Dipl.-Ing. Micha Tobias Buch

Vergleichende Analyse des dynamischen Verdichtungsprozesses bei Verwendung von Systemen zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle

Siegen, 2018

ifs
Institut für
Straßenwesen

Vergleichende Analyse des dynamischen Verdichtungsprozesses bei Verwendung von Systemen zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Vergleichende Analyse des dynamischen Verdichtungsprozesses bei Verwendung von Systemen zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors

der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Micha Tobias Buch

geboren am 27. September 1986 in Siegen

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Ulf Zander

Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Oeser

verteidigt am 10.04.2018

eingereicht bei der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät

der Universität Siegen

Siegen 2018

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet
über http://dnb.d-nb.de abrufbar.
1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2018
Zugl.: Siegen, Univ., Diss., 2018

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2018
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist
es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg
(Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.
1. Auflage, 2018
Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-9800-1
eISBN 978-3-7369-8800-2

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dieser Dissertation liegen Teile des im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, unter FE 89.0288/2013 laufenden Forschungsvorhaben zugrunde.

Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein beim Autor.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Danksagung

Die hier vorliegende Dissertation entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Straßenwesen der Universität Siegen.

Diese Zeit war für mich ein sehr angenehmer und besonders prägender Abschnitt. An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Beteiligten, die mich in dieser Zeit an der Universität Siegen begleitet haben, herzlich bedanken.

Mein größter Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Ulf Zander für die zahlreichen Hilfestellungen, konstruktiven Diskussionen und durchgehende Ermunterung bei der Erstellung dieser Doktorarbeit.

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Oeser für die Übernahme des Korreferats. Dank gebührt darüber hinaus Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Steinbrecher als Vorsitzender und Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dawei Wang für die Mitwirkung in der Promotionskommission.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Kollegen und Projektpartnern des Arbeitskreises 7.4.1 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, die mir stets mit Gesprächen und Diskussionen zur Seite standen.

Ein weiterer Dank gilt meinem gesamten privaten Umfeld, das mich jederzeit bei diesem Vorhaben unterstützt hat.

Aus tiefstem Herzen möchte ich mich bei meiner gesamten Familie bedanken. Meinen Brüdern, meinen Großeltern, meinem lieben Vater Dietrich und meiner lieben Mutter Inge, die mich vollumfassend in allen meinen Vorhaben unterstützt haben und ohne die ich dieses Ziel heute nicht erreicht hätte.

Ich widme diese Arbeit meinen Eltern und Großeltern.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Kurzfassung

Die Errichtung eines mängelfreien, dauerhaften, funktionstüchtigen und verkehrssicheren Straßenbaukörpers ist eines der wichtigsten Grundanliegen der Straßenbauträger. Unter Berücksichtigung der immer weiter steigenden Verkehrsbelastung kommt der vorschriftenkonformen Errichtung einer Straßenbefestigung in Asphaltbauweise eine immer größere Bedeutung zu. Dafür sind die optimale Verzahnung der einzelnen Prozesse und die bestmögliche Nutzung von analytischen Systemen unabdingbar. Einer der wichtigsten Prozesse zur Errichtung der Straßenbefestigung in Asphaltbauweise ist die optimale Verdichtung des Unterbaus bzw. des Untergrundes und der einzelnen Schichten des Straßenoberbaus. In diesem Prozess wird zunehmend auf die baubegleitende Unterstützung von Systemen zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle zurückgegriffen. An diesem Punkt setzt die vorliegende Arbeit an.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Analyse der auf dem Markt befindlichen Systeme und die Überprüfung einer höheren Homogenität und Effektivität des Verdichtungsprozesses durch die Verwendung solcher Systeme. Dazu wurden – ausgehend von durchgeführten Messungen auf einer Versuchsstrecke – die aufgenommenen Daten hinsichtlich der Verdichtungsgrade, der Temperaturspannen und des Verdichtungszuwachses gegenübergestellt und analysiert.

Nach grundsätzlichen Überlegungen hinsichtlich der verschiedenen Faktoren, die den Einbauprozess – besonders jedoch die Verdichtungsleistung – bedingen, erfolgte eine umfassende Literaturrecherche zum nationalen und internationalen Stand der Technik und eine detaillierte Betrachtung der im Rahmen eines Forschungsprojekts eingesetzten Systeme zur Kontrolle der flächendeckenden Verdichtung.

