

Beitrag zur prüftechnischen Ansprache des Haftverhaltens zwischen Mineralstoff und Bitumen

Vom Fachbereich Bauingenieurwesen
der Bergischen Universität – Gesamthochschule Wuppertal
genehmigte

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktor – Ingenieurs

vorgelegt von
Dipl.-Ing. INGO NÖSLER
aus Wanne-Eickel

Gutachter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hartmut Beckedahl Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Krass
Dissertation eingereicht am:	30. April 1999
Tag der mündlichen Prüfung:	19. November 1999

Schriftenreihe des Fachzentrums Verkehr

Band 5

Ingo Nösler

**Beitrag zur prüftechnischen
Ansprache des Haftverhaltens
zwischen Mineralstoff und Bitumen**

D 468 (Diss. Universität-GH Wuppertal)

Shaker Verlag
Aachen 2000

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Nösler, Ingo:

Beitrag zur prüftechnischen Ansprache des Haftverhaltens zwischen Mineralstoff und Bitumen/Ingo Nösler.

Aachen : Shaker, 2000

(Schriftenreihe des Fachzentrums Verkehr ; Bd. 5)

Zugl.: Wuppertal, Univ.-GH, Diss., 2000

ISBN 3-8265-7453-2

Copyright Shaker Verlag 2000

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-7453-2

ISSN 1438-3977

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Asphalt im Straßenbau hat durch die hochwertigen Baustoffkomponenten in der Regel den ständig steigenden Verkehrsbeanspruchungen sehr gut widerstanden. Die Zunahme der Verkehrsbeanspruchungen der letzten Jahre hat eine erhebliche Beanspruchungserhöhung des Straßenoberbaues zur Konsequenz. Das Baustoffgemisch Asphalt benötigt daher in der Gegenwart und in der Zukunft die ihm bislang innewohnenden Reserven dringend, um den angestrebten Nutzungszeitraum ohne strukturelle Schäden zu überstehen. Um diese Reserven planmäßig ausnutzen zu können, sind die Baustoffkomponenten sorgsam aufeinander abzustimmen und eventuelle Qualitätsdefizite durch geeignete und wirtschaftlich einsetzbare Zusatzstoffe zu kompensieren.

Zu den die Dauerhaftigkeit beeinflussenden Eigenschaften und für die gleichzeitig bislang keine objektive Beurteilung durch Prüfverfahren möglich ist, zählt das Haftverhalten zwischen Mineralstoff und Bitumen. Seit langer Zeit wird diesbezüglich weltweit nach einem geeigneten Prüfverfahren gesucht, das eine zugehörige quantitative Auswertung sowie Schlußfolgerungen bei vorhandenen Haftungsdefiziten für die Asphalttechnologie zuläßt.

Das Haftverhalten zwischen Mineralstoff und Bitumen wird in dieser Arbeit wissenschaftlich untersucht mit der Folge, daß zwei Prüfverfahren vorgestellt werden, mit dem das Haftverhalten quantitativ nachgewiesen werden kann.

Die vorliegende Arbeit von Herrn Ingo Nösler wurde vom Fachbereich Bauingenieurwesen, Bergische Universität-GH Wuppertal, als Dissertation angenommen.

Die Arbeit ist im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen geförderten Forschungsvorhabens unter der Organisation der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (11126N/1) entstanden. Für die Förderung sei hiermit noch einmal besonders gedankt.

Vorwort des Verfassers

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

Die Anregung zu dieser Arbeit gab mir Prof. Dr.-Ing. H. Beckedahl. Für die Betreuung und Förderung, die in jeder Hinsicht gewährte Unterstützung und den mir stets gewährten Freiraum gilt mein besonderer Dank.

Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Krass danke ich für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse und die Übernahme des Gutachtens.

Gleichzeitig bedanke ich mich bei all denen, die durch Anregungen, Diskussionsbereitschaft und Anteilnahme zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Namentlich hervorheben möchte ich Frau Olga Storm, Herrn Kay Budde und Herrn Michael Grober für ihre kollegiale Unterstützung und stetige Hilfsbereitschaft.

