FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN
ARBEITSGRUPPE ASPHALTSTRASSEN

Hinweise und Erläuterungen zu den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Herstellung von Fahrbahnübergängen aus Asphalt in Belägen auf Brücken und anderen Ingenieurbauwerken aus Beton

ZTV-BEL-FÜ

Ausgabe 2001

Arbeitsgruppe Asphaltstraßen
Arbeitsausschuss: Beläge auf Ingenieurbauwerken
Arbeitskreis: Fahrbahnübergänge aus Asphalt und Fugen in Belägen auf Ingenieurbauwerken

Leiter/in:

Frau BR Kraus, Bonn

Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Halter, Berlin
Dipl.-Ing. Horatschek, Hamburg
Dipl.-Oec. Koll, Pinneberg
Dipl.-Ing. ETH Lehmann, Sarnen (Schweiz)
Dipl.-Ing. Recknagel, Berlin
BOR Stahl, Kempten
Dipl.-Ing. Wruck, Bergisch Gladbach

Vorbemerkung

Die Hinweise und Erläuterungen zu den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Herstellung von Fahrbahnübergängen aus Asphalt in Belägen auf Brücken und anderen Ingenieurbauwerken aus Beton (ZTV-BEL-FÜ) sind in einer Bearbeitergruppe des Arbeitskreises „Fahrbahnübergänge aus Asphalt" erarbeitet worden. Darüber hinaus wirkten die Herren Dipl.-Ing. Aydogan und Dipl.-Ing. Knehans mit.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 5

1.1 Allgemeines 5

1.2 Definition des Fahrbahnüberganges aus Asphalt 5

1.3 Anwendungsbereiche und Grenzwerte 7

2 Grundlagen 10

2.1 Erarbeitung des Regelwerkes 10

2.2 Funktionsweise 11

2.3 Forschungsvorhaben 11

2.4 Rechnerische Abschätzung des Systemverhaltens 12

2.5 Einführung des Regelwerkes 14

3 Planung 15

3.1 Bestandsaufnahme 15

3.2 Verformungsberechnung 16

3.3 Vorbereitung der Ausschreibung 17

4 Ausführung 18

4.1 Anforderungen an den Auftragnehmer 18

4.2 Ausführungsanweisung 19

4.3 Teilerneuerung 19

4.4 Einbauprotokoll 19

5 Prüfungen 22

5.1 Allgemeines 22

5.2 Technische Lieferbedingungen TL-BEL-FÜ 23

5.3 Technische Prüfvorschriften TP-BEL-FÜ 24

5.3.1 Stoffprüfungen 24

5.3.2 Funktionsprüfungen 26

6 Erfahrungen mit bisher eingesetzten Systemen 30

6.1 Umfrage über die Bewährung von Fahrbahnübergängen aus Asphalt 30

6.1.1 Allgemeines 30

6.1.2 Allgemeine statistische Angaben 30

6.1.3 Schadensarten, Schadenshäufigkeit allgemein 31

6.1.4 Schadenshäufigkeit in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussparametern 33

6.1.5 Fazit 35

7 Ausblick 35

8 Abkürzungsverzeichnis 37

9 Literaturverzeichnis 38

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

An den Auflagern von Brückenüberbauten treten infolge von lastunabhängigen (Temperatur, Schwinden, Bewegungen der Widerlager) und lastabhängigen Einwirkungen (Eigengewicht, Auflasten, Kriechen, Verkehrslasten) Bewegungen auf. Um zwischen Brückenüberbau und angrenzender freier Strecke bzw. zwischen statisch getrennten Brückenüberbauten Bewegungen zu ermöglichen, werden Fugen angeordnet. Zur verkehrstechnisch sicheren und komfortablen Überbrückung des Fugenspaltes werden Fahrbahnübergangskonstruktionen auch bei Tunnel- und Trogbauwerken hergestellt. Sie nehmen Bewegungen infolge des veränderlichen Fugenspaltes zwängungsfrei auf, übertragen die Verkehrslasten und schützen das Tragwerk vor Wasser und korrosionsfördernden Taumitteln.

Das Netz der Bundesfernstraßen umfasst 52.813 km mit rd. 35.200 Brücken, die eine Fläche von 24,79 Mio. m² bedecken. Die Ausgaben für die Erneuerung aller Arten von Fahrbahnübergängen im Rahmen von Instandsetzungsmaßnahmen der Bundesstraßen und Bundesautobahnen betrugen im Jahr 1998 ca. 33 Mio. DM. Bei Gesamtausgaben für die Erhaltung von Brücken von 533 Mio. DM entspricht dies einem Anteil von 6,2 %. Nicht erfasst sind dabei die Kosten infolge Stau bzw. Verkehrsbehinderung, die aufgrund von Erhaltungsmaßnahmen an Fahrbahnübergangskonstruktionen entstehen. Der Ausbildung funktionsfähiger, dauerhafter und wartungsarmer Fahrbahnübergangskonstruktionen kommt daher hohe volkswirtschaftliche Bedeutung zu.

In Deutschland sind bisher ca. 58.000 m Fahrbahnübergänge aus Asphalt in allen klassifizierten Straßen eingebaut worden. 1983 wurden in drei Baumaßnahmen 53 m und im folgenden Jahr 90 m verlegt. 1986 waren es bereits ca. 2.000 m. Diese Jahresleistung hat sich in den darauffolgenden Jahren bis auf 3.000 m gesteigert. Seit 1990 sind jährliche Einbauleistungen bis zu 6.000 m zu verzeichnen.

1.2 Definition des Fahrbahnüberganges aus Asphalt

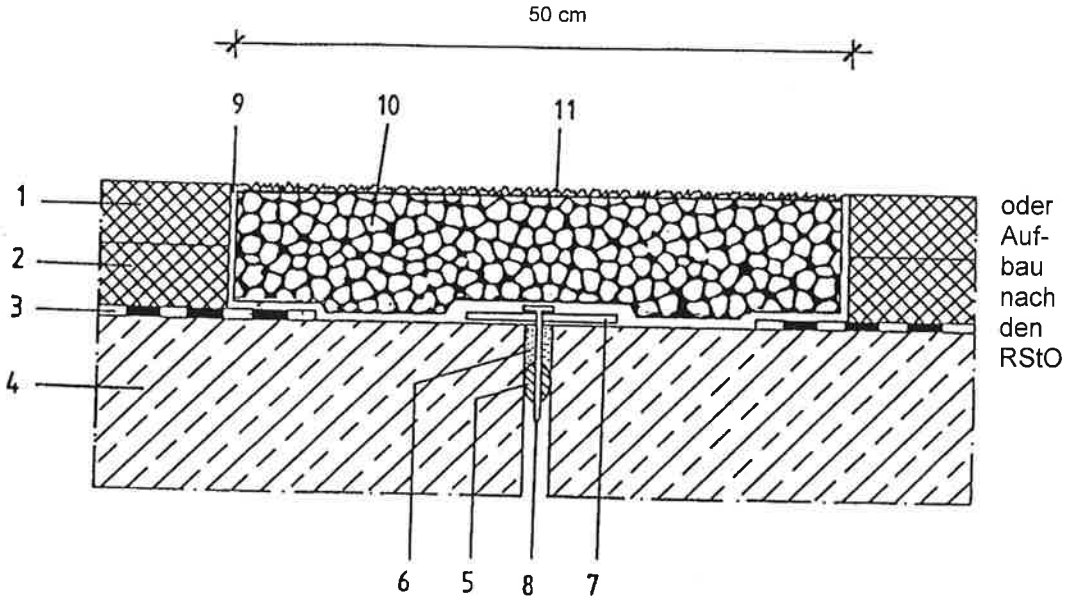
Der Fahrbahnübergang aus Asphalt dient der Überbrückung und Abdichtung von befahrbaren Fugen auf Brücken und anderen Ingenieurbauwerken. Der Fugenspalt wird von einem auf den Rändern der Bewegungsfuge gleitend gelagerten Streifen (Abdeckstreifen) abgedeckt. Die Bewegungen des Fugenspaltes werden mit Hilfe eines an den Flanken und der Unterlage dauerhaft haftenden dehnbaren Asphaltkörpers auf den anschließenden Fahrbahnbelag übertragen.

