schrieb) viele und hohe Peaks aufweist.
- Die geforderten Wiederholgenauigkeiten der TP Eben werden auf Straßen guter Ebenheit ohne Schwierigkeiten erreicht, können aber auf Straßen mit ausgeprägtem Einzelhindernis-Charakter ein Problem darstellen.
- Die Toleranz für die Standardabweichung der DBL-Differenz zwischen den 2 Messungen stellt eindeutig den sensibelsten Grenzwert dar. Über eine bessere Abstimmung 4 Toleranzwerte untereinander ist daher nachzudenken. Andererseits kann aber auch beobachtet werden, dass, wenn dieser Toleranzwert einmal überschritten ist, auch ein deutlicher, zumindest lokaler Unebenheitsunterschied in den SBL- und DBL-Werten zwischen den beiden Messungen erkennbar ist.

11 Darstellung am Einzelprofil

Aus der Fülle an Profilauswertungen soll an dieser Stelle anhand von Einzelbeispielen die Aussagekraft des Bewerteten Längsprofils veranschaulicht werden, um zu einem besseren Verständnis dieser Zustandsbewertung beizutragen.

Das erste Beispiel ist die Strecke A2L1_2. Die Gesamtdarstellung mit dem Originalprofilverlauf sowie den entsprechenden SBL- und DBL-Verläufen ist in Bild 11.1 dargestellt (BLP_25).

Auf dem ersten Kilometer sind als Auffälligkeit drei langwellige Unebenheiten mit einer Wellenlänge von etwa 70 m zu erkennen. Zwei von ihnen überschreiten den Schwellenwert (roter Bereich), die dritte den Warnwert (gelber Bereich). Bei km 4,6 befindet sich ebenfalls eine auffällige Unebenheit, die sich bei näherem Hinsehen als ein 30 mm hohes stufenförmiges Einzelhindernis in Abschnittsmittte herausstellt. Dazu ist in Bild 11.2 die Detailauswertung des 50-m-Abschnittes gezeigt.

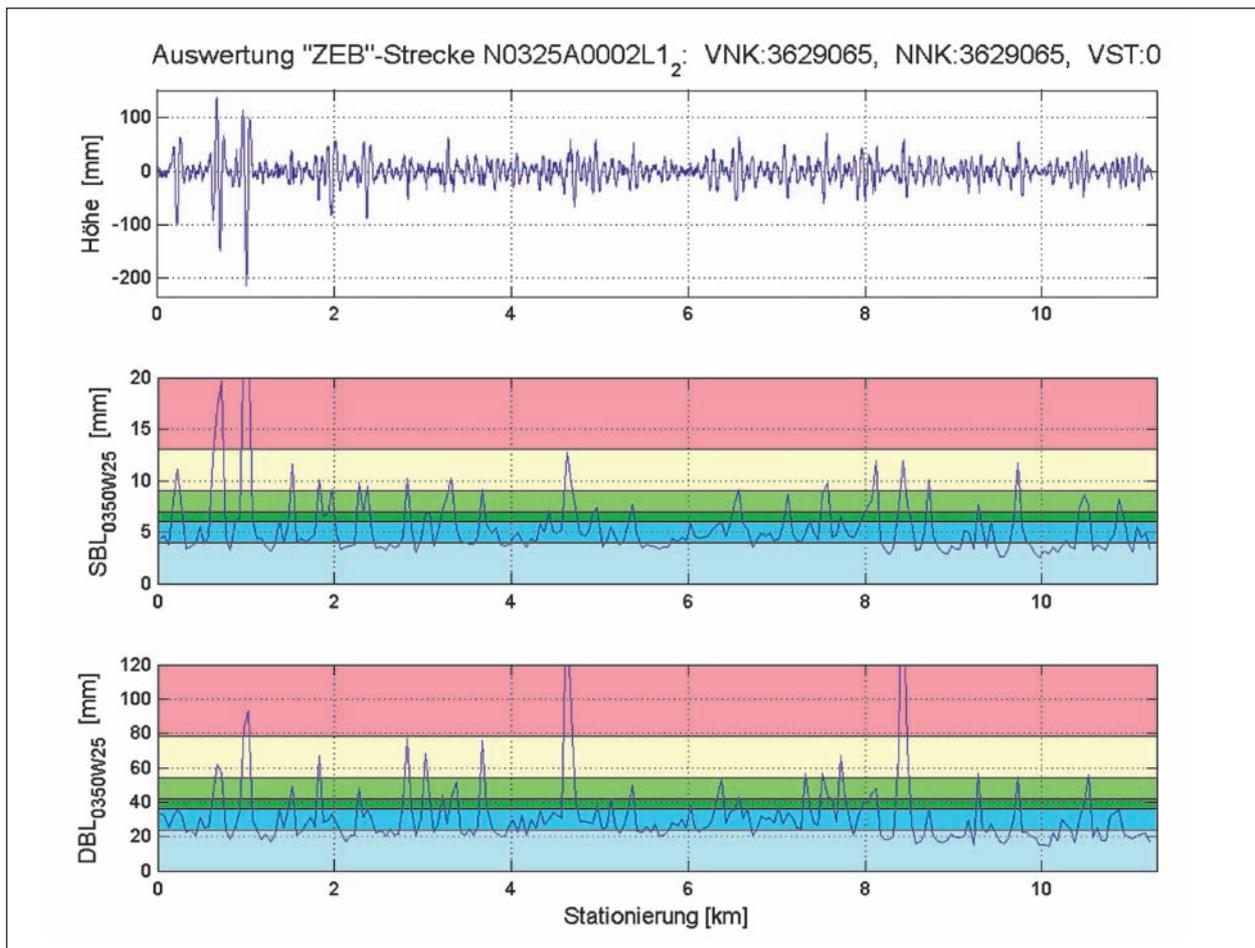


Bild 11.1: Ebenheitsbewertung ZEB-Strecke A2L1_2 (Variante BLP_25)

Es handelt sich um den Abschnitt von Mess-km 4,6 bis 4,65. Zu sehen sind drei Diagramme. oben ist das Originalprofil mit dem Einzelhindernis, in der Mitte das entsprechende Bewertete Längsprofil dargestellt. Es weist einen heftigen Ausschlag an der entsprechenden Stelle auf. Zwei Kurven sind zu sehen: Die blaue gehört zu der Variante BLP_25, die grüne zu der österreichischen Variante BLP_A, die hier vergleichend nebeneinander dargestellt sind. Man erkennt, dass die Unterschiede zwischen beiden Varianten nur gering sind. Unten schließlich ist das Bewertungsdiagramm für diesen 50-m-Abschnitt gezeigt. Es enthält das Bewertungsergebnis in der Auftragung DBL über SBL. Man erkennt das Ergebnis in Form des blauen und grünen Punktes. Sie liegen eindeutig im roten Bereich, weisen das Einzelhindernis also als über dem Schwellenwert aus.

Das Bewertungsdiagramm hat eine Besonderheit, die durch drei bildliche Symbole angedeutet wird – den Peak, die regellose Kurve und der Welle. Es gibt Aufschluss über die Ebenheitscharakteristik

des entsprechenden Messabschnittes: Befindet sich der Bewertungspunkt in der Nähe der Diagonalen, die sich durch das Bild zieht, hat das Längsprofil einen eher regellosen Charakter. Befindet er sich deutlich oberhalb der Diagonalen, weist die Ebenheit einen impulsartigen Charakter auf, befindet er sich deutlich unterhalb der Diagonalen, dann prägen wellenartige Formen die Unebenheit. Das Diagramm weist den Abschnitt als deutlich impulsartig aus.

Bild 11.3 zeigt beispielhaft einen 50-m-Abschnitt auf einer anderen Strecke, der einen wellenartigen, periodischen Charakter aufweist. Die Wellenlänge beträgt 1,25 m und die Amplitude zwischen 1 und 2 mm (Grafik oben). Das Bewertete Längsprofil (Grafik in der Mitte) weist demgegenüber Amplituden von im Mittel 12 mm auf. Der Abschnitt liegt für die ZEB zwar im „grünen“ Bereich, würde aber die Abnahmekriterien für Neubaustrecken (grauer und blauer Bereich, siehe Grafik unten) nicht mehr erfüllen.

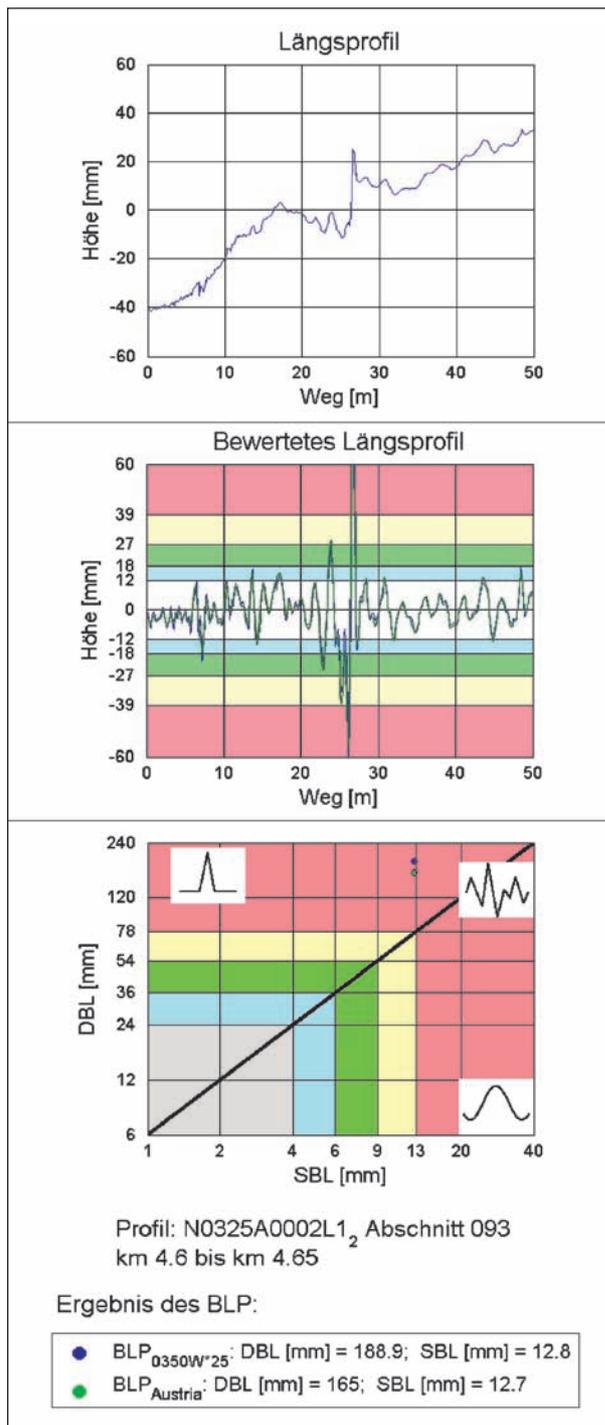


Bild 11.2: Detaillauswertung ZEB-Strecke A2L1_2 (Variante BLP_25 und BLP_A)

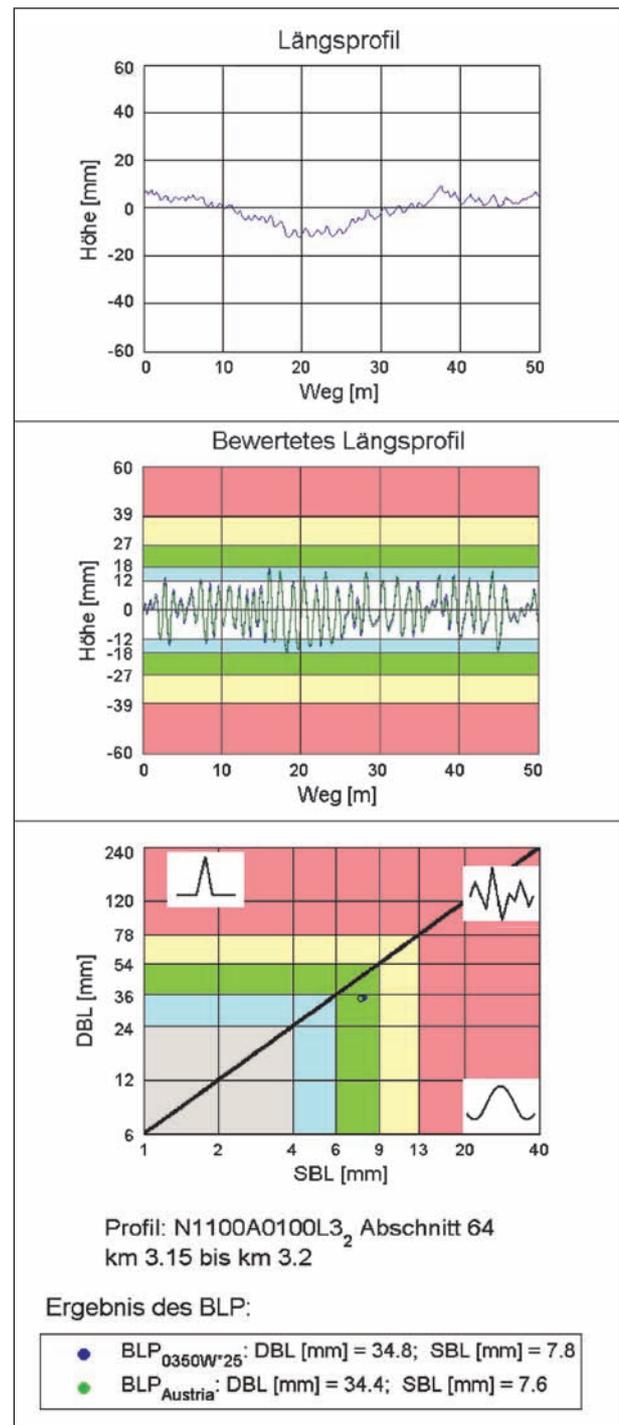


Bild 11.3: Detaillauswertung ZEB-Strecke A100L3_2 (Variante BLP_25 und BLP_A)

Als letztes Beispiel sei die Strecke A73L1_2 genannt, deren Bewertungsergebnis in Bild 11.4 dargestellt ist: im oberen Diagramm wiederum das Längsprofil und in den unteren 2 Diagrammen die Verläufe für SBL und DBL. Es handelt sich um ein 4,5 km langes Teilstück der A 73 zwischen dem AK Bamberg und Hirschaid in Bayern, das größtenteils eine sehr gute Ebenheit aufweist. In der Mitte der

Messstrecke befindet sich eine ausgeprägte langwellige Unebenheit mit einer Wellenlänge von 100 m und einer mittleren Amplitude von 100 mm (s. obere Grafik), die z. T. den Schwellenwert (roter Bereich) überschreitet (s. mittlere Grafik). Bei Mess-km 0,3 und 0,6 befinden sich weitere Auffälligkeiten, die in der abschnittsbezogenen Detailanalyse näher betrachtet werden können.

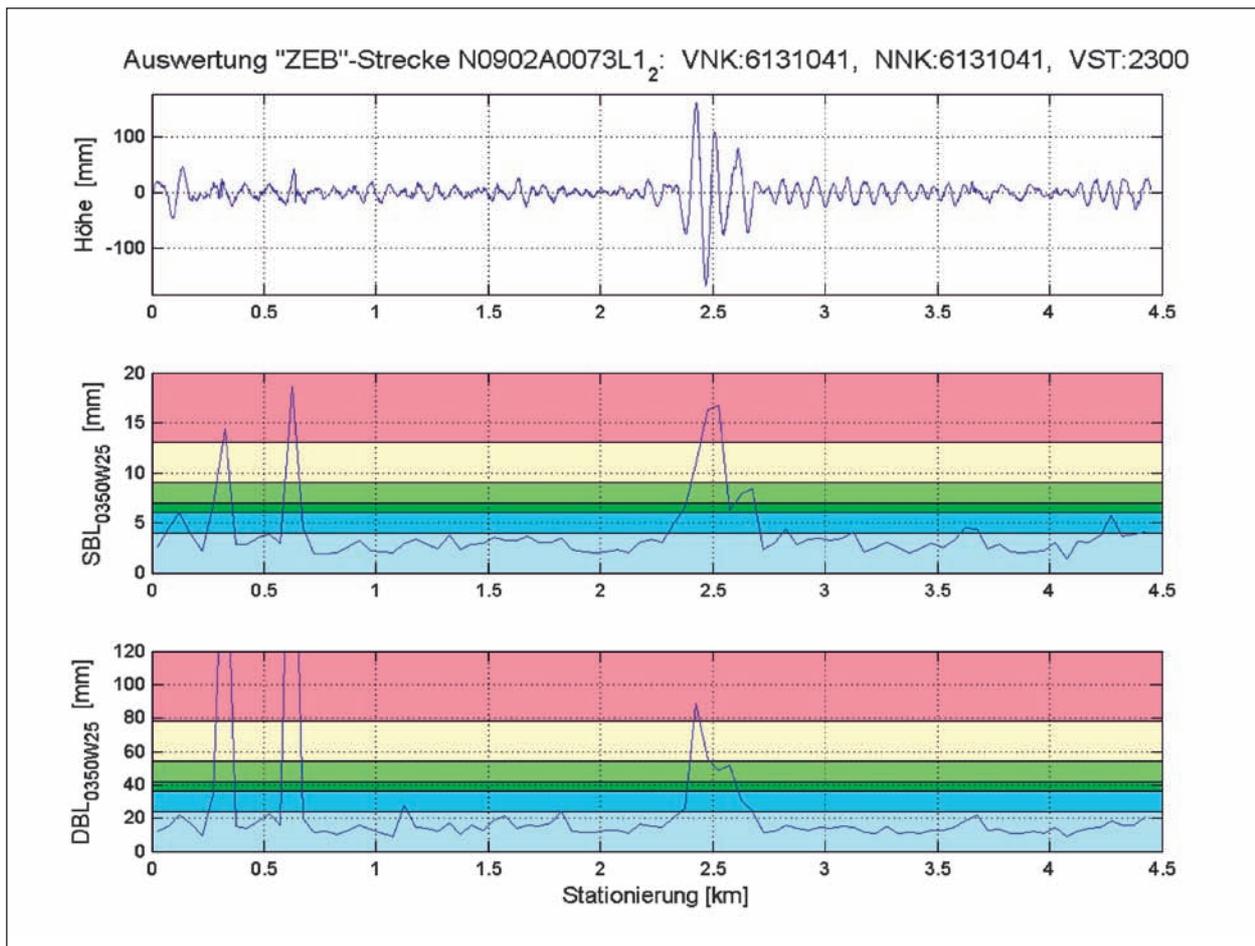


Bild 11.4: Ebenheitsbewertung ZEB-Strecke A73L1_2 (Variante BLP_25)

Die Detailanalyse (Bilder 11.5 und 11.6) legt nahe, dass es sich um die beiden Übergänge eines etwa 300 m langen Brückenbauwerks handelt. An den beiden Brückenübergängen treten Vertiefungen von 30 mm auf, die als Unebenheit interpretiert und zu einer negativen Bewertung der betroffenen Abschnitte führen (siehe Bilder 11.5 und 11.6, jeweils obere linke Grafik).

