

**EINFLUSS DES VERDICHTUNGSGRADES AUF DAS GEBRAUCHSVERHALTEN  
VON ASPHALTSTRAßEN  
-Gebrauchsverhaltensorientierte Vergütungsmethode-**

Vom Fachbereich D, Abteilung Bauingenieurwesen  
der Bergischen Universität Wuppertal  
genehmigte

**Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur

vorgelegt von  
Dipl.-Ing. Pahirangan Sivapatham  
aus Wuppertal

Gutachter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hartmut Beckedahl Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Ralf Roos.
Dissertation eingereicht am:	13. Oktober 2011
Tag der mündlichen Prüfung	14. April 2011



Schriftenreihe des Fachzentrums Verkehr

Band 11

**Pahirangan Sivapatham**

**Einfluss des Verdichtungsgrades auf das  
Gebrauchsverhalten von Asphaltstraßen**

–Gebrauchsverhaltensorientierte Vergütungsmethode–

Shaker Verlag  
Aachen 2012

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Wuppertal, Univ., Diss., 2011

Copyright Shaker Verlag 2012

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0818-0

ISSN 1438-3977

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Vorwort des Herausgebers**

Sowohl die Asphaltrezeptur als auch die Qualität der Bauausführung können das Gebrauchsverhalten, die Erhaltungsmaßnahmen und Erhaltungszyklen, die Nutzungsdauer (Nachhaltigkeit) sowie die Lebenszykluskosten erheblich beeinflussen.

Welchen enormen Einfluss die Ausnutzung der zulässigen Toleranzen in der Mischgutherstellung auf die Asphalteigenschaften haben können, wurde bereits in der Arbeit von Ingo Reinhardt (Heft 6 dieser Schriftenreihe) untersucht und nachgewiesen.

In dieser Arbeit untersuchte Herr Pahirangan Sivapatham insbesondere den Einfluss der Qualität der Bauausführung – in Form des erreichten Verdichtungsgrades – auf die Asphaltqualität während der Gebrauchsdauer. Hierbei wurde deutlich, dass der nach ZTV Asphalt-StB noch nicht zur Beanstandung führende Verdichtungsgrad von 97 % zu gering ist, um Asphaltstraßen mit langer Nutzungsdauer herzustellen. Mit 98 % Verdichtungsgrad lässt sich bereits eine signifikant höhere Nutzungsdauer erzielen, als mit 97 %.

Beispielhaft sei das Asphaltbindermischgut genannt, bei dem mit unmodifizierten Bindemitteln gemischt und einem Verdichtungsgrad von 98,5 % eine um 37 % höhere Spurentiefe gemessen wurde als bei einem Verdichtungsgrad von 100 %, während bei 97 % Verdichtungsgrad bereits ein Zuwachs von 88 % zu verzeichnen war. Diese Qualitätseinbußen fallen unter Verwendung eines Spezialbindemittels geringer aus, nämlich in einem Verhältnis von 100 – 114 – 131. Darüber hinaus zeigt das mit Standardbitumen hergestellte Mischgut bei 100 % Verdichtungsgrad eine um eine 221 % höhere Spurrinntiefe als das gleiche Mischgut, das mit einem Sonderbindemittel hergestellt wurde.

Ähnliche Ergebnisse wurden für die Ermüdungsfestigkeit ermittelt. Die Nutzungsdauer vermindert sich bei Asphalttragschichtmischgut (Destillationsbitumen) bei Verdichtungsgraden von 98,5% um 29% und bei Verdichtungsgraden von 97% um 43%. Die Steigerung der Nutzungsdauer bei Verwendung von polymermodifizierten oder Sonderbindemitteln ist eklatant.

Die enorme Nutzungsdauerverminderungen infolge von Abweichungen vom Zielverdichtungsgrad (100 %) können im Prinzip nicht adäquat mit Abzügen gemäß ZTV Asphalt-StB abgegolten werden, so dass in dieser Arbeit ein Vorschlag unterbreitet wird, wie die Abzüge nach den Gesichtspunkten des Gebrauchsverhaltens gestaltet werden könnten. Dabei schneidet dann Mischgut mit polymermodifizierten Bitumen besser ab, als mit Destillationsbitumen. Voraussetzung zur Einführung der auf dem Gebrauchsverhalten basierenden Abzugsregelungen ist die Nutzung Performance orientierten Laborprüfungen.

Die vorliegende Arbeit von Herrn Pahirangan Sivapatham wurde vom Fachbereich Bauingenieurwesen Bergische Universität Wuppertal als Dissertation angenommen. Diese Arbeit ist un-

ter Förderung des Rektorats der Bergischen Universität Wuppertal entstanden. Für die Förderung sei hier noch einmal besonders gedankt.