Das Funktionsprinzip des Fahrbahnüberganges aus Asphalt ist ein kombiniertes Zusammenwirken von Polymerbitumen-Tränkmasse und fraktioniertem Splitt. Seine Standfestigkeit resultiert aus der Korn-zu-Korn-Abstützung des Splittgerüstes, seine Funktionsfähigkeit aus den viskoelastischen Eigenschaften der Tränkmasse und der Beweglichkeit des Splittgerüstes.

Der Begriff der Tränkmasse ist neu und von der Art des Einbaues abgeleitet. Die Tränkmasse besteht aus einem polymermodifizierten Bitumen mit Füllstoffen und ggf. weiteren Zusätzen. Mit der heißen und flüssigen Tränkmasse werden die Hohlräume des lagenweise eingebrachten Splitthaufwerks getränkt und verfüllt.

Fahrbahnübergänge aus Asphalt werden auf der Baustelle hergestellt und bestehen im einzelnen aus (siehe Bild 1):

- einer Unterfüllung (5) und Fugenmasse (6) zum Verschließen des Fugenspaltes bis Oberkante Beton
- einer Muldenauskleidung (9) aus Tränkmasse
- einem in die Muldenauskleidung eingebetteten Abdeckstreifen (7) aus Metall oder anderem geeigneten Material, der mittig über dem Fugenspalt liegt
- einer mehrlagigen Muldenfüllung (10) aus Splitt und Tränkmasse (Asphaltkörper)
- einem Oberflächenabschluss (11) zur Anpassung an den angrenzenden Fahrbahnbelag



1 Asphalt-Deckschicht
2 Asphalt-Schutzschicht
3 Dichtungsschicht
4 Brückenplatte
5 Unterfüllung
6 Fugenmasse
7 Abdeckstreifen
8 Fixierung
9 Muldenauskleidung
10 Muldenfüllung
11 Oberflächenabschluss

Bild 1: Schematischer Aufbau eines Fahrbahnüberganges aus Asphalt

1.3 Anwendungsbereiche und Grenzwerte

Zur Überbrückung und zum Abdichten von Fugen zwischen Bauwerken bzw. Bauwerksteilen sind grundsätzlich unterschiedliche Fugenkonstruktionen möglich.

Die Auswahl der Fugenkonstruktion ist abhängig von der Art und Größe der aufzunehmenden Bewegungen, den direkten und indirekten Beanspruchungen aus Verkehr sowie den konstruktiven Bedingungen des Bauteils bzw. Bauwerks (Tragwerk).

Die Tabelle 1 zeigt in Abhängigkeit von den aufzunehmenden Bewegungen und anderen Randbedingungen eine Übersicht der Anwendungsbereiche von Fugenausbildungen im Bereich von Verkehrsflächen.

Nach den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Herstellung von Fahrbahnübergängen aus Asphalt in Belägen auf Brücken und anderen Ingenieurbauwerken aus Beton" (ZTV-BEL-FÜ) [2] sind Fahrbahnübergänge aus Asphalt für folgende Bereiche anwendbar:

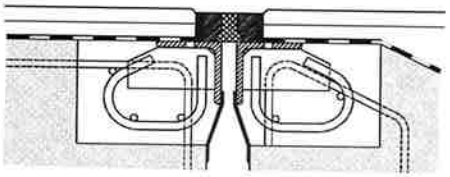
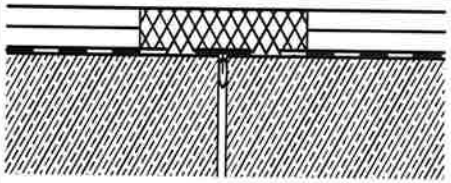
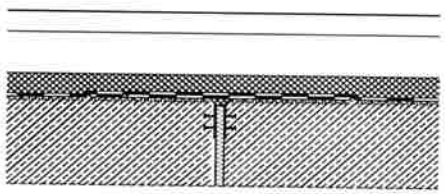
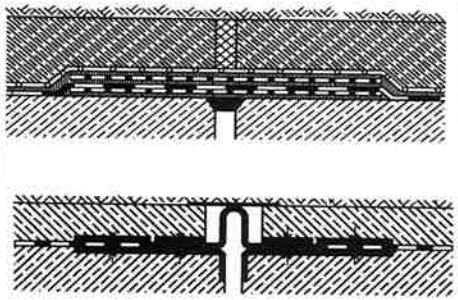
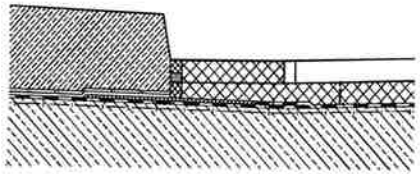
- Fugen zwischen Brückenbelag und Straßenbefestigung bei einer tragfähigen Hinterfüllung mit geringen Eigensetzungen
- Überbaufugen im Brückenbelag, z. B. Einfeldträger-Kette
- Fugen zwischen vollflächig gelagerten Platten, z. B. auf Gewölbebrücken, Blockfugen in Trog- und Tunnelsohlen.

Das Hauptanwendungsgebiet der Fahrbahnübergänge aus Asphalt ist ihr Einsatz als Überbauabschluss zwischen Brücke und anschließender Straßenbefestigung insbesondere bei der Instandsetzung. Nicht geeignet sind sie, wenn planmäßig große Vertikallasten ständig einwirken, z. B. ruhender Schwerverkehr, oder wenn anhaltend Beschleunigungs- bzw. Verzögerungskräfte infolge Verkehr zu erwarten sind, d. h. im Bereich von Lichtsignalanlagen und Bushaltestellen.

Fahrbahnübergänge aus Asphalt können auch bei der sogenannten „schwimmenden" (horizontal elastischen) Lagerung des Überbaus eingesetzt werden. Wird die Tragfähigkeit der Brückenklasse 60/30 z. B. infolge der Überfahrt schwerer LKW erreicht, ergeben sich durch den Lastfall Bremsen rechnerisch große Horizontalverschiebungen auf Fahrbahnhöhe. Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) hat hierzu Messungen an elastisch gelagerten Bauwerken durchgeführt [11]. Danach sind die tatsächlichen Bewegungen durch Bremsen jedoch kleiner als die geringen Bewegungen, die das Fahrzeug durch Winkelverdrehung am Auflager infolge Durchbiegung erzeugt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Anwendungsbereich nicht eingeschränkt werden muss.

Die Regelbreite des Fahrbahnüberganges aus Asphalt ist derzeit auf 50 cm festgelegt, weil zum einen die Muldenfüllung bei einer geringeren Breite größeren Beanspruchungen ausgesetzt ist und zum anderen für größere Breiten noch keine ausreichenden Erfahrungen über das Verformungsverhalten vorliegen.

Tabelle 1: Fugenausbildungen im Bereich von Verkehrsflächen

Art der Fugenkonstruktion	Systemdarstellung	Grenzwerte der aufzunehmenden Bewegungen	Anwendungsbereich
Ein- bzw. mehrprofilige Lamellen-Bauweise als wasserdichte Übergangs-Konstruktion nach Richtzeichnung Übe 1 bzw. TL/TP-FÜ 92		**horizontal:** Bis zu 70 mm je Dichtprofil für Bewegungen aus allen Tragwerks-verformungen	Für Neubau und Instandsetzung auf Brücken im Bereich von direkt befahrbaren Verkehrsflächen
Fahrbahnübergang aus Asphalt nach den ZTV-BEL-FÜ		**horizontal:** Dehnweg 25 mm, Stauchweg 12,5 mm **vertikal:** 5 mm bei hauptsächlich langsam ablaufenden Bewegungen	Für Neubau und Instandsetzung auf Brücken sowie auf Trog- und Tunnelsohlen aus Beton im Bereich von direkt befahrbaren Verkehrsflächen
Bauwerksfuge mit durchgehender Dichtungsschicht nach den ZTV-BEL-B, Teil 1, Anhang 1		**horizontal:** ≤ 5 mm bei langsam ablaufenden Bewegungen	Für Fahrbahnbeläge auf Trog- und Tunnelsohlen aus Beton bei Belagsdicken von ca. 16 cm. Sind für die in den ZTV-Tunnel Teil 2 (offene Bauweise) geregelten Blockfugenabstände von 7,5 bis 12 m geeignet.
Fugentyp I oder II nach DIN 18195, Teil 8 bzw. nach DS 835		**Fugentyp I:** je nach Anzahl und Breite der Verstärkungsstreifen horizontal max. 40 mm, senkrecht max. 30 mm und Kombination max. 25 mm bei langsam ablaufenden Bewegungen **Fugentyp II:** Für Bewegungen > Fugentyp I als Sonderkonstruktion	Für Ingenieurbauwerke mit nicht direkt befahrenen Bauwerksfugen mit Überschüttung im Bereich von Verkehrsflächen, siehe auch BMVBW-Richtzeichnung Fug 4
Vergussfuge nach den ZTV-BEL-B bzw. nach ZTV-Fug		Bis 25% der Fugenspaltbreite	Für Randfugen von Asphaltschichten auf Ingenieurbauwerken

