

Bauzeitenverkürzung durch optimierten Asphalteinbau

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 117

bast

Bauzeitenverkürzung durch optimierten Asphalteinbau

von

Stefan Böhm
Moritz Tielmann

Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Straßenwesen

mit Beiträgen von

Alfred Ulrich
Gunnar Verges

Fachhochschule Köln – Institut für
Landmaschinentechnik und Regenerative Energien

Martin Muschalla

Hermann Kirchner
Bauunternehmung GmbH (STRABAG)

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 117

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 07.02622/2012/ARB:
Bauzeitenverkürzung durch optimierten Asphalteinbau (BOA)

Fachbetreuung

Oliver Ripke

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9323

ISBN 978-3-95606-362-6

Bergisch Gladbach, November 2017

Kurzfassung - Abstract

Bauzeitenverkürzung durch optimierten Asphaltbau

Ein Ansatz zur Beschleunigung von Bauzeiten und Reduzierung von Sperrdauern lässt sich in der Weiterentwicklung der Kompaktasphaltbauweise sehen. Im Rahmen des Projektes „Bauzeitenverkürzung durch optimierten Asphaltbau“ (BOA) wurden hierzu Konzepte erarbeitet, die den Einbau dicker Asphaltpakete in einem einzelnen Übergang des Fertigers zulassen. Dies erforderte die Konzeption eines neuen Trag-/Binder-schichtmischguts AC 45 B/T S, welches in Dicken von 20 bis 22 cm eingebaut, als Unterlage für eine gleichzeitig einzubauende dünne Deckschicht dient und somit typische dreilagige Aufbauten ersetzt. Zudem waren Einbau- und Verdichtungsgeräte an die neue Bauweise anzupassen, sowie Bauprozesse zu optimieren. Erstmals erprobt wurde die neue Bauweise auf Versuchsfeldern. Die Einbausergebnisse waren technisch gleichwertig mit konventionellen Bauweisen. Rechnerische Untersuchungen ergaben zudem eine geringere Ermüdungsanfälligkeit der Kompaktasphaltaufbauten. Auf einer Versuchsstrecke an der B 68 konnte nachgewiesen werden, dass die Bauweise auch unter realen Einbaubedingungen umsetzbar ist und eine signifikante Bauzeitenverkürzung bewirkt. Als kritischer Faktor stellte sich die Ebenheit heraus. Die dicken Schichtpakete sind während des Verdichtungsvorganges besonders in den Randbereichen verformungsanfällig, weshalb die Stabilität der Kanten durch Entwicklung neuer Verdichtungsmodule verbessert werden muss.

Construction time reduction by optimized asphalt pavement

The enhancement of the compact asphalt pavement method is one approach to reduce construction and closure times. As part of the project „Construction time reduction by optimized asphalt Pavement“ concepts were processed, which allow the installation of thick asphalt layer packages by a single paver passage. For this purpose a new base/binder course mix AC 45 B/T S had to be designed, that can be installed in thicknesses of 20 to 22 cm and serve as a base for a simultaneously built thin surface course. In this way it replaces typical three-layer constructions. Furthermore paving and compaction equipment had to be adjusted to the new method, as well as building processes were optimized. The first testing took place on proving grounds. The paving results were technically equivalent to conventional paving methods. Computational analyses showed a lower fatigue sensitivity of the compact asphalt constructions. By building a test track on the German federal road B 68 it could be proven that the new method is viable even under real building circumstances and that it effects a significant reduction in construction time. Evenness turned out to be a critical factor. Thick asphalt layer packages are susceptible to deformation under compaction load, especially in edge zones, wherefore the stability of the edges has to be improved by development of new compaction modules.

Summary

Construction time reduction by optimized asphalt pavement

1 Introduction

The reduction of construction time is an important factor in particular for the structural maintenance of asphalt roads. By fast paving across the entire width in combination with short-term road closures, paving in multiple sections can be avoided. This reduces quality relevant weak points, such as joints. An acceleration of the construction process can be achieved by the enhancement of the compact asphalt pavement method. Usually it is used to build binder course and wearing course by a single paver passage. A new concept is designed to simultaneously build a thick asphalt base course and a thin wearing course. The lack of a binder course requires the optimization of material parameters and layer thicknesses of the base course. Technical suitability of this construction method has to be proved by asphalt-technological examination and computational design. For the implementation in pavement practice, processes and machines have to be adjusted.

The project "Construction Time Reduction by Optimized Asphalt Pavement" was initiated in 2012 by the German Federal Highway Research Institute (BAST) to advance the basic idea of a modified compact asphalt pavement method into a realizable concept for construction time reduction and improvement of quality. In future it shall serve as an instrument to perform maintenance projects within the German federal highway network under minimal traffic obstruction.

Lead management and asphalt-technological research were carried out by TU Darmstadt - Chair of Road and Pavement Engineering. The Institute for Agricultural Machinery and Renewable Energy at Cologne University of Applied Sciences performed the enhancement of paving and compaction machinery. Transfer of asphalt-technological and mechanical concepts into practice was done by the roadwork contractor Hermann Kirchner Bauunternehmung GmbH (now operating under the name of its holding company STRABAG).

2 Conceptual design

2.1 Asphalt technology

Wearing course asphalt mixture for the modified compact asphalt pavement method does not differ from conventional compact asphalt. AC 8 D S and SMA 8 S (according to German technical guidelines) in thicknesses of 2-2.5 cm proved to be suitable in practice. The new method's asphalt base course instead is being built thicker than usual. For the target application scenario a conventional base course consists of 3 layers with an overall thickness of 20-22 cm. The modified method aims to build this thick base course as a single layer, which is why its composition has to be adapted. It shall

- ensure compactability over its complete height,
- ensure a sufficient bond with underlayers and wearing course,
- combine base and binder course properties.

Maximum aggregate size

The thickness of conventional asphalt layers should not be above the

quadruple of the maximum aggregate diameter. German technical guidelines for structural maintenance (ZTV BEA-StB (09)) allow a maximum single-layer thickness of 18 cm for the most coarse granular mixture AC 32 T S (maximum aggregate size of 32 mm), which already exceeds the aforementioned rule. For a further increase in layer thickness, as demanded within this project, maximum aggregate size has to be increased. In consideration of production-related limits of asphalt mixing plants and availability of standard grading fractions, a new asphalt mixture AC 45 B/T S (maximum aggregate size of 45 mm) was designed.

Grain size distribution

Grain size distribution depends mainly on required layer properties. The projected base course has to transfer loads from surface to underlayers. Therefore a stable granular structure with a dense arrangement of granular

aggregate is needed. In addition asphalt binder properties, such as good layer bond and an restricted air-void content from 5.0 – 8.0 V.-% (Marshall specimen), have to be achieved.

A diploma thesis at TU Darmstadt [Weller, 2013] already delivered specifications for a granular asphalt base course mixture AC 45 T S. On this basis further variations of gradation curves with a higher amount of aggregate ≤ 2 mm and thereby a more dense structure were designed. Specimens with different binder contents were produced for every gradation curve. One gradation curve emerged to be particularly suitable. It was based on the scaling of the more fine-grained base course curve AC 32 T S towards wider sieve sizes. For aggregate sizes ≤ 2 mm the curve section of AC 22 B S is used. The resulting gradation curve range can be seen in Figure 1.

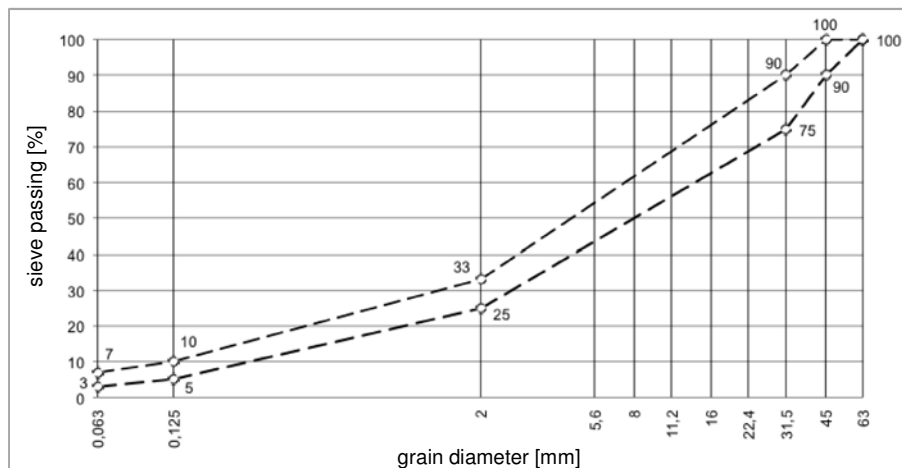


Figure 1: gradation curve range AC 45 B/T S

Requirements for aggregates (disintegration, grain shapes, amount of poorly shaped aggregates, etc.) should comply with the requirements for an asphalt mixture AC 22 B S (TL Asphalt-StB (07/13)).

Binder type and sort

Choosing a suitable binder for the combined binder and base course is highly important, because this layer represents almost the complete thickness of the asphalt superstructure. The binder has to ensure a sufficient and durable adhesion between the

aggregates and has to withstand traffic and temperature strains.

Polymer-modified bitumen (PmB) proved to be suitable in comparable scopes of application. The addition of polymers positively affects the adhesion between aggregate and bitumen and improves thermal stability and cryogenic temperature behavior.

In this project high traffic loads were assumed, so that a PmB 25/55-55 was chosen. This bitumen has a good deformation resistance by means of low needle penetration depths and a quite high softening point (ring and ball).

If lower traffic loads are expected the addition of polymers is not necessary. Standard bitumen 30/45 or 50/70 should be suitable in those scopes of application.

Binder Content

German guideline TL Asphalt-StB 07/13 recommends minimum binder contents for base course mixtures, which decrease with rising maximum aggregate diameter. If one scales those recommendations up to a maximum aggregate size of 45 mm, a minimum binder content of 3.6 M.-% can be assumed. Because of the binder course characteristics and

higher contents of fine grain the effective minimum content of bitumen required is a bit higher. By means of laboratory tests a minimum binder requirement of 4.0 M.-% could be identified.

Laboratory tests

Identification of a suitable mixture variant for the binder/base course asphalt AC 45 B/T S based on engineering concepts which were validated by systematic laboratory testing. The base course optimized gradation curve of the asphalt mixture AC 45 T S [Weller, 2013] was modified by different fine grain and binder contents. Aggregates for laboratory testing and later test tracks originated from the same quarries.

Marshall specimens (diameter 150 mm, see Figure 2) have been produced for every mixture variant and were analyzed in view of their air void content.

The Marshall specimens were cut centrally to assess their aggregate structure and air void distribution (examples see figure 3 and 4).



Figure 2: Upper (left picture) and under side (right picture) of selected Marshall specimens (left in each picture AC 45 B/T S, right AC 45 T S, WB1 shows residues of filter paper)

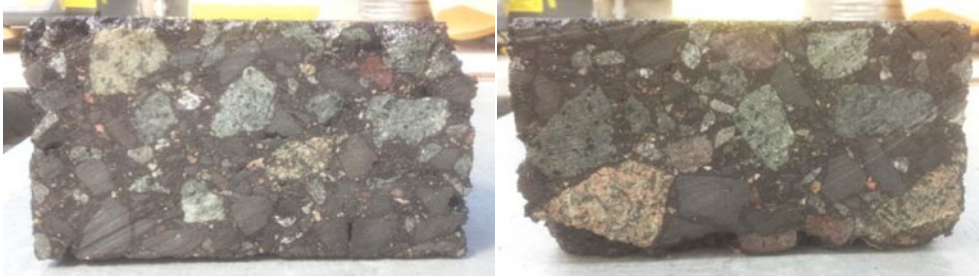


Figure 3: Centrally cut Marshall specimens with gradation curve AC 45 T S, B = 3.6 M.-% (left), B = 4.1 M.-% (right)

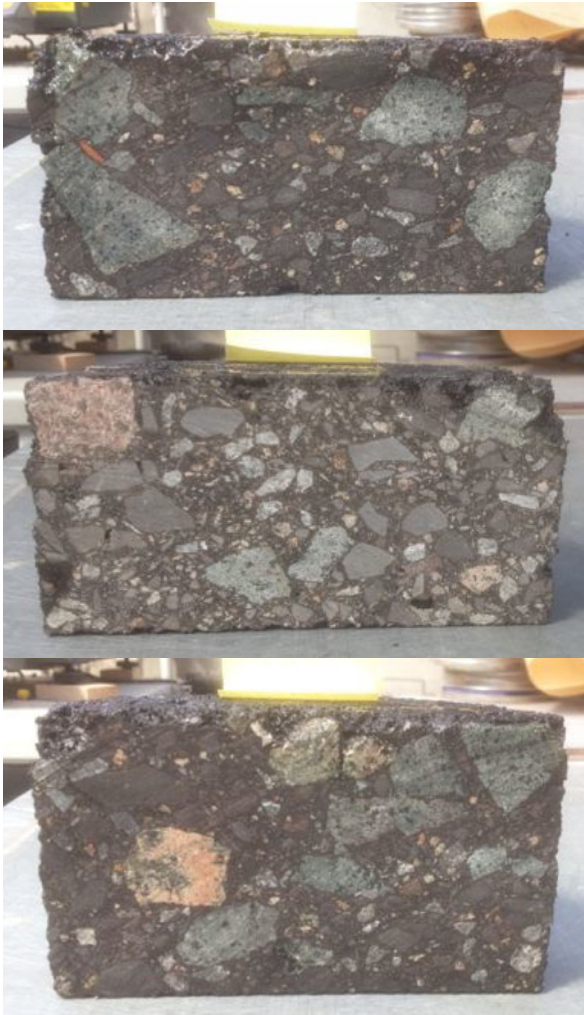


Figure 4: Centrally cut Marshall specimens with gradation curve AC 45 B/T S, B = 3.6 M.-% (top), B = 4.1 M.-% (middle), B = 4.5 M.-% (bottom)



Figure 5: Example for disintegration and unfilled voids on Marshall specimen WA1 (AC 45 T S)

Specimens with base course optimized mixture AC 45 T S have shown air void contents within the defined requirement range of 5.0 – 8.0 V.-% but were vulnerable to disintegration within the compaction process (see Figure 5). Furthermore the aggregate Specimens with favored gradation curve of the mixture AC 45 B/T S didn't show these problems distinctively. Aggregate fractions and air voids were homogeneously distributed. Upper and under sides of the specimens had smooth surfaces. The best results could be seen with a binder content of 4.0 M.-%, which is why this mixture was used to define requirements for the asphalt AC 45 B/T S to be used in later project steps.

Requirements for AC 45 B/T S

The results of conceptual work and laboratory testing led to the requirements for the asphalt AC 45 B/T S which are shown in . Those requirements were compulsory for initial testing of the asphalt manufacturer, a test mixing process in an asphalt mixing plant (Hauneck) and testing grounds on the premises of Hermann Kirchner Bauunternehmung (STRABAG).

2.2 Machinery

Building a very thick base and a thin wearing course simultaneously and at the same pave speed as usual, high demands on the technical capability of the compact asphalt paver have to be met. First of all an extraordinary high amount of base course mixture has to be placed true to cross-section line and level. Moreover this mixture with a maximum aggregate diameter of 45 mm is more granular than conventional mixtures. This requires mechanical enhancements in paving screed technology and harmonization

fractions were not distributed homogeneously. Large air voids at the upper and under side of the specimen let expect a weak bond to adjacent layers.

description	unit	AC 45 B/T S
material		
aggregate		
content of crushed aggregate surface		C _{50/30}
minimum content of fraction 0/2 with E _{cs} 35	%	50
binder, type and sort		PmB 25/55-55 50/70 30/45
composition of asphalt mixture		
aggregate mixture		
sieve passage at sieve size		
63 mm	M-%	100
45 mm	M-%	90 - 100
31,5 mm	M-%	75 - 90
22,4 mm	M-%	
16 mm	M-%	
11,2 mm	M-%	
2 mm	M-%	25 - 33
0,125 mm	M-%	5 - 10
0,063 mm	M-%	3 - 7
minimum binder content		B _{min} 4,0
asphalt mixture		
minimal air void content (Marshall specimen)		V _{min} 5,0
maximum air void content (Marshall specimen)		V _{max} 8,0

Table 1: Requirements for AC 45 B/T S

of velocity dependent parameters of base and wearing course screeds.

The paving screed for the base course has to be adapted as follows:

- increase the head of mix in front of the screed,
- adapt edges and plates to avoid segregation,
- increase the intake-angle at the front panel of the screed,
- flatten the tamper work angle and chamfer the front edge of the screed plate,
- increase the weight of the screed with statically loads and strengthen screed support,
- adapt a side plate ski with vibration to shape and compact the edges of the pavement over their full depth,
- use maximal parameters for tamper (lift and rotational speed), screed plate (vibration, pressure, rotational speed) and pressure bar (pressure, frequency) to achieve a high level of pre-compaction.

The paving screed for the wearing course doesn't differ from conventional compact asphalt method. Due to low pave speed minimal parameters (tamper and pressure bar) should be chosen.

2.3 Building processes

The transfer of the modified compact asphalt method into practice required an optimization of processes in two areas. On the one hand paving and compaction processes had to be adapted to technical features of the new method. Acceleration of construction time on the other hand

causes an extraordinary high need of base course mixture in short time steps. In this context logistical processes had to be analyzed and improved.

Logistic for milled materials

Maintenance projects with partial replacement of existing layers are the prior field of application for the new method. Due to the aim of accelerating construction and closure times, it has to be ensured that milled material can be cart off the place of extraction as soon as possible. In preparation for a test track on German federal highway B 68 a detailed concept for the logistic of milled material was designed and successfully implemented within the construction processes. The following showed to be the most important factors regarding the handling of large amounts of milled material:

- coordination of the concept between all involved parties, especially under consideration of the particular capacities,
- exact pulsing of transport vehicle approaches and departures under consideration of time buffers,
- harmonization between milling performances and transportation capacities,
- numbering and color marking of milling machines and transport vehicles,
- provision of sufficiently large waiting, shunting and cleaning zones,
- coordination by a central unit/organization.

Logistic for asphalt mixtures

A consistent paving speed is a main condition for quality and can only be achieved by uninterrupted delivery of

asphalt mixture. But the modified compact asphalt method requires large amounts of mixture in short time. This can only be managed by coordination of several mixing plants. This coordination includes the harmonization of the different production and transportation capacities. Analogous to the logistic for milled material (see above) also concepts for transportation of large mixture amounts have to be set up. Such concepts were used for the test tracks on German autobahn A 96 and German federal highway B 68.

In these projects it could also be seen that the use of paver terminals for the documentation of delivery notes and results of acceptance testing accelerates individual transport vehicle changing times. Another contribution to a reduction of construction time is the use of feeders and transport vehicles, which are equipped with pushing modules instead of dumpers.

Paving and compacting

Paving and compacting processes are mainly depending on machinery parameters and configurations. In a broader sense this includes the choice of a correct allowance on the layer thickness. At the beginning of this project there has not been any experience in the compaction behavior and thus in the final layer thicknesses of extraordinary thick and granular asphalt base courses. This includes also the stability of the exposed edges under compaction load. Because of the great importance of compaction results

for the overall quality, usability and durability, different compaction strategies had to be tried out on the testing grounds and tracks.

3 Testing grounds

Concept

Before employing the modified compact asphalt method and the new mixture AC 45 B/T S for real paving projects within the German road network, proving had to be done on small-scale testing grounds (4x25 m) on the premises of Hermann Kirchner Bauunternehmung GmbH (STRABAG) at Bad Hersfeld. On those testing grounds different scenarios of application were emulated. Maintenance projects on roads with much traffic load and under partial replacement of existing layers are the prior field of application. In addition, the method can be used to quickly build a new road for low traffic loads. For both scenarios testing grounds were constructed as modified compact asphalt structures and – for comparison purposes – as conventional structures according to German guidelines (RStO 12). The reference fields were build without binder and wearing course because the achievement of sufficient surface characteristics with conventional paving methods is technically uncritical. The load-bearing behavior however is mainly depending on base course characteristic, so that this course had to be built for comparison. For detailed structure concepts and layers see Figure 6.

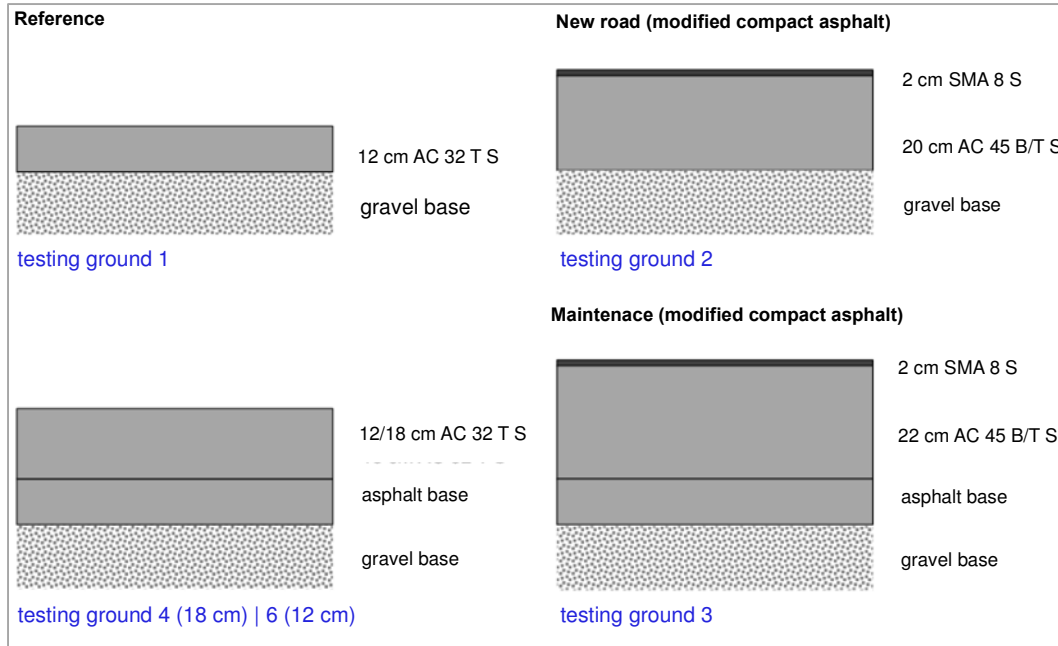


Figure 6: Structure concepts of testing grounds in Bad Hersfeld

Construction preparation

The asphalt producer Asphaltmischwerk Hauneck GmbH & Co. KG (AMH) has set up an initial testing report for the mixture AC 45 B/T S, based on the previously formulated requirements and own laboratory testing. By performing a test mixing process it figured out, that the maximum aggregate diameter of

45 mm does not cause any technical or procedural problem. The mixture appeared homogeneously mixed and each aggregate had a sufficient bituminous coating.

Paving and compacting machinery was adapted as outlined in chapter 2.2. Furthermore the base surfaces were prepared for pavement (see Figure 7).



Figure 7: Examples for prepared base surfaces (top picture: gravel base, bottom picture: asphalt base)

Paving and Compacting

The testing grounds were build on 06-15-2014 under changing weather conditions. Dynapac CM 3000 paver with compact asphalt module was used

for every ground. For modified compact asphalt grounds also a feeder of the type Dynapac MF 300 was in use (see Figure 8).



Figure 8: Paving on testing grounds

The pre-compacted surface of the combined binder/base course appeared even and arranged as a dense structure (see Figure 9). Also the

surface of the wearing course behind the paver looked even and uniformly dense (see Figure 10).



Figure 9: Surface of combined binder/base course on testing ground 3 (mod. compact asphalt 22+2 cm) in front of the wearing course screed



Figure 10: Surface of wearing course on testing ground 3 (mod. compact asphalt 22+2 cm) before roller compaction

Based on experience with conventional compact asphalt, the thick layer packages were initially rolled with low static load, then compacted four times with vibration and high load and finally statically smoothed. On the date of pavement a special edge shaping and compacting module for the paver was

still in design period, so that the edge regions were not stable enough under dynamic compaction load (see Figure 11). The effort to shape the edges with conventional roller modules resulted in an unsatisfactory appearance (see Figure 12).



Figure 11: Instability of edge regions under dynamic roller load on thick compact asphalt packages



Figure 12: Unsatisfactory appearance of edges on thick compact asphalt packages (right) vs. typically shaped edges on reference layer with a thickness of 12 cm (left)

Paving Results

Laboratory testing of the mixtures used for paving showed a consistent compliance with initial testing results. A segregation analysis did not provide

any noticeable segregation tendency of the mixtures.

The projected layer thicknesses were reliably achieved (see core example in Figure 13).



Figure 13: Core from testing ground 3 (mod. compact asphalt 22+2 cm on asphalt base)

The longitudinal evenness of the modified compact asphalt wearing course surfaces was very good (example see Figure 14). The limits of

6 respectively 4 mm (after German guideline ZTV Asphalt-StB 4.2.5 (07/13)) were not exceeded at any position.

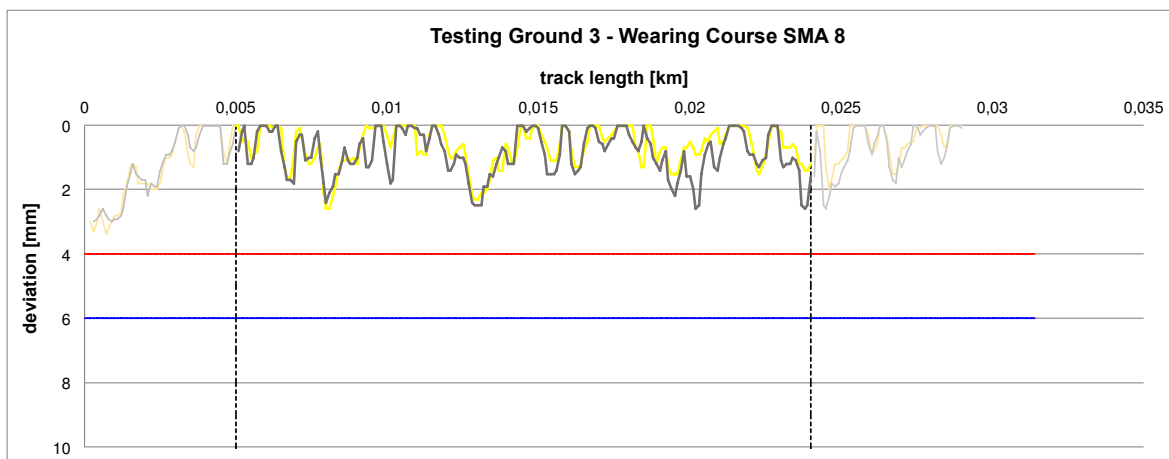


Figure 14: Longitudinal evenness on testing ground 3

Transversal evenness of the compact asphalt wearing courses was recorded as cross profiles in distances of 5 m by use of a 4 m-bar. In the middle of the surfaces the limits of 6 respectively 4 mm (after German guideline ZTV Asphalt-StB 4.2.5 (07/13)) were not exceeded (maximum of 2 mm). In edge regions the unevenness increased considerably (maximum of 21 mm in right paving direction, see Figure 15). It can be assumed that an insufficient edge pre-compaction led to an poor stability of the edge regions.

The „Leutner shear procedure“ was used to quantify the layer bond. It was found, that the bond between the layers of modified compact asphalt is higher than the bond between the layers of conventionally built reference testing grounds (s. Figure 16). The utilization of polymer modified bitumen and the immediate application of the wearing course on a hot base are probably reasons for those higher bond values.

Asphalt cores were cut into two respectively three disks to see the development of compaction over depth. The degree of compaction was measured for every disk. The measured values are mean values for every disk, which is why the position of each ordinate value is placed in the middle of the related disk (Figure 17).

It can be seen that the thick base course layers consisting of asphalt mixture AC 45 B/T S have very high degrees of compaction (up to 103 %) in the upper layer regions. The values initially decrease little over depth but then show a significant decline towards the bottom layer regions, where a minimum value of 97.5 % was

detected. The average value over complete base course height is about 100 % and can be assessed as good. The thick reference base course layer consisting of asphalt mixture AC 32 T S has a similar curve shape even though the compaction degrees are slightly lower.

The thinner reference base courses consisting of asphalt mixture AC 32 T S have lower degrees of compaction on the upper side (about 100.5 %), which decrease slightly towards the bottom (about 99.5 %). The mean value of about 100 % is comparable with the modified compact asphalt as well as the curve's gradient of decrease.

The bearing capacities of the testing grounds were measured by dynamic tests with a falling weight deflectometer (FWD) before and after paving. Mean elastic modules of asphalts for high traffic loads (s. Bald et al, 2011) were set in to back-calculate the load distributing asphalt thicknesses based on detected deformation values. The true overall thicknesses were well-known from extracted cores, so that simple comparisons between calculation results and true values could validate the estimated elastic modules. On testing ground 3 for instance, the average measured overall thickness was 35.9 cm, whereas back-calculation with an estimated E_1 -modulus of 1600 N/mm² resulted in an load distributing thickness of about 34 cm (see Figure 18). Within the limits of accuracy of this computation, it can be assumed that the bearing capacity of modified compact asphalt structures is comparable to conventional asphalts structures for high traffic loads.

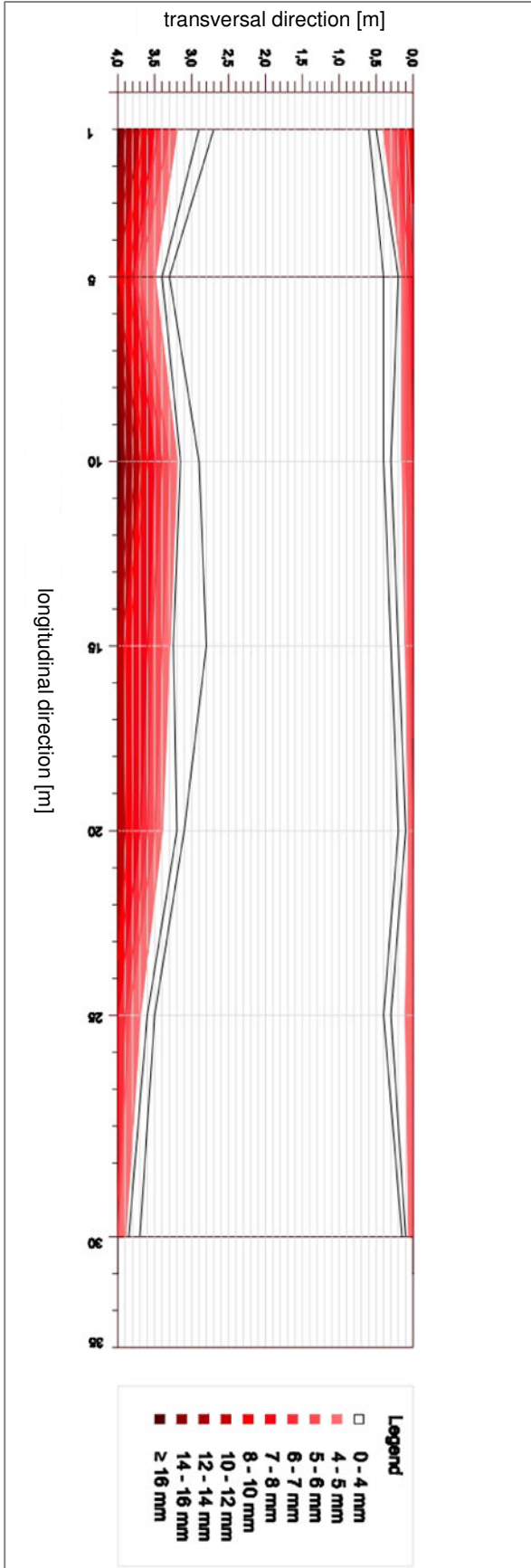


Figure 15: Transversal evenness on testing ground 3

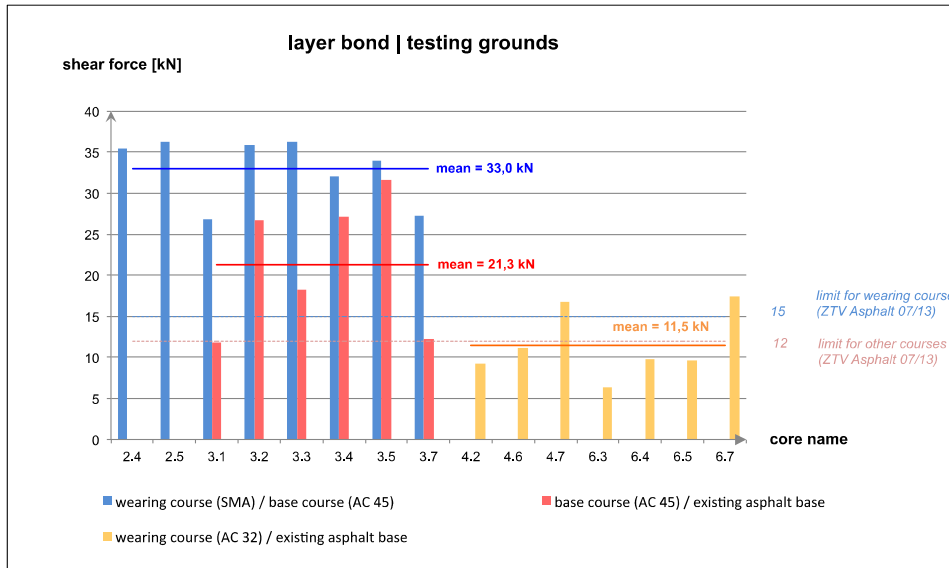


Figure 16: Layer bond on testing grounds

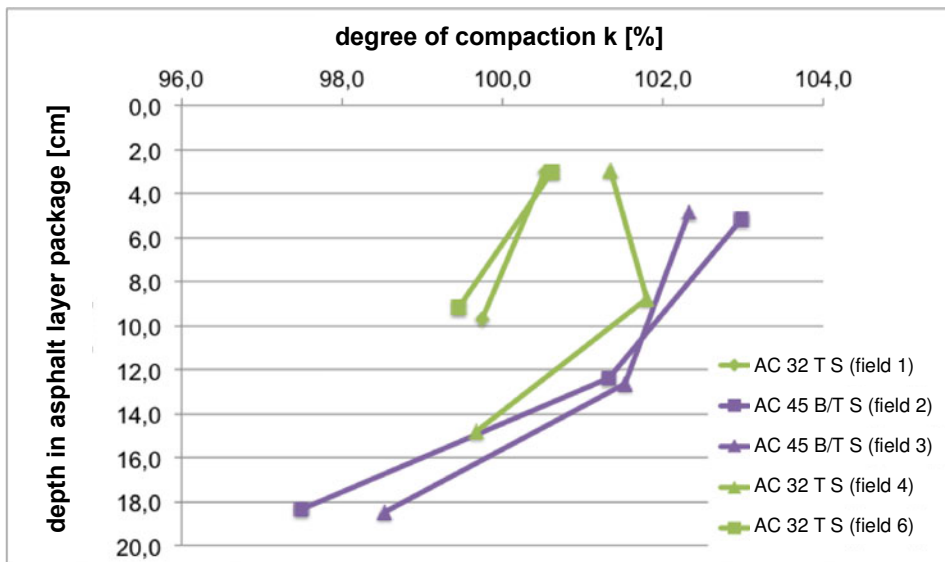


Figure 17: Degrees of compaction in different base course depths of the testing grounds

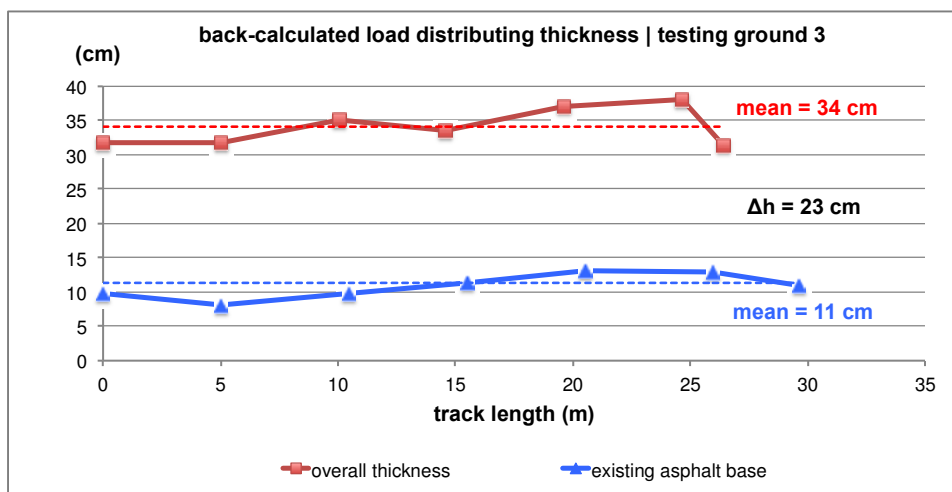


Figure 18: back-calculated load distributing thicknesses on testing ground 3

For comparison of theoretical life times additional material parameters were gained from asphalt cores. A computation with a pavement design tool (PaDesTo) resulted in slightly lower fatigue states for the modified compact asphalt structures.

4 Test Track B 68

First testing of the modified compact asphalt method under real construction conditions could be done on a test track on German federal highway B 68. In a 1.2 km section between the towns of Quakenbrück and Badbergen parts of the asphalt pavement structure had to be replaced. For this purpose a 20 cm thick base/binder course AC 45 B/T S and a 2.5 cm thick wearing course AC 8 D S were simultaneously built on a milled off asphalt base.

Pavement was done on 08-29-2014 and lasted approximately twelve hours. Pavement with conventional three-layer paving methods would have required a construction time of at least three days. Thus a significant reduction of construction time could definitely be achieved.

From operational point of view the logistic concepts for milled and mixture material proved to be indispensable. The handling of extraordinary large amounts of material required well-structured coordination among all involved parties. The narrow paving width of about 6.50 m was obstructive. Shunting of transport vehicles took too long and resulted in long changing times. Furthermore only a single feeder could be used for base and wearing course mixture which led to interruptions within the paving process.

Technical results were mainly compliant with requirements and

comparable to conventionally built asphalt roads except for the evenness. Both in longitudinal and transversal direction partially significant exceedances of permitted tolerances were measured. Unevenness of the existing milled off asphalt base, frequent changes in cross direction profiles, insufficient stability of edge regions, frequent paver standstills and considerable variations in the delivered mixtures' compositions due to a large amount of recycled material are probably the reasons for the unevenness measured on the surface.

5 Summary and Outlook

The project described in this paper dealt with the idea of accelerating construction times by using a modified compact asphalt method with the meaning of simultaneous paving base and wearing course. For this purpose a combined base/binder asphalt mixture AC 45 B/T S was designed. Large-scale production in asphalt mixing plants resulted in homogeneously mixed asphalts. Also paving with base course thicknesses of 20-22 cm on testing grounds and a test track on German federal highway B 68 was successful.

Regarding technical requirements, pavement results were mainly equivalent to conventional paving methods. Construction time instead was reduced significantly. Evenness in longitudinal and transversal direction turned out to be a problem. Several reasons for this were identified, which can partly be traced back to specific technical circumstances of the individual construction sites. Other reasons instead are weaknesses of the new method and require further research and mechanical design work to minimize the risk of a loss in quality and usability. It can already be stated that simultaneous paving of multiple layers

takes away opportunities to compensate unevenness of subjacent layers. Underlayers therefore have to be particularly even. To reduce the instability of edge regions specific edge compaction and shaping modules have

to be constructed. Last but not least further research has to be done in the description of compaction behavior and the development of alternative testing methods for particularly granular asphalt mixtures.



Figure 19: Paving of modified compact asphalt on test track B 68

Literature

- BALD, J.S.; NGUYEN, A.-D.;
SCHWEBEL, N.; BÖHM, S. (2011):
Optimierung von Maßnahmen zur
Erhaltung einer funktionstüchtigen
Straßeninfrastruktur – Ermittlung
des Substanzwertes,
Forschungsvorhaben, FE-Nr.
88.0100/2009, TU Darmstadt
- Forschungsgesellschaft für Straßen-
und Verkehrswesen (2012):
Richtlinien für die Standardisierung
des Oberbaus von Verkehrsflächen –
Ausgabe 2012 (RStO 12), FGSV
Verlag, Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen-
und Verkehrswesen (2013):
Technische Lieferbedingungen für
Asphaltnischgut für den Bau von
Verkehrsflächenbestigungen,
Ausgabe 2007 / Fassung 2013 (TL
Asphalt-StB 07/13), FGSV Verlag,
Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen-
und Verkehrswesen (2013): Zusätz-
liche Technische Vertragsbedingun-
gen und Richtlinien für den Bau von
Verkehrsflächenbefestigungen aus
Asphalt, Ausgabe 2007 / Fassung
2013 (ZTV Asphalt-StB 07), FGSV
Verlag, Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen-
und Verkehrswesen (2012):
Zusätzliche Technische
Vertragsbedingungen und Richtlinien
für die Bauliche Erhaltung von
Verkehrsflächenbefestigungen –
Asphaltbauweisen, Ausgabe 2009
(ZTV BEA-StB), FGSV Verlag, Köln
- WELLER, A.: Konzeption einer groben
Asphalttragschicht, Diplomarbeit,
Fachgebiet Straßenwesen, TU
Darmstadt 2013

Inhalt

	Abkürzungen.....25	5. Versuchsfelder43
1. Einführung.....27		5.1 Konzeption 43
1.1 Aufgabenstellung27		5.2 Einbauvorbereitung45
1.2 Stand der Wissenschaft und Technik27		5.2.1 Erstprüfung.....45
1.3 Vorgehensweise 28		5.2.2 Probemischung45
1.4 Projektpartner 29		5.2.3 Vorbereitung der Unterlagen .46
2. Konzeption (Asphalttechnologie) 31		5.2.4 Vorbereitung des Einbaugerätes46
2.1 Anforderungen 31		5.3 Einbau.....47
2.2 Sieblinie 31		5.3.1 Einbaubedingungen 47
2.2.1 Größtkorn.....31		5.3.2 Einbauprozess47
2.2.2 Korngrößenverteilung 31		5.4 Einbauergebnisse 50
2.3 Bindemittel 32		5.4.1 Tragfähigkeit52
2.3.1 Bindemittelart und -sorte..... 32		5.4.2 Längsebenheit.....59
2.3.2 Bindemittelgehalt 32		5.4.3 Querebenheit 65
2.4 Laborversuche 33		5.4.4 Schichtdicken (am Bohrkern) 66
2.5 Mischgutempfehlung 35		5.4.5 Schichtenverbund 73
3. Konzeption (Maschinentechnik) 36		5.4.6 Mischgutuntersuchung 73
3.1 Anforderungen 36		5.4.7 Verdichtungsgrade 74
3.2 Modifizierung der Einbaubohle für die Tragschicht 36		5.5 Erkenntnisse aus den Versuchsfeldern 75
3.3 Modifizierung der Einbaubohle für die Deckschicht..... 39		6. Versuchsstrecke B68 Quakenbrück-Badbergen ...75
3.4 Einbauparameter 41		6.1 Konzeption 75
4. Konzeption (Einbauprozesse)..... 41		6.2 Einbauvorbereitung 76
4.1 Anforderungen 41		6.2.1 Erstprüfungen..... 76
4.2 Fräsgutlogistik..... 41		6.2.2 Probemischung 77
4.3 Mischgutlogistik..... 42		6.2.3 Fräsarbeiten 78
4.4 Einbau..... 42		6.2.4 Vorbereitung des Einbaugerätes 78
4.5 Verdichtung..... 43		6.3 Einbau 78
		6.3.1 Einbaubedingungen 78
		6.3.2 Einbauprozess 79

6.3.3	Temperaturmessungen am Deckschichtmischgut	80	9.	Schlussbetrachtung.....	102
6.4	Einbauergebnisse	80	9.1	Projektzusammenfassung und Zielerfüllung.....	102
6.4.1	Längsebenheit	81	9.2	Handlungsempfehlung	104
6.4.2	Querebenheit	81	9.3	Offene Fragestellungen.....	104
6.4.3	Schichtdicken (am Bohrkern)	83	Literatur	105	
6.4.4	Schichtenverbund	85	Abbildungsverzeichnis.....	107	
6.4.5	Mischgutuntersuchung.....	85	Tabellenverzeichnis.....	110	
6.4.6	Entmischungsneigung.....	87			
6.4.7	Verdichtungsgrade.....	90	Anlage 1:		
6.5	Erkenntnisse aus der Versuchsstrecke	91	Dokumentation des rechnerischen Nachweises		
7.	Versuchsstrecke BAB 96 AS Kißlegg – AS Leutkirch- Süd	92	Anlage 2:		
7.1	Konzeption	92	Handlungsempfehlungen für den Bau kompakter Asphaltbefestigungen mit besonders dicken Tragschichten		
7.2	Besonderheiten Einbauvorbereitung	92			
7.2.1	Fräsgutlogistik.....	92			
7.3	Besonderheiten Einbau.....	95			
7.3.1	Mischgutlogistik.....	95			
7.4	Erkenntnisse aus der Versuchsstrecke	96			
8.	Rechnerischer Nachweis....	96			
8.1	Verfahren	96			
8.2	Parameterermittlung für das Mischgut AC 45 B/T S.....	97			
8.2.1	Kryogene Zugspannungen....	97			
8.2.2	E-Modul.....	98			
8.2.3	Ermüdung	99			
8.3	Ergebnisse	100			
8.3.1	Variantenvergleich Bk3,2	100			
8.3.2	Variantenvergleich Bk100	101			
8.3.3	Deutung der Ergebnisse	102			

Die Anlagen zum Bericht sind im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter:
<http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar

Abkürzungen

AMA	Asphaltemischanlage
AS	Anschlussstelle
B	Bundesstraße
BAB	Bundesautobahn
ber.	berechnet
Bez.	Bezeichnung
BK	Bohrkern
BS	Binderschicht
BV	Bauvorhaben
DS	Deckschicht
EPRuK	Erweichungspunkt Ring und Kugel
FWD	Falling Weight Deflectometer
geb.	gebunden
MG	Mischgut
M KA	Merkblatt für den Bau Kompakter Asphaltbefestigungen
MPK	Marshall-Probekörper
MW	Mittelwert
PmB	polymermodifiziertes Bitumen
RStO	Richtlinien für die Standardisie- rung des Oberbaus von Ver- kehrsflächen
TL	Technische Lieferbedingungen
TP	Technische Prüfvorschriften
TS	Tragschicht
UL	Unterlage
ungeb.	ungebunden
ZTV	Zusätzliche Technische Ver- tragsbedingungen und Richtlinien

1. Einführung

1.1 Aufgabenstellung

Der Verkürzung von Bauzeiten wird im Asphaltstraßenbau zunehmende Bedeutung beimessen. Dies trifft insbesondere bei der baulichen Erhaltung und Erneuerung von Verkehrsflächenbefestigungen zu. Zügige Bauabläufe bergen hier das Potenzial größere Lose unter kurzzeitigen Vollsperrungen des Verkehrsweges auszuführen. Durch einen Einbau über die volle Fahrbahnbreite in einem Arbeitsgang können qualitätsbeeinflussende Schwachstellen wie Nähte und Anschlüsse, wie sie beim Einbau in mehreren Abschnitten auftreten, reduziert werden. Ein diesbezüglicher Beitrag zur Bauzeitenverkürzung ist durch eine Optimierung der Bauweise „Kompaktasphalt“ zu erwarten. Bislang zur Herstellung von Asphaltdeck- und Binderschicht in einem Arbeitsgang genutzt, wird in einem neuen Konzept die Asphaltdeckschicht direkt auf eine modifizierte Tragschichtlage in einem Arbeitsgang aufgebracht. Der Verzicht auf eine Binderschicht macht eine Optimierung der Materialparameter und der Schichtdicken der Tragschicht notwendig. Zudem muss die Einbau- und Maschinenteknik dem neuen Konzept angepasst werden.