Die auf der Versuchsstrecke aufgenommenen Daten und Messwerte bildeten die Grundlage für weitere Auswertungen und Analysen. Mit Hilfe der baubegleitenden Messungen erfolgte die Überprüfung und Validierung der eingesetzten Systeme hinsichtlich der aufgezeichneten Position und der Anzahl der dokumentierten Walzübergange. Durch die Aufzeichnung der Verdichtungskennwerte während der Baumaßnahme entstand im Nachgang die Anfertigung einer vergleichenden Auswertung, die eine Beurteilung der Übereinstimmung der Verdichtungskennwerte mit den Verdichtungsgraden ermöglicht.

Durch eine statistische Untersuchung fand die Überprüfung statt, inwiefern die aufgezeichneten Daten zwischen den einzelnen Messfeldern signifikante Unterschiede aufweisen. Im Anschluss erfolgte die genaue Analyse des Verdichtungszuwachses der jeweiligen Messfelder auf einer Erprobungsstrecke. Dazu wurden für die einzelnen Messfelder „Verdichtungsfunktionen“ über Trendlinien erzeugt und verglichen.

Abschließend fand eine detaillierte Betrachtung und weitergehende Analyse der Messdaten der Zustandserfassung und -bewertung für eine Versuchsstrecke statt, inwiefern durch den Einsatz der Systeme zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle eine Steigerung der Nutzungsdauer der Straßenbefestigung in Asphaltbauweise erreicht werden kann.

Es konnte gezeigt werden, dass die Systeme zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle einen maßgeblichen Einfluss auf die Homogenität und Effizienz der Verdichtungsleistung besitzen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abstract

The construction of a flawless, permanent, functional and safe road body is counted among the most important concerns of road administrations. In consideration of a permanently rising traffic load, meeting the regulations for the construction of an asphalt road body is of vital importance. An optimal interlocking of the specific processes and the best possible application of analytic systems are mandatory. The compaction of the foundation and the individual layers is one of the most important processes involved in constructing an asphalt road. During this process construction firms increasingly deploy compacting management systems in order to enhance their efficiency. This research deals with several aspects of those systems.

The objective of this research is the analysis of the currently available systems and to find out whether the applications of these systems actually provide a greater homogeneity and efficiency of the compacting process. A test field was used to generate data concerning the degree of compaction, temperature range and compaction increment. This data will be evaluated and compared in this research.

Following fundamental considerations regarding the construction process in general and the compaction process in particular, a widespread literature research was performed to point out the state of the art techniques. After that a detailed analysis of the compaction management systems used as part of a research project followed.

The data from the test field formed the foundation for further evaluation and analysis. By means of measurements accompanying the construction process the deployed systems were reviewed and validated regarding positioning and pass counts. The recording of specific compaction values during the building activity and the resulting evaluation, made it possible to assess the concordance between compaction values and the degree of compaction.

A statistical investigation provided information about significant differences between the individual test fields. Ensuing a precise analysis of the compaction gains in the individual fields of the test road took place. To this end compaction functions of the individual fields were created and compared.

Concluding, a detailed consideration and further analysis of the state measurement data and their grading for the test field was implemented to show whether the deployment of compaction management systems is a feasible instrument in increasing the operating life of an asphalt road.