Bei der Ausbildung von Fahrbahnübergängen aus Asphalt am Überbauende mit hochgezogener Kammerwand (siehe Bild 2) führen die zwei hintereinander liegenden Fugen zwischen Brückenüberbau, Kammerwand sowie anschließender freier Strecke zu einer über die Regelbreite hinausgehenden Verbreiterung des Fahrbahnüberganges. Aufgrund unzureichender Erfahrung ist diese Ausführung im Bereich der Bundesfernstraßen im Einzelfall nur mit Zustimmung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) möglich.

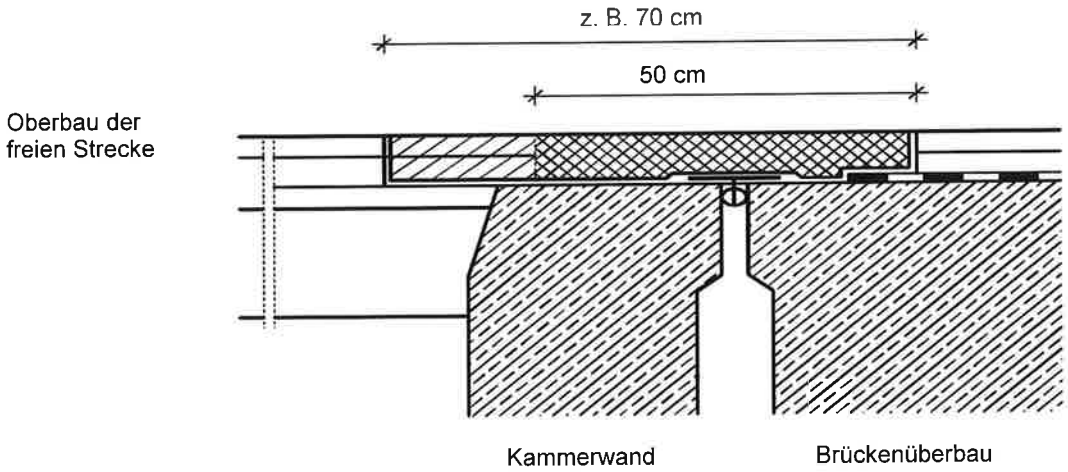


Bild 2: Schema eines Fahrbahnüberganges aus Asphalt am Überbauende mit Kammerwand

Die Grenzwerte für den Anwendungsbereich von Fahrbahnübergängen aus Asphalt während der Nutzungsdauer sind in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Grenzwerte der Bewegungen

Einwirkung aus Bauwerk und Nutzung	***Schadensfrei aufzunehmende Bewegungen***	
	Horizontal	*Vertikal*
Bewegungen infolge Temperatur, Kriechen, Schwinden, Setzungen und Verkehr	*25,0 mm Dehnweg* *12,5 mm Stauchweg*	*5,0 mm (Brücke/Oberbau der freien Strecke)*

Die Anwendung der Grenzwerte der Tabelle 2 setzt voraus, dass der überwiegende Anteil aus langsamen Bewegungen (Temperatur, Schwinden, Kriechen und Setzungen) resultiert.

Fahrbahnübergänge aus Asphalt stehen im unteren Dehnwegsbereich in Konkurrenz zu der Bauweise der wasserdichten Übergangskonstruktionen mit einem Dichtprofil entsprechend der Richtzeichnung Übe 1 des BMVBW.

Nachfolgend sind wesentliche Eigenschaften der Fahrbahnübergänge aus Asphalt aufgelistet:

- für Fugenbewegungen bis 2,5 cm Dehnung bzw. 1,25 cm Stauchung geeignet
- geringe Geräuschemission bei der Überfahrt
- ebene Fahrbahnoberfläche, fugenlos (Fahrkomfort)
- Wasserundurchlässigkeit
- optimale Anpassung der Oberflächenstruktur an den angrenzenden Belag
- Anpassung an sich ggf. bildende Spurrinnen des angrenzenden Belages
- schneller Baufortschritt (bei optimalen Einsatzbedingungen bis zu 30 m pro Tag und Kolonne)
- schnelle und einfache Erneuerung bzw. Teilerneuerung
- Einbau in Teilabschnitten möglich, keine Vollsperrung erforderlich
- geringere Baukosten im Vergleich zu Konstruktionen mit einem Dichtprofil (Unterkonstruktion entsprechend Übe 1)
- weitgehend unterhaltungsfrei
- Maßanfertigung, sind äußerst flexibel an die örtlichen Gegebenheiten anzupassen
- keine Verankerungseisen im Tragwerksbeton erforderlich

aber:

- die Nutzungsdauer des Fahrbahnüberganges aus Asphalt endet spätestens mit der Erneuerung des Brückenbelages
- im Bereich von Lichtsignalanlagen, Bushaltestellen und ruhendem Schwerverkehr nicht geeignet
- bei starker Neigung oder in engen Kurven ist der Einsatz u. U. nicht zweckmäßig

2 Grundlagen

2.1 Erarbeitung des Regelwerkes

Für Bewegungsfugen von Straßen- und Wegebrücken mit Bewegungen in vorgegebenen Grenzen und als Alternative zum unterhaltungsintensiven Fugenverguss werden seit Anfang der achtziger Jahre vermehrt wasserundurchlässige Fahrbahnübergänge aus Asphalt eingesetzt.

Die ersten drei Übergänge wurden nach dem System „Thorma Joint" im August 1983 mit einer Gesamtlänge von 24 m auf der L 407 in Fahrtrichtung Solingen für das Rheinische Straßenbauamt Düsseldorf ausgeführt.

Aufgrund der steigenden Zahl der Anwendung derartiger Systeme (hauptsächlich bei der Instandsetzung aber auch beim Neubau), einer Vielzahl von Neu- und Weiterentwicklungen und der sehr unterschiedlichen Nutzungsdauer der angebotenen Fahrbahnübergänge aus Asphalt wurden einheitliche vertragliche sowie material- und konstruktionsspezifische Regelungen über Eignung, Herstellung, Ausführung und Prüfung erforderlich.

Das Ziel war, Regelungen zu treffen, die unabhängig von den angebotenen Systemen bei ordnungsgemäßer Ausführung funktionsfähige Fahrbahnübergänge gewährleisten. Hierfür wurden die bis dahin gesammelten Erfahrungen verwendet. Unter Berücksichtigung der am Markt befindlichen Systeme wurden Anforderungen festgelegt, bei deren Einhaltung die gewünschten Eigenschaften wie Standfestigkeit, Wasserundurchlässigkeit, Dehn- und Stauchfähigkeit sowie Griffigkeit dauerhaft gesichert sind.