Ziel des vorliegenden Projektes war die Erarbeitung eines ausführungsfähigen Konzeptes für den Einbau einer modifizierten Tragschicht und einer Asphaltdeckschicht (ohne Binderschicht) in der Bauweise „Kompaktasphalt“ zur Bauzeitenverkürzung und Verbesserung der Bauqualität. Dieses Konzept soll in Zukunft als Instrument zur Verfügung stehen, um Erneuerungen im Bundesstraßen-Netz mit minimierten Verkehrsbeeinträchtigungen durchführen zu können. Ferner war die technische Eignung der Bauweise durch asphalttechnische Untersuchungen und Verfahren der rechnerischen Dimensionierung nachzuweisen.

1.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Im konventionellen Asphaltstraßenbau werden nacheinander die Asphalttragschicht und die Asphaltdeckschicht sowie gegebenenfalls dazwischen die Asphaltbinderschicht eingebaut. Bei der Bauweise „Kompaktasphalt“ werden die Asphaltbinderschicht und Asphaltdeckschicht in einem Arbeitsgang unmittelbar hintereinander eingebaut. Daher erfolgt auch die Verdichtung der beiden Schichten in einem Arbeitsgang. Ziele der Anwendung von Kompakten Asphaltbefestigungen sind:

- Verbesserung der Voraussetzungen für die Verdichtung,
- Zuverlässiger Schichtenverbund zwischen beiden Schichten und damit bessere Ableitung der Schubkräfte aus der Asphaltdeckschicht,
- Hohe Verformungsbeständigkeit und gutes Langzeitverhalten
- Einsparung besonders hochwertiger Baustoffe im Hinblick auf Griffigkeit und Helligkeit aufgrund der reduzierten Asphaltdeckschichtdicke.

[M KA 2011]

Der für dieses Projekt wesentlichste Vorteil der Bauweise „Kompaktasphalt“ ist jedoch die deutlich kürzere Bauzeit im Vergleich zum konventionellen Asphaltstraßenbau. Bisherige Erfahrungen zeigen eine Zeitersparnis von bis zu 30 % [SCHÄFER et al., 2007] und eine Verbesserung der Einbauqualität aufgrund der zuvor beschriebenen Zusammenhänge.

Erstmals wurde Kompaktasphalt 1995 auf der BAB A4 bei Podelsatz eingesetzt. In den folgenden Jahren wurden bis 2005 in Deutschland bereits 59 Baumaßnahmen mit Kompaktasphalt durchgeführt bei denen 2,83 Mio. m² Bundesfernstraßen und Landesstraßen gebaut wurden. 2001 erschien das erste Merkblatt für den Bau Kompakter Asphaltbefestigungen (M KA 01). 2007 wurde die Bauweise „Kompaktasphalt“ auch in die ZTV Asphalt-StB 07 aufgenommen. 2011 erschien das neue Merkblatt für den Bau Kompakter Asphaltbefestigungen (M KA 11).

Erfahrungen aus verschiedenen Studien (siehe „Literatur“) haben gezeigt, dass Kompaktasphalt gegenüber herkömmlicher Herstellung eine Vielzahl von Vorteilen hat. So wurde durch BÖHM et al. [2006] eine gegenüber einer Gussasphaltbefestigung höhere Verformungsresistenz und nach über zwölfjähriger Liegedauer insgesamt ein besserer Straßenzustand festgestellt. Kompaktasphalt ermöglicht durch Nutzung der Wärmekapazität den Einbau bei tieferen Temperaturen und zeichnet sich allgemein durch eine geringere Witterungsabhängigkeit beim Einbau aus.

In den bisherigen Regelwerken und Merkblättern wird bei der Bauweise „Kompaktasphalt“ stets von dem gemeinsamen Einbau einer Asphaltbinderschicht und einer Asphaltdeckschicht gesprochen. Innovative Straßenbauunternehmen und Auftraggeber haben aber auf Versuchsstrecken auch schon den Einbau einer modifizierten Asphalttragschicht und einer dünnen Asphaltdeckschicht ohne Asphaltbinderschicht umgesetzt. So baute zum Beispiel im Jahr 2011 die HERMANN KIRCHNER Bauunternehmung GmbH auf der B 16 in der Nähe von Ingolstadt im Auftrag des Staatlichen Bauamtes Ingolstadt auf einem rund 3.350 m langen Abschnitt eine Tragschicht und Deckschicht in Kompaktasphaltbauweise. Durch den Verzicht auf eine Binderschicht konnte hier die Bauzeit deutlich verkürzt werden. Zwar wurde die Versuchsstrecke wissenschaftlich von der TU Darmstadt begleitet, doch reichten die dabei gesammelten Erfahrungen noch nicht aus, um eine allgemeingültige Bewertung vornehmen zu können.

1.3 Vorgehensweise

Das Projekt lässt sich in drei voneinander abhängige Teilbereiche gliedern, deren Zusammenspiel es zu untersuchen galt:

- Asphalttechnologie
- Maschinenteknik
- Einbauprozesse

Zur Erarbeitung eines Ausführungskonzeptes für den Bau einer modifizierten Tragschicht und einer dünnen Deckschicht in Kompaktasphaltbauweise war in den drei Teilbereichen verschiedenen Fragestellungen nachzugehen:

- Welche Erfahrungen aus der Bauweise „Kompaktasphalt“ aus Asphaltbinderschicht und Asphaltdeckschicht sind auf die Bauweise mit der modifizierten Asphalttragschicht übertragbar?
- Welche Eigenschaften muss die modifizierte Tragschicht haben und wie erreicht man diese?
- Welche Auswirkungen haben Asphaltmischgutoptimierung und Schichtdickenanpassung auf die zu verwendenden Einbaugeräte?
- Welche Optimierung ist bei der Maschinenteknik bzw. beim Einbau zu realisieren?

Im Teilbereich Asphalttechnologie musste das einzubauende Asphaltmischgut für die Tragschicht im Vergleich zu den Tragschichtrezepturen nach den TL Asphalt-StB optimiert werden. Dies liegt darin begründet, dass durch den Verzicht auf eine Binderschicht die optimierte Tragschicht deren Aufgaben mit übernehmen muss. Sie muss wegen der größeren Dicke gut verdichtbar sein, darf aber dennoch keine erhöhte Verformungsanfälligkeit zeigen. Des Weiteren sollte das Asphaltmischgut möglichst wenig zur Entmischung neigen. Die Asphaltmischgutrezeptur für die Deckschicht ist in erster Linie dahin zu optimieren, dass sie als sehr dünne Schicht eingebaut werden kann, sehr langlebig ist und allen Anforderungen einer Deckschicht entspricht. Die Erarbeitung der Asphaltmischgutrezepturen erfolgte durch Laborversuche und anschließende Auswertung der Ergebnisse. Zudem wurden die

Einbauergebnisse der auf Versuchsfeldern und -strecken erprobten Mischgutkonzepte mit den Erkenntnissen aus den Laborversuchen abgeglichen. Aufbauend auf den ermittelten asphalttechnologischen Kennwerten wurde zudem ein rechnerischer Lebensdauervergleich zwischen der modifizierten Kompaktasphaltbauweise und konventionellen Aufbauten vorgenommen.

Der Teilbereich Maschinentechnik beschäftigte sich mit der Optimierung des Einbaugerätes. Der Kompaktasphaltfertiger mit seinen beiden Einbaubohlen bestimmt acht der maßgeblichen Funktionseigenschaften, die für das Gebrauchsverhalten einer Straße von entscheidender Bedeutung sind. Die besondere Schwierigkeit in diesem Forschungsprojekt lag in der Optimierung der beiden gleichzeitig stattfindenden Einbauprozesse für die hochstandfeste Tragschicht und die sehr dünne Deckschicht. Hier waren die Maschinentechnik und Einstellungen im Verdichtungsprozess zu modifizieren. Die Lösung und Optimierung dieser Aufgabe erfolgte durch eine Weiterentwicklung der bestehenden Kompaktasphaltbauweise auf den Ebenen der Mischgutlogistik und des Verdichtungsprozesses an der Bohle für den Tragschicht- und Deckschichteinbau.

Der Teilbereich Einbauprozesse ist im engen Zusammenspiel mit den beiden anderen Bereichen zu sehen. Hier galt es, die zuvor optimierten Asphaltmischgutsorten mit der weiterentwickelten Maschinentechnik einzubauen. Zunächst wurden Versuchsfelder gebaut, bevor eine Erprobung an zwei Versuchsstrecken im öffentlichen Straßenraum umgesetzt wurde. Bei den Bauvorhaben wurden wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Besonderheiten der neuen Bauweise im Einbauprozess gesammelt. In Teilaspekten konnten Ansatzpunkte für weitere Optimierungen der Maschinentechnik und des Baubetriebes aufgezeigt werden.

Die Vorgehensweise ist schematisch der nachstehenden Übersicht (Bild 1) zu entnehmen. Sie entspricht weitgehend der Gliederung des vorliegenden Berichtes.

1.4 Projektpartner

Die Bearbeitung der asphalttechnologischen Fragestellungen oblag dem Fachgebiet Straßenwesen der Technischen Universität Darmstadt. Das Fachgebiet hatte außerdem die Federführung des vorliegenden Projektes inne.

Mit der Weiterentwicklung der Maschinentechnik war das Institut für Landmaschinentechnik und Regenerative Energien der Fachhochschule Köln beauftragt.

Die Umsetzung der asphalttechnologischen und maschinentechnischen Konzepte erfolgte durch die HERMANN KIRCHNER Bauunternehmung GmbH.

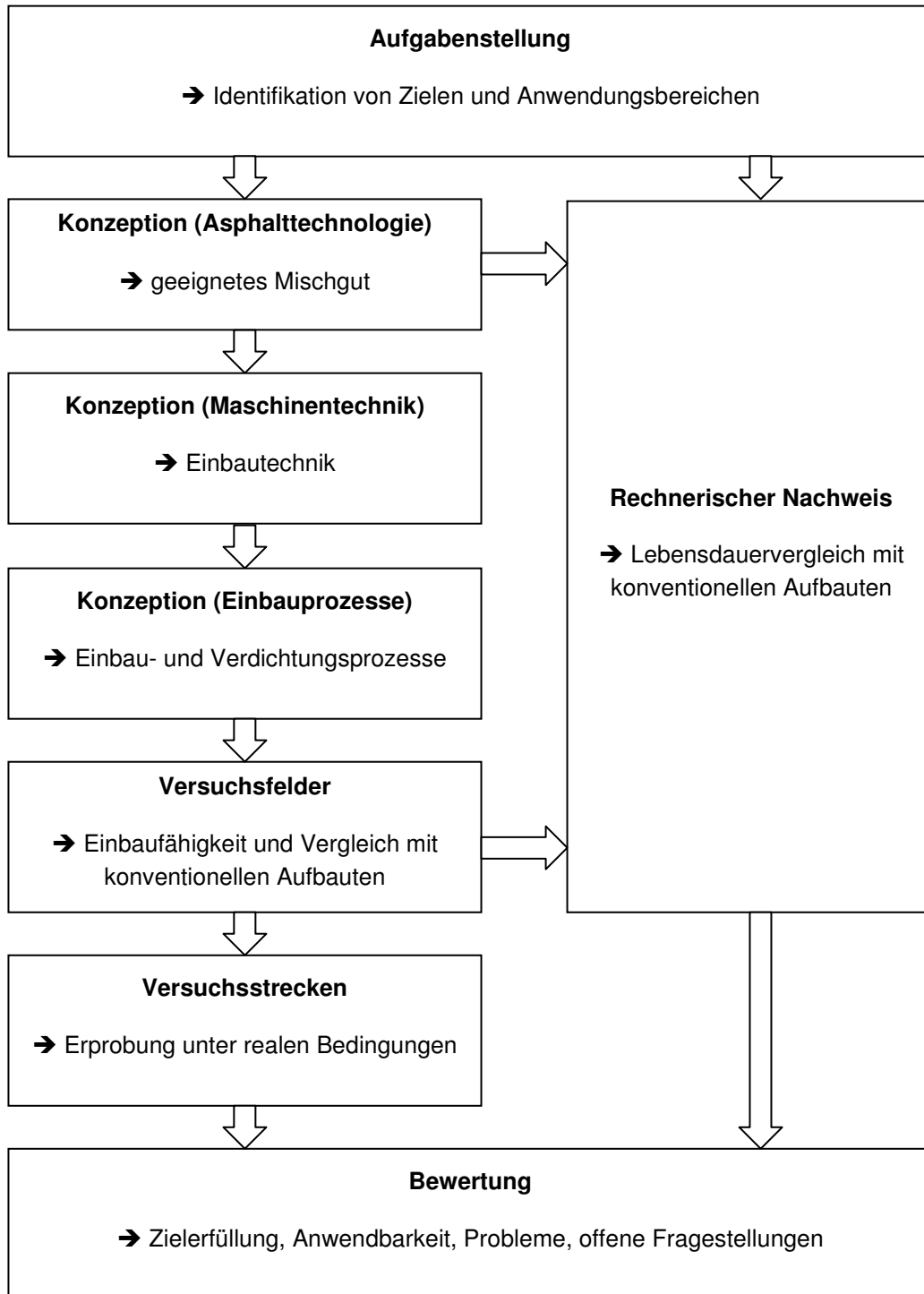


Bild 1: Schema zur Vorgehensweise bei der Projektbearbeitung

2. Konzeption (Asphalttechnologie)

2.1 Anforderungen

Die Grundidee des gleichzeitigen Einbaus von Trag- und Deckschicht in einem Arbeitsgang, also mittels einer modifizierten Kompaktasphaltbauweise, erfordert eine besondere Konzeption des Tragschichtmischgutes. Es muss

- trotz der hohen Schichtdicke über die komplette Höhe ausreichend verdichtbar sein,
- einen guten Schichtenverbund zur Unterlage und zur Deckschicht aufweisen,
- Tragschicht- und Binderschichteigenschaften vereinen.

Diese Anforderungen gilt es durch theoretische Vorüberlegungen und labortechnische Versuche in der Mischgutkonzeption zu berücksichtigen. Diese werden im Folgenden dargestellt.

Hinsichtlich des Deckschichtmischgutes sind bei der geplanten Ausführungsweise keine besonderen Einflüsse zu erwarten, die eine Änderung der Rezeptur ggü. einer herkömmlichen Kompaktasphaltdeckschicht erforderlich machen würden. Zur Ausführung kommen hier üblicherweise Deckschichten AC 8 D S oder SMA 8 S in Schichtdicken von 2,0 - 2,5 cm.

2.2 Sieblinie

2.2.1 Größtkorn

Bei einlagigem Einbau sollte die Schichtdicke das Vierfache des Größtkorndurchmessers nicht überschreiten. Die ZTV BEA-StB (09) gehen dabei mit 18 cm maximaler Schichtdicke für das Asphaltmischgut AC 32 T S zur Profilverbesserung nach TL Asphalt-StB (07/13) bereits deutlich über dieses Maß hinaus. Will man die Schichtdicke wie in vorliegendem Projekt weiter vergrößern, sollte auch das Asphaltmischgut grobkörniger werden. Wollte man die oben genannte Regel einhalten, wäre für die vorgesehenen Tragschichtdicken ein Grobkorndurchmesser von mindestens 55 mm erforderlich, das

aber weder als Lieferprodukt erhältlich, noch technisch in Asphaltmischanlagen einsetzbar ist. Deshalb wurde entschieden, ein Asphaltmischgut AC 45 B/T S mit einem Größtkorndurchmesser von 45 mm zu konzipieren.

2.2.2 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung richtet sich im Wesentlichen nach den gewünschten Schichteigenschaften. Über die vorgesehene Tragschicht sollen die Lasten von der Asphaltoberfläche in die Unterlage abgeleitet werden. Dies erfordert ein stabiles Korngerüst, dessen Tragwirkung überwiegend von der dichten Anordnung großer Körner abhängt. Gleichzeitig sollen jedoch auch Asphaltbindereigenschaften erfüllt werden, d.h. das verdichtete Mischgut muss einen guten Schichtenverbund mit der Deckschicht gewährleisten und einen begrenzten Hohlraumgehalt von 5,0 - 8,0 V.-% am Marshall-Probekörper aufweisen.

Im Rahmen einer Diplomarbeit [WELLER, 2013] wurden am Fachgebiet Straßenwesen der TU Darmstadt bereits Anforderungen für ein Tragschichtmischgut AC 45 T S definiert. Der empfohlene Sollsieblinienbereich ist nachstehender Abbildung zu entnehmen.

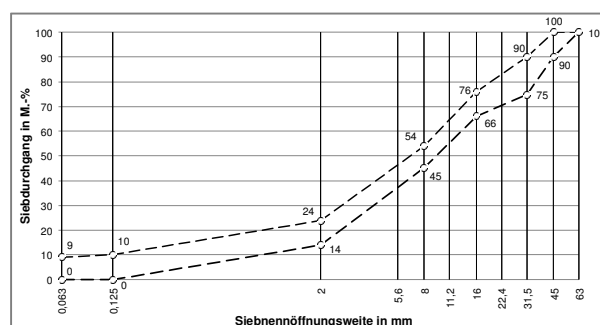


Bild 2: Sollsieblinienbereich AC 45 T S nach WELLER [2013]

WELLERS tragschichtoptimierter Sollsieblinienbereich zeigt einen gering angesetzten Sandpunkt (2 mm-Sieb) und große Spannen für Siebdurchgänge $\leq 0,125$ mm. Es wurde daher vermutet, dass die gewünschten Bindereigenschaften nicht ausreichend berücksichtigt werden.

Aus diesem Grund galt es neben WELLERS Entwurf weitere Mischgutvarianten zu konzipieren und insbesondere hinsichtlich ihres Anteils an groben Gesteinskörnungen zu untersuchen. Grundidee war die „Skalierung“ bestehender Soll-Sieblinien grober Asphaltmischungen nach den TL Asphalt-StB (07/13). Ausgehend vom Mischgut AC 32 T S wurden die Anforderungswerte der Siebdurchgänge auf die jeweils nächst höhere, reguläre Siebgröße übertragen. Unterhalb des Sandpunktes (Siebgröße 2 mm) fanden die Anforderungen eines AC 22 B S Anwendung um die Charakteristik einer Binderschicht im Feinkornbereich abzubilden. Der resultierende Soll-sieblinienbereich für das Mischgut AC 45 B/T S ist in Bild 3 dargestellt.

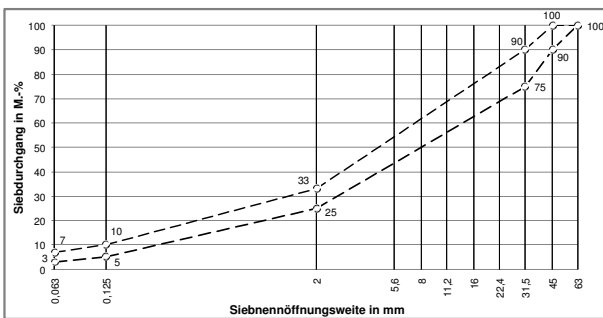


Bild 3: Soll-sieblinienbereich AC 45 B/T S

Im Labor wurden dann auf Basis der empfohlenen Sieblinienbereiche Probekörper mit jeweils unterschiedlichen Bindemittelgehalten erstellt und vergleichend untersucht.

Die Anforderungen an die Gesteinskörnungen (wie Schlagzertrümmerungswert, Kornform, Anteil schlecht geformter Körner, etc.) sollten denen am Asphaltbindermischgut AC 22 B S nach TL Asphalt-StB (07/13) entsprechen.

2.3 Bindemittel

2.3.1 Bindemittelart und -sorte

Da die kombinierte Asphalttrag- und Asphaltbinderschicht fast die komplette lastverteilende Dicke des gebundenen Oberbaus ausmacht, kommt der Wahl des Bindemittels eine herausragende Bedeutung zu. Es muss eine gute und dauerhafte Verklebung des Gesteinskörnungs-

gerüstes gewährleisten und dabei gleichzeitig den Beanspruchungen durch Verkehr sowie Temperatureinwirkungen standhalten.

Als besonders geeignet haben sich in vergleichbaren Situationen polymermodifizierte Bitumen (PmB) erwiesen. Die Zugabe von Polymeren wirkt sich positiv auf das Haftverhalten zwischen Gesteinskörnung und Bitumen aus und verbessert sowohl die Wärmestandfestigkeit als auch das Tieftemperaturverhalten. Bei der Auswahl eines PmB für das vorgesehene Mischgut ist auf eine hohe Verformungsresistenz im Sinne einer geringen Penetrationstiefe und eines vergleichsweise hohen Erweichungspunktes zu achten. Für hohe Verkehrsbeanspruchungen, wie sie Gegenstand des vorliegenden Projektes sind, sollte daher ein PmB 25/55-55 vorgesehen

werden. Dieses wurde dementsprechend auch für die Laborversuche und Versuchsfelder angewandt.

Bei geringen Verkehrsbelastungen kann auf die Zugabe von Polymeren verzichtet werden. Das zu verwendende Bindemittel muss jedoch auch hier einen Kompromiss zwischen gutem Haftverhalten, Verformungs- und Temperaturresistenz aufweisen (z.B. Straßenbaubitumen 30/45 oder 50/70).

2.3.2 Bindemittelgehalt

Die in den TL Asphalt-StB (07/13) empfohlenen Mindestbindemittelgehalte für Tragschicht-mischgut nehmen mit zunehmendem Größtkorndurchmesser ab. Skaliert man die Anforderungen auf den bisher nicht im Regelwerk erfassten Größtkorndurchmesser von 45 mm, so kann man in erster Näherung einen Mindestbindemittelgehalt von 3,6 M.-% ansetzen. Aufgrund des erhöhten Feinkorngehaltes zur Gewährleistung von Bindereigenschaften liegt der tatsächliche Mindestbindemittelgehalt jedoch um ca. 0,4 M.-% höher, beträgt also rund 4,0 M.-%.

2.4 Laborversuche

Im Rahmen der Laboruntersuchungen wurden ausgehend von den zuvor beschriebenen Vorüberlegungen fünf verschiedene Mischgutsorten erprobt. Drei Mischungen basierten auf der Sieblinie AC 45 B/T S mit kombinierten Binder- und Tragschichteigenschaften (abgewandelte Sollsieblinienbereiche nach TL Asphalt-StB) sowie jeweils unterschiedlichen Gehalten an PmB 25/55-55 (MPK-Bez. TLA, TLB, TLC). Die beiden anderen Mischgutsorten weisen die tragschichtoptimierte (grobkörnigere) Sieblinie AC 45 T S nach WELLER mit wiederum unterschiedlichen Anteilen an PmB 25/55-55 auf (MPK-Bez. WA, WB).

Die verwendeten Gesteinskörnungen wurden von den gleichen Gewinnungsstätten bezogen wie bei der späteren Probemischung im Mischwerk Haunack und dem Einbau der ersten Versuchsfelder in Bad Hersfeld. Im Einzelnen waren dies:

Fraktion	Gesteinsart	Gewinnungsstätte
0/0,063 Mischfüller	Diabas/Basalt	-
0/2, 2/5, 5/8, 8/11	Basalt	Basalttagebau Oelberg
0/5, 22/45	Diabas	Diabaswerk Nesselgrund
11/16, 16/22	Basalt	Basaltwerk Suhl

Tab. 1: Verwendete Kornfraktionen und Gewinnungsstätten



Bild 4: Grobkornfraktion Diabas 22/45 (Nesselgrund)

Aus den Asphaltmischungen wurden Marshall-Probekörper (Durchmesser 150 mm, siehe Bild 5) hergestellt und hinsichtlich ihrer Hohlraumgehalte untersucht. Die Ergebnisse sind nachfolgend aufgeführt:

MPK-Bez.	Sieblinie	Bindemittel-	Hohlraum-
		gehalt	gehalt
		[M.-%]	[Vol.-%]
WA1	AC 45 T S	3,6	7,3
WA2	AC 45 T S	3,6	7,3
WB1	AC 45 T S	4,1	6,5
WB2	AC 45 T S	4,1	5,8
TLA1	AC 45 B/T S	3,6	7,3
TLA2	AC 45 B/T S	3,6	6,8
TLA3	AC 45 B/T S	3,6	7,5
TLB1	AC 45 B/T S	4,1	6,7
TLB2	AC 45 B/T S	4,1	6,1
TLB3	AC 45 B/T S	4,1	7,3
TLC1	AC 45 B/T S	4,5	4,5
TLC2	AC 45 B/T S	4,5	4,1
TLC3	AC 45 B/T S	4,5	4,1

Tab. 2: Bindemittel- und Hohlraumgehalte der untersuchten Marshall-Probekörper



Bild 5: Oberseiten (oben) und Unterseiten (unten) der hergestellten MPK (WB1 weist Rückstände von weißem Filterpapier an der Unterseite auf)

Die erzeugten MPK wurden schließlich mittig angeschnitten um das Korngefüge beurteilen zu können. Folgende Abbildungen zeigen die entsprechenden Schnittbilder.

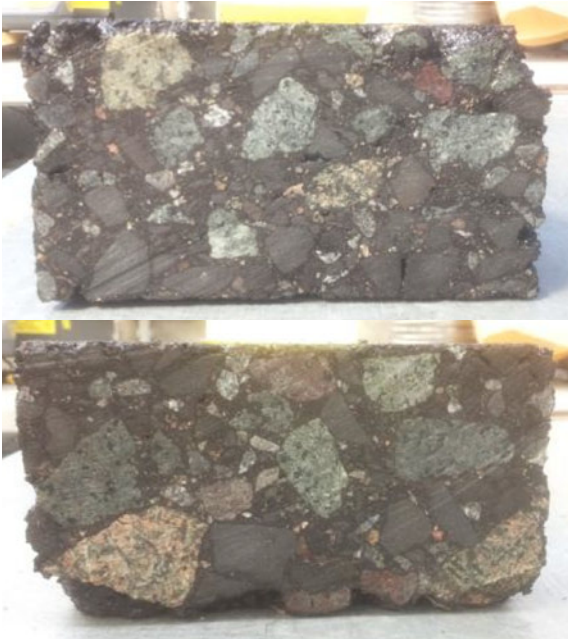


Bild 6: Anschnitte von Marshall-Probekörpern mit Sollsieblinie nach WELLER, B = 3,6 M.-% (oben), B = 4,1 M.-% (unten)

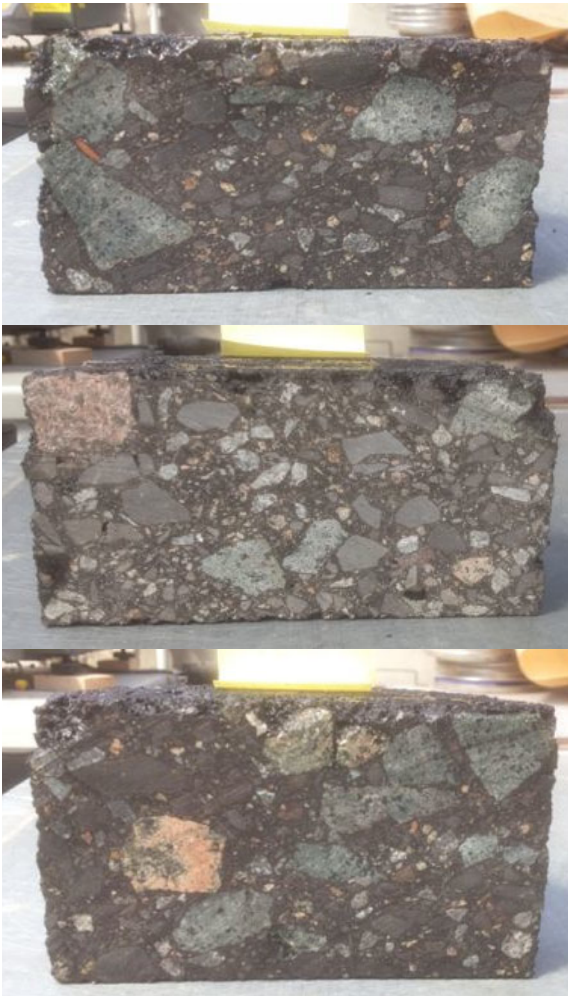


Bild 7: Anschnitte von Marshall-Probekörpern mit mod. TL-Sollsieblinie, B = 3,6 M.-% (oben), B = 4,1 M.-% (mittig), B = 4,5 M.-% (unten)

Die Probekörper aus dem tragschichtoptimierten Mischgut AC 45 T S nach WELLER wiesen zwar Hohlraumgehalte innerhalb des definierten Anforderungsbereiches von 5,0 - 8,0 V.-% auf, jedoch waren die Kornfraktionen im resultierenden Korngerüst nicht ausreichend homogen verteilt. Die groben Körner an der Probekörperober- und -unterseite zeigten nach dem Verdichtungsvorgang Zertrümmerungserscheinungen. Zudem sind die großen äußeren Hohlräume hinsichtlich des Verbundes zu einer gebundenen Unterlage als kritisch zu beurteilen (siehe Bild 5).



Bild 8: Beispiel für Kornzertrümmerung und ungefüllte Hohlräume an MPK WA1

Die Probekörper aus dem modifizierten Mischgut AC 45 B/T S (TLA-TLC) zeigten diese Probleme weniger ausgeprägt. Hier waren auch die äußeren Hohlräume des Grobkorngerüsts gleichmäßig mit feineren Fraktionen ausgefüllt. Besonders deutlich war der Unterschied an den Unterseiten der MPK (siehe Bild 5). Dort war durch die geschlossenere Struktur und damit größere Kontaktfläche ein höherer Schichtenverbund zu einer bestehenden, gebundenen Unterlage zu erwarten. Die Varianten TLA und TLB zeigten zudem Hohlraumgehalte innerhalb des definierten Anforderungsbereiches. Aufgrund der beschriebenen Vorzüge, wurde deren Rezeptur auch als Grundlage für die im Folgenden beschriebene Mischgutempfehlung eines AC 45 B/T S herangezogen.

2.5 Mischgutempfehlung

Aus den Vorüberlegungen und Laboruntersuchungen wurden Anforderungen für eine Asphaltrezeptur eines AC 45 B/T S abgeleitet. Die wesentlichen Kenndaten in Tab. 3 dargestellt.

In den Grenzen dieser Anforderungsbereiche wurde eine Rezeptur vorgeschlagen, welche Ausgangspunkt für die Erstprüfung, die Probenmischung im Mischwerk Hauneck und die Versuchsfelder auf dem Betriebshof der Firma Kirchner in Bad Hersfeld war. Die Rezeptur basiert auf folgender Sieblinie:

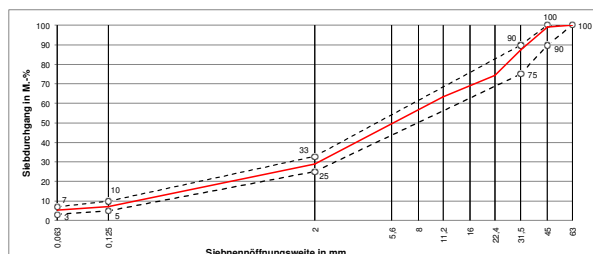


Bild 9: Siebliniempfehlung AC 45 B/T S

Als Bindemittel war ein PmB 25/55-55 zu einem Anteil von 4,1 M.% vorgesehen.

Hinsichtlich der Deckschicht wurden keine besonderen Anforderungen formuliert. Beim Einbau in Kompaktasphaltbauweise haben sich die Mischgutsorten SMA 8 S und AC 8 D S nach TL Asphalt-StB bewährt.

Bezeichnung	Einheit	AC 45 B/T S
Baustoffe		
Gesteinskörnungen (Lieferkörnung)		C _{50/30}
Anteil gebrochener Kornoberflächen		
Mindestanteil von Liefer- körnungen 0/2 mit E _{CS} 35	%	50
Bindemittel, Art und Sorte		PmB 25/55-55 50/70 30/45
Zusammensetzung Asphalt- mischgut		
Gesteinskörnungsgemisch		
Siebdurchgang bei		
63 mm	M-%	100
45 mm	M-%	90 bis 100
31,5 mm	M-%	75 bis 90
22,4 mm	M-%	
16 mm	M-%	
11,2 mm	M-%	
2 mm	M-%	25 bis 33
0,125 mm	M-%	5 bis 10
0,063 mm	M-%	3 bis 7
Mindest-Bindemittelgehalt		B _{min} 4,0
Asphaltmischgut		
minimaler Hohlraumgehalt MPK		V _{min} 5,0
maximaler Hohlraumgehalt MPK		V _{max} 8,0

Tab. 3: Anforderungen an das Mischgut AC 45 B/T S

3. Konzeption (Maschinentechnik)

Beitrag von Prof. Dr.-Ing. Alfred Ulrich und Gunnar Verges, M.Eng.

3.1 Anforderungen

Der gleichzeitige Einbau einer sehr dicken Tragschicht und einer dünnen Deckschicht, bei gleicher Einbaugeschwindigkeit wie bei üblichen Vorhaben in Kompaktasphaltbauweise, stellt besondere Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Maschinentechnik des Kompaktasphaltfertigers. Einerseits ist in gleicher Zeit mehr Tragschichtmischgut lagegerecht einzubauen, andererseits unterscheidet sich dieses Mischgut durch den besonders groben Kornanteil (45 mm) von üblichen Mischgutsorten.

Insbesondere bedingen diese Anforderungen eine Weiterentwicklung der Bohlentechnik. Die Fachhochschule Köln hat diesbezügliche Empfehlungen zur Modifizierung der Maschinentechnik erarbeitet.

Ziel dieser Entwicklungsarbeiten war es, eine optimale Abstimmung der Einbaubohlen für die Trag- und Deckschicht bei gleicher Arbeitsgeschwindigkeit zu finden.

3.2 Modifizierung der Einbaubohle für die Tragschicht

Die vordere Einbaubohle für die Tragschicht soll vor dem Hintergrund der speziellen Anforderungen und Dicke der modifizierten Tragschicht AC 45 B/T S wie folgt angepasst werden:

Mischgutvorlage

Die Mischgutvorlage muss vergrößert werden. D.h. die Einbaubohle muss an den Anlenkpunkten Nivellierzylinder/Nivellierholm verstellt oder der Abstand zwischen Nivellierholm und Einbaubohle vergrößert werden.

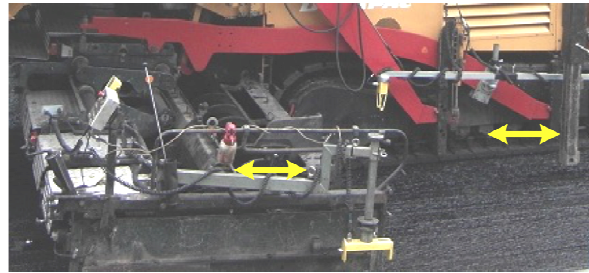


Bild 10: Verstellbarer Holm

Kanalbleche

Im Bereich des Schneckenraums sollten die Kanalbleche modifiziert werden, um hier der Entmischung des Asphaltmischguts entgegenzuwirken. Dazu wird empfohlen die Bleche durch elastische Verlängerungen aus hitzebeständigem Gummi abzuändern bzw. nach unten zu verlängern.

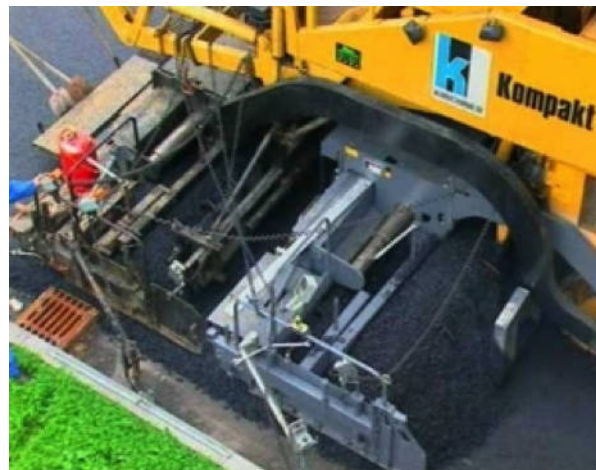


Bild 11: Kompaktasphaltfertiger beim Einbau

Abweisbleche

Die Abweisbleche sollen durch ein integriertes Führungssystem ergänzt werden. Dadurch soll es möglich sein, während der Bohlenbreitenverstellung ebenfalls eine Verstellung der Kanalbleche durchzuführen.

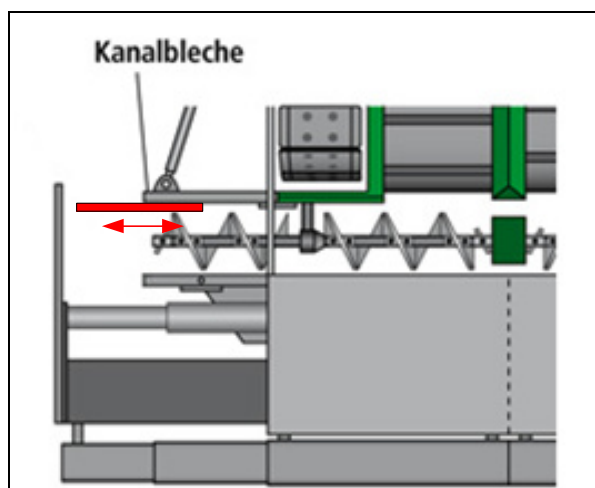


Bild 12: Abweisbleche mit Führungssystem [mod. nach Vögele, 2012]

Vorderwand

Die Vorderwand an der ersten Bohle soll mit einem vergrößerten Einzugswinkel versehen werden. Nachstehende Abbildung zeigt den Standard 1 sowie die empfohlenen Varianten 2-4.

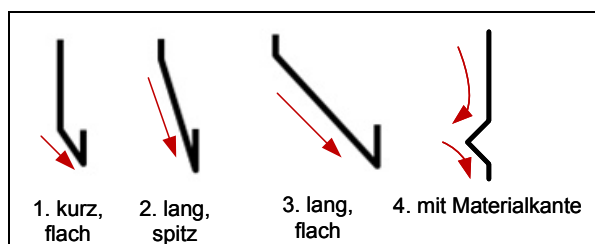


Bild 13: Einzugswinkel für die Vorderwand der ersten Bohle

Kantenformer

Kantenschuhe dienen zum Formen und Verdichten der Kanten des eingebauten Materials. Der statisch wirkenden Kantenformer ist hier zu ersetzen bzw. zu ergänzen mit einem zusätzlichen Außenvibrator. Um ein besseres Gleitverhalten des Kantenschuhs zu erreichen, besteht die Möglichkeit, diesen optional mit einem Heizstab auszurüsten.

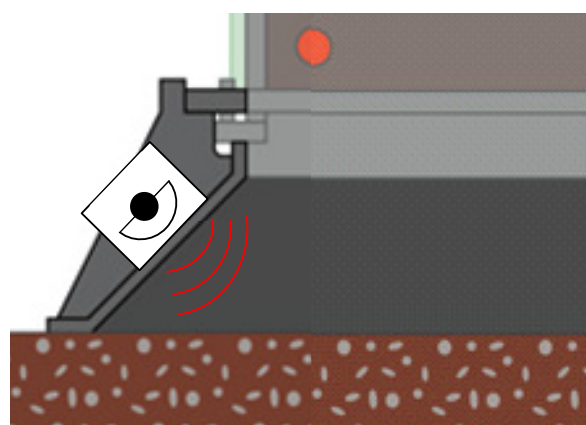


Bild 14: Kantenformer mit Vibration [Vögele, 2012]

Tamperleiste

Der Anzugswinkel der Tamperleiste muss abgeändert werden. Es soll ein flacher Tamper ähnlich einer Betonleiste genutzt werden. Folgende Abbildung zeigt das Profil einer Betonleiste mit flacherem Anzugswinkel im Vergleich zu konventionellen Tampern.

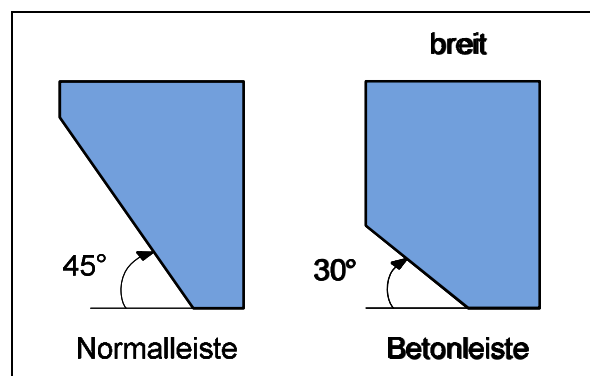


Bild 15: Anstellwinkel von Tamperleisten für die Tragschichtbohle

Vibration

Es soll die maximale Unwuchtdrehzahl eingestellt werden.

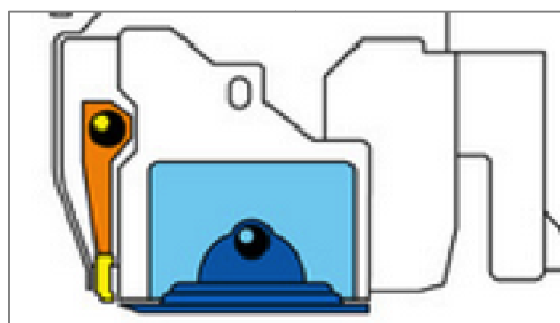


Bild 16: Unwuchterreger am Glättblech [Vögele, 2012]

Nachverdichtung

Die Nachverdichtung an der Bohle sollte so hoch wie möglich gewählt werden.



Bild 17: Bohle mit Pressleisten

Glättblech

Um die Verdichtung des Mischguts durch die Bohle für die Deckschicht zu erhöhen, wird empfohlen die vordere Kante des Glättbleches anzufasen (siehe folgende Abbildung).

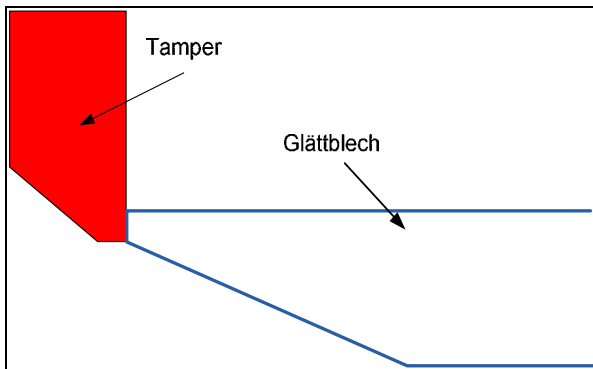


Bild 18: Angefaste Vorderkante des Glättbleches (TS)

Bohlengewicht

Je nach Einbauparametern muss das Bohlengewicht statisch erhöht werden. Dadurch soll die Verdichtung durch die Bohle erhöht werden. Der Bauraum für das zusätzliche Gewicht sollte dabei möglichst nah beim Bohlen Schwerpunkt liegen. Damit das Einbauverhalten der Bohle nicht ungewollt abgeändert wird.

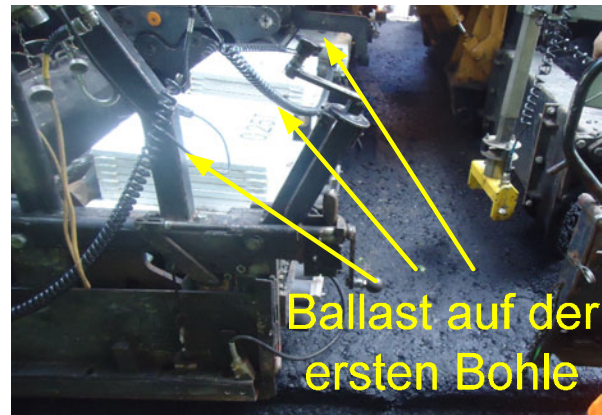


Bild 19: Ballast an der ersten Bohle

Bohlenabstützung

Wegen der größeren dynamischen Belastung vor allem in vertikaler Richtung ist eine zusätzliche Bohlenverstrebung einzusetzen. Nachstehende Abbildung zeigt die Durchbiegungen an der Bohle während des Einbaus. Es wird eine Abstützung empfohlen, welche den Biegungen M_z und M_y entgegen wirkt, aber die Torsion T_x in begrenztem Maß zulässt.

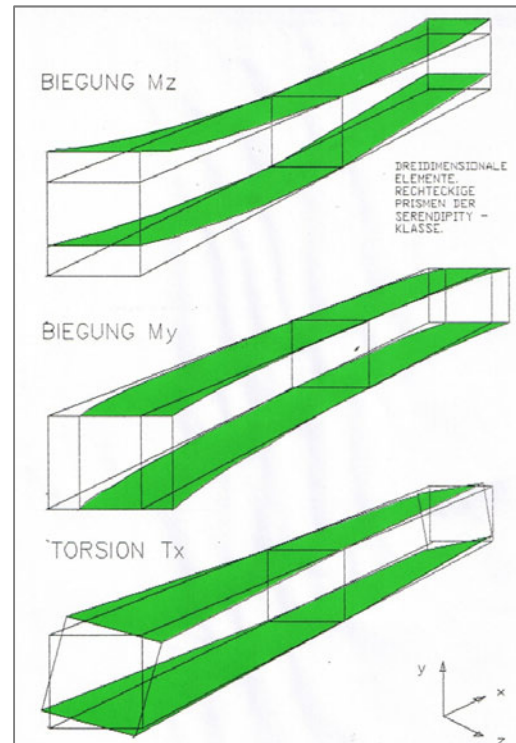


Bild 20: Biegung und Torsion an der Bohle

3.3 Modifizierung der Einbaubohle für die Deckschicht

An der hinteren Einbaubohle für die Deckschicht sind keine wesentlichen Änderungen nötig, da sich die Charakteristik der Schicht nicht von konventionellen Kompaktasphaltbauten unterscheidet. Für die einzelnen Bohlenelemente bedeutet dies:

Mischgutvorlage

Die Mischgutvorlage an der zweiten Bohle bleibt unverändert.

