



Arnd Bartholomäus

Bestimmung der Wasseraufnahme von Asphaltgranulat

2016

Von der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erlangung des Grades eines Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

Eingereicht am: 22.03.2016

Disputation am: 27.09.2016

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael P. Wistuba
Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg

Vorwort des Herausgebers

Zur Produktion von Straßenbauasphalt wird erheblich Energie benötigt, um die Gesteinskörnungen und gegebenenfalls Altasphaltanteile auf die notwendige Verarbeitungstemperatur zu erhitzen, bevor diese mit frischem Bitumen zu neuem Asphalt vermennt werden. Insbesondere vor dem Hintergrund der Umweltschonung, des Gebots eines nachhaltigen Energieeinsatzes und der zunehmenden Wiederverwendung von Altasphalt gewinnen die Minimierung bzw. die Optimierung des Energiebedarfs zunehmend an Bedeutung. Da der Energiebedarf zur Produktion von Straßenbauasphalt u. a. wesentlich von der in den Ausgangsstoffen enthaltenen Feuchtigkeit abhängt, ist insbesondere ein Wissen um Ausmaß und Ursache von Wasser in Asphaltgranulat (aufbereiteter Altasphalt) von Interesse.

Mit welchen Wassergehalten in Asphaltgranulat in der Praxis zu rechnen ist, ist nicht ausreichend bekannt, entsprechende Angaben in der Literatur sind unzureichend. Es sind Fragen offen: (i.) Wie erfolgt die Bindung von Wasser an Asphaltgranulat? (ii.) Hängt die Wasserbindung maßgeblich von den stoffspezifischen Eigenschaften ab und welche Eigenschaften wären das? (iii.) Wie kann ein Kennwert für die Einflüsse auf die Bindung von Wasser am Asphaltgranulat und somit auf den Wassergehalt ermittelt werden? Auch fehlen bislang systematische Untersuchungen zur Beantwortung der Frage, ob grundsätzlich durch eine gezielte Reduktion des Wassergehalts von Asphaltgranulat der Energiebedarf und damit auch der CO₂-Ausstoß bei der Asphaltmischgutproduktion gesenkt werden können.

In der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit finden sich systematisch hergeleitete Antworten auf diese Fragen. Sie entstand in den Jahren 2012 bis 2016 auf Anregung und durch engagierte Bearbeitung im Rahmen eines Promotionsstudiums von Herrn Dr.-Ing. Arnd Bartholomäus, geb. 1970 in Lüneburg, Bauingenieur der Technischen Universität Braunschweig.

Mit dieser Arbeit hat Herr Dr.-Ing. Arnd Bartholomäus im Herbst 2016 sein Promotionsstudium an der Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Technischen Universität Braunschweig erfolgreich abgeschlossen. Ich gratuliere ihm dazu ganz herzlich und freue mich, die Promotionsschrift im Rahmen der Schriftenreihe des ISBS herausgeben zu dürfen.

Braunschweig, im Dezember 2016
Michael P. Wistuba

Kurzfassung

Bei der Produktion von Asphaltmischgut bestimmt unter anderem der Wassergehalt der Ausgangsstoffe den Wärmebedarf und somit auch den CO₂-Ausstoß. Das sind zwei Faktoren, die sowohl aus ökonomischer als auch umwelttechnischer Sicht relevant sind. Infolge der zunehmenden Wiederverwendung von Ausbauasphalt wird es daher immer wichtiger, das darin enthaltene Wasser zu berücksichtigen. Allerdings fehlen heute die dafür notwendigen systematischen Ansätze.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden grundsätzliche Überlegungen zu den Formen der Wasserbindung in Asphaltgranulathaufwerken angestellt. Hierzu erfolgten Untersuchungen zur Stückgrößenverteilung, der Form von Asphaltgranulatstücken, den darin enthaltenen Poren und der Lagerungsdichte von Asphaltgranulathaufwerken in situ. Basierend auf den dabei gewonnenen Erkenntnissen wurden im Labor Versuche zur Wasseraufnahme in Abhängigkeit von der Stückgrößenverteilung und der Lagerungsdichte von Asphaltgranulat durchgeführt.