Frühzeitig wurden die Erfahrungen anderer Länder bei der Entwicklung des Regelwerkes einbezogen. Österreich und die Schweiz beabsichtigten ebenfalls, Regelungen zu erarbeiten. In Österreich gibt es seit 1996 eine Richtlinie für Fahrbahnübergangskonstruktionen, die auch Angaben über die dort sogenannten „elastischen Belagsdehnfugen" enthält. Die Schweizer „Richtlinie für Fahrbahnübergänge aus Polymerbitumen", Ausgabe 1998 [8] ist inhaltlich auf die ZTV-BEL-FÜ abgestimmt, da Vertreter der schweizerischen Arbeitsgruppe regelmäßig an den Sitzungen in Deutschland teilgenommen haben. In der Schweiz bestandene Grundprüfungen werden nach Durchführung der im Einführungsschreiben 11/1998 [1] genannten Ergänzungsprüfungen auch in Deutschland anerkannt und umgekehrt. Die Funktionsprüfungen der bei der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Dübendorf beantragten Grundprüfungen werden bei der Bundesanstalt für Materialprüfung und -forschung (BAM), Berlin durchgeführt.

2.2 Funktionsweise

Das Funktionsprinzip des Fahrbahnüberganges aus Asphalt besteht im Zusammenwirken der viskoelastischen Tränkmasse mit dem Splittgerüst aus einer Kornfraktion. Der werkseitig aufbereitete und auf der Baustelle erhitzte Splitt, der vorumhüllt werden kann, wird in Lagen eingebaut und verdichtet. Je Lage werden die Hohlräume zwischen den Splittkörnern vollständig mit heißer Polymerbitumen-Masse getränkt, woraus ein dehn- und stauchbarer Asphaltkörper entsteht. Die gedrungenen Körner des Splittgerüstes ermöglichen die Bildung von gleichmäßig verteilten Hohlräumen und die Beweglichkeit des Splittgerüstes. Sie zeichnen sich durch hohe Festigkeit aus. Kräfte werden über die Korn-zu-Korn-Abstützung des Splittgerüstes abgetragen und Dehnungen durch die viskoelastische Polymerbitumen-Tränkmasse aufgenommen. Der Asphalt der Muldenfüllung ist wasserundurchlässig, da bei ordnungsgemäßer Verarbeitung ein Hohlraumgehalt von kleiner 1,5 Vol.-% erreicht wird. Darüber hinaus weist der Asphaltkörper selbst bei tiefen Temperaturen immer noch viskose Eigenschaften auf, wodurch Spannungen teilweise abgebaut werden können.

2.3 Forschungsvorhaben

Die zu Beginn der Regelwerkserstellung vorliegenden Erfahrungen mit bereits eingebauten Fahrbahnübergängen aus Asphalt waren ausgesprochen vielfältig und entzogen sich einer systematischen Auswertung bezüglich ihrer Funktionsweise und des Langzeitverhaltens. Um bei der Regelwerksbearbeitung auf ausreichend abgesicherte Erkenntnisse zugreifen zu können, wurden vorab und teilweise auch begleitend in verschiedenen vom BMVBW finanzierten Forschungsvorhaben die wissenschaftlich-technischen Grundlagen näher untersucht.

In einem ersten Forschungsvorhaben führte die Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen (STUVA) Versuche über die „Praxisnahe Prüfung von Fugenausbildungen in Belägen auf Brücken, in Tunneln und Trögen mit Hilfe einer Rundlaufprüfanlage" [4] durch. Das Ziel war, verlässliche Angaben zum Verhalten von Fugenausbildungen bei Übergängen von Brücken auf Fahrbahnen zu erhalten, insbesondere auch für Fertigteilbrücken in den neuen Bundesländern und bei Übergängen im Bereich der Blockfugen von Trögen und Tunneln. Die zeitraffende Durchführung von Überrollungsversuchen unter verschiedenartigen Prüfbedingungen galt als Alternative zur Erprobung der Fahrbahnübergänge in situ.

Parallel dazu wurden im Forschungsvorhaben der BAM „Erarbeitung von Kriterien für Anforderungen und Prüfungen von Fahrbahnübergängen aus Asphalt" [5] Kenndaten festgelegt, die eine Beurteilung der Materialien hinsichtlich Funktionstüchtigkeit, Wasserundurchlässigkeit und Dauerhaftigkeit sowie der stofflichen Identität zuließen.

Aufgrund des bestimmenden Einflusses der Ermüdungsfestigkeit auf die Funktionsfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit dieser Bauweise und, da die Funktionsprüfung in der Rundlaufanlage bis zu diesem Zeitpunkt noch keine eindeutigen Aussagen liefern konnte, wurden im Rahmen eines weiteren Forschungsvorhabens „Untersuchungen zur Ermüdung des Materialverbundes unter Lastwechselbeanspruchung bei Fahrbahnübergängen aus Asphalt" [6] grundsätzliche Stoff- und Funktionsprüfungen bei der BAM entwickelt und durchgeführt. In diesem Vorhaben waren die Parameter für eine praxisgerechte Beurteilung der Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit des gesamten Fahrbahnübergangssystems zu ermitteln.

2.4 Rechnerische Abschätzung des Systemverhaltens

Um die Funktionsweise sowie die Beanspruchungen des Systems abschätzen zu können, wurden die Dehnungen eines Fahrbahnübergangssystems aus Asphalt mit Hilfe der Methode der Finiten-Elemente (FE-Methode) simuliert. Nachgestellt wurden die Verschiebungen der Muldenflanken, wie sie aufgrund von rechnerischen Abschätzungen während der Nutzungsdauer zu erwarten sind. Grundlage des Rechenmodells ist die Annahme eines symmetrischen Verhaltens des Fahrbahnüberganges bei Verschiebung sowie eines rein elastischen Stoffverhaltens bei tiefen Temperaturen (–20 °C). Bei den zur Erstellung der Stoffmatrix notwendigen Stoffkennwerten wie E-Modul, Schubmodul G und Querdehnzahl konnten auf die Ergebnisse des Forschungsvorhabens [5] zurückgegriffen werden. Für den Verbund mit der Unterlage (unterer Rand), dem angrenzenden Fahrbahnbelag (linker Rand) sowie zum rechten Teil des Fahrbahnüberganges (rechter Rand) wurden Randbedingungen bezüglich der Verformbarkeit festgelegt (siehe Bild 3).

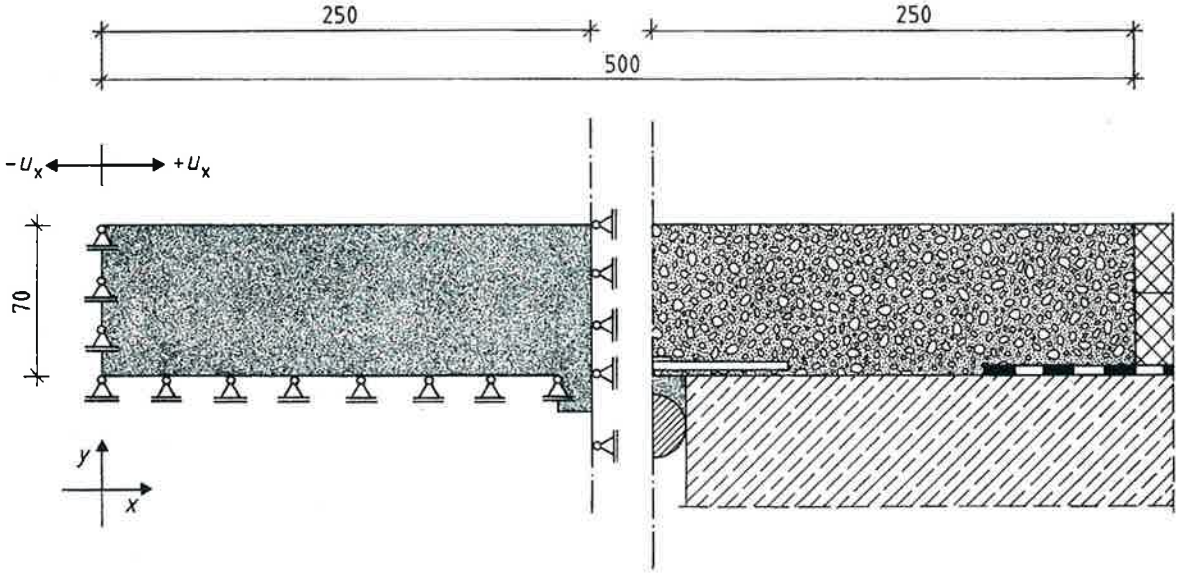


Bild 3: Darstellung der Lagerungsbedingungen an der linken Hälfte des Fahrbahnüberganges zur Simulation des Systemverhaltens

Für die rechnerische Simulation des Lastfalles „größte Dehnung des Fahrbahnübergangssystems", bei einer Umgebungstemperatur von –20 °C, d. h. Verschiebung des Muldenrandes um u_x = -12,5 mm gegenüber der Symmetrieachse, ergibt sich die in nachfolgender Bild dargestellte Spannungsverteilung.