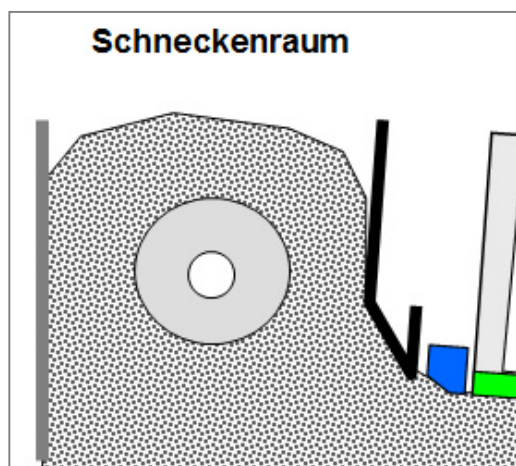


Bild 21: Material vor der Bohle

Kanalbleche

Es kann der Standard verwendet werden.



Bild 22: Standardaufbau der Kanalbleche an einer Bohle

Abweisbleche

Die Abweisbleche sind durch ein integriertes Führungssystem im Bereich der Abweisbleche zu ergänzen. Dadurch soll es möglich sein, während der Bohlenbreitenverstellung ebenfalls eine Verstellung der Kanalbleche durchzuführen (siehe Bild 12).

Vorderwand

Es ist keine spezielle Vorderwand notwendig.



Bild 23: Standardaufbau einer Vorderwand [Vögele, 2012]

Kantenformer

Es kann der passive, statisch wirkende Kantenformer verwendet werden. Es gibt sie in verschiedenen Abschrägungen. Die Größe der Kantenschuhe richtet sich nach der einzubauenden Belagsdicke.

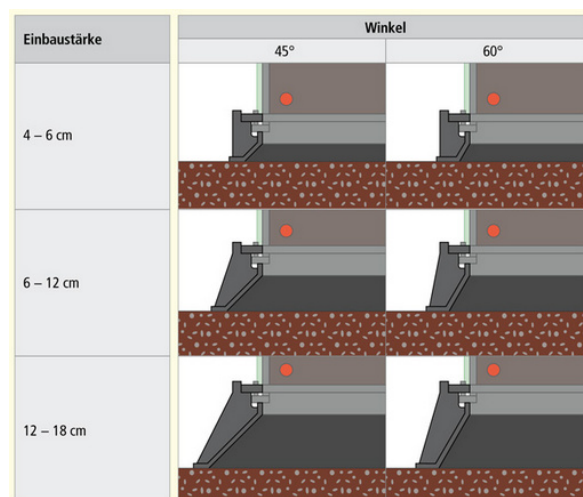


Bild 24: Standardausführungen von Kantenformern [Vögele, 2012]

Tamperleiste

Der Anzugswinkel der Tamperleiste sollte abgeändert werden. Es wird empfohlen eine Leiste mit spitzerem Anzugswinkel zu verwenden. Bild 25 zeigt das Profil einer Tamperleiste mit spitzem Anzugswinkel im Vergleich zu konventionellen Tampern.

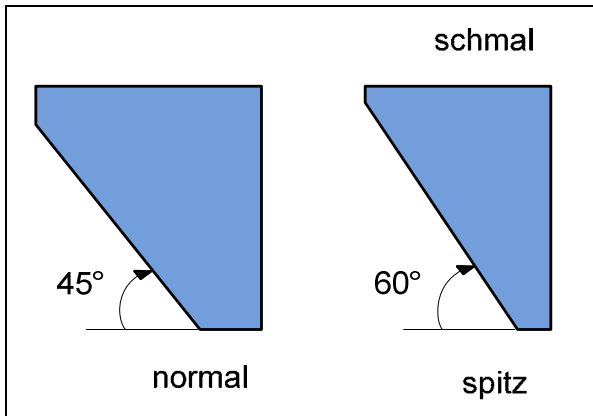


Bild 25: Anstellungswinkel von Tamperleisten für die Deckschichtbohle

Vibration

Es sollte die maximale Unwuchtdrehzahl eingestellt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der Unwuchterreger möglichst auf oder zumindest in der Nähe des Glättbleches montiert ist.

Nachverdichtung

Die konventionelle Nachverdichtung an der Bohle kann verwendet werden.

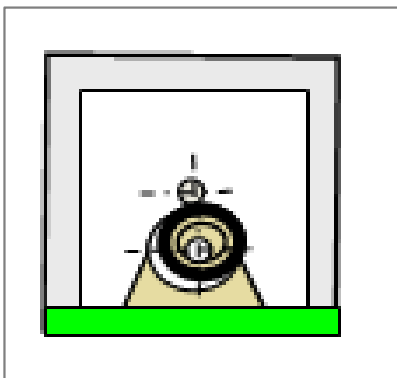


Bild 26: Skizze einer Bohle mit Vibration direkt auf dem Glättblech

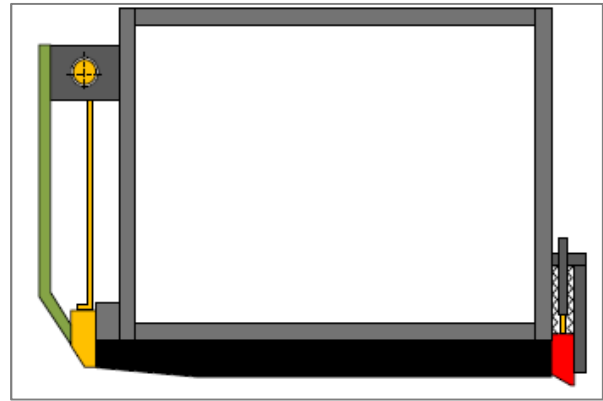


Bild 27: Bohle mit Pressleiste

Bohlengewicht

Je nach Einbauparametern muss das Bohlengewicht durch Ballastieren statisch verändert werden (ähnlich Bild 19).

Bohlenabstützung

Es ist keine zusätzliche Bohlenverstrebung nötig. Es kann die Standardabstützung verwendet werden.

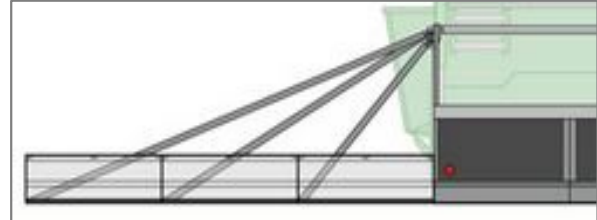


Bild 28: Standardabstützung einer Bohle [Vögele, 2012]

Glättblech

Aufgrund der sehr dicken Tragschicht wird die Einbaugeschwindigkeit so gewählt werden müssen, dass die Geschwindigkeit für den Einbau der Deckschicht sehr langsam sein wird. Falls die Bohle über einen zu kleinen Anzugswinkel

verfügen sollte, wäre es möglich, dass sie Markierungen in der Oberfläche hinterlässt. Deshalb wird empfohlen, die vordere Kante des Glättbleches mit einer Fase zu versehen (siehe Bild 29).

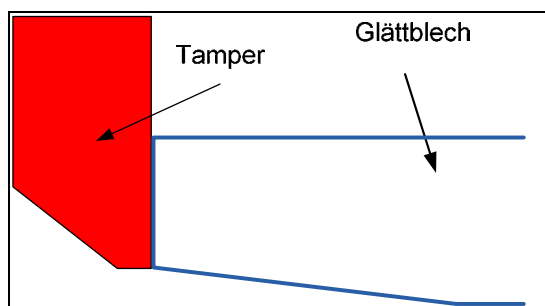


Bild 29: Angefaste Vorderkante des Glättbleches (DS)

3.4 Einbauparameter

Tab. 4 zeigt die empfohlenen Parameter für den Einbau der zwei Schichten. Da es nicht möglich ist die beiden Schichten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten einzubauen, müssen die Einstellungen entsprechend gewählt werden. Besonders der Tamperhub und -drehzahl müssen an die Gegebenheiten angepasst werden. Wird auf Grund der sehr starken Tragschicht mit geringer Geschwindigkeit eingebaut, muss der Tamper an der Tragschichtbohle mit maximaler Umdrehung und Hub arbeiten um das Material entsprechend zu verdichten. Die Vorverdichtung der Deckschichtbohle dagegen muss auf Grund der geringen Einbaugeschwindigkeit mit den minimalen Einstellwerten arbeiten.

		Belagsart	
		Tragschicht	Deckschicht
Einbau- geschwindigkeit	m/min	2 – 8	> 5
	Tamperdrehzahl		
	Hub mm	4 – 7	2 – 4
	Drehzahl U/min	1200 – 1800	300 – 800
Vibration	Druck bar	80 – 100	50 – 80
	Drehzahl U/min	2000 – 3000	1200 – 2000
Pressleiste(n)	Druck bar	90 – 110	45 – 70
	Frequenz Hz	58 – 68	58 – 68
Verdichtungs- temperatur	° C	> 120	> 120

Tab. 4: Einbauparameter [Vögele, 2012]

4. Konzeption (Einbauprozesse)

Beitrag von Dipl.-Ing. Martin Muschalla

4.1 Anforderungen

Die Fragestellung des Projektes umfasst die Optimierung von Prozessen auf zwei Ebenen. Einerseits müssen die technischen Einbau- und Verdichtungsprozesse für die modifizierte Kompaktasphaltbauweise mit einer sehr dicken Tragschicht angepasst werden. Andererseits erfordert das Ziel einer Bauzeitenverkürzung in Kombination mit hohem Mischgutbedarf die Verbesserung von baustellenlogistischen Prozessen. Folgende Aspekte galt es zu betrachten:

- **Fräsgutlogistik:**
Schneller Abtransport von Fräsgut
- **Mischgutlogistik:**
Unterbrechungsfreie Versorgung des Fertigers bei hohem Mischgutbedarf
- **Einbau:**
Anforderungskonformer Einbau des Mischgutes
- **Verdichtung:**
Anforderungskonforme Verdichtung des Mischgutes

4.2 Fräsgutlogistik

Da Erneuerungen mit teilweise Ersatz der vorhandenen Befestigung als vorrangiges Anwendungsgebiet der modifizierten Kompaktasphaltbauweise identifiziert wurden (siehe Abschnitt 5.1), musste auch untersucht werden, wie Fräsgut möglichst schnell vom Fräsor abtransportiert werden kann. Ziel ist die Reduzierung der Baustellendauer schon während der Fräszeit.

Hierzu ist zunächst ein detailliertes Fräskonzept zu erstellen, welches in jedem Falle die folgenden Punkte enthalten muss:

- Abstimmung der Kapazitäten unter den Beteiligten

- Taktung der Fräsarbeit in Zusammenspiel mit den Transportfahrzeugen
- Taktung der Transportfahrzeuge
- Erstellung einer Anfahrtsskizze zur Baustelle und Verteilung derselben an die Fahrer der Transportfahrzeuge
- Nummerierung der Fräsen und Transportfahrzeuge

Das Taktsystem muss vor Beginn der Maßnahme mit allen Beteiligten besprochen und abgestimmt werden. Zu Beginn der Arbeiten ist die Taktung zu kontrollieren, sodass eventuelle Optimierungen direkt umgesetzt werden können.

Die Erprobung eines solchen Fräskonzeptes an der Versuchsstrecke BAB 96 verlief im Sinne der Verkürzung von Baustellendauern erfolgreich. Für Einzelheiten siehe Abschnitt 7.

4.3 Mischgutlogistik

Nur durch eine unterbrechungsfreie Mischgutversorgung der Baustelle kann der Einbau mit konstanter Geschwindigkeit durchgeführt werden. Allerdings kann der hohe Materialbedarf der Bauweise nur durch die gleichzeitige Belieferung von mehreren Mischanlagen gedeckt werden. Die Koordination der Produktionsleistungen der einzelnen Asphaltmischanlagen sowie mehrerer Transportdienstleister stellt eine besondere baubetriebliche Herausforderung dar. Analog zur Optimierung der Fräsgutlogistik sollten auch für die Anlieferung der großen Mischgutmengen entsprechende Konzepte vor Einbaubeginn ausgearbeitet werden. Folgende Aspekte müssen dabei berücksichtigt werden.

- Abstimmung der Kapazitäten unter den Beteiligten
- Taktung der Mischgutproduktion in Zusammenspiel mit den Transportfahrzeugen und der Einbaugeschwindigkeit des Fertigers
- Taktung der Transportfahrzeuge
- Koordination mehrerer Mischwerke und Transportdienstleister
- Erstellung einer Anfahrtsskizze zur Baustelle und Verteilung derselben an die Fahrer der Transportfahrzeuge
- Nummerierung der Transportfahrzeuge

- Beschleunigung der Mischgutübergabe

Auch das Konzept zur Mischgutlogistik muss vor Beginn der Maßnahme mit allen Beteiligten besprochen und abgestimmt werden. Durch Kontrolle der Taktung zu Einbaubeginn und eventuelle Optimierungen können lange Standzeiten von Transportfahrzeugen bzw. Versorgungslücken vermieden werden.

An der Versuchsstrecke BAB 96 wurde neben einem Fräskonzept auch ein entsprechendes Mischgutlogistikkonzept erfolgreich erprobt (siehe Abschnitt 7). Beim Bauvorhaben B68 kam überdies ein im Hause STRABAG entwickeltes Fertiger-Terminal zum Einsatz, welches die Dokumentation von Lieferscheinen und Kenndaten der Mischgutübergabe beschleunigt (siehe Abschnitt 6). Bei beiden Projekten ist zur Beschleunigung der Mischgutübergabe zudem mit Beschickern gearbeitet worden. Außerdem wurden jeweils Transportfahrzeuge mit Abschiebemodul erprobt, deren Übergabezeit aufgrund des nicht notwendigen Abkippens geringer ist.

4.4 Einbau

Der Einbauprozess zwischen Mischgutübergabe und Walzverdichtung ist überwiegend von maschinentechnischen Konfigurationen und Einstellungen abhängig, welche bereits im Abschnitt 3 erörtert wurden.

Auf Prozessebene (im weiteren Sinne) tritt die Verwendung des richtigen Vorhaltemaßes als weitere Besonderheit im Kontext des Einbaus hinzu. Zu Beginn des Forschungsprojektes lagen keine Erfahrungen zur endgültigen Einbaudicke einer dicken Tragschicht aus grobkörnigem Mischgut nach der Bohlen- und Walzverdichtung vor. Da jedoch die Schichtdicke der verdichteten Asphaltmischungsbestandteil ist, musste auch dieser Indikator untersucht werden. Für einen Einsatz in der Baupraxis muss ein verlässliches Vorhaltemaß beziffert werden können. Die Einbaudicke nach der Bohlenverdichtung ist so zu bemessen, dass nach der anschließenden Walzverdichtung die geforderte endgültige Einbaudicke sowie die definierten Schichteigenschaften prozesssicher erreicht werden.

Ausgehend von bisherigen Erfahrungswerten für das Vorhaltemaß beim Kompaktasphalteinbau konnten im Laufe des Projektes wichtige Erkenntnisse für den Bau sehr dicker Schichten gesammelt werden.

4.5 Verdichtung

Im Laufe des Projektes galt es eine optimale Verdichtungsstrategie für eine modifizierte Kompaktasphaltbauweise zu identifizieren. Die große Dicke des Asphaltpaketes und das unbekannte Einsenkmaß stellten zu Projektbeginn die größten Unwägbarkeiten dar. Auch zur Stabilität der Randbereiche unter der Verdichtungslast lagen keine Erfahrungen vor. Aufgrund der hohen Relevanz des Verdichtungsergebnisses für die Gebrauchstauglichkeit (Ebenheit) und Dauerhaftigkeit (Verdichtungsgrad, Hohlraumgehalt) eines Asphaltaufbaus waren vor dem Einbau auf realen Versuchsstrecken zwingend Voruntersuchungen auf Versuchsfeldern nötig. Basierend auf Erfahrungen mit der Verdichtung konventioneller

Kompaktasphalte wurde dabei zunächst ein bewährtes Walzschema erprobt, welches auf den folgenden Versuchsstrecken abgewandelt wurde.

5. Versuchsfelder

5.1 Konzeption

Vor der erstmaligen Anwendung der modifizierten Kompaktasphaltbauweise und des zugehörigen Mischgutes AC 45 B/T S auf realen Strecken war eine Erprobung auf kleinmaßstäblichen Versuchsfeldern vorgesehen. Hierzu wurden zunächst wahrscheinliche Anwendungsfälle für die Bauweise identifiziert.

So kann ein Schichtpaket aus Trag- und Deckschicht, welches in einem einzelnen Übergang des Fertigers auf einer ungebundenen Unterlage aufgebracht wurde, als Asphaltbauweise für den Neubau einer geringer belasteten Straße dienen. Ein konventioneller, dreilagiger Aufbau für diesen

Anwendungsfall (hier z.B. Belastungsklasse 3,2 nach RStO 12) besteht aus einer Deckschicht mit 4 cm, einer Binderschicht mit 6 cm und einer Tragschicht mit 12 cm Dicke. Die Dicken entsprechen einem Kompaktasphaltaufbau mit einer 2 cm dicken Deckschicht auf einer 20 cm dicken Tragschicht. Zur Erprobung der Herstellung sowie Überprüfung bautechnischer Kenngrößen (Ebenheit, Tragfähigkeit, Schichtenverbund, etc.) eines solchen Kompaktasphaltaufbaus wurde ein entsprechendes Versuchsfeld vorgesehen. Da die konventionelle Referenzbauweise hinsichtlich der zu erzielenden Oberflächeneigenschaften Längs- und Querebenheit allgemein als unkritisch eingestuft wird, kam lediglich eine übliche Tragschicht AC 32 T S mit 12 cm Dicke zur Ausführung. Diese sollte, als maßgeblich am Lastabtrag beteiligte Schicht, hinsichtlich ihrer Tragwirkung mit dem Kompaktasphaltaufbau verglichen werden.

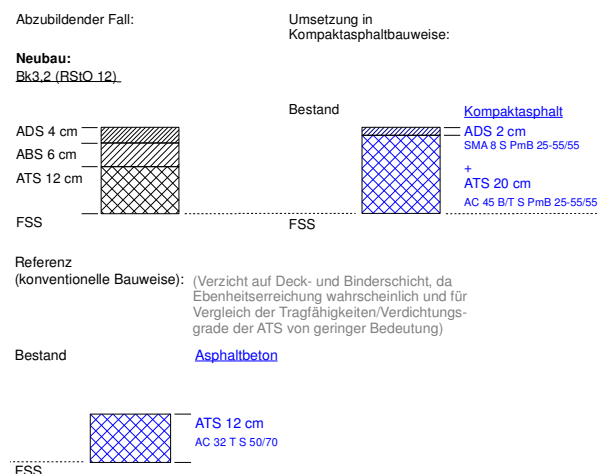


Bild 30: Konzept für die Versuchsfelder auf ungebundener Unterlage

Ein zweiter typischer Anwendungsfall für die vorliegende Bauweise ist die Erneuerung bei teilweisem Ersatz der vorhandenen Befestigung an hochbelasteten Straßenkonstruktionen. Statt des zeitlich versetzten Einbaus der oberen Tragschicht, der Binderschicht und der Deckschicht, (z.B. 12+8+4 cm bei Bk100, RStO 12) kann das rückgebaute Asphaltpaket auch durch eine 22 cm dicke Asphalttragschicht mit 2 cm dicker Deckschicht in Kompaktasphaltbauweise ersetzt werden. Auch für diesen Anwendungsfall wurde ein entsprechendes Versuchsfeld vorgesehen, welches zur Simulation einer angefrästen unteren Tragschicht auf einer gebundenen Unterlage zu

errichten war. Ausgehend von der konventionellen Bauweise wurden zwei Referenzfelder konzipiert: Eine 12 cm dicke Asphalttragschicht AC 32 T S zum Vergleich der Tragwirkung mit dem Kompaktasphaltaufbau, sowie eine weitere Asphalttragschicht AC 32 T S mit dem Höchstmaß der einlagigen Einbaudicke von 18 cm nach ZTV BEA-StB 09.

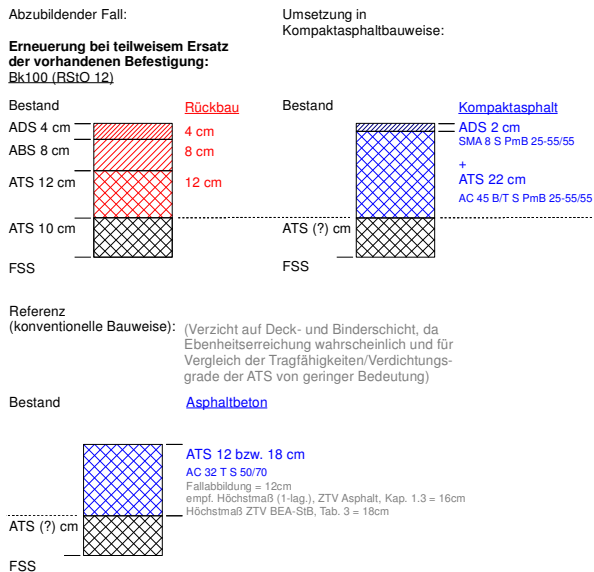


Bild 31: Konzept für die Versuchsfelder auf gebundener Unterlage

Als geeignetes Erprobungsgelände wurde der Betriebshof der Firma Kirchner (STRABAG) in Bad Hersfeld ausgewählt. Hier waren ausreichende Flächen mit ungebundener und gebundener Unterlage abseits des öffentlichen Verkehrs vorhanden. Zudem befand sich das Mischwerk Hauneck, welches mit der Mischgutherstellung und -anlieferung betraut war, in nur ca. 2 km Entfernung.



Bild 32: Baufeld für die vorgesehenen Versuchsfelder mit ungebundener Unterlage (links) und gebundener Unterlage (rechts) vor der Vorbereitung

Bild 33 zeigt die Anordnung der geplanten Versuchsfelder 1-6 auf dem Baufeld. Jedes Feld weist dabei Abmessungen von 4 x 25 m auf. Unter Berücksichtigung eines Ein- und Auslaufbereiches des Fertigers stehen damit ca. 4 x 15 m homogene Fläche zur Untersuchung zur Verfügung.

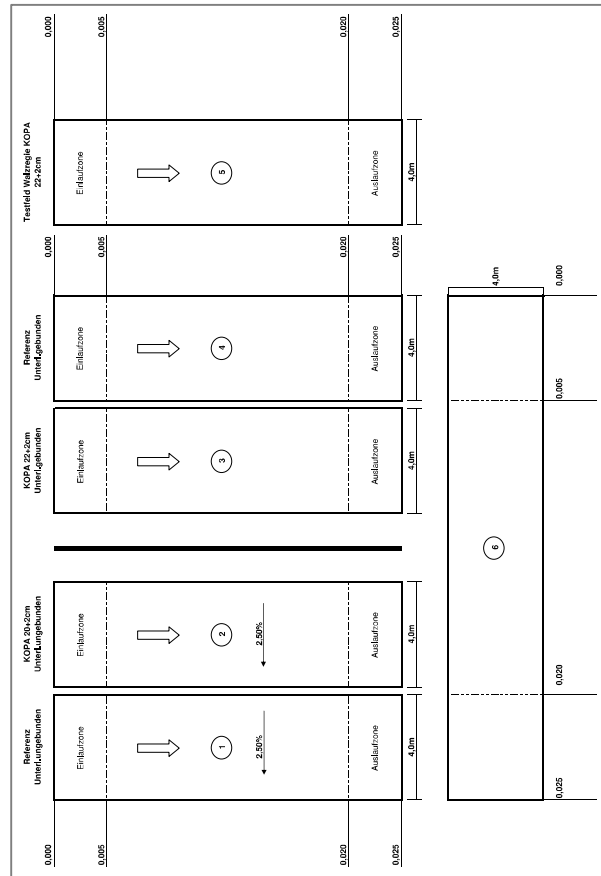


Bild 33: Bahnenplan der Versuchsfelder 1-6

Die einzelnen Versuchsfelder weisen folgende Aufbauten auf:

Nr.	Unterlage	Aufbau
1	ungebunden	12 cm AC 32 T S
2	ungebunden	20 cm AC 45 B/T S 2 cm SMA 8 S
3	gebunden	22 cm AC 45 B/T S 2 cm SMA 8 S
4	gebunden	18 cm AC 32 T S
5	gebunden	22 cm AC 45 B/T S 2 cm SMA 8 S <i>Vorerprobungsfeld für Maschineneinstellungen</i>
6	ungebunden/ gebunden	12 cm AC 32 T S

Tab. 5: Aufbauten der Versuchsfelder

5.2 Einbauvorbereitung

5.2.1 Erstprüfung

Dem Mischgutlieferanten Asphaltmischwerk Hauneck GmbH & Co. KG (AMH) wurde die Rezepturempfehlung für das Mischgut AC 45 B/T S (s. Abschnitt 2.5) übermittelt. Selbiger hat daraufhin eine eigene Untersuchung mit dem Gestein aus dem gleichen Vorkommen, jedoch einer aktuelleren Lieferung angestellt. Die im Rahmen dieser Erstprüfung ermittelten Ergebnisse wurden dann der Asphaltlieferung zugrunde gelegt. Die Untersuchungsergebnisse des Zentrallabors der Hartsteinwerke Bayern-Mitteldeutschland - HBM (bag) in Erfurt entsprechen den Vorgaben des Forschungsnehmers.

Bindemittelart/-sorte		PmB 25/55-55
Bindemittelgehalt	M.-%	4,1
EPRuK	°C	59
Mischgutrohndichte	g/cm ³	2,704
Raumdichte am MPK	g/cm ³	2,547
Hohlraumgehalt ber.	Vol.-%	5,8

Tab. 6: Erstprüfungsergebnisse des Mischguts AC 45 B/T S (HBM, Zentrallabor Erfurt)

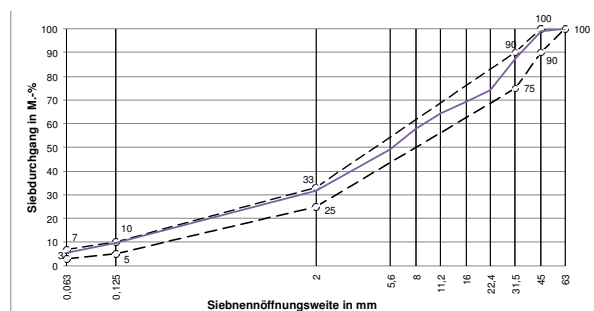


Bild 34: Sieblinie AC 45 B/T S Erstprüfung (HBM, Zentrallabor Erfurt)

5.2.2 Probemischung

Vor dem Einbau auf den Versuchsfeldern wurde eine Probemischung des Mischgutes AC 45 B/T S am Asphaltmischwerk Hauneck (AMH) durchgeführt. Die Probemischung sollte klären, ob eine großtechnische Produktion der grobkörnigen Asphaltmischung in einer konventionell ausgestatteten Mischanlage technisch möglich ist

und homogene Ergebnisse hervorbringt, die der Erstprüfung entsprechen.

Die Produktion des Mischgutes zeigte keine verfahrens- oder maschinentechnisch bedingten Probleme. Die Asphaltmischung wirkte homogen durchmischt und die Einzelkörner ausreichend mit Bindemittel umhüllt, das Mischgut aber augenscheinlich recht bindemittelarm.

Zur vereinfachten Simulation der Mischgutübergabe an den Transport-Lkw, bzw. von der Lkw-Mulde an den Fertiger, wurde das Mischgut in die Ladeschaufel eines Radladers gefüllt und von dort aus mit einer Fallhöhe von ca. 1 m auf eine ebene Fläche geschüttet. Hier zeigte sich bereits augenscheinlich eine ausgeprägte Entmischungsneigung des Mischgutes, indem Grobkornbestandteile an der Außenfläche des entstandenen Mischkegels entlang zur Kegelsbasis rutschten und sich dort häuften.

Aus dem Schüttkegel wurde eine Vielzahl von Eimerproben entnommen, zu einer Sammelprobe vereinigt und diese Probe auf mehrere Gefäße verteilt. Die Probenahme wurde von erfahrenerm Personal durchgeführt.

Im Labor des Fachgebiets Straßenwesen der TU Darmstadt wurde die Probe erneut durchmischt und zwei Teilproben zur anschließenden Untersuchung entnommen. Es konnten folgende Kennwerte (Durchschnittswerte beider Teilproben) festgestellt werden:

Bindemittelart/-sorte		PmB 25/55-55
Bindemittelgehalt	M.-%	3,3
EPRuK	°C	49,4
Mischgutrohndichte	g/cm ³	2,660
Raumdichte am MPK	g/cm ³	2,452
Hohlraumgehalt ber.	Vol.-%	7,8

Tab. 7: Kennwerte des Probemischguts AC 45 B/T S (Hauneck)

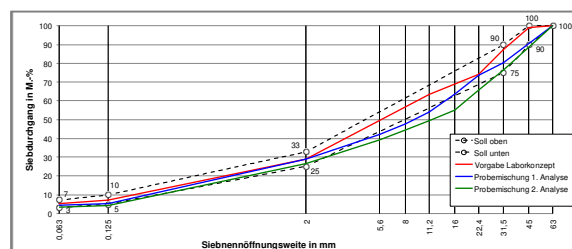


Bild 35: Sieblinie AC 45 B/T S Probemischung (Hauneck)

Die gewonnenen Sieblinien zeigen einen grobkörnigeren Verlauf als die Vorgaben aus dem Laborkonzept. Dies gilt insbesondere oberhalb des Sandpunktes. Das Mischgut aus der 2. Analyse liegt fast gänzlich außerhalb des vorgeschriebenen Sollsieblinienbereiches.

Ferner lieferten die Extraktionen beider Proben Bindemittelgehalte von lediglich nur 3,3 M.-%. Diese liegen deutlich unterhalb der vorgesehenen Menge von 4,1 M.-%. Rohdichte und Raumdichte des Mischgutes liegen deutlich unterhalb der Erstprüfungsergebnisse; der Erweichungspunkt Ring und Kugel unterschreitet zudem die Anforderungen der TL Bitumen-StB (07/13).

Dem Mischwerk wurden die Ergebnisse mit der Bitte um Korrektur der Mischeinstellungen und Überprüfung mitgeteilt.

5.2.3 Vorbereitung der Unterlagen

Für einen fachgerechten und realitätsnahen Einbau wurde die Unterlage zunächst gereinigt. An der ungebundenen Unterlage waren zudem organische Bestandteile zu entfernen, sowie Ebenheitsverbesserungen mit ungebundenem Material und eine flächenhafte Verdichtung durchzuführen. Die gebundene Unterlage wurde mit einer Bitumenemulsion angesprüht.

Danach wurden die Längsebenheit (Planograph), die Querebenheit (4m-Latte) und die Tragfähigkeit der Unterlagen erfasst. Die Ergebnisse der Untersuchungen vor dem Einbau sind in den nachstehenden Kapiteln aufgeführt, wo sie den Untersuchungsergebnissen der Einbauleistungen gegenübergestellt und ausgewertet werden.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass alle Unterlagen für den Einbau geeignet waren.

5.2.4 Vorbereitung des Einbaugerätes

Zur Umsetzung der maschinentechnischen Empfehlungen der FH Köln wurde die vordere Einbaubohle am vorgesehenen Kompaktasphalt-Fertiger des Fabrikats Dynapac CM 3000 der Firma Kirchner in deren eigener Werkstatt zerlegt und modifiziert. Dabei wurde insbesondere das statische Bohlergewicht erhöht. Dies wurde als Bohlenbelastung mit Gewichten direkt auf der

ersten Bohle realisiert. Damit ist eine dauerhafte, jedoch leicht anzupassende oder zu entfernende Belastung der Einbaubohle gegeben. Die statische Auflast ermöglicht einen höheren Eintrag von Verdichtungsenergie in das dicke Asphalt-schichtpaket.

Als problematisch erwies sich zunächst, dass durch die geringe Einbaubreite von 4 m die gesamte statische Bohlenbelastung in Bohlenmitte angeordnet werden musste. Dadurch verringerte sich der Bewegungsspielraum der Deckschichtbohlenaufhängung (siehe Bild 36). Diese Reduzierung der Flexibilität kann beim dauerhaften Einsatz unvorteilhaft sein, weshalb dieser Bereich bei den Feldversuchen besonders beobachtet wurde. Für die Dauernutzung bei geringen Einbaubreiten müsste die Aufhängung der Deckschichtbohle verändert werden. Mit dieser Veränderung müssten weitere mechanische Umbauten am Kompaktasphaltfertiger vorgenommen werden, welche die Deckschichtbohle in einem größeren Abstand zur ersten Bohle positionieren würden. Diese Modifizierung konnte im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens noch nicht realisiert werden.



Bild 36: Unzureichender Abstand zwischen Bohlenauflast und Aufhängung der Deckschichtbohle



Bild 37: Angewalzte und mit Bitumenemulsion angesprühte Unterlagen der Einbaufelder 1-6 (von oben nach unten)

5.3 Einbau

Zur Erprobung von Geräteeinstellungen und des Verdichtungsvorganges wurde das Versuchsfeld 5 bereits am 13.05.2014 eingebaut. Die übrigen Versuchsfelder 1-4 und 6 folgten dann am 14.05.2014.

5.3.1 Einbaubedingungen

Am Einbautag herrschte wechselhaftes Wetter mit Temperaturen um 12 °C und gelegentlichen, leichten Niederschlägen.

5.3.2 Einbauprozess

Als Einbaugerät kam auf allen Versuchsfeldern ein Fertiger des Fabrikats Dynapac CM 3000 mit Kompaktasphaltmodul zum Einsatz. Auf den Kompaktasphalt-Feldern wurde zusätzlich mit einem Beschicker vom Typ Dynapac MF 300 gearbeitet.

Aus den bisherigen Erfahrungen des Kompaktasphalteinbaus wurde ein Vorhaltemaß von +3,0 bis +3,5 cm angesetzt.

Die Walzverdichtung wurde gemäß Auflistung in Bild 38 mit Walzen der Typen Dynapac CC 142, CG 233 und CC 522 durchgeführt.

Einbaudaten:

Versuchsfeld 1:	Datum:	13.05.2014
Solleinbaudicke:	12,00 cm ATS	
Einbaudicke nach Bohlenvorverdichtung:	Solldicke +2,50 cm Asphalttragschicht AC 32 TS keine Asphaltdeckschicht	
Verdichtungsweise in Walzübergängen ^{x)} :	2x statisch mit Dynapac CG 233 3x Vibration mit Dynapac CG 233	
Fertiger:	Kompaktasphaltmodul Dynapac CM 3000	
Beschicker:	Dynapac MF 300	
mittlere IST-Einbaudicke:	13,35 cm ATS	
mittlere Einbautemperatur	201 °C ATS	
Lufttemperatur / Niederschlag:	11 °C / 9,20 mm (Tagesmenge)	
Versuchsfeld 2:	Datum:	14.05.2014
Solleinbaudicke:	20,00 cm ATS / 2,50 cm ADS	
Einbaudicke nach Bohlenvorverdichtung:	Solldicke +3,00 cm Asphalttragschicht AC 45 TS Solldicke +0,50 cm Asphaltdeckschicht SMA 8 S	
Verdichtungsweise in Walzübergängen ^{x)} :	1x statisch mit Dynapac CC 142 1x statisch mit Dynapac CG 233 4x Vibration mit Dynapac CG 233 1x statisch überrollt zum Glätten mit Dynapac CC 522	
Fertiger:	Kompaktasphaltmodul Dynapac CM 3000	
Beschicker:	Dynapac MF 300	
mittlere IST-Einbaudicke:	21,13 cm ATS / 2,43 cm ADS	
mittlere Einbautemperatur	191 °C ATS / 221 °C ADS	
Lufttemperatur / Niederschlag:	12 °C / 1,00 mm (Tagesmenge)	
Versuchsfeld 3:	Datum:	14.05.2014
Solleinbaudicke:	22,00 cm ATS / 2,50 cm ADS	
Einbaudicke nach Bohlenvorverdichtung:	Solldicke +3,50 cm Asphalttragschicht AC 45 TS Solldicke +0,50 cm Asphaltdeckschicht SMA 8 S	
Verdichtungsweise in Walzübergängen ^{x)} :	1x statisch mit Dynapac CC 142 1x statisch mit Dynapac CG 233 4x Vibration mit Dynapac CG 233 1x statisch überrollt zum Glätten mit Dynapac CC 522	
Fertiger:	Kompaktasphaltmodul Dynapac CM 3000	
Beschicker:	Dynapac MF 300	
mittlere IST-Einbaudicke:	22,70 cm ATS / 1,79 cm ADS	
mittlere Einbautemperatur	192 °C ATS / 221 °C ADS	
Lufttemperatur / Niederschlag:	12 °C / 1,00 mm (Tagesmenge)	
Versuchsfeld 4:	Datum:	13.05.2014
Solleinbaudicke:	18,00 cm ATS	
Einbaudicke nach Bohlenvorverdichtung:	Solldicke +3,50 cm Asphalttragschicht AC 32 TS keine Asphaltdeckschicht	
Verdichtungsweise in Walzübergängen ^{x)} :	1x statisch mit Dynapac CG 233 4x Vibration mit Dynapac CG 233	
Fertiger:	Kompaktasphaltmodul Dynapac CM 3000	
Beschicker:	Dynapac MF 300	
mittlere IST-Einbaudicke:	18,27 cm ATS	
mittlere Einbautemperatur	191 °C ATS	
Lufttemperatur / Niederschlag:	11 °C / 9,20 mm (Tagesmenge)	
Versuchsfeld 6:	Datum:	15.05.2014
Solleinbaudicke:	12,00 cm ATS	
Einbaudicke nach Bohlenvorverdichtung:	Solldicke +2,50 cm Asphalttragschicht AC 32 TS keine Asphaltdeckschicht	
Verdichtungsweise in Walzübergängen ^{x)} :	2x statisch mit Dynapac CG 233 3x Vibration mit Dynapac CG 233	
Fertiger:	Kompaktasphaltmodul Dynapac CM 3000	
Beschicker:	Dynapac MF 300	
mittlere IST-Einbaudicke:	12,86 cm ATS	
mittlere Einbautemperatur	167 °C ATS	
Lufttemperatur / Niederschlag:	13 °C / 0,20 mm (Tagesmenge)	

^{x)} 1 Walzübergang bedeutet eine Vor- und Rückfahrt

Bild 38: Einbaudaten der Versuchsfelder in Bad Hersfeld



Bild 39: Einbau der Versuchsfelder

Die vorverdichtete Oberfläche der kombinierten Binder-/Tragschicht unmittelbar hinter der Bohle zeigte sich eben und homogen. Dies war eine wichtige Voraussetzung zum Überbauen mit einer dünnen Deckschicht.



Bild 40: Oberfläche der Binder-/Tragschicht von Versuchsfeld 3 (mod. Kompaktasphalt 22+2 cm) vor der Deckschichtbohle

Auch die Oberfläche der Kompaktasphaltdeckschicht wirkte direkt hinter dem Fertiger eben und gleichmäßig geschlossen.



Bild 41: Deckschicht von Versuchsfeld 3 (mod. Kompaktasphalt 22+2 cm) vor der Walzverdichtung

Die dicken Kompaktasphaltpakete auf den Feldern 2 und 3 wurden, aufbauend auf bisherigen Erfahrungen mit konventionellem Kompaktasphalt, gemäß folgendem Walzschema verdichtet:

- 1 * statisch mit Dynapac CC 142
- 1 * statisch mit Dynapac CG 233
- 4 * Vibration mit Dynapac CG 233
- 1 * statisch mit Dynapac CC 522 (Glätten)

(Ein Walzvorgang umfasst eine Vor- und Rückfahrt.)

Insbesondere bei den dynamischen Walzübergängen waren erhöhte Einsenkmaße zu beobachten. Aufgrund des fehlenden Widerlagers am Rand der Befestigung nahmen diese zum Rand hin zu. Die Auswirkungen auf die Querebenheit der Oberfläche sind in Kapitel 5.4.3 dokumentiert.

Zur Vermeidung eines hohen Einsenkmaßes sollten Kompaktasphalte aus der Mitte zum Rand gewalzt werden.



Bild 42: Erhöhtes Einsenkmaß bei dynamischem Walz-
übergang am modifizierten Kompaktasphalt



Bild 43: Deckschicht von Versuchsfeld 3 (mod. Kompakt-
asphalt 22+2 cm) nach der Walzverdichtung

Mit einer konventionellen Kantenwalzvorrückung an einer statischen Walze konnten an den Referenzfeldern gleichmäßig geformte und ebene Kantenbilder erzielt werden (siehe Bild 44, links). Für eine Kante an Kompaktasphaltaufbauten mit vorliegender Dicke reicht diese konventionelle Vorrichtung nicht aus, weil ihre wirksame Dicke zu gering ist und die aufgebraachte Verdichtungskraft auf der grobkörnigeren Kante für eine ebene Ausführung nicht ausreicht (siehe Bild 44, rechts). Sinnvoll erscheint hier eine Formung und Vorverdichtung der Kante bereits am Fertiger, was sich

auch positiv auf die zuvor beschriebene Absenkung der Oberfläche in den Randbereichen auswirken würde. Ein entsprechendes Kantenblech mit Vibrationsmodul befindet sich in Entwicklung.



Bild 44: Ungleichmäßiges Kantenbild an den dicken
Kompaktasphaltaufbauten (rechts) ggü. typischer
Kantenverdichtung am 12 cm – Referenzfeld (links)

5.4 Einbauergebnisse

Zur Überprüfung der Einbauergebnisse wurden vor und nach dem Einbau Tragfähigkeitsmessungen mit dem Falling Weight Deflectometer (FWD) durchgeführt und die Längsebenheit (Planograph) erfasst. An den fertiggestellten Befestigungen aus Kompaktasphalt erfolgte anschließend die Bestimmung der Querebenheit (4m-Latte). Außerdem wurden je Versuchsfeld sieben Bohrkern \varnothing 150 mm (BK 1.1-6.7) für weitere labortechnische Untersuchungen entnommen. Durch diagonale Anordnung der Entnahmestellen über die jeweiligen Versuchsfelder, konnten dabei auch potenzielle Abweichungen in Längs- und Querrichtung berücksichtigt werden. Feld 5 blieb unbeprobte, da es lediglich der einbauvorbereitenden Kalibrierung von Maschineneinstellungen diente.

Zum rechnerischen Nachweis der Gleichwertigkeit des modifizierten Kompaktasphaltes mit konventionellen Schichtaufbauten auf hochbelasteten Straßenkonstruktionen waren weitere Materialparameter des Mischgutes AC 45 B/T S zu bestimmen. Hierzu wurden aus der Mitte von Feld 3 zusätzlich 16 Bohrkern \varnothing 150 mm (BK P1-P16) entnommen.

Bild 45 zeigt die eingebauten Längen der Versuchsfelder, sowie die Messstrecken zur Aufnahme der Längsebenheit mittels Planographen vor und nach dem Einbau. Ein Lageplan der Bohrkernentnahmestellen und die zugehörige Nummerierung sind Bild 46 zu entnehmen.

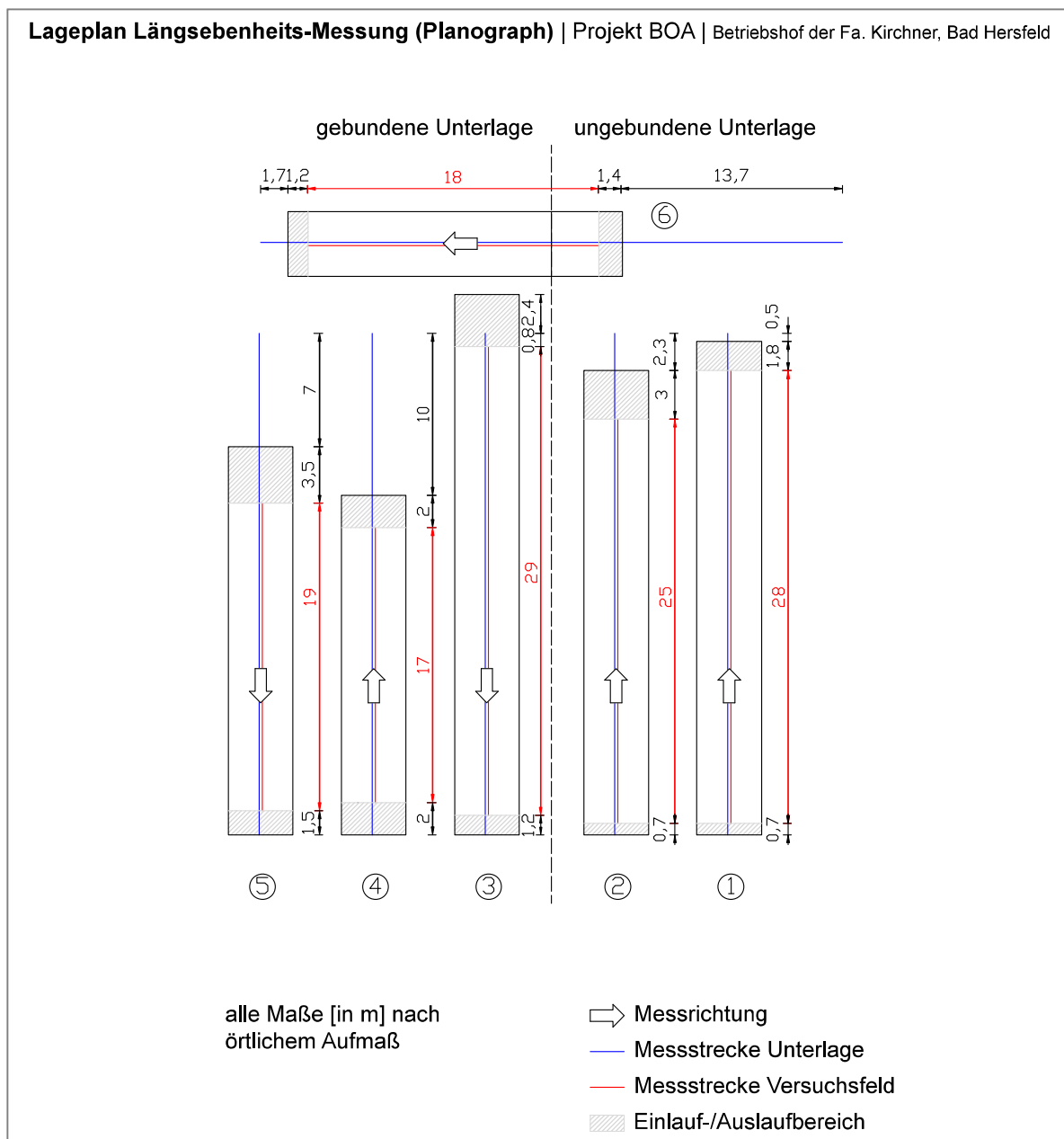


Bild 45: Lageplan mit tatsächlich eingebauten Feldlängen und Messstrecken zur Aufnahme der Längsebenheit

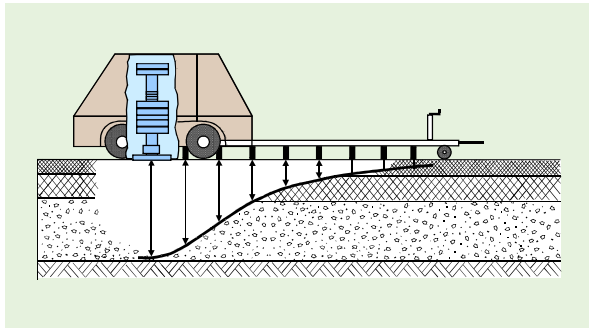


Bild 47: Prinzipskizze – FWD auf Asphaltbefestigung [BASt, 2010]



Bild 48: FWD-Messung an den Unterlagen der Versuchsfelder

Auswertung

Die Auswertung der FWD-Messungen erfolgte in Anlehnung an die Arbeit von GRÄTZ [2009] sowie deren Fortführung in BALD et al. [2011].

