

# **Auswirkungen der Mischgutzusammensetzung im Rahmen zulässiger Toleranzen auf die Standfestigkeit von Asphalt – Untersuchungen mit Hilfe verschiedener Prüfmethoden**

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  
Doktor-Ingenieur

vorgelegt von  
**Dipl.-Ing. INGO REINHARDT**  
aus Vöhrum, Kreis Peine

Gutachter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Beckedahl Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Leutner
Dissertation eingereicht am:	30. Oktober 2001
Tag der mündlichen Prüfung:	9. Juli 2002



Schriftenreihe des Fachzentrums Verkehr

Band 6

**Ingo Reinhardt**

**Auswirkungen der Mischgutzusammensetzung  
im Rahmen zulässiger Toleranzen auf die  
Standfestigkeit von Asphalt**

Untersuchungen mit Hilfe verschiedener Prüfmethode

D 468 (Diss. Universität-GH Wuppertal)

Shaker Verlag  
Aachen 2003

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Reinhardt, Ingo:*

Auswirkungen der Mischgutzusammensetzung im Rahmen zulässiger Toleranzen auf die Standfestigkeit von Asphalt: Untersuchungen mit Hilfe verschiedener Prüfmethoden/Ingo Reinhardt.

Aachen: Shaker, 2003

(Schriftenreihe des Fachzentrums Verkehr; Bd. 6)

Zugl.: Wuppertal, Univ., Diss., 2002

ISBN 3-8322-1097-0

Copyright Shaker Verlag 2003

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-1097-0

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) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Vorwort des Herausgebers

Die Qualität einer Bauleistung, hier speziell die Qualität einer Asphaltstraße, ist wesentlich von der Qualität der Bauausführung sowie von der Qualität der Baustoffe und Baustoffgemische abhängig. Bei der Herstellung von Baustoffgemischen, insbesondere bei der Asphaltherstellung im großtechnischen Maßstab, wird ein Qualitätsniveau angestrebt, das sich an den Ergebnissen der zugehörigen Eignungsprüfungen orientiert. Abweichungen von der Rezeptur gemäß Eignungsprüfung sind gemäß den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen im Straßenbau (ZTV Asphalt-StB, ZTV T-StB) innerhalb der dort festgelegten Toleranzen zugelassen. Bei den heutigen Anforderungen an die Qualität des Asphaltes und der fertigen Bauleistung können aus einer vollständigen Ausnutzung dieser zulässigen Toleranzen Unterschiede in der Zusammensetzung herrühren, mit der die angestrebten Asphalteeigenschaften und damit die Qualitätsmerkmale der fertigen Bauleistung negativ beeinflusst werden können. In Extremfällen können derart verursachte Qualitätsminderungen zu Baustoffgemischen führen, die für den vorgesehenen Verwendungszweck als ungeeignet angesehen werden müssen.

Ziel dieser Arbeit war es, zu untersuchen, ob unter Berücksichtigung der in Zukunft zu erwartenden weiteren Beanspruchungserhöhungen die zur Zeit gültigen Toleranzen enger gefasst werden müssen, um die Qualität der fertigen Bauleistung optimal gewährleisten zu können. Die hierzu erforderlichen Überlegungen wurden auf ein Qualitätsmerkmal, auf den Widerstand gegen Spurrinnenbildung beschränkt, da dieses Merkmal als eines der wichtigsten wenn nicht sogar als das wichtigste Merkmal des Gebrauchsverhaltens von Asphaltstraßen anzusehen ist. Mögliche Einschränkungen von Toleranzen aufgrund der Fertigungsgenauigkeiten in Mischanlagen wurden anderweitig untersucht.

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

Diese Arbeit ist im Rahmen eines vom Bundesministeriums für Wirtschaft und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen unter der Organisation der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. entstanden. Für die Förderung sei hiermit noch einmal besonders gedankt.

Wuppertal, im Juli 2002

Hartmut Johannes Beckedahl



## **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.

Herr Prof. Dr.-Ing. H. Beckedahl, der Inhaber des Lehrstuhls, gab die Anregung zu dieser Arbeit. Ihm gilt mein besonderer Dank, da er durch seine engagierte fachliche Betreuung maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beitrug. Darüber hinaus half er mir bei der kritischen Durchsicht und Korrektur des Manuskripts.

