

Nachweis der flächendeckenden Verdichtungskontrolle von Asphalt

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Straßenbau Heft S 112

bast

Nachweis der flächendeckenden Verdichtungskontrolle von Asphalt

von

Ulf Zander
Micha Buch
Jan Birbaum

Ifs Institut für Straßenwesen
Universität Siegen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 112

bast

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

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

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

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

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

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

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE-Nr. 89.0288/2013:
Nachweis der flächendeckenden Verdichtungskontrolle (FDVK) von Asphalt

Fachbetreuung
Tobias Paffrath

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

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

ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-95606-342-8

Bergisch Gladbach, Januar 2018

Kurzfassung – Abstract

Nachweis der flächendeckenden Verdichtungskontrolle von Asphalt

Das vorliegende Forschungsprojekt (FE 89.0288/2013) hatte zur Aufgabe, die Eignung verschiedener Systeme zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle beim Einbau von Schichten in Asphaltbauweise zu untersuchen. Auf einer Versuchsstrecke zwischen Pirmasens und Landau wurden hierzu insgesamt 5 Testfelder mit einer Länge von jeweils 1 km angelegt und unter Anwendung herstellerspezifischer Kontrollsysteme verdichtet. Ein Feld diente dabei als Referenz, in dem keine flächendeckende Verdichtungskontrolle vollzogen wurde. Alle zur Beurteilung des Verdichtungserfolgs notwendigen Randparameter wurden kontinuierlich aufgezeichnet und anschließend ausgewertet. Hierzu zählten beispielsweise die Temperatur des Mischguts und der Luft, aber auch die durch Kameraaufnahmen dokumentierten tatsächlichen Walzüberfahrten in jedem Abschnitt. Zusätzlich wurden im Nachgang umfangreiche Kontrollprüfungen und Druck-Schwellversuche zur Bewertung der erreichten Verdichtung durchgeführt.

Zusammenfassend lassen sich aus den Ergebnissen des Forschungsprojekts folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Zwischen dem Referenzfeld und den Feldern mit flächendeckender Verdichtungskontrolle konnten keine gravierenden Abweichungen der erreichten Verdichtungsgrade festgestellt werden.
- Die Streuungen der Verdichtungsgrade in den jeweiligen Testfeldern weisen keine signifikanten Unterschiede auf.
- Die erreichten Verdichtungsgrade werden bei Verwendung von Verdichtungskontrollsystemen mit weniger Walzübergangszahlen erreicht.
- Bei Verwendung von Verdichtungskontrollsystemen stellen sich eine homogenere Verteilung von Walzübergängen und damit eine gleichmäßigere Flächenverdichtung ein.

Insgesamt konnte dem Einsatz von Systemen zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle ein positiver Effekt auf den erreichten Verdichtungserfolg nachgewiesen werden.

Analysis of large-scale compaction control systems for asphalt

The task of the current research project (FE 89.0288/2013) was to assess the benefit of large-scale compaction control systems for asphalt. Therefore a test track was built between Pirmasens and Landau, divided into 5 sections with a length of 1 km each. One section conducted as a reference without large-scale compaction control, the others were compacted using manufacture-specific applications. All necessary specifications to determine the compaction success were recorded and subsequently evaluated (for example the temperature of the mixture as well as the number of compactor overruns). Additionally, examinations of the compacted layers and cyclic compression tests were realized.

All in all the following results have been worked out:

- There were no major differences concerning the degree of compaction between the reference section and the sections that were compacted using large-scale compaction control systems.
- The measured degrees of compaction in the current sections did not differ significantly.
- The achieved degree of compression is reached with less compactor overruns by using large-scale compaction control systems.
- Using large-scale compaction control systems provides a more regular compaction, so that the compaction is superiorly homogeneous.

The large-scale compaction control systems had a throughout positive effect to the achieved compaction success.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	7	3.2.3 Videodokumentation der Entnahmestellen	28
Tabellenverzeichnis	9		
1 Einleitung	13	4 Labortechnische Unter- suchungen	29
1.1 Problemstellung	13	4.1 Bestimmung des Bindemittel- gehalts	29
1.2 Stand der Wissenschaft und Technik	13	4.2 Bestimmung der Korngrößen- verteilung	30
1.2.1 Einflussgrößen auf die Verdichtung ...	13	4.3 Bestimmung des Erweichungs- punkts RuK.	30
1.2.2 Bisherige Projekte zur flächen- deckenden Verdichtungskontrolle	14	4.4 Bestimmung der Nadelpenetration. . .	30
1.2.3 Wirtschaftliche, wissenschaftliche und technische Bedeutung.	15	4.5 Bestimmung der elastischen Rückstellung.	31
1.3 Methodik des Forschungsprojekts	15	4.6 Bestimmung der Rohdichte	31
1.3.1 Begleitung der Baumaßnahme.	15	4.7 Bestimmung der Raumdichte.	31
1.3.2 Labortechnische Untersuchungen	17	4.8 Bestimmung der Bezugs- raumdichte	34
2 Bauvorbereitende Maßnahmen	17	4.9 Ermittlung des Verdichtungs- grades	34
2.1 Gegebenheiten	17	4.10 Bestimmung des Hohlraum- gehalts	38
2.2 Projektplanung	18	4.11 Bestimmung des Verformungs- widerstands mittels Druck- Schwellversuch	38
2.2.1 Festlegung der Testfelder.	18	4.11.1 Beschreibung des Verfahrens und Messprinzips	38
2.2.2 Festlegung von Art und Umfang der zu erhebenden Daten.	18	4.11.2 Probekörper	39
2.2.3 Festlegung Entnahmestellen für das Mischgut sowie die Bohrkerne. ...	19	4.11.3 Auswahl von Probekörpern und deren Kennwerte	39
2.3 Systeminterne Vergleichs- messungen.	19	4.11.4 Versuchsdurchführung	40
2.4 Visuelle Begutachtung der Messstrecke vor dem Einbau	20	4.11.5 Auswertung und Darstellung der Ergebnisse	41
2.5 Analyse der Systeme zur flächen- deckenden Verdichtungskontrolle	21	4.11.6 Ergebnisse der Druck-Schwell- versuche an den Probekörpern aus der Bundesstraße B 10	42
3 Baubegleitende Maßnahmen	23	4.12 Interpretation der Ergebnisse der Druck-Schwellversuche	42
3.1 Durchführung von GPS- Vergleichsmessungen	23	4.12.1 Asphaltbinderschicht	42
3.2 Temperaturmessung.	25	4.12.2 Asphaltdeckschicht	45
3.2.1 Probenentnahme	27		
3.2.2 Dichtemessungen mit der Troxlersonde	27		

5	Auswertung der Ergebnisse von Messungen während des Einbaus und danach	49
5.1	Prüfung der Anzahl aufgezeich- neter Walzübergänge	49
5.2	Auswertung der Dichtemessungen mit der Isotopensonde	50
5.3	Auswertung der Verdichtungsgrade . . .	56
5.4	Visuelle Auswertung mittels Herstellersoftware	59
6	Zusammenfassung	63
7	Literatur	65
	Anlagen	66

Abbildungsverzeichnis

- Bild 1.1: Untersuchungsprogramm nach JUNG-FELD & STÖCKERT, 2007
- Bild 1.2: Verlauf des Verdichtungskennwerts (VKW) aus der FDAV mit dem Verdichtungsgrad (VG) aus Messungen mit der Troxlersonde und der PDM-Sonde
- Bild 2.1: Geografische Lage der Bundesstraße B 10
- Bild 2.2: Einteilung der Testfelder inklusive deren Abschnitte auf der zu begleitenden Baumaßnahme auf der Bundesstraße B 10
- Bild 2.3: Dokumentation der Festlegung von Festpunkten auf der Bundesstraße B 10
- Bild 2.4: Geodätische Festpunkte auf der Bundesstraße B 10
- Bild 2.5: Eingemessene Flickstellen auf der Bundesstraße B 10
- Bild 2.6: Bedienerdisplay der Firma Hamm
- Bild 2.7: Bedienerdisplay der Firma Bomag
- Bild 2.8: Bedienerdisplay der Firma Ammann
- Bild 2.9: Bedienerdisplay der Firma Trimble
- Bild 2.10: Bedienerdisplay der Firma Völkel
- Bild 3.1: Markierung der rechten Bandage während des Einbaus
- Bild 3.2: Fotodokumentation des Bedienerdisplays mit Koordinaten
- Bild 3.3: Fotodokumentation des Bedienerdisplays mit Koordinaten der Bandagenränder
- Bild 3.4: Abweichung zwischen den gemessenen GPS-Ortsdaten der Systemanbieter und dem unabhängigen GPS-System
- Bild 3.5: Messung der Temperatur an der Verteilerschnecke
- Bild 3.6: Einbautemperatur der Asphaltbinderschicht AC 16 BS an der Verteilerschnecke mit den Anforderungswerten der ZTV Asphalt-StB
- Bild 3.7: Einbautemperaturen der Asphaltdeckschicht (SMA 11 S) an der Verteilerschnecke mit den Anforderungswerten der ZTV Asphalt-StB
- Bild 3.8: Messungen der Temperatur während der Dichtemessungen mit der Troxlersonde
- Bild 3.9: Abkühlverhalten der Oberflächentemperatur der Asphaltbinderschicht (Messungen mit dem Infrarotthermometer)
- Bild 3.10: Abkühlverhalten der Oberflächentemperatur der Asphaltdeckschicht (Messungen mit dem Infrarotthermometer)
- Bild 3.11: Mischgutentnahme auf der Bundesstraße B 10 an der Verteilerschnecke des Fertigers
- Bild 3.12: Mischgutentnahme auf der Bundesstraße B 10 an der Verteilerschnecke des Fertigers
- Bild 3.13: Messung der Vorverdichtung durch den Fertiger mittels Troxlersonde
- Bild 3.14: Messung der Dichte mit der Troxlersonde während des Einbaus
- Bild 3.15: Erreichte Verdichtungsgrade der Deck- und Binderschicht nach Einbau durch den Fertiger auf der Bundesstraße B 10
- Bild 3.16: Position der Kamera zur Dokumentation des Bauablaufs und der Walzübergänge
- Bild 4.1: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung (blau) und den Messungen mit der Isotopen-sonde (rot); Station: R1
- Bild 4.2: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung (blau) und den Messungen mit der Isotopen-sonde (rot), Station: R 1
- Bild 4.3: Schlackeentnahme auf der Bundesstraße B 10
- Bild 4.4: Prinzip des Spannungsverlaufes [6]
- Bild 4.5: Versuchsaufbau des Druck-Schwellversuchs

- Bild 4.6: Mit Graphit beschichteter Probekörper
- Bild 4.7: Impulskriechkurve aus einem Druck-Schwellversuch mit Wendepunkt (oben) und ohne Wendepunkt (unten) [6]
- Bild 4.8: Dehnungen der Probekörper aus der Asphaltbinderschicht in Abhängigkeit von den Lastwechseln
- Bild 4.9: Dehnungen der Probekörper aus der Asphaltbinderschicht nach 10.000 LW
- Bild 4.10: Dehnungsraten der Probekörper aus der Asphaltbinderschicht in Abhängigkeit von den Lastwechseln
- Bild 4.11: Dehnungsraten der Probekörper aus der Asphaltbinderschicht nach 10.000 LW
- Bild 4.12: Abhängigkeit zwischen den Dehnungsraten bei 10.000 LW und dem Verdichtungsgrad der Probekörper aus der Asphaltbinderschicht
- Bild 4.13: Dehnungen der Probekörper aus der Asphaltdeckschicht in Abhängigkeit von den Lastwechseln
- Bild 4.14: Dehnungen der Probekörper aus der Asphaltdeckschicht im Wendepunkt
- Bild 4.15: Dehnungsraten der Probekörper aus der Asphaltdeckschicht in Abhängigkeit von den Lastwechseln
- Bild 4.16: Dehnungsraten der Probekörper aus der Asphaltdeckschicht im Wendepunkt
- Bild 4.17: Abhängigkeit zwischen den Dehnungsraten im Wendepunkt und dem Verdichtungsgrad der Probekörper aus der Asphaltdeckschicht
- Bild 4.18: Zusammenhang zwischen Dehnungsrate, Spurrinntiefenrate und ertragbaren Achsübergängen nach KARCHER (bearbeitet)
- Bild 4.19: Zusammenhang zwischen Verdichtungsgrad und Nutzungsdauer der Asphaltdeckschicht
- Bild 5.1: Zusammenhang zwischen Messzeit und Anzahl der Einzelmessungen für Troxlermessungen [10]
- Bild 5.2: Darstellung der Vorverdichtung der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) durch den Fertiger mittels Isotopensonde
- Bild 5.3: Darstellung der Vorverdichtung der Asphaltdeckschicht (SMA 11 S) durch den Fertiger mittels Isotopensonde
- Bild 5.4: Darstellung der Vorverdichtung der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) durch den Fertiger mittels Isotopensonde in Abhängigkeit von den Entnahmequerschnitten
- Bild 5.5: Darstellung der Vorverdichtung der Asphaltdeckschicht (SMA 11 S) durch den Fertiger mittels Isotopensonde in Abhängigkeit von den Entnahmequerschnitten
- Bild 5.6: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt I, Feld R (AC 16 BS)
- Bild 5.7: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt II, Feld R (AC 16 BS)
- Bild 5.8: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt I, Feld R (SMA 11 S)
- Bild 5.9: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt II, Feld R (SMA 11 S)
- Bild 5.10: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt I, Feld A (AC 16 BS)
- Bild 5.11: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt II, Feld A (AC 16 BS)
- Bild 5.12: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt I, Feld A (SMA 11 S)
- Bild 5.13: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt II, Feld A (SMA 11 S)

- Bild 5.14: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt I, Feld B (AC 16 BS)
- Bild 5.15: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt II, Feld B (AC 16 BS)
- Bild 5.16: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt I, Feld B (SMA 11 S)
- Bild 5.17: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt II, Feld B (SMA 11 S)
- Bild 5.18: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt I, Feld C (AC 16 BS)
- Bild 5.19: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt II, Feld C (AC 16 BS)
- Bild 5.20: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt I, Feld C (SMA 11 S)
- Bild 5.21: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt II, Feld C (SMA 11 S)
- Bild 5.22: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt I, Feld D (AC 16 BS)
- Bild 5.23: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt II, Feld D (AC 16 BS)
- Bild 5.24: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt I, Feld D (SMA 11 S)
- Bild 5.25: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt II, Feld D (SMA 11 S)
- Bild 5.26: Darstellung aller Verdichtungsgrade der jeweiligen Bohrkernkerne aus der Asphaltbinderschicht der Bundesstraße B 10
- Bild 5.27: Darstellung aller Verdichtungsgrade der jeweiligen Bohrkernkerne aus der Asphaltdeckschicht der Bundesstraße B 10
- Bild 5.28: Darstellung aller Verdichtungsgrade in Abhängigkeit von den Feldern auf der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS)
- Bild 5.29: Darstellung aller Verdichtungsgrade in Abhängigkeit von den Feldern auf der Asphaltdeckschicht (SMA 11 S)

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1.1: Geforderte Verdichtungsgrade nach den ZTV Asphalt-StB in [%]
- Tab. 2.1: Geplante Mischgut- und Bohrkernentnahmestationen
- Tab. 2.2: Eingemessene Flickstellen auf der Bundesstraße B 10
- Tab. 2.3: Querneigung zwischen Station 4+286 und Station 4+365 mit Höhen der Messpunkte
- Tab. 3.1: 10%- und 90%-Quantile der Abweichungen zwischen den gemessenen GPS-Ortsdaten der Systemanbieter und dem unabhängigen GPS-System
- Tab. 3.2: Stationen der Entnahmestellen für Mischgut- und Bohrkernproben in den 5 Untersuchungsfeldern
- Tab. 4.1: Durchzuführende Laboruntersuchungen an den Proben aus der Bundesstraße B 10
- Tab. 4.2: Bindemittelgehalte an den jeweiligen Entnahmestationen auf der Bundesstraße B 10
- Tab. 4.3: Erweichungspunkte RuK an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10

- Tab. 4.4: Nadelpenetration an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10
- Tab. 4.5: Elastischen Rückstellungen an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10
- Tab. 4.6: Rohdichten des Asphaltmischguts an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10
- Tab. 4.7: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter R, Querschnitt A)
- Tab. 4.8: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Troxlersonde (Systemanbieter R, Querschnitt A)
- Tab. 4.9: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter R, Querschnitt B)
- Tab. 4.10: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter R, Querschnitt B)
- Tab. 4.11: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter A, Querschnitt A)
- Tab. 4.12: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Troxlersonde (Systemanbieter A, Querschnitt A)
- Tab. 4.13: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter A, Querschnitt B)
- Tab. 4.14: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter A, Querschnitt B)
- Tab. 4.15: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter B, Querschnitt A)
- Tab. 4.16: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Troxlersonde (Systemanbieter B, Querschnitt A)
- Tab. 4.17: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter B, Querschnitt B)
- Tab. 4.18: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter B, Querschnitt B)
- Tab. 4.19: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter C, Querschnitt A)
- Tab. 4.20: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Troxlersonde (Systemanbieter C, Querschnitt A)
- Tab. 4.21: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter C, Querschnitt B)
- Tab. 4.22: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter C, Querschnitt B)
- Tab. 4.23: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter D, Querschnitt A)
- Tab. 4.24: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Troxlersonde (Systemanbieter D, Querschnitt A)
- Tab. 4.25: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter D, Querschnitt B)
- Tab. 4.26: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter D, Querschnitt B)
- Tab. 4.27: Bezugsraumdichten an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10

- Tab. 4.47: Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxler-sonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter D, Querschnitt B)
- Tab. 4.48: Hohlraumgehalte am Marshall Probekörper an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10
- Tab. 4.49: Kennwerte der Probekörper aus der Asphaltbinderschicht für die Durchführung von Druck-Schwellversuchen
- Tab. 4.50: Kennwerte der Probekörper aus der Asphaltdeckschicht für die Durchführung von Druck-Schwellversuchen
- Tab. 4.51: Versuchsbedingungen des Druck-Schwellversuchs [6]
- Tab. 4.52: Dehnungsraten und Dehnungen für die Probekörper der Asphaltbinderschicht
- Tab. 4.53: Dehnungsraten und Dehnungen der Probekörper der Asphaltdeckschicht
- Tab. 4.54: Äquiv. 10-t-Aü gemäß den RStO 12
- Tab. 4.55: Ertragbare äquivalente Achsübergänge bis zum Erreichen einer Spurrinntiefe von 10 mm und Nutzungsdauern der Deckschichten
- Tab. 5.1: Klassifizierung der Übereinstimmung manuell und automatisch erfasster Verdichtungsübergänge bei Betrachtung von 12 Bohrkernentnahmestellen
- Tab. 5.2: Bewertung der Übereinstimmung manuell und automatisch erfasster Verdichtungsübergänge für die eingesetzten flächendeckenden Verdichtungskontrollsysteme auf der Asphaltbinderschicht
- Tab. 5.3: Bewertung der Übereinstimmung manuell und automatisch erfasster Verdichtungsübergänge für die eingesetzten flächendeckenden Verdichtungskontrollsysteme auf der Asphaltdeckschicht
- Tab. 5.4: Darstellung aller Verdichtungsgrade der jeweiligen Bohrkern aus der Asphaltbinderschicht der Bundesstraße B 10
- Tab. 5.5: Darstellung aller Verdichtungsgrade der jeweiligen Bohrkern aus der Asphaltbinderschicht der Bundesstraße B 10
- Tab. 5.6: Anzahl dynamischer Überfahrten der Walze A aller Systemanbieter auf der Asphaltbinderschicht
- Tab. 5.7: Anzahl dynamischer Überfahrten der Walze A aller Systemanbieter auf der Asphaltdeckschicht

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Bei der Verdichtung von Asphaltmischgut zu einer Schicht der Straßenbefestigung sollen durch den Eintrag von dynamischer und/oder statischer Verdichtungsarbeit die einzelnen Bestandteile eines Asphaltgemischs in einen optimal dichten Zustand umgelagert werden. Diesem Prozess, der einerseits ein Mindestverdichtungsmaß bereitstellen soll und andererseits gewährleisten muss, dass dabei keine Überverdichtung und somit ein Aufbau von hydrostatischem Druck erreicht wird, kommt eine herausgehobene Bedeutung zu: Sie ist von ausschlaggebendem Einfluss auf die Verformungsbeständigkeit der Schicht und auf die Tragfähigkeit des gesamten Oberbaus, und gleichzeitig ist das gleichmäßige und zielgerechte Erreichen der Verdichtungsanforderungen für die Dauerhaftigkeit der Ebenheit und Griffigkeit der Straßenoberfläche erforderlich.

Umso bedeutsamer ist es, dass die an die Verdichtung gestellten Anforderungen in der Praxis vielfach nicht erreicht werden. So wird beispielsweise in [1] behauptet, dass in den vergangenen drei Jahren mehr als 20 % der Deckschichten den geforderten Verdichtungsgrad nicht erzielten. Zugleich wird immer wieder beklagt, dass die Kontrolle der Verdichtung anhand von Bohrkernen im viel zu geringem Maß durchgeführt wird (i. d. R. eine Doppelprobe pro 6.000 m²).

Als Indikator für den Erfolg der Verdichtung wird gemäß den ZTV Asphalt-StB [2] der Verdichtungsgrad herangezogen. Dieser stellt das Verhältnis der ermittelten Raumdichte am Bohrkern und der als Referenzwert dienenden Raumdichte am Marshall-Probekörper dar und wird in den ZTV Asphalt-StB verbindlich als – durch das ARS 11/2012 nochmals verschärfter – Anforderungswert vorgeschrieben (Tabelle 1.1). Die Überprüfung der Verdichtungsleistung erfolgt bei diesem Vorgehen erst im Zuge der Kontrollprüfung, also nachdem der Einbauprozess bereits vollständig abgeschlossen ist.

Asphaltschicht			
Deck-schicht	Binder-schicht	Trag-schicht	Tragdeck-schicht
98 %*	98 %	98 %	97 %
* bis auf AC 5 D L mit weiterhin 97 %			

Tab. 1.1: Geforderte Verdichtungsgrade nach den ZTV Asphalt-StB in [%]

Auftraggeber und Auftragnehmer stehen dabei vor der Schwierigkeit, dass während des eigentlichen Asphalteinbaus keine messbaren Indikatoren zur Verdichtungsleistung bzw. zum Verdichtungserfolg ermittelt werden. Vielmehr erfolgt die Festlegung der notwendigen Walzübergänge und der dabei ausgeführten Verdichtungsart (z. B. Vibration) anhand von Erfahrungswerten der Baufirmen. Auch Messungen mit einer Troxler-sonde sind hier nicht hilfreich, da ihre Ergebnisse am Material kalibriert werden müssen und das Verfahren an sich nur ungenaue Ergebnisse liefert. Eine unzureichende Verdichtung kann deshalb erst nach Beendigung der Baumaßnahme durch die Kontrollprüfung festgestellt werden. Die Möglichkeit einer Nachverdichtung besteht zu diesem Zeitpunkt nicht mehr, eine geringere Lebensdauer der Straßenbefestigung muss in Kauf genommen werden.

Vor diesem Hintergrund und in dem Wissen um den Mangel, dass es dem Walzenfahrer trotz moderner Maschinenteknik auch heute noch an verlässlichen Informationen darüber fehlt, wie oft gewisse Bereiche überfahren wurden und welcher Verdichtungserfolg flächig erzielt wurde, werden von den großen Maschinenherstellern seit geraumer Zeit erhebliche Anstrengungen unternommen, um Verfahren zu entwickeln, die die erreichte Verdichtung bereits während des Einbauprozesses flächendeckend kontrollieren. Die vorhandenen Systeme sind in ihrer Entwicklung so weit fortgeschritten, dass sie Praxistauglichkeit erreicht haben. Dies bedeutet vom derzeitigen Stand des Wissens jedoch nur, dass die Verfahren weitgehend zuverlässig arbeiten und zu einer Erweiterung des Wissens über die erbrachte Verdichtungsarbeit während des Einbauprozesses beitragen. Ob damit auch ein zielgenauerer und homogenerer Verdichtungserfolg verbunden ist, konnte bislang nicht nachgewiesen werden. Somit fehlt es noch an wissenschaftlichen Untersuchungen, die sich gezielt mit der Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Systeme, der Reproduzierbarkeit sowie der Genauigkeit gegenüber dem „konventionellen“ Verfahren zur Bestimmung des Verdichtungsgrades beschäftigen.

1.2 Stand der Wissenschaft und Technik

1.2.1 Einflussgrößen auf die Verdichtung

Die Asphaltverdichtung ist von vielen exogenen und endogenen Randbedingungen wie der Lufttempe-

ratur, den Windverhältnissen, der Temperatur des Mischguts und der Unterlage, der Dicke der einzubauenden Schicht(en), der Wahl der richtigen Verdichtungsart (dynamisch/statisch), dem Abstand der Walze zum Fertiger oder der Mischgutzusammensetzung abhängig.

Grundsätzlich sind beim Einbau der verschiedenen Asphalttschichten die in den ZTV Asphalt-StB vorgegebenen Spannen der zulässigen Einbautemperaturen zu beachten. Diese dürfen beim Einbau und der Verdichtung weder unter- noch überschritten werden. Generell ist zu erkennen, dass bei einer höheren Einbautemperatur der gewünschte Verdichtungserfolg durch eine geringe Verdichtungsarbeit erbracht werden kann.

Weiterhin ist für die Verdichtbarkeit des Mischguts die jeweilige Zusammensetzung von großer Bedeutung. So ist für die Verdichtungsarbeit unter anderem die Adhäsion (innere Reibung) des Mischguts eine wichtige Einflussgröße. Mischgüter, welche hauptsächlich aus Rundkörnern bestehen, weisen einen deutlich geringeren Verdichtungswiderstand auf als Mischgüter mit hohem Anteil an gebrochenen Körnern. Des Weiteren wirkt sich ein höherer Bindemittelanteil zwar positiv auf die Verdichtbarkeit beispielsweise eines Asphaltbetons aus, führt aber bei der Standfestigkeit unter Umständen zu einem schnelleren Versagen.

Eine wichtige Rolle bei der Erreichbarkeit der geforderten Werte spielt auch die Unterlage, auf der die Asphalttschichten eingebaut werden sollen. Die tatsächlich vorhandenen Werte für die in den ZTV SoB-StB verankerten Anforderungen (Ebenheit, Verdichtungsgrad) beeinflussen den Verdichtungserfolg auf den darüber einzubauenden Schichten. Darüber hinaus erfordern die Einbaudicke der Asphalttschicht und die Geschwindigkeit des Einbaus (Fertiger und Walzen) besondere Berücksichtigung. Schichten größerer Dicke besitzen eine höhere Wärmespeicherkapazität und ermöglichen deshalb zusammen mit der Einbautemperatur maßgeblich eine größere Zeitdauer für die Verdichtung des Mischguts. Die Einbaudicke ist zudem auf das Größtkorn des Mischguts abzustimmen, um Kornzertrümmerungen, Behinderungen der Kornumlagerung und eine Beeinträchtigung der Verdichtungsfähigkeit zu vermeiden.

Die zu verwirklichende Geschwindigkeit des Straßenfertigers ist auf die Organisation der Baustelle abzustimmen. Vordringlich ist sie von den Zyklen

der Materialanlieferung und der Anzahl und Art der zur Verfügung stehenden Walzen abhängig. Insbesondere sind Leerläufe und Stillstände des Fertigers zu vermeiden, um einen homogenen Einbau zu gewährleisten. Grundsätzlich ist jedoch zu beachten, dass bei gleichbleibenden Rahmenbedingungen eine steigende Geschwindigkeit die Vorverdichtungsleistung durch den Fertiger reduziert.

1.2.2 Bisherige Projekte zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle

In den Forschungsprojekten [3] sowie dem Folgeprojekt [4] wurde der Praxiseinsatz zweier Systeme für die Flächendeckende Asphaltverdichtung (FDAV) auf einer Untersuchungsstrecke von der BASt wissenschaftlich begleitet. Wesentliche Untersuchungsparameter waren neben der Dokumentationsfähigkeit des Verdichtungsprozesses auch die Plausibilität der gewonnenen Ergebnisse sowie die Festlegung von Einsatzmöglichkeiten und -grenzen. Das realisierte Untersuchungsprogramm kann Bild 1.1 entnommen werden.

In der Auswertung der Untersuchungsstrecke konnten bei einer Asphalttragschicht und Asphaltbinder-schicht zumeist plausible Verläufe der ermittelten Verdichtungskennwerte in Abhängigkeit von den Walzübergängen festgestellt werden. Dies war bei der Asphaltdeckschicht nicht möglich, wobei die Ursachen (geringere Schichtdicke, höherer Einfluss der Unterlage, Einbaubedingungen) nicht eindeutig ausgewiesen werden konnten (Bild 1.2, VKW).

Weitere Defizite ergaben sich bei der Dokumentation der Daten: Einbauzeitpunkte, Anzahl der Über-

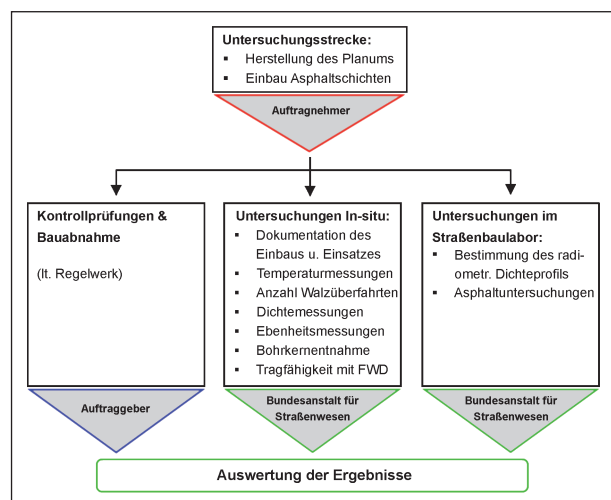


Bild 1.1: Untersuchungsprogramm nach JUNGELD & STÖCKERT, 2007

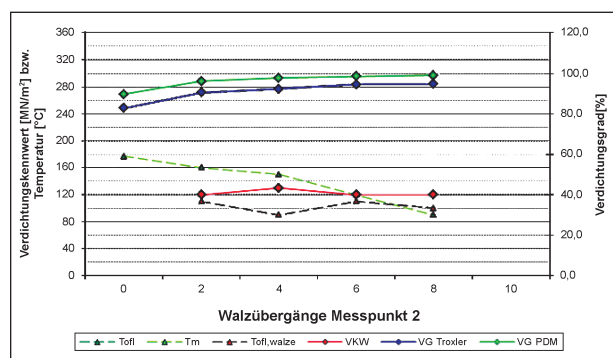


Bild 1.2: Verlauf des Verdichtungskennwertes (VKW) aus der FDAV mit dem Verdichtungsgrad (VG) aus Messungen mit der Troxler-sonde und der PDM-Sonde

fahrten sowie die Verdichtungskennwerte ließen sich nicht immer widerspruchsfrei nachvollziehen, was jedoch eine Grundvoraussetzung für eine flächendeckende Verdichtungskontrolle ist. Auch die Schulung bzw. Bereitschaft des Walzenführers, sich von einem entsprechenden System unterstützen zu lassen, hatte erkennbaren Einfluss auf die Einbauqualität. Das gilt in gleicher Weise für die Temperatur des zu walzenden Mischguts, allerdings ließ sich aus den verfügbaren Daten keine Temperaturuntergrenze formulieren, bis zu der eine hinreichend genaue Messung mit Systemen zur FDAV möglich war.

1.2.3 Wirtschaftliche, wissenschaftliche und technische Bedeutung

Die ausreichende und homogene Verdichtung übt den maßgeblichen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit einer Asphaltbefestigung aus. Eine optimal verdichtete Schicht besitzt einen hohen Verdichtungs-widerstand und wird deshalb während der Nutzungsdauer von örtlichen Verformungs- und Nachverdichtungsschäden weitgehend verschont bleiben. Darüber hinaus gewährleistet eine hohe Verdichtung in Zusammenarbeit mit einer entsprechenden Rezeptur des Mischguts eine dichte Schicht, wodurch ein Eindringen von Wasser verhindert und dem Risiko eines Verlusts von Haftung zwischen Bindemittel und Gestein sowie der Gefahr von Frostschäden entgegengewirkt wird. Hohe Verdichtung steht aber auch für ein besseres Ermüdungsverhalten der erstellten Schicht – eine Eigenschaft, die insbesondere der Asphalttragschicht zugutekommt. Durch eine hohe Verdichtung wird also die Nutzungsdauer einer Schicht oder gar einer Befestigung erhöht und Kosten für vorzeitige Instandsetzungs- oder gar Erneuerungsmaßnahmen vermieden.

Derzeit werden die Anforderungen an die Verdichtung nur an wenigen Punkten einer Maßnahme überprüft. Dabei werden zudem Bohrkern entnommen, wodurch das neu erstellte Bauwerk geschädigt wird. Die flächendeckende Verdichtungskontrolle arbeitet demgegenüber zerstörungsfrei und liefert zusätzlich eine Verteilung der Dichte über den gesamten Einbaubereich. Sollten diese Systeme zielgerichtet eingesetzt werden, dient das somit dem Auftraggeber, es sichert aber auch den Auftragnehmer ab, weil dieser seine Verdichtungsleistung bereits während des Einbaus überwachen und regeln kann. Hierdurch wird wiederum auch der Gefahr der Überverdichtung entgegnet.

1.3 Methodik des Forschungsprojekts

Das Forschungsprojekt ist in die folgenden drei Projektteile strukturiert:

- Begleitung einer Baumaßnahme, bei der mehrere Verfahren der flächendeckenden Verdichtungskontrolle angewendet werden,
- labortechnische Untersuchung des Asphaltmaterials, das verschiedenen Einbauabschnitten sowie unterschiedlichen Schichten entnommen wird, und
- Auswertung der im Zuge der Baumaßnahme aufgenommenen Daten hinsichtlich der Verdichtung und der örtlichen Zuordnung sowie der Ergebnisse der Laboruntersuchungen.

Die Auswertung verfolgt das Ziel aufzuzeigen, wie sich die flächendeckende Verdichtungskontrolle unter Einbeziehung neuer technologischer Möglichkeiten wie Telemetrie, GPS-Positionierung, moderner Datenverarbeitung und -vermittlung sowie verbesserter Maschinenteknik auf die Einbauqualität auswirkt.

1.3.1 Begleitung der Baumaßnahme

Die im Forschungsprojekt zu begleitende Baumaßnahme bei Pirmasens wird durch eine Baufirma durchgeführt, die für die Verdichtung der einzubauenden Schichten vier Verfahren der flächendeckenden Asphaltverdichtung anwendet. Hierfür stellen die Hersteller der Verdichtungssysteme jeweils eigene Walzen zur Verfügung.

Zur Koordination der Arbeitsvorgänge vor Ort sowie zur Sicherstellung einheitlicher Randbedingungen

werden im Vorfeld der Maßnahme mehrere Start-up-Gespräche zwischen der Bauverwaltung, den Walzenherstellern und dem Forschungsnehmer durchgeführt. Hierbei werden auch detaillierte Arbeitspläne entworfen, die sowohl die Anzahl und Anordnung der Testfelder und die einzelnen Arbeitsschritte als auch deren zeitlichen Ablauf verbindlich festlegen.

Vom Forschungsnehmer wird dabei weiterhin ein Konzept vorgestellt und abgesprochen, wie, welche und in welchem Umfang projektbegleitend Daten erhoben werden. Dies betrifft beispielsweise die auf der Grundlage der Erfahrungen, die bei der Erstellung eines Referenzfeldes ohne flächendeckende Verdichtungskontrolle gesammelt werden konnten, festzulegende feste Walzübergangszahl für alle Felder sowie deren Kontrolle. Darüber hinaus werden aber auch die Überprüfung der Einbautemperatur und der Verdichtung mittels Troxler-sonde definiert.

Der Einbau sowie die Verdichtung der Asphalt-schichten wird während der gesamten Bauphase vom Institut für Straßenwesen der Universität Siegen wissenschaftlich begleitet. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts richtet sich das Hauptaugenmerk auf die Überprüfung der Verdichtungsleistung und die Aufzeichnung der Verdichtungs- und Ortungsdaten der verschiedenen Walzen. Der Verdichtungsverlauf und -erfolg ist aber von verschiedenen Faktoren abhängig, die deshalb

als Randbedingungen mit dokumentiert und überprüft werden müssen. Hierzu zählen

- die Anzahl der Überrollungen,
- die Schichtdicken,
- die Mischguttemperatur und
- die Witterungsverhältnisse sowie das Abkühlverhalten der Schicht.

Entsprechende Daten werden während des Einbaus kontinuierlich gemessen und dokumentiert.

Weiterhin haben

- die Mischgutzusammensetzung,
- die eingesetzten Verdichtungsgeräte (Walzen),
- die Art der angewendeten Verdichtung (mit/ohne Vibration, Amplitude, Frequenz) sowie
- das eingesetzte System der Verdichtungskontrolle

maßgeblichen Einfluss auf den Verdichtungserfolg und werden dokumentiert.

Um später die Mischgutzusammensetzung bestimmen zu können, werden aus der Verteilerschnecke des Fertigers Mischgutproben an vorher jeweils den gleichen Stationen sowohl für die Binder-, als auch die Deckschicht entnommen. Zusammenfassend werden baubegleitend die in Tabelle 1.2 dargestellten Kennwerte bestimmt.

Parameter	Verdichtungskontrollsystem	Absicherung
Mischguttemperatur	–	Messung mit Einstichthermometer
Abkühlverhalten der Schicht	Messung der Schichtoberflächentemperatur	Messung der Schichttemperatur mit Einstichthermometer und Infrarotmessung
Schichtdicke	Vorgabedaten	Stichprobenmessungen und Bohrkernaufnahmen
eingesetzte Walzen	–	definiert/bekannt
eingesetztes System der Verdichtungskontrolle	klare Feldzuordnung	–
Verdichtungsart (m./o. Vibration, Amplitude, Frequenz)	speichert Daten	–
Anzahl der Walzübergänge	speichert Daten	Videoaufzeichnungen
aktueller Ort	speichert Daten	Videoaufzeichnungen und eigene GPS-Einmessung
Verdichtung	steifigkeitsähnliche Messwerte*	Troxler-Messungen und Dichtebestimmung am Bohrkern
Verformungswiderstand	steifigkeitsähnliche Messwerte*	Druckschwellversuche
Mischgutzusammensetzung/ Materialkennwerte	Vorgabematerialdaten	Prüfungen im Umfang einer Kontrollprüfung
* Messwerte der Beschleunigungsmesser an den Walzenbandagen		

Tab. 1.2: Daten der baubegleitenden Messungen und der Laboruntersuchungen

Um die Verdichtung zu kontrollieren und Probekörper für weitere Laborversuche zu gewinnen, werden aus den jeweiligen Testfeldern Bohrkern entnommen. Diese werden an denselben Stationen gewonnen, an denen auch das Mischgut aus der Verteilerschnecke entnommen wurde. Die Koordinaten der Entnahmestellen werden mittels Global Positioning System (GPS) bestimmt, um für die Datenauswertung die Überlagerung der Bohrkernuntersuchungen mit den Daten der einzelnen Walzen sicherzustellen.

1.3.2 Labortechnische Untersuchungen

An den Mischgutproben und den Bohrkernen werden die im Rahmen einer Kontrollprüfung üblichen Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse zur Zusammensetzung der Asphalte und ihre Materialkennwerte dienen der Überprüfung des angelieferten Mischguts.

Anhand der Dichtekennwerte der einzelnen Schichten und der Verrechnung mit der Bezugsraumdicke wird der Verdichtungserfolg an 12 Bohrkernen je Schicht und Einbaufeld ermittelt und steht somit für einen Vergleich mit den Verdichtungskennwerten der Systeme zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle zur Verfügung.

Im Weiteren werden aus einer Reihe von Bohrkernen Probekörper für die Durchführung von Druckschwellversuchen gewonnen. Die Auswertung dieser Versuche soll aufzeigen, ob die Verdichtung mit unterschiedlichen Walzen und verschiedenen Kontrollsystemen in den einzelnen Feldern zu unterschiedlichen Verformungswiderständen geführt hat.

Auswertung der Untersuchungen

Im Zentrum der Auswertung liegt die Beurteilung der Verdichtungsleistung in den angelegten Versuchsfeldern untereinander und in Bezug auf ein Bezugsfeld, das ohne flächendeckende Verdichtungskontrolle erstellt wurde. Dies wird anhand eines Vergleichs der ermittelten Verdichtungsgrade mit den von den Systemen abgelegten abschließenden Daten zum Verdichtungserfolg vollzogen. Da alle Bohrkern – wie beschrieben – die gleiche und vorgegebene Anzahl von Walzübergängen erfahren haben, sollten die resultierenden Verdichtungsgrade vergleichbare Größenordnungen aufweisen. Allein die unterschiedliche aktuelle Schichttemperatur bei jedem Walzübergang wird zu veränderten Verdichtungserfolgen beitragen.