Grundlegende Idee des dort beschriebenen Ansatzes ist die Beschreibung des Gesamtaufbaus als Platte auf einem elastisch-isotropen Halbraum (Untergrund) ohne wirksamen Schichtenverbund an der Kontaktfläche (siehe Bild 49).

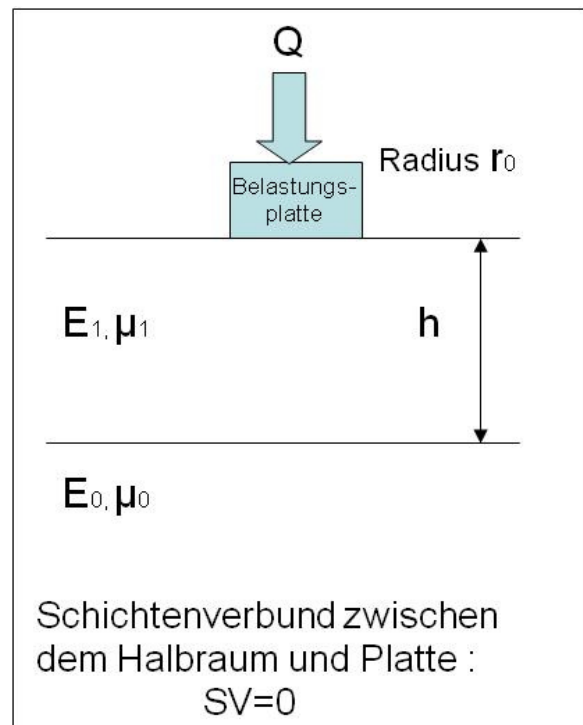


Bild 49: Berechnungsmodell „Platte auf elastisch-isotropen Halbraum“ [GRÄTZ, 2009]

Aus der Geometrie der Verformungsmulde lassen sich dann bei bekannter Dicke des lastverteilenden, befestigten Oberbaus folgende Parameter ableiten:

- Schichtmodul M_0 der Unterlage (entspricht bei fehlendem Schichtenverbund dem E-Modul E_0 sowie in hinreichender Näherung dem Verformungsmodul E_{v2})
- Schichtmodul M_1 der Platte (entspricht bei fehlendem Schichtenverbund dem E-Modul E_1)
- Elastische Länge l (berücksichtigt das Verhältnis der Steifigkeiten von Platte und Untergrund als Indikator für das Tragverhalten der Gesamtkonstruktion)

Ist die lastverteilende Dicke nicht bekannt, so kann sie durch Schätzung des zugrundeliegenden E-Moduls E_1 errechnet werden. BALD et al. [2011] untersuchten in diesem Zusammenhang acht Asphaltbefestigungen auf Bundesautobahnen und ermittelten anhand der Ergebnisse eine Kurve für mittlere E_1 -Moduln in Abhängigkeit von der Temperatur (Bild 50).

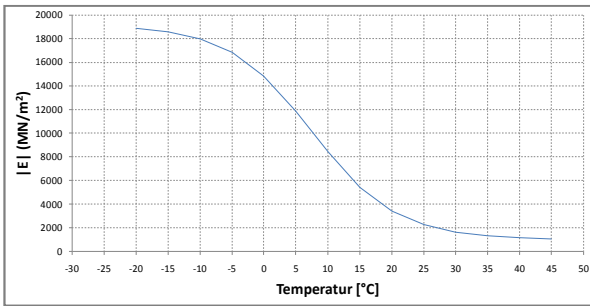


Bild 50: Mittlerer E-Modul von Asphalt auf Autobahnen bei $f = 30 \text{ Hz}$ [BÖHM et al., 2011]

Bei den Untersuchungen an den Versuchsfeldern waren die lastverteilenden Dicken der gebundenen Befestigung zwar bekannt, um jedoch einen Vergleich zu üblichen Befestigungen hoher Belastungsklassen herstellen zu können, wurden die vorgenannten Erfahrungswerte herangezogen. Aus der Gegenüberstellung von errechneten Dicken (mit autobahntypischen E_1 -Moduln) und den tatsächlichen Dicken konnte dann abgeleitet werden, ob die modifizierte Kompaktasphaltbauweise mit gängigen Befestigungen hoher Belastungsklassen vergleichbar ist.

E-Moduln und Schichtdicken der Versuchsfelder

Feld 1 – 12 cm AC 32 T S auf ungeb. Unterlage

Das FWD-Verfahren eignet sich nicht zur Beurteilung der Tragfähigkeit ungebundener Schichten, da die Modellvorstellung einer Platte auf elastisch-isotropem Halbraum nicht erfüllt ist und die Verformungskurve durch lokale Kornumlagerungen verfälscht wird. Aus diesem Grund wurden auch keine Messungen an der Unterlage (UL) durchgeführt.

Aus den Messungen nach dem Einbau konnten E_0 -Moduln der Unterlage von ca. $150\text{-}220 \text{ N/mm}^2$ rückgerechnet werden. Sie ist damit als ausreichend tragfähig zu bezeichnen, zumal auch die Anforderung bezüglich des ungefähr vergleichbaren E_{v2} -Moduls von 120 N/mm^2 [gem. RStO 12] eingehalten wird.

Zur Bestimmung der lastverteilenden Dicke des gebundenen Asphaltüberbaus wurde der Verformungsmodul zu $E_1=1.600 \text{ N/mm}^2$ ($T = 30 \text{ °C}$)

geschätzt (s.o.). Die errechnete Dicke von ca. $15,7 \text{ cm}$ (Mittelwert (MW)) entspricht in hinreichender Näherung der an den Bohrkernen gemessenen Durchschnittsdicke von $14,4 \text{ cm}$. Die Differenz ist auf die Ungenauigkeit der Schätzung des E_1 -Moduls zurückzuführen, da die zugrundeliegende Kurve einen breiten Streubereich an E-Moduln mittelt. Der tatsächliche E_1 -Modul liegt geringfügig oberhalb der Schätzung; die Befestigung ist folglich ähnlich tragfähig wie existierende Aufbauten für hohe Belastungsklassen.

Schicht	Solldicke [cm]	Dicke rückgerechnet [cm]	Dicke am BK gem. [cm]
ATS 0/32	12,0	15,7	14,4

Tab. 8: Dicken der eingebauten Asphaltsschichten an Versuchsfeld 1

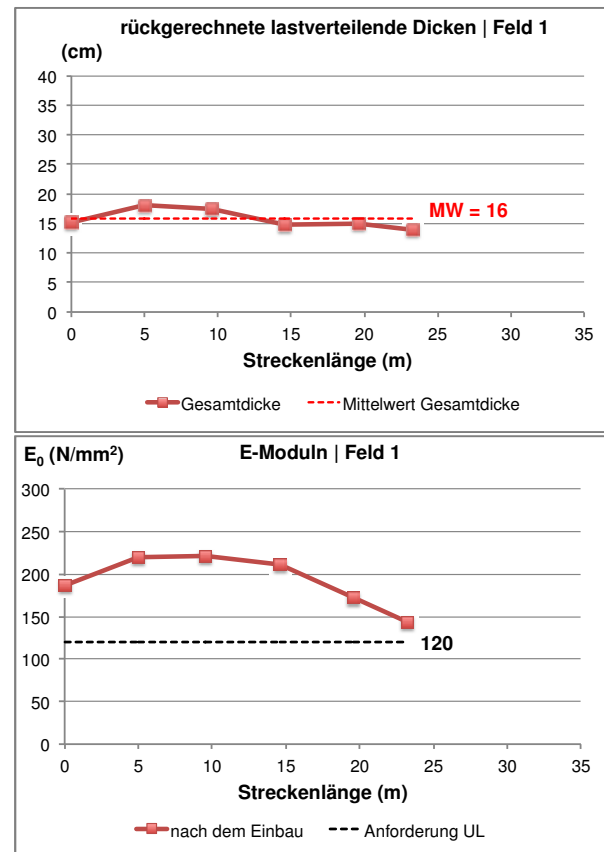


Bild 51: E-Moduln und rückgerechnete lastverteilende Dicken an Versuchsfeld 1

Feld 2 – 20 cm AC 32 T S + 2 cm SMA 8 S auf ungeb. Unterlage

Die Messungen nach dem Einbau des modifizierten Kompaktasphaltes ergaben rückgerechnete E_0 -Moduln der ungebundenen Unterlage von ca. 200-250 N/mm². Ausgehend von der Anforderung eines E_{v2} -Moduls von 120 N/mm² kann die Unterlage somit als tragfähig bezeichnet werden.

Die lastverteilende Dicke des gebundenen Asphaltoberbaus wurde mit einem geschätzten Verformungsmodul von $E_1=1.600$ N/mm² ($T = 30$ °C) auf ca. 24,9 cm rückgerechnet. Damit liegt sie geringfügig oberhalb der tatsächlich an den Bohrkernen bestimmten Gesamtdicke von 23,9 cm. Es kann gefolgert werden, dass der Aufbau eine vergleichbare Tragfähigkeit aufweist, wie sie an Aufbauten für hohe Belastungsklassen in der Praxis vorgefunden werden.

Schicht	Solldicke [cm]	Dicke rückgerechnet [cm]	Dicke am BK gem. [cm]
ATS 0/45	20,0	24,9	21,4
SMA 8	2,0		2,5
ges.	22,0	24,9	23,9

Tab. 9: Dicken der eingebauten Asphaltsschichten an Versuchsfeld 2

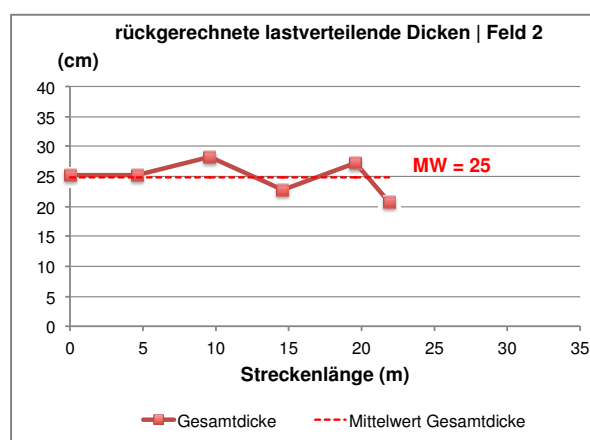
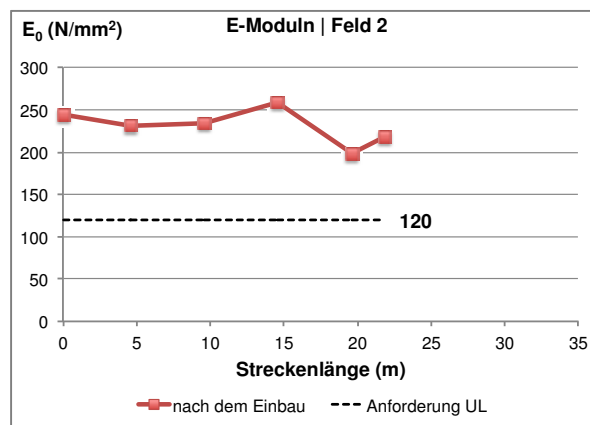


Bild 52: E-Moduln und rückgerechnete lastverteilende Dicken an Versuchsfeld 2

Feld 3 – 22 cm AC 32 T S + 2 cm SMA 8 S auf geb. Unterlage

Da an Versuchsfeld 3 eine geb. Unterlage vorlag, konnte hier schon vor dem Einbau eine Tragfähigkeitsmessung (FWD) durchgeführt werden. Der festgestellte E_0 -Modul der ungeb. Schicht verläuft fast konstant um den ungefähr vergleichbaren E_{v2} -Anforderungswert von 120 N/mm^2 . Die Unterlage eignete sich also zum Überbauen.

Mit der bekannten (am BK gemessenen) Dicke der vorhandenen Asphalttschicht von $11,3 \text{ cm}$ konnte deren E_1 -Modul zu ca. 3.900 N/mm^2 ($T = 11 \text{ }^\circ\text{C}$) rückgerechnet werden. Dieser Wert liegt unterhalb der typischen E -Moduln von Asphalttragschichten. Aus der Untersuchung der Bohrkernproben im Labor konnte jedoch abgeleitet werden, dass die Asphaltunterlage hinsichtlich ihrer Zusammensetzung einer Asphalttragschicht ist und dass das Bindemittel bereits deutlich gealtert ist. Hierin könnten mögliche Ursachen für den niedrigen E_1 -Modul zu sehen sein.

Aus der Messung nach dem Einbau ergibt sich ein E_0 -Modul der ungeb. Schicht von ca. $180\text{--}230 \text{ N/mm}^2$. Der Anstieg im Vergleich zu den Messergebnissen vor dem Einbau könnte teilweise auf die nachverdichtende Wirkung des Einbauprozesses zurückzuführen sein. Zu einem größeren Teil ist die Ursache jedoch in einer Ungenauigkeit des zugrundeliegenden Modells bzw. Messverfahrens zu sehen. Die höhere Steifigkeit der nun dickeren Asphaltbefestigung zeigt geringere Verformungen, was sich rechnerisch verstärkend auf den Verformungsmodul der ungebundenen Unterlage auswirkt.

Die lastverteilende Dicke der Gesamtbefestigung wurde unter Annahme eines E_1 -Moduls von 1.600 N/mm^2 ($T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$) auf ca. $34,1 \text{ cm}$ rückgerechnet. Nach Abzug der bekannten Dicke der gebundenen Unterlage verbleibt eine Restdicke des Kompaktasphaltaufbaus von $22,8 \text{ cm}$, was ungefähr der tatsächlich am Bohrkern ermittelten Dicke von $24,6 \text{ cm}$ entspricht. Die Differenz ist auch hier in einer ungenauen Schätzung des E_1 -Moduls zu sehen. Zudem wird der angenommene Wert auch für die Deckschicht und die Unterlage herangezogen, da die Gesamt-

befestigung rechnerisch als homogene Platte behandelt wird. Die E -Moduln der Asphaltunterlage und der Deckschicht sind jedoch geringer anzusetzen, sodass das rechnerische Ergebnis für die Dicke der Tragschicht höher liegen muss. In einer qualitativen Betrachtung kann geschlussfolgert werden, dass die Kompaktasphaltbauweise auf Feld 3 eine vergleichbare Tragfähigkeit wie konventionelle Bauweisen an Straßen hoher Belastungsklassen aufweist.

Schicht	Solldicke [cm]	Dicke rückgerechnet [cm]	Dicke am BK gem. [cm]
geb. UL	-	11,3	11,3
ATS 0/45	22,0	22,8	22,9
SMA 8	2,0		1,7
ges.	24,0	22,8	24,6

Tab. 10: Dicken der eingebauten Asphalttschichten an Versuchsfeld 3

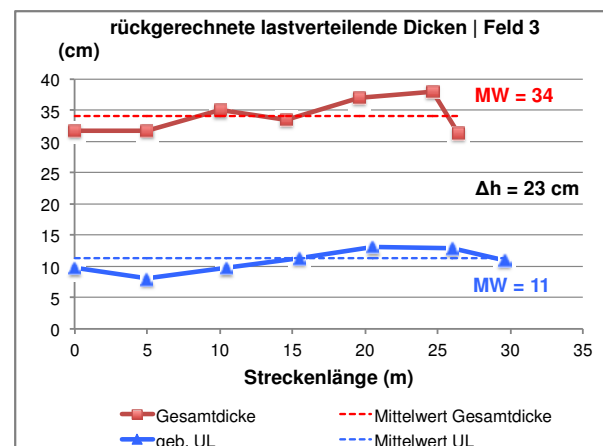
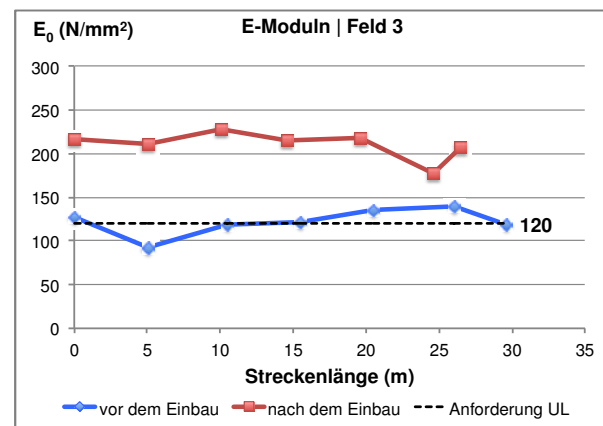


Bild 53: E -Moduln und rückgerechnete lastverteilende Dicken an Versuchsfeld 3

Feld 4 – 18 cm AC 32 T S auf geb. Unterlage

Die Tragfähigkeitsmessung auf der gebundenen Unterlage von Versuchsfeld 4 ergab annähernd konstante E_0 -Moduln der ungebundenen Schicht im Bereich des E_{v2} -Anforderungswertes von 120 N/mm^2 . Die Unterlage war also zum Überbau geeignet.

Mit der zugrunde gelegten, tatsächlichen Dicke der vorhandenen Asphalttschicht von $11,3 \text{ cm}$ konnte deren E_1 -Modul zu ca. 2.300 N/mm^2 ($T = 11 \text{ }^\circ\text{C}$) rückgerechnet werden. Dieser Wert liegt (ebenso wie bei Feld 3) deutlich unterhalb der typischen Verformungsmoduln von Asphalttragschichten.

Nach dem Einbau ergibt sich ein E_0 -Modul der ungebundenen Schicht von ca. 200 N/mm^2 . Analog zu Feld 3 ist der Anstieg im Vergleich zu den Messergebnissen vor dem Einbau auf die Ungenauigkeit des zugrundeliegenden Modells bzw. Messverfahrens zurückzuführen.

Unter Annahme eines E_1 -Moduls von 1.600 N/mm^2 ($T = 30^\circ\text{C}$) wurde die lastverteilende Dicke der Gesamtbefestigung auf ca. $27,9 \text{ cm}$ rückgerechnet. Nach Abzug der bekannten Dicke der gebundenen Unterlage verbleibt eine Restdicke des Tragschichtaufbaus von $16,6 \text{ cm}$. Diese liegt unterhalb der an den Bohrkernen festgestellten Dicke von $18,6 \text{ cm}$, was zum einen auf die rechnerische Homogenisierung von vorhandener Unterlage und neuem Aufbau zurückzuführen ist (s.o.). Bei einer zweischichtigen Betrachtung muss das Ergebnis für die Schichtdicke der neu eingebauten Tragschicht höher liegen. Zum anderen hat sich bei der labortechnischen Untersuchung gezeigt, dass der Schichtenverbund zwischen gebundener Unterlage und neuem Aufbau unzureichend ist. In diesem Fall wirkt die Gesamtbefestigung nicht mit ihrer ganzen Höhe, weshalb auch die Messergebnisse geringer ausfallen. Aufgrund der kleinen Absolutdifferenz kann jedoch unterstellt werden, dass der eingebaute Aufbau unter Voraussetzung eines besseren Schichtenverbundes ungefähr die gleiche Tragfähigkeit wie Praxisbeispiele auf hochbelasteten Straßen aufweist.

Schicht	Solldicke [cm]	Dicke rückgerechnet [cm]	Dicke am BK gem. [cm]
geb. UL	-	11,3	11,3
ATS 0/32	18,0	16,6	18,6

Tab. 11: Dicken der eingebauten Asphalttschichten an Versuchsfeld 4

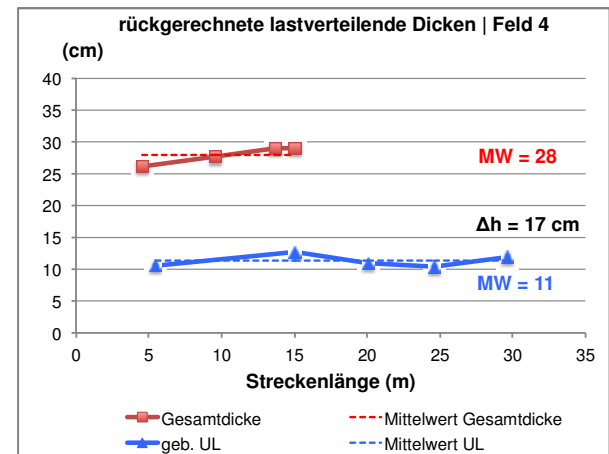
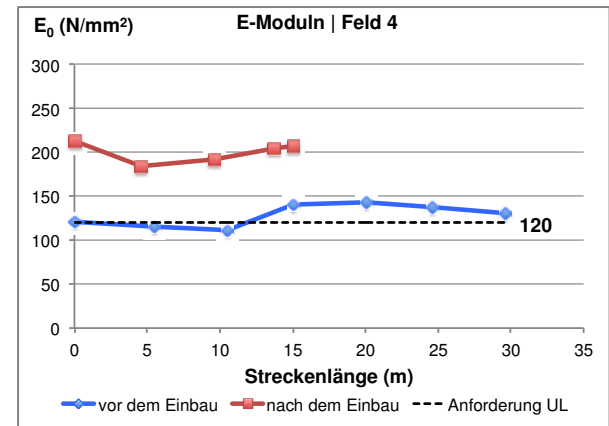


Bild 54: E_0 -Moduln und rückgerechnete lastverteilende Dicken an Versuchsfeld 4

Feld 6 – 12 cm AC 32 T S auf ungeb./geb. Unterlage

Versuchsfeld 6 verläuft sowohl über eine ungebundene, als auch über eine gebundene Unterlage. Der Wechsel zwischen beiden Arten der Unterlage befindet sich ca. 11 m hinter dem Stationierungsbeginn und äußert sich in einem Anstieg der E_0 -Werte (s. Bild 55). Untersuchungsgegenstand an Feld 6 war jedoch lediglich der Bereich mit befestigter Unterlage, da der unbefestigte Fall in Feld 1 bereits abgebildet ist. Für den befestigten Abschnitt konnten vor dem Einbau E_0 -Moduln von 130-220 N/mm². Die Unterlage wies also eine anforderungskonforme Tragfähigkeit für den Einbau auf.

Aus der tatsächlichen Dicke der vorhandenen Asphalterschicht von 9,5 cm konnte deren E_1 -Modul zu ca. 4.800 N/mm² ($T = 11\text{ °C}$) rückgerechnet werden. Die Ursache dafür, dass dieser Wert deutlich unterhalb der typischen Verformungsmoduln von Asphalttragschichten liegt, ist ebenso wie bei Feld 3 und 4 in der abweichenden Zusammensetzung und Alterungserscheinungen der gebundenen Unterlage zu sehen.

Der E_0 -Modul der ungebundenen Schicht nach dem Einbau liegt mit ca. 140-240 N/mm² nur geringfügig über den Werten vor dem Einbau. Im Vergleich zu den deutlichen Anstiegen bei den dickeren Überbauten auf Feld 3 und 4 scheint sich in vorliegendem Fall die Ungenauigkeit des zugrundeliegenden Modells bzw. Messverfahrens weniger verfälschend ausgewirkt zu haben. Ursächlich hierfür könnte die geringere Schichtdicke und somit auch geringere Steifigkeit des Aufbaus sein.

Mit einem geschätzten E_1 -Modul von 1.600 N/mm² ($T = 30\text{ °C}$) wurde eine lastverteilende Dicke der Gesamtbefestigung von 21,4 cm errechnet. Nach Subtraktion der gemessenen Dicke der vorhandenen Asphaltunterlage verbleibt eine Restdicke der neu eingebauten Schicht von 11,9 cm. Dieser Wert liegt geringfügig unterhalb der tatsächlichen Dicke von 12,7 cm. Mögliche Ursache ist auch hier die rechnerische Homogenisierung der Schichteigenschaften von vorhandener Unterlage und neuem Aufbau (s.o.). Es kann festgehalten werden, dass

der vorliegende Aufbau hinsichtlich seiner Tragfähigkeit insgesamt äquivalent zu typischen Asphaltbefestigungen höherer Belastungsklassen ist.

Schicht	Solldicke [cm]	Dicke rückgerechnet [cm]	Dicke am BK gem. [cm]
geb. UL	-	9,5	9,5
ATS 0/32	12,0	11,9	12,7

Tab. 12: Dicken der eingebauten Asphalterschichten an Versuchsfeld 6

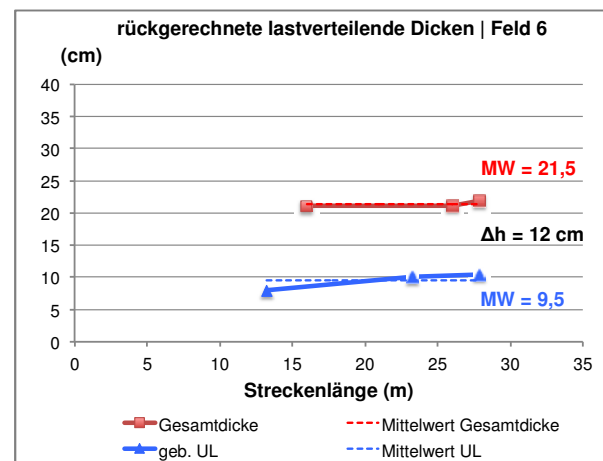
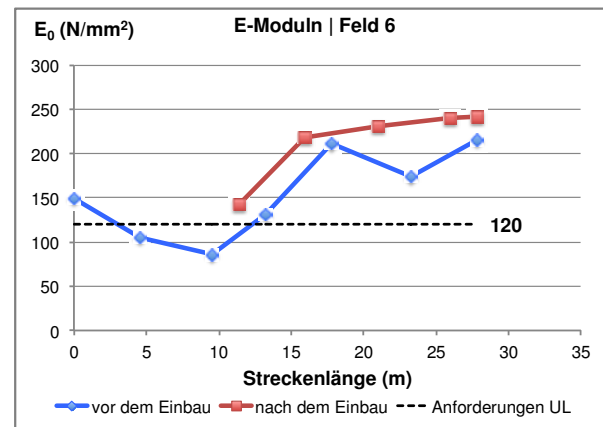


Bild 55: E_0 -Moduln und rückgerechnete lastverteilende Dicken an Versuchsfeld 6

Zusammenfassende Bewertung

Unter Berücksichtigung der Ungenauigkeiten des zugrundeliegenden Modells und Messverfahrens, sowie der Streubreite der zum Vergleich herangezogenen E-Moduln von Asphaltbefestigungen höherer Belastungsklassen konnte hinsichtlich der Tragfähigkeit eine hinreichend genaue Gleichwertigkeit zwischen der modifizierten Kompaktasphaltbauweise und konventionellen Bauweisen für vergleichbare Anwendungsfälle festgestellt werden. Maßgebend waren hier die geringen Abweichungen zwischen den tatsächlich gemessenen und den errechneten Schichtdicken am Bohrkern.

5.4.2 Längsebenheit

Zur Erfassung der Längsebenheiten der Versuchsfeld-Unterlagen und der eingebauten Schichten wurden jeweils zwei Messfahrten mit einem Planographen durchgeführt. Als Referenzstationierung für eine korrekte Überlagerung der Messlinien vor und nach dem Einbau diente die in situ angebrachte Absteckung der Versuchsfelder. Die Unterlagen wurden über die komplette Länge der jeweiligen Absteckungen aufgenommen, die eingebauten Schichten über ihre tatsächliche Länge. Da im Ein- und Ausfahrbereich des Fertigers bei freistehend eingebauten Asphaltpaketen deutliche Unebenheiten zu erwarten sind, wurden Abschnitte von 5 m Länge am Anfang und Ende der Messstrecken von der Ergebnisinterpretation ausgenommen. In nachstehenden Diagrammen wird dies durch die farblich zurückgesetzten Bereiche kenntlich gemacht.

Feld 1

Versuchsfeld 1 bildet den Neubau einer konventionellen Asphalttragschicht auf einer ungeb. Unterlage ab. Die Längsebenheit der ungeb. Unterlage verläuft weitgehend im Rahmen der hier anzuwendenden Toleranzen nach ZTV SoB-StB (04/07) (2.3.4.4). Der Grenzwert von 20 mm

wird lediglich an einer Stelle zu Beginn der Messstrecke um 2 mm überschritten. An der Oberfläche der bitumengebundenen Tragschicht AC 32 T S wurden keine Überschreitungen des für den Neubau relevanten Grenzwertes von 10 mm gemäß ZTV Asphalt-StB (07/13) (4.2.5) festgestellt. Die Unebenheiten der Unterlage korrelieren mit der Oberflächenebenheit.

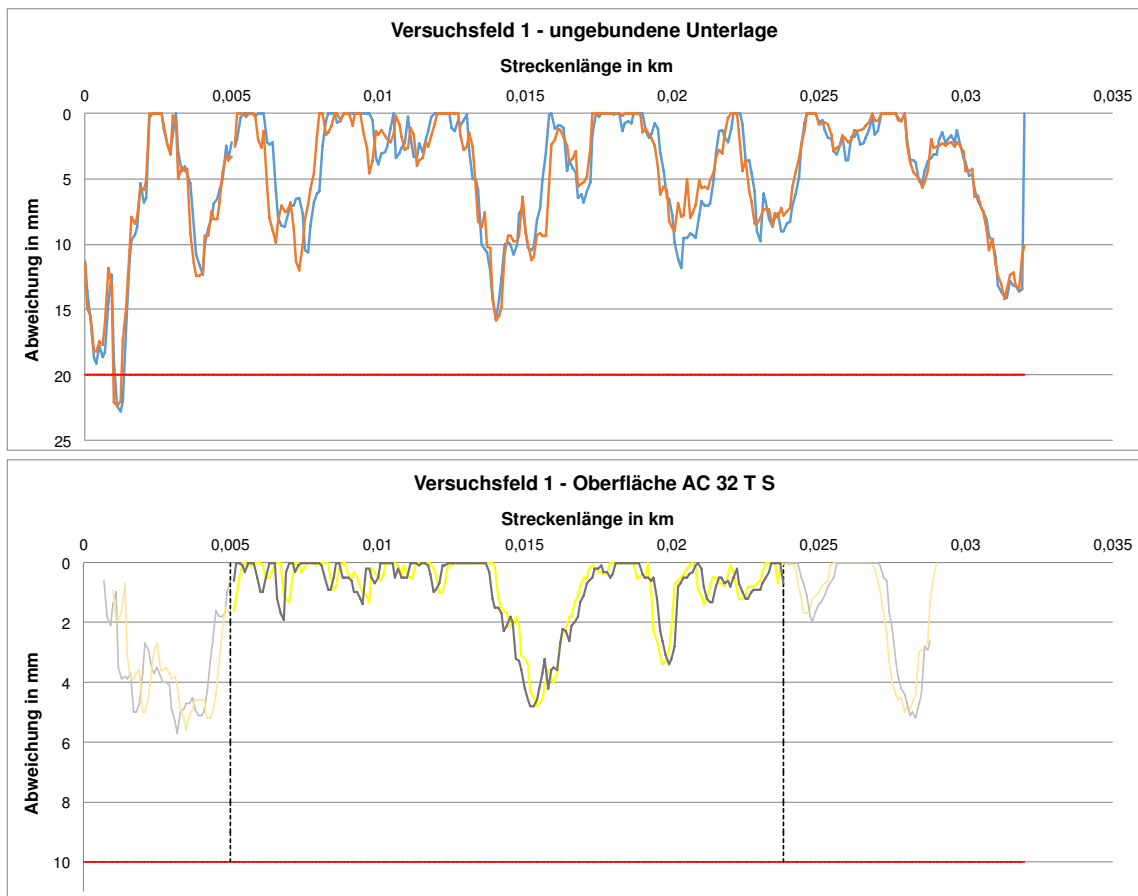


Bild 56: Längsebenheit der Unterlage und des Einbauergebnisses auf Versuchsfeld 1

Feld 2

An Versuchsfeld 2 wurde der Neubau einer Asphaltstraße in modifizierter Kompaktasphaltbauweise auf einer ungebundenen Unterlage erprobt. An der Unterlage konnten zwei örtlich begrenzte Überschreitungen des nach Regelwerk maßgebenden Anforderungswertes von 20 mm um jeweils ca. 2 mm verzeichnet werden. Für die Oberfläche der Kompaktasphalt-Deckschicht im Neubau gilt nach ZTV Asphalt-StB (07/13) (4.2.5) ein Grenzwert von 6 mm, da selbige direkt auf der zugehörigen Tragschicht eingebaut wurde.

Dieser Wert wird von keinem Einzelwert überschritten. Auch der Grenzwert von 4 mm für eine auf einer Binderschicht eingebaute Deckschicht wird durchgängig eingehalten. Eine Korrelation zwischen Störungen auf der Unterlage und Unebenheiten auf der Deckschicht ist nicht zu erkennen. Unter Berücksichtigung der Unebenheiten der Unterlage, der großen Dicke des einzügig eingebauten Asphaltpaketes und des bis zu diesem Zeitpunkt unbekanntem Verhaltens des Asphalt bei der Walzverdichtung, kann das erzielte Längsebenheitsergebnis als positiv herausgestellt werden.

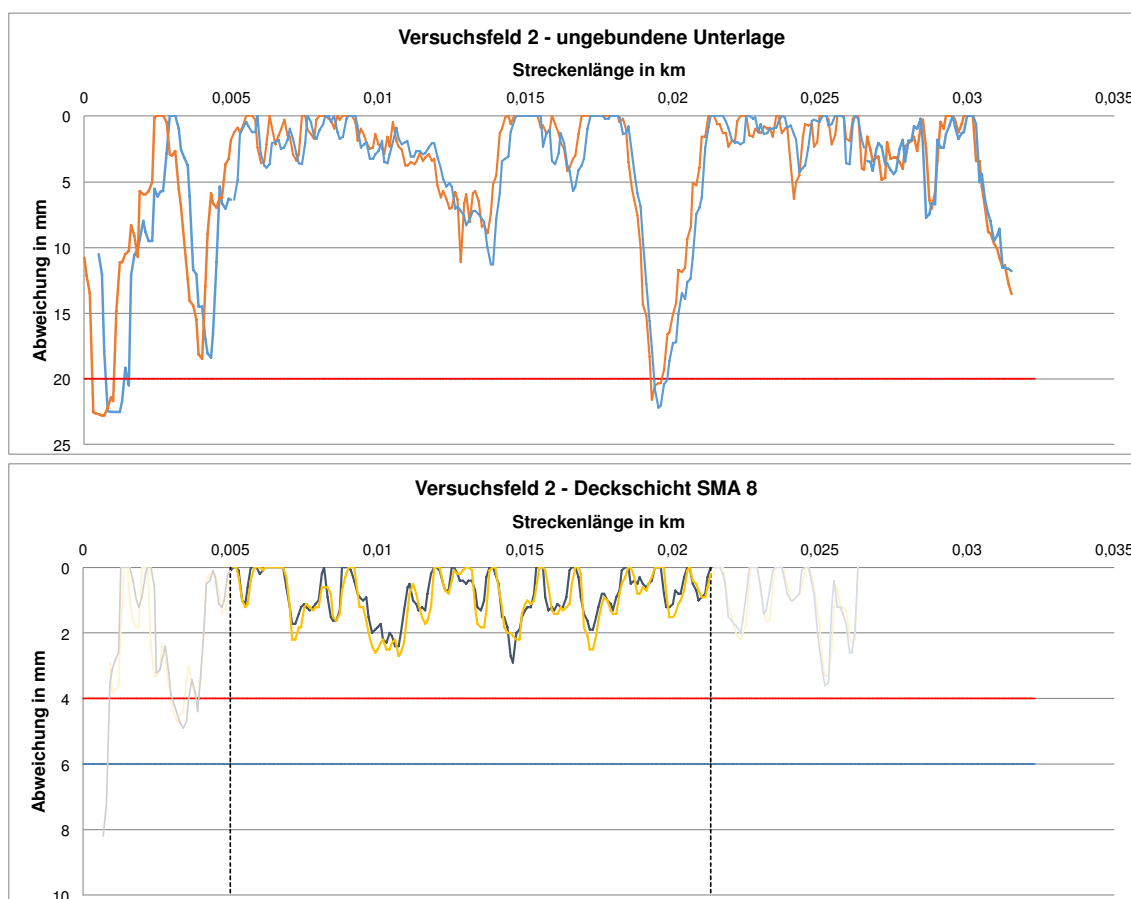


Bild 57: Längsebenheit der Unterlage und des Einbauergebnisses auf Versuchsfeld 2

Feld 3

Der Einbau auf Versuchsfeld 3 wurde auf einer Asphaltunterlage durchgeführt und stellt den Anwendungsfall einer Erneuerung bei teilweisem Ersatz der vorhandenen Schichten in Kompaktasphaltbauweise dar. Die Erfassung der Längsebenheit der bestehenden Schicht zeigte keine signifikanten Überschreitungen des üblichen Grenzwertes von 10 mm nach ZTV

BEA-StB (09) (4.2.4) bzw. ZTV Asphalt-StB (07/13) (4.2.5). Die Längsebenheit der Kompaktasphalt-Deckschicht verläuft konstant unterhalb des Grenzwertes von 6 mm bzw. 4 mm (ebd.). Störungen auf der Unterlage haben sich nicht in der Ebenheit der Deckschicht abgezeichnet. Das erzielte Längsebenheitsergebnis des Kompaktasphaltaufbaus fällt (wie an Versuchsfeld 2) positiv auf.

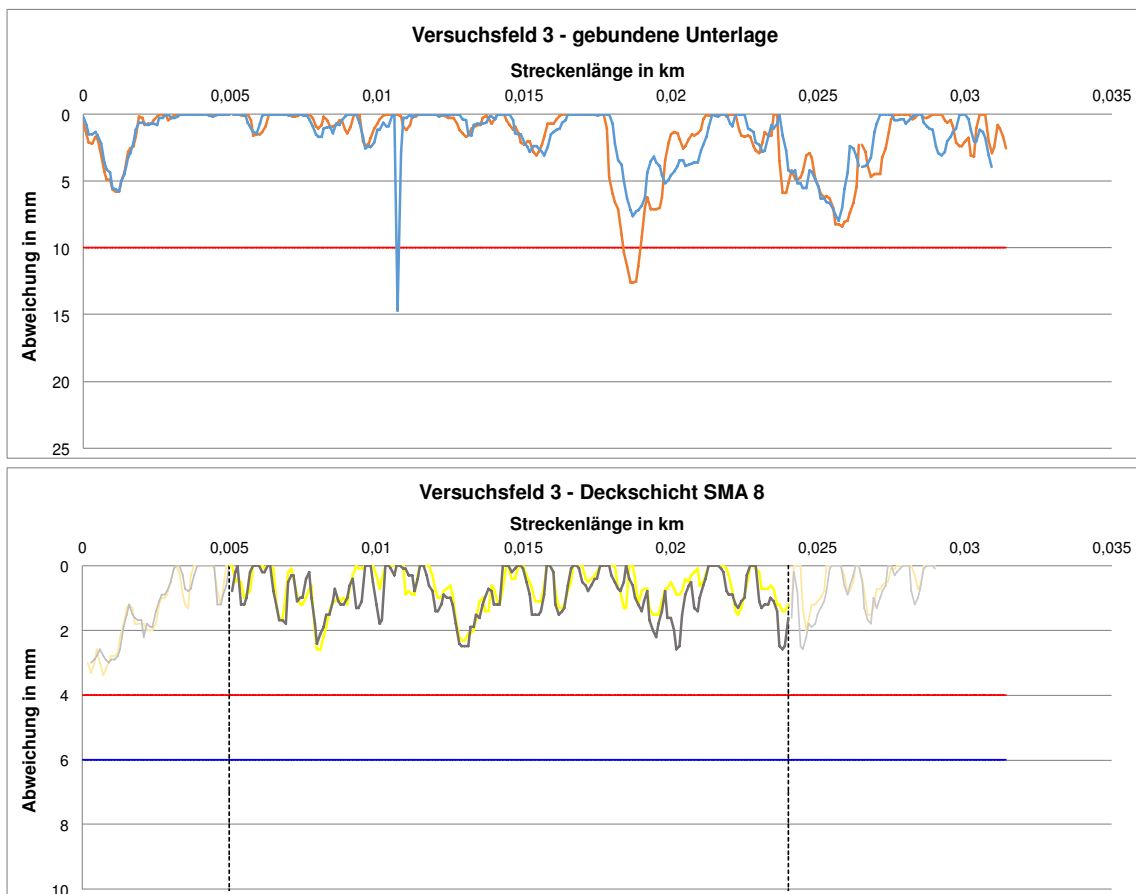


Bild 58: Längsebenheit der Unterlage und des Einbauergebnisses auf Versuchsfeld 3

Feld 4

Versuchsfeld 4 bildet den Fall einer Erneuerung der Befestigung bei teilweisem Ersatz der vorhandenen Schichten in konventioneller Bauweise (Einbaudicke 18 cm) ab. Die bitumengebundene Unterlage zeigte eine deutliche Unebenheit in Längsrichtung auf einer Breite von ca. 5 m. Diese Unebenheit bewegt sich im Bereich des relevan-

ten Grenzwertes von 10 mm (ZTV BEA-StB (09) (4.2.4) bzw. ZTV Asphalt-StB (07/13) (4.2.5)). Ein vollständiges Überbauen der identifizierten Mulde mit konventionellem Tragschichtmischgut AC 32 T S fand nicht statt, sodass das charakteristische Ebenheitsbild dieser Unterlagenstörung an der Oberfläche nicht nachgewiesen werden kann.

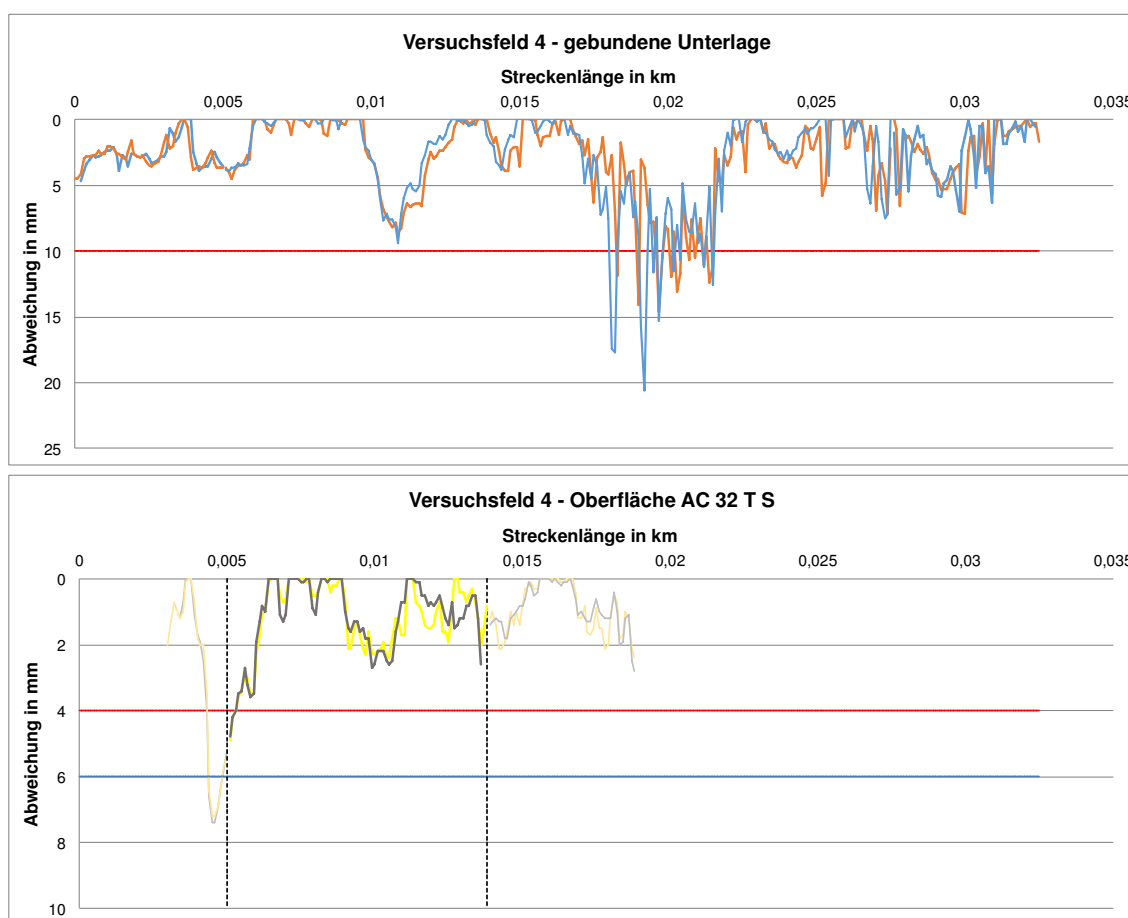


Bild 59: Längsebenheit der Unterlage und des Einbauergebnisses auf Versuchsfeld 4

Feld 5

Die Längsebenheit auf Versuchsfeld 5 wurde nicht untersucht, da es der Erprobung unterschiedlicher FertigerEinstellungen diene und somit keine repräsentativen Vergleichsergebnisse liefert.