Dieses Beispiel zeigt, dass das Verfahren zwar entsprechend sensibel auf Unregelmäßigkeiten im Längsprofil anspricht, dass es aber zunächst einmal nicht zwischen einbaubedingten und konstruktiven Unebenheiten (wie Brückenübergängen) unterscheidet. Hier könnte im Rahmen von weiterführenden Arbeiten noch über Identifizierungsmethoden nachgedacht werden, um diese Unebenheiten aus der allgemeinen Ebenheitsbewertung herauszunehmen.

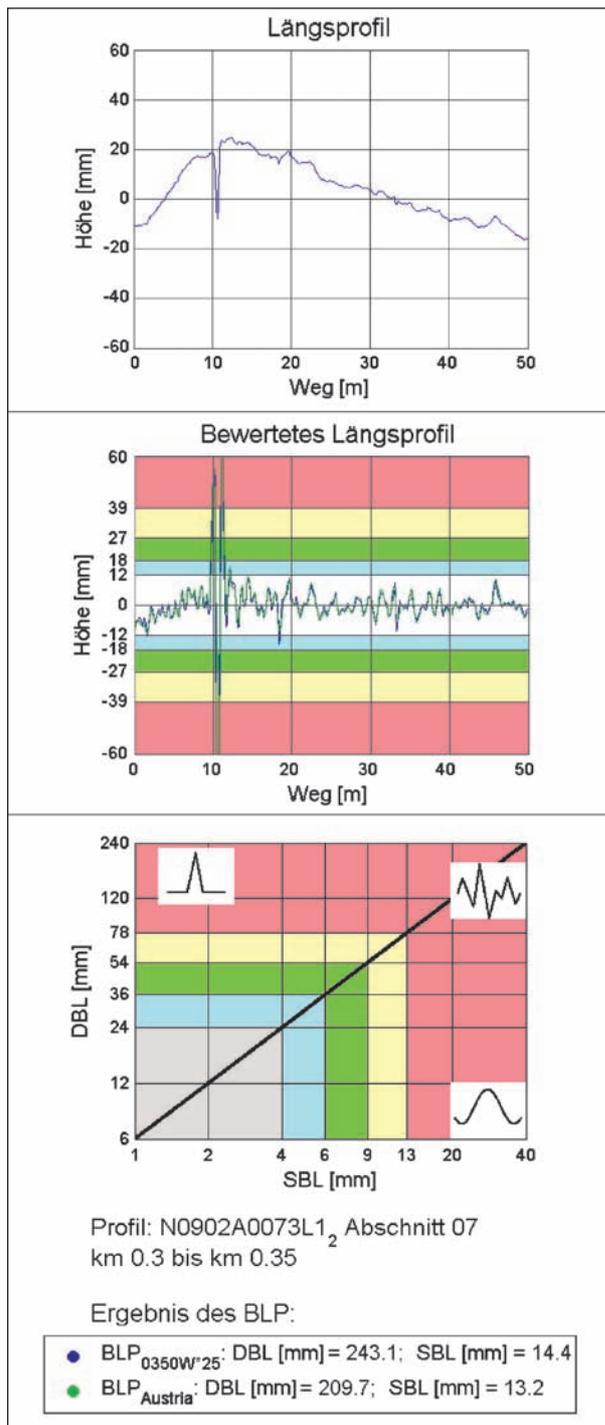


Bild 11.5: Detaillauswertung ZEB-Strecke A73L1_2 (Variante BLP_25 und BLP_A)

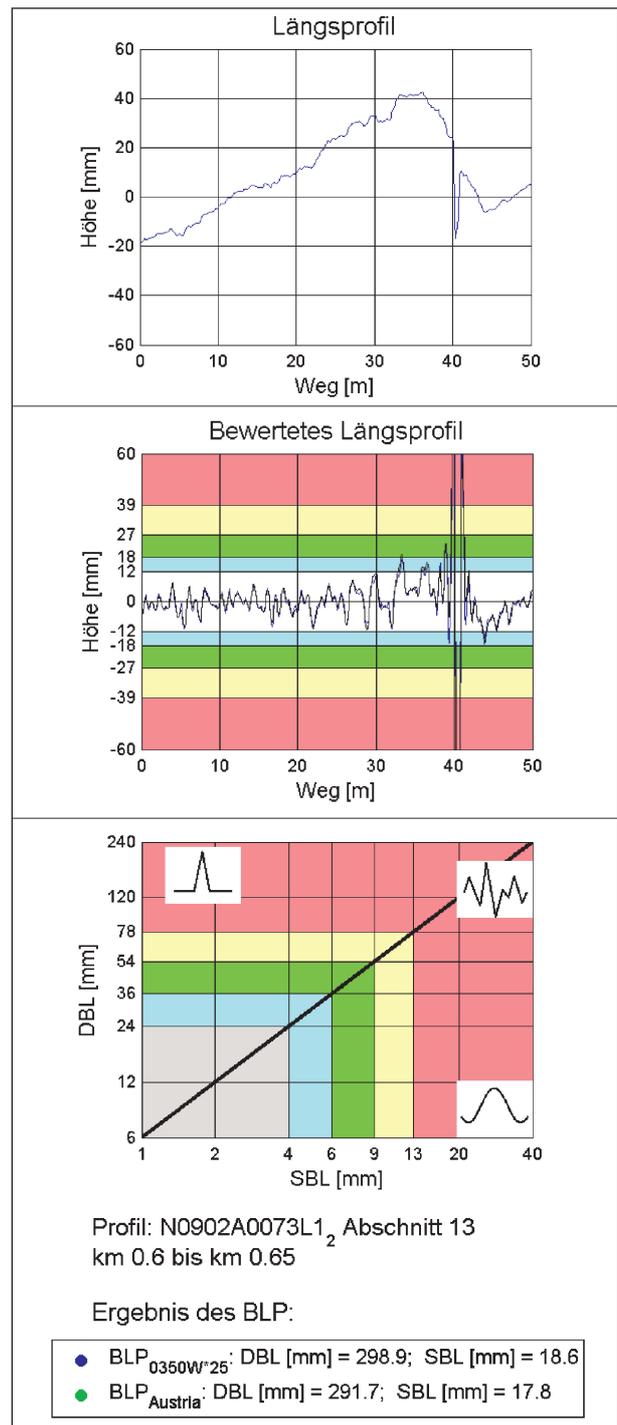


Bild 11.6: Detaillauswertung ZEB-Strecke A73L1_2 (Variante BLP_25 und BLP_A)

12 Zusammenhang zwischen SBL und IRI

Zunächst soll der Zusammenhang zwischen IRI und AUN betrachtet werden. Unter Zuhilfenahme der in Kapitel 3 hergeleiteten Beziehung zwischen SBL und AUN kann dann auch ein Zusammenhang zwischen SBL und IRI hergestellt werden.

Unter der Voraussetzung, dass, betrachtet über ein gesamtes Straßennetz, die Unebenheiten einen regellosen, normalverteilten Charakter besitzen, kann folgender Zusammenhang zwischen dem AUN und dem IRI hergestellt werden (UECKERMANN 1991):

$$IRI = S_0 \sqrt{(2\pi)^{-1} AUN \cdot \Omega_0^w \cdot v^{w-3} \int V_{IRI}^2(\omega) \cdot \omega^{2-w} d\omega} \quad (12.1)$$

Darin sind S_0 die Bezugsgröße für den IRI bezogen (hier km) und v die Geschwindigkeit, die der Berechnung des IRI zugrunde gelegt wird (hier 80 km/h). AUN und w sind die Ebenheitsindikatoren „Unebenheitsmaß“ und „Welligkeit“. ω bezeichnet die Kreisfrequenz $2\pi f$ und V_{IRI} die Vergrößerungsfunktion des Schwingungssystems, das dem IRI zugrunde gelegt ist.

Unter Verwendung der Schwingungsparameter des IRI (SAYERS 1998) erhält man die in Bild 12.1 gezeigte Vergrößerungsfunktion für den IRI in Abhängigkeit von der Frequenz $f = \omega/2\pi$.

Setzt man die Vergrößerungsfunktion des IRI in Gleichung (12.1) ein, kann der theoretische Zusammenhang zwischen IRI und AUN berechnet und grafisch dargestellt werden. Dieser ist in Bild 12.2 für

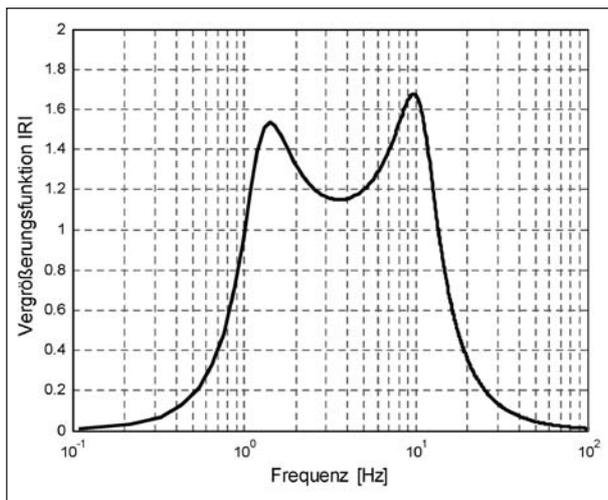


Bild 12.1: Vergrößerungsfunktion VIRI nach SAYERS und KARAMIHAS

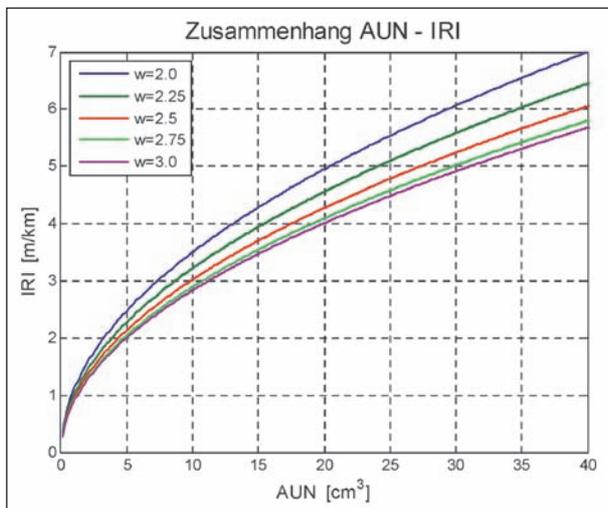


Bild 12.2: Zusammenhang zwischen AUN und IRI für verschiedene Welligkeiten w

verschiedene Welligkeiten w dargestellt. Ein AUN von 1 cm^3 entspricht in etwa einem IRI von 1 m/km und ein AUN von 9 cm^3 – je nach Welligkeit w – in etwa einem IRI von 3 m/km .

In gleicher Weise kann aufgrund der in Kapitel 3 hergeleiteten Zusammenhänge (z. B. Gl. (3.16)) der Zusammenhang zwischen der Standardabweichung des Bewerteten Längsprofils, SBL und dem AUN berechnet und dargestellt werden, siehe Bild 12.3.

Durch Kombination der Zusammenhänge in den Bildern 12.2 und 12.3 kann schließlich auch der gesuchte Zusammenhang zwischen SBL und IRI dargestellt werden. Es ergibt sich ein linearer Zusammenhang gemäß Bild 12.4.

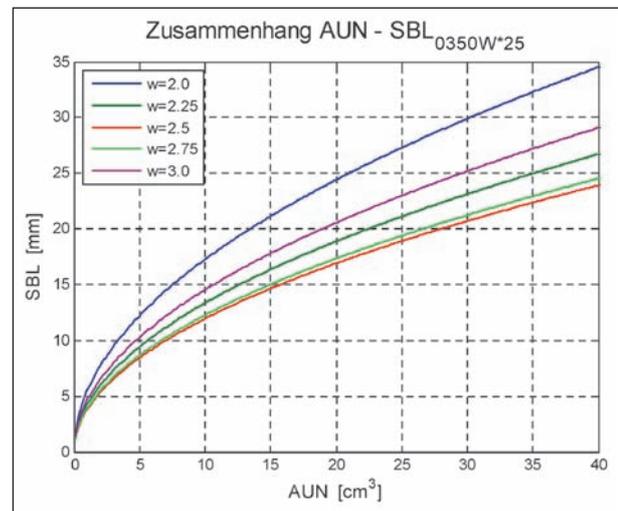


Bild 12.3: Zusammenhang zwischen AUN und SBL für verschiedene Welligkeiten w

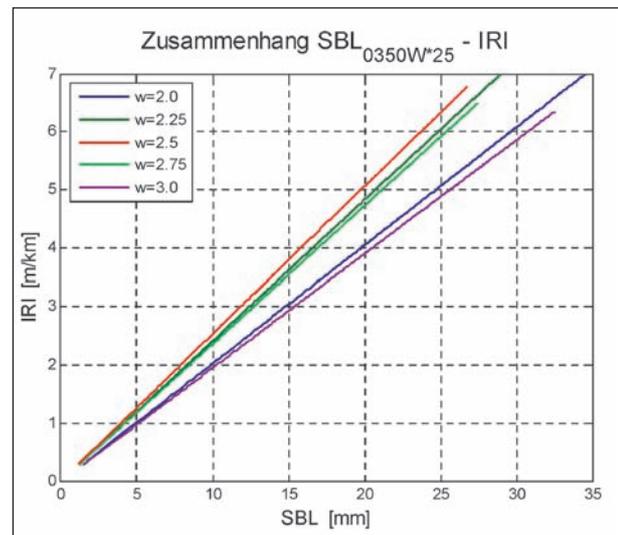


Bild 12.4: Zusammenhang zwischen SBL und IRI für verschiedene Welligkeiten w

Der in dieser Arbeit vorgeschlagene Zielwert von $SBL = 4 \text{ mm}$ entspräche, je nach Welligkeit der Straße, dem Bild 12.4 zufolge einem IRI zwischen $0,8$ und 1 m/km und der Abnahmewert von $SBL = 6 \text{ mm}$ einem IRI zwischen $1,2$ und $1,5 \text{ m/km}$.

Neben der Herleitung des mathematischen Zusammenhangs zwischen SBL und IRI wurden auch Berechnungen des IRI auf Basis des Kollektivs „ABG-Strecken“ erstellt und die Ergebnisse mit dem Bewerteten Längsprofil verglichen. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden IRI, SBL und DBL normiert, d. h. auf ihren jeweiligen Zielwert bezogen. Dabei wurden für das Bewertete Längsprofil der Abnahmewert von 4 mm (SBL) und $6 \times 4 = 24 \text{ mm}$ (DBL) und für den IRI der entsprechende Wert aus Bild 12.4, also $0,9 \text{ m/km}$, angesetzt. Beispielhaft zeigt Bild 12.5 eine vergleichende Darstellung von BLP und IRI für einen Streckenabschnitt (rot: IRI; blau: SBL; grün: DBL). Alle übrigen Auswertergebnisse sind im Anhang 3 zusammengestellt.

Je nach Ebenheitscharakteristik (Welligkeit, Wellenlängengehalt und Impulshaftigkeit) der entsprechenden Messabschnitte ergaben sich dabei recht

gute Übereinstimmungen zwischen Bewertetem Längsprofil und IRI. Aufgrund der Tatsache, dass der IRI einen statistischen Mittelwert über eine bestimmte Abschnittslänge (z. B. 50 oder 100 m) darstellt, ergibt sich naturgemäß die bessere Übereinstimmung zwischen IRI und SBL. Ähnlich gute Über-

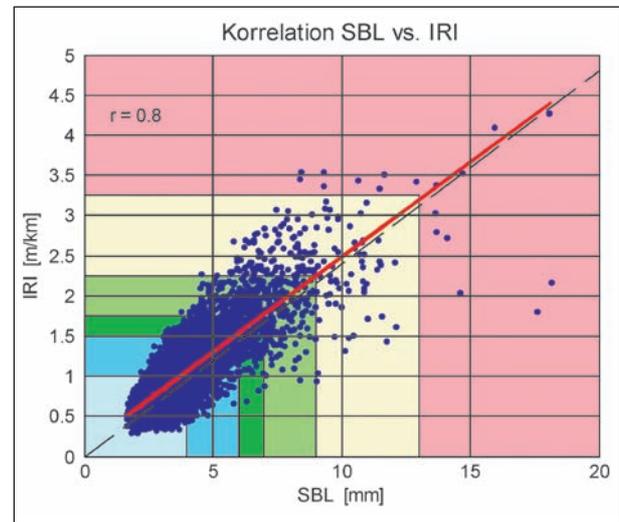


Bild 12.6: Korrelation zwischen SBL und IRI (Kollektiv ABG-Strecken)

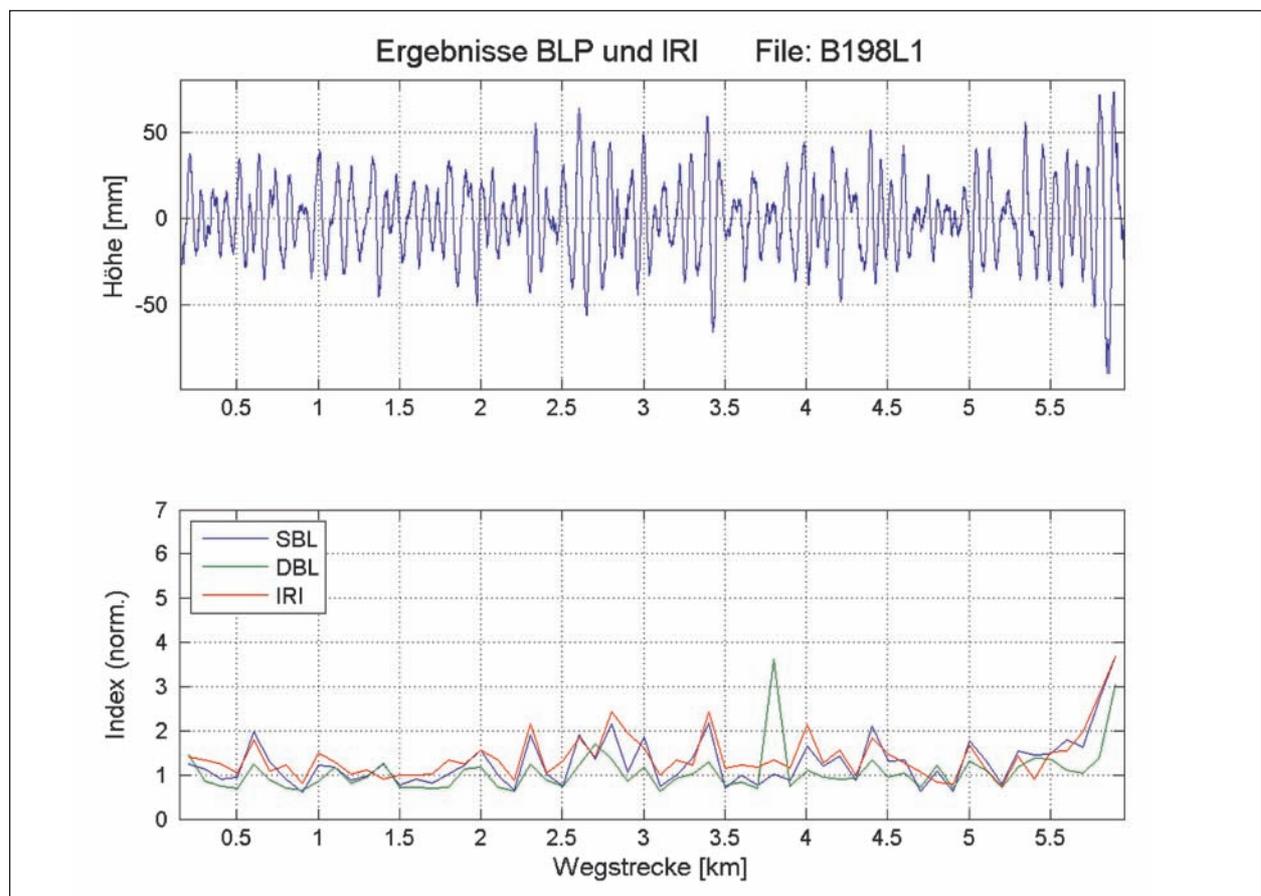


Bild 12.5: Vergleichende Auswertung zwischen BLP und IRI (Messstrecke B198L1)

einstimmungen gibt es aber auch zwischen IRI und DBL, wenn keine ausgeprägten Einzelhindernisse auftreten. Treten ausgeprägte Einzelhindernisse auf, so gibt es deutliche Unterschiede zwischen DBL einerseits und IRI und SBL andererseits.

