

Entwicklung und Untersuchung von lang- lebigen Deckschichten aus Asphalt

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Straßenbau Heft S 58

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Entwicklung und Untersuchung von lang- lebigen Deckschichten aus Asphalt

von

Stefan Ludwig

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 58

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 beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt AP 04351 des Arbeitsprogramms der Bundesanstalt für Straßenwesen:
Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-86509-953-2

Bergisch Gladbach, September 2009

Kurzfassung – Abstract

Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt

Im Rahmen dieses Projektes sollte anhand von Laborversuchen überprüft werden, inwiefern die Verwendung von Epoxydharz als Bindemittelzusatz und der damit entstehende Epoxy Asphalt einen Beitrag zur Entwicklung eines hochstandfesten und langlebigen Asphaltdeckschichtbelages liefern kann.

Die Bearbeitung des Forschungsprojektes gliederte sich in drei Phasen. Die erste Phase beinhaltete grundlegende Untersuchungen mit unterschiedlichen Epoxydharzsystemen. Ziel dieser Versuche war die Identifizierung des Materialverhaltens im Asphaltmischgut, der dafür geeigneten Bedingungen sowie eine Bestimmung erster mechanischer Eigenschaften. In der zweiten Phase wurden mit dem in Phase I ausgewählten Epoxydharzsystem in unterschiedlichen Konzentrationen die wichtigsten Bindemittel- und Mischgutkennwerte von Epoxy Asphalt mit Hilfe von standardisierten Prüfverfahren ermittelt und den Kennwerten von konventionellem Bindemittel bzw. Asphalt gegenübergestellt.

Die Bindemitteluntersuchungen an den Bitumen-Epoxy-Gemischen lieferten als wesentliche Erkenntnis, dass die Zugabe des Epoxydharzes eine deutliche Reduzierung der Viskosität bewirkt. Die Epoxy Varianten besaßen eine deutlich verbesserte Verformungsbeständigkeit bei Wärme, wie die Ergebnisse der Spurbildungs- und der dynamischen Druckschwellversuche gezeigt haben. Die Probekörper aus Epoxy Asphalt wiesen erheblich kleinere Verformungen als die Probekörper der Referenzvarianten auf. Durch die Zugabe von Epoxydharz konnten sowohl das Haftverhalten des Bindemittels am Einzelkorn als auch das Haftverhalten im Mischgut gegenüber den Referenzvarianten wesentlich verbessert werden. Ferner konnte festgestellt werden, dass mit der Zugabe von Epoxydharz in das Asphaltmischgut der Widerstand gegen wiederholte zyklische Belastungen und damit der Ermüdungswiderstand deutlich verbessert werden.

In der Phase III wurden zusätzlich die Reaktion des Epoxydharzes im Bitumen, die Extrahierbarkeit von Epoxy Asphalt, eine Bewitterung von Probekörpern sowie die Griffigkeitsentwicklung unter einer Verkehrsbelastung untersucht.

Nach Abschluss der Untersuchungen sind die Auswirkungen von Epoxydharz im Asphaltmischgut bekannt und die Veränderungen der Eigenschaften konnten identifiziert werden. Das Potenzial von Epoxy Asphalt als alternative und innovative Bauweise für hochbelastete Verkehrsflächen mit hoher Dauerhaftigkeit konnte im Labormaßstab zweifelsfrei nachgewiesen werden.

Der Originalbericht enthält als Anhänge eine Beschreibung der Prüfverfahren (ANH. 1) sowie die Ergebnisse der BBR-Prüfungen (ANH. 2), der Spurbildungsversuche (ANH. 3), der Druckschwellversuche (ANH. 4), der Affinitätsprüfungen (ANH. 5) und der Dreipunkt-Biegeversuche (ANH. 6). Auf die Wiedergabe der Anhänge wurde in dieser Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anhänge im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

Development and investigation of durable asphalt surface layers

In the framework of this project it must be investigated by the means of laboratory tests, to what extent epoxy resin as binder and thereby the resulting epoxy asphalt can contribute to the development of a highly stable and durable asphalt cover layer.

The research project was divided into three phases. The first phase included basic investigations with various epoxy resin systems. The aim of these experiments was the identification of material behavior in asphalt mixtures, of the conditions suitable for this, as well as the determination of first mechanical characteristics. In the second phase, the most important binder and mixture parameters of epoxy asphalt in various concentrations were determined with the in Phase I selected epoxy resin system, by means of standardized test procedures, and compared to the parameters of conventional binders or asphalt.

The main finding of the binder analyses of the bitumen-epoxy mixture was that the addition of epoxy resin causes a significant reduction in viscosity. The epoxy variants possessed a clearly improved heat deformation resistance as the

results of the tracking and dynamic pressure threshold tests showed. The epoxy asphalt samples showed considerably smaller deformation compared to the samples of the reference variants. Not only the adhesive behavior of the binder at the single grain, but also the adhesive behavior in the mixture, could be significantly improved compared to the reference variants by the addition of epoxy resin. It was also found that with the addition of epoxy resin to the asphalt mixture, resistance against repeated cyclic load, and therewith the fatigue resistance is clearly improved.

Additionally, in phase III, the reaction of epoxy resin in bitumen, the extractivity of epoxy asphalt, weathering of the sample as well as skid resistance development at traffic load was investigated.

Upon completion of the investigations the effects of epoxy resin in asphalt mixtures are known and the change of characteristics could be identified. The potential of epoxy asphalt as an alternative and innovative construction method for traffic areas subjected to high loads with high durability could be verified free of doubt on the laboratory scale.

A description of the test procedures (APPENDIX 1), as well as the results of the BBR tests (APPENDIX 2), the tracking tests (APPENDIX 3), the pressure threshold tests (APPENDIX 4), the affinity tests (APPENDIX 5) and the three-point bending tests (APPENDIX 6) are included in the appendices of the original report. Reproducing these appendices in the existing publications was waived. They are available at the Federal Highway Research and may be viewed there. References to the appendices have been maintained in the report for the information of the reader.

Inhalt

1	Einleitung	7	5	Untersuchungen mit einem Epoxydharzsystem mit Anhydridhärter ohne Verwendung eines Beschleunigers	19
1.1	Allgemeines	7	5.1	Handmischungen	19
1.2	Ziel der Untersuchungen	7	5.2	Mischgutherstellung im Labormischer	19
2	Stand der Wissenschaft und Technik	8	6	Untersuchungen mit einem Epoxydharzsystem mit Anhydridhärter bei Verwendung eines Beschleunigers	21
2.1	Eigenschaften und Anwendungsgebiete von Epoxydharzen	8	6.1	Handmischungen	21
2.1.1	Historische Entwicklung	8	6.2	Mischgutherstellung im Labormischer	21
2.1.2	Anwendungsbereiche	9	7	Vergleichende Betrachtung der unterschiedlichen Epoxydharzsysteme	22
2.1.3	Zusammensetzung, Härtung und Verarbeitung	9	II. Hauptuntersuchungen mit einem ausgewählten Epoxydharzsystem	24	
2.2	Bisherige Verwendung im Straßenbau	11	8	Hauptuntersuchungen an den gewählten Varianten	24
2.2.1	Halbstarre Deckschichten	11	8.1	Bindemitteluntersuchungen	25
2.2.2	Oberflächenbehandlungen auf Reaktionsharzbasis	12	8.1.1	Erweichungspunkt Ring und Kugel	25
2.2.3	Epoxy Asphalt als Fahrbahnbelag auf Stahlbrücken	12	8.1.2	Dynamisches Scherrheometer	25
3	Untersuchungsmethodik	14	8.1.3	Kraftduktilometer	26
3.1	Vorgehensweise	14	8.1.4	Bending Beam Rheometer	26
3.2	Baustoffe	15	8.2	Mischgutuntersuchungen	27
3.2.1	Gesteinskörnungen	15	8.2.1	Verformungsbeständigkeit im Spurbildungsversuch	27
3.2.2	Bindemittel	15	8.2.2	Verformungsbeständigkeit im Druckschwellversuch	27
3.3	Eignungsprüfungen	16	8.2.3	Haftverhalten am Einzelkorn	28
3.4	Mischgut- und Probekörperherstellung	17	8.2.4	Haftverhalten im Mischgut	29
3.5	Prüfverfahren	18	8.2.5	Schichtenverbund	31
I.	Grundlagenuntersuchungen mit unterschiedlichen Epoxydharzsystemen	18			
4	Untersuchungen mit einem Epoxydharzsystem mit Polyaminhärter	18			
4.1	Handmischungen	18			
4.2	Mischgutherstellung im Labormischer	18			

8.2.6	Tieftemperaturverhalten	32
8.2.7	Ermüdungsbeständigkeit	34
9	Bewertung der Ergebnisse	35
III.	Weiterführende Untersuchungen	38
10	Spezielle Fragestellungen	38
10.1	Reaktion des Epoxydharzes im Bitumen	38
10.2	Extraktion von Epoxy Asphalt	38
10.3	Bewitterungsversuche	42
10.4	Griffigkeitsentwicklung unter Verkehr	45
10.5	Arbeits- und Umweltschutz	48
10.6	Überlegungen zu Feldversuchen	49
IV.	Zusammenfassung und Fazit	50
11	Zusammenfassung	50
12	Fazit	51
13	Literatur	52

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Das deutsche Straßennetz besteht aus mehr als 600.000 km befestigten Straßen, von denen mehr als 90 % in Asphaltbauweise ausgeführt wurden. Dieses Asphaltstraßennetz von Bund, Länder und Kommunen bildet u. a. die Grundlage für die Wirtschaftskraft des Standortes Bundesrepublik Deutschland.

Daher werden die Anforderungen an eine solche Asphaltstraße abhängig vom Betrachter aus verschiedenen Blickwinkeln formuliert: Der Straßennutzer hat den Wunsch nach ebenen, griffigen, hellen und lärmindernden Oberflächen. Der Straßenbaulastträger hat dagegen weitergehende, technisch begründete Forderungen. Er erwartet dauerhafte, verformungsresistente, rissfreie, verschleißresistente und nicht zuletzt unterhaltungsarme Straßen.

Aufgrunddessen besteht das Bestreben, neben den bereits in der Praxis etablierten und bewährten Bauweisen mit Innovationen neue Straßenbefestigungen zu entwickeln, die hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eigenschaften und Anforderungen wie nachhaltige Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit eine zusätzliche Steigerung der Qualität und Wirtschaftlichkeit erzielen sollen.

Doch trotz aller Innovationen und Entwicklungen, die in der Vergangenheit sowohl im Bereich der einzelnen Baustoffkomponenten als auch am resultierenden Mischgut durch intensive Forschung und Erprobung erzielt und realisiert werden konnten, basieren die Kenntnisse über den Werkstoff Asphalt oftmals immer noch auf Erfahrungen. Das Verhalten des „Systems“ Asphalt stellt sich als sehr komplex dar, da die Eigenschaften der einzelnen Bestandteile voneinander abhängen bzw. sich gegenseitig beeinflussen und es zusätzlich in hohem Maße abhängig von den gegebenen Randbedingungen ist.

Bei ungünstigen Randbedingungen wie spurfahrendem kanalisiertem Schwerverkehr an Bushaltestellen, Stauräumen sowie signalgeregelten Kreuzungsbereichen ist das Auftreten von Verformungen in Form von Wellen- und Spurrinnenbildung nahezu unvermeidbar.

Die Spurrinnenbildung bei kanalisiertem Schwerverkehr ist umso größer, je höher die Achslast und die Temperatur und je kleiner der Verformungswid-

erstand der Asphaltsschichten ist. Diese Art der Verformung wird aus vertikalen Lasten des überrollenden Verkehrs hervorgerufen (Zustandsmerkmal Ebenheit im Querprofil).

Vor Lichtsignalanlagen und an Bushaltestellen kommt es darüber hinaus zu Schubbeanspruchungen aus Brems- und Beschleunigungskräften, die in den Schichten zu horizontalen Verschiebungen führen können (Zustandsmerkmal Ebenheit im Längsprofil). Zudem kommt es hier zu vertikal auftretenden niederfrequenten dynamischen Belastungen (Druckschwellbelastungen) durch an- und abfahrenden Verkehr.

Nicht vernachlässigt werden darf auch das Verhalten des Asphaltss bei tiefen Temperaturen. Im Falle der Überlagerung von temperaturbedingten (kryogenen) Spannungen mit verkehrslastbedingten Spannungen kommt es häufig zum Bruch des Materials und damit zur Entstehung von Rissen, die Ansätze für ein Fortschreiten der Schädigung bieten. Hochstandfeste Beläge sind daher häufig rissgefährdet, und umgekehrt neigen Beläge mit hoher Rissicherheit zu starker Verformung.

1.2 Ziel der Untersuchungen

Die Standfestigkeit und Dauerhaftigkeit von Deckschichten aus Asphalt können auf verschiedene Art und Weise erreicht werden: In Abhängigkeit von ihrer Mischgutart (Asphaltbeton, Gussasphalt, Splittmastixasphalt), somit deren Kornzusammensetzung und Bindemittelgehalt sowie der Art des Bitumens und möglicher Zusätze, kann Einfluss auf das Verhalten gegen die auftretenden Beanspruchungen genommen werden.

Vor diesem Hintergrund wurde von der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD, engl.: Organisation for Economic Cooperation and Development) eine Studie [1] durchgeführt, um festzustellen, ob bei hochbelasteten Straßen mit innovativen Bauweisen, die zwar u. U. höhere Einstandskosten erfordern, während der Nutzungsdauer jedoch erhebliche Unterhaltungskosten vermeiden würden, langlebige Straßenbeläge wirtschaftlich gerechtfertigt sind.

Diese Analyse kommt zu dem Schluss, dass die Entwicklung innovativer Deckschichten einen beträchtlichen wirtschaftlichen Vorteil bedeuten könnte. Bei einer erwarteten Lebensdauer von 30 Jahren könnten Deckschichtbeläge für hochbelastete Straßen, auch wenn sie etwa das Dreifache von

traditionellen Belägen kosten, ökonomisch sinnvoll sein.

Eine Orientierung an den zur Zeit auf dem Markt vorhandenen und gebräuchlichen Baustoffen und Materialien zeigt, dass tatsächlich Möglichkeiten bestehen, mit denen unter Berücksichtigung der in der Studie zu Grunde gelegten ökonomischen Anforderungen langlebige Deckschichten entwickelt werden könnten. Eine dieser Möglichkeiten stellt die Verwendung von Epoxydharz als Bindemittelzusatz bzw. eine teilweise Substitution der gesamten Bitumenmenge im Asphaltmischgut und der dadurch entstehende „Epoxy Asphalt“ dar.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit soll nun untersucht werden, inwiefern ein solcher Epoxy Asphalt einen Beitrag zur Entwicklung eines hochstandfesten und langlebigen Asphaltdeckschichtbelages liefern kann.

Im Einzelnen sind daher folgende Fragestellungen zu bearbeiten:

- Welche Erfahrungen bestehen bereits im Umgang mit Epoxydharzen?
- Ist eine Verwendung von Epoxydharz im Heißasphalt grundsätzlich möglich?
- Welche besonderen Vorkehrungen bzw. Maßnahmen sind bei der Mischgutherstellung und -verarbeitung zu beachten?
- Welchen Einfluss auf die grundlegenden Bindemittel- und Asphalteeigenschaften hat dies?
- Welche Chancen und Risiken birgt eine solche Modifizierung?

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Eigenschaften und Anwendungsgebiete von Epoxydharzen

2.1.1 Historische Entwicklung

Heutzutage werden Metalle, Holz und andere Werkstoffe immer mehr durch Kunststoffe ersetzt. Häufig ist für diese Substitution der Preis ausschlaggebend, oft aber die Tatsache, dass es heute Kunststoffe gibt, die sehr hohe mechanische und elektrische Eigenschaften wie auch Chemikalienbeständigkeit aufzeigen, sodass neue, leichtere, praktischere und bessere Konstruktionen möglich sind, als dies mit klassischen Werkstoffen der Fall war.

Vor der Jahrhundertwende waren alle damals bekannten Kunststoffe umgewandelte Naturprodukte wie z. B. vulkanisierter Kautschuk oder Zelluloid. Erst nach 1900 begann die Entwicklung der synthetischen Kunststoffe. Einer der ersten Kunststoffe war Phenol-Formaldehyd-Harz. Obwohl die Reaktion von Phenol mit Formaldehyd schon 1872 von A. BAYER beschrieben worden war, begann die industrielle Auswertung dieses Kunstharzes durch Baekeland im Jahre 1907 erst Jahrzehnte später unter dem Namen Bakelit.

Das Epoxydharz und dessen charakteristische Eigenschaften auf dem Kunststoffsektor wurden erstmalig im Jahre 1938 durch den Chemiker P. CASTAN erkannt. In seiner Funktion als Mitarbeiter einer schweizerischen zahntechnischen Produktionsfirma beschrieb er ein Harz, welches bei der Reaktion von Bisphenol A mit Epichlorhydrin entsteht sowie dessen Härtung mit Phthalsäureanhydrid und basischen Härtern in zwei von 1938 und 1943 datierenden Patentanmeldungen, die schon Andeutungen über eine spätere industrielle Anwendung auch außerhalb des Dentalgebietes enthielten. Die Erfindung führte zunächst zu einem Gießharz für Zahntechniker, das jedoch bald wieder aus dem Handel zurückgezogen wurde.

Im Jahre 1946 dehnte sich die Anwendung dieses Harzes auf das gesamte Gebiet der Kunststoffverarbeitung aus und erschien von diesem Zeitpunkt an in Form von Klebe-, Gieß- und Lackharzen unter der Bezeichnung Araldit auf dem Markt. Etwas später setzte die Entwicklung in den USA durch die Firmen Devoe & Raynolds und Shell auf dem Lacksektor ein.

Schon frühzeitig wurden auch in der metallverarbeitenden Industrie die hervorragenden Eigenschaften der Kunststoffe erkannt und zweckmäßige Anwendungsmöglichkeiten untersucht. Eine dieser Möglichkeiten beinhaltet das Herstellen von Werkzeug mit Hilfe von Epoxydharzen, womit versuchsweise etwa 1952 begonnen wurde. In erster Linie waren die Flugzeugwerke und dann die Automobilfirmen beteiligt, bei denen die wirtschaftlichen Vorteile von Epoxy-Gießharzen erkannt und in zunehmendem Maße genutzt wurden. Heute haben sich Epoxydharze in vielen Betrieben einen festen Platz erobert für den Bau von Werkzeugen und Vorrichtungen, die im allgemeinen Sprachgebrauch unter dem Sammelbegriff „Fertigungsmittel“ verstanden werden.

2.1.2 Anwendungsbereiche

Epoxydharze zählen zur Stoffgruppe der Reaktionsharze. Sie sind nach DIN 16945 „flüssige oder verflüssigbare Harze, die für sich oder mit Reaktionsmitteln (Härter, Beschleuniger u. a.) ohne Abspaltung flüchtiger Komponenten durch Polyaddition bzw. Polymerisation härten“ [2]. Epoxydharze zeichnen sich durch hohe Festigkeit, gute elektrische Eigenschaften, gutes Haftungsvermögen auf vielen Oberflächen sowie eine gute Chemikalienbeständigkeit aus. Sie finden deshalb breite Anwendung als Vergussmassen für Isolatoren oder für Platinen in der Elektrotechnik, für strukturelle Laminate und als Klebstoffe in Verbundwerkstoffen sowie in vielen Bereichen des Oberflächen- und Korrosionsschutzes.

Die Anwendungsbereiche erstrecken sich unter anderem auf:

- Grundierungen und Beschichtungsstoffe,
- vielseitiger Konstruktions-Klebstoff,
- Umhüllungssysteme für Kondensatoren, Transformatoren, Drosseln und Spulen,
- Fertigung von Isolatoren, Generatoren und Trockentransformatoren,
- Herstellung von Bauteilen im Gussverfahren,
- Einsatzstoffe für Betonsanierungen und Rissverpressungen,
- Einsatz von Fugenmörtel für Fliesen und Pflaster,
- Herstellung von Leiterplatten, Rotorblättern, Flugzeugteilen oder Sportgeräten,
- Anstriche für schweren Korrosionsschutz (Schiffbau, Stahlkonstruktionen),
- Matrixmaterial für die Herstellung von Faserverbundbauteilen, unter anderem für Luft- und Raumfahrt, für den Motorsport und für den Yachtbau.

Wegen des geringen Aufwands für die Herstellung im Handlaminierverfahren und der hohen Festigkeit bei geringem Gewicht und der fast beliebigen Formgebungsmöglichkeiten ist Epoxydharz auch im privaten Modellbaubereich beliebt.

Auf Grund seiner Ungiftigkeit im ausgehärteten Zustand wird Epoxydharz auch sehr oft zum Terra-

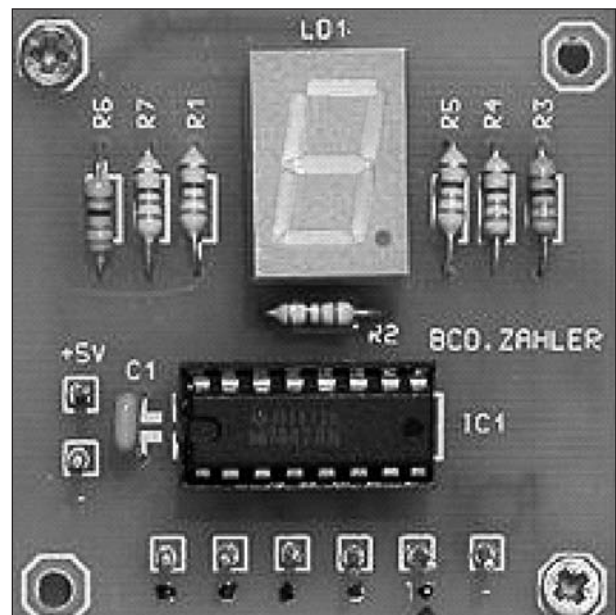


Bild 1: Leiterplatte aus Epoxydharz

rienbau verwendet. Da es flüssigkeitsundurchlässig ist, kann man es ebenso gut in Feuchterrarien verwenden.

Im Yachtbau unterscheidet es sich von Polyesterharz dadurch, dass es zu keinen Osmoseschäden kommt. Auch dann nicht, wenn Seewasser durch eine beschädigte Gelcoat-Schicht dringt und mit dem Werkstoff in Berührung kommt. Deshalb wird Epoxydharz auch zur Reparatur von Osmoseschäden an Polyesterharz-Bootsrümpfen verwendet.

Epoxydharz ist beim jetzigen Stand der Technik nicht recyclingfähig und die Stoffe zu dessen Herstellung werden überwiegend aus Erdöl gewonnen. Es laufen aber bereits Versuche, Epoxydharz auf Basis nachwachsender Rohstoffe zu gewinnen. Ziel ist, ein ungiftiges, geruchloses und nicht allergenes Epoxydharz zu entwickeln.

2.1.3 Zusammensetzung, Härtung und Verarbeitung

Epoxydharze werden durch Polymerisation von Grundharzen über geeignete Härter erzeugt. Die Polymerisation der Grundharze erfolgt über die für diese Kunststoffe namensgebende Epoxy-Gruppe. Mit zunehmendem Molekulargewicht der Grundharze und Kettenlängen von $n > 1$ kann die Polymerisation auch zusätzlich über die Hydroxy-Gruppen erfolgen. Über die Zugabe von Härtern, die entweder katalytisch die Homopolymerisation der Harze initiieren oder als bifunktionelle H-acide Verbindungen mit den funktionellen Gruppen des Harzes rea-

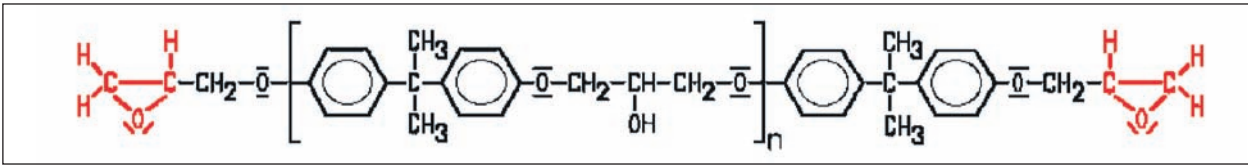


Bild 2: Molekül eines Epoxydharzes

gieren, wird der Polymerisationsprozess durchgeführt. Epoxydharze werden somit grundsätzlich als 2-Komponentensysteme bestehend aus Harz und Härter angeboten. Die Komponenten werden je nach Anwendungsbereich in getrennten Gebinden wie auch in Mischungen geliefert.

Die Herstellung eines Epoxydharzes erfolgt durch Umsetzung von Bisphenol A mit Epichlorhydrin. Als Ergebnis entsteht eine Verbindung, dessen Molekülbau in Bild 2 dargestellt ist.

Die beiden Epoxy-Gruppen sind rot markiert. Bei einem 2-Komponentensystem reagieren diese mit dem Härter in einer Polyaddition (vgl. Bild 3).

Die Aushärtung erfolgt exotherm durch Aufspaltung der Epoxy-Funktion. Dazu sind besonders Verbindungen wie Phenole, Alkohole, Thiole sowie primäre und sekundäre Amine geeignet. Des Weiteren kann die Aushärtung auch mit Carbonsäureanhydriden erfolgen. Sie erfordert jedoch die zusätzliche Wärmezufuhr von außen.

Bei der Härtung mit Aminen können sämtliche aktiven H-Atome nacheinander mit dem Epoxyd bis zur Bildung des tertiären Amins abreagieren. Die Härtung mit Polyaminen hat die wirtschaftlich größte Bedeutung. Sie härten schnell innerhalb weniger Stunden und bereits bei Raumtemperatur aus. Sie finden deshalb vor allem bei allen Arten von Beschichtungen Verwendung und werden dort als getrennte Harz-Härter-Systeme angeboten. Weniger verbreitet ist die Härtung über Carbonsäureanhydride. Sie sind im Vergleich zu den Polyaminsystemen weniger chemikalienbeständig, zeichnen sich aber durch größere Hitzestabilität aus.

Anders als bei Polyesterharz muss beim Anmischen von Epoxydharz normalerweise das vom Hersteller vorgegebene Harz/Härter-Verhältnis eingehalten werden. Andernfalls verbleiben Teile von Harz oder Härter ohne Reaktionspartner, was klebrige Oberflächen und verminderte Festigkeit des Endprodukts zur Folge hat. Einige Epoxy-Systeme sind jedoch ausdrücklich für eine Variation des Mischungsverhältnisses innerhalb enger Grenzen

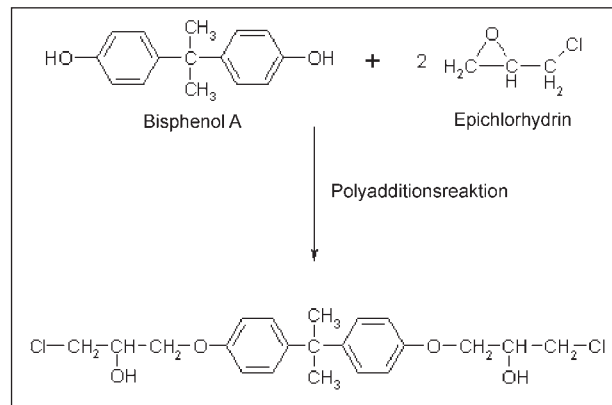


Bild 3: Polyaddition von Bisphenol A und Epichlorhydrin

geeignet. Dadurch lassen sich Härte, Elastizität und andere Eigenschaften beeinflussen. Eine inhomogene Mischung der Komponenten hat ähnlich negative Effekte wie ein falsches Verhältnis der Komponenten, da die Polymerisation nur unvollständig abläuft.

Die Verarbeitungsdauer von Reaktionsharzen wird Topfzeit genannt. Sie hängt von der Verarbeitungstemperatur, der Einstellung des Harzes und dem Verarbeitungsverfahren ab. Übliche Topfzeiten liegen bei einigen Minuten bis hin zu einigen Tagen. Während der Topfzeit steigt die Viskosität des Harzes in einer nichtlinearen Kurve immer weiter an, bis schließlich keine Verarbeitung mehr möglich ist. Daher sollte immer nur so viel Harz angesetzt werden, wie innerhalb der Topfzeit verbraucht werden kann.

Eine Erwärmung des angemischten Harzes auf ca. 50 °C verringert die Viskosität und verbessert dadurch im Allgemeinen die Verarbeitbarkeit, verkürzt aber auch die Topfzeit. Langsamreaktive Epoxydharze benötigen lange Härtezeiten und eine hohe Härtetemperatur. Bei Bedarf können Beschleuniger zugegeben werden, die die Reaktionszeit verkürzen. Epoxydharze können zum vollständigen Ausreagieren und zum Erreichen einer höheren Temperaturbeständigkeit nach der Aushärtung einem Temperierprozess unterzogen werden.

2.2 Bisherige Verwendung im Straßenbau

Die Verwendung von Epoxydharz im Bereich der Straßenbautechnik beschränkte sich in Deutschland in der Vergangenheit ausschließlich auf eine Kaltverarbeitung des 2-Komponentensystems. Als Einsatzgebiete sind hier die Halbstarren Deckschichten sowie Oberflächenbehandlungen auf Reaktionsharzbasis zu nennen.

Im Ausland, namentlich in den USA sowie in China, wurde Epoxy Asphalt auf vereinzelt Stahlbrücken als Fahrbahnbelag verwendet. Hier erfolgte eine Verarbeitung des Epoxydharzes im Heißasphalt.

2.2.1 Halbstarre Deckschichten

Bei Halbstarren Deckschichten handelt es sich um eine Kombinationsbauweise aus einem hohlraumreichen Asphaltträgergestell, das mit einem speziellen für diesen Anwendungsfall zusammengesetztem Fließmörtel oder flexibilisierten Epoxydharz verfüllt wird. Die Unterlage der Halbstarren Deckschicht, gemäß „Merkblatt für die Herstellung von Halbstarren Deckschichten“ (M HD) [3] entweder eine Asphalttragschicht oder eine Asphaltbinderschicht (vgl. Bild 4), wird mit einem Bindemittel (z. B. Bitumenemulsion) versiegelt, damit das dünnflüssige Verfüllmedium nicht eindringen kann.

Halbstarre Oberflächenbefestigungen wurden bereits in den siebziger Jahren in erster Linie auf Flugbetriebsflächen und Hafenanlagen gebaut. Ziel dieser Entwicklung war eine Kombination der positiven Eigenschaften des Asphaltes mit denen von Beton. Somit konnten die Flexibilität und Fugenlosigkeit von Asphalt mit der hohen Tragfähigkeit von Beton verbunden werden.

Für Fahrbahnbeläge auf Brücken sind Halbstarre Deckschichten mit hydraulisch gebundenem Mörtel jedoch auf Grund der Eigenschwingungen von Brücken- und Ingenieurbauwerken für hochbelastete Verkehrsflächen nicht geeignet. Hier würden sich wegen ihrer Steifigkeit und eines spröden Bruchverhaltens schnell Risse bilden. Daher wird für solche Anwendungsfälle ein flexibilisiertes Epoxydharz als Verfüllmedium eingesetzt.

Weitere Anwendungsgebiete sind neben Container-Stellflächen, Recyclinghöfen und anderen stark beanspruchten Flächen zunehmend auch Bushaltestellen (vgl. Bild 5), stark befahrene Kreuzungen, Einmündungsbereiche sowie Ein- und Ausfahrten.

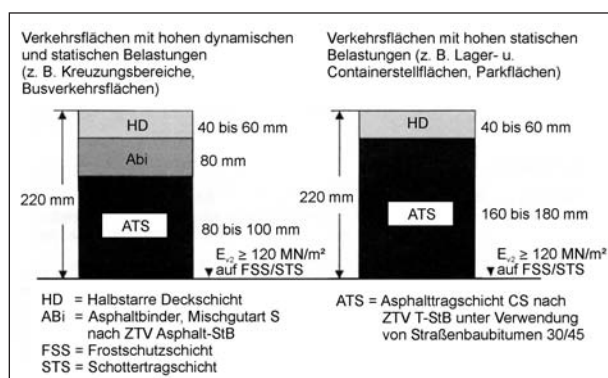


Bild 4: Halbstarre Deckschichten gemäß [3]



Bild 5: Halbstarre Deckschicht bei einer Bushaltestelle

Grundsätzliche Eigenschaften und Merkmale von Halbstarren Deckschichten sind:

- Ein verformungsstabiler Belag mit hoher Festigkeit.