Herrn Prof. Dr.-Ing. R. Leutner, dem Leiter des Institutes für Straßenwesen und Dekan des Fachbereichs Bauingenieurwesen der TU Braunschweig, danke ich für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse sowie für die Übernahme des Korreferats.

Ebenso bedanke ich mich bei den Kollegen und Mitarbeitern des Lehrstuhls sowie bei den Studenten, die mich während der Durchführung meiner Untersuchungen in vielerlei Hinsicht unterstützt haben.

Ferner danke ich den Gesellschaftern und Mitarbeitern der Ingenieur-Beratung Dr. Reinhardt + Ellrott in Hannover für ihre wertvollen Hinweise.

Gefördert wurde diese Arbeit durch einen Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen. Für die zur Verfügung gestellten Mittel sei an dieser Stelle gedankt.

Meiner Freundin Katja Seffers danke ich ganz besonders für ihre geduldige und verständnisvolle Anteilnahme. Großer Dank gilt auch meinen Eltern, die mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Wuppertal, im Juli 2002

Ingo Reinhardt





## Kurzfassung

Die Standfestigkeit ist ein besonders markantes Qualitätsmerkmal des Asphalts. Sie kennzeichnet das Gebrauchsverhalten (Performance) des Baustoffgemisches hinsichtlich seines Verformungswiderstandes. Mit Hilfe der Eignungsprüfung soll die Mischgutzusammensetzung so optimiert werden, daß der Asphalt im verdichteten Zustand den Anforderungen an die Standfestigkeit entsprechend dem Verwendungszweck genügt. Die technischen Regelwerke (ZTV Asphalt-StB 94/98) geben den Mischgutproduzenten Toleranzen vor, innerhalb derer die Mischgutzusammensetzung von den Vorgaben der Eignungsprüfung abweichen darf. Das Ziel dieser Arbeit war es, die Frage zu klären, ob und in welchem Ausmaß die Ausnutzung einer Toleranz die Standfestigkeit von Asphalt negativ beeinflusst. Anhand von Beispielen aus der Praxis des Asphaltstraßenbaus konnten Spurrinnen, die während der Gewährleistungszeit aufgetreten waren, eindeutig auf die von der Eignungsprüfung abweichenden Merkmale der Mischgutzusammensetzung zurückgeführt werden.

Ausgehend von den Eignungsprüfungen an einem Splittmastixasphalt (SMA) 0/11S und an einem Asphaltbinder (ABi) 0/16S wurde der Einfluß der Toleranzen auf die Standfestigkeit mit Hilfe des Dynamischen Spaltzugversuches, des Wuppertaler Torsionsversuches, des Dynamischen Druckschwellversuches und des Spurbildungstestes untersucht. Für die Auswertung der Druckschwellversuche gemäß TP A-StB wurde ein Algorithmus zur Bestimmung der Funktionsparameter formuliert.

Durch die Anwendung statistischer Methoden konnte festgestellt werden, daß die Einflußgrößen Bindemittelgehalt und Grobsandanteil in ihrer Wirkung auf die Kenngrößen der Standfestigkeit zu vernachlässigen sind. Daher kann auf eine Minderung der Toleranz bezüglich des Bindemittelgehaltes und des Grobsandanteils verzichtet werden. Hingegen konnten die Einflußgrößen Splittgehalt, Größtkornanteil und Füllergehalt in ihrer Wirkung auf die Standfestigkeit als signifikant identifiziert werden. Es ließ sich beobachten, daß die unterschiedlichen Auswirkungen der zulässigen Toleranzen auf die Standfestigkeit auch davon abhängen, in welcher Richtung diese Toleranzen ausgenutzt werden. Trotz dieser Tatsache werden aufgrund von technischen Machbarkeiten die zu empfehlenden Toleranzen für beide Richtungen gleich groß gewählt. So werden für den Splitt-, Sand- und Füllergehalt sowie für den Größtkornanteil Empfehlungen zur Neuregelung der Toleranzen ausgearbeitet. Diese Vorschläge beziehen sich auf die beiden untersuchten Asphaltarten.

Es besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Frage, ob sich die Versuchsergebnisse bei der Wahl anderer Mischgutkomponenten hinsichtlich Mineralstoffart, Bindemittelsorte und Bindemittelprovenienz bestätigen lassen.