Wuppertal, im Januar 2012

Hartmut Johannes Beckedahl

## **Vorwort des Verfassers**

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehr- und Forschungsgebiet Straßenentwurf und Straßenbau der Bergischen Universität Wuppertal.

Hiermit bedanke ich mich recht herzlich bei meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Hartmut Beckedahl, der Inhaber des o. g. Lehrstuhls, für die Betreuung dieser Arbeit. Nicht nur seine engagierte fachliche Betreuung, sondern auch die zahlreiche Fachgespräche und die kritische Durchsicht sowie seine Korrektur hat maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Außerdem möchte ich ihm für das außerordentliche Dasein für uns und für die Diskussionen danken, aus denen ich sehr viel gelernt habe.

Bedanken möchte ich mich auch sehr herzlich beim Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Ralf Roos von der Technischen Universität Karlsruhe für die Übernahme des Korreferats und aufschlussreiche Fachgespräche sowie Hinweise zu meiner Arbeit.

Ebenso möchte ich mich sehr herzlich bei den Kollegen, Stefan Janssen und Lars Neutag, und Mitarbeitern des Lehrstuhls, Mathias Holdefreund und Tanja Hoffmann, sowie bei den Diplomanden, Mohammed Lalouh, Mohammed Grou und Suat Ascar, bedanken, die mich während der Tätigkeit und der Durchführung der Untersuchungen in vielerlei Hinsicht unterstützt haben.

Ein ganz besonderer Dank richtet sich auch an meine Familie, meine Frau Kanchana, meine Kinder Tharsh, Mihi und Shami sowie meine Eltern. Meine Frau hat mir immer den Rücken frei gehalten und sehr viele Opfer für mich gebracht.

Ein Dankeschön geht auch an den Vater-Staat und dem Rektorats der Bergischen Universität Wuppertal. Ohne ihre finanzielle Unterstützung wäre aus einem mittellosen Kind kein Wissenschaftler geworden.

Leverkusen, im Januar 2012

Pahirangan Sivapatham





## **Kurzfassung**

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Einflüsse des Verdichtungsgrades auf die Gebrauchseigenschaften von Asphalten, die mit fünf unterschiedlichen Bindemitteln hergestellt wurden, mit Hilfe von Laborversuchen und Rechenmodellen systematisch ermittelt. Mit abnehmendem Verdichtungsgrad wurden geringere Steifigkeitsmoduln, größere Spurtiefen und geringere Lastwechselzahlen bis zum Ermüdungsbruch festgestellt. Für die Mischgutvarianten mit hochpolymermodifiziertem Bindemittel (PmB H und PmB 25H) wird eine geringe, für die mit dem polymermodifizierten Bitumen (PmB 45A) eine moderate und für die mit konventionellem Bindemittel (50/70 und 30/45) eine erhebliche Verschlechterung der Gebrauchseigenschaften bei Abnahme des Verdichtungsgrades quantifiziert. Mit sinkendem Verdichtungsgrad ist immer eine Verschlechterung der Gebrauchseigenschaften festgestellt worden.

Gemäß der deutschen Regelwerke (ZTV Asphalt-StB 01, ZTV T-StB 95/02) ist für die Unterschreitung des vereinbarten Verdichtungsgrades in der fertiggestellten Schicht ein Abzug vom Einheitspreis durch den Auftraggeber der Baumaßnahme vorgesehen. Bei der Berechnung des Abzugs findet lediglich der erreichte Verdichtungsgrad Berücksichtigung und der Einfluss der Gebrauchseigenschaften der eingebauten Asphalte auf die Nutzungsdauer kein Eingang.

Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse zeigen auf, dass sich Asphaltbefestigungen, die mit Ausnahme der verwendeten Bindemittel gleich zusammengesetzt wurden, unter sonst gleichen Randbedingungen hinsichtlich Beanspruchungen aus Verkehr und Klima, sich auf Grund des erreichten Verdichtungsgrades unterschiedlich verhalten. Aus diesem Grund sollte die Vergütung der Schwankungen des Verdichtungsgrades in Zusammenhang mit dem Gebrauchsverhalten ermittelt werden. Dazu wird in dieser Arbeit ein Verfahren zur verhaltenensorientierten Vergütung empfohlen. Das Verfahren berücksichtigt größere als auch kleinere Verdichtungsgrade als der Zielverdichtungsgrad von 100 % und ermöglicht bei der Vergütung sowohl Boni als auch Mali. Bei der Variante mit hochpolymermodifizierte Sonderbitumen PmB 25H (höchste Stand- und Ermüdungsfestigkeit) gibt es die höchste Mehrvergütung und geringste Mindervergütung bei ähnlichem Verdichtungsgrad. Die geringste Mehrvergütung und höchste Mindervergütung wird für die konventionelle Variante ermittelt.