In einem weiteren Auswertungsschritt wird der Frage nachgegangen, ob der Einsatz von Systemen zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle zu einer größeren Homogenität der Verdichtung über die Fläche führt. Hierzu werden neben den 12 Dichtebestimmungen an Bohrkernen je Abschnitt die auf der Deckschicht durchgeführten Messungen mit der Troxlersonde und die Aufzeichnungen der Messsysteme über alle fünf Felder hinweg miteinander verglichen. Dabei werden auch die Ergebnisse der Messsysteme untereinander relativ betrachtet.

Ergebnisse von Druckschwellversuchen sollen aufzeigen, ob sich entweder bei unterschiedlichen Verdichtungserfolgen entsprechende Auswirkungen auf den Verformungswiderstand oder bei gleichen Verdichtungserfolgen unterschiedliche Verdichtungswiderstände ergeben.

2 Bauvorbereitende Maßnahmen

2.1 Gegebenheiten

Die für dieses Forschungsprojekt vorgesehene Untersuchungsstrecke befindet sich auf der Bundesstraße B 10 zwischen Pirmasens und Landau (Waldfriedhof und Münchweiler). Die auf dieser Strecke durchzuführende Erneuerung der Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht wurde im Vorfeld des Projekts vom Landesbetrieb Mobilität Rheinland Pfalz in Absprache mit der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) insbesondere aufgrund der geographischen Randbedingungen, der Breite von 6,50 m sowie der Länge des gesamten Streckenabschnitts von mehr als 5 km als geeignete Maßnahme für einen Vergleich der unterschiedlichen Systeme zur flächendeckenden Asphaltverdichtungskontrolle ausgewählt. Somit stehen für den Einbau der beiden Schichten für alle vier Systemanbieter jeweils eine Strecke von 1.000 m und zusätzlich ein Referenzfeld der gleichen Länge zur Verfügung. Bild 2.1 stellt die Versuchsstrecke im örtlichen Zusammenhang dar.



Bild 2.1: Geografische Lage der Bundesstraße B 10 [5]

2.2 Projektplanung

2.2.1 Festlegung der Testfelder

Für die Beurteilung der einzelnen Messsysteme zur Verdichtungskontrolle wurde die gesamte Messstrecke in jeweils gleich große Abschnitte für jeden beteiligten Systemhersteller sowie ein Referenzfeld unterteilt. Letztes wird ohne den Einsatz von Verdichtungskontrollsystemen hergestellt und dient damit als Grundlage für die Beurteilung des Verbesserungspotenzials, das durch den Einsatz von flächendeckenden Verdichtungskontrollsystemen erreicht werden kann.

In Bild 2.2 ist die vorgenommene Einteilung der Testfelder (A – D) sowie des Referenzfeldes mit den jeweiligen Stationierungen dargestellt. Zwischen den einzelnen Messstrecken wurde ein Übergangsbereich vorgesehen, der es ermöglicht, die Walzen eines Herstellers von der Messstrecke zu entfernen, ohne andere Felder zu befahren, und parallel die Walzen eines anderen Herstellers auf die sich anschließende Messstrecke zu fahren. Auch diese Übergangsbereiche müssen selbstverständlich die nach den ZTV Asphalt-StB gestellten Anforderungen erfüllen, sind aber nicht Gegenstand des Forschungsprojekts.

Eine genaue Aussage zu den Untergrundverhältnissen, also den Steifigkeiten oder der Tragfähigkeit der Asphalttragschicht war aufgrund fehlender Informationen nicht im ausreichenden Maße möglich.

Ebenfalls wurde bei der Einteilung der Testfelder durch den Forschungsnehmer bzw. den Betreuungsausschuss festgelegt, dass alle Felder durch die gleiche Arbeitskolonne eingebaut und verdichtet werden sollen. Lediglich die Verdichtungsgeräte

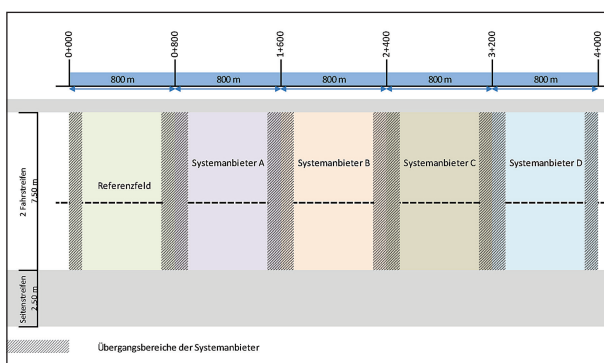


Bild 2.2: Einteilung der Testfelder inklusive deren Abschnitte auf der zu begleitenden Baumaßnahme auf der Bundesstraße B 10

werden im Rahmen des Forschungsprojekts variiert. Weiterhin wurde seitens der ausführenden Bauunternehmung ein Richtwert von ca. 4 Walzübergängen (3 dynamisch, eine statisch) als Anhaltspunkt gegeben.

2.2.2 Festlegung von Art und Umfang der zu erhebenden Daten

Zur Erreichung des Projektziels sind umfangreiche Daten für die Verdichtung, den Verdichtungserfolg und die Zuordnung der verschiedenen Messpunkte aufzuzeichnen. Besonderes Augenmerk ist dabei darauf zu richten, dass diese Kennwerte von vier unterschiedlichen Kontrollsystemen erfasst und dokumentiert werden und dass diese Daten durch ein unabhängiges weiteres System relativ betrachtet werden müssen. Die örtliche Zuordnung der Verdichtungskennwerte wird deshalb durch ein ergänzendes GPS-System durch das Institut für Straßenwesen vollzogen. Da ein ständiger Abgleich der Systeme während des Einbaus nicht gewährleistet werden kann, wird nach einer systeminternen Vergleichsmessung (Kapitel 2.3) eine regelmäßige Überprüfung der GPS-Einrichtungen der Verdichtungskontrollsysteme (3 mal pro Walze und Schicht) durchgeführt.

Zu den wichtigsten Kenngrößen des Einbaus bzw. des Verdichtungserfolgs zählen zum einen die Einbautemperatur des Asphaltmischguts, die Umgebungstemperatur und die Witterungsverhältnisse, auf der anderen Seite die Art der Walzen, die Verdichtungsart (statisch, vibrierend) sowie die Anzahl der Walzübergänge. An allen Einbautagen werden deshalb die Witterungsdaten (Wind, Luftdruck, Lufttemperatur, ...) aufgezeichnet. Darüber hinaus werden während des Einbauvorgangs die Temperaturen des Mischguts nach jeweils 25 bis 50 m Einbaustrecke an der Verteilerschnecke gemessen und dokumentiert.

Die Oberflächen- bzw. Schichttemperaturen werden während des Verdichtungsprozesses mit Hilfe von Infrarot- und Einstichthermometer erfasst. Ziel ist dabei die Aufzeichnung der Abkühlung des Mischguts während der Verdichtung durch die Walzen. Durch parallel durchgeführte Dichtemessungen mit der Troxler-sonde nach definierten Walzübergängen wird der Verdichtungserfolg unter den gegebenen Temperaturbedingungen abgebildet.

Die von den Verdichtungskontrollsystemen dokumentierten Walzenkennwerte wurden im Vorfeld der

Baumaßnahme zwischen allen Beteiligten abgestimmt. Die Erfassung der Walzübergangszahl an bestimmten, innerhalb des Forschungsprojekts hinsichtlich der Verdichtung zu überprüfenden Punkten wird zum einen durch das Verdichtungssystem erfasst und zum anderen durch GPS-Messungen durch das Institut für Straßenwesen validiert. Für die Klärung von eventuell auftretenden Unplausibilitäten bei der Datenerfassung wird die gesamte Baumaßnahme ständig durch eine am Rand der Fahrbahn positionierte Videokamera aufgezeichnet.

2.2.3 Festlegung Entnahmestellen für das Mischgut sowie die Bohrkern

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für den Projekterfolg liegt darin, dass für alle Systemanbieter annähernd gleiche Grundvoraussetzungen geboten werden. Die Festlegung der Stationen für die Mischgut- bzw. Bohrkernentnahme bedarf einiger grundlegender Überlegungen.

Hinsichtlich der Längsneigung gestaltet sich eine Einteilung der Entnahmebereiche ab Kilometer 1+000 problemlos. Um gleichbleibende Bedingungen für alle am Forschungsprojekt beteiligten Systemanbieter zu gewährleisten, wird jedem ein Feld von 1.000 m Länge zugewiesen. Auf jedem dieser Felder wird eine Einlauf- (200 m) und Auslaufphase (100 m) zur Verfügung gestellt und eine Beprobung des Querschnitts somit, die im Weiteren nicht beprobt wird. Für eine Bewertung des Verdichtungs Erfolgs stehen somit jeweils die Bereiche zwischen den Feldstationen 0+200 bis 0+900 zur Verfügung. Die Beprobungen werden an den in Tabelle 2.1 zusammengestellten Stationen vorgesehen, können jedoch durch baubedingte Faktoren während der Bauausführung kurzfristig verändert werden.

Referenzfeld	0+300
	0+700
Feld 1	1+300
	1+700
Feld 2	2+300
	2+700
Feld 3	3+300
	3+700
Feld 4	4+300
	4+700

Tab. 2.1: Geplante Mischgut- und Bohrkernentnahmestationen

2.3 Systeminterne Vergleichsmessungen

Während des Verdichtungsvorgangs auf der Baustelle wird die Position der Walzen permanent über ein GPS-System aufgezeichnet und zusammen mit den Verdichtungsdaten (Temperatur, Übergangszahl usw.) verknüpft dokumentiert. Um während und nach der Baustellendurchführung eine durchweg verlässliche Verortung der Daten gewährleisten zu können, wurden verschiedene bauvorbereitende und -begleitende Maßnahmen für die Qualitätssicherung ergriffen. So wurden vom Institut für Straßenwesen zehn Festpunkte über den gesamten Streckenverlauf der Maßnahme definiert und eingemessen. Hierfür und auch für die Messungen während der Baumaßnahme stand dem Institut für Straßenwesen ein mobiles Messgerät der Firma Trimble mit folgenden Komponenten zur Verfügung:

- Trimble SPS985,
- Korrekturdatenservice „Trimble VRS Now“,
- Navstar GPS, GLONASS.

In Bild 2.3 sind die Festpunkte des Instituts für Straßenwesen (rot) und die Fixpunkte des Landesamtes für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz (grün) auf der Bundesstraße B 10 (Bild 2.4) dargestellt. Einzelne der rot dargestellten Festpunkte wurden täglich vom Institut für Straßenwesen abgesteckt, um zu überprüfen, ob es bereits während der Baumaßnahme zu systeminternen Abweichungen kommen kann. Bei diesen Überprüfungen der einzelnen Messpunkte wurde eine maximale tagesabhängige Abweichung von 1,2 cm festgestellt. Somit kann für das Messgerät des Instituts für



Bild 2.3: Dokumentation der Festlegung von Festpunkten auf der Bundesstraße B 10

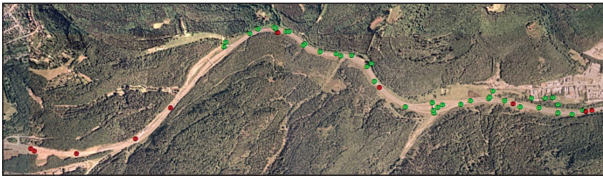


Bild 2.4: Geodätische Festpunkte auf der Bundesstraße B 10 [6]

Straßenwesen eine tagesabhängige Abweichung von maximal 2 cm abgeschätzt werden.

Weiterhin wurden durch das Institut für Straßenwesen die vom Landesamt für Vermessung und Geobasisinformationen gelieferten Fixpunkte (300339, 300490, 300491 und 300492) mehrmals abgesteckt und überprüft. Die dabei festgestellte maximale Abweichung der gemessenen Koordinaten gegenüber denen des Landesamtes betrug ca. ± 10 cm. Somit kann eine Abweichung der GPS-Messungen mit dem durch das Institut für Straßenwesen eingesetzten Trimble-System und voraussichtlich auch mit den durch die Verdichtungskontrollsysteme verwendeten GPS-Messsysteme innerhalb dieser Größenordnung als erwartungskonform angesehen werden.

2.4 Visuelle Begutachtung der Messstrecke vor dem Einbau

Nach dem Ausbau der vorhandenen Deck- und Binderschicht wurde am 26.07.2013 eine visuelle Begutachtung der Versuchsstrecke durch Mitarbeiter des Instituts für Straßenwesen durchgeführt. Bei der visuellen Begutachtung wurden inhomogene Bereiche auf der Asphalttragschicht – hervorgerufen beispielsweise durch die Behebung einer Schadstelle auf einem kurzen Abschnitt – mittels eines GPS-Systems der Firma Trimble eingemessen (Bild 2.5), um eine Zuordnung dieser Bereiche auch nach dem Einbau noch dokumentieren zu können. Auf diese Weise sollten auffällige spätere Verdichtungserfolge auf der Binder- und Deckschicht nachvollzogen werden können.

Insgesamt wurden bei der visuellen Begutachtung 22 Flickstellen eingemessen (Tabelle 2.2). Darüber hinaus wurden in einem als potenziell kritisch betrachteten Bereich zwischen den Stationen 4+200 und 4+400 die Querneigungen aufgenommen, um auch ihren Einfluss auf die Verdichtung im Bedarfsfall klären zu können (Tabelle 2.3).



Bild 2.5: Eingemessene Flickstellen auf der Bundesstraße B 10

Flickstelle	Station		Fahrstreifen
	von	bis	
1	0+115	0+144	1
2	0+755	0+812	1/2
3	0+877	0+922	1/2
4	0+954	0+969	1/2
5	1+003	1+046	1/2
6	1+072	1+102	1
7	1+118	1+136	1/2
8	1+300	1+325	1
9	1+533	1+569	1
10	1+630	1+684	2
11	1+828	1+844	1/2
12	2+056	2+084	1
13	2+105	2+148	1
14	2+871	2+291	1/2
15	3+071	3+105	1
16	3+148	3184	1
17	3+544	3+912	1/2
18	3+966	4+001	1/2
19	4+064	4+073	2
20	4+172	4+213	2
21	4+235	4+245	2
22	4+601	4+645	1

Tab. 2.2: Eingemessene Flickstellen auf der Bundesstraße B 10

Station	Messpunkt	1	2	3
4+286	Höhe	284,711	284,812	284,842
Querneigung		2,48 %		-0,85 %
4+294	Höhe	284,668	284,742	284,756
Querneigung		1,77 %		0,39 %
4+305	Höhe	284,625	284,663	284,663
Querneigung		0,88 %		0,02 %
4+315	Höhe	284,619	284,609	284,561
Querneigung		-0,25 %		-1,35 %
4+325	Höhe	284,588	284,529	284,452
Querneigung		-1,70 %		-1,99 %
4+335	Höhe	284,546	284,462	284,373
Querneigung		-2,52 %		-2,26 %
4+345	Höhe	284,468	284,399	284,298
Querneigung		-2,23 %		-2,44 %
4+355	Höhe	284,390	284,313	284,227
Querneigung		-2,52 %		-2,05 %
4+365	Höhe	284,267	284,251	284,097
Querneigung		-0,48 %		-3,93 %

Tab. 2.3: Querneigung zwischen Station 4+286 und Station 4+365 mit Höhen der Messpunkte

2.5 Analyse der Systeme zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle

Das Messprinzip der flächendeckenden Verdichtungskontrolle beruht auf der Messung von einer durch die dynamische Schwingung der Walzentrommel eingebrachten Verformung mittels an der Walzenbandage installierter Beschleunigungsaufnehmer. Diese Informationen werden durch verschiedene Algorithmen systemabhängig zu quasi-physikalischen Kenngrößen umgerechnet, die Aufschluss über den Verdichtungserfolg geben können.

Während des Verdichtungsprozesses muss die Position der Walze ständig mittels GPS aufgezeichnet werden. Hierzu werden verschiedene Ortungssysteme verwendet, die es in Kombination mit den Verdichtungsdaten erlauben, dem Walzenfahrer in Echtzeit die Anzahl der bereits getätigten Überrollungen oder den erzielten Verdichtungserfolg flächenhaft darzustellen.

Es existieren von verschiedenen großen Baumaschinenherstellern eigens entwickelte Systeme zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle. Zu den wichtigsten Systemen gehören



Bild 2.6: Bedienerdisplay der Firma Hamm

- Hamm Compaction Quality (HCQ) der Firma Hamm,
- Asphalt Manager der Firma Bomag (BCM 05/ BCM Net),
- Ammann Compaction Expert PLUS (ACE PLUS) der Firma Ammann,
- Cat Compaction Control (CCC) der Firma Caterpillar.

Hamm Compaction Quality (HCQ) der Firma Hamm

Das „Hamm Compaction Quality System“ der Firma Hamm basiert wie die meisten der flächendeckenden Kontrollsysteme auf der Verwendung von Beschleunigungsaufnehmern zur Aufzeichnung der aus einer durch die Walze eingebrachten dynamischen Last resultierenden Verformung. Hieraus wird der systemspezifische HMV-Verdichtungskennwert abgeleitet, welcher Aufschluss über den Verdichtungserfolg geben kann.

Die geräte- und messtechnische Umsetzung erfolgt in Form eines Basismoduls mit der Bezeichnung HCQ-Indikator. Dieses ermöglicht die kontinuierliche Kontrolle der Verdichtungsleistung und Messung der Asphalttemperatur vor und hinter der Walze sowie die visuelle Umsetzung auf einem Display. Weiterhin lassen sich auch Kennwerte wie die Amplitude, Frequenz und Fahrgeschwindigkeit aufzeichnen und darstellen.

Durch Verwendung eines Ortungssystems lässt sich die Position der Verdichtungsgeräte bestimmen, wodurch sich die Anzahl an Überrollungen bestimmter Bereiche darstellen und protokollieren lässt. In Bild 2.6 ist das verbaute Bedienerdisplay der Firma Hamm dargestellt.

Bei dem eingesetzten System der Firma Hamm wurden die einzelnen Verdichtungsgeräte untereinander vernetzt, sodass die Walzenfahrer nicht nur ihre eigene Arbeit sondern auch die eingebrachte Verdichtungsleistung der anderen Walzen angezeigt bekam.

Asphalt Manager der Firma Bomag (BCM 05/ BCM Net)

Das System „Asphalt Manager“ der Firma Bomag, das aktuell in der Version II verfügbar ist, erlaubt es, die eingebrachte Verdichtungsenergie zu bestimmen und die Amplitude des Richtschwingersystems der Walze entsprechend den Anforderungen an die Verdichtung kontinuierlich und ohne das Eingreifen des Walzenfahrers anzupassen. Die Amplitudenanpassung basiert auf der Wechselwirkung zwischen dem dynamischen Verdichtungskörper – also der Walzenbandage – und der Steifigkeit der anstehenden Schicht, ausgedrückt durch den systemspezifischen dynamischen Steifigkeitsmodul E_{VIB} . Dadurch kann auf die Tiefenwirkung der Verdichtung Einfluss genommen werden, um beispielweise individuell auf inhomogene Unterlagen zu reagieren. Laut Herstellerangaben kann der E_{VIB} -Wert weiterhin bei einer Verdichtungstemperatur von mehr als 100 °C eine Korrelation zur Raumdichte der eingebauten Schicht genutzt werden.

Weiterhin können mit dem „Asphalt Manager“ unter Verwendung der herstellereigenen Systeme BCM 05 und BCM Net die aktuelle Position der Walze durch GPS-Ortung sowie über Infrarot die Temperatur der Asphaltoberfläche ermittelt und zusammen mit allen anderen Kennwerten auf einem Display visualisiert werden. In Bild 2.7 ist das Anwendungsdisplay der Firma Bomag dargestellt.



Bild 2.7: Bedienerdisplay der Firma Bomag

Auch bei dem verwendeten System der Firma Bomag wurden die einzelnen Verdichtungsgeräte untereinander vernetzt, sodass der dem Walzenfahrer angezeigte bisherige Verdichtungserfolg auch die eingebrachte Verdichtungsleistung der anderen Walzen beinhaltet.

Ammann Compaction Expert PLUS (ACE PLUS) der Firma Ammann

Das Prinzip des ACE PLUS Systems der Firma Ammann basiert auf der automatischen Anpassung der Verdichtungsenergie – also über die Frequenz, Amplitude und die Fahrgeschwindigkeit – in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit der Unterlage. Hierzu wird wiederum die aus der dynamischen Last der Bandage resultierende Einsenkung bestimmt und ins Verhältnis zur Verdichtungsenergie gesetzt. Aus diesem Verhältnis kann durch eine mathematische Transformation der herstellereigene Verdichtungskennwert k_B ermittelt werden, mit dem ein Rückschluss auf den Verdichtungsgrad bzw. die erreichte Steifigkeit möglich ist.

Parallel zur intelligenten Messwertgewinnung und -aufzeichnung verfügen die Verdichtungsgeräte der Firma Ammann über die Möglichkeit der GPS-Ortung. Durch die grafische Auswertung und Darstellung der Messdaten (Bild 2.8) ist eine schnelle Interpretation über die gesamte Messstrecke möglich.

Wie bei den vorgenannten Systemen wurde auch bei dem der Firma Ammann die einzelnen Verdichtungsgeräte untereinander vernetzt und damit die Anzeige des Gesamtverdichtungserfolgs aller Walzen ermöglicht.



Bild 2.8: Bedienerdisplay der Firma Ammann

Cat Compaction Control (CCC) der Firma Caterpillar

Auch die Firma Caterpillar verfügt über ein intelligentes flächendeckendes Messsystem, welches die Schlüsseldaten der Asphaltverdichtung aufzeichnet und dem Fahrer als visuelle Daten im Führerstand zur Verfügung stellt. Das Cat Compaction Control System basiert auf der Erfassung von GPS-gestützten Daten und überlagert diese mit der aufgezeichneten Anzahl an Übergängen. Dies ermöglicht dem Fahrer eine homogene und effiziente Verdichtung der anstehenden Schicht. Zusätzlich zu den Walzübergängen werden auch die Einbautemperaturen während der Verdichtung kontinuierlich aufgezeichnet.

Das CCC-System von Caterpillar befindet sich aktuell noch im Entwicklungsstadium und ist noch nicht serienmäßig in den von dem Baumaschinenhersteller angebotenen Walzen verbaut.

Bei der Firma Caterpillar kamen im Rahmen der Bauausführung zwei parallel laufende Messsysteme zum Einsatz: Zum einen ein System der Firma Trimble (Bild 2.9), zum anderen ein System der Firma Völkel Mikroelektronik (Bild 2.10).

Bei dem System der Firma Trimble lag keine Vernetzung der einzelnen Walzen mit einander vor, sodass nur die Verdichtungsleistung bzw. die Anzahl der eigenen Walze visuell dargestellt wurde. Beim System der Firma Völkel hingegen waren die Verdichtungsgeräte vernetzt.

3 Baubegleitende Maßnahmen

3.1 Durchführung von GPS-Vergleichsmessungen

Während der Baumaßnahme wurden verschiedene Vergleiche zwischen dem vom Institut für Straßenwesen eingesetzten Messsystem und denen der einzelnen Verdichtungskontrollsysteme durchgeführt. Dabei wurde im Hinblick auf die zu erreichende Einbauqualität (z. B. Ebenheit der Deckschicht) versucht, so wenig wie möglich in den Bauablauf einzugreifen. Während des Einbaus der Binderschicht wurden deshalb nur Markierungen für den rechten und linken Rand der Bandage (Bild 3.1) angebracht und zeitgleich eine fotografische Aufnahme des Kontrolldisplays in der Walzenkabine angefertigt (Bild 3.2 und Bild 3.3). Die vom System



Bild 2.9: Bedienerdisplay der Firma Trimble

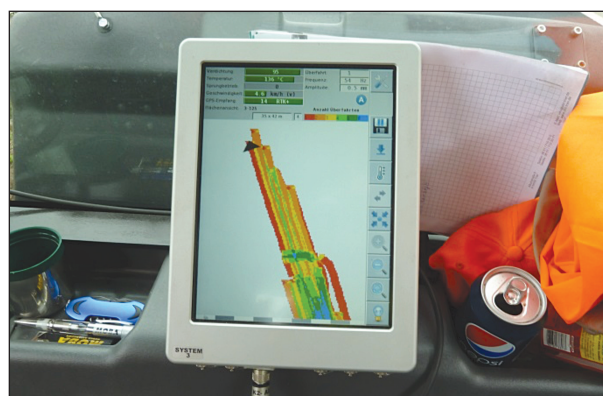


Bild 2.10: Bedienerdisplay der Firma Völkel



Bild 3.1: Markierung der rechten Bandage während des Einbaus



Bild 3.2: Fotodokumentation des Bedienerdisplays mit Koordinaten

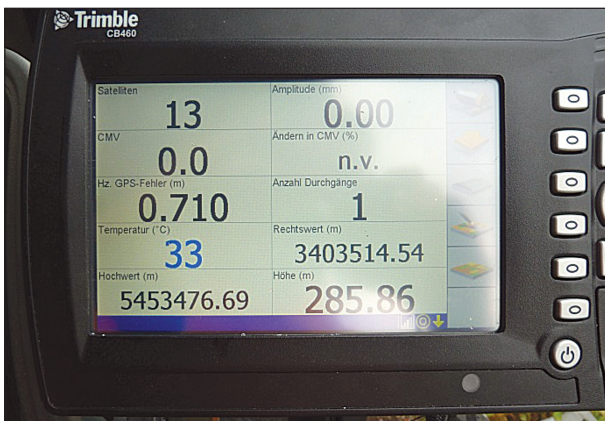


Bild 3.3: Fotodokumentation des Bedienerdisplays mit Koordinaten der Bandagenränder

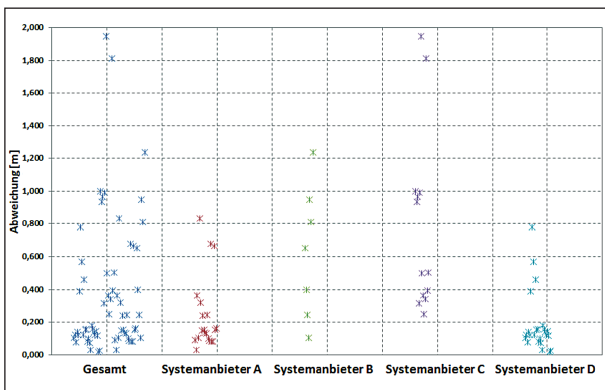


Bild 3.4: Abweichung zwischen den gemessenen GPS-Ortsdaten der Systemanbieter und dem unabhängigen GPS-System

		Systemanbieter			
Quantil	gesamt	A	B	C	D
10 %	0,08	0,08	0,18	0,32	0,04
90 %	0,95	0,67	1,06	1,64	0,43

Tab. 3.1: 10%- und 90%-Quantile der Abweichungen zwischen den gemessenen GPS-Ortsdaten der Systemanbieter und dem unabhängigen GPS-System

festgehaltenen Ortungsdaten wurden dann später durch eine Einmessung der Markierungen mit dem von Institut für Straßenwesen eingesetzten GPS-System validiert.

Entsprechende GPS-Vergleichsmessungen auf der Deckschicht konnten nicht während des Einbaus vorgenommen werden, da nicht ausgeschlossen werden konnte, dass ein kurzer Stillstand des Verdichtungsgeräts auf der Deckschicht eine potentielle Schadstelle in Bezug auf die Ebenheit verursachen konnte. Somit wurden die Vergleichsmessungen jeweils am Beginn des Einbautages auf dem

Seitenstreifen oder auf der am Vortag fertiggestellten Deckschicht sowie am Ende des Einbautages auf der bereits hergestellten Binderschicht des nächsten Einbauabschnitts durchgeführt.

Da bei den Messungen während des Einbaus in den verschiedenen Abschnitten vereinzelt Komplikationen mit der Verfügbarkeit des GPS-Signals aufgetreten sind, wurde beschlossen, eine weitere Vergleichsmessung alles Verdichtungskontrollsysteme im Referenzfeld vorzunehmen. Bei den GPS-Vergleichsmessungen im Referenzfeld (Feld 1, ohne Verdichtungskontrollsystem) kann davon ausgegangen werden, dass für alle Systemanbieter (Ammann, Bomag, Caterpillar, Hamm) die gleichen Rahmenbedingungen (Signalstärke, Genauigkeit, ...) vorherrschten, sodass ein Vergleich der Systeme als realistisch angesehen werden kann. Die dabei festgestellten Abweichungen zwischen den von den Verdichtungskontrollsystemen gemessenen Koordinaten und denen des GPS-Systems des Instituts für Straßenwesen sind in Bild 3.4 dargestellt.

Wie aus der Darstellung ersichtlich wird, liegen die Abweichungen zwischen den betrachteten mit den GPS-Systemen aufgenommenen Messpunkten bis zu 2,00 m voneinander entfernt. Dabei handelt es sich aber um Einzelwerte, die Mehrheit der Abweichungen wurden in einem Bereich von nahe 0,00 m bis rund 0,80 m festgestellt.

Zur Bereitstellung einer Vergleichsgröße für die zwischen den GPS-Systemen auftretenden Abweichungen wurden für jedes der Systeme und für alle Messwerte zusammen die 10%- und 90%-Quantile bestimmt. Wie Tabelle 3.1 zeigt, unterscheiden sich die Quantilwerte zum Teil deutlich voneinander.

Da zu allen Messungen, die mit dem unabhängigen GPS-System verortet werden, gleichzeitig die Daten des sich aktuell im Einsatz befindlichen Verdichtungskontrollsystem erfasst wurden, wirken sich die Abweichungen zwischen den Geräten nicht auf die Auswertung aus. Die zusätzliche Erfassung durch das unabhängige GPS-System ist somit nur eine Absicherung gegen einen Ausfall des Bezugssystems. In diesem Fall wären Unsicherheiten in der genannten Größenordnung unvermeidbar.

Es bleibt darüber hinaus aber auch festzustellen, dass beim Einsatz der GPS-Erfassungsgeräte auf der Versuchsstrecke der Bundesstraße B 10 unterschiedliche Genauigkeiten zu Tage traten.

3.2 Temperaturmessung

Zur Dokumentation der Mischguttemperaturen während des Einbaus wurden nach jeweils 25 bis 50 m Einbau Temperaturmessungen an der Verteilerschnecke des Fertigers (Bild 3.5) durchgeführt. Die Messungen am Fertiger erfolgten mit einem Einstichthermometer (GTH Digitalthermometer inkl. Fühler GES 500) und einem Infrarotthermometer (Votcraft IR 340) sowohl während des Einbaus der Asphaltbinder- als auch der Asphaltdeckschicht. Dabei waren Einstichthermometer und Infrarotthermometer vor den Messungen aufeinander justiert worden, sodass von vergleichbaren Werten ausgegangen werden kann.

Die Ergebnisse der jeweils rund 40 Temperaturmessungen an der Verteilerschnecke des Fertigers sind für die Asphaltbinderschicht in Bild 3.4 und für die Asphaltdeckschicht in Bild 3.7 dargestellt.

Wie den Darstellungen (Bild 3.6 und Bild 3.7) entnommen werden kann, befinden sich alle Messungen unterhalb der oberen (190 °C) und ein Großteil der Messungen oberhalb der unteren Temperaturgrenze (150 °C). Insgesamt liegen 37 der 320 gemessenen Asphalttemperaturen (11,5 %) außerhalb



Bild 3.5: Messung der Temperatur an der Verteilerschnecke

der von den ZTV Asphalt-StB vorgegebenen Temperaturspanne.

Aufgrund der durchgängigen Dokumentation des Vorhabens können die detektierten Unterschreitungen genauen Stationen und Begebenheiten zugeordnet werden. Der Großteil der Unterschreitungen ist auf einen kurzen Stillstand des Fertigers aufgrund von Materialanlieferungsproblemen oder sonstigen Vorkommnissen zurückzuführen.

Zusätzlich zu den Messungen an der Verteilerschnecke des Fertigers erfolgten weitere Temperaturmessungen während der Verdichtungskontrolle nach definierten Walzübergängen mit der Troxler-sonde. Dabei wurden bei jeder Messung die Tem-

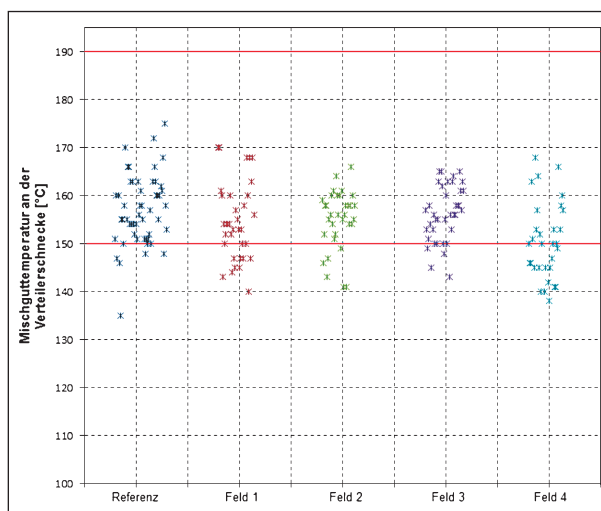


Bild 3.6: Einbautemperatur der Asphaltbinderschicht AC 16 BS an der Verteilerschnecke mit den Anforderungswerten der ZTV Asphalt-StB

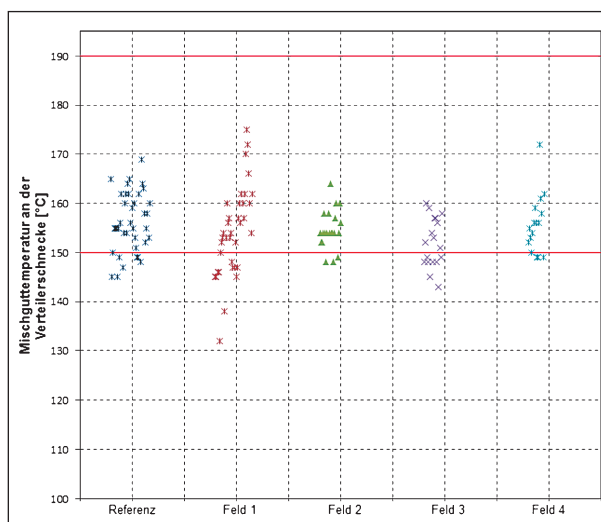


Bild 3.7: Einbautemperaturen der Asphaltdeckschicht (SMA 11 S) an der Verteilerschnecke mit den Anforderungswerten der ZTV Asphalt-StB



Bild 3.8: Messungen der Temperatur während der Dichtemessungen mit der Troxlersonde

peraturen in der Asphaltbinder- und Asphaltdeckschicht mit einem Einstichthermometer und die Oberflächentemperatur mit einem Infrarotthermometer (Bild 3.8) erfasst. Diese Messungen dienen der Dokumentation des Temperaturverlaufs während des Walzvorgangs und des durch jeden Walzübergang erzielten Verdichtungserfolgs. Auf die Ergebnisse wird deshalb im Weiteren gesondert eingegangen.

Durch die diversen Messungen der Oberflächen- und Schichttemperatur an der Verteilerschnecke und den Bohrkernentnahmepunkten ist es möglich, dass Abkühlverhalten der Oberfläche bzw. der einzelnen Schichten aufzuzeigen. In den nachfolgenden Bild 3.9 und Bild 3.10 ist das Abkühlverhalten

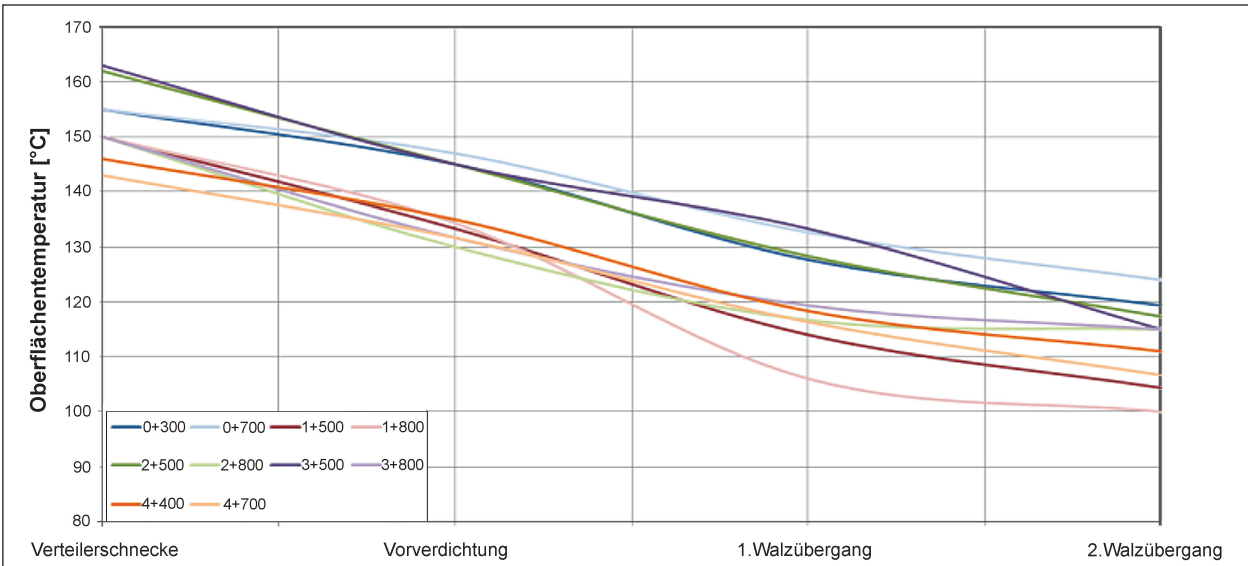


Bild 3.9: Abkühlverhalten der Oberflächentemperatur der Asphaltbinderschicht (Messungen mit dem Infrarotthermometer)

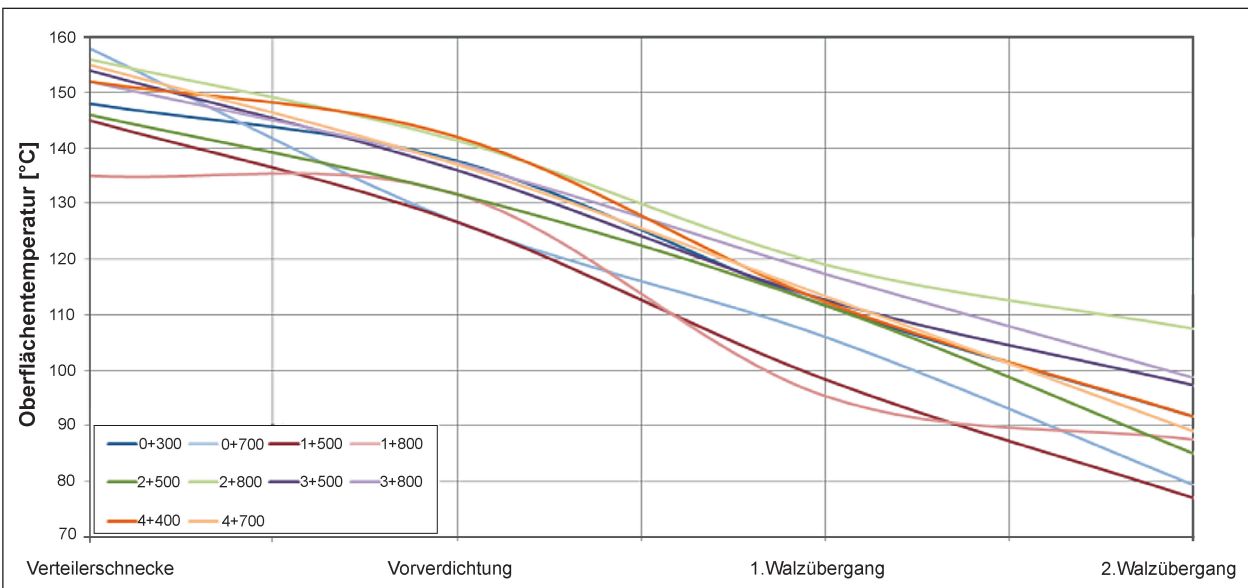


Bild 3.10: Abkühlverhalten der Oberflächentemperatur der Asphaltdeckschicht (Messungen mit dem Infrarotthermometer)

der Oberflächentemperatur der Asphaltbinder- und Asphaltdeckschicht auf Grundlage der Messung mit dem Infrarotthermometer an der Verteilerschnecke, bei der Vorverdichtung durch die Bohle und den ersten beiden Walzübergängen dargestellt. Wie daraus zu ersehen ist, entwickeln sich die Temperaturen an den dargestellten Messpunkten ähnlich, starten jedoch von unterschiedlichen Anfangsniveaus der Temperatur. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass sich die Abbildungen auf die Oberflächentemperaturen und nicht die Kerntemperaturen bezieht. Letztere konnten aufgrund des Bauprozesses nicht durchweg gemessen werden.

3.2.1 Probenentnahme

In allen Feldern der Versuchsstrecke wurden Mischgutproben und Bohrkerne entnommen, um zum einen die Qualität und Homogenität des eingebauten Asphaltmischguts durch Kontrollprüfungen festzustellen und zum anderen Kennwerte für die in den Feldern unterschiedliche Verdichtung zu dokumentieren und später auszuwerten.

Für einen Vergleich der Mischguteigenschaften mit den an diesem Material erreichten Verdichtungsgraden der Schicht wurden die Mischgutentnahmen stets an den gleichen Orten wie die spätere Entnahme von Bohrkernen vorgenommen. Hierfür wurden die Stellen der Mischgutentnahme zwischenzeitlich markiert.