Meiner Frau Silke danke ich an dieser Stelle für ihre stets geduldige und verständnisvolle „Mitarbeit“ ganz besonders.

Wuppertal, im November 1999

Ingo Nösler

Kurzfassung

Der im Straßenbau verwendete Asphalt findet bei rund 80 % der Straßendecken in Deutschland Anwendung. Die Beschaffenheit sowie die Güte des Baustoffgemisches, d. h. die Asphaltqualität, muß jederzeit gewährleistet sein, um eine möglichst lange Nutzungsdauer einer Straße zu erzielen. Zu den Schadensursachen in Asphaltstraßen gehört u. a. auch ein unzureichendes Haftverhalten zwischen Mineralstoff und Bitumen. Jeder Schaden, der durch unzureichendes Haftverhalten zwischen Mineralstoff und Bitumen mit verursacht wird, stellt einen wirtschaftlichen Schaden dar. Diese wirtschaftlichen Nachteile lassen sich nur durch objektiv quantifizierbare Ergebnisse bezüglich des Haftverhaltens zwischen Mineralstoff und Bitumen verhindern. Dafür sind objektive Beurteilungsgrößen sowie objektive und quantitative Prüfverfahren erforderlich.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein objektiv quantifizierbares Prüfverfahren an der Einzelkörnung sowie am verdichteten Asphaltmischgut zu entwickeln. Diese Prüfverfahren wurden unter volumetrischer Betrachtungsweise zur Anwendungsreife gebracht und Anforderungswerte erarbeitet, so daß mit objektiv quantifizierbaren Ergebnissen das Haftverhalten zwischen Mineralstoff und Bitumen zielgerecht beschrieben werden kann. Die beiden vorgestellten Prüfverfahren bieten während einer Eignungsprüfung ein Instrumentarium, mit dem die Asphaltqualität eines Baustoffgemisches bezüglich seines Haftverhaltens hinsichtlich Auswahl der Mineralstoffe (Petrographie), Auswahl des Bitumens (Härtegrad, Provenienz, Polymermodifizierung) sowie Notwendigkeit erforderlicher Menge von Haftmittelzusätzen optimiert werden kann.

Ferner wurde der Einfluß der Trinkwasserqualität auf das Haftverhalten untersucht. Hierbei zeigte sich, daß unterschiedliche Wasserparameter das Haftverhalten nachweisbar beeinflussen. Daraus folgernd wurde die ausschließliche Verwendung von destilliertem Wasser bei den entwickelten Prüfverfahren empfohlen. Abschließend ist im Anhang eine Arbeitsanleitung zur Durchführung, d. h. zur objektiven quantifizierbaren Prüfung des Haftverhaltens zwischen Mineralstoff und Bitumen an der Einzelkörnung sowie am verdichteten Asphaltmischgut vorgestellt.

Abstract

The asphalt used in road construction is applied in approximately 80 % of the road surfacing in Germany. The composition as well as the quality of the material mixture, i. e. the quality of the asphalt has to be guaranteed at any time in order to obtain a life cycle of the road as long as possible. One of the causes for distress in asphalt roads can be insufficient adhesion between mineral aggregate and bitumen. Every distress that is partly caused by insufficient adhesion between mineral aggregate and bitumen, presents an economic damage. These economic disadvantages can only be prevented by results that can be objectively quantified concerning the adhesion between mineral aggregate and bitumen. In order to reach this aim objective assessment dimensions as well as objective and quantitative test procedures are required.

The objective of this work was to develop a test procedure that can be objectively quantified at the single-size aggregate as well as at the compacted asphalt mixture. This test procedure was developed to the stage of implementation from a volumetric point of view and requirement values were worked out so that the adhesion between mineral aggregate and bitumen can be definitely described by results that can be objectively quantified. Both of the presented test procedures offer during the mix design an instrument with which the asphalt quality of a material mixture can be optimised concerning its adhesion regarding the selection of mineral aggregates (petrology), selection of bitumen (degree of hardness, provenance, polymer-modification) as well as necessity of required quantity of adhesion additive.