- Helle Oberfläche auf Grund des Verfüllmörtels.
- Flüssigkeitsdicht und chemikalienbeständig.
- Frostbeständig und widerstandsfähig gegenüber Tausalzen.

Eine zusätzliche Oberflächenbehandlung ist erforderlich, da durch die feine Struktur des Mörtels und des Mörtelfilms an der Oberfläche keine ausreichende Anfangsrauheit vorhanden ist.

2.2.2 Oberflächenbehandlungen auf Reaktionsharzbasis

Oberflächenbehandlungen auf Reaktionsharzbasis können sowohl auf Asphaltdeckschichten als auch auf Betondecken aufgebracht werden und sind im „Merkblatt für Griffigkeitsverbessernde Maßnahmen an Verkehrsflächen aus Asphalt“ [4] beschrieben.

Sie bestehen aus einem Zweikomponenten-Reaktionsharzbindemittel in Verbindung mit einer eingestreuten, hochpolierresistenten, kubischen Gesteinskörnung bis max. 4 mm Korngröße. Das Reaktionsharzbindemittel wird mit einer elektronisch gesteuerten Bindemittelverteilungsanlage dosiergenau im Niederdruckspritzverfahren auf die trockene Fahrbahn aufgetragen (vgl. Bild 6).

Der frische Bindemittelfilm wird unmittelbar nach dem Aufbringen im Überschuss mit der Gesteinskörnung abgestreut (vgl. Bild 7). Je nach eingesetzter Harzmenge werden die Körnungen 1/2 mm, 2/3 mm oder 3/4 mm eingesetzt.

Nach Aushärten des Reaktionsharzes werden die nicht gebundenen Gesteinskörner mit selbstaufnehmenden Kehrmaschinen entfernt. Die so hergestellte Oberfläche ist anschließend sofort befahrbar.

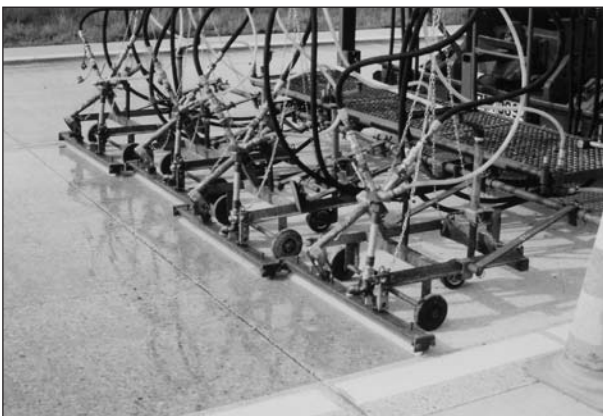


Bild 6: Auftragen des Bindemittels für Oberflächenbehandlungen auf Reaktionsharzbasis

2.2.3 Epoxy Asphalt als Fahrbahnbelag auf Stahlbrücken

Bei dem in der Vergangenheit vor allem in den Vereinigten Staaten und in China als Brückenbelag zur Anwendung gekommenen Epoxy Asphalt handelt es sich um ein langsam härtendes Gemisch aus einem Epoxydharzbindemittel und herkömmlichen Gesteinskörnungen. Das Epoxydharzbindemittel ist ein chemisches 2-Komponentensystem, bestehend aus einem Epoxydharz und einem vorgefertigten Bitumen-Härter-Gemisch, dessen Zusammensetzung nicht näher bekannt ist.

Eingebaut und verdichtet wurden die jeweiligen Schichten mit konventionellen Straßenbaumaschinen. Die endgültige Festigkeit wurde erst zwei bis vier Wochen nach Fertigstellung bei Umgebungstemperatur erreicht.

Die Verarbeitung der einzelnen Baustoffe erfolgte bei folgenden Temperaturen:

- Epoxydharz-Komponente: 80-85 °C,
- Härter-Bitumen-Komponente: 150-155 °C,
- Gesteinskörnungen: 113-124 °C,



Bild 7: Abstreuen des Bindemittelfilms mit Gesteinskörnung

- Mischgut bei Verlassen des Mixers:
110-121 °C.

Die fertige Schicht besaß einen Anforderungswert an den Hohlraumgehalt von $\leq 3,0$ Vol.-%. Die Unterlage wurde mit einem ebenfalls epoxydharzhaltigen Bindemittel angespritzt, um einen ausreichenden Schichtenverbund zu gewährleisten. Ein typischer Schichtenaufbau eines Brückenbelages aus Epoxy Asphalt ist in Bild 8 dargestellt.

Epoxy Asphalt wurde erstmals in den späten 50er Jahren als Belag für treibstoff- und explosionsbeständige Oberflächen auf Flugplätzen eingesetzt. Im Jahre 1967 erfolgte der erste Einbau eines Brückenbelages auf der San-Mateo-Hayward Brücke über die Bucht von San Francisco. Dieser Belag ist noch heute, und somit nach mehr als 250 Millionen Überrollungen, in einem guten Zustand.

Neben einigen weiteren Belägen auf Stahlbrücken in den Vereinigten Staaten sind zwei durchgeführte Projekte in China besonders hervorzuheben, deren Daten und Fakten im Folgenden näher beschrieben werden.

Zum Ersten ist dort die Überquerung des Flusses Yangtze zu nennen, der die Stadt Nanjing durchfließt. Nanjing ist mit nahezu sechs Millionen Einwohnern eine der größten Städte Chinas, deren überwiegender Teil auf der südlichen Seite des Flusses liegt. Der nördliche Teil wuchs jedoch zunehmend schneller und machte somit im Jahre 2000 eine weitere Überquerung (eine erste existierende bereits 11 km flussabwärts) notwendig.

Als Resultat errichtete man ein 1.238 m langes und 30 m breites Brückenbauwerk (vgl. Bild 9), dessen Oberflächenbelag aus Epoxy Asphalt ausgeführt wurde. In Nanjing herrschen im Sommer extrem



Bild 8: Schichtenaufbau eines Brückenbelages aus Epoxy Asphalt [5]

heiße Bedingungen, die an der Oberfläche der Brücke eine Temperatur von bis zu 70 °C verursachen. Aufgrund der im Vorfeld der Baumaßnahme durchgeführten Untersuchungen hinsichtlich der Verformungsbeständigkeit fiel die Wahl eines Deckenbelages auf Epoxy Asphalt, da dieser den größten Widerstand gegen Verformungen aufwies.

Das Mischgut wurde in einer 20 km entfernten Mischanlage chargenweise gemischt und auf der Baustelle zweilagig mit einer Schichtdicke von jeweils 2,5 cm eingebaut. Insgesamt betrug die Bauzeit des Brückenbelages 12 Tage.

Als zweites Beispiel ist die Runyang-Brücke in China zu nennen, die ebenfalls den Fluss Yangtze zwischen Yangzhou und Zhenjiang überspannt. Auf dem insgesamt mehr als zwei Kilometer langen Bauwerk wurden auf Grund der bei Nanjing gemachten guten Erfahrungen etwa 9.650 Tonnen Epoxy Asphalt auf einer Fläche von mehr als 67.000 m² eingebaut. Die Gesamtstärke der Asphaltdeckschicht betrug 5,5 cm bei einem maximalen Größtkorn des Gesteinskörnungsgemisches (Basalt) von 9,5 mm.

Das Anspritzen der Unterlage mit epoxydharzhaltigem Bindemittel erfolgte drei bis vier Stunden vor dem Einbau des Asphalt bei 150 °C. Für die Asphaltherstellung errichtete die Einbaufirma in unmittelbarer Nähe zur Brücke eine Mischanlage, die nur diese eine Maßnahme zu beliefern hatte. Somit konnten kurze Transportwege und -zeiten sichergestellt und eine unnötig starke Auskühlung des Mischgutes vermieden werden.

Eine ständige Kontrolle der Mischguttemperatur war wegen der fortschreitenden Aushärtung des Epoxydharzes zwingend erforderlich. Daher wurde in der Mischanlage das Mischgut nur in Chargen für genau einen Lkw hergestellt und sofort nach dem Verladen die Temperatur gemessen. Basierend auf dieser Temperatur wurde für jeden Lkw ein indivi-



Bild 9: Brücke über den Yangtze bei Nanjing [6]



Bild 10: Einbau von Epoxy Asphalt auf der Brücke von Runyang [7]

dueller Zeitplan erstellt, d. h. die minimale und die maximale Zeit, die das Mischgut auf dem Lkw verbleiben durfte, um noch nicht zu steif für Einbau und Verdichtung zu sein. Vor Ort auf der Baustelle wurde dann anhand der Zeitpläne entschieden, welcher Lkw zu welchem Zeitpunkt sein Mischgut in den Fertiger entladen kann (vgl. Bild 10).

Der gesamte Einbau der 9.650 Tonnen Epoxy Asphalt konnte in einer Zeit von 21 Arbeitstagen bewältigt werden. Dies entspricht einer Tagesleistung von etwa 460 Tonnen pro Tag, die auf Grund des erhöhten logistischen Aufwandes im Vergleich zu einer Einbautagesleistung von Walzasphalt in Deutschland (ca. 750 Tonnen pro Tag) geringer ausfällt.

3 Untersuchungsmethodik

3.1 Vorgehensweise

Der grundlegende Unterschied zwischen einem konventionellen Asphalt und Epoxy Asphalt besteht darin, dass bei der Herstellung von Epoxy Asphalt das zu verwendende Bitumen durch eine Zugabe von Epoxydharz modifiziert wird, d. h. ein Teil der Gesamtbindemittelmenge durch Epoxydharz ersetzt wird. Da die Vielfalt der unterschiedlichen Epoxydharze wie zuvor beschrieben jedoch sehr groß ist, bedarf es eines methodischen Vorgehens hinsichtlich einer Identifizierung eines für den Untersuchungszweck geeigneten Epoxydharzes und dessen Einfluss auf die wichtigsten mechanischen Asphalteeigenschaften.

Aus diesem Grund erfolgte die Bearbeitung des Forschungsprojektes in drei Phasen:

I. Grundlagenuntersuchungen mit unterschiedlichen Epoxydharzsystemen

Die erste Phase beinhaltete grundlegende Untersuchungen mit unterschiedlichen Epoxydharzsystemen.

Dies waren im Einzelnen: ein Epoxydharzsystem mit Polyaminhärtter, ein System mit Anhydridhärtter ohne Verwendung eines Beschleunigers und eines mit Anhydridhärtter bei Verwendung eines Beschleunigers.

Es wurden jeweils vier unterschiedliche Varianten untersucht: eine Referenzvariante mit Straßenbaubitumen sowie drei Epoxy-Varianten (5 %, 15 % und 25 % Epoxydharzzugabe bezogen auf die Gesamtbindemittelmenge). Ziel dieser Versuche war die Identifizierung des Materialverhaltens im Asphaltmischgut, der dafür geeigneten Bedingungen sowie eine Bestimmung erster mechanischer Eigenschaften.

Nach Vorliegen all dieser Erkenntnisse sollte ein Epoxydharzsystem für die nachfolgenden Hauptuntersuchungen ausgewählt werden.

II. Hauptuntersuchungen mit einem ausgewählten Epoxydharzsystem

Die zweite Phase basierte auf den Erkenntnissen der Grundlagenuntersuchungen aus Phase I. Hier sollten die wichtigsten Bindemittel- und Mischgutenwerte von Epoxy Asphalt mit Hilfe von standardisierten Prüfverfahren ermittelt und den Kennwerten von konventionellem Bindemittel bzw. Asphalt gegenübergestellt werden.

Die zur Anwendung gekommenen Prüfverfahren sind in Anhang 1 aufgeführt und deren Durchführung sowie die angesetzten Prüfbedingungen näher erläutert.

III. Weiterführende Untersuchungen

Im Zuge der Bearbeitung der ersten beiden Phasen stand zu erwarten, dass sich weitere spezielle Fragestellungen ergeben würden, die über den Rahmen der grundsätzlichen und standardisierten Prüfungen hinausgehen. Um auch diesen Punkten nachzugehen, wurden zusätzlich einige weiterführende Untersuchungen durchgeführt, deren Inhalte und Ergebnisse unter Kapitel 10 zu finden sind.

Zu Beginn der Arbeiten wurde mit dem Splittmastixasphalt 0/11 S ein Asphaltdeckschichtmischgut gewählt, das gemäß Tabelle 1.1 der ZTV Asphalt-StB 01 [8] als zweckmäßiges Mischgut für besondere Beanspruchungen (Bauklassen SV, I bis III) anzusehen ist.

Kornklasse [mm]		< 0,09	0/2	2/5	5/8	8/11	11/16	16/22
Rohdichte [g/cm ³]	Diabas	-	2,807	2,867	2,805	2,831	-	-
	Basalt	-	2,972	3,018	3,003	3,014	3,007	3,009
	Kalksteinmehl	2,713						

Tab. 1: Rohdichten der verwendeten Gesteinskörnungen

Für die Untersuchung des Schichtenverbundes (vgl. Kapitel 8.2.5) wurde für die Herstellung von Plattenpaketen ein Asphaltbinderemischgut 0/22 S benötigt.

3.2 Baustoffe

3.2.1 Gesteinskörnungen

Für die Gesteinskörnungsgemische der hergestellten Asphalte wurde für das Deckschichtmischgut (SMA 0/11 S) sowohl im Korngrößenbereich > 2 mm als auch für den Brechsand Diabas aus dem Diabaswerk Blasbach in Wetzlar verwendet. Für das benötigte Asphaltbinderemischgut 0/22 S kam ein lokaler Basalt zum Einsatz.

Als Füller wurde jeweils ein Kalksteinmehl der Firma Kalksteinwerk Medenbach GmbH gewählt.

Die Rohdichten der verwendeten Gesteinskörnungen können der Tabelle 1 entnommen werden.

3.2.2 Bindemittel

Die für die Asphaltmischungen verwendeten Bitumen waren ein Straßenbaubitumen 30/45 und 50/70 der Firma Total sowie ein polymermodifiziertes Bitumen PmB 45 A der Firma Elf.

Die Kennwerte der eingesetzten Bitumen sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Für die Modifizierung des Bindemittels in den Epoxy Asphalt-Mischungen kamen zwei unterschiedliche Epoxydharzsysteme zur Anwendung. Beides waren Standardprodukte, die frei auf dem Markt zu beziehen sind.

Das Epoxydharzsystem mit Polyaminhärter bestand aus einem universell einsetzbaren Epoxydharz auf Bisphenol-A-Basis und einem Härter mit modifiziertem aliphatischem Amin und geringer Exothermie.

Bei dem Epoxydharzsystem mit Anhydridhärter handelte es sich um ein unmodifiziertes Standard-Epoxydharz auf Bisphenol-A-Basis sowie um einen cycloaliphatischen Dicarbonsäureanhydridhärter,

Kennwert	Penetration [mm/10]	Erweichungspunkt RuK [°C]	Brechpunkt nach FRAASS [°C]	Dichte [g/cm ³]
30/45	34	57,5	-7,7	1,041
50/70	68	50,9	-14,1	1,037
PmB 45 A	47	60,7	-19,4	1,023

Tab. 2: Kennwerte der verwendeten Bindemittel

Eigenschaft	Einheit	Harz für Polyaminsystem	Harz für Anhydridsystem
Epoxydwert	mg KOH/g	0,53 ± 0,02	0,535 ± 0,015
Viskosität bei 25 °C	MPa*s	12.000 ± 2.000	10.000 ± 2.000
Dichte bei 25 °C	g/cm ³	1,17	1,17 ± 0,01
Farbzahl	Gardner	≤ 1	< 3

Tab. 3: Kennwerte der verwendeten Epoxydharze

Eigenschaft	Einheit	Härter für Polyaminsystem	Härter für Anhydridsystem
Aminzahl/Anhydridäquivalent	mg KOH/g	280 ± 10	178
Viskosität bei 25 °C	MPa*s	15 ± 10	240 ± 40
Dichte bei 25 °C	g/cm ³	0,94	1,24 ± 0,02
Farbzahl	Gardner	≤ 1	≤ 3

Tab. 4: Kennwerte der verwendeten Härter

Eigenschaft	Einheit	Beschleuniger für Polyaminsystem	Beschleuniger für Anhydridsystem
Viskosität bei 25 °C	MPa*s	-	250 ± 50
Dichte bei 25 °C	g/cm ³	-	0,98 ± 0,02
Farbzahl	Gardner	-	< 8

Tab. 5: Kennwerte des verwendeten Beschleunigers

der zur Heißhärtung flüssiger Epoxydharze für die Herstellung von mechanisch hochwertigen Formstoffen eingesetzt wird. Der für dieses System ver-

wendete Beschleuniger war ein polyfunktionelles, tertiäres Amin.

Die Kennwerte der verwendeten Epoxydharze, Härter und des Beschleunigers können den Tabellen 3, 4 und 5 entnommen werden.

Als Bindemittelträger wurden 0,3 % Cellulosefasern als stabilisierender Zusatzstoff dem Splittmastixasphaltemischgut hinzugefügt.

3.3 Eignungsprüfungen

Im Rahmen einer konventionellen Eignungsprüfung wurde gemäß dem „Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt“ [9] für den Splittmastixasphalt eine Rezeptur ermittelt, die hinsichtlich der Vergleichbarkeit der zu ermittelnden Ergebnisse über die gesamte Versuchsreihe unverändert blieb. Somit konnte der Einfluss unterschiedlicher Mischgutzusammensetzungen auf die Asphalteigenschaften ausgeschlossen und einzig die Wirkung des Epoxydharzes im Asphalt bewertet werden.

Für das Asphaltbindermischgut wurde ebenfalls im Rahmen einer konventionellen Eignungsprüfung eine Rezeptur gemäß ZTV Asphalt-StB 01 ermittelt.

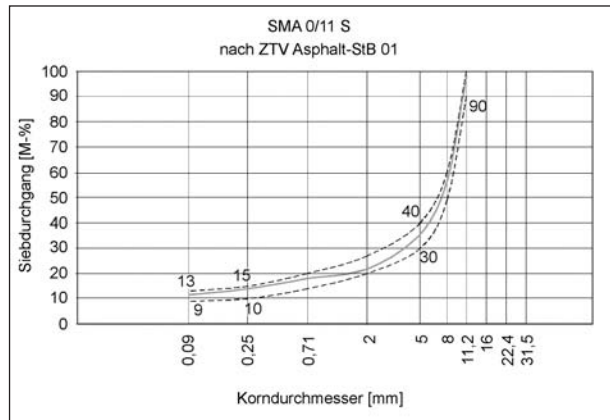


Bild 11: Korngrößenverteilung SMA 0/11 S

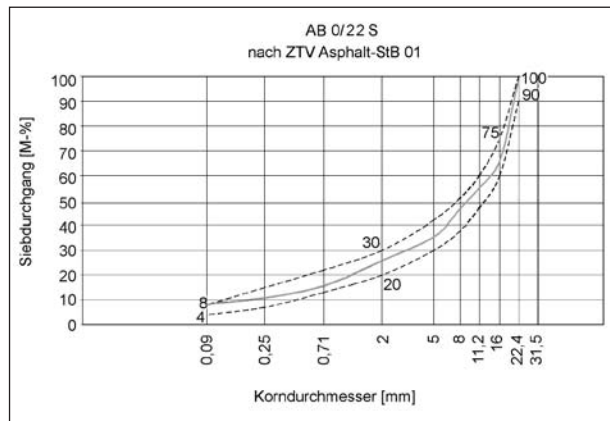


Bild 12: Korngrößenverteilung Asphaltbinder 0/22 S

SMA 0/11 S			
Gesteinskörnung			
Lieferkörnung		Resultierende Korngrößenverteilung	
Diabas	8/11	[M.-%]	48,3
	5/8	[M.-%]	18,5
	2/5	[M.-%]	12,2
	0/2	[M.-%]	8,5
Kalksteinmehl	< 0,09	[M.-%]	12,5
mittlere Gesteinsrohddichte		[g/cm³]	2,813
Bindemittel			
Bindemittelsorte	[-]	50/70	PmB 45 A
Bindemitteldichte	[g/cm³]	1,0367	1,0230
Bindemittelgehalt	[M.-%]	7,0	7,0
Mischgut			
Rohddichte	[g/cm³]	2,5011	2,4890
Raumddichte	[g/cm³]	2,4217	2,4111
Hohlraumgehalt	[Vol.-%]	3,17	3,13
Bindemittelvolumen	[Vol.-%]	16,49	16,49
fiktiver Hohlraumgehalt	[Vol.-%]	19,67	19,62
Ausfüllungsgrad	[%]	83,87	84,05

Tab. 6: Eignungsprüfung für SMA 0/11 S

Asphaltbinder 0/22 S			
Gesteinskörnungsgemisch			
Lieferkörnung		Resultierende Korngrößenverteilung	
Basalt	16/22	[M.-%]	40,0
	11/16	[M.-%]	5,0
	8/11	[M.-%]	10,0
	2/5	[M.-%]	10,0
	0/2	[M.-%]	20,0
Kalksteinmehl	< 0,09	[M.-%]	5,0
mittlere Gesteinsrohddichte		[g/cm³]	2,971
Bindemittel			
Bindemittelsorte	[-]	30/45	
Bindemitteldichte	[g/cm³]	1,0410	
Bindemittelgehalt	[M.-%]	4,1	
Mischgut			
Rohddichte	[g/cm³]	2,7358	
Raumddichte	[g/cm³]	2,5577	
Hohlraumgehalt	[Vol.-%]	6,51	
Bindemittelvolumen	[Vol.-%]	10,10	
fiktiver Hohlraumgehalt	[Vol.-%]	16,61	
Ausfüllungsgrad	[%]	60,80	

Tab. 7: Eignungsprüfung Asphaltbinder 0/22 S

Die Ergebnisse der Eignungsprüfungen können den Tabellen 6 und 7 entnommen werden. Die Korngrößenverteilungen beider Mischgutarten sind in den Bildern 11 und 12 dargestellt.

3.4 Mischgut- und Probekörperherstellung

Die Mischgutherstellung erfolgte in einem Labormischer mit einer Kapazität von 35 Litern (vgl. Bild 13). Die getrockneten Gesteinskörnungen wurden entsprechend der Rezeptur eingewogen und auf eine Temperatur von 5 °C über der gewünschten Mischtemperatur erhitzt. Anschließend wurden die jeweiligen Kornfraktionen in den Labormischer gegeben und zwei Minuten trocken gemischt.

Das Bindemittel wurde in abgedeckten Eimern ebenfalls erhitzt und vor der Zugabe in den Mischer einmal aufgerührt. Die Bindemittelzugabe wurde portionsweise so lange fortgesetzt, bis mittels Differenzwägung die Sollbindemittelmenge erreicht wurde.

Bei der Mischgutherstellung von Epoxy Asphalt erfolgte vor der Bindemittelzugabe das Vermischen des Bitumens mit den Epoxydharzkomponenten. Hierzu wurden zunächst die verwendeten Komponenten (Harz, Härter und ggf. Beschleuniger) in den laut Datenblatt vorgeschriebenen Anteilen ver-

mengt. Anschließend folgte die Zugabe des Epoxydharzgemisches in das heiße Bitumen. Um eine möglichst homogene Verteilung des Epoxydharzes im Bitumen zu gewährleisten, wurde dieses Bindemittelgemisch mit Hilfe eines Rührgerätes verquirlt (vgl. Bild 14). Unmittelbar danach wurde die Bindemittelzugabe in den Labormischer wie oben beschrieben durchgeführt. Ab Beginn der Bindemittelzugabe wurde der Asphalt für vier Minuten gemischt.

Für die vorgesehenen Prüfungen wurden sowohl Marshall-Probekörper als auch Probepplatten mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (vgl. Bild 15) hergestellt.

Die Verdichtung der Marshall-Probekörper erfolgte gemäß DIN 1996 Teil 4 [10] durch zweimal 50 Schläge.

Die Verdichtung der Probepplatten erfolgte gemäß ALP A-StB Teil 11 [11] und wurde weggeregelt gesteuert. Hierbei ist es möglich, bei genauer Berechnung der Mischguteinwaage den gewünschten Hohlraumgehalt bzw. die gewünschte Raumdichte und damit den Verdichtungsgrad der Asphaltplatte zu erreichen. Die Anforderungswerte für diese Kennwerte liegen gemäß ZTV Asphalt-StB 01 bei einem maximalen Hohlraumgehalt von 6,0 Vol.-% und einem minimalen Verdichtungsgrad von 97 %.

Die Parameter der weggeregelten Verdichtung wurden wie folgt eingestellt:

Vorlast: 1,0 kN,

Rampe: 0,5 mm je Walzübergang,

Glätten: 20 Walzübergänge,

Temperatur Segment/Formkasten: 80 °C.



Bild 13: Labormischer



Bild 14: Vermischen von Bitumen und Epoxydharz

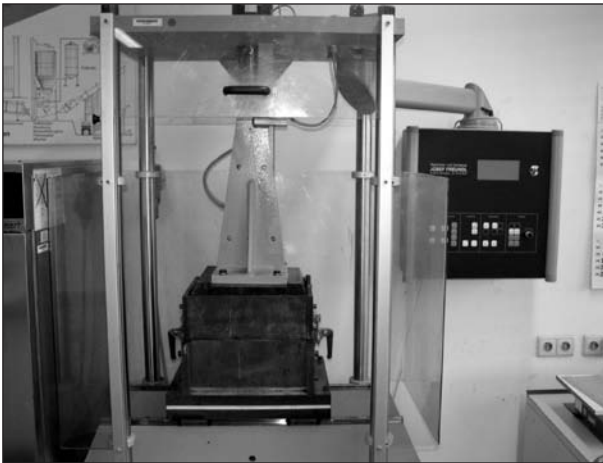


Bild 15: Walzsektor-Verdichtungsgerät

3.5 Prüfverfahren

Eine Beschreibung der im Rahmen dieses Forschungsprojektes angewandten Prüfverfahren kann dem Anhang 1 entnommen werden.

I. Grundlagenuntersuchungen mit unterschiedlichen Epoxydharzsystemen

4 Untersuchungen mit einem Epoxydharzsystem mit Polyaminhärter

4.1 Handmischungen

Die Untersuchungen mit dem Epoxydharzsystem mit Polyaminhärter beschränkten sich zunächst auf Marshall-Probekörper, die in kleinen Handmischungen hergestellt wurden. Hierbei wurde das Mischgut für jeden Probekörper bei einer Temperatur von 130 °C einzeln gemischt und anschließend sofort verdichtet. Der Anteil an Epoxydharz betrug 25 % der gesamten Bindemittelmenge.

Ziel dieses Vorgehens war eine erste Einschätzung über den Einfluss des Epoxydharzes auf das Mischgut während der Mischgutherstellung. Diesbezüglich waren keine Auffälligkeiten festzustellen und auch sämtliche Kennwerte der Probekörper erfüllten die Anforderungen gemäß ZTV Asphalt-StB 01.

An diesen Marshall-Probekörpern wurde anschließend mittels dynamischen Druckschwellversuchs die Verformungsbeständigkeit bestimmt, um über den Einfluss des Harzes auf die Verformungsbe-

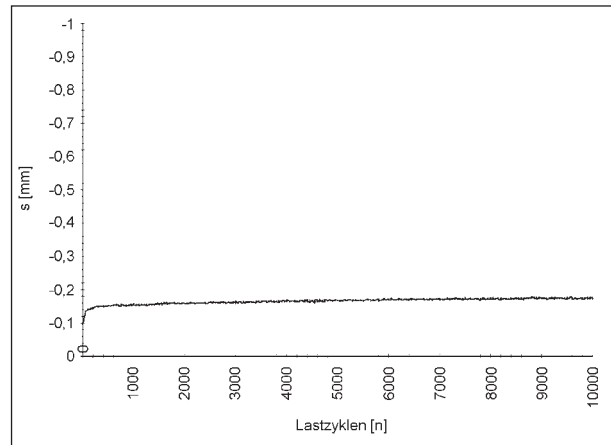


Bild 16: Ergebnis eines Druckschwellversuchs an einem ersten Epoxy-Probekörper (Polyamin)

ständigkeit des Asphaltes ebenfalls eine erste Einschätzung zu erhalten. Das Ergebnis eines Probekörpers ist in Bild 16 dargestellt. Die geringe Verformung von weniger als 0,2 mm nach 10.000 Lastwechseln lässt auf eine positive Wirkung schließen.

4.2 Mischgutherstellung im Labormischer

Nachdem eine grundsätzliche Mischbarkeit des Epoxydharzsystems im Asphalt festgestellt wurde, sollte nun eine Mischgutherstellung in einem größeren Maßstab, d. h. im Labormischer, überprüft werden. Die Herstellung erfolgte entsprechend dem unter Kapitel 3.4 beschriebenen Vorgehen.

In einem ersten Schritt wurde erneut ein Epoxy-Gehalt von 25 % gewählt, da es sich hierbei um die „ungünstigste“ Variante mit dem größten Anteil an Epoxydharz handelt. Aus dem vorhandenen Mischgut wurden unmittelbar nach Beenden des Mischvorgangs drei Marshall-Probekörper hergestellt. Die erste gewählte Verarbeitungstemperatur für die Mischgut- und Probekörperherstellung betrug 135 °C, da diese der Verdichtungstemperatur gemäß ZTV Asphalt-StB 01 bzw. ALP A-StB Teil 11 entspricht.

Jedoch musste bereits bei der ersten Mischung festgestellt werden, dass bei den gewählten Bedingungen die Reaktion zwischen Harz und Härter zu schnell abläuft. Die beiden Komponenten reagieren unmittelbar miteinander und versteifen somit das Mischgut in zunehmendem Maße. Daraufhin wurde die Verarbeitungstemperatur kontinuierlich bis auf 100 °C abgesenkt und weitere Mischungen bei niedrigeren Temperaturen ausgeführt. Die Ergebnisse (Raumdichten und Hohlraumgehalte der MPK) sind in den Bildern 17 und 18 dargestellt.

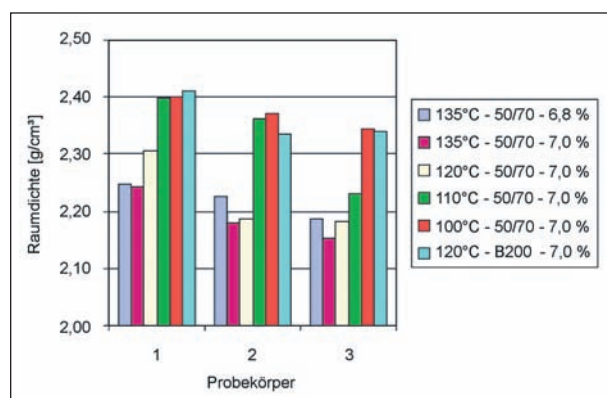


Bild 17: Raumdichten von drei nacheinander verdichteten MPK aus Epoxy Asphalt (polyamin)

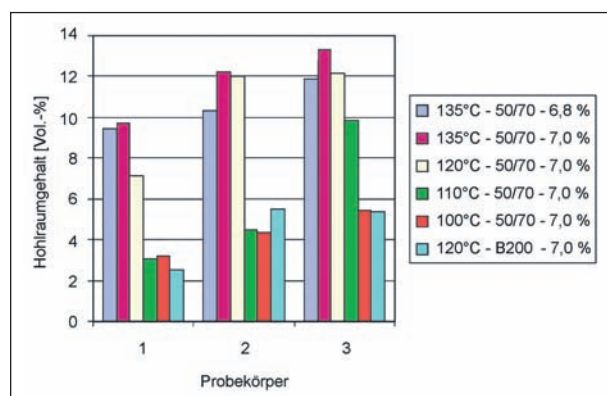


Bild 18: Hohlraumgehalt von drei nacheinander verdichteten MPK aus Epoxy Asphalt (Polyamin)

Neben der Temperaturabsenkung wurde ebenfalls bei 135 °C der Bindemittelgehalt um 0,2 Vol.-% verringert und bei 120 °C eine Mischung mit einem Straßenbaubitumen B200 durchgeführt.

Die dargestellten Ergebnisse zeigen sehr deutlich die festgestellte Problematik des zu schnell aushärtenden Epoxydharzsystems. Die Verdichtung der drei Marshall-Probekörper erfolgte unmittelbar nacheinander, d. h. in einem Zeitraum von wenigen Minuten. Innerhalb dieser kurzen Zeit nimmt jedoch die Raumdichte von Probekörper zu Probekörper für jede der gewählten Verarbeitungstemperaturen stetig ab. Ab einer Temperatur von 110 °C ist das Niveau der Raumdichten zwar höher, die stetige Abnahme aufgrund des mit der Zeit rasch aushärtenden Epoxydharzes bleibt jedoch erhalten. Die Verläufe der Hohlraumgehalte verhalten sich dementsprechend gegenläufig.

