

Dynamische Untersuchungen an reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 27

bast

Dynamische Untersuchungen an reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen

von

Manfred Eilers
Walter Ritter
Gottfried Stoll

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 27

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, Referat 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, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 97221:
Dynamische Untersuchungen an reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen

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

Redaktion:
Referat 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

ISSN 0943-9293
ISBN 3-89701-402-5

Bergisch Gladbach, September 1999

Kurzfassung - Abstract

Dynamische Untersuchungen an reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen

Reaktionsharzgebundene Dünnbeläge (RHD-Beläge) gemäß dem „Merkblatt für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl (Februar 1984)“ werden als Beläge bis zu einer Dicke von 15 mm auf stählernen Fahrbahnplatten und Dienststeg-, Geh- und Radwegflächen angewendet. Ihre bevorzugten Anwendungsbereiche sind Fahrbahnen auf beweglichen Brücken, Festbrückengeräten und Fußgängerbrücken sowie Nebenbereiche von stationären Brücken.

Die Anforderungen, die an die RHD-Beläge gestellt werden, sind bisher im „Merkblatt für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl“ und der „Technischen Prüfvorschrift für die Durchführung der Grundprüfung mit Anforderungen und Toleranzen“ von 1984 geregelt, die zur Zeit durch den Arbeitskreis 7.10.2 „Beläge auf Stahlbrücken“ überarbeitet und in „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Herstellung von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen auf Stahl“ (ZTV-RHD-ST) umgewandelt werden.

Hierbei wird die im Merkblatt vorgeschriebene einjährige Praxiserprobung durch Auslagerung auf unter Verkehr liegenden Stahlflachstraßentafeln durch eine Dauerschwellbiegeprüfung in Anlehnung an die Dauerschwellbiegeprüfung nach den „Technischen Prüfvorschriften für die Prüfung der Dichtungsschichten und Abdichtungssysteme für Brückenbeläge auf Stahl“ (TP-BEL-ST) ersetzt, wozu im Rahmen dieses Projektes Untersuchungen durchgeführt wurden.

Es konnte eindeutig nachgewiesen werden, daß eine praxisgerechte direkte Lasteinleitung von oben auf den Belag des Probekörpers bei der Dauerschwellbiegeprüfung für RHD-Beläge möglich ist, was in den Entwurf der Dauerschwellbiegeprüfung eingearbeitet wurde. Die festgelegten Prüfbedingungen für die Dauerschwellbiegeprüfung wurden mit allen zur Zeit verwendeten Bindemittelarten überprüft und abgesichert.

Die Möglichkeit der Überbeschichtung auch länger liegender Lagen der Deckschicht eines RHD-Belages nach sorgfältiger Vorbereitung der Unterlage konnte nachgewiesen werden

Ebenfalls wurde die Frage geklärt, ob RHD-Beläge auch in größeren Schichtdicken, z. B. wegen des Ausgleiches von Unebenheiten der Fahrbahntafel oder eines Gradientenausgleiches eingebaut werden können.

Dynamic investigations of reaction resin-bonded thin deck pavements

Reaction resin-bonded thin deck pavements (RHD pavements), as defined in the "Recommendations for Reaction Resin-Bonded Thin Deck Pavements for Use on Steel (February 1984)" are applied as pavements on steel carriageway slabs and servicing cat-walk, foot-path and cycle path surfaces in a thickness of up to 15mm. The most popular areas of application are pavements on movable bridges, devices on non-opening bridges, pedestrian bridges and areas adjacent to stationary bridges.

The requirements placed on RHD pavements have been thus far regulated in the "Recommendations for Reaction Resin-Bonded Thin Deck Pavements for Use on Steel" and in the Technical Provisions concerning the Conduction of the Basic Test with Requirements and Tolerances" of 1984, which is at present being revised by work group 7.10.2 "Pavements on Steel Bridges" and transformed into the "Additional Technical Contract Stipulations and Codes of Practice for the Manufacture of Reaction Resin-Bonded Thin Deck Pavements for Use on Steel" (ZTV-RHD-ST).

The one-year practical test prescribed in the guidelines which comprises laying the pavement on auxiliary steel floor plates subject to traffic is replaced by a Dauerschwellbiegeprüfung (pulsating fatigue test under bending stresses) based on the Dauerschwellbiegeprüfung pursuant to the "Technical Provisions concerning the Examination of Waterproofing Layers and Sealing Systems for Deck Pavements Designed for Use on Steel" (TP-BEL-ST) into which investigations were conducted as part of this project.

It was possible to show that a true-to-life, direct load application from above onto the pavement of the test specimen in the Dauerschwellbiegeprüfung is possible for RHD pavements; this was incorporated into the design of the Dauerschwellbiegeprüfung. The test conditions laid down for the Dauerschwellbiegeprüfung were tested and supported with all types of binder used at the present time.

It was shown that it was possible, after careful preparation of the surface, to overlay layers of the wearing course of a RHD pavement, even if they had been lying for a long time.

It was also clarified as to whether RHD pavements could be installed in thicker layers, e.g. in order to compensate for unevenness in the floor plate or such caused by a gradient.

Inhalt	
1	Einleitung 7
2	Dauerschwellbiegeprüfung nach den TP-BEL-ST 8
3	Versuchsbedingungen 9
3.1	Untersuchung einer praxisgerechten Lasteinleitung auf den Belag (Versuchsreihen 1 und 2) 9
3.2	Untersuchungen an zweilagigen, ausgelagerten Probekörpern (Versuchsreihe 3) 11
3.3	Untersuchungen mit den in der TP-RHD-ST festgelegten Versuchsbedingungen (Versuchsreihen 4 und 5) 11
3.4	Untersuchungen an 30 mm dicken, dreilagigen Probekörpern (Versuchsreihe 6) 11
3.5	Untersuchungen an einem bei - 10 °C ausgehärteten Belagsystem (Versuchsreihe 7) 11
3.6	Untersuchungen mit einer um den Faktor 1,5 erhöhten Belastung der Probekörper (Versuchsreihe 8) 11
3.7	Untersuchungen einer praxisgerechten Lasteinleitung an Probekörpern mit 12-mm-Probepplatten (Versuchsreihe 9) . 11
4	Versuchsanordnung, Probekörper 12
4.1	Prüfeinrichtung 12
4.2	Probekörper 12
4.3	Belastung 12
4.4	Klimaschrank 13
4.5	Meßeinrichtung 15
5	Beschreibung der untersuchten Belagsysteme 15
5.1	Allgemeines 15
5.2	Epoxidharzsysteme 15
5.3	PMMA-Systeme 15
5.4	Polyurethansysteme 16
5.5	Epoxidharz/Polyurethan-Systeme 16
6	Untersuchungen zur direkten Lasteinleitung 18
7	Dauerschwellbiegeprüfung an ausgelagerten Probekörpern mit zweilagiger Deckschicht 20
8	Durchführung der Dauerschwellbiegeprüfung unter den festgelegten Prüfungsbedingungen 21
9	Untersuchungen an 30 mm dicken, dreilagigen Probekörpern 24
10	Untersuchungen an zwei bei - 10 °C hergestellten Probekörpern 25
11	Untersuchungen mit einer um den Faktor 1,5 erhöhten Belastung der Probekörper 26
12	Untersuchungen einer praxisgerechten Lasteinleitung an Probekörpern mit 12-mm-Probepplatten 27
13	Zusammenfassung und Ausblick 29
14	Literatur 30

1 Einleitung

Reaktionsharzgebundene Dünneläge (RHD-Beläge) gemäß dem „Merkblatt für reaktionsharzgebundene Dünneläge auf Stahl (Februar 1984)“ [1] werden als Beläge bis zu einer Dicke von 15 mm auf stählernen Fahrbahnplatten und Dienststeg-, Geh- und Radwegflächen angewendet. Sie schützen die Stahloberfläche und verbessern die Griffigkeit. Ihre bevorzugten Anwendungsbereiche sind Fahrbahnen auf beweglichen Brücken (z. B. Klappbrücken), auf Festbrückengerät und Fußgängerbrücken und auf Nebenbereichen von stationären Brücken (z. B. auf Geh- und Radwegen, Dienststegen und Schrammborden).

Die Anforderungen, die an die RHD-Beläge und die Ausführung der Arbeiten mit RHD-Belägen gestellt werden, sind im „Merkblatt für reaktionsharzgebundene Dünneläge auf Stahl“ und der „Technischen Prüfvorschrift für die Durchführung der Grundprüfung mit Anforderungen und Toleranzen“ von 1984 geregelt. Als Grundlage für dieses Merkblatt und die Technischen Prüfvorschriften mit den Anforderungen und Toleranzen dienten seiner Zeit umfangreiche systematische Untersuchungsreihen mit Dünnelägen, die in den Jahren 1974 bis 1980 durchgeführt wurden [2].

Da sich die verwendeten Reaktionsharz-Grundstoffe und die Prüfmöglichkeiten geändert bzw. weiterentwickelt hatten, wurde im Jahr 1989 im damaligen Arbeitskreis 7.6.2 „Brückenbeläge auf Stahl“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), jetzt Arbeitskreis 7.10.2 „Beläge auf Stahlbrücken“, die Überarbeitung des „Merkblattes für reaktionsharzgebundene Dünneläge“ und Umwandlung in „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Herstellung von reaktionsharzgebundenen Dünnelägen auf Stahl“ (ZTV-RHD-ST) beschlossen [3].

Eine der Hauptanforderungen an RHD-Beläge entsprechend dem Merkblatt war der Nachweis der Praxistauglichkeit, der durch eine einjährige Praxiserprobung durch Auslagerung auf unter Verkehr liegenden Stahlflachstraßen-Tafeln erbracht werden mußte. Diese Stahlflachstraßen werden aber seit einiger Zeit nicht mehr eingesetzt, so daß u. a. ein anderer Nachweis der Praxistauglichkeit der einzelnen Belagsysteme entwickelt werden mußte.

Als Ersatzlösung wurde zunächst die bereits 1975 auf der Autobahn Berlin - Dresden, Richtungsfahrbahn Dresden - Berlin eingerichtete Prüfeinrichtung (Prüfeinrichtung Ragow, drei orthotrope Fahrbahn-

platten) zur Verwendung nach einer entsprechenden Überprüfung und Instandsetzung vorgesehen, ergänzt durch eine zu entwickelnde Laborprüfung [4]. Die Prüfeinrichtung Ragow wurde dann aber kurzfristig rückgebaut und steht nicht mehr zur Verfügung.

Es wurde der Neubau einer entsprechenden Prüfeinrichtung erwogen, den das Autobahnamt Brandenburg als Ersatzlösung, mit externer Kostenbeteiligung angeboten hatte. Diese Möglichkeit wurde aber aus Kostengründen, vor allem auch der laufenden Unterhaltungskosten wegen, abgelehnt.

Es wurde im Rahmen des Projektes 89 211 der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) untersucht, inwieweit der Innentrommelprüfstand der BASt für die Prüfung der Praxistauglichkeit der RHD-Beläge verwendet werden kann [5]. Um die den RHD-Belag schädigenden Belastungen im Innentrommelprüfstand zu simulieren, müßte aber entweder die Radlast des verwendeten Belastungsrades um ein Vielfaches erhöht werden, was nicht möglich ist, oder die Dicke der verwendeten Kassettenbleche müßte deutlich verringert werden. Bei einer Verringerung der Blechdicke der Unterlage treten aber infolge von Verformungen große dynamische Belastungen auf. Dies sind teilweise gewünschte, der Praxis entsprechende dynamische Belastungen, teilweise aber auch durch die Versuchsanlage bedingte dynamische Belastungen. Der Innentrommelprüfstand ist nicht in der Lage, diese dynamischen Belastungen aufzunehmen und kann daher nicht zur Prüfung der Praxistauglichkeit der RHD-Beläge verwendet werden.

Erwogen wurde ebenfalls, die vorhandene Rundlaufanlage der Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V. (STUVA) in Köln für eine Verifizierung der zu entwickelnden Laborprüfung zu verwenden. Diese Möglichkeit wurde aber aus Kostengründen ebenfalls verworfen [6].

Es wurde daher beschlossen, als Ersatz für die Praxiserprobung eine dynamische Biegeprüfung als Laborprüfung zu entwickeln. Im Rahmen des BASt-Projektes 94 750 „Laborprüfverfahren zur Beurteilung des Praxisverhaltens von Reaktionsharzbelägen“ wurden Untersuchungen mit Dauerbiegeprüfungen und Dauerschwellbiegeprüfungen durchgeführt [4]. Als Ergebnis zeigte sich, daß eine Dauerschwellbiegeprüfung, angelehnt an die Dauerschwellbiegeprüfung für Asphalt-Beläge gemäß den „Technischen Prüfvorschriften für die Prüfung der Dichtungsschichten und der Abdichtungssysteme für Brückenbeläge auf Stahl“ (TP-BEL-ST)

[7], grundsätzlich eine Beurteilung der Praxistauglichkeit ermöglicht.

Auf Grund der Weichheit der Asphaltbeläge wird die Last bei der Dauerschwellbiegeprüfung nach TP-BEL-ST indirekt über das Probeblech in den Prüfkörper eingebracht. Dies entspricht aber nicht der Wirklichkeit auf der Brücke und ist in der Versuchsanordnung und den Probekörperabmessungen begründet. Bei den wesentlich härteren reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen war mit großer Wahrscheinlichkeit zu erwarten, daß eine praxisgerechtere direkte Lasteinleitung von oben auf den Belag bei unveränderten Probekörperabmessungen möglich ist. Dies wäre auch in Hinblick auf die bei den Prüfungen entstehenden Kosten wünschenswert. Es sollte eine an die Belange der RHD-Beläge angepaßte Dauerschwellbiegeprüfung formuliert werden.

Bei Untersuchungen im Rahmen des BAST-Projektes 89 211 „Erarbeitung einer ZTV für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl - Untersuchungen zur Empfindlichkeit der verschiedenen RHD-Belagsysteme unter ungünstigen Einbaubedingungen“ [8] wurde aufgezeigt, daß RHD-Belagsysteme auf der Basis von Polymethylmethacrylatharz (PMMA) auch bei niedrigen Temperaturen aushärten. Es wurden an bei einer Temperatur von - 10 °C hergestellten und ausgehärteten Probekörpern Abreißversuche unternommen, die befriedigende Ergebnisse zeigten. Offen blieb im Rahmen dieser Untersuchungen die Frage, ob unter diesen Temperaturen hergestellte Beläge auch dynamische Belastungen unbeschadet überstehen. Diese Frage sollte ebenfalls im Rahmen dieses Projektes geklärt werden.

Im Rahmen des o. a. Projektes sind auch Untersuchungen an Probekörpern mit zweilagiger Deckschicht durchgeführt worden, bei denen nach Aushärtung der ersten Lage der Deckschicht bis zum Aufbringen der zweiten Lage der Deckschicht eine 14-tägige Auslagerung auf dem Mittelstreifen einer BAB vorgenommen wurde. Die Verschmutzung der Oberfläche der ersten Lage wurde vor dem Aufbringen der zweiten Lage nur mechanisch durch Abkehren entfernt. Hierbei hatten sich deutlich verminderte Abreißfestigkeiten gezeigt. Im Rahmen der hier vorgenommenen Untersuchungen sollte geklärt werden, ob bei entsprechend hergestellten Probekörpern, die vor dem Aufbringen der zweiten Lage der Deckschicht gründlich gereinigt werden, bessere Ergebnisse erzielt werden können und ob so hergestellte Probekörper die Dauerschwellbiegeprüfung bestehen.