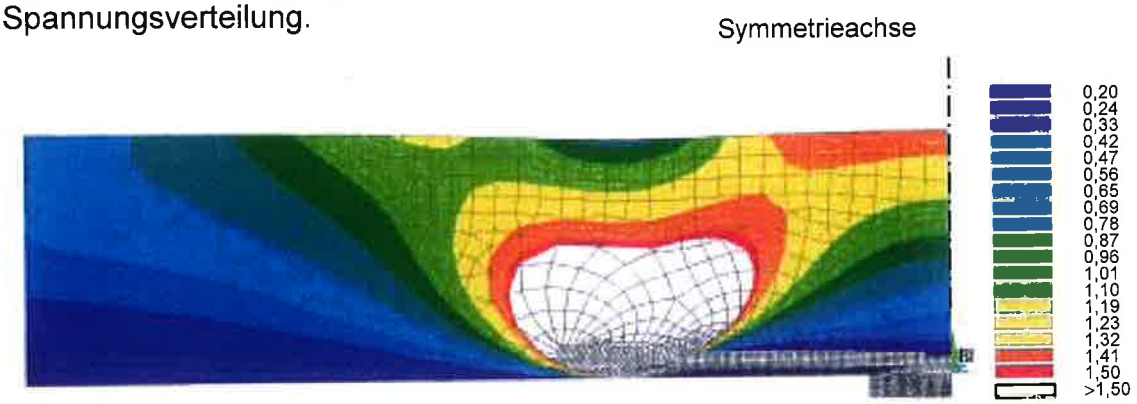


Bild 4: Rechnerische Verteilung der Zugspannungen σ_x bei 25 mm Fugenaufweitung und -20 °C in [N/mm²]

Bild 4 zeigt, dass bei vorgegebener Beanspruchung eine lokale Spannungsspitze im Bereich Abdeckstreifen/Asphalt der Muldenfüllung (geometrische Unstetigkeitsstelle) vorhanden ist, die auch im Asphalt oberhalb des Abdeckstreifens kaum abgebaut wird. Der Spannungsabbau erfolgt vielmehr zur Muldenflanke hin, wobei die Spannungen relativ schnell abnehmen. Im oberflächennahen Bereich der Muldenflanke betragen sie jedoch immer noch das 2 bis 3-fache gegenüber denen am Boden der Muldenflanke. Dort sind die Zugspannungen σ_x im Vergleich zu den Maximalspannungen ca. 7 bis 8 mal niedriger.

Im weiteren wurde mit Hilfe der FE-Methode eine Schubspannungsverteilung (σ_{xy}) bei langsam ablaufender Dehnbeanspruchung ermittelt.

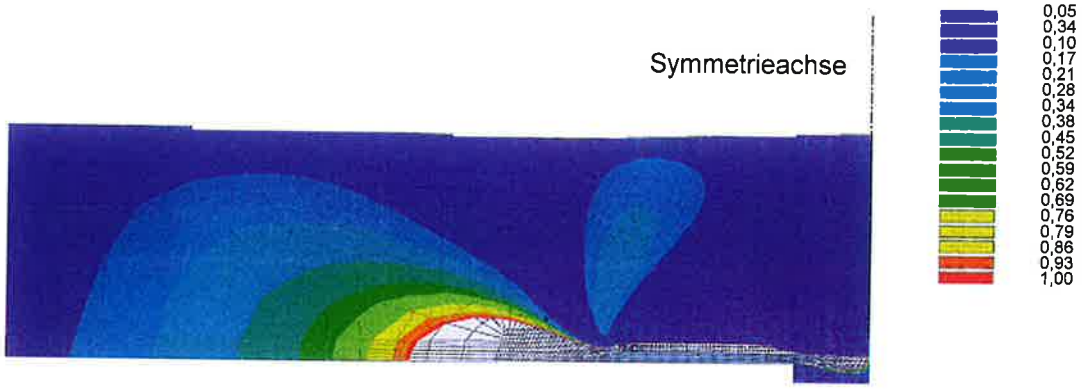


Bild 5: Rechnerische Verteilung der Schubspannungen σ_{xy} bei 25 mm Fugenaufweitung und –20 °C in [N/mm²]

Bild 5 zeigt eine Spannungskonzentration am Boden der Muldenfüllung, die sich wellenförmig zur Muldenflanke und zur Oberfläche hin abbaut. Die rechnerisch ermittelten Spannungsverläufe weisen auf eine erhöhte Beanspruchung im Haftverbund zur Unterlage am Ende des Abdeckstreifens und im Bereich der Muldenflanken hin.

Insgesamt zeigt die rechnerische Simulation des Systemverhaltens eine gute Übereinstimmung mit der Praxis.

2.5 Einführung des Regelwerkes

Auf der Grundlage der durchgeführten Forschungsarbeiten, der rechnerischen Abschätzungen und der Praxiserfahrungen wurden die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Herstellung von Fahrbahnübergängen aus Asphalt in Belägen auf Brücken und anderen Ingenieurbauwerken aus Beton" (ZTV-BEL-FÜ), Ausgabe 1998" einschließlich der „Technischen Lieferbedingungen für die Baustoffe zur Herstellung von Fahrbahnübergängen aus Asphalt" (TL-BEL-FÜ) und „Technischen Prüfvorschriften für Fahrbahnübergänge aus Asphalt" (TP-BEL-FÜ) [2] in einer Bund/Länder-Arbeitsgruppe mit Vertretern der Straßenbauverwaltungen der Länder, der Prüfinstitute, der Baufirmen und Systemanbietern in Abstimmung mit den obersten Straßenbaubehörden der Länder aufgestellt. Diese Arbeitsgruppe hat sich in der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen innerhalb der Arbeitsgruppe 7 „Asphaltstraßen" im Arbeitskreis 7.10.4 konstituiert.

Das Regelwerk wurde mit Allgemeinem Rundschreiben Straßenbau [1] im Geschäftsbereich der Bundesfernstraßen eingeführt. Es entspricht dem derzeitigen Stand der Technik und legt den erforderlichen Qualitätsmaßstab fest.

Spätestens ab Januar 2001 sind für den in den ZTV-BEL-FÜ beschriebenen Anwendungsbereich nur noch Fahrbahnübergangssysteme gemäß den TL-BEL-FÜ auszuschreiben. Die erforderlichen Grundprüfungen werden zur Zeit bei der BAM und EMPA durchgeführt.

3 Planung

3.1 Bestandsaufnahme

Wird ein Fahrbahnübergang aus Asphalt bei einem Neubau eines Bauwerkes eingesetzt, so sind in der Regel alle objektbezogenen Einflussgrößen bekannt. Wird er dagegen in Zusammenhang mit einem neu herzustellenden Fahrbahnbelag (z. B. Deckenerneuerungsmaßnahme) oder nachträglich eingebaut, so hängt die Funktionssicherheit und Lebensdauer des Fahrbahnüberganges aus Asphalt entscheidend von der Erfassung der vorhandenen Randbedingungen und deren Berücksichtigung bei der Planung und Ausschreibung ab. **Diese Erfassung der objektbezogenen Einflussgrößen und deren Umsetzung in eine eindeutige und erschöpfende Baubeschreibung sind eine zentrale Aufgabe des Auftraggebers**. Das entsprechende Formular „Bestandsaufnahme" enthält alle wichtigen Randbedingungen und ist Bestandteil des Bauvertrages. Ein Muster ist in Anhang 3 der ZTV-BEL-FÜ zu finden.