Auch die Reduzierung des Bindemittelgehaltes und die Verwendung eines Straßenbaubitumens B200 bei niedrigeren Temperaturen konnten die Problematik der schnellen Reaktion von Harz und Härter nicht kompensieren.

5 Untersuchungen mit einem Epoxydharzsystem mit Anhydridhärter ohne Verwendung eines Beschleunigers

5.1 Handmischungen

Die Untersuchungen mit dem Epoxydharzsystem mit Anhydridhärter ohne Verwendung eines Beschleunigers beschränkten sich zunächst ebenfalls auf die Herstellung von Marshall-Probekörper aus kleinen Handmischungen. Da es sich hier um ein so genanntes heißhärtendes System handelt, wurde als erste Verarbeitungstemperatur 150 °C gewählt, um die Bedingungen bei der Herstellung von konventionellem Asphaltmischgut möglichst nicht zu verändern. Der Anteil an Epoxydharz betrug 25 % der gesamten Bindemittelmenge.

Diese Bedingungen führten jedoch zu einer starken Dampf- und Raumentwicklung sowie zu einer schlechten Verarbeitbarkeit des Mischgutes. Daraufhin wurde die Verarbeitungstemperatur schrittweise abgesenkt und weitere Probemischungen durchgeführt. Hiernach stand als Ergebnis eine labortechnisch praktikable und handhabbare Verarbeitungstemperatur von 130 °C.

Abschließend sollte noch die Frage einer eventuellen Veränderung der Verarbeitbarkeit nach einer Lagerung des Mischgutes bei konstanter Temperatur geklärt werden. Hierzu wurde ein erster Marshall-Probekörper sofort nach der Mischgutherstellung verdichtet, wohingegen das Mischgut für einen zweiten Probekörper für 30 Minuten bei 130 °C im Ofen belassen und anschließend erst verdichtet wurde. Die Verarbeitbarkeit des Mischgutes hatte sich während dieser Zeit nicht negativ verändert und die Raumdichten der beiden Probekörper waren nahezu identisch.

Die Dampfentwicklung, die bei 130 °C zwar schwächer, aber dennoch vorhanden war, führte dazu, dass alle nachfolgenden Arbeiten während der Mischgut- und Probekörperherstellung mit Atemschutzmasken durchgeführt wurden.

5.2 Mischgutherstellung im Labormischer

Die für die Handmischungen geeigneten Herstellungsbedingungen wurden in einem zweiten Schritt auf den Maßstab des Labormischers übertragen. Hierzu wurde Epoxy Asphalt mit einem Epoxy-Anteil von 25 % bei einer Temperatur von 130 °C gemischt und drei Marshall-Probekörper sofort verdichtet sowie drei weitere erst 30 Minuten nach der Mischgutherstellung. Hierbei war festzustellen,

dass auch nach einer Temperierung bei 130 °C für 30 Minuten das Mischgut noch immer gut zu verarbeiten war und keine Versteifung durch einen zu raschen Aushärteprozess eingesetzt hatte.

Bereits im Vorfeld dieser Mischung stellte sich die Frage, ob der Zeitpunkt der Verarbeitung (sofort oder nach einer Temperierphase) einen Einfluss auf die Standfestigkeit des Asphaltes haben könnte. Daher wurden neben den bereits erwähnten Marshall-Probekörpern auch zwei WSV-Platten sofort und nach 30 Minuten hergestellt. An diesen Platten wurde die Verformungsbeständigkeit mittels Spurbildungsversuchs entsprechend Anhang 1 geprüft. Der Verlauf der Spurrinnentiefe beider Platten ist in Bild 19 dargestellt.

An dem dargestellten Verlauf der Spurrinnentiefen beider Platten ist deutlich der Einfluss der 30-minütigen Temperierphase zu erkennen. Während die sofort nach Mischgutherstellung verdichtete Platte nach 20.000 Überrollungen eine Spurrinnentiefe von etwa 8,5 mm aufwies, waren bei der nach 30 Minuten verdichteten Platte nur etwa 1,7 mm zu verzeichnen. Somit konnte nachgewiesen werden, dass ein erheblicher Einfluss des Verdichtungszeitpunktes auf die Standfestigkeit des Epoxy Asphaltes besteht, da unmittelbar nach Mischgutherstellung die Reaktion von Harz und Härter noch nicht stattgefunden hat.

Unklar war an dieser Stelle jedoch noch, wie lange eine solche Temperierung vorzusehen ist, damit eine vollständige Reaktion der beiden Komponenten gewährleistet ist. Daher erfolgte im Anschluss eine systematische Untersuchung dieser Fragestellung, um auch eindeutig definierte Bedingungen für eine eventuelle Probekörperherstellung im Rahmen der Hauptuntersuchungen zu schaffen.

Für diesen Zweck wurde Epoxy Asphalt in den Varianten 5 %, 15 % und 25 % gemischt und jeweils

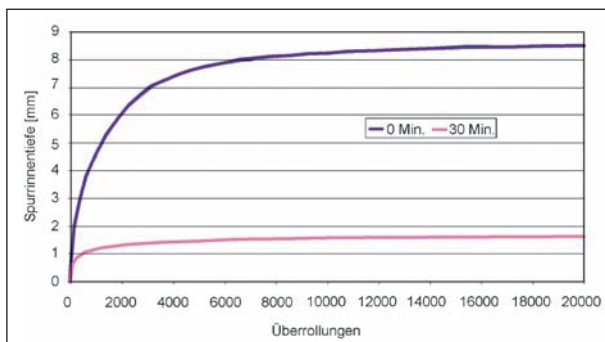


Bild 19: Spurrinnentiefe erster Platten in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Probekörperherstellung

WSV-Platten nach unterschiedlich langen Temperierzeiten bei 130 °C hergestellt. Die Verdichtung erfolgte sofort, 15, 30, 45 und 60 Minuten nach Öffnen des Mixers. Hiernach wurde an sämtlichen Probekörpern ein Spurbildungsversuch gemäß Anhang 1 durchgeführt und die Spurrinnentiefe nach 20.000 Überrollungen aller Varianten miteinander verglichen.

Die Ergebnisse der Spurbildungsversuche können den Bildern 20 bis 23 entnommen werden.

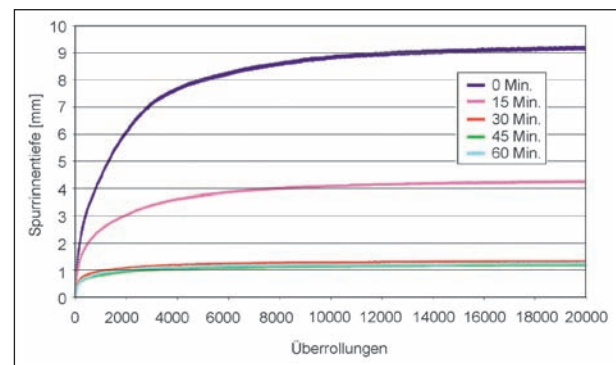


Bild 20: Spurrinnentiefe bei 25 % Epoxy ohne Beschleuniger in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Probekörperherstellung

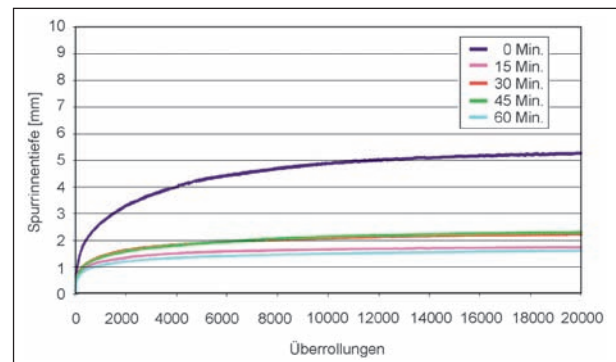


Bild 21: Spurrinnentiefe bei 15 % Epoxy ohne Beschleuniger in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Probekörperherstellung

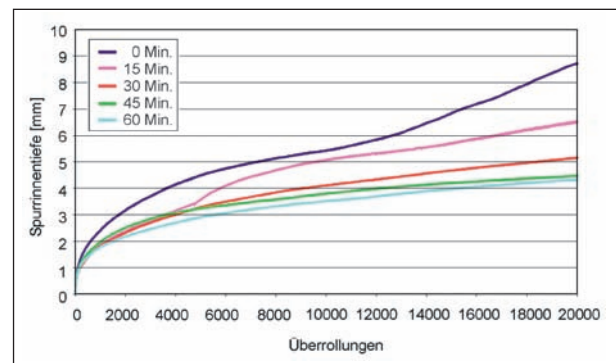


Bild 22: Spurrinnentiefe bei 5 % Epoxy ohne Beschleuniger in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Probekörperherstellung

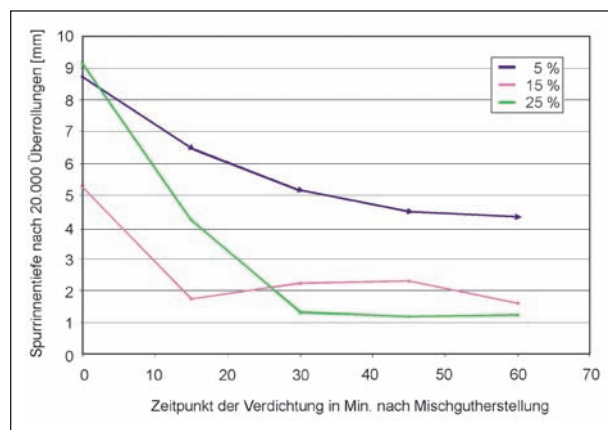


Bild 23: Spurrinnentiefe nach 20.000 Überrollungen in Abhängigkeit vom Verdichtungszeitpunkt ohne Beschleuniger

Bei der Verdichtung des Mischgutes mit 25 % Epoxyharzanteil war nach 45 Minuten eine beginnende Versteifung festzustellen, die sich in einem leicht erhöhten Verdichtungsaufwand widerspiegelte. Nach 60 Minuten war diese nochmals weiter fortgeschritten und auch der Verdichtungswiderstand nochmals erhöht. Somit war festzustellen, dass eine Temperierphase für die Aushärtung des (hier verwendeten) Epoxyharzes zwar notwendig ist, diese jedoch nicht länger als 45 bis 60 Minuten andauern darf, um eine ausreichende Verarbeitbarkeit des Mischgutes zu erhalten.

Betrachtet man die ermittelten Spurrinnentiefen nach 20.000 Überrollungen aller Varianten, so ist festzustellen, dass für die Varianten 25 % und 15 % Epoxy eine Temperierzeit des Mischgutes von 30 Minuten und für die Variante 5 % Epoxy eine Temperierzeit von 45 Minuten vorzusehen sind, um eine vollständige Reaktion des 2-Komponentensystems zu gewährleisten. Nach Ablauf der Temperierphasen ist keine Veränderung der Verformungsbeständigkeit mehr zu erwarten.

6 Untersuchungen mit einem Epoxyharzsystem mit Anhydridhärter bei Verwendung eines Beschleunigers

6.1 Handmischungen

Analog zu den beiden vorherigen Epoxyharzsystemen begannen auch die Untersuchungen mit einem Epoxyharzsystem mit Anhydridhärter und Beschleuniger in Form von einigen Handmischungen.

Zunächst wurden Marshallprobekörper aus Mischgut mit 25 % Epoxy und 1 % Beschleuniger bezo-

gen auf die verwendete Harzmenge hergestellt. Hierbei waren bereits nach 15 Minuten eine schlechte Verarbeitbarkeit des Mischgutes und eine geringe Raumdichte am Marshallprobekörper ($2,38 \text{ g/cm}^3$) festzustellen.

In einem zweiten Schritt wurde die Beschleunigermenge auf 0,5 % reduziert und Marshallprobekörper sofort nach Mischgutherstellung sowie nach 15 und 30 Minuten Temperierung ($130 \text{ }^\circ\text{C}$) verdichtet. Die Verarbeitbarkeit war in allen drei Fällen zufriedenstellend, die Raumdichten der Probekörper nach 0 und 15 Minuten Temperierung mit $2,45 \text{ g/cm}^3$ entsprechend den Erwartungen, nach 30 Minuten jedoch bereits deutlich geringer ($2,40 \text{ g/cm}^3$).

Des Weiteren wurden auch Handmischungen mit 15 % Epoxy und 0,5 % Beschleuniger durchgeführt und daraus ebenfalls nach 0, 15 und 30 Minuten Temperierung bei $130 \text{ }^\circ\text{C}$ Marshallprobekörper hergestellt. Im Ergebnis zeigten sich erst nach 30 Minuten eine leichte Versteifung des Mischgutes und für alle drei Fälle eine einheitliche Raumdichte der Probekörper von $2,45 \text{ g/cm}^3$.

Zusammenfassend konnte im Zuge der durchgeführten Handmischungen festgestellt werden, dass die zur Verfügung stehende Verarbeitungszeit bei einem Epoxy-Gehalt von 15 % bis zu 30 Minuten beträgt, bei 25 % Epoxy jedoch höchstens 15 Minuten.

Darüber hinaus war im Vergleich zum Epoxy Asphalt ohne Beschleuniger eine deutlich stärkere Dampfentwicklung festzustellen.

6.2 Mischgutherstellung im Labormischer

Analog zum Vorgehen bei der Variante ohne Beschleuniger wurde auch hier im Anschluss an die durchgeführten Handmischungen eine Mischgutherstellung im Labormischer vorgenommen sowie unter Berücksichtigung der festgestellten Herstellungsbedingungen einige Probekörper angefertigt.

Um festzustellen, ob auch bei der Verwendung eines Beschleunigers der Zeitpunkt der Probekörperherstellung bzw. die Dauer einer Temperierung einen Einfluss auf die Verformungsbeständigkeit des Asphaltes hat, erfolgte die Plattenherstellung ebenfalls sofort nach der Mischgutherstellung sowie nach einer Temperierphase von 15 und 30 Minuten (Varianten 5 % und 15 % Epoxy) bzw. nur nach 15 Minuten (Variante 25 %), da hier keine längere Verarbeitungszeit gegeben war (vgl. Kapitel 6.1).

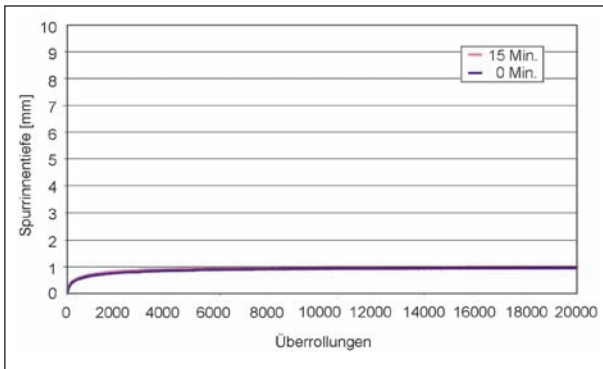


Bild 24: Spurrinnentiefe bei 25 % Epoxy mit Beschleuniger in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Probekörperherstellung

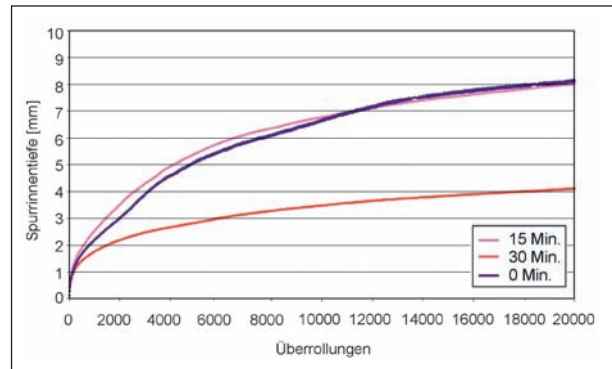


Bild 26: Spurrinnentiefe bei 5 % Epoxy mit Beschleuniger in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Probekörperherstellung

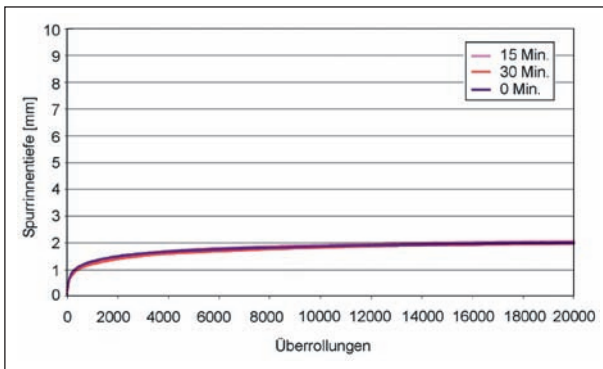


Bild 25: Spurrinnentiefe bei 15 % Epoxy mit Beschleuniger in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Probekörperherstellung

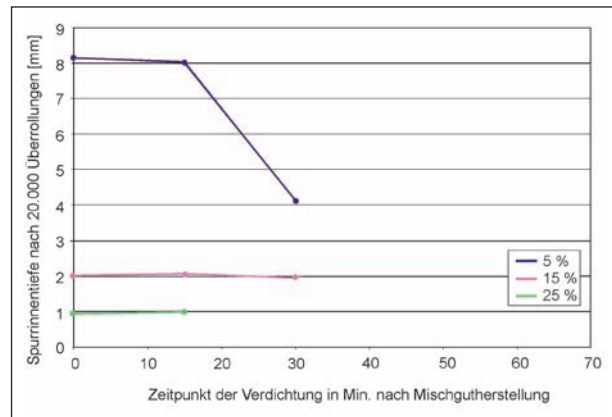


Bild 27: Spurrinnentiefe nach 20.000 Überrollungen in Abhängigkeit vom Verdichtungszeitpunkt mit Beschleuniger

Anschließend erfolgte wie bereits zuvor eine Prüfung des Verformungswiderstandes mit Hilfe des Spurbildungsversuches entsprechend Anhang 1. Die Ergebnisse der Spurbildungsversuche können den Bildern 24 bis 27 entnommen werden.

Die Ergebnisse der Spurbildungsversuche zeigen deutlich, dass bei der Verwendung eines Beschleunigers für die Varianten mit 15 % und 25 % Epoxy keine Temperierphase notwendig ist, da bei allen Platten der jeweiligen Variante die Spurrinnentiefe nach 20.000 Überrollungen auf dem gleichen Niveau liegt. Somit könnten in diesem Fall die Probekörper unmittelbar nach der Mischgutherstellung verdichtet werden, da der Beschleuniger für ein unmittelbares Reagieren der beiden Komponenten Harz und Härter sorgt.

Für die Variante mit 5 % Epoxy ist jedoch auch bei der Verwendung eines Beschleunigers eine Temperierphase von 30 Minuten erforderlich. Die beiden großen Spurrinnentiefen von ca. acht Millimeter erschienen auf Grund der Ergebnisse der Varianten 25 % und 15 % zunächst nicht plausibel, wurden je-

doch im Zuge einer Wiederholungsprüfung bestätigt. Erst bei der dritten Platte, deren Mischgut für 30 Minuten bei 130 °C temperiert wurde, konnte eine Spurrinnentiefe von ca. vier Millimetern nach 20.000 Überrollungen gemessen werden.

7 Vergleichende Betrachtung der unterschiedlichen Epoxydharzsysteme

Nach Abschluss der Grundlagenuntersuchungen mit unterschiedlichen Epoxydharzsystemen soll eine vergleichende Betrachtung der untersuchten Systeme vorgenommen werden. Hierbei gilt es, die gewonnenen Erkenntnisse gegenüberzustellen und zu bewerten. Im Einzelnen können diese in den Punkten

- Verarbeitbarkeit und Verarbeitungszeit,
- Besonderheiten bei der Mischgut- und Probekörperherstellung,

- mechanische Eigenschaften, zusammengefasst werden.

Als Ergebnis der Bewertung soll anschließend ein Epoxydharzsystem für die nachfolgenden Hauptuntersuchungen ausgewählt werden.

Die zu Beginn durchgeführten Handmischungen mit einem Epoxydharzsystem mit Polyaminhärter zeigten keine Auffälligkeiten hinsichtlich der Mischbarkeit und der Verdichtung des Asphaltmischgutes. Die zusätzlich ermittelte Verformungsbeständigkeit ließ darüber hinaus auf eine hohe Standfestigkeit des Epoxy Asphaltes mit Polyaminhärter schließen.

Die Mischgutherstellung im Labormischer offenbarte jedoch eine deutlich zu schnelle Reaktionszeit des Systems, die sich sowohl messtechnisch in den Raumdichten der Probekörper als auch optisch bereits durch eine Zunahme der Steifigkeit des Mischgutes beim Einfüllen in die Probekörperformen zeigte.

Nach Abschluss der Untersuchungen mit einem Epoxydharzsystem mit Polyaminhärter war daher festzustellen, dass dieses System bereits für eine Mischgutherstellung im Laboratorium nicht geeignet ist. Folglich wird diese erste Möglichkeit aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse verworfen und im Folgenden auch nicht weiter betrachtet.

Für das Epoxydharzsystem mit Anhydridhärter konnte im Zuge der durchgeführten Handmischungen eine Verarbeitungstemperatur von 130 °C sowohl ohne als auch mit Beschleuniger als geeignet identifiziert werden. Hinsichtlich der bei dieser Temperatur zur Verfügung stehenden Verarbeitungszeit erwies sich die Verwendung eines Beschleunigers als nachteilig, da hier maximal nur 15 Minuten (25 % Epoxy) bzw. 30 Minuten (15 % und 5 % Epoxy) zur Probekörperherstellung verblieben. Bei der Variante ohne Beschleuniger hingegen betrug die verfügbare Verarbeitungszeit mindestens 30 Minuten, jedoch auch höchstens 45 bis 60 Minuten.

Als Besonderheit bei der Mischgut- und Probekörperherstellung des Epoxy Asphaltes ohne Beschleuniger zeigten die bis zu diesem Zeitpunkt abgeschlossenen Untersuchungen, dass eine 30-minütige Temperierphase des fertigen Mischgutes bei 130 °C zwingend erforderlich ist, da ansonsten die Reaktion des 2-Komponentensystems nicht vollständig stattgefunden hat. Bei Einsatz eines Beschleunigers war festzustellen, dass für

die Varianten mit 15 % und 25 % Epoxy keine Temperierung des Mischgutes notwendig ist und die Probekörper unmittelbar nach Beendigung des Mischvorgangs verdichtet werden können. Bei der Variante mit 5 % Epoxy stellte sich heraus, dass trotz der Zugabe des Beschleunigers auf eine Temperierung nicht verzichtet werden kann.

Die Emissionen in Form von Rauch- und Dampfentwicklungen während der Herstellung und Verarbeitung des Mischgutes waren bei der Verwendung eines Beschleunigers wesentlich stärker.

Als weiteres Kriterium für die Bewertung der unterschiedlichen Epoxydharzsysteme werden die im Zuge der Grundlagenuntersuchungen geprüften mechanischen Eigenschaften der Probekörper aus Epoxy Asphalt herangezogen. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde zusätzlich eine Referenzvariante geprüft und anschließend den Ergebnissen der Epoxy-Varianten gegenübergestellt. Das Referenzmischgut beinhaltete als Bindemittel ein Straßenbaubitumen 50/70 und die Zusammensetzung entsprach der festgelegten Eignungsprüfung gemäß Kapitel 3.3. Die Epoxy-Varianten unterschieden sich folglich von der Referenzvariante lediglich im Vorhandensein bzw. nicht Vorhandensein des Epoxydharzes.

In einem ersten Schritt wurden die Spurrinntiefen der einzelnen Varianten nach 20.000 Überrollungen miteinander verglichen. Sie sind in Bild 28 grafisch dargestellt.

In einem zweiten Schritt wurden die im Zuge der Mischgutherstellung der einzelnen Varianten ohnehin hergestellten Marshall-Probekörper einer Spaltzugprüfung unterzogen. Hierbei wurde auf eine Wasserlagerung einiger Probekörper verzichtet und nur die Zugfestigkeit in trockenem Zustand geprüft. Die Ergebnisse können Bild 29 entnommen werden.

Betrachtet man die ermittelten Spurrinntiefen der untersuchten Varianten, so fällt auf, dass die Asphaltplatten mit Beschleuniger eine geringere Spurrinntiefe besitzen als diejenigen ohne Beschleuniger, allerdings nur geringfügig um ca. 0,2 bis 0,3 mm. Die Differenz der Referenzvariante zu der mit 5 % Epoxy ist mit 0,2 bis 0,4 mm nur unwesentlich. Erst von 5 % nach 15 % Epoxy ist ein größerer Sprung um ca. zwei Millimeter festzustellen und von 15 % nach 25 % Epoxy konnte die Spurrinntiefe nochmals um einen Millimeter reduziert werden.

Die Spaltzugfestigkeiten unterscheiden sich hinsichtlich einer Verwendung eines Beschleunigers kaum. Die Unterschiede sind im Rahmen der erzielbaren Prüfgenauigkeit als vernachlässigbar zu bezeichnen. Die Referenzvariante und die 5%-Variante besitzen im Mittel die gleiche Zugfestigkeit, bei der Variante mit Beschleuniger ist diese sogar um 0,2 N/mm² geringer. Insgesamt nimmt die Zugfestigkeit von der 5%-Variante bis hin zur 25%-Variante konstant um etwa 0,4 N/mm² zu.

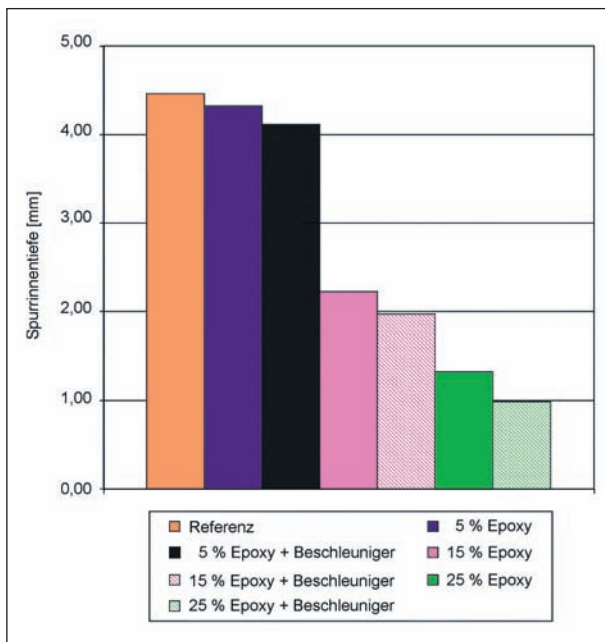


Bild 28: Vergleich der Spurrinnentiefe der untersuchten Varianten nach 20.000 Überrollungen

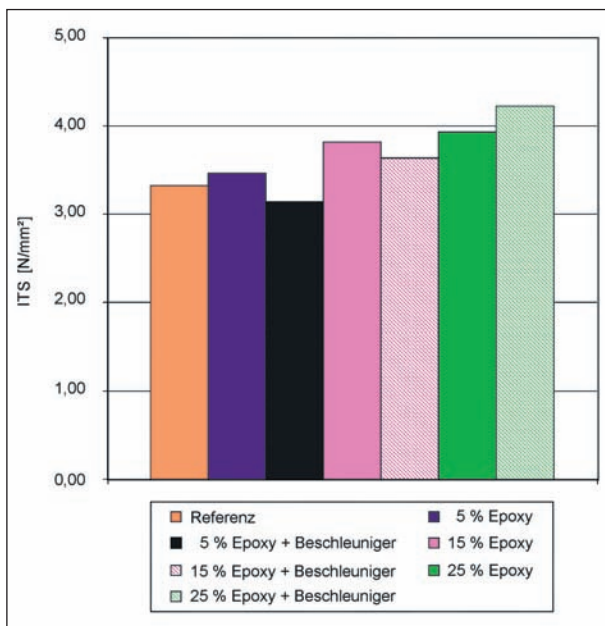


Bild 29: Vergleich der Spaltzugfestigkeiten der untersuchten Varianten

Da die zur Verfügung stehende Verarbeitungszeit bei der Verwendung eines Beschleunigers deutlich kürzer ist und die Unterschiede bei den mechanischen Eigenschaften nur äußerst gering sind, wird der Einsatz eines Beschleunigers hier nicht weiter verfolgt. Zudem sprechen die erhöhten Emissionen ebenfalls gegen ein Epoxydharzsystem mit Beschleuniger.

Auf Grund der nur äußerst geringen Unterschiede bei den mechanischen Eigenschaften der 5%-Variante im Vergleich zur Referenzvariante wird diese im Zuge nachfolgender Untersuchungen nicht weiter betrachtet.

Bis zu diesem Punkt der Untersuchungen war es erforderlich, nur mit einem Straßenbaubitumen 50/70 als Referenzvariante zu arbeiten, um lediglich den Einfluss des Epoxydharzes auf die Eigenschaften des Asphaltes zu identifizieren. Da jedoch in den Fällen von hochbelasteten Straßen bei einem Einsatz von Splittmastixasphalt in der Praxis üblicherweise als Bindemittel ein Polymermodifiziertes Bitumen verwendet wird, ist es notwendig, ebenfalls eine Referenzvariante mit PmB im weiteren Vorgehen zu betrachten.

Somit stehen für die anschließenden Hauptuntersuchungen folgende vier Varianten fest:

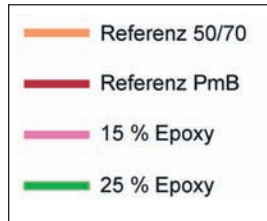
1. Referenz 50/70,
2. Referenz PmB,
3. 15 % Epoxy (ohne Beschleuniger),
4. 25 % Epoxy (ohne Beschleuniger).

II. Hauptuntersuchungen mit einem ausgewählten Epoxydharzsystem

8 Hauptuntersuchungen an den gewählten Varianten

Die in der Phase I gewonnenen Erkenntnisse der Grundlagenuntersuchungen stellten die Basis für die Hauptuntersuchungen in der Phase II dar. Hier wurden einige Bindemittel- und Mischgutkennwerte der Epoxy Varianten mit Hilfe von standardisierten Prüfverfahren ermittelt und denen der Referenzvarianten gegenübergestellt. Dabei galt es, die in der Phase I festgelegten Randbedingungen wie die 30-minütige Temperierung des Mischgutes einzuhalten.

Die folgende farbliche Zuordnung der einzelnen Varianten gilt einheitlich für alle erstellten Diagramme der Hauptuntersuchungen:



8.1 Bindemitteluntersuchungen

Da vor der Probekörperherstellung aus Epoxy Asphalt eine Temperierphase von 30 Minuten bei 130 °C notwendig war, wurde vorausgesetzt, dass dies bei den Probekörpern für die Bindemitteluntersuchungen gleichermaßen gilt. Daher erfolgte vor dem Einfüllen des Bitumen-Epoxy-Gemisches in die Probekörperformen eine Temperierung des Gemisches für 30 Minuten bei 130 °C.

8.1.1 Erweichungspunkt Ring und Kugel

Die Bestimmung des Erweichungspunktes Ring und Kugel der vier Varianten erfolgte gemäß Anhang 1.

Die Prüfungsergebnisse sind in Tabelle 8 und Bild 30 dargestellt.

	Referenz 50/70	Referenz PmB	15 % Epoxy	25 % Epoxy
Probe 1	51,3	60,4	43,6	43,7
Probe 2	51,5	60,9	43,7	43,5
Mittelwert	51,4	60,7	43,7	43,6

Tab. 8: Erweichungspunkte Ring und Kugel in °C

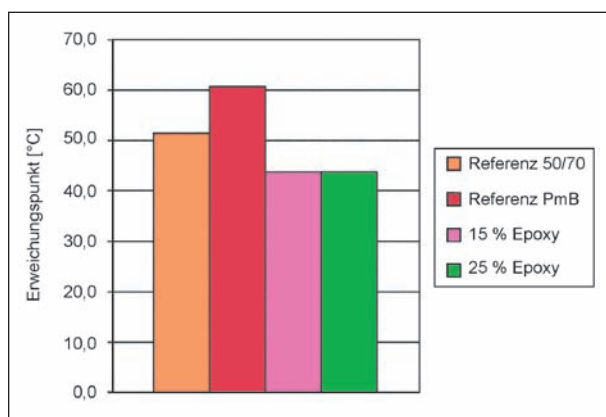


Bild 30: Erweichungspunkte Ring und Kugel

Die ermittelten Erweichungspunkte der beiden Referenzvarianten bestätigen in etwa die Angaben der Tabelle 2. Die Erweichungspunkte der beiden Epoxy Varianten liegen trotz des unterschiedlichen Gehaltes an Epoxydharz auf gleichem Niveau, jedoch um etwa acht Grad unter dem Erweichungspunkt des Ausgangsbitumens 50/70.