In der Praxis müssen Dünnbeläge des öfteren in größeren Schichtdicken als die vorgesehene Regelschichtdicke eingebaut werden (z. B. wegen des Ausgleiches von Unebenheiten der Fahrbahntafel oder eines Gradientenausgleiches). Im Rahmen dieses Projektes sollte daher untersucht werden, ob ein solcher Ausgleich mit den reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen grundsätzlich möglich ist. Es sollte außerdem gegebenenfalls eine modifizierte Dauerschwellbiegeprüfung formuliert werden, mit der im Einzelfall die Tauglichkeit eines RHD-Materials für den Gradientenausgleich nachgewiesen werden kann.

2 Dauerschwellbiegeprüfung nach den TP-BEL-ST

Mit der Dauerschwellbiegeprüfung nach den TP-BEL-ST werden Dichtungsschichten zusammen mit einer Schutz- und Deckschicht aus Gußasphalt oder Splittmastixasphalt in Verbindung mit einem 12 mm dicken Fahrbahnblech unter dynamischer Belastung als Verbundkörper geprüft, wobei insbesondere die Prüfung der kraftschlüssigen Verbindung zwischen Blech und Belag im Vordergrund steht. Die Regelung des Prüfablaufs ist in den TP-BEL-ST [7], die Anforderungen an die Baustoffe und Systeme für die Grundprüfung (einschl. der Dauerschwellbiegeprüfung) in den „Technischen Lieferbedingungen für Baustoffe der Dichtungsschichten für Brückenbeläge auf Stahl“ (TL-BEL-ST) [9] festgelegt. Sie besagen, daß nach 1 Mio. Lastspielen keine Ablösung bzw. Schichten-trennung im Verbundkörper auftreten darf.

Zur Beschreibung der Prüfanordnung und des Prüfablaufs bei der Dauerschwellbiegeprüfung wird auszuweise aus den TP-BEL-ST [7] zitiert:

„Die Probeplatten bestehen aus Stahl St 37. Ihre Abmessungen betragen 700 mm x 200 mm x 12 mm. Auf die Probeplatten wird der Brückenbelag, bestehend aus Dichtungsschicht, Schutz- und Deckschicht über die gesamte Länge von 700 mm und über die Breite von 150 mm aufgebracht. Die Schutz- und Deckschicht ist jeweils in 35 mm Dicke aufzubringen, zusammen 70 mm ± 2 mm. Als Mischgut wird in der Regel für die Schutz- und Deckschicht ein Gußasphalt 0/11 gemäß ZTVbit eingesetzt, der im Prüfinstitut vorgehalten wird.

Im Versuch sind die Probekörper auf drei Stahlwalzen mit 50 mm Durchmesser im

Abstand von $l = 300$ mm zu lagern. Die Last wird über einen vierbeinigen Belastungsbock direkt in die Stahlplatte eingeleitet, die für diesen Zweck an der unbeschichteten Plattenunterseite in jedem Feld jeweils eine Versteifungsrippe hat.

Die Belastung der Probekörper erfolgt mit Hilfe eines Einzelprüfzylinders, der mit dem wechselnden Öldruck eines hydraulischen Pulsators beaufschlagt wird, oder mit einem servohydraulisch gesteuerten Einzelprüfzylinder. Die Belastungsfunktion entspricht einer Sinusfunktion, die mit konstanter Last-Amplitude zwischen der Grundlast (F_G) und der Oberlast (F_O) schwingt. Die Frequenz der Belastungsfunktion beträgt $f = 2$ Hz.

Die Oberlast F_O wird so gewählt, daß sich an der Probeplatte ohne Belag in den Lastangriffspunkten eine Durchbiegung von $l/600 = 0.50$ mm einstellt. Mit der Oberlast wird dann der mit Belag versehene Probekörper zunächst statisch belastet und die Durchbiegung festgestellt. Die Grundlast F_G wird mit ca. $0.15 F_O$ festgelegt.

Während der anschließenden dynamischen Belastung bei Raumtemperatur ($20\text{ °C} \pm 3\text{ K}$) werden die aufgetretenen Durchbiegungen bzw. möglicherweise auftretende Durchbiegungsänderungen infolge sich einstellender Belagschäden gemessen. Der Belag wird dabei jeweils auf evtl. Risse und Ablösungen von der Probeplatte oder sonstige Schäden untersucht.“

3 Versuchsbedingungen

3.1 Untersuchung einer praxisgerechten Lasteinleitung (Versuchsreihen 1 u. 2)

Wie im Abschnitt 1 beschrieben wurde in einer ersten Versuchsreihe die Möglichkeit der praxisgerechten Lasteinleitung von oben auf den Probekörper untersucht. Hierzu wurden fünf verschiedene zur Zeit zugelassene Belagsysteme untersucht, die in der Zusammenstellung der geprüften Dünnbeläge entsprechend dem Merkblatt für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl (Februar 1984), bei der BASt über Fax-on-demand abrufbar, für die

Anwendung an Bauwerken und Bauteilen der Bundesverkehrswege aufgeführt sind (Bild 2).

Die zukünftige Dauerschwellbiegeprüfung soll mit einem anhand von Bauwerksmessungen ermittelten Belastungs- (Durchbiegungs-) Kollektiv [10] durchgeführt werden. Dabei werden 100 Teilkollektive mit jeweils 10 000 Lastwechseln entsprechend Bild 1 nacheinander durchlaufen gelassen. Hierbei werden an den unbeschichteten Probeplatten Durchbiegungen zwischen $0,45$ mm und $0,95$ mm eingestellt und die zugehörigen Lasten ermittelt. Mit diesen Lasten, in unterschiedlichen Häufigkeiten entsprechend des ermittelten Kollektives, wird anschließend mit den beschichteten Probekörpern die Dauerschwellbiegeprüfung durchgeführt. Stärker mittragende Beläge erhalten so, der Praxis entsprechend, bei gleicher Last geringere Durchbiegungen.

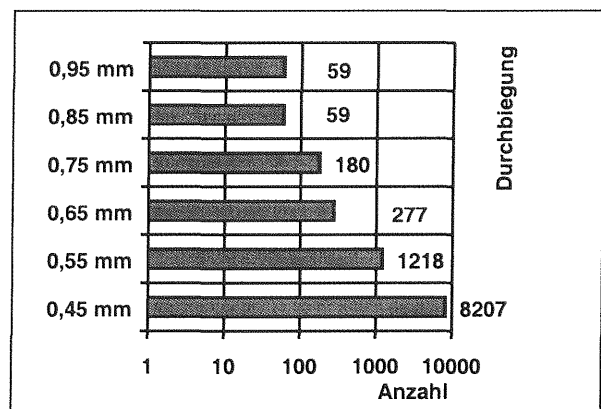


Bild 1: Belastungskollektiv

Bedingt durch die bei diesen Untersuchungen verfügbare gerätetechnische Ausstattung wurde bei diesen ersten Versuchen bis zur Versuchsreihe 3 dieses Belastungskollektiv nicht angewendet. Als Ersatz für das Belastungskollektiv wurde eine Einstufenbelastung mit einer resultierenden Durchbiegung von ca. $0,95$ mm verwendet, was eine gewollte Verschärfung der Dauerschwellbiegeprüfung für die hier durchgeführten grundsätzlichen Untersuchungen bedeutet.

Die Belastungsfrequenz wurde mit 4 Hz festgelegt, um die Dauer der Untersuchungen zu minimieren. Diese Belastungsfrequenz war bei den Untersuchungen am Bauwerk zur Ermittlung des o. a. Belastungskollektives [10] als realistische Belastungsfrequenz aus der Abfolge der einzelnen Achsen eines Lkws festgestellt worden. Allerdings treten in der Praxis nach drei bis fünf Lastwechsel längere Ruhephasen ein, die aus dem Belastungskollektiv der Prüfung, um die Prüfdauer kurz zu halten, entfernt wurden.

**Zusammenstellung der geprüften Dünnbeläge entsprechend dem Merkblatt
für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl (Februar 1984)
für
die Anwendung an Bauwerken und Bauteilen der Bundesverkehrswege
Stand 1. April 1997**

Diese Tabelle gilt bis zur Einführung der sich zur Zeit in Arbeit befindenden ZTV-RHD-ST.
Die Identität der eingesetzten Stoffe mit den bei der Grundprüfung verwendeten Stoffen ist nachzuweisen.

Nr.	Hersteller	Aufbau	Anwendungsbereich	Datum des gültigen Prüfungszeugnisses	Ablaufdatum
1	RELIUS COATINGS GmbH & CO Donnerschweerstr. 372 26123 Oldenburg Tel.: 0441/3402-300	Grundierungsschicht: OLDODUR PUR Grund Deckschicht: BÜFADUR	Dienststege, Vorborde* Geh- und Radwege Fahrbahnen	15.06.1989	mit Einführung der ZTV-RHD-ST
2	ispo GmbH Gutenbergstraße 6 65830 Kriftel Tel.:06192/401-0	Grundierungsschicht: CONCRETIN ZNP Deckschicht: CONCRETIN TEP	Dienststege, Vorborde* Geh- und Radwege Fahrbahnen	18.02.1986 (Verl. vom 20.06.1988)	mit Einführung der ZTV-RHD-ST
3	Krämer Chemie GmbH Theodor-Heuss-Str. 11-15 66130 Saarbrücken-Güdingen Tel.: 0681/98829-0	Grundierungsschicht: Orthoflex ST 1116/PR Deckschicht: Orthoflex N/132	Dienststege, Vorborde* Geh- und Radwege	23.01.87	mit Einführung der ZTV-RHD-ST
4	Hans Tiefenbach GmbH Oberflächenschutz Theodor-Heuss-Straße 34 47167 Duisburg-Neumühl Tel.: 0203/99569-0	Grundierungsschicht: POLYVIA AE Deckschicht: POLYVIA AE	Dienststege, Vorborde* Geh- und Radwege Fahrbahnen	20.02.1985	mit Einführung der ZTV-RHD-ST
5	Roadcoat GmbH Dreieichstraße 9 64546 Mörfelden Tel.: 06105/93090	Grundierungsschicht: Roadcoat 100 Deckschicht: Roadcoat 100	Dienststege, Vorborde* Geh- und Radwege Fahrbahnen	17.12.1986	mit Einführung der ZTV-RHD-ST
6	Sika Chemie GmbH Kornwestheimer Straße 107 70439 Stuttgart Tel.: 0711/8009-0	Grundierungsschicht: Icosit EG-Phosphat Deckschicht: Icosit Elastomastic TF	Dienststege, Vorborde* Geh- und Radwege Fahrbahnen	24.10.1990	mit Einführung der ZTV-RHD-ST
7	Teerbau - Gesellschaft für Straßenwesen Rheinbabenstraße 75 46240 Bottrop Tel.: 02041/993-0	Grundierungsschicht: Korohaft-Aktivgrund Deckschicht: Korohaft SF-E	Dienststege, Vorborde* Geh- und Radwege	30.11.1987	mit Einführung der ZTV-RHD-ST
8	Weserland - Bautenschutz GmbH Hansastraße 9 30419 Hannover Tel.: 0511/27985-0	Grundierungsschicht: Superdur K Grund EG Deckschicht: BETONOL TE 120	Dienststege, Vorborde* Geh- und Radwege Fahrbahnen	20.08.1991	mit Einführung der ZTV-RHD-ST

* Dienststege und Vorborde können auch mit einem System nach ZTV - KOR 92, Beiblatt 1, Bauteilnr. 3.5.3 beschrieben werden

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Dauerschwellbiegeprüfungen wurden bei Raumtemperatur durchgeführt, was bei den Untersuchungen zur Lasteinleitung von oben auf den Probekörper den kritischeren Fall bedeutet, während die Durchführung der Dauerschwellbiegeprüfung im Rahmen der Grundprüfung der RHD-Beläge bei - 10 °C vorgesehen ist. Bei der Untersuchung der Möglichkeit der direkten Lasteinleitung war die Durchführung der Prüfung bei einer höheren Temperatur sinnvoll, da sich hier aufgrund der temperaturabhängig geringeren Härte der Beläge eher Schäden der Belagsoberfläche hätten zeigen müssen.

3.2 Untersuchungen an zweilagigen, ausgelagerten Probekörpern (Versuchsreihe 3)

Für die Untersuchungen zu den zweilagigen, zwischen der Beschichtung der ersten und der zweiten Lage der Deckschicht ausgelagerten Probekörper wurden für die Belastung ebenfalls die oben beschriebene Einstufenbelastung, Belastungsfrequenz und Versuchstemperatur verwendet.

3.3 Untersuchungen mit den in der TP-RHD-ST festgelegten Versuchsbedingungen (Versuchsreihen 4 und 5)

Nach der Festlegung der Prüfungsbedingungen im Entwurf der TP-RHD-ST wurden von den Belagsystemen S1, S4, S5, S6 und S7 (Tabelle 2) jeweils ein- und zweilagige Probekörper in der Regeleinbaudicke von 10 mm hergestellt und Versuche unter den festgelegten Prüfungsbedingungen durchgeführt, um diese Prüfungsbedingungen abzusichern. Unter Normalklima hergestellte Probekörper wurden mit 1 Million Lastwechsel entsprechend dem Mehrstufen-Kollektiv belastet. Die eingestellte Belastungsfrequenz betrug 4 Hz. Die Prüfung wurde bei einer Belagstemperatur von - 10 °C durchgeführt.

3.4 Untersuchungen an 30 mm dicken, dreilagigen Probekörpern (Versuchsreihe 6)

Diese Untersuchungen, die zur Klärung der Frage ob RHD-Beläge auch in größeren Schichtdicken, z. B. zum Ausgleich von Unebenheiten in der Unterlage, eingebaut werden können, wurden mit den Belagsystemen S1, S4, S5, S6 und S7 (Tabelle 2) unter den in Abschnitt 3.3 beschriebenen Versuchsbedingungen an dreilagigen, ca. 30 mm dicken Probekörpern durchgeführt.

3.5 Untersuchungen an einem bei - 10 °C ausgehärteten Belagsystem (Versuchsreihe 7)

Diese Untersuchungen zur Klärung der Möglichkeit des Belageinbaus bei niedrigen Temperaturen bei der Verwendung von PMMA als Bindemittel wurden mit dem Belagsystem S1 (Tabelle 2) ebenfalls unter den in Abschnitt 3.3 beschriebenen Versuchsbedingungen durchgeführt. Die einlagigen, ca. 10 mm dicken Probekörper für diesen Versuch wurden, wie in Abschnitt 10 beschrieben, bei einer Temperatur von - 10 °C hergestellt.

3.6 Untersuchungen mit einer um den Faktor 1,5 erhöhten Belastung der Probekörper (Versuchsreihe 8)

Diese Untersuchungen wurden mit den Belagsystemen S1, S4, S5, S6 und S7 (Tabelle 2) mit den im Abschnitt 3.3 beschriebenen Probekörpern und Versuchsbedingungen durchgeführt. Die auf die Probekörper aufgebrachte Last wurde aber bei dieser Versuchsreihe so erhöht, daß sich bei der maximalen Belastung nach dem Kollektiv für die Dauerschwellbiegeprüfung eine Durchbiegung von ca. 1,4 mm einstellte. Es sollte hierdurch geklärt werden ob die bewährten Belagsysteme die neu konzipierte Dauerschwellbiegeprüfung mit einer ausreichenden Reserve bestehen können.