Im Rahmen der Bestandsaufnahme

- müssen die Qualität und Beschaffenheit der Unterlage und der angrenzenden Schichten und deren Geometrie aufgenommen werden sowie die Art und Größe der Bauwerksbewegungen bekannt sein.
- müssen Angaben zum Fugenvergussstoff im Kappenbereich vorliegen, wenn ausnahmsweise der Fahrbahnübergang nur im Fahrbahnbereich vorgesehen ist, um die Verträglichkeit mit der Tränkmasse des Fahrbahnüberganges beurteilen zu können.

Die Regelabmessungen, Grenzwerte und Toleranzen sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Regelabmessungen der Fahrbahnübergänge aus Asphalt

	Fahrbahnbereich	Kappenbereich
Dicke	Regeldicke entsprechend der Dicke des Fahrbahnbelages und mindestens 7 cm, höchstens 16 cm	≥ 7 cm
	zulässige Abweichung von der Regeldicke ≤ 1 cm	
	zulässige Dickenänderung in Fahrbahnlängsrichtung ≤ 2 cm	
Versatz	Höhensprung in der Unterlage beiderseits des Fugenspaltes ≤ 5 mm	
	Abweichungen von der Höhenlage der angrenzenden Fahrbahnoberflächen ≤ 2 mm nach unten oder ≤ 5 mm nach oben	
Breite	50 cm (Regelbreite)	
	zulässige Ausführungstoleranz maximal +5 cm bzw. -3 cm	

3.2 Verformungsberechnung

Die grundsätzliche Eignung des Objektes für den Einbau eines Fahrbahnüberganges aus Asphalt ist zu Beginn der Planung durch den Auftraggeber mit Hilfe einer Verformungsberechnung nach DIN 1072 abzuklären.

Bei der Verformungsberechnung ist zwischen festen und verschieblichen Auflagern sowie zwischen Neubau und Instandsetzung zu unterscheiden.

Beim Neubau sind vor allem die Einflüsse aus Temperaturschwankungen, Schwinden, Kriechen und aus der Verkehrslast zu berücksichtigen, während bei der Instandsetzung nur die Temperaturschwankungen und die Verkehrslast von praktischem Interesse sind. Letztere sind oftmals vernachlässigbar gering.

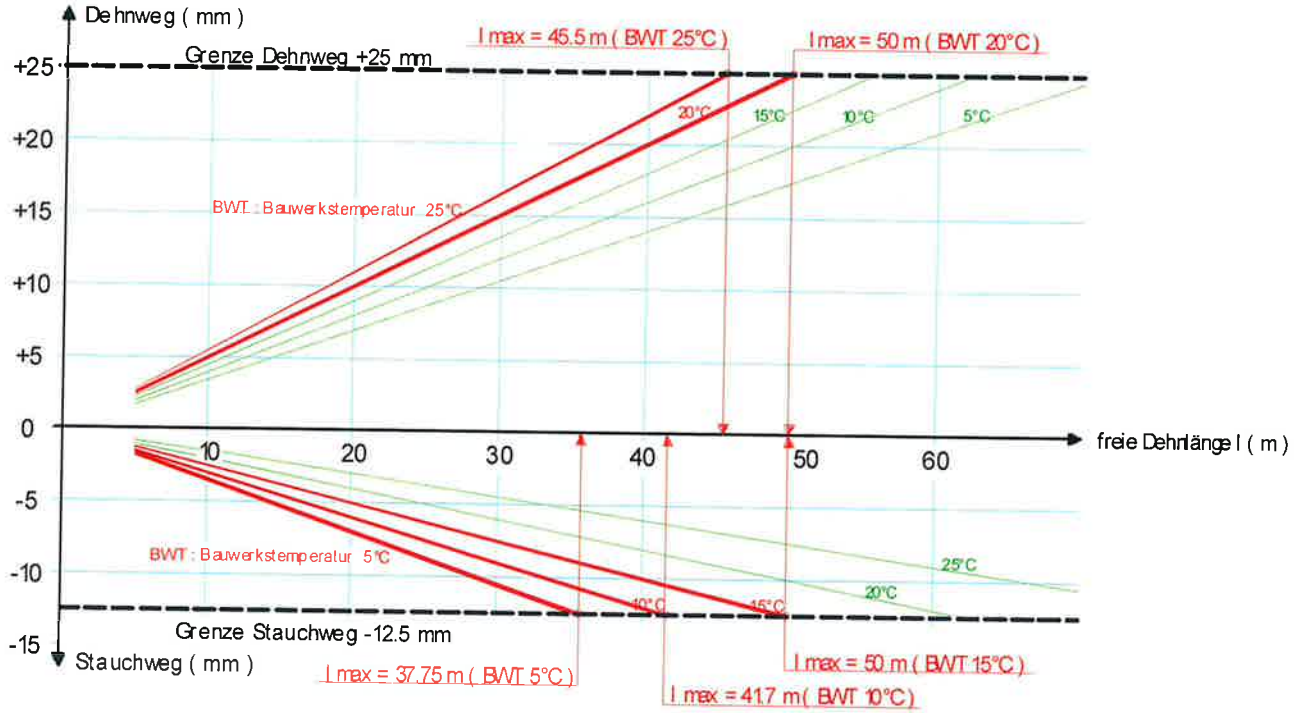


Bild 6: Einsatzgrenzen eines Fahrbahnüberganges aus Asphalt bei der Instandsetzung (ohne Lastfall Verkehrslasten)

Anwendung des Bildes 6

Festlegung der mittleren Bauwerkstemperatur (BWT) zum Zeitpunkt des Einbaus, beispielsweise 20°C → Ermittlung der Schnittpunkte der Geraden für die BWT = 20°C mit der Grenze des maximalen Dehnweges von +25 mm (obere gestrichelte Linie) bzw. mit der Grenze des maximalen Stauchweges von –12,5 mm (untere gestrichelte Linie) → Projektion dieser beiden Schnittpunkte auf die Achse der freien Dehnlänge → der Wert der freien Dehnlänge aus dem oberen Schnittpunkt ergibt l_{max} = 50 m, der Wert der freien Dehnlänge aus den unteren Schnittpunkt ergibt l_{max} = 62,5 m → die kürzere freie Dehnlänge liefert den maßgebenden Wert l_{max} = 50 m.

Die maßgebenden Horizontalbewegungen sind den Anwendungsgrenzen der Systeme in der Tabelle 2 gegenüberzustellen. Es ist zu beachten, dass die tatsächliche Temperatur zum Zeitpunkt der Ausführung (Einbautemperatur) und die angenommene mittlere Ortstemperatur abweichen können. Im Anhang 5 der ZTV-BEL-FÜ ist ein Beispiel einer Verformungsberechnung angegeben.

In vertikaler Richtung sind vor allem die relativ schnell aufgezwungenen Bewegungen beim Auswechseln der Lager zu berücksichtigen. Es sind folgende Randbedingungen einzuhalten:

- Der Überbau darf nicht mehr als 10 mm angehoben werden
- Ist der Überbau um mehr als 10 mm anzuheben, so darf die Objekttemperatur nicht niedriger als 15 °C und die Lufttemperatur nicht niedriger als 20 °C sein
- Es dürfen gleichzeitig keine schnell ablaufenden horizontalen Verformungen stattfinden
- Die Hebe- und Absenkgeschwindigkeit darf bei Fahrbahnübergängen mit steifen Abdeckstreifen 1 mm/h und bei den übrigen 2 mm/h nicht überschreiten.