Somit ist festzustellen, dass durch die Zugabe des Epoxydharzes die Viskosität des Bitumens deutlich herabgesetzt wird. Die Menge an Epoxydharz im Bitumen scheint hierbei nicht von Bedeutung zu sein.

8.1.2 Dynamisches Scherrheometer

Die Untersuchung der vier Varianten mit dem Dynamischen Scherrheometer erfolgte gemäß Anhang 1.

Der komplexe Schubmodul sowie der Phasenwinkel der vier Varianten sind in den Bildern 31 und 32 dargestellt.

Die Messung des komplexen Schubmoduls der untersuchten Bindemittel liefert über den gesamten Temperaturbereich einen nahezu äquivalenten Verlauf für alle vier Varianten, der sich lediglich hinsichtlich des Niveaus unterscheidet. Die beiden

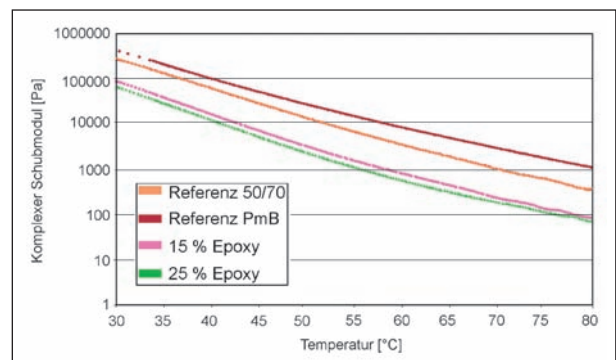


Bild 31: Komplexer Schubmodul der geprüften Bindemittel

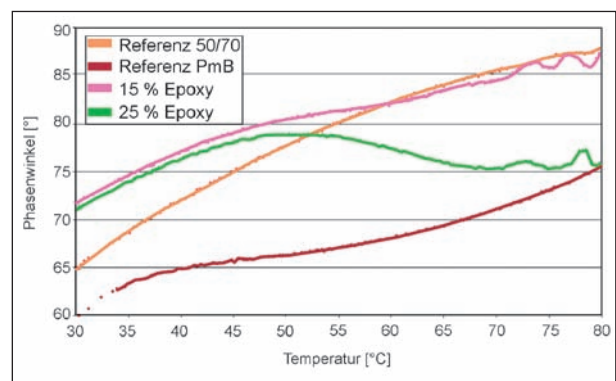


Bild 32: Phasenwinkel der geprüften Bindemittel

Epoxy Varianten, von denen die 15%-Variante nur unwesentlich über der 25%-Variante liegt, verlaufen auf einem deutlich geringeren Niveau als die beiden Referenzvarianten.

Mit Hilfe des komplexen Schubmoduls können Aussagen über die Viskosität eines Bindemittels getroffen werden. Hierbei gilt: je geringer der Schubmodul, desto geringer ist auch die Viskosität des Bindemittels. Aus den hier vorliegenden Ergebnissen des komplexen Schubmoduls kann somit abgeleitet werden, dass die Zugabe von Epoxydharz zum Bitumen eine Verringerung der Viskosität bewirkt.

Die Messung des Phasenwinkels liefert Aussagen zu den elastischen Eigenschaften eines Bindemittels. Grundsätzlich gilt der Zusammenhang: Je kleiner der Phasenwinkel bei einer definierten Temperatur, desto günstiger sind das elastische Verhalten bei dieser Temperatur und damit die Fähigkeit, sich nach einer aufgetragenen Belastung wieder zurückzuführen.

Die Phasenwinkelmessungen an den beiden Referenzbindemitteln zeigen erwartungsgemäß die Unterschiede hinsichtlich der Modifizierung des PmB durch die Polymere. Der Phasenwinkel des Straßenbaubitumens tendiert bei hohen Temperaturen gegen 90° ; dies entspricht einem nahezu verflüssigten Zustand des Bindemittels. Dahingegen besitzt das PmB bei einer Temperatur von 80°C nur einen Phasenwinkel von 75° .

In einem Temperaturbereich zwischen 30 und 60°C zeigt die Variante mit 15% Epoxydharz einen höheren Phasenwinkel als das reine Straßenbaubitumen. Ab 60°C verlaufen beide Kurven in etwa gleich.

Das Bindemittelgemisch mit 25% Epoxy besitzt bis zu einer Temperatur von etwa 50°C einen ähnlichen Phasenwinkel wie die 15% -Variante. Innerhalb der folgenden Temperaturerhöhung bis hin zu 70°C fällt er im Gegensatz zur 15% igen Mischung jedoch wieder ab und bleibt anschließend nahezu konstant. Aus diesem Verlauf des Phasenwinkels ist zu schließen, dass ab einer Temperatur von 50°C eine Erhöhung des elastischen Anteils und somit eine Veränderung in der Struktur des Bindemittels stattgefunden haben müssen. Die Ausbildung eines solchen Phasenwinkels findet man in ähnlicher Form nur bei hochpolymermodifizierten Bitumen.

8.1.3 Kraftduktilometer

Die Untersuchung der vier Bindemittelvarianten mit dem Kraftduktilometer erfolgte gemäß Anhang 1.

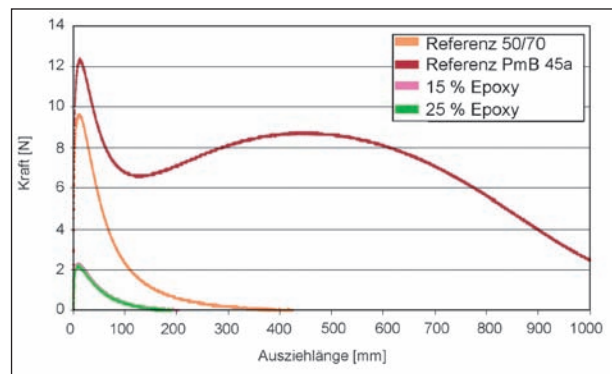


Bild 33: Kraftduktilität der geprüften Bindemittel

Die Ergebnisse der Prüfungen können Bild 33 entnommen werden. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert von zwei Einzelprüfungen je Variante.

Die Ergebnisse der Kraftduktilitätsmessung der beiden Referenzvarianten entspricht den Erwartungen. Das PmB 45 A besitzt mit $12,5\text{ N}$ ein größeres Kraftmaximum als das Straßenbaubitumen 50/70 mit $9,5\text{ N}$ und zeigt nach einer Ausziehlänge von etwa 150 mm den für ein polymermodifiziertes Bitumen charakteristischen zweiten Anstieg der Zugkraft. Darüber hinaus ist selbst nach einer Ausziehlänge von 1.000 mm noch eine Kraft von etwa $2,5\text{ N}$ messbar, wohingegen beim 50/70 nach etwa 400 mm die Zugkraft im Bitumenfaden nicht mehr messbar ist.

Die Verläufe der Zugkraft der beiden Epoxy Varianten stimmen sowohl qualitativ als auch quantitativ nahezu überein. Daraus ist abzuleiten, dass die Menge an Epoxydharz keinen Einfluss auf die Duktilität eines solchen Bindemittelgemisches hat.

Die maximale Zugkraft der Epoxy Varianten liegt mit etwas mehr als zwei Newton jedoch deutlich unter den beiden Referenzvarianten und auch die Zugkraft im Bindemittelfaden ist hier bereits nach einer Ausziehlänge von 200 mm nicht mehr messbar. Die im Zuge der Erweichungspunktbestimmung und der DSR-Messungen festgestellte Verringerung der Viskosität ist somit auch bei den Kraftduktilitätsmessungen erkennbar.

8.1.4 Bending Beam Rheometer

Die Untersuchung der vier Bindemittelvarianten mit dem Bending Beam Rheometer erfolgte gemäß Anhang 1.

Die Ergebnisse der Prüfungen können Bild 34 entnommen werden. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert von zwei Einzelprüfungen je Variante. Die

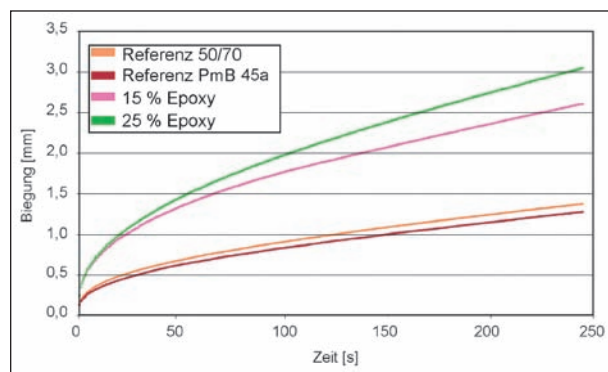


Bild 34: Ergebnis der Bindemittelprüfung im Bending Beam Rheometer

Verläufe der Einzelwerte sind im Anhang 2 dargestellt.

Die Kälteeigenschaften der beiden Referenzbindemittel sind nahezu identisch. Der Verlauf der Durchbiegung des Balkens aus polymermodifiziertem Bitumen liegt lediglich um ca. 0,1 mm unter dem des Straßenbaubitumens 50/70.

Die beiden Epoxy Varianten hingegen zeigen ein deutlich anderes Verhalten im Bending Beam Rheometer. Bei ihnen ist eine wesentlich größere Durchbiegung des Probekörpers messbar, die auf den ersten Blick ein günstigeres Kälteverhalten im Vergleich zu den Referenzbindemitteln erahnen lässt. Ob dies wirklich der Fall ist oder ob auch hier die niedrigere Viskosität des Bitumen-Epoxy-Gemisches die (wahrscheinliche) Ursache ist, muss anhand der Untersuchungen des Tieftemperaturverhaltens am Epoxy Asphalt überprüft werden (vgl. Kapitel 8.2.6).

8.2 Mischgutuntersuchungen

8.2.1 Verformungsbeständigkeit im Spurbildungsversuch

Die Prüfung der Verformungsbeständigkeit im Spurbildungsversuch erfolgte gemäß Anhang 1.

Die Ergebnisse der Prüfungen können Bild 35 entnommen werden. Dargestellt ist jeweils der Verlauf der Spurrinnenentwicklung als Mittelwert von zwei Einzelprüfungen je Variante. Die Verläufe der Einzelwerte der vier Varianten sind im Anhang 3 dargestellt.

Betrachtet man die Ergebnisse der Spurbildungsversuche, so unterscheiden sich sowohl die Verläufe als auch die gemessenen Spurrinntiefen nach 20.000 Überrollungen der Referenzvarianten deutlich von den Epoxy Varianten.

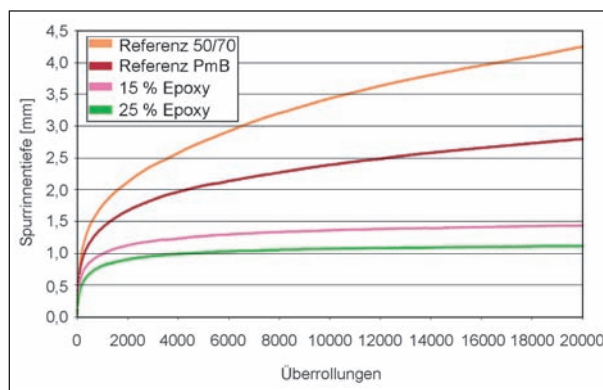


Bild 35: Ergebnisse der Spurbildungsversuche der geprüften Varianten

Besitzt die Referenzvariante mit Straßenbaubitumen 50/70 nach Beendigung des Versuchs noch eine Spurrinntiefe von 4,3 mm, so kann diese durch den Einsatz eines PmB 45 bereits auf 2,8 mm reduziert werden. Bei einer Zugabe von 15 % Epoxydharz ist eine weitere Verbesserung der Verformungsbeständigkeit festzustellen; hier beträgt die Spurrinntiefe nur noch 1,4 mm. Bei einem Anteil von 25 % Epoxydharz kann sie nochmals bis auf 1,1 mm gesenkt werden.

Darüber hinaus unterscheiden sich ebenfalls die Verläufe der Spurrinnenentwicklungen über die gesamte Rolldauer. Bei den beiden Referenzvarianten nimmt die Spurrinntiefe bis zum Schluss stetig zu, lediglich auf einem anderen Niveau. Bei den beiden Epoxy Varianten hingegen konsolidiert sich die Spurrinntiefe innerhalb der ersten 6.000 Überrollungen und bleibt anschließend nahezu konstant.

Die ermittelten Ergebnisse zeigen, dass der hergestellte Epoxy Asphalt eine wesentlich verbesserte Spurrinnenresistenz aufweist im Vergleich zu einem konventionellem Asphalt mit Straßenbaubitumen oder mit polymermodifiziertem Bitumen. Ferner ist festzustellen, dass die Zugabe von 25 % Epoxy nur noch eine geringere Verbesserung bringt gegenüber einem Epoxydharzanteil von 15 %.

8.2.2 Verformungsbeständigkeit im Druckschwellversuch

Die Prüfung der Verformungsbeständigkeit mittels Druckschwellversuchs erfolgte gemäß Anhang 1.

Bild 36 zeigt die Entwicklung der vertikalen plastischen Verformungen über die Versuchsdauer und Tabelle 9 die Lage der Wendepunkte für jede der geprüften Varianten. In beiden Fällen handelt es

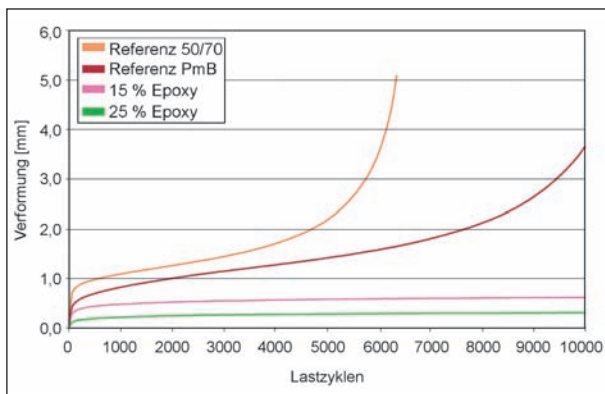


Bild 36: Ergebnisse der Druckschwellversuche der geprüften Varianten

Variante	Lage der Wendepunkte	
	Lastwechsel	Verformung [mm]
Referenz 50/70	1.684	1,21
Referenz PmB	3.334	1,19
15 % Epoxy	> 10.000	0,62
25 % Epoxy	> 10.000	0,30

Tab. 9: Wendepunkte der Verformungskurven

sich jeweils um den Mittelwert aus drei Einzelprüfungen. Die Ergebnisse der Einzelprüfungen können dem Anhang 4 entnommen werden.

Die Referenzvariante mit Straßenbaubitumen zeigt erwartungsgemäß das ungünstigste Verhalten, da einerseits das gemessene Niveau der Verformungen von allen Varianten am höchsten liegt und sie andererseits als einzige Variante bereits vor Ablauf der vorgesehenen 10.000 Lastwechsel versagt.

Die Referenzvariante mit polymermodifiziertem Bitumen zeichnet sich hingegen durch einen langsameren Anstieg der Verformungen aus und weist nach Beendigung der 10.000 Lastwechsel eine Verformung von etwa 3,7 mm auf. Jedoch deutet der innerhalb der letzten 3.000 Lastwechsel steiler werdende Anstieg der Kurve auf ein endgültiges Versagen des Probekörpers hin.

Im Vergleich zu den beiden Referenzvarianten, deren Verformungsbeständigkeiten den Erwartungen entsprechen, besitzen die Varianten aus Epoxy Asphalt ein völlig anderes Verformungsverhalten. Hier stellt sich bereits nach etwa 1.000 bis 1.500 Lastwechseln der endgültige Verformungswert ein und bleibt anschließend über die gesamte verbleibende Versuchsdauer konstant. Lediglich das Niveau ist mit 0,62 mm bei 15 % Epoxy etwas höher als mit 0,30 mm bei 25 % Epoxy.

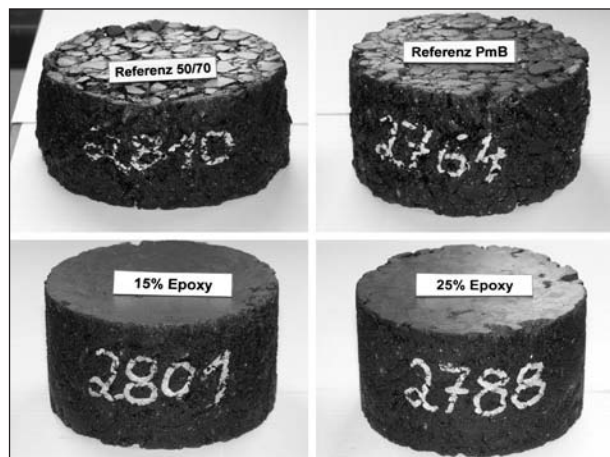


Bild 37: Probekörper der vier Varianten nach Beendigung der Druckschwellversuche

Die festgestellten Unterschiede beim Verformungswiderstand im Druckschwellversuch spiegeln sich ebenfalls in der Lage der Wendepunkte der einzelnen Verformungskurven wider. Die Variante Referenz 50/70 besitzt bereits nach ca. 1.700 Lastwechseln ihren Wendepunkt, wohingegen bei der Variante mit PmB sich der Kurvenverlauf erst nach ca. 3.300 Lastwechseln ändert. Bei den Probekörpern aus Epoxy Asphalt konnte dagegen innerhalb der geprüften 10.000 Lastwechsel kein Wendepunkt festgestellt werden.

Das festgestellte unterschiedliche Verformungsverhalten lässt sich am Zustand der Probekörper nach Beendigung der Prüfungen (10.000 Lastwechsel) erkennen (siehe Bild 37).

Somit lässt sich anhand der Ergebnisse aus den Druckschwellversuchen der Verformungswiderstand der vier Varianten eindeutig bewerten: Die beiden Varianten aus Epoxy Asphalt besitzen einen deutlich größeren Widerstand gegen Verformungen. In beiden Fällen konnte im Verlauf der plastischen Verformungen kein Wendepunkt ermittelt werden.

Die bei 25 % Epoxydharz erzielbare Verbesserung des Verformungswiderstandes gegenüber einem Anteil von 15 % Epoxydharz ist absolut als sehr gering anzusehen.

8.2.3 Haftverhalten am Einzelkorn

Die Ansprache des Haftverhaltens am Einzelkorn erfolgte gemäß Anhang 1.

In der Tabelle 10 sowie in Bild 38 sind die Ergebnisse der Affinitätsprüfung der vier Varianten aufgeführt. Dargestellt ist jeweils der Umhüllungsgrad mit

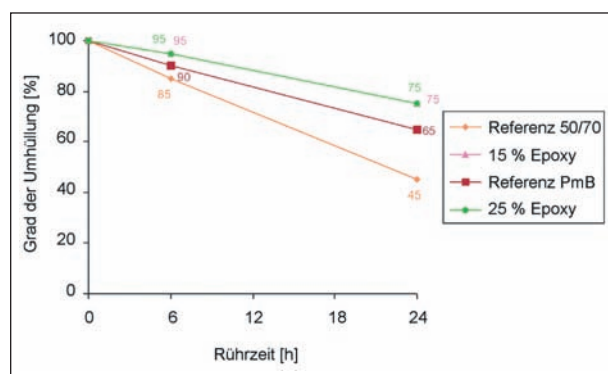


Bild 38: Grafische Darstellung der Umhüllungsgrade

Rührzeit [h]	Grad der Umhüllung [%]			
	Referenz 50/70	Referenz PmB	15 % Epoxy	25 % Epoxy
0	100	100	100	100
6	85	90	95	95
24	45	65	75	75

Tab. 10: Umhüllungsgrade nach der Affinitätsprüfung

Bitumen als Mittelwert von drei Einzelproben nach einer Rührzeit von sechs und 24 Stunden. Die Einzelwerte der Prüfungen können dem Anhang 5 entnommen werden.

Die Umhüllungsgrade nach einer Rührzeit von sechs Stunden lassen noch keine qualifizierte Differenzierung der vier Varianten zu, da die ermittelten Werte sehr dicht beieinander liegen. Die untere Grenze wird mit 85 % durch die Variante Referenz 50/70 und die obere Grenze mit 95 % durch die beiden Epoxy Varianten gebildet.

Nach einer Rührzeit von 24 Stunden hingegen ist eine vergleichende Beurteilung des Haftverhaltens möglich. Den ungünstigsten Wert besitzt auch hier die Variante mit Straßenbaubitumen mit einem Umhüllungsgrad von 45 %. Deutlich besser zeigt sich die Variante mit PmB, bei der nach Beendigung des Versuchs ein Umhüllungsgrad von 65 % ermittelt wurde. Nochmals um 10 % über der Variante Referenz PmB liegen die beiden Epoxy Varianten, die nach 24 Stunden Rolldauer immer noch zu 75 % mit einem Bindemittelfilm umhüllt sind.

Aus den oben dargestellten Ergebnissen geht ebenfalls hervor, dass die Menge an Epoxydharz, die dem Bitumen zugegeben wird, keinen Einfluss auf das Haftverhalten am Einzelkorn hat. Beide Varianten, sowohl 15 % als auch 25 % Epoxy, zeigten im Rolling Bottle Test gleiche Ergebnisse.

Insgesamt lassen die aus den Rolling Bottle Tests gewonnenen Erkenntnisse die Schlussfolgerung zu, dass durch die Zugabe von Epoxydharz das Haftvermögen am Einzelkorn dieses Bindemittelgemisches am Gestein im Vergleich zum Bitumen wesentlich verbessert werden kann.

8.2.4 Haftverhalten im Mischgut

Die Prüfung des Haftverhaltens im Mischgut erfolgte mittels Spaltzugversuchs gemäß Anhang 1.

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Spaltzugversuche an Marshall-Probekörpern der vier Varianten aufgeführt. Geprüft wurden jeweils drei Probekörper im trockenen Zustand und drei Probekörper nach Wasserlagerung. Als Bewertungskriterium für das Haftverhalten des jeweiligen Mischgutes wird das ebenfalls in der Tabelle 11 dargestellte Verhältnis der indirekten Zugfestigkeiten ITSR herangezogen.

Die Variante Referenz 50/70 weist mit einem ITSR-Wert von 85,5 % die ungünstigsten Hafteigenschaften der vier geprüften Varianten auf. Dies bedeutet, dass die Zugfestigkeit der nassen Probekörper um 15 % schlechter als die der trockenen Probekörper ausfällt.

An den Probekörpern der Variante Referenz PmB konnten insgesamt die höchsten Zugfestigkeiten gemessen werden. Das Verhältnis von nass zu trocken liegt mit 92,6 % jedoch noch unter der Variante 15 % Epoxy, bei der die Zugfestigkeiten der nassen nur um 5,6 % schlechter im Vergleich zu denen der trockenen Probekörper sind.

Die Variante 25 % Epoxy besitzt mit 99,9 % den besten ITSR-Wert aller Varianten. Das Haftverhalten von Epoxy Asphalt mit einem Epoxydharzanteil von 25 % ist somit äußerst positiv zu bewerten, da die Zugfestigkeiten der Probekörper nach Wasserlagerung nahezu identisch mit denen der trockenen Probekörper sind.

In den Bildern 39 bis 42 sind die Verformungskurven aus den Spaltzugversuchen für alle vier geprüften Varianten nebeneinandergestellt. Jedes Diagramm beinhaltet den Verlauf des nassen (blaue Kurve) und des trockenen (rote Kurve) Probekörpers als Mittelwert der drei Einzelverläufe.

Bewertet man die reine Zugfestigkeit, das heißt die Ergebnisse der im trockenen Zustand geprüften Probekörper, so ist diese bei der Variante mit polymermodifiziertem Bitumen am größten (ca. 4,1

Variante	Probekörper-Nr.		ITS [N/mm ²]		ITSR [%]
	nass	trocken	nass	trocken	
Referenz 50/70	2672	2673	3,012	3,442	87,5
	2674	2675	2,934	3,421	85,8
	2676	2677	2,801	3,363	83,3
	Mittelwert		2,916	3,409	85,5
Referenz PmB	2729	2725	3,610	3,961	91,1
	2726	2730	3,735	4,039	92,5
	2727	2728	3,915	4,160	94,1
	Mittelwert		3,753	4,053	92,6
15 % Epoxy	2733	2734	3,479	3,777	92,1
	2735	2737	3,320	3,546	93,6
	2738	2736	2,982	3,061	97,4
	Mittelwert		3,260	3,461	94,4
25 % Epoxy	2748	2749	3,670	3,708	99,0
	2750	2751	4,027	4,077	98,8
	2753	2752	3,559	3,487	102,1
	Mittelwert		3,752	3,757	99,9

Tab. 11: Ergebnisse der Spaltzugprüfungen

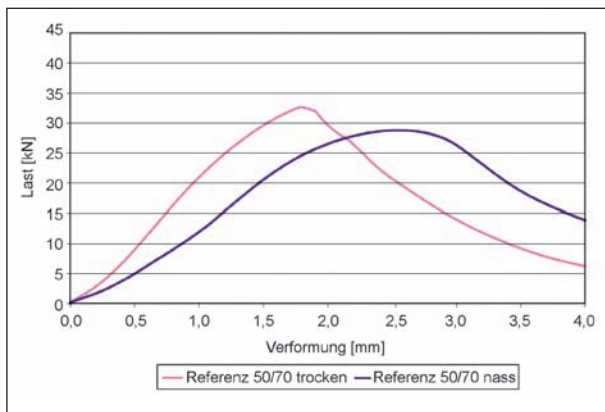


Bild 39: Spaltzugversuche bei Referenz 50/70

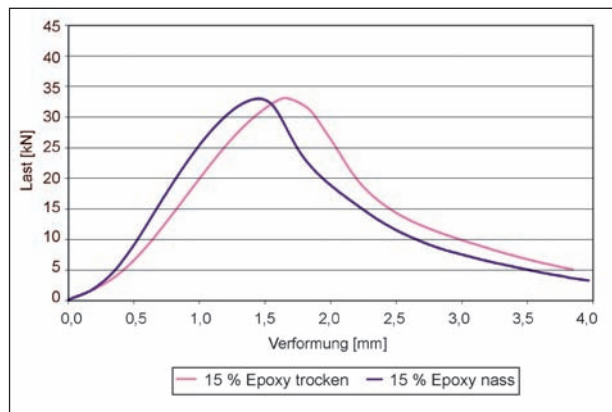


Bild 41: Spaltzugversuche bei 15 % Epoxy

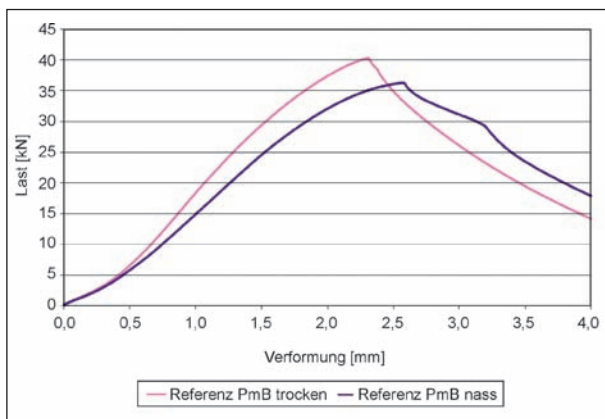


Bild 40: Spaltzugversuche bei Referenz PmB

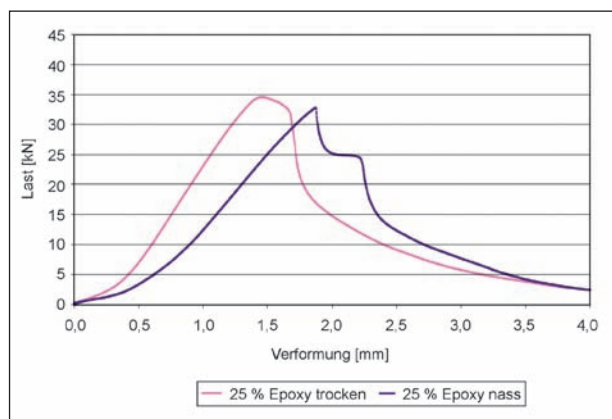


Bild 42: Spaltzugversuche bei 25 % Epoxy

N/mm²). Bei der Variante 25 % konnten darauf folgend etwa 3,8 N/mm² gemessen werden. Zwischen den Varianten Referenz 50/70 (3,4 N/mm²) und 15 % Epoxy (3,5 N/mm²) konnten keine unterschiedlichen Zugfestigkeiten ermittelt werden.

Folglich ist festzustellen, dass eine Zugabe von Epoxydharz die Zugfestigkeit des Asphaltes nur geringfügig verbessert. Diese Erkenntnis deutete sich bereits im Rahmen der in der Phase I durchgeführten Spaltzugversuche an (vgl. Kapitel 7). Die dort ermittelten Ergebnisse konnten somit bestätigt werden.

Eine vergleichende Betrachtung der Verformungskurven der beiden Referenzvarianten mit den Epoxy Varianten führt zu dem Ergebnis, dass die Steigung der Referenzkurven deutlich geringer ausfällt als bei den Epoxy Varianten. Der Bruch der Probekörper aus Epoxy Asphalt tritt bereits nach einer Verformung von ca. 1,5 mm auf, wohingegen die Probekörper aus einem Referenzmischgut (sowohl mit Straßenbaubitumen als auch mit PmB) erst nach einer sich einstellenden Verformung von 2,0 bis 2,5 mm versagen.

Anhand der Verformungskurven aus den Spaltzugversuchen kann somit auch auf ein spröderes Materialverhalten von Epoxy Asphalt geschlossen werden.

8.2.5 Schichtenverbund

Die Prüfung des Schichtenverbunds zwischen Asphaltbinder- und Asphaltdeckschicht erfolgte mittels Scherversuchs nach LEUTNER gemäß Anhang 1.

Hierzu wurden aus einem Plattenpaket bestehend aus 8,0 cm Asphaltbinder und 4,0 cm Asphaltdeck-

schicht jeweils zwei Bohrkern mit einem Durchmesser von 150 mm entnommen (vgl. Bild 43).

Pro Variante existierten zwei Plattenpakete und somit lieferte die Prüfung des Schichtenverbundes vier Einzelergebnisse.

Die Ergebnisse der Scherversuche (maximale Scherkraft und Scherweg) sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Variante		Scherkraft [kN]	Scherweg [mm]
Referenz 50/70	Bohrkern 1	25,1	2,5
	Bohrkern 2	30,8	3,0
	Bohrkern 3	28,8	3,4
	Bohrkern 4	24,1	2,9
	Mittelwert	27,2	2,9
Referenz PmB	Bohrkern 1	32,1	2,8
	Bohrkern 2	38,5	2,8
	Bohrkern 3	40,5	3,5
	Bohrkern 4	35,3	3,2
	Mittelwert	36,6	3,1
15 % Epoxy	Bohrkern 1	28,2	1,5
	Bohrkern 2	33,1	2,0
	Bohrkern 3	31,4	2,2
	Bohrkern 4	30,3	1,7
	Mittelwert	30,7	1,9
25 % Epoxy	Bohrkern 1	31,4	2,2
	Bohrkern 2	(44,5)	(2,5)
	Bohrkern 3	32,8	1,9
	Bohrkern 4	33,1	1,8
	Mittelwert	32,4	2,0

Tab. 12: Ergebnisse der Scherversuche nach LEUTNER



Bild 43: Plattenpaket und daraus entnommene Bohrkern

Bei den Bohrkernen der Variante Referenz 50/70 ergab die Prüfung des Schichtenverbundes mit einer mittleren Scherkraft von etwa 27 kN das ungünstigste Ergebnis aller vier Varianten. An zweiter Stelle liegt die Variante mit 15 % Epoxy, bei der im Mittel eine Scherkraft von 30,7 kN gemessen wurde.

Den besten Schichtenverbund weist die Variante Referenz PmB mit einer mittleren Scherkraft von 36,6 kN auf, gefolgt von der Variante 25 % Epoxy mit einer mittleren Scherkraft von 32,4 kN. Diese relativ geringe Differenz ist insofern positiv zu bewerten, da sich die Einbau- und Verdichtungstemperaturen der beiden Varianten merklich unterscheiden. Bei dem Mischgut mit polymermodifiziertem Bitumen lag diese bei 145 °C, bei der Variante mit 25 % Epoxydharz bei 130 °C und somit hinsichtlich einer Verklebung mit der Unterlage vergleichsweise ungünstiger. Gleiches gilt für die Variante mit 15 % Epoxy.