Durch den Bauablauf beim Einbau der Schichten war es nicht immer möglich, die vorab festgelegten Entnahmestellen für das Mischgut und die Bohrkerne (Tabelle 2.1) exakt einzuhalten. Tabelle 3.2 zeigt die tatsächlichen Stationen für die Probenentnahme.

Referenzfeld	0+300
	0+700
Feld 1	1+500
	1+800
Feld 2	2+500
	2+800
Feld 3	3+500
	3+800
Feld 4	4+400
	4+700

Tab. 3.2: Stationen der Entnahmestellen für Mischgut- und Bohrkerneproben in den 5 Untersuchungsfeldern



Bild 3.11: Mischgutentnahme auf der Bundesstraße B 10 an der Verteilerschnecke des Fertigers



Bild 3.12: Mischgutentnahme auf der Bundesstraße B 10 an der Verteilerschnecke des Fertigers

Gemäß TP Asphalt-StB Teil 27 [5] stehen für die Probeentnahme verschiedene Varianten zur Verfügung. Das Mischgut wurde an zwei Punkten der Verteilerschnecke des Fertigers entnommen (Bild 3.11 und Bild 3.12).

3.2.2 Dichtemessungen mit der Troxler-sonde

Derzeit bilden Messungen mit der Troxler-sonde das übliche Verfahren zur Eigenüberwachung der Verdichtung während des Einbauprozesses durch die Bauunternehmen. Zur Validierung der von den Verdichtungskontrollsystemen gemessenen Verdichtungskennwerte wurden entsprechende Messungen mit der Troxler-sonde auf der Oberfläche der eingebauten Schicht vorgenommen. Dabei wurde zunächst das Ausgangsniveau der Verdichtung direkt hinter der Einbaubohle des Fertiges an dessen Viertelpunkten der Breite durch die Einbau-firma Juchem im Auftrag des Forschungsnehmers

(Bild 3.13) durchgeführt. Die Entwicklung der Verdichtung wurde im Weiteren nach jedem Walzenübergang (Bild 3.14) gemessen und – wie auch hinter der Bohle – durch zeitgleiche Temperaturmessungen ergänzt. Eine abschließende Dichtebestimmung mit der Troxlersonde wurde nach der vollständigen Abkühlung der eingebauten Asphalt-schicht auf Umgebungstemperatur durchgeführt.



Bild 3.13: Messung der Vorverdichtung durch den Fertiger mittels Troxlersonde



Bild 3.14: Messung der Dichte mit der Troxlersonde während des Einbaus

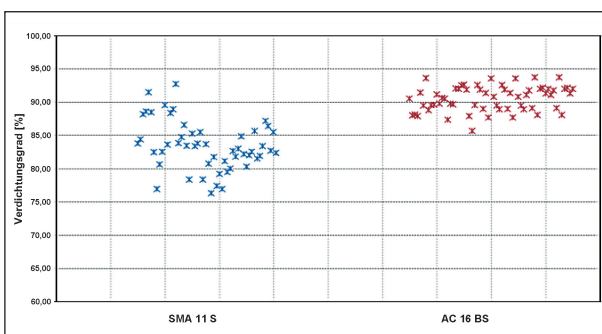


Bild 3.15: Erreichte Verdichtungsgrade der Deck- und Binderschicht nach Einbau durch den Fertiger auf der Bundesstraße B 10

Alle Messungen erfolgten in jedem der Versuchsfelder in Abständen von rund 100 m.

In Bild 3.15 werden die Vorverdichtungswerte des Fertigers auf der Deck- und Binderschicht auf Grundlage der Messungen mit der Troxlersonde dargestellt.

Die Asphaltbinderschicht weist bei einem Mittelwert von 90,53 % ein Maximum von 93,73 % und ein Minimum von 85,63 % auf. Somit kann bei der Binderschicht mit einer (absoluten) Schwankung von fast 5 % von einer vergleichsweise konstanten Vorverdichtungsleistung an der Einbaubohle ausgegangen werden. Demgegenüber schwanken die Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht zwischen 76,28 % und 92,73 % absolut etwa 9 % um den Mittelwert von 83,38 % und somit deutlich mehr als die der Binderschicht.

Über den gesamten Einbauprozess bestand für die Systemanbieter die Möglichkeit, diese mit der Troxlersonde gemessenen Dichtewerte als Grundlage zur Einstellung ihres Systems – vor allem in der „Einlaufphase“ – zu nutzen.

3.2.3 Videodokumentation der Entnahmestellen

Wie eingangs bereits ausgeführt (Kapitel 2.2.2) wurde vorgesehen, die gesamte Versuchsstrecke mittels Kameras zu dokumentieren, um eine von vielen Faktoren unabhängige Kontrolle des Bauablaufs zu erlangen. Bei der ersten visuellen Begutachtung der Strecke musste jedoch festgestellt werden, dass dies aufgrund der örtlichen Begebenheiten nicht möglich war. Aufgrund dessen wurden nur die für die Probenentnahme relevanten Teilabschnitte (Tabelle 3.2) mittels Filmaufzeichnung dokumentiert. Bild 3.16 zeigt exemplarisch die Positionierung der Ka-



Bild 3.16: Position der Kamera zur Dokumentation des Bauablaufs und der Walzübergänge

mera zur Dokumentation des Einbaus im Bereich der Mischgut- und Bohrkernentnahmestellen.

Durch den gleichzeitigen Einsatz von zwei Videokameras war es möglich, die einzelnen Entnahmebereiche in jedem Feld zu kontrollieren und eine vom Systemhersteller unabhängige Kontrolle der Anzahl der Walzübergänge in den Entnahmebereichen durchzuführen.

4 Labortechnische Untersuchungen

Während der Durchführung der Baumaßnahme auf der Bundesstraße B 10 wurden eine Reihe von Proben in Form von Mischgut und Bohrkernen gewonnen, die im Weiteren im Labor untersucht werden. Die Laboruntersuchungen gliedern sich zum einen in die Überprüfung der Mischguteigenschaften und der erreichten Verdichtung, wie sie im Rahmen von Kontrollprüfungen üblicherweise ermittelt werden. Zum anderen werden Druck-Schwellversuche an Asphaltplatten sowohl aus der Deckschicht als auch aus der Binderschicht durchgeführt, um die er-

reichte Verformungsbeständigkeit relativ zwischen den Feldern auf der Versuchstrecke zu betrachten. Die Dichtewerte an den entnommenen Bohrkernen werden auch für die Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Systeme zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle genutzt.

Zur Überprüfung des Mischguts lag die Erstprüfung des eingebauten Mischguts vor. Sie wurde durch das Laboratorium für Straßen- und Betonbau Trier angefertigt und kann dem Anhang 1 entnommen werden.

Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die im Labor durchzuführenden Versuche.

4.1 Bestimmung des Bindemittelgehalts

Für die Asphaltmischgüter AC 16 BS und SMA 11 S mit dem Bindemittel 25/55-55 konnten gemäß TP Asphalt Teil 1 die folgenden Bindemittelgehalte bestimmt werden.

Eine Begutachtung von Tabelle 4.2 zeigt auf, dass die verwendeten und ermittelten Bindemittelgehalt

Versuch	Vorschrift	Probenanzahl
Bestimmung des Bindemittelgehalts (Differenzverfahren mit Tri)	TP Asphalt Teil 1	40
Bestimmung der Korngrößenverteilung	TP Asphalt Teil 2	40
Bestimmung des Erweichungspunktes RuK	DIN EN 1427	20
Bestimmung der Nadeleindringtiefe	DIN EN 1426	20
Bestimmung der elastischen Rückstellung	DIN EN 13398	20
Bestimmung der Rohdichte	TP Asphalt Teil 5	40
Bestimmung der Raumdichte	TP Asphalt Teil 6	120
Bestimmung der Bezugsraumdichte	TP Asphalt Teil 6	60
Bestimmung des Verdichtungsgrads	TP Asphalt Teil 8	120
Bestimmung des Hohlraumgehalts	TP Asphalt Teil 8	180
Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalt bei Wärme	TP Asphalt Teil 25 B1	90

Tab. 4.1: Durchzuführende Laboruntersuchungen an den Proben aus der Bundesstraße B 10

Station	Mischgut	Bindemittelgehalt [M-%]	EP konform
R1	AC 16 BS	5,1	ja
	SMA 11 S	7,0	ja
R2	AC 16 BS	5,0	ja
	SMA 11 S	6,8	ja
A1	AC 16 BS	5,2	ja
	SMA 11 S	6,7	ja
A2	AC 16 BS	5,2	ja
	SMA 11 S	6,7	ja
B1	AC 16 BS	5,3	nein
	SMA 11 S	6,5	ja
B2	AC 16 BS	5,2	ja
	SMA 11 S	6,8	ja
C1	AC 16 BS	5,1	ja
	SMA 11 S	6,8	ja
C2	AC 16 BS	5,2	ja
	SMA 11 S	6,8	ja
D1	AC 16 BS	5,1	ja
	SMA 11 S	6,9	ja
D2	AC 16 BS	5,1	ja
	SMA 11 S	7,0	ja

Tab. 4.2: Bindemittelgehalte an den jeweiligen Entnahmestationen auf der Bundesstraße B 10

in 19 von 20 Untersuchungen innerhalb der Toleranzen von

- 4,40-5,20 M-% (AC 16 BS) und
- 6,40-7,20 M-% (SMA 11 S)

liegen. Lediglich eine Untersuchung (Binderschicht, Systemanbieter B, Querschnitt A) weist eine unzulässige Abweichung von 0,1 M-% auf.

4.2 Bestimmung der Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung des Splittmastixasphalts, wie auch die des Asphaltbinders wurden gemäß TP Asphalt-StB, Teil 2 durchgeführt. Der Teil 2 der TP Asphalt basiert auf der DIN EN 12697-2 und ist auf Gesteinskörnungen anwendbar, welche nach Extraktion des Bindemittels nach TP Asphalt-StB, Teil 1 zurückgewonnen wurden. Die Korngrößenverteilungen der Kontrolluntersuchungen sind in Anhang 2 dargestellt.

4.3 Bestimmung des Erweichungspunkts RuK

Nach der Extraktion des Bindemittels konnten an dem verwendeten Bindemittel gemäß DIN EN 1427 die in Tabelle 4.3 zusammengestellten Erweichungspunkte Ring und Kugel ermittelt werden. Bei dem Bindemittel handelte es sich sowohl in der Deck- wie auch in der Binderschicht um ein Polymermodifiziertes Bindemittel der Sorte 25/55-55.

Gemäß der uns von der ausführenden Bauunternehmung zur Verfügung gestellten Erstprüfung soll das Bindemittel (25/55-55) einen Erweichungspunkt Ring und Kugel von 59,0 °C aufweisen. Die aktuell gültige Vorschrift ZTV Asphalt StB 07 sieht vor, dass das verwendete Bitumen (25/55-55) einen Erweichungspunkt Ring und Kugel von ≤ 71 °C aufweisen muss. Im Rahmen der Mischgutuntersuchungen konnten durch den Forschungsnehmer keine unzulässigen Abweichungen ermittelt werden.

4.4 Bestimmung der Nadelpenetration

Für die Untersuchung des verwendeten Bindemittels wurde am Institut für Straßenwesen an den verwendeten Mischgutproben die Nadeleindringtiefe nach DIN EN 1426 bestimmt (Tabelle 4.4).

Station	Mischgut	Erweichungspunkt [°C]	EP konform
R1	AC 16 BS	63,4	ja
	SMA 11 S	58	ja
R2	AC 16 BS	64,3	ja
	SMA 11 S	59,2	ja
A1	AC 16 BS	61,2	ja
	SMA 11 S	58,4	ja
A2	AC 16 BS	60,8	ja
	SMA 11 S	63,2	ja
B1	AC 16 BS	63,5	ja
	SMA 11 S	65	ja
B2	AC 16 BS	65,0	ja
	SMA 11 S	60,1	ja
C1	AC 16 BS	64,0	ja
	SMA 11 S	59,2	ja
C2	AC 16 BS	59,5	ja
	SMA 11 S	58,5	ja
D1	AC 16 BS	62,3	ja
	SMA 11 S	58,7	ja
D2	AC 16 BS	64,2	ja
	SMA 11 S	58,3	

Tab. 4.3: Erweichungspunkte RuK an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10

Station	Mischgut	Nadelpenetration [1/10 mm]	EP konform
R1	AC 16 BS	31	ja
	SMA 11 S	43	ja
R2	AC 16 BS	23	nein
	SMA 11 S	35	ja
A1	AC 16 BS	38	ja
	SMA 11 S	41	ja
A2	AC 16 BS	32	ja
	SMA 11 S	36	ja
B1	AC 16 BS	29	ja
	SMA 11 S	34	ja
B2	AC 16 BS	29	ja
	SMA 11 S	33	ja
C1	AC 16 BS	27	ja
	SMA 11 S	44	ja
C2	AC 16 BS	44	ja
	SMA 11 S	41	ja
D1	AC 16 BS	32	ja
	SMA 11 S	38	ja
D2	AC 16 BS	28	ja
	SMA 11 S	39	ja

Tab. 4.4: Nadelpenetration an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10

Station	Mischgut	elastische Rückstellung [%]	EP konform
R1	AC 16 BS	66	ja
	SMA 11 S	67	ja
R2	AC 16 BS	66	ja
	SMA 11 S	66	ja
A1	AC 16 BS	68	ja
	SMA 11 S	65	ja
A2	AC 16 BS	66	ja
	SMA 11 S	63	ja
B1	AC 16 BS	62	ja
	SMA 11 S	60	ja
B2	AC 16 BS	63,4	ja
	SMA 11 S	66	ja
C1	AC 16 BS	64	ja
	SMA 11 S	66	ja
C2	AC 16 BS	65	ja
	SMA 11 S	66	ja
D1	AC 16 BS	65	ja
	SMA 11 S	67	ja
D2	AC 16 BS	63	ja
	SMA 11 S	66	ja

Tab. 4.5: Elastischen Rückstellungen an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10

Station	Mischgut	Rohdichte [g/cm ³]
R1	AC 16 BS	2,486
	SMA 11 S	2,387
R2	AC 16 BS	2,494
	SMA 11 S	2,393
A1	AC 16 BS	2,482
	SMA 11 S	2,385
A2	AC 16 BS	2,476
	SMA 11 S	2,387
B1	AC 16 BS	2,478
	SMA 11 S	2,389
B2	AC 16 BS	2,475
	SMA 11 S	2,393
C1	AC 16 BS	2,463
	SMA 11 S	2,386
C2	AC 16 BS	2,456
	SMA 11 S	2,379
D1	AC 16 BS	2,461
	SMA 11 S	2,371
D2	AC 16 BS	2,480
	SMA 11 S	2,371

Tab. 4.6: Rohdichten des Asphaltmischguts an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10

Bei 19 der 20 Untersuchungen (95 %) konnte keine Über- bzw. Unterschreitung der Toleranzen (min. 25 mm und max. 55 mm) detektiert werden. Nur in einem Fall (Binderschicht, Systemanbieter R, Querschnitt B) wurde einer Unterschreitung der Untergrenze (25 mm) von 8 % festgestellt.

4.5 Bestimmung der elastischen Rückstellung

Die Bestimmung der elastischen Rückstellung des Polymermodifizierten Bindemittels – auf Grundlage des zurückgewonnen Bindemittels – erfolgte auf Basis der DIN EN 13398 (Tabelle 4.5).

Auf Grundlage der Erstprüfung müssen die Werte der elastischen Rückstellung einen Wert von $\geq 40\%$ für Walzasphalte aufweisen. Diese Werte wurden in den vorliegenden Untersuchungen durchweg nachgewiesen bzw. überschritten.

4.6 Bestimmung der Rohdichte

Die Ermittlung der Rohdichte nach TP Asphalt Teil 5, bildet die Grundlage zur Errechnung des Hohlraumgehalts des eingebauten Materials (Tabelle 4.6).

4.7 Bestimmung der Raumdichte

Im Rahmen der labortechnischen Untersuchungen wurde die Raumdichte – als Grundlage zur Beurteilung des Verdichtungsgrads – gemäß TP Asphalt Teil 6 bestimmt. Siehe hierzu Bild 4.1 und Bild 4.2 sowie Tabelle 4.7 bis Tabelle 4.26.

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK R 1-1 B	2,413	2,402
BK R 1-2 B	2,422	2,383
BK R 1-3 B	2,411	2,434
BK R 1-4 B	2,432	2,399
BK R 1-5 B	2,434	2,419
BK R 1-6 B	2,446	2,428

Tab. 4.7: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter R, Querschnitt A)

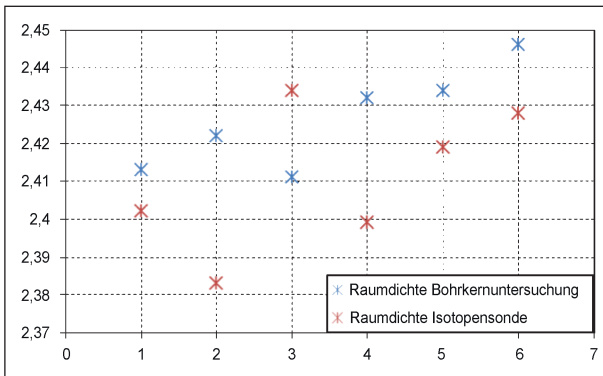


Bild 4.1: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung (blau) und den Messungen mit der Isotopsonde (rot); Station: R1

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm³]	Raumdichte Troxler [g/cm³]
BK R 1-1 D	2,337	2,334
BK R 1-2 D	2,341	2,310
BK R 1-3 D	2,344	2,317
BK R 1-4 D	2,325	2,322
BK R 1-5 D	2,340	2,310
BK R 1-6 D	2,319	2,263

Tab. 4.8: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Troxler-sonde (Systemanbieter R, Querschnitt A)

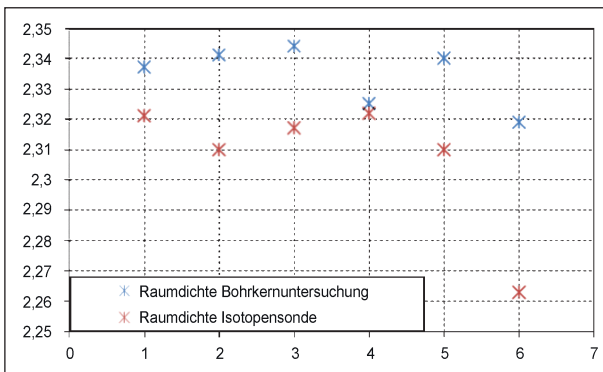


Bild 4.2: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung (blau) und der Messungen mit der Isotopsonde (rot), Station: R 1

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm³]	Raumdichte Troxler [g/cm³]
BK R 2-1 B	2,451	2,367
BK R 2-2 B	2,460	2,351
BK R 2-3 B	2,432	2,353
BK R 2-4 B	2,424	2,353
BK R 2-5 B	2,456	2,335
BK R 2-6 B	2,444	2,369

Tab. 4.9: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxler-sonde (Systemanbieter R, Querschnitt B)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm³]	Raumdichte Troxler [g/cm³]
BK R 2-1 D	2,363	2,367
BK R 2-2 D	2,369	2,351
BK R 2-3 D	2,344	2,353
BK R 2-4 D	2,363	2,353
BK R 2-5 D	2,368	2,335
BK R 2-6 D	2,368	2,369

Tab. 4.10: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxler-sonde (Systemanbieter R, Querschnitt B)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm³]	Raumdichte Troxler [g/cm³]
BK A 1-1 B	2,429	2,375
BK A 1-2 B	2,432	2,356
BK A 1-3 B	2,431	2,370
BK A 1-4 B	2,427	2,355
BK A 1-5 B	2,437	2,328
BK A 1-6 B	2,409	2,336

Tab. 4.11: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxler-sonde (Systemanbieter A, Querschnitt B)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm³]	Raumdichte Troxler [g/cm³]
BK A 1-1 D	2,356	2,375
BK A 1-2 D	2,350	2,356
BK A 1-3 D	2,341	2,370
BK A 1-4 D	2,334	2,355
BK A 1-5 D	2,340	2,328
BK A 1-6 D	2,323	2,336

Tab. 4.12: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Troxler-sonde (Systemanbieter A, Querschnitt A)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm³]	Raumdichte Troxler [g/cm³]
BK A 2-1 B	2,419	2,354
BK A 2-2 B	2,417	2,339
BK A 2-3 B	2,429	2,363
BK A 2-4 B	2,439	2,348
BK A 2-5 B	2,442	2,276
BK A 2-6 B	2,413	2,314

Tab. 4.13: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxler-sonde (Systemanbieter A, Querschnitt B)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK A 2-1 D	2,344	2354
BK A 2-2 D	2,350	2,356
BK A 2-3 D	2,341	2,370
BK A 2-4 D	2,388	2,348
BK A 2-5 D	2,323	2,276
BK A 2-6 D	2,323	2,336

Tab. 4.14: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter A, Querschnitt B)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK B 2-1 D	2,337	2,409
BK B 2-2 D	2,344	2,359
BK B 2-3 D	2,334	2,368
BK B 2-4 D	2,337	2,369
BK B 2-5 D	2,345	2,402
BK B 2-6 D	2,317	2,339

Tab. 4.18: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter B, Querschnitt B)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK B 1-1 B	2,445	2,391
BK B 1-2 B	2,449	2,359
BK B 1-3 B	2,427	2,400
BK B 1-4 B	2,414	2,366
BK B 1-5 B	2,441	2,375
BK B 1-6 B	2,436	2,342

Tab. 4.15: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter B, Querschnitt A)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK C 1-1 B	2,444	2,263
BK C 1-2 B	2,458	2,348
BK C 1-3 B	2,450	2,332
BK C 1-4 B	2,447	2,303
BK C 1-5 B	2,456	2,259
BK C 1-6 B	2,434	2,273

Tab. 4.19: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter C, Querschnitt A)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK B 1-1 D	2,337	2,428
BK B 1-2 D	2,346	2,402
BK B 1-3 D	2,333	2,400
BK B 1-4 D	2,319	2,382
BK B 1-5 D	2,344	2,383
BK B 1-6 D	2,316	2,406

Tab. 4.16: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Troxlersonde (Systemanbieter B, Querschnitt A)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK C 1-1 D	2,282	2,263
BK C 1-2 D	2,296	2,348
BK C 1-3 D	2,308	2,332
BK C 1-4 D	2,301	2,303
BK C 1-5 D	2,303	2,259
BK C 1-6 D	2,267	2,273

Tab. 4.20: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Troxlersonde (Systemanbieter C, Querschnitt A)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK B 2-1 B	2,441	2,322
BK B 2-2 B	2,443	2,354
BK B 2-3 B	2,436	2,337
BK B 2-4 B	2,443	2,363
BK B 2-5 B	2,456	2,379
BK B 2-6 B	2,417	2,341

Tab. 4.17: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter B, Querschnitt B)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK C 2-1 B	2,448	2,247
BK C 2-2 B	2,434	2,251
BK C 2-3 B	2,428	2,286
BK C 2-4 B	2,430	2,276
BK C 2-5 B	2,411	2,259
BK C 2-6 B	2,440	2,247

Tab. 4.21: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter C, Querschnitt B)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK C 2-1 D	2,281	2,247
BK C 2-2 D	2,304	2,251
BK C 2-3 D	2,30	2,286
BK C 2-4 D	2,308	2,276
BK C 2-5 D	2,286	2,259
BK C 2-6 D	2,268	2,247

Tab. 4.22: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter C, Querschnitt B)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK D 2-1 D	2,329	2,354
BK D 2-2 D	2,347	2,368
BK D 2-3 D	2,349	2,347
BK D 2-4 D	2,350	2,371
BK D 2-5 D	2,324	2,328
BK D 2-6 D	2,317	2,290

Tab. 4.26: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter D, Querschnitt B)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK D 1-1 B	2,399	2,338
BK D 1-2 B	2,440	2,327
BK D 1-3 B	2,424	2,384
BK D 1-4 B	2,409	2,382
BK D 1-5 B	2,411	2,338
BK D 1-6 B	2,421	2,360

Tab. 4.23: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter D, Querschnitt A)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK D 1-1 D	2,311	2,338
BK D 1-2 D	2,336	2,327
BK D 1-3 D	2,338	2,384
BK D 1-4 D	2,345	2,382
BK D 1-5 D	2,338	2,338
BK D 1-6 D	2,336	2,360

Tab. 4.24: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Troxlersonde (Systemanbieter D, Querschnitt A)

Bezeichnung	Raumdichte Bohrkern [g/cm ³]	Raumdichte Troxler [g/cm ³]
BK D 2-1 B	2,430	2,354
BK D 2-2 B	2,436	2,368
BK D 2-3 B	2,426	2,347
BK D 2-4 B	2,392	2,371
BK D 2-5 B	2,394	2,328
BK D 2-6 B	2,421	2,290

Tab. 4.25: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung und der Messungen mit der Troxlersonde (Systemanbieter D, Querschnitt B)

4.8 Bestimmung der Bezugsraumdichte

Zur Ermittlung des Verdichtungsgrads nach ZTV Asphalt-StB 07, erfolgte die Erstellung von Marshall-Probekörpern und die Ermittlung der Bezugsraumdichte gemäß TP Asphalt Teil 6 am Institut für Straßenwesen. Für die Ermittlung der Bezugsraumdichte als Grundlage der Berechnung eines Verdichtungsgrads wurden am Institut für Straßenwesen pro Messstelle jeweils drei Marshall-Probekörper erstellt. Aus den jeweiligen Raumdichten wurde, wenn eine geringere Abweichung als 0,03 g/cm³ vorlag, ein Mittelwert bestimmt und als Bezugsraumdichte für die entsprechende Entnahmestelle als Grundlage angesetzt (Tabelle 4.27).

4.9 Ermittlung des Verdichtungsgrads

Für die Überprüfung, ob der von der ZTV Asphalt-StB 07 geforderte Verdichtungsgrad während der Baumaßnahme erreicht werden konnte, wurde der Verdichtungsgrad an den jeweiligen Ausbauproben ermittelt (siehe Tabellen 4.28 bis 4.47).

Insgesamt konnte seitens des Forschungsnehmers keine Unterschreitungen des Verdichtungsgrads an den jeweiligen Entnahmestellen dokumentiert werden. Lediglich der Bohrkern BK^oD^o1-1^oD weist eine unzulässige Unterschreitung des nach ZTV Asphalt-StB 07 geforderten Verdichtungsgrads von 98 % auf. Gemäß den baubegleitenden Aufzeichnungen des Forschungsnehmers konnte festgehalten werden, dass im Entnahmebereich Schlackerückstände im Mischgut enthalten waren (Bild 4.3). Durch diese Umstände kann eine Unterschreitung des Verdichtungsgrads an dieser Stelle plausible nachgewiesen werden.

Station	Mischgut	Bezugsraum- dichte [g/cm ³]
R1	AC 16 BS	2,363
	SMA 11 S	2,341
R2	AC 16 BS	2,400
	SMA 11 S	2,356
A1	AC 16 BS	2,418
	SMA 11 S	2,360
A2	AC 16 BS	2,399
	SMA 11 S	2,354
B1	AC 16 BS	2,383
	SMA 11 S	2,262
B2	AC 16 BS	2,393
	SMA 11 S	2,245
C1	AC 16 BS	2,391
	SMA 11 S	2,353
C2	AC 16 BS	2,386
	SMA 11 S	2,328
D1	AC 16 BS	2,396
	SMA 11 S	2,321
D2	AC 16 BS	2,399
	SMA 11 S	2,326

Tab. 4.27: Bezugsraum-dichten an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK R 1-1 B	102,1	103,1	ja
BK R 1-2 B	102,5	102,3	ja
BK R 1-3 B	102,0	104,5	ja
BK R 1-4 B	102,9	103,0	ja
BK R 1-5 B	103,0	103,9	ja
BK R 1-6 B	103,5	104,3	ja

Tab. 4.28: Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxler-sonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter R, Querschnitt A)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK R 1-1 D	99,8	99,4	ja
BK R 1-2 D	100,0	99,0	ja
BK R 1-3 D	100,1	99,3	ja
BK R 1-4 D	99,3	99,5	ja
BK R 1-5 D	100,0	98,9	ja
BK R 1-6 D	99,1	96,9	ja

Tab. 4.29: Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxler-sonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter R, Querschnitt A)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK R 2-1 B	102,1	104,2	ja
BK R 2-2 B	102,5	103,1	ja
BK R 2-3 B	101,3	103,6	ja
BK R 2-4 B	101,4	104,9	ja
BK R 2-5 B	102,3	103,6	ja
BK R 2-6 B	101,8	102,2	ja

Tab. 4.30: Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxler-sonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter R, Querschnitt B)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK R 2-1 D	100,3	102,3	ja
BK R 2-2 D	100,6	100,7	ja
BK R 2-3 D	99,5	100,8	ja
BK R 2-4 D	100,3	100,8	ja
BK R 2-5 D	100,5	100,0	ja
BK R 2-6 D	100,3	101,5	ja

Tab. 4.31: Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxler-sonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter R, Querschnitt B)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK A 1-1 B	101,6	102,1	ja
BK A 1-2 B	101,7	103,3	ja
BK A 1-3 B	101,7	103,3	ja
BK A 1-4 B	101,5	104,4	ja
BK A 1-5 B	101,9	104,1	ja
BK A 1-6 B	100,8	102,9	ja

Tab. 4.32: Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxler-sonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter A, Querschnitt A)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK A 1-1 D	100,1	101,8	ja
BK A 1-2 D	99,9	100,9	ja
BK A 1-3 D	99,5	101,6	ja
BK A 1-4 D	99,2	100,9	ja
BK A 1-5 D	99,5	99,8	ja
BK A 1-6 D	98,7	100,1	ja

Tab. 4.33: Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxler-sonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter A, Querschnitt A)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK A 2-1 B	101,4	103,5	ja
BK A 2-2 B	101,3	102,7	ja
BK A 2-3 B	101,8	102,8	ja
BK A 2-4 B	102,2	104,4	ja
BK A 2-5 B	102,3	103,3	ja
BK A 2-6 B	101,1	103,3	ja

Tab. 4.34: Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter A, Querschnitt B)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK A 2-1 D	100,7	100,9	ja
BK A 2-2 D	101,2	100,2	ja
BK A 2-3 D	100,6	101,2	ja
BK A 2-4 D	100,6	100,6	ja
BK A 2-5 D	99,8	97,5	ja
BK A 2-6 D	99,7	99,1	ja

Tab. 4.35: Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter A, Querschnitt B)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK B 1-1 B	102,1	104,2	ja
BK B 1-2 B	102,2	102,7	ja
BK B 1-3 B	101,3	103,1	ja
BK B 1-4 B	100,7	102,2	ja
BK B 1-5 B	101,8	102,3	ja
BK B 1-6 B	101,7	103,3	ja

Tab. 4.36: Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter B, Querschnitt A)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK B 1-1 D	100,7	102,4	ja
BK B 1-2 D	101,1	101,1	ja
BK B 1-3 D	100,5	102,8	ja
BK B 1-4 D	99,9	101,4	ja
BK B 1-5 D	101,0	101,8	ja
BK B 1-6 D	99,8	100,4	ja

Tab. 4.37: Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter B, Querschnitt A)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK B 2-1 B	101,7	103,4	ja
BK B 2-2 B	101,8	101,3	ja
BK B 2-3 B	101,5	101,7	ja
BK B 2-4 B	101,8	101,7	ja
BK B 2-5 B	102,3	103,1	ja
BK B 2-6 B	100,7	100,4	ja

Tab. 4.38: Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter B, Querschnitt B)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK B 2-1 D	100,5	99,5	ja
BK B 2-2 D	100,7	100,9	ja
BK B 2-3 D	100,3	100,1	ja
BK B 2-4 D	100,5	101,2	ja
BK B 2-5 D	100,8	101,9	ja
BK B 2-6 D	99,6	100,3	ja

Tab. 4.39: Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter B, Querschnitt B)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK C 1-1 B	102,6	103,2	ja
BK C 1-2 B	103,1	102,4	ja
BK C 1-3 B	102,8	103,9	ja
BK C 1-4 B	102,7	103,6	ja
BK C 1-5 B	103,1	102,9	ja
BK C 1-6 B	102,1	102,8	ja

Tab. 4.40: Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter C, Querschnitt A)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK C 1-1 D	100,9	96,9	ja
BK C 1-2 D	100,3	99,3	ja
BK C 1-3 D	102,0	99,9	ja
BK C 1-4 D	101,7	98,7	ja
BK C 1-5 D	101,8	96,8	ja
BK C 1-6 D	100,2	97,4	ja

Tab. 4.41: Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter C, Querschnitt A)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK C 2-1 B	102,3	102,9	ja
BK C 2-2 B	101,7	103,2	ja
BK C 2-3 B	101,5	100,2	ja
BK C 2-4 B	101,5	103,1	ja
BK C 2-5 B	100,8	99,6	ja
BK C 2-6 B	102,0	103,3	ja

Tab. 4.42: Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter C, Querschnitt B)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK C 2-1 D	101,6	96,3	ja
BK C 2-2 D	102,6	96,5	ja
BK C 2-3 D	102,7	97,9	ja
BK C 2-4 D	102,8	97,5	ja
BK C 2-5 D	101,8	96,8	ja
BK C 2-6 D	101,0	96,3	ja

Tab. 4.43: Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter C, Querschnitt B)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK D 1-1 B	99,2	101,3	ja
BK D 1-2 B	100,9	103,5	ja
BK D 1-3 B	100,2	103,2	ja
BK D 1-4 B	99,6	101,3	ja
BK D 1-5 B	99,7	98,6	ja
BK D 1-6 B	100,1	99,8	ja

Tab. 4.44: Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter D, Querschnitt A)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK D 1-1 D	97,9	100,2	nein
BK D 1-2 D	99,0	99,7	ja
BK D 1-3 D	99,1	102,1	ja
BK D 1-4 D	99,4	102,1	ja
BK D 1-5 D	99,1	100,2	ja
BK D 1-6 D	99,0	101,1	ja

Tab. 4.45: Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter D, Querschnitt A)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV konform
BK D 2-1 B	101,3	99,5	ja
BK D 2-2 B	101,5	100,0	ja
BK D 2-3 B	101,1	99,1	ja
BK D 2-4 B	99,7	98,0	ja
BK D 2-5 B	99,8	100,9	ja
BK D 2-6 B	100,9	100,9	ja

Tab. 4.46: Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter D, Querschnitt B)

Bezeichnung	Verdichtungs- grad Bohrkern [%]	Verdichtungs- grad Troxler [%]	ZTV Konform
BK D 2-1 D	98,9	100,9	ja
BK D 2-2 D	99,7	101,4	ja
BK D 2-3 D	99,8	100,6	ja
BK D 2-4 D	99,8	101,6	ja
BK D 2-5 D	98,7	99,7	ja
BK D 2-6 D	98,4	100,5	ja

Tab. 4.47: Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht aus Bohrkernen und Messungen mit der Troxlersonde an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10 (Systemanbieter D, Querschnitt B)



Bild 4.3: Schlackeentnahme auf der Bundesstraße B 10

4.10 Bestimmung des Hohlraumgehalts

Die Überprüfung des Hohlraumgehalts erfolgte nach TP Asphalt Teil 8 auf Basis der Roh- und Raumdichte des Mischguts.

Im Rahmen kontrollprüfungsähnlichen Untersuchungen am Institut für Straßenwesen des Mischguts der jeweiligen Entnahmestellen ist – wie in Tabelle 4.48 ersichtlich – festgestellt worden, dass der mittlere Hohlraumgehalt der aus Mischgut hergestellten Marshall-Probekörper in 15 von 20 Untersuchungen (75%) außerhalb der Toleranzen liegt. Zusammen mit den Werten aus Tabelle 4.28 bis Tabelle 4.47 kann festgestellt werden, dass durch die jeweiligen Verdichtungsgeräte eine gute bis sehr gute Verdichtung eingebracht wurde. Auf Grundlage dieser Werte und der Betrachtung von Anhang 2 und Tabelle 4.2 kann darauf geschlossen werden, dass die Unterschreitung der Toleranzen des Hohlraumgehalts durch ca. 1% mehr Füller und einen Bindemittelgehalt an der oberen Grenze, als „mischgutbedingt“ bezeichnet werden kann (Tabelle 4.48).

Station	Bindemittel	Hohlraumgehalt [V-%]	EP konform
R1	AC 16 BS	5,0	ja
	SMA 11 S	1,9	ja
R2	AC 16 BS	3,8	ja
	SMA 11 S	1,6	ja
A1	AC 16 BS	2,9	ja
	SMA 11 S	1,4	nein
A2	AC 16 BS	2,9	ja
	SMA 11 S	2,1	ja
B1	AC 16 BS	2,6	ja
	SMA 11 S	2,1	ja
B2	AC 16 BS	3,3	ja
	SMA 11 S	1,9	ja
C1	AC 16 BS	3,8	ja
	SMA 11 S	5,3	nein
C2	AC 16 BS	3,3	ja
	SMA 11 S	6,2	nein
D1	AC 16 BS	2,6	ja
	SMA 11 S	1,1	nein
D2	AC 16 BS	3,1	ja
	SMA 11 S	1,4	nein

Tab. 4.48: Hohlraumgehalte am Marshall Probekörper an den jeweiligen Entnahmestellen auf der Bundesstraße B 10

4.11 Bestimmung des Verformungswiderstands mittels Druck-Schwellversuch

Um das Verformungsverhalten bzw. den Widerstand gegen bleibende Verformungen von Asphaltprobekörpern bei Wärme zu untersuchen, wurden einaxiale Druck-Schwellversuche gemäß den TP Asphalt-StB, Teil 25 B 1 [6] durchgeführt.

4.11.1 Beschreibung des Verfahrens und Messprinzips

Im einaxialen Druck-Schwellversuch wird ein zylindrischer Probekörper aus Walzasphalt durch eine impulsförmige Druck-Schwellbelastung mit Lastpausen beaufschlagt (Bild 4.4). Mittels induktiver

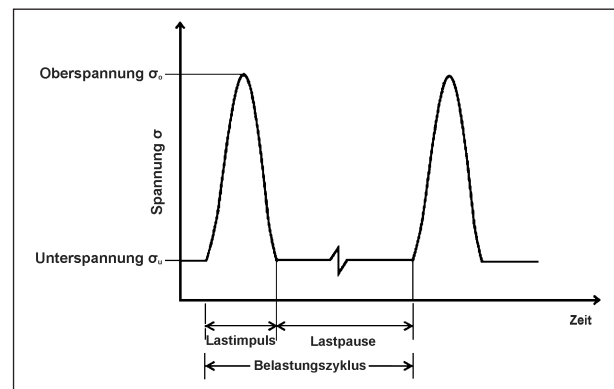


Bild 4.4: Prinzip des Spannungsverlaufes [6]

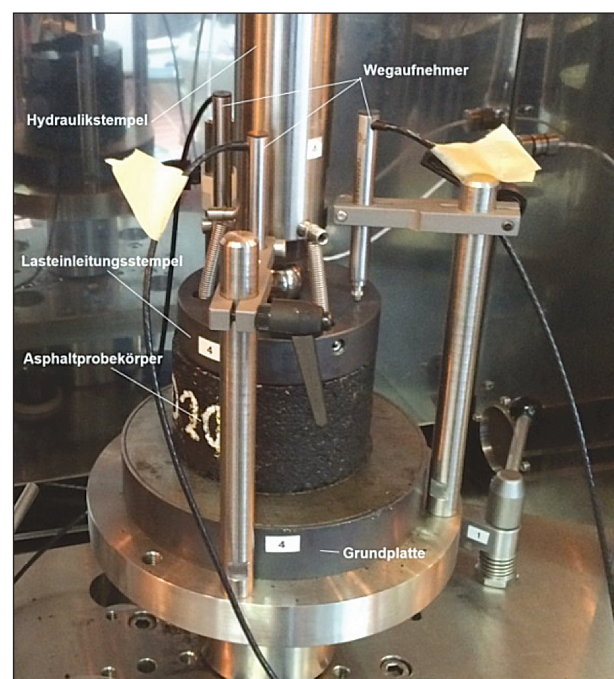


Bild 4.5: Versuchsaufbau des Druck-Schwellversuchs

Wegaufnehmer werden kontinuierlich die axialen Verformungen des Probekörpers gemessen und aufgezeichnet und so die bleibenden Verformungen in Abhängigkeit von den Lastwechseln ermittelt.

Die aus der so ermittelten Kriechkurve abgeleiteten Dehnungen und Dehnungsraten im Wendepunkt oder am Versuchsende können dann zur Beurteilung des Verformungswiderstands eines Asphaltgemisches herangezogen werden.

Der Versuchsaufbau des Druck-Schwellversuchs ist in Bild 4.5 dargestellt. Der gesamte Prozess erfolgt in einer geschlossenen Temperierkammer bei konstanter Prüftemperatur von + 50 °C.

4.11.2 Probekörper

Für den Druck-Schwellversuch sind zylindrische Probekörper mit einem Durchmesser von 100 ± 5 mm und einer Höhe von 60 ± 1 mm zu verwenden.