3.7 Untersuchungen einer praxisgerechten Lasteinleitung an Probekörpern mit 12-mm-Probepplatten (Versuchsreihe 9)

Diese Untersuchungen wurden abschließend, aufgrund der bei den vorangegangenen Untersuchungen festgestellten positiven Ergebnisse, mit allen Belagsystemen mit den im Abschnitt 3.3 beschriebenen Probekörpern und Versuchsbedingungen durchgeführt, allerdings mit 12 mm dicken Probepplatten. Anhand dieser Untersuchungen sollte festgestellt werden, ob eine praxisgerechte Lasteinleitung von oben auf den Belag des Probekörpers auch noch bei der Verwendung von 12-mm-Probepplatten, die der Regeldicke der Fahrbahntafeln orthotroper Fahrbahnplatten stationärer Brücken entsprechen, möglich ist.

Eine Übersicht über alle durchgeführten Untersuchungen ist in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Nr.	Belagsystem durchgeführte Untersuchung	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
1	Einlagige Probekörper mit 8 mm Stahlblech bei Raumtemperatur	X	X	X	X	X	X	X
2	Einlagige Probekörper mit 10 mm Stahlblech bei Raumtemperatur	X	X	X	X	X		
3	Zweilagige, ausgelagerte Probekörper bei Raumtemperatur				X	X		
4	Einlagige Probekörper mit 8 mm Stahlblech bei - 10 °C	X			X	X	X	X
5	Zweilagige Probekörper mit 8 mm Stahlblech bei - 10 °C	X			X	X	X	X
6	Dreilagige, 30 mm dicke Probekörper bei - 10 °C	X			X	X	X	X
7	Bei - 10 °C hergestellte Probekörper bei - 10 °C	X						
8	Probekörper mit 1,5-facher Last belastet bei - 10 °C	X			X	X	X	X
9	Ein- oder zweilagiger Probekörper mit 12 mm Stahlblech bei - 10 °C	X	X	X	X	X	X	X

Tabelle 1: Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen

4 Versuchsordnung, Probekörper

4.1 Prüfeinrichtung

Der Probekörper wird auf drei Stahlwalzen mit 50 mm Durchmesser im Abstand von $l = 300$ mm gelagert (Bild 3). Die Last wird über zwei Stahlwalzen mit 50 mm Durchmesser von oben auf den Belag in den Probekörper eingebracht. Die Belastungswalzen wirken jeweils im Abstand von 175 mm von der mittleren Auflagerwalze auf den Probekörper ein. Um eine gleichmäßige Lasteinleitung zu gewährleisten, wird die Last über eine entsprechend gelagerte Kugel auf die Belastungseinrichtung aufgebracht. Bild 7 zeigt eine Prinzipskizze der Belastungseinrichtung.

4.2 Probekörper

Die Probeplatten bestehen aus Stahl S 235 (St 37) und werden durch Trockenstrahlen nach DIN EN ISO 12 944 Teil 4 [11] mit dem Oberflächenvorbe-

reitungsgrad Sa 2½ vorbereitet. Ihre Abmessungen betragen 700 mm * 150 mm * 8 mm bzw. 700 mm * 150 mm * 10 mm. Auf diese Probeplatten wurde der RHD-Belag nach Herstellerangaben über die gesamte Breite aufgebracht. Die Dicke der Deckschicht und der Belagsaufbau (ein-, zwei-, oder dreilagig) wurde entsprechend der durchzuführenden Untersuchungen gewählt.

4.3 Belastung

Die Belastung der Probekörper zu den Versuchsreihen 1 bis 3 erfolgte mit Hilfe eines servohydraulischen Einzelprüfzylinders (Bild 4). Die Belastungsfunktion entspricht einer Sinusfunktion, die mit konstanter Last-Amplitude zwischen der Grundlast und der Oberlast schwingt. Die Vorgabe einer Grundlast ist erforderlich, um versuchsbedingte mechanische Einwirkungen auf die Probekörper, die durch das Abheben und Aufsetzen der Belastungsvorrichtung bei Versuchsdurchführung ohne Grundlast hervorgerufen würden, zu vermeiden.

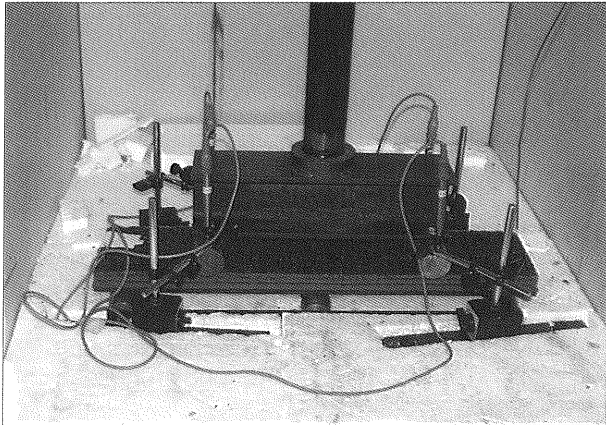


Bild 3: Probekörper und Lasteinleitung

Die Belastung der Probekörper zu den Versuchsreihen 4 bis 8 erfolgte mittels einer Hydropulsanlage S56 der Firma Schenck (Bild 5). Diese Anlage arbeitet mit einem hängenden Zylinder für Zug und Druck mit einer maximalen Kraft von 400 kN. Ein Aufspannblock mit eingelassenen T-Nuten garantiert eine einwandfreie und waagerechte Montage der Auflagereinrichtung. In den Regelkreis der MeBelektronik der Hydropulsanlage S 56 ist eine 40-kN-Druckmeßdose eingebaut, die eine exakte Regelung des Sollwertes der Krafteinleitung ermöglicht. Die maximale Kraft wird mittels eines Reduzierventils auf das Sollmaß reduziert. Ein Steuerrechner erlaubt die unterschiedlichsten Impulsformen und -frequenzen zur Steuerung der Hydropulsanlage.

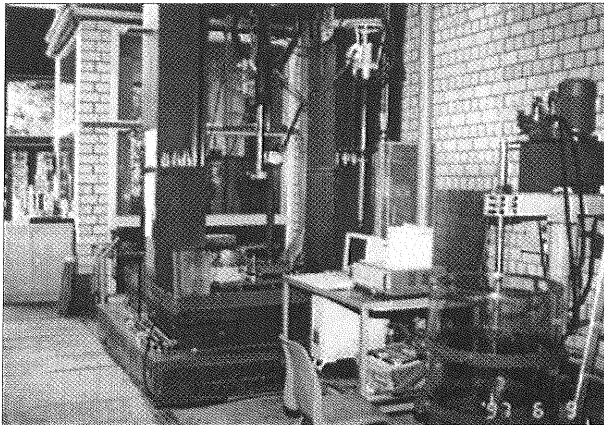


Bild 4: Belastungseinrichtung Versuchsreihen 1-3

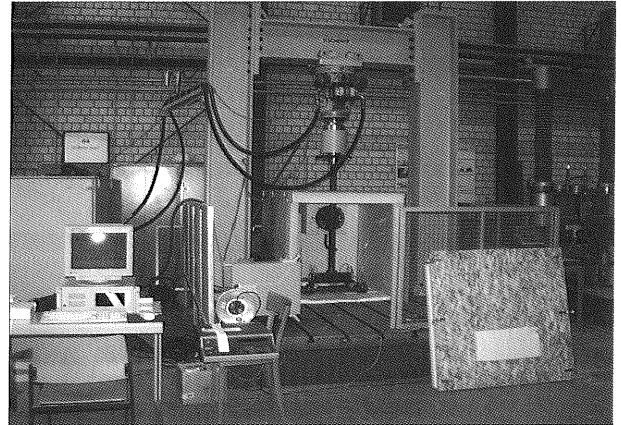


Bild 5: Belastungseinrichtung Versuchsreihen 4-8

4.4 Klimaschrank

Um die Versuchsreihen 3 - 9 bei der im Entwurf zur TP-RHD-ST für die Dauerschwellbiegeprüfung festgelegten Prüfungstemperatur von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durchführen zu können, wurde die Einrichtung für die Dauerschwellbiegeprüfung mit einer ca. $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ großen Holzkiste eingehaust. Diese Kiste wurde von innen mit 10 cm dicken Styrodurplatten isoliert (Bild 6). Für die Kühlung wurde ein Kühlgerät FS 0900 E der Firma Viessmann verwendet. Dieses Gerät erlaubt Kühltemperaturen bis zu $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

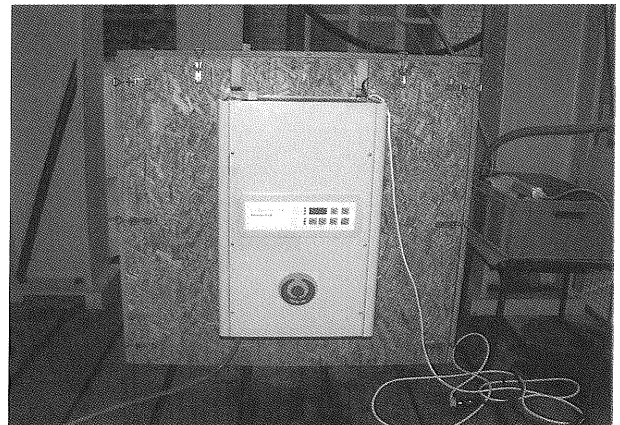


Bild 6: Kühleinrichtung

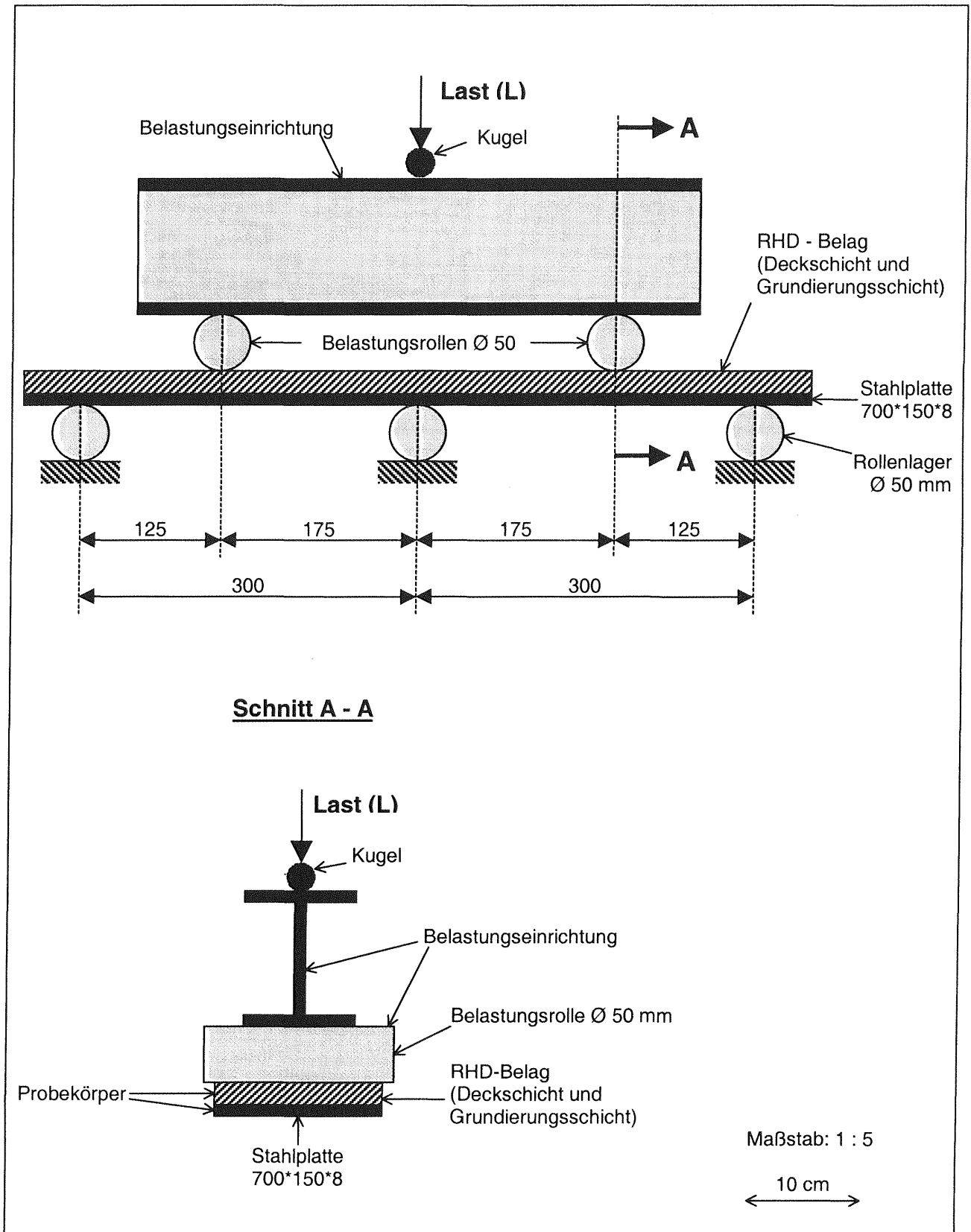


Bild 7: Prinzipskizze der Prüfeinrichtung

4.5 Meßeinrichtung

Während der Durchführung der Dauerschwellbiegeprüfungen sollten die eingeleiteten Lasten und die resultierenden Durchbiegungen der Probekörper kontinuierlich erfaßt werden. Hierzu wurde in die Belastungseinrichtungen, wie oben erwähnt, eine Druckmeßdose eingebaut, mit der die aufgebrachten Lasten erfaßt werden konnten. Die auftretenden Durchbiegungen der Probekörper wurden mittels Wegaufnehmer W5 der Firma Hottinger Baldwin Meßtechnik (HBM) gemessen, welche die Bewegungen der Belastungsrollen gegenüber der Unterlage erfaßten.

Als Meßgerät diente ein Digitaler Meßverstärker DMC 9012 A (mit DMV 50) der Fa. Hottinger Baldwin Meßtechnik. Die Steuerung des Meßablaufs erfolgte mit DIA/DAGO-PC, einer Software der Gesellschaft für Strukturanalyse (GfS.), Aachen. Mit dieser Software wurden ebenfalls die Auswertungen der erfaßten Meßdaten vorgenommen.

5 Beschreibung der untersuchten Belagsysteme

5.1 Allgemeines

In der bei der BAST geführten „Zusammenstellung der geprüften Dünnbeläge entsprechend dem Merkblatt für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl (Februar 1984) für die Anwendung an Bauwerken und Bauteilen der Bundesverkehrswege“ sind sechs Belagsysteme zur Anwendung auf Fahrbahnen erfaßt. Eines der aufgeführten Belagsysteme, mit Teer-Epoxidharz als Bindemittel, wurde trotz mehrfacher Nachfrage von der herstellenden Firma nicht geliefert und konnte nicht in die Untersuchungen zu den Versuchsreihen 1 bis 3 einbezogen werden.

Von dieser Firma wurde später im Rahmen des Projektes 97220 „Untersuchung neuer RHD-Beläge bei ihrer Verwendung als Fahrbahnbelag auf einem D-Brücken-Gerät“ Material eines neuen Epoxidharzbelages ohne Teeranteile zur Verfügung gestellt, mit dem die Versuchsreihe 1 nachgeholt, sowie die Versuchsreihen 4 – 6, 8 und 9 durchgeführt wurden. Das Material wurde zum einen mit einem normalen Härter geliefert der in 24 h bis 48 h aushärtet (Belagsystem S6) und zum anderen mit einem schnellen Härter, der eine Aushärtung innerhalb von ca. 4 Stunden ermöglicht (Belagsystem S7).