Feld 6

An Feld 6 wurde wie bereits an Feld 4 die Erneuerung der Befestigung bei teilweisem Ersatz der vorhandenen Schichten in konventioneller Bauweise simuliert. Hier wurden jedoch nur 12 cm neuen Tragschichtmischguts eingebaut. Das Feld weist zwei unterschiedliche Unterlagen auf. Das kürzere Teilstück gründet auf einer ungeb. Unterlage, das längere auf einer bitumengeb. Schicht. Auf beiden Teilstücken werden die erforderlichen

Ebenheitstoleranzen von 20 mm bzw. 10 mm (ZTV SoB-StB (04/07) (2.3.4.4), bzw. ZTV BEA-StB (09) (4.2.4) und ZTV Asphalt-StB (07/13) (4.2.5)) partiell überschritten. Der maßgebende Untersuchungsbereich an der Oberfläche der Tragschicht AC 32 T S zeigt keine Überschreitungen des Grenzwertes von 10 mm (ebd.), jedoch ist im Einfahrbereich des Fertigers eine Übereinstimmung von Längsunebenheiten der Unterlage mit solchen an der Tragschichtoberfläche ersichtlich.

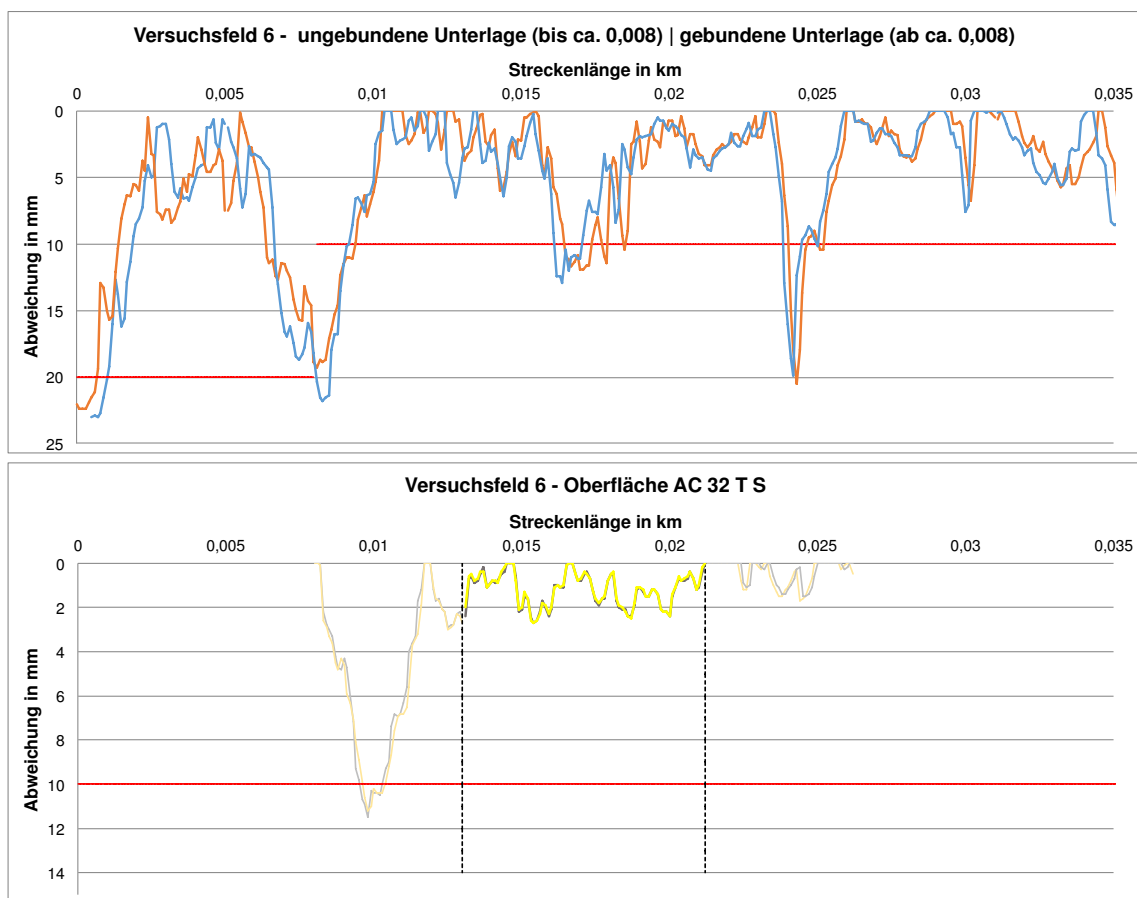


Bild 60: Längs ebenheit der Unterlage und des Einbauergebnisses auf Versuchsfeld 6

Zusammenfassende Bewertung

Die Untersuchungen der Längs ebenheit haben aufgezeigt, dass mit dicken Kompaktasphaltbefestigungen die Anforderungen des Regelwerkes zuverlässig eingehalten werden können. Selbst auf Unterlagen, die Unebenheiten jenseits der Regelwerkstoleranzen aufzeigen, sind keine eindeutigen Korrelationen mit Oberflächenstörungen auszumachen. Da die konventionell

ausgeführten Referenzfelder nicht mit einer Binder- und Deckschicht versehen wurden, kann kein direkter Vergleich zwischen beiden Bauweisen angestellt werden. Erfahrungsgemäß weisen jedoch mehrlagig eingebaute Aufbauten ebenfalls gute Längs ebenheitsergebnisse auf.

5.4.3 Querebenheit

Die Querebenheit der Decke wurde lediglich an den Kompaktasphaltpfeldern 2 und 3 untersucht, da die Referenzfelder ohne Deckschicht eingebaut wurden. Je Feld wurden dabei in Abständen von 5 m Querprofile mittels 4m-Latte nach den TP Eben (07) - Berührende Messungen erfasst. Das erste Querprofil wurde jeweils 1 m hinter dem Ansatz des Feldes, also noch innerhalb der Einlaufzone aufgenommen.

Nach den ZTV Asphalt-StB (07/13) (4.2.5, Tab. 25) sind für die Bauweise Deckschicht auf Tragschicht innerhalb der 4 m langen Messtrecke Unebenheiten bis zu 6 mm zulässig. Da die eingebaute Tragschicht jedoch auch Bindereigenschaften gewährleistet, sollte ein Grenzwert von 4 mm angesetzt werden (Deckschicht auf Binder-schicht).

In Feldmitte wurden die Anforderungen zuverlässig eingehalten. Hier waren Unebenheiten von maximal 2 mm zu verzeichnen. An den Rändern der Befestigung nahmen die Unebenheitsmaße deutlich zu. Dies gilt insbesondere für den rechten Rand, an welchem 21 mm (Feld 2) bzw. 17 mm (Feld 3) gemessen werden konnten. Es ist anzunehmen, dass eine mangelnde Vorverdichtung der Kanten durch den Fertiger zu einer unzureichenden Stabilität der Randbereiche von dicken Asphaltbefestigungen führt. Beim Walzübergang reicht die vorhandene Widerlagerwirkung nicht aus, um ein Absacken der Randbereiche unter der schweren Walzauflast zu verhindern. Diese Beobachtungen waren Grundlage zur Konzeption eines speziellen Kantenverdichtungsmoduls.

Für eine anschauliche Darstellungsweise der Querebenheiten (siehe nachfolgende Grafiken) wurden die Werte zwischen den messtechnisch erfassten Querprofilen interpoliert und Flächen mit gleichem Unebenheitsmaß identifiziert. Die Darstellungen stellen die Draufsicht auf die jeweiligen Versuchsfelder dar, wobei Bereiche mit Unebenheiten > 4 mm farblich markiert wurden. Mit zunehmender Intensität der Rottöne steigt auch die gemessene Unebenheit.

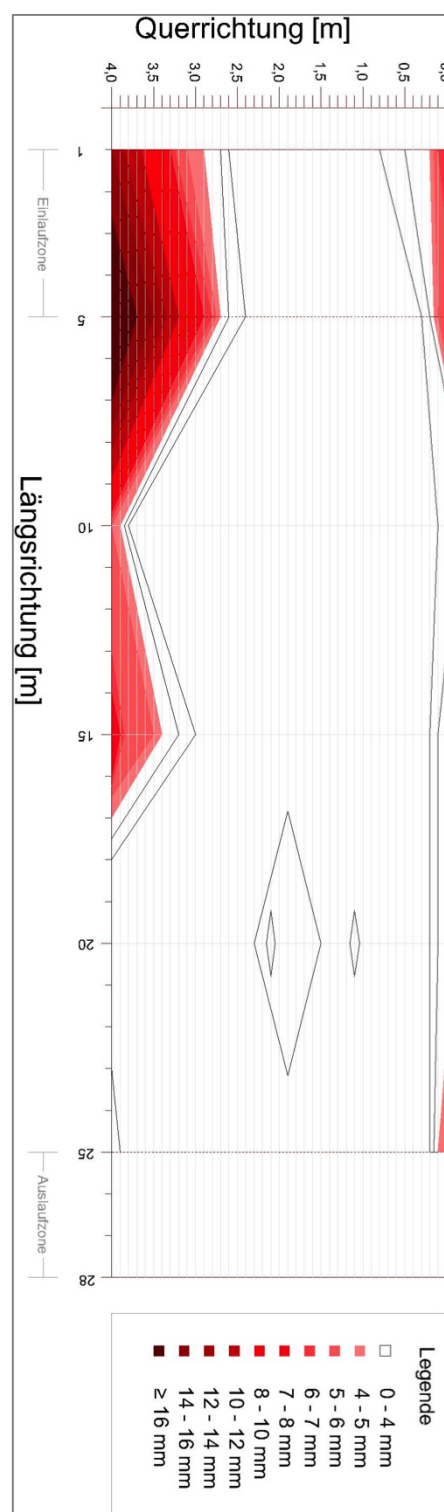


Bild 61: Querebenheit an der Deckschicht von Feld 2 (Draufsicht)

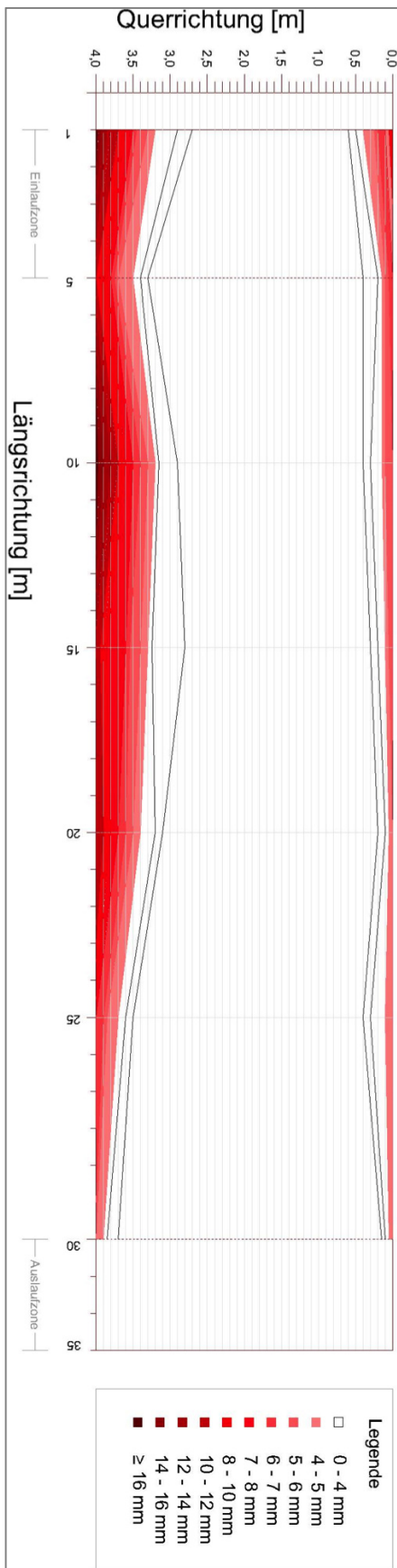


Bild 62: Querebenheit an der Deckschicht von Feld 3 (Draufsicht)

5.4.4 Schichtdicken (am Bohrkern)

Zum Vergleich der tatsächlich eingebauten Schichtdicken mit den Sollschichtdicken wurden die Bohrkern aufgemessen.

Feld 1

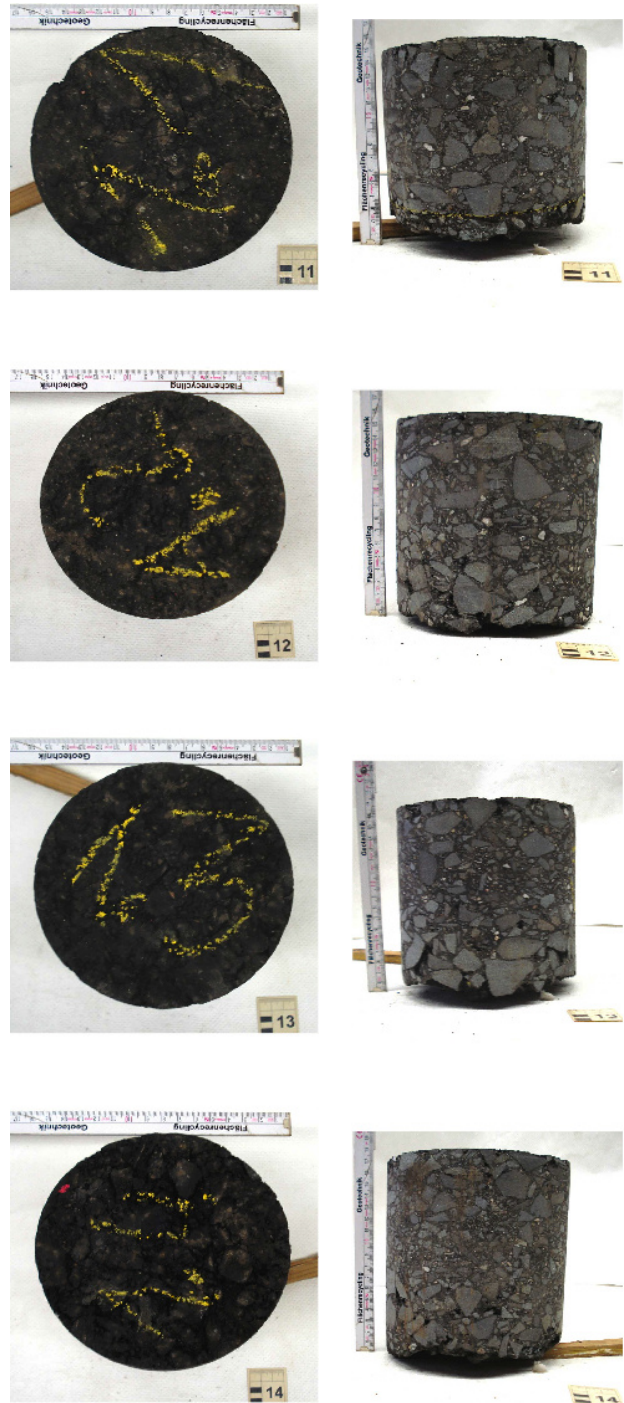


Bild 63: Bohrkern Versuchsfeld 1(11-14)



Bild 63: Forts. (Bohrkerne 15-16)

Schicht	Sollstärke [cm]	Dicke am BK gem. [cm]	Differenz
ATS 0/32	12,0	14,4	+ 2,4

Tab. 13: Schichtdicken an den Bohrkernen von Versuchsfeld 1 (Mittelwerte)

Das Mischgut AC 32 T S zeigte auf Feld 1 mit ungebundener Unterlage teilweise Entmischungen im Sinne von Grobkornanhäufungen an der Schichtunterseite (z.B. BK 1.3 und 1.6). Dies wird auch in der Praxis gelegentlich beobachtet.

Feld 2

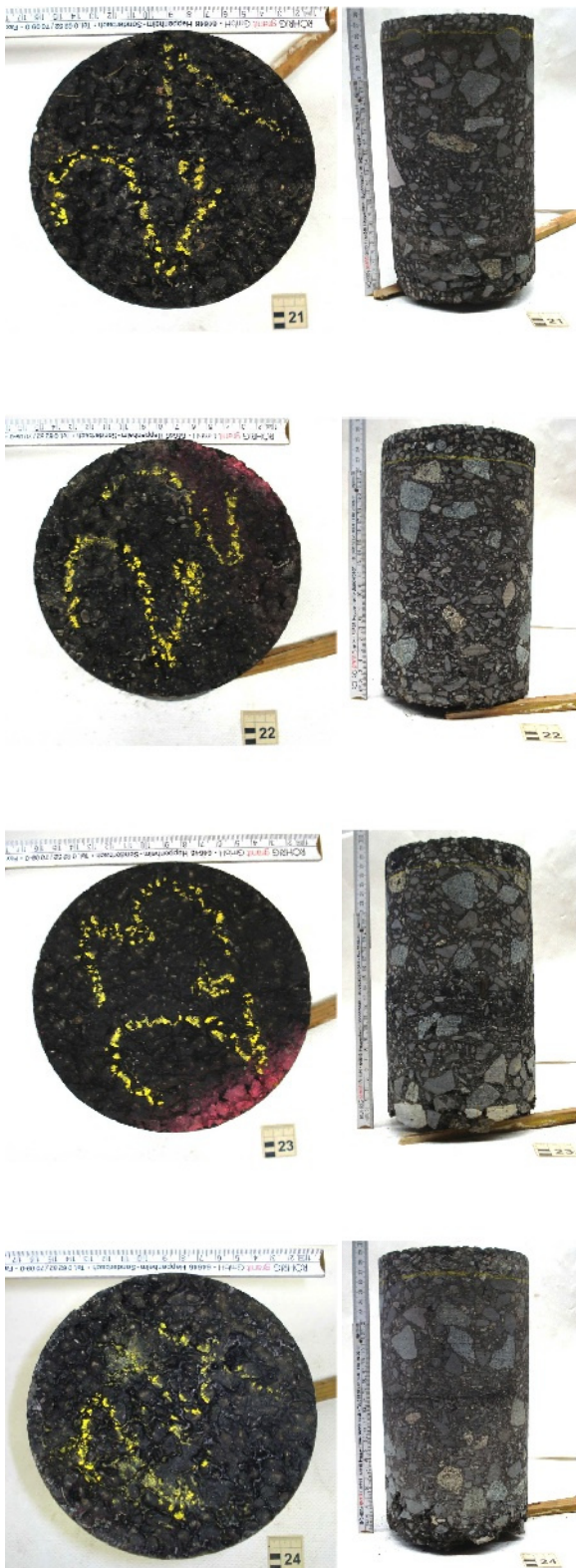


Bild 64: Bohrkern Versuchsfeld 2

Schicht	Solldicke [cm]	Dicke am BK gem. [cm]	Differenz
SMA 8 S	2,0	2,5	+ 0,5
AB/TS 0/45	20,0	21,4	+ 1,4

Tab. 14: Schichtdicken an den Bohrkernen von Versuchsfeld 2 (Mittelwerte)

Das Mischgut AC 45 B/T S zeigte auf Feld 2 mit ungebundener Unterlage (im Gegensatz zu AC 32 T S auf Feld 1) keine auffälligen Entmischungen.

Feld 3

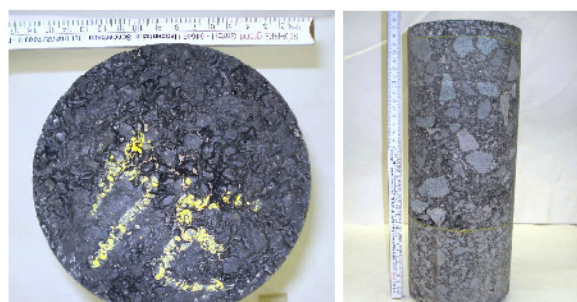
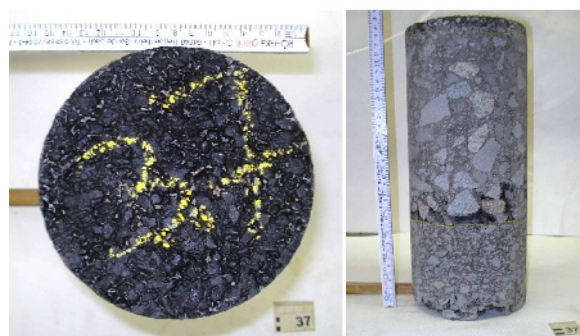
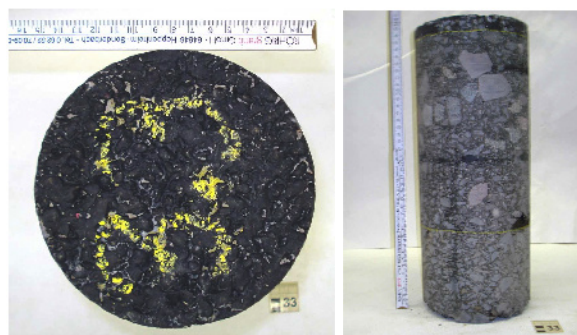
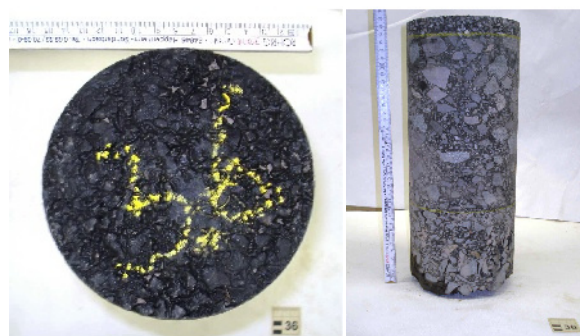
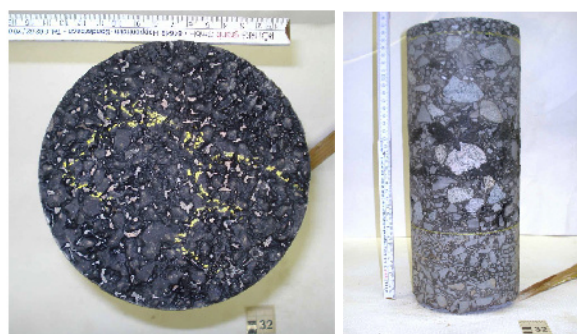
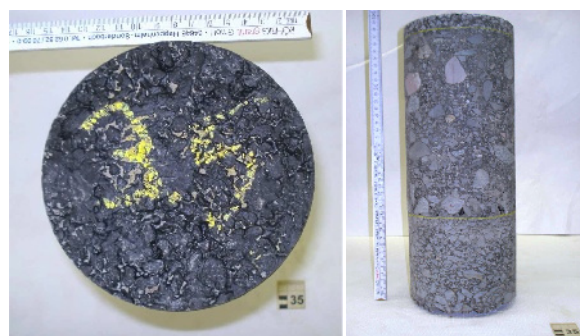
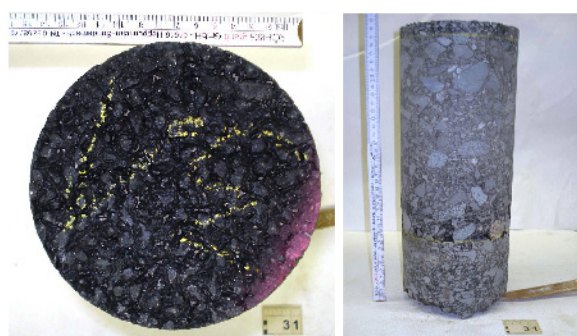


Bild 65: Bohrkern Versuchsfeld 3

Schicht	Solldicke [cm]	Dicke am BK gem. [cm]	Differenz
SMA 8 S	2,0	1,7	- 0,3
AB/TS 0/45	22,0	22,9	+ 0,9
geb. UL	-	11,3	-

Tab. 15: Schichtdicken an den Bohrkernen von Versuchsfeld 3 (Mittelwerte)

Auf Feld 3 mit gebundener Unterlage zeigten sich an den BK 3.1 und 3.7 Inhomogenitäten (Hohlraumreicherungen) an der Schichtunterseite des Mischguts AC 45 B/T S. Hier war der Schichtenverbund niedriger als an den anderen BK, dennoch auf einem hohen Niveau (s. 5.4.5).

Feld 4

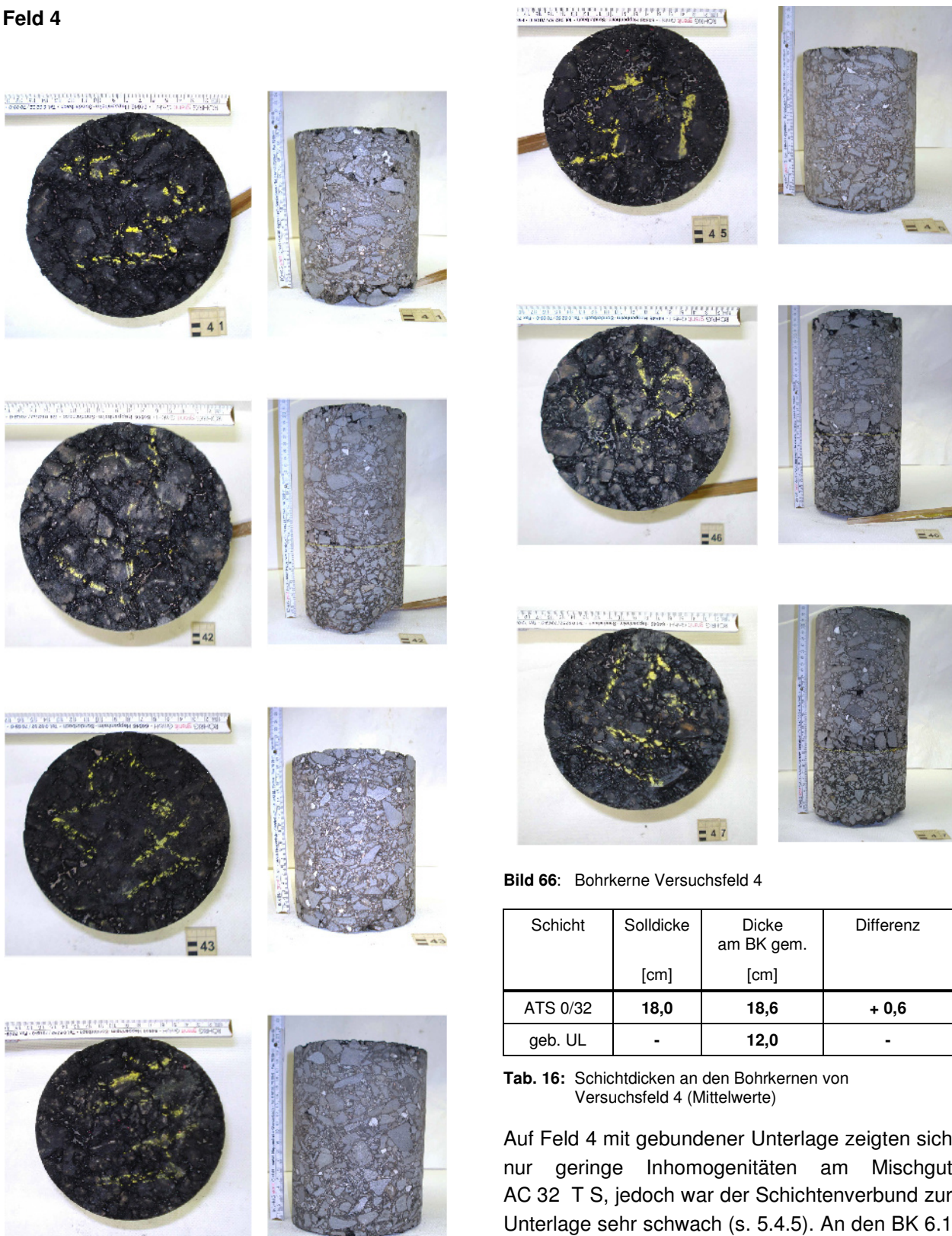


Bild 66: Bohrkern Versuchsfeld 4

Schicht	Sollstärke [cm]	Dicke am BK gem. [cm]	Differenz
ATS 0/32	18,0	18,6	+ 0,6
geb. UL	-	12,0	-

Tab. 16: Schichtdicken an den Bohrkernen von Versuchsfeld 4 (Mittelwerte)

Auf Feld 4 mit gebundener Unterlage zeigten sich nur geringe Inhomogenitäten am Mischgut AC 32 T S, jedoch war der Schichtenverbund zur Unterlage sehr schwach (s. 5.4.5). An den BK 6.1 und 6.3 - 6.5 lösten sich die Schichten schon beim Bohrvorgang. Ursächlich könnte eine Verschmutzung der Unterlage gewesen sein.

Feld 6

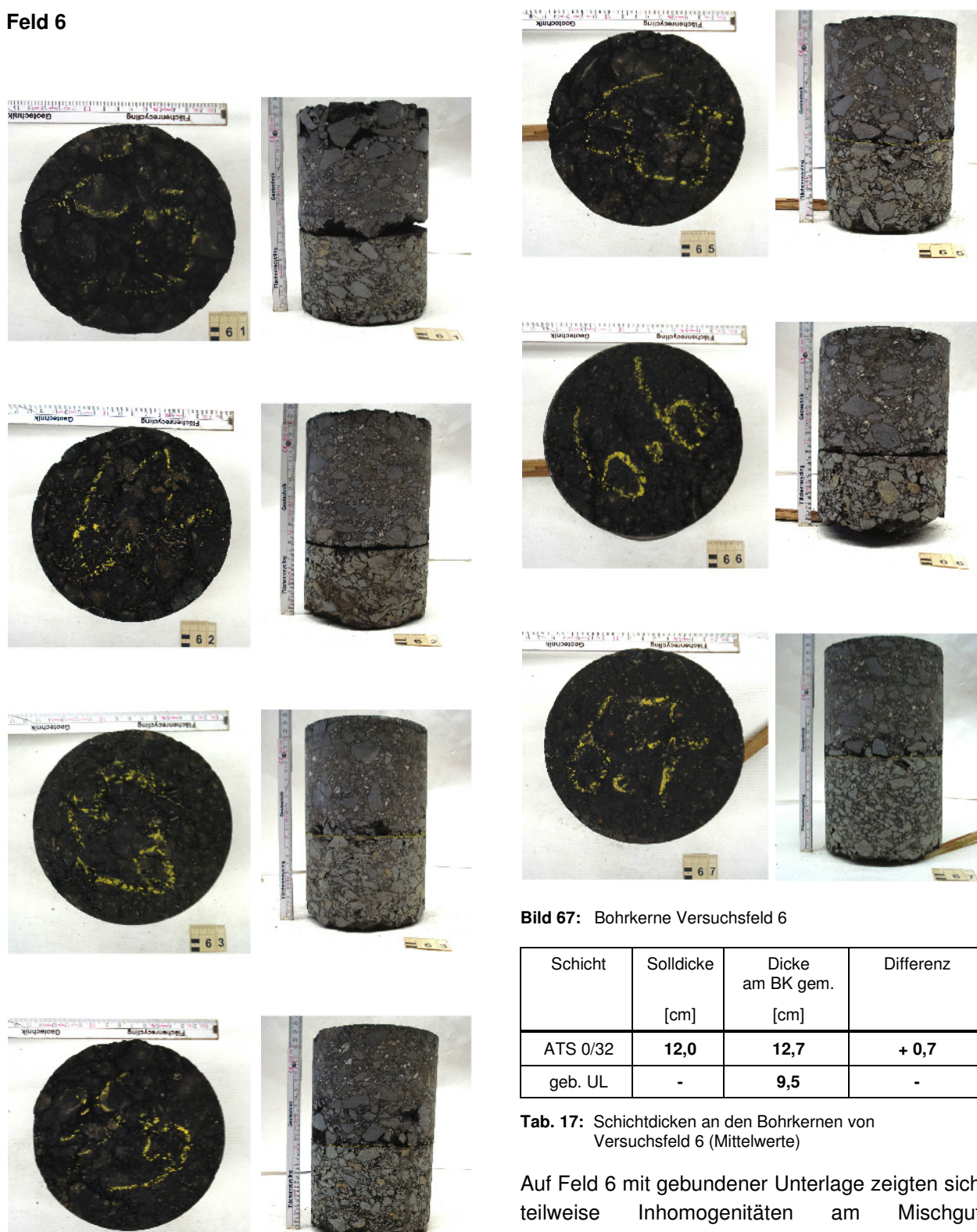


Bild 67: Bohrkern Versuchsfeld 6

Schicht	Solldicke [cm]	Dicke am BK gem. [cm]	Differenz
ATS 0/32	12,0	12,7	+ 0,7
geb. UL	-	9,5	-

Tab. 17: Schichtdicken an den Bohrkernen von Versuchsfeld 6 (Mittelwerte)

Auf Feld 6 mit gebundener Unterlage zeigten sich teilweise Inhomogenitäten am Mischgut AC 32 T S (z.B. BK 6.1 oben und 6.3 - 6.4 unten). Der Schichtenverbund zur Unterlage war sehr schwach (s. 5.4.5). Ursächlich könnte auch hier eine Verschmutzung der Unterlage gewesen sein.

Es fällt auf, dass die Solldicken auf den Feldern mit gebundener Unterlage zuverlässiger erreicht werden, als auf jenen mit ungebundener Unterlage. Dies trifft sowohl auf die Referenztragschicht AC 32 T S als auch auf die dicken Schichten aus AC 45 B/T S zu. Zudem konnte festgestellt werden, dass bei der modifizierten Kompaktasphaltbauweise die Trag- und Deckschichthöhen nur geringfügige Streuungen aufweisen. Die endgültigen Schichtdicken der Tragschicht liegen im Bereich zulässiger Abweichungen von den Solldicken, tendenziell jedoch ca. 1 cm zu hoch. Das angesetzte Vorhaltemaß von +3,0 bis +3,5 cm kann für das Mischgut AC 45 B/T S also entsprechend niedriger angesetzt werden.

Auch hinsichtlich des Vorhaltemaßes der Deckschicht haben die Feldversuche neue Erkenntnisse aufgezeigt. Ein wesentlicher Vorzug der konventionellen Kompaktasphaltbauweise ist, dass durch den Einbau der zwei Schichten „heiß auf heiß“, ohne Befahrung der ersten Schicht, die Einbaudicke der Asphaltdeckschicht reduziert werden kann. Diese direkt auf Gebrauchseigenschaften optimierte Schicht wird üblicherweise in einer Dicke von 2 cm eingebaut. Bei der modifizierten Kompaktasphaltbauweise zeigte sich jedoch, dass der Überschneidungsbereich von Asphaltdeckschicht und Asphalttragschicht mit einem Größtkorn von 45 mm größer und unstetiger ist als bei der konventionellen Kompaktasphaltbauweise (siehe exemplarisch nachstehende Abbildung). Dies ist mit der grobkörnigen Materialzusammensetzung des Mischguts AC 45 B/T S zu begründen.

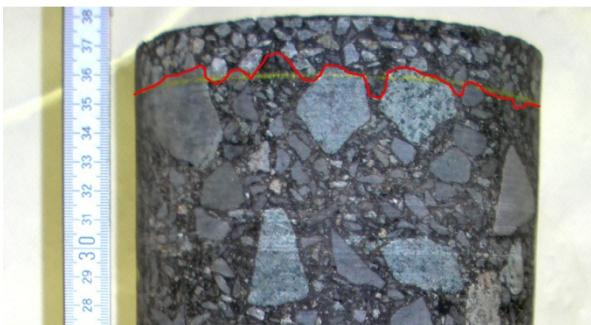


Bild 68: Beispiel für einen unsteten Übergangsbereich zwischen Deckschicht und Tragschicht.

Durch den vergrößerten Übergangsbereich dieser Bauweise werden bei der elektromagnetischen Schichtdickenmessung mit eingelegten Reflektoren geringere Werte für die Dicke der Asphaltdeckschicht angezeigt. Die so gemessenen Werte orientieren sich lediglich an den Spitzen des unstetigen Übergangsbereiches, geben jedoch die tatsächlich verschleißwirksame Schichtdicke wieder. In Anwendungsfällen, in denen besondere Anforderungen an eine flächendeckend einzuhaltende Mindestdicke der Deckschicht gestellt werden, sollte das Vorhaltemaß erhöht werden.

5.4.5 Schichtenverbund

Zur Bestimmung des Schichtenverbundes wurde das „Abscherverfahren nach Leutner“ angewandt. Je Station wurden zwei bis sechs Probekörper untersucht. Die Ergebnisse sind nachstehend aufgeführt.

SMA 8 S – AC 45 B/T S			AC 45 B/T S – geb. Unterlage			AC 32 T S – geb. Unterlage		
PK	̄ s	F	PK	̄ s	F	PK	̄ s	F
	[mm]	[kN]		[mm]	[kN]		[mm]	[kN]
2.4	7,0	35,5	3.1	1,6	11,8	4.2	0,2	9,2
2.5	7,5	36,3	3.2	2,1	26,7	4.6	2,6	11,1
3.1	7,0	26,8	3.3	1,6	18,3	4.7	1,6	16,8
3.2	7,0	35,9	3.4	2,3	27,2	6.3	1,2	6,4
3.3	7,0	36,3	3.5	2,2	31,7	6.4	1,0	9,8
3.4	8,0	32,1	3.7	1,4	12,2	6.5	2,2	9,6
3.5	7,0	34,0				6.7	4,0	17,5
3.7	7,0	27,3						
MW	7,19	33,0	MW	1,87	21,3	MW	1,83	11,5
̄	0,37	3,95	̄	0,38	8,42	̄	1,24	4,12
Var	0,14	15,60	Var	0,14	70,84	Var	1,54	17,01

Tab. 18: Ergebnisse des Abscherversuches getrennt nach Schichten und Versuchsfeldern

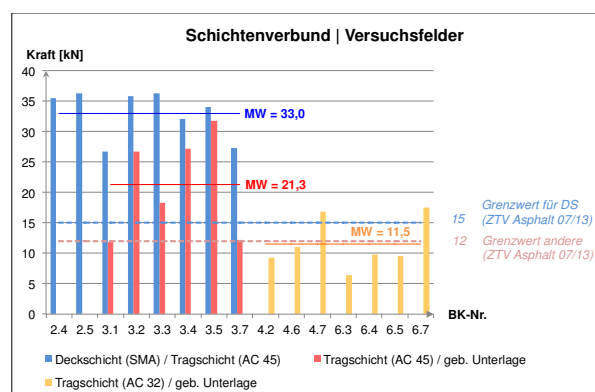


Bild 69: Grafische Darstellung der Ergebnisse des Abscherversuches getrennt nach Schichten

Es konnte festgestellt werden, dass der Schichtenverbund an den Schichtgrenzen innerhalb des Kompaktasphaltaufbaus höher ist als zwischen einer konventionellen Tragschicht AC 32 T S und der gebundenen Unterlage.

Ursächlich für den besseren Verbund sind vermutlich die Verwendung polymermodifizierten Bitumens und der Einbau „heiß auf heiß“ (zwischen Trag- und Deckschicht).

5.4.6 Mischgutuntersuchung

Die verwendeten Mischgutarten und -sorten wurden im Labor des Fachgebiets Straßenwesen der TU Darmstadt hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit den Erstprüfungsergebnissen untersucht. Da für die Fragstellung des vorliegenden Projektes die Ergebnisse der Referenztragschicht und der Deckschicht nicht relevant sind, werden sie nicht im Einzelnen wiedergegeben. Für das maßgebende Mischgut AC 45 B/T S konnten folgende Kennwerte ermittelt werden.

Bindemittelart/-sorte		PmB 25/55-55
Bindemittelgehalt	M.-%	4,3
EPRuK	°C	69,4
Mischgutrohddichte	g/cm ³	2,672
Raumddichte am MPK	g/cm ³	2,497
Hohlraumgehalt ber.	Vol.-%	6,5

Tab. 19: Kennwerte des Einbaumischguts AC 45 B/T S

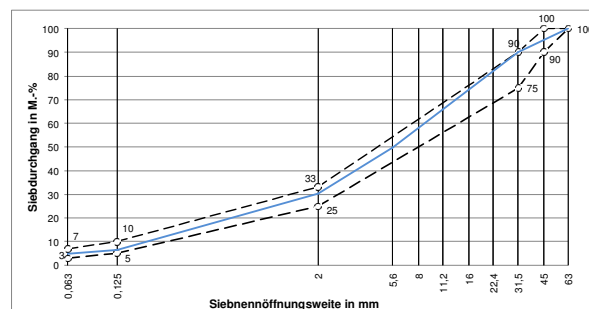


Bild 70: Sieblinien AC 45 B/T S Einbaumischgut

Das untersuchte Mischgut erfüllt die vordefinierten Anforderungswerte und ist konform mit den Ergebnissen der Erstprüfung. Es konnte somit (abweichend von den Ergebnissen der Probemischung) gezeigt werden, dass die großtechnische Herstellung eines Mischguts mit einem Größtkorn von 45 mm möglich ist.

5.4.7 Verdichtungsgrade

Neben dem konventionell bestimmten und üblicherweise abnahmerelevanten Verdichtungsgrad der Gesamtschicht ist bei großen Schichtdicken besonders der Verlauf des Verdichtungsgrades über die Tiefe interessant. Das Mischgut muss auch an der Schichtunterseite ausreichend verdichtet sein, um einerseits die dort auftretenden Spannungen aufnehmen zu können, andererseits um einen ausreichenden Schichtenverbund zu gewährleisten.

Um die Entwicklung der Verdichtungsgrade mit zunehmender Tiefe messen zu können, wurden die untersuchten Bohrkerns in zwei bzw. drei Scheiben zu je ca. 6 cm Dicke geteilt. An den einzelnen Scheiben wurde dann der jeweilige Verdichtungsgrad bestimmt. Da die so gemessenen Werte den Mittelwert einer jeden Scheibe beziffern, wurden in nachstehendem Diagramm die Messwerte stets in der Mitte der zugehörigen Scheibe verortet.

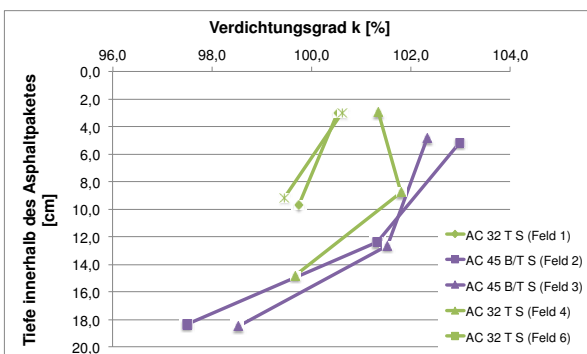


Bild 71: Verdichtungsgrade über die Tiefe innerhalb des Asphaltpaketes

Es zeigt sich, dass an den dicken Schichten aus dem Mischgut AC 45 B/T S hohe Verdichtungsgrade (bis 103,0 %) im oberen Schichtbereich festgestellt werden können. Die Werte verringern sich mit zunehmender Tiefe zunächst wenig, ehe sie einen deutlicheren Abfall zur Schichtunterseite hin zeigen. Hier wurde der ungünstigste Wert zu 97,5 % bestimmt. Die zugehörigen Bohrkerns (Felder 2 und 3) zeigen demgemäß partiell auch erhöhte Hohlraumgehalte an der Schichtgrenze zur Unterlage. Über die Höhe gemittelt liegen die Verdichtungsgrade der dicken Schichten bei ca. 100 %.

An den 12 cm dicken Referenzfeldern mit dem Tragschichtmischgut AC 32 T S fallen die Verdichtungsgrade im oberen Schichtbereich deutlich geringer aus (ca. 100,5 %) und sinken zur Schichtunterseite auf ca. 99,5 % ab. Der Abfall des Verdichtungsgrades pro Tiefeneinheit ist ungefähr gleich groß wie in den entsprechenden Abschnitten der Kurven der Kompaktasphaltaufbauten. Der über die Höhe gemittelte Verdichtungsgrad liegt auch hier bei ca. 100 %.

Einen abweichenden Verlauf zeigt die Kurve für das 18 cm dicke Referenzfeld mit dem Tragschichtmischgut AC 32 T S (Feld 4). Hier ist eine leichte Zunahme des Verdichtungsgrades von 101,3 % (oben) auf 101,8 % in der Schichtmitte zu beobachten, ehe ein Abfall auf 99,7 % an der Schichtunterseite nachzuweisen ist. Der gemittelte Verdichtungsgrad liegt mit 101,1 % im hohen Bereich.

Es ist anzumerken, dass die geringeren Verdichtungsgrade an den 12 cm dicken Feldern 1 und 6 auf den lediglich dreifachen dynamischen Walzübergang zurückzuführen sind, während die besonders dicken Tragschichten vierfach dynamisch gewalzt wurden. Ferner muss berücksichtigt werden, dass die zugrundeliegenden Marshall-Probekörper mit einem Durchmesser von 150 mm keine optimale Referenzverdichtung besonders grobkörniger Mischgüter zulassen. Der begrenzte Verdrängungsraum in der Probekörperform bewirkt mutmaßlich etwas zu geringe Raumdichten und damit auch tendenziell zu hohe Verdichtungsgrade. Dies lässt sich auch durch Kornzertrümmerungserscheinungen an der Probekörperoberfläche bestärken (siehe Bild 8). Die hierdurch absorbierte Energie steht dem Verdichtungsprozess nicht mehr zur Verfügung.

5.5 Erkenntnisse aus den Versuchsfeldern

Die Erprobung von Mischgut mit einem Größtkorn von 45 mm unter realen Einbaubedingungen lieferte einige grundlegende Erkenntnisse für spätere Einbauvorhaben und mögliche Anknüpfungspunkte für vertiefte Forschungsfragen. Hierzu zählen insbesondere folgende Feststellungen:

- Das konzipierte Mischgut AC 45 B/T S lässt sich großtechnisch und erstprüfungskonform herstellen.
- Der gleichzeitige Einbau einer dicken Tragschicht (20-22 cm) und einer dünnen Deckschicht (2,0-2,5 cm) in Kompaktasphaltbauweise ist möglich.
- Die Tragfähigkeit entspricht jener von konventionellen Aufbauten hoher Belastungsklassen in gleicher Gesamtdicke.
- Eine ausreichende Ebenheit in Längsrichtung ist sicher herstellbar, in Querrichtung muss die Ebenheit der Ränder noch verbessert werden.
- Der Schichtenverbund zwischen Deck- und Tragschicht ist gut.
- Der Schichtenverbund zwischen Tragschicht und gebundener Unterlage ist unter gleichen Bedingungen höher als beim Mischgut AC 32 T S und liegt im guten Bereich.
- Über die gesamte Schichthöhe gemittelt lassen sich Verdichtungsgrade um 100 % erzielen.
- Bei der Beprobung des grobkörnigen Mischgutes ist besonders auf eine repräsentative Probenahme zu achten. Kleine Probemengen erhöhen das Risiko nichtrepräsentativer Versuchsergebnisse.
- Nicht alle gängigen Laborprüfverfahren sind für Mischgut mit einem Größtkorn von 45 mm geeignet. Zur Bestimmung der Rohdichte wären größere Pyknometer (für größere Probemengen) mit breiterer Einfüllöffnung vorteilhaft. Um einen annähernd realen Verdichtungszustand abzubilden sollte ein Probekörper genutzt werden, der über die Ab-

messungen eines großen MPK (150 mm) hinausgeht.