## **Abstract**

The stability of asphalt is an important quality characteristic. It indicates the performance of materials concerning resistance to permanent deformation. With the help of mix design the mix composition is to be optimized so that the compacted asphalt fulfills the performance requirements. The standard technical specification (ZTV Asphalt-StB 94/98) contains allowable tolerances. The mix composition may deviate from the values of mix design within these tolerances. The objective of this work was to investigate, if the using of a tolerance affects the stability of asphalt, and, if it does, to what extent. On the basis of examples it was demonstrated, that ruts appearing even within guarantee time are caused by characteristics of bituminous mixture, which deviate from mix design.

Starting at the mix design of a stone mastic asphalt (SMA) 0/11S and of a binder course asphalt (ABi) 0/16S, the influence of tolerances on stability has been investigated by the indirect tensile stiffness modulus test (ITSM), by the torsion test (University of Wuppertal), by the repeated load axial test (RLA) and by the wheel tracking test. For evaluation of RLA-tests under TP A-StB an algorithm was formulated to determine function parameters.

It was observed by application of statistic methods, that the influence quantities like binder content and coarse sand content can be ignored in their effect on the mesurands of stability. Therefore, concerning binder content and coarse sand content a reduction of tolerances can be abandoned. Compared with them, the influence quantities like chipping content, particle top size content and filler content were identified as significant in their effect on the stability. It was observed, that the different effects of allowable tolerances also depend on the direction, in which these tolerances are used. In spite of this fact, the recommending tolerances should have the same size for both directions due to technical feasibilities. As a result, a new system of tolerances is recommended for chipping content, sand content, filler content and particle top size content. This recommendation refers to both types of bituminous mixtures, which were investigated.

Additional research is necessary with regard to the question, if the test results can be confirmed by the choice of other mixture components concerning aggregate type, binder sort and binder provenance.

## Abrégé

La stabilité est une caractéristique particulièrement marquante de l'asphalte. Elle qualifie la tenue du mélange quant à sa résistance à la déformation. A l'aide de l'essai préalable, la composition de l'enrobage doit être optimisée de telle façon que l'asphalte à l'état condensé réponde aux demandes de stabilité, tout en étant conforme au but de son utilisation. Les normes techniques (ZTV Asphalt-StB 94/98) accordent aux producteurs d'enrobage des tolérances à l'intérieur desquelles la composition de l'enrobage peut s'écarter des résultats de l'essai préalable. L'objectif de ce travail, était de répondre à la question: l'utilisation d'une tolérance influence-t-elle de façon négative la stabilité de l'asphalte, et si oui dans quelle mesure? A l'aide d'exemples pris dans la pratique de la construction de routes bitumeuses, les ornières apparues pendant le temps de garantie, pouvaient être mises clairement sur le compte des caractéristiques de la composition de l'enrobage qui ont varié par rapport à l'essai préalable.

A partir d'essais préalables sur l'asphalte coulé avec gravillons (SMA) 0/11S et sur un liant asphaltique (ABi) 0/16S, l'influence des tolérances sur la stabilité a été recherchée par le test de traction indirecte dynamique, le test de torsion de Wuppertal, le test de fluage dynamique et le test de la formation de traces. Un algorithme pour la détermination du paramètre de fonction a été formulé pour l'exploitation du test de fluage selon « TP A-StB ».

Il a pu être établi par l'application de méthodes statistiques que les facteurs d'influence teneur en liant et part de sable à gros grains ont un effet négligeable sur la mesure de la stabilité. Par conséquent, il est possible de renoncer à diminuer la tolérance par la teneur en liant et par la part de sable à gros grains. Au contraire, les facteurs d'influence teneur en gravillons, part maximale de granulats, et teneur en filler ont été identifiés comme significatifs dans leurs effets sur la stabilité. Il a été observé que les différentes conséquences des tolérances autorisées sur la stabilité dépendent aussi du sens dans lequel ces tolérances seront utilisées. Malgré cela, en raison de faisabilités techniques, les tolérances conseillées seront de même valeur dans les deux sens. Ainsi des recommandations en vue d'une nouvelle réglementation de tolérance seront mises au point pour la teneur en gravillons, en sable et en filler et également pour la part maximale de granulats. Ces propositions concernent les deux sortes d'asphaltes étudiées.

Il existe un besoin de recherche sur la question suivante: Les résultats des essais seront-ils confirmés par le choix d'autres composants d'enrobage tels que les sortes de matières minérales, les sortes de liants et leurs provenances?