In Bild 12.6 sind alle Auswertergebnisse (11.600 Abschnitte = 580 km) in der Form $IRI = f(SBL)$ dargestellt. Die Ergebnisse bestätigen die Richtigkeit der hergeleiteten mathematischen Beziehung zwischen SBL und IRI. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,80.

13 Überprüfung des BLP-Vorschlags in der Örtlichkeit

Für das Untersuchungskollektiv I wurden Streckenabschnitte von Bundesautobahnen und Bundesstraßen für geplante Ebenheitsmessungen (entsprechend ZEB-Teilprojekt 1A) ausgewählt. Dabei wurde zwischen sog. „ABG“-Strecken und „ZEB“-Strecken unterschieden (s. dazu Kapitel 2). Bei den ABG-Strecken handelt es sich um Straßenabschnitte unmittelbar nach dem Neubau („Abnahme“) bzw. innerhalb der Frist für Mängelansprüche („Gewährleistung“), bei den ZEB-Strecken um Straßenabschnitte, die schon länger unter Verkehr liegen und einen mittelmäßigen bzw. schlechten Zustand aufweisen. Auf der Grundlage dieser Strecken des Untersuchungskollektivs I sollten

- Strecken für Detailanalysen zum BLP ausgewählt werden (Untersuchungskollektiv II, s. Kapitel 13.1),
- Konzepte für die Sichtung dieser ausgewählten Strecken des Untersuchungskollektivs II in der Örtlichkeit entwickelt werden (Kapitel 13.2),
- unter Einbeziehung von für die Erhaltung zuständigen Angehörigen der Straßenbauverwaltungen protokollierte Überprüfungen zum BLP in der Örtlichkeit durchgeführt werden (Kapitel 13.3),
- Auswertungen aller Daten aus den Begehungsprotokollen vorgenommen und hinsichtlich der Reliabilität und Validität des BLP analysiert werden.

13.1 Auswahl der Strecken für das Untersuchungskollektiv II

Die übergeordnete Zielsetzung bei der Auswahl der Strecken des Untersuchungskollektivs II bestand darin, im Rahmen von Detailanalysen einen exemplarischen Nachweis der Sensitivität des Längsebenenheitsauswerteverfahrens „Bewertetes Längsprofil (BLP)“ hinsichtlich der verschiedenen Unebenheitsformen (regellos, Einzelhindernis, periodische Unebenheit) zu erbringen und nach Möglichkeit auch eine für zukünftige Vertragsabwicklungen ausreichend genaue quantitative Charakterisierung von Unebenheiten hinsichtlich des generellen Unebenheitsniveaus sowie für einzelne Unebenheitsereignisse verschiedener Unebenheitsformen vorzunehmen. Die Auswahl der für diese Zielsetzung geeigneten Strecken des Untersuchungskollektivs II erfolgte auf der Grundlage aller verfügbaren Datenauswertungen und -visualisierungen für die Strecken des Untersuchungskollektivs I in engem Kontakt mit den für die Erhaltung zuständigen Ansprechpartnern der jeweiligen Bundesländer (s. Kapitel 2.1). Insbesondere auch durch intensive Sichtung aller für die durchgeführten und die sonstigen Messungen verfügbaren Ebenheitsindikatoren (AUN, LWI, SPT sowie SBL und DBL des Bewerteten Längsprofils) wurde versucht, Strecken mit einzelnen bautechnisch oder trassierungsbedingten Ebenheitsmängeln (z. B. Stufen, Mulden, periodische Unebenheiten) bzw. mit (fertigungs-)typischem Ebenheitscharakter ohne besondere Merkmale in das Untersuchungskollektiv II einzubeziehen.

Eine unter strenger Beachtung dieser Zielsetzung getroffene erste Auswahl von Strecken für das Untersuchungskollektiv II musste aus den folgenden Gründen teilweise wieder verworfen werden:

- Die in Kapitel 2 aufgeführten ZEB-Strecken wurden bei den BAST-Messungen, anders als ursprünglich vorgesehen, aus Aufwandsgründen nicht einbezogen. Daher musste auf die Zustandsdaten aus den Ebenheitsmessungen der letzten ZEB-Kampagne von 2005/2006 der Bundesautobahnen und von 2007/2008 der Bundesstraßen zurückgegriffen werden. Es erscheint wenig sinnvoll, eine Überprüfung in der Örtlichkeit von Ebenheitsindikatoren für Bundesautobahnen vorzunehmen, deren Längsprofile vor vier bis fünf Jahren erfasst wurden. Um wenigstens zwei ZEB-Strecken einbeziehen zu können, wurde ergänzend auf die Daten aus der

ZEB 2009 der Bundesautobahnen zurückgegriffen. Dies war nur für die ZEB-Strecken in Bayern möglich (A 6 und A 73, s. Tabelle 13.1).

Auch eine Prüfung der zwei bis drei Jahre alten Daten der Bundesstraßen erscheint grundsätzlich problematisch; sofern Daten aus der ZEB verfügbar waren, wurden jedoch trotzdem Strecken für das Untersuchungskollektiv II vorgesehen (s. Tabelle 13.2).

- Bei den in Kapitel 2 aufgeführten ABG-Strecken wurden für das Untersuchungskollektiv II nur vollständig vorhandene und fehlerfreie Messungen berücksichtigt. Bei den von der BASt durchgeführten Messungen traten mehrfach Fehler auf, die zu ungültigen und unvollständigen Messsequenzen führten; in Anlage 4 sind diese Messungen bilanziert und bewertet. Die in das Untersuchungskollektiv II aufgenommenen Strecken (s. Tabelle 13.1 und Tabelle 13.2) wurden korrekt und vollständig erfasst.

Eine zusätzliche Vorgabe für die Auswahl der Strecken des Untersuchungskollektivs II bestand darin, dass die Besichtigung vor Ort einschließlich der erforderlichen An- und Abfahrten mit Rücksicht auf die beteiligten Mitarbeiter der Straßenbauver-

waltungen möglichst an einem Arbeitstag erfolgen sollte. Die bei den genannten Einschränkungen verbliebenen Strecken des Untersuchungskollektivs II sind zusammengestellt in

- Tabelle 13.1 für die Bundesautobahnen,
- Tabelle 13.2 für die Bundesstraßen.

Neben den Abgrenzungen der Strecken sind darin auch die (gerundeten) Längen, die Einbaujahre der Decken und die Deckenarten aufgeführt. Bei den Bundesautobahnen sind zusätzlich die in die Besichtigungen einzubeziehenden Richtungen (R = rechts in Stationierungsrichtung, L = links in Stationierungsrichtung) und die Fahrstreifen angegeben: Bei den Bundesstraßen sind die Richtungen der Besichtigungen mit den Anordnungen der Netzknotenfolgen gekennzeichnet; da als Deckenart nur Asphalt vorkommt, ist dazu in Tabelle 13.2 nichts weiter enthalten.

Die genauen Angaben zur Örtlichkeit der Strecken des Untersuchungskollektivs II wurden mit den verfügbaren Zustandswerten der Längsebenheit (ZWAUN, ZWLWI sowie ZWSBL und ZWDBL des bewerteten Längsprofils) für ZEB-Auswerteabschnitte (i. Allg. 100 m) in Excel-Dateien dokumen-

BAB-Nr.	von AS bis AS	Länge [km]	Richtung Fahrstr.	Einbaujahr Decke	Deckenart
A 6	Amberg-Ost Nabburg-West	15	R FS1	2008 (ABG)	Asphalt
A 6	Amberg-West Amberg-Süd	11	R FS1	1998 (ZEB)	Asphalt
A 6	Amberg-West Amberg-Süd	11	L FS1	2008 (ZEB)	Asphalt
A 73	Ebersdorf Lichtenfels-Nord	10	L FS1	2008 (ABG)	Asphalt
A 73	Bamberg-Ost Hirschhaid	11	R FS1	1985 (ZEB)	Asphalt
A 73	Bamberg-Ost Hirschhaid	11	L FS1	2005 (ZEB)	Asphalt
A 73	Schleusingen Eisfeld-Nord	12	L FS1	2008 (ABG)	Asphalt
A 113	AD Waltersdorf Späthstraße	12	R FS1	2005 (ABG)	Asphalt
A 113	AD Waltersdorf Späthstraße	12	L FS1	2008 (ABG)	Asphalt
A 38	Querfurt AD Halle-Süd	14	R FS1	2008 (ABG)	Beton
A 17	Dresden-Gorbitz Pirna	20	R FS1	2005 (ABG)	Beton
A 17	Dresden-Gorbitz Pirna	20	L FS1	2005 (ABG)	Beton

Tab. 13.1: Strecken des Untersuchungskollektivs II für die Bundesautobahnen

B-Nr.	von bis	Streckenbeginn von Netzknoten bis Netzknoten von Station	Streckenende von Netzknoten bis Netzknoten bis Station	Länge [km]	Einbaujahr Decke
B 1	Horn Reelkirchen	4119038 4120066 0	4020051 4020005 1028	7,2	2007 (ABG)
B 64	Müssingen Warendorf	4013011 4013026 0	4013011 4013026 5263	5,3	2005/06 (ABG)
B 64	Warendorf Beelen	4014016 4014007 0	4014022 4014005 1197	7,4	1995 (ZEB)
B 105	Karnin Kummerow Heide	1642009 1643006 91	1642009 1643006 4566	4,5	2005 (ABG)
B 198	Bredenfelde Hinrichshagen	2546003 2 547212 200	2546003 2547212 5900	5,7	2008 (ABG)
B 104	Amtsgr. Güstrow Weitlin	2444300 2444358 0	2444200 2445260 2583	4,7	2008 (ABG)
B 104	Gädebehn Amtsgr. Güstrow	2344261 2344360 0	2444359 2444300 1546	4,2	1993 (ZEB)
B 168	Friedland Beeskow	3851007 3851016 664	3851007 3851016 1511	0,8	2008 (ABG)
B 168	Friedland Beeskow	3851007 3851016 3506	3851016 3851004 3392	3,6	2008 (ABG)
B 96	Finsterwalde Sonnenwalde	4348006 4347001 1149	4348006 4347001 4409	3,3	2005 (ABG)
B 96	Finsterwalde Sonnenwalde	4348006 4347001 5360	4348006 4347001 6938	1,6	2005 (ABG)

Tab. 13.2: Strecken des Untersuchungskollektivs II für die Bundesstraßen

tiert. In Anlage 5 ist diese Dokumentation beispielhaft für eine Strecke des Untersuchungskollektivs II veranschaulicht.

Um sicherzustellen, dass die Daten der ausgewählten Strecken des Untersuchungskollektivs II mit den Gegebenheiten vor Ort übereinstimmen, wurde vom Auftragnehmer eine vorbereitende Befahrung durchgeführt.

13.2 Konzept für die Überprüfung in der Örtlichkeit

Das Konzept für Überprüfungen in der Örtlichkeit war an der übergeordneten Zielsetzung, der Verifizierung der Ergebnisvorschläge zu den beiden Komponenten des Bewerteten Längsprofils

(s. dazu Kapitel 5 und Kapitel 6), auszurichten. Bei der vom Auftragnehmer vorgenommene vorbereitenden Befahrung aller Strecken des Untersuchungskollektivs II zeigt sich sehr deutlich, dass eine Begehung von Strecken oder auch Teilstrecken bei der Überprüfung von Ebenheitsindikatoren wenig sinnvoll ist. Bei einer Begehung können im Wesentlichen visuelle Eindrücke aufgenommen werden. Eine visuelle Einstufung von Unebenheiten ist vor Ort wie auch auf Bildmaterial (der Frontkamera) nur bei sehr starken Ausprägungen und bestimmten Erscheinungsformen (Stufen) möglich. Bei den Strecken des Untersuchungskollektivs II ist dies, abgesehen von örtlich-punktuellen baubedingten Gegebenheiten (Fahrbahnübergänge von Brücken), nicht der Fall. Bei den ABG-Strecken mit einer maximalen Liegezeit von fünf Jahren sind sehr stark ausgeprägte und visuell erfassbare Un-

ebenheiten auch auf Teilabschnitten auszuschließen. Bei den ZEB-Strecken wurde bewusst ein Ebenheitsniveau im visuell kaum zu erfassenden guten oder mittleren Zustandsbereich angestrebt (s. Kapitel 2). Dabei wurde davon ausgegangen, dass ein Verfahren zur Beschreibung und Bewertung der Längsebenheit die Grenzbereiche, d. h. den sehr schlechten Zustandsbereich mit stark ausgeprägten Unebenheiten und den sehr guten Zustandsbereich mit nicht wahrnehmbaren Unebenheiten, so abbilden muss, dass eine Überprüfung nicht zwingend erforderlich ist. Interessanter ist dagegen die Sensitivität des Verfahrens in dem durch die Strecken des Untersuchungskollektivs II überwiegend repräsentierten guten/mittleren Zustandsbereich.

Eine relativ gute sensitive Erfassung der Fahrbahnebenheit in allen Zustandsbereichen ist, wie aus den früher üblichen visuellen Zustandserfassungen bekannt, im Zuge einer Streckenbefahrung möglich. Dabei werden Unebenheiten über Wank- und Nickbewegungen sowie schlag- und stoßartige Beanspruchungen eines im Verkehr „mitschwimmenden“ Fahrzeugs subjektiv eingestuft. Das Konzept für die Überprüfungen des BLP in der Örtlichkeit wurde daher auf eine derartige Befahrung ausgerichtet. Damit sollte auch gewährleistet werden, dass der Aufwand für die eingebunden Mitarbeiter der Straßenbauverwaltungen in vertretbaren Grenzen bleibt.

Im Vorfeld der geplanten Streckenbefahrungen erhielten die betroffenen Verwaltungseinheiten die in Bild 13.1a veranschaulichten Erläuterungen zum Ablauf der Überprüfung des BLP in der Örtlichkeit. Um fahrzeugbedingte Einflüsse zu minimieren, wurde dabei auch um die Bereitstellung eines bestimmten Fahrzeugtyps gebeten.

In der Anlage zu den Erläuterungen gemäß Bild 13.1a wurde bereits im Vorfeld der geplanten Streckenbefahrungen mitgeteilt, welche Ebenheitsindikatoren dabei subjektiv und getrennt erfasst werden sollten. Gemäß der Zielsetzung der Überprüfung handelt es sich dabei um Allgemeine Unebenheiten, Einzelhindernisse und Periodische Unebenheiten. Wie aus Bild 13.1b ersichtlich, wurden diese Unebenheitsformen mit den ihnen zugeordneten Erfassungsskalen kurz erläutert. Die Unterlagen gemäß Bild 13.1a und Bild 13.1b sollten an alle Personen weitergegeben werden, die an der Streckenbefahrung teilnehmen wollten. Zusätzlich zu den schriftlichen Unterlagen wurden bei der

Praxisüberprüfung des Bewerteten Längsprofils BLP

Das Bewertete Längsprofil (BLP) ist Bestandteil des Entwurfs der „Technischen Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung, Teil: Berührungslose Messungen („TP Eben“)“. Das Verfahren zur Ermittlung von Zustandsgrößen und Zustandswerten für das BLP wird im Rahmen des

FE 29.0202/2008/BAST:

Weiterentwicklung der Längsebenheitsbewertung der Zustandserfassung und -bewertung durch das Längsebenheitsauswerteverfahren 'Bewertetes Längsprofil

einem Test unterzogen. Dabei sollen letzte „Feinabstimmungen“ vorgenommen werden, so dass das Bewertete Längsprofil BLP sowohl im Rahmen der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) als auch für bauvertragliche Zwecke erfolgreich zur Anwendung kommen kann.

Im Rahmen des o. g. Forschungsprojekts wurden von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) auf einigen Straßenabschnitten in Ihrem Zuständigkeitsbereich Längsebenheitsmessungen gemäß Teilprojekt 1A der ZEB durchgeführt. Aus den dabei ermittelten Profilhöhen wurden Zustandsgrößen und -werte für BLP berechnet.

Wir bitten Sie, uns bei einer Praxisüberprüfung des Bewerteten Längsprofils BLP zu unterstützen. Nach vorheriger telefonischer Terminvereinbarung wollen wir dazu ausgewählte Straßenabschnitte in Ihrem Zuständigkeitsbereich befahren. Während dieser Befahrung sollen Sie für vorgegebene Teilabschnitte Ihre subjektive Einschätzung zu den in der **ANLAGE** genannten Ebenheitsindikatoren vornehmen. Formblätter mit der Abgrenzung der Teilabschnitte und Skalen zum Ankreuzen Ihrer Einschätzungen erhalten Sie bei Fahrtantritt.