6. Versuchsstrecke B68 Quakenbrück-Badbergen

6.1 Konzeption

Für das vorliegende Projekt konnte ein Sanierungsvorhaben an der Bundesstraße 68 (B68) als Versuchsstrecke gewonnen werden. Im Abschnitt Quakenbrück-Badbergen galt es, den Oberbau durch teilweisen Ersatz der vorhandenen Schichten zu erneuern. Die niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr beauftragte die Firma Kirchner (STRABAG) mit der Ausführung der Bauleistung und willigte in die Erprobung alternativer Mischgut- und Einbaukonzepte zur signifikanten Reduzierung der Bauzeiten ein. Es kam eine modifizierte Kompaktasphaltbauweise zur Anwendung, deren Konzept, wie bereits auf den Versuchsfeldern in Bad Hersfeld erprobt, auf dem gleichzeitigen Einbau einer 20 cm dicken, kombinierten Trag-/Binderschicht AC 45 B/T S und einer 2,5 cm dicken Deckschicht AC 8 D S beruht. Der vorhandene Oberbau wurde hierzu zunächst bis auf die entsprechende Tiefe abgefräst.

Der Einbau fand am 29.08.2014 statt.

Über den Untersuchungsumfang der Versuchsfelder hinaus, wurde hier das Mischgut AC 45 B/T S hinsichtlich seiner Entmischungsneigung untersucht. Zudem sind Temperaturmessungen am Deckschichtmischgut nach der Beladung der Lkw am Mischwerk und vor der Übergabe an den Beschicker durchgeführt worden. Dies sollte Aufschluss über die technische Wirksamkeit der vor Ort verwendeten Thermomulden bringen.

Der TU Darmstadt wurde kurz vor dem Einbau Probemischgut zur labortechnischen Untersuchung zur Verfügung gestellt. Einbaubegleitende Messungen fanden an der Mischanlage und in situ statt. Dabei wurden auch Mischgutentnahmen an den Stationen 26+600, 27+000 und 27+400 durchgeführt. Die Querebenheit der

verdichteten und erkalteten Fahrbahnoberfläche wurde am 30.8.2014 auf Streckenabschnitten von jeweils 25 m beginnend bei vorgenannten Stationen aufgenommen. An den gleichen Stationen hat die TPA GmbH am 31.8.2014 Bohrkernproben entnommen und der TU Darmstadt zur weiteren Untersuchung zukommen lassen.

6.2 Einbauvorbereitung

6.2.1 Erstprüfungen

Für die vorliegende Baumaßnahme haben die Asphalt-Mischwerke Osnabrück GmbH & Co. KG (AMO) und die EMS-JADE Mischwerke GmbH KG (EJM) auf Grundlage der unter Kapitel 2.5 erläuterten Rezeptur jeweils Erstprüfungen für das Mischgut AC 45 B/T S mit Zugabe von 50 M.-% Asphaltgranulat erstellt. Die Mischgutproduktion und -lieferung erfolgte durch die Mischwerke Bissendorf (AMO) und Venhaus (EJM).

Aus Kapazitätsgründen war die gleichzeitige Versorgung der Baustelle mit Trag-/Binderschichtmischgut AC 45 B/T S durch beide Lieferanten erforderlich, weshalb die diesbezüglichen Erstprüfungen eng aufeinander abgestimmt waren. Zur Gewährleistung gleicher Mischguteigenschaften bezogen beide Lieferanten ihre Gesteine aus den Gewinnungsstätten Rheine (Kalksteinfüller) und Piesberg (Karbonatkies). Der Ausbauasphalt stammte von verschiedenen Baustellen.

Das Deckschichtmischgut AC 8 D S wurde ausschließlich durch den Lieferanten AMO produziert und geliefert. Die Gesteine entstammten den Gewinnungsstätten Rheine (Kalksteinfüller) und Flechtingen (Rhyolith), das zugeführte Asphaltgranulat wiederum aus verschiedenen Baustellen.

Die Erstprüfungsergebnisse werden nachstehend wiedergegeben.

AC 45 B/T S

Asphaltgranulat		50 M.-% 32 RA 0/22
Bindemittelart/-sorte		zugegeben: 50/70 resultierend: 30/45
Bindemittelgehalt	M.-%	4,1
EPRuK	°C	58,1
Mischgutrohddichte	g/cm ³	2,508
Raumddichte am MPK	g/cm ³	2,343
Hohlraumgehalt ber.	Vol.-%	6,6

Tab. 20: Erstprüfungsergebnisse des Mischguts AC 45 B/T S (AMO)

Asphaltgranulat		50 M.-% 32 RA 0/22
Bindemittelart/-sorte		zugegeben: 50/70 resultierend: 30/45
Bindemittelgehalt	M.-%	4,1
EPRuK	°C	58,1
Mischgutrohddichte	g/cm ³	2,500
Raumddichte am MPK	g/cm ³	2,335
Hohlraumgehalt ber.	Vol.-%	6,6

Tab. 21: Erstprüfungsergebnisse des Mischguts AC 45 B/T S (EJM)

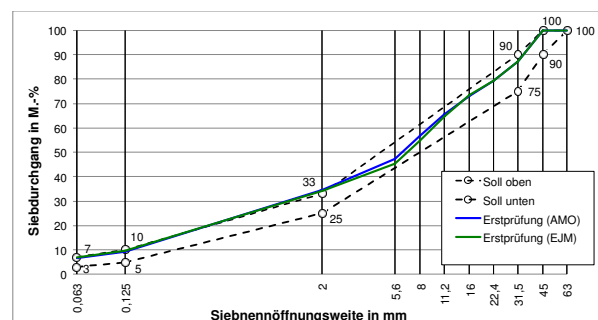


Bild 72: Sieblinien AC 45 B/T S Erstprüfungen (AMO u. EJM)

Die Sieblinien des Mischgutes AC 45 B/T S verlaufen in beiden Erstprüfungen entlang der oberen Soll-Sieblinie. Am Sandpunkt (2 mm) wird der maximal empfohlene Siebdurchgang um 1,2 bzw. 1,5 M.-% überschritten. Die Anforderungen nach ZTV Asphalt-StB (07/13) (2.3.3) bezüglich der Abstimmung von Eignungsnachweisen bei gleichzeitiger Belieferung durch mehrere Mischwerke werden eingehalten.

Der tendenziell feinkörnigere Charakter des Mischguts (im Vergleich zu den Versuchsfeldern in Bad Hersfeld) lässt sich vermutlich auf den hohen Recycling-Anteil zurückführen. Die zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer vereinbarten Abweichungen erlauben keinen direkten Vergleich zur Mischgutrezeptur, wie sie für die Versuchsfelder in Bad Hersfeld entwickelt wurde. Die Auswertung der Einbauergebnisse beschränkt sich somit auf die praktische Überprüfung des Bauverfahrens und auf Materialprüfungen am verwendeten Mischgut.

AC 8 D S

Asphaltgranulat		20 M.-% 11 RA 0/8
Bindemittelart/-sorte		zugegeben: 50/70 resultierend: -
Bindemittelgehalt	M.-%	6,1
EPRuK	°C	53,3
Mischgutrohddichte	g/cm ³	2,447
Raumddichte am MPK	g/cm ³	2,391
Hohlraumgehalt ber.	Vol.-%	2,3

Tab. 22: Erstprüfungsergebnisse des Mischguts AC 8 D S (AMO)

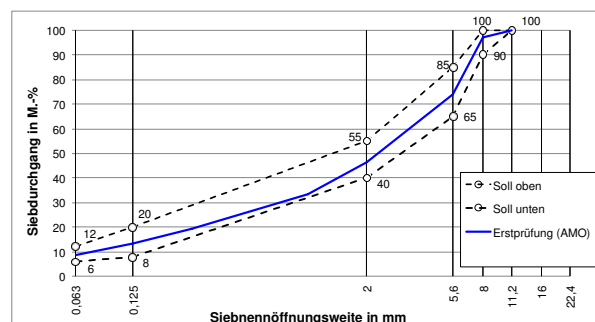


Bild 73 Sieblinie AC 8 D S Erstprüfung (AMO)

Das in der Erstprüfung beprobte Mischgut AC 8 D S hält die in den TL Asphalt-StB (07/13) definierten Anforderungswerte ein.

6.2.2 Probemischung

Für das Mischgut AC 45 B/T S wurde eine Probemischung durchgeführt. Dem Fachgebiet Straßenwesen der TU Darmstadt wurden Eimerpro-

ben für Laboruntersuchungen übersandt. Die Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

Bindemittelgehalt	M.-%	4,0
EPRuK	°C	73,0
Mischgutrohddichte	g/cm ³	2,506
Raumddichte am MPK	g/cm ³	2,359
Hohlraumgehalt ber.	Vol.-%	5,9

Tab. 23: Kennwerte des Probemischguts AC 45 B/T S (B68)

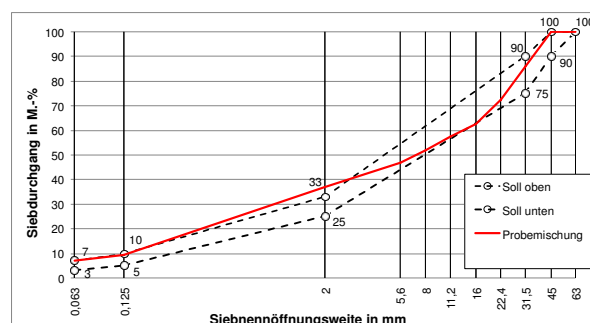


Bild 74: Sieblinie AC 45 B/T S Probemischung

Aus der Extraktion des zur Untersuchung eingebrachten Probemischgutes AC 45 B/T S resultiert eine Sieblinie mit erhöhtem Feinkornanteil. Auch der Grobkornanteil von 5,6-16 mm fällt gegenüber dem empfohlenen Sollsieblinienbereich recht hoch aus. Auffällig ist zudem die Ausfallkörnung im Bereich von 1,0-5,6 mm. Hinsichtlich der Korngrößenverteilung sind jedoch alle relevanten Toleranzen nach ZTV Asphalt-StB (07/13) (4.1) eingehalten.

Der festgestellte Bindemittelgehalt liegt innerhalb der zulässigen Toleranzen nach ZTV Asphalt-StB (07/13). Für den Hohlraumgehalt am MPK existieren in den TL Asphalt-StB (07/13) keine Anforderungen für das Mischgut AC 45 B/T S. Ausgehend vom Sollbereich für das nächst feinere Mischgut AC 32 T S (5-7 Vol.-%) werden die zulässigen Toleranzen nach ZTV Asphalt-StB (07/13) eingehalten.

Der Erweichungspunkt Ring und Kugel weicht mit 73,0 °C deutlich von den rechnerischen Erstprüfungsergebnissen von 58,1 °C ab. Nach TL Bitumen-StB (07/13) liegt die Sortenspanne des geforderten Straßenbaubitumens 30/45 bei 52-60 °C. Auch der Grenzwert von 68 °C nach ZTV Asphalt-StB (07/13) (Tab. 16) wird überschritten. Der Asphaltlieferant wurde auf diese

Abweichung hingewiesen. Die Erweichungspunkte am Einbaumischgut waren daraufhin niedriger und im zulässigen Bereich (s. Abschnitt 6.4.5).

6.2.3 Fräsarbeiten

Vor Einbaubeginn war zunächst die alte Befestigung bis auf die erforderliche Tiefe abzufräsen. Es zeigte sich dabei eine recht heterogene Beschaffenheit der Unterlage. Neben gebundenen Asphaltsschichten wurden auch grobkörnige Packlagen oder ungebundene Tragschichten vorgefunden (s. Bild 76).



Bild 75: Beispiel für die heterogene Beschaffenheit der Unterlage beim BV B68

6.2.4 Vorbereitung des Einbaugerätes

Da beim Bauvorhaben B68 die Einbaubreite größer war und somit ein größeres Platzangebot im Bohlenbereich vorlag, konnte die Bohlenbelastung von 2 Tonnen auf der gesamten Breite der vorderen Bohle verteilt werden. Hierdurch konnte

einerseits die Verdichtungsenergie besser über die gesamte Breite der Asphaltfläche verteilt werden, andererseits wurde der Bewegungsspielraum zur Aufhängung der Deckschichtbohle im Vergleich zu den Versuchsfeldern vergrößert (s. Abschnitt 5.2.4).



Bild 76: Bohlenauflastung an der Tragschichtbohle des Kompaktasphaltfertigers beim BV B68

6.3 Einbau

6.3.1 Einbaubedingungen

Am Vorabend des Einbaus wurde durch die TU Darmstadt eine Wetterstation auf dem Dach des Containers der Bauleitung am Einbauort installiert. Die erfassten Werte für Temperatur, kumulierte Gesamtniederschlagsmenge, Windgeschwindigkeit und Windrichtung für den Einbautag (29.8.14, 00:00-23:59 Uhr) sind im Folgenden dargestellt.

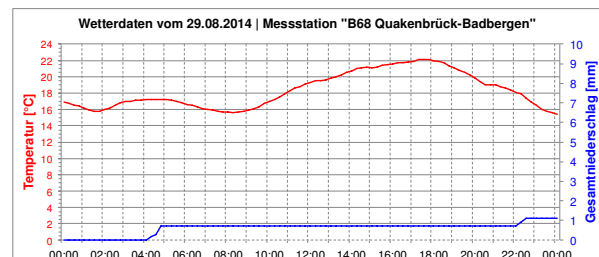


Bild 77: Temperaturverlauf und Niederschlag während des Einbaus am 29.08.2014

Die Temperatur betrug während der kompletten Einbaudauer ca. 16-22°C und ist damit als unkritisch einzustufen. Zwischen 04:00 Uhr und 05:00 Uhr am Morgen des Einbautages wurde ein Niederschlag von ca. 1 mm (= 1 l/m²) aufge-

zeichnet, der zu einer feuchten Unterlage bei Einbaubeginn geführt hat. Ein weiteres Niederschlagsereignis (0,5 mm) trat gegen 22:00 Uhr kurz vor Ende des Einbaus auf.

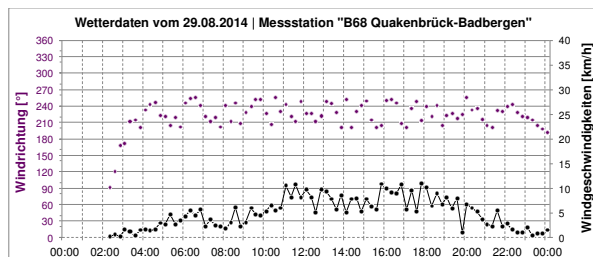


Bild 78: Windrichtung und -geschwindigkeit während des Einbaus am 29.08.2014

Während des Einbaus herrschte leichter Wind aus südwestlicher Richtung, der auf den Einbaufolg keinen Einfluss gehabt haben dürfte.

6.3.2 Einbauprozess

Als Einbaugerät kam, wie bereits auf den Versuchsfeldern in Bad Hersfeld, der entsprechend ausgerüstete Fertiger des Fabrikats Dynapac CM 3000 mit Kompaktasphaltmodul zum Einsatz. Außerdem wurde mit einem Beschicker vom Typ Dynapac MF 2500 CL gearbeitet.

Ausgehend von den Erfahrungen der Versuchsfelder wurde das Vorhaltemaß der Tragschicht auf ca. +2,5 cm reduziert. Das Vorhaltemaß der Deckschicht wurde zu +0,5 cm beibehalten.



Bild 79: Einbau an der B68

Direkt hinter der Bohlenverdichtung des Fertigers zeigte sich die Oberfläche eben und gleichmäßig.

Die Walzverdichtung erfolgte zunächst statisch, dann dynamisch. Bei der abschließenden statischen Glättung mit Kantenformung wurde erneut die unzureichende Wirktiefe konventioneller Kantenverdichtungsmodule an den Walzen deutlich (siehe Bild 82).



Bild 80: Walzverdichtung an der B68



Bild 81: Unzureichende Kantenverdichtung an der B68

Zur Beschleunigung der Abfertigung von Mischgutanlieferungen kam außerdem das Fertiger-Terminal der Firma STRABAG zum Einsatz. Durch Scannen der Lieferscheine sowie durch Eingabe von Kennzeichen, Abladezeiten und Mischguttemperaturen in eine Datenbank, wurde die wichtige Dokumentationsarbeit beschleunigt. Die Zuordnung dieser Daten zur aktuellen Einbaustation ist zudem ein wichtiges Hilfsmittel um Abweichungen nachzugehen.

Bei konventionellem Einbau von drei Asphalt-schichten hätte die reine Einbauzeit bei der

Maßnahme B68 drei Werktage betragen. Durch die modifizierte Kompaktasphaltbauweise konnte der Asphaltbau in zwölf Stunden realisiert werden.

6.3.3 Temperaturmessungen am Deckschichtmischgut

Begleitend zum Forschungsprojekt sollte die Wirksamkeit der vor Ort eingesetzten Thermomulden untersucht werden. Hierzu wurden während der gesamten Einbaudauer die Temperaturen des in Thermomulden transportierten Deckschichtmischguts bei der Beladung an der Mischanlage sowie kurz vor der Übergabe des Mischgutes an den Beschicker auf der Baustelle erfasst. Hierzu sind an den Mulden acht Messpunkte definiert worden, deren Einzelmesswerte zu einem Mittelwert zusammengefasst wurden. An der Mischanlage und in situ kamen aufeinander kalibrierte Thermometer gleichen Fabrikats zum Einsatz, um systematische Abweichungen auszuschließen.

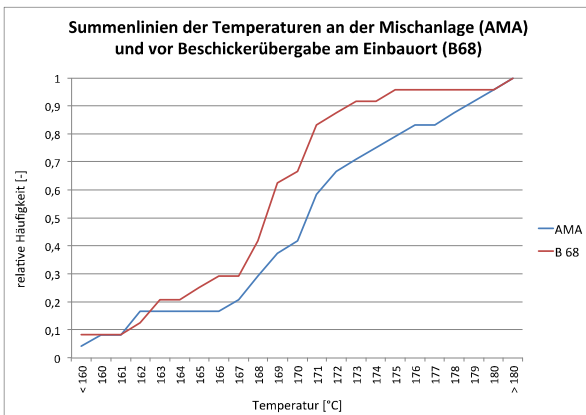


Bild 82: Summenlinien der Mischguttemperaturen an der Mischanlage und vor der Beschickerübergabe

Aus den dokumentierten Summenlinien lässt sich ableiten, dass das Mischgut überwiegend mit Temperaturen von 167-176 °C (20%-Quantil oben und unten) auf die Transport-Lkw verladen wurde. Auf der Baustelle wurde das Mischgut mit Temperaturen von 163-173 °C an den Beschicker übergeben. Aus der annähernden Parallelität der beiden Kurven kann ein Spanne der Absoluttemperaturverluste von 1-4 °C abgeleitet werden. Da auch die Uhrzeiten der Messungen an den einzelnen Lkw festgehalten wurden, kann aus

den jeweiligen Absoluttemperaturverlusten und der Zeitspanne zwischen den Messungen ein Temperaturabfallgradient errechnet werden. Der überwiegende Teil der Ergebnisse liegt zwischen 1-3 °C/h. Die Außentemperaturen betragen gem. Abschnitt 6.3.1 16-22 °C.

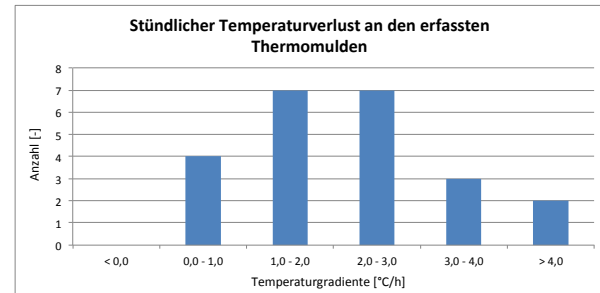


Bild 83: Stündlicher Temperaturverlust an den erfassten Thermomulden

An konventionellen Lkw-Mulden wurden keine Temperaturmessungen durchgeführt, sodass kein direkter Vergleich zwischen Thermomulden und konventionellen Mulden angestellt werden kann. An dieser Stelle soll jedoch auf die Erfahrungen einer ausführlichen Untersuchungsreihe der TU Darmstadt vom Juli 2014 verwiesen werden [BÖHM/CICKOVIC, 2014]. Durch die Begleitung eines Bauvorhabens an der BAB 3 konnten die Temperaturverluste von Thermomulden (Fabrikat Fliegl) und konventionellen Mulden beim Transport von Asphaltbindermischgut vergleichend untersucht werden. Bei einer Außentemperatur von 30 °C lag der Temperaturabfallgradient der Thermomulden überwiegend zwischen 0-3 °C/h. Konventionelle Mulden wiesen größtenteils Werte von 5-8 °C/h auf.

6.4 Einbauergebnisse

Zur Überprüfung der Einbauergebnisse wurden die drei Probestationen 26+600, 27+000 und 27+400 definiert. Während des Einbaus wurden hier Mischgutproben entnommen. An den entsprechenden Stationen der fertiggestellten Kompaktasphalt-Aufbauten erfolgte dann die Erfassung der Querebenheit (4m-Latte). Außerdem wurden je Station vier Bohrkern \varnothing 150 mm (BK 2661-2704) für weitere labortechnische Untersuchungen entnommen.

6.4.1 Längsebenheit

Nach Fertigstellung der Untersuchungsstrecke haben sich signifikante Probleme in der Längsebenheit aufgezeigt. Die Messung der Längsebenheit mittels Planographen lieferte häufige Überschreitungen des 4 mm-Grenzwertes um 1 bis 5 mm auf der gesamten Strecke. Das Fahrverhalten auf der Strecke war für den Verkehrsteilnehmer als sehr unruhig wahrzunehmen, so dass die Asphaltdeckschicht auf der Untersuchungsstrecke saniert wurde.

Als Ursache wurden neben häufigen Neigungswechseln, einer Vielzahl von Anschlussbereichen und einer ungleichmäßigen Unterlage auch die vielen Stillstände des Fertigers identifiziert. Das besonders dicke Asphaltpaket aus Trag-/Binder- und Deckschicht kann sich im Verdichtungsprozess (ggü. dünneren Schichten) stärker verformen, weshalb eine besonders gleichmäßige Bohlenverdichtung (ohne Stillstand) und Walzverdichtung erfolgen muss. Dies wurde an der Versuchsstrecke aufgrund der vorgenannten räumlichen und baubetrieblichen Zwangspunkte erschwert. Aufgrund des gleichzeitigen Einbaus der Schichten waren zudem keine Ausgleichsmöglichkeiten wie beim zeitversetzten Einbau vorhanden.

6.4.2 Querebenheit

An den drei Probestationen wurde die Querebenheit exemplarisch auf Messstrecken von 25 m aufgenommen. Hierzu wurden in Zwischenabständen von jeweils 5 m Querprofile mittels 4m-Latte nach den TP Eben (07) - Berührende Messungen erfasst.

Nach den ZTV Asphalt-StB (07/13) (4.2.5, Tab. 25) sind für die Bauweise Deckschicht auf Tragschicht innerhalb der 4 m langen Messstrecke Unebenheiten bis zu 6 mm zulässig. Da die eingebaute Tragschicht jedoch auch Bindereigenschaften gewährleistet, sollte ein Grenzwert von 4 mm angesetzt werden (Deckschicht auf Binder-schicht). An Station 26+600 wurde ein Maximalwert von 6 mm gemessen. Die Unebenheiten an Station 27+000 liegen gänzlich unterhalb 4 mm.

Signifikante Überschreitungen des zulässigen Grenzwertes konnten an Station 27+400 festgestellt werden. Hier zeigten sich Einsenkungen von über 12 mm Tiefe (siehe folgende Abbildung).



Bild 84: Maximal festgestellte Querebenheit von mehr als 12 mm

Die deutlichsten Querebenheiten befanden sich im Bereich der Mitte der rechten Bohle. Da zum Einbauzeitpunkt noch kein verwendungsfähiges Kantenverdichtungsmodul für den Fertiger vorlag, wurde versucht, durch Verzögern des Walzvorganges eine Stabilisierung der Randbereiche durch Abkühlung zu erwirken. Es kann vermutet werden, dass diese Stabilisierung der Ränder deren Verdichtung behindert hat und erst in Richtung Fahrbahnmitte wieder eine signifikante Verdichtungswirkung möglich war.

Die Querebenheit zwischen den genannten Stationen wurde zwar nicht messtechnisch erfasst, es ist jedoch anzunehmen, dass die exemplarisch dokumentierten Unebenheiten charakteristisch für die Gesamtstrecke sind.

Für eine anschauliche Darstellungsweise der Querebenheiten (siehe nachfolgende Grafiken) wurden die Werte zwischen den messtechnisch erfassten Querprofilen interpoliert und Flächen mit gleichem Unebenheitsmaß identifiziert. Die Darstellungen stellen die Draufsicht auf die jeweiligen Messstrecken dar, wobei Bereiche mit Unebenheiten > 4 mm farblich markiert wurden. Mit zunehmender Intensität der Rottöne steigt auch die gemessene Unebenheit.

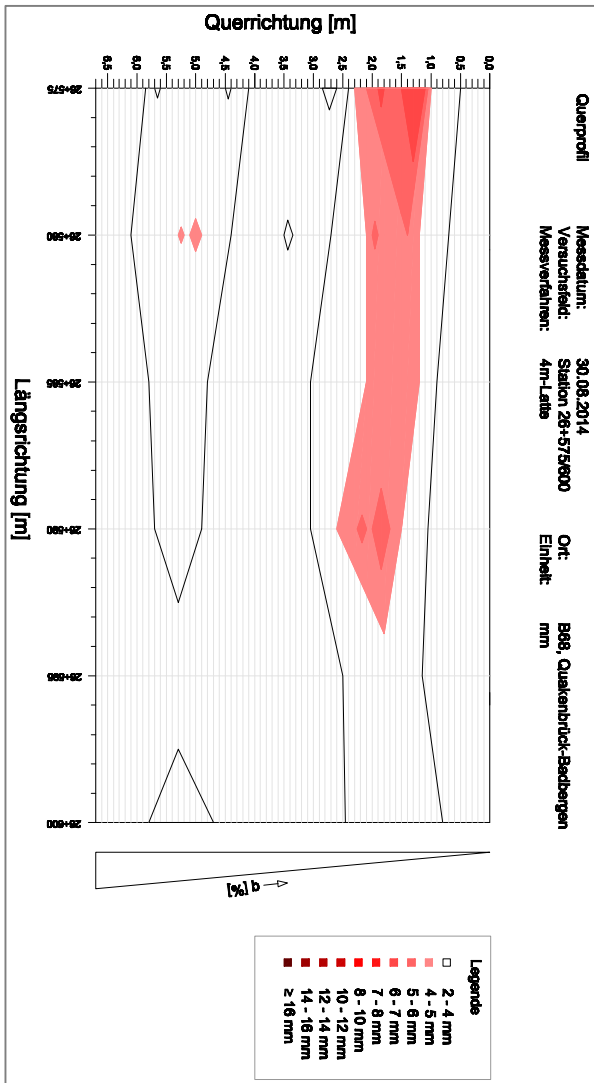


Bild 85: Querebenheit an der Deckschicht von Station 26+600 (Draufsicht)

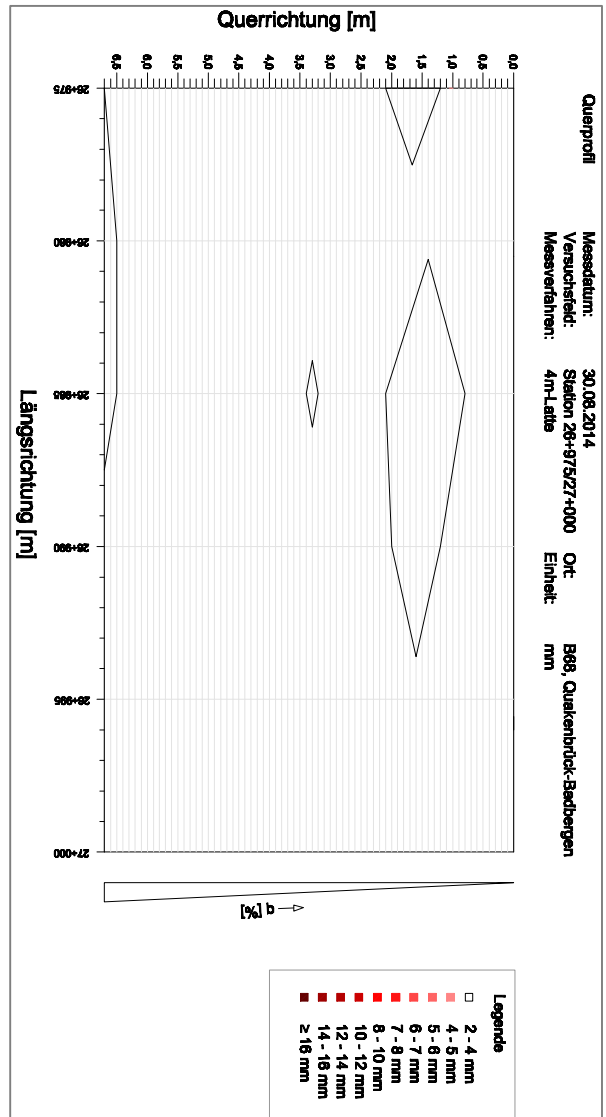


Bild 86: Querebenheit an der Deckschicht von Station 27+000 (Draufsicht)

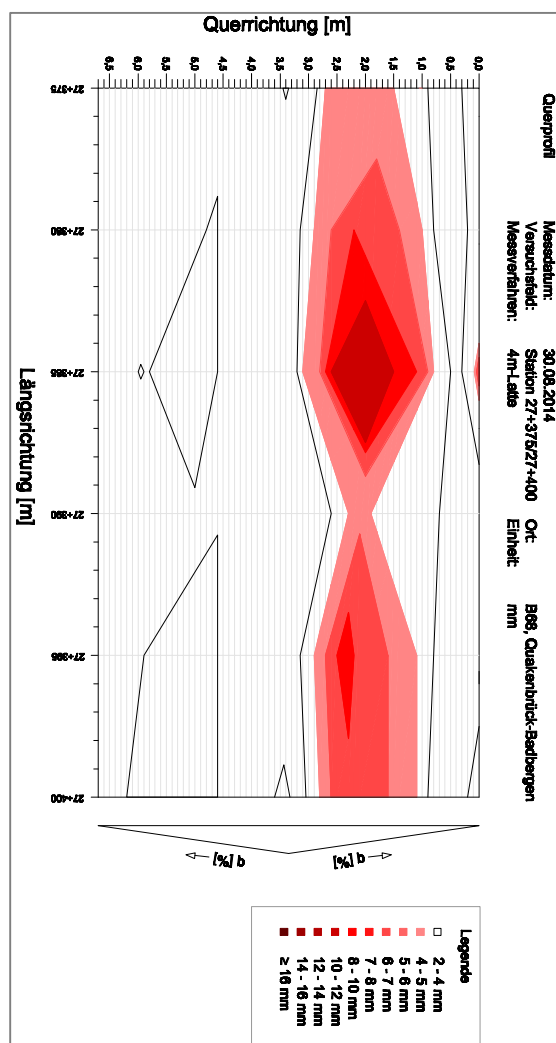


Bild 87: Querebene an der Deckschicht von Station 27+400 (Draufsicht)

6.4.3 Schichtdicken (am Bohrkern)

Zum Vergleich der tatsächlich eingebauten Schichtdicken mit den Sollschichtdicken wurden die Bohrkern der Stationen 26+600, 27+000 und 27+400 aufgemessen.

Die unterschiedliche Charakteristik der gebundenen Unterlage lässt sich an den nach Stationen getrennten Bohrkernen eindeutig erkennen. Die Entnahmeorte 26+600 und 27+000 weisen Reste einer grobkörnigen Asphaltunterlage auf, während an Station 27+400 ein mehrschichtiger Aufbau in größerer Dicke identifiziert werden konnte.

Station 26+600



Bild 88: Bohrkern Station 26+600

Schicht	Solldicke [cm]	Dicke am BK gem. [cm]	Differenz
AC 8 D S	2,5	2,7	+ 0,2
AB/TS 0/45	20,0	20,5	+ 0,5

Tab. 24: Schichtdicken an den Bohrkernen von Station 26+600

Station 27+000



Bild 89: Bohrkern Station 27+000

Schicht	Solldicke [cm]	Dicke am BK gem. [cm]	Differenz
AC 8 D S	2,5	2,4	- 0,1
AB/TS 0/45	20,0	20,1	+ 0,1

Tab. 25: Schichtdicken an den Bohrkernen von Station 27+000

Station 27+400

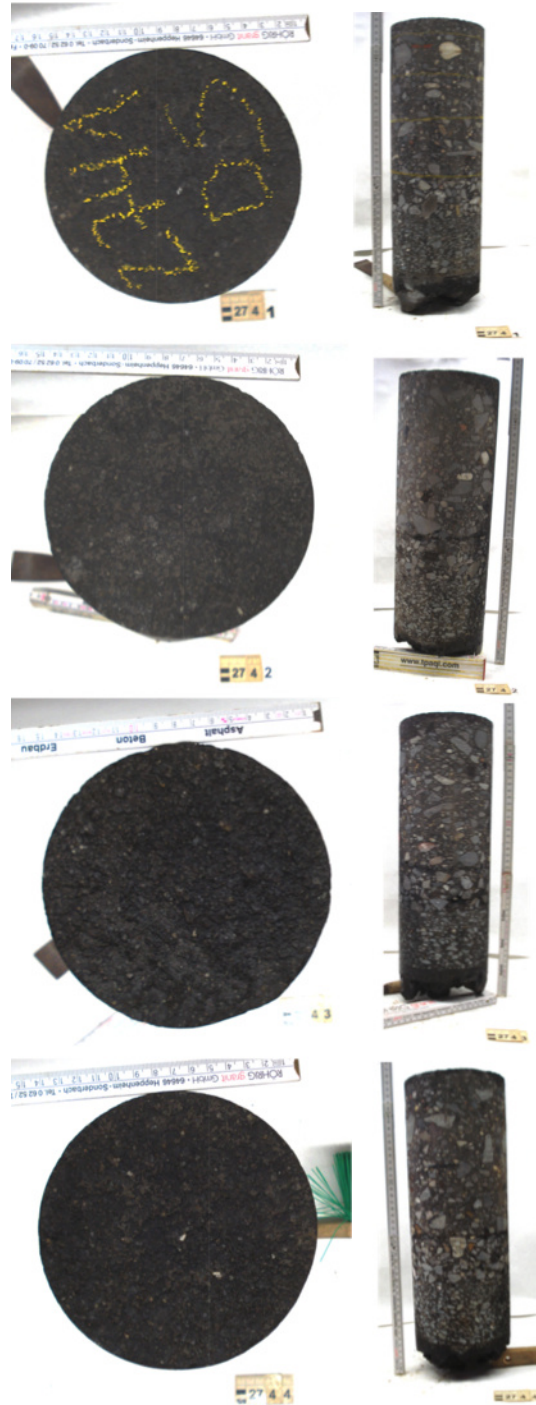


Bild 90: Bohrkern Station 27+400

Schicht	Solldicke [cm]	Dicke am BK gem. [cm]	Differenz
AC 8 D S	2,5	2,5	+/- 0,0
AB/TS 0/45	20,0	20,4	+ 0,4

Tab. 26: Schichtdicken an den Bohrkernen von Station 27+400

Trotz der unterschiedlichen Unterlagen werden die Solldicken von Deck- und Tragschicht an allen beprobten Stationen sehr zuverlässig eingehalten.

6.4.4 Schichtenverbund

Zur Bestimmung des Schichtenverbundes wurde das „Abscherverfahren nach Leutner“ angewandt. Je Station wurden zwei Probekörper untersucht. Die Ergebnisse sind nachstehend aufgeführt.

AC 8 D S – AC 45 B/T S			AC 45 B/T S – geb. Unterlage		
PK	\bar{s}	F	PK	\bar{s}	F
	[mm]	[kN]		[mm]	[kN]
2663	3,7	42,2	2663	3,3	28,6
2664	6,1	39,5	2664	4,1	31,1
2703	5,9	33,3	2703	1,6	19,5
2704	5,0	37,6	2704	1,7	17,8
2743	6,3	44,3	2743	2,1	24,4
2744	7,1	45,0	2744	2,0	28,5
Mittelwert	5,7	40,3	Mittelwert	2,5	25,0
\bar{s}	1,19	4,46	\bar{s}	1,03	5,37
Var	1,41	19,92	Var	1,07	28,80

Tab. 27: Ergebnisse des Abscherversuches getrennt nach Schichten und Stationen

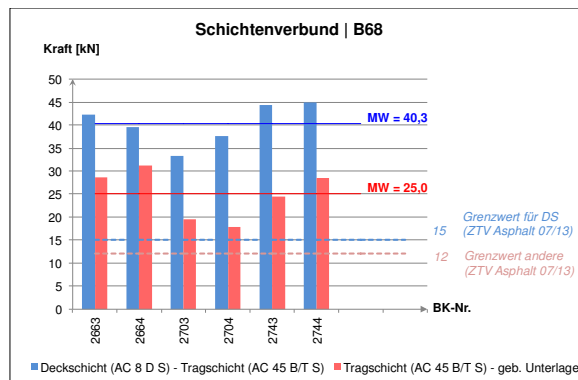


Bild 91: Grafische Darstellung der Ergebnisse des Abscherversuches getrennt nach Schichten

Es konnte festgestellt werden, dass an den Schichtgrenzen des eingebauten Kompaktasphaltaufbaus ähnlich hohe Scherkräfte aufgenommen werden können wie an den vergleichbaren Versuchsfeldern in Bad Hersfeld (siehe Abschnitt 5.4.5). An der vorliegenden Versuchsstrecke weist der Schichtenverbund zwischen Deck- und Tragschicht (trotz des Verzichts auf polymermodifiziertes Bitumen) einen Mittelwert von 40,3 kN und eine geringe Streubreite auf. Der Anforderungswert von 15 kN nach ZTV Asphalt-

StB (07/13) (4.2.3) wird eindeutig eingehalten. Zwischen Tragschicht und gebundener Unterlage konnte ein durchschnittlicher Schichtenverbund von 25 kN festgestellt werden. Der Anforderungswert nach ZTV Asphalt-StB (07/13) beträgt hier 12 kN und wird durch alle Einzelwerte überschritten. Vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Charakteristik der Unterlage ist die geringe Streubreite der Werte überraschend.

6.4.5 Mischgutuntersuchung

Die verwendeten Mischgutarten und -sorten wurden im Labor des Fachgebiets Straßenwesen der TU Darmstadt hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit den Erstprüfungsergebnissen untersucht. Da für die Fragestellung des vorliegenden Projektes die Ergebnisse der Deckschicht nicht relevant sind, werden sie nicht im Einzelnen wiedergegeben. Für das maßgebende Mischgut AC 45 B/T S konnten folgende Kennwerte ermittelt werden:

Station 26+600

Bindemittelgehalt	M.-%	4,7
EPRuK	°C	61,8
Mischgutrohndichte	g/cm ³	2,525
Raumdicke am MPK	g/cm ³	2,456
Hohlraumgehalt ber.	Vol.-%	2,7

Tab. 28: Kennwerte des Einbaumischgutes AC 45 B/T S (Station 26+600)

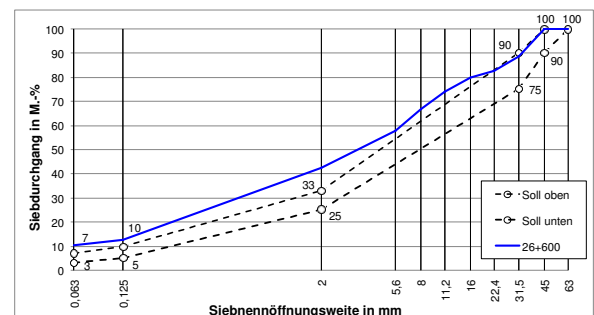


Bild 92: Sieblinie AC 45 B/T S Einbaumischgut (Station 26+600)

Aus der Extraktion des beprobten Mischgutes AC 45 B/T S (Station 26+600) resultiert eine insgesamt recht feinkörnige Sieblinie verglichen mit dem Sollsieblinienbereich und der Erstprüfung. Die relevanten Toleranzen nach ZTV Asphalt-StB (07/13) (4.1) werden jedoch eingehalten.

Der festgestellte Bindemittelgehalt liegt oberhalb der zulässigen Toleranz nach ZTV Asphalt-StB (07/13). Für den Hohlraumgehalt am MPK existieren in den TL Asphalt-StB (07/13) keine Anforderungen für das Mischgut AC 45 B/T S. Ausgehend vom Sollbereich für das nächst feinere Mischgut AC 32 T S (5-7 Vol.-%) werden die zulässigen Toleranzen (± 2 Vol.-%) nach ZTV Asphalt-StB (07/13) unterschritten.

Der Erweichungspunkt Ring und Kugel liegt oberhalb der Sortenspanne des geforderten Straßenbaubitumens 30/45 von 52-60 °C nach TL Bitumen-StB (07/13). Der Grenzwert von 68 °C nach ZTV Asphalt-StB (07/13) (Tab. 16) wird jedoch eingehalten. Das resultierende Bindemittel erfüllt somit die regelwerkseitigen Anforderungen.

Station 27+000

Bindemittelgehalt	M.-%	3,9
EPRuK	°C	65,8
Mischgutrohddichte	g/cm ³	2,551
Raumdichte am MPK	g/cm ³	2,432
Hohlraumgehalt ber.	Vol.-%	4,7

Tab. 29: Kennwerte des Einbaumischguts AC 45 B/T S (Station 27+000)

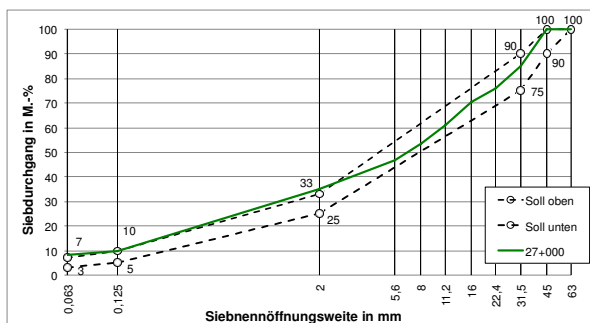


Bild 93: Sieblinie AC 45 B/T S Einbaumischgut (Station 27+000)

Aus der Extraktion des beprobten Mischgutes AC 45 B/T S (Station 27+000) resultiert eine Sieblinie, die annähernd der Erstprüfung entspricht. Die relevanten Toleranzen nach ZTV -Asphalt-StB (07/13) (4.1) werden eingehalten. Der festgestellte Bindemittelgehalt liegt innerhalb der zulässigen Toleranz nach ZTV Asphalt-StB (07/13). Für den Hohlraumgehalt am MPK existieren in den TL Asphalt-StB (07/13) keine Anforderungen für das Mischgut AC 45 B/T S. Ausgehend vom Sollbereich für das nächst

feinere Mischgut AC 32 T S (5-7 Vol.-%) werden die zulässigen Toleranzen (± 2 Vol.-%) nach ZTV Asphalt-StB (07/13) eingehalten.

Der Erweichungspunkt Ring und Kugel liegt oberhalb der Sortenspanne des geforderten Straßenbaubitumens 30/45 von 52-60 °C nach TL Bitumen-StB (07/13). Der Grenzwert von 68 °C nach ZTV Asphalt-StB (07/13) (Tab. 16) wird jedoch eingehalten. Das resultierende Binde-mittel erfüllt somit die regelwerkseitigen Anforderungen.

Station 27+400

Bindemittelgehalt	M.-%	4,2
EPRuK	°C	66,6
Mischgutrohddichte	g/cm ³	2,552
Raumdichte am MPK	g/cm ³	2,436
Hohlraumgehalt ber.	Vol.-%	4,2

Tab. 30: Kennwerte des Einbaumischguts AC 45 B/T S (Station 27+400)

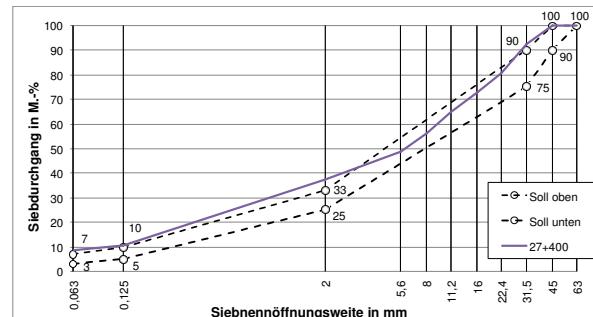


Bild 94: Sieblinie AC 45 B/T S Einbaumischgut (Station 27+400)

Aus der Extraktion des beprobten Mischgutes AC 45 B/T S (Station 27+400) resultiert eine Sieblinie, die annähernd der Erstprüfung entspricht. Die relevanten Toleranzen nach ZTV Asphalt-StB (07/13) (4.1) werden eingehalten.

Der festgestellte Bindemittelgehalt liegt innerhalb der zulässigen Toleranz nach ZTV Asphalt-StB (07/13). Für den Hohlraumgehalt am MPK existieren in den TL Asphalt-StB (07/13) keine Anforderungen für das Mischgut AC 45 B/T S. Ausgehend vom Sollbereich für das nächst feinere Mischgut AC 32 T S (5-7 Vol.-%) werden die zulässigen Toleranzen (± 2 Vol.-%) nach ZTV Asphalt-StB (07/13) eingehalten.

Der Erweichungspunkt Ring und Kugel liegt oberhalb der Sortenspanne des geforderten Straßenbaubitumens 30/45 von 52-60 °C nach TL Bitumen-StB (07/13). Der Grenzwert von 68 °C nach ZTV Asphalt-StB (07/13) (Tab. 16) wird jedoch eingehalten. Das resultierende Bindemittel erfüllt somit die regelwerkseitigen Anforderungen.

Beurteilung des Einbaumischguts

Bis auf einen erhöhten Bindemittelgehalt am Mischgut von Station 26+600 erfüllen die untersuchten Mischgutproben alle regelwerkseitigen Anforderungen. Die vielfache Reproduzierbarkeit der Mischgutrezeptur konnte somit praktisch nachgewiesen werden. Es fällt jedoch auf, dass sämtliche Proben einen eher feinkörnigen Charakter (ggü. der Sollsieblinie) und einen erhöhten Erweichungspunkt Ring und Kugel aufweisen. Dies kann mit der Zugabe von Asphaltgranulat begründet werden.