3.3 Vorbereitung der Ausschreibung

Im Rahmen der Vorbereitung der Ausschreibung sind folgende Randbedingungen festzuhalten bzw. Maßnahmen zu beschreiben und dem Unternehmer anzugeben:

- Zeichnerische Darstellung des neuen Fahrbahnüberganges **im Fahrbahnbereich** ggf. mit Gussasphaltstreifen im Fahrbahnbelag, wenn die angrenzenden Asphaltschichten einen zu großen Hohlraumgehalt haben
- Zeichnerische Darstellung des neuen Fahrbahnüberganges **im Kappenbereich** mit Schrammbordausbildung ggf. einschließlich Abdeckung. Anzustreben ist ein Tiefeinbau mit direkter Verbindung zur Dichtungsschicht. Wenn die Muldenfüllung nicht die Höhe der Kappenoberfläche (Bild 5 der ZTV) erreichen kann, ist eine rutschsichere Edelstahlabdeckung (Bild 2 der ZTV-BEL-FÜ) vorzusehen.
- Bei der Instandsetzung von vorhandenen Bauwerken: Zeichnerische Darstellung des Bestandes einschließlich Einbauten im Bereich der Fahrbahnübergänge wie z. B. Abschlussprofil (Richtzeichnung Abs 4), Straßenabläufe, Leerrohre in den Kappen, Lage der Schutzplankenpfosten, Geländerpfosten, Lärmschutzwänden und Stahl- oder Betongleitwände.
- Angaben über die Anpassung des Oberflächenabschlusses an die angrenzenden Flächen (Griffigkeit, Helligkeit)
- Die notwendigen Verkehrsführungsmaßnahmen sind zeitlich so abzustimmen, dass ausreichend Zeit für die Ausführung und die notwendigen Auskühlzeiten verbleibt. Bei einem zu frühen Befahren eines Fahrbahnüberganges kann es zu einer grundhaften Zerstörung kommen, ggf. sind andere Verkehrsführungen zu wählen!
- Die vorgesehene Verkehrsführung und die daraus resultierende Anzahl der Einbauabschnitte mit den Einzellängen sind zeitlich anzugeben bzw. die Anzahl der Einsätze und die evtl. zu erwartenden Behinderungen durch gleichzeitig laufende Bauarbeiten in Abhängigkeit von weiteren Bauarbeiten beispielsweise bei der grundhaften Instandsetzung.

- Die vorgesehenen Einbautermine zur Beurteilung der jahreszeitlichen Bedingungen sind anzugeben.

4 Ausführung

Die Ausführung bedarf grundsätzlich einer intensiven Arbeitsvorbereitung, zu der alle Randbedingungen bekannt sein müssen. Insbesondere bei Tagesbaustellen kann eine zeitgerechte Fertigstellung nur dann gewährleistet sein, wenn keine Verzögerungen oder Unterbrechungen durch unvorhergesehene Randbedingungen eintreten (z. B. Kantenausbrüche an den Fugenrändern, nicht ausreichende Abreißfestigkeit der Betonoberfläche, freiliegende Bewehrung).

Tagesbaustellen haben den Vorteil einer geringen zeitlichen Behinderung des Verkehrs. Nur bei einem reibungslosen Ablauf kann der Fahrbahnübergang noch am selben Tag für den Verkehr freigegeben werden. Hierbei ist unbedingt die Abkühlzeit einzuhalten. Außerdem ist zu überlegen, ob bei Tagesbaustellen auf eine Behandlung der Betonoberfläche mit Epoxidharz (Grundierung, Kratzspachtelung) verzichtet werden kann. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine feste Betonunterlage (Abreißfestigkeit $\geq$ 1,5 N/mm²).

Ein wesentlicher Vorteil der Fahrbahnübergänge aus Asphalt ist die geräusch- und erschütterungsfreie Überrollung. Voraussetzung hierfür ist neben einem bündigen Einbau die Ebenheit der Deckschicht in Fahrtrichtung des Verkehrs, die in der Regel bei einer Abstellung der Fugenmulde nicht optimal erreicht wird. Aus diesem Grund ist die Herstellung der Fugenmulde nach Fertigstellung der Deckschicht die bessere Lösung. Der Fugenspalt und die Einbindelänge des Anschlussstreifens der Dichtungsschicht sind vor der Überbauung mit Asphalt genau einzumessen.

Die fachgerechte Ausführung hängt von vielen Faktoren ab. Von besonderer Bedeutung sind:

- Die optimale **Tränkmassentemperatur** wird mit Hilfe eines thermostatisch geregelten Rührwerkskessel gewährleistet; Polymere werden durch zu hohe Temperaturen und/oder zu lange Verweildauer im Rührwerkskessel geschädigt.
- Bei zu hoher **Splitttemperatur** wird beim Einbau die Tränkmasse thermisch geschädigt, bei zu niedriger, ist durch das Abkühlen der Trankmasse am Korn eine hohlraumfreie Verfüllung des Splitts nicht mehr gewährleistet.
- Eine zu hohe **Verstaubung** des Splitts schränkt die Haftung der Tränkmasse am Splittkorn stark ein.
- Um eine **hohlraumfreie Tränkung des Splittgerüstes** zu erreichen, wird der Splitt lagenweise eingebracht.

4.1 Anforderungen an den Auftragnehmer

Im Rahmen der Ausschreibung obliegt es dem Auftraggeber bzw. verantwortlichen Planungsingenieur, grundsätzlich geeignete Konstruktionen unter Berücksichtigung der objektbedingten Voraussetzungen vorzusehen. Der Auftragnehmer ist hingegen für eine einwandfreie Ausführung verantwortlich. Um diese Anforderungen zu erfüllen, dürfen die Arbeiten nur von Arbeitskolonnen ausgeführt werden, die über die erforderliche Erfahrung und Fachkunde verfügen. Die Ausführung der Arbeiten ist vor Ort durch eine sachkundige Fachkraft des Auftragnehmers zu überwachen,

die durch Praxis oder Schulung die Qualifikation erlangt hat. Der Nachweis ist durch Referenzen oder Zeugnisse zu erbringen. Aus Gründen einer einheitlichen vertragsrechtlichen Verantwortung ist es zweckmäßig, alle Arbeiten zur Herstellung eines Fahrbahnübergangs aus Asphalt ein und demselben Auftragnehmer zu übertragen.

4.2 Ausführungsanweisung

Eine gewissenhafte Ausführungsplanung und effiziente Kontrollen der Bauausführung sind von zentraler Bedeutung. Bei falscher Dimensionierung, ungenügender Vorbereitung der Unterlage, bei Nichtbeachtung der Vorgaben für die Ausführung oder bei Ausführung unter ungünstigen Witterungsverhältnissen können Qualitätsverluste entstehen.

Ein wesentliches Element für die Ausführung und deren Überwachung stellt die Ausführungsanweisung dar. Die Ausführungsanweisung muss von jedem Systemlieferanten für sein System erstellt werden. Sie findet ihre vorgegebene Gliederung in den TL-BEL-FÜ; sie enthält Angaben über das jeweilige System, die verwendeten Baustoffe und die Ausführung. Die Anweisung dient dem Auftragnehmer als Vorgabe und dem Auftraggeber zur Information und Kontrolle. Sie ist Vertragsbestandteil und muss ständig auf der Baustelle vorliegen.

4.3 Teilerneuerung

Bei der Teilerneuerung entstehen entweder

- vertikale (fahrstreifenweise Erneuerung) oder
- horizontale Kontaktflächen (der obere Teil des Fahrbahnübergangs wird in einem Zuge mit der Deckschicht abgefräst, vor dem Einbau der neuen Deckschicht sind die Flanken des Überganges genau einzumessen)

zwischen bestehendem und neuen Fahrbahnübergängen aus Asphalt. Jeder Fahrbahnübergang stellt ein System aus aufeinander abgestimmten Baustoffen dar. Falls die Systemverträglichkeit alt/neu nicht gewährleistet ist, soll auf Teilerneuerungen verzichtet werden.

Wenn Teilerneuerungen ausgeführt werden, muss der Verbund in den Kontaktflächen zwischen Muldenkanten und Muldenfüllung des bestehenden Fahrbahnüberganges auf Rissefreiheit kontrolliert werden, bevor der neue Fahrbahnübergang eingebaut wird.

Eine Teilerneuerung des Fahrbahnüberganges aus Asphalt ist nur zweckmäßig, wenn die zu erwartende Lebensdauer des Überganges dies auch sinnvoll erscheinen lässt.

4.4 Einbauprotokoll

Das Einbauprotokoll dient dazu, auf der Baustelle alle wichtigen Randbedingungen festzuhalten, welche die Qualität des Einbaues beeinflussen können.

Der Auftragnehmer dokumentiert im Protokoll u. a. die Einhaltung der Forderungen der Ausführungsanweisung.