Betrachtet man den während der Prüfung aufgezeichneten Scherweg der vier Varianten, so fällt auf, dass dieser im Mittel bei den Varianten Referenz 50/70 und Referenz PmB um einen Millimeter länger ist als bei den beiden Epoxy Varianten. Diese Feststellung weist, wie auch schon die gemessenen Verformungen beim Spaltzugversuch, auf ein spröderes Materialverhalten auch an den Grenzflächen hin.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Verwendung von Epoxydharz keinen negativen Einfluss auf den Schichtenverbund der Asphaltdeckschicht mit der Unterlage hat. Unter Berücksichtigung der geringeren Einbau- und Verdichtungstemperaturen scheint sich die Klebkraft des Zweikomponentensystems vielmehr positiv auf den Schichtenverbund auszuwirken.

8.2.6 Tieftemperaturverhalten

Die Prüfung des Tieftemperaturverhaltens erfolgte über eine Kombination aus einaxialen Zugversuchen sowie Abkühlversuchen. Da die Durchführung der Untersuchungen an eine geeignete Prüfstelle vergeben wurde, konnten nur zwei der vier Varianten geprüft werden. Die Wahl fiel auf die Varianten Referenz PmB und 25 % Epoxy, da bei 25 % Epoxydharz der Epoxy Asphalt mutmaßlich spröder ist und somit mögliche Probleme beim Tieftemperaturverhalten dort am ehesten zu erwarten sind.

Die Ergebnisse der Abkühl- und Einaxialen Zugversuche sind in den Tabellen 13 und 14 sowie in den Bildern 44 und 45 dargestellt. Sie beinhalten jeweils die Mittelwerte der kryogenen Zugspannungen, der Zugfestigkeiten und der Zugfestigkeitsreserve sowie das Maximum der Zugfestigkeitsreserve.

Die Variante Referenz PmB zeigt ein der Erfahrung nach günstiges Kälteverhalten für Asphaltdeckschichten. Deutlich wird dies anhand der vergleichsweise tiefen Bruchtemperaturen beim Ab-

Einaxiale Zugversuche								
	Zugfestigkeit [MPa]				Bruchdehnung [%]			
	-25 °C	-10 °C	+5 °C	+20 °C	25 °C	-10 °C	+5 °C	+20 °C
x ₁	3,1083	4,0416	2,1789	0,3811	0,1967	0,5597	4,6681	12,1897
x ₂	4,0514	4,4003	1,6702	0,5185	0,2342	0,6379	5,0090	10,0571
x ₃	3,5439	3,8175	1,6920	0,4440	(0,9575)	0,5489	5,0908	11,5818
\bar{x}	3,568	4,086	1,847	0,448	0,216	0,582	4,923	11,276
s	0,473	0,294	0,288	0,069	0,027	0,049	0,224	1,099
Abkühlversuche								
	Bruchspannung [MPa]	Bruchtemperatur [°C]	Maximale Zugfestigkeitsreserven					
x ₁	3,828	-28,8	3,591 MPa bei -9,4 °C					
x ₂	4,000	-29,3						
x ₃	(3,078)	(-34,6)						
\bar{x}	3,914	-29,1						
s	0,122	0,4						

Tab. 13: Ergebnisse der Kälteversuche bei der Variante Referenz PmB

kühlversuch in Verbindung mit der Temperatur am Maximum der Zugfestigkeitsreserve. Diese liegt bei etwa -10 °C und ist typisch für Deckschichtmischgut aus Splittmastixasphalt.

Die Variante 25 % Epoxy zeigt im Abkühlversuch ein für Asphalte völlig untypisches Verhalten. Die kryogenen Zugspannungen steigen nahezu linear an und das bei mittleren Temperaturen üblicherweise noch auftretende Relaxationsverhalten fehlt hier.

Betrachtet man die Einzelwerte der Bruchtemperaturen, so ist festzustellen, dass die gemessenen Werte stark streuen. Ein Maximum von $-6,4\text{ °C}$ und ein Minimum von $-19,6\text{ °C}$ bedeuten eine unverhältnismäßig große Spannweite von etwa 13 °C . Erfahrungsgemäß beträgt die Spanne bei den

Bruchtemperaturen für konventionellen Asphalt nur etwa $1\text{ bis }2\text{ °C}$, wie die Ergebnisse der Variante Referenz PmB belegen. Folglich können die Ergebnisse der Abkühlversuche hinsichtlich einer Beurteilung des Tieftemperaturverhaltens nicht herangezogen und abschließend beurteilt werden (siehe hierzu Kapitel 9).

Verdeutlicht wird dies bei einem Vergleich der gemessenen Bruchspannung mit der Zugfestigkeit bei identischer Temperatur: Bei einer Prüftemperatur von -10 °C ist für die Bruchspannung ein Wert von ca. $2,0\text{ MPa}$ ausgewiesen, die Zugfestigkeit bei -10 °C beträgt jedoch im Mittel etwa $4,3\text{ MPa}$ und ist somit um mehr als das Doppelte höher als die Bruchspannung. Dieser offensichtliche Wider-

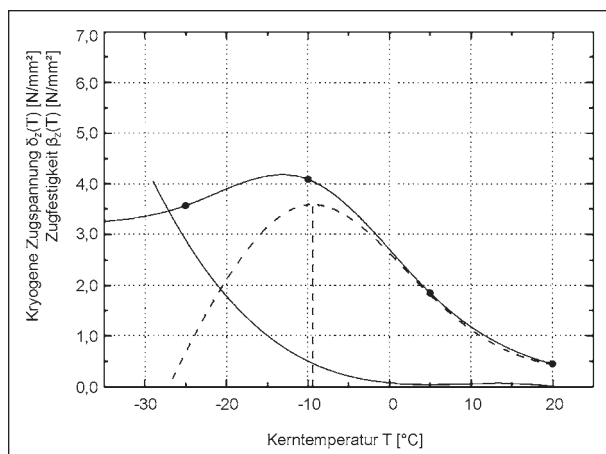


Bild 44: Grafische Darstellung des Tieftemperaturverhaltens der Variante Referenz PmB

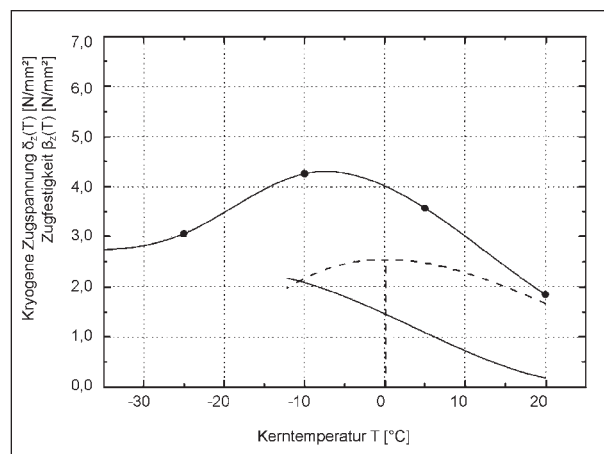


Bild 45: Grafische Darstellung des Tieftemperaturverhaltens der Variante 25 % Epoxy

Einaxiale Zugversuche								
	Zugfestigkeit [MPa]				Bruchdehnung [%]			
	-25 °C	-10 °C	+5 °C	+20 °C	25 °C	-10 °C	+5 °C	+20 °C
x_1	2,9755	4,0623	3,5450	1,4628	0,1380	0,3600	0,6388	0,5174
x_2	2,8676	(3,0674)	3,5149	2,1443	0,1629	(2,6238)	0,6364	0,8065
x_3	3,3294	4,4480	3,6416	1,9400	0,1859	0,3630	0,5423	0,8352
\bar{x}	3,058	4,255	3,567	1,849	0,162	0,362	0,606	0,720
s	0,242	0,273	0,066	0,350	0,024	0,002	0,055	0,176
Abkühlversuche								
	Bruchspannung [MPa]	Bruchtemperatur [°C]	Maximale Zugfestigkeitsreserven					
x_1	2,110	-6,4	2,549 MPa bei +0,1 °C					
x_2	2,015	-10,9						
x_3	2,299	-19,6						
\bar{x}	2,141	-12,2						
s	0,144	6,6						

Tab. 14: Ergebnisse der Kälteversuche bei der Variante 25 % Epoxy

spruch steht im Gegensatz zu den Erfahrungswerten mit den beiden Prüfverfahren an konventionellem Asphalt. Die Ergebnisse der Variante Referenz PmB belegen diese Einschätzung.

Hinzu kommt, dass die erreichte Zugfestigkeit des Epoxy Asphaltes beim Zugversuch bei den hohen Prüftemperaturen von +20 °C und +5 °C zwar deutlich über den Werten der Variante Referenz PmB liegt, bei den niedrigen Temperaturen die Verläufe der beiden Varianten jedoch ähnlich sind.

Die geringen Bruchdehnungen bei höheren Temperaturen der Epoxy Variante weisen auf die hohe Steifigkeit des Materials hin.

8.2.7 Ermüdungsbeständigkeit

Die Prüfung der Ermüdungsbeständigkeit erfolgte mittels Dreipunkt-Biegeversuchs gemäß Anhang 1.

Bild 46 zeigt die Entwicklung der vertikalen Verformungen über die Versuchsdauer und Tabelle 15 die Anzahl der Lastzyklen bis zum Bruch des Probekörpers für jede der geprüften Varianten. In beiden Fällen handelt es sich jeweils um den Mittelwert aus drei Einzelprüfungen. Die Ergebnisse der Einzelprüfungen können dem Anhang 6 entnommen werden.

Betrachtet man den Verlauf der Verformungen der Variante Referenz 50/70, so ist festzustellen, dass sie das ungünstigste Verhalten aller Varianten besitzt, da der endgültige Bruch des Probekörpers bereits nach ca. 74.000 Belastungen erfolgt.

Die Variante Referenz PmB hingegen besitzt einen besseren und länger andauernden Widerstand gegen die aufgebracht Belastungen als die Variante Referenz 50/70. Der Probekörper zerbricht erst nach ca. 328.000 Lastzyklen.

Ein völlig anderes Verhalten ist bei den beiden Epoxy Varianten zu beobachten. Hier blieben die Probekörper von der aufgebracht Belastung über die gesamte Versuchsdauer nahezu unberührt. Auch nach einer Million Belastungen konnte nur eine äußerst geringe Verformung des Probekörpers gemessen werden, die sich bereits zu Beginn des Versuchs einstellte und anschließend konstant blieb.

Das statische System der Belastung im Dreipunkt-Biegeversuch entspricht einem statisch bestimmten Balken auf zwei Stützen mit Belastung in Feldmitte (vgl. Bild 47). Bei Belastung des Probekörpers er-

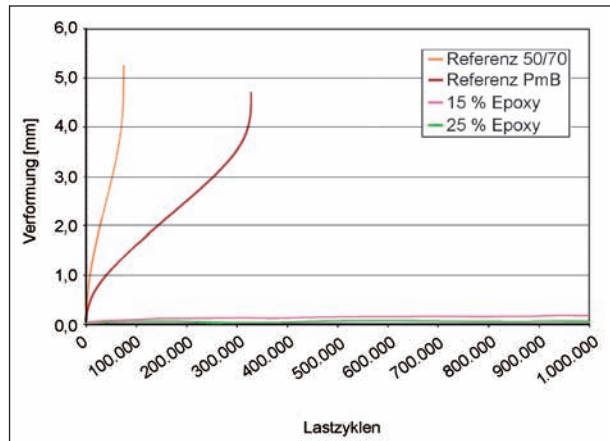


Bild 46: Ergebnisse der Dreipunkt-Biegeversuche der geprüften Varianten

Variante	Lastzyklen bis zum Bruch
Referenz 50/70	74.400
Referenz PmB	327.700
15 % Epoxy	> 1.000.000
25 % Epoxy	> 1.000.000

Tab. 15: Anzahl der Lastzyklen bis zum Bruch beim Dreipunkt-Biegeversuch

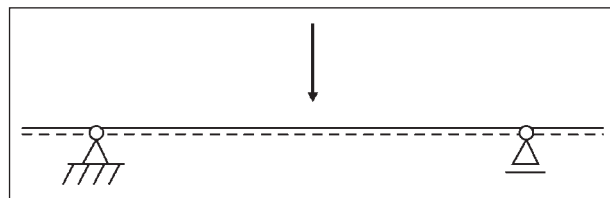


Bild 47: Statisches System eines Einfeldträgers bei zentrischer Belastung

gibt sich folglich ein linearer Verlauf des Biegemomentes mit einem Maximum in Feldmitte am Lasteinleitungspunkt.

Die daraus resultierenden Zugspannungen über den Querschnitt sind somit an der Unterseite des Probekörpers am größten. Hier sind mutmaßlich vor dem endgültigen Versagen neben unsichtbaren Mikrorissen auch erste Ermüdungserscheinungen in Form von sichtbar auftretenden Rissen zu erwarten.

Betrachtet man die Unterseite eines Prismas aus einem Referenzmischgut, so sind diese kleineren Risse in der Umgebung der endgültigen Bruchstelle deutlich zu erkennen (vgl. Bild 48).

Bei den Probekörpern aus Epoxy Asphalt hingegen sind auch nach einer Million Belastungen keinerlei

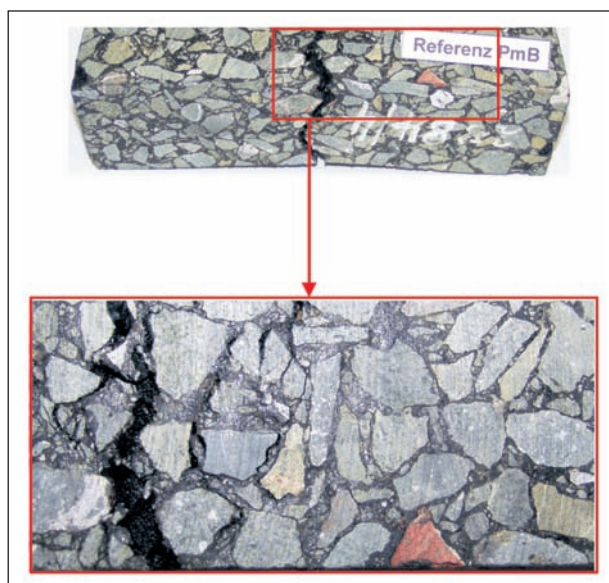


Bild 48: Rissbildung in der Zugzone bei der Variante Referenz PmB

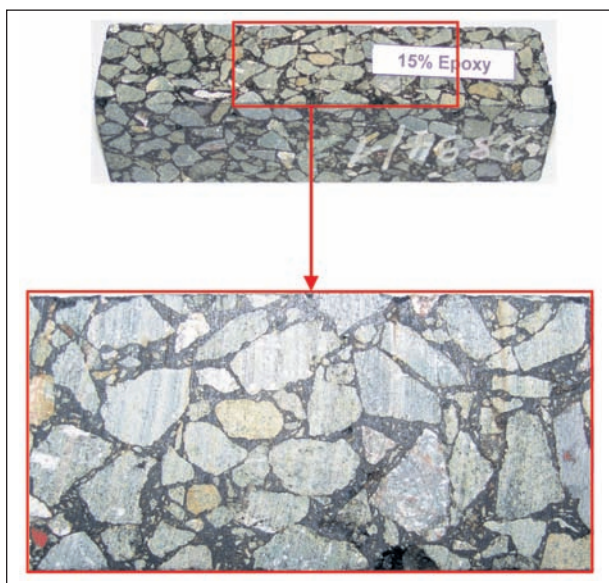


Bild 49: Unterseite eines Prismas der Variante 15 % Epoxy nach der Prüfung

sichtbare Risse an der Unterseite des Probekörpers zu erkennen, die auf ein mögliches Versagen hindeuten könnten (vgl. Bild 49).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit der Zugabe von Epoxydharz im Asphaltmischgut der Widerstand gegen wiederholte zyklische Belastungen und damit der Ermüdungswiderstand deutlich verbessert werden können. Eine Erhöhung des Gehaltes an Epoxydharz von 15 % auf 25 % bringt keine weitere Verbesserung.

9 Bewertung der Ergebnisse

Die Bindemitteluntersuchungen an den Bitumen-Epoxy-Gemischen lieferten als eine wesentliche Erkenntnis, dass die Zugabe des Epoxydharzes eine deutliche Reduzierung der Viskosität bewirkt. Sowohl die Prüfung des Erweichungspunktes und der Duktilität als auch des komplexen Schubmoduls wiesen entsprechende Ergebnisse aus.

Der Grund für diese Reduzierung der Viskosität ist darin zu sehen, dass die beiden Komponenten Harz und Härter im Bitumen nicht miteinander reagieren und keine Aushärtung stattfindet. Sie führen zu einer Verflüssigung des Bitumens, die sich in den Ergebnissen der Prüfungen deutlich widerspiegelt.

Es wurde festgestellt, dass die beiden Komponenten Harz und Härter im Asphaltmischgut zwar miteinander reagieren, im Bitumen selbst jedoch nicht. Möglicherweise ist im Asphaltmischgut ein Bestandteil enthalten, der für das Einsetzen der Reaktion verantwortlich ist.

Hier kommen neben den Gesteinskörnungen noch das Füllmaterial (Kalksteinmehl) und die Faserstoffe in Frage. Letzteres kann jedoch aus chemischen Gründen ausgeschlossen werden, da Cellulose nicht die funktionellen Gruppen besitzt, die für die Polymerisation von Harz und Härter (vgl. Kapitel 2.1.3) benötigt werden. Ob das verwendete Kalksteinmehl oder der eingesetzte Diabas die Ursache für die Reaktion von Harz und Härter im Mischgut sind, wird zu einem späteren Zeitpunkt überprüft (vgl. Kapitel 10.1).

Eine weitere Möglichkeit für das Ausbleiben der Reaktion von Harz und Härter könnte sein, dass der verwendete Anhydridhärter mit den alkalischen Komponenten im Bitumen reagiert und somit die Polymerisation unterbindet. Dies kann über eine Zugabe von Phosphorsäure zum Bitumen überprüft werden, da diese die alkalischen Bestandteile des Bitumens eliminiert (vgl. Kapitel 10.1).

Für alle überprüften Bindemittleigenschaften gilt, dass die Menge des zugegebenen Epoxydharzes, ob 15 % oder 25 % Epoxy, keinen Einfluss auf das Prüfergebnis hat.

Die Überprüfung der Mischguteigenschaften begann mit der Untersuchung der Verformungsbeständigkeit bei Wärme. Die Ergebnisse im Spurbildungsversuch zeigten, dass der hergestellte Epoxy Asphalt eine wesentlich verbesserte Spurrinnenre-

sistenz aufweist im Vergleich zu einem konventionellen Asphalt. Im dynamischen Druckschwellversuch konnte ebenfalls ein sehr guter Widerstand gegen Verformungen festgestellt werden. Hier konnte bei den beiden geprüften Epoxy Varianten bis zum Ende der Versuchsdauer kein Wendepunkt in der Verformungskurve ermittelt werden.

Die Untersuchung des Haftverhaltens am Einzelkorn lieferte die Erkenntnis, dass durch die Zugabe des Epoxydharzes die Affinität des Bindemittels zum Gestein wesentlich verbessert werden kann. Bei der Prüfung des Haftverhaltens im Mischgut mittels Spaltzugversuche war der Abfall der Spaltzugfestigkeit nach Wasserlagerung nur sehr gering (15 % Epoxy) bzw. gar nicht vorhanden (25 % Epoxy). Somit konnten die Ergebnisse des Rolling Bottle Test ergänzt und der positive Einfluss des Epoxydharzes auf das Haftverhalten bestätigt werden.

Die Beurteilung der Untersuchungsergebnisse zum Schichtenverbund zwischen Asphaltdeck- und -binderschicht lässt die Schlussfolgerung zu, dass insbesondere unter Beachtung der deutlich geringeren Einbau- und Verdichtungstemperatur bei den Epoxy Varianten die Verwendung von Epoxydharz keinen negativen Einfluss auf die Verklebung mit der Unterlage hat. In vergangenen Untersuchungen [12] werden für die Prüfung des Schichtenverbundes nach LEUTNER folgende Anforderungswerte für die Schichtgrenze zwischen Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht vorgeschlagen:

Scherkraft: ≥ 25 kN,

Scherweg: 2,0 - 4,0 mm
(günstiges Bruchverhalten).

Legt man die oben genannten Werte zu Grunde, so erfüllen nahezu alle vier Varianten sowohl hinsichtlich der Scherkraft als auch des Scherweges die gestellten Anforderungen. Lediglich bei der Variante 15 % Epoxy liegt der Scherweg mit 1,9 mm knapp unterhalb der vorgeschlagenen Grenze von 2,0 mm.

Die Überprüfung des Tieftemperaturverhaltens mittels einaxialer Zugversuche und Abkühlversuche lieferte für die Variante Referenz PmB den Erfahrungswerten entsprechende Ergebnisse. Bei der Variante 25 % Epoxy hingegen war die Spannweite der Bruchtemperaturen unverhältnismäßig groß und die ermittelten Bruchspannungen standen in starkem Widerspruch zu den vorhandenen Zugfestigkeiten. Aufgrund dieser Feststellungen kommt

man zu dem Schluss, dass für die Überprüfung der Kälteeigenschaften des Epoxy Asphaltes die Kombination dieser beiden Prüfverfahren nicht geeignet ist bzw. die auf das Kälteverhalten von konventionellem Asphalt abgestimmten Prüfparameter nicht unmittelbar auf eine Prüfung von Epoxy Asphalt übertragen werden können.

Da die Überprüfung des Tieftemperaturverhaltens gemäß Anhang 1 nicht selbst durchgeführt wurde, konnten keine weiteren Versuche zur Optimierung der Prüfbedingungen erfolgen. Eine abschließende Beurteilung des Kälteverhaltens von Epoxy Asphalt kann somit an dieser Stelle nicht erfolgen.

Die durchgeführten Dreipunkt-Biegeversuche haben gezeigt, dass mit der Zugabe von Epoxydharz in das Asphaltmischgut der Widerstand gegen wiederholte zyklische Belastungen und damit der Ermüdungswiderstand deutlich verbessert werden können. Während die Probekörper aus konventionellem Asphalt bereits nach einer geringen Anzahl an Lastzyklen versagten, stellte sich bei den beiden Epoxy Varianten zu Beginn der Prüfung eine äußerst geringe Verformung ein, die anschließend konstant blieb. Ein Versagen des Probekörpers deutete sich über die gesamte Versuchsdauer nicht an.

Um einen Überblick über den Einfluss einer Zugabe von Epoxydharz im Asphaltmischgut auf die hier geprüften Asphalteeigenschaften zu bekommen, werden im Folgenden die im Rahmen der hier beschriebenen Untersuchungen erzielten Ergebnisse gegenübergestellt.

Bewertungsgrundlage bilden hierfür die festgestellten Eigenschaften des Referenzmischgutes mit Straßenbaubitumen (Variante Referenz 50/70). Für jede geprüfte Eigenschaft wird die Differenz zwischen dem Wert der zu betrachtenden Variante und dem Wert der Variante Referenz 50/70 gebildet und anschließend als prozentuale Veränderung angegeben. Jede Angabe in Prozent bedeutet somit eine Veränderung bezogen auf das Niveau der Variante Referenz 50/70.

Für das Beispiel der Eigenschaft „Spurrinnenresistenz“ bedeutet dies konkret:

Die Variante Referenz 50/70 besaß nach 20.000 Überrollungen eine Spurrinnentiefe von etwa 4,25 mm. Dieser Wert bildet nun die Bewertungsgrundlage für die anderen Varianten:

Referenz PmB: 2,80 mm, d. h. eine Veränderung um 1,45 mm.

Daraus resultiert eine prozentuale Verbesserung von:

$$\frac{1,45 \cdot 100}{4,25} = 34 \%$$

Analog bedeutet dies für die beiden Epoxy Varianten:

$$15 \text{ \% Epoxy: } \frac{(4,25 - 1,44) \cdot 100}{4,25} = 66 \%$$

$$25 \text{ \% Epoxy: } \frac{(4,25 - 1,12) \cdot 100}{4,25} = 74 \%$$

Für alle geprüften Eigenschaften wurden entsprechend dem oben beschriebenen Vorgehen die prozentualen Veränderungen bezogen auf die Eigenschaften der Variante Referenz 50/70 berechnet. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 16 sowie in den Bildern 50 und 51 dargestellt.

Bei den Eigenschaften Verformungsbeständigkeit im Druckschwellversuch und Ermüdungsbeständigkeit war selbst nach einer Belastungsdauer, die das Fünffache bzw. Zwölffache über der Belastungsdauer der Referenzvariante mit Straßenbaubitumen lag, kein Versagen der Probekörper festzustellen.

Aus diesem Grund werden die prozentualen Veränderungen dieser beiden Eigenschaften nicht mit den übrigen Eigenschaften in einem Diagramm dargestellt, da es sich bei den Werten nur um ein mess- und aufzeichnungsbedingtes Minimum handelt und diese zu einer unverhältnismäßigen Verzerrung der Skalierung führen würden.

Eigenschaft	Referenz PmB	15 % Epoxy	25 % Epoxy
Verformungsbeständigkeit im Spurbildungsversuch	34 %	66 %	74 %
Verformungsbeständigkeit im Druckschwellversuch	98 %	> 494 %	> 494 %
Affinität (Einzelkorn)	45 %	67 %	67 %
Haftverhalten (Mischgut)	8 %	11 %	17 %
Spaltzugfestigkeit (vor Wasserlagerung)	21 %	3 %	12 %
Schichtenverbund	35 %	13 %	19 %
Ermüdungsbeständigkeit	340 %	> 1.244 %	> 1.244 %

Tab. 16: Prozentuale Veränderung maßgebender Asphalteeigenschaften durch Epoxydharz bezogen auf die Eigenschaften der Variante Referenz 50/70

Die grafische Darstellung der Veränderungen der Asphalteeigenschaften durch Epoxydharz zeigt, dass mit Ausnahme der Spaltzugfestigkeit und mit Abstrichen des Schichtenverbundes (unterschiedliche Temperaturen) sämtliche geprüften Eigenschaften des Epoxy Asphalts besser zu beurteilen sind als bei beiden Referenzvarianten.

Als Forschungsziel wurde die Entwicklung eines hochstandfesten und langlebigen Deckschichtbelag aus Asphalt formuliert. Daher gilt es, nun an dieser Stelle zu überprüfen, ob diese Ziele mit dem hier entwickelten und untersuchten Epoxy Asphalt erreicht werden konnten.

Beide Epoxy Varianten besitzen eine deutlich verbesserte Verformungsbeständigkeit bei Wärme, wie die Ergebnisse der Spurbildungs- und der dynamischen Druckschwellversuche gezeigt haben. Die Probekörper aus Epoxy Asphalt wiesen erheb-

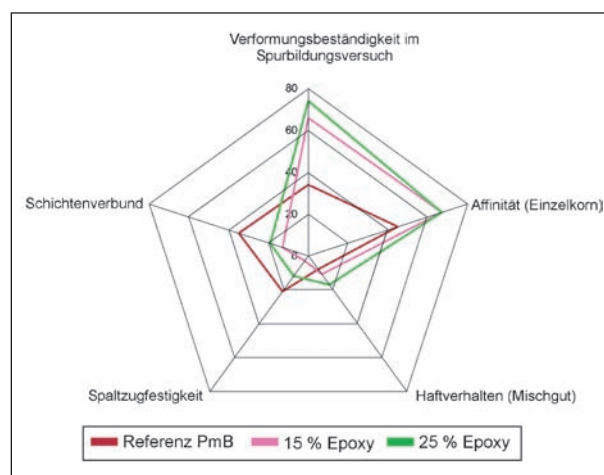


Bild 50: Veränderung maßgebender Asphalteeigenschaften durch Epoxydharz bezogen auf die Eigenschaften der Variante Referenz 50/70 in [%]

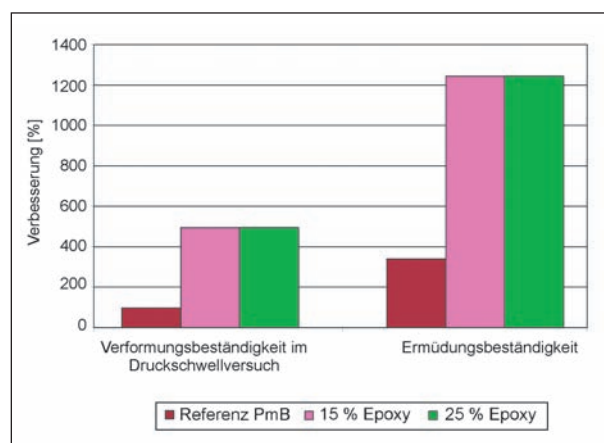


Bild 51: Prozentuale Veränderung von zwei Asphalteeigenschaften durch Epoxydharz bezogen auf die Eigenschaften der Variante Referenz 50/70

lich kleinere Verformungen als die Probekörper der Referenzvarianten auf.

Somit kann die Forderung nach einer hohen Standfestigkeit als erfüllt betrachtet werden.

Sowohl das Haftverhalten am Einzelkorn als auch im Mischgut konnte durch die Zugabe von Epoxydharz verbessert und die Gefahr von Schäden durch Wasserzutritt und Feuchtigkeit mutmaßlich minimiert werden. Eine ausreichende Verklebung zwischen der Asphaltbinderschicht und der Deckschicht aus Epoxy Asphalt kann gewährleistet werden. Die Gefahr einer Ablösung aufgrund mangelnden Schichtenverbunds kann folglich nicht gesehen werden. Die Ermüdungsbeständigkeit des Epoxy Asphalt es ist wesentlich höher als bei einem konventionellen Asphaltmischgut. Während die Probekörper der Referenzvarianten frühzeitig versagten, zeigten die Probekörper der beiden Epoxy Varianten auch nach Ablauf der Belastungsdauer nur sehr geringe Verformungen.

Folglich kann auch die Zielsetzung der Langlebigkeit als erreicht angesehen werden.

Darüber hinaus lassen die Verbesserungen der Eigenschaften aber auch erkennen, dass eine Zugabe von 25 % Epoxydharz zwar vereinzelt geringfügig bessere Ergebnisse bringt als bei „nur“ 15 %, an vielen Stellen die Ergebnisse jedoch nahezu identisch ausfallen. Daher ist nach Abschluss der bisher durchgeführten Prüfungen festzustellen, dass eine Zugabe von 15 % Epoxydharz im Asphaltmischgut für die Sicherstellung der hohen Standfestigkeit und der Langlebigkeit ausreichend ist.

III. Weiterführende Untersuchungen

10 Spezielle Fragestellungen

10.1 Reaktion des Epoxydharzes im Bitumen

Die Bindemitteluntersuchungen an den Bitumen-Epoxy-Gemischen haben gezeigt, dass die beiden Komponenten Harz und Härter alleine im Bitumen nicht miteinander reagieren. Eine Aushärtung des Gemisches findet somit nicht statt.

Als mögliche Ursachen konnten bereits das im Asphaltmischgut eingesetzte Kalksteinmehl und der verwendete Diabas sowie die alkalischen Komponenten des Bitumens identifiziert werden. Mit Hilfe des Prüfverfahrens „Erweichungspunkt Ring

	50/70 + Kalk- steinmehl	50/70 + Epoxy + Kalk- steinmehl	50/70 + Eigenfüller	50/70 + Epoxy + Eigenfüller
Probe 1	66,7	65,3	62,2	57,7
Probe 2	66,8	65,3	62,6	57,7
Mittelwert	66,8	65,3	62,4	57,7

Tab. 17: Erweichungspunkte Ring und Kugel von Bindemittel-Füller-Gemischen in °C

und Kugel“ wurde daher überprüft, ob die aufgestellten Vermutungen zutreffend sind.

Hierzu wurde in einem ersten Schritt ein Gemisch aus 35 % Bitumen und 65 % des verwendeten Kalksteinmehls hergestellt und daran der Erweichungspunkt gemäß Anhang 1 ermittelt. Ebenso wurde ein Bitumen-Epoxy-Gemisch mit Kalksteinmehl im selben Verhältnis vermischt und geprüft. Das Bitumen-Epoxy-Gemisch wurde vor der Zugabe des Füllers analog zum Asphaltmischgut für 30 Minuten bei 130 °C temperiert.