6.4.6 Entmischungsneigung

Am Probemischgut und den nach Entnahmestationen getrennten Einbauasphalten wurde die Entmischungsneigung nach DIN 12697-15 (2003) bestimmt. Dabei wird eine definierte Menge erhitzten Mischgutes in einen Falltrichter gegeben, dessen Öffnung sich in einer fixen Höhe über einem Auffangblech befindet (siehe Bild 95). Durch den Fall aus dem Trichter bildet sich auf dem Auffangblech ein Mischgutkegel aus, dessen Flankenneigung und Homogenität der Korngrößenverteilung von der Art des Mischgutes abhängt. Erfahrungsgemäß wandern Grobkornbestandteile von entmischungssensitiven Asphalten an die Kegelaußenseite, während sich im Kegelmittelpunkt die Feinkornanteile häufen. Über die Analyse der Korngrößenverteilungen und Bindemittelgehalte des Mischgutes aus unterschiedlichen Entfernungen zum Kegelmittelpunkt lassen sich Kennwerte zur Entmischungsneigung errechnen. Hierzu befinden sich unterhalb des Kegels im Auffangblech zwei separat bedienbare Öffnungen, über die der innere Teil (Ring 1) sowie der mittlere Teil (Ring 2) des Schüttkegels entnommen werden können. Der Rest des

Mischgutes verbleibt als äußerer Ring des Schüttkegels auf dem Auffangblech (Ring 3) (siehe Bild 96).



Bild 95: Entmischungsapparatur nach DIN 12697-15

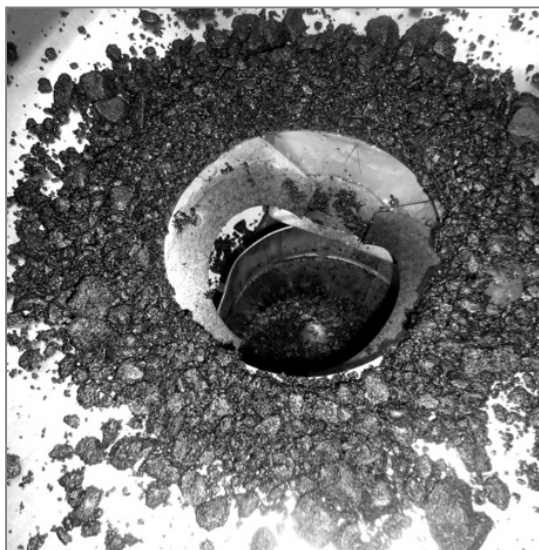


Bild 96: Schüttkegel mit abgezogenen Fein- und Mittelkornfraktionen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Entmischungsapparatur-Analyse dargestellt. Für das Verfahren liegen bisher noch keine breiten Erfahrungswerte und Anforderungen vor. Eine vergleichende Bewertung ist dennoch möglich.

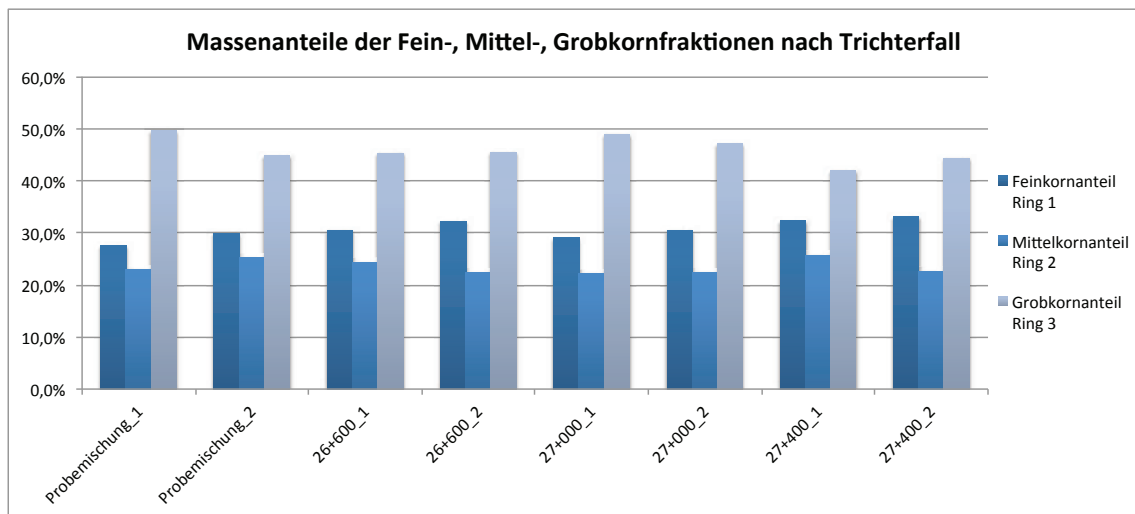


Bild 97: Massenanteile der Fein-, Mittel- und Grobkornfraktionen nach Trichterfall

Die Massenanteile der an den einzelnen Ringen abgezogenen Teilmengen des Mischgutes unterscheiden sich zwischen den jeweiligen Mischgut-

proben nicht signifikant. Es kann also gefolgert werden, dass die Geometrie der entstandenen Schüttkegel weitgehend gleichartig ist.

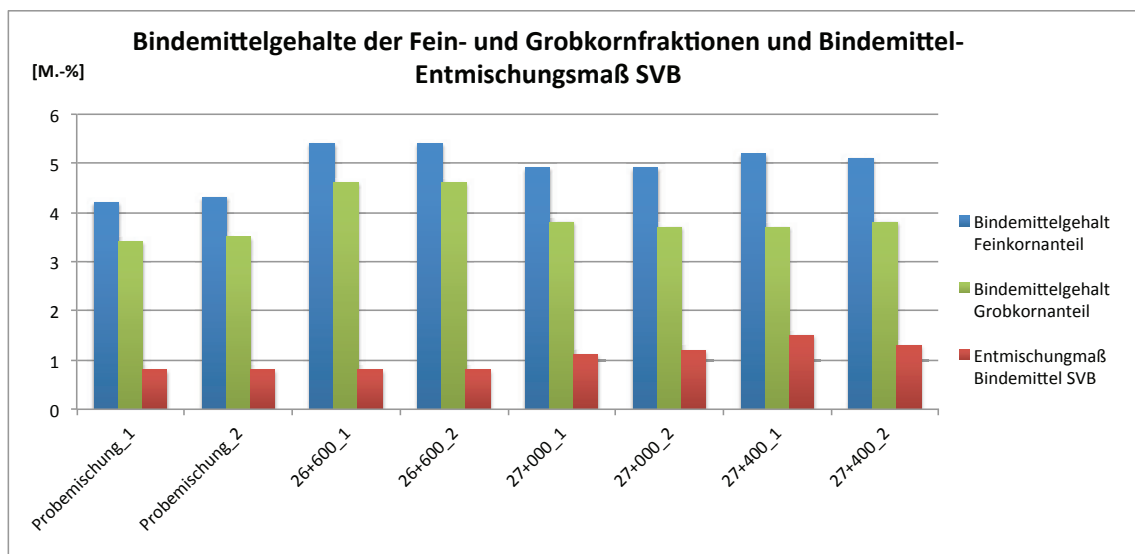


Bild 98: Bindemittelgehalte der Fein-, Mittel- und Grobkornfraktionen und Bindemittel-Entmischungsmaß SVB

Die Untersuchung des Bindemittelentmischungsmaßes SVB als Differenz des Bindemittelgehaltes des Grobkorn- und des Feinkornanteiles zeigt für die Stationen 27+000 und 27+400 leicht höhere

Werte als beim Probemischgut und der Mischgutprobe von Station 26+600.

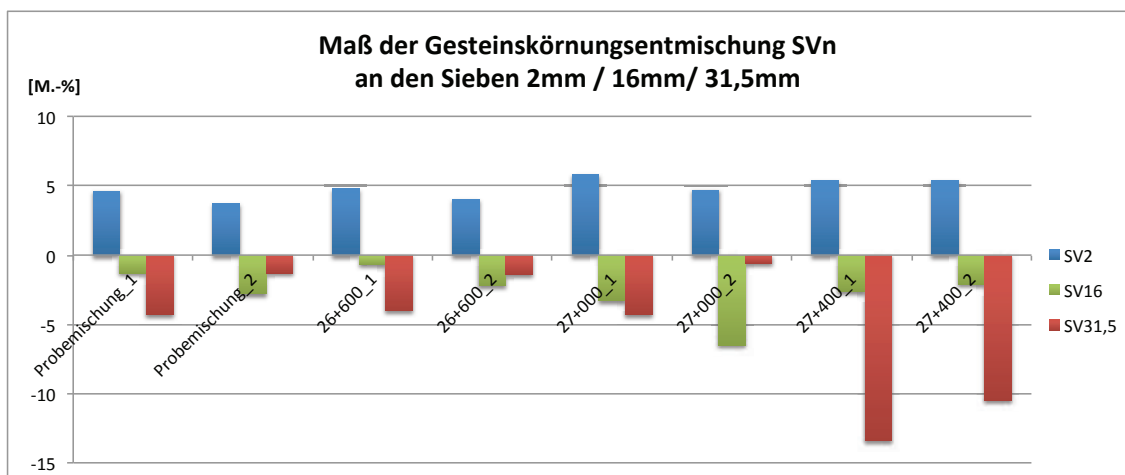


Bild 99: Maß der Gesteinskörnungsentmischung SVn

Das Maß der Gesteinskörnungsentmischung errechnet sich aus der Differenz des Siebergebnisses des Feinkornanteiles auf dem Sieb n und jenem des Grobkornanteiles auf dem gleichen Sieb. Für die Kenngrößen SV2 und SV16 treten kaum Abweichungen zwischen den Mischgutproben auf. SV31,5 weist jedoch beim Mischgut

von Station 27+400 deutlich höhere Werte als bei allen anderen Proben auf. Dieses Mischgut neigt somit zu einer vergleichsweise höheren Entmischung hinsichtlich der Größtkornbestandteile. Die leicht erhöhten Bindemittelentmischungsmaße SVB (s.o.) bestätigen dies.

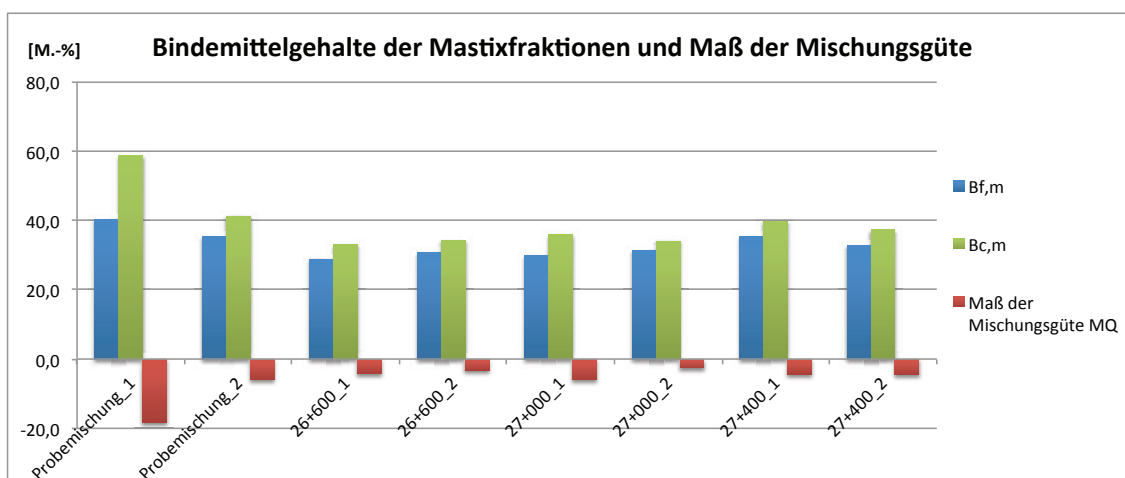


Bild 100: Bindemittelgehalte der Mastixfraktionen und Maß der Mischungsgüte MQ

Die Bindemittelgehalte der Mastixfraktionen bestimmen sich aus dem Bindemittelgehalt einer Teilprobe bezogen auf das zugehörige Siebergebnis auf dem 2 mm-Sieb. Aus der Differenz der Bindemittelgehalte der Mastixfraktionen des Feinkornanteiles und des Grobkornanteiles wird das Maß der Mischungsgüte MQ errechnet. Hier unterscheiden sich die untersuchten Proben nicht signifikant.

Eine Ausnahme stellt Probemischung 1 dar. Eine genauere Betrachtung der Siebergebnisse dieser

Probe zeigt vergleichsweise geringe Rückstände auf dem 2 mm-Sieb, wodurch sich die Werte für die Bindemittelgehalte der Mastixfraktionen des Grob- und Feinkornanteiles (und somit auch deren Differenz MQ) erhöhen. Tendenziell lässt sich der geringe Siebrückstand auf dem 2 mm-Sieb durch den Ausfallbereich der zugehörigen Sieblinie erklären, der deutliche Unterschied zum Mischgut „Probemischung 2“ erscheint jedoch nicht plausibel.

6.4.7 Verdichtungsgrade

Wie bereits im Kontext der Versuchsfelder erläutert (siehe Abschnitt 5.4.7), ist bei großen Schichtdicken besonders der Verlauf des Verdichtungsgrades über die Tiefe interessant. An der Schichtunterseite muss der Asphalt ausreichend verdichtet sein, um die dort auftretenden Spannungen aufnehmen zu können und um einen ausreichenden Schichtenverbund zu gewährleisten.

Zur Bestimmung der Verdichtungsgrade in verschiedenen Tiefen wurden die untersuchten Bohrkerns zunächst an den Schichtgrenzen zwischen Deck- und Tragschicht bzw. zwischen Tragschicht und Unterlage getrennt. Die im Rahmen des Projektes maßgebliche Tragschicht wurde dann wiederum in drei Scheiben (oben ca. 6 cm, mittig ca. 6 cm, unten ca. 8 cm) geteilt. An den einzelnen Scheiben konnte dann der jeweilige Verdichtungsgrad ermittelt werden. Da die so gemessenen Werte den Mittelwert einer jeden Scheibe beziffern, wurden in nachstehenden Diagramm die Messwerte stets in der Mitte der zugehörigen Scheibe verortet.

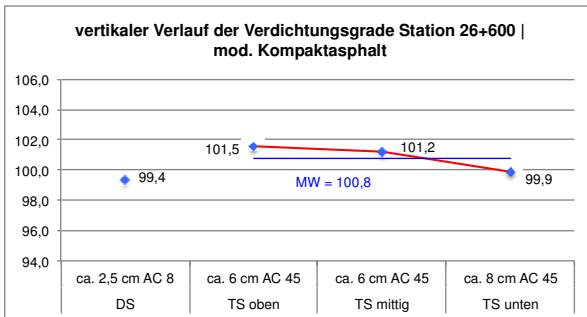


Bild 101: Verlauf der Verdichtungsgrade (Station 26+600)

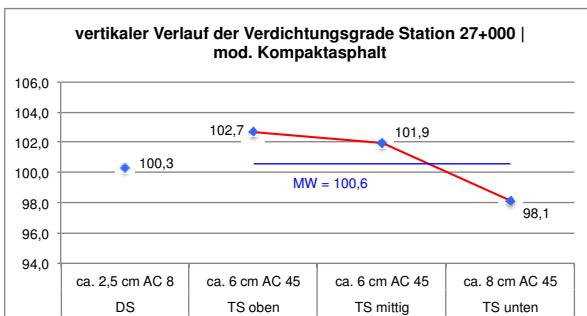


Bild 102: Verlauf der Verdichtungsgrade (Station 27+000)

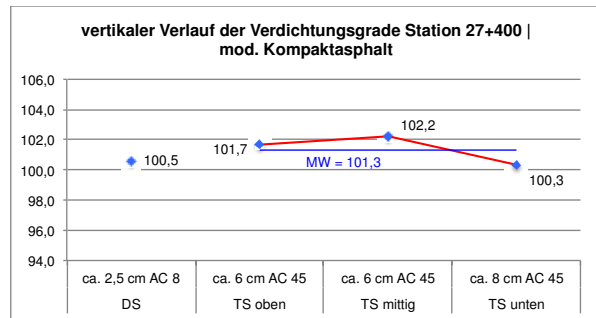


Bild 103: Verlauf der Verdichtungsgrade (Station 27+400)

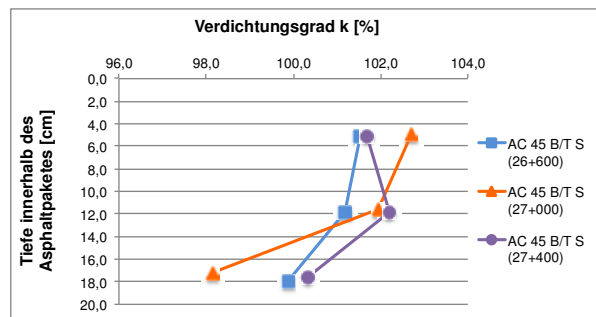


Bild 104: Verdichtungsgrade über die Tiefe innerhalb des Asphaltpaketes

Analog zu den Versuchsfeldern in Bad Hersfeld zeigt sich, dass an den dicken Schichten aus dem Mischgut AC 45 B/T S hohe Verdichtungsgrade (Mittelwerte bis 102,7 %) im oberen Schichtbereich festgestellt werden können. Die Werte verringern sich mit zunehmender Tiefe zunächst wenig (an Station 27+700 steigen sie sogar geringfügig), ehe sie einen deutlichen Abfall zur Schichtunterseite hin zeigen. Hier wurde der niedrigste Mittelwert zu 98,1 % bestimmt. Über die Höhe gemittelt liegen die Verdichtungsgrade der dicken Schichten bei über 100,5 %, also im üblicherweise abnahmefähigen Bereich. Nach ZTV Asphalt-StB (07/13) (4.2.2) wären für eine Tragschicht 98 % zu erbringen.

Für übliche kompakte Asphaltbefestigungen (Deckschicht und Binderschicht) ist nach ZTV Asphalt-StB (07/13) (4.2.2) ein Verdichtungsgrad der Deckschicht von mindestens 99% erforderlich. Dieser wird an allen Stationen eingehalten.

6.5 Erkenntnisse aus der Versuchsstrecke

Die realmaßstäbliche Erprobung der modifizierten Kompaktasphaltbauweise und des Mischguts AC 45 B/T S mit einem Größtkorn von 45 mm lieferte wichtige Erkenntnisse für spätere Einbauvorhaben. Zu nennen sind insbesondere folgende Aspekte:

- Der gleichzeitige Einbau einer dicken Tragschicht (20 cm) und einer dünnen Deckschicht (2,5 cm) in Kompaktasphaltbauweise ist auch im üblichen Baubetrieb möglich.
- Die vorgesehenen Schichtdicken konnten sehr genau eingehalten werden.
- Trotz unterschiedlicher Beschaffenheit der Unterlage schwankten die Werte für den Schichtenverbund zwischen vorhandener Befestigung und neuem Überbau nur gering.
- Es konnten Probleme mit der Längsebenheit festgestellt werden, deren Ursache häufigen Neigungswechseln, einer Vielzahl von Anschlussbereichen, einer ungleichmäßigen Unterlage und vielen Stillständen des Fertigers zugeordnet wurden. Das besonders dicke Asphaltpaket aus Trag-/Binder- und Deckschicht kann sich im Verdichtungsprozess (ggü. dünneren Schichten) stärker verformen, weshalb eine besonders gleichmäßige Verdichtung erfolgen muss. Dies wurde an der Versuchsstrecke aufgrund der vorgenannten Faktoren erschwert. Durch den gleichzeitigen Einbau der Schichten waren zudem keine Ausgleichsmöglichkeiten wie beim zeitversetzten Einbau vorhanden.
- Die hohe statische Auflast der Tragschichtbohle bewirkt bei längeren Standzeiten ein Absinken in das noch heiße Mischgut. Um dies zu vermeiden, muss die Bohlenblockierung verstärkt werden.
- Das Mischgut AC 45 B/T S wurde von den Mischgutherstellern mit (im Vergleich zum Einbau der Versuchsfelder in Bad Hersfeld) vergleichsweise großen Schwankungen der Zusammensetzung produziert. Mögliche Ursache ist der hohe Anteil an Asphaltgranulat. Die festgestellten Abweichungen von der Erstprüfung sind jedoch überwiegend regelwerkskonform.
- Aufgrund des hohen Materialbedarfs ist die Übergabe von Tragschichtmischgut an den Beschicker in sehr kurzen Zeitabschnitten nötig. Hierzu ist ständig Mischgut in Beschickernähe vorzuhalten. Die notwendigen Aufstell- und Rangierflächen nehmen viel Raum ein, zumal auch die (selteneren) Beschickung mit Deckschichtmischgut nicht unterbrochen werden darf. Die vergleichsweise geringe Einbaubreite von ca. 6,50 m eignet sich daher nur bedingt für die Kompaktasphaltbauweise mit großen Schichtdicken. Idealerweise wäre der Raum vor dem Beschicker so zu bemessen, dass sich Lkw mit Deckschichtmischgut und solche mit Tragschichtmischgut getrennt voneinander aufreihen können und eine Fahrgasse für Rangierprozesse frei bleibt. Zudem sind Reinigungsflächen für entladene Lkw außerhalb der Fahrgasse vorzusehen.
- Der Beschickerkübel für das Deckschichtmischgut muss ausreichend groß sein, um die Dauer der Mischgutübergabe so gering wie möglich zu halten. Da während des Abladens von Deckschichtmischgut auch der materialaufwendige Tragschichteinbau weiterlaufen soll, steht für die Deckschichtübergabe nur die Zeitspanne bis zum annähernden Leerlaufen des Tragschichtkübels zur Verfügung. Durch einen ebenfalls vergrößerten Tragschichtkübel kann diese Zeitspanne ausgedehnt werden. Gleichzeitig reduziert sich dann auch die Dauer des Abladens von Tragschichtmischgut. Bei hinreichender Aufstellfläche wäre der Einsatz getrennter Beschicker möglich.
- Die Realisierung zügiger Abladeprozesse und damit schneller Einbaugeschwindigkeiten erfordert ein höheres Maß an

Kommunikation zwischen Einbaupersonal und Lkw-Fahrern. Insbesondere betrifft dies das Anfordern der unterschiedlichen Mischgutsorten von den aufgereihten Lkw. Hier hat sich der schlichte Zuruf der Lkw-Fahrer untereinander nicht als geeignetes Mittel erwiesen.

- Für die Verdichtung der Kanten ist ein geeignetes Verdichtungsmodul am Fertiger zu installieren. Die ersatzweise vorgenommene Verzögerung des Walzvorganges zur Stabilisierung der Randbereiche erweist sich als anfällig für Unebenheiten, besonders in Querrichtung.

7. Versuchsstrecke BAB 96 AS Kißlegg - AS Leutkirch-Süd

7.1 Konzeption

Begleitend zum vorliegenden Projekt wurden alternative Mischgut- und Einbaukonzepte zur signifikanten Reduzierung der Baustellendauer an Straßen bei einem Sanierungsvorhaben an der Bundesautobahn 96 (BAB 96) erprobt. Im Abschnitt AS Kißlegg – AS Leutkirch-Süd war der Oberbau auf ca. 4 km Länge im Tiefeinbau zu erneuern. Das Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg beauftragte die Firma STRABAG mit der Ausführung der Bauleistung. Es kamen verschiedene Varianten der Kompaktasphaltbauweise zur Anwendung, deren Konzept auf dem gleichzeitigen Einbau einer Trag- und einer Deckschicht beruht. Im Gegensatz zu den Versuchsfeldern in Bad Hersfeld und der Versuchsstrecke an der B68 kam keine modifizierte Trag-/Binderschicht AC 45 B/T S in be-

sonders hoher Schichtdicke zum Einsatz. Die verwendeten Tragschichten AC 22 T S und AC 32 T S wurden lediglich in einer üblichen Schichtdicke von 11,5 cm eingebaut. Als Deckschicht dienten die Mischgutsorten AC 8 D S und SMA 8 S in einer Dicke von 2,0 cm. Die entsprechenden Festlegungen und Vorversuche oblagen der Firma STRABAG und der TPA GmbH. Aufgrund der konventionellen Charakteristik der Aufbauten stehen die asphalttechnologischen Erkenntnisse des Bauvorhabens nicht im direkten Zusammenhang mit der Kernfragestellung des Projektes. In vorliegendem Bericht werden daher keine Einzelergebnisse der Untersuchungen wiedergegeben. Vielmehr sollen baubetriebliche Besonderheiten des Einbauprozesses erläutert werden, die zu einer Beschleunigung der Baustellendauer geführt haben.

Der Einbau fand vom 15.-17.10.2014 statt.

7.2 Besonderheiten Einbauvorbereitung

7.2.1 Fräsgutlogistik

Zur Vorbereitung des Einbaus musste die alte Asphaltbefestigung auf einer Fläche von 42.000 m² mit Tiefen von 12-15 cm abgefräst werden.

Um die Fräszeit zu verkürzen und damit den Bauprozess zu beschleunigen, wurde ein detaillierter Taktplan zum Abtransport des Fräsgutes erarbeitet. Durch die Taktung wurden unnötige Standzeiten der Fräse vermieden und eine effektive Nutzung der Kapazitäten erreicht.

STRA takt Fräsen		Baustelle & AMA / Deponie		Bauprozesse VWB L C FRÄSEN		
Auftragsdaten			Kontakt Daten Baustelle			
Fräsdatum	13.10.2014	Bauleiter	Stier (+49 170 5662182)			
Baustelle	A 96 Leutkirch 13.10.14 F1 Hebel BA1	Polier	Knittel (+49 160 7081774)			
Bemerkung						
A - Fräse1						
AMA / Deponie	MA Leutkirch Hebel					
Kontaktperson	Schwarz					
Telefon	+49 7561 906650					
Fräsgut	Asphalt					
Anzahl LKW	6 LKW					
Rundenzeit	00:28 h:min					
Anzahl Fahren	102 Fahren					
Fräsleistung	321 t/h					
Ø-Frästakt	4,7 min					
Ø Fräsenstillstand whrd. LKW-Wechsel	1 min/LKW					
Tagesleistung	2545 t					
Baustelle						
Tagesleistung	2545 t	Frästiefe	13,5 cm			
Anzahl LKW	6 LKW	Fräsbreite	2,1 m			
Anzahl Fahren	102 Fahren	Fräslänge/LKW (25,0t/LKW)	36,7 m			
Vortriebsgeschwindigkeit	10 m/min	Ø Fräsenstillstand whrd. LKW-Wechsel	1 min			
Frästakt	4,7 min					
LKW NR	Fräse / AMA / Deponie	Anzahl Fahren	Fräse		AMA / Deponie	
			Andockzeitpunkt		Entladen	
			SOLL	Bemerkungen	SOLL	Bemerkungen
1-A	Fräse1 / MA Leutkirch Hebel	1	10:00		10:15	
2-A	Fräse1 / MA Leutkirch Hebel	2	10:04		10:20	
3-A	Fräse1 / MA Leutkirch Hebel	3	10:09		10:24	
4-A	Fräse1 / MA Leutkirch Hebel	4	10:14		10:29	
5-A	Fräse1 / MA Leutkirch Hebel	5	10:18		10:34	
6-A	Fräse1 / MA Leutkirch Hebel	6	10:23		10:38	
1-A	Fräse1 / MA Leutkirch Hebel	7	10:28		10:43	
2-A	Fräse1 / MA Leutkirch Hebel	8	10:32		10:48	

Bild 105: Auszug aus dem Taktplan für Fräsarbeiten an der BAB 96



Bild 106: Fräsen nach Taktplan an der BAB 96
[SAT, 2014]

Außerdem wurden die Fräsen und Transportfahrzeuge mit eindeutigen Codierungen beschriftet, sodass jederzeit bekannt war welches Fahrzeug welche Fräse zu bedienen hat (siehe auch Abschnitt 4.2).

Nachstehende Übersicht zeigt den Einsatz auf der Versuchsstrecke BAB 96:

F3	1 – 30
F2	1 – 25
F1	1 – 10
AMA: a+b Ingoldingen	
AMA: DA Grenis	
AMA: Leutkirch Hebel	

Bild 107: Lkw-Codierung für Fräsarbeiten an der BAB 96

- F1/F2/F3:** Es waren drei Fräsen im Einsatz
- 1-30:** Für Fräse 3 waren 30 Fahrzeuge im Einsatz, die zur Asphaltmischanlage Ingoldingen gefahren sind
- 1-25:** Für Fräse 2 waren 25 Fahrzeuge im Einsatz, die zur Asphaltmischanlage Grenis gefahren sind
- 1-10:** Für Fräse 1 waren 10 Fahrzeuge im Einsatz, die zur Asphaltmischanlage Leutkirch Hebel gefahren sind

Fräse 1 wurde demgemäß mit der folgenden Markierung ausgestattet:

Fräse 1

Bild 108: Beispiel für Markierung einer Fräse

Ein Beispiel für die Markierung eines Transportfahrzeuges ist nachstehend abgebildet (Transportfahrzeug 1 für Fräse 3):

F3 - 1

Bild 109: Beispiel für Markierung eines Fräsgut-Transportfahrzeuges

Durch die eindeutigen Markierungen der Transportfahrzeuge und konnte die geplante Taktung während der Fräsarbeiten stets kontrolliert werden.



Bild 110: Fräse und Transportfahrzeug mit Nummerierung
[SAT, 2014]

7.3 Besonderheiten Einbau

7.3.1 Mischgutlogistik

Analog zur Optimierung der Fräsgutlogistik wurde auch ein Taktplan für den Mischguttransport ausgearbeitet. Hier wurden die Kapazitäten der Asphaltmischanlagen mit den möglichen Ressourcen der Transportfahrzeuge und der Einbaugeschwindigkeit des Kompaktasphaltfertigers abgestimmt. Das Ziel war ein kontinuierlicher Asphalteinbau.

Auch die Mischgut-Transportfahrzeuge wurden mit eindeutigen Codierungen versehen, sodass stets Art und Herkunft des Mischgutes einer Lieferung bekannt waren (siehe auch Abschnitt 4.2). Dies erleichterte zudem die Aufreihung und den Abruf der Transportfahrzeuge auf der Baustelle.

Nachstehende Übersicht zeigt die verwendete Codierung an der Versuchsstrecke BAB 96:

U.L. 1 – 10	●
U.L. 1 – 22	●
O.L. 1 – 12	●
AMA: Leutkirch Hebel	
AMA: DA Grenis	
AMA: a+b Ingoldingen	

Bild 111: Lkw-Codierung für den Mischguttransport an der BAB 96

- U.L. 1-10:** 10 Fahrzeuge zur Anlieferung der Asphaltbinderschicht von der Asphaltmischanlage Leutkirch Hebel
- U.L. 1-22:** 22 Fahrzeuge zur Anlieferung der Asphaltbinderschicht von der Asphaltmischanlage Grenis
- O.L. 1-12:** 12 Fahrzeuge zur Anlieferung der Asphaltdeckschicht von der Asphaltmischanlage Ingoldingen

Die grünen und roten Markierungen, welche ebenfalls an den Rückwänden der Mulden angebracht wurden, erleichterten die Differenzierung

zwischen Deckschicht- und Binderschichtmaterial noch weiter. So konnte die Art der Ladung bereits aus der Ferne erkannt werden, da die Bedeutung der Farben dem Einbaupersonal vorher kommuniziert wurde. Das folgende Bild zeigt die beispielhafte Markierung von Fahrzeug 1 mit Anlieferung des Asphaltbinderschichtmischguts aus der Asphaltmischanlage Leutkirch Hebel:

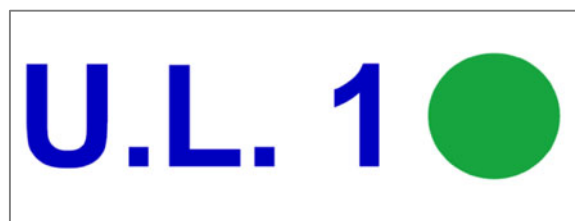


Bild 112: Beispiel für Markierung eines Mischgut-Transportfahrzeuges



Bild 113: Vordere Markierung eines Mischgut-Transportfahrzeuges



Bild 114: Hintere Markierung eines Mischgut-Transportfahrzeuges

Die präzise Taktung und Codierung war für die Bauzeitoptimierung sehr wichtig, da mit der Anlieferung von Asphalt aus drei Mischanlagen ohne Abstimmung der einzelnen Logistikparameter aufeinander, ein kontinuierlicher Asphalteinbau nicht hätte gewährleistet werden können.

7.4 Erkenntnisse aus der Versuchsstrecke

Die Versuchsstrecke lieferte wichtige baubetriebliche Erkenntnisse für den Einbau von Kompaktasphalt bzw. Aufbauten mit hohem Mischgutbedarf. Insbesondere sind folgende Punkte zu nennen:

- Ein detailliertes Fräsgutkonzept mit Taktplan, leicht verständlichen Erkennungsmerkmalen auf Transportfahrzeugen und Fräsen, sowie einer Überwachung in situ beschleunigt die Bauvorbereitung wesentlich. Ein entsprechendes Konzept zur Mischgutlogistik trägt zur Beschleunigung des Einbauprozesses bei.

- Zeitpuffer im Fräs- und Mischguttaktplan verhindern kurzfristige Kapazitätsengpässe.
- Große Einbaubreiten erleichtern und beschleunigen das Rangieren der Lkw beim Transport von Fräs- und Mischgut. Der Einbauprozess wird hierdurch unterbrechungsfreier. Dies ist besonders wichtig, da bei der Kompaktasphaltbauweise große Materialmengen in kurzen Zeitabständen bewegt werden müssen.
- Ausgelagerte Reinigungs- und Wendestellen vermeiden Konfliktpunkte in den Anlieferungs- und Abfahrwegen.
- Der Einsatz getrennter Beschicker für Trag- und Deckschichtmischgut beschleunigt den Einbau, sofern beide Geräte parallel hinter dem Kompaktasphaltfertiger angeordnet sind und eine gleichzeitige Mischgutübergabe möglich ist. Hierzu sind eine Mindesteinbaubreite von 8,50 m und wiederum ausreichend groß dimensionierte Rangiergassen für die Transportfahrzeuge erforderlich.

8. Rechnerischer Nachweis

8.1 Verfahren

Parallel zum Nachweis der praktischen Einbaufähigkeit galt es einen rechnerischen Vergleich des Ermüdungsverhaltens über die Nutzungsdauer zwischen konventionellen Referenzaufbauten und der modifizierten Kompaktasphaltbauweise anzustellen. Hierzu wurde das Tool PaDesTo 2008 herangezogen.

Im Detail sollten die unter Abschnitt 5.1 identifizierten und auf den Versuchsfeldern in Bad Hersfeld erprobten Anwendungsfälle der neuen Bauweise untersucht werden.

Die Dicke der Frostschuttschicht ergab sich belastungsklassenabhängig aus der Gesamtdicke des frostsicheren Aufbaus nach RStO. Eingabedaten zu Verkehrsbelastungen und klimatischen Bedingungen wurden anhand von Standardwerten nach RStO bzw. RDO angesetzt.

Die benötigten Materialparameter für das Mischgut AC 45 B/T S wurden an Einbaumischgut und zusätzlichen Bohrkernproben von Versuchsfeld 3 in Bad Hersfeld ermittelt. Für die Kompakt-asphaltdeckschicht und die Mischgutsorten der Referenzbauweise wurden im Berechnungstool vorhandene Kalibrierwerte angesetzt.

Die Berechnung der Ermüdungszustände erfolgte jeweils an der Unterseite des gebundenen Aufbaus. Bei den Aufbauten für die Belastungsklasse Bk3,2 (Anwendungsfall: Neubau auf ungebundener Schicht) war dies an der Unterseite der neu eingebauten Asphalttragschicht, für Bk100 (Anwendungsfall: teilweiser Ersatz der vorhandenen Schichten) lag der Nachweispunkt an der Unterseite der noch vorhandenen Bestandstragschicht.

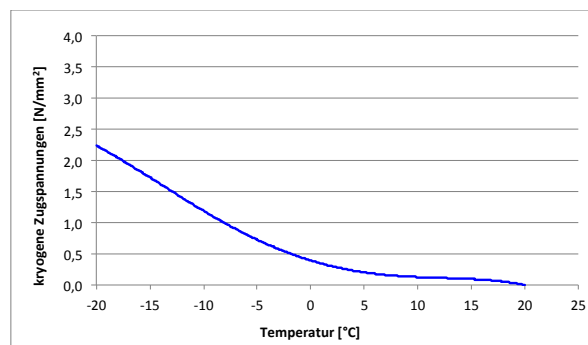


Bild 115: Kryogene Zugspannungen in Abhängigkeit der Kerntemperatur

8.2 Parameterermittlung für das Mischgut AC 45 B/T S

8.2.1 Kryogene Zugspannungen

Die kryogenen Zugspannungen wurden nach den TP Asphalt-StB, Teil 46 A: „Kälteeigenschaften: Einaxialer Zugversuch und Abkühlversuch“ bestimmt. Hierzu wurde aus dem Einbaumischgut AC 45 B/T S zunächst eine Asphaltplatte mittels Walzsektorverdichtung hergestellt, aus welcher anschließend drei quaderförmige Probekörper mit einer Grundfläche von 60x60 mm herausgesägt wurden.

Der Abkühlversuch lieferte folgende Ergebnisse:

	Probe 1	Probe 2	Probe 3	MW
Bezeichnung	P1	P2	P3	-
Rohdichte [g/cm ³]	2,495	2,521	2,502	2,506
Bruchtemperatur [°C]	-29,0	-31,0	-26,2	-28,7
Bruchspannung [N/mm ²]	3,120	2,966	2,451	2,846

Tab. 31: Ergebnisse des Abkühlversuches

Durch Mittelung der Kurven aller drei Probekörper ergibt sich folgender Verlauf der kryogenen Zugspannungen in Abhängigkeit von der Temperatur.

8.2.2 E-Modul

Zur Bestimmung der Steifigkeit in Abhängigkeit der Temperatur wurde der E-Modul mittels Spaltzug-Schwellversuch nach AL Sp-Asphalt 09 ermittelt. Hierzu wurden vier Bohrkerne (\varnothing 150 mm) von Versuchsfeld 3 genutzt. Aus der Mitte der Trag-/Binderschicht am Bohrkern wurden jeweils Scheiben ($h = 90 \pm 2$ mm) als Probekörper herausgesägt. Ein Probekörper diente Vorversuchen (Festlegen der Oberspannungen), an den übrigen drei konnten die nachstehend aufgeführten Werte gemessen werden. Näheres zur Versuchsdurchführung ist AL Sp-Asphalt 09 zu entnehmen.

	Frequenz:	10 Hz	5 Hz	1 Hz	0,1 Hz
	σ [MPa]:	0,035	0,035	0,035	0,035
	σ [MPa]:	0,75	0,75	0,65	0,55
	$n_{\text{Lastwechsel}}$:	110	100	20	10
20°C	PK 7	6624	4329	2776	1073
	PK 1	7389	5973	3200	1237
	PK 10	7957	6476	4157	1461
≠0,299					
10°C	PK 7	10069	8643	6373	3720
	PK 1	11169	9423	6846	3959
	PK 10	12863	11305	8394	5006
≠0,240					
0°C	PK 7	14993	13558	10953	7591
	PK 1	17433	15774	12774	8972
	PK 10	18481	17098	14213	10332
≠0,199					
-10°C	PK 7	20584	19363	16942	14029
	PK 1	21591	21282	18737	15662
	PK 10	22910	22380	19909	16986
≠0,174					

Tab. 32: Einzelwerte für Steifigkeitsmoduln nach Spaltzug-Schwellversuch

Die in den Einzelversuchen bestimmten Steifigkeitsmoduln wurden gemittelt und in nachfolgender Tabelle getrennt für die Kombinationen aus Prüftemperatur und Belastungsfrequenz aufgelistet. Der geforderte Variationskoeffizient von $v = 10\%$ wird bei 0 °C , 10 °C und 20 °C übertroffen (max. 20%). Dies kann mit der durch das Größtkorn bedingten heterogenen Beschaffenheit der Probekörper zusammenhängen.

Temperatur [°C]	Prüffrequenz [Hz]	Steifigkeitsmodul [MPa]
20	0,1	1257
20	1	3378
20	5	5593
20	10	7323
10	0,1	4228
10	1	7204
10	5	9790
10	10	11367
0	0,1	8965
0	1	12647
0	5	15477
0	10	16969
-10	0,1	15559
-10	1	18529
-10	5	21009
-10	10	21695

Tab. 33: Gemittelte Steifigkeitsmoduln nach Spaltzug-Schwellversuch

Aus den berechneten Steifigkeitsmoduln für die untersuchten Beanspruchungszustände aus Prüftemperatur und Belastungsfrequenz wurden Isothermen-Abschnitte des Steifigkeitsmoduls abgeleitet und grafisch dargestellt:

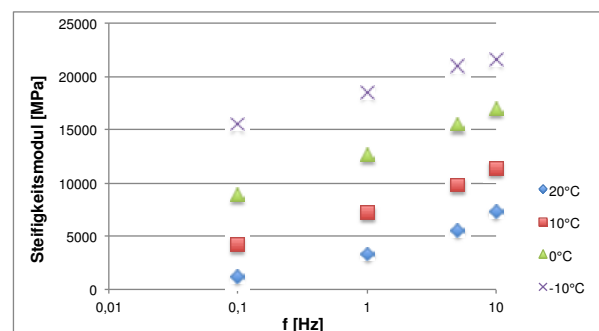


Bild 116: Isothermen der Steifigkeitsmoduln für vier Temperaturen

Durch Verschiebung der Isothermen-Abschnitte um den Faktor $\log \sigma$ (Bestimmung siehe AL Sp-Asphalt 09) in Richtung der Frequenzachse konnte schließlich die Hauptkurve (auch: Master-Kurve, bzw. master-curve) bestimmt werden.

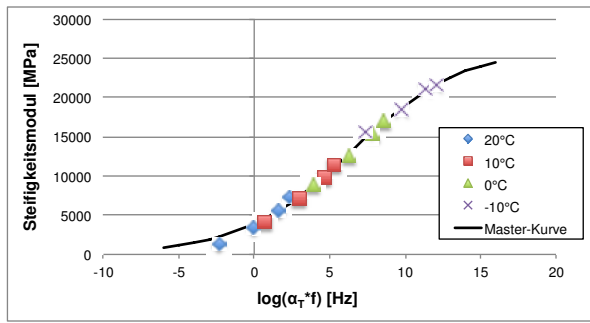


Bild 117: Master-Kurve

Durch Regression kann der Verlauf der Master-Kurve mit folgender Sigmoid-Funktion beschrieben werden:

$$|E| = y_0 + \frac{w}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{z}\right)}} = -16,46 + \frac{26378}{1 + e^{-\left(\frac{x-6,467}{3,684}\right)}}$$

Der Korrelationskoeffizient beträgt: 0,97784

Es ergibt sich nachstehende Prognose für eine Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion bei einer Prüffrequenz von 10 Hz:

Temperatur [°C]	Frequenz [Hz]	Steifigkeitsmodul [MPa]
-20	10	24410
-10	10	21583
0	10	16800
10	10	11126
15	10	8569
20	10	6422
35	10	2482
50	10	941

Tab. 34: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln für 10 Hz

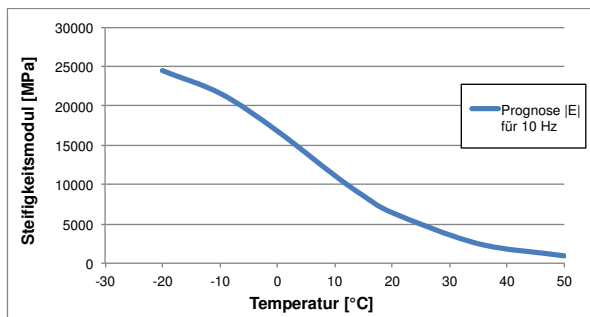


Bild 118: Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion für 10 Hz

8.2.3 Ermüdung

Die Spaltzug-Schwellversuche zur Ermittlung der Ermüdungsfunktion erfolgten nach AL Sp-Asphalt 09 bei 20 °C und 10 Hz. Es wurden zehn weitere Bohrkern (ø 150 mm) von Versuchsfeld 3 genutzt. Auch hier wurden aus der Mitte der Trag-/Binderschicht am Bohrkern jeweils Scheiben (h = 90 ± 2 mm) als Probekörper herausgesägt. Ein Probekörper diente Vorversuchen (Festlegen der Oberspannungen), an den übrigen neun konnten die nachstehend aufgeführten Werte für drei Beanspruchungszustände gemessen werden. Näheres zur Versuchsdurchführung ist AL Sp-Asphalt 09 zu entnehmen.

Probe [-]	Unter-spannung σ [MPa]	Ober-spannung σ [MPa]	$\epsilon_{el,anf}$ [‰]	N_{Makro} [-]
8	0,035	0,41	0,040	51813
11	0,035	0,41	0,060	34836
9	0,035	0,41	0,051	69462
13x	0,035	0,59	0,139	6219
14x	0,035	0,59	0,121	9368
6	0,035	0,59	0,104	16090
13	0,035	0,74	0,194	4785
14	0,035	0,74	0,185	6332
12	0,035	0,74	0,192	8472

Tab. 35: Versuchsergebnisse der Ermüdungsversuche

Aus diesen Ergebnissen der Spaltzug-Schwellversuche resultiert folgende Ermüdungsfunktion:

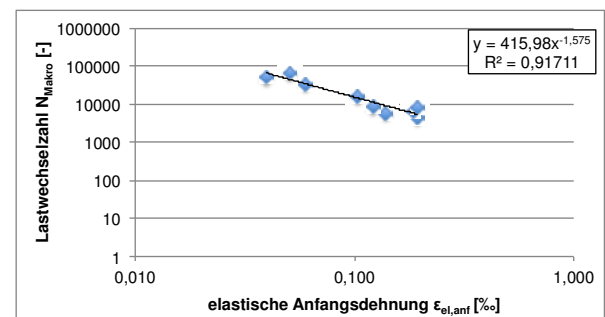


Bild 119: Ermüdungsfunktion

Die angenäherte Ermüdungsfunktion lautet:

$$N_{Makro} = 415,98 \cdot \epsilon_{el,anf}^{-1,575}$$

Der Korrelationskoeffizient beträgt: 0,91711

8.3 Ergebnisse

Den nachfolgenden Variantenvergleichen zwischen Referenzbauweise und modifizierter Kompaktasphaltbauweise (jeweils für Bk3,2 und Bk100) sind die wichtigsten Eingangsdaten und Berechnungsergebnisse zu entnehmen. Eine Dokumentation der Berechnung mit allen Eingabe- und Ausgabewerten ist Anlage 1 zu entnehmen.

8.3.1 Variantenvergleich Bk3,2

Für den Variantenvergleich der Belastungsklasse Bk3,2 galt es, die nachstehend abgebildeten Aufbauten hinsichtlich ihres Ermüdungszustandes über die Nutzungsdauer zu untersuchen.