Die für dieses Forschungsprojekt benötigten Probekörper wurden aus Bohrkernen der jeweiligen Testfelder gewonnen. Hierzu war es notwendig, aus den nach Schichten getrennten Bohrkernscheiben mit einem Durchmesser von 150 mm die benötigten Exemplare mit einem Durchmesser von 100 ± 5 mm herauszubohren.

Die Bohrkernscheiben der Binderschicht wurden anschließend durch orthogonales Schleifen auf die angestrebte Probekörperhöhe von 60 ± 1 mm gebracht. Da die Deckschicht lediglich eine Dicke von 40 mm aufweist, war es notwendig, zwei Bohrkernscheiben mit einer Höhe von jeweils rund 30 mm zu verkleben. Dazu wurden die Deckschichtscheiben auf die entsprechende Dicke geschliffen und dann durch das Aufbringen von Bitumentropfen miteinander verbunden. Die beiden zu verbindenden Teile



Bild 4.6: Mit Graphit beschichteter Probekörper

wurden so gewählt, dass sie aus zwei im Querschnitt nebeneinander liegenden Bohrkernen stammen und damit möglichst gleiche Eigenschaften aufweisen.

Vor der eigentlichen Versuchsdurchführung wurden die Lasteinleitungsflächen mit 0,2 g bis 0,3 g Silikonfett als Haftmittel für die anschließend aufzubringenden und der Querkraftminimierung dienenden Graphitflocken gleichmäßig beschichtet (Bild 4.6).

4.11.3 Auswahl von Probekörpern und deren Kennwerte

Insgesamt standen 60 Probekörper aus der Asphaltbinderschicht und nach dem Verkleben 30 Probekörper aus der Asphaltdeckschicht für die Durchführung der Druck-Schwellversuchen zur Verfügung. An allen Probekörpern wurden die geometrischen Abmessungen sowie die Raumdichten gemäß TP Asphalt-StB, Teil 6 [7] bestimmt.

Von den insgesamt 12 verfügbaren Probekörpern der Asphaltbinderschicht jedes Testfeldes wurden 6 mittels Druck-Schwellversuchen untersucht, immer jeweils 3 pro Entnahmequerschnitt. Um bei den Probekörpern möglichst das gesamte Spektrum der vorhandenen Raumdichten zu berücksichtigen, wurden für jedes Versuchsfeld zunächst jeweils die Probekörper mit der größten und der kleinsten Raumdichte ausgewählt. Als dritter Probekörper wurde dann ein entsprechender Probekörper mit möglichst mittlerer Raumdichte verwendet. Durch das Verkleben von jeweils zwei Bohrkernscheiben zu einem Probekörper, standen für die Deckschicht lediglich 30 prüfbare Exemplare – also 6 pro Testfeld bzw. 3 pro Entnahmequerschnitt – zur Verfügung. Dies entspricht der Minimalanforderung der TP Asphalt-StB, Teil 25 B1, sodass eine weitere Eingrenzung nicht möglich bzw. notwendig war.

Die Bezeichnungen und die Kennwerte der verwendeten Probekörper sind in Tabelle 4.49 dargestellt.

Es ist zu beachten, dass laut TP Asphalt-StB, Teil 6, eine maximale Dehnung von 40 ‰ vorgegeben wird. Übersteigt die gemessene Dehnung diesen Wert, wird der Versuch abgebrochen und die entsprechenden Parameter angegeben. Diese Festlegung dient jedoch lediglich dem Schutz der Anlagentechnik, vordringlich der Wegaufnehmer. Die an der Universität Siegen verwendete dynamische Anlage lässt jedoch Dehnungsmessungen

Probekörperbezeichnung	mittlere Höhe [mm]	mittlerer Durchmesser [mm]	Raumdichte [g/cm ³]
BK R 1-3 B	60,5	99,2	2,411
BK R 1-5 B	60,6	99,2	2,434
BK R 1-6 B	60,5	99,3	2,446
BK R 2-3 B	60,6	99,3	2,432
BK R 2-5 B	60,8	99,4	2,456
BK R 2-6 B	60,8	99,3	2,444
BK A 1-1 B	61,5	99,3	2,429
BK A 1-5 B	61,5	99,3	2,437
BK A 1-6 B	61,5	99,3	2,409
BK A 2-1 B	61,5	99,4	2,419
BK A 2-5 B	61,5	99,3	2,442
BK A 2-6 B	61,5	99,2	2,413
BK B 1-2 B	61,1	99,3	2,449
BK B 1-3 B	61,1	99,2	2,427
BK B 1-5 B	61,5	99,3	2,441
BK B 2-3 B	61,0	99,2	2,436
BK B 2-5 B	61,0	99,4	2,456
BK B 2-6 B	61,0	99,2	2,417
BK C 1-2 B	61,0	99,2	2,458
BK C 1-4 B	61,0	99,3	2,447
BK C 1-6 B	61,0	99,2	2,434
BK C 2-1 B	61,2	99,4	2,448
BK C 2-3 B	61,2	99,2	2,428
BK C 2-5 B	61,0	99,2	2,411
BK D 1-1 B	60,7	99,3	2,399
BK D 1-2 B	60,7	99,4	2,440
BK D 1-6 B	60,9	99,4	2,241
BK D 2-2 B	60,9	99,2	2,436
BK D 2-4 B	60,8	99,3	2,392
BK D 2-6 B	60,8	99,3	2,421

Tab. 4.49: Kennwerte der Probekörper aus der Asphaltbinder-schicht für die Durchführung von Druck-Schwellversuchen

weit über diesen Grenzwert zu, sodass ein vorzeitiger Abbruch des Versuchs – besonders bezüglich der Zielsetzung des vorliegenden Forschungsprojekts – einen großen Erkenntnisverlust zur Folge hätte.

Deshalb treten bei den untersuchten Probekörpern der Asphaltdeckschicht teilweise Dehnungen von weit über 40 ‰ auf (vgl. Tabelle 4.50).

Probekörperbezeichnung	mittlere Höhe [mm]	mittlerer Durchmesser [mm]	Raumdichte [g/cm ³]
BK R 1-1/2 D	61,7	99,5	2,339
BK R 1-3/4 D	61,4	99,5	2,335
BK R 1-5/6 D	61,3	99,4	2,330
BK R 2-1/2 D	60,7	99,6	2,366
BK R 2-3/4 D	61,0	99,6	2,354
BK R 2-5/6 D	60,7	99,5	2,368
BK A 1-1/2 D	61,8	99,6	2,353
BK A 1-3/4 D	61,3	99,3	2,338
BK A 1-5/6 D	60,5	99,2	2,332
BK A 2-1/2 D	61,9	99,5	2,350
BK A 2-3/4 D	61,9	99,4	2,365
BK A 2-5/6 D	62,0	99,4	2,322
BK B 1-1/2 D	61,9	99,4	2,342
BK B 1-3/4 D	61,1	99,5	2,326
BK B 1-5/6 D	61,6	99,4	2,330
BK B 2-1/2 D	61,3	99,0	2,341
BK B 2-3/4 D	61,6	99,3	2,356
BK B 2-5/6 D	61,9	99,5	2,331
BK C 1-1/2 D	60,8*	99,5	2,289
BK C 1-3/4 D	60,8*	99,5	2,305
BK C 1-5/6 D	60,8*	99,5	2,285
BK C 2-1/2 D	61,4	99,3	2,293
BK C 2-3/4 D	61,6	99,6	2,307
BK C 2-5/6 D	61,5	99,4	2,277
BK D 1-1/2 D	61,2	99,4	2,324
BK D 1-3/4 D	60,7	99,4	2,342
BK D 1-5/6 D	60,6	99,3	2,337
BK D 2-1/2 D	61,1	99,5	2,338
BK D 2-3/4 D	59,9	99,5	2,350
BK D 2-5/6 D	59,0**	99,3	2,321

* nicht geschliffen

** Verbund sehr schlecht, aufgrund der Höhe nicht geschliffen

Tab. 4.50: Kennwerte der Probekörper aus der Asphaltdeckschicht für die Durchführung von Druck-Schwellversuchen

4.11.4 Versuchsdurchführung

Die zu prüfenden Probekörper werden für 150 ± 10 Minuten in einer Wärmekammer auf $50 \pm 0,3$ °C temperiert. Die Prüfung im Luftbad erfolgt unter den in Tabelle 4.51 aufgeführten Versuchsbedingungen.

Prüf temperatur	T	50 ± 0,3 °C
Probekörperdurchmesser	Ø	100 ± 5 mm
Probekörperhöhe	h	60 ± 1 mm
Dauer des Belastungszyklus	t	1,7 s
Dauer des Lastimpulses	t _B	0,2 s
Lastpause	t _E	1,5 s
Oberspannung	σ _o	0,35 MPa
Unterspannung	σ _u	0,025 MPa
Radialspannung	σ _c	0 MPa

Tab. 4.51: Versuchsbedingungen des Druck-Schwellversuchs [6]

Der Versuch beginnt mit dem Aufbringen einer Vorbelastung P_U für eine Dauer von 120 ± 6 s, um über eine definierte Zeit eine Anpassung des Druckstempels an die Probekörperoberfläche zu ermöglichen. Anschließend wird die Dauerbelastung gestartet und während des gesamten Versuchs die Verformungen bei jedem Lastwechsel aufgezeichnet.

4.11.5 Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

Als Ergebnis des Druck-Schwellversuchs erhält man zunächst die Impulskriechkurve, also die bleibende Dehnung ε_n [‰] des Probekörpers, die auf der Ordinate über den zugehörigen Lastwechseln aufgetragen wird.

Die Dehnung ε_n berechnet sich mit der Formel:

$$\varepsilon_n = \left(\frac{h_0 - h_n}{h_0} \right) \cdot 1.000 \text{ [‰]} \quad \text{Gl. 4.1}$$

mit:

ε_n Dehnung des Probekörpers nach n Belastungszyklen in ‰

h_0 Höhe des Probekörpers nach der Vorbelastung in mm

h_n Höhe des Probekörpers nach n Belastungszyklen in mm

Für einen Walzasphalt ergeben sich hieraus zwei typische Verläufe der Impulskriechkurve, die sich in 3 Phasen aufteilen lassen:

Phase 1: zu Beginn starke Verformung mit progressiv abnehmender Verformungsgeschwindigkeit (Konsolidierung).

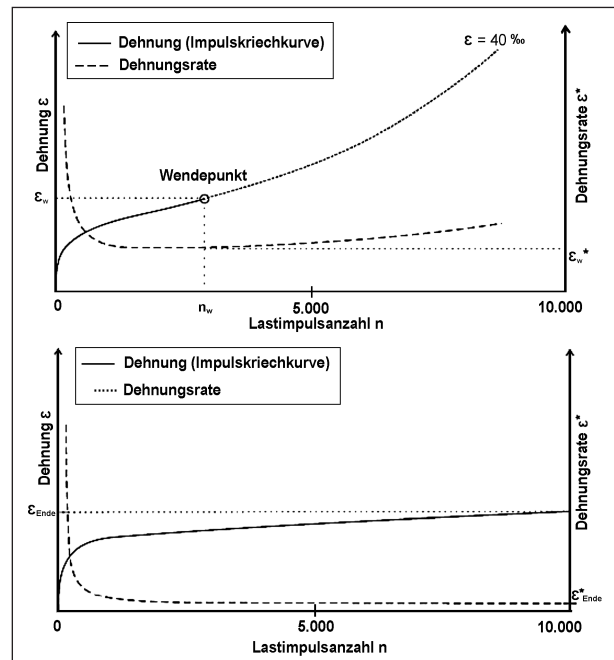


Bild 4.7: Impulskriechkurve aus einem Druck-Schwellversuch mit Wendepunkt (oben) und ohne Wendepunkt (unten) [6]

Phase 2: Bereich mit nahezu konstanter Verformungsgeschwindigkeit bis zu einem Wendepunkt (volumenkonstante Formänderung).

Phase 3: progressiv zunehmende Verformung (beginnende und fortschreitende volumendilatante Gefügezerstörung des Probekörpers).

Bei Asphalten mit hohem Verformungswiderstand tritt die Phase 3 der Impulskriechkurve bis zum definierten Versuchsende im Regelfall nicht auf.

Die einzelnen Phasen sowie die Verläufe der Dehnungen sind in Bild 4.7 dargestellt.

Das Versuchsende ist durch das Erreichen der Lastwechselzahl von 10.000 oder der maximalen Verformung von 40 ‰ definiert. Letzteres Abbruchkriterium begründet sich vor allem durch den begrenzten Messbereich der Wegaufnehmer in der Prüfanlage. Für eine Prüfung und Bewertung von einzelnen Asphaltprobekörpern ist diese Begrenzung hinreichend, für eine auf Mittelwerten basierende vergleichende Bewertung des Verformungswiderstands werden jedoch nach Möglichkeit absolute Dehnungswerte benötigt. Es wurden deshalb Wegaufnehmer mit größerem Messbereich eingesetzt und versucht, die Dehnung bis zum Erreichen der 10.000 Lastwechsel komplett aufzuzeichnen. Dies war in allen Fällen möglich.

Als bewertungsrelevante Größe dient in besonderem Maß die aus der Impulskriechkurve abgeleitete Dehnungsrate ε_i^* . Wird bis zum Versuchsende der Wendepunkt nicht erreicht, ist diese als Steigung der Dehnungskurve zwischen den Lastwechseln 9.800 ($\varepsilon_{9.800}$) und 10.000 ($\varepsilon_{10.000}$) zu berechnen. Andernfalls ist die Dehnungsrate (Minimum) im Wendepunkt anzugeben.

Weiterhin sind zur Information grundsätzlich auch die Dehnung und die Lastwechsel bis zum Erreichen des Wendepunkts oder am Versuchsende (i. d. R. 10.000 LW) anzugeben.

Die Dehnungsrate in jedem Punkt ($n_i; \varepsilon_i$) kann mit einem Abstand von 200 Lastimpulsen wie folgt berechnet werden:

$$\varepsilon_i^* = \frac{\varepsilon_{(i+100)} - \varepsilon_{(i-100)}}{\varepsilon_{(n+100)} - \varepsilon_{(n-100)}} \quad \text{Gl. 4.2}$$

mit:

ε_i^* = Dehnungsrate des Probekörpers im Messpunkt i in $\% \cdot 10^{-4} / n$

ε_i = Dehnung des Probekörpers im Messpunkt i in mm

n = Anzahl der Belastungszyklen im Messpunkt i

4.11.6 Ergebnisse der Druck-Schwellversuche an den Probekörpern aus der Bundesstraße B 10

In Tabelle 4.52 und Tabelle 4.53 sind die Ergebnisse der Druck-Schwellversuche an der Asphaltbinder- und -deckschicht dargestellt. Es kann jeweils die Dehnungsrate sowie die Dehnungen am Versuchsende oder falls vorhanden im Wendepunkt abgelesen werden.

Weiterhin kann die maximal ertragene Lastwechselzahl bis zum Versuchsende oder bis zum Erreichen des Wendepunktes entnommen werden.

4.12 Interpretation der Ergebnisse der Druck-Schwellversuche

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Druck-Schwellversuche an den Probekörpern aus der Deck- und Binderschicht dargestellt und interpretiert. Der Vergleich der Dehnungen und Dehnungsraten erlaubt eine Aussage zum Verformungswiderstand, der durch die Mischgutkonzeption und Verdichtung erzielt wurde.

4.12.1 Asphaltbinderschicht

In Bild 4.8 sind die bleibenden Dehnungen aller Probekörper aus der Asphaltbinderschicht in Ab-

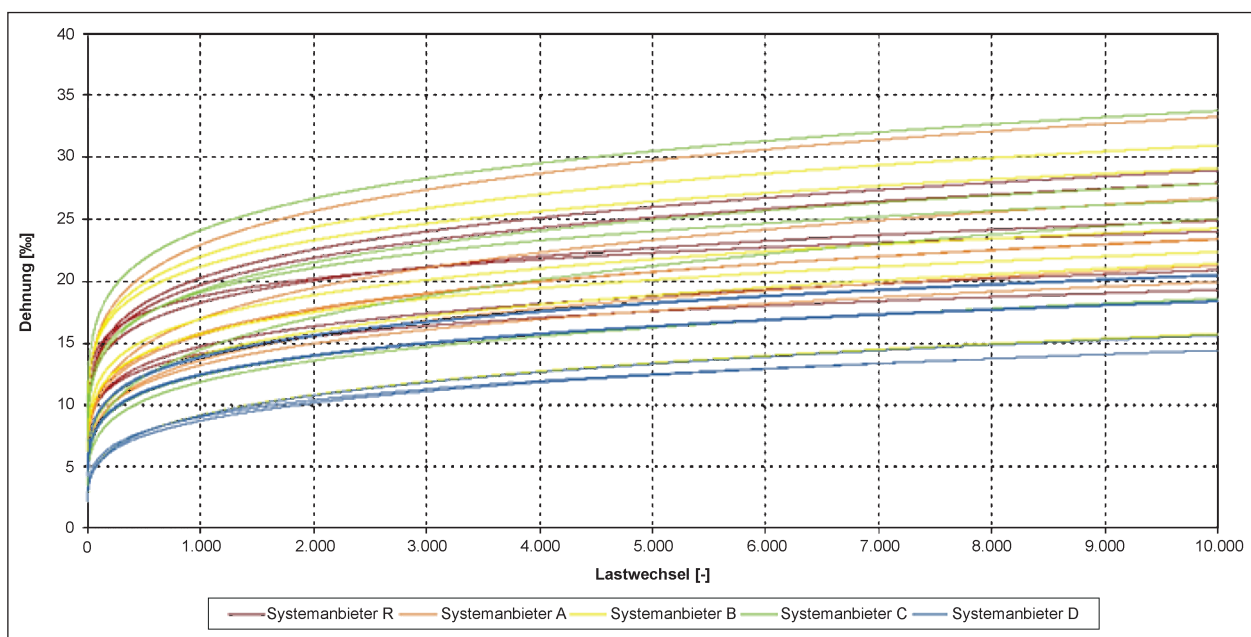


Bild 4.8: Dehnungen der Probekörper aus der Asphaltbinderschicht in Abhängigkeit von den Lastwechseln

hängigkeit von den ertragenen Lastwechseln aufgetragen.

Auch wenn die Absolutwerte sowohl innerhalb eines Testfeldes als auch von Feld zu Feld teilweise große Schwankungen aufweisen, können anhand der Dehnungen zunächst keine Probekörper mit augenscheinlich geringem Verformungswiderstand ausgewiesen werden. Bei allen durchgeführten Versuchen wird die maximale Lastwechselzahl von 10.000 LW erreicht, ohne dass ein Wendepunkt –

also ein Übergang zu Phase III – eintritt. Da die Kriechkurven annähernd parallel verlaufen und somit eine ähnliche Steigung aufweisen, kann zunächst auf einen vergleichbaren Verformungswiderstand geschlossen werden.

In Bild 4.9 sind die Dehnungen der einzelnen Probekörper sowie die feldweisen Mittelwerte nach 10.000 Lastwechseln in aufsteigender Reihenfolge dargestellt. Im Mittel weist das Feld des Systemher-

Probekörperbezeichnung	Dehnungsrate [%*10 ⁻⁴ /n]	Dehnung [‰]	Auswertepunkt
BK R 1-3 B	3,54	21,04	max. LW
BK R 1-5 B	2,94	19,44	max. LW
BK R 1-6 B	3,85	25,12	max. LW
BK R 2-3 B	3,45	24,46	max. LW
BK R 2-5 B	4,28	27,91	max. LW
BK R 2-6 B	4,53	28,92	max. LW
BK A 1-1 B	4,16	23,41	max. LW
BK A 1-5 B	5,45	33,27	max. LW
BK A 1-6 B	5,32	26,71	max. LW
BK A 2-1 B	3,59	19,91	max. LW
BK A 2-5 B	3,99	23,33	max. LW
BK A 2-6 B	4,15	21,22	max. LW
BK B 1-2 B	3,44	22,34	max. LW
BK B 1-3 B	3,83	24,25	max. LW
BK B 1-5 B	4,07	29,09	max. LW
BK B 2-3 B	3,71	15,72	max. LW
BK B 2-5 B	4,67	30,95	max. LW
BK B 2-6 B	3,98	21,41	max. LW
BK C 1-2 B	4,54	27,88	max. LW
BK C 1-4 B	5,00	33,75	max. LW
BK C 1-6 B	3,84	26,52	max. LW
BK C 2-1 B	6,04	25,04	max. LW
BK C 2-3 B	3,21	18,37	max. LW
BK C 2-5 B	3,67	18,57	max. LW
BK D 1-1 B	3,66	15,61	max. LW
BK D 1-2 B	3,48	20,52	max. LW
BK D 1-6 B	3,52	20,43	max. LW
BK D 2-2 B	3,15	19,37	max. LW
BK D 2-4 B	3,16	14,39	max. LW
BK D 2-6 B	2,89	14,32	max. LW

max. LW = maximale Lastwechsel (10.000)

Tab. 4.52: Dehnungsraten und Dehnungen für die Probekörper der Asphaltbinderschicht

Probekörperbezeichnung	Dehnungsrate [%*10 ⁻⁴ /n]	Dehnung [‰]	Auswertepunkt
BK R 1-1/2 D	67,20	40,00	40 ‰
BK R 1-3/4 D	75,25	40,00	40 ‰
BK R 1-5/6 D	25,85	40,00	40 ‰
BK R 2-1/2 D	146,50	40,00	40 ‰
BK R 2-3/4 D	113,84	40,00	40 ‰
BK R 2-5/6 D	115,29	40,00	40 ‰
BK A 1-1/2 D	37,96	40,00	40 ‰
BK A 1-3/4 D	39,76	40,00	40 ‰
BK A 1-5/6 D	19,21	40,00	40 ‰
BK A 2-1/2 D	17,30	40,00	40 ‰
BK A 2-3/4 D	24,19	40,00	40 ‰
BK A 2-5/6 D	30,23	40,00	WP
BK B 1-1/2 D	20,77	40,00	WP
BK B 1-3/4 D	128,95	40,00	40 ‰
BK B 1-5/6 D	33,46	40,00	WP
BK B 2-1/2 D	33,37	40,00	40 ‰
BK B 2-3/4 D	37,41	40,00	40 ‰
BK B 2-5/6 D	39,28	40,00	40 ‰
BK C 1-1/2 D	137,98	40,00	WP
BK C 1-3/4 D	97,69	40,00	WP
BK C 1-5/6 D	144,91	40,00	WP
BK C 2-1/2 D	91,06	40,00	WP
BK C 2-3/4 D	57,56	40,00	WP
BK C 2-5/6 D	111,64	40,00	WP
BK D 1-1/2 D	76,90	40,00	40 ‰
BK D 1-3/4 D	44,14	40,00	40 ‰
BK D 1-5/6 D	46,78	40,00	40 ‰
BK D 2-1/2 D	95,65	40,00	40 ‰
BK D 2-3/4 D	82,75	40,00	40 ‰
BK D 2-5/6 D	142,08	40,00	40 ‰

40 ‰: bei entsprechender Verformung des Probekörpers
WP = im Wendepunkt des Verformungsgraphen

Tab. 4.53: Dehnungsraten und Dehnungen der Probekörper der Asphaltdeckschicht

stellers D mit 17,27 [‰] die geringsten Dehnungen auf. Es kann somit in erster Annahme der größte Verformungswiderstand unterstellt werden.

Mit Werten von 23,96 [‰] (Feld B) bis 25,02 [‰] (Feld C) erfahren die restlichen Testfelder größere mittlere Dehnungen, die sich untereinander nur unmaßgeblich voneinander unterscheiden.

Bereits 1986 erkannten LÖFFLER & SPÄTH [8], dass nicht nur die Dehnungen sondern insbesondere die Dehnungsraten für eine Relativbeurteilung des Verformungsverhaltens von Asphalten herangezogen werden können. Diese Idee wurde von KARCHER [9] aufgegriffen und eine Beziehung zur Spurrinntentiefe von Asphaltdeckschichten aus Splittmastixasphalt hergestellt.

Ein Beurteilungsverfahren oder gar Anforderungswerte für die Dehnungsraten der Binderschicht liegen hingegen auch aktuell noch nicht vor, sodass diese neben den Dehnungen nur als zusätzlicher

Parameter für die Erstellung einer Rangfolge der jeweiligen Testfelder herangezogen werden.

Die Dehnungsraten der Probekörper aus der Asphaltbinderschicht sind in Bild 4.10 in Abhängigkeit von den ertragenen Lastwechseln dargestellt. Es kann festgestellt werden, dass die Dehnungsraten in den meisten Fällen einen etwa parallelen Verlauf aufweisen, sich jedoch bezüglich der Absolutwerte unterscheiden.

Wie aus Bild 4.11 zu erkennen ist, weisen die Probekörper aus Versuchsfeld D neben den geringsten Dehnungen auch die kleinsten Dehnungsraten am Versuchsende auf. Hieraus lässt sich schließen, dass die Binderschicht in diesem Feld den größten Verformungswiderstand aufweist. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass dies nicht zwingend ein Indikator für die beste Verdichtungsleistung ist. Dies bestätigen auch die Verdichtungsgrade, die bei allen Versuchsfeldern ähnlich hoch sind.

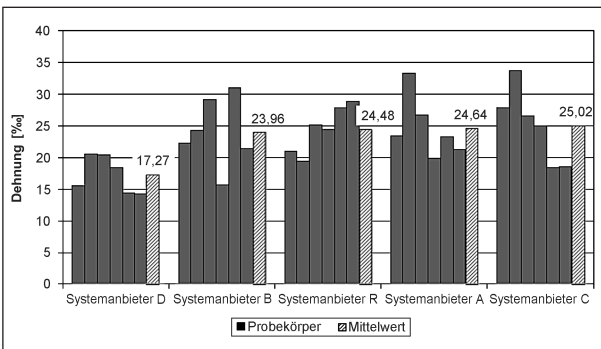


Bild 4.9: Dehnungen der Probekörper aus der Asphaltbinderschicht nach 10.000 LW

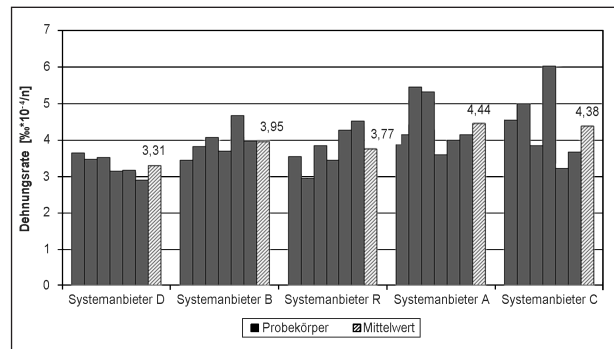


Bild 4.11: Dehnungsraten der Probekörper aus der Asphaltbinderschicht nach 10.000 LW

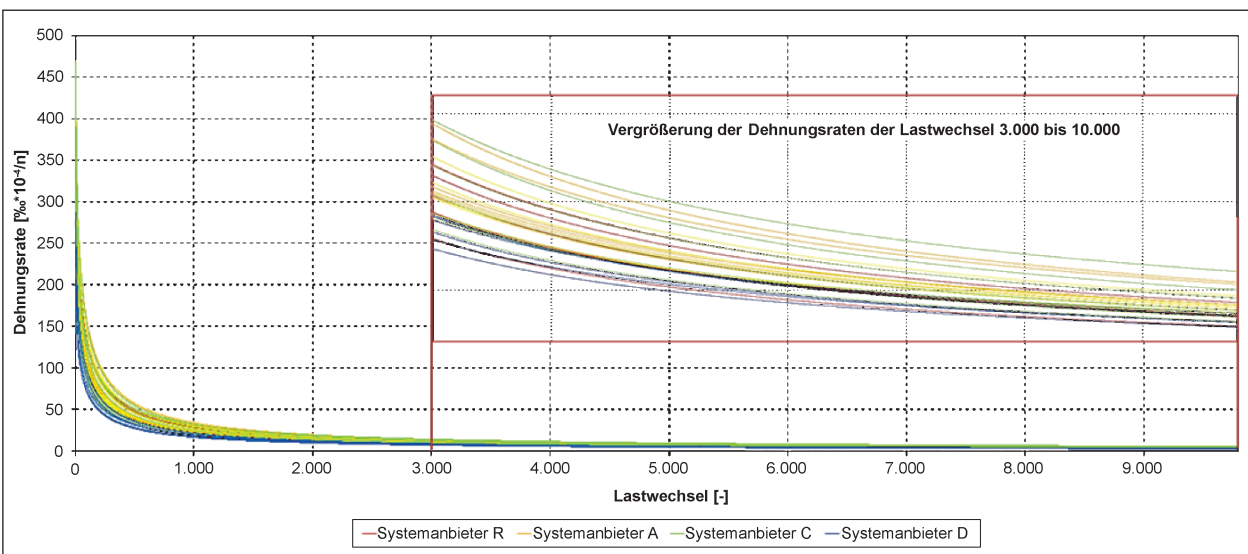


Bild 4.10: Dehnungsraten der Probekörper aus der Asphaltbinderschicht in Abhängigkeit von den Lastwechseln

Allerdings liegt die Vermutung nahe, dass der erreichte Verdichtungsgrad eine Abhängigkeit von der Dehnungsrate aus dem Druck-Schwellversuch aufweist. Innerhalb eines nahezu optimalen Verdichtungsbereichs sollte diese Abhängigkeit nur schwach ausgeprägt sein, während ein zu geringer oder aber zu hoher Verdichtungsgrad zu größeren Dehnungsraten führen sollte.

Die Dehnungsraten der untersuchten Probekörper aus den jeweiligen Feldern sind in Abhängigkeit von den ermittelten Verdichtungsgraden in Bild 4.12 aufgeführt.

Es wird ersichtlich, dass die Dehnungsraten der Asphaltbinderschicht vergleichsweise geringer Spreizungen aufweisen als die Deckschicht. Es kann für den Binder also eine weniger ausgeprägte Abhän-

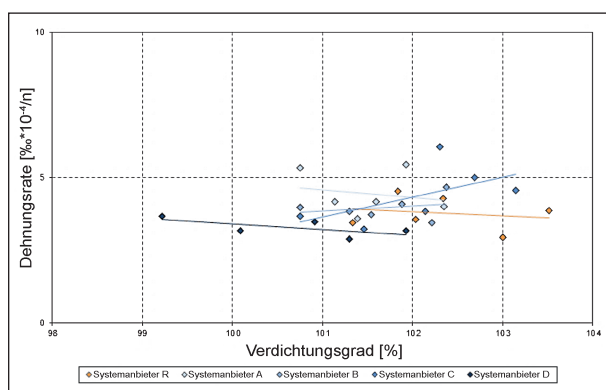


Bild 4.12: Abhängigkeit zwischen den Dehnungsraten bei 10.000 LW und dem Verdichtungsgrad der Probekörper aus der Asphaltbinderschicht

gigkeit zwischen der Dehnungsrate und dem Verdichtungsgrad unterstellt werden.

Bei den in Bild 4.12 dargestellten Verdichtungsgraden in einer Größenordnung von rund 99 bis 104 % scheint demnach ein Bereich erreicht worden zu sein, über den hinaus eine weitere Verdichtung keine merkliche Verbesserung des Verformungswiderstands bewirkt (Referenzfeld, Feld A, D) oder durch Überverdichtung sogar eine Verschlechterung der Verformungseigenschaften – ausgedrückt durch steigende Dehnungsraten – eintritt (Feld B, C).

4.12.2 Asphaltdeckschicht

Wie in Bild 4.13 zu erkennen, weisen die meisten Dehnungsverläufe der untersuchten Probekörper aus dem Splittmastixasphalt einen mehr oder weniger deutlich ersichtlichen Wendepunkt auf. Die Deckschicht zeigt somit erwartungskonform eine höhere Verformungsanfälligkeit als die darunter befindliche Binderschicht, was sich auch in den generell höheren Dehnungen widerspiegelt. Weiterhin lassen sich eindeutig Probekörper mit besonders schlechtem Verformungswiderstand detektieren. Dies zeigt sich besonders durch einen frühzeitigen Übergang der Kurvenverläufe in Phase III (siehe Systemanbieter C).

Betrachtet man die mittleren Dehnungen im Wendepunkt jedes Feldes (Bild 4.14) ist ersichtlich, dass Versuchsfeld C absolut gesehen die geringsten Dehnungen aufweist. Im vorliegenden Fall ist dies

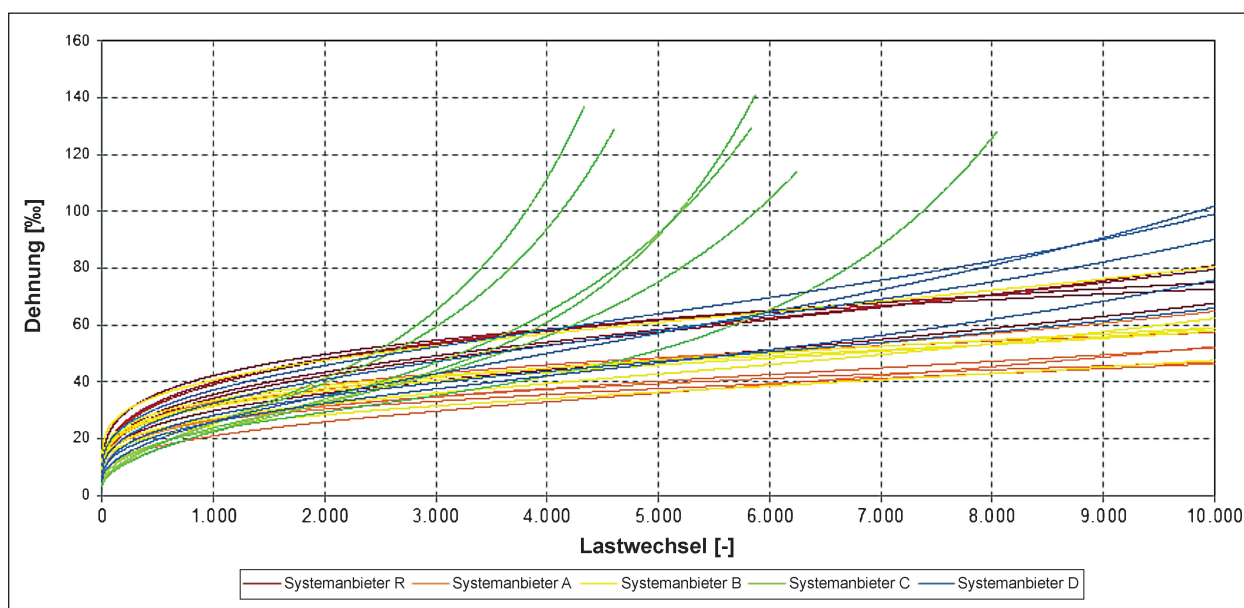


Bild 4.13: Dehnungen der Probekörper aus der Asphaltdeckschicht in Abhängigkeit von den Lastwechseln

jedoch kein Indiz für einen guten Verdichtungswiderstand, was neben dem Dehnungsverlauf auch die Dehnungsraten bestätigen. Vielmehr findet der Übergang der Verformungskurve in die Phase III – und damit das Versagen des Probekörpers – bereits nach sehr wenigen Lastwechseln und bei sehr geringen ertragenen Dehnungen statt (siehe auch Bild 4.13).

Aufgrund dessen muss dem Versuchsfeld C trotz der geringsten absoluten Dehnungen im Wendepunkt die geringste Verformungsbeständigkeit unterstellt werden.

Die Probekörper aus den Versuchsfeldern der anderen Systemanbieter und des Referenzfeldes haben zwar höhere Dehnungen, diesen liegt jedoch eine wesentlich höhere ertragene Lastwechselzahl zugrunde. Die Hälfte der Probekörper des Referenzfeldes, zwei Probekörper des Feldes A sowie ein Probekörper des Feldes B weisen sogar keinen

Wendepunkt bis zum Versuchsende auf, was für einen vergleichbar hohen Verdichtungswiderstand spricht

Die in Bild 4.15 abhängig von den Lastwechseln dargestellten und in Bild 4.16 zusammengefassten Dehnungsraten bestätigen die bereits vermuteten schlechten Verformungseigenschaften der Probekörper aus Feld C. Mit rund $107 [\% \cdot 10^{-4}/n]$ ist die mittlere Dehnungsrate rund 5-mal höher als der Wert des Feldes A.

Die Versuchsfelder A, B, D und R weisen deutlich geringere Dehnungsraten als Feld C auf. Mit Werten von rund 21 bis $30 [\% \cdot 10^{-4}/n]$ liegen die Dehnungsraten der Probekörper aus den Versuchsfeldern A, B sowie dem Referenzfeld in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die Druck-Schwellversuche an den Probekörpern aus Feld D ergaben mit einem Mittelwert von rund

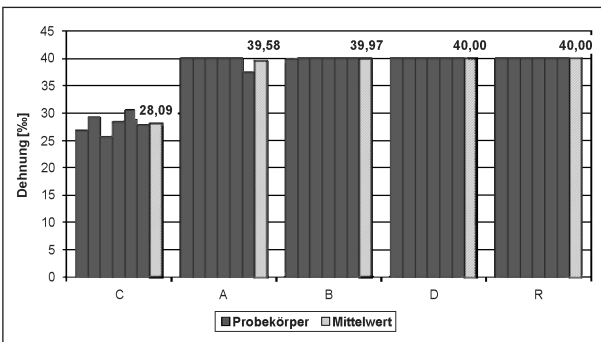


Bild 4.14: Dehnungen der Probekörper aus der Asphaltdeckschicht im Wendepunkt

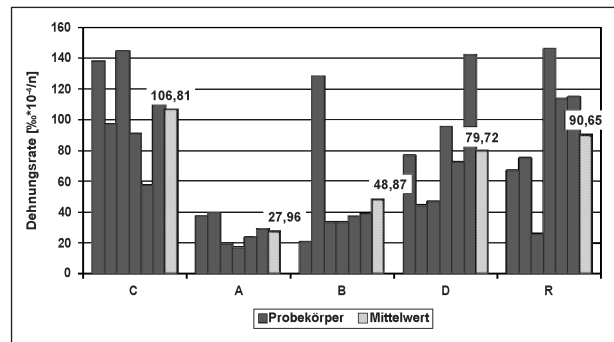


Bild 4.16: Dehnungsraten der Probekörper aus der Asphaltdeckschicht im Wendepunkt

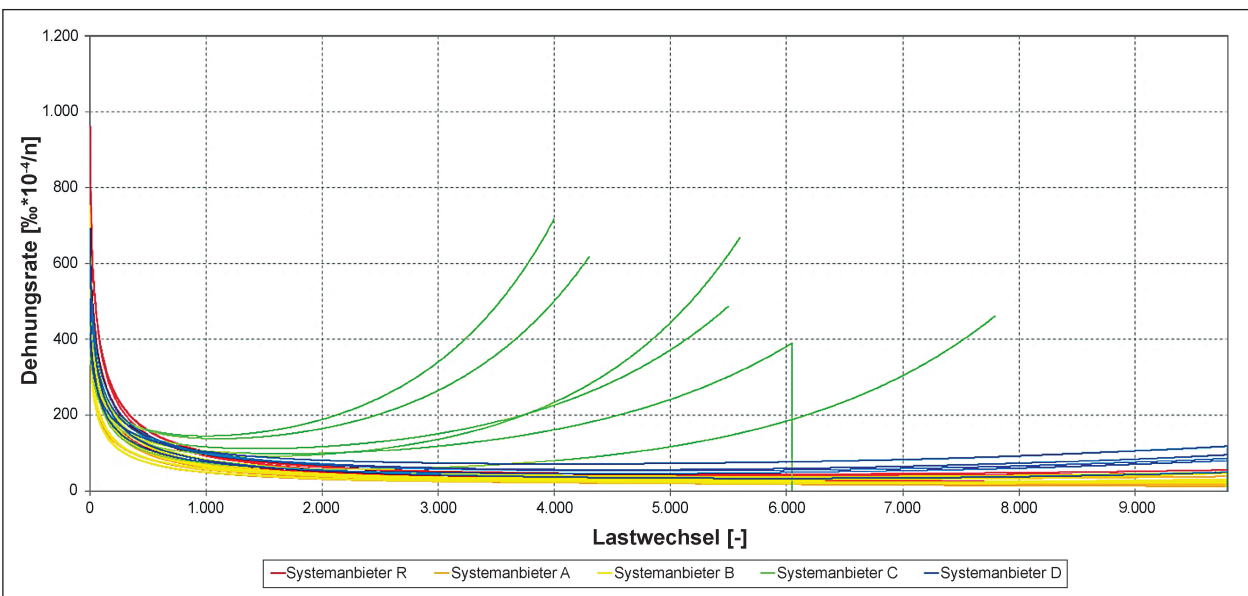


Bild 4.15: Dehnungsraten der Probekörper aus der Asphaltdeckschicht in Abhängigkeit von den Lastwechseln

48 $[\% \cdot 10^{-4}/n]$ zwar eine tendenziell höhere Dehnungsrate, selbst diese ist jedoch nur rund halb so groß wie die der untersuchten Probekörper aus dem Feld des Systemherstellers C.