5.2 Epoxidharzsysteme

Die Beläge S6 und S7 bestehen aus einer einlagigen Epoxidharz-Grundierungsschicht ohne Korrosionsschutz-Pigmente und einer Deckschicht. Dies entspricht nicht den Festlegungen im Merkblatt für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl und den Festlegungen im Entwurf der ZTV-RHD-ST, wo eine geprüfte Grundierung mit Korrosionsschutzpigmenten verlangt wird. Die Grundierung wäre daher für zukünftige Anwendungen zu modifizieren. Für die hier durchgeführten Untersuchungen wurde das Material unverändert verwendet, da die Korrosionsschutzwirkung für die hier durchgeführten grundsätzlichen Untersuchungen keine Rolle spielt. Die Auftragsmenge der Grundierung beträgt ca. 600 g/m². Die Grundierung wird mit ca. 900 g/m² mitgeliefertem Quarzsand 56 abgestreut.

Bei zweilagigem Belagsaufbau besteht die erste Lage der Deckschicht aus Epoxidharz-Bindemittel, welches im Gewichtsverhältnis 1 : 3 mit den mitgelieferten Zuschlägen (Quarzsand) gemischt wird. Die erste Lage wird gleichmäßig mit dem mitgelieferten Abstreumaterial S 6/8 ein- und abgestreut. Die zweite Lage der Deckschicht besteht aus Epoxidharz-Bindemittel welches im Gewichtsverhältnis 1 : 2 mit den mitgelieferten Zuschlägen gemischt wird. Die zweite Lage wird im Überschuß mit dem mitgelieferten Abstreumittel S 9/30 abgestreut.

Bei einlagigem Belagsaufbau besteht die Deckschicht aus Epoxidharz-Bindemittel, welches im Gewichtsverhältnis 1 : 3 mit den mitgelieferten Zuschlägen (Quarzsand) gemischt wird. Der Belag wird gleichmäßig mit dem mitgelieferten Abstreumaterial S 6/8 ein- und abgestreut.

Der Belagsaufbau aller Belagsysteme ist in Tabelle 2 zusammengefaßt.

5.3 PMMA-Systeme

Das System mit PMMA als Bindemittel wurde als S1 in die Untersuchungen einbezogen. Der Belag besteht aus einer einlagigen PVC-Copolymerisat-Grundierungsschicht mit dem Korrosionsschutz-Pigment Aluminium-Zinkphosphathydrat. Die Auftragsmenge beträgt ca. 200 g/m² und die daraus resultierende Schichtdicke ca. 70 µm. Die Grundierung wird nicht abgestreut. Die Deckschicht besteht aus PVC-modifiziertem Methacrylatharz als

Bindemittel, welches im Gewichtsverhältnis 1 : 1 mit feuergetrocknetem Quarzsand 0 - 1 mm gemischt wird. Der Belag wird einlagig in einer Schichtdicke von ca. 5 mm aufgebracht und sofort in mehreren Arbeitsgängen mit Korund der Körnung 2 - 3 mm im Überschuß ein- und abgestreut. Die endgültige Belagsdicke beträgt bei allen Probekörpern ca. 10 mm.

Für den zweilagigen Belagsaufbau wird die erste Lage der Deckschicht analog zum einlagigen Aufbau in einer Schichtdicke von 3 mm aufgebracht und mit Korund der Körnung 2 - 3 mm ein- und abgestreut. Nach Aushärtung der ersten Lage der Deckschicht wird die zweite Lage entsprechend der ersten Lage aufgebracht.

5.4 Polyurethansysteme

Beide in der Tabelle der geprüften Dünnbeläge aufgeführten Polyurethansysteme wurden in die Untersuchungen aufgenommen und werden im folgenden mit S2 und S5 bezeichnet.

Der Belag S2 besteht aus einer einlagigen Polyurethan-Grundierungsschicht mit dem Korrosionsschutz-Pigment Zinkphosphat. Die Auftragsmenge beträgt 405 g/m² und die daraus resultierende Schichtdicke 125 µm. Die Grundierung wird mit 670 g/m² Quarzsand 0,06 - 0,2 mm abgestreut. Die erste Lage der Deckschicht besteht aus Polyurethan-Bindemittel, welches im Gewichtsverhältnis 1 : 0,75 : 0,75 mit feuergetrocknetem Quarzsand der Körnungen 0,06 - 0,2 mm und 0,7 - 1,2 mm gemischt wird. Die erste Lage wird gleichmäßig mit Quarzsand 0,7 - 1,2 mm abgestreut. Die zweite Lage der Deckschicht besteht aus Polyurethan-Bindemittel, welches im Gewichtsverhältnis 1 : 0,75 : 0,75 mit feuergetrocknetem Quarzsand 0,06 - 0,2 mm und 0,7 - 1,2 mm gemischt wird. Die zweite Lage wird im Überschuß mit Chromerzschlacke der Körnung 2 - 3 mm abgestreut. Dieses Abstreumaterial entspricht nicht dem vom Hersteller vorgesehenen Abstreumaterial. Es wurde verwendet, weil zukünftig nur noch Chromerzschlacke und/oder Korund als Abstreumaterialien für befahrene Beläge zugelassen sind.

Der Belag S5 besteht aus einer einlagigen Polyurethan-Grundierungsschicht mit dem Korrosionsschutz-Pigment Eisenoxyd. Die Auftragsmenge beträgt 175 g/m² und die daraus resultierende Schichtdicke ca. 50 µm. Die Grundierung wird mit

ca. 300 g/m² Quarzsand 0,06 - 0,3 mm abgestreut. Die Deckschicht besteht aus Polyurethan-Bindemittel, welches im Gewichtsverhältnis 1 : 2 mit feuergetrocknetem Quarzsand 0,06 - 3,0 mm gemischt wird. Der Belag wird einlagig in einer Schichtdicke von ca. 7 mm aufgebracht und sofort im Überschuß mit Chromerzschlacke der Körnung 2 - 3 mm abgestreut. Der zweilagige Belag wird mit entsprechend verringerten Dicken der Lagen aufgebracht.

5.5 Epoxidharz/Polyurethan-Systeme

Die beiden aufgeführten Epoxidharz/Polyurethan-Systeme konnten in die Untersuchungen aufgenommen werden und werden im folgenden mit S3 und S4 bezeichnet. Eines dieser Systeme hat eigentlich als Bindemittel ein Teer-Epoxidharz/Polyurethan. Da Systeme mit Teeranteil zukünftig wahrscheinlich aus Kostengründen weniger angewendet werden (der Teeranteil im Bindemittel verursacht bei späteren Instandsetzungen oder bei der späteren kompletten Entfernung des Belages aus Gründen des Arbeits- und Umweltschutzes einen unverhältnismäßig hohen Aufwand), wurde von dieser Firma ein neu konzipiertes System ohne Teeranteil zur Verfügung gestellt.

Der Belag S3 besteht aus einer zweilagigen Epoxidharz-Grundierungsschicht mit den Korrosionsschutz-Pigmenten Zinkphosphat und Zinkoxyd. Die Auftragsmenge der ersten Lage beträgt 250 g/m² und die daraus resultierende Schichtdicke 80 µm. Die Auftragsmenge der zweiten Lage beträgt 250 g/m² und die daraus resultierende Naßschichtdicke 120 µm. Diese zweite Lage der Grundierungsschicht wird mit 200 g/m² Quarzsand der Körnung 0,1 - 0,5 mm abgestreut. Die Deckschicht besteht aus Epoxidharz/Polyurethan-Bindemittel, welches im Gewichtsverhältnis 1 : 0,4 : 0,4 mit feuergetrocknetem Quarzsand 0,3 - 0,8 mm und Chromerzschlacke 1 - 2 mm gemischt wird. Der Belag wird einlagig in einer Schichtdicke von ca. 7 mm aufgebracht und sofort im Überschuß mit Chromerzschlacke der Körnung 2 - 3 mm abgestreut.

Der Belag S4 besteht aus einer einlagigen Epoxidharz-Grundierungsschicht mit dem Korrosionsschutz-Pigment Zinkphosphat. Die Auftragsmenge beträgt 270 g/m² und die daraus resultierende Schichtdicke ca. 80 µm. Die Grundierung wird nicht abgestreut. Die Deckschicht besteht aus

		Belagsystem S1	Belagsystem S2	Belagsystem S3
1. Lage Grundierung	Bindemittel Korrosionsschutz-Pigment	PVC-Copolymerisat Aluminium-Zinkphosph.	Polyurethan Zinkphosphat	Epoxidharz Zinkphosphat, Zinkoxyd
	Auftragsmenge [g/m ²]	200	405	250
	Schichtdicke [µm]	70	125	80
	Abstreumaterial	nicht abgestreut	Quarzsand 0,06 - 0,2 mm	nicht abgestreut
	Abstreumenge [g/m ²]	-	667	-
2. Lage Grundierung	Bindemittel	-	-	Epoxidharz Zinkphosphat, Zinkoxyd
	Auftragsmenge [g/m ²]	-	-	250
	Schichtdicke [µm]	-	-	120 (Naßschichtdicke)
	Abstreumaterial	-	-	Quarzsand 0,1 - 0,5 mm
	Abstreumenge [g/m ²]	-	-	200
Deckschicht	Bindemittel	PVC-modifiziertes Methacrylatharz	Polyurethan	Epoxidharz/ Polyurethan
	Zuschlag 1	Quarzsand 0 - 1 mm	Quarzsand 0,06 - 0,2 mm	Quarzsand 0,3 - 0,8 mm
	Zuschlag 2	-	Quarzsand 0,7 - 1,2 mm	Chromerzschlacke 1 - 2 mm
	Mischungsverhältnis	1 : 1	1 : 0,75 : 0,75	1 : 0,4 : 0,4
	Abstreumaterial	Korund 2 - 3 mm	Chromerzschlacke 2 - 3 mm	Chromerzschlacke 2 - 3 mm
	Abstreumenge [kg/m ²]	im Überschuß	im Überschuß	im Überschuß
Belagsystem S4				
Grundierung	Bindemittel Korrosionsschutz-Pigment	Epoxidharz Zinkphosphat	Polyurethan Eisenoxyd	Epoxidharz ohne
	Auftragsmenge [g/m ²]	270	175	600
	Schichtdicke [µm]	80	50	ca. 200
	Abstreumaterial	nicht abgestreut	Quarzsand 0,06 - 0,3 mm	Quarzsand 56
	Abstreumenge [g/m ²]	-	300	900
Keine zweilagige Grundierung				
Deckschicht	Bindemittel	Epoxidharz/Polyurethan	Polyurethan	Epoxidharz
	Zuschlag 1	Quarzsand 0,7 - 1,2 mm	Quarzsand 0,06 - 3,0 mm	mitgelieferte Mischung
	Zuschlag 2	-	-	-
	Mischungsverhältnis	1 : 1,25	1 : 2	1 : 3
	Abstreumaterial	Quarzsand 0,7 - 1,2 mm	Chromerzschlacke 2 - 3 mm	mitgelieferte Mischung
	Abstreumenge [kg/m ²]	1,5 - 2,0	im Überschuß	im Überschuß

Tabelle 2: Aufbau der Belagsysteme bei einlagiger Deckschicht

Epoxidharz/Polyurethan-Bindemittel, welches im Gewichtsverhältnis 1 : 1,25 mit feuergetrocknetem Quarzsand 0,7 - 1,2 mm gemischt wird. Der Belag wird einlagig in einer Schichtdicke von ca. 9 mm aufgebracht und sofort im Überschuß mit Quarzsand der Körnung 0,7 - 1,2 mm abgestreut. Die endgültige Belagsdicke beträgt bei allen Probekörpern ca. 10 mm. Der zweilagige Belag wird mit entsprechend verringerten Dicken der Lagen aufgebracht.

6 Untersuchungen zur direkten Lasteinleitung

Die Untersuchungen zur direkten Lasteinleitung von oben auf den Belag des Probekörpers wurden mit allen sieben oben beschriebenen Belagsystemen (S1 - S7) durchgeführt. Dabei wurden für die Belagsysteme S1 - S5 je Belagsystem zwei Probekörper untersucht, jeweils ein Probekörper mit einem 8 mm dicken Stahlblech und ein Probekörper mit einem 10 mm dicken Stahlblech. Die Belagsysteme S6 und S7 wurden jeweils nur anhand eines Probekörpers mit einem 8 mm dicken Stahlblech untersucht.

In einem Vorversuch wurden die aufzubringende Last für die Probekörper mit 8 mm Stahlblechen zu 16 kN und die aufzubringende Last für die Probekörper mit 10 mm Stahlblechen zu 27 kN ermittelt. Diese Lasten wurden wegen der Vergleichbarkeit bei allen durchgeführten Untersuchungen konstant beibehalten, obwohl sich im Verlaufe der Untersuchungen zeigte, daß bei einzelnen Probekörpern geringfügig größere Durchbiegungen als die geplanten 0,95 mm auftraten. Die Grundlast wurde bei allen Untersuchungen mit 2,5 kN eingestellt.

Die aufgetragenen Lasten und die daraus resultierenden Durchbiegungen der Probekörper wurden, wie oben beschrieben, während der Versuche zu Kontrollzwecken kontinuierlich erfaßt. Die gemessenen Lasten und Durchbiegungen sind als Beispiel im Bild 8 dargestellt. Bei allen untersuchten Probekörpern blieben die aufgetragenen Lasten über den gesamten Versuchszeitraum konstant. Bei den gemessenen Durchbiegungen war deutlich zu erkennen, daß die verschiedenen Beläge unterschiedlich mittragen. Die weicheren Polyurethanbeläge S2 und S5 erhalten eine deutlich größere Durchbiegung als der verformungssteifere PMMA-Belag S1 und die verformungssteiferen Epoxidharz- sowie Epoxidharz/Polyurethan-Beläge S4, S6 und S7. Da dies den tatsächlichen Bedingungen in der Praxis entspricht, sollte für die Dauerschwell-

biegeprüfung der RHD-Beläge auch für die Grundprüfung ein lastabhängiges Kollektiv verwendet werden.

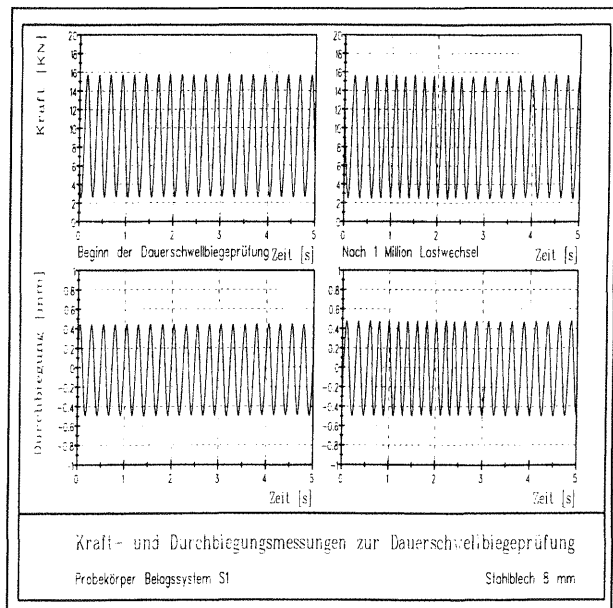


Bild 8: Gemessene Lasten und Durchbiegungen

Die Belastungsreihen wurden jeweils nach 10 000, nach 100 000 und nach 500 000 Lastwechseln unterbrochen und Bilder von den Belagsoberflächen aufgenommen. Anschließend liefen die Belastungsreihen ohne Unterbrechung weiter, bis eine Belastungsanzahl von mehr als einer Million erreicht wurde. Einzelne Probekörper wurden bis zu 2,5 Million Lastwechseln ausgesetzt. Die fotografische Dokumentation der Belagsoberflächen ist in den Bildern 9 - 15 zusammengestellt.