Furthermore the influence of the quality of potable water on the adhesion capacity was tested. During this process it was demonstrated that different parameters of water influence the adhesion quality detectably. Consequently the exclusive use of distilled water was recommended. Finally an instruction for the realisation, i. e. for the test of the adhesion between aggregate and bitumen that can be objectively quantified at the single-size aggregate as well as at the compacted asphalt mixture is presented in the appendix.

Abbrégé

L'asphalte qui est utilisé dans la construction de routes s'applique à environ 80 % de la couche de surface en Allemagne. La texture ainsi que la qualité de l'enrobé hydrocarboné c'est à dire la qualité de l'asphalte faut être garantie pour obtenir une durée de vie de la route aussi longue que possible. Une des causes pour les dégradations des routes en asphalte est une adhésivité insuffisante entre agrégat et bitume. Chaque dégradation qui est causée par une adhésivité insuffisante présente un dommage économique. Les inconvénients économiques ne peuvent être empêchés que par des résultats objectivement quantifiables concernant l'adhésivité entre agrégat et bitume. Pour cela il faut des critères de jugement objectifs ainsi que des méthodes d'essais quantitatives et objectives.

L'objectif de cet ouvrage est de développer une méthode d'essai objectivement quantifiable sur l'agrégat d'une fraction ainsi que sur l'enrobé hydrocarboné compacté. Cette méthode d'essai a été développée d'un point de vue volumétrique jusqu'à la phase de l'emploi et des valeurs d'exigences ont été réalisés de telle manière qu'on peut décrire univoquement par des résultats objectivement quantifiables l'adhésivité entre agrégat et bitume. Les deux méthodes d'essai présentées offrent pendant l'étude de formulation un instrument à l'aide duquel on peut optimiser la qualité d'un asphalte d'un enrobé hydrocarboné concernant son adhésivité regardant le choix des agrégats (pétrographie), le choix du bitume (degré de dureté, provenance, modification par polymère) ainsi que la nécessité d'une quantité d'adhésif nécessaire.

En plus l'influence de la qualité de l'eau potable sur l'adhésivité a été examinée. Il s'avère que de différents paramètres de l'eau influencent l'adhésivité décelablement. C'est la raison pour laquelle seulement l'emploi d'eau distillée pour les méthodes d'essai développées a été recommandé. Finalement une instruction concernant la réalisation, c'est à dire l'examen de l'adhésivité objectivement quantifiable entre agrégat et bitume sur l'agrégat d'une fraction ainsi que sur l'enrobé hydrocarboné compacté, a été présentée en annexe.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Wissenschaftliche Problemstellung	3
1.3 Zielsetzung	5
2 Einflußgrößen auf das Haftverhalten	7
2.1 Oberflächenspannung	7
2.2 Mineralogie	11
2.3 Bitumenzusammensetzung	13
2.4 Zusammensetzung des Wassers	13
3 Theorien zur Adhäsion zwischen Mineralstoff und Bitumen	15
3.1 Chemische Theorie	15
3.2 Theorie der molekularen Orientierung	16
3.3 Mechanische Theorie	16
3.4 Theorie der Grenzflächenenergie	17
3.5 Spezifische Adhäsionstheorien	18
4 Theorien zum Versagen der Adhäsion zwischen Mineralstoff und Bitumen	19
4.1 Verdrängungstheorie	19
4.2 Unterwanderungstheorie	20
4.3 Porendrucktheorie	21
4.4 Filmbruchtheorie	21
5 Der Baustoff Bitumen	23
5.1 Theoretische Grundlagen	23
5.2 Das Kolloidsystem Bitumen	26
5.3 Charakterisierung der verwendeten Bitumenarten und -sorten	31
5.4 Modifizierung von Bitumen	37
5.4.1 Modifizierung durch Haftmittelzusätze	37
5.4.2 Charakterisierung der verwendeten Haftmittelzusätze	39
5.4.3 Polymermodifizierung	41