Um die Ursachen für die auffallend schlechten Ergebnisse der Deckschichtprobekörper aus Feld C zu erklären, muss vorrangig das eingebaute Mischgut kritisch betrachtet werden. Die Kontrollprüfung belegt, dass die vorhandene Korngrößenverteilung deutlich von der Erstprüfung abweicht (vgl. Kapitel 4.2). Durch eine nicht mehr TL-Asphalt konforme Verschiebung in den größeren Korngrößenbereich ergibt sich ein höherer Hohlraumgehalt als bei den anderen verbauten Deckschichtmaterialien, der sich wiederum nachteilig auf den Verformungswiderstand des Mischguts auswirkt.

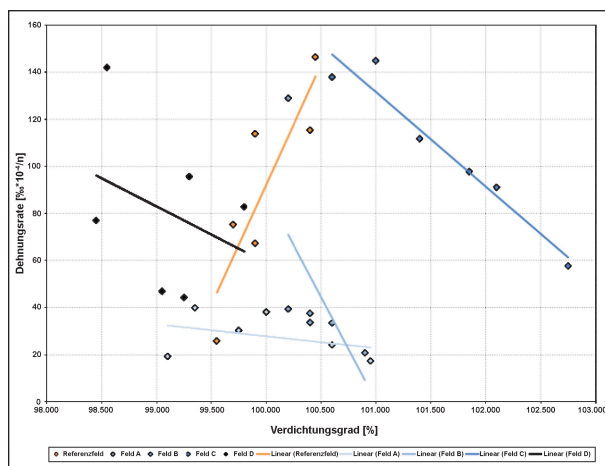


Bild 4.17: Abhängigkeit zwischen den Dehnungsraten im Wendepunkt des Druck-Schwellversuchs und dem Verdichtungsgrad der Probekörper aus der Asphaltdeckschicht

Ob auch bei der Asphaltdeckschicht eine Abhängigkeit zwischen dem Verdichtungsgrad und der Dehnungsrate festzustellen ist, kann durch Gegenüberstellung der beiden Größen untersucht werden (Bild 4.17).

Für die in Bild 4.17 dargestellten Dehnungsraten aus dem Druck-Schwellversuch über den Verdichtungsgraden wurden die Verdichtungsgrade als Mittelwerte aus den beiden Probekörpern herangezogen, die im jeweiligen Druck-Schwellversuch zu einem Probekörper mit ausreichender Gesamthöhe zusammengeklebt werden mussten.

Bezüglich des Versuchsfeldes C sei noch einmal explizit darauf hingewiesen, dass die extremen Abweichungen von den restlichen Werten maßgeblich durch das Mischgut beeinflusst werden (siehe Kontrollprüfung). Es ist davon auszugehen, dass sich bei gleicher Asphaltmischgutkonzeption ein weniger stark ausgeprägter Einfluss des Verdichtungsgrads ergibt.

Für eine Deckschicht aus Splittmastixasphalt erarbeitete Karcher [9] ein Verfahren, dass eine Beziehung zwischen dem Logarithmus der Dehnungsrate aus dem Druck-Schwellversuch, der Spurrinnentiefenrate und der ertragbaren Verkehrsbelastung bis zum Erreichen einer Spurrinnentiefe von 10 mm herstellt (Bild 4.18).

Damit ist es möglich, ausgehend von den bekannten mittleren Dehnungsraten die maximale Anzahl an äquivalenten 10-t-Achsübergängen zu schätzen, die das jeweilige Deckschichtmaterial bis zum Erreichen des Spurrinnenkriteriums ertragen kann. Unter Berücksichtigung der tatsächlich vorhandenen

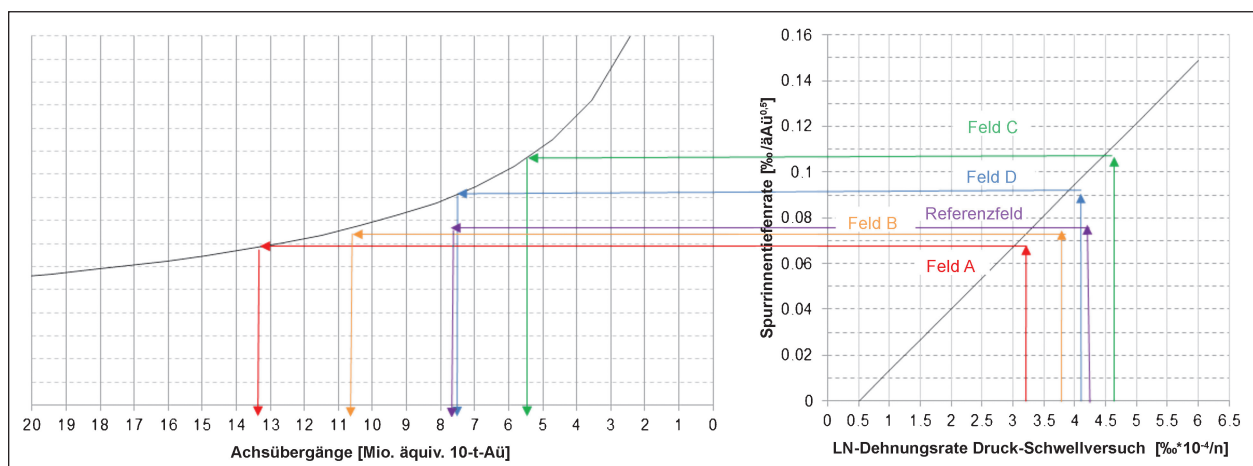


Bild 4.18: Zusammenhang zwischen Dehnungsrate, Spurrinnentiefenrate und ertragbaren Achsübergängen nach KARCHER (bearbeitet)

Verkehrsbelastung lassen sich dann Nutzungsdauern bestimmen und untereinander vergleichen.

Die aus Bild 4.18 abgeleiteten ertragbaren Achsübergänge sind für jedes Versuchsfeld in Tabelle 4.55 dargestellt. Bezogen auf die mittleren Dehnungsraten der Probekörper des Systemanbieters C kann die Asphaltdeckschicht aus Feld A also rund 2,7-mal so viele Achsübergänge aufnehmen, bis die bewertungsrelevante Spurrinnentiefe von 10 mm erreicht wird.

Mittels bekannter Verkehrsstärke, Fahrbahnbreiten sowie Längsneigung der Bundesstraße B 10 lässt sich die bemessungsrelevante Beanspruchung B gemäß den RStO 12 berechnet. So können die ertragbaren äquivalenten Achsübergänge der jeweiligen Deckschichten in Nutzungsdauern umgerechnet werden. Dabei ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass das Verfahren nach KARCHER auf der damals gültigen RStO 01 beruht.

Die der Bemessungsverkehrsstärke zugrunde gelegten Eingangsparameter für die Bundesstraße B 10 sind im Folgenden aufgeführt:

- Straßenklasse: Bundesstraße,
- 4 Fahrstreifen, erfasst in beide Fahrtrichtungen,
- Fahrstreifenbreite: 2,75 bis 3,25 m,
- Höchstlängsneigung: 2 bis unter 4 %,
- DTV_{SV} : 3.100 Fz/24h,
- jährliche Zunahme des Schwerverkehrs: 2 %.

Hieraus ergeben sich die folgenden Faktoren gemäß den RStO 12:

$$q_{BM} = 0,25$$

$$f_A = 4,0$$

$$f_1 = 0,45$$

$$f_2 = 1,45$$

$$f_3 = 1,02$$

Tabelle 4.54 enthält die sich ergebenden Äquivalenzachsen für einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren. Die Bundesstraße B 10 entspricht demnach mit einer Bemessungsverkehrsstärke von rund 31 Mio. äquivalenten 10-t-Achsübergängen der Belastungskategorie Bk32 nach den RStO 12.

Für die einzelnen Versuchsfelder resultieren somit die in Tabelle 4.55 dargestellten Nutzungsdauern.

Mit rund 14 Mio. ertragbaren äquivalenten Achsübergängen bzw. einer Nutzungsdauer von 16 Jahren weist die Asphaltdeckschicht aus Versuchsfeld A den größten Verformungswiderstand auf. Dies ist erwartungskonform, da gemäß dem Diagramm von KARCHER (Bild 4.18) eine geringe Dehnungsrate hohe ertragbare äquivalente Achsübergänge bewirkt.

Das Referenzfeld sowie das Versuchsfeld des Systemherstellers B haben mit jeweils rund 13 Jahren eine identische Nutzungsdauer. Dies kann ebenfalls auf die Dehnungsraten zurückgeführt werden, die bei beiden Feldern nahezu gleich, jedoch erkennbar höher als bei Feld A sind. Dieser Trend lässt sich über Feld D mit einer Nutzungsdauer von 10 Jahren, bis zu Feld C fortführen, welches mit nur

Jahr	B_i [äquiv. 10-t-Aü]	Jahr	B_i [äquiv. 10-t-Aü]
1	756.477	16	14.100.187
2	1.528.083	17	15.138.668
3	2.315.122	18	16.197.918
4	3.117.901	19	17.278.353
5	3.936.736	20	18.380.397
6	4.771.947	21	19.504.482
7	5.623.863	22	20.651.048
8	6.492.817	23	21.820.546
9	7.379.150	24	23.013.434
10	8.283.210	25	24.230.179
11	9.205.351	26	25.471.260
12	10.145.935	27	26.737.162
13	11.105.330	28	28.028.382
14	12.083.914	29	29.345.426
15	13.082.069	30	30.688.811

Tab. 4.54: Äquiv. 10-t-Achsübergänge gemäß den RStO 12 für den Straßenaufbau auf der Bundesstraße B 10

Feld	In Dehnungsrate [%*10 ⁻⁴ /n]	ertragbare Achsübergänge [Mio. äquiv. 10-t-Aü]	Nutzungsdauer [a]
R	4,37	6,22	7,5
A	3,28	11,58	13,4
B	3,70	9,07	10,9
C	4,62	5,13	6,4
D	4,29	6,17	7,5

Tab. 4.55: Ertragbare äquivalente Achsübergänge bis zum Erreichen einer Spurrinnentiefe von 10 mm und Nutzungsdauern der Deckschichten

6 Jahren die mit Abstand kürzeste Gesamtnutzungsdauer aufweist.

Die in Tabelle 4.55 zusammengefassten Nutzungsdauern für die einzelnen Untersuchungsfelder sind Mittelwerte, die auf der Grundlage der Mittelwerte der Dehnungsraten in den einzelnen Entnahmequerschnitten jedes Feldes ermittelt wurden. Setzt man die Nutzungsdauer ins Verhältnis zum durchschnittlichen Verdichtungsgrad des jeweiligen Feldes, ergibt sich ein erkennbarer Zusammenhang (Bild 4.19).

Die erreichbare Nutzungsdauer der Asphaltdeckschicht steigt zunächst mit zunehmendem Verdichtungsgrad bis zu einem Maximalwert an. Dieser wird bei einem Verdichtungsgrad von rund 100 [%] erreicht (Feld A). Dabei ist der Anstieg der Nutzungsdauer zwischen dem Referenzfeld und Feld D praktisch nicht auszumachen, obgleich der Verdichtungsgrad im Referenzfeld höher ausfällt. Hingegen ergibt sich für Feld A mit einem zum Referenzfeld vergleichbaren Verdichtungsgrad wiederum eine deutlich höhere Nutzungsdauer. Bei höherer Verdichtung, wie sie in den Feldern C und D erreicht wurde, nimmt die Nutzungsdauer wieder ab, was auf die bereits erwähnten Effekte einer Überverdichtung zurückgeführt werden kann.

Informativ ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass im Rahmen der Untersuchungen von Herrn Karcher Marshall-Probekörper aus rückgewonnenem Mischgut erstellt wurden. Darin ist ein Unterschied zu den Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojekts erkennbar, da für die Auswertungen des Forschungsnehmers zwei benachbarte Probekörper verwendet wurden, die mittels zurückgewonnenem Bindemittel aus den Bohrkernentnahmestationen der Untersuchungsstrecke gemäß TP Asphalt-StB Teil 25 miteinander verklebt wurden.

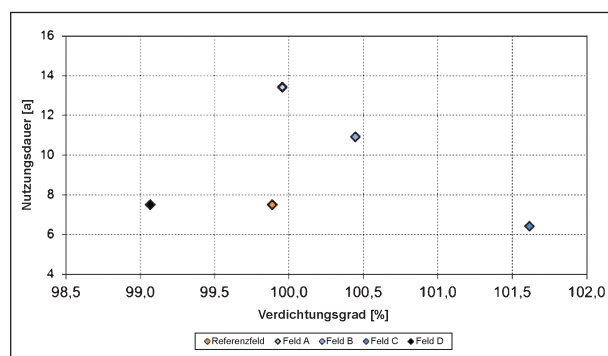


Bild 4.19: Zusammenhang zwischen Verdichtungsgrad und Nutzungsdauer der Asphaltdeckschicht

Weiterhin sollte nochmals darauf hingewiesen werden, dass bei der Betrachtung von Tabelle 4.55 berücksichtigt werden sollte, dass in Feld C eine Abweichung bei der Mischgutzusammensetzung durch den Forschungsnehmer dokumentiert werden konnte, was einen maßgeblichen Einfluss auf diese Ergebnis darstellt.

5 Auswertung der Ergebnisse von Messungen während des Einbaus und danach

5.1 Prüfung der Anzahl aufgezeichneter Walzübergänge

Wie im Kapitel 3.2.3 bereits erwähnt, wurden die für die Probenentnahme relevanten Teilabschnitte in den verschiedenen Feldern videoteknisch dokumentiert. Diese Dokumentation bietet zusammen mit den Daten der GPS-Erfassung (Kapitel 3.1) die Grundlage für die nachfolgenden Auswertungen hinsichtlich der Anzahl der dokumentierten Walzübergänge.

Für die Auswertung der Walzübergänge werden die gespeicherten Daten der verschiedenen Systemanbieter mit den jeweiligen Videoaufzeichnungen an den Entnahmestellen der jeweils in zwei Querschnitten über die Fahrbahnbreite angeordneten 6 Bohrkernkerne überlagert und verglichen. Die während des Einbaus durchgeführten Videoaufzeichnungen wurden am Institut für Straßenwesen durchgesehen und dabei notiert, welche Walze welche Bohrkernentnahmestelle wie oft überfahren hat. Wie in Bild 3.16 ersichtlich ist, befanden sich die Kameras grundsätzlich auf dem rechten Seitenstreifen und weisen somit einen Winkel von ca. 30° zum Entnahmebereich auf. Durch den Standpunkt der Kamera kam es stellenweise zu Schwierigkeiten bei der Zuordnung der jeweiligen Überrollungen zu einzelnen Bohrkernentnahmestellen.

Weiterhin wurde bei der Auswertung ersichtlich, dass die Systeme der verschiedenen Hersteller jeweils unterschiedliche Vorgehensweisen zur Definition einer „Überfahrt“ haben. So ist z. B. bei Systemanbieter A vorgesehen, dass eine Zelle erst als einmal überfahren gilt, wenn beide Bandagen die einzelnen definierten geographischen Zellen überrollt haben. Bei Systemanbieter C sind die Voreinstellungen so definiert, dass die Zelle als überfahren angezeigt wird, sobald die vordere Bandage

des Verdichtungsgeräts die Zelle überrollt hat. Systemanbieter B wiederum hat die systeminternen Grundeinstellungen so gewählt, dass eine einzelne Bandage mittels GPS geortet werden kann und jede einzelne Überrollung der Bandage im System angezeigt wird. Ähnlich des Systems des Herstellers C wird auch beim Systemanbieter D eine Zelle als überfahren aufgezeichnet, sobald sich die geregelte Bandage über die definierte Zelle bewegt.

Aufgrund dieser Einflussgrößen wird darauf verzichtet, einen absoluten Vergleich zwischen den manuell aus den Videoaufzeichnungen gezählten Überrollungen an den Bohrkernentnahmestellen und den von den eingesetzten Verdichtungssystemen automatisch aufgezeichneten darzustellen. Stattdessen wird für jeden Systemanbieter eine

Anzahl der Abweichungen	Bewertung der Übereinstimmung
0 bis 3	gut
> 3 bis 6	mit Abweichungen
> 6	bedenkliche Abweichungen

Tab. 5.1: Klassifizierung der Übereinstimmung manuell und automatisch erfasster Verdichtungsübergänge bei Betrachtung von 12 Bohrkernentnahmestellen

Systemanbieter	Bewertung der Übereinstimmung
A1	mit Abweichungen
A2	mit Abweichungen
B	gut
C	mit Abweichungen
D	–

Tab. 5.2: Bewertung der Übereinstimmung manuell und automatisch erfasster Verdichtungsübergänge für die eingesetzten flächendeckenden Verdichtungskontrollsysteme auf der Asphaltbindersicht

Systemanbieter	Bewertung der Übereinstimmung
A1	gut
A2	gut
B	gut
C	gut
D	–

Tab. 5.3: Bewertung der Übereinstimmung manuell und automatisch erfasster Verdichtungsübergänge für die eingesetzten flächendeckenden Verdichtungskontrollsysteme auf der Asphaltdeckschicht

pauschale Bewertung der Übereinstimmung von manuell und automatisch erfassten Überrollungen vollzogen. Dabei zählt als Abweichung an einer Bohrkernentnahmestelle aufgrund der beschriebenen möglichen begründbaren Unterschiede bei der Erfassung der Überrollungen eine um mehr als zwei unterschiedliche Anzahl an Überfahrten zwischen den manuellen Aufnahmen und den gespeicherten Daten der Verdichtungssysteme. Die absolute Höhe des Unterschieds der erfassten Übergänge wird somit bei der Bewertung vernachlässigt, was aber bei den vorliegenden Ergebnissen auch nicht für nötig erachtet wurde. Für die Bewertung ist die Klassifizierung laut Tabelle 5.1 vorgesehen

Durch Überlagerung der messtechnisch und manuell erfassten Walzübergänge und den Festlegungen aus Tabelle 5.1 kann in den nachfolgenden Tabellen (Tabelle 5.2 und Tabelle 5.3) eine Bewertung der Systemanbieter hinsichtlich der Genauigkeit bzw. Plausibilität der aufgezeichneten Walzübergänge vollzogen werden. Leider ist dem Forschungsnehmer ein vollständiger Abgleich der manuell erfassten und systemseitig aufgezeichneten Walzübergänge nicht möglich, da von einem Systemanbieter (D) keine Auswertesoftware zur Verfügung werden konnte.

Wie Tabelle 5.2 und Tabelle 5.3 zeigen, konnten die Übereinstimmungen der händisch und automatisch erfassten Walzübergangszahl überwiegend als gut klassifiziert werden. In Einzelfällen treten Abweichungen auf. Diese sind voraussichtlich auf kurzzeitig ausgefallene Verbindung zum GPS-System oder dessen Ungenauigkeit zurückzuführen. In Folge solcher Fehler treten Fehlinformationen in der Dokumentation auf, die im Weiteren zu einer nicht zutreffenden Bewertung einzelner Flächenanteile im Einbaufeld führen. Sofern diese selten auftreten, ist dies sicher hinnehmbar, bei häufigerer Abweichung stellt dies eine Beeinträchtigung der Verdichtungsleistung dar.

5.2 Auswertung der Dichtemessungen mit der Isotopsonde

Die Messungen mit der Isotopsonde wurden wie bereits in Kapitel 3.2.2 beschrieben durch die Firma SBT Laboratorium für Straßen- und Betonbau Trier im Auftrag der ausführenden Firma und des Forschungsnehmers etwa alle 100 m in drei Messpunkten des Straßenquerschnitts auf der gesamten Messstrecke durchgeführt.

Für die Messungen wurde gemäß des vorliegenden Erstprüfungsberichts der Firma Juchem Asphaltbau für die Binderschicht (AC 16 BS) eine Bezugsraum-dichte von $2,329 \text{ g/cm}^3$ und für die Deckschicht (SMA 11 S) eine Bezugsraum-dichte von $2,334 \text{ g/cm}^3$ angenommen. Für die Einstellungen hinsichtlich der Messtiefe der Troxlermessungen wurde sich an den Ausführungen der gültigen Arbeitsanleitung für den Einsatz radiometrischer Geräte für zerstörungsfreie Dichtemessungen auf Asphalt-schichten [10] orientiert. Hier wird erwähnt, dass die Messtiefe $0,5 \text{ cm}$ geringer als die Solldicke einzustellen ist. Im Rahmen der Bauausschreibung wurde vom Landesbetrieb Mobilität (LBM) Rheinland-Pfalz vorgesehen, dass der Oberbau auf beiden Fahrstreifen in etwa in einer Dicke von ca. 4 cm für die Asphaltdeckschicht und von ca. 8 cm für die Asphaltbinderschicht eingebaut wird. Aufgrund dieser Angaben wurde die Messtiefe der Isotopsonde für die Asphaltdeckschicht mit $3,5 \text{ cm}$ und für die Asphaltbinderschicht mit $7,5 \text{ cm}$ definiert. Bei der späteren Bohrkernuntersuchung konnte stellenweise festgestellt werden, dass die Einbaudicke der Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht unterschritten wurde. In diesen Bereichen sollten die Messergebnisse kritisch bewertet werden.

Über die in Bild 5.1 dargestellten Abhängigkeiten kann die Standardabweichung für Mehrfachmessungen an einem Messpunkt zu unterschiedlichen Zeiten in Abhängigkeit von der Messdauer ermittelt werden. Für die Auswertungen auf der Forschungsstrecke B 10 kann unter den gewählten Randbedingungen eine Standardabweichung von $0,041 \text{ g/cm}^3$ angesetzt werden.

Für Messungen, die dieses Kriterium nicht erfüllen, darf gemäß [10] kein Mittelwert aus beiden Messwerten gebildet werden. Für diesen Fall ist vorgesehen, dass die am weitesten vom Mittelwert abweichende Einzelmessung eliminiert wird.

Nachfolgend werden die aufgezeichneten Daten der Troxlermessungen für jeden Entnahmequer-

	a_{zul} bei Messzeit		
	0,5 Minuten	1 Minute	4 Minuten
bei 2 Einzelmessungen $a_{zul} = 2,77_a$	$0,041 \text{ g/cm}^3$	$0,029 \text{ g/cm}^3$	$0,014 \text{ g/cm}^3$
bei 3 Einzelmessungen $a_{zul} = 3,31_a$	$0,049 \text{ g/cm}^3$	$0,035 \text{ g/cm}^3$	$0,017 \text{ g/cm}^3$

Bild 5.1: Zusammenhang zwischen Messzeit und Anzahl der Einzelmessungen für Troxlermessungen [10]

schnitt einzeln und zusammenfassend dargestellt und analysiert.

Für die Auswertung hinsichtlich der Homogenität der Einbau- bzw. Verdichtungsleistung werden in diesem Kapitel zum einen die Werte der Messung direkt hinter der Verteilerschnecke des Fertigers (Vorverdichtung Fertiger) und zum anderen die am Ende des Bautags aufgenommenen Daten zugrunde gelegt. Die Homogenität der Vorverdichtung ist für die gleichmäßige Verdichtung von großer Bedeutung, da im Regelfall die Verdichtung des Mischguts über eine fest vorgegebene Anzahl von Walzübergängen für die gesamte Fläche reguliert wird.

Der erste Schritt der Auswertung befasst sich mit der Begutachtung der Messwerte der Isotopsonde direkt hinter der Verteilerschnecke des Fertigers und somit mit der Vorverdichtung des Mischgutes durch den Fertiger. Die Messungen an der Verteilerschnecke erfolgten in Abständen von ca. 100 m wobei an den dort festgelegten Querschnitten drei Messpunkte (rechts, mittig und links) dokumentiert wurden. Bei der Auswertung der so ermittelten Ergebnisse soll seitens des Forschungsnehmers geprüft werden, welche relative Verdichtungsleistung der Fertiger ins Mischgut einbringt und ob sich diese Leistung homogen über den gesamten Straßenquerschnitt darstellt. In den Bildern 5.2 und Bild 5.3 werden die ermittelten Verdichtungsgrade auf der Grundlage der Ergebnisse der Messung mit der Isotopsonde in Fahrtrichtung für die Asphaltbinderschicht und Asphaltdeckschicht grafisch dargestellt.

Bei der Betrachtung von Bild 5.2 für die Asphaltbinderschicht ist erkennbar, dass die Vorverdichtungsleistung des Fertigers in jedem Feld Schwankungen – laut Isotopsonde – unterliegt. Über die gesamte Messstrecke weisen die Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht bei einem Minimum von

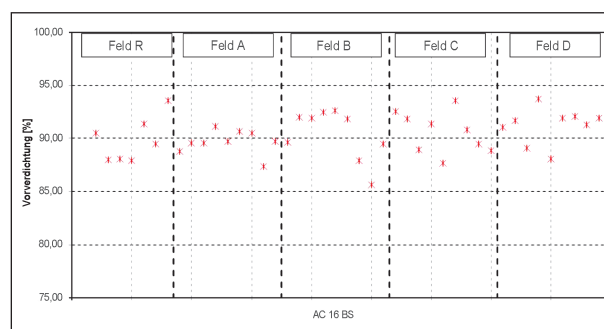


Bild 5.2: Darstellung der Vorverdichtung der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) durch den Fertiger mittels Isotopsonde

85,63 % und einem Maximum von 93,73 % einen Mittelwert von 90,37 % auf. Die Verteilung mit der höchsten Homogenität der Vorverdichtung tritt in Feld A auf, diesem entgegen steht Feld C.

Bild 5.3 stellt die Vorverdichtung der Asphaltdeckschicht auf der Bundesstraße B 10 anhand der Verdichtungsgrade auf der Basis von Messungen mit der Isotopsonde dar. Bei der visuellen Begutachtung fällt auf, dass die Vordichtung größeren Schwankungen unterliegt als bei der Asphaltbinderschicht und insgesamt kleinere Werte aufweist. Über den gesamten Streckenabschnitt erreicht die Vorverdichtung einen Mittelwert von 83,37 % bei einem Maximum von 92,73 % und einem Minimum von 76,28 %. Die größten Schwankungen bei der Vorverdichtung können in Feld R detektiert werden, die geringsten Schwankungen werden dagegen in Feld C verzeichnet. Bei der Betrachtung der einzelnen Felder ist zudem ersichtlich, dass sich die Niveaus der einzelnen Felder nicht unwesentlich voneinander unterscheiden.

In nachfolgendem Bild 5.4 und Bild 5.5 wird die Vorverdichtung der Asphaltbinder- und Asphaltdeckschicht durch den Fertiger getrennt nach den beiden Entnahmequerschnitten grafisch dargestellt.

Die beiden Abbildungen zeigen deutlich, dass die höchsten und niedrigsten Verdichtungsgrade bei der Vorverdichtung sowohl in der Binder- als auch in der Deckschicht nicht eindeutig einem Rand der Straßenbefestigung oder der Mitte der Fahrstreifen zugeordnet werden können, da die niedrigsten, höchsten und mittleren Verdichtungsgrade einen großen Schwankungsbereich zwischen den Rändern der Straßenbefestigung aufweisen. Da diese Werte jedoch mit der Isotopsonde ermittelt wurden und – wie die folgenden Abbildungen zeigen – nicht immer mit den Laborwerten an Bohrkernen korrelieren, sind diese Ergebnisse als nicht abgesichert anzusehen.

Die in Anhang 3 dargestellten Tabellen mit Ergebnissen der Troxlermessungen beziehen sich auf die Endverdichtung und wurden bei einer Schichttemperatur von unter 50 °C doppelt gemessen. Dabei wurde die Isotopsonde bei der zweiten Messung um 180° gedreht. In den nachfolgenden Abbildungen werden die Verdichtungsgrade der Endverdichtung (Isotopsonde) zusammen mit den ermittelten Verdichtungsgraden der Bohrkern für jede Entnahmestelle einzeln dargestellt.

In den Bildern 5.6 bis 5.25 sind die Verdichtungsgrade aus Troxlermessungen (nach Abkühlung des Asphalts) und Bohrkernuntersuchungen aller Querschnitte, Felder und Asphalt-schichten dargestellt.

Vergleicht man die Verdichtungsgrade der Troxlermessungen vor Ort mit den ermittelten Laborwerten der Kontrollprüfung, ist festzustellen, dass die im Labor ermittelten Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht zumeist höher ausfallen. Bei der Asphaltbinderschicht verhält es sich hingegen genau umgekehrt.

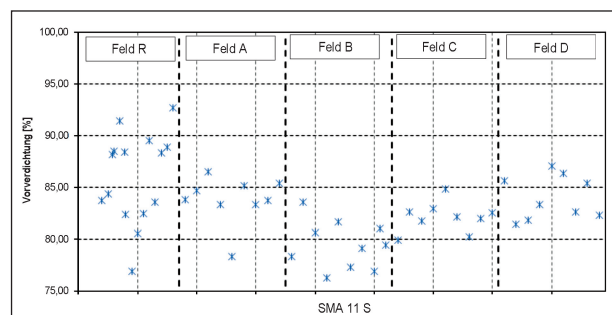


Bild 5.3: Darstellung der Vorverdichtung der Asphaltdeckschicht (SMA 11 S) durch den Fertiger mittels Isotopsonde

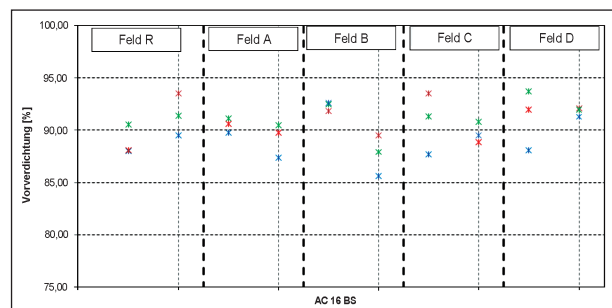


Bild 5.4: Darstellung der Vorverdichtung der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) durch den Fertiger mittels Isotopsonde in Abhängigkeit von den Entnahmequerschnitten (rot: links, blau: mittig, grün: rechts im Querschnitt)

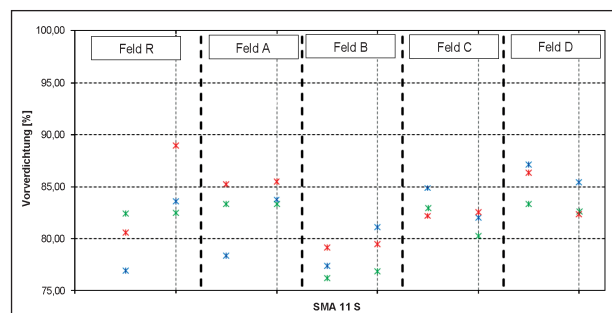


Bild 5.5: Darstellung der Vorverdichtung der Asphaltdeckschicht (SMA 11 S) durch den Fertiger mittels Isotopsonde in Abhängigkeit von den Entnahmequerschnitten (rot: links, blau: mittig, grün: rechts im Querschnitt)

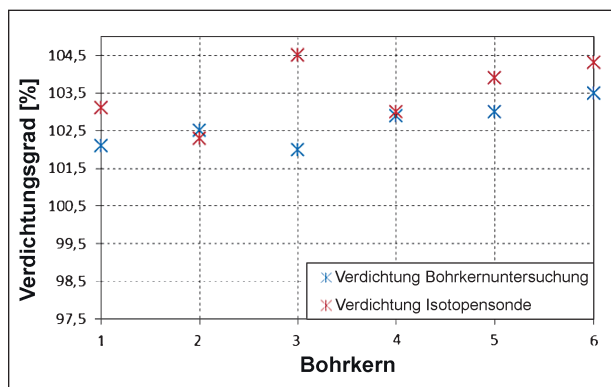


Bild 5.6: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt I, Feld R (AC 16 BS)

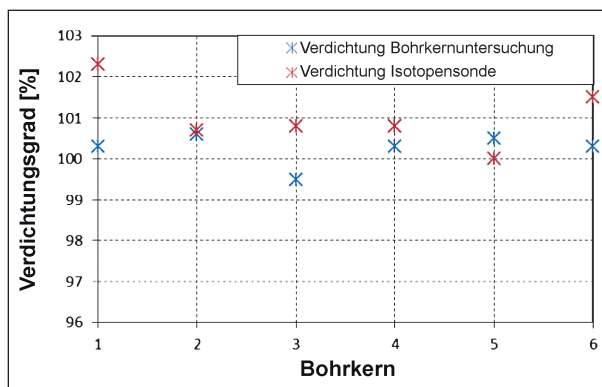


Bild 5.9: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt II, Feld R (SMA 11 S)

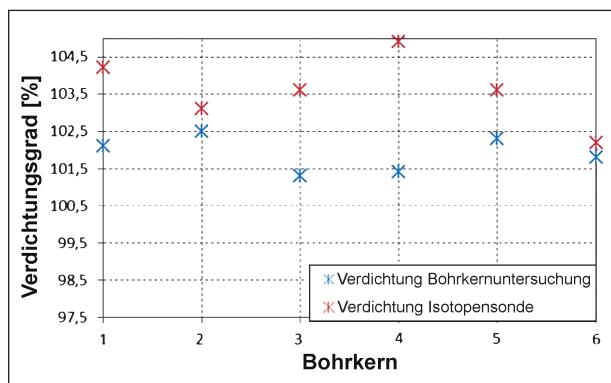


Bild 5.7: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt II, Feld R (AC 16 BS)

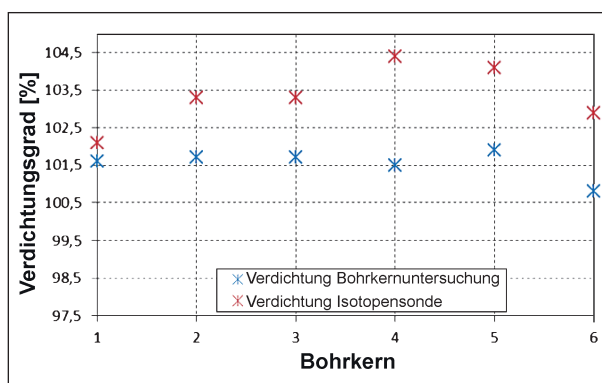


Bild 5.10: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt I, Feld A (AC 16 BS)

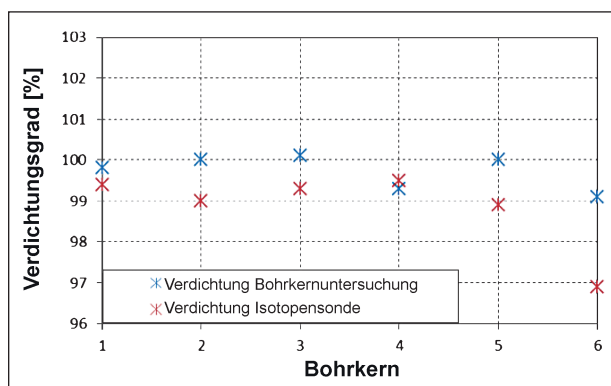


Bild 5.8: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt I, Feld R (SMA 11 S)

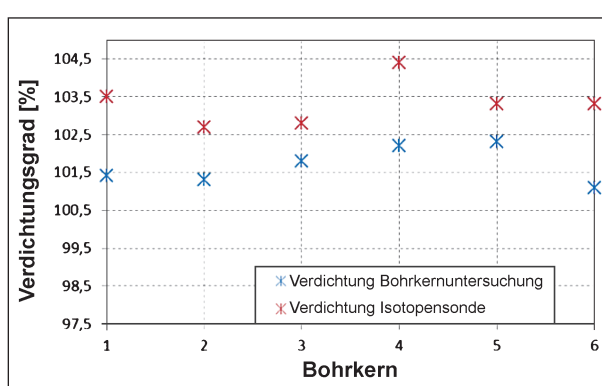


Bild 5.11: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt II, Feld A (AC 16 BS)

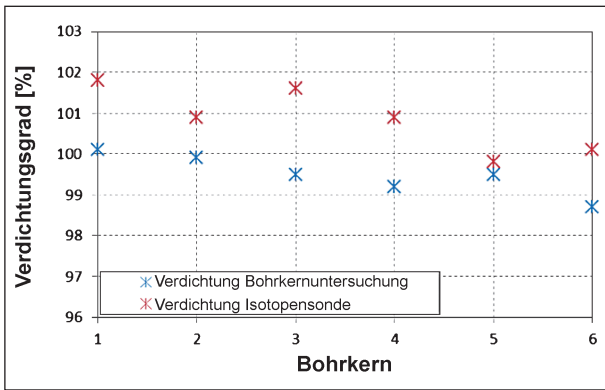


Bild 5.12: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt I, Feld A (SMA 11 S)

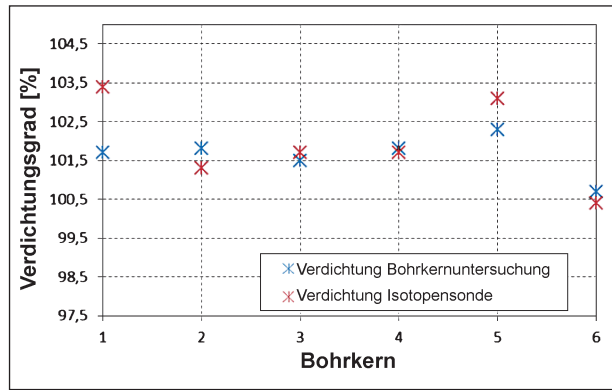


Bild 5.15: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt II, Feld B (AC 16 BS)

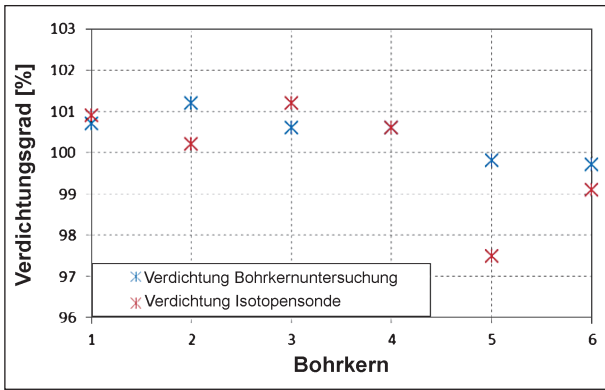


Bild 5.13: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt II, Feld A (SMA 11 S)

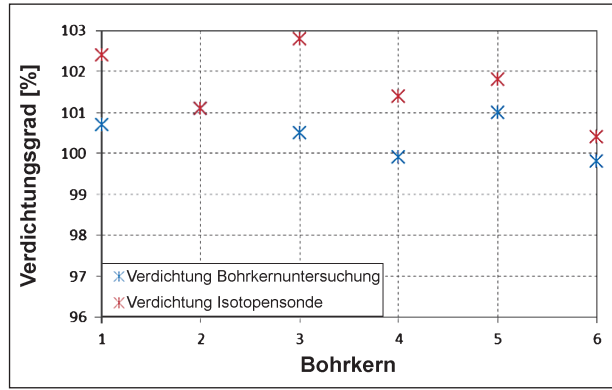


Bild 5.16: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt I, Feld B (SMA 11 S)

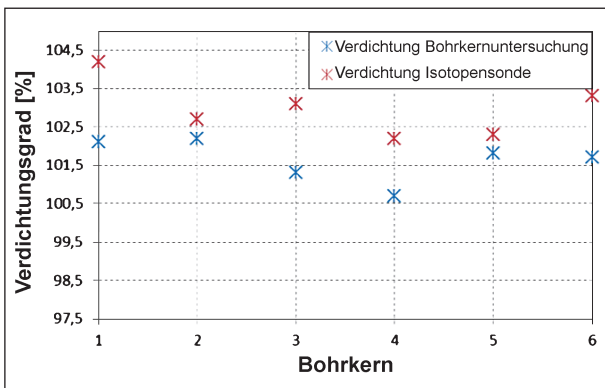


Bild 5.14: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt I, Feld B (AC 16 BS)

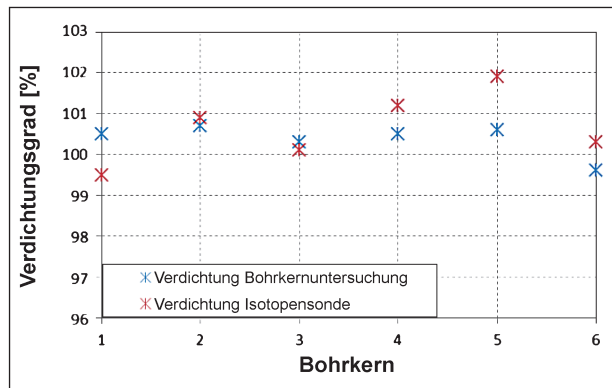


Bild 5.17: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt II, Feld B (SMA 11 S)

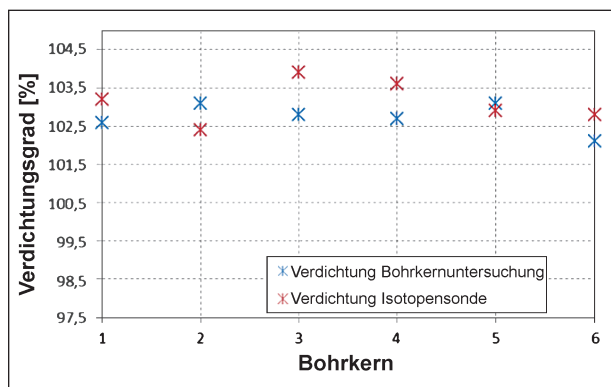


Bild 5.18: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt I, Feld C (AC 16 BS)