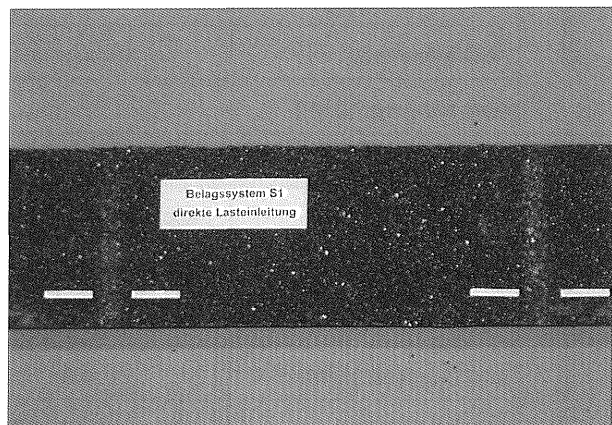


Bild 9: Probekörper Belagsystem S1

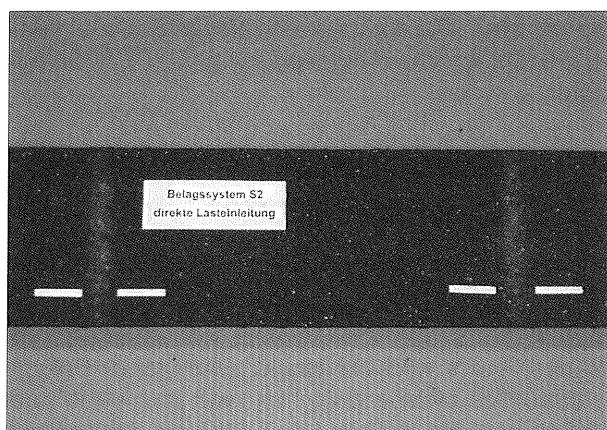


Bild 10: Probekörper Belagssystem S2

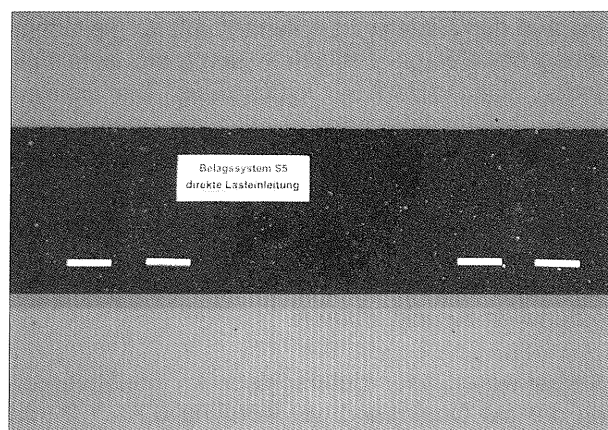


Bild 13: Probekörper Belagssystem S5

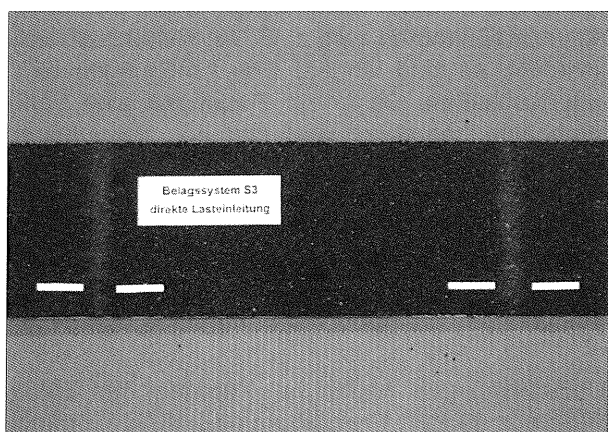


Bild 11: Probekörper Belagssystem S3

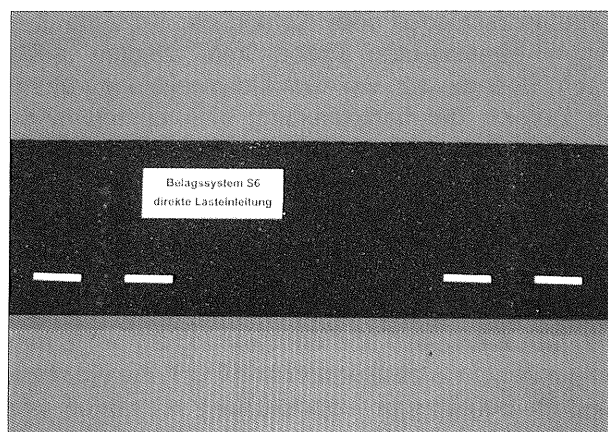


Bild 14: Probekörper Belagssystem S6

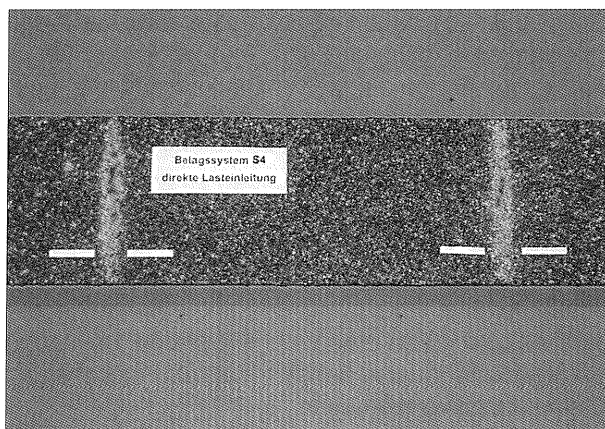


Bild 12: Probekörper Belagssystem S4

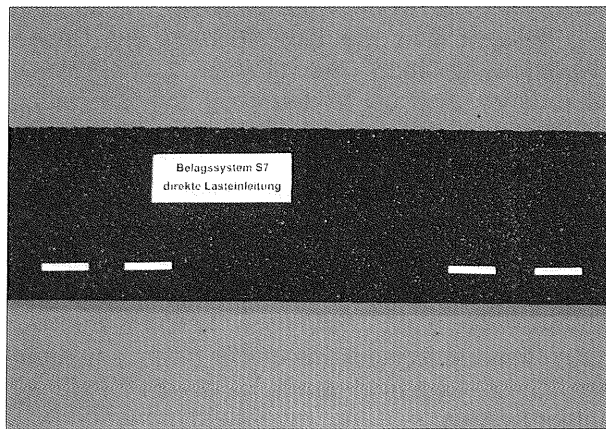


Bild 15: Probekörper Belagssystem S7

Wie aus den Bildern zu erkennen ist, ist die Schädigung der Belagsoberflächen durch die lasteinleitenden Stahlwalzen nur geringfügig. Die Spitzen einiger herausstehender Splittkörner reiben sich relativ schnell ab. Hat die Auflagefläche der Stahlwalze auf dem RHD-Belag dann eine ausreichende Breite erreicht, so tritt keine erkennbare weitere Schädigung der Belagsoberfläche auf. Dies ist auch auf die verwendeten hochwertigen Abstreumaterialien zurückzuführen.

Hierbei waren aber Unterschiede im Abriebverhalten der mit Quarzsand der Körnung 0,7 - 1,2 mm abgestreuten Probekörper zu den mit Chromerzschlacke oder Korund der Körnung 2 - 3 mm abgestreuten Probekörper zu erkennen. Die mit Chromerzschlacke oder Korund der Körnung 2 - 3 mm abgestreuten Probekörper zeigten auch nach Beendigung der Dauerschwellbiegeprüfung im Bereich der Lasteinleitung eine ausreichende Rauigkeit und damit Griffigkeit, denn die Belastungswalzen lagen auch bei Abschluß der Prüfung noch auf dem Abstreukorn auf. Die Belastungswalzen hatten sich nicht bis auf den eigentlichen Belag durchgedrückt.

Bei den mit Quarzsand der Körnung 0,7 - 1,2 mm abgestreuten Probekörpern hatte sich die Abstreuerung im Bereich der Lasteinleitung zermahlen und die Belastungswalzen lagen auf dem eigentlichen Belag auf. Da die Auflagefläche der Belastungswalzen dann eine ausreichende Breite angenommen hatte, trat keine weitergehende Schädigung des Belages auf. Die Durchführung der Dauerschwellbiegeprüfung mit direkter Lasteinleitung wäre daher auch bei Verwendung von Quarzsand als Abstreumaterial möglich. Die Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß bei der Verwendung von Quarzsand als Abstreumaterial für befahrene RHD-Beläge eher mit einer Abnahme der Rauigkeit und damit der Griffigkeit der Belagsoberfläche zu rechnen ist. Es wurde daher vorgeschlagen, als Abstreumaterial für befahrene RHD-Beläge nur noch Chromerzschlacke und/oder Korund zuzulassen. Diese Regelung wurde in die ZTV-RHD-ST aufgenommen.

Die Untersuchungen zeigten eindeutig, daß bei der Dauerschwellbiegeprüfung für RHD-Beläge, bei Verwendung von 8 mm dicken oder 10 mm dicken Stahlblechen zur Herstellung der Probekörper, eine praxisgerechte Lasteinleitung von oben auf den Belag des Probekörpers möglich ist. Bei Verwendung der zukünftig für RHD-Beläge für Fahrbahnen vorgeschriebenen Abstreumaterialien Chromerzschlacke und/oder Korund sind keine relevanten versuchsbedingten Schädigungen der Probekörper

zu erwarten. Die direkte Lasteinleitung wurde daher in die Dauerschwellbiegeprüfung für RHD-Beläge aufgenommen.

7 Dauerschwellbiegeprüfung an ausgelagerten Probekörpern mit zweilagiger Deckschicht

In der Praxis wird bei einem zweilagigen Belagsaufbau des öfteren zwischen dem Aufbringen der ersten und der zweiten Lage der Deckschicht eine längere Arbeitsunterbrechung durch das Wochenende und/oder schlechte Witterungsbedingungen vorkommen. Sind nicht schon von vornherein Schutzmaßnahmen (wie z. B. ein Schutzzelt) vorgesehen, so sind längere Unterbrechungen nicht auszuschließen. Da in der Regel nur eine Fahrbahnhälfte bearbeitet wird und auf der anderen Fahrbahnhälfte der Verkehr weiter fließt, wird die Oberfläche der ersten Lage sehr stark verschmutzt. Bedingt durch die obligatorische Abstreuerung der ersten Lage ist es schwierig, diesen festsetzenden Schmutz vor dem Aufbringen der zweiten Lage der Deckschicht restlos zu entfernen.

Untersuchungen hierzu im Rahmen des BAST-Projektes 89 211 „Erarbeitung einer ZTV für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl - Untersuchungen zur Empfindlichkeit der verschiedenen RHD-Belagsysteme unter ungünstigen Einbaubedingungen“ [8] hatten gezeigt, daß eine einfache mechanische Reinigung durch Abkehren der Oberfläche der ersten Lage der Deckschicht vor dem Aufbringen der zweiten Lage der Deckschicht nicht immer ausreicht, um einen ausreichenden Haftverbund zwischen den beiden Lagen zu erreichen.

Im Rahmen dieser Untersuchungen sollte geklärt werden, ob bei einer erzwungenen Arbeitsunterbrechung und Verschmutzung der Oberfläche der ersten Lage durch eine sehr gründliche Reinigung dennoch ein ausreichender Verbund der beiden Lagen erzielt werden kann.

Um diesen Einfluß auf den Haftverbund zu untersuchen, wurden von den Systemen S4 und S5 auf den unter 3.2 beschriebenen Probekörpern die Grundierung und die erste Lage der Deckschicht einschließlich der Abstreuerung aufgebracht. Diese Probekörper wurden zwei Tage unter Normalklima im Labor gelagert. Anschließend wurden die Probekörper 14 Tage auf dem Mittelstreifen einer Autobahn (BAB A 4 zwischen den Ausfahrten Ber-

gisch Gladbach - Moitzfeld und Bergisch Gladbach - Bensberg) ausgelagert.

Nach der Auslagerung wurden die Probekörper mit einer groben Bürste gründlich abgebürstet und mit trockener Druckluft sorgfältig abgeblasen. Danach wurde die zweite Lage der Deckschicht aufgebracht. Die Probekörper wurden anschließend 14 Tage unter Normalklima gelagert.

Die so hergestellten Probekörper wurden, wie im Abschnitt 5 beschrieben, der Dauerschwellbiegeprüfung unterzogen. Beide Beläge bestanden die Dauerschwellbiegeprüfung. Es zeigten sich keinerlei Risse und Ablösungen (Bilder 16 - 17). Bei sorgfältiger Reinigung der Oberfläche der zu beschichtenden Unterlage kann auch nach einer längeren Arbeitsunterbrechung eine abgestreute Lage der Deckschicht überbeschichtet werden. Hierbei ist aber in jedem Fall darauf zu achten, daß die Unterlage ausreichend trocken ist.

Auch bei diesen Untersuchungen bestätigte sich die Möglichkeit der direkten Lasteinleitung bei der Dauerschwellbiegeprüfung für RHD-Beläge.

Nach Abschluß der Versuche an den Probekörpern durchgeführte Bestimmungen der Abreißfestigkeiten ergaben für das Belagsystem S4 Werte von $> 4,2 \text{ N/mm}^2$ und für das Belagsystem S5 Werte von im Mittel $2,93 \text{ N/mm}^2$. Während bei dem Belagsystem S4 keine Minderung der Abreißfestigkeit festzustellen war, lag die Abreißfestigkeit beim Belagsystem S5 um ca. 1 N/mm^2 unter den bei früheren Untersuchungen festgestellten Abreißfestigkeiten. Insgesamt lagen aber alle Abreißwerte über dem in der ZTV-RHD-ST geforderten Mindestwert.