Trotz der gerechtfertigten Annahme, dass die Stücke in einem Asphaltgranulathaufwerk durch die Lagerung in Abhängigkeit von der Dauer, der Größe des Haufwerks, den Witterungsbedingungen, etc. verformbar sind, konnte gezeigt werden, dass die Wasseraufnahme vergleichbar mit Haufwerken aus unveränderlichen Körnern ist. Dabei wurde für die Praxis der Stückgrößenverteilung eine größere Bedeutung zugemessen als der maximalen Stückgröße. Außerdem konnte der Einfluss der Lagerungsdichte bei Asphaltgranulat mit stetig gestufter Stückgrößenverteilung herausgearbeitet werden.

Aus diesen Erkenntnissen konnten Ansätze zur Reduzierung des Wassergehalts von Asphaltgranulat abgeleitet werden.

Abstract

In the production of hot mix asphalt, it is among other things the water content of its raw materials that determines heat requirements and in turn CO₂ emissions. These are two factors that are relevant both from an economic and an environmental point of view. As a consequence of the increasing reuse of site-won asphalt, it is becoming more and more important to take into account its water content. However, the systematic approaches needed to do this currently do not exist.

In this dissertation, fundamental ideas regarding the forms of water retention in reclaimed asphalt heaps were explored. For this purpose, investigations were carried out on aggregate size distribution, the shape of the aggregates, the pores they contain, and the storage density of reclaimed asphalt heaps in situ. Based on the findings thus obtained, experiments were performed in the laboratory to investigate water absorption in relation to the aggregate size distribution and storage density of reclaimed asphalt.

Despite the justified assumption that the aggregates in a heap of reclaimed asphalt would be deformable through storage in relation to duration, heap size, weather conditions, etc, it could be shown that the water absorption is comparable to heaps consisting of grains that do not change their size. For a practical application, greater importance was attached to aggregate size distribution than to maximum aggregate size. Moreover, the effect of storage density in reclaimed asphalt with continuously graded aggregate size distribution was elaborated.

Approaches to the reduction of the water content of reclaimed asphalt were derived from these findings.

Inhalt

Vorwort des Herausgebers	I
Kurzfassung	II
Abstract	III
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Zielsetzung der Arbeit	1
1.2 Vorgehensweise und Gliederung der Arbeit	2
2 Begriffsdefinitionen	3
2.1 Ausbauasphalt und Asphaltgranulat	3
2.2 Asphaltgranulatstücke	4
2.3 Asphaltgranulathaufwerk	4
3 Vorversuche zum Wassergehalt in Asphaltgranulat	6
3.1 Verwendete Asphaltgranulate	6
3.2 Ermittelte Wassergehalte	7
4 Theoretische Grundlagen zur Wasserbindung an festen Stoffen	12
4.1 Einleitung	12
4.2 Eigenschaften von Wasser	12
4.3 Grenzflächen	13
4.4 Adhäsion	14
4.5 Benetzung	14
4.6 Adsorption	16
4.7 Kapillarität	17
4.8 Chemische Bindung	19
4.9 Formen der Wasserbindung an festen Stoffen	19
4.9.1 Adsorptionswasser	20
4.9.2 Kapillarwasser	22
5 Mögliche Einflüsse auf die Bindung von Wasser in Asphaltgranulathaufwerken ..	25
5.1 Stückgrößenverteilung	25
5.1.1 Zusammenhang von Stückgrößenverteilung und Poren im Haufwerk	25
5.1.2 Praxisnahe Stückgrößenverteilungen von Asphaltgranulaten	26
5.2 Form von Asphaltgranulatstücken	29
5.2.1 Zusammenhang von Kornform und spezifischer Oberfläche	29
5.2.2 Zusammenhang von Kornform der Asphaltgranulatstücke und Poren im Haufwerk	30
5.3 Lagerungsbedingte Veränderlichkeit von Asphaltgranulatstücken	32
5.4 Berechnung des Anteils an Adsorptionswasser	34
5.5 Poren in den Asphaltgranulatstücken	35
5.6 Porenvolumen und Porenstruktur zwischen den Stücken	37
5.7 Zusammenfassung der betrachteten Einflüsse	47