**Inhaltsverzeichnis**

	Seite
<b>1 Aufgabenstellung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Stand der Forschung	2
1.3 Lösungsweg	3
<b>2 Standfestigkeit von Asphaltbinder und Splittmastixasphalt</b>	<b>4</b>
2.1 Allgemeines	4
2.2 Splittmastixasphalt	7
2.3 Asphaltbinder	10
2.4 Verformungsschäden infolge Ausnutzung zulässiger Toleranzen	13
<b>3 Untersuchungsmethodik</b>	<b>19</b>
3.1 Vertraglich festgelegte Toleranzen beim Bau mit Asphalt	19
3.2 Experimentelles Vorgehen	22
3.2.1 Auswahl und Aufbereitung der Baustoffe	22
3.2.2 Zusammensetzung der Standardmischungen (Eignungsprüfung)	23
3.2.3 Zusammensetzung der Mischgutvarianten	25
3.2.4 Herstellen der Asphaltmischungen und der Probekörper	26
3.3 Prüfverfahren zur Bestimmung des Verformungswiderstandes	30
3.3.1 Dynamischer Spaltzugversuch im NAT	34
3.3.2 Wuppertaler Torsionsversuch	37
3.3.3 Dynamischer Druckschwellversuch im NAT	42
3.3.4 Spurbildungsversuch	46
<b>4 Statistische Analysen zur Auswertung der Versuchsergebnisse</b>	<b>49</b>
4.1 Aufstellen der Nullhypothese	49
4.2 Ausreißertests	51
4.3 Normalverteilung der Residuen	52
4.4 Prüfung der Gleichheit zweier Streuungen	53
4.5 Vergleich zweier Mittelwerte	53

4.6	Varianzanalytische Verfahren	54
4.6.1	Prüfung der Gleichheit mehrerer Varianzen nach Bartlett	55
4.6.2	Varianzanalyse für die einfache Klassifizierung	56
4.6.3	Varianzanalyse für die mehrfache Klassifizierung	58
4.6.4	Mehrfache Mittelwertvergleiche	62
4.6.4.1	LSD-Test nach Fisher (Least Significant Difference)	63
4.6.4.2	Tukey-Test	63
4.7	Regressionsanalytische Verfahren	64
4.7.1	Lineare Regression	64
4.7.2	Nichtlineare Regression	66
4.7.3	Multiple lineare Regression	69
4.7.4	Multiple nichtlineare Regression	73
<b>5</b>	<b>Approximation einer mathematischen Funktion an die Kriechdaten</b>	<b>74</b>
5.1	Aufbereitung des Datenmaterials	74
5.2	Mathematische Formulierung eines Algorithmus zur Lösung der Funktionsparameter	76
5.3	Kurvendiskussion	85
5.4	Vergleich des Berechnungsmodells mit bisherigen Auswertestrategien	93
<b>6</b>	<b>Untersuchungsergebnisse</b>	<b>96</b>
6.1	Behandlung und Verwertung von Prüfergebnissen	96
6.2	Verteilung der Prüfergebnisse	99
6.3	Spreizung der Ergebnisse innerhalb der Prüfverfahren	100
6.4	Quantifizierung der Einflußgrößen	102
6.4.1	Kompositionelle Einflüsse	103
6.4.1.1	Bindemittelgehalt	106
6.4.1.2	Splittgehalt	107
6.4.1.3	Größtkornanteil	110
6.4.1.4	Grobsandanteil	111
6.4.1.5	Füllerverhältnis	112
6.4.1.6	Füllergehalt	115
6.4.2	Berücksichtigung äußerer Einflüsse	116

6.4.2.1	Verdichtungsarbeit	116
6.4.2.2	Temperatur und Schubspannung	119
6.4.2.3	Weitere Versuchsrandbedingungen	123
6.5	Zusammenhang zwischen den mechanischen Merkmalsgrößen	126
6.6	Vorschlag von Toleranzgrenzen für die kompositionellen Merkmale	131
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Schlußfolgerungen</b>	<b>135</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>138</b>
	<b>Anhang I (Eignungsprüfungen)</b>	<b>147</b>
	<b>Anhang II (Eigenschaften der Mischgutvarianten)</b>	<b>163</b>
	<b>Anhang III (Prüfergebnisse der einzelnen Probekörper)</b>	<b>175</b>
	<b>Anhang IV (Statistische Analysen)</b>	<b>183</b>