This research showed a significant influence of the systems for comprehensive compaction control on the uniformity and efficiency of compression performance.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis IX
Abbildungsverzeichnis XI
Tabellenverzeichnis XVII
Abkürzungsverzeichnis XXI
1 Einleitung 1
1.1 Motivation 1
1.2 Problemstellung 2
1.3 Zielsetzung 3
1.4 Methodisches Vorgehen 3
2 Grundlagen zum Verdichtungsprozess 5
2.1 Arbeitsprozesse des Asphaltstraßenbaus 5
2.2 Verdichtung 6
2.2.1 Unterlage 9
2.2.2 Einbaustärke der Asphaltschichten 9
2.2.3 Arbeitskette 9
2.2.4 Verdichtungsarten / Verdichtungsgeräte 10
2.2.5 Verdichtungsprinzipien 11
2.2.5.1 Statische Verdichtung 13
2.2.5.2 Dynamische Verdichtung 14
2.2.6 Anthropologische Faktoren 15
2.2.7 Fehlerquellen bei der Verdichtung und mögliche Folgen 17
2.3 Global Positioning System 19
2.3.1 Methodik / Funktionsweise 20
2.3.2 Überprüfung der Genauigkeit der eingesetzten GPS – Systeme 21
3 Stand der Wissenschaft und Technik 26
3.1 Nationale Regelwerke zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle 26
3.1.1 Merkblatt über flächendeckende dynamische Verfahren zur Prüfung der Verdichtung im Asphaltbau (M FDVK A) 26
3.2 Nationale Forschungsprojekte zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle 27
3.3 Internationale Projekte zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle von Asphalt 29
3.4 Analyse der am Markt befindlichen Systeme 30
3.4.1 Hamm [Compaction Quality (HCQ) der Firma Hamm] 31
3.4.2 Bomag [Compaction Management (BCM 05 / BCM Net)] 32
3.4.3 Ammann Compaction Expert PLUS (ACE PLUS) der Firma Ammann] 35
3.4.4 Cat Compaction Control (CCC) der Firma Caterpillar 38

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

3.5 Programm VETA 40
4 Untersuchungen auf der Bundesstraße B10 41
4.1 Gegebenheiten 41
4.1.1 Festlegung von Art und Umfang der zu erhebenden Daten 41
4.1.2 Festlegung der Entnahmestellen für das Mischgut sowie die Bohrkerne 42
4.2 Temperaturmessung 43
4.3 Bestimmung der Raumdichte 47
4.4 Prüfung der Anzahl aufgezeichneter Walzübergänge 52
4.5 Auswertung der Verdichtungsgrade 54
4.6 Visuelle Auswertung mittels Herstellersoftware 58
5 Vergleich der dynamischen Kennwerte mit den Verdichtungsgraden an genau definierten Messstellen auf der Bundesstraße B10 64
5.1 Auswertung 64
5.2 Zusammenfassung 68
6 Untersuchung des Verdichtungszuwachses auf der Bundesstraße B10 70
6.1 Statistische Untersuchungen der aufgenommenen Werte der Bundesstraße B10 70
6.1.1 Untersuchung hinsichtlich der Normalverteilung 70
6.1.2 Grafische Beurteilung der Normalverteilung 71
6.1.3 Rechnerische Beurteilung der Normalverteilung 72
6.1.4 Rechnerische Signifikanzprüfung 73
6.2 Auswertung des Verdichtungszuwachses auf der Bundesstraße B10 74
6.3 Auswertung der Verdichtungsleistung in den einzelnen Messfeldern 76
6.3.1 Asphaltbinderschicht 79
6.3.1.1 Zusammenfassung und Bewertung der Asphaltbinderschicht 93
6.3.2 Asphaltdeckschicht 99
6.3.2.1 Zusammenfassung und Bewertung der Asphaltdeckschicht 111
6.3.2.2 Zusammenfassende Beurteilung des Verdichtungszuwachses der Binder- und Deckschicht 116
7 Bewährung von mit FDVK eingebauten Strecken 119
8 Schlussbetrachtung 136
8.1 Zusammenfassung 136
8.2 Fazit 139
9 Literaturverzeichnis 140
10 Anhang 143