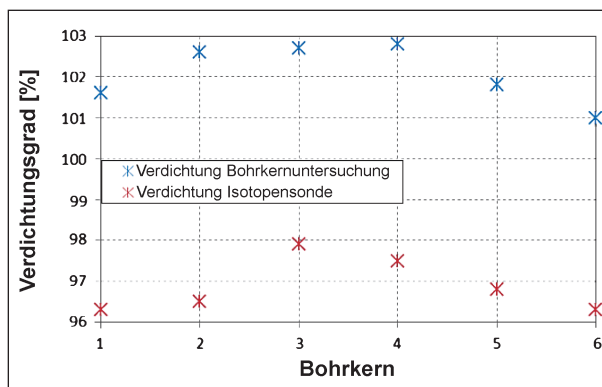


Bild 5.21: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt II, Feld C (SMA 11 S)

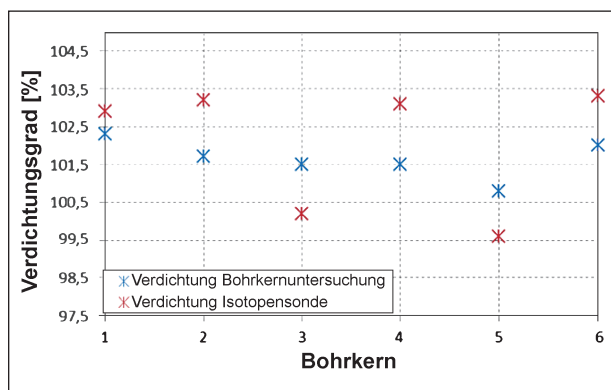


Bild 5.19: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt II, Feld C (AC 16 BS)

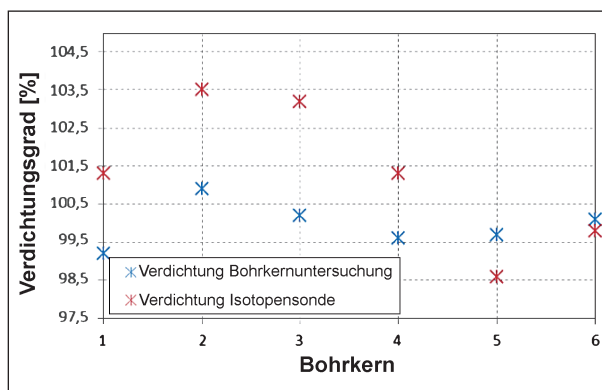


Bild 5.22: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt I, Feld D (AC 16 BS)

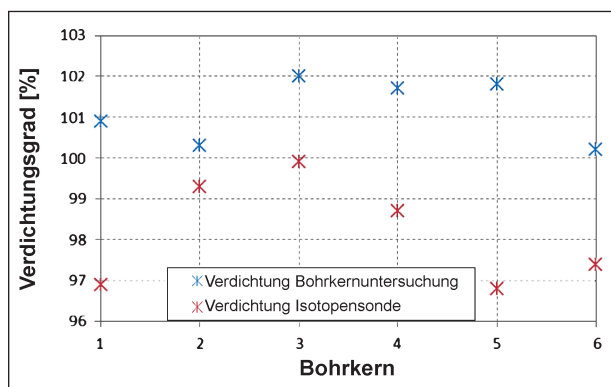


Bild 5.20: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt I, Feld C (SMA 11 S)

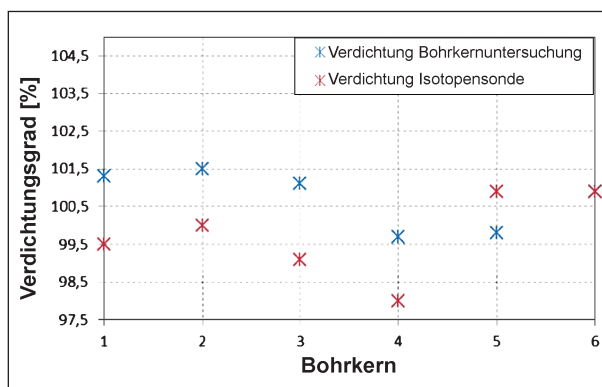


Bild 5.23: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkernuntersuchung und der Messung mit der Isotopensonde in Querschnitt II, Feld D (AC 16 BS)

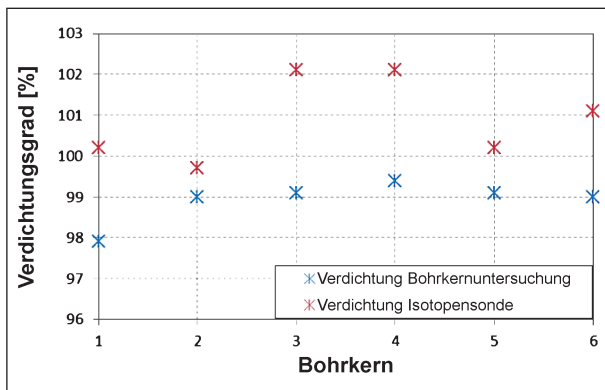


Bild 5.24: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkerneuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt I, Feld D (SMA 11 S)

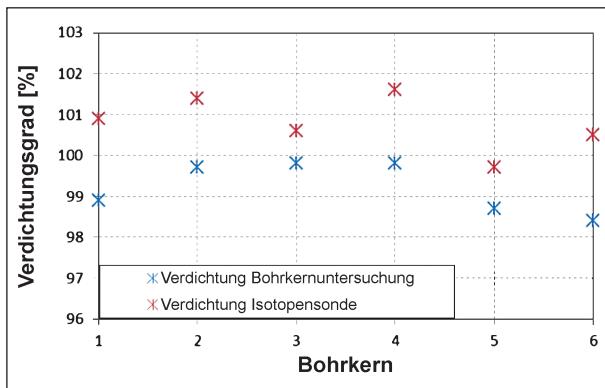


Bild 5.25: Gegenüberstellung der Verdichtungsgrade der Bohrkerneuntersuchung und der Messung mit der Isotopsonde in Querschnitt II, Feld D (SMA 11 S)

Allgemein kann kein direkter Zusammenhang zwischen den Troxlermessungen und den Verdichtungsgraden aus den Laboruntersuchungen festgestellt werden. Teilweise ergeben sich gute Übereinstimmungen – entweder durch annähernd gleiche Werte (z. B. Bild 5.15) oder eine parallele Verschiebung der Punkte (z. B. Bild 5.21) – andererseits liegen auch große Abweichung ohne erkennbaren Zusammenhang vor.

5.3 Auswertung der Verdichtungsgrade

Nach den im Labor durchgeführten Untersuchungen folgt die Beurteilung der Bohrkerne bzw. deren Verdichtungsgrade in Bezug auf die einzelnen Entnahmequerschnitte auf der Bundesstraße. Die Verdichtungsgrade der Binder- und Decksicht werden in den nachfolgenden Tabellen für das jeweilige Feld zusammenfassend dargestellt. Dabei wurden die Bohrkerne in der Reihenfolgen vom rechten zum linken Fahrbahnrand aufgelistet und in der

letzten Spalte anhand des Verdichtungsgrads gerankt, wobei der höchste Verdichtungsgrad den ersten Rangplatz erhielt.

Tabelle 5.4 weist zunächst keinen eindeutigen Verlauf der Verdichtung in den Querprofilen auf, d. h. es kann nicht festgestellt werden, dass einer der Bohrkerne an allen Stationen immer ein bestimmtes Ranking erhält. Im Einzelfall ist aber erkennbar ist, dass sich der Bohrkern I bei 10 von 12 Querschnitten auf „Platz 1“ befindet, d. h. bei 10 von 12 Entnahmestationen konnte an Bohrkern I der höchste Verdichtungsgrad nachgewiesen werden. Dies scheint nachvollziehbar, da das gefahrene Walzschema eine Verdichtung der rechten Bahn als erstes vorsah. Bei den weiteren Bohrkerne II bis VI kann in der Binderschicht kein Schema im Ranking erkannt werden.

Die Betrachtung der Tabelle 5.5 liefert bezüglich der Verdichtungsverteilung ein anderes Bild. Im Bereich der einzelnen Entnahmestationen in den fünf Feldern kann nicht pauschalisiert werden, dass einer der Bohrkerne durchweg einen höheren Verdichtungsgrad als ein anderer besitzt.

Die in Tabelle 5.4 und Tabelle 5.5 tabellarisch dargestellten Verdichtungsgrade der einzelnen Bohrkerne werden in den nachfolgenden Bild 5.26 und Bild 5.27 grafisch aufbereitet wiedergegeben.

Die beiden Abbildungen offenbaren, was die Mittelwerte der tabellarischen Darstellungen bereits in Zahlen auswiesen: Die Niveaus der Verdichtungsgrade in den einzelnen Querschnitten fallen graduell unterschiedlich aus, liegen insgesamt – auch über Binder- und Deckschicht hinweg – bis auf Einzelwerte in einem Bereich von 98 bis 104 %. Der Verdichtungserfolg ist insgesamt somit als anforderungsgerecht zu bezeichnen. Dabei kann für die Asphaltbinderschicht (Bild 5.26) – wie üblicherweise erwartet – ein höheres Verdichtungs-niveaus als bei der Asphaltdeckschicht (Bild 5.27) aufgezeigt werden. Weiterhin unterscheiden sich die Schwankungen der Verdichtungsergebnisse zwischen der Asphaltbinder- und Asphaltdeckschicht bei den einzelnen Systemanbietern. Im Bereich der Asphaltbinderschicht können im Vergleich zur Asphaltdeckschicht größere Schwankungen des Verdichtungs-erfolges erkannt werden.

Grundsätzlich liegt das Verdichtungs-niveau des Systemanbieters D gegenüber den anderen Anbietern am niedrigsten. Dies darf jedoch nicht als eine schwächere Verdichtungsleistung der eingesetzten

Binderschicht AC 16 BS													
	Querschnitt	Bohrkern	Verdichtungsgrad	Mittelwert Querschnitt	Standardabweichung Querschnitt	Mittelwert Feld	Standardabweichung Feld	Ranking					
Feld R	I	I	103,1	102,8	0,5	102,5	0,8	2					
	I	II	102,5					5					
	I	III	102,0					6					
	I	IV	102,9					4					
	I	V	103,0					3					
	I	VI	103,5					1					
	II	I	104,2	102,3	1,0			1					
	II	II	102,5					2					
	II	III	101,3					6					
	II	IV	101,4					5					
	II	V	102,3					3					
	II	VI	101,8					4					
	Feld A	I	I					102,1	101,6	0,4	101,8	0,7	1
		I	II					101,7					4
I		III	101,7	4									
I		IV	101,5	3									
I		V	101,9	2									
I		VI	100,8	5									
II		I	103,5	102,0	0,8	1							
II		II	101,3			5							
II		III	101,8			4							
II		IV	102,2			3							
II		V	102,3			2							
II		VI	101,1			6							
Feld B		I	I			104,2	102,0	1,1	102,0	1,0			1
		I	II			102,2							2
	I	III	101,3	5									
	I	IV	100,7	6									
	I	V	101,8	3									
	I	VI	101,7	4									
	II	I	103,4	101,9	0,8	1							
	II	II	101,8			3							
	II	III	101,5			4							
	II	IV	101,8			3							
	II	V	102,3			2							
	II	VI	100,7			5							
	Binderschicht AC 16 BS												
		Querschnitt	Bohrkern			Verdichtungsgrad	Mittelwert Querschnitt	Standardabweichung Querschnitt			Mittelwert Feld	Standardabweichung Feld	Ranking
Feld C	I	I	103,2	102,8	0,4	102,3	0,8	1					
	I	II	103,1					2					
	I	III	102,8					3					
	I	IV	102,7					4					
	I	V	103,1					2					
	I	VI	102,1					5					
	II	I	102,9	101,7	0,7			1					
	II	II	101,7					3					
	II	III	101,5					4					
	II	IV	101,5					4					
	II	V	100,8					5					
	II	VI	102,0					2					
	Feld D	I	I					101,3	100,3	0,6	100,4	0,7	1
		I	II					100,9					2
I		III	100,2	3									
I		IV	99,6	5									
I		V	99,7	6									
I		VI	100,1	4									
II		I	99,5	100,4	0,8	6							
II		II	101,5			1							
II		III	101,1			2							
II		IV	99,7			5							
II		V	99,8			4							
II		VI	100,9			3							

Tab. 5.4: Fortsetzung

Baumaschinen angesehen werden, denn diese waren auf allen Feldern identisch. Da die Anzahl der Walzübergänge auf jedem Feld individuell vom feldspezifischen Verdichtungskontrollsystem vorgegeben bzw. vom Walzenführer eingeschätzt wurde, bedeutet der geringere Verdichtungsgrad in diesem Feld, dass das System des Anbieters D früher als die anderen Systeme Signal gab, dass die erforderliche Verdichtungsleistung erbracht wurde, womit eine weitere Walzung als nicht mehr notwendig betrachtet wurde und somit eingestellt wurde. In Feld D wurden somit die Anforderungswerte an den Verdichtungsgrad am effektivsten erreicht.

Tab. 5.4: Darstellung aller Verdichtungsgrade der jeweiligen Bohrkerne aus der Asphaltbinderschicht der Bundesstraße B 10

Deckschicht SMA 11 S								
	Querschnitt	Bohrkern	Verdichtungsgrad	Mittelwert Querschnitt	Standardabweichung Querschnitt	Mittelwert Feld	Standardabweichung Feld	Ranking
Feld R	I	I	99,8	99,7	0,4	100,0	0,5	3
	I	II	100,0					2
	I	III	100,1					1
	I	IV	99,3					4
	I	V	100,0					2
	I	VI	99,1					5
	II	I	100,3	100,3	0,4			3
	II	II	100,6					1
	II	III	99,5					4
	II	IV	100,3					3
	II	V	100,5					2
	II	VI	100,3					3
Feld A	I	I	100,1	99,5	0,5	100,0	0,7	1
	I	II	99,9					2
	I	III	99,5					4
	I	IV	99,2					5
	I	V	99,5					4
	I	VI	98,7					3
	II	I	100,7	100,4	0,5			2
	II	II	101,2					1
	II	III	100,6					3
	II	IV	100,6					3
	II	V	99,8					4
	II	VI	99,7					5
Feld B	I	I	100,7	100,5	0,5	100,5	0,5	3
	I	II	101,1					1
	I	III	100,5					4
	I	IV	99,9					5
	I	V	101,0					2
	I	VI	99,8					6
	II	I	100,5	100,4	0,4			3
	II	II	100,7					1
	II	III	100,3					4
	II	IV	100,5					5
	II	V	100,8					2
	II	VI	99,6					6

Tab. 5.5: Darstellung aller Verdichtungsgrade der jeweiligen Bohrkern aus der Asphaltdeckschicht der Bundesstraße B 10

Deckschicht SMA 11 S								
	Querschnitt	Bohrkern	Verdichtungsgrad	Mittelwert Querschnitt	Standardabweichung Querschnitt	Mittelwert Feld	Standardabweichung Feld	Ranking
Feld C	I	I	100,9	101,2	0,7	101,6	0,8	4
	I	II	100,3					5
	I	III	102,0					1
	I	IV	101,7					3
	I	V	101,8					2
	I	VI	100,2					6
	II	I	101,6	102,1	0,7			5
	II	II	102,6					3
	II	III	102,7					2
	II	IV	102,8					1
	II	V	101,8					4
	II	VI	101,0					6
Feld D	I	I	97,9	98,9	0,5	99,1	0,5	4
	I	II	99,0					3
	I	III	99,1					2
	I	IV	99,4					1
	I	V	99,1					2
	I	VI	99,0					3
	II	I	98,9	99,2	0,6			3
	II	II	99,7					2
	II	III	99,8					1
	II	IV	99,8					1
	II	V	98,7					4
	II	VI	98,4					5

Tab. 5.5: Fortsetzung

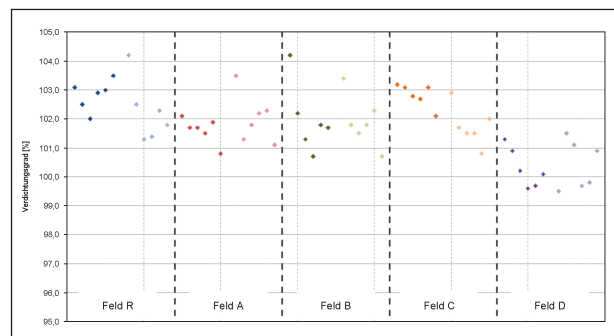


Bild 5.26: Darstellung aller Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) in Abhängigkeit von den Feldern

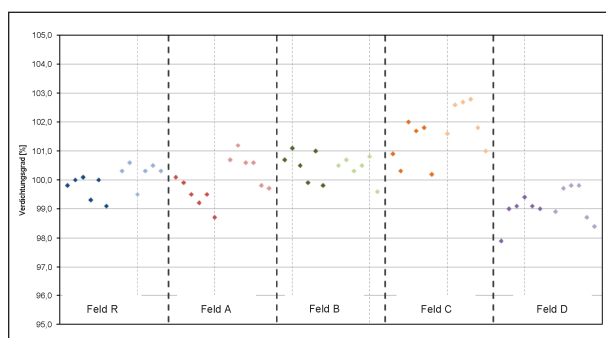


Bild 5.27: Darstellung aller Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht (SMA 11 S) in Abhängigkeit von den Feldern

In Tabelle 5.4 und Tabelle 5.5 werden neben den Absolutwerten der einzelnen Bohrkerne auch die Mittelwerte und die Standardabweichung sowohl für den einzelnen Querschnitt als auch für das jeweilige Feld des Systemanbieters aufgelistet. Für die Beurteilung der Homogenität der einzelnen Systeme werden nachfolgend die Werte des Referenzfeldes mit den Werten der einzelnen Systemanbieter verglichen.

Das Referenzfeld weist für die Asphaltbinderschicht im ersten Querschnitt eine Standardabweichung von 0,5 bei einem Mittelwert des Verdichtungsgrads von 102,8° % auf. Im zweiten Querschnitt des Referenzfeldes ist für die Schicht ein durchschnittlicher Verdichtungsgrad von 102,3° % bei einer Standardabweichung von 1,0 erreicht worden. Definiert man damit eine Standardabweichung von 0,5 bis 1,0 für diese Baumaßnahme an der Asphaltbinderschicht als typische Kennwerte für die Homogenität einer herkömmlichen Verdichtung, lassen sich daran die übrigen Felder mit Einsatz eines Verdichtungskontrollsystems messen. In jedem Feld der Systemanbieter A und C findet sich jeweils ein Querschnitt mit einer homogenen Verteilung der Verdichtungsgrade, während sich in einem Querschnitt des Felds C eine weniger homogene Verteilung des Verdichtungsgrads zeigen. Bei einer Betrachtung der Streuungen über beide Querschnitte eines Feldes hinweg erreichen die Felder A und D mit einer Standardabweichung von 0,7 eine etwas höhere Homogenität als das Referenzfeld, das eine von 0,8 aufweist. Insgesamt liegen die Mittelwerte aller Standardabweichungen der Querschnitte der Felder mit Kontrollsystemeinsatz auf dem gleichen Niveau wie auf denen mit herkömmlicher Einbautechnik, sodass sich aus diesen Werten pauschal keine Verbesserung der Homogenität der Dichteverteilung durch den Einsatz einer flächendeckenden Verdichtungskontrolle ableiten lässt.

Eine gleiche Auswertung erbringt für die Asphaltdeckschicht eine eher inhomogenere Dichteverteilung beim Einsatz von Verdichtungskontrollsystemen. Hier zeigen sich in keinem der untersuchten Querschnitte mit Verdichtungskontrolle geringere Standardabweichungen als in denen des Referenzfeldes. Eine feldweise Betrachtung offenbart sogar nicht unerhebliche Unterschiede in der Standardabweichung von bis 0,3 (Feld R: 0,5, Feld C: 0,8).

Insgesamt muss jedoch festgehalten werden, dass sowohl die Werte des Referenzfeldes als auch die der übrigen Felder eine geringe Streuung aufweisen und sich somit Aussagen zur Homogenität nur schwer ableiten lassen. Zudem bestehen im Verlauf einer Baumaßnahme diverse Einflüsse auf die Verdichtung, die einen unmittelbaren Vergleich erschweren. Im nachfolgenden Kapitel wird daher ein Vergleich der Systeme der einzelnen Hersteller dargestellt, der zusätzliche Erkenntnisse hierzu liefern soll.

5.4 Visuelle Auswertung mittels Herstellersoftware

In diesem Kapitel werden die aufgezeichneten Daten des jeweiligen Herstellers mit den herstellereigenen Softwarelösungen vergleichend dargestellt. In einem ersten Schritt werden die aufgezeichneten Messdaten mittels einer Auswertesoftware der einzelnen Systemanbieter ausgelesen und visuell wiedergegeben. Aus diesen einzelnen Darstellungen ist es möglich, einen ersten Rückschluss auf die Homogenität der Verdichtungsleistung zu ziehen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die gewählten Einstellungen seitens des Forschungsnehmers lediglich die Überfahrten der einzelnen eingesetzten Walzen grafisch darstellen. Eine weitere Darstellungsmöglichkeit besteht darin, sich die Verdichtungszunahme oder einen Verdichtungskennwert der jeweiligen Systemanbieter darstellen zu lassen.

Grundlage für die vom Forschungsnehmer gewählte Herangehensweise bildet die Überlegung, dass zunächst überprüft werden soll, ob durch die Nutzung solcher Systeme (FDVK) eine Verbesserung der Einbauqualität bzw. eine homogenere Verdichtung der einzelnen Schichten nachvollzogen werden kann. Gleichzeitig lässt die Betrachtung eine Beurteilung zu, ob sogar eine wirtschaftlichere bzw. effizientere Arbeitsweise während der Verdichtung möglich ist.

Grundsätzlich gibt es bei der Auswertung zwei unterschiedliche Herangehensweisen hinsichtlich der Begutachtung der Verdichtungsleistung in der grafischen Darstellung. Einerseits ist es möglich, sich innerhalb der Systeme nur einzelne Verdichtungsgeräte anzeigen zu lassen, um zu prüfen, ob durch diese für jeden Bereich eine konstante und homogene Verdichtung verrichtet wurde. Dies ist besonders für die führende Walze, also diejenige, die die erste Walzverdichtung nach dem Einbau durch den Fertiger vollzieht, interessant. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass jede Walze irgendwann ihre Arbeit unterbrechen muss, beispielsweise, um mit Betriebsstoffen wie Treibstoff befüllt zu werden. Während dieser Ausfallzeiten wird eine andere Walze zur führenden, die jedoch auf der gewählten Darstellung nicht mit angezeigt wird.

Andererseits besteht die Möglichkeit, dass bei der visuellen Auswertung alle an der Verdichtung beteiligten Verdichtungsgeräte dargestellt werden, was jedoch bedeutet, dass die Daten der führenden mit denen der zweiten und nachkommenden Walzen komplett überlagert werden.

Für die Auswertung im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde bei der Projektplanung vorgesehen, dass die Verdichtungsgeräte einzeln dargestellt und begutachtet werden, um eine Vergleichbarkeit zwischen allen gesammelten Daten (Systemanbieter und Institut für Straßenwesen) zu gewährleisten. Durch diese Betrachtungsweise ist eine Häufung bzw. Summation eines Fehlers bei der Auswertung ausgeschlossen. Grundsätzlich können alle einzelnen Verdichtungsgeräte durch die Software der Systemanbieter isoliert werden, sodass eine sehr detaillierte Auswertung erfolgen kann. Im Laufe der Bearbeitung des Forschungsprojekts wurden lediglich die „ersten“ Walzen eines jeden Herstellers ausgewertet, da diese die maßgebliche Verdichtungsleistung einbringen.

Für die Bewertung der Homogenität der eingebrachten Leistung bzw. der Überfahrten werden die durchgeführten GPS-Vergleichsmessungen zwischen den Systemanbietern und dem Forschungsnehmer (Kapitel 3.1) nicht weiter berücksichtigt, da bei dieser Auswertung davon ausgegangen wird, dass eine über den gesamten Abschnitt konstante Abweichung vorliegt.

Für die weitere Auswertung der aufgenommenen Daten und zur Ermittlung der Homogenität der einzelnen Felder, werden in diesem Kapitel die ermittelten und aufgezeichneten Daten während der

Baumaßnahme vergleichend gegenübergestellt. Dabei wurde seitens des Forschungsnehmers auf die aufgezeichneten Daten der Systemanbieter für die einzelnen Walzen zurückgegriffen.

Als Grundlage für die Überprüfung der Homogenität bzw. der Homogenitätsverbesserung der einzelnen Felder wird – wie bereits bei der Projektplanung vorgesehen – das erste der fünf Felder, also das Referenzfeld als Grundlage des Vergleichs gewählt. Die zwei Auswerteschritte für die Beurteilung gehen auf die seitens des Systemanbieters aufgezeichneten Überfahrtsanzahlen zurück.

Für die Auswertung des ersten Streckenabschnitts, also des Referenzfelds erfolgte bereits bei der Datenaufbereitung des Systemanbieters eine Unterteilung des Kartenausschnitts, auf dem die Messstrecke dargestellt wurde, in 44 Quadranten mit einer Rastergröße von ca. 100 m x 100 m. Diese Rasteraufteilung ermöglicht eine qualitative Auswertung der gesamten Messstrecke. Das System gibt für diese Quadranten automatisch die mittlere, minimale und maximale Übergangszahl der Walze mit dynamischer Verdichtung aus. Hierfür wurden lediglich die Quadranten des Kartenausschnitts ausgewählt, durch die die Messstrecke des Referenzfeldes verläuft, alle übrigen Quadranten wurden ignoriert.

Um dieses Vorgehen für die übrigen Versuchsfelder in vergleichbarer Art und Weise durchführen zu können, obwohl die hier zur Anwendung gekommenen Verfahren eine solche Auswertung nicht anbieten, wurde jeweils das gesamte Feld in Fahrtrichtung zunächst in 100-m-Abschnitte unterteilt und anschließend parallel zur Mittelachse in 2 Abschnitte getrennt, sodass die einzelnen Fahrstreifen der Bundesstraße einzeln hinsichtlich der Homogenität ausgewertet werden konnten. Über die gesamte Messstrecke eines Anbieters von ca. 1.000 m hinweg wurden dann sowohl in der linken als auch der rechten Fahrspur alle 10 m ein Messpunkt definiert, an dem die Übergangszahl an dynamischen Überfahrten ermittelt wurde. Für jedes 100 m lange Feld liegen somit 20 ausgewertete Übergangszahlen vor, aus denen wie im Referenzfeld der durchschnittliche, maximale und minimale Wert bestimmt wurde. Mit den so gewonnenen Erkenntnissen kann – zusätzlich zu den unter Kapitel 5.2 und Kapitel 5.3 gewonnenen Daten zu den Verdichtungsgraden – abschließend eine Homogenitätsbetrachtung bezogen auf das Referenzfeld auf Grundlage der vollzogenen Überfahrten durchgeführt werden.

Der Auswerteansatz unterscheidet sich von dem des Kapitels 5.3 dadurch, dass nur die Verteilung der Walzübergänge über die Fläche betrachtet wird. Werden die Walzübergänge bei stark unterschiedlichen Temperaturen erbracht, ist es denkbar, dass eine gleiche Walzübergangszahl über die Fläche hinweg eine geringere Homogenität der Dichteverteilung erbringt als eine variierte, d. h. an die Verhältnisse angepasste Walzübergangszahl. Dieser Aspekt wird bei der hier durchgeführten Auswertung ignoriert, was jedoch bei den guten Wetterverhältnissen während der Bauphase ohne große Auswirkungen bleiben dürfte.

Für die nachfolgenden Auflistungen ist darauf hinzuweisen, dass die Stationierungen nicht der vorhandenen Stationierung entsprechen, sondern für jeden Systemanbieter eine eigene Stationierung zur Wahrung der Anonymität verwendet wurde. Weiterhin ist zu erwähnen, dass es in den einzelnen Abschnitten zu Systemstörungen durch Brücken o. Ä. gekommen ist, diese „Lücken“ aber in der Auswertung nicht berücksichtigt wurden, um eine realitätsnahe Auswertung freier Strecken zu betrachten. In den nachfolgenden Tabellen werden die dynamischen Überfahrten (Minimum, Maximum und Mittelwert) in den einzelnen Feldern in 100 m Unterteilungen dargestellt.

Tabelle 5.6 und Tabelle 5.7 zeigen die Ergebnisse für alle Systemanbieter nach Asphaltbinder- und Asphaltdeckschicht getrennt. Für den Systemanbieter D konnten keine Auswertungen vollzogen werden, da dem Forschungsnehmer leider keine Daten der Systemaufzeichnungen vorlagen.

Die zusammengetragenen Walzübergangszahlen im Referenzfeld zeigen für die Asphaltbinder-schicht einen Schwankungsbereich von minimal 1 bis 4 und maximal von 8 bis 12 Überfahrten. Demgegenüber weisen die Walzübergangszahlen der Systemanbieter A bis C

- höhere Minimalwerte,
- geringere Maximalwerte und
- geringere Streuungen bei den Minimal- und Maximalwerten sowie bei deren Differenzen

aus. Der Schwankungsbereich der Walzübergangszahl bei den einzelnen Systemanbietern umfasst

- 2 bis 7 Übergänge bei Systemanbieter A1,
- 2 bis 7 Übergänge bei Systemanbieter A2,

- 3 bis 9 Übergänge bei Systemanbieter B,
- 2 bis 7 Übergänge bei Systemanbieter C.

Ein vergleichbares Bild offenbart sich im Bereich der Asphaltdeckschicht: Hier schwankt die Anzahl an dynamischen Walzübergängen im Referenzfeld

Systemanbieter R						
Station	Min	Max	MW			
0+100	1	8	4			
0+200	2	9	5			
0+300	4	11	7			
0+400	1	11	7			
0+500	2	11	7			
0+600	2	10	6			
0+700	2	11	7			
0+800	3	12	8			
0+900	4	12	8			
1+000	1	8	4			
Systemanbieter A1				Systemanbieter A2		
Station	Min	Max	MW	Min	Max	MW
0+100	3	5	4	3	5	4
0+200	2	5	3	3	6	4
0+300	3	5	3	4	6	4
0+400	3	5	4	3	6	4
0+500	4	6	4	4	7	3
0+600	4	7	4	3	5	4
0+700	3	6	3	3	7	4
0+800	3	7	4	3	6	4
0+900	4	6	4	3	6	4
1+000	2	5	3	2	5	3
Systemanbieter B			Systemanbieter C			
Station	Min	Max	MW	Min	Max	MW
0+100	4	7	5	3	6	4
0+200	4	8	5	2	5	4
0+300	4	7	6	4	5	4
0+400	4	8	6	4	6	5
0+500	4	9	5	3	4	3
0+600	5	8	6	2	6	4
0+700	3	7	5	4	6	4
0+800	3	7	5	4	7	5
0+900	5	8	6	3	6	4
1+000	3	8	5	4	4	4

Tab. 5.6: Anzahl dynamischer Überfahrten der Walze A aller Systemanbieter auf der Asphaltbinderschicht

Systemanbieter R						
Station	Min	Max	MW			
0+100	1	8	4			
0+200	1	7	4			
0+300	1	8	5			
0+400	1	8	4			
0+500	1	8	4			
0+600	1	8	4			
0+700	1	8	5			
0+800	1	10	5			
0+900	1	8	5			
1+000	2	8	5			
Systemanbieter A1				Systemanbieter A2		
Station	Min	Max	MW	Min	Max	MW
0+100	2	4	3	2	5	3
0+200	2	5	4	2	6	3
0+300	3	5	3	2	6	4
0+400	2	6	4	2	6	3
0+500	2	4	4	2	4	3
0+600	2	6	4	2	5	3
0+700	3	5	3	2	4	3
0+800	2	5	3	2	6	3
0+900	2	4	3	2	6	3
1+000	2	4	3	2	6	3
Systemanbieter B				Systemanbieter C		
Station	Min	Max	MW	Min	Max	MW
0+100	2	4	3	1	5	3
0+200	3	4	3	2	3	2
0+300	2	4	3	2	4	2
0+400	3	4	3	2	5	3
0+500	2	3	3	2	5	3
0+600	2	4	4	2	6	3
0+700	1	4	4	2	5	3
0+800	2	4	3	2	5	3
0+900	2	4	3	2	4	2
1+000	2	4	3	2	5	3

Tab. 5.7: Anzahl dynamischer Überfahrten der Walze A aller Systemanbieter auf der Asphaltdeckschicht

zwischen 1 und 10. Für die jeweiligen Felder der Systemanbieter konnten die gleichen Veränderungen der Übergangszahl wie bei der Binderschicht ermittelt werden, wobei die Übergangszahlen der einzelnen Systeme wie folgt schwankt:

Asphaltbinderschicht		
Feld	Verdichtungsgrad	Übergänge
R	102,5 %	4-8
A	101,8 %	3-4
B	102,0 %	5-6
C	102,3 %	3-5
Asphaltdeckschicht		
Feld	Verdichtungsgrad	Übergänge
R	100,0 %	4-5
A	100,0 %	3-4
B	100,5 %	3-4
C	101,6 %	2-3

Tab. 5.8: Vergleich von erfasster Übergangszahl dynamischer Walzungen und erreichtem Verdichtungsgrad

- 2 bis 6 Übergänge bei Systemanbieter A1,
- 2 bis 6 Übergänge bei Systemanbieter A2,
- 1 bis 4 Übergänge bei Systemanbieter B,
- 1 bis 5 Übergänge bei Systemanbieter C.

Aufgrund dieser Auswertung der Einzelwerte kann festgehalten werden, dass eine Verbesserung der Homogenität hinsichtlich der Anzahl an dynamischen Walzübergängen durch die Verwendung von Verdichtungskontrollsystemen beobachtet werden konnte.

Diese Erkenntnis wird ebenfalls durch die Mittelwerte der einzelnen 100-m-Abschnitte bzw. über das gesamte Feld hinweg gestützt. Die Mittelwerte im Referenzfeld, welches ohne flächendeckendes Verdichtungskontrollsystem eingebaut wurde, weisen für die Asphaltbinderschicht Werte von 4 bis 8 Überfahrten und die Asphaltdeckschicht Werte von 4 bis 7 Überfahrten auf, während in den Feldern der Systemanbieter die Mittelwerte nur maximal um 2 Walzübergänge schwanken.

Bei der Überlagerung der dynamischen Überfahrten mit den Verdichtungsgraden der Bohrkerne (Kapitel 5.3) kann festgestellt werden, dass bei der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im Referenzfeld vergleichsweise viele Walzübergänge erbracht wurden, dass diese aber auch zu einem hohen Verdichtungsgrad der Schicht führten. Tatsächlich ergibt sich – wie Tabelle 5.8 zeigt – sogar ein plausibler Zusammenhang zwischen Walzübergangszahl und Verdichtungsgrad. Aufgrund der nur gerin-

gen Anzahl an Verdichtungsgraden sollte diesem Sachverhalt aber keine strenge Gültigkeit unterstellt werden.

Bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht zeigt sich dieser Effekt nicht erkennbar, da die Verdichtungsgrade im Referenzfeld und in den Feldern A und B praktisch auf einem Niveau liegen und der des Feldes C sich von diesem nur unwesentlich abhebt. Zudem wurden zur Erreichung des höchsten Verdichtungsgrads in Feld C die geringste Anzahl an dynamischen Walzübergängen benötigt.

Es finden sich aufgrund der in allen Fällen geringeren Übergangszahlen dynamischer Walzübergänge zumindest Anhaltspunkte für die These, dass die Systeme zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle eine effizientere und damit wirtschaftlichere Verdichtung gegenüber der konventionellen Verdichtung erbringen können. Als Ursache hierfür kann die visuelle Unterstützung des Fahrers durch die flächendeckenden Verdichtungskontrollsysteme vermutet werden. Durch die Darstellung der Walzübergänge und damit die Vermittlung der Sicherheit, Bereiche der Schicht ausreichend verdichtet zu haben, kann der Walzenführer früher als sonst – d. h. auch nach weniger Walzübergängen – seine Arbeit abschließen. Dies bedeutet gleichzeitig, dass er grundsätzlich bei höheren Asphalttemperaturen walzt und damit einen größeren Verdichtungserfolg erzielen kann.

Ein weiterer positiver Effekt, der sich auf die Effektivität des Walzens auswirkt, kann die automatische Regelung der Frequenz und der Amplitude herangezogen werden. Zwei der Systeme hatten diese aktiviert, eine detaillierte Auswertung ist an dieser Stelle jedoch nicht möglich.

6 Zusammenfassung

In diesem Forschungsprojekt (FE 89.0288/2013) wurde ausgehend vom konventionellen Einbau der einzelnen Asphaltsschichten ein Vergleich mit einem Einbau unter Verwendung von flächendeckenden Verdichtungskontrollsystemen vollzogen. Dazu wurde eine ca. 5 km lange Messstrecke auf der Bundesstraße B 10 zwischen Pirmasens und Landau in fünf Abschnitte unterteilt, von denen der erste ohne ein Verdichtungskontrollsystem eingebaut und verdichtet wurde. Die restlichen vier Abschnitte wurden von derselben Baufirma eingebaut und unter der Verwendung von Verdichtungskontrollsystemen

unterschiedlicher Anbietern (Ammann, Bomag, Caterpillar und Hamm) verdichtet. Während der Verdichtung wurden alle üblicherweise erfassten Daten von den Verdichtungskontrollsystemen gespeichert und anschließend für die Auswertung zur Verfügung gestellt.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts richtet sich das Hauptaugenmerk auf die Überprüfung der Verdichtungsleistung nach Niveau und Homogenität und die Aufzeichnung der Verdichtungs- und Ortungsdaten der verschiedenen Walzen. Der Verdichtungsverlauf und -erfolg ist aber von verschiedenen Faktoren abhängig, die deshalb als Randbedingungen mit dokumentiert und überprüft werden müssen. Hierzu zählen

- die Anzahl der Überrollungen,
- die Schichtdicken,
- die Mischguttemperatur und
- die Witterungsverhältnisse sowie das Abkühlverhalten der Schicht.

Entsprechende Daten wurden während des Einbaus – unter Berücksichtigung des Bauablaufs – kontinuierlich gemessen und dokumentiert. Weiterhin haben

- die Mischgutzusammensetzung,
- die eingesetzten Verdichtungsgeräte (Walzen),
- die Art der angewendeten Verdichtung (mit/ohne Vibration, Amplitude, Frequenz) sowie
- das eingesetzte System der Verdichtungskontrolle

maßgeblichen Einfluss auf den Verdichtungserfolg und werden entsprechend über den gesamten Einbauprozess hinweg konstant gehalten oder dokumentiert.

Der Einbau wurde durch eine separate GPS-Messung sowie den gesamten Einbau abdeckende Videoaufzeichnungen begleitet. Somit war es möglich, sowohl die systemeigenen Stationierungen als auch die Zuordnung der Walzübergänge zu definierten Flächenanteilen zu überprüfen. Es zeigte sich, dass es in Einzelfällen zu Abweichungen zwischen den GPS-Erfassungen und auch zu Teilausfällen kam, dass diese aber deutlich seltener auftraten als in bisherigen Projekten und dass es hierdurch zu keiner relevanten Beeinträchtigung der Einbauqualität sowie der Auswertung kam.

Die Baumaßnahme verlief ohne Schwierigkeiten und erbrachte eine gute Einbauqualität. Dies bestätigten umfangreiche Kontrollprüfungen, die auch hinsichtlich der Verdichtungsgrade gute Werte erbrachten. Allerdings fiel die Asphaltdeckschicht in einem Feld (C) durch einen im Druck-Schwellversuch ermittelten geringen Verformungswiderstand auf. Dieser konnte auf eine nicht der Erstprüfung entsprechende Zusammensetzung des Mischguts an der untersuchten Stelle zurückgeführt werden.

Die Auswertung der Verdichtung erfolgt zum einen auf der Grundlage der aufgezeichneten Daten der Systemanbieter und zum anderen auf den selbst aufgezeichneten Daten. Im Rahmen der Auswertung wurden

- die Verdichtungsgrade der Bohrkerne,
- die Vorverdichtung des Fertigers und
- die Anzahl der dynamischen Walzübergänge

beurteilt und ausgewertet.

Für die Verdichtungsgrade, die durch den Einsatz von Verdichtungskontrollsystemen erreicht werden konnten, konnte kein unterschiedliches Niveau von denen der Proben aus dem Referenzfeld, das nach herkömmlicher Art hergestellt wurde, festgestellt werden. Auch hinsichtlich der Streuungen des Verdichtungsgrades konnte – auf der Grundlage von jeweils 12 Bohrkernen – keine signifikante Veränderung ermittelt werden. Allerdings zeigte es sich, dass diese Verdichtungsgrade beim Einsatz von Verdichtungskontrollsystemen eher bei geringeren Walzübergangszahlen erreicht werden konnte und dass der Einsatz dieser Systeme zu einer homogenen Verteilung der dynamischen Walzübergänge über die Einbaufläche hinweg führte.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Grundlegende Auswertung im Rahmen dieses Forschungsprojekts sich auf die Anzahl der Walzübergänge stützt und somit eine Beurteilung hinsichtlich der Homogenität allein auf diesen Grundlagen beruht und nicht auf den ermittelten Verdichtungsgraden, da diese nur in den Entnahmequerschnitten vorliegen.