Somit zeigen die errechneten Boni und Mali deutlich den Einfluss der Gebrauchseigenschaften auf die Vergütung und zwar in Abhängigkeit von den vertraglich vereinbarten Verdichtungsgraden.



## **Abstract**

In the scope of this study, the influences of the compaction degree on the performance of asphalt mixes, composed with five different binders, have been systematically determined by means of laboratory tests and analytical performance models. The calculation results show significant effects with respect to the binder used and to the different compaction degrees investigated. With decreasing compaction degree, rut depth increase while stiffness and load cycles until fatigue failure decrease. The asphalt mix with high polymer modified bitumen (PmB 25 H and PmB H) shows a low, with polymer modified bitumen (PmB 45A) a moderate and with conventional bitumen (50/70 and 30/45) a significant deterioration of performance behaviour with decreasing compaction degree.

According to German standards (ZTV Asphalt-StB 01, ZTV T-StB 95/02), the agreed unit price will be reduced in case the reached compaction degree drops below the agreed minimum value. After German specifications, the payment adjustment takes into account only the compaction degree without considering the sensitivity subjected to the binder used with respect to compaction degree.

The test results gained in this study show that asphalt mixes with different binders feature different performance behaviour with respect to the compaction degree reached if all other conditions as traffic load and climate are kept constant. On that account, in this study a performance oriented calculation method for payment adjustment will be suggested. Thereby, deteriorations as well as improvements of the requirements with respect to target compaction degree of 100 % should be taken into account. The improvements will cause bonuses while deteriorations will cause penalties. These calculated bonuses and penalties indicate significantly the influence of asphalt quality on payment.

Due to this the payment of paving quality for innovative asphalt with a long lifetime can be adjusted in a different manner than in case of using conventional asphalt with low lifetime.



**INHALTSVERZEICHNIS**

<b><u>1</u></b>	<b><u>EINLEITUNG</u></b>	<b><u>1</u></b>
1.1	ALLGEMEINES	1
1.2	ZIELSETZUNG	2
1.3	UNTERSUCHUNGSANSATZ	3
<b><u>2</u></b>	<b><u>EINFLUSS DES VERDICHTUNGSGRADES AUF DAS GEBRAUCHSVERHALTEN VON ASPHALTSCHICHTEN</u></b>	<b><u>5</u></b>
2.1	ALLGEMEINES	5
2.2	EINFLUSS DER VERDICHTBARKEIT	6
2.3	VERDICHTUNG IN DER PRAXIS	7
2.4	STAND DER FORSCHUNG	8
2.5	UNTERSCHREITUNG DES VERDICHTUNGSGRADES	10
2.5.1	ALLGEMEINES	10
2.5.2	VERGÜTUNGSREGELUNG DER EINBAUQUALITÄT	11
<b><u>3</u></b>	<b><u>BERECHNUNG DER NUTZUNGSDAUER</u></b>	<b><u>15</u></b>
3.1	ALLGEMEINES	15
3.2	KLIMA- UND TEMPERATUREINFLUSS	17
3.2.1	ALLGEMEINES	17
3.2.2	TEMPERATURVERTEILUNGEN IN ASPHALTBEFESTIGUNGEN	17
3.3	BERECHNUNGSVERFAHREN	18
3.3.1	MEHRSCICHTENMODELL (ELASTIZITÄTSTHEORIE)	18
3.3.2	VERWENDETES PROGRAMM: BISAR	19
3.3.3	EINGABEDATEN	20
3.4	DIMENSIONIERUNGSKRITERIEN	21
3.4.1	NACHWEIS DER ERMÜDUNG	22
3.4.2	NACHWEIS DER SPURRINNENBILDUNG	23
3.4.3	NACHWEIS DER SCHICHTEN OHNE BINDEMITELE SOWIE DES UNTERGRUNDES/UNTERBAUS	24
<b><u>4</u></b>	<b><u>PRÜFVERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN VON ASPHALT</u></b>	<b><u>26</u></b>
4.1	ALLGEMEIN	26
4.2	KONVENTIONELLE BINDEMITELEPRÜFUNGEN	26
4.3	GEBRAUCHSVERHALTENSORIENTIERTE BINDEMITELEPRÜFUNGEN	27
4.3.1	ALLGEMEINES	27
4.3.2	DYNAMISCHES SCHERRHEOMETER (DSR)	28
4.3.3	BENDING BEAM RHEOMETER	29
4.4	GEBRAUCHSVERHALTENSORIENTIERTE ASPHALTPRÜFUNGEN	31
4.4.1	ALLGEMEINES	31
4.4.2	BESTIMMUNG DER STANDFESTIGKEIT	31
4.4.2.1	Spurbildungsversuch	33
4.4.2.2	Dynamischer einaxialer Druckschwellversuch	35
4.4.2.3	Triaxialversuch	36
4.4.3	BESTIMMUNG DES TEMPERATURABHÄNGIGEN STEIFIGKEITSMODULS	38