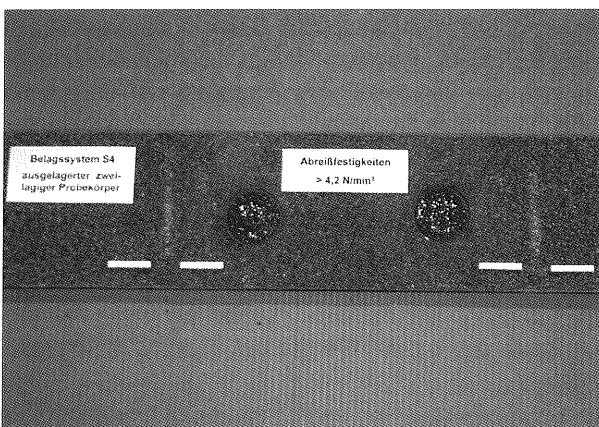


Bild 16: Belagsystem S4

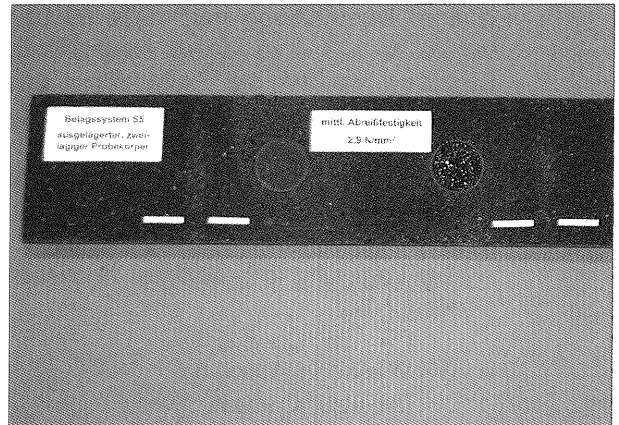


Bild 17: Belagsystem S5

8 Durchführung der Dauerschwellbiegeprüfung unter den festgelegten Prüfungsbedingungen

Anhand der Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen in Zusammenschluß mit den vom Polymer Institut Dr. R. Stenner im Rahmen eines Forschungsauftrages [4] gewonnenen Ergebnisse wurde durch die Bearbeitergruppe „RHD-Beläge“ im Arbeitskreis 7.10.2 „Beläge auf Stahlbrücken“ die folgende Dauerschwellbiegeprüfung für die Prüfung von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen als Fahrbelag auf Stahlbrücken im Rahmen einer Grundprüfung oder einer erweiterten Eignungsprüfung festgelegt [12]:

„Die Dauerschwellbiegeprüfung ist in Anlehnung an die Dauerschwellbiegeprüfung nach den ZTV-BEL-ST an zwei Probekörpern durchzuführen.

Die Probekörper bestehen aus Stahlblechen S 235 (St 37) (Rostgrad A oder B) mit den Abmessungen $700 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$, die durch Trockenstrahlen nach DIN EN ISO 12 944 Teil 4 mit Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2 ½ vorzubereiten sind. Auf die Probekörper wird der RHD-Belag bei Raumklima entsprechend dem vorgeschriebenen Aufbau und den Verarbeitungsrichtlinien des Herstellers aufgebracht und anschließend 7 Tage bei Normalklima gelagert.

Anschließend sind die Probekörper 7 Tage in einem Wärmeschrank mit zwangs-

läufiger Durchlüftung nach DIN 50 011 bei $70\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ zu lagern. Nach dieser Lagerung werden die Probekörper aus dem Wärmeschrank entnommen und für 7 Tage im Normalklima DIN 50 014 - 23/50-2 gelagert. Danach werden die Probekörper 50 mal mit folgendem Zyklus beansprucht:

- 2 h Lagerung in gesättigter Kochsalzlösung bei
 $T = -15\text{ °C} \pm 3\text{ K}$
- 2 h Wasserlagerung bei
 $T = +20\text{ °C} \pm 3\text{ K}$.

Die Platten werden senkrecht in die Bäder gestellt. Der Abstand der Platten untereinander und zu den Behälterwänden muß mindestens 100 mm betragen. Für eine gleichmäßige Temperaturverteilung in den Bädern ist eine ausreichende Bewegung der Umgebungsmedien sicherzustellen. Das Volumenverhältnis Flüssigkeit/Probekörper ist so zu wählen, daß die angegebenen Temperaturen in den Bädern 50 mm von der Plattenoberfläche entfernt zu jeder Zeit und bezüglich jeder Platte eingehalten werden. Die Umlagerung einer Platte darf maximal fünf Minuten in Anspruch nehmen. Die zeitliche Reihenfolge der Platten beim Umlagern ist stets beizubehalten. Innerhalb von 30 Minuten nach Beendigung der Temperaturwechselbeanspruchung bzw. der Entnahme der Platten aus dem Wasserbad sind die Platten hinsichtlich Oberflächenveränderungen wie Risse, Ablösungen und Abwitterungen zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind zu dokumentieren.

Bei Unterbrechung der Wechsellagerung (über Nacht, am Wochenende oder bei Störungen) lagern die Probekörper im Wasserbad von $+20\text{ °C} \pm 3\text{ K}$.

Bei der Dauerschwellbiegeprüfung sind die Probekörper auf drei Stahlwalzen mit 50 mm Durchmesser im Abstand von $l = 300\text{ mm}$ zu lagern. Die Last wird über 2 Stahlwalzen mit 50 mm Durchmesser im Abstand von je 175 mm von der mittleren Lagerrolle von oben auf den Belag eingeleitet.

Die Belastungsfunktion entspricht einer Sinusfunktion, die mit konstanter Last-Amplitude zwischen den Scheitelwerten F_G (Grundlast) und F_O (Oberlast)

schwingt. Die Frequenz der Belastungsfunktion beträgt 4 Hz.

Die Dauerschwellbiegeprüfungen werden bei -10 °C durchgeführt.

Die Oberlast wird so gewählt, daß sich an der Probekörperplatte ohne Belag in den Lastangriffspunkten eine Durchbiegung von 0,95 mm einstellt. Die Grundlast wird mit ca. $0,15 F_O$ festgelegt. Mit den so ermittelten Werten werden die Probekörper mit dem in Anhang 1 dargestellten Belastungskollektiv belastet.

Während der anschließenden dynamischen Belastung werden z. B. mit Meßuhren die auftretenden Durchbiegungen bzw. möglicherweise auftretende Durchbiegungsänderungen infolge von sich einstellenden Belagsschäden gemessen. Die Beläge werden dabei jeweils auf eventuelle Risse und Ablösungen von den Probekörperplatten oder sonstige Schäden untersucht.

Die Auswertung der Dauerschwellbiegeprüfungen muß im Prüfungsbericht folgende Abschnitte umfassen:

- Probekörper und Versuchseinrichtung
- Zusammensetzung und Herstellung des RHD-Belages
- Durchführung der Prüfungen einschließlich der Prüftemperatur
- Prüfungsergebnisse
- Beurteilung.“

Zur Überprüfung der oben angeführten Festlegungen zur Dauerschwellbiegeprüfung für RHD-Beläge wurden von den bewährten Belagsystemen S1, S4 und S5, sowie von den Belagsystemen S6 und S7 jeweils ein- und zweilagige Probekörper hergestellt und Versuche in Anlehnung an die festgelegten Prüfungsbedingungen durchgeführt. Aus zeitlichen und gerätetechnischen Gründen wurde auf die Probekörperalterung mittels Wechsellagerung (2 h in Kochsalzlösung bei -15 °C und 2 h im Wasserbad bei $+20\text{ °C}$) verzichtet und nur die Probekörperalterung durch eine Lagerung im Wärmeschrank von sieben Tagen bei $+70\text{ °C}$ vorgenommen.

Durch die Einbeziehung der Belagsysteme S1, S4, S5, S6 und S7 in diesen Versuch konnten alle infrage kommenden Bindemittelarten, Epoxidharz, Epoxidharz/Polyurethan, Polyurethan und PMMA untersucht werden. Die Versuche wurden, wie im

Entwurf der Dauerschwellbiegeprüfung für RHD-Beläge festgelegt, bei einer Prüftemperatur von -10 °C durchgeführt. Die Probekörper wurden mit 1 Million Lastwechsel nach dem unter 3.1 beschriebenen Mehrstufen-Lastkollektiv belastet.

Die Versuche wurden von den untersuchten bewährten Belagsystemen ohne Schäden überstanden. Bei keinem Belagsystem zeigten sich Risse über den Auflagern oder im Bereich der Lasteinleitungen. Es gab keine Ablösungen von den Stahlblechen. Eine entsprechende Dauerschwellbiegeprüfung wäre von allen untersuchten Belagsystemen bestanden worden. Die Ergebnisse der Untersuchungen bestätigen somit die aus Praxismessungen abgeleiteten Festlegungen für die Dauerschwellbiegeprüfung von RHD-Belägen in der TP-RHD-ST. Die aus der zeitlichen Begrenzung der Prüfung herrührenden verschärften Prüfbedingungen führen nicht zum Versagen bewährter Systeme bei dieser Prüfung.

In den Bildern 18 bis 22 ist für jedes Belagsystem die Oberfläche eines Probekörpers nach Abschluß der Untersuchungen dargestellt.

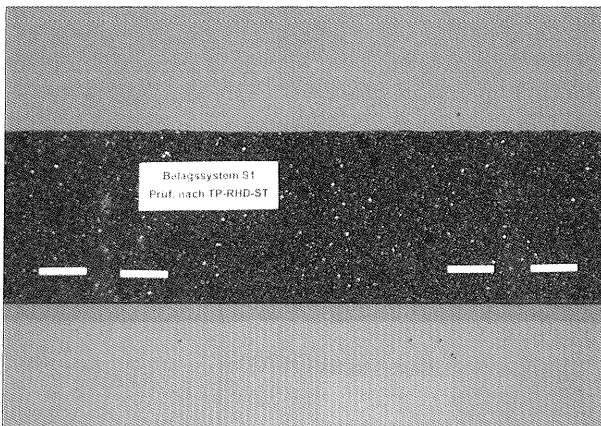


Bild 18: Belagssystem S1

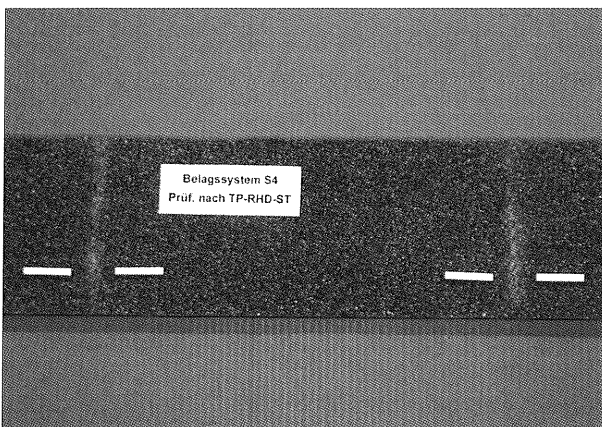


Bild 19: Belagssystem S4

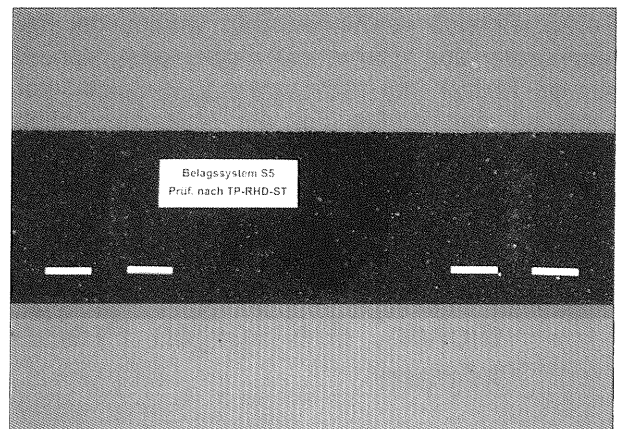


Bild 20: Belagssystem S5

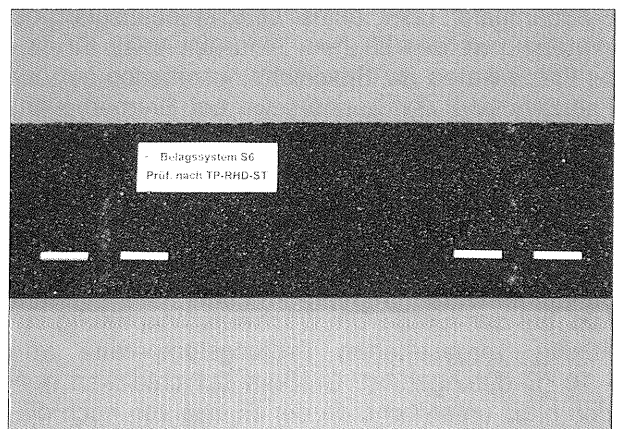


Bild 21: Belagssystem S6

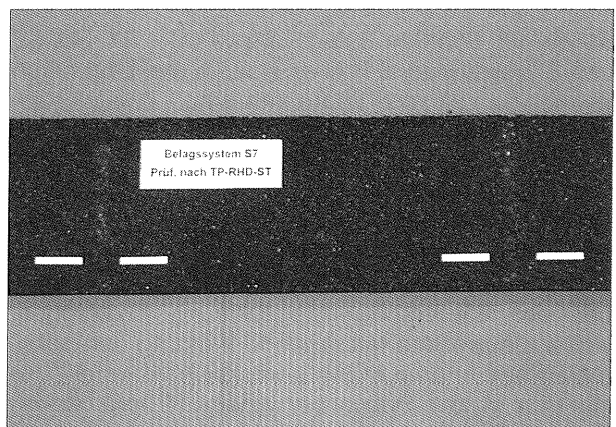


Bild 22: Belagssystem S7

Auch bei diesen Untersuchungen zeigte sich eindeutig die Überlegenheit der bei den Belagsystemen S1, S5, S6 und S7 verwendeten Chromerzschlacke oder Korund als Abstreumaterial für befahrene RHD-Beläge im Vergleich zu dem beim Belagsystem S4 verwendeten Quarzsand. Während der Quarzsand im Bereich der Lasteinleitung zerrieben und damit die Griffigkeit des Belages in

diesem Bereich vermindert war, wurden bei der Abstreifung aus Chromerzschlacke oder Korund nur die Spitzen der herausstehenden Splittkörner zerrieben. Der größte Teil der Abstreifung blieb beinahe unverändert und sorgte auch nach Abschluß der Versuche für eine ausreichende Griffigkeit des Belages.

9 Untersuchungen an 30 mm dicken, dreilagigen Probekörpern

Ein weiterer zu klärender Punkt war die Frage, ob RHD-Beläge auch in größeren Schichtdicken, z. B. wegen des Ausgleiches von Unebenheiten der Fahrbahntafel oder eines Gradientenausgleiches eingebaut werden können. Aktueller Anlaß für diese Frage waren die Beschichtungsarbeiten auf der Fahrbahntafel der Lunebrücke bei Bremerhaven, bei der aufgrund der Unebenheiten der Fahrbahntafel Ausgleichsschichten von bis zu 20 mm und damit Belagsdicken von 30 mm notwendig wurden. Zur Klärung dieser Frage dienten Untersuchungen an dreilagigen Probekörpern mit einer Belagsdicke von 30 mm. Diese Untersuchungen wurden ebenfalls bei der für die Dauerschwellbiegeprüfung zukünftig vorgesehenen Prüfungstemperatur von -10 °C durchgeführt. Größere Schichtdicken wurden nicht untersucht, da der Einbau von noch dickeren RHD-Belägen auch für solche Sonderfälle nicht mehr wirtschaftlich ist und daher in der Praxis keine Anwendung findet.

Es wurden von den Belagsystemen S1, S4, S5, S6 und S7 jeweils zwei Probekörper in drei Lagen von jeweils ca. 10 mm Dicke mit einer Zwischenabstreifung einer jeden Lage im Normalklima nach den Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller hergestellt. Die Probekörper härteten 14 Tage im Normalklima aus und wurden anschließend im Wärmeschrank einer siebentägigen Alterung bei $+70\text{ °C}$ unterzogen. Danach wurden die Probekörper der Dauerschwellbiegeprüfung unterzogen, wobei die größere mittragende Wirkung der dickeren Beläge in dem Maße berücksichtigt wurde, wie sie sich in der Praxis bei einem 12 mm dicken Fahrbahnblech auswirken würde. Hierzu wurde die sich bei den Probekörpern mit einem 8 mm dicken Stahlblech einstellende Durchbiegungsminderung aus der mittragenden Wirkung des Belages mit dem Faktor 0,3 [13] gemindert, um die Verhältnisse in der Praxis zu simulieren.