Am Ende der Befahrung werden wir Sie bitten, eine generelle Einschätzung des mittleren Ebenheitsniveaus der Gesamtstrecke zu geben. Die entsprechenden Fragen und Bewertungsoptionen finden Sie ebenfalls in der **ANLAGE**.

Um die Befahrung für alle Teilnehmer der Praxisüberprüfung möglichst einheitlich zu gestalten, bitten wir Sie, nach Möglichkeit ein größeres Fahrzeug (VW-Bus oder vergleichbar) bereitzustellen.

Bild 13.1a: Erläuterungen zum Ablauf der Überprüfung des BLP in der Örtlichkeit

ANLAGE			
Während der Befahrung sollen Sie uns für vorgegebene Teilabschnitte Ihre subjektiven Einschätzungen zu den nachfolgend mit ihren Erfassungsmaßstäben erläuterten Indikatoren geben. Dabei handelt es sich um die			
<ul style="list-style-type: none"> • Allgemeinen Unebenheiten, • Einzelhindernisse, • Periodischen Unebenheiten. 			
Allgemeine Unebenheiten	Wanken und/oder Nicken des Fahrzeugs durch Erhöhungen (Buckel, Wellen), Vertiefungen (Mulden, Löcher), Kombinationen aus Erhöhungen/Vertiefungen	1	nicht wahrnehmbar
		2	schwach ausgeprägt
		3	deutlich ausgeprägt
		4	stark ausgeprägt
		5	sehr stark ausgeprägt
Einzelhindernisse	Schlag-/stoßartige Beanspruchung des Fahrzeugs durch unregelmäßig auftretende Stufen, Kanten, Wülste, Höcker	1	keine
		2	vereinzelt
		3	häufiger
		4	verbreitet
		5	stark verbreitet
Periodische Unebenheiten	Schlag-/stoßartige Beanspruchung des Fahrzeugs durch regelmäßig auftretende Wülste, Stufen, Kanten (z. B. Fugen bei Betondecken)	1	nicht wahrnehmbar
		2	schwach ausgeprägt
		3	deutlich ausgeprägt
		4	stark ausgeprägt
		5	sehr stark ausgeprägt
Nach der Befahrung des gesamten Streckenabschnitts werden wir Ihnen die ermittelten BLP-Werte vorlegen und Sie um die folgende generelle Einstufung bitten:			
Frage für den gesamten Abschnitt		Einstufung	
1. Wird das mittlere Unebenheitsniveau treffend beschrieben?		nein	
2. Werden Einzelhindernisse treffend erfasst?		kaum	
3. Werden periodisch wiederkehrende Unebenheiten richtig erkannt?		überwiegend	
		vollständig	

Bild 13.1b: Erläuterungen zu den zu erfassenden Ebenheitsindikatoren und ihren Erfassungsskalen

Kontaktaufnahme mit den einbezogenen Verwaltungseinheiten auch telefonische Erläuterungen übermittelt.

Bei einer subjektiven Einstufung der in Bild 13.1b aufgeführten Ebenheitsindikatoren im Zuge einer

Streckenbefahrung mit verkehrüblicher Geschwindigkeit (80 bis 100 km/h) können nur sehr schwer und allenfalls mit vielen Zwischenhalten so kurze Abschnitte erfasst werden, wie sie durch die (100-m-) Rasterung der ZEB-Auswertung gegeben sind. Die gesamten Streckenabschnitte der Untersuchungsstichprobe II sind, wie aus Tabelle 13.1 und 13.2 erkennbar, zu lang für eine derartige Einstufung. Es wurde daher versucht, die Untersuchungsstrecken in möglichst (zustands-)homogene Teilabschnitte aufzuteilen. Diese Teilabschnitte sind bei den Abschnittsdaten in Anlage 4 markiert; sie werden auch bei den Auswertungen in Kapitel 13.4 erkennbar. Die subjektive Einstufung sollte für diese voreingeteilten Teilabschnitte vorgenommen werden.

Für die Teilabschnitte wurden auf der Grundlage der (100-m-)Auswerterasterung der ZEB Zustandswerte der Ebenheit ermittelt und aufgelistet, und zwar zum einen die bisher gebräuchlichen Werte ZWAUN, ZWLWI und ZWSPT, zum anderen die Zustandswerte der beiden Komponenten des BLP,

d. h. die Werte ZWSBL und ZWDBL. Diese letztgenannten Zustandswerte wurden wie folgt ermittelt (siehe dazu Kapitel 5):

$$ZWSBL = [2 \cdot (SBL - 2,875)]^{0,5}$$

Dabei gilt: $1,0 \leq ZWSBL \leq 5,0$

$$ZWDBL = [(DBL - 17,25)/3]^{0,5}$$

Dabei gilt: $1,0 \leq ZWDBL \leq 5,0$

Die der Ermittlung dieser Werte zugrunde liegenden Zustandsgrößen wurden in den Auswertungen zur Analyse des BLP zunächst für 50-m-Abschnitte ermittelt. Für die 100-m-Abschnitte wurden der Mittelwert der ZWSBL und der schlechtere Wert der ZWDBL der eingeschlossenen 50-m-Abschnitte angesetzt.

Die voreingeteilten Teilabschnitte der jeweiligen Untersuchungsstrecken wurden in Erfassungsformblättern gekennzeichnet. Bild 13.2 zeigt exemplarisch ein derartiges Erfassungsformblatt. Es enthält die drei in Bild 13.1.b erläuterten Ebenheitsindika-

A 17									
von NK:	4947072	von:	DD-Gorbitz	von km	4,048	L [km] = 19,952			
bis NK:	5049061	bis:	Pirna	bis km	24,000				
	Teilabschnitte:	von km	bis km	von km	bis km	von km	bis km	von km	bis km
		4,048	6,648	6,648	8,848	8,848	11,548	11,548	13,200
	Länge	2,600		2,200		2,700		1,652	
	Richtung	R		R		R		R	
Allgemeine Unebenheiten	nicht wahrnehmbar								
	schwach ausgeprägt								
	deutlich ausgeprägt								
	stark ausgeprägt								
	sehr stark ausgeprägt								
Einzelhindernisse	keine								
	vereinzelt								
	häufiger								
	verbreitet								
	stark verbreitet								
Periodische Unebenheiten	nicht wahrnehmbar								
	schwach ausgeprägt								
	deutlich ausgeprägt								
	stark ausgeprägt								
	sehr stark ausgeprägt								

Bild 13.2: Beispiel eines Erfassungsformblatts (Teilausschnitt)

toren mit ihren Erfassungsskalen. Die Teilnehmer der Überprüfung sollten die Ergebnisse ihrer subjektiven Einstufung durch Ankreuzen eines der jeweils fünf Skalenfelder (Noten 1 bis 5) protokollieren. Durch Ankreuzen benachbarter Skalenfelder konnten dabei auch Zwischenwerte vergeben werden (z. B. Note 2,5).

Auf der Grundlage dieser Vorarbeiten wurde der praktische Ablauf der Überprüfungen wie folgt konzipiert:

- Am vereinbarten Treffpunkt, d. h. normalerweise bei der für die jeweilige Strecke zuständigen Straßenmeisterei, war eine letzte mündliche Einweisung der Teilnehmer (ca. 30 Minuten) zum Erhebungsinhalt vorgesehen. Eine gründliche, bei visuell/sensitiven Zustandserfassungen übliche (eintägige) Schulung konnte aus Zeitgründen nicht eingeplant werden.
- Am Treffpunkt sollten auch die vorgefertigten Erfassungsformblätter (s. Bild 13.2) ausgeteilt und erläutert werden.
- Die Anfahrt zu den Untersuchungsstrecken sollte für praktische Hinweise zur Einstufung der Ebenheitsindikatoren am Beispiel der jeweils befahrenen Straßen genutzt werden.
- Bei der Befahrung sollte, bezogen auf die Teilabschnittslängen, laufend die bereits zurückgelegte Entfernung angesagt werden.
- Am Ende eines jeden Teilabschnitts war ein kurzer Halt zu Protokollierung der Erfassungsergebnisse vorgesehen.
- Am Ende der gesamten Untersuchungsstrecke sollten den Teilnehmern die Mittelwerte der Teilabschnitte für ZWSBL und ZWDBL genannt werden. Die Teilnehmer sollten in den Erfassungsformblättern gemäß Bild 13.1b (unten) protokollieren, ob die Ebenheitskenngrößen damit zutreffend beschrieben sind.
- Abschließend sollten alle Erfassungsformblätter eingesammelt werden.

13.3 Durchführung der Überprüfung in der Örtlichkeit

Die Befahrungen der Strecken des Untersuchungskollektivs II sollte im Laufe des Juni 2010 abgeschlossen werden. Aufgrund teilweise schwieriger Abstimmungsprozesse mit den beteiligten Straßen-

bauverwaltungen musste der vorgesehene Zeitraum bis Mitte Juli 2010 verlängert werden. Da in einem Fall auch bis dahin keine Rückmeldung erfolgte, musste aufgrund der anstehenden Auswertungen leider eine Untersuchungsstrecke (A 38, siehe Tabelle 13.1) weggelassen werden.

Die Befahrung der Strecken des Untersuchungskollektivs II erfolgte durchweg nach dem geplanten, in Kapitel 13.2 beschriebenen Konzept. In allen Fällen wurde das gewünschte Fahrzeug, mit einer Ausnahme sogar mit Fahrer, bereitgestellt. Da einige kurzfristige Absagen zu verzeichnen waren, schwankte die Zahl der Teilnehmer zwischen zwei und fünf Personen. Dabei waren verschiedene Hierarchieebenen der Straßenbauverwaltung vertreten, angefangen vom Amtschef über den für die Erhaltung zentral zuständigen Mitarbeiter bis zum Autobahn- oder Straßenmeister (bzw. Vertreter).

13.4 Ergebnisse der Überprüfung in der Örtlichkeit

Die Angaben in den Erfassungsbogen ermöglichen eine systematische Auswertung der Befahrungen in der Örtlichkeit. Grundsätzlich anzumerken ist jedoch, dass die Ergebnisse der Auswertungen in keiner Weise als repräsentativ angesehen werden können. Es handelt sich lediglich um die subjektiven Einschätzungen ausgewählter Experten, die mit der Straßenerhaltung und damit auch mit Fragen der Zustandserfassung und -bewertung intensiver befasst sind.

Die Erfassung der Ebenheitsnote im Zuge einer Befahrung der Strecken des Untersuchungskollektivs II musste aus bereits erläuterten Gründen (s. Kapitel 13.2) für längere Teilabschnitte erfolgen. Die Zustandswerte ZWSBL und ZWDBL des BLP liegen, nach Zusammenfassung der ursprünglich bei den Analysen verwendeten 50-m-Abschnitte (s. Kapitel 13.2), für die eingeschlossenen 100-m-Abschnitte (ZEB-Auswerteabschnitte) der längeren Teilabschnitte vor. Für einen Vergleich mit der subjektiven Benotung muss für die Teilabschnitte ein einziger repräsentativer Wert für ZWSBL und ZWDBL herangezogen werden. Im Rahmen der Erhaltungsplanung wird für die sog. homogenen Abschnitte der Mittelwert der Zustandswerte als repräsentativ angenommen (RÜBENSAM, SCHULZE 1996). Diese Festlegung ist jedoch nicht optimal, da bei Ansatz der Mittelwerte für längere Abschnitte die Verteilung der Zustandswerte der

zugrunde liegenden kürzeren (100-m-)Abschnitte stark verzerrt werden kann. Es ist vorgesehen, diese Problematik neu zu untersuchen; allerdings ist dafür ein umfangreicheres eigenständiges Projekt erforderlich. Nachfolgend werden daher für einen Vergleich mit den subjektiven Benotungen mehrere statistische Kenngrößen für ZWSBL und ZWDBL berücksichtigt. Diese aus den 100-m-Abschnitten für die zugehörigen Teilabschnitte ermittelten Kenngrößen im Bereich der Zustandswerte von 1,0 bis 5,0 sind:

- der Mittelwert,
- der Median,
- die Standardabweichung,
- die Spannweite mit den maximalen und minimalen Werten,
- der Mittelwert abzüglich und zuzüglich der Standardabweichung.

Bei den nachfolgend vorgenommenen Vergleichen der subjektiven Noten mit den statistischen Kenngrößen für ZWSBL und ZWDBL werden jeweils abschnittsbezogene Einzelauswertungen sowie, unterschieden nach Straßenkategorien, aggregierte Auswertungen für alle Strecken des Untersuchungskollektivs II vorgenommen.

13.4.1 Ergebnisse für die Bundesautobahnen

Bild 13.3 veranschaulicht ein Beispiel für den abschnittsbezogenen Vergleich der subjektiven Zustandsnoten der Allgemeinen Unebenheiten von Teilabschnitten der Bundesautobahnen mit den o. g., auf Basis der eingeschlossenen 100-m-Abschnitte ermittelten statistischen Kenngrößen des Zustandswerts ZWSBL. Bild 13.4 zeigt beispielhaft die analoge Darstellung für die Noten zu den Einzelhindernissen mit ZWDBL. Die entsprechenden Darstellungen aller Teilabschnitte der Bundesautobahnen finden sich in

- Anlage 6a für die Noten der Allgemeinen Unebenheiten und ZWSBL,
- Anlage 6b für die Noten der Einzelhindernisse und ZWDBL.

Bild 13.3 und Bild 13.4 zeigen, dass die als Linien eingetragenen statistischen Testgrößen, u. a. infolge der Skalenbegrenzungen bei 1,0 und 5,0, häufiger übereinanderliegen und schwer unterscheidbar sind, insbesondere im Hinblick auf die minimalen

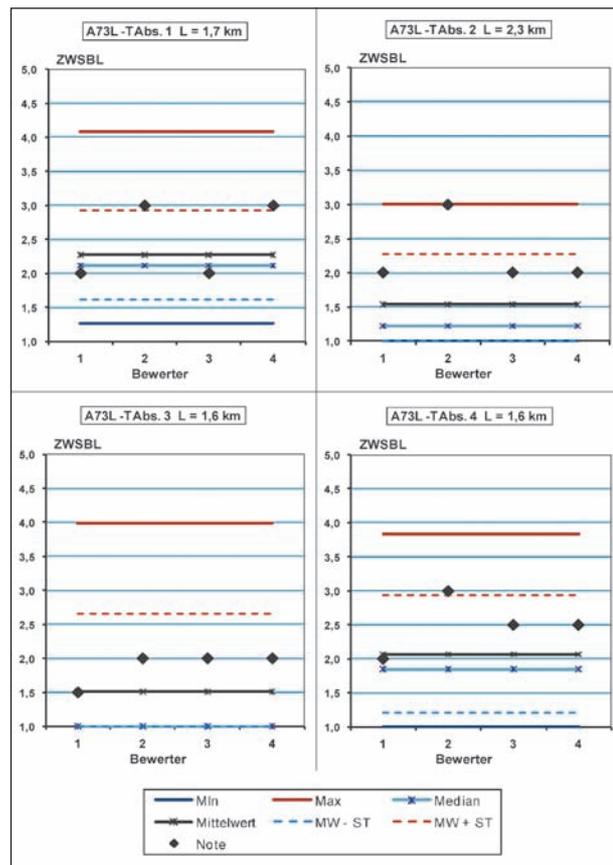


Bild 13.3: Beispiel für den abschnittsbezogenen Vergleich der subjektiven Zustandsnoten der Allgemeinen Unebenheiten mit statistischen Kenngrößen des Zustandswerts ZWSBL

Werte und die Mittelwerte abzüglich der Standardabweichungen.

Die subjektiven Zustandsnoten der Bewerber für die Teilabschnitte weichen voneinander ab; im Beispiel von Bild 13.3 liegt die maximale Abweichung bei einer Notenstufe, im Beispiel von Bild 13.4 bei 1,5 Notenstufen. Insgesamt treten bei den Allgemeinen Unebenheiten vereinzelt auch Abweichungen von 1,5 Notenstufen, bei den Einzelhindernissen sogar vereinzelt von zwei Notenstufen auf (s. Anlage 5). Relativ häufig sind Abweichungen von einer Notenstufe. Aufgrund der relativ kurzen Einweisungen der Bewerber (s. Kapitel 13.2) sind die personenbezogenen Abweichungen etwas größer als bei visuellen Zustandserfassungen mit intensiver vorbereitender Schulung.

Die Darstellungen für die einzelnen Teilabschnitte der Bundesautobahnen in Anlage 5 veranschaulichen, dass die subjektiven Noten im Wesentlichen zufällig um den jeweiligen Mittelwert bzw. den meist nur wenig davon abweichenden Median für ZWSBL bzw. ZWDBL streuen. Tendenziell wird erkennbar,

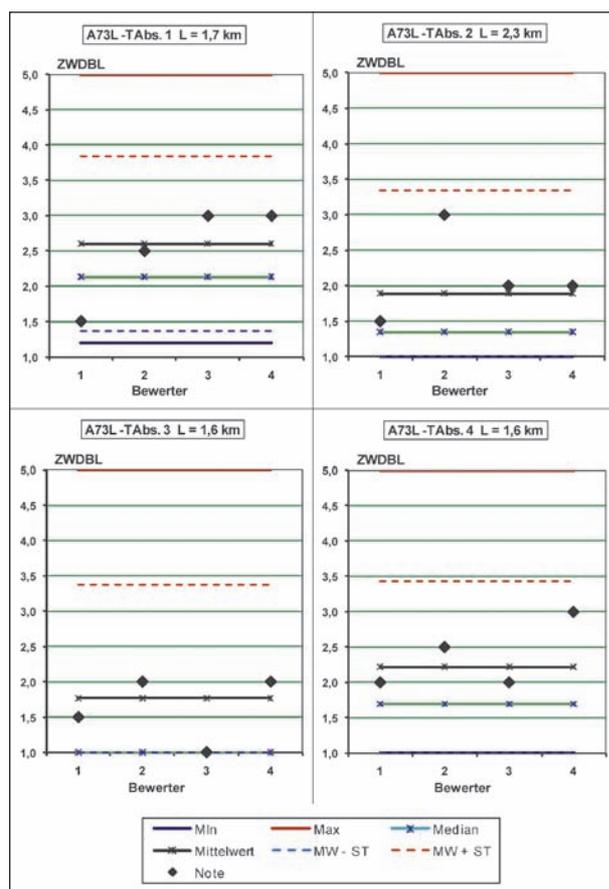


Bild 13.4: Beispiel für den abschnittsbezogenen Vergleich der subjektiven Zustandsnoten der Einzelhindernisse mit statistischen Kenngrößen des Zustandswerts ZWDBL

dass die größere Anzahl der Noten schlechter ist als der Mittelwert bzw. der Median. Eindeutige systematische Abweichungen in einer Richtung sind jedoch nicht feststellbar. In den meisten Fällen liegen die Noten innerhalb des durch die Standardabweichung begrenzten Bereichs, bei ZWSBL und den Noten für die Allgemeinen Unebenheiten (Anlage 6a) noch häufiger als bei ZWDBL und den Noten für die Einzelhindernisse (Anlage 6b). In sehr wenigen Ausnahmefällen werden Abweichungen im Bereich der maximalen bzw. minimalen Werte für ZWSBL bzw. ZWDBL erreicht. Für keinen Teilabschnitt der Bundesautobahnen ergeben sich mehrheitlich Abweichungen zwischen den subjektiven Noten und den Mittel- bzw. Medianwerten für ZWSBL bzw. ZWDBL, die als gravierend einzustufen sind.