4.4.3.1	Biegeprüfungen	40
4.4.3.2	Dynamische Indirekte Zugprüfung	41
4.4.3.3	Weitere Verfahren zur Bestimmung des Steifigkeitsmoduls	41
4.4.4	BESTIMMUNG DER ERMÜDUNGSFESTIGKEIT	44
4.4.4.1	Biegeprüfungen	45
4.4.4.2	Indirekte Zugprüfung	47
4.4.5	BESTIMMUNG DES HAFTVERHALTENS	50
4.4.6	BESTIMMUNG DES TIEFTEMPERATURVERHALTENS	51
<b>5</b>	<b><u>HERSTELLUNG DER PRÜFKÖRPER</u></b>	<b>53</b>
<b>5.1</b>	<b>ALLGEMEIN</b>	<b>53</b>
<b>5.2</b>	<b>AUSWAHL UND AUFBEREITUNG DER BAUSTOFFE</b>	<b>53</b>
5.2.1	GESTEINSKÖRNUNG	53
5.2.2	VERWENDETE BITUMEN	54
5.2.3	SONSTIGE BAUSTOFFE	56
<b>5.3</b>	<b>ASPHALTPRÜFKÖRPER</b>	<b>56</b>
5.3.1	PROBEPLATTEN	56
<b>6</b>	<b><u>AUSWERTUNG DER LABORVERSUCHE</u></b>	<b>59</b>
<b>6.1</b>	<b>KONVENTIONELLE BITUMENPRÜFUNGEN</b>	<b>59</b>
<b>6.2</b>	<b>GEBRAUCHSVERHALTENORIENTIERTE BITUMENPRÜFUNGEN</b>	<b>59</b>
6.2.1	DYNAMISCHES SCHERRHEOMETER	59
6.2.2	BENDING BEAM RHEOMETER	65
<b>6.3</b>	<b>GEBRAUCHSVERHALTENORIENTIERTE ASPHALTPRÜFUNGEN</b>	<b>68</b>
6.3.1	BESTIMMUNG DER STANDFESTIGKEIT	68
6.3.2	BESTIMMUNG DES TEMPERATURABHÄNGIGEN STEIFIGKEITSMODULS	79
6.3.3	BESTIMMUNG DER ERMÜDUNGSFESTIGKEIT	86
6.3.4	BESTIMMUNG DES HAFTVERHALTENS NACH NÖSLERS	91
<b>7</b>	<b><u>BESTIMMUNG DER RECHNERISCHEN NUTZUNGSDAUER IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERDICHTUNGSGRAD</u></b>	<b>93</b>
<b>7.1</b>	<b>EINFLUSS DES VERDICHTUNGSGRADES AUF DIE ERMÜDUNGSFESTIGKEIT</b>	<b>93</b>
<b>7.2</b>	<b>EINFLUSS DES VERDICHTUNGSGRADES AUF DIE SPURRINNENBILDUNG</b>	<b>97</b>
<b>7.3</b>	<b>EINFLUSS DES VERDICHTUNGSGRADES DER ASPHALTSCHICHT AUF DIE SCHICHTEN OHNE BINDEMITELE UND UNTERGRUND/UNTERBAU</b>	<b>106</b>
<b>8</b>	<b><u>GEBRAUCHSVERHALTENORIENTIERTE VERGÜTUNGS-REGELUNG</u></b>	<b>109</b>
<b>8.1</b>	<b>AUSWIRKUNG DES VERDICHTUNGSGRADES AUF DIE GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN</b>	<b>109</b>
<b>8.2</b>	<b>VERGÜTUNGSREGELUNG HINSICHTLICH DER GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN DER ASPHALTBEFESTIGUNG IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERDICHTUNGSGRAD</b>	<b>109</b>
8.2.1	VERGÜTUNGSREGELUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON DER BLEIBENDEN VERFORMUNG	111
8.2.2	VERGÜTUNGSREGELUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ERMÜDUNGSFESTIGKEIT	115
<b>9</b>	<b><u>ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG</u></b>	<b>119</b>
<b>10</b>	<b><u>VERZEICHNISSE</u></b>	<b>122</b>
<b>10.1</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>122</b>

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>10.2</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>133</b>
<b>10.3</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>136</b>
<b><u>11</u></b>	<b><u>ANHANG</u></b>	<b><u>138</u></b>