Dieses Vorgehen wurde ebenfalls mit dem Eigenfüller des Diabas (abgesiebt aus der Lieferkörnung 0/2) durchgeführt, um den Einfluss des verwendeten Gesteins zu überprüfen. Das Verhältnis von Bindemittel zu Füller betrug hier jedoch 50 % : 50 %, da der Eigenfüller eine deutlich größere Oberfläche als das Kalksteinmehl besitzt und daher mehr Bindemittel benötigt.

Die Erweichungspunkte der unterschiedlichen Gemische sind in Tabelle 17 aufgeführt.

Die Untersuchungen mit Kalksteinmehl lieferten für beide Varianten einen nahezu gleichen Erweichungspunkt. Der im Zuge der Bindemitteluntersuchungen ermittelte Unterschied zwischen der Referenz- und der Epoxyvariante von etwa 10 °C war hier nicht festzustellen, ein deutlicher Anstieg des Erweichungspunktes verursacht durch eine Reaktion von Harz und Härter allerdings ebenfalls nicht.

Bei einer Verwendung des Eigenfüllers liegt der Erweichungspunkt der Variante mit Epoxydharz um etwa 5 °C unter der Variante mit reinem Straßenbaubitumen. Die Tendenz des niedrigeren Erweichungspunktes bei einer Zugabe von Epoxydharz bestätigte sich somit auch hier.

Zur Klärung der Frage, ob die alkalischen Komponenten im Bitumen mit dem Anhydridhärter des Epoxydharzsystems reagieren und somit die Aushärtung des Harzes verhindern, wurde ebenfalls die

	50/70 + Phosphorsäure	50/70 + Phosphorsäure + Epoxy
Probe 1	59,8	53,2
Probe 2	58,9	53,1
Mittelwert	59,4	53,2

Tab. 18: Erweichungspunkte Ring und Kugel von Bindemittelgemischen mit Phosphorsäure in °C

Prüfung des Erweichungspunktes herangezogen. Allerdings wurde das Grundbitumen 50/70 zu diesem Zweck mit 3 % Phosphorsäure versetzt, das dessen alkalische Bestandteile eliminiert. Ansonsten erfolgte die Prüfung analog zu dem in Anhang 1 beschriebenen Vorgehen.

Die Ergebnisse der Erweichungspunktbestimmung sind in Tabelle 18 dargestellt.

Wie Tabelle 18 zeigt, brachte auch die Zugabe der Phosphorsäure zum Bitumen nicht den vermuteten Effekt. Der Erweichungspunkt der Epoxy Variante liegt erneut um etwa 6 °C unter der Referenzvariante. Somit fand auch in diesem Fall keine Aushärtung des Zweikomponentensystems statt.

Die oben beschriebenen Untersuchungen konnten beide keine Erklärung für das Ausbleiben der Reaktion von Harz und Härter im Bitumen liefern. Somit muss diese Fragestellung hier offenbleiben und wird, vor allem aufgrund der nachweislichen Reaktion im Asphaltmischgut, im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter verfolgt.

10.2 Extraktion von Epoxy Asphalt

Einer der bisher unbehandelten Aspekte bei der Verwendung von Epoxy Asphalt betrifft die Extrahierbarkeit des Mischgutes. Im Zuge von Kontrollprüfungen bei Straßenbaumaßnahmen in Asphaltbauweise ist eine Extraktion des verwendeten Mischgutes von entscheidender Bedeutung, um die Zusammensetzung des tatsächlich eingebauten Mischgutes mit den Vorgaben der Eignungsprüfung vergleichen zu können.

Daher erscheint es notwendig zu prüfen, ob bzw. inwiefern Epoxy Asphalt extrahiert, d. h., das Bindemittelgemisch bestehend aus Straßenbaubitumen und Epoxyharz aus dem Asphaltmischgut mit Hilfe eines Lösemittels herausgelöst werden kann. Offen ist diese Fragestellung vor allem aufgrund der Tatsache, dass das reine ausgehärtete Epoxydharz als solches lösemittelbeständig ist.



Bild 52: Granulierung eines Probekörpers aus Epoxy Asphalt

Für die Überprüfung der Extrahierbarkeit wurde zunächst untersucht, ob es überhaupt möglich ist, einen Probekörper aus Epoxy Asphalt aufzuschmelzen und zu granulieren. Nach einer Lagerung im Ofen bei 140 °C ließ sich der gewählte Probekörper (Variante 15 % Epoxy) entgegen den Erwartungen aufbrechen und granulieren. Der Kraftaufwand war zwar etwas höher als bei konventionellem Asphaltmischgut, die Granulierung konnte dennoch problemlos erfolgen (vgl. Bild 52).

Nachdem die Frage des Aufschmelzens und der Granulierbarkeit erfolgreich beantwortet war, wurde versucht, bei einem Teil des Granulates mittels Heißextraktion gemäß DIN EN 12697-1, „Prüfverfahren für Heißasphalt, Teil 1: Löslicher Bindemittelgehalt“ [13] das Bindemittelgemisch aus dem Mischgut herauszulösen. Auch dieses Vorgehen war entgegen den ersten Erwartungen erfolgreich, sodass anschließend die Feinanteile aus dem Bindemittel-Lösemittelgemisch gewonnen sowie Lösemittel und Bindemittel mittels Destillation voneinander getrennt werden konnten.

Als Ergebnis der Heißextraktion standen folglich das Gesteinskörnungsgemisch, der Füller (vgl. Bilder 53 und 54) aus der Zentrifuge, das Bindemittel sowie das aus der Destillation zurückgewonnene Lösemittel für weitere Untersuchungen zur Verfügung.

Nach Beendigung der Extraktion stellte sich zwangsläufig die Frage nach dem Verbleib des Epoxydharzes. Wo sind die Bestandteile des Zweikomponentensystems nach dem Herauslösen des Bindemittels zu finden? Im Bitumen, am Gestein, im Füller oder im Lösemittel?



Bild 53: Gesteinskörnungsgemisch aus extrahiertem Epoxy Asphalt

Betrachtet man das Gesteinskörnungsgemisch nach der Extraktion, so fällt zunächst auf, dass ein Teil der Feianteile an den groben Gesteinskörnern zu kleben scheint. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass Bestandteile des Epoxydharzes am Gestein haften geblieben sind.

Der Füller aus dem extrahierten Epoxy Asphalt schien nach dem Entleeren der Hülse aus der Zentrifuge untereinander verklebt zu sein. Er zerfiel in größere und relativ brüchige Teile und war nicht mehr pulverförmig wie das verwendete Ausgangsmaterial. Somit wäre es möglich, dass auch ein Teil des Epoxydharzes nach der Extraktion im Füller verblieben ist.

Um dieser Fragestellung nachzugehen und eine wissenschaftlich fundierte Erkenntnis über den Verbleib des Epoxydharzes zu erhalten, wurden die Bestandteile des extrahierten Epoxy Asphalt es einer physikalisch-chemischen Analyse unterzogen.

In einem ersten Schritt wurden sowohl das zurückgewonnene Bindemittel als auch der Füller mit Hilfe einer Infrarotspektroskopie untersucht.

Die Infrarotspektroskopie ist ein Analyseverfahren, das mit infrarotem Licht arbeitet. Sie wird zur quantitativen Bestimmung von bekannten Substanzen, deren Identifikation anhand eines Referenzspektrums oder zur Strukturaufklärung unbekannter Substanzen genutzt. Sie ist eine der leistungsfähigsten Verfahren in der chemischen Analytik organischer Substanzen und wird zur schnellen Analyse von Stoffgemischen eingesetzt.



Bild 54: Füller aus extrahiertem Epoxy Asphalt

Im Falle des Bindemittels war festzustellen, dass es neben dem Ausgangsbitumen auch Epoxydharz enthält, jedoch nur noch etwa 60 % von der ursprünglich bei der Mischgutherstellung zugebenen Menge. Dieser Wert konnte ermittelt werden, indem eine Spektroskopie des Bitumen-Epoxy-Gemisches nach der Extraktion und des ursprünglichen Ausgangsgemisches vor Zugabe in den Labormischer erstellt wurde und von beiden das Spektrum des reinen Straßenbaubitumens subtrahiert wurde. Als Ergebnis erhält man die Spektren der Epoxydharze aus den beiden Gemischen (vgl. Bild 55). Mittels Differenzbildung war ein Verlust von etwa 40 % festzustellen.

Die Analyse des Füllers zeigte, dass dieser neben Calciumcarbonat auch noch andere Ausschläge, sowohl von anorganischem als auch von organischem Material, wie Epoxydharz eines ist, aufweist. Eine genaue Bestimmung der Menge an Epoxydharz im Füller war nicht möglich.

Abschließend wurde das aus der Extraktion stammende Gesteinskörnungsgemisch einer thermogravimetrischen Analyse unterzogen, um zu überprüfen ob in ihm Bestandteile von Epoxydharz zu finden sind.

Die Thermogravimetrie ist eine analytische Methode, bei der die Masseänderung einer Probe in Abhängigkeit von der Temperatur und Zeit gemessen wird. Die Probe wird dazu in einem kleinen Tiegel aus feuerfestem, inertem Material (z. B. Platin oder Aluminiumoxid) in einem Ofen auf Temperaturen bis zu 1.600 °C erhitzt. Der Probenhalter ist an eine Mikrowaage gekoppelt, welche die Masseänderun-

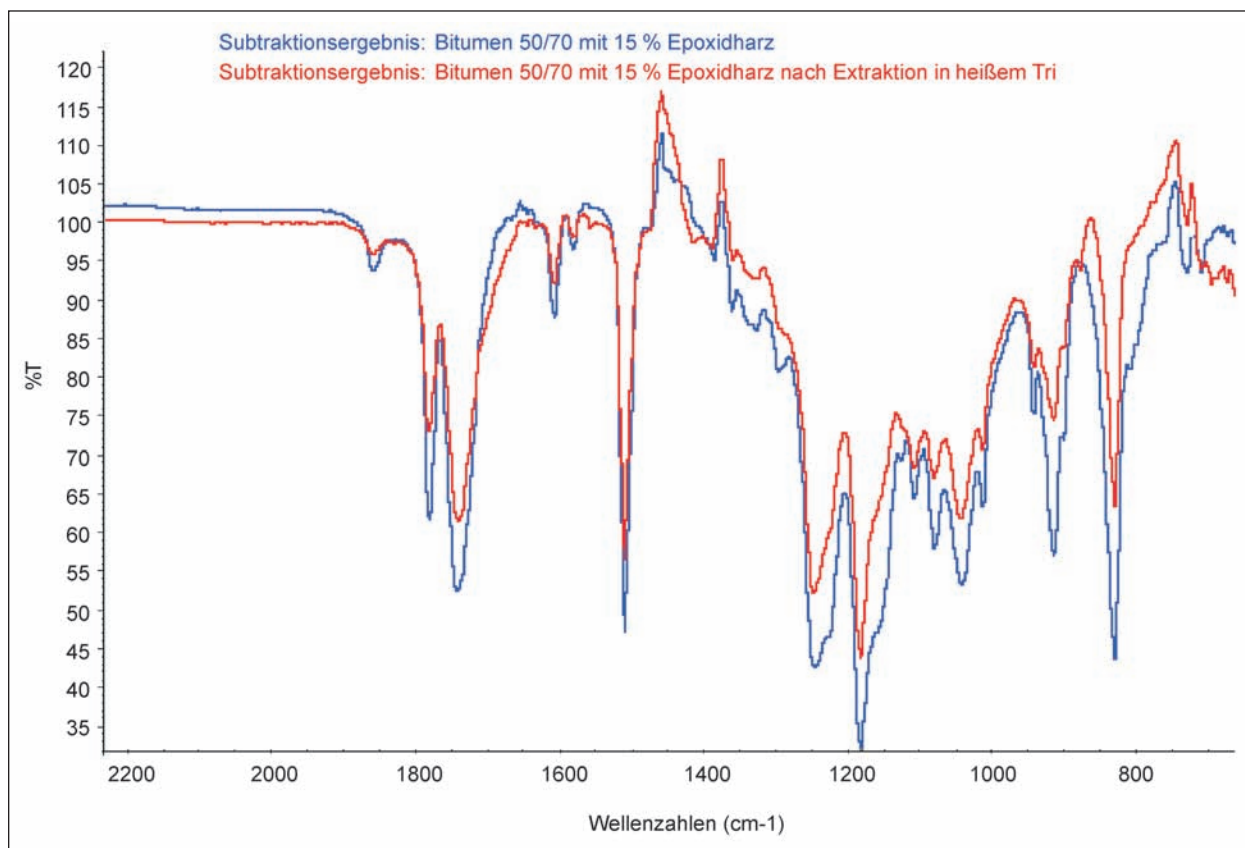


Bild 55: IR-Spektren von Epoxydharzen aus Bindemittelgemischen vor und nach Extraktion

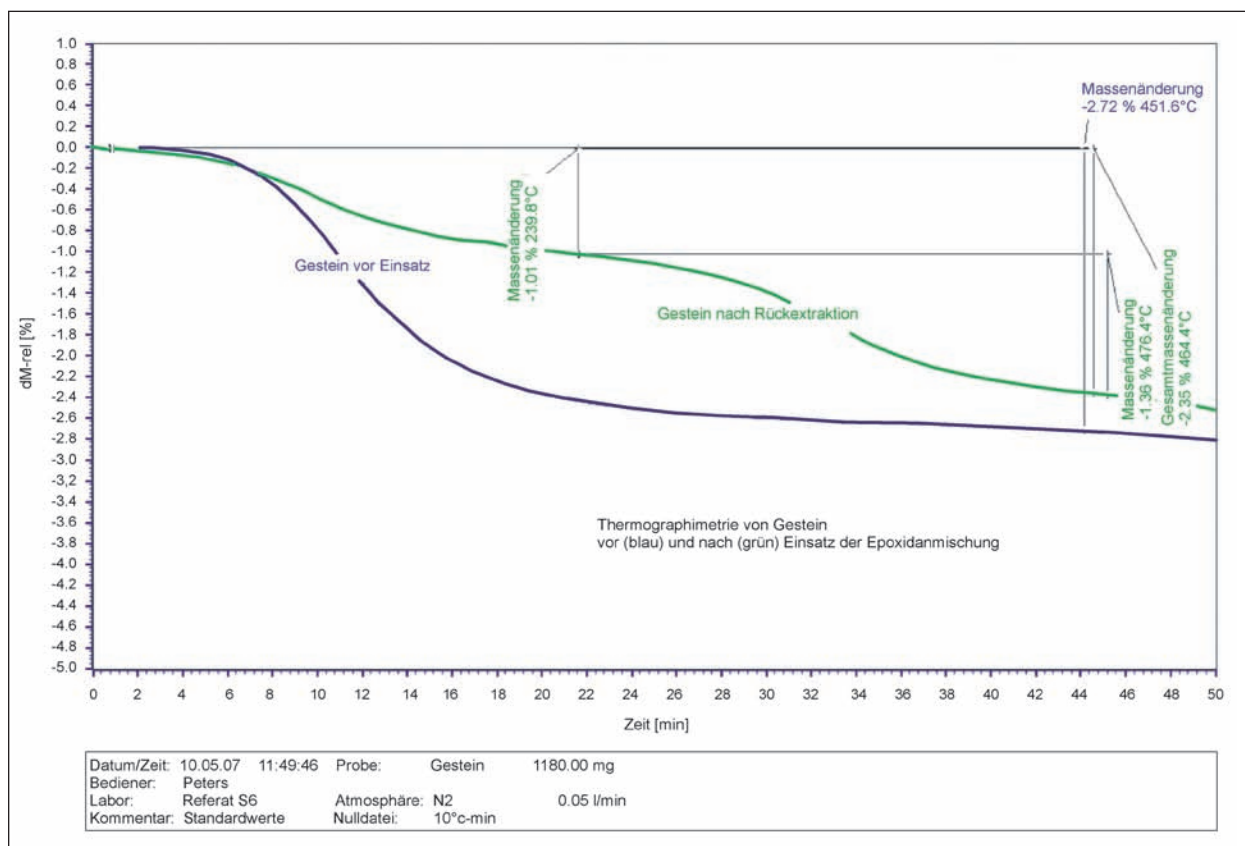


Bild 56: Thermogravimetrische Untersuchung von Gesteinen vor und nach Extraktion

gen während des Aufheizvorgangs registriert. Während der Analyse wird der Probenraum je nach Bedarf mit verschiedenen Gasen gespült. Meist verwendet man reinen Stickstoff, um eine Oxidation zu vermeiden.

Bild 56 zeigt die Ergebnisse der thermogravimetrischen Analyse des Gesteinskörnungsgemisches nach der Extraktion sowie der frischen und unbehandelten Gesteinskörnung. Das Ausgangsgestein hat im unteren Temperaturbereich (452 °C) eine Massenstufe (-2,72 % Massenänderung), während das Gestein aus der Extraktion zwei Massenstufen aufweist (-1,01 % bei 239,8 °C und -1,36 % bei 476,4 °C). Dies lässt darauf schließen, dass im Gestein der Extraktion noch andere organische Produkte vorhanden sind. Selbst wenn es sich bei einem dieser Produkte um Epoxydharz handeln sollte, so wäre die Menge bezogen auf die im Bitumen fehlenden 40 % jedoch sehr gering.

Da im Bindemittel nur 60 % der ursprünglich zugegebenen Menge an Epoxydharz enthalten sind und sowohl im Füller als auch am Gestein nur äußerst geringe Mengen Epoxydharz nachzuweisen waren, stellt sich die Frage nach dem Verbleib der restlichen Mengen des Zweikomponentensystems.

Das Lösemittel (Trichlorethylen) aus der Extraktion kann hier ausgeschlossen werden, da es mittels Destillation vom Bindemittel getrennt wurde. Möglicherweise ist ein Teil des Epoxydharzes im Inneren der Gesteinskörner vorhanden und/oder ein geringer Teil bereits bei der Herstellung des Asphaltmischgutes verdampft (hohe Temperaturen, beobachtete Dampfentwicklung). In beiden Fällen ist jedoch nicht davon auszugehen, dass die betreffenden Mengen eine Größenordnung von bis zu 40 % betragen. Somit besteht an dieser Stelle noch weiterer Forschungsbedarf.

10.3 Bewitterungsversuche

Bereits vor Beginn der Hauptuntersuchungen wurden einige WSV-Platten aus Epoxy Asphalt mit einem Epoxydharzsystem mit Anhydridhärter sowohl mit als auch ohne Beschleuniger hergestellt und einer mehrere Monate andauernden Bewitterung im Freien ausgesetzt. Da sich die Variante ohne Beschleuniger im Verlaufe der Untersuchungen als die geeignetere herausstellte und folglich die Hauptuntersuchungen sowie sämtliche weiterführende Untersuchungen mit dem System ohne Beschleuniger ausgeführt wurden, werden im Folgenden die Ergebnisse der Platten mit Beschleuni-

ger nicht betrachtet. Da zum Zeitpunkt des Beginns der Bewitterung jedoch noch nicht klar war, mit welchem System die Hauptuntersuchungen durchgeführt und eine möglichst lange Bewitterungsdauer sichergestellt werden sollte, erfolgte die Herstellung von Probekörpern beider Systeme.

Nach Herstellung der Platten im Laboratorium wurden diese während der Zeit von Juni 2006 bis April 2007 im Freien gelagert (vgl. Bild 57) und zunächst eine eventuelle witterungsbedingte Veränderung der Griffigkeit des Epoxy Asphaltes überprüft. Dies erfolgte mittels einer monatlichen Messung mit dem Pendelgerät (engl.: Skid Resistance Tester, SRT) gemäß „Technischer Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Messverfahren SRT“ (TP Griff-StB (SRT)) [14]. Während der Bewitterungsphase konnte sichergestellt werden, dass die Probekörper sowohl sehr hohen Temperaturen im Sommer als auch niedrigen Temperaturen im Winter ausgesetzt waren. Zudem sorgte ein ständiger Wechsel von trockenen und nassen Phasen für eine zusätzliche Beanspruchung des Asphaltes.

Die Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen über die Bewitterungsdauer sind in Bild 58 dargestellt. Neben den ebenfalls in den Hauptuntersuchungen geprüften Varianten 15 % Epoxy und 25 % Epoxy sowie der Variante Referenz 50/70 fehlt hier die Va-

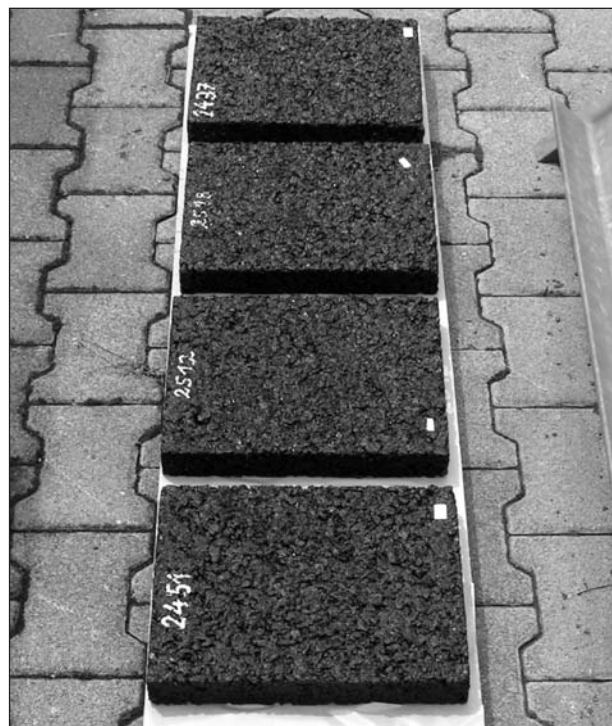


Bild 57: Bewitterung von Probekörpern aus Epoxy Asphalt

riante Referenz PmB, da zum Zeitpunkt des Bewitterungsbeginns die Aufnahme der Referenzvariante mit Polymermodifiziertem Bitumen noch nicht zur Diskussion stand.

Betrachtet man die Verläufe der Griffigkeitsentwicklung der drei Varianten, so stellt man fest, dass die beiden Epoxy Varianten im Mittel eine um etwa 10 SRT-Einheiten höhere Griffigkeit aufweisen als die Variante Referenz 50/70. Ferner ist zu beobachten, dass bei beiden Epoxy Varianten innerhalb der ersten zwei Monate die Griffigkeit um sechs SRT-Einheiten zugenommen hat, wohingegen die Referenzvariante einen Griffigkeitsverlust von etwa 10 SRT-Einheiten aufwies.

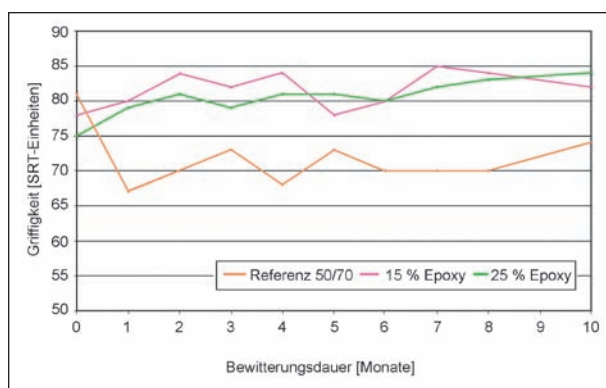


Bild 58: Griffigkeitsentwicklung über die Bewitterungsdauer

renzvariante einen Griffigkeitsverlust von etwa 10 SRT-Einheiten aufwies.

Ansonsten bleiben über die Dauer der Bewitterung gesehen die Griffigkeitsniveaus aller Varianten nahezu konstant und schwanken bei der Referenzvariante um den Wert von 70 Einheiten und bei den Epoxy Varianten in einem Bereich von 80 bis 85 SRT-Einheiten. Ein merklicher Einfluss einzelner jahreszeitlicher und damit klimatischer Veränderungen auf die Griffigkeit ist nicht festzustellen.

Während der Liegezeit der Probekörper im Freien war eine Veränderung der Oberflächen bei den Platten aus Epoxy Asphalt festzustellen. Im Laufe der Zeit wurden diese in Abhängigkeit vom Epoxy Gehalt deutlich heller. Je mehr Epoxydharz im Mischgut enthalten war, desto stärker war der aufhellende Effekt an der Oberfläche. Somit ist die Ursache für die Aufhellung eindeutig beim Epoxydharz zu suchen, das mutmaßlich unter Sonneneinstrahlung zu einer Aufhellung des Asphaltes führt.

In den Bildern 59 bis 60 sind die unterschiedlichen Oberflächen der Asphaltplatten der Varianten Referenz 50/70 sowie 25 % Epoxy dargestellt. Der aufhellende Effekt des Epoxydharzes nach der Bewitterung (rechte Fotos) ist deutlich zu erkennen.

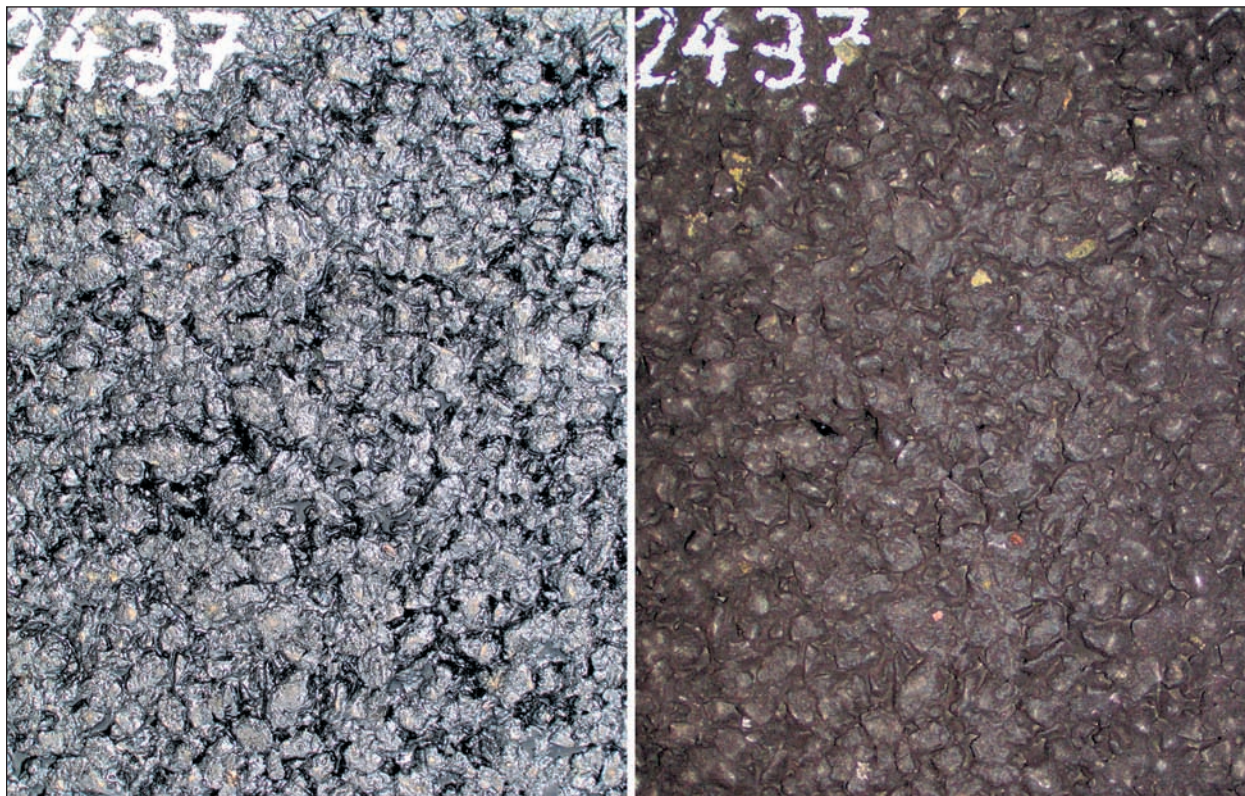


Bild 59: Platten der Variante Referenz 50/70 vor (links) und nach (rechts) der Bewitterung

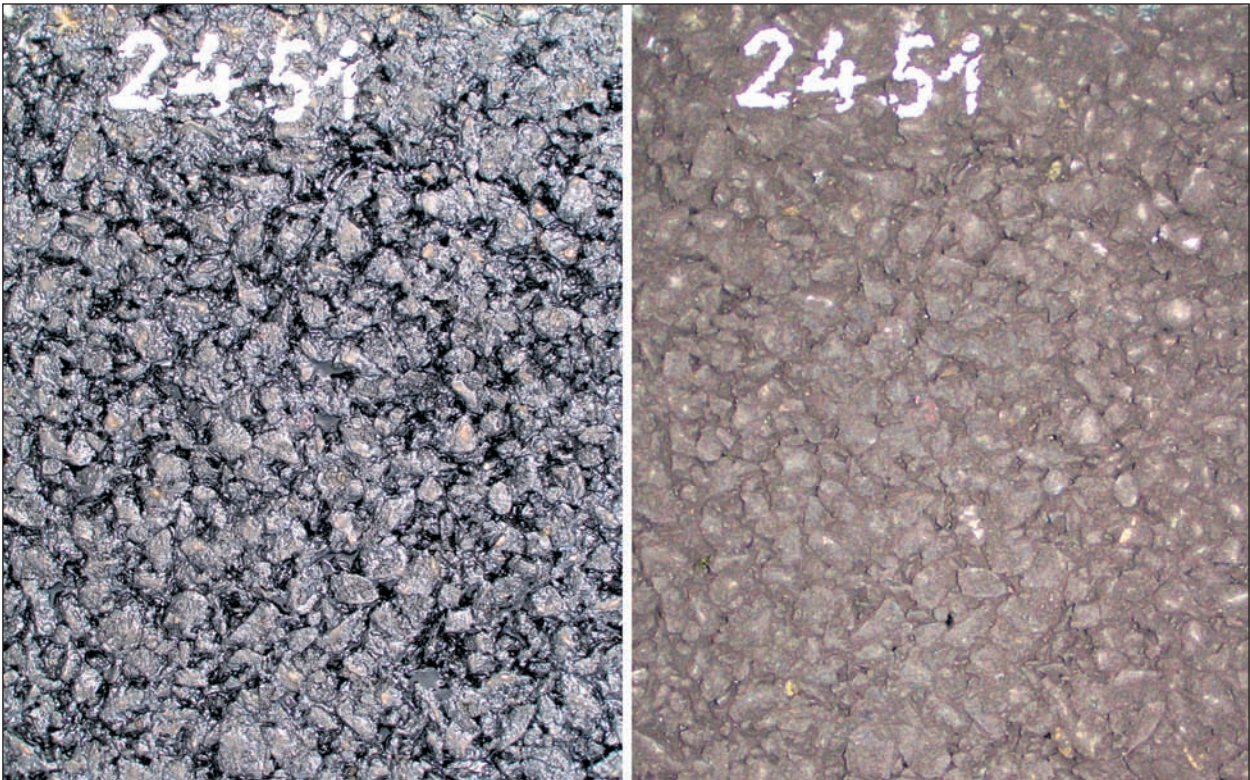


Bild 60: Platten der Variante 25 % Epoxy vor (links) und nach (rechts) der Bewitterung

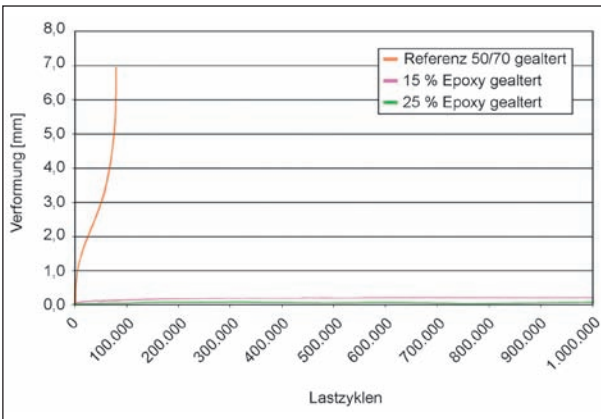


Bild 61: Dreipunkt-Biegeversuche an Probekörpern nach einer Bewitterung

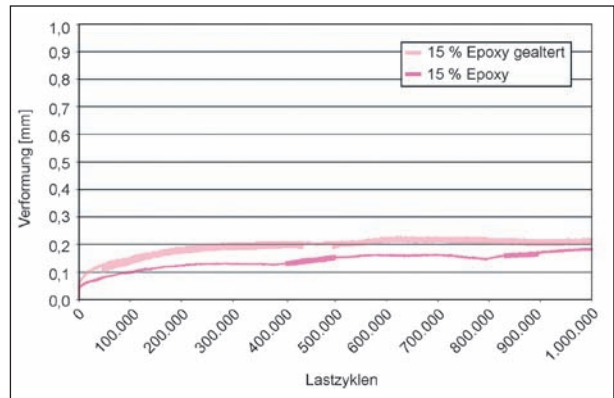


Bild 63: Vergleich von bewitterten und nicht bewitterten Probekörpern bei 15 % Epoxy

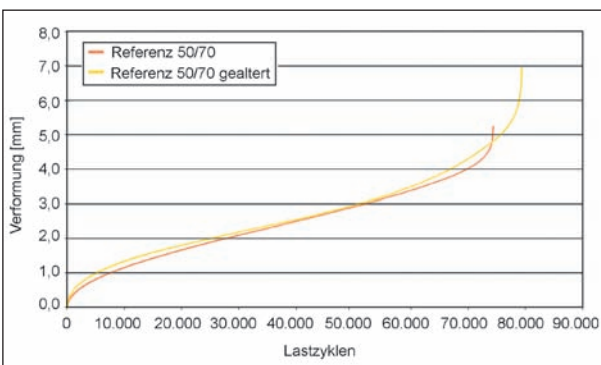


Bild 62: Vergleich von bewitterten und nicht bewitterten Probekörpern bei Referenz 50/70

Nach Beendigung der Bewitterungszeit wurden aus den gealterten Platten Prismen geschnitten, um daran ebenfalls Dreipunkt-Biegeversuche durchzuführen. Ziel dieser Untersuchungen war festzustellen, ob die Bewitterung möglicherweise einen negativen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit des Epoxy Asphaltes hat.