In Bild 13.5 sind zusammenfassend für alle befahrenen Teilabschnitte der Bundesautobahnen die subjektiven Noten für die Allgemeinen Unebenheiten in Abhängigkeit von statistischen Kenngrößen der Zustandswerte ZWSBL dargestellt, die aus den jeweils eingeschlossenen 100-m-Abschnitten er-

mittelt wurden. Bild 13.6 enthält die entsprechende Darstellung für die subjektiven Noten der Einzelhindernisse und ZWDBL. Da unklar ist, welche statistischen Kenngrößen von ZWSBL bzw. ZWDBL als repräsentativ für die Teilabschnitte angenommen werden können, sind in Bild 13.5 und Bild 13.6 berücksichtigt die

- Medianwerte,
- Mittelwerte,
- Mittelwerte zuzüglich der Standardabweichungen.

Eine Einstufung der jeweiligen Abhängigkeiten kann mit Hilfe der Korrelationskoeffizienten r vorgenommen werden; ein Wert von $r = 0$ signalisiert eine totale Unabhängigkeit, ein Wert von $r = 1,0$ eine für die dargestellten Zusammenhänge nicht annähernd zu erwartende funktionale Abhängigkeit. Eine entsprechende Vergleichsanalyse zeigt die höchsten Werte für r bei Annahme der in Bild 13.5 bzw. Bild 13.6 aufgeführten linearen Beziehungen. Wie aus den Darstellungen ersichtlich, ergeben sich Korrelationskoeffizienten r zwischen ca. 0,35 und 0,54. Diese relativ geringen Werte resultieren maßgeblich aus den stark abweichenden subjektiven Noten, die zwar, wie aus den Darstellungen aus Anlage 5 ersichtlich, nur vereinzelt auftreten, bei der Berechnung jedoch großen Einfluss auf die Ausprägung von r haben, da sie mit dem Quadrat ihrer Abstände vom jeweiligen Mittelwert eingehen. Die Werte für r signalisieren damit durchaus einen Zusammenhang, der jedoch hauptsächlich aufgrund der „Ausreißer“ bei den subjektiven Bewertungen relativ schwach ausgeprägt ist. Beim Zusammenhang zwischen den Noten für die Allgemeinen Unebenheiten und ZWSBL (Bild 13.5) liegen alle Werte für r , unabhängig von der jeweiligen statistischen Kenngröße, knapp unter 0,4. Beim Zusammenhang zwischen den Noten für die Einzelhindernisse und ZWDBL (Bild 13.6) ergibt sich der deutlich höchste Korrelationskoeffizient mit $r = 0,54$ bei Ansatz der Mittelwerte zuzüglich der Standardabweichungen für ZWDBL. Insgesamt lässt sich bei Interpretation der Zusammenhänge aus Bild 13.5 und Bild 13.6 feststellen, dass die Vorschläge zu den beiden Komponenten des BLP durch die subjektiven Bewertungen in ihrer Tendenz bestätigt werden.

Aus den Darstellungen gemäß Bild 13.5 und Bild 13.6 wird nicht ersichtlich, mit welcher Häufigkeit die als Punkte veranschaulichten Wertepaare auf-

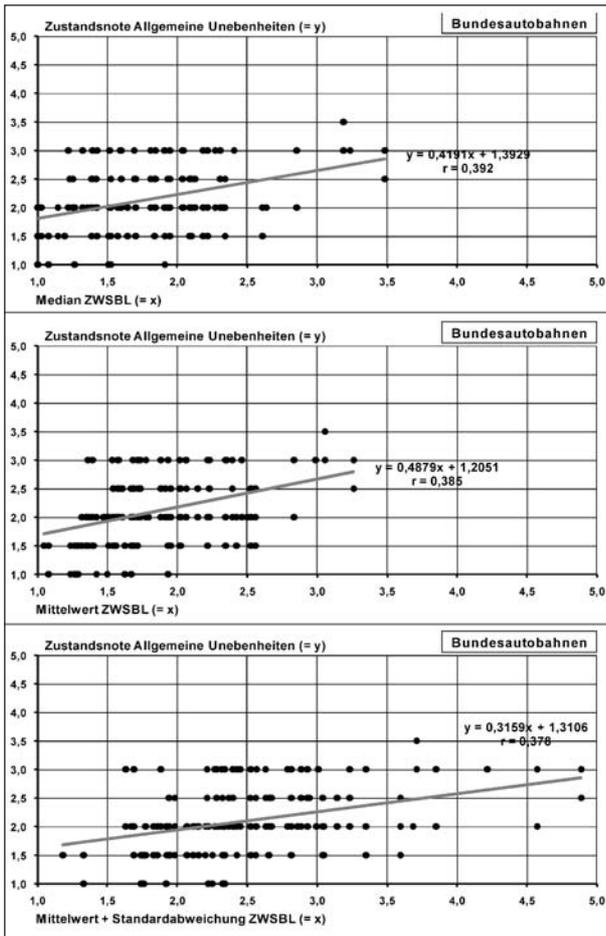


Bild 13.5: Subjektive Noten für die Allgemeinen Unebenheiten in Abhängigkeit vom Median, Mittelwert sowie Mittelwert + Standardabweichung der Zustandswerte ZWSBL der Teilabschnitte der Bundesautobahnen

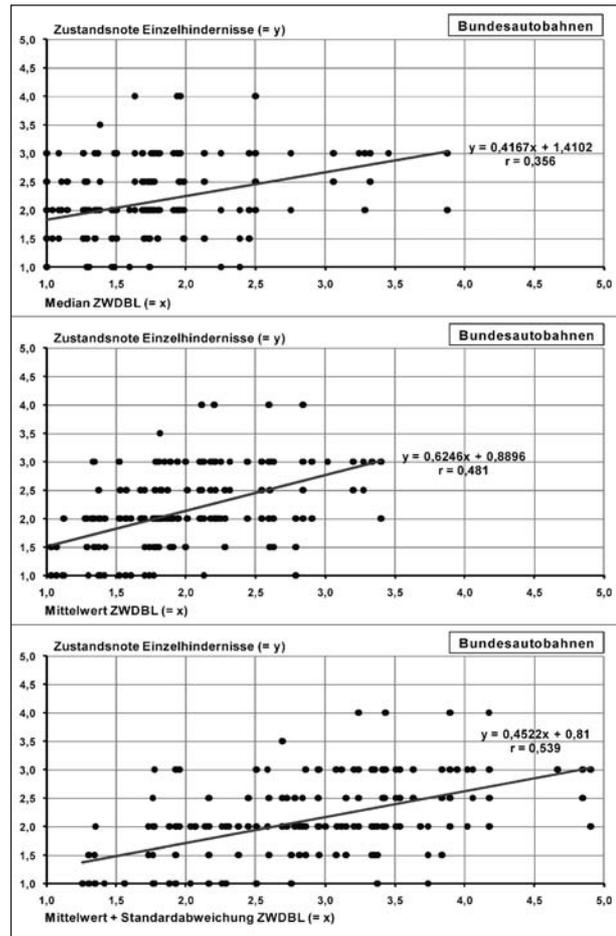


Bild 13.6: Subjektive Noten für die Einzelhindernisse in Abhängigkeit vom Median, Mittelwert sowie Mittelwert + Standardabweichung der Zustandswerte ZWDBL der Teilabschnitte der Bundesautobahnen

treten. In Bild 13.7 und Bild 13.8 sind daher ergänzend die Verteilungen dargestellt für die

- in halben Notenstufen vorliegenden subjektiven Bewertungen der Allgemeinen Unebenheiten (Bild 13.7) und der Einzelhindernisse (Bild 13.8),
- auf halbe Notenstufen gerundeten Medianwerte für ZDSBL (Bild 13.7) und ZWDBL (Bild 13.8),
- auf halbe Notenstufen gerundeten Mittelwerte für ZDSBL (Bild 13.7) und ZWDBL (Bild 13.8).

Die Rundung der Median- und Mittelwerte erfolgte dabei in Intervallen von 0,25 (z. B. 1,0 ≡ ≤ 1,25, 1,5 ≡ > 1,25 bis ≤ 1,75, 2,0 ≡ > 1,75 bis ≤ 2,25 usw.).

Die im Vergleich zu den teilabschnittsbezogenen Mittel- bzw. Medianwerten für ZWSBL bzw. ZWDBL tendenziell etwas schlechteren Bewertungen auf Basis der subjektiven Noten, die aus Anlage 5 er-

kennbar sind, werden auch aus den Verteilungen in Bild 13.7 und Bild 13.8 ersichtlich. Bild 13.7 zeigt, dass die deutlich größte Häufigkeit der subjektiven Bewertungen der Allgemeinen Unebenheiten bei der Note 2,0 auftritt. Für die Median- wie auch insbesondere die Mittelwerte des Zustandswerts ZWSBL ergeben sich die größten Häufigkeiten beim Wert 1,5. Eine mögliche Erklärung für diese Abweichung im Modus der Verteilungen besteht darin, dass bei visuell-sensitiven Erfassungen erfahrungsgemäß eher ganze Noten (z. B. 2,0) als Zwischenwerte (z. B. 1,5) vergeben werden (s. auch Häufigkeiten bei den Zustandsnoten für Allgemeine Unebenheiten von 2,5 und 3,0 in Bild 13.7). Zu untersuchen ist, inwieweit die dargestellten Verteilungen für die subjektiven Zustandsnoten der Allgemeinen Unebenheiten bzw. der Einzelhindernisse und der statistischen Kenngrößen für ZWSBL bzw. ZWDBL vergleichbar bzw. ähnlich sind. Eine Entscheidungshilfe zu dieser Fragestellung bietet der (sehr scharfe) Homogenitätstest zum Vergleich zweier unabhängiger Stichpro-

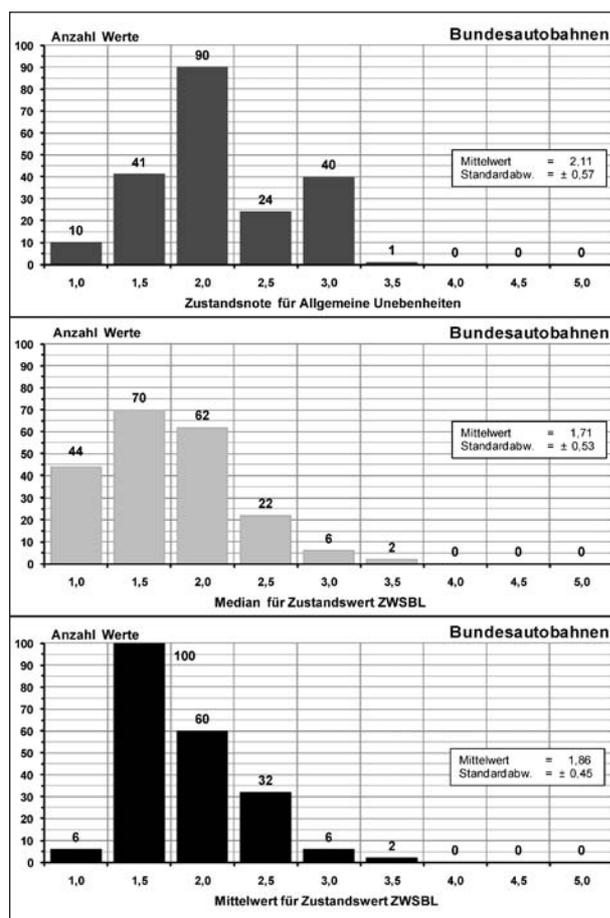


Bild 13.7: Häufigkeiten der Noten für Allgemeine Unebenheiten und der Median- sowie Mittelwerte der Zustandswerte ZWSBL der Teilabschnitte der Bundesautobahnen

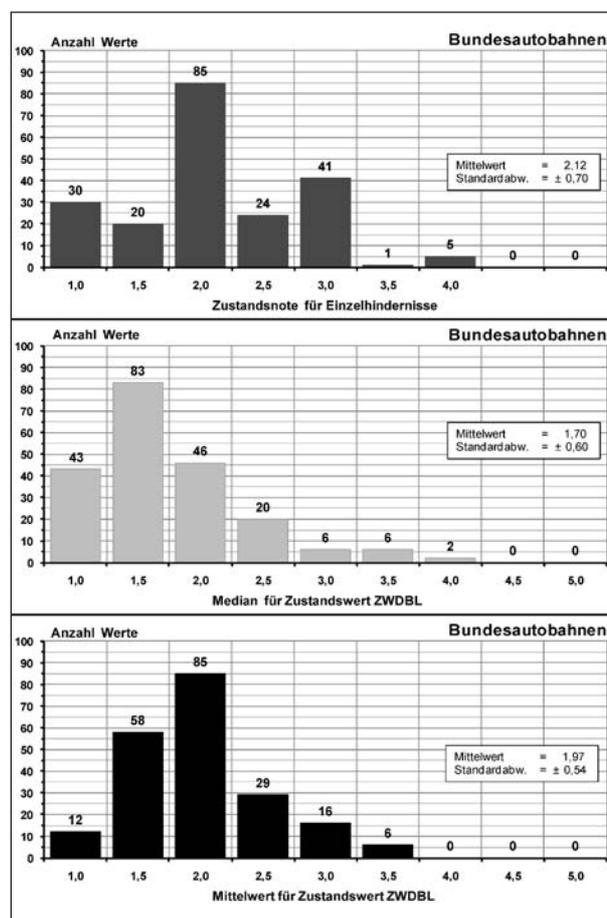


Bild 13.8: Häufigkeiten der Noten für Einzelhindernisse und der Median- sowie Mittelwerte der Zustandswerte ZWDBL der Teilabschnitte der Bundesautobahnen

ben nach Kolmogoroff und Smirnow (SACHS, 1984). Dieser Homogenitätstest zeigt auf, ob zwei Verteilungen bei einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit (von z. B. 1 %, d. h. $\alpha = 0,01$) einen statistisch signifikanten Unterschied aufweisen und somit die Nullhypothese der Gleichheit der Grundgesamtheit abzulehnen ist. Der mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,01$ durchgeführte (zweiseitige) Test lässt folgende Aussagen zu:

- Die Verteilung der subjektiven Zustandsnoten für Allgemeine Unebenheiten unterscheidet sich hochsignifikant von der (in Bild 13.7 nicht dargestellten) Verteilung auf der Basis der Mittelwerte zuzüglich der Standardabweichungen für ZWSBL. Die entsprechende Aussage gilt für die Verteilungen der Zustandsnoten für Einzelhindernisse und der Mittelwerte zuzüglich der Standardabweichungen für ZWDBL (in Bild 13.8 nicht dargestellt).
- Bei den Verteilungen der subjektiven Zustandsnoten für Allgemeine Unebenheiten und den

Medianwerten für ZWSBL wird das Homogenitätskriterium für die Gleichheit der Grundgesamtheit knapp verfehlt. Die Verteilung der subjektiven Zustandsnoten für Allgemeine Unebenheiten unterscheidet sich in hochsignifikanter Weise von der Verteilung der Mittelwerte für ZWSBL (Bild 13.7).

- Beim Homogenitätstest der Verteilungen der subjektiven Zustandsnoten für die Einzelhindernisse und der Median- bzw. Mittelwerte für ZWDBL ist das Ergebnis in etwa umgekehrt wie bei ZWSBL. Für die Verteilungen der Zustandsnoten und der Mittelwerte für ZWDBL wird die Signifikanzschwelle für die Beibehaltung der Nullhypothese (Gleichheit der Grundgesamtheit) nur knapp verfehlt. Die Verteilungen der subjektiven Zustandsnoten für Einzelhindernisse und der Medianwerte für ZWDBL unterscheiden sich hochsignifikant.
- Der Test der Verteilungen der Median- und Mittelwerte bestätigt erwartungsgemäß sowohl für

ZWSBL als auch für ZWDBL die Nullhypothese.

Die Annahme der Nullhypothese „Gleichheit der Grundgesamtheit“ lässt sich als Entscheidungshilfe dahingehend interpretieren, dass, bezogen auf alle Teilabschnitte der Autobahnen, die Zustandswerte ZWSBL und ZWDBL des Bewerteten Längsprofils durch die subjektiven Noten für das vorgegebene Signifikanzniveau ($\alpha = 0,01$) bestätigt werden. Wie gezeigt, wird diese Aussage nicht untermauert. Aus den Mittelwerten der in Bild 13.7 und in Bild 13.8 dargestellten Verteilungen lässt sich ablesen, dass das durchschnittliche Zustandsniveau aller Teilabschnitte des Untersuchungskollektivs II bei den subjektiven Bewertungen (Allgemeine Unebenheiten 2,11, Einzelhindernisse 2,12) erkennbar schlechter eingeschätzt wurde, als es die Komponenten des BLP wiedergeben (ZWSBL: Median 1,71, Mittel 1,88; ZWDBL: Median 1,70, Mittel 1,97). Dieser Befund ist zumindest ein begründeter Hinweis für eine

etwas strengere Bewertung der Zustandsgrößen SBL und DBL bei den Autobahnen.

Der erwähnte Hinweis wird noch untermauert durch das Ergebnis der Zusatzfrage bei den Streckenbefahrungen, inwieweit die Allgemeinen Unebenheiten bzw. die Einzelhindernisse durch die teilabschnittsbezogenen Mittelwerte für ZWSBL bzw. ZWDBL zutreffend erfasst werden (s. Bild 10.1b). Rund 5 % (ZWSBL) bzw. 10 % (ZWDBL) der Antworten lauten „nein“, weitere 21 % (ZWSBL) bzw. 32 % (ZWDBL) „kaum“. „Voll“ zutreffend ist nur in 15 % (ZWSBL) bzw. 10 % (ZWDBL) der Fälle angegeben.