6	Petrographische Beschreibung der verwendeten Mineralstoffe	43
6.1	Petrographische Grundlagen	43
6.2	Petrographische Beschreibung	44
7	Voruntersuchungen an Einzelkörnung	49
7.1	Anforderungen an ein Prüfverfahren mit quantifizierbaren Ergebnissen	49
7.2	Kalibrierung des Spektralphotometers	51
7.3	Methylenblaulösung	55
7.4	Bestimmung der Expositionsdauer	56
7.5	Einfluß der Kornoberflächengröße auf die Adsorptionsfähigkeit	57
8	Versuchsdurchführung an Einzelkörnung	61
8.1	Adsorption der unbehandelten Mineralstoffe	63
8.2	Adsorption des Bitumens	64
8.3	Adsorption bitumenumhüllter Mineralstoffe nach Wasserbeanspruchung	66
8.3.1	Adsorption nach Wuppertaler Wasserlagerung	67
8.3.2	Adsorption nach EMPA Wasserlagerung	68
8.3.3	Adsorption der Mineralstoffe nach Abkochen des Bitumenfilms	70
8.4	Modellbeschreibung zur Quantifizierung des Haftverhaltens	71
8.5	Beschreibung der Versuchsserien	77
8.6	Diskussion der Versuchsergebnisse	80
8.7	Randwinkelmethode als Vergleichsuntersuchung	91
9	Voruntersuchungen an verdichtetem Asphaltmischgut	99
9.1	Allgemeines zum Nottingham Asphalt Tester (NAT)	100
9.1.1	Eingabeparameter	103
9.1.2	Ausgabegrößen	104
9.2	Bestimmung der Expositionsart und -temperatur	106
10	Versuchsdurchführung an verdichtetem Asphaltmischgut	111
10.1	Beschreibung der volumetrischen Versuchsserien	111
10.2	Vergleich der gemessenen mit den gerechneten Elastizitätsmoduli	112
10.3	Diskussion der Versuchsergebnisse	113

11 Einfluß der Wasserqualität auf das Haftverhalten	125
11.1 Bedeutung der unterschiedlichen Wasserparameter	125
11.2 Einfluß der Wasserqualität auf das Haftverhalten bei der Einzelkörnung	127
11.3 Einfluß der Wasserqualität auf das Haftverhalten an verdichtetem Asphaltemischgut	132
12 Zusammenfassung	135
13 Literaturverzeichnis	139
Anhang A	
A.1 Rheologische Untersuchungsergebnisse	151
Anhang B	
B.1 Voruntersuchungen an der Einzelkörnung	157
B.2 Voruntersuchungen an verdichtetem Asphaltemischgut	160
B.3 Statistische Auswertung der Voruntersuchungen am Asphaltemischgut	168
Anhang C	
C.1 Untersuchungen an der Einzelkörnung 8/11	171
C.2 Statistische Auswertung an der Einzelkörnung 8/11	184
C.3 Statistische Auswertung der Randwinkelmethode	199
Anhang D	
D.1 Untersuchungen an verdichtetem Asphaltemischgut - Abi 0/16	201
D.2 Statistische Auswertung an verdichtetem Asphaltemischgut - Abi 0/16	220
D.3 Vergleich der gemessenen mit den gerechneten Elastizitätsmoduli	224
Anhang E	
E.1 Arbeitsanleitung zur objektiven Quantifizierung des Haftverhaltens an der Einzelkörnung 8/11	227
E.2 Arbeitsanleitung zur objektiven Quantifizierung des Haftverhaltens an verdichtetem Asphaltemischgut	238