Die Versuchsdurchführung erfolgte gemäß Anhang 1 und lieferte die in Bild 61 dargestellten Ergebnisse. Ein direkter Vergleich der Verformungsverläufe von bewitterten und nicht bewitterten Probekörpern der drei geprüften Varianten wurde in den Bildern 62 bis 64 vorgenommen. Die abschnittsweise un-

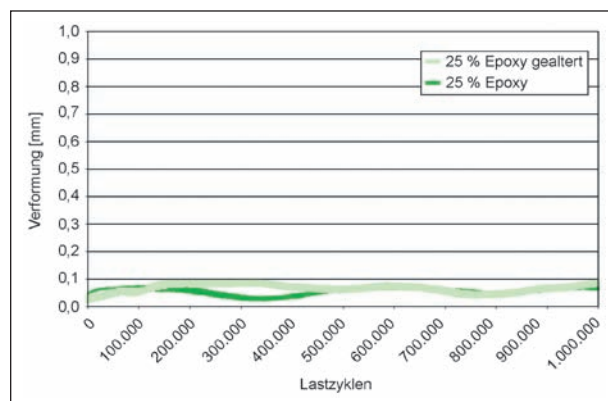


Bild 64: Vergleich von bewitterten und nicht bewitterten Probekörpern bei 25 % Epoxy

terschiedlichen Strichbreiten sind bedingt durch die Datenverarbeitung.

Der Vergleich von bewitterten und nicht bewitterten Probekörpern zeigt, dass die zehnmönatige Bewitterung der Asphaltplatten keinen Einfluss auf das Verhalten im Dreipunkt-Biegeversuch hatte. Sowohl bei der Variante Referenz 50/70 als auch bei beiden Epoxy Varianten stimmen die Verläufe der Verformungen nahezu überein. Somit ist festzustellen, dass sich die Eigenschaften des Epoxydharzes im Asphalt durch eine klimatische Beanspruchung maßlich nicht negativ verändern.

10.4 Griffigkeitsentwicklung unter Verkehr

Im Zuge der Hauptuntersuchungen wurden wesentliche Eigenschaften des Epoxy Asphaltes überprüft, die in erster Linie auf die Beurteilung der Dauerhaftigkeit und der Standfestigkeit abzielen. Bisher unbeantwortet ist die Frage nach der Griffigkeit einer Fahrbahnoberfläche aus Epoxy Asphalt und deren Entwicklung unter einer Verkehrsbelastung.

Um auch diese Gebrauchseigenschaft ansatzweise beurteilen zu können, wurden Platten aus Epoxy Asphalt (Variante 15 % Epoxy) und aus Mischgut der Variante Referenz PmB in der Rundlaufprüfanlage (RPA) der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) einer simulierten Verkehrsbelastung ausgesetzt, um die Veränderung der Oberfläche während der Überrollungen bewerten zu können.

Die RPA der BASt dient in erster Linie zur Prüfung von Fahrbahnmarkierungsstoffen. Es handelt sich dabei um eine Sonderkonstruktion, auf der nach längerer Entwicklungs- und Erprobungszeit erstmals im Jahre 1989 Eignungsprüfungen für Markierungsstoffe vorgenommen wurden.

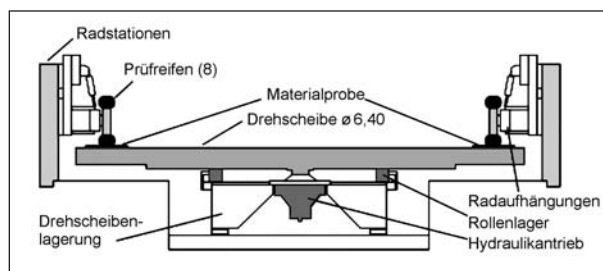


Bild 65: Prinzipskizze der Rundlaufprüfanlage der BASt



Bild 66: Rundlaufprüfanlage der BASt (Fotomontage)

Im Wesentlichen besteht die RPA aus einer horizontal angeordneten Drehscheibe mit einem Durchmesser von 6,40 m, die mit bis zu 20 unterschiedlichen Probemarkierungen gleichzeitig bestückt werden kann (vgl. Bilder 65 und 66). Die Probemarkierungen werden mit bis zu acht Prüfrädern belastet, die den gleichen Verschleiß erzeugen wie reale Kraftfahrzeuge im Verkehr.

Die RPA erlaubt es, die jährliche Belastung von Fahrbahnmarkierungen innerhalb einer Woche zu simulieren. Die Prüfdauer richtet sich nach dem für das jeweilige Markierungssystem vorgesehenen späteren Einsatzzweck. So werden Markierungssysteme für den kurzzeitigen vorübergehenden Einsatz nur 100.000-mal überrollt und solche für den dauerhaften Einsatz bis zu vier Millionen mal; letztere Prüfbeanspruchung lässt eine Funktionsdauer der Markierung von vier bis sechs Jahren erwarten.

Die technischen Daten der RPA lauten:

Klimatisiertes Messlabor:	8 m x 14 m
Klimatisierter Prüfraum:	7,50 m x 8,50 m
Durchmesser der Drehscheibe:	6,40 m
Gewicht der Drehscheibe:	ca. 15 t
Prüfgeschwindigkeit:	0 km/h bis 120 km/h stufenlos regelbar
Antrieb:	elektro-hydraulisch, 75 kW

Prüfräder:	4 oder 8
Radlast:	3.000 N
Prüftemperatur:	von -10 °C bis 50 °C stufenlos regelbar
Relative Luftfeuchte:	von 40 % bis 90 % stufenlos regelbar
Klimatisierung:	2 wechselseitig einsetzbare Klimaanlagen mit je 45 kW Leistung und 12.000 m ³ /h Luftdurchsatz

Für die Prüfung der Griffigkeitsentwicklung der Epoxy Platten wurden die Standardprüfbedingungen für Markierungsstoffe gewählt, das heißt eine Geschwindigkeit von 60 km/h bei einer Radlast von 3.000 N (300 kg) pro Reifen und einer maximalen Überrollanzahl von vier Millionen. Als Prüftemperatur wurden 20 °C Raumtemperatur gewählt, dies führte zu einer Oberflächentemperatur während der Prüfung von etwa 25 °C.

Die Probekörper in der RPA besitzen die Abmessungen 20 cm x 40 cm bei einer Höhe von 5,0 cm. Da mit dem Walzsektorverdichter im Asphaltlabor nur Platten mit den Abmessungen 26 cm x 32 cm hergestellt werden können, mussten die WSV-Platten noch nachbearbeitet werden. Hierzu wurden zunächst an den Längsseiten jeweils drei Zentimeter entfernt, um die Soll-Breite von 20,0 cm zu erhalten. Anschließend wurden in die Stirnseiten jeweils zwei Löcher gebohrt und in diese Schlüssel-schrauben bis zur Hälfte ihrer Länge hineingedreht (vgl. Bild 67).

Die fehlenden acht Zentimeter in der Länge wurden anschließend in einer Form mit Asphaltmastix ausgefüllt (jeweils vier Zentimeter an jedem Ende). Die eingesetzten Schrauben dienten in dem Fall zur Verankerung der Platte mit dem Füllmaterial (vgl. Bild 68).

Die Probekörper werden mit der Längsseite orthogonal zur Rollrichtung in die RPA eingelegt und mit zwei Klemmen an den Enden fixiert (vgl. Bild 69). Somit liegt die Rollspur in der Mitte der Platte aus dem Walzsektorverdichtungsgerät.

Die Messung der Griffigkeitsentwicklung während der Überrolldauer erfolgte gemäß TP Griff-StB (SRT) [14]. Die RPA wurde jeweils nach 10.000, 100.000, 200.000, 500.000, 1 Mio., 2 Mio., 3 Mio. und 4 Mio. Überrollungen angehalten und die Griffigkeit gemessen.



Bild 67: WSV-Platte mit beschnittenen Längsseiten und eingesetzten Schrauben



Bild 68: Fertiger Probekörper für die Prüfung in der RPA



Bild 69: Probekörper in der RPA

Die Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen sind in der Tabelle 19 und der Verlauf der Griffigkeitsentwicklung in Bild 70 dargestellt.

Der Ausgangswert der Griffigkeit vor Beginn der Überrollungen war bei den beiden Varianten mit einem Mittelwert von 80 bzw. 69 SRT-Einheiten doch relativ unterschiedlich. Diese Differenz war jedoch bereits nach den ersten 10.000 Überrollungen nicht mehr messbar und das Griffigkeitsniveau mit 58 bzw. 57 SRT-Einheiten zwar nahezu gleich, aber deutlich geringer als im Ursprungszustand.

Nach 100.000 Überrollungen konnte bei der Variante Referenz PmB eine geringe Zunahme der Griff-

Überrollungen	SRT-Werte					
	Referenz PmB			15 % Epoxy		
	2927	2928	Mittelwert	2922	2923	Mittelwert
0	85	75	80	70	68	69
10.000	59	56	58	57	56	57
100.000	60	57	59	56	55	56
200.000	57	57	57	54	52	53
500.000	57	55	56	54	52	53
1.000.000	57	54	56	53	51	52
2.000.000	56	53	55	51	50	51
3.000.000	54	51	53	50	50	50
4.000.000	56	51	54	51	50	51

Tab. 19: SRT-Werte der Probekörper während der Prüfung in der RPA

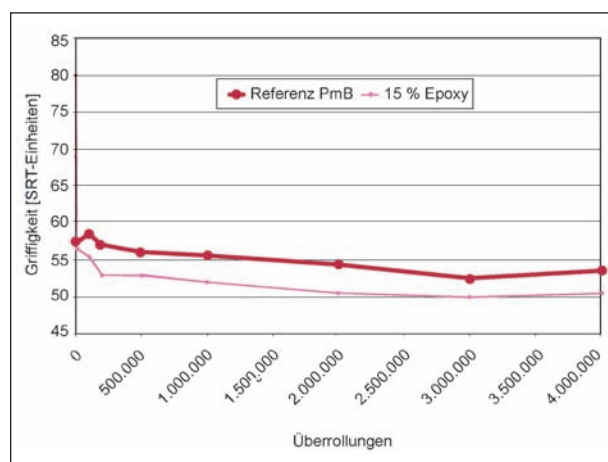


Bild 70: Verlauf der Griffigkeitsentwicklung während der Prüfung in der RPA

figkeit gemessen werden, um anschließend nach 200.000 Überrollungen auf einen Wert von 57 SRT-Einheiten zu sinken. Die Griffigkeit der Epoxy Platten wurde konstant geringer und betrug nach 200.000 Überrollungen noch 53 SRT-Einheiten.

Von diesem Zeitpunkt an entwickelte sich die Griffigkeit beider Varianten bis zum Versuchsende nach 4 Mio. Überrollungen nahezu parallel. Hierbei lag die Epoxy Variante stets um drei bis vier Einheiten unter der Variante mit Polymermodifiziertem Bitumen. Die Endgriffigkeit der Epoxy Variante betrug 51, die der Referenzvariante 54 SRT-Einheiten.

Die Griffigkeitsmessungen haben gezeigt, dass die Griffigkeit des Epoxy Asphalt unter einer simulierten Verkehrsbelastung mutmaßlich etwas geringer als bei einem konventionellen Asphalt ist. Im Gegensatz zu den SRT-Messungen vermitteln die

Oberflächenbilder der beiden Varianten jedoch zunächst einen anderen Eindruck (vgl. Bilder 71 und 72).

Auf der Platte aus dem Referenzmischgut ist der überrollte Bereich sehr deutlich zu erkennen. Die nach der Plattenherstellung noch vorhandenen Mörtel- und Bindemittelspitzen sind völlig abgefahren. Hier wurde der Mörtel an der Oberfläche durch die Last des überrollenden Rades und der Temperatur in die oberflächennahen Hohlräume verdrückt. Auf diese Weise haben sich relativ großflächige Plateaus gebildet, die zunächst einen vergleichsweise glatten Eindruck erwecken.

Im Vergleich dazu ist auf der Platte aus Epoxy Asphalt die Rollspur zwar ebenfalls zu erkennen, allerdings ist die Oberflächenstruktur des Asphalt wesentlich besser erhalten geblieben. Auch hier wurden die Spitzen zwar durch die Überrollungen entfernt, eine Verdrückung des Mörtels wie bei der Variante aus Mischgut mit PmB hat hier jedoch nur kaum stattgefunden.

Somit war festzustellen, dass die Oberflächenbilder zunächst eine bessere Griffigkeit des Epoxy Asphalt vermuten ließen, die SRT-Messungen jedoch der Platte aus Referenzmischgut eine um drei Einheiten bessere Griffigkeit bescheinigten. Der Grund hierfür ist in der hohen Festigkeit des Mörtels beim Epoxy Asphalt zu sehen. Da sich beim konventionellen Asphalt der Mörtel in Belastungsrichtung verdrückt und der Bindemittelfilm der oberflächlichen Gesteinskörner abfährt, hat hier die Rauigkeit der Gesteinsoberfläche einen positiven Einfluss auf die Griffigkeit. Beim Epoxy Asphalt hingegen besitzt zum einen der Mörtel eine solch hohe

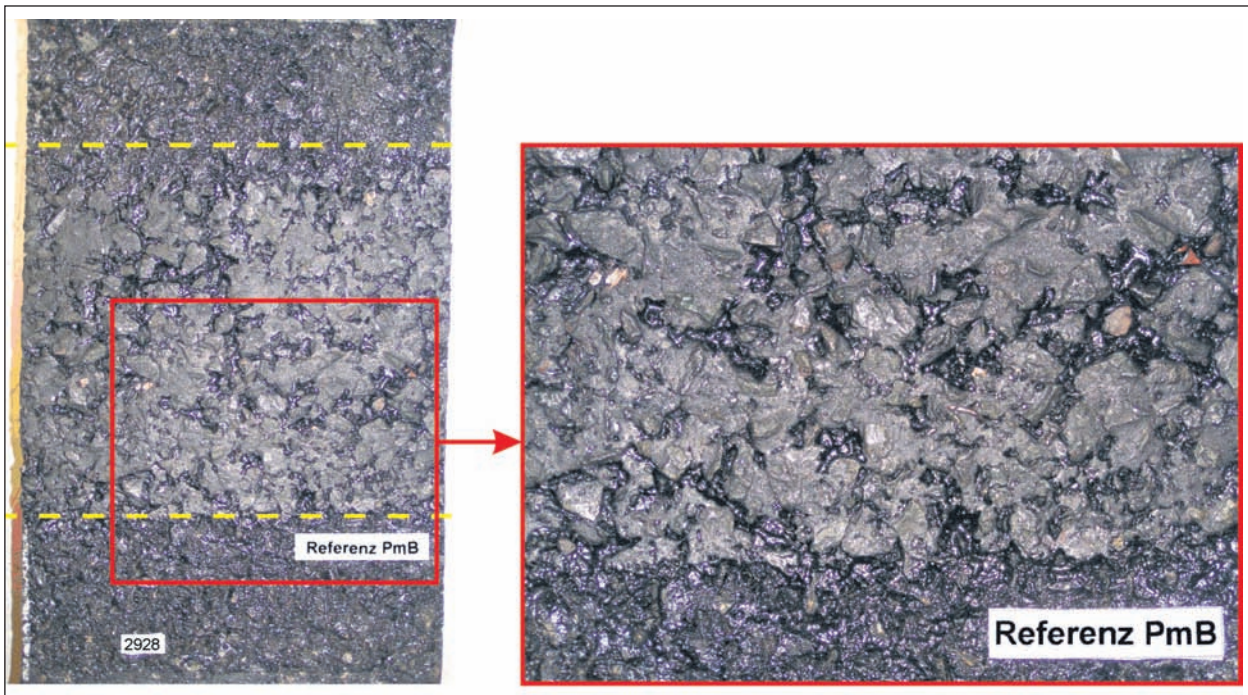


Bild 71: Oberflächen der Referenz-Platten nach 4 Mio. Überrollungen

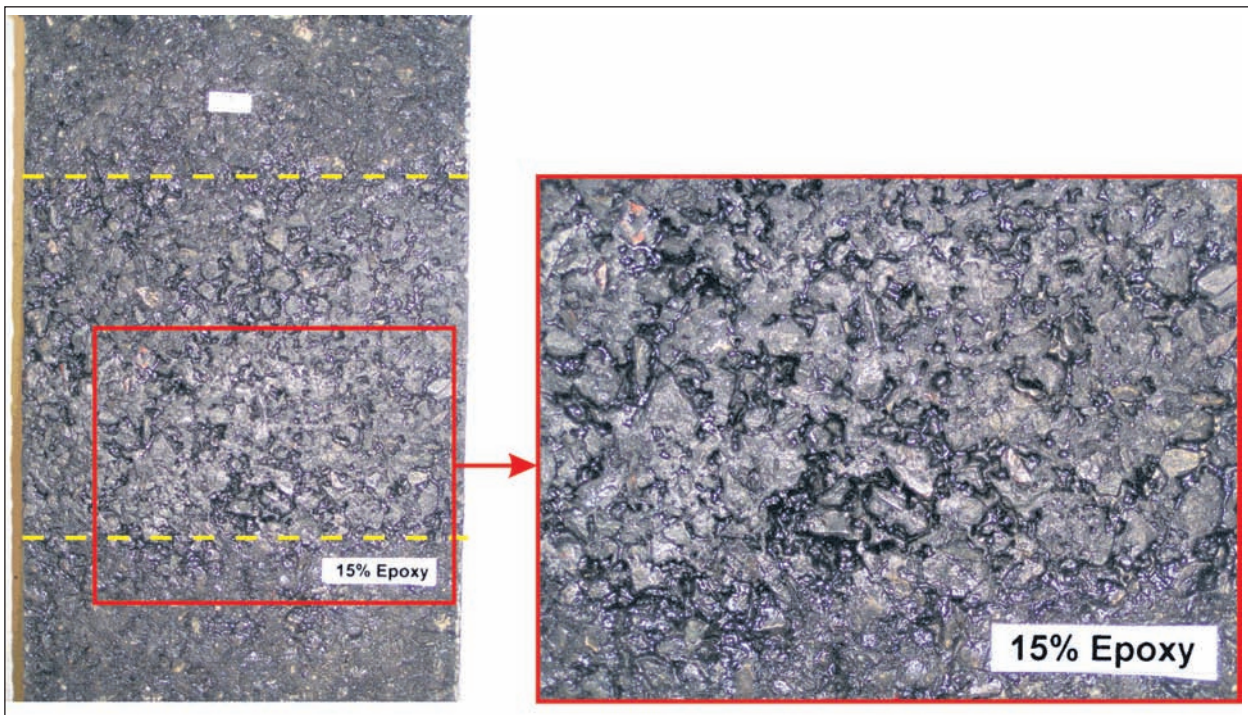


Bild 72: Oberflächen der Epoxy-Platten nach 4 Mio. Überrollungen

Festigkeit, dass er sich nicht verdrücken lässt, und zum anderen wird aufgrund der nachgewiesenen guten Haftungseigenschaften (vgl. Kapitel 8.2.3) der Bindemittelfilm auf den Gesteinsoberflächen deutlich langsamer entfernt. Somit kommt der positive Einfluss des Gesteins auf die Griffigkeit wesentlich später zum Tragen.

10.5 Arbeits- und Umweltschutz

Der Arbeitsschutz bei der Herstellung und Verarbeitung von Epoxy Asphalt ist kritisch zu sehen, da bei der Mischgutherstellung im Laboratorium aufgrund der Dampfentwicklung eine Schutzausrüstung notwendig war. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass es sich bei dem verwendeten Epoxydharz um ein

standardisiertes und nicht auf einen Einsatz im Heißmischgut abgestimmtes Produkt handelt. Eine Modifizierung des Epoxydharzes hat somit ebenfalls eine Reduzierung der Emissionen zu berücksichtigen.

In der Vergangenheit wurde vereinzelt bereits Epoxy Asphalt als Oberflächenbelag auf Stahlbrücken eingesetzt (vgl. Kapitel 2.2.3), ohne dass eine Gefährdung der beteiligten Personen bekannt ist. Inwiefern die Erfüllung der Anforderungen an den Arbeitsschutz in China auf die Situation in Deutschland übertragbar ist, kann nicht beurteilt werden.

Zu klären ist ferner die Entwicklung von Stäuben beim Fräsen von Deckschichten aus Epoxy Asphalt. Wie verhält sich das ausgehärtete Epoxydharz in diesem Fall? Auch hier ist der Arbeits- und Umweltschutz zu prüfen.

Eine endgültige Klärung des Arbeits- und Umweltschutzes ist für eine großmaßstäbliche Anwendung zwar zwingend erforderlich, jedoch nicht Gegenstand der hier durchgeführten Untersuchungen.

10.6 Überlegungen zu Feldversuchen

Vor einem ersten Einsatz von Epoxydharz in der Praxis sind neben den unter Kapitel 10.5 aufgeführten Hinweisen zum Arbeits- und Umweltschutz einige weitere Punkte abzarbeiten, die aus der Bearbeitung dieses Projektes resultieren. Diese beinhalten im Wesentlichen die folgenden Aspekte:

Das im Rahmen dieser Forschungsarbeit verwendete Epoxydharz war ein Standardprodukt, welches nicht für einen Einsatz im Asphaltmischgut konzipiert wurde. Daher muss für eine großmaßstäbliche Anwendung ein System entwickelt werden, das speziell für eine Verarbeitung im Heißmischgut optimiert ist. Hierzu zählt nicht zuletzt eine ausreichend lange Verarbeitungszeit, um den Transport des Mischgutes von der Mischanlage zur Baustelle sowie eine entsprechende Einbau- und Verdichtbarkeit zu gewährleisten.

Die Zugabe des Epoxydharzes an der Mischanlage sollte analog zum Vorgehen im Labor erfolgen, d. h. zunächst die Zugabe des vorgemischten Harz-Härter-Systems in das zu verwendende Bitumen und anschließend die Dosierung des Gemisches zu den Gesteinskörnungen im Mischer. Auf diese Weise wird eine möglichst homogene Verteilung des Epoxydharzes im Bitumen und damit auch im Asphaltmischgut erreicht.

Darüber hinaus ist zu überprüfen, ob bei dem in der Praxis zum Einsatz kommenden Epoxydharz die im Labor benötigte 30-minütige Temperierphase erforderlich ist. Sollte dies der Fall sein, dann ist zu klären, wie dies in die Praxis umgesetzt werden kann. Idealerweise sollte hier die Zeit des Transportes des Mischgutes zur Baustelle genutzt werden. In diesem Fall wären allerdings Transportfahrzeuge mit Thermo-Kübel erforderlich, um die Temperatur des Mischgutes konstant zu halten.

Falls auch bei einer großmaßstäblichen Anwendung nur ein bestimmtes Zeitfenster für die Verarbeitung zur Verfügung steht, so ist einerseits pro Charge nur Mischgut für einen Lkw herzustellen und andererseits für jedes Fahrzeug eine exakte Dokumentation des Zeitplans bezüglich der Beendigung des Mischvorgangs, des Verladens auf den Lkw, der Ankunft auf der Baustelle, des spätesten Abgabetermins in den Fertiger usw. zu führen. Dieses Vorgehen entspricht den Erfahrungen aus China, wo bei den Brückenbelägen aus Epoxy Asphalt analog verfahren wurde (vgl. Kapitel 2.2.3). Zusätzlich ist in diesem Fall die Entfernung zwischen der Mischanlage und der Baustelle so gering wie möglich zu halten.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Prüfungen wurden alle an einem Splittmastixasphaltmischgut durchgeführt, da es sich hierbei um ein für stark belastete Verkehrsflächen geeignetes Mischgut handelt. Zu prüfen wäre gegebenenfalls auch, ob der Einsatz von Epoxydharz in einem Offenporigen Asphalt (OPA) Vorteile gegenüber einem OPA mit hochpolymermodifiziertem Bitumen bringen kann. Hier ist insbesondere die Haftung der Gesteinskörner an der Oberfläche der Deckschicht zu betrachten, die durch die Verwendung eines epoxydharzhaltigen Bindemittels möglicherweise verbessert werden könnte.

Nicht zuletzt durch die Einführung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) wird der Vermeidung von Abfall und damit dem Recycling bzw. der Wiederverwendung von gebrauchten Baustoffen eine erhöhte Bedeutung beigemessen. Daher ist auch im Falle des Epoxy Asphaltes die Frage der Wiederverwendung von Asphaltdeckschichten mit Epoxydharz zu diskutieren.

Die Untersuchungen zur Extrahierbarkeit haben gezeigt, dass eine Aufschmelzung des Mischgutes durchaus möglich ist. Inwiefern die Wiederverwendung von solchem Granulat in neuem Mischgut möglich ist, bedarf weiterer Forschung. Hierzu

wären Labormischungen aus frischen Baustoffen unter Zugabe von Granulat aus Epoxy Asphalt herzustellen und dessen Eignung nachzuweisen. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf eine Wirksamkeit des Epoxydharzes im späteren Asphaltmischgut.

Sollte eine Wiederverwendung im Heißmischgut nicht möglich sein, so bleibt die Verwendung als Zuschlagstoff in ungebundenen bzw. hydraulisch gebundenen Tragschichten als Alternative.

Ein erstes Gespräch mit einem Epoxydharzhersteller brachte die Erkenntnis, dass eine Modifizierung bereits existierender Epoxydharzsysteme bzw. die Konzeption eines neuen Systems unter Berücksichtigung der zuvor aufgeführten Anforderungen möglich scheint.

Ein Vergleich der Kosten einer Bauweise mit konventionellem Asphalt und einer mit Epoxy Asphalt wurde noch nicht angestellt. Hier gilt es, neben den Kosten für die Baustoffe auch die Kosten des aufwändigeren Mischanlagenbetriebes sowie des erhöhten logistischen Aufwandes während des Einbaus zu berücksichtigen. Anschließend sind die Kosten, die aufgrund der wesentlich längeren Lebensdauer der Deckschicht und somit der geringeren Unterhaltungs- und vor allem Erhaltungsmaßnahmen eingespart werden können, den mutmaßlich höheren Herstellkosten gegenüberzustellen. Hinzu kommt der geringere volkswirtschaftliche Schaden, der aufgrund von weniger Baustelleneinrichtungen für die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen und damit der Vermeidung von Verkehrsstaus erzielt werden kann.

IV. Zusammenfassung und Fazit

11 Zusammenfassung

Das deutsche Straßennetz besteht aus mehr als 600.000 km befestigten Straßen, von denen mehr als 90 % in Asphaltbauweise ausgeführt wurden. Dieses Asphaltstraßennetz von Bund, Ländern und Kommunen bildet u. a. die Grundlage für die Wirtschaftskraft des Standortes Bundesrepublik Deutschland.

Aufgrunddessen besteht das Bestreben, neben den bereits in der Praxis etablierten und bewährten Bauweisen mit Innovationen neue Straßenbefestigungen zu entwickeln, die hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eigenschaften und Anforderungen wie nachhaltige Tragfähigkeit und Gebrauchstaug-

lichkeit eine zusätzliche Steigerung der Qualität und Wirtschaftlichkeit erzielen sollen.

Eine Orientierung an den zur Zeit auf dem Markt vorhandenen und gebräuchlichen Baustoffen und Materialien zeigt, dass tatsächlich Möglichkeiten bestehen, mit denen langlebige Deckschichten entwickelt werden könnten. Eine dieser Möglichkeiten stellt die Verwendung von Epoxydharz als Bindemittelzusatz bzw. eine teilweise Substitution der gesamten Bitumenmenge im Asphaltmischgut und der dadurch entstehende „Epoxy Asphalt“ dar.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit sollte untersucht werden, inwiefern ein solcher Epoxy Asphalt einen Beitrag zur Entwicklung eines hochstandfesten und langlebigen Asphaltdeckschichtbelages liefern kann.

Die Verwendung von Epoxydharz im Bereich der Straßenbautechnik beschränkte sich in Deutschland in der Vergangenheit ausschließlich auf eine Kaltverarbeitung des 2-Komponentensystems. Im Ausland, namentlich in den USA sowie in China, wurde Epoxy Asphalt auf vereinzelt Stahlbrücken als Fahrbahnbelag verwendet.

Die Bearbeitung des Forschungsprojektes gliederte sich in drei Phasen. Die erste Phase beinhaltete grundlegende Untersuchungen mit unterschiedlichen Epoxydharzsystemen. Ziel dieser Versuche war die Identifizierung des Materialverhaltens im Asphaltmischgut, der dafür geeigneten Bedingungen sowie eine Bestimmung erster mechanischer Eigenschaften. Hierbei stellte sich heraus, dass ein Epoxydharzsystem mit Anhydridhärter ohne Verwendung eines Beschleunigers am geeignetsten ist.

In der zweiten Phase wurden mit dem in Phase I ausgewählten Epoxydharzsystem in unterschiedlichen Konzentrationen (15 % und 25 % Epoxy) die wichtigsten Bindemittel- und Mischgutkennwerte von Epoxy Asphalt mit Hilfe von standardisierten Prüfverfahren ermittelt und den Kennwerten von konventionellem Bindemittel bzw. Asphalt (mit Straßenbaubitumen und mit Polymermodifiziertem Bitumen) gegenübergestellt.

Die Bindemitteluntersuchungen an den Bitumen-Epoxy-Gemischen lieferten als wesentliche Erkenntnis, dass die Zugabe des Epoxydharzes eine deutliche Reduzierung der Viskosität bewirkt. Der Grund hierfür ist darin zu sehen, dass die beiden Komponenten Harz und Härter im Bitumen nicht miteinander reagieren und keine Aushärtung stattfindet.

Beide Epoxy Varianten besaßen eine deutlich verbesserte Verformungsbeständigkeit bei Wärme, wie die Ergebnisse der Spurbildungs- und der dynamischen Druckschwellversuche gezeigt haben. Die Probekörper aus Epoxy Asphalt wiesen erheblich kleinere Verformungen als die Probekörper der Referenzvarianten auf.

Durch die Zugabe von Epoxydharz konnten sowohl das Haftverhalten des Bindemittels am Einzelkorn als auch das Haftverhalten im Mischgut gegenüber den Referenzvarianten wesentlich verbessert werden. Zudem zeigten Scherversuche, dass eine ausreichende Verklebung zwischen der Asphaltbinder-schicht und der Deckschicht aus Epoxy Asphalt gewährleistet werden kann.

Die Überprüfung des Tieftemperaturverhaltens von Epoxy Asphalt mittels einaxialer Zugversuche und Abkühlversuchen lieferte keine verwertbaren Ergebnisse. Hier war festzustellen, dass die beiden Prüfverfahren für Epoxy Asphalt nicht geeignet sind bzw. die auf das Kälteverhalten von konventionellem Asphalt abgestimmten Prüfparameter nicht unmittelbar auf eine Prüfung von Epoxy Asphalt übertragen werden können.