Nach dem Ausfall der A 38 konnten Periodische Unebenheiten nur auf der A 17 erfasst werden (s. Tabelle 13.1). In Bild 13.9 sind die subjektiven Zustandsnoten mit den statistischen Kenngrößen für ZWSBL, in Bild 13.10 mit den Kenngrößen für ZWDBL verknüpft. Es sind, auch aufgrund der nicht

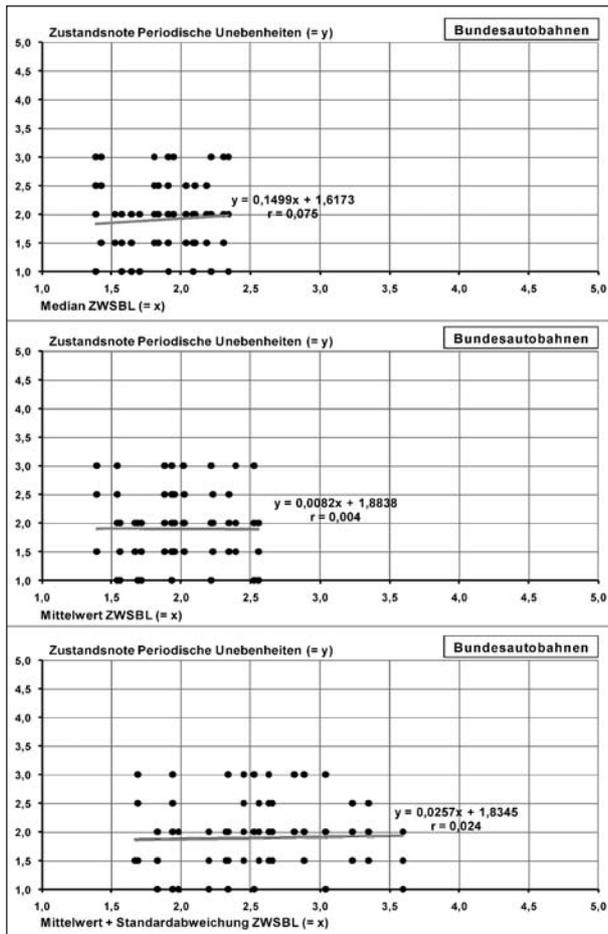


Bild 13.9: Subjektive Noten für die Periodischen Unebenheiten in Abhängigkeit vom Median, Mittelwert sowie Mittelwert + Standardabweichung der Zustandswerte ZWSBL der Teilabschnitte der Bundesautobahnen

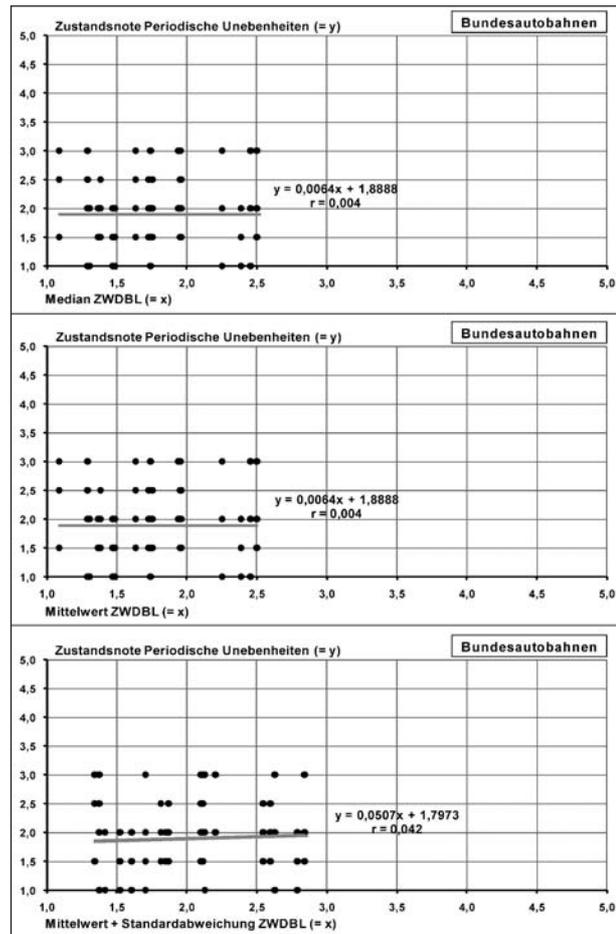


Bild 13.10: Subjektive Noten für die Periodischen Unebenheiten in Abhängigkeit vom Median, Mittelwert sowie Mittelwert + Standardabweichung der Zustandswerte ZWDBL der Teilabschnitte der Bundesautobahnen

repräsentativen geringen Fallzahl, keinerlei Zusammenhänge erkennbar. Wie schon eingangs erläutert, ist die geringe Repräsentanz ein prinzipielles Problem bei allen hier untersuchten Zusammenhängen.

13.4.2 Ergebnisse für die Bundesstraßen

Die Ergebnisse des abschnittsbezogenen Vergleichs der subjektiven Zustandsnoten von Teilabschnitten der Bundesstraßen mit den auf Basis der eingeschlossenen 100-m-Abschnitte ermittelten statistischen Kenngrößen sind exemplarisch dargestellt in Bild 13.11 für ZWSBL und in Bild 13.12 für ZWDBL. Die entsprechenden Darstellungen aller Teilabschnitte der Bundesstraßen finden sich in

- Anlage 7a für die Noten der Allgemeinen Unebenheiten und ZWSBL,
- Anlage 7b für die Noten der Einzelhindernisse und ZWDBL.

Die als Linien eingetragenen statistischen Testgrößen liegen dabei auch infolge der Skalenbe-

grenzungen bei 1,0 und 5,0 häufiger übereinander; sie sind, insbesondere im Hinblick auf die minimalen Werte und die Mittelwerte abzüglich der Standardabweichungen, teilweise schwer unterscheidbar.

Wie schon bei den Bundesautobahnen (s. Kapitel 13.4.1) weisen die subjektiven Zustandsnoten der Teilabschnitte auch bei den Bundesstraßen interpersonelle Abweichungen auf; im Beispiel von Bild 13.11 liegen die maximalen Abweichungen bei einer Notenstufe, im Beispiel von Bild 13.12 ist sogar eine Einzelabweichung von drei Notenstufen zu verzeichnen. Anlage 6 veranschaulicht, dass die personenbezogenen Abweichungen weitaus überwiegend nur im Bereich bis zu einer Notenstufe liegen, obwohl keine intensive vorbereitende Schulung möglich war.

Wie bei den Autobahnen streuen auch bei den Bundesstraßen die subjektiven Noten der einzelnen Teilabschnitte im Wesentlichen zufällig um den jeweiligen Mittelwert bzw. den meist nur wenig davon abweichenden Median für ZWSBL bzw. ZWDBL

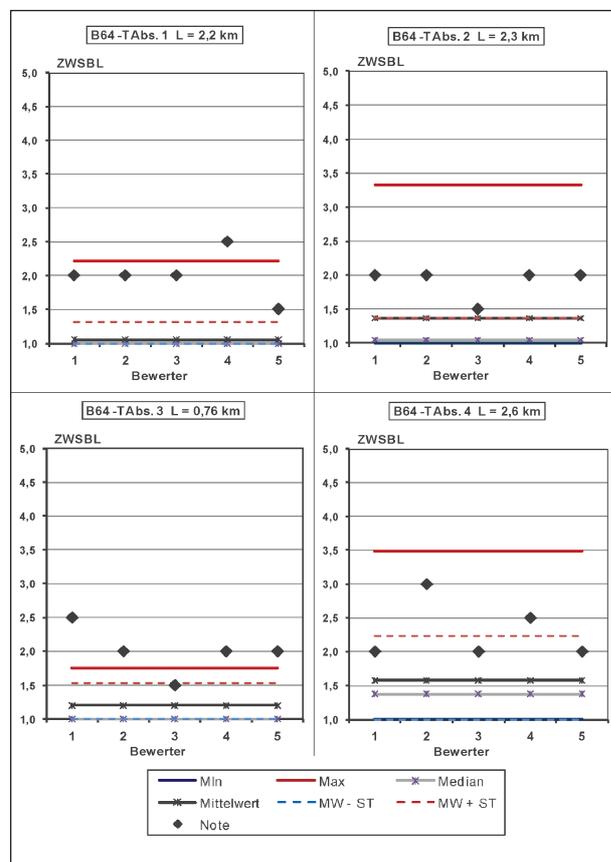


Bild 13.11: Beispiel für den abschnittsbezogenen Vergleich der subjektiven Zustandsnoten der Allgemeinen Unebenheiten mit statistischen Kenngrößen des Zustandswerts ZWSBL

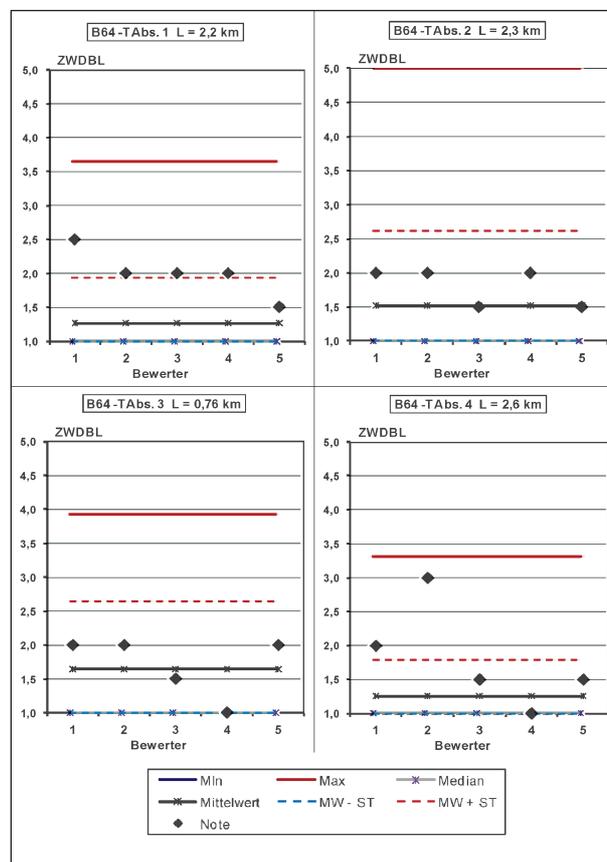


Bild 13.12: Beispiel für den abschnittsbezogenen Vergleich der subjektiven Zustandsnoten der Einzelhindernisse mit statistischen Kenngrößen des Zustandswerts ZWDBL

(s. Anlage 6). Eindeutige systematische Abweichungen in einer Richtung sind allenfalls an einzelnen Abschnitten feststellbar. In der Regel liegen die Noten innerhalb des durch die Standardabweichung begrenzten Bereichs, bei ZWSBL und den Noten für die Allgemeinen Unebenheiten (Anlage 7a) etwas häufiger als bei ZWDBL und den Noten für die Einzelhindernisse (Anlage 7b). Abweichungen im Bereich der maximalen bzw. minimalen Werte für ZWSBL bzw. ZWDBL werden nur in sehr wenigen Ausnahmefällen erreicht. Lediglich für zwei Teilabschnitte der Bundesstraßen ergeben sich mehrheitlich Abweichungen zwischen den subjektiven Noten und den Mittel- bzw. Medianwerten für ZWSBL bzw. ZWDBL, die als gravierender einzustufen sind.

In Bild 13.13 sind zusammenfassend für alle befahrenen Teilabschnitte der Bundesstraßen die subjektiven Noten für die Allgemeinen Unebenheiten in Abhängigkeit von statistischen Kenngrößen der Zustandswerte ZWSBL dargestellt, die aus den jeweils eingeschlossenen 100-m-Abschnitten ermittelt wurden. Bild 13.14 enthält die entsprechende Darstellung für die subjektiven Noten der Einzelhindernisse und ZWDBL. Um alle verfügbaren statistischen Kenngrößen von ZWSBL bzw. ZWDBL abzudecken, die als repräsentativ für die Teilabschnitte angesetzt werden können, sind in Bild 13.13 und Bild 13.14 berücksichtigt die

- Medianwerte,
- Mittelwerte,
- Mittelwerte zuzüglich der Standardabweichungen.

Zur Einstufung der jeweiligen Abhängigkeiten sind die jeweiligen Korrelationskoeffizienten r angegeben ($r = 0$ signalisiert eine totale Unabhängigkeit, $r = 1,0$ eine funktionale Abhängigkeit). Wie bei den Autobahnen (Kapitel 13.4.1) ergeben sich die höchsten Werte für r bei Annahme der in Bild 13.13 bzw. Bild 13.14 aufgelisteten linearen Beziehungen. Wie aus den Darstellungen ersichtlich, ergeben sich die jeweils geringsten Korrelationskoeffizienten r bei Ansatz der Mittelwerte zuzüglich der Standardabweichungen für ZWSBL bzw. ZWDBL. Für den Median und den Mittelwert liegen die Korrelationskoeffizienten r bei 0,59 bzw. 0,57 für ZWSBL und bei jeweils ca. 0,46 für ZWDBL. Diese Werte sind deutlich größer als die Korrelationskoeffizienten bei den Bundesautobahnen, obwohl auch bei den Bundesstraßen die vereinzelt auftretenden subjektiven

Noten mit starken interpersonellen Abweichungen (s. Anlage 6) wegen der Berücksichtigung der Abstandskvadratrate bei der Berechnung von r stärkere Korrelationen verhindern. Die Werte für r signalisieren trotz der „Ausreißer“ einen immerhin mittelmäßig stark ausgeprägten Zusammenhang. Die Vorschläge zu den beiden Komponenten des BLP werden durch die in Bild 10.11 bzw. Bild 10.12 aufgezeigten Zusammenhänge mit den subjektiven Bewertungen in ihrer Tendenz recht deutlich bestätigt.

Die Bilder 13.13 und 13.14 veranschaulichen die Häufigkeitsverteilungen für die

- in halben Notenstufen vorliegenden subjektiven Bewertungen der Allgemeinen Unebenheiten (Bild 13.13) und der Einzelhindernisse (Bild 13.16),
- auf halbe Notenstufen gerundeten Medianwerte für ZWSBL (Bild 13.13) und ZWDBL (Bild 13.14),
- auf halbe Notenstufen gerundeten Mittelwerte für ZWSBL (Bild 13.13) und ZWDBL (Bild 13.14).

Die Rundung der Median- und Mittelwerte erfolgte dabei in Intervallen von 0,25 (z. B. $1,0 \equiv \leq 1,25$, $1,5 \equiv > 1,25$ bis $\leq 1,75$, $2,0 \equiv > 1,75$ bis $\leq 2,25$ usw.).

Bild 13.13 zeigt, dass die größte Häufigkeit der subjektiven Bewertungen der Allgemeinen Unebenheiten zwar bei der Note 2,0 auftritt, bei den Bundesstraßen jedoch längst nicht so deutlich ausgeprägt ist wie bei den Autobahnen (s. Kapitel 13.4.1). Auch für die Median- wie auch insbesondere die Mittelwerte des Zustandswerts ZWSBL ergeben sich relativ große Häufigkeiten beim Wert 2,0. Die bei den Autobahnen klar sichtbare Tendenz, dass bei visuell-sensitiven Erfassungen mit subjektiver Benotung eher ganze Noten (z. B. 2,0) als Zwischenwerte (z. B. 1,5) vergeben werden, wird bei den Noten der Allgemeinen Unebenheiten der Bundesstraßen kaum erkennbar; etwas deutlicher ausgeprägt ist dieser Effekt bei den subjektiven Noten für die Einzelhindernisse (Bild 13.14). Der Homogenitätstest zum Vergleich zweier unabhängiger Stichproben nach Kolmogoroff und Smirnow (SACHS 1984) zur Untersuchung der Gleichheit der den Verteilungen für die subjektiven Zustandsnoten der Allgemeinen Unebenheiten bzw. der Einzelhindernisse und der statistischen Kenngrößen für ZWSBL bzw. ZWDBL zugrunde liegenden Grundgesamtheit erlaubt bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % ($\alpha = 0,01$) folgenden Befund:

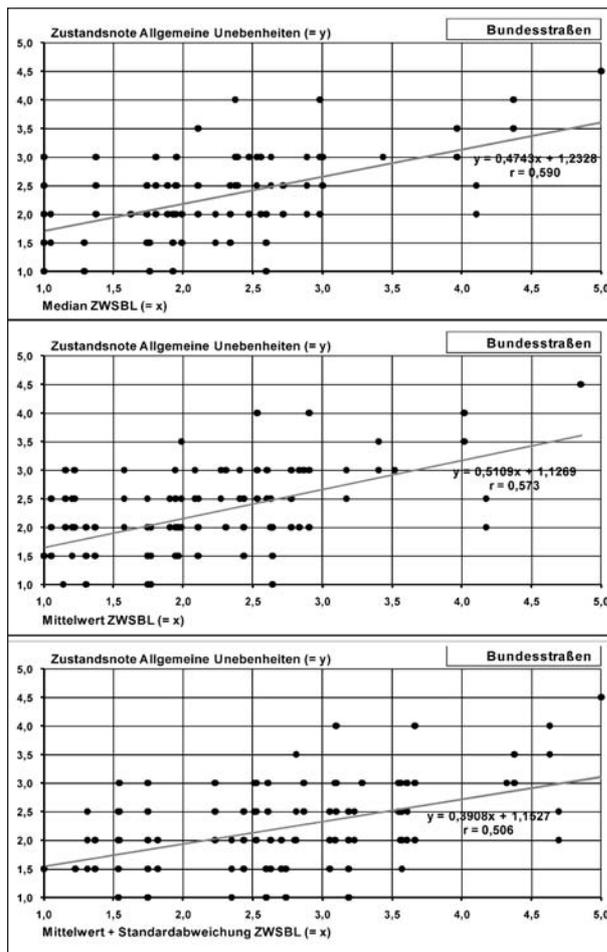


Bild 13.13: Subjektive Noten für die Allgemeinen Unebenheiten in Abhängigkeit vom Median, Mittelwert sowie Mittelwert + Standardabweichung der Zustandswerte ZWSBL der Teilabschnitte der Bundesstraßen

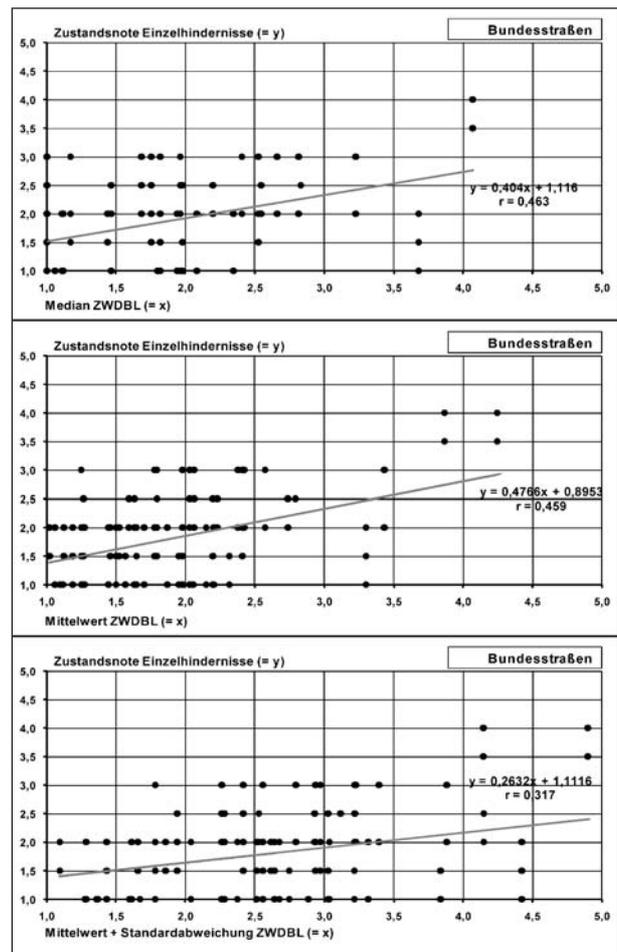


Bild 13.14: Subjektive Noten für die Einzelhindernisse in Abhängigkeit vom Median, Mittelwert sowie Mittelwert + Standardabweichung der Zustandswerte ZWDBL der Teilabschnitte der Bundesstraßen

- Die Verteilung der subjektiven Zustandsnoten für Allgemeine Unebenheiten unterscheidet sich signifikant von der (in Bild 13.13 nicht dargestellten) Verteilung auf der Basis der Mittelwerte zuzüglich der Standardabweichungen für ZWSBL. Die entsprechende Aussage gilt für die Verteilungen der Zustandsnoten für Einzelhindernisse und der Mittelwerte zuzüglich der Standardabweichungen für ZWDBL (in Bild 13.14 nicht dargestellt).
- Bei den Verteilungen der subjektiven Zustandsnoten für Allgemeine Unebenheiten und den Verteilungen der Median- und Mittelwerte für ZWSBL ergeben sich nicht einmal annäherungsweise signifikante Unterschiede. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % kann damit von der Gleichheit der Grundgesamtheit ausgegangen werden (Bild 13.13).
- Beim Homogenitätstest der Verteilungen der subjektiven Zustandsnoten für die Einzelhinder-

nisse und der Median- bzw. Mittelwerte für ZWDBL ergeben sich, etwas knapper als bei ZWSBL, ebenfalls keine Überschreitungen der Signifikanzschwellen. Auch hier kann die Nullhypothese (Gleichheit der Grundgesamtheit) bestätigt werden (Bild 13.14).