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Größe der relativen Vorverdichtung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Straßenfertigers bei unterschiedlicher Tamperschlagzahl [3] 7
Abbildung 2.2: Dichteverlauf in Abhängigkeit von der Anzahl an Verdichtungsschlägen am Marshall - Probekörper [3] 8
Abbildung 2.3: Darstellung der entscheidenden Faktoren auf die Verdichtung von Asphaltmischgütern 8
Abbildung 2.4: Darstellung der Wirkprinzipien der verschiedenen Walzen [5] 12
Abbildung 2.5: Darstellung der verschiedenen Anregungsarten der dynamischen Verdichtung [7] 14
Abbildung 2.6: schematische Darstellung der aufgezeichneten Werte während der Verdichtung [8] 16
Abbildung 2.7: Darstellung der Verformung einer Asphaltprobeplatte nach dem Spurbildungsversuch [10] 18
Abbildung 2.8: Darstellung der Ermittlung eines GPS - Punktes unter Verwendung von 4 Satelliten [16] 20
Abbildung 2.9: Dokumentation der Festlegung von Festpunkten auf der Bundesstraße B10 21
Abbildung 2.10: Geodätischen Festpunkte auf der Bundesstraße B10 [17] 22
Abbildung 2.11: Markierung der rechten Bandage während des Einbaus 22
Abbildung 2.12: Fotodokumentation des Bedienerdisplays mit Koordinaten 23
Abbildung 2.13: Fotodokumentation des Bedienerdisplays mit Koordinaten der Bandagenränder 23
Abbildung 2.14: Abweichung zwischen den gemessenen GPS-Ortsdaten der Systemanbieter und dem unabhängigen GPS-System 24
Abbildung 3.1: Untersuchungsprogramm [19] 27
Abbildung 3.2: Verlauf des Verdichtungskennwerts (VKW) aus der FDAV mit dem Verdichtungsgrad (VG) aus Messungen mit der Troxlersonde und der PDM-Sonde [19] 28
Abbildung 3.3: Bedienerdisplay der Firma Hamm 31
Abbildung 3.4: Bedienerdisplay der Firma Bomag 33
Abbildung 3.5: Darstellung des Kraft- Weg- Diagramms bei der Ermittlung des Kennwerts E_{VIB} [9] 34
Abbildung 3.6: Bedienerdisplay der Firma Ammann 35
Abbildung 3.7: Erregerweg und Schwingweg der schwingenden Bandage mit eingezeichneten Hilfsgrößen für die Berechnung des k_B - Werts im Kontaktbetrieb [26] 37
Abbildung 3.8: Bedienerdisplay der Firma Trimble 38
Abbildung 3.9: Bedienerdisplay der Firma Völkel 39
Abbildung 4.1: Geografischen Lage der Bundesstraße B10 [27] 41
Abbildung 4.2: Messung der Temperatur an der Verteilerschnecke 43

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abbildung 4.3: Einbautemperatur der Asphaltbinderschicht AC 16 BS an der Verteilerschnecke mit den Anforderungswerten der ZTV Asphalt – StB ... 44
Abbildung 4.4: Einbautemperaturen der Asphaltdeckschicht (SMA 11 S) an der Verteilerschnecke mit den Anforderungswerten der ZTV Asphalt – StB 44
Abbildung 4.5: Messungen der Temperatur während der Dichtemessungen mit der Troxlersonde 45
Abbildung 4.6: Abkühlverhalten der Oberflächentemperatur der Asphaltbinderschicht (Messungen mit dem Infrarotthermometer) 46
Abbildung 4.7: Abkühlverhalten der Oberflächentemperatur der Asphaltdeckschicht (Messungen mit dem Infra-rotthermometer) 46
Abbildung 4.8: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung (blau) und den Messungen mit der Isotopensonde (rot); Station: R1 47
Abbildung 4.9: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung (blau) und der Messungen mit der Isotopensonde (rot), Station: R 1 47
Abbildung 4.10: Raumdichten der Asphaltbinderschicht aus der Bohrkernuntersuchung (blau) und den Messungen mit der Isotopensonde (rot) für die gesamte Messstrecke auf der Bundesstraße B10 51
Abbildung 4.11: Raumdichten der Asphaltdeckschicht aus der Bohrkernuntersuchung (blau) und den Messungen mit der Isotopensonde (rot) für die gesamte Messstrecke auf der Bundesstraße B10 51
Abbildung 4.12: Darstellung aller Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) in Abhängigkeit von den Feldern 56
Abbildung 4.13: Darstellung aller Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht (SMA 11 S) in Abhängigkeit von den Feldern 56
Abbildung 5.1: Darstellung der Verdichtungsgrade (Bohrkern) der Asphaltbinderschicht in Abhängigkeit vom normierten dynamischen Kennwert im ersten und zweiten Entnahmequerschnitt [20] 65
Abbildung 5.2: Darstellung der Verdichtungsgrade (Isotopensonde) der Asphaltbinderschicht in Abhängigkeit vom normierten dynamischen Kennwert im ersten und zweiten Entnahmequerschnitt [20] 66
Abbildung 5.3: Darstellung der Verdichtungsgrade (Bohrkern) der Asphaltdeckschicht in Abhängigkeit vom normierten dynamischen Kennwert im ersten und zweiten Entnahmequerschnitt [20] 66
Abbildung 5.4: Darstellung der Verdichtungsgrade (Isotopensonde) der Asphaltdeckschicht in Abhängigkeit vom normierten dynamischen Kennwert im ersten und zweiten Entnahmequerschnitt [20] 67
Abbildung 6.1: Darstellung der "Verteilung" der aufgenommenen Messdaten über die Quantile der Normalverteilung der Asphaltbinderschicht 71
Abbildung 6.2: Darstellung der "Verteilung" der aufgenommenen Messdaten über die Quantile der Normalverteilung der Asphaltdeckschicht 72
Abbildung 6.3: Darstellung der Temperaturen an der Verteilerschnecke über die Stationierung auf der Messstrecke 76