Ferner konnte festgestellt werden, dass mit der Zugabe von Epoxydharz in das Asphaltmischgut der Widerstand gegen wiederholte zyklische Belastungen und damit der Ermüdungswiderstand deutlich verbessert werden.

Darüber hinaus lassen die Untersuchungsergebnisse auch erkennen, dass eine Zugabemenge von 25 % Epoxydharz zwar vereinzelt geringfügig bessere Ergebnisse bringt als „nur“ 15 %, an vielen Stellen die Ergebnisse jedoch nahezu identisch ausfallen. Daher war nach Abschluss der durchgeführten Prüfungen festzustellen, dass eine Zugabe von 15 % Epoxydharz im Asphaltmischgut für die Sicherstellung der hohen Standfestigkeit und Langlebigkeit ausreichend ist.

Im Zuge der Bearbeitung der ersten beiden Phasen ergaben sich weitere spezielle Fragestellungen, die über den Rahmen der grundsätzlichen und standardisierten Prüfungen hinausgingen.

So wurde zunächst versucht, die Ursache für das Ausbleiben der Reaktion von Harz und Härter im Bitumen zu finden. Dies geschah über eine Prüfung des Erweichungspunktes einerseits von Bindemittel-Füller-Gemischen und andererseits an mit Phosphorsäure versetzten Bindemitteln. Beide zunächst vermuteten Lösungsansätze lieferten je-

doch keine Erklärung für das Ausbleiben des Härtungsvorgangs.

Ferner wurde überprüft, ob und inwiefern Epoxy Asphalt nach der Aushärtung noch granuliert und anschließend extrahiert werden kann. Sowohl das Aufschmelzen des Mischgutes als auch die anschließende Trennung von Bindemittel und Gesteinskörnungen verliefen erfolgreich. Jedoch stellte sich die Frage nach dem Verbleib des Epoxydharzes nach der Extraktion. Eine chemische Analyse der Endprodukte der Extraktion (rückgewonnenes Bindemittel, Gesteinskörnungen und Füller) zeigte, dass nur etwa 60 % der ursprünglich zugegebenen Epoxydharzmenge im Bitumen verbleiben. An den Gesteinskörnern sowie im Füller konnten nur geringe Mengen an Epoxydharz gefunden werden. Der Verbleib des restlichen Epoxydharzes ist zu diesem Zeitpunkt nicht bekannt.

Bereits zu Beginn der Untersuchungen wurden einige Platten aus Epoxy Asphalt einer zehntonatigen Bewitterung im Freien ausgesetzt, um eine eventuelle witterungsbedingte Veränderung der Oberfläche zu überprüfen. Dies erfolgte durch eine im Abstand von vier Wochen durchgeführte Messung der Griffigkeit mittels SRT-Pendels. Hier konnte jedoch kein merklicher Einfluss einzelner jahreszeitlicher und damit klimatischer Veränderungen festgestellt werden.

In der Rundlaufprüfanlage der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde darüber hinaus die Entwicklung der Griffigkeit von Deckschichten aus Epoxy Asphalt unter einer Verkehrsbelastung untersucht. Die Messung der Griffigkeit erfolgte ebenfalls mittels SRT-Pendels und brachte die Erkenntnis, dass die Griffigkeit des Epoxy Asphaltes mutmaßlich etwas geringer (ca. drei SRT-Einheiten) als bei einem konventionellen Asphalt ist.

12 Fazit

Nach Abschluss der hier beschriebenen Untersuchungen sind die Auswirkungen von Epoxydharz im Asphaltmischgut bekannt und die Veränderungen der Eigenschaften konnten identifiziert werden.

Das Potenzial von Epoxy Asphalt als alternative und innovative Bauweise für hochbelastete Verkehrsflächen mit hoher Dauerhaftigkeit konnte im Labormaßstab zweifelsfrei nachgewiesen werden. Mehrere der geprüften wesentlichen Gebrauchseigenschaften des Epoxy Asphaltes erwiesen sich als

deutlich besser im Vergleich zu den beiden Referenzmischgütern. Daher ist zukünftig eine Fortschreibung der Untersuchungen in Form einer Anlage von Versuchsabschnitten im Maßstab 1:1 anzustreben. Hierbei sind die unter Kapitel 10.6 aufgeführten Punkte zu beachten und die offengebliebenen Fragestellungen zu beantworten.

Für eine großmaßstäbliche Anwendung sind eine enge Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen dem Hersteller des Epoxydharzes, dem Asphaltmischwerk sowie der einbauenden Firma erforderlich.

13 Literatur

- [1] Organisation For Economic Co-operation and Development: Economic Evaluation of Long-Life-Pavements. Phase I Report
- [2] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 16945, Reaktionsharze, Reaktionsmittel und Reaktionsharzmassen. Beuth Verlag
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für die Herstellung von Halbstarren Deckschichten (M HD). FGSV-Verlag, 2004
- [4] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für Griffigkeitsverbessernde Maßnahmen an Verkehrsflächen aus Asphalt. FGSV-Verlag, 2002
- [5] www.chemcosystems.com
- [6] Civil Engineering Magazine: Crossing the Yangtze. Ausgabe Februar 2002
- [7] www.bridgeweb.com
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (ZTV Asphalt – StB 01). FGSV-Verlag, 2001
- [9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt. FGSV-Verlag, 1998
- [10] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 1996, Prüfung von Asphalt. Teil 4, Prüfung von Asphalt; Herstellung von Probekörpern aus Mischgut. Beuth Verlag
- [11] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Arbeitsanleitung zur Prüfung von Asphalt. Teil 11: Herstellung von Asphaltprobeplatten im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (ALP A-StB, Teil 11). FGSV-Verlag, 2003
- [12] STÖCKERT, U.: Ein Beitrag zur Festlegung von Grenzwerten für den Schichtenverbund im Asphaltstraßenbau. Dissertation TU Darmstadt, 2002
- [13] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 12697, Prüfverfahren für Heißasphalt. Teil 1, Löslicher Bindemittelgehalt. Beuth Verlag
- [14] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau. Teil: Messverfahren SRT (TP Griff-StB (SRT)). FGSV-Verlag, 2004
- [15] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 1427, Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel. Bestimmung des Erweichungspunktes, Ring- und Kugel-Verfahren. Beuth Verlag
- [16] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 14770, Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel. Bestimmung des komplexen Schubmoduls und des Phasenwinkels – Dynamisches Scherrheometer (DSR). Beuth Verlag
- [17] STRAUBE, E., KRASS, K.: Straßenbau und Straßenerhaltung. Erich Schmidt Verlag, 8. Auflage 2005
- [18] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 52013, Prüfung von Bitumen. Bestimmung der Duktilität. Beuth Verlag
- [19] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 13589, Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel. Bestimmung der Streckeigenschaften von modifiziertem Bitumen mit dem Kraft-Duktilitäts-Verfahren. Beuth Verlag
- [20] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 13589, Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel. Bestimmung der Biegekiechsteifigkeit – Biegebalkenrheometer (BBR). Beuth Verlag
- [21] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 12697, Prüfverfahren für Heißasphalt. Teil 22, Spurbildungstest. Beuth Verlag
- [22] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für

Asphalt im Straßenbau. Teil 22: Spurbildungsversuch (TP A-22). Entwurfsfassung Stand 02/2007

- [23] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau, Teil: Einaxialer Druckschwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalten bei Wärme (TP A-StB). FGSV-Verlag, 1999
- [24] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 12697, Prüfverfahren für Heißasphalt. Teil 11, Bestimmung der Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen. Beuth Verlag
- [25] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 12697, Prüfverfahren für Heißasphalt. Teil 23, Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit von Asphalt-Probekörpern. Beuth Verlag
- [26] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 12697, Prüfverfahren für Heißasphalt. Teil 12, Bestimmung der Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Probekörpern. Beuth Verlag
- [27] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Begriffsbestimmungen, Teil: Straßenbautechnik. FGSV-Verlag, 2003
- [28] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Arbeitsanleitung zur Prüfung von Asphalt. Teil 4: Prüfung des Schichtenverbundes nach Leutner (ALP A-StB, Teil 4). FGSV-Verlag, 1999
- [29] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 12697, Prüfverfahren für Heißasphalt. Teil 24, Beständigkeit gegen Ermüdung. Beuth Verlag

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

1993

- S 1: Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-Baustoffen
Guth kostenlos
- S 2: Eignung von Grubenbergen als Baustoff für Tragschichten ohne Bindemittel
Guth kostenlos
- S 3: Altlastenerfassung durch geophysikalische Methoden
Faust kostenlos
- S 4: EPS-Hartschaum als Baustoff für Straßen
Bull-Wasser kostenlos
- S 5: Baubegleitende Messungen B 73n
Heinisch, Blume kostenlos
- S 6: Eignung überdeckter Fugen mit Querkraftübertragung
Fleisch, Bartz kostenlos

1994

- S 7: 33. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

1995

- S 8: Anleitung Qualitätsmanagementplan Asphalttragschichten
Freund, Stöckner € 12,50
- S 9: Meßwert- und rechnergestütztes Management der Straßenerhaltung – Niederschrift und Referate des Erfahrungsaustausches am 16. und 17. Mai 1995 in Berlin
€ 13,00
- S 10: 34. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

1996

- S 11: Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahrbahngeräusch und Rollwiderstand – Untersuchungen im Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn
Ullrich, Glaeser, Sander, Chudalla, Hasskelo, Löffler, Sievert € 15,00
- S 12: Offenporige Asphaltdeckschichten auf Außerortsstraßen – Projektgruppe „Lärmindernde Straßendecken“
€ 10,00
- S 13: Qualität von mineralischen Straßenbaustoffen
Tabbert € 16,50

1997

- S 14: 35. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50
- S 15: Anforderungen an Fugenfüllsysteme aus Temperaturdehnungen
Eisenmann, Lechner € 12,50
- S 16: Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnahmen im Lande Brandenburg
Schnüll, Handke, Seitz € 22,00

1998

- S 17: Restnutzungsdauer von Asphalttschichten – Prüfung der Grundlagen zu ihrer Berechnung
Wolf, Schickl € 13,00

- S 18: 2. Erfahrungsaustausch über rechnergestütztes Straßenerhaltungsmanagement
€ 14,50

- S 19: Einfluß der Bruchflächigkeit von Edelsplitten auf die Standfestigkeit von Asphalten
Teil 1: Literaturlauswertung
Beckedahl, Nöslcr, Straube
Teil 2: Einfluß des Rundkornanteils auf die Scherfestigkeit von Gesteinskörnungen
Diel € 16,50

1999

- S 20: 36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00
- S 21: Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und langjähriger Praxis – Kompendium
Birmann, Burger, Weingart, Westermann
Teil 1: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (1)
Schmidt, Bohlmann, Vogel, Westermann
Teil 2: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (2)
Weingart, Dreßler
Teil 3: Messungen an einer Versuchsstrecke mit Walzbeton-Tragschicht an der B54 bei Stein-Neukirch
Eisenmann, Birmann
Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichteverlauf und Ebenheit von Walzbeton
Burger € 17,00

2000

- S 22: 3. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Nutzen der systematischen Straßenerhaltung
€ 19,50
- S 23: Prüfen von Gesteinskörnungen für das Bauwesen
Ballmann, Collins, Delalande, Mishellany, v. d. Elshout, Sym € 10,50

2001

- S 24: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Konsolidationsverfahren -
Teil 1: Vergleichende Betrachtung von Konsolidationsverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund
Teil 2: Erfahrungsberichte über ausgeführte Straßenbauprojekte auf wenig tragfähigem Untergrund unter Verwendung von Konsolidationsverfahren
Koch € 17,50
- S 25: 37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50

2002

- S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Aufgeständerte Gründungspolster
Rogner, Stelter € 14,00
- S 27: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von Markierungsstoffen – Neuentwicklung im Rahmen der Einführung der ZTV-M 02
Killing, Hirsch, Boubaker, Krotmann € 11,50
- S 28: Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundesfernstraßen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 25./26. September 2000 in Saarbrücken
€ 13,00
- S 29: Nichtverkehrliche Straßennutzung – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saarbrücken
€ 13,50

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

1993

- S 1: Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-Baustoffen
Guth kostenlos
- S 2: Eignung von Grubenbergen als Baustoff für Tragschichten ohne Bindemittel
Guth kostenlos
- S 3: Altlastenerfassung durch geophysikalische Methoden
Faust kostenlos
- S 4: EPS-Hartschaum als Baustoff für Straßen
Bull-Wasser kostenlos
- S 5: Baubegleitende Messungen B 73n
Heinisch, Blume kostenlos
- S 6: Eignung überdeckter Fugen mit Querkraftübertragung
Fleisch, Bartz kostenlos

1994

- S 7: 33. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

1995

- S 8: Anleitung Qualitätsmanagementplan Asphalttragschichten
Freund, Stöckner € 12,50
- S 9: Meßwert- und rechnergestütztes Management der Straßenerhaltung – Niederschrift und Referate des Erfahrungsaustausches am 16. und 17. Mai 1995 in Berlin
€ 13,00
- S 10: 34. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

1996

- S 11: Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahrbahngeräusch und Rollwiderstand – Untersuchungen im Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn
Ullrich, Glaeser, Sander, Chudalla, Hasskelo, Löffler, Sievert € 15,00
- S 12: Offenporige Asphaltdeckschichten auf Außerortsstraßen – Projektgruppe „Lärmindernde Straßendecken“
€ 10,00
- S 13: Qualität von mineralischen Straßenbaustoffen
Tabbert € 16,50

1997

- S 14: 35. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50
- S 15: Anforderungen an Fugenfüllsysteme aus Temperaturdehnungen
Eisenmann, Lechner € 12,50
- S 16: Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnahmen im Lande Brandenburg
Schnüll, Handke, Seitz € 22,00

1998

- S 17: Restnutzungsdauer von Asphalttschichten – Prüfung der Grundlagen zu ihrer Berechnung
Wolf, Schickl € 13,00

- S 18: 2. Erfahrungsaustausch über rechnergestütztes Straßen-erhaltungsmanagement
€ 14,50

- S 19: Einfluß der Bruchflächigkeit von Edelsplitten auf die Standfestigkeit von Asphalten
Teil 1: Literaturlauswertung
Beckedahl, Nöslcr, Straube
Teil 2: Einfluß des Rundkornanteils auf die Scherfestigkeit von Gesteinskörnungen
Diel € 16,50

1999

- S 20: 36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00
- S 21: Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und lang-jähriger Praxis – Kompendium
Birmann, Burger, Weingart, Westermann
Teil 1: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (1)
Schmidt, Bohlmann, Vogel, Westermann
Teil 2: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (2)
Weingart, Dreßler
Teil 3: Messungen an einer Versuchsstrecke mit Walzbeton-Trag-schicht an der B54 bei Stein-Neukirch
Eisenmann, Birmann
Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichte-verlauf und Ebenheit von Walzbeton
Burger € 17,00

2000

- S 22: 3. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Nutzen der systematischen Straßenerhaltung
€ 19,50
- S 23: Prüfen von Gesteinskörnungen für das Bauwesen
Ballmann, Collins, Delalande, Mishellany, v. d. Elshout, Sym € 10,50

2001

- S 24: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Konsolidationsverfahren -
Teil 1: Vergleichende Betrachtung von Konsolidationsverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund
Teil 2: Erfahrungsberichte über ausgeführte Straßenbauprojekte auf wenig tragfähigem Untergrund unter Verwendung von Konsolidationsverfahren
Koch € 17,50
- S 25: 37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50

2002

- S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Aufgeständerte Gründungspolster
Rogner, Stelter € 14,00
- S 27: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von Markierungsstoffen – Neuentwicklung im Rahmen der Einführung der ZTV-M 02
Killing, Hirsch, Boubaker, Krotmann € 11,50
- S 28: Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundesfernstraßen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 25./26. September 2000 in Saarbrücken
€ 13,00
- S 29: Nichtverkehrliche Straßennutzung – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saarbrücken
€ 13,50

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

1993

- S 1: Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-Baustoffen
Guth kostenlos
- S 2: Eignung von Grubenbergen als Baustoff für Tragschichten ohne Bindemittel
Guth kostenlos
- S 3: Altlastenerfassung durch geophysikalische Methoden
Faust kostenlos
- S 4: EPS-Hartschaum als Baustoff für Straßen
Bull-Wasser kostenlos
- S 5: Baubegleitende Messungen B 73n
Heinisch, Blume kostenlos
- S 6: Eignung überdeckter Fugen mit Querkraftübertragung
Fleisch, Bartz kostenlos

1994

- S 7: 33. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

1995

- S 8: Anleitung Qualitätsmanagementplan Asphalttragschichten
Freund, Stöckner € 12,50
- S 9: Meßwert- und rechnergestütztes Management der Straßenerhaltung – Niederschrift und Referate des Erfahrungsaustausches am 16. und 17. Mai 1995 in Berlin
€ 13,00
- S 10: 34. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

1996

- S 11: Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahrbahngeräusch und Rollwiderstand – Untersuchungen im Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn
Ullrich, Glaeser, Sander, Chudalla, Hasskelo, Löffler, Sievert € 15,00
- S 12: Offenporige Asphaltdeckschichten auf Außerortsstraßen – Projektgruppe „Lärmindernde Straßendecken“
€ 10,00
- S 13: Qualität von mineralischen Straßenbaustoffen
Tabbert € 16,50

1997

- S 14: 35. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50
- S 15: Anforderungen an Fugenfüllsysteme aus Temperaturdehnungen
Eisenmann, Lechner € 12,50
- S 16: Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnahmen im Lande Brandenburg
Schnüll, Handke, Seitz € 22,00

1998

- S 17: Restnutzungsdauer von Asphalttschichten – Prüfung der Grundlagen zu ihrer Berechnung
Wolf, Schickl € 13,00

- S 18: 2. Erfahrungsaustausch über rechnergestütztes Straßen-erhaltungsmanagement
€ 14,50

- S 19: Einfluß der Bruchflächigkeit von Edelsplitten auf die Standfestigkeit von Asphalten
Teil 1: Literaturlauswertung
Beckedahl, Nöslcr, Straube
Teil 2: Einfluß des Rundkornanteils auf die Scherfestigkeit von Gesteinskörnungen
Diel € 16,50

1999

- S 20: 36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00
- S 21: Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und langjähriger Praxis – Kompendium
Birmann, Burger, Weingart, Westermann
Teil 1: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (1)
Schmidt, Bohlmann, Vogel, Westermann
Teil 2: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (2)
Weingart, Dreßler
Teil 3: Messungen an einer Versuchsstrecke mit Walzbeton-Tragschicht an der B54 bei Stein-Neukirch
Eisenmann, Birmann
Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichteverlauf und Ebenheit von Walzbeton
Burger € 17,00

2000

- S 22: 3. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Nutzen der systematischen Straßenerhaltung
€ 19,50
- S 23: Prüfen von Gesteinskörnungen für das Bauwesen
Ballmann, Collins, Delalande, Mishellany, v. d. Elshout, Sym € 10,50

2001

- S 24: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Konsolidationsverfahren -
Teil 1: Vergleichende Betrachtung von Konsolidationsverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund
Teil 2: Erfahrungsberichte über ausgeführte Straßenbauprojekte auf wenig tragfähigem Untergrund unter Verwendung von Konsolidationsverfahren
Koch € 17,50
- S 25: 37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50

2002

- S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Aufgeständerte Gründungspolster
Rogner, Stelter € 14,00
- S 27: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von Markierungsstoffen – Neuentwicklung im Rahmen der Einführung der ZTV-M 02
Killing, Hirsch, Boubaker, Krotmann € 11,50
- S 28: Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundesfernstraßen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 25./26. September 2000 in Saarbrücken
€ 13,00
- S 29: Nichtverkehrliche Straßennutzung – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saarbrücken
€ 13,50

2003

- S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System –
€ 19,50
- S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaus
Golkowski € 13,50
- S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und 24. September 2002 in Saarbrücken € 13,50
- S 33: 38. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 17,50
- S 34: Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen
Hillmann, Koch, Wolf € 14,00

2004

- S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50
- S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50
- S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

2005

- S 38: Beschleunigung und Verzögerung im Straßenbau – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen am 27./28. September 2004 in Saarbrücken € 16,50
- S 39: Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt
Renken, Büchler € 16,00
- S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 17,50
- S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben
Schröder € 13,50
- S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymer-modifizierten Bitumen nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren und nach Rückgewinnung aus Asphalt
Wörner, Metz € 17,50
- S 43: Eignung frostempfindlicher Böden für die Behandlung mit Kalk
Krajewski, Kuhl € 14,00
- S 44: 30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund
Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann € 21,50

2006

- S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen
Leutner, Lorenz, Schmoeckel, Donath, Bald, Grätz, Riedl, Möller, Oeser, Wellner, Werkmeister, Leykauf, Simon € 21,00
- S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen
Steinauer, Ueckermann, Maerschalk € 21,00

- S 47: Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hase, Oelkers € 24,50
- S 48: Verdichtbarkeit von Asphaltmischgut unter Einsatz des Walzsektor-Verdichtungsgerätes
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

2007

- S 49: Zweischichtiger offenporiger Asphalt in Kompaktbauweise
Ripke € 12,50
- S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitsausschusses "Straßenrecht" der GSV am 25./26. September 2006 in Tecklenburg-Leeden
€ 15,50
- S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Killing, Hirsch € 14,50
- S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hirsch € 16,00

2008

- S 53: Straßenrecht und Föderalismus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 24./25. September 2007 in Bonn € 15,50
- S 54: Entwicklung langlebiger dünner Deckschichten aus Beton
Silwa, Roßbach, Wenzl € 12,50
- S 55: Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSuB)
Leykauf, Birmann, Weller € 13,50

2009

- S 56: Vergangenheit und Zukunft der deutschen Straßenverwaltung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 22./23. September 2008 in Bonn € 14,00
- S 57: Vergleichende Untersuchung zweischichtiger offenporiger Asphaltbauweisen
Ripke € 13,50
- S 58: Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt
Ludwig € 15,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.

2003

- S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System – € 19,50
- S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaus
Golkowski € 13,50
- S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und 24. September 2002 in Saarbrücken € 13,50
- S 33: 38. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 17,50
- S 34: Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen
Hillmann, Koch, Wolf € 14,00

2004

- S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50
- S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50
- S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

2005

- S 38: Beschleunigung und Verzögerung im Straßenbau – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen am 27./28. September 2004 in Saarbrücken € 16,50
- S 39: Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt
Renken, Büchler € 16,00
- S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 17,50
- S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben
Schröder € 13,50
- S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymer-modifizierten Bitumen nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren und nach Rückgewinnung aus Asphalt
Wörner, Metz € 17,50
- S 43: Eignung frostempfindlicher Böden für die Behandlung mit Kalk
Krajewski, Kuhl € 14,00
- S 44: 30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund
Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann € 21,50

2006

- S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen
Leutner, Lorenz, Schmoeckel, Donath, Bald, Grätz, Riedl, Möller, Oeser, Wellner, Werkmeister, Leykauf, Simon € 21,00
- S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen
Steinauer, Ueckermann, Maerschalk € 21,00

- S 47: Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hase, Oelkers € 24,50
- S 48: Verdichtbarkeit von Asphaltmischgut unter Einsatz des Walzsektor-Verdichtungsgerätes
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

2007

- S 49: Zweischichtiger offenporiger Asphalt in Kompaktbauweise
Ripke € 12,50
- S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitsausschusses "Straßenrecht" der GGSV am 25./26. September 2006 in Tecklenburg-Leeden € 15,50
- S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Killing, Hirsch € 14,50
- S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hirsch € 16,00

2008

- S 53: Straßenrecht und Föderalismus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 24./25. September 2007 in Bonn € 15,50
- S 54: Entwicklung langlebiger dünner Deckschichten aus Beton
Silwa, Roßbach, Wenzl € 12,50
- S 55: Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSuB)
Leykauf, Birmann, Weller € 13,50

2009

- S 56: Vergangenheit und Zukunft der deutschen Straßenverwaltung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 22./23. September 2008 in Bonn € 14,00
- S 57: Vergleichende Untersuchung zweischichtiger offenporiger Asphaltbauweisen
Ripke € 13,50
- S 58: Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt
Ludwig € 15,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

1993

- S 1: Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-Baustoffen
Guth kostenlos
- S 2: Eignung von Grubenbergen als Baustoff für Tragschichten ohne Bindemittel
Guth kostenlos
- S 3: Altlastenerfassung durch geophysikalische Methoden
Faust kostenlos
- S 4: EPS-Hartschaum als Baustoff für Straßen
Bull-Wasser kostenlos
- S 5: Baubegleitende Messungen B 73n
Heinisch, Blume kostenlos
- S 6: Eignung überdeckter Fugen mit Querkraftübertragung
Fleisch, Bartz kostenlos

1994

- S 7: 33. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

1995

- S 8: Anleitung Qualitätsmanagementplan Asphalttragschichten
Freund, Stöckner € 12,50
- S 9: Meßwert- und rechnergestütztes Management der Straßenerhaltung – Niederschrift und Referate des Erfahrungsaustausches am 16. und 17. Mai 1995 in Berlin
€ 13,00
- S 10: 34. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

1996

- S 11: Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahrbahngeräusch und Rollwiderstand – Untersuchungen im Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn
Ullrich, Glaeser, Sander, Chudalla, Hasskelo, Löffler, Sievert € 15,00
- S 12: Offenporige Asphaltdeckschichten auf Außerortsstraßen – Projektgruppe „Lärmindernde Straßendecken“
€ 10,00
- S 13: Qualität von mineralischen Straßenbaustoffen
Tabbert € 16,50

1997

- S 14: 35. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50
- S 15: Anforderungen an Fugenfüllsysteme aus Temperaturdehnungen
Eisenmann, Lechner € 12,50
- S 16: Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnahmen im Lande Brandenburg
Schnüll, Handke, Seitz € 22,00

1998

- S 17: Restnutzungsdauer von Asphalttschichten – Prüfung der Grundlagen zu ihrer Berechnung
Wolf, Schickl € 13,00

- S 18: 2. Erfahrungsaustausch über rechnergestütztes Straßenerhaltungsmanagement
€ 14,50

- S 19: Einfluß der Bruchflächigkeit von Edelsplitten auf die Standfestigkeit von Asphalten
Teil 1: Literaturlauswertung
Beckedahl, Nöslcr, Straube
Teil 2: Einfluß des Rundkornanteils auf die Scherfestigkeit von Gesteinskörnungen
Diel € 16,50

1999

- S 20: 36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00
- S 21: Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und langjähriger Praxis – Kompendium
Birmann, Burger, Weingart, Westermann
Teil 1: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (1)
Schmidt, Bohlmann, Vogel, Westermann
Teil 2: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (2)
Weingart, Dreßler
Teil 3: Messungen an einer Versuchsstrecke mit Walzbeton-Tragschicht an der B54 bei Stein-Neukirch
Eisenmann, Birmann
Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichteverlauf und Ebenheit von Walzbeton
Burger € 17,00

2000

- S 22: 3. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Nutzen der systematischen Straßenerhaltung
€ 19,50
- S 23: Prüfen von Gesteinskörnungen für das Bauwesen
Ballmann, Collins, Delalande, Mishellany, v. d. Elshout, Sym € 10,50

2001

- S 24: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Konsolidationsverfahren -
Teil 1: Vergleichende Betrachtung von Konsolidationsverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund
Teil 2: Erfahrungsberichte über ausgeführte Straßenbauprojekte auf wenig tragfähigem Untergrund unter Verwendung von Konsolidationsverfahren
Koch € 17,50
- S 25: 37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50

2002

- S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Aufgeständerte Gründungspolster
Rogner, Stelter € 14,00
- S 27: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von Markierungsstoffen – Neuentwicklung im Rahmen der Einführung der ZTV-M 02
Killing, Hirsch, Boubaker, Krotmann € 11,50
- S 28: Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundesfernstraßen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 25./26. September 2000 in Saarbrücken
€ 13,00
- S 29: Nichtverkehrliche Straßennutzung – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saarbrücken
€ 13,50

2003

- S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System – € 19,50
- S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaus
Golkowski € 13,50
- S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und 24. September 2002 in Saarbrücken € 13,50
- S 33: 38. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 17,50
- S 34: Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen
Hillmann, Koch, Wolf € 14,00

2004

- S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50
- S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50
- S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

2005

- S 38: Beschleunigung und Verzögerung im Straßenbau – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen am 27./28. September 2004 in Saarbrücken € 16,50
- S 39: Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt
Renken, Büchler € 16,00
- S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 17,50
- S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben
Schröder € 13,50
- S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymer-modifizierten Bitumen nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren und nach Rückgewinnung aus Asphalt
Wörner, Metz € 17,50
- S 43: Eignung frostempfindlicher Böden für die Behandlung mit Kalk
Krajewski, Kuhl € 14,00
- S 44: 30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund
Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann € 21,50

2006

- S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen
Leutner, Lorenz, Schmoeckel, Donath, Bald, Grätz, Riedl, Möller, Oeser, Wellner, Werkmeister, Leykauf, Simon € 21,00
- S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen
Steinauer, Ueckermann, Maerschalk € 21,00

- S 47: Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hase, Oelkers € 24,50
- S 48: Verdichtbarkeit von Asphaltmischgut unter Einsatz des Walzsektor-Verdichtungsgerätes
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

2007

- S 49: Zweischichtiger offenporiger Asphalt in Kompaktbauweise
Ripke € 12,50
- S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitsausschusses "Straßenrecht" der GGSV am 25./26. September 2006 in Tecklenburg-Leeden € 15,50
- S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Killing, Hirsch € 14,50
- S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hirsch € 16,00

2008

- S 53: Straßenrecht und Föderalismus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 24./25. September 2007 in Bonn € 15,50
- S 54: Entwicklung langlebiger dünner Deckschichten aus Beton
Silwa, Roßbach, Wenzl € 12,50
- S 55: Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSuB)
Leykauf, Birmann, Weller € 13,50

2009

- S 56: Vergangenheit und Zukunft der deutschen Straßenverwaltung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 22./23. September 2008 in Bonn € 14,00
- S 57: Vergleichende Untersuchung zweischichtiger offenporiger Asphaltbauweisen
Ripke € 13,50
- S 58: Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt
Ludwig € 15,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.

2003

- S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System –
€ 19,50
- S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaus
Golkowski € 13,50
- S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und 24. September 2002 in Saarbrücken € 13,50
- S 33: 38. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 17,50
- S 34: Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen
Hillmann, Koch, Wolf € 14,00

2004

- S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50
- S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50
- S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

2005

- S 38: Beschleunigung und Verzögerung im Straßenbau – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen am 27./28. September 2004 in Saarbrücken € 16,50
- S 39: Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt
Renken, Büchler € 16,00
- S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 17,50
- S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben
Schröder € 13,50
- S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymer-modifizierten Bitumen nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren und nach Rückgewinnung aus Asphalt
Wörner, Metz € 17,50
- S 43: Eignung frostempfindlicher Böden für die Behandlung mit Kalk
Krajewski, Kuhl € 14,00
- S 44: 30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund
Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann € 21,50

2006

- S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen
Leutner, Lorenz, Schmoedel, Donath, Bald, Grätz, Riedl, Möller, Oeser, Wellner, Werkmeister, Leykauf, Simon € 21,00
- S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen
Steinauer, Ueckermann, Maerschalk € 21,00

- S 47: Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hase, Oelkers € 24,50
- S 48: Verdichtbarkeit von Asphaltmischgut unter Einsatz des Walzsektor-Verdichtungsgerätes
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

2007

- S 49: Zweischichtiger offenporiger Asphalt in Kompaktbauweise
Ripke € 12,50
- S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitsausschusses "Straßenrecht" der GGSV am 25./26. September 2006 in Tecklenburg-Leeden
€ 15,50
- S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Killing, Hirsch € 14,50
- S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hirsch € 16,00

2008

- S 53: Straßenrecht und Föderalismus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 24./25. September 2007 in Bonn € 15,50
- S 54: Entwicklung langlebiger dünner Deckschichten aus Beton
Silwa, Roßbach, Wenzl € 12,50
- S 55: Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSuB)
Leykauf, Birmann, Weller € 13,50

2009

- S 56: Vergangenheit und Zukunft der deutschen Straßenverwaltung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 22./23. September 2008 in Bonn € 14,00
- S 57: Vergleichende Untersuchung zweischichtiger offenporiger Asphaltbauweisen
Ripke € 13,50
- S 58: Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt
Ludwig € 15,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.