- Der Test der Verteilungen der Median- und Mittelwerte bestätigt erwartungsgemäß sowohl für ZWSBL als auch für ZWDBL die Nullhypothese.

Die Annahme der Nullhypothese „Gleichheit der Grundgesamtheit“ kann als Hinweis darauf gewertet werden, dass, bezogen auf alle Teilabschnitte der Bundesstraßen, die Zustandswerte ZWSBL und ZWDBL des Bewerteten Längsprofils durch die subjektiven Noten für das vorgegebene Signifikanzniveau ($\alpha = 0,01$) bestätigt werden. Aus den Mittelwerten der in Bild 13.13 und in Bild 13.14 dargestellten Verteilungen wird erkennbar, dass das durchschnittliche Zustandsniveau aller Teilabschnitte des Untersuchungskollektivs II bei den subjektivi-

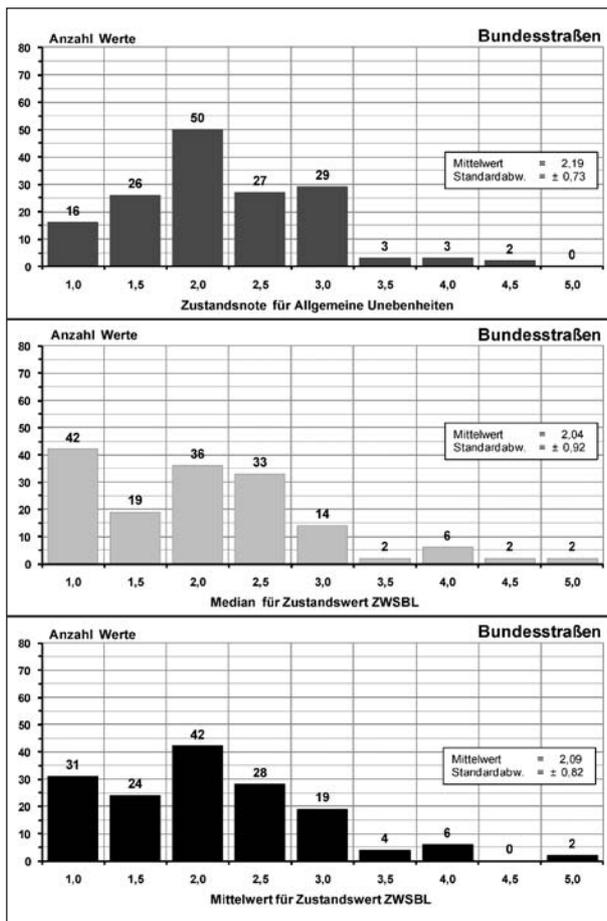


Bild 13.15: Häufigkeiten der Noten für Allgemeine Unebenheiten und der Median- sowie Mittelwerte der Zustandswerte ZWSBL der Teilabschnitte der Bundesstraßen

ven Bewertungen (Allgemeine Unebenheiten 2,19, Einzelhindernisse 1,79) annähernd so eingeschätzt wurde, wie es die Komponenten des BLP wiedergeben (ZWSBL: Median 2,04, Mittel 2,09; ZWDBL: Median 1,66, Mittel 1,87). Dies deutet darauf hin, dass die Bewertung der Zustandsgrößen SBL und DBL bei den Bundesstraßen relativ gut zutrifft. Einschränkend ist dabei allerdings die geringe Repräsentanz aller hier untersuchten Zusammenhänge anzumerken.

Das Ergebnis der Zusatzfrage bei den Streckenbefahrungen, inwieweit die Allgemeinen Unebenheiten bzw. die Einzelhindernisse durch die teilabschnittsbezogenen Mittelwerte für ZWSBL bzw. ZWDBL zutreffend erfasst werden (s. Bild 10.1b), unterstützt diesen Befund für die Bundesstraßen weitgehend. Rund 2 % (ZWSBL) bzw. 3 % (ZWDBL) der Antworten lauten „nein“, weitere 29 % (ZWSBL) bzw. 24 % (ZWDBL) „kaum“. „Überwiegend zutreffend“ ist in 38 % (ZWSBL) bzw. 56 % (ZWDBL), „voll“ zutreffend immerhin in 31 %

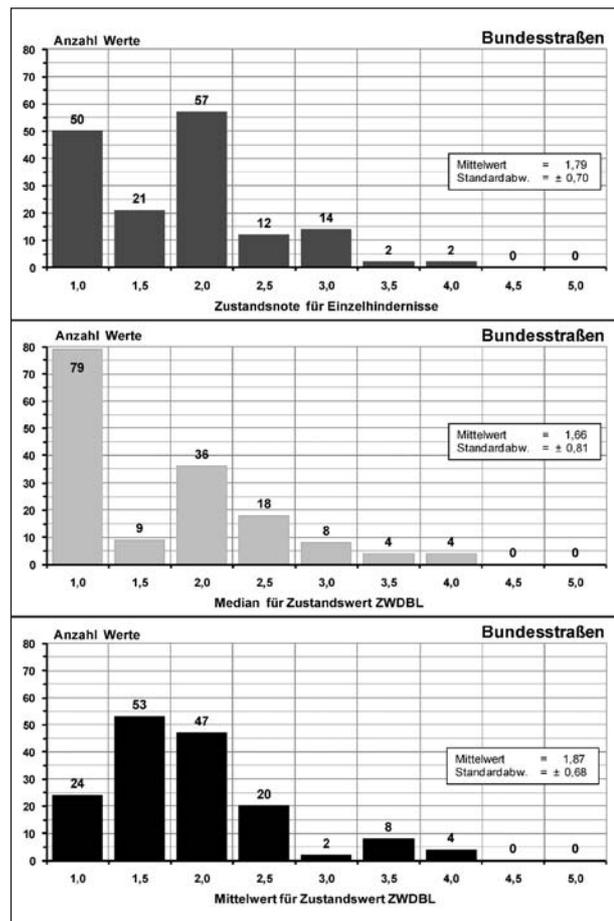


Bild 13.16: Häufigkeiten der Noten für Einzelhindernisse und der Median- sowie Mittelwerte der Zustandswerte ZWDBL der Teilabschnitte der Bundesstraßen

(ZWSBL) bzw. 17 % (ZWDBL) der Fälle angegeben.

Periodische Unebenheiten waren bei den Asphaltdecken der Bundesstraßenabschnitte des Untersuchungskollektivs II nicht vorhanden.

14 Zusammenfassung und Ausblick

Das Längsebenenheitsauswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil“ wurde in den letzten Jahren grundsätzlich untersucht und ausführlich dokumentiert (UECKERMANN 2007). Das Verfahren ist zur Bewertung des Straßenlängsprofils im Rahmen der turnusmäßigen Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) sowie zur Anwendung für bauvertragliche Zwecke vorgesehen. Das Bewertete Längsprofil ist daher Bestandteil des Entwurfs der TP Eben (FGSV 2009). Auch in Österreich wird das Verfahren für die turnusmäßige Zustandserfassung/-be-

wertung und für bauvertragliche Zwecke erprobt. Darüber hinaus laufen Aktivitäten, das Verfahren in eine europäische Norm zu überführen.

Das Bewertete Längsprofil (BLP) sollte bereits bei der ZEB 2009 der Bundesautobahnen probenhalber in die Auswertungen aufgenommen werden. Dazu wurden erste Vorschläge für Ziel-, Warn- und Schwellenwerte vorgelegt (SOCINA 2007), die sich bei einer Überprüfung mit den Daten der ZEB 2005/2006 der Bundesautobahnen als noch nicht schlüssig erwiesen (OERTELT, HELLER, MAERSCHALK 2009). Daher sollten Feinabstimmungen des BLP mit den folgenden Schwerpunkten vorgenommen werden:

- definitive Festlegung des Wellenlängenbereiches und der Welligkeit des Bezugsspektrums für das BLP;
- Analyse und Festlegung von Ziel-, Warn- und Schwellenwerten für die systematische Straßenerhaltung und von Parametern für bauvertragliche Zwecke;
- Erarbeitung von Vorschlägen zur Harmonisierung der unterschiedlichen Berechnungsansätze des BLP, die momentan noch mit Österreich hinsichtlich der Parameter Wellenlängenbereich, Welligkeit und der Grenzwerte bestehen;
- Vergleichsanalysen mit dem „International Roughness Index“ (IRI);
- Praxiserprobung des BLP auf ausgewählten Straßen im Neubauzustand und innerhalb der Gewährleistungsfrist sowie auf Straßen in mittelmäßigem/schlechtem Erhaltungszustand unter Einbeziehung der zuständigen Straßenbauverwaltungen der Länder.

In Erweiterung der Aufgabenstellung wurde festgelegt, die Ergebnisse zum BLP für die ZEB 2005/06 der Bundesautobahnen und die ZEB 2007/08 der Bundesstraßen anzuwenden.

Die Zielsetzung der Analysen zu den Feinabstimmungen war, bei Anwendung des BLP-Verfahrens einen Ebenheitsindex zur Verfügung zu stellen, der gegenüber den bisherigen Bewertungsverfahren eine deutliche Verbesserung sowohl hinsichtlich des Wellenlängenbereichs für bauvertragliche Zwecke (im Vergleich zur 4-m-Latte) als auch hinsichtlich der Vielfalt der detektierbaren Unebenheitsformen (im Vergleich zum bisher verwendeten Unebenheitsmaß AUN) darstellt.

Für die Analysen zur Feinabstimmung des BLP konnte teilweise auf vorliegende Daten zurückgegriffen werden, speziell auf Strecken für Autobahnen aus FE 89.0197/2007/AP „Bewertung unterschiedlicher Bauweisen für den Oberbau von Straßenkonstruktionen“ („DEGES-Strecken“). Für vertiefte Analysen und die vorgesehene Praxiserprobung wurden Strecken für ein „Untersuchungskollektiv I“ ausgewählt, an denen Zweifachmessungen der Längsprofilaten (gemäß ZTV-ZEB) durch die BAST vorgesehen waren. Dazu wurden zunächst Streckenabschnitte im Neubauzustand und innerhalb der Gewährleistungsfrist ermittelt („ABG-Strecken“) und anschließend in ihrem Umfeld Abschnitte mit mittelmäßigem bzw. schlechtem Erhaltungszustand abgegrenzt („ZEB-Strecken“). Das daraus ausgewählte Untersuchungskollektiv I für die Bundesautobahnen umfasst 6 ABG-Strecken (Gesamtlänge ca. 206 km, Messlänge bei Doppelmessung aller Fahrstreifen ca. 1.710 km) und 8 ZEB-Strecken (ca. 152 km, Messlänge ca. 1.368 km) in 5 Bundesländern. Das Untersuchungskollektiv I für Bundesstraßen besteht aus 8 ABG-Strecken (Gesamtlänge ca. 45 km, Messlänge bei Doppelmessung beider Richtungen ca. 180 km) und 8 ZEB-Strecken (ca. 38 km, Messlänge ca. 152 km) in 3 Bundesländern. Aus Aufwandsgründen konnten in die BAST-Messungen letztlich nur die ABG-Strecken einbezogen werden; bei den ZEB-Strecken wurde, so weit verfügbar, auf die Rohdaten der jeweils letzten ZEB-Kampagne zurückgegriffen.

Zum besseren Verständnis der Analysen zur Feinabstimmung des BLP sind zunächst die Grundlagen der Ebenheitsbewertung mit dem Zusammenhang zwischen BLP und der spektralen Leistungsdichte des Höhenlängsprofils erläutert. Im weiteren methodischen Ablauf erfolgen Parametervariationen des Wellenlängenbereichs, der charakteristischen Steigung („Welligkeit“) und der Vergrößerungsfunktion zur Untersuchung unterschiedlicher Varianten des BLP mit einer Überprüfung der mathematischen Grundlagen und einer Ermittlung der Korrelationen zwischen BLP-Varianten. Auf dieser Basis werden Bewertungsvorschläge für das BLP für Bundesautobahnen mit Normierungsfunktion, Ziel-, Warn- und Schwellenwert für die ZEB sowie Grenzwerten für bauvertragliche Zwecke abgeleitet und mit den vorhandenen Datenkollektiven überprüft. Die Vorschläge zu den Bewertungsparametern werden anschließend für Teilkollektive der ABG-Strecken und ZEB-Strecken (insgesamt

2.300 km) angewendet und unter Berücksichtigung der Decken- und Oberbaubauweise, der Liegedauern und der Fahrstreifenarten auf Plausibilität überprüft. Diese Überprüfung liefert die Grundlage für Bewertungsvorschläge für Äste, freie Strecken und Ortsdurchfahrten von Bundesstraßen sowie für verschiedene Abschnittslängen. Nach Analysen zur Wiederholgenauigkeit einer Bewertung durch das BLP werden zur Erläuterung der Ergebnisse Anwendungen des BLP für konkrete Längsprofile mit definierter Unebenheitscharakteristik veranschaulicht. Für eine internationale Einordnung der abgeleiteten Ergebnisse wird zum Abschluss der wissenschaftlich-theoretischen Analysen der Zusammenhang zwischen BLP und dem International Roughness Index (IRI) hergestellt.

Für die Überprüfung des BLP-Vorschlags in der Örtlichkeit wurden aus den Strecken des Untersuchungskollektivs I 12 Autobahnabschnitte (8 ABG-, 4 ZEB-Strecken, Längen 11 bis 20 km) und 11 Bundesstraßenabschnitte (9 ABG-, 2 ZEB-Strecken, Längen 0,6 bis 7,4 km) als Untersuchungsstichprobe II ausgewählt. Bei der Befahrung der Strecken mit den jeweils für die Erhaltung zuständigen Mitarbeitern der Länder wurden abschnittsbezogen subjektive Ebenheitsnoten in systematisch auswertbare Formblätter eingetragen.

Für eine netzweite Anwendung der Ergebnisse wurden die Rohdaten der ZEB-Kampagnen 2005/06 der Bundesautobahnen und 2007/08 der Bundesstraßen aufbereitet. Bei der Überprüfung der Auswirkungen auf den Gebrauchs- und Substanzwert wird der derzeit verwendete Zustandswert der Allgemeinen Unebenheiten ZWAUN sukzessive durch den Zustandswert aus 3 BLP-Varianten ersetzt.

Zur Berechnung des BLP wird das gemessene Längsprofil $h(x)$ zunächst mit einer Fourier-Transformation in sein Spektrum überführt und anschließend mit einer Bewertungsfunktion $B(\Omega)$ multipliziert. Damit liegt ein bewertetes Spektrum vor, das in insgesamt 9 Oktaven zerlegt einzeln mit einer inversen Fourier-Transformation zurücktransformiert wird. Danach liegen 9 Oktavband-gefilterte bewertete Längsprofile vor, die leistungsbezogen gewichtet und aufsummiert das BLP ergeben. Die Gewichtungsfaktoren errechnen sich aus dem Verhältnis der Standardabweichung des jeweiligen Teilprofils zur Standardabweichung der Summe aller 9 Teilprofile. Als Unebenheitsindikatoren werden die Spannweite (DBL) sowie die Standardabweichung

(SBL) für definierte Abschnittslängen (z. B. 100 m) angegeben.

Aus den Parametervariationen des Wellenlängenbereichs und der Welligkeit ergeben sich drei BLP-Varianten mit einem ausgewogenen Verhältnis zwischen SBL und DBL, die für die weiteren Untersuchungen relevant sind:

- berücksichtigte Wellenlängen von 0,5 m bis 50 m und mittlere Welligkeit $w = 2,6$ („österreichische“ Variante, Kurzbezeichnung „BLP_A“),
- berücksichtigte Wellenlängen von 0,3 m bis 50 m und mittlere Welligkeit $w = 2,4$ (Kurzbezeichnung „BLP_24“),
- berücksichtigte Wellenlängen von 0,3 m bis 50 m und mittlere Welligkeit $w = 2,5$ (Kurzbezeichnung „BLP_25“).

Der Korrelationskoeffizient zwischen BLP_A und den anderen beiden Varianten liegt für die Testdaten im Mittel bei 0,98.

Die Analysen zur Überführung der Indikatoren DBL und SBL in Zustandswerte („Normierung“) führen zu den charakteristischen Punkten auf der Bewertungsskala und den Normierungsfunktionen aus Tabelle 14.1 (es gilt jeweils $1,0 \leq ZW_{xx} \leq 5,0$).