Den Verdichtungskontrollsystemen kann eine unter den im Forschungsprojekt herrschenden guten Wetterverhältnissen adäquate Zuverlässigkeit bestätigt werden. Ihr Einsatz führte zu einer homogenen Verteilung der Walzübergangszahl und

einer mit dem Referenzfeld vergleichbaren Einbauqualität bei einer leicht geringeren Anzahl an Walzübergängen.

Im Rahmen der Auswertung ergaben sich seitens des Forschungsnehmers Schwierigkeiten die für die Ergebnisse der Forschungsarbeit nicht als absolut relevant einzustufen sind, jedoch an dieser Stelle erwähnt werden sollen.

Für die Bearbeitung und Auswertung der einzelnen Datenpakete der jeweiligen Hersteller gibt es in Deutschland derzeit kein einheitliches System, das es ermöglicht alle Datensätze einzulesen und zu verarbeiten. Für die Auswertung wurden dem Forschungsnehmer herstellereigene Softwarelösungen zur Verfügung gestellt (Kapitel 2.5). Da sich diese Softwarelösung stellenweise erheblich in ihrer Datenaufbereitung- und Datenverarbeitung unterschieden, stellte dies den Forschungsnehmer teilweise vor Probleme, die eine weitere Einarbeitungszeit mit sich brachten.

Weiterhin konnten durch den Forschungsnehmer Schwächen aufgezeigt werden, welche sich auf die Positionsaufzeichnung der einzelnen Verdichtungsgeräte beziehen. Im Bereich der Erprobungsstrecke auf der Bundesstraße B 10 zwischen Pirmasens und Landau kam es in manchen Teilbereichen zu Ausfällen des GPS – Signals, was zu einer Verwirrung des Bedienpersonals führte und somit einer reinen Verdichtung nur über die Anzeige im Führerhaus gegenübersteht. Weiterhin erwies sich die Überlagerung der Messdaten des Forschungsnehmers und der Hersteller als kompliziert, da die Positionsdaten der verschiedenen Hersteller teilweise in Abweichenden Formaten aufgezeichnet wurden und es bei der Konvertierung des abweichenden Formats teilweise zu erheblichen Abweichungen kam, die aber im Laufe der Bearbeitung des Projekts durch den Forschungsnehmer und den Hersteller minimiert bzw. ausgeschlossen werden konnten.

Zusätzlich zu den bereits im Bericht erwähnten Schwierigkeiten muss an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen werden, dass eine absolut sichere Datensicherung für den Projektlauf unabdingbar ist. Leider konnten in diesem Projekt nur drei von vier Herstellern ausgewertet werden, da es einem Hersteller leider nicht möglich war die Datensätze an den Forschungsnehmer zu übergeben.

7 Literatur

- [1] UTTERODT, R. (2012): Einbauen und Verdichten von Asphalt. Asphaltstraßentagung des VSVI-Hessen
- [2] FGSV, ZTV Asphalt-StB (2007): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt. Köln: FGSV Verlag
- [3] STÖCKERT, U.; RABE, R. (2003): Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit verschiedener Verfahren zur Dokumentation der flächendeckenden Asphaltverdichtung (FDAV). Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
- [4] JUNGELD, I.; STÖCKERT, U. (2007): Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Systemen zur Dokumentation der Flächendeckenden Asphaltverdichtung (FDAV) beim Einsatz in der Praxis. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
- [5] HOFER, T. [Online]. Available: www.deine-berge.de/Rechner/Koordinaten. [Zugriff am 5.10.2014]
- [6] Software ArcGis/ArcView der Firma Esri, bearbeitet durch das Institut für Straßenwesen
- [7] FGSV, TP Asphalt-StB (2012): Teil 27: Probenahme. Köln: FGSV
- [8] TP Asphalt-StB (2012): Teil B 1: Einaxialer Druck-Schwellversuch – Beschreibung des Verformungsverhaltens von Walzasphalt bei Wärme. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)
- [9] TP Asphalt-StB (2012): Teil 6: Raumdicht von Asphaltprobekörpern. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)
- [10] LÖFFLER, M.; SPÄTH, M. (1986): Zur Analyse von Kriechversuchen. Bitumen, Heft 2
- [11] KARCHER, C. (2004): Prognose und Bewertung des Verformungsverhaltens von Asphalten mit dem Druckschwellversuch am Beispiel des Splittmastixasphaltes. Karlsruhe
- [12] FGSV (2001): Arbeitsanleitung für den Einsatz radiometrischer Geräte für zerstörungsfreie Dichtemessungen auf Asphaltsschichten. Köln
- [13] TP Asphalt-StB (2007): Teil 30: Herstellung von Marshall-Probekörpern mit dem Marshall-Verdichtungsgerät (MVG). Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- [14] TP Asphalt-StB (2007): Teil 33: Herstellung von Asphalt-Probepplatten im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV). Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- [15] Prof. Dr.-Ing. ZANDER, U. (2011): Wenderhorst Baustoffkunde. NEROTH, G.; VOLLENSCHAR, D. (Hrsg.). Wiesbaden: Vieweg+Teubner

Anhang 1

Erstprüfung AC 16 BS



sbt - prüfcenter | Alkuinstr. 9 | 54292 Trier

Asphaltmischwerk Landau
Juchem OHG
Am Kugelfang 13

76829 - Landau

ERSTPRÜFUNGSBERICHT ASPHALT

Erstprüfung Nr. : 313-152332503-110 vom 06.07.2010

Mischgutart/-sorte:	AC 16 B S
Zugabe-Bindemittel:	25/55-55 A
Besonderheiten:	Zugabe von 20% Asphaltgranulat (Paralleltrommel)
Hersteller:	Asphaltmischwerk Landau Juchem OHG
Mischwerk:	Landau
Grundlagen:	TL Asphalt-StB 07, TP Asphalt-StB, DIN EN 13108-1, DIN EN 13108-20
Validierung Mischgut:	Labor

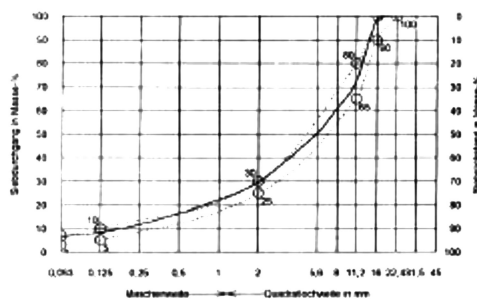
Art, Herkunft und Dosierungsvorschlag der Gesteinskörnungen					
Nr	M.-%	Bezeichnung	Lieferkörnung	Gewinnungsstätte	Hersteller
M 1	3,0	Kalkstein	Füller	Vaihingen-Roßwag	Gebr. Zimmermann
M 2	8,0	Andesit	feine Gesteinskörnung 0/2	Niederwörresbach	F. L. Juchem & Söhne
M 3	9,0	Moräne	feine Gesteinskörnung 0/2	Rheinzabern	Holcim Kies u. Beton GmbH
M 4	12,0	Moräne	grobe Gesteinskörnung 2/5	Rheinzabern	Holcim Kies u. Beton GmbH
M 5	13,0	Moräne	grobe Gesteinskörnung 5/8	Rheinzabern	Holcim Kies u. Beton GmbH
M 6	7,0	Andesit	grobe Gesteinskörnung 8/11	Niederwörresbach	F. L. Juchem & Söhne
M 7	28,0	Andesit	grobe Gesteinskörnung 11/16	Niederwörresbach	F. L. Juchem & Söhne
Asphaltgranulat					
G 1	20,0	Asphaltgranulat 45 RA 0/11 (verschiedene Baumaßnahmen)			

| sbt - prüfcenter | Laboratorium für Straßen- und Betonbau Trier | Alkuinstr. 9 | 54292 Trier |
| Telefon 06 51 / 7 10 30-30 | Telefax 06 51 / 7 10 30-39 | E-Mail pruefcenter@sbt-trier.de | Internet www.sbt-trier.de |

Bild 0.1: Erstprüfung der Asphaltbinderschicht erstellt vom Laboratorium für Straßen- und Betonbau Trier

Siebanalyse der Gesteinskörnungen								
mm	Siebrückstand Masse-%							
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	G 1
	Fuller	0/2	0/2	2/5	5/8	8/11	11/16	
45								
31,5								
22,4								
16							3,9	
11,2						1,6	90,5	3,2
8					9,6	96,3	5,4	9,3
5,6				1,1	63,6	2,0		12,1
2		1,9	6,3	97,7	26,5			23,6
1		31,2	26,9	1,0	0,1			11,8
0,5		28,9	20,3	0,2	0,2			8,8
0,25		20,1	15,0					9,3
0,125	7,0	11,0	10,4					6,6
0,063	5,4	2,3	7,2				0,1	3,3
< 0,063	87,6	4,6	13,9			0,1	0,1	12,1
Überkorn	12,4	1,9	6,3	1,1	9,6	1,6	3,9	
Sollkorn	87,6	98,1	93,7	97,7	63,6	96,3	90,5	
Unterkorn				1,2	26,8	2,1	5,6	
Rohdichte	2,821	2,720	2,659	2,645	2,653	2,699	2,691	2,449

Zugabe-Sollzusammensetzung			
mm	Rückstand	Durchgang	Masse-%
> 45,00			
45,00			
31,50			
22,40		100,0	
16,00	1,1	98,9	grobe GK 70,4
11,20	26,4	72,5	
8,00	11,4	61,1	
5,60	10,9	50,2	
2,00	20,6	29,6	
1,00	7,3	22,3	
0,50	5,9	16,4	feine GK 23,0
0,25	4,8	11,6	
0,125	3,3	8,3	
0,063	1,7	6,6	
< 0,063	6,6		Fuller



Kennwerte zur Ermittlung des betrieblichen Erfüllungsniveaus			IST	SOLL
Gesamtbindemittelgehalt	M - %		4,8	4,3
Siebdurchgang durch das Sieb 1,4 D (22,4 mm):	M - %		100,0	
Siebdurchgang durch das Sieb D (16 mm):	M - %		98,9	
Siebdurchgang durch das charakteristische Grobsieb (11,2 mm):	M - %		72,5	
Siebdurchgang durch das Sieb 2 mm:	M - %		29,6	
Siebdurchgang durch das charakteristische Feinsieb (0,125 mm):	M - %		8,3	
Siebdurchgang durch das Sieb 0,063 mm:	M - %		6,6	

Bild 0.2: Erstrüfung der Asphaltbinderschicht erstellt vom Laboratorium für Straßen- und Betonbau Trier

EP-Nummer: 313-152332503-110 vom 06.07.2010

Seite - 3 -



Bindemittel			IST	SOLL
Zugabe-Bindemittel:	25/55-55 A	M.-%	3,6	
Erweichungspunkt Ring und Kugel Zugabebindemittel:		°C	59,6	min. 55
elastische Rückstellung Zugabebindemittel:		%	59	min. 40
Gesamt-Bindemittelgehalt Asphaltgranulat:		M.-%	5,9	
Erweichungspunkt Ring und Kugel des Asphaltgranulats:		°C	62,0	
Anteil Bindemittelgehalt aus Asphaltgranulat:		M.-%	1,2	
Gesamtbindemittelgehalt:		M.-%	4,8	mind. 4,3
Gesamtbindemittelgehalt:		Masse-T.	5,04	
rechnerischer Erweichungspunkt Ring und Kugel:		°C	60,2	min. 55

Gesteinskörnungsgemisch			IST	SOLL
Anteil feiner Gesteinskörnungen mit $E_{CS} 35$:		%	100	mind. 100
Rohdichte Gesteinskörnungsgemisch:		g/cm ³	2,683	

Asphaltmischgut			IST	SOLL
Mischgutrohddichte		g/cm ³	2,476	
Raumdichte Marshall-Probekörper		g/cm ³	2,329	
Verdichtungstemperatur der Probekörper		°C	145 +/- 5	
Hohraumgehalt		Vol.-%	5,9	3,5 - 6,5
Hohraumaufüllungsgrad		%	64,8	ist anzugeben

Leiter Prüfcenter



Dipl.-Ing. (FH) Christian Simon



Bild 0.3: Erstprüfung der Asphaltbinderschicht erstellt vom Laboratorium für Straßen- und Betonbau Trier

Erstprüfung SMA 11 S



sbt - prüfcenter | Alkuinstr. 9 | 54292 Trier

Asphaltmischwerk Landau
 Juchem OHG
 Am Kugelfang 13
 76829 Landau

ERSTPRÜFUNGSBERICHT ASPHALT

Erstprüfung Nr. : 313-240332260-113 vom 09.07.2013

Mischgutart/-sorte:	SMA 11 S
Zugabe-Bindemittel:	25/55-55 A
Besonderheiten:	mind. 30% grobe Gesteinskörnung als Aufhellungsgestein (Quarzit & Moräne) Zugabe von Kalkstein als Fremdfüller
Hersteller:	Asphaltmischwerk Landau Juchem OHG
Mischwerk:	Landau
Grundlagen:	TL Asphalt-StB 07 ARS 11/2012, TP Asphalt-StB, DIN EN 13108-5, DIN EN 13108-20
Validierung Mischgut:	Labor

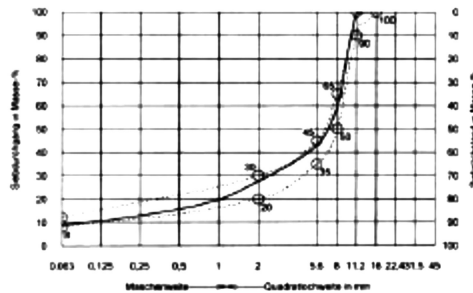
Art, Herkunft und Dosierungsvorschlag der Gesteinskörnungen					
Nr	M -%	Bezeichnung	Lieferkörnung	Gewinnungsstätte	Hersteller
M 1	8,0	Kalkstein	Füller	Vahingen-Roßweg	Gebr. Zimmermann
M 2	11,0	Andesit	feine Gesteinskörnung 0/2	Niederwörresbach	F. L. Juchem & Söhne
M 3	9,0	Moräne	feine Gesteinskörnung 0/2	Rheinzabern	Holcim Kies u. Beton GmbH
M 4	9,0	Moräne	grobe Gesteinskörnung 2/5	Rheinzabern	Holcim Kies u. Beton GmbH
M 5	22,0	Moräne	grobe Gesteinskörnung 5/8	Rheinzabern	Holcim Kies u. Beton GmbH
M 6	35,0	Andesit	grobe Gesteinskörnung 8/11	Niederwörresbach	F. L. Juchem & Söhne
M 7	6,0	Quarzit	grobe Gesteinskörnung 8/11	Kappelbach	F. L. Juchem & Söhne

| sbt - prüfcenter | Laboratorium für Straßen- und Betonbau Trier | Alkuinstr. 9 | 54292 Trier |
 | Telefon: 06 51 / 7 10 30-30 | Telefax: 06 51 / 7 10 30-39 | E-Mail: pruefcenter@sbt-trier.de | Internet: www.sbt-trier.de |

Bild 0.4: Erstprüfung der Asphaltdeckschicht erstellt vom Laboratorium für Straßen- und Betonbau Trier

Siebanalyse der Gesteinskörnungen							
mm	Siebrückstand Masse-%						
	M 1 Füller	M 2 0/2	M 3 0/2	M 4 2/5	M 5 5/8	M 6 8/11	M 7 8/11
45							
31,5							
22,4							
16							
11,2						1,3	9,4
8					9,6	92,5	83,1
5,6				1,1	63,6	5,8	6,9
2		1,7	6,3	97,7	26,5	0,3	0,2
1		47,0	26,9	1,0	0,1		
0,6		21,2	20,3	0,2	0,2		
0,25		11,9	15,0				
0,125	7,0	8,2	10,4				
0,063	5,4	3,5	7,2				
< 0,063	87,6	6,5	13,9			0,1	0,4
Überkorn	12,4	1,7	6,3	1,1	9,6	1,3	9,4
Spitkorn	87,6	98,3	93,7	97,7	63,6	92,5	83,1
Unterkorn				1,2	26,8	6,2	7,5
Rohdichte	2,784	2,749	2,659	2,645	2,653	2,699	2,643

Zugabe-Sollzusammensetzung			
mm	Rückstand	Durchgang	Masse-%
> 45,00			
45,00			
31,50			
22,40			
16,00		100,0	grobe GK 72,5
11,20	1,0	99,0	
8,00	39,5	59,5	
5,60	16,5	43,0	
2,00	16,5	27,5	
1,00	7,7	19,8	feine GK 18,5
0,50	4,2	15,6	
0,25	2,7	12,9	
0,125	2,4	10,5	
0,063	1,5	9,0	
< 0,063	9,0		Füller



Kennwerte zur Ermittlung des betrieblichen Erfüllungsniveaus		IST	SOLL
Gesamtbindermittelgehalt:	M.-%	6,8	6,6
Siebdurchgang durch das Sieb 1,4 D (16 mm):	M.-%	100,0	
Siebdurchgang durch das Sieb D (11,2 mm):	M.-%	99,0	
Siebdurchgang durch das charakteristische Grobsieb (8 mm):	M.-%	59,5	
Siebdurchgang durch das Sieb 2 mm:	M.-%	27,5	
Siebdurchgang durch das Sieb 0,063 mm:	M.-%	9,0	

Bild 0.5: Erstprüfung der Asphaltdeckschicht erstellt vom Laboratorium für Straßen- und Betonbau Trier



EP Nummer 313-240332260-113 vom 09.07.2013

Seite 3

Bindemittel		IST	SOLL
Zugabe-Bindemittel	29/55-55 A	M.-%	6,8
Erweichungspunkt Ring und Kugel Zugabebindemittel		°C	59,6
elastische Rückstellung Zugabebindemittel:		%	59
Zusätze			
Organische Fasern J. Rettenmaier & Söhne GmbH & Co. KG		M.-%	0,30
Gesamtbindemittelgehalt		M.-%	6,8
Gesamtbindemittelgehalt		Masse-T.	7,30

Gesteinskörnungsgemisch		IST	SOLL
rechnerischer PSV-Wert:	---	51	PSV _{angabe} (51)
Anteil feiner Gesteinskörnungen mit E _{CS} 35:	%	100	mind. 100
Rohdichte Gesteinskörnungsgemisch:	g/cm ³	2,589	

Asphaltemischgut		IST	SOLL
Mischgutrohddichte	g/cm ³	2,401	
Raumdichte Marshall-Probekörper	g/cm ³	2,334	
Verdichtungs-temperatur der Probekörper	°C	145 +/- 5	
Hohlraumgehalt	Vol.-%	2,8	2,5 - 3,0
Hohlraumausfüllungsgrad	%	84,6	ist anzugeben
Bindemittelablauf	%	0,1	ist anzugeben
proportionale Spurrinnentiefe (kleines Spurbildungsgerät, Typ B)	%	9,5	ist anzugeben

Zur Verbesserung der Affinität zwischen Gestein und Bindemittel wird ein Fremdfüller aus Kalkstein zugesetzt


 Triet Quynh Dinh, MSc.



Bild 0.6: Erstprüfung der Asphaltdeckschicht erstellt vom Laboratorium für Straßen- und Betonbau Trier

Anhang 2

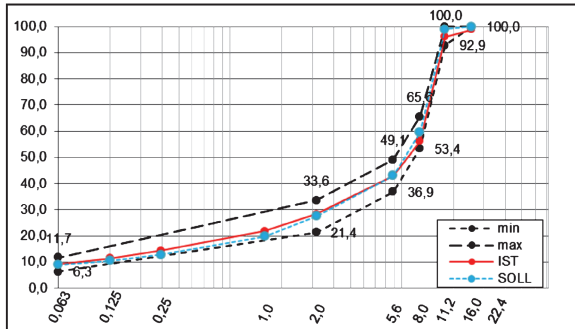


Bild 0.1: Sieblinie der Asphaltdeckschicht (SMA 11°S) an der Entnahmestelle R1

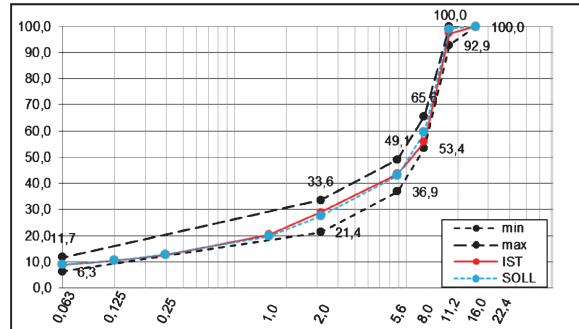


Bild 0.5: Sieblinie der Asphaltdeckschicht (SMA 11°S) an der Entnahmestelle A1

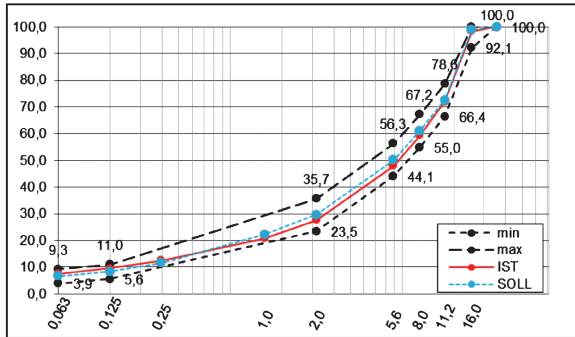


Bild 0.2: Sieblinie der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) an der Entnahmestelle R1

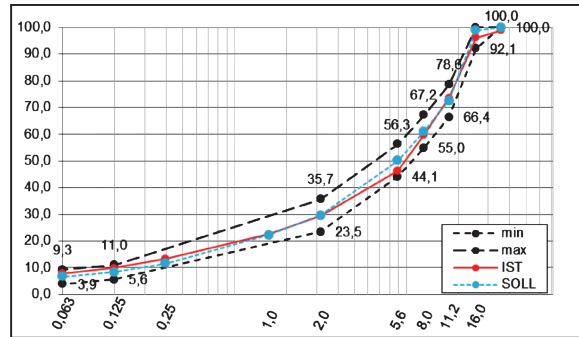


Bild 0.6: Sieblinie der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) an der Entnahmestelle A1

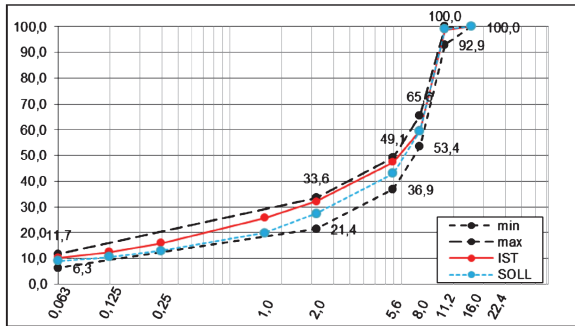


Bild 0.3: Sieblinie der Asphaltdeckschicht (SMA 11°S) an der Entnahmestelle R2

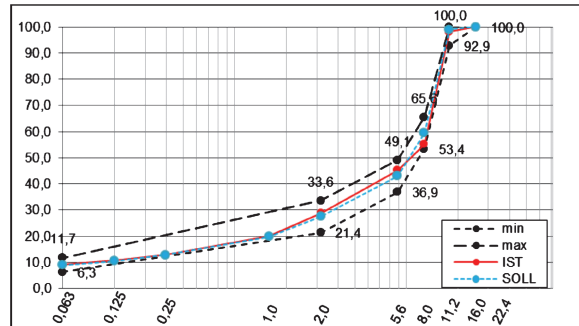


Bild 0.7: Sieblinie der Asphaltdeckschicht (SMA 11°S) an der Entnahmestelle A2

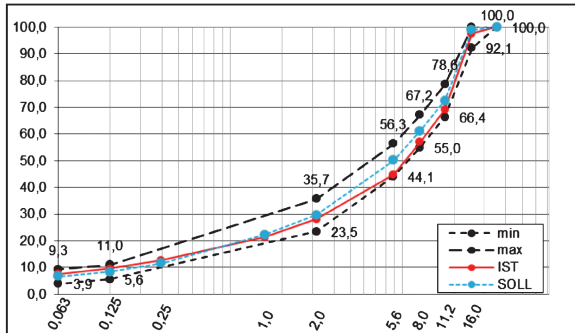


Bild 0.4: Sieblinie der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) an der Entnahmestelle R2

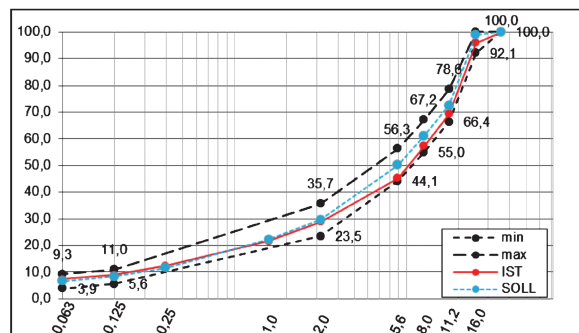


Bild 0.8: Sieblinie der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) an der Entnahmestelle A2

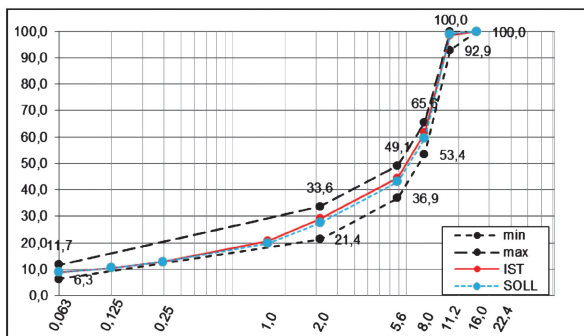


Bild 0.9: Sieblinie der Asphaltdeckschicht (SMA 11°S) an der Entnahmestelle B1

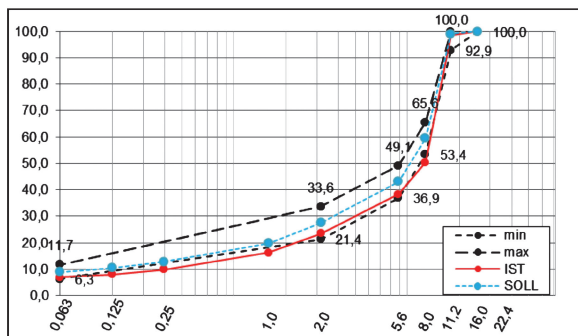


Bild 0.13 : Sieblinie der Asphaltdeckschicht (SMA 11°S) an der Entnahmestelle C1

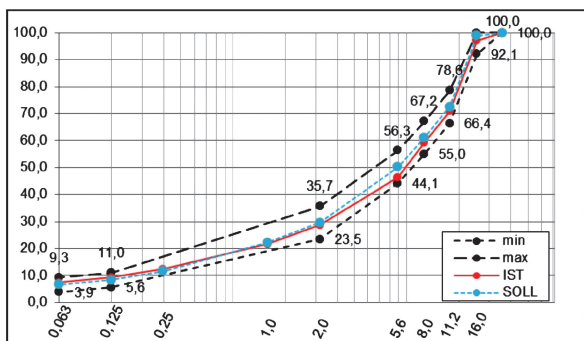


Bild 0.10: Sieblinie der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) an der Entnahmestelle B1

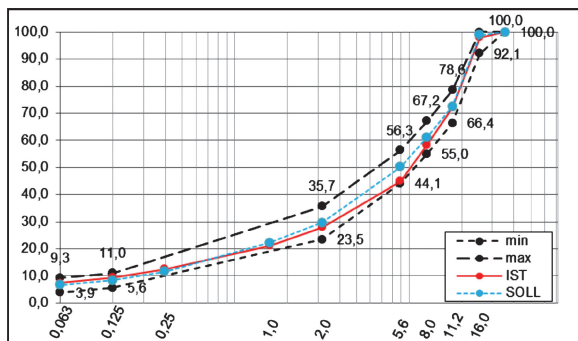


Bild 0.14: Sieblinie der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) an der Entnahmestelle C1

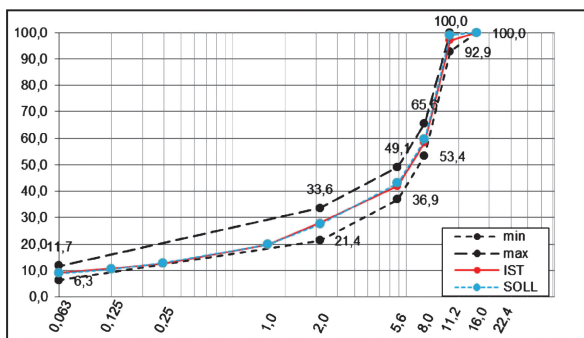


Bild 0.11: Sieblinie der Asphaltdeckschicht (SMA 11°S) an der Entnahmestelle B2

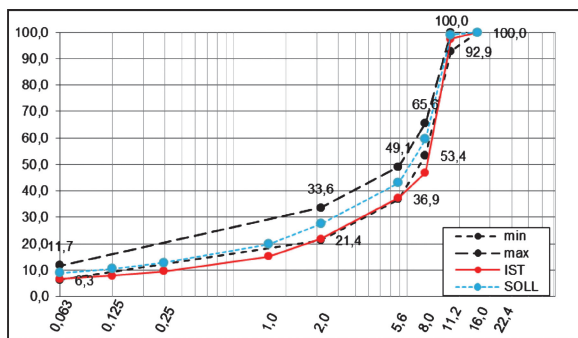


Bild 0.15: Sieblinie der Asphaltdeckschicht (SMA 11°S) an der Entnahmestelle C2

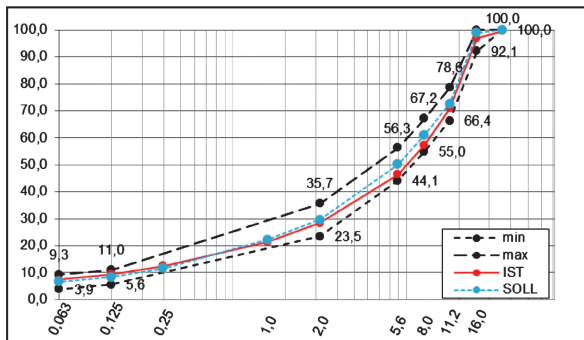


Bild 0.12: Sieblinie der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) an der Entnahmestelle B2

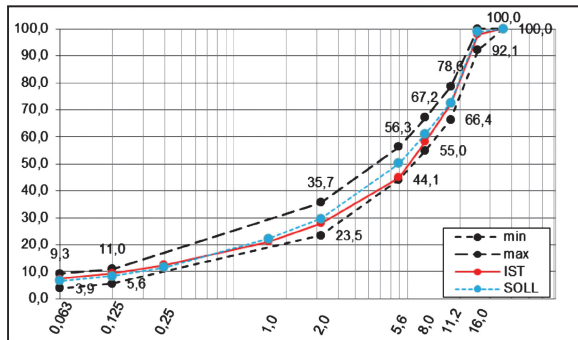


Bild 0.16: Sieblinie der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) an der Entnahmestelle C2

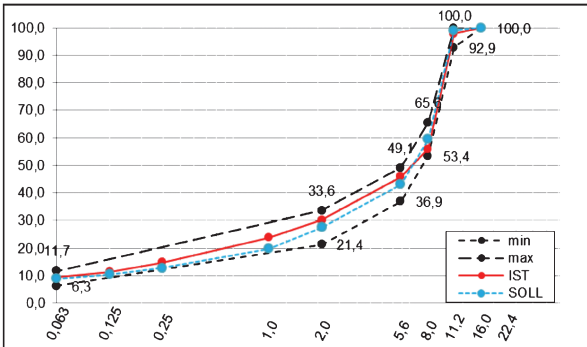


Bild 0.17: Sieblinie der Asphaltdeckschicht (SMA 11'S) an der Entnahmestelle D1

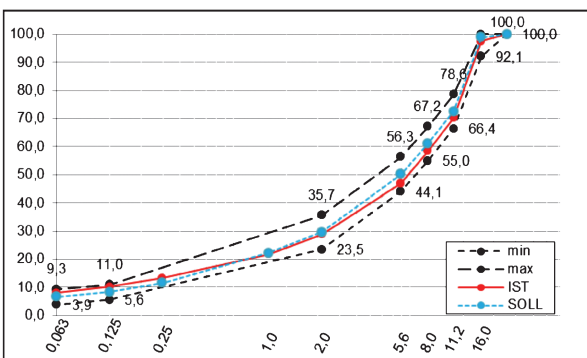


Bild 0.18: Sieblinie der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) an der Entnahmestelle D1

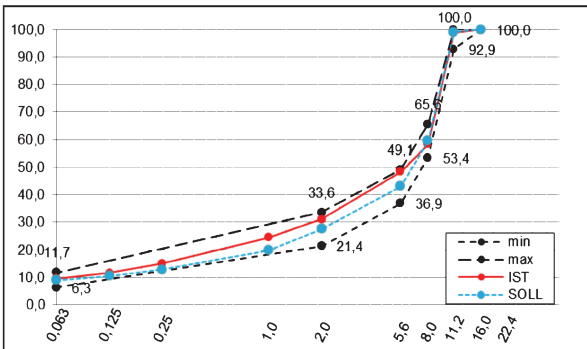


Bild 0.19: Sieblinie der Asphaltdeckschicht (SMA 11'S) an der Entnahmestelle D2

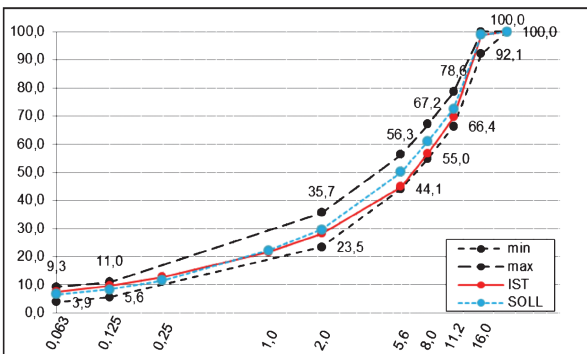


Bild 0.20: Sieblinie der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) an der Entnahmestelle D2