6	Erarbeitung eines Laborverfahrens zur Prüfung der Wasseraufnahme von Asphaltgranulathaufwerken	48
6.1	Einleitung.....	48
6.2	Prüfverfahren	50
6.3	Prüfeinrichtungen.....	52
6.3.1	Druckprüfmaschine.....	52
6.3.2	Edelstahlzylinder mit Stahlplatte	52
6.4	Durchführung.....	53
6.4.1	Probenvorbereitung.....	53
6.4.2	Befüllen der Zylinder.....	54
6.4.3	Verdichten der Asphaltgranulatprobekörper.....	54
6.4.4	Bestimmung der Wasseraufnahme von Asphaltgranulathaufwerken	56
7	Prüfung der Wasseraufnahme von ausgewählten Asphaltgranulathaufwerken	58
7.1	Untersuchte Asphaltgranulathaufwerke.....	58
7.1.1	Klassifizierung der Asphaltgranulathaufwerke.....	58
7.1.2	Probenahme und Probenvorbereitung.....	58
7.1.3	Bestimmung der Stückgrößenverteilung.....	59
7.2	Bestimmung der Wasseraufnahme.....	60
7.3	Auswertung der Messwerte und Interpretation	64
7.3.1	Wasseraufnahme der Asphaltgranulathaufwerke.....	64
7.3.2	Einflüsse der Stückgröße und der Stückgrößenverteilung	71
7.3.3	Einfluss der Lagerungsdichte.....	72
7.3.4	Zusammenfassung der Beurteilung.....	82
7.4	Übertragung der Ergebnisse aus dem Laborversuch in die Praxis.....	83
8	Zusammenfassung.....	85
8.1	Ausgangssituation	85
8.2	Grundlagen und Voruntersuchungen	85
8.3	Bestimmung der Wasseraufnahme im Labor	86
8.4	Ausblick.....	88
9	Literatur.....	90
Anhang	96	
	Reihenuntersuchung zum Wassergehalt von Asphaltgranulat (sh. Kapitel 3).....	96
	Praxisnahe Stückgrößenverteilung von Asphaltgranulaten (sh. Kapitel 5.1.2).....	98
	Stückgrößenverteilung von Asphaltgranulaten zur Bestimmung der Kornform.....	100
	(sh. Kapitel 5.2.2).....	100
	Bestimmung der Kornform von Asphaltgranulaten (sh. Kapitel 5.2.2).....	101
	Lagerungsbedingte Veränderlichkeit von Asphaltgranulatstücken (sh. 5.3)	102
	Berechnung der spezifischen Oberfläche von Asphaltgranulat und des Anteils an Adsorptionswasser (siehe Kapitel 5.4).....	103
	Mikroskopische Aufnahmen von Poren in Asphaltgranulatstücken (sh. Kapitel 5.5).....	108
	Lagerungsdichten in Asphaltgranulathaufwerken (sh. Kapitel 5.6).....	111
	Klassifikation des Asphaltgranulates der Haufwerke in denen die Lagerungsdichten bestimmt wurden (sh. Kapitel 5.6).....	113
	Klassifikation des Asphaltgranulates zur Bestimmung der Wasseraufnahme	118

(sh. Kapitel 7.1.1).....	118
Stückgrößenverteilung der Asphaltgranulate zur Wasseraufnahme (sh. Kapitel 7.1.3)	124
Bestimmung der Wasseraufnahme und des Wassergehalts von Asphaltgranulathaufwerken (sh. Kapitel 7.2)	127
Vergleich der Messreihen zur Wasseraufnahme mit dem H-Test (sh. Kapitel 7.3.1).....	129
Statistische Kennwerte inkl. linearer Regression für die Messreihen (sh. Kapitel 7.3.3)	130
Volumetrische Kennwerte der Wasseraufnahme der Probe 11 RA 0/8 GW (sh. Kapitel 7.3.3.1)..	139