Die Belagsysteme S1 (PMMA), S4 (Epoxidharz/Polyurethan) und S5 (Polyurethan) zeigten auch bei diesen Untersuchungen keinerlei Schäden (Bilder 23 - 25).

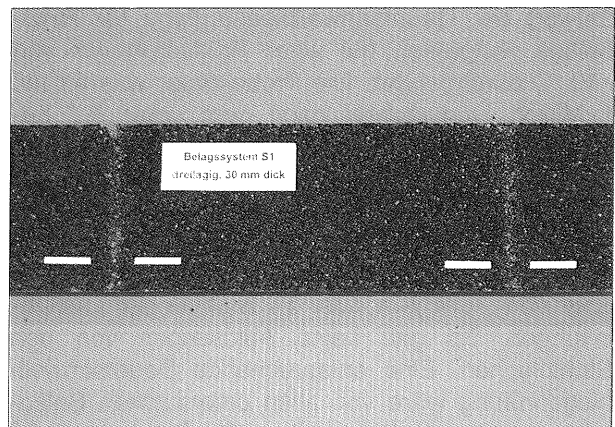


Bild 23: Belagssystem S1

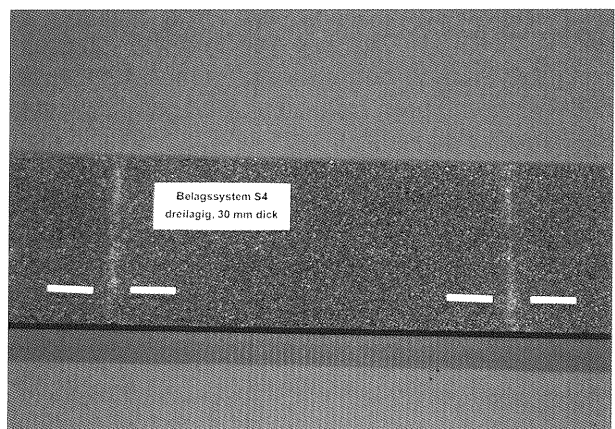


Bild 24: Belagssystem S4

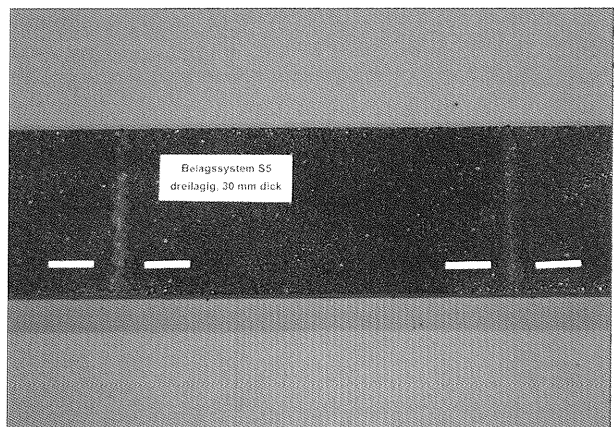


Bild 25: Belagssystem S5

Während die Belagsysteme S4 (Epoxidharz/Polyurethan) und S5 (Polyurethan) auch bei einer Erhöhung der aufgetragenen Last um den Faktor 1,5 nach der erfolgreich abgeschlossenen Dauerschwellbiegeprüfung keinerlei Schäden zeigten, zeigte sich bei dem Belagsystem S1 (PMMA) schon nach relativ kurzer Zeit ein Riß über dem mittleren Auflager, der an der Oberfläche

entstand und sich langsam bis zum Stahlblech fortpflanzte. Es kann davon ausgegangen werden, daß diese drei Bindemittelarten grundsätzlich für den Einbau in Überdicken bis zu 30 mm Belagsdicke tauglich sind, jedoch sollte im Einzelfall mit dem zur Verwendung kommenden Material und Belagsaufbau eine Dauerschwellbiegeprüfung als Eignungsprüfung für diesen Sonderfall durchgeführt werden.

Bei den Belagssystemen S6 und S7 zeigte sich bei allen Versuchen vor dem Erreichen von 500 000 Lastwechseln ein Riß über dem mittleren Auflager. Der Riß zeigte sich plötzlich, teilweise mit einem hörbaren Knall und ging durch alle drei Lagen bis auf den Untergrund (Bilder 26 und 27)



Bild 26: Belagssystem S6



Bild 27: Belagssystem S7

Die Entstehung des Risses war begleitet von einer plötzlichen Zunahme der gemessenen Durchbiegungen um ca. 15 %. Die Versuche liefen anschließend bis zum Erreichen von 1 Million Lastwechsel weiter. Hierbei zeigten sich keinerlei Verschlimmerungen der entstandenen Risse oder weitere Schäden. Die sich nach Entstehen des

Risses einstellende Durchbiegung blieb für die restliche Versuchsdauer konstant.

Die hier untersuchten reinen, relativ harten Epoxidharzsysteme sind grundsätzlich für den Einbau in solchen Überdicken weniger geeignet. Allerdings ist nach Einführung der ZTV-, TL- und TP-RHD-ST wenn überhaupt, dann eher mit modifizierten Epoxidharzsystemen zu rechnen, die dann wahrscheinlich weniger hart und spröde eingestellt sind. Der Möglichkeit des Einsatzes von Epoxidharzsystemen als Fahrbelag in diesen Schichtdicken kann daher nicht grundsätzlich verneint werden, aber es sollte im Einzelfall eine Dauerschwellbiegeprüfung als Eignungsprüfung durchgeführt werden.

Hierzu ist auch zu bemerken, daß das Belastungskollektiv in seiner jetzigen Form seinerzeit aus Durchbiegungsmessungen an der orthotropen Fahrbelagplatte einer Autobahnbrücke im Zuge der A 42, unter Umrechnung auf die Lebensdauer eines Belages einer höchstbelasteten Autobahnbrücke mit einem DTV-Wert von 120 000 und einem Anteil des Schwerlastverkehrs von 16,2 % abgeleitet wurde. Ein großer Teil der Bauwerke auf denen reaktionsharzgebundene Dünnebeläge eingebaut werden, werden jedoch deutlich geringere DTV-Werte aufweisen. Bei diesen Brücken treten die maximalen Durchbiegungen wie sie bei der Dauerschwellbiegeprüfung vorgegeben werden wenn überhaupt, dann nur vereinzelt auf, mit längeren Phasen ohne Belastung. Im Einzelfall einer wenig und mit geringen Lasten befahrenen Brücke wäre es daher durchaus möglich, eine hinsichtlich der Belastungsfrequenz und/oder der Belastung abgeschwächte Dauerschwellbiegeprüfung als Eignungsprüfung für die Ausführung eines Belages in Überdicke durchzuführen.

10 Untersuchungen an zwei bei - 10 °C hergestellten Probekörpern

Bei Untersuchungen im Rahmen des BAST-Projektes 89 211 „Erarbeitung einer ZTV für reaktionsharzgebundene Dünnebeläge auf Stahl - Untersuchungen zur Empfindlichkeit der verschiedenen RHD-Belagssysteme unter ungünstigen Einbaubedingungen“ [8] wurde aufgezeigt, daß RHD-Belagssysteme auf der Basis von PMMA auch bei niedrigen Temperaturen aushärten. Es wurden Untersuchungen bei einer Einbau- und Aushärtetemperatur von - 10 °C durchgeführt. Um zu klären, ob unter diesen Bedingungen hergestellten Beläge auch dynamische Belastungen unbeschadet über-

stehen, wurden zwei entsprechend hergestellte Probekörper des Belagsystems S1 mittels der Dauerschwellbiegeprüfung untersucht. Als Belagsdicke wurde für diese Untersuchungen die Regel-einbaudicke von 10 mm gewählt.

Hierzu wurde das Belagsmaterial und das gestrahlte Probeblech bei - 10 °C so lange gelagert, bis das Material diese Temperatur angenommen hatte. Anschließend wurde das Belagsmaterial gemischt, auf das Probeblech aufgebracht und sofort wieder bei - 10 °C aushärten gelassen. Es wurden sowohl die Grundierung als auch die Deck-schicht bei - 10 °C aufgebracht. Die relative Luft-feuchte spielt bei dieser niedrigen Temperatur kei-ne Rolle, da selbst bei hoher relativer Luftfeuchte die absolute Luftfeuchte sehr gering ist. Für eine eventuelle Schädigung des Belages während des Beschichtens und der Aushärtung ist aber die ab-solute vorhandene Feuchtigkeit von Bedeutung.

Anschließend wurde der Belag nach Herstelleran-gaben mit einer Kopfversiegelung versehen. Diese Kopfversiegelung kann auch weggelassen werden, bedeutet jedoch eine Verbesserung der Einbindung des Abstreukorns und kann somit die Qualität ei-nes Belages verbessern. Die Kopfversiegelung darf aber auf keinen Fall dazu dienen, eine mangelhafte Einbindung des Abstreumaterials nachträglich her-beizuführen. Wie die Praxis bei einem anderen Belagsystem gezeigt hat, wird in diesem Fall die Kopfversiegelung zusammen mit der nicht ausrei-chend eingebundenen Abstreuerung in Stücken aus der Belagsoberfläche herausbrechen. Dies gilt für eine eventuelle Kopfversiegelung bei allen Belag-systemen.

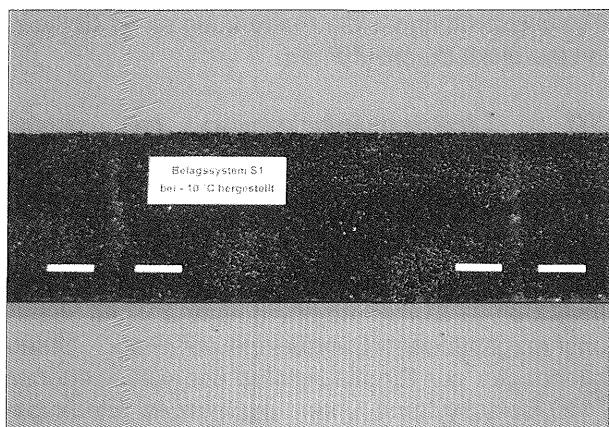


Bild 28: Belagsystem S1

Die so hergestellten Probekörper wurden der im Abschnitt 8 beschriebenen Dauerschwellbiegeprü-fung entsprechend den Festlegungen nach den TP-RHD-ST unterzogen. Beide Probekörper be-standen die durchgeführten Untersuchungen ohne erkennbare Schäden. Es zeigten sich keine Risse oder Belagsablösungen (Bild 28). Die am Probe-körper gemessenen Durchbiegungen blieben über die gesamte Versuchsdauer annähernd konstant.

In einem zweiten Schritt wurden die Probekörper einer 7-tägigen Alterung bei einer Temperatur von + 70 °C unterzogen und erneut der im Abschnitt 8 beschriebenen Dauerschwellbiegeprüfung ausgesetzt. Auch bei dieser Versuchsreihe zeigten sich keinerlei erkennbare Schäden und die gemessenen Durchbiegungen blieben über die Versuchs-dauer konstant.

Im dritten Schritt wurden die Probekörper daher der im Abschnitt 11 beschriebenen 1,5-fachen Belastung nach dem Belastungskollektiv ausge-setzt (Bild 29). Auch diese Versuchsreihe über-standen die Probekörper ohne Schäden.

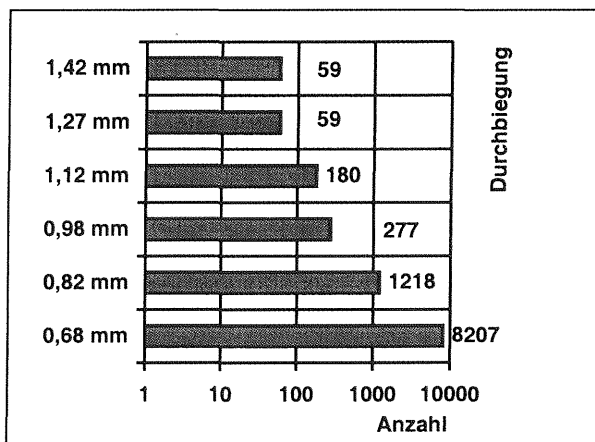


Bild 29: Belastungskollektiv für die 1,5-fache Belastung

11 Untersuchungen mit einer um den Faktor 1,5 erhöhten Belastung der Probekörper

Diese Untersuchungen dienen der Klärung der Frage, ob die bewährten Belagsysteme bei der Durchführung der Dauerschwellbiegeprüfung für RHD-Beläge mit den getroffenen Festlegungen an

die Grenze ihrer Belastbarkeit geprüft werden, oder ob noch ein ausreichender Sicherheitsabstand zu der tatsächlichen Belastbarkeit dieser Belagsysteme besteht.

Die Untersuchungen wurden wiederum mit den Belagsystemen S1, S4, S5, S6 und S7 durchgeführt, um alle zur Zeit gebräuchlichen Bindemittelarten zu erfassen. Die Versuchsreihe wurde unter den im Abschnitt 8 beschriebenen Bedingungen durchgeführt mit der Änderung, daß die eingestellten Belastungen nach dem Belastungskollektiv um den Faktor 1,5 erhöht wurden, d. h. die maximale Durchbiegung am blanken Probeblech 1,42 mm betrug (Bild 29).

Auch diese Versuche wurden von den Belagsystemen mit PMMA, Polyurethan oder Epoxidharz/Polyurethan als Bindemittel ohne Schäden überstanden. Bei keinem Belagsystem zeigten sich Risse über den Auflagern oder im Bereich der Lasteinleitungen. Es gab keine Ablösungen von den Stahlblechen. Die Oberflächen der Beläge zeigten sich auch im Bereich der Lasteinleitungen nach den Untersuchungen in sehr gutem Zustand.

Die beiden Belagsysteme mit dem Bindemittel Epoxidharz zeigten nach Beendigung der Untersuchungen einen durchgehenden Riß über dem mittleren Auflager.

Diese Untersuchungen haben gezeigt, daß die bewährten RHD-Belagsysteme die im Entwurf der TP-RHD-ST festgelegte Dauerschwellbiegeprüfung mit einem ausreichenden Sicherheitsabstand bestehen, d. h. daß die festgelegten, aus Praxismessungen abgeleiteten Prüfbedingungen und Anforderungen eine sinnvolle Prüfung darstellen. Die erhöhten Belastungen der Belagsysteme aus den Rahmenbedingungen einer kurzzeitigen Prüfung (wie hohe Belastungsfrequenz, keine unbelasteten Phasen, in denen sich der Belag „erholen“ kann), die in der zur Verfügung stehenden Zeit für eine solche Prüfung bedingt sind, führen bei den bewährten RHD-Belagsystemen nicht zu Schäden.

Aus den Ergebnissen kann daher gefolgert werden, daß bei den zukünftig durchzuführenden Grundprüfungen die Belagsysteme, die diese Dauerschwellbiegeprüfung nicht bestehen, für den Anwendungsfall als befahrener RHD-Belag auf einer Stahlbrücke von minderer Qualität sind und als nicht ausreichend geeignet eingestuft werden können.