Anhang 3

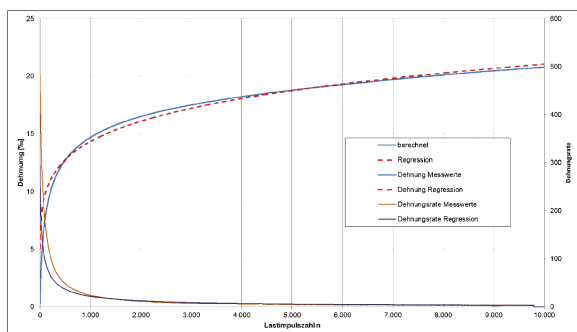


Bild 0.1: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK R 1-3 B

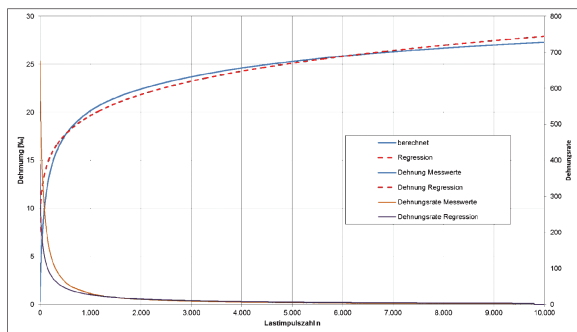


Bild 0.5: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK R 2-5 B

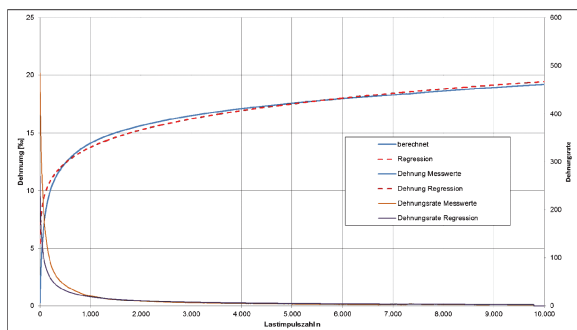


Bild 0.2: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK R 1-5 B

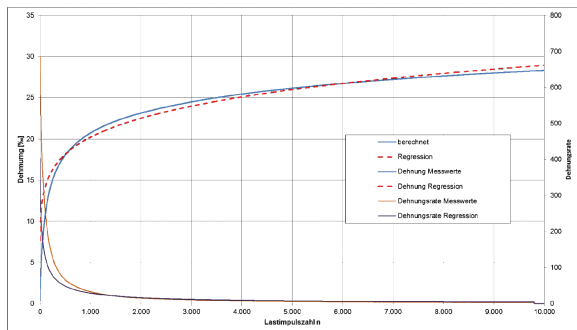


Bild 0.6: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK R 2-6 B

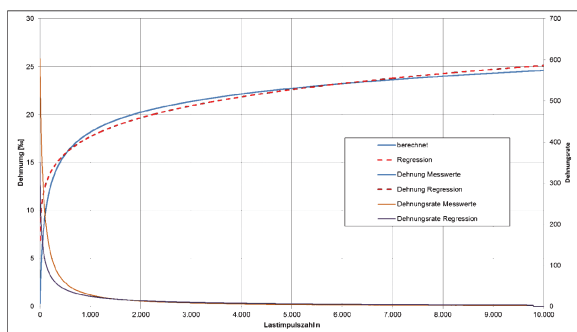


Bild 0.3: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK R 1-6 B

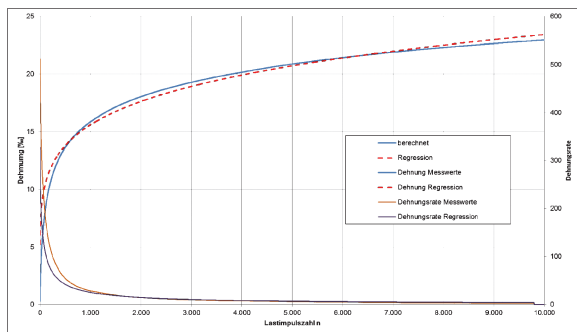


Bild 0.7: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK A 1-1 B

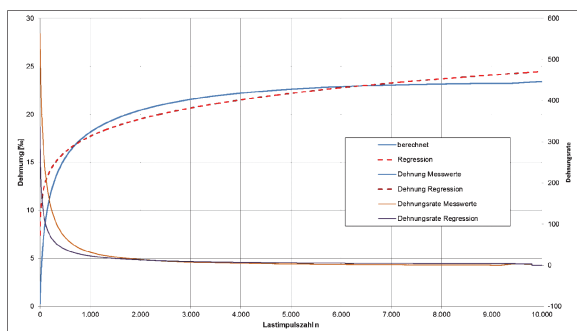


Bild 0.4: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK R 2-3 B

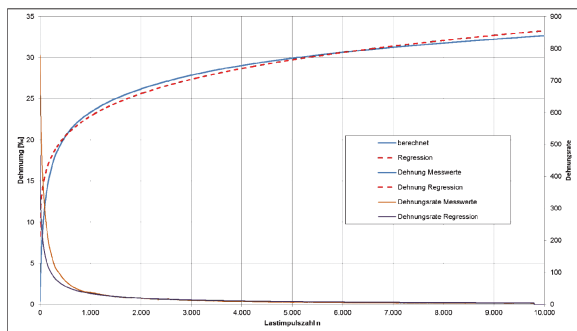


Bild 0.8: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK A 1-5 B

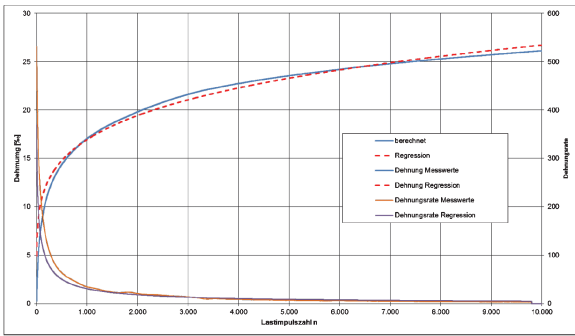


Bild 0.9: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK A 1-6 B

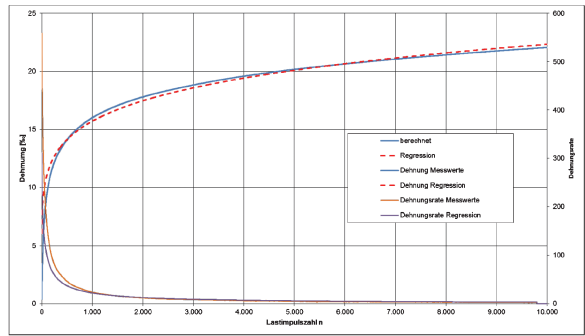


Bild 0.13: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK B 1-2 B

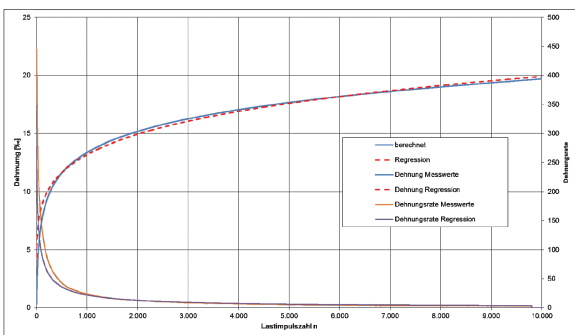


Bild 0.10: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK A 2-1 B

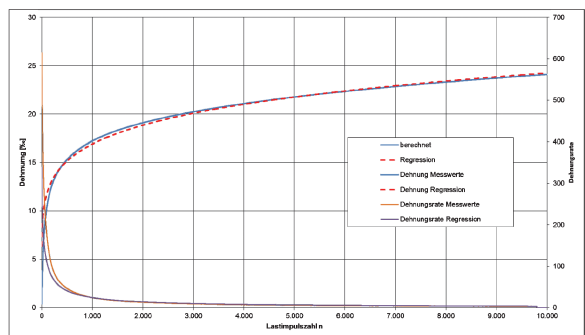


Bild 0.14: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK B 1-3 B

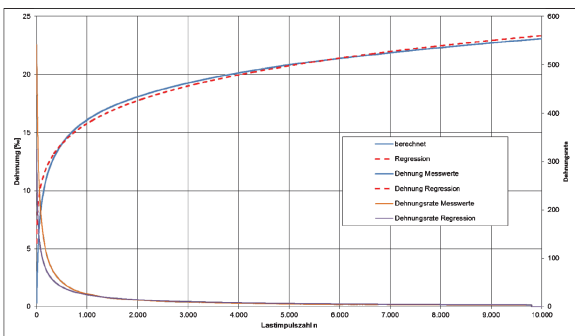


Bild 0.11: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK A 2-5 B

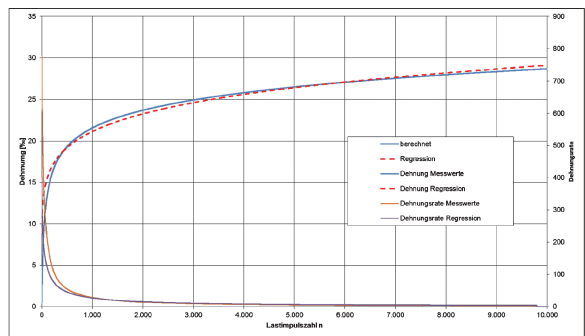


Bild 0.15: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK B 1-5 B

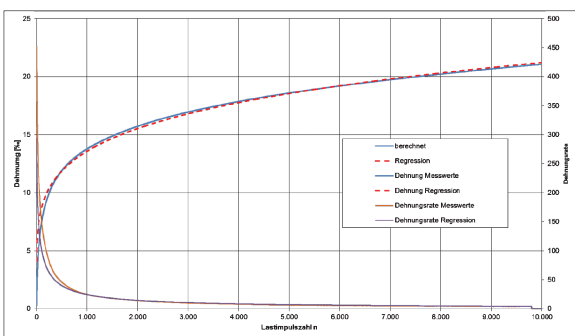


Bild 0.12: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK A 2-6 B

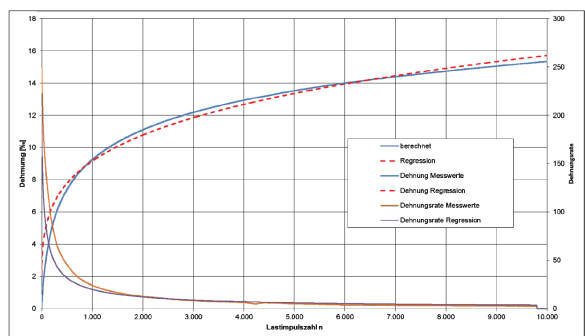


Bild 0.16: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK B 2-3 B

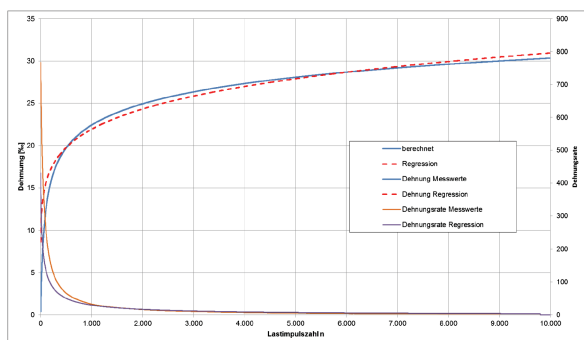


Bild 0.17: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK B 2-5 B

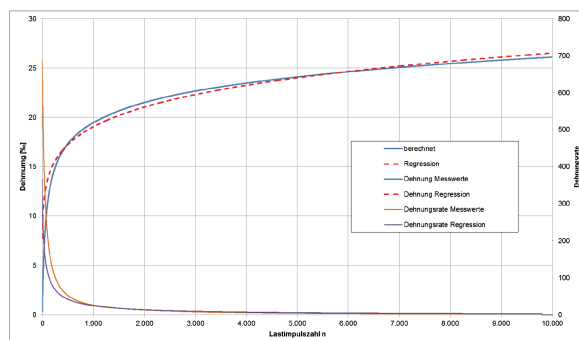


Bild 0.21: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK C 1-6 B

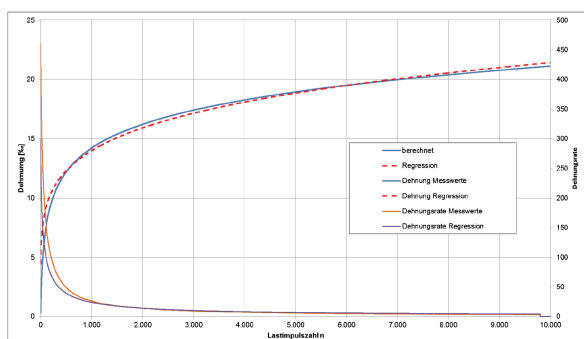


Bild 0.18: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK B 2-6 B

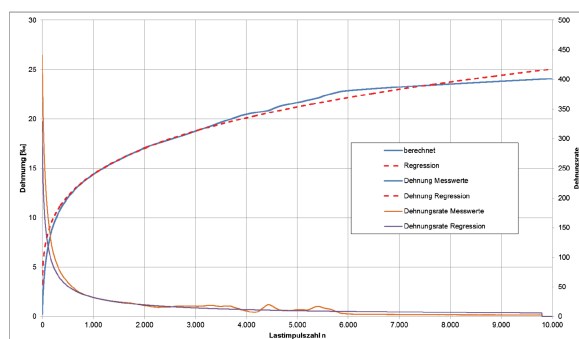


Bild 0.22: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK C 2-1 B

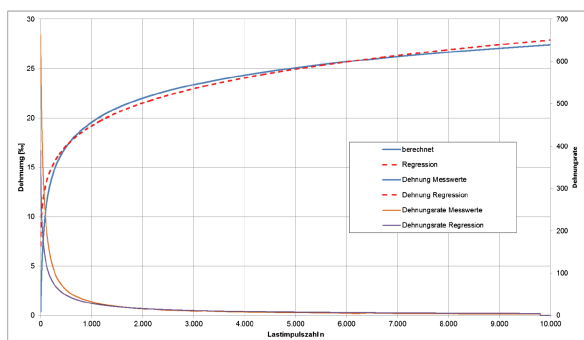


Bild 0.19: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK C 1-2 B

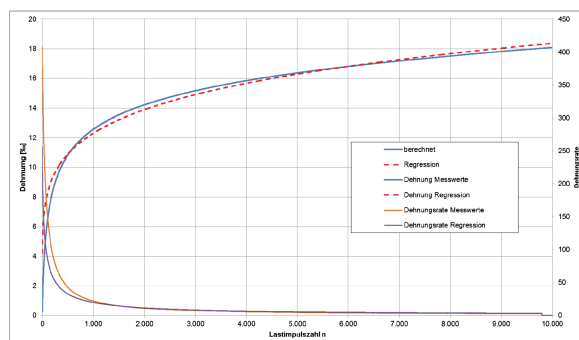


Bild 0.23: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK C 2-3 B

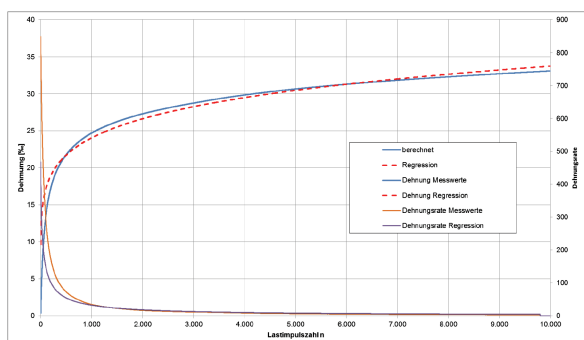


Bild 0.20: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK C 1-4 B

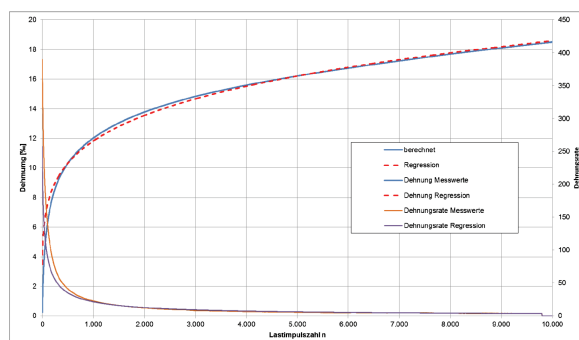


Bild 0.24: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK C 2-5 B

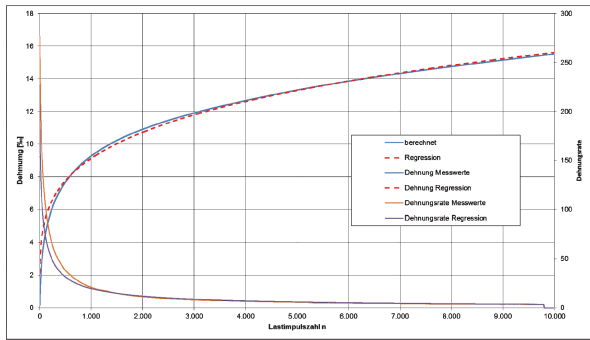


Bild 0.25: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK D 1-1 B

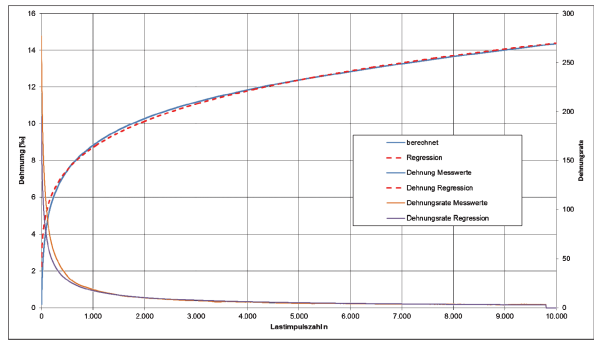


Bild 0.29: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK D 2-4 B

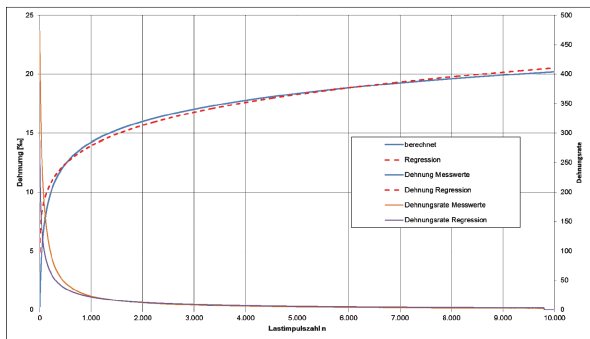


Bild 0.26: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK D 1-2 B

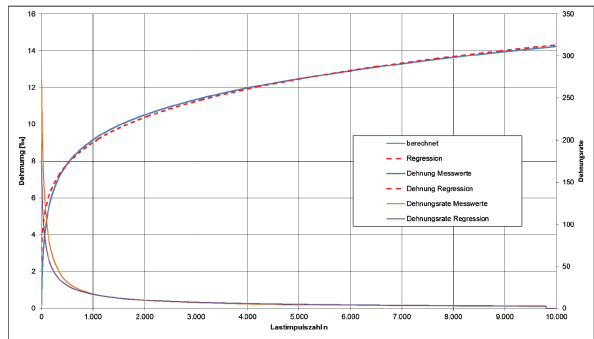


Bild 0.30: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK D 2-6 B

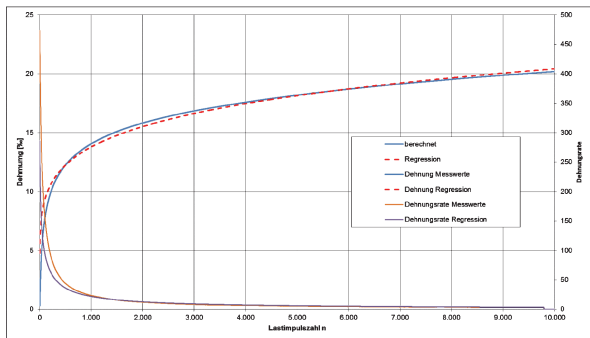


Bild 0.27: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK D 1-6 B

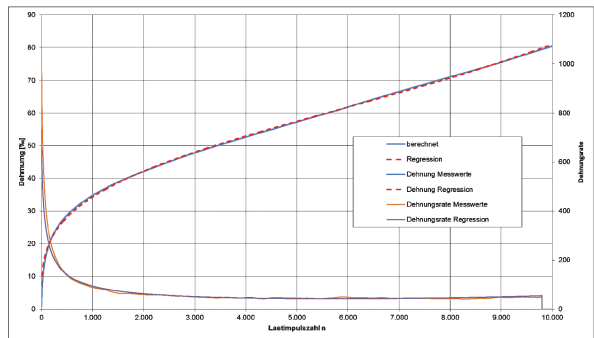


Bild 0.31: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK R 1-1/2 D

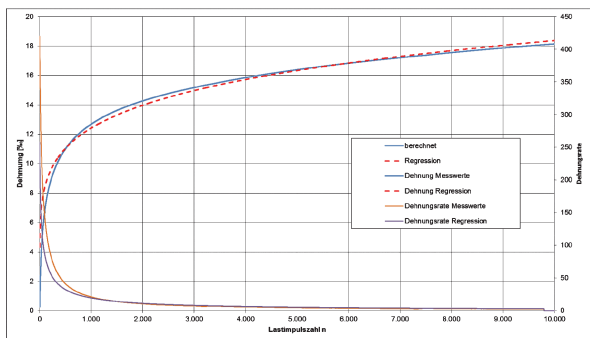


Bild 0.28: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK D 2-2 B

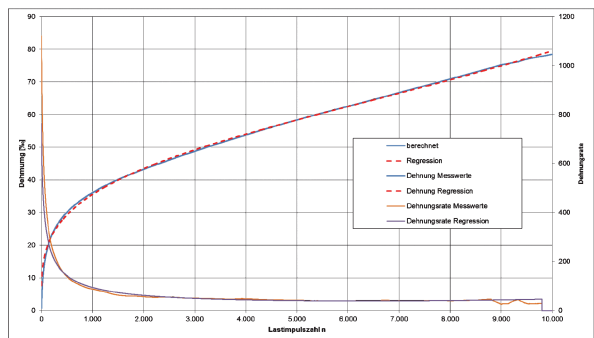


Bild 0.32: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK R 1-3/4 D

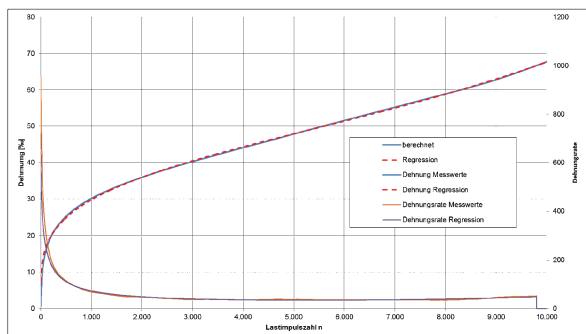


Bild 0.33: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK R 1-5/6 D

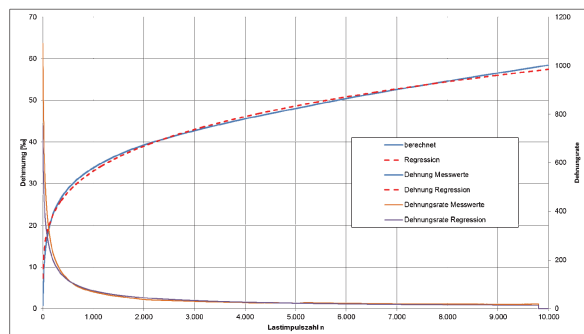


Bild 0.37: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK A 1-1/2 D

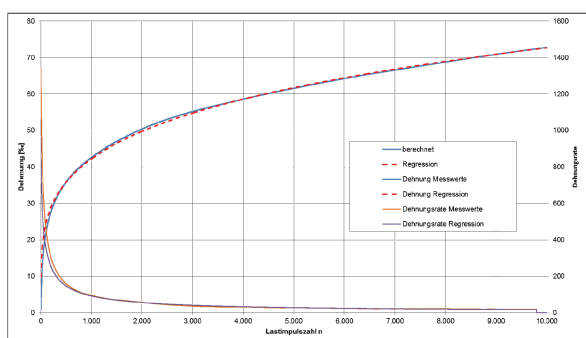


Bild 0.34: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK R 2-1/2 D

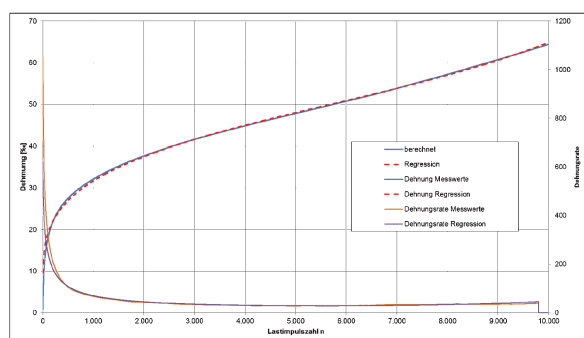


Bild 0.38: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK A 1-3/4 D

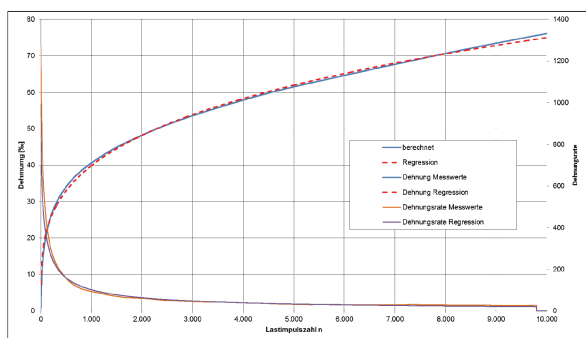


Bild 0.35: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK R 2-3/4 D

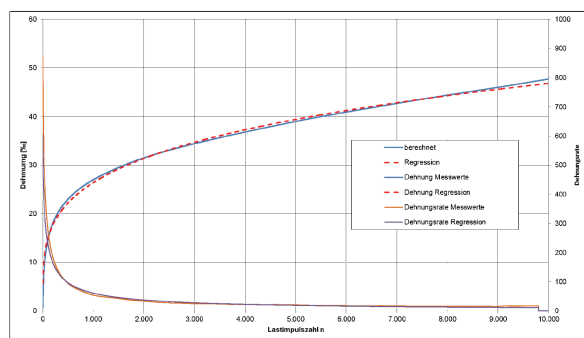


Bild 0.39: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK A 1-5/6 D

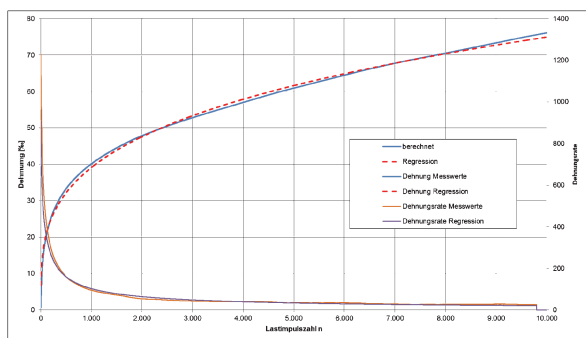


Bild 0.36: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK R 2-5/6 D

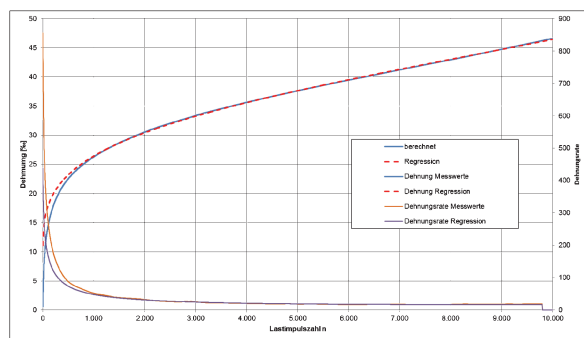


Bild 0.40: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK A 2-1/2 D

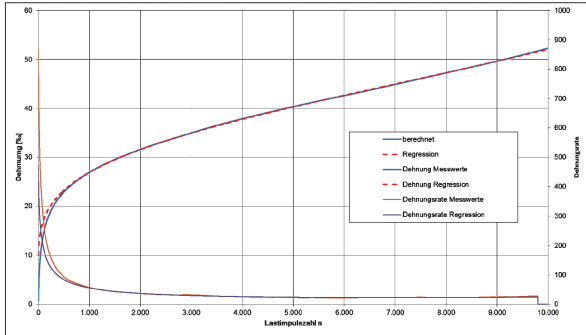


Bild 0.41: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK A 2-3/4 D

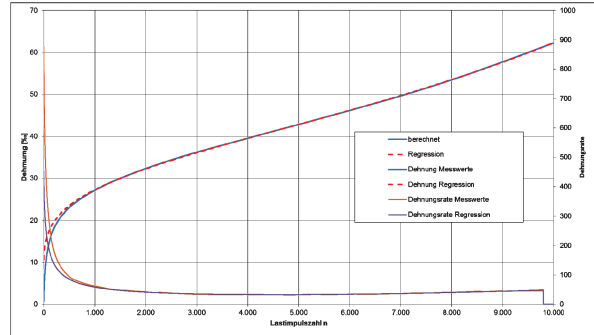


Bild 0.45: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK B 1-5/6 D

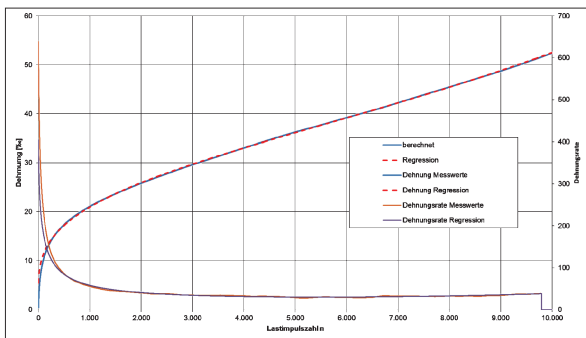


Bild 0.42: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK A 2-5/6 D

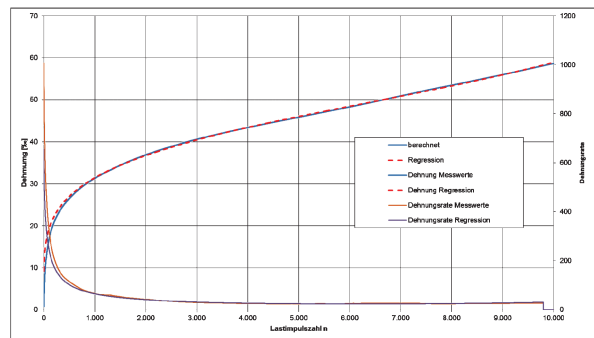


Bild 0.46: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK B 2-1/2 D

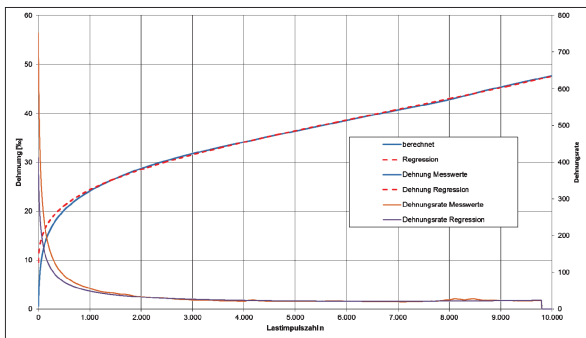


Bild 0.43: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK B 1-1/2 D

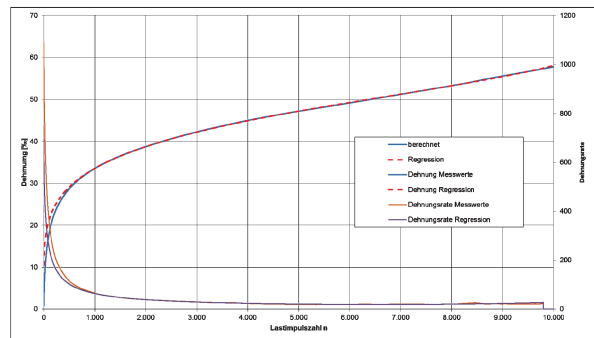


Bild 0.47: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK B 2-3/4 D

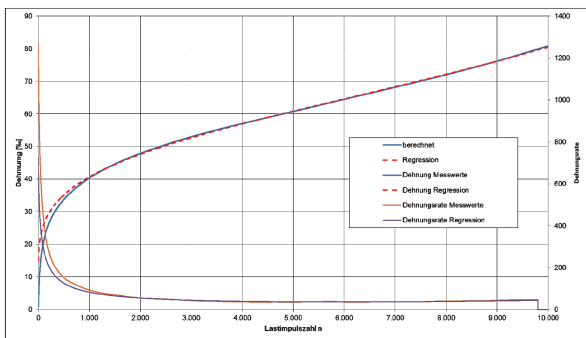


Bild 0.44: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK B 1-3/4 D

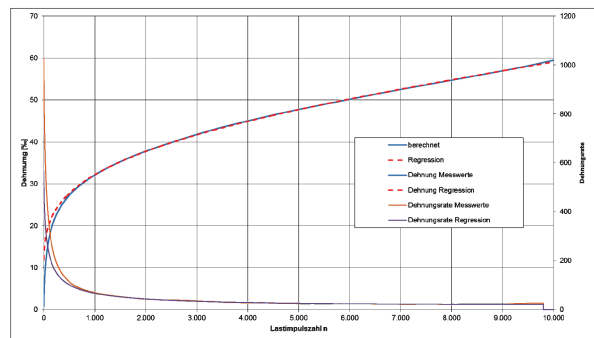


Bild 0.48: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK B 2-5/6 D

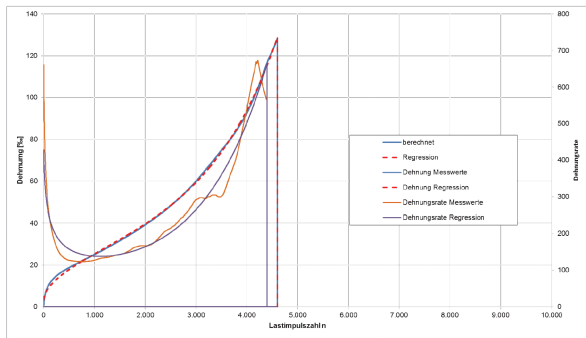


Bild 0.49: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK C 1-1/2 D

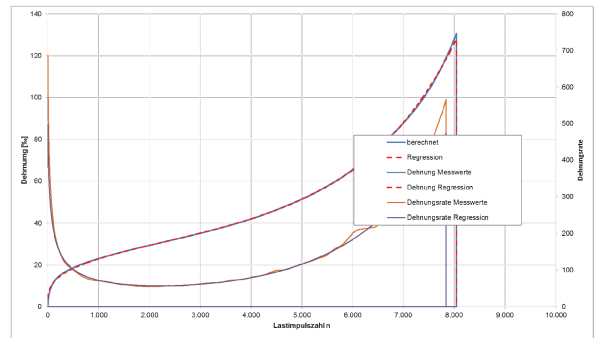


Bild 0.53: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK C 2- 3/4 D

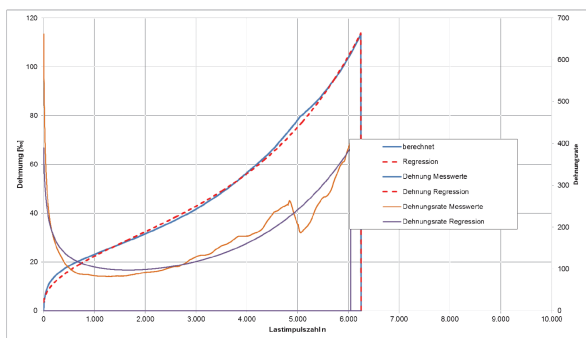


Bild 0.50: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK C 1-3/4 D

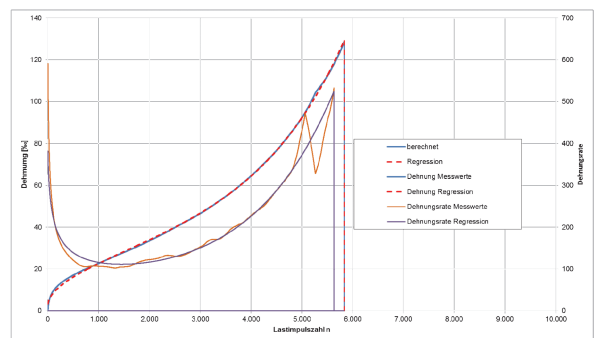


Bild 0.54: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK C 2-5/6 D

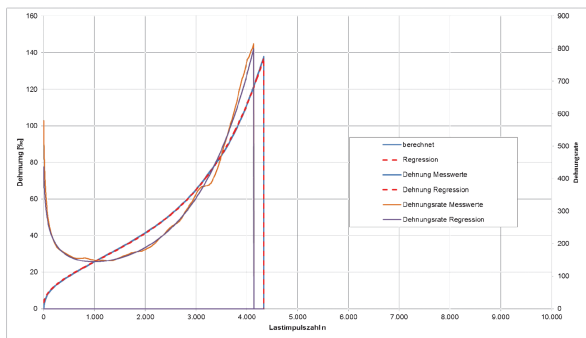


Bild 0.51: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK C 1-5/6 D

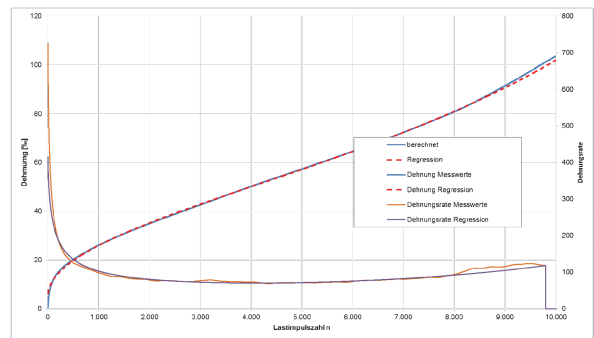


Bild 0.55: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK D 1-1/2 D

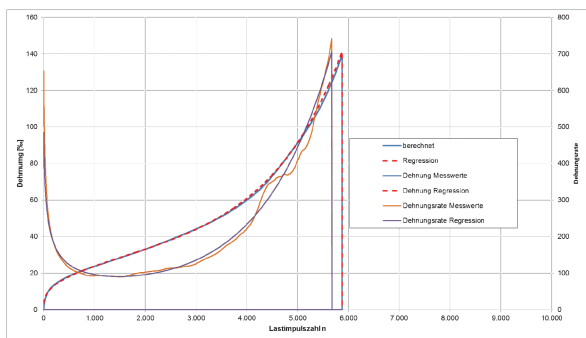


Bild 0.52: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK C 2-1/2 D

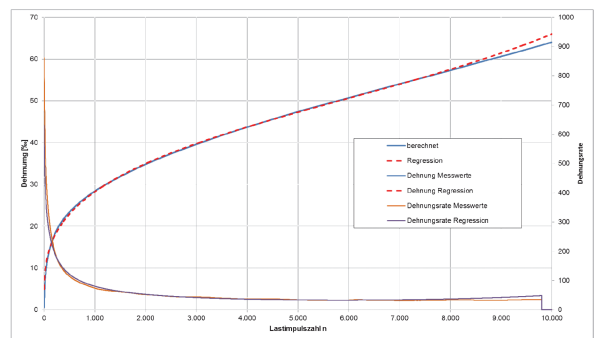


Bild 0.56: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK D 1-3/4 D

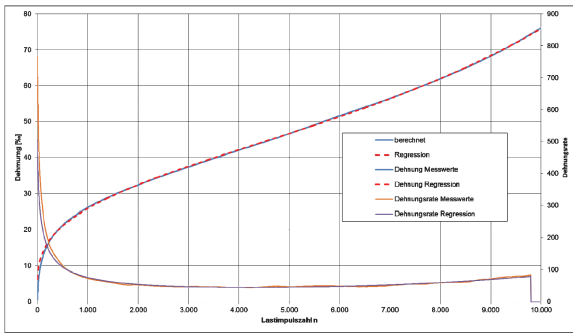


Bild 0.57: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK D 1-5/6 D

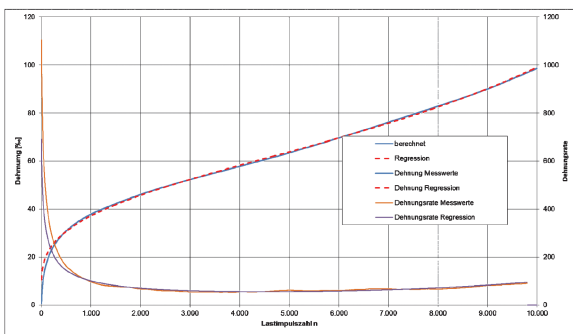


Bild 0.58: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK D 2-1/2 D

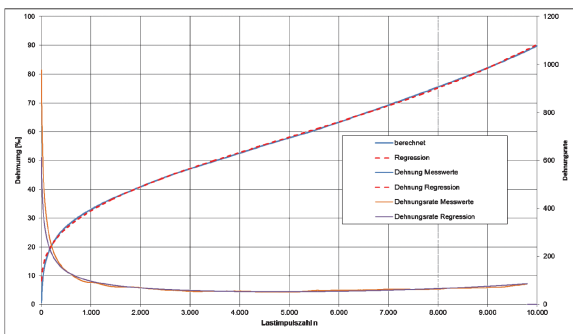


Bild 0.59: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK D 2-3/4 D

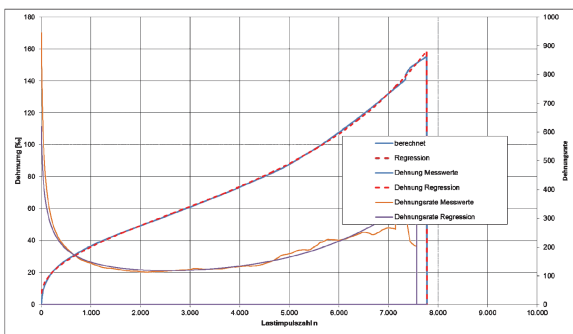


Bild 0.60: Ergebnisse des Druck-Schwellversuches am Probekörper BK D 2-5/6 D

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

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.
Canzler, Winkler € 16,50

S 68: Lärmindernder Splittmastixasphalt
Ripke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

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](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“ im September 2010 in Bonn € 15,00

S 72: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten – Teil 2: Neue Baumaßnahmen
Jansen, Pöppel-Decker € 15,00

S 73: Längsebenheitsauswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil“ – Weiterentwicklung der Längsebenheitsbewertung der Zustandserfassung und -bewertung
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

2012

S 74: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr 2“ – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr 2“ € 30,50

S 75: Abschätzung der Risiken von Hang- und Böschungsrutschungen durch die Zunahme von Extremwetterereignissen
Krauter, Kumerics, Feuerbach, Lauterbach € 15,50

S 76: 42. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

S 77: Netzplanung – Netzbildung – Netzbereinigung
Durner € 16,50

S 78: Untersuchung des Einflusses der Grobtextur auf Messergebnisse mit dem SKM-Verfahren
Bürckert, Gauterin, Unrau € 16,50

2013

S 79: Gussasphalt ohne Abstreuerung
Ripke € 9,00

S 80: Entwicklung einer neuen Versuchstechnik zur Bestimmung der Grenze zwischen halbfestem und festem Boden
Vogt, Birle, Heyer, Etz € 17,50

S 81: Das straßenrechtliche Nutzungsregime im Umbruch – Aktuelle Fragen des Planungsrechts
Durner € 15,00

2014

S 82: Qualitätskontrolle PWS – Wehner/Schulze Quality Control
Teil 1: Auswertung der Kenndaten der PWS Prüfung
Teil 2: Auswertung von Vergleichsuntersuchungen zur Prüfung der Poliereinheit mittels Schleifpapier
Jansen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 83: Die Stellung der Gemeinden im Straßenrecht – aktuelle Probleme des Umweltrechts – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 23./24. September 2013 in Bonn
Durner € 17,00

S 84: Anforderungen an die Erhaltung von Radwegen
Maerschalk, Oertelt € 19,00

S 85: Kornformbeurteilung mit dem optischen Partikelmessgerät Camsizer®
Kunz

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2015

S 86: Einfluss des Asphaltgranulates auf die bemessungs- und ermüdungsrelevanten Materialeigenschaften einer zwangsgebundenen, kaltgebundenen und bitumendominanten Tragschicht
Radenberg, Miljković, Schäfer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 87: Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für zwei AKR-Schnelltests Durchführung und Auswertung
Müller, Seidel, Böhm

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

S 88: Verwendung von AKR-geschädigtem Betonaufbruch für hydraulisch gebundene Tragschichten
Hüniger, Börner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

S 89: Ermittlung von repräsentativen Substanzwerten in homogenen Abschnitten

Villaret, Frohböse, Jähnig, Karcher, Niessen, Buch, Zander
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 90: AKR-Untersuchungen für Fahrbahndecken aus Beton mit Waschbetonoberfläche

Müller, Seidel, Böhm, Stark, Ludwig, Seyfarth
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

S 91: Straßen im Gesamtsystem der Verkehrsträger
Durner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

S 92: Längsebenheitsmesssysteme – Überprüfung der Signalverarbeitungsverfahren nach dem Prinzip der Mehrfachabtastung (HRM)

Neubeck, Wiesebrock

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2016

S 93: Bewertung und Optimierung der Hydrophobierung zur Verminderung des AKR-Schädigungsfortschrittes in Fahrbahn-deckenbetonen

Weise, Schrang € 19,50

S 94: Beanspruchung und Entfernbareit temporärer Fahrbahnmarkierung

Kemper, Schacht, Klaproth, Oeser, Beyer € 16,50

S 95: Bezugsgröße für den Verdichtungsgrad von Schichten ohne Bindemittel

Bialucha, Merkel, Motz, Demond, Schmidt, Ritter, Haas € 14,50

S 96: Bewertungshintergrund für den Widerstand gegen Polieren von Gesteinskörnungen nach dem PWS-Verfahren

Dudenhöfer, Rückert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 97: Einheitliche Bewertungs- kriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel

Fischer, Sauer, Jungwirth, Baumgärtner, Hess, Ditter, Roth, Xalter
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 98: Verifikation eines Europäischen Prüfverfahrens zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Asphalt

Böhm, Beara
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 99: Ansprache und Steuerung von Healing-Effekten bei Asphalt

Wistuba, Alisov, Isailović
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 100: Probekörperherstellung für performance-basierte Asphaltprüfungen

R. Roos, C. Karcher, A. Wittenberg
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 101: Belastungseinrichtung Mobile Load Simulator MLS10 Sensorik zur Beanspruchungsdetektion im ersten gemeinsamen Versuchsbetrieb

Wacker, Scherckenbach, Rabe, Golkowski
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 102: Effizienz technischer Sicherungsmaßnahmen im Erdbau – Lysimeteruntersuchungen unter Laborbedingungen – Teil 1: Bodenmaterial

Kellermann-Kinner, Bürger, Marks € 16,50

S 103: Effizienz technischer Sicherungsmaßnahmen im Erdbau – Untersuchungen von Bauweisen in Freilandlysimetern – Teil 1: Untersuchungszeitraum 2010 - 2013

Brand, Tiffert, Endres, Schnell, Marks, Kocher € 19,50

S 104: Nachhaltige und effiziente Sanierung von Schlaglöchern

Thienert, Beckedahl, Koppers, Paffrath, Nafe € 15,00

2017

S 105: Untersuchungen zur Überprüfung des Luftporenanteils als Verdichtungsanforderung bei feinkörnigen Böden und bindigen Mischböden

Lypp, Birle, Heyer, Vogt € 20,50

S 106: Zusammenhang zwischen Bitumenchemie und straßenbautechnischen Eigenschaften

Radenberg, Nytus, Gehrke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 107: Baustoffe für standfeste Bankette

Koukoulidou, Birle, Heyer € 15,50

S 108: Neue Wege zur Finanzierung des Straßenbaus – Entwicklungen des europäischen Umweltrechts – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 21./22. September 2015 in Bonn

Durner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 109: RIVA – Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels

Korn, Leupold, Mayer, Kreienkamp, Spekat € 15,50

S 110: Vergleichbarkeit der Auslaugraten von Materialien mit und ohne Sandzumischung nach dem Säulenkurzverfahren (DIN 19528)

Lin, Linnemann, Vollpracht € 16,50

2018

S 111: Bitumenextraktion aus Asphalt mit dem nachwachsenden Rohstoff Octansäuremethylester(Kokosester)

Alisov, Wistuba
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 112: Nachweis der flächendeckenden Verdichtungskontrolle von Asphalt

Zander, Buch, Birbaum
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de