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abbildung 6.4: Skizzierung des Steifigkeitsverlaufs eines Asphaltmischguts in Abhängigkeit von der Temperatur und der Verdichtungswirkung bei konstanter Verdichtung 77
Abbildung 6.5: Darstellung des Produkts aus Frequenz und Amplitude als Kennwert für den Energieeintrag der Walzen bei unterschiedlichen Oberflächentemperaturen des Asphalts in Messfeld C 78
Abbildung 6.6: Darstellung des Verdichtungszuwachses bezogen auf den vorherigen Übergang über die Oberflächentemperatur der Asphaltbinderschicht in den Entnahmequerschnitten unterteilt nach den einzelnen Einbaufeldern bzw. Systemen 80
Abbildung 6.7: Darstellung des Verdichtungszuwachses bezogen auf die Vorverdichtung des Fertigers über die Oberflächentemperatur der Asphaltbinderschicht in den Entnahmequerschnitten unterteilt nach den einzelnen Einbaufeldern bzw. Systemen 85
Abbildung 6.8: Darstellung des Verdichtungszuwachses bezogen auf den vorherigen Übergang über die Oberflächentemperatur der Asphaltbinderschicht unterteilt nach den einzelnen Einbaufeldern bzw. Systemen 88
Abbildung 6.9: Darstellung des Verdichtungszuwachses bezogen auf die Vorverdichtung des Fertigers über die Oberflächentemperatur der Asphaltbinderschicht unterteilt nach den einzelnen Einbaufeldern bzw. Systemen 92
Abbildung 6.10: Darstellung des Verdichtungszuwachses bezogen auf den vorherigen Übergang über die Oberflächentemperatur der Asphaltdeckschicht in den Entnahmequerschnitten unterteilt nach den einzelnen Einbaufeldern bzw. Systemen 100
Abbildung 6.11: Darstellung des Verdichtungszuwachses bezogen auf die Vorverdichtung des Fertigers über die Oberflächentemperatur der Asphaltdeckschicht in den Entnahmequerschnitten unterteilt nach den einzelnen Einbaufeldern bzw. Systemen 103
Abbildung 6.12: Darstellung des Verdichtungszuwachses bezogen auf den vorherigen Übergang über die Oberflächentemperatur der Asphaltdeckschicht unterteilt nach den einzelnen Einbaufeldern bzw. Systemen 106
Abbildung 6.13: Darstellung des Verdichtungszuwachses bezogen auf die Vorverdichtung des Fertigers über die Oberflächentemperatur der Asphaltdeckschicht unterteilt nach den einzelnen Einbaufeldern bzw. Systemen 110
Abbildung 6.14: Mittelwerte und Standardabweichungen der Binder- und Deckschicht für den Verdichtungszuwachs bezogen auf den vorherigen Übergang für die Messfelder A und C auf der Bundesstraße B10 117
Abbildung 6.15: Mittelwerte der Deckschicht für den Verdichtungszuwachs bezogen auf den vorherigen Übergang für die Messfelder A, C und D auf der Bundesstraße B10 117
Abbildung 7.1: Darstellung der Einbauabschnitte auf der Bundesautobahn A20 zwischen der AS Schönberg und dem AK Wismar 120