Neubau:

Bk3,2 (RStO 12)

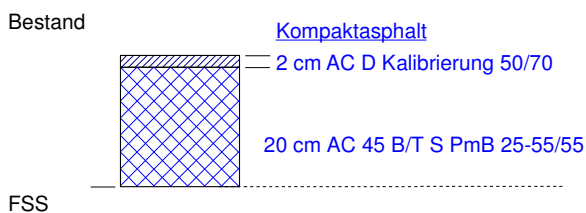
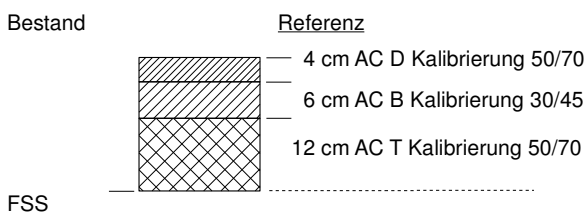


Bild 120: Aufbauten für den rechnerischen Lebensdauervergleich (Bk3,2)

Die Berechnung der Ermüdungszustände erfolgte an der Unterseite der neu eingebauten Asphalttragschichten.

Dabei wurde von folgenden Basisdaten ausgegangen:

DTV	2850 Kfz/24h
SV-Anteil	4 %
Nutzungszeitraum	30 Jahre
Fahrschienenanzahl	2 Fahrschienen erfasst
Fahrschienenbreite	3,25 m bis unter 3,75 m
Steigung	unter 2 %
Straßenklasse	Bundesstraßen
Gewählter Achszahlfaktor	3,7
Verkehrsverteilung	BAB Kalibrierung
Gewählte qB-Zahl	0,4632
Verkehrssteigerung	1,0 % p.a.
Frostempfindlichkeit des Bodens	F3
Frosteinwirkungszone	Zone I
Lage der Gradiente	Einschnitt, Anschnitt, Damm <= 2,0 m
Wasserverhältnisse	ungünstig (gem. ZTV E-StB)
Ausführung der Randbereiche	außerhalb geschl. Ortslage
Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus	70 cm
Temperaturverteilung	Zone 1 (RDO 09)
Verformungsmodul Planum	$E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$
Verformungsmodul OK FSS	$E_{v2} = 120 \text{ MN/m}^2$

Tab. 36: Basisdaten für die PaDesTo-Berechnung (Bk3,2)

Unter Ansatz dieser Aufbau- und Basisdaten, sowie der Materialkenngrößen wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

	Referenz	Kompaktasphalt
Ermüdungszustand		
Asphalt	49 %	34 %
Kriterium maximale Druckspannung		
ToB	1 %	0 %
Planum	1 %	0 %
Spurrinnenfördernde Deviatorspannung		
Asphaltdeckschicht	0,196 N/mm ²	0,242 N/mm ²
Asphaltbinderschicht	0,681 N/mm ²	-

Tab. 37: PaDesTo-Berechnungsergebnisse (Bk3,2)

8.3.2 Variantenvergleich Bk100

Für den Variantenvergleich der Belastungsklasse Bk100 wurden die folgenden Aufbauten hinsichtlich ihres Ermüdungszustandes über die Nutzungsdauer untersucht.

Erneuerung bei teilweisem Ersatz der vorhandenen Befestigung:

Bk100 (RStO 12)

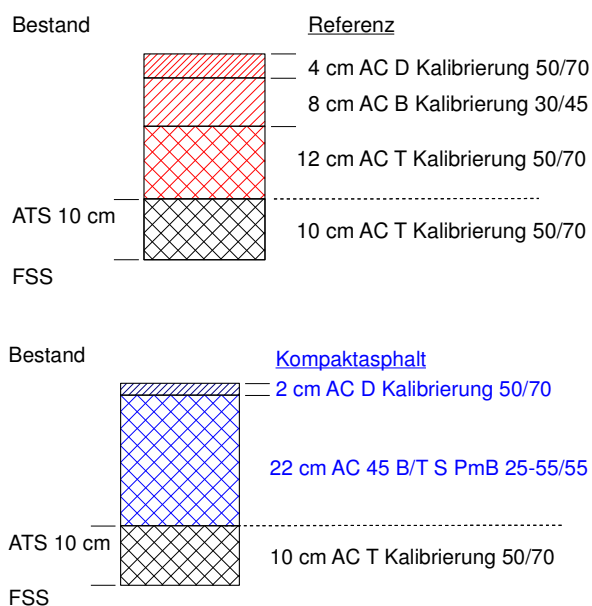


Bild 121: Aufbauten für den rechnerischen Lebensdauervergleich (Bk100)

Der Nachweispunkt bei diesem Variantenvergleich (Anwendungsfall: teilweiser Ersatz der vorhandenen Schichten) lag an der Unterseite der noch vorhandenen Bestandstragschicht, welche bei beiden Varianten aus dem gleichen Material besteht. Die modifizierte Trag-/Binderschicht der Überbauung hat somit nur indirekten Einfluss auf das Ermüdungsverhalten an der Unterseite des gebundenen Asphaltüberbaus.

Es wurden folgende Basisdaten angesetzt:

DTV	50000 Kfz/24h
SV-Anteil	8 %
Nutzungszeitraum	30 Jahre
Fahrstreifenanzahl	2 Fahrstreifen erfasst
Fahrstreifenbreite	3,25 m bis unter 3,75 m
Steigung	unter 2 %
Straßenklasse	Bundesstraßen
Gewählter Achszahlfaktor	3,7
Verkehrsverteilung	BAB Kalibrierung
Gewählte qB-Zahl	0,4632
Verkehrssteigerung	1,0 % p.a.
Frostempfindlichkeit des Bodens	F3
Frosteinwirkungszone	Zone I
Lage der Gradiente	Einschnitt, Anschnitt, Damm <= 2,0 m
Wasserhältnisse	ungünstig (gem. ZTV E-StB)
Ausführung der Randbereiche	außerhalb geschl. Ortslage
Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus	75 cm
Temperaturverteilung	Zone 1 (RDO 09)
Verformungsmodul Planum	$E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$
Verformungsmodul OK FSS	$E_{v2} = 120 \text{ MN/m}^2$

Tab. 38: Basisdaten für die PaDesTo-Berechnung (Bk100)

Es wurden folgende Ergebnisse errechnet:

	Referenz	Kompaktasphalt
Ermüdungszustand		
Asphalt	55 %	48 %
Kriterium maximale Druckspannung		
ToB	0 %	0 %
Planum	0 %	0 %
Spurrinnenfördernde Deviatorspannung		
Asphaltdeckschicht	0,460 N/mm ²	0,461 N/mm ²
Asphalt(trag-)binderschicht	0,789 N/mm ²	0,675 N/mm ²

Tab. 39: PaDesTo-Berechnungsergebnisse (Bk100)

8.3.3 Deutung der Ergebnisse

Für beide Belastungsklassen ergibt sich anhand der Berechnungsergebnisse ein tendenziell langsames Fortschreiten der Ermüdung des modifizierten Kompaktasphaltes gegenüber der jeweiligen Referenzbauweise. Indirekt lässt sich hieraus eine längere Nutzungsdauer der modifizierten Kompaktasphaltaufbauten ableiten. Dieser rechnerische „Zugewinn“ an Nutzungsdauer könnte alternativ für eine Reduzierung der Schichtdicke herangezogen werden.

Es gilt jedoch zu beachten, dass die Materialkennwerte der Referenzbauweisen auf Standardwerten beruhen und unter Ansatz tatsächlicher (besserer) Werte auch für die Referenzaufbauten längere Nutzungsdauern errechnet werden könnten. Die modellhafte Berechnung kann in den vorliegenden Fällen nur dem groben Vergleich der modifizierten Kompaktasphaltauflage mit den jeweiligen Standardaufbauten dienen, ohne dabei Anspruch auf Übereinstimmung mit realen Ermüdungszuständen zu erheben.

9. Schlussbetrachtung

9.1 Projektzusammenfassung und Zielerfüllung

In vorliegendem Projekt wurde die Idee einer modifizierten Kompaktasphaltauflage zur Bauzeitenbeschleunigung durch gleichzeitigen Einbau von Trag- und Deckschicht untersucht.

Die Zusammenarbeit der Forschungsnehmer aus den Gebieten der Asphalttechnologie, der Maschinentechnik und der Einbauprozesse gewährleistete einen steten Austausch unterschiedlichen Fachwissens der baubeteiligten Disziplinen in allen Projektstadien. Hierdurch konnte die Anwendungs-idee in ein ausführungsfähiges Konzept überführt werden.

Im Zuge des Projektes waren zunächst mögliche Kompaktasphaltaufbauten für die Anwendungsfälle „Neubau“ (geringe Belastungsklassen) und „Erneuerung bei teilweisem Ersatz der vorhandenen Befestigung“ (hohe Belastungsklassen) fest-

zulegen. Die daraus resultierenden hohen Trag-schichtdicken (20-22 cm) erforderten die Konzeption eines neuen Mischgutes mit einem Größtkorn von 45 mm. Die entwickelte Mischgutsorte AC 45 B/T S vereint über ihre Sieblinie Binder- und Tragschichteigenschaften und erwies sich in Laborversuchen als geeignet. Durch eine Probemischung im Asphaltmischwerk konnten Zweifel an der großtechnischen Produzierbarkeit des Mischgutes widerlegt werden. In konventionell ausgestatteten Asphaltmischanlagen lässt sich trotz des hohen Größtkorndurchmessers ein homogen durchmischtes Mischgut herstellen ohne dabei Schäden an den Anlagenteilen hervorzurufen.

Basierend auf dem Mischgutkonzept und den vorgesehenen Schichtdicken waren zudem Modifikationen an Einbau- und Verdichtungsgeräten nötig. Hierzu wurden Konzepte erarbeitet und erprobt.

Auf Versuchsfeldern in Bad Hersfeld wurde das Mischgut in Verbindung mit einer dünnen Deckschicht erstmalig eingebaut. Sowohl auf gebundenen Unterlagen (Erneuerung), als auch auf ungebundenen Unterlagen (Neubau) konnten anforderungskonforme Einbauergebnisse erzielt werden. So wiesen die Kompaktasphaltaufbauten gegenüber den daneben errichteten konventionellen Referenzaufbauten einen höheren Schichtenverbund zwischen Deck- und Tragschicht, sowie zwischen Tragschicht und Unterlage auf. Die vorgegebenen Schichtdicken wurden zuverlässig eingehalten. Auch das zuvor unbekanntes Verdichtungsverhalten des neuen Mischgutes sowie der hohen Schichtdicken erwies sich als unkritisch. Über die Tragschichthöhe gemittelt ergaben sich Verdichtungsgrade von ca. 100 %, an den Tragschichtunterseiten lagen die Werte noch bei ca. 98 %. Die mittels FWD-Messungen bestimmte Tragfähigkeit der Aufbauten war vergleichbar mit jenen von typischen Referenzaufbauten hoher Belastungsklassen. In Längsrichtung waren an der Deckschicht maximale Unebenheiten von ca. 2 mm festzustellen. In Querrichtung zeigten sich die Randbereiche der Aufbauten jedoch verformungsanfällig. Hier wurde der Anforderungswert von 4 mm teils deutlich überschritten.

Als Ursache wurde eine ungenügende Kantenverdichtung bei den ersten Walzvorgängen identifiziert und die Notwendigkeit der Entwicklung spezieller Kantenverdichtungsmodule erkannt.

Auf der Versuchsstrecke B 68 (Quakenbrück-Badbergen) wurde die Bauweise erstmalig in der Praxis erprobt. Im Zuge einer Erneuerungsmaßnahme wurden innerhalb von nur vier Tagen auf insgesamt 1.200 m Länge Fräsarbeiten durchgeführt, Kompaktasphalt mit den Schichtdicken 20+2 cm eingebaut (in Teilbereichen auch dicker), sowie sämtliche Nebenarbeiten (Anschlüsse, Einbauten, Randsteine, Markierung) ausgeführt. Die reine Einbaudauer betrug 12 Stunden und wurde im Schichtbetrieb vollzogen. Trotz der engen Zeitspanne konnte die Straße fristgerecht für den Verkehr freigegeben werden, weshalb das Projektziel des „schnellen Bauens“ als erfüllt angesehen werden kann. Auch die Parameter Schichtdicken, Schichtenverbund und Verdichtungsgrad erwiesen sich als anforderungskonform. In Längs- und Querrichtung waren jedoch teils deutliche Unebenheiten festzustellen. Hierfür kommen verschiedene Ursachen infrage. So wies die Unterlage eine unerwartet inhomogene Charakteristik auf, aus welcher ein un-ebenes Fräsbild resultierte. In Verbindung mit häufigen Neigungs- und Profilwechseln in der Trassierung konnte durch den einzügigen Einbau kein hinreichender Ebenheitsausgleich gelingen. In Querrichtung auftretende Unebenheiten sind wiederum auf die Notwendigkeit spezieller Kantenverdichtungsgeräte und -strategien zurückzuführen. Aufgrund einer geringen Einbaubreite von ca. 6,50 m und demgemäß schwierigen Rangierbedingungen für Transportfahrzeuge, kam es ferner zu wiederholten Unterbrechungen in der Mischgutanlieferung. Die damit verbundenen Fertigerstillstände führten zum Absacken der statisch aufgelasteten Tragschichtbohle und äußerten sich in zusätzlichen singulären Unebenheiten in Längsrichtung. Die Ebenheitsproblematik in Längs- und Querrichtung führte zu einer vorzeitigen Sanierung der Asphaltdeckschicht und hat weiteren Optimierungsbedarf für künftige Praxiserprobungen offenbart.

An einer weiteren Versuchsstrecke wurde demgemäß der Beobachtungsschwerpunkt auf die Baulogistik gerichtet. Ziel war es, einen möglichst

unterbrechungsfreien Einbau bei einer Baumaßnahme an der BAB 96 (AS Kißlegg - AS Leutkirch-Süd) durchzuführen. Gegenstand dieses Bauvorhabens war die Erneuerung eines 4 km langen Autobahnabschnittes einschließlich Fräsarbeiten und Asphalteinbau in Kompaktasphaltbauweise (hier jedoch mit gleichzeitigen Einbau einer Deckschicht und einer Tragschicht mit üblicher Dicke). In einer umfassenden und detaillierten Bauvorbereitung wurden Logistikkonzepte für den An- bzw. Abtransport von Misch- und Fräsgut aufgestellt. Deren konsequente Umsetzung führte zu einem konfliktarmen und schnellen Fräs- und Einbauprozess. Auch breitere Fahr- und Rangiergassen für die Transportfahrzeuge wirkten sich positiv auf den Bauablauf aus, sodass der Einbau seltener zum Stillstand kam. Die Ebenheitsproblematik der Probefelder und der Versuchsstrecke B68 äußerte sich hier nicht. Zwar sind die Aufbauten beider Versuchsstrecken verschieden, jedoch kann die positive Wirkung oben genannter Faktoren auf die Ebenheit unterstellt werden.

Durch einen rechnerischen Nachweis konnte neben den baupraktischen Erkenntnissen auch eine Abschätzung des Ermüdungsverhaltens über die Nutzungsdauer vollzogen werden. Die Kompaktasphaltaufbauten sind demzufolge dauerhafter als typische Referenzaufbauten innerhalb der gleichen Belastungsklasse.

Es bleibt abschließend festzustellen, dass mit der modifizierten Kompaktasphaltbauweise in Form des gleichzeitigen Einbaus einer dicken Tragschicht und einer dünnen Deckschicht Straßenaufbauten hergestellt werden können, die in den meisten Parametern technisch gleichwertig gegenüber gängigen Standardaufbauten sind, jedoch das Potenzial einer deutlich kürzeren Einbaudauer aufweisen. Für eine entsprechende Umsetzung sind jedoch eine besonders sorgfältige Bauvorbereitung, ein gleichmäßiger Einbau auf möglichst breiten und homogenen Streckenabschnitten und die Optimierung der Kantenverdichtung nötig. Der Einhaltung der Ebenheitsanforderungen ist dabei erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen.

9.2 Handlungsempfehlung

Die wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit hinsichtlich asphalttechnologischer, maschinentechnologischer und baubetrieblicher Anforderungen der modifizierten Kompaktasphaltbauweise wurden übersichtlich in einer Handlungsempfehlung zusammengetragen. Hierdurch sollen der Transfer der neuen Bauweise in die Baupraxis sowie deren Weiterentwicklung unterstützt werden.

Das Dokument ist nicht Bestandteil des vorliegenden Berichtes. Eine Entwurfsfassung befindet sich jedoch in Anlage 2.

9.3 Offene Fragestellungen

Trotz des insgesamt positiven Projektergebnisses wurden in einzelnen Bearbeitungsstadien Problemfelder der modifizierten Kompaktasphaltbauweise aufgedeckt, welche Ansatzpunkte für weiterführende Forschung und Erprobung bieten. Zu nennen sind insbesondere folgende Aspekte:

- Gängige Laborprüfverfahren sind nicht für ein Größtkorn von 45 mm ausgelegt. Schon die Entnahme einer für das Gesamtmischgut repräsentativen Probe gestaltet sich schwierig, da die zu untersuchenden Probemengen für besonders grobkörniges Mischgut in der Regel zu klein sind. Dies ist zum Beispiel bei der Ermittlung der Rohdichte oder der Herstellung von Marshall-Probekörpern (MPK) der Fall. Des Weiteren kann selbst mit großen MPK (Durchmesser 150 mm) kaum ein realitätsnaher Verdichtungszustand abgebildet werden. Hier weichen die Schichtdicke und das Grobkorngerüst zu stark von realen Verhältnissen ab.
- Die physikalischen Wirkungszusammenhänge bei der Verdichtung besonders dicker Schichtpakete gilt es genauer zu ergründen. Durch entsprechende Optimierung der Verdichtung könnten über die Querschnittshöhe gleichmäßigere Verdichtungsgrade erzielt, bzw. die Tiefenwirkung verbessert werden.
- Die dicken Kompaktasphaltaufbauten erwiesen sich beim Verdichten besonders in Querrichtung als verformungsanfällig. Hierfür konnten aus ingenieurmäßiger Sicht sinnvolle Erklärungen gefunden werden. Diese gilt es jedoch zu validieren und Verfahren zur Optimierung abzuleiten.
- Da zur vorliegenden Bauweise noch keine Langzeiterfahrungen an realen Strecken vorliegen, konnte das Ermüdungsverhalten nur rechnerisch abgeschätzt werden. Der Nachweis der Dauerhaftigkeit und Verformungs-resistenz unter realer Beanspruchung steht noch aus.
- Eine Bauzeitenverkürzung, wie sie als primäres Ziel des Projektes formuliert wurde, konnte erreicht werden. Es gilt jedoch deren Ausmaß zu quantifizieren und den möglichen Mehrkosten gegenüberzustellen.

Literatur

- ARAND, W.; MILBRADT, H.; STEINHOFF, G.: Untersuchungen der Wirksamkeit von Hochverdichtungsbohlen durch Feldmessungen auf laufenden Baustellen. TU Braunschweig, Schlußbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 719, 1989
- ARAND, W.; RENKEN, P.: Grundlegende Untersuchungen über den Einfluss der Zusammensetzung auf die Verdichtbarkeit von Walzasphalten mittels Variation kompositioneller Merkmale zur Schaffung quantitativer Bewertungsmaßstäbe. TU Braunschweig, Schlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 8167, 1992
- BALD, J.S.; NGUYEN, A.-D.; SCHWEBEL, N.; BÖHM, S.: Optimierung von Maßnahmen zur Erhaltung einer funktionstüchtigen Straßeninfrastruktur – Ermittlung des Substanzwertes, Forschungsvorhaben, FE-Nr. 88.0100/2009, TU Darmstadt, 2011
- BÖHM, S.; STÖCKERT, U.; WOLF, T.; SCHÄFER, V.: Kompaktasphalt – Eine Dokumentation zur Stand der Technik; TU Darmstadt, 2001
- BÖHM, S.; PEHLKE, A.; ROOT, V.; ROSAUER, V.: Kompaktasphalt – Untersuchung des Langzeitverhaltens anhand ausgewählter Bundesautobahn-Abschnitte; TU Darmstadt, 2006
- BÖHM, S.; ROSAUER, V.; WALLRABENSTEIN, T.: Langlebig auch unter starker Belastung, Kompaktasphalt am „Reckeröder Berg“. In: Straßen- und Tiefbau 06/2011, 2011b
- BÖHM, S.: Kompaktasphalt - Deutsche Erfahrungen; Kompaktasphaltsympodium in Lodz, 2011c
- BÖHM, S.; CICKOVIC, M.: Temperaturverlauf im Asphalteinbauprozess – Temperaturmessung von Asphalt vom Mischwerk bis zum Einbau, Projektbericht für die Firma Fliegl, TU Darmstadt 2014
- Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Falling Weight Deflectometer, abgerufen unter: <http://www.bast.de/DE/FB-S/Technik/FWD.html>, Stand: 20.09.2010, Zugriffsdatum: 06.08.2014
- BUSCH, E.; HORAK, J.: Schubkurbelgetriebe, Unterrichtswerk für den Maschinenbau, Band V - Maschinenteile. VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1970
- FISCHER, F.: Die Verdichtung im Erdbau und bituminösen Straßenbau, Clark International Marketing S.A., Wiesbaden 1975
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen – Ausgabe 2012 (RStO 12), FGSV Verlag, Köln 2012
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbestigungen – Ausgabe 2007 / Fassung 2013 (TL Asphalt-StB 07/13), FGSV Verlag, Köln 2013
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Asphaltbauweisen – Ausgabe 2009 (ZTV BEA-StB), FGSV Verlag, Köln 2012
- GRÄTZ, B.: Bewertung der Tragfähigkeit und der Standfestigkeit bestehender Asphaltstraßen zur Wahl zweckmäßiger Erhaltungsmaßnahmen. Habilitation, TU Darmstadt 2009
- HUSCHEK, S.; ANGST, Ch.: Mechanische Eigenschaften von Füller-Bitumen-Gemischen - Einfluss der Verdichtungsart auf die mechanischen Eigenschaften von Asphaltprüfkörpern, ISETH- Mitteilung Nr. 44, Zürich 1980
- Informationsbroschüre zur Untersuchungsstrecke B16 – Innovatives Bauen: 10.000 Tonnen – Asphalteinbau in 30 Stunden; Hrsg.: HERMANN KIRCHNER Bauunternehmung GmbH und Staatliches Bauamt Ingolstadt; 2012
- JOSEPH VÖGELE AG: VÖGELE Einbaufibel, Eigenverlag, 2012
- KÖNIG, F.: Verdichtung im Erd- und Straßenbau. Bauverlag, Berlin 1995
- MONECKE, J.; PETROV, P.; POPPY, W.: Einfluss maschinentechnischer Parameter auf den Einbau von Asphalt. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben AiF/FKM/FVB-Nr. 368 D. Schriftenreihe der Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen, Frankfurt/M., 1997
- SAT Straßensanierung GmbH: Referenzbericht zum Bauvorhaben BAB 96 AS Kißlegg – AS Leutkirch-Süd , 2014
- SCHÄFER, V.; BÖHM, S.; ROSAUER, V.: Bericht über die Auswertung von Daten und Unter-

suchungsergebnissen zu Baumaßnahmen mit kompakten Asphaltbefestigungen; FGSV AK 7.6.10; 2007

SCHÄFER, V.; ROSAUER, V.: Kompaktasphalt – eine Bauweise etabliert sich, In: Asphalt 42 6/2007, S. 65-71, 2007

ULRICH, A.: Stand of the technology in the development of compact asphalt. Institute of Asphalt Technology (IAT), England 1998

ULRICH, A.: Straßenbaumaschinen – Entwicklung und Automatisierung eines Straßenfertigers zum Einbau hochstandfester Kompaktasphaltbeläge in einem Arbeitsgang. FVB – Schriftenreihe Heft Nr. 22, 2002

ULRICH, A.: Straßenbaumaschinen - Entwicklung von Automatisierungslösungen für den gleichzeitigen Einbau von Deckschichten und Streumaterial. FVB-Schriftenreihe Heft Nr. 29, 2004

VIZI, L.; BÜTTNER, C.: Verdichten von Asphalt im Straßenbau. Werner-Verlag, Düsseldorf 1981

WEIDEN, C.: Auch der Kompaktasphalt steht und fällt mit der hundertprozentigen Verdichtung, WISSENSPORTAL baumaschine.de, 4/2005

WELLER, A.: Konzeption einer groben Asphalttragschicht, Diplomarbeit, Fachgebiet Straßenwesen, TU Darmstadt 2013

Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Schema zur Vorgehensweise bei der Projektbearbeitung	30
Bild 2:	Sollsieblinienbereich AC 45 T S nach WELLER.....	31
Bild 3:	Sollsieblinienbereich AC 45 B/T S.....	32
Bild 4:	Grobkornfraktion Diabas 22/45 (Nesselgrund)	33
Bild 5:	Oberseiten und Unterseiten der hergestellten MPK.....	33
Bild 6:	Anschnitte von Marshall-Probekörpern mit Sollsieblinie nach WELLER.....	34
Bild 7:	Anschnitte von Marshall-Probekörpern mit mod. TL-Sollsieblinie	34
Bild 8:	Beispiel für Kornzertrümmerung und ungefüllte Hohlräume an MPK WA1	34
Bild 9:	Sieblinienempfehlung AC 45 B/T S	35
Bild 10:	Verstellbarer Holm	36
Bild 11:	Kompaktasphaltpflichter beim Einbau.....	36
Bild 12:	Abweisbleche mit Führungssystem	37
Bild 13:	Einzugswinkel für die Vorderwand der ersten Bohle	37
Bild 14:	Kantenformer mit Vibration	37
Bild 15:	Anstellwinkel von Tamperleisten für die Tragschichtbohle.....	37
Bild 16:	Unwuchterreger am Glättblech	37
Bild 17:	Bohle mit Pressleisten	38
Bild 18:	Angefaste Vorderkante des Glättbleches (TS)	38
Bild 19:	Ballast an der ersten Bohle.....	38
Bild 20:	Biegung und Torsion an der Bohle	38
Bild 21:	Material vor der Bohle.....	39
Bild 22:	Standardaufbau der Kanalbleche an einer Bohle.....	39
Bild 23:	Standardaufbau einer Vorderwand.....	39
Bild 24:	Standardausführungen von Kantenformern	39
Bild 25:	Anstellwinkel von Tamperleisten für die Deckschichtbohle	40
Bild 26:	Skizze einer Bohle mit Vibration direkt auf dem Glättblech.....	40
Bild 27:	Bohle mit Pressleiste	40
Bild 28:	Standardabstützung einer Bohle	40
Bild 29:	Angefaste Vorderkante des Glättbleches (DS).....	41
Bild 30:	Konzept für die Versuchsfelder auf ungebundener Unterlage	43
Bild 31:	Konzept für die Versuchsfelder auf gebundener Unterlage	44
Bild 32:	Baufeld für die vorgesehenen Versuchsfelder mit ungebundener Unterlage und gebundener Unterlage vor der Vorbereitung	44
Bild 33:	Bahnenplan der Versuchsfelder 1-6	44
Bild 34:	Sieblinie AC 45 B/T S Erstprüfung (HBM, Zentral-labor Erfurt).....	45
Bild 35:	Sieblinie AC 45 B/T S Probemischung (Hauneck)	45
Bild 36:	Unzureichender Abstand zwischen Bohlenauflast und Aufhängung der Deckschichtbohle ...	46
Bild 37:	Angewalzte und mit Bitumenemulsion angesprühte Unterlagen der Einbaufelder 1-6.....	47
Bild 38:	Einbaudaten der Versuchsfelder in Bad Hersfeld.....	48
Bild 39:	Einbau der Versuchsfelder	49
Bild 40:	Oberfläche der Binder-/Tragschicht von Versuchsfeld 3 (mod. Kompaktasp. 22+2 cm) vor der Deckschichtbohle	49
Bild 41:	Deckschicht von Versuchsfeld 3 (mod. Kompaktasp. 22+2 cm) vor der Walzverdichtung	49
Bild 42:	Erhöhtes Einsenkmaß bei dynamischem Walzübergang am modifizierten Kompaktasphalt ...	50
Bild 43:	Deckschicht von Versuchsfeld 3 (mod. Kompaktasph. 22+2 cm) nach der Walzverdichtung ..	50

Bild 44:	Ungleichmäßiges Kantenbild an den dicken Kompaktasphaltaufbauten ggü. typischer Kantenverdichtung am 12 cm – Referenzfeld	50
Bild 45:	Lageplan mit tatsächlich eingebauten Feldlängen und Messstrecken zur Aufnahme der Längsebenheit	51
Bild 46:	Lageplan zur Bohrkernentnahme an den Versuchsfeldern	52
Bild 47:	Prinzipskizze – FWD auf Asphaltbefestigung	53
Bild 48:	FWD-Messung an den Unterlagen der Versuchsfelder	53
Bild 49:	Berechnungsmodell „Platte auf elastisch-isotropen Halbraum“	53
Bild 50:	Mittlerer E-Modul von Asphalt auf Autobahnen bei $f = 30$ Hz	54
Bild 51:	E-Moduln und rückgerechnete lastverteilende Dicken an Versuchsfeld 1	54
Bild 52:	E-Moduln und rückgerechnete lastverteilende Dicken an Versuchsfeld 2	55
Bild 53:	E-Moduln und rückgerechnete lastverteilende Dicken an Versuchsfeld 3	56
Bild 54:	E-Moduln und rückgerechnete lastverteilende Dicken an Versuchsfeld 4	57
Bild 55:	E-Moduln und rückgerechnete lastverteilende Dicken an Versuchsfeld 6	58
Bild 56:	Längsebenheit der Unterlage und des Einbauergebnisses auf Versuchsfeld 1	60
Bild 57:	Längsebenheit der Unterlage und des Einbauergebnisses auf Versuchsfeld 2	61
Bild 58:	Längsebenheit der Unterlage und des Einbauergebnisses auf Versuchsfeld 3	62
Bild 59:	Längsebenheit der Unterlage und des Einbauergebnisses auf Versuchsfeld 4	63
Bild 60:	Längsebenheit der Unterlage und des Einbauergebnisses auf Versuchsfeld 6	64
Bild 61:	Querebenheit an der Deckschicht von Feld 2 (Draufsicht)	65
Bild 62:	Querebenheit an der Deckschicht von Feld 3 (Draufsicht)	66
Bild 63:	Bohrkerne Versuchsfeld 1	66
Bild 64:	Bohrkerne Versuchsfeld 2	68
Bild 65:	Bohrkerne Versuchsfeld 3	69
Bild 66:	Bohrkerne Versuchsfeld 4	70
Bild 67:	Bohrkerne Versuchsfeld 6	71
Bild 68:	Beispiel für einen unsteten Übergangsbereich zwischen Deckschicht und Tragschicht	72
Bild 69:	Grafische Darstellung der Ergebnisse des Abscherversuches getrennt nach Schichten	73
Bild 70:	Sieblinien AC 45 B/T S Einbaumischung	73
Bild 71:	Verdichtungsgrade über die Tiefe innerhalb des Asphaltpakets	74
Bild 72:	Sieblinien AC 45 B/T S Erstprüfungen (AMO u. EJM)	76
Bild 73:	Sieblinie AC 8 D S Erstprüfung (AMO)	77
Bild 74:	Sieblinie AC 45 B/T S Probemischung	77
Bild 75:	Beispiel für die heterogene Beschaffenheit der Unterlage beim BV B68	78
Bild 76:	Bohlenauflastung an der Tragschichtbohle des Kompaktasphaldfertigers beim BV B68	78
Bild 77:	Temperaturverlauf und Niederschlag während des Einbaus am 29.08.2014	78
Bild 78:	Windrichtung und -geschwindigkeit während des Einbaus am 29.08.2014	79
Bild 79:	Einbau an der B68	79
Bild 80:	Walzverdichtung an der B68	79
Bild 81:	Unzureichende Kantenverdichtung an der B68	79
Bild 82:	Summenlinien der Mischguttemperaturen an der Mischanlage und vor der Beschickerübergabe	80
Bild 83:	Stündlicher Temperaturverlust an den erfassten Thermomulden	80
Bild 84:	Maximal festgestellte Querunebenheit von mehr als 12 mm	81
Bild 85:	Querebenheit an der Deckschicht von Station 26+600 (Draufsicht)	82
Bild 86:	Querebenheit an der Deckschicht von Station 27+000 (Draufsicht)	82
Bild 87:	Querebenheit an der Deckschicht von Station 27+400 (Draufsicht)	83
Bild 88:	Bohrkerne Station 26+600	83

Bild 89:	Bohrkerne Station 27+000	84
Bild 90:	Bohrkerne Station 27+400	84
Bild 91:	Grafische Darstellung der Ergebnisse des Abscherversuches getrennt nach Schichten	85
Bild 92:	Sieblinie AC 45 B/T S Einbaumischgut (Station 26+600).....	85
Bild 93:	Sieblinie AC 45 B/T S Einbaumischgut (Station 27+000).....	86
Bild 94:	Sieblinie AC 45 B/T S Einbaumischgut (Station 27+400).....	86
Bild 95:	Entmischungsapparatur nach DIN 12697-15	87
Bild 96:	Schüttkegel mit abgezogenen Fein- und Mittelkornfraktionen	87
Bild 97:	Massenanteile der Fein-, Mittel- und Grobkornfraktionen nach Trichterfall	88
Bild 98:	Bindemittelgehalte der Fein-, Mittel- und Grobkornfraktionen und Bindemittel- Entmischungsmaß SVB.....	88
Bild 99:	Maß der Gesteinskörnungsentmischung SVn	89
Bild 100:	Bindemittelgehalte der Mastixfraktionen und Maß der Mischungsgüte MQ	89
Bild 101:	Verlauf der Verdichtungsgrade (Station 26+600)	90
Bild 102:	Verlauf der Verdichtungsgrade (Station 27+000)	90
Bild 103:	Verlauf der Verdichtungsgrade (Station 27+400)	90
Bild 104:	Verdichtungsgrade über die Tiefe innerhalb des Asphaltpakets	90
Bild 105:	Auszug aus dem Taktplan für Fräsarbeiten an der BAB 96	93
Bild 106:	Fräsen nach Taktplan an der BAB 96	94
Bild 107:	LKW-Codierung für Fräsarbeiten an der BAB 96	94
Bild 108:	Beispiel für Markierung einer Fräse.....	94
Bild 109:	Beispiel für Markierung eines Fräsgut-Transportfahrzeuges	94
Bild 110:	Fräse und Transportfahrzeug mit Nummerierung	94
Bild 111:	LKW-Codierung für den Mischguttransport an der BAB 96.....	95
Bild 112:	Beispiel für Markierung eines Mischgut-Transportfahrzeuges	95
Bild 113:	Vordere Markierung eines Mischgut-Transportfahrzeuges	95
Bild 114:	Hintere Markierung eines Mischgut-Transportfahrzeuges	96
Bild 115:	Kryogene Zugspannungen in Abhängigkeit der Kerntemperatur	97
Bild 116:	Isothermen der Steifigkeitsmoduln für 4 Temperaturen	98
Bild 117:	Master-Kurve	99
Bild 118:	Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion für 10 Hz	99
Bild 119:	Ermüdungsfunktion	99
Bild 120:	Aufbauten für den rechnerischen Lebensdauervergleich (Bk3,2)	100
Bild 121:	Aufbauten für den rechnerischen Lebensdauervergleich (Bk100)	101

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Verwendete Kornfraktionen und Gewinnungsstätten.....	33
Tab. 2:	Bindemittel- und Hohlraumgehalte der untersuchten Marshall-Probekörper.....	33
Tab. 3:	Anforderungen an das Mischgut AC 45 B/T S	35
Tab. 4:	Einbauparameter	41
Tab. 5:	Aufbauten der Versuchsfelder.....	44
Tab. 6:	Erstprüfungsergebnisse des Mischguts AC 45 B/T S (HBM, Zentrallabor Erfurt).....	45
Tab. 7:	Kennwerte des Probemischguts AC 45 B/T S (Hauneck).....	45
Tab. 8:	Dicken der eingebauten Asphaltsschichten an Versuchsfeld 1	54
Tab. 9:	Dicken der eingebauten Asphaltsschichten an Versuchsfeld 2	55
Tab. 10:	Dicken der eingebauten Asphaltsschichten an Versuchsfeld 3	56
Tab. 11:	Dicken der eingebauten Asphaltsschichten an Versuchsfeld 4	57
Tab. 12:	Dicken der eingebauten Asphaltsschichten an Versuchsfeld 6	58
Tab. 13:	Schichtdicken an den Bohrkernen von Versuchsfeld 1 (Mittelwerte).....	67
Tab. 14:	Schichtdicken an den Bohrkernen von Versuchsfeld 2 (Mittelwerte).....	68
Tab. 15:	Schichtdicken an den Bohrkernen von Versuchsfeld 3 (Mittelwerte).....	69
Tab. 16:	Schichtdicken an den Bohrkernen von Versuchsfeld 4 (Mittelwerte).....	70
Tab. 17:	Schichtdicken an den Bohrkernen von Versuchsfeld 6 (Mittelwerte).....	71
Tab. 18:	Ergebnisse des Abscherversuches getrennt nach Schichten und Versuchsfeldern.....	73
Tab. 19:	Kennwerte des Einbaumischguts AC 45 B/T	73
Tab. 20:	Erstprüfungsergebnisse des Mischguts AC 45 B/T S (AMO).....	76
Tab. 21:	Erstprüfungsergebnisse des Mischguts AC 45 B/T S (EJM).....	76
Tab. 22:	Erstprüfungsergebnisse des Mischguts AC 8 D S (AMO).....	77
Tab. 23:	Kennwerte des Probemischguts AC 45 B/T S (B68).....	77
Tab. 24:	Schichtdicken an den Bohrkernen von Station 26+600	83
Tab. 25:	Schichtdicken an den Bohrkernen von Station 27+000	84
Tab. 26:	Schichtdicken an den Bohrkernen von Station 27+400	84
Tab. 27:	Ergebnisse des Abscherversuches getrennt nach Schichten und Stationen.....	85
Tab. 28:	Kennwerte des Einbaumischguts AC 45 B/T S (Station 26+600)	85
Tab. 29:	Kennwerte des Einbaumischguts AC 45 B/T S (Station 27+000)	86
Tab. 30:	Kennwerte des Einbaumischguts AC 45 B/T S (Station 27+400)	86
Tab. 31:	Ergebnisse des Abkühlversuches	97
Tab. 32:	Einzelwerte für Steifigkeitsmoduln nach Spaltzug-Schwellversuch	98
Tab. 33:	Gemittelte Steifigkeitsmoduln nach Spaltzug-Schwellversuch.....	98
Tab. 34:	Prognostizierte Steifigkeitsmoduln für 10 Hz.....	99
Tab. 35:	Versuchsergebnisse der Ermüdungsversuche.....	99
Tab. 36:	Basisdaten für die PaDesTo-Berechnung (Bk3,2).....	100
Tab. 37:	PaDesTo-Berechnungsergebnisse (Bk3,2).....	100
Tab. 38:	Basisdaten für die PaDesTo-Berechnung (Bk100).....	101
Tab. 39:	PaDesTo-Berechnungsergebnisse (Bk100).....	101

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

2011

S 68: Lärmindernder Splittmastixasphalt
Ripke

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 69: Untersuchung der Messunsicherheit und der Klassifizierungsfähigkeit von Straßenbelägen
Müller, Wasser, Germann, Kley € 14,50

S 70: Erprobungsstrecke mit Tragschichten ohne Bindemittel aus ziegelreichen RC-Baustoffen
Dieser Bericht liegt außerdem in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de](http://bast.opus.hbz-nrw.de) heruntergeladen werden.
Jansen, Kurz € 16,00

S 71: Enteignung für den Straßenbau – Verfahrensvereinheitlichung – Privatisierung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ im September 2010 in Bonn € 15,00

S 72: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten – Teil 2: Neue Baumaßnahmen
Jansen, Pöppel-Decker € 15,00

S 73: Längsebenenheitsauswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil“ – Weiterentwicklung der Längsebenenheitsbewertung der Zustandserfassung und -bewertung
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

2012

S 74: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr 2“ – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr 2“ € 30,50

S 75: Abschätzung der Risiken von Hang- und Böschungsrutschungen durch die Zunahme von Extremwetterereignissen
Krauter, Kumerics, Feuerbach, Lauterbach € 15,50

S 76: 42. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

S 77: Netzplanung – Netzbildung – Netzbereinigung
Durner € 16,50

S 78: Untersuchung des Einflusses der Grobtextur auf Messergebnisse mit dem SKM-Verfahren
Bürckert, Gauterin, Unrau € 16,50

2013

S 79: Gussasphalt ohne Abstreuerung
Ripke € 9,00

S 80: Entwicklung einer neuen Versuchstechnik zur Bestimmung der Grenze zwischen halbfestem und festem Boden
Vogt, Birle, Heyer, Etz € 17,50

S 81: Das straßenrechtliche Nutzungsregime im Umbruch – Aktuelle Fragen des Planungsrechts
Durner € 15,00

2014

S 82: Qualitätskontrolle PWS – Wehner/Schulze Quality Control
Teil 1: Auswertung der Kenndaten der PWS Prüfung
Teil 2: Auswertung von Vergleichsuntersuchungen zur Prüfung der Poliereinheit mittels Schleifpapier

Jansen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 83: Die Stellung der Gemeinden im Straßenrecht – aktuelle Probleme des Umweltrechts – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 23./24. September 2013 in Bonn
Durner € 17,00

S 84: Anforderungen an die Erhaltung von Radwegen
Maerschalk, Oertelt € 19,00

S 85: Kornformbeurteilung mit dem optischen Partikelmessgerät Camsizer®
Kunz

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2015

S 86: Einfluss des Asphaltgranulates auf die bemessungs- und ermüdungsrelevanten Materialeigenschaften einer zwangsgebundenen, kaltgebundenen und bitumendominanten Tragschicht
Radenberg, Miljković, Schäfer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 87: Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für zwei AKR-Schnelltests Durchführung und Auswertung
Müller, Seidel, Böhm

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

S 88: Verwendung von AKR-geschädigtem Betonaufbruch für hydraulisch gebundene Tragschichten
Hüniger, Börner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

S 89: Ermittlung von repräsentativen Substanzwerten in homogenen Abschnitten
Villaret, Frohböse, Jähmig, Karcher, Niessen, Buch, Zander

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 90: AKR-Untersuchungen für Fahrbahndecken aus Beton mit Waschbetonoberfläche
Müller, Seidel, Böhm, Stark, Ludwig, Seyfarth

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

S 91: Straßen im Gesamtsystem der Verkehrsträger
Durner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

S 92: Längsebenenheitsmesssysteme – Überprüfung der Signalverarbeitungsverfahren nach dem Prinzip der Mehrfachabtastung (HRM)
Neubeck, Wiesebrock

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2016

S 93: Bewertung und Optimierung der Hydrophobierung zur Verminderung des AKR-Schädigungsfortschrittes in Fahrbahndeckenbetonen
Weise, Schrang € 19,50

S 94: Beanspruchung und Entfernbarkeit temporärer Fahrbahnmarkierung
Kemper, Schacht, Klapproth, Oeser, Beyer € 16,50

S 95: Bezugsgröße für den Verdichtungsgrad von Schichten ohne Bindemittel
Bialucha, Merkel, Motz, Demond, Schmidt, Ritter, Haas € 14,50

S 96: Bewertungshintergrund für den Widerstand gegen Polieren von Gesteinskörnungen nach dem PWS-Verfahren
Dudenhöfer, Rückert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 97: Einheitliche Bewertungs- kriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel
Fischer, Sauer, Jungwirth, Baumgärtner, Hess, Ditter, Roth, Xalter
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 98: Verifikation eines Europäischen Prüfverfahrens zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Asphalt
Böhm, Beara
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 99: Ansprache und Steuerung von Healing-Effekten bei Asphalt
Wistuba, Alisov, Isailović
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 100: Probekörperherstellung für performance-basierte Asphaltprüfungen
R. Roos, C. Karcher, A. Wittenberg
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 101: Belastungseinrichtung Mobile Load Simulator MLS10 Sensorik zur Beanspruchungsdetektion im ersten gemeinsamen Versuchsbetrieb
Wacker, Scherkenbach, Rabe, Golkowski
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 102: Effizienz technischer Sicherungsmaßnahmen im Erdbau – Lysimeteruntersuchungen unter Laborbedingungen – Teil 1: Bodenmaterial
Kellermann-Kinner, Bürger, Marks € 16,50

S 103: Effizienz technischer Sicherungsmaßnahmen im Erdbau – Untersuchungen von Bauweisen in Freilandlysimetern – Teil 1: Untersuchungszeitraum 2010 - 2013
Brand, Tiffert, Endres, Schnell, Marks, Kocher € 19,50

S 104: Nachhaltige und effiziente Sanierung von Schlaglöchern
Thienert, Beckedahl, Koppers, Paffrath, Nafe € 15,00

2017

S 105: Untersuchungen zur Überprüfung des Luftporenanteils als Verdichtungsanforderung bei feinkörnigen Böden und bindigen Mischböden
Lypp, Birle, Heyer, Vogt € 20,50

S 106: Zusammenhang zwischen Bitumenchemie und straßenbautechnischen Eigenschaften
Radenberg, Nytus, Gehrke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 107: Baustoffe für standfeste Bankette
Koukoulidou, Birle, Heyer € 15,50

S 108: Neue Wege zur Finanzierung des Straßenbaus – Entwicklungen des europäischen Umweltrechts – Referate eines For-

schungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 21./22. September 2015 in Bonn
Durner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 109: RIVA – Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels
Korn, Leupold, Mayer, Kreienkamp, Spekat € 15,50

S 110: Vergleichbarkeit der Auslaugraten von Materialien mit und ohne Sandzumischung nach dem Säulenkurzverfahren (DIN 19528)
Lin, Linnemann, Vollpracht € 16,50

S 111: Bitumenextraktion aus Asphalt mit dem nachwachsenden Rohstoff Octansäuremethylester(Kokosester)
Alisov, Wistuba
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 112: Nachweis der flächendeckenden Verdichtungskontrolle von Asphalt
Zander, Buch, Birbaum
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 113: Einfluss der Temperatur auf die Probekörperherstellung bei Niedrigtemperaturgussasphalt im Rahmen der Kontrollprüfungen
Schellenberg
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 114: Studie zum Anwendungspotenzial von werksgemischtem Kaltbauweisen – Asphalt
Mollenhauer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 115: Performance-orientierte Asphaltspezifikation – Entwicklung eines praxisingerechten Prüfverfahrens zur Ansprache des Verformungswiderstandes
Wistuba, Isailović
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 116: Weiterführende Untersuchungen zur Beurteilung des Adhäsionsverhaltens zwischen Bitumen und Gestein
Radenberg, Nytus, Boetcher, Diedel, Miehl
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de