Die Überprüfungen an Gesamtnetzen (Autobahnen Österreich, ZEB 2001/02 BAB) und an Teilkollektiven (s. o.) zeigen, dass die theoretisch hergeleiteten Skalenpunkte in der richtigen Größenordnung liegen. BLP_A und BLP_25 ergeben sehr ähnliche Häufigkeitsverteilungen für Zustandsklassen; BLP_24 bewertet etwas strenger. Abnahme- und Gewährleistungswert fügen sich gut in die Reihung der Skalenwerte für die ZEB ein.

Die Plausibilitätsuntersuchungen der Normierungsvorschläge auf Basis der ABG- und ZEB-Strecken des Untersuchungskollektivs I (ca. 2.300 km) unter Berücksichtigung der Decken- und Oberbaubauweise, der Liegedauern und der Fahrstreifenarten zeigen zunächst, dass die Deckenart (Asphalt bzw. Beton) statistisch keinen signifikanten Einfluss auf die Zustandswerte des BLP hat. Bauweisespezifische Unterschiede werden jedoch dadurch deutlich, dass bei Beton die kurzen Wellen (< 7 m) und bei Asphalt die langen Wellen (> 7 m) die Unebenheitscharakteristiken prägen. Die Analysen zur Liegedauer und zum Fahrstreifeneinfluss lassen beim

vorliegenden Datenbestand keine Zusammenhänge erkennen.

Die für die erwähnten Datenkollektive überprüften Normierungsvorschläge aus Tabelle 14.1 dienen als Grundlage für die Ableitung abweichender Bewertungsparameter für Äste sowie freie Strecken und Ortsdurchfahrten von Bundesstraßen. Aufgrund der unterschiedlichen Längen der ZEB-Auswerteabschnitte (freie Strecken i. Allg. 100 m, Ortsdurchfahrten i. Allg. 20 m) werden Verfahrensanleitungen für verschiedene Abschnittslängen angegeben. Die Bewertungsvorschläge für Funktionsklassen und unterschiedliche Abschnittslängen müssen noch mit den zuständigen Gremien abgestimmt werden.

Die Analyse der Wiederholmessungen auf den Strecken des Untersuchungskollektivs I zeigt, dass die Wiederholgenauigkeit deutlich von der Ebenheit der Messstrecke abhängig ist. Je höher das Unebenheitsniveau, desto schlechter wird die Wiederholgenauigkeit. Überschreitungen der geforderten Wiederholgenauigkeit treten bevorzugt dann auf, wenn der Unebenheitsverlauf (DBL-Schrieb) viele und hohe Spitzen aufweist. Die geforderten Wiederholgenauigkeiten der TP Eben werden auf Straßen guter Ebenheit ohne Schwierigkeiten erreicht, können aber auf Straßen mit ausgeprägtem Einzelhindernis-Charakter problematisch sein.

Zum besseren Verständnis der Zustandsbewertung und zur Verdeutlichung der Aussagekraft des BLP werden Detailanalysen für konkrete Einzelabschnitte aus Untersuchungskollektiv I mit unterschiedlicher und definierter Unebenheitscharakteristik dargestellt und erläutert. An einem Abschnitt wird erkennbar, dass bei den beiden Übergangskonstruktionen einer Brücke Vertiefungen von 30 mm auf-

treten, die als Unebenheit interpretiert werden und zu einer Schwellenwertüberschreitung führen.

Die mathematische Herleitung der Beziehung zwischen BLP und dem International Roughness Index (IRI) zeigt zusammen mit den vergleichenden Auswertungen, dass sich für Einzelabschnitte je nach Ebenheitscharakteristik (Welligkeit, Wellenlängengehalt, Impulshaftigkeit) gute Übereinstimmungen zwischen BLP und IRI ergeben. Da der IRI einen statistischen Mittelwert über eine bestimmte Abschnittslänge (z. B. 50 oder 100 m) darstellt, ist die Übereinstimmung zwischen IRI und SBL am Besten. Wenn keine ausgeprägten Einzelhindernisse auftreten, ist auch die Übereinstimmung zwischen IRI und DBL gut, ansonsten sind deutliche Unterschiede zu verzeichnen. Für das verfügbare Kollektiv an Analysestrecken (11.600 Abschnitte, ca. 580 km) ergibt sich zwischen SBL und IRI ein Korrelationskoeffizient von 0,80.

Betrachtet man die Untersuchungen mit den unterschiedlichen Varianten des BLP vor dem Hintergrund

- ihrer Korrelationen untereinander sowie der Ausgewogenheit zwischen den Indikatoren SBL und DBL (Kapitel 4),
- der Ausgewogenheit in der Gewichtung zwischen langen und kurzen Wellenlängen sowie zwischen Beton- und Asphaltbauweisen (Kapitel 5 und 6),
- der Ausgewogenheit in den Summenhäufigkeitsverteilungen sowie der Vergleichbarkeit mit dem $BLP_{Austria}$ (Kapitel 7),

dann stellt die Variante BLP_25, d. h. die Variante mit einem Wellenlängenbereich zwischen 0,3 und

Skalenpunkt	Zustandswert	BLP_A und BLP_25		BLP_24	
		SBL [mm]	DBL [mm]	SBL [mm]	DBL [mm]
Zielwert	1,50	4,0	24,0	3,5	21,0
Abnahmewert	2,50	6,0	36,0	5,0	31,0
Gewährleistungswert	2,87	7,0	42,0	6,0	36,0
Warnwert	3,50	9,0	54,0	7,5	46,0
Schwellenwert	4,50	13,0	78,0	11,0	66,0
Normierungsfunktion SBL		$ZWSBL = [2 \cdot (SBL - 2,875)]^{0,5}$		$ZWSBL = [2,4 \cdot (SBL - 2,5625)]^{0,5}$	
Normierungsfunktion DBL		$ZWDBL = [(DBL - 17,25)/3]^{0,5}$		$ZWDBL = [(DBL - 15,375)/2,5]^{0,5}$	
Zustandswert für BLP		$ZWBLP = \text{Max}(ZWSBL, ZWDBL)$			

Tab. 14.1: Vorschläge zu charakteristischen Skalenpunkten und Normierungsfunktionen

50 m und einer charakteristischen Welligkeit von 2,5 die beste Variante dar:

- Sie umfasst alle für die Längsebenheit wichtigen Wellenlängen.
- Ihre charakteristische Welligkeit ist so gewählt, dass eine Straße in ihrer Ebenheitscharakteristik ausgewogen beurteilt werden kann.
- Sie bevorzugt weder Asphalt- noch Betonoberflächen.
- sie besitzt die beste Vergleichbarkeit zum BLP_{Austria}
- Sie sorgt dafür, dass in Österreich und Deutschland dieselben Grenzwerte zur Anwendung kommen könnten.

Die abschließende Praxisüberprüfung in der Örtlichkeit wurde demzufolge mit der Variante BLP_25 durchgeführt. Für diese Überprüfung wurde versucht, Strecken mit einzelnen bautechnisch oder trassierungsbedingten Ebenheitsmängeln (z. B. Stufen, Mulden, Periodische Unebenheiten) bzw. mit (fertigungs-)typischem Ebenheitscharakter ohne besondere Merkmale einzubeziehen. Voreingeteilte Teilabschnitte der jeweiligen Untersuchungsstrecken wurden in Erfassungsformblättern gekennzeichnet und, nach entsprechenden Erläuterungen, bei einer Befahrung in ihrer Ebenheitscharakteristik von den Teilnehmern der Überprüfung nach subjektiver Einstufung durch Ankreuzen von Skalenfeldern (Noten 1 bis 5) protokolliert und bewertet. Teilnehmer waren Amtschefs, für die Erhaltung zentral zuständige Mitarbeiter sowie Autobahn-/Straßenmeister. Bei den teilabschnittsbezogenen Einzelauswertungen der Erfassungsergebnisse sind die Abweichungen zwischen subjektiven Noten und ZWSBL bzw. ZWDBL nur in wenigen Fällen größer als eine Notenstufe. Die aggregierten statistischen Auswertungen zeigen, dass bei den Autobahnen das durchschnittliche Zustandsniveau mit den subjektiven Noten (Allgemeine Unebenheiten 2,11, Einzelhindernisse 2,12) tendenziell schlechter eingeschätzt wurde, als es die Komponenten des BLP wiedergeben (Mittelwerte ZWSBL 1,88; ZWDBL 1,97). Bei den Bundesstraßen liegen die Durchschnittsnoten (Allgemeine Unebenheiten 2,19, Einzelhindernisse 1,79) näher bei den Komponenten des BLP (Mittelwerte ZWSBL 2,09; ZWDBL 1,87). Einschränkend anzumerken ist allerdings die geringe Repräsentanz der untersuchten Zusammenhänge.

Nach der Anwendung des BLP (anstelle von ZWAUN) für die ZEB 2005/06 der Bundesautobahnen und die ZEB 2007/08 der Bundesstraßen lässt sich feststellen, dass insbesondere einzelne und periodisch auftretende Hindernisse, aber auch Allgemeine Unebenheiten in ihrer Bandbreite mit BLP ausgewogener als bisher beschrieben werden, der gewünschte Effekt eines empfindsamer ansprechenden Längsebenheitsbewertungsverfahrens somit erreicht wird. Durch die strengere Bewertung der Ebenheit werden, auch bei den Teilwerten, die Längenanteile im sehr guten Zustandsbereich < 1,5 geringer, während sich die Anteile im schlechten Zustandsbereich ab 3,5 bei gleichzeitiger größerer Spreizung der Anteile im guten bzw. mittleren Bereich (1,5 bis < 3,5) erhöhen. Dabei sind die Anteile im schlechten Zustandsbereich für BLP_24 meist deutlich größer als die entsprechenden, vielfach nahe beieinander liegenden Anteile von BLP_A und BLP_25. Insbesondere bei den Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen wäre zu empfehlen, die abgeleiteten Vorschläge für Warn- und Schwellenwerte (s. o.) zu übernehmen.

Nach den Feinabstimmungen zum „Bewerteten Längsprofil BLP“ ist ein gutes Längsebenheitsauswertungsverfahren verfügbar, das eine umfassende und ortsgenaue Bewertung der Unebenheitscharakteristik ermöglicht und damit u. a. einen Kritikpunkt an ZEB ausräumt. Auch das entwickelte Bewertungskonzept erscheint nach den Ergebnissen objektbezogener Detailbetrachtungen und netzbezogener Analysen insgesamt plausibel und, mit evtl. geringfügigen Modifikationen (Ortsdurchfahrten), für die ZEB der Bundesfernstraßen anwendungsreif. Die abgeleiteten Abnahme- und Gewährleistungswerte für bauvertragliche Zwecke sollten noch mit den zuständigen Gremien und Verbänden abgestimmt werden.

Bei den Befahrungen in der Örtlichkeit und den objekt- und netzbezogenen Anwendungen des BLP wurde verschiedentlich deutlich, dass konstruktiv bedingte Einzelhindernisse, bei den Autobahnen sehr häufig in Form von Fahrbahnübergangskonstruktionen für Brücken, derzeit nicht identifizierbar in die Ebenheitsbewertung eingehen: Aus der Sicht einer reinen Ebenheitsbewertung ist dies auch korrekt, da konstruktiv bedingte Einzelhindernisse vor Ort auch tatsächlich Unebenheiten (i. Allg. Stufen) darstellen. Aus der Sicht der Erhaltungsplanung können diese konstruktiv bedingten Einzelhindernisse zunächst zu falschen Annahmen führen, wenn sie, über ein Durchschlagen von ZWDBL,

eine schlechte oder sehr schlechte Ebenheitsbewertung für Erhaltungsabschnitte bewirken. Um dies zu verhindern, kann die Möglichkeit geschaffen werden, konstruktiv bedingte (nicht relevante) Einzelhindernisse im ZEB-Raster automatisiert netzweit zu lokalisieren und zu glätten. Damit sind diese Einzelhindernisse aus der Maßnahmenplanung im Rahmen der ZEB eliminiert. Eine evtl. Untersuchung in dieser Richtung sollte, mit Verifizierung in der Örtlichkeit, zunächst für ein Teilnetz erfolgen. Möglicherweise wäre die Anforderung aus der Erhaltungsplanung auch durch eine künftige flächenhafte Erfassung der Ebenheit, die 3D- statt 2D-Informationen liefert, erfüllbar.

Aus der Sicht der Erhaltungsplanung wäre es, zusätzlich zu den bisherigen Ebenheitsauswertungen, wünschenswert, auch die Häufigkeit von (relevanten) Einzelhindernissen für ZEB-Auswerteabschnitte oder längeren daraus aggregierten Erhaltungsabschnitten zu kennen. Ein denkbarer Weg dahin könnte sein, eine für Fahrer, Fahrzeug und Ladung relevante „Schwellenhöhe“ für Einzelhindernisse zu ermitteln und die Anzahl der Überschreitungen auszählen.

Literatur

- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2001a): Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen. RPE-Stra 01. Ausgabe 2001
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2001b): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen. RStO 01. Ausgabe 2001
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2006), Arbeitsgruppe Sonderaufgaben: Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen ZTV ZEB-StB, Ausgabe 2006. Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2009): Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung („TP Eben“), Teil: Berührungslose Messungen. Ausgabe 2009
- OERTELT, S.; MAERSCHALK, G. (2006): Verbesserung der praxisnahen Bewertung des Straßenzustandes. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 950. Bonn 2006
- OERTELT, S.; HELLER, S.; MAERSCHALK, G. (2009): Aktualisierung der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB). Schlussbericht zum FE 04.212/2007/MRB des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. Entwurf 2009
- SAYERS, M. W.; KARAMIHAS, S. M. (1998): Little Book of Profiling. University of Michigan, 1998
- SOCINA, M. (2009): Umsetzung des Längsebenheitswirkindex (LWI) im Rahmen der systematischen Straßenerhaltung. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1016, Bonn-Bad Godesberg 2009
- SPIELHOFER, R.; BROZEK, B.; MAURER, P.; FRUHMANN, G.; REINALTER, W. (2009): Umsetzung des Längsebenheitswirkindex (LWI) im Rahmen der systematischen Straßenerhaltung. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1016, Bonn-Bad Godesberg 2009
- UECKERMANN, A. (1991): Sammlung und Auswertung von Straßenunebenheitsdaten. Untersuchung und Vergleich verschiedener Messgeräte und Auswerteverfahren auf Eignung zur routinemäßigen Erfassung und Bewertung des Ebenheitszustandes, Teil 2. Forschung Straßenbau- und Straßenverkehrstechnik, Heft 598, Bonn 1991
- UECKERMANN, A. (2002): Der Längsebenheitswirkindex LWI. Forschung Straßenbau- und Straßenverkehrstechnik, Heft 839, Bonn 2002
- UECKERMANN, A. (2005): Das Bewertete Längsprofil, Straße und Autobahn 1 (2005)

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

2000

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

2001

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

2002

S 24: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem
Untergrund - 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

2003

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

2004

S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen
Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System –
€ 19,50

S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewin-
nung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues
Golkowski € 13,50

S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen
– Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saar-
landes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und
24. September 2002 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

2005

S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Unter-
grund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50

S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht
– Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saar-
landes 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

2006

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 Ver-
formungswiderstandes von Asphalt
Renken, Büchler € 16,00

S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 17,50

S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Boden-
kontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben
Schröder € 13,50

S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und
RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymer-
modifizierten 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

2007

S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstan-
des und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen
Leutner, Lorenzl, Schmoeckel, Donath, Bald, Grätz, Riedl,
Möller, Oeser, Wellner, Werkmeister, Leykauf, Simon € 21,00

- S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen
Steinauer, Ueckermann, Maerschalk € 21,00
- S 47: Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hase, Oelkers € 24,50
- S 48: Verdichtbarkeit von Asphaltmischgut unter Einsatz des Walzsektor-Verdichtungsgerätes
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

2008

- S 49: Zweischichtiger offenporiger Asphalt in Kompaktbauweise
Ripke € 12,50
- S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitsausschusses "Straßenrecht" der FGSV am 25./26. September 2006 in Tecklenburg-Leeden
€ 15,50
- S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Killing, Hirsch € 14,50
- S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hirsch € 16,00
- S 53: Straßenrecht und Föderalismus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 24./25. September 2007 in Bonn
€ 15,50
- S 54: Entwicklung langlebiger dünner Deckschichten aus Beton
Silwa, Roßbach, Wenzl € 12,50
- S 55: Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSüB)
Leykauf, Birmann, Weller € 13,50

2009

- S 56: Vergangenheit und Zukunft der deutschen Straßenverwaltung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 22./23. September 2008 in Bonn
€ 14,00
- S 57: Vergleichende Untersuchung zweischichtiger offenporiger Asphaltbauweisen
Ripke € 13,50
- S 58: Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt
Ludwig € 15,50
- S 59: Bestimmung des adhäsiven Potentials von Bitumen und Gesteinsoberflächen mit Hilfe der Kontaktwinkelmessmethode
Hirsch, Friemel-Göttlich € 16,00

2010

- S 60: Die Zukunftsfähigkeit der Planfeststellung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 21./22. September 2009 in Bonn
€ 15,50
- S 61: Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes
Wolf, Fielenbach € 16,50
- S 62: 41. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 18,50

- S 63: Vergleichsuntersuchungen zum Frosthebungsversuch an kalkbehandelten Böden, RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten
Blume € 16,00
- S 64: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA) Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Rohleder, Kunz, Wasser, Pullwitt, Müller, Ripke, Zöller, Pöppel-Decker € 23,00
- S 65: Untersuchungen von Dübellagen zur Optimierung des Betondeckenbaus
Freudenstein, Birmann € 14,00

2011

- S 66: Qualitätssicherung von Waschbetonoberflächen
Breitenbücher, Youn € 14,50
- S 67: Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalerkennung im Rahmen des TP3
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Rohleder, Kunz, Wasser, Pullwitt, Müller, Canzler, Winkler € 16,50
- S 68: Lärmindernder Splittmastixasphalt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de> heruntergeladen werden.
Ripke
- S 69: Untersuchung der Messunsicherheit und der Klassifizierungsfähigkeit von Straßenbelägen
Müller, Wasser, Germann, Kley € 14,50
- S 70: Erprobungsstrecke mit Tragschichten ohne Bindemittel aus ziegelreichen RC-Baustoffen
Dieser Bericht liegt außerdem in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de> heruntergeladen werden.
Jansen, Kurz € 16,00
- S 71: Enteignung für den Straßenbau – Verfahrensvereinheitlichung – Privatisierung, Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 20./21. September 2010 in Bonn
€ 15,00
- S 72: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten - Teil 2: Neue Baumaßnahmen
Jansen, Pöppel-Decker € 15,00
- S 73: Längsebenenheitsauswerteverfahren "Bewertes Längsprofil" – Weiterentwicklung der Längsebenenheitsbewertung der Zustandserfassung und -bewertung
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

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

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.