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abbildung 7.2: Darstellung des DTV [Kfz/24h] und des SV-Anteils [%] für die vier Abschnitte auf der Bundesautobahn A20 auf Grundlage der manuellen Straßenverkehrszählungen für die Jahre 2000, 2005,2010 und 2015.....121
Abbildung 7.3: Darstellung der B-Zahl für die Bundesautobahn A20 zwischen der AS Grevesmühlen und dem AK Wismar auf Grundlage der manuellen Straßenverkehrszählungen für die Jahre 2000, 2005,2010 und 2015.....123
Abbildung 7.4: Darstellung des Oberbaus für die Abschnitte 1 bis 4 der Bundesautobahn A20 zwischen der AS Schönberg und dem AK Wismar 124
Abbildung 7.5: Darstellung der Ertüchtigungsmaßnahmen auf der Bundesautobahn A20 zwischen der AS Schönberg und dem AK Wismar im Betrachtungszeitraum bis 2016 125
Abbildung 7.6: Darstellung der Teilprojekte der Zustandserfassung und -bewertung [10].....126
Abbildung 7.7: Darstellung des Berechnungsvorgangs des Gesamtwerts der Zustandserfassung und -bewertung [10] 127
Abbildung 7.8: Darstellung der Spurrinnentiefe über der akkumulierten Verkehrsbelastung auf dem Hauptfahrstreifen der Bundesautobahn A20 zwischen der AS Schönberg und dem AK Wismar in Fahrt-richtung Stettin.....128
Abbildung 7.9: Darstellung der Spurrinnentiefe über der akkumulierten Verkehrsbelastung auf dem Hauptfahrstreifen der Bundesautobahn A20 zwischen der AS Schönberg und dem AK Wismar in Fahrtrichtung Lübeck.....130
Abbildung 7.10: Darstellung der Netzrisse über der akkumulierten Verkehrsbelastung auf dem Hauptfahrstreifen der Bundesautobahn A20 zwischen der AS Schönberg und dem AK Wismar in Fahrtrichtung Lübeck.....132
Abbildung 7.11: Darstellung der Netzrisse über der akkumulierten Verkehrsbelastung auf dem Hauptfahrstreifen der Bundesautobahn A20 zwischen der AS Schönberg und dem AK Wismar in Fahrtrichtung Stettin 133
Abbildung 7.12: Übersichtkarte übe den Teilwert Substanzwert der Bundesautobahn A20 zwischen der AS Schönberg und dem AK Wismar [36].....135
Abbildung 10.1: Darstellung der "Verteilung" der Asphaltbinderschicht des Systemanbieters R über die Quantile der Standardnormalverteilung 143
Abbildung 10.2: Darstellung der "Verteilung" der Asphaltbinderschicht des Systemanbieters A über die Quantile der Standardnormalverteilung 143
Abbildung 10.3: Darstellung der "Verteilung" der Asphaltbinderchsicht des Systemanbieters B über die Quantile der Standardnormalverteilung 144
Abbildung 10.4: Darstellung der "Verteilung" der Asphaltbinderschicht des Systemanbieters C über die Quantile der Standardnormalverteilung 144
Abbildung 10.5: Darstellung der "Verteilung" der Asphaltbinderschicht des Systemanbieters D über die Quantile der Standardnormalverteilung 145
Abbildung 10.6: Darstellung der "Verteilung" der Asphaltdeckschicht des Systemanbieters R über die Quantile der Standardnormalverteilung.....145
Abbildung 10.7: Darstellung der "Verteilung" der Asphaltdeckschicht des Systemanbieters A über die Quantile der Standardnormalverteilung.....146

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abbildung 10.8: Darstellung der "Verteilung" der Asphaltdeckschicht des Systemanbieters B über die Quantile der Standardnormalverteilung 146
Abbildung 10.9: Darstellung der "Verteilung" der Asphaltdeckschicht des Systemanbieters C über die Quantile der Standardnormalverteilung 147
Abbildung 10.10: Darstellung der "Verteilung" der Asphaltdeckschicht des Systemanbieters D über die Quantile der Standardnormalverteilung 147

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.