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen

Abi	Asphaltbinder
Ads _B	Adsorption der mit Bitumen umhüllten Mineralstoffe [%]
Ads _M	Adsorption der unbehandelten Mineralstoffe [%]
Ads _{MK}	Adsorption der bitumenumhüllten Mineralstoffe nach einer Wasserlagerung von 60 Minuten [%]
Ads _W	Adsorption der mit Bitumen umhüllten Mineralstoffe nach Wasserlagerung allgemein [%]
Ads _{WW}	Adsorption der mit Bitumen umhüllten Mineralstoffe nach Wuppertaler Wasserlagerung (20 Minuten) [%]
Ads _{EW}	Adsorption der mit Bitumen umhüllten Mineralstoffe nach EMPA Wasserlagerung [%]
B	Bitumengehalt [Gew.-%] oder [Vol.-%]
Beg-StB	Begriffsbestimmungen, Teil: Straßenbautechnik
Bit.Verl.	Bitumenverlust infolge allgemeiner Wasserbeanspruchung
Bit.Verl. _{vorh.}	Vorhandener Bitumenverlust infolge Wuppertaler Wasserbeanspruchung [%]
Bit.Verl. _{max.}	Maximaler Bitumenverlust infolge maximaler Wasserlagerung von 60 Minuten [%]
DW	Destilliertes Wasser
EK	Einzelkörnung
E-Modul	Elastizitätsmodul [Mpa]
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
H _{bit}	Hohlraumgehalt im Marshall-Probekörper [Vol.-%]
IR	Infrarot
k	Verdichtungsgrad des Marshall-Probekörpers [%]
LVDT	linear variable differential transducer - Wegaufnehmer am NAT
MB	Methylenblau
MPK	Marshall-Probekörper
NAT	Nottingham Asphalt Tester
P	Vertikale Last beim indirekt dynamischen Zugversuch [N]

RILEM	International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures
RW	Regenwasser
SN	Schweizer Norm
MSAP	Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen
Std.-abw.	Standardabweichung
t	Dicke des Probekörpers beim indirekt dynamischen Zugversuch
TLG Asphalt	Technische Lieferbedingungen für Asphalt im Straßenbau, Teil: Güteüberwachung
TL Min	Technische Lieferbedingung für Mineralstoffe im Straßenbau
TL PmB	Technische Lieferbedingungen für polymermodifizierte Bitumen in Asphaltsschichten im Heißenbau
TRI	Trichlorethylen
TW	Trinkwasser
U	Umhüllung des Mineralstoffs mit Bitumen nach durchgeführter Wasserbeanspruchung [%]
UV	Ultraviolett
V(a)	Vektor (a)
V(b)	Vektor (b)
Var.-Koef.	Variationskoeffizient
\bar{x}	Mittelwert
ZTV Asphalt	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt
ZTV bit-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt
ZTV-LW	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Befestigung ländlicher Wege
ZTVT-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau

Griechische Zeichen

α	Randwinkel [°]
β	Adhäsionsbeiwert [-]
$\gamma_{F/G}$	Grenzfläche zwischen Festkörper und Gas
$\gamma_{F/FL}$	Grenzfläche zwischen Festkörper und Flüssigkeit
$\gamma_{FL/G}$	Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Gas
Δ	Horizontale Verformung des Probekörpers beim indirekt dynamischen Zugversuch [micron]
$\Delta\beta_{sz}$	Spaltzugfestigkeitsabfall [%]
δ	Kontaktwinkel [°]
ε	Dielektrizitätskonstante zur Kennzeichnung der Polarisierbarkeit bzw. Polarität von Stoffen [-]
η	Brechungsindex ($\eta = \sqrt{\varepsilon}$) zur Kennzeichnung der Polarisierbarkeit bzw. Polarität von Stoffen [-]
μ	Querkontraktionszahl [-]
ρ	Rohdichte der Mineralstoffe [g/cm ³]
ρ_A	Raumdicke des Marshall-Probekörpers [g/cm ³]
ρ_{25}	Rohdichte des Bitumens bei 25 °C [g/cm ³]
σ_{MW}	Grenzflächenspannung zwischen Mineralstoff und Wasser [N/m]
σ_{BW}	Grenzflächenspannung zwischen Bitumen und Wasser [N/m]
σ_{MB}	Grenzflächenspannung zwischen Mineralstoff und Bitumen [N/m]
φ	Phasenwinkel [°]