12 Untersuchungen einer praxisgerechten Lasteinleitung an Probekörpern mit 12-mm-Probepplatten

Aufgrund der positiven Ergebnisse der vorangegangenen Untersuchungen konnte vermutet werden, daß selbst bei der Verwendung von 12 mm dicken Probepplatten zur Herstellung der Probekörper für die Dauerschwellbiegeprüfung eine praxisgerechte Lasteinleitung von oben auf den Belag möglich ist. Das 12-mm-Probepblech entspricht in seiner Dicke der Regeldicke der Fahrbahnbleche von orthotropen Fahrbahntafeln.

Daher wurden von allen Belagsystemen S1 – S7 je zwei Probekörper mit einem 10 mm dicken RHD-Belag und einem 12 mm dicken Probepblech im Normalklima hergestellt. Die Probekörper wurden 14 Tage im Normalklima aushärten gelassen und dann der Dauerschwellbiegeprüfung unterzogen. Die Dauerschwellbiegeprüfung wurde bei der festgelegten Prüfungstemperatur von -10 °C durchgeführt.

Die nach dem Belastungskollektiv einzustellenden Lasten wurden vor der Beschichtung der Probepplatten an den blanken Probepblechen ermittelt. Mit den so ermittelten Lasten wurden nach dem Aufbringen der Beläge die Dauerschwellbiegeprüfungen durchgeführt. Wie in der Praxis erhalten bei dieser Versuchsdurchführung stärker mittragende Beläge kleinere Durchbiegungen als weniger mittragende Beläge.

Wie aus den Bildern 30 – 36 zu erkennen, traten bei keinem der untersuchten Belagsysteme größere Schäden im Bereich der Lasteinleitungen auf. Die aus den lasteinleitenden Stahlwalzen resultierenden Eindrücke in den Belagsoberflächen waren etwas tiefer als bei den im Abschnitt 6 beschriebenen Untersuchungen, lagen aber noch in einer für die Prüfung unkritischen Größe. Daher wurde bei der Erarbeitung der TP-RHD-ST für die Dauerschwellbiegeprüfung (Beschreibung siehe Abschnitt 8) die Dicke der Probepplatten zur Herstellung der Probekörper von 8 mm auf 12 mm erhöht, um diese Prüfung möglichst praxisgerecht zu gestalten.

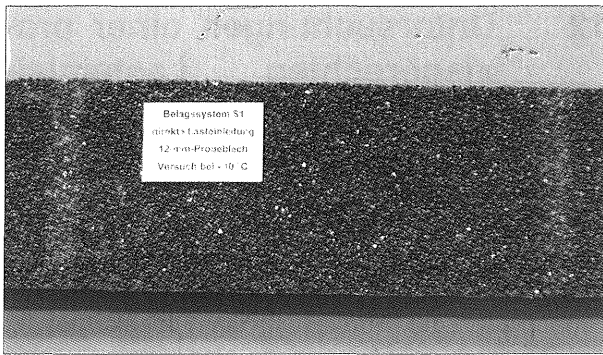


Bild 30: Probekörper Belagsystem S1

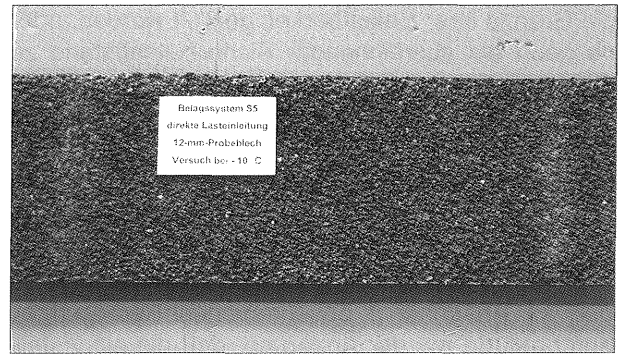


Bild 34: Probekörper Belagsystem S5

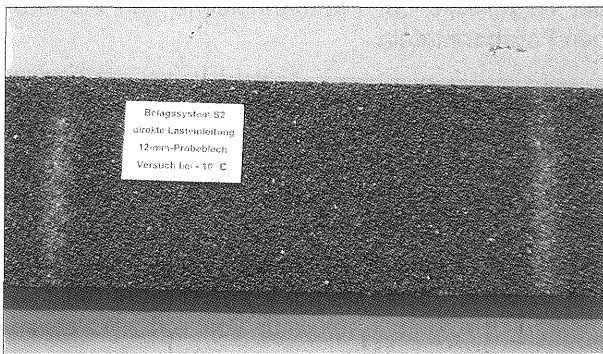


Bild 31: Probekörper Belagsystem S2

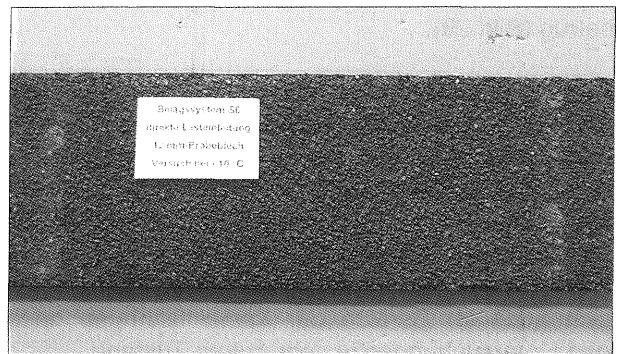


Bild 35: Probekörper Belagsystem S6

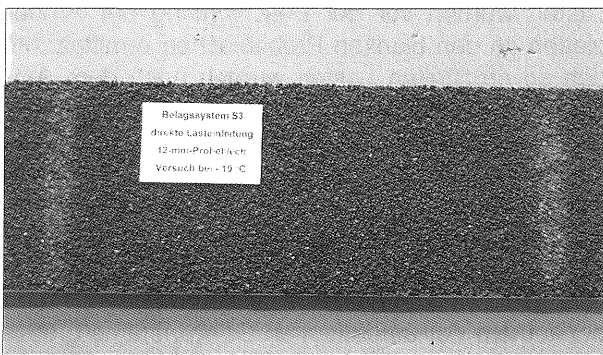


Bild 32: Probekörper Belagsystem S3

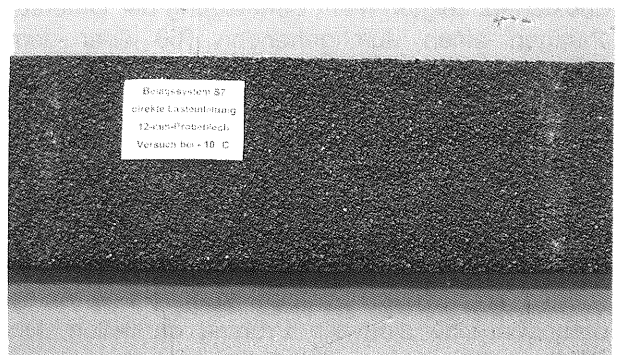


Bild 36: Probekörper Belagsystem S7



Bild 33: Probekörper Belagsystem S4

13 Zusammenfassung und Ausblick

Aus den in diesem Projekt und den im BAST-Projekt 94 750 „Laborprüfverfahren zur Beurteilung des Praxisverhalten von Reaktionsharzbelägen“ durchgeführten Untersuchungen konnte eine an die Belange der Reaktionsharzbeläge angepaßte Dauerschwellbiegeprüfung für RHD-Beläge entwickelt werden. Diese wurde durch den Arbeitskreis 7.10.2 „Beläge auf Stahlbrücken“ in den Entwurf der sich zur Zeit in Arbeit befindlichen „Technischen Prüfvorschriften für die Prüfung der reaktionsharzgebundenen Dünnbeläge auf Stahl“ (TP-RHD-ST) [12] aufgenommen.

Durch die durchgeführten Untersuchungen konnte eindeutig nachgewiesen werden, daß eine praxisgerechte direkte Lasteinleitung von oben auf den Belag des Probekörpers bei der Dauerschwellbiegeprüfung für RHD-Beläge möglich ist, was in den Entwurf der Dauerschwellbiegeprüfung eingearbeitet wurde. Die direkte Lasteinleitung bedeutet eine wesentliche Vereinfachung der Prüfeinrichtung und der Probekörper. Es werden keine speziell gefertigten Probepplatten mehr benötigt, sondern es können handelsübliche Stahlbleche zur Herstellung der Probekörper verwendet werden. Damit ist im Zweifelsfall eine schnellere und preisgünstigere Überprüfung eines RHD-Belages z. B. für erweiterte Eignungsprüfungen möglich.

Die im Entwurf der TP-RHD-ST festgelegten Prüfbedingungen für die Dauerschwellbiegeprüfung wurden mit allen zur Zeit verwendeten Bindemittelarten überprüft und abgesichert. Durch eine Überhöhung der Belastung der Prüfkörper um den Faktor 1,5 wurde nachgewiesen, daß die bewährten Belagsysteme bei der Dauerschwellbiegeprüfung unter Normalbedingungen eine ausreichende Sicherheitsspanne haben, so daß Belagsystem, welche die Dauerschwellbiegeprüfung nicht bestehen für den Anwendungsfall als Belag auf einer Stahlbrücke nicht gleichermaßen geeignet sind.

Anhand zweilagiger, zwischen der Beschichtung der ersten und der zweiten Lage über 14 Tage bewitterter und anschließend gereinigter Probekörper konnte nachgewiesen werden, daß auch eine länger liegende, normal verschmutzte Lage einer Deckschicht nach sorgfältiger Reinigung überbe-

schichtet werden kann. Dabei wurde die Oberfläche der verschmutzten Lage erst gründlich mechanisch gereinigt und anschließend sorgfältig mit trockener Druckluft abgeblasen. Es ist aber darauf zu achten, daß die zu beschichtende Unterlage völlig trocken ist. Der Materialhersteller sollte in jedem Fall vor der Durchführung einer solchen Maßnahme befragt werden.

Ebenfalls geklärt wurde die Frage, ob RHD-Beläge auch in größeren Schichtdicken, z. B. wegen des Ausgleiches von Unebenheiten der Fahrbahntafel oder eines Gradientenausgleiches eingebaut werden können. Für die untersuchten Polyurethan- und Epoxidharz/Polyurethan-Beläge kann diese Frage bis zu einer Dicke von 30 mm ohne Einschränkung bejaht werden. Für den untersuchten PMMA-Belag muß diese Frage ebenfalls bejaht werden, allerdings erreicht dieser Belag bei den eingestellten Lasten und dieser Schichtdicke die Grenze seiner Belastbarkeit, während bei den Polyurethan- und Epoxidharz/Polyurethan-Belägen noch durchaus Reserven hinsichtlich der Belastbarkeit vorhanden sind. Da die reaktionsharzgebundenen Dünnbeläge oftmals auf weniger belasteten Brücken eingesetzt werden, das Belastungskollektiv aber die Belastungen des Belages einer höchstbelasteten Autobahnbrücke simuliert, sind unter diesen Randbedingungen bei diesen Bindemittelarten keinerlei Probleme beim Einbau in Überschichtdicken bis zu 30 mm zu erwarten.

Die untersuchten, recht hart eingestellten Epoxidharzbeläge erfüllten bei dieser Untersuchung die gestellten Anforderungen nicht. Es bildete sich über dem mittleren Auflager, teilweise mit einem hörbaren Knall, ein Riß, der durch alle drei Lagen bis auf den Untergrund reichte. Nach dem Auftreten des Risses konnte die Prüfung ohne weitere Schäden bei um ca. 15 % erhöhten Durchbiegungen zu Ende gefahren werden, ohne daß weitere Schäden auftraten.

Da die eventuell nach der Einführung der ZTV-, TL- und TP-RHD-ST zur Anwendung kommenden Epoxidharzbeläge aller Wahrscheinlichkeit nach modifiziert sein werden, sollte die Tauglichkeit dieser Beläge für die Ausführung in einer solchen Überschichtdicke im Einzelfall durch eine Dauerschwellbiegeprüfung geklärt werden.

14 Literatur

- [1] Merkblatt für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl, FGSV, Ausgabe Februar 1984
- [2] F.A. 7.017R74N „Erprobung von dünnen Kunststoffbelägen“, Untersuchungsbericht der Fa. Krupp, 1980
- [3] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Herstellung von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen auf Stahl (ZTV-RHD-ST), Entwurf Dezember 1997
- [4] Laborprüfverfahren zur Beurteilung des Praxisverhaltens von Reaktionsharzbelägen, Schlußbericht zum BAST-Projekt 94 750, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach Dez. 1997
- [5] Erarbeitung einer ZTV für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl - Untersuchungen zur Weiterentwicklung der reaktionsharzgebundenen Dünnbeläge auf Stahl, 1. Zwischenbericht zum BAST-Projekt 89 211, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach Dezember 1992
- [6] Untersuchungen reaktionsharzgebundener Dünnbeläge an D-Brücken im Vergleich zu Rundlaufversuchen, Stellungnahme der BAST an das BMV, Bergisch Gladbach Oktober 1996
- [7] Technische Prüfvorschriften für die Prüfung der Dichtungsschichten und der Abdichtungs-Systeme für Brückenbeläge auf Stahl (TP-BEL-ST), Ausgabe 1992
- [8] Erarbeitung einer ZTV für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl - Untersuchungen zur Empfindlichkeit der verschiedenen RHD-Belagsysteme auf ungünstige Einbaubedingungen, Bericht zum BAST-Projekt 89 211, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach Januar 1998
- [9] Technische Lieferbedingungen für Baustoffe der Dichtungsschichten für Brückenbeläge auf Stahl, (TL-BEL-ST), Ausgabe 1992
- [10] Erarbeitung einer ZTV für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl - Ermittlung eines belagsunabhängigen Belastungskollektives zur Dauerschwellbiegeprüfung, Bericht zum BAST-Projekt 89 211, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach November 1996
- [11] DIN EN ISO 12944 Teil 4, Beschichtungssysteme - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme, Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitung
- [12] Technische Prüfvorschriften für die Prüfung der reaktionsharzgebundenen Dünnbeläge auf Stahl (TP-RHD-ST), Entwurf Dezember 1997
- [13] Berechnung eines Korrekturfaktors für die mittragende Wirkung von RHD-Belägen auf 8 mm, 10 mm und 12 mm Stahlblechen bei der Dauerschwellbiegeprüfung, Bergerhausen, Bergisch Gladbach, Dezember 1998

- B 22: Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken**
P. Haardt
42 Seiten, 1999 DM 22,50
- B 23: Bewertung und Oberflächenvorbereitung schwieriger Untergründe**
Instandhaltung des Korrosionsschutzes durch Teil-erneuerung
M. Schröder, S. Sczyslo
31 Seiten, 1999 DM 21,00
- B 24: Erarbeitung einer ZTV für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl**
Untersuchungen zur Empfindlichkeit der verschiedenen RHD-Belagsysteme unter ungünstigen Einbaubedingungen
M. Eilers, G. Stoll
25 Seiten, 1999 DM 21,00
- B 25: Konzeption eines Managementsystems zur Erhaltung von Brücken- und Ingenieurbauwerken**
P. Haardt
52 Seiten, 1999 DM 24,00
- B 26: Einsatzmöglichkeiten von Kletterrobotern bei der Bauwerksprüfung**
J. Krieger, E. Rath, G. Berthold
18 Seiten, 1999 DM 20,00
- B 27: Dynamische Untersuchungen an reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen**
M. Eilers, W. Ritter, G. Stoll
32 Seiten, 1999 DM 21,50

Zu beziehen durch:
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 88