Für jeden Fahrbahnübergang ist vom Auftragnehmer ein Einbauprotokoll zu erstellen.

Das Einbauprotokoll ist Vertragsbestandteil.

Der Fahrbahnübergang ist nach Abschluss der Maßnahme auf Rissefreiheit zu kontrollieren.

Bild 7: Verteilen der Tränkmasse auf dem Splitt

Bild 8: Fahrbahnübergang aus Asphalt grenzt an Beton (A7)

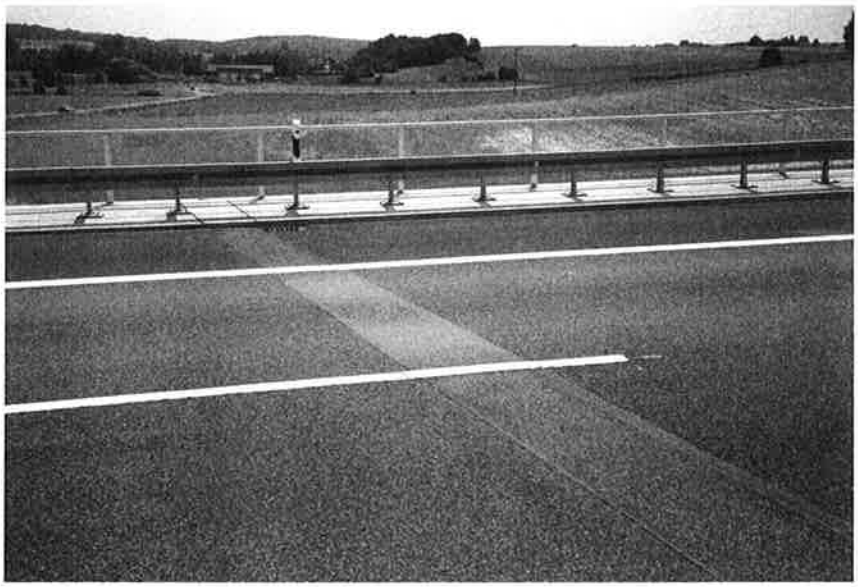


Bild 9: Fahrbahnübergang aus Asphalt zwischen Asphaltschichten unter Verkehr

5 Prüfungen

5.1 Allgemeines

Im Rahmen der qualitätssichernden Maßnahmen durch Prüfung und Überwachung (siehe Tabelle 4) sind im Regelwerk zum Nachweis der Leistungsfähigkeit und zur Sicherung gleichbleibender Qualität folgende Prüfungen zu unterscheiden:

- **Grundprüfungen** zum Nachweis der grundsätzlichen Eignung der Stoffe sowie der gesamten Bauart für den vorgesehenen Verwendungszweck
- Prüfungen für den **Übereinstimmungsnachweis (= werkseigene Produktionskontrolle + Fremdüberwachung)**, auf deren Grundlage die Übereinstimmung der Stoffe mit den Anforderungen bestätigt wird
- **Eigenüberwachungsprüfungen**, Prüfungen des Auftragnehmers während der Ausführung zur Feststellung, ob die Güteeigenschaften der Stoffe sowie der fertigen Leistung den vertraglichen Anforderungen entsprechen
- **Kontrollprüfungen**, Prüfungen des Auftraggebers zur Feststellung, ob die Eigenschaften der Stoffe sowie die fertige Leistung den vertraglichen Anforderungen entsprechen. Ihre Ergebnisse werden der Abnahme zugrunde gelegt.

Die Anforderungen an die Ausgangsstoffe, Bauteile sowie an das komplette Fahrbahnübergangssystem ebenso wie Art und Umfang der zur Qualitätssicherung notwendigen Prüfungen sind in den ZTV-BEL-FÜ bzw. TL-BEL-FÜ festgehalten.

Tabelle 4: Gütesicherung nach den TL/TP-BEL-FÜ

Grundprüfung → Grundprüfzeugnis		**P-Stelle**[1)]
+		
Ausführungsanweisung (AfA) → Angaben zur Verarbeitung		**Hersteller**
+		
Übereinstimmungszertifikat		**Z-Stelle**[1)]
Überein-stimmungs-nachweis	besteht aus **werkseigene Produktionskontrolle (WPK)** → Ergebnisaufzeichnungen	**Hersteller**
	+ Fremdüberwachung → Erstinspektion → regelmäßige Fremdüberwachung und Auswertung der WPK	**Ü-Stelle**[1)]
+		
Übereinstimmungszeichen auf der Verpackung		**Hersteller**
=		
Aufnahme in die Zusammenstellung der geprüften Stoffe und Stoffsysteme für Bauwerke der Bundesfernstraßen, die künftig bei der BASt per Fax oder über das Internet abzurufen ist		**BASt**
Verwendung der Fahrbahnübergänge aus Asphalt im Bereich der Bundesfernstraßen		

[1)] Anerkennung der Grund**P**rüfstelle, der **Ü**berwachungsstelle und der **Z**ertifizierungsstelle im Bereich der Bundesfernstraßen durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) nach vorheriger Anerkennung durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt).

5.2 Technische Lieferbedingungen TL-BEL-FÜ

Die Technischen Lieferbedingungen für die Baustoffe zur Herstellung von Fahrbahnübergängen aus Asphalt enthalten Anforderungen an die

- Lieferform und Verpackung der Materialien
- Angaben auf den Verpackungseinheiten
- Eigenschaften der Baustoffe (Tränkmasse, Splitt, Abdeckstreifen), das Baustoffgemisch (Muldenfüllung) und das Fahrbahnübergangssystem
- Grundprüfung (Art und Umfang)
- werkseigene Produktionskontrolle und die Fremdüberwachung
- Ausführungsanweisung.

5.3 Technische Prüfvorschriften TP-BEL-FÜ

Die zur Kennzeichnung der Identität der Materialien sowie zur Beschreibung der Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Fahrbahnübergängen aus Asphalt notwendigen Prüfungen sind in den Technischen Prüfvorschriften (TP-BEL-FÜ) niedergelegt. Diese enthalten Angaben zur Durchführung von **Stoffprüfungen** (Prüfungen an den Baustoffen, Baustoffgemischen und Bauteilen) und **Funktionsprüfungen** (Prüfungen des Fahrbahnübergangssystems).

Die Prüfungen sind entsprechend dem Funktionsprinzip (siehe Abschnitt 2.2) von Fahrbahnübergängen aus Asphalt ausgelegt. Das Prüfprogramm besteht zum einen aus bereits bewährten, nur in Teilbereichen modifizierten Prüfungen aus dem Bereich des Asphalt-Straßenbaus, zum anderen aber auch aus neu entwickelten Prüfungen.

5.3.1 Stoffprüfungen

Beispielhaft für die Stoffprüfungen wird in diesem Beitrag auf die prüftechnische Kennzeichnung des viskoelastischen Stoffverhaltens der Tränkmasse eingegangen. Diese erfolgt auf Basis rheologischer Untersuchungen unter sinusförmig oszillierender Belastung. Zur Anwendung kommt dabei ein elektronisch gesteuertes Rheometer mit Platte-Platte-Messgeometrie (siehe Bild 10), in der im Temperaturbereich von +150 °C bis -30 °C ca. 0,5 bis 1 cm^3 Tränkmasse bei fallenden Temperaturen untersucht wird. Aus den Scherwinkeln und den zur Erzielung einer konstanten Deformation notwendigen Schubspannungen werden die dynamisch-elastischen Kennwerte Speichermodul (G'), Verlustmodul (G") und der Phasenverschiebungswinkel (Verlustwinkel δ) als Funktion der Temperatur ermittelt. Dabei erfasst der Kennwert G' die elastischen Eigenschaften und G" die viskosen Eigenschaften des Materials. Der Phasenverschiebungswinkel δ drückt das Verhältnis von viskosen zu elastischen Eigenschaften aus und ist ein Maß für die Dämpfung des Materials. In der Bild 11 wird exemplarisch der Verlauf von G', G" und δ zweier verschieden aufgebauter Tränkmassen dargestellt und insbesondere für den praxisrelevanten Einsatz im Temperaturbereich von -20 °C bis +50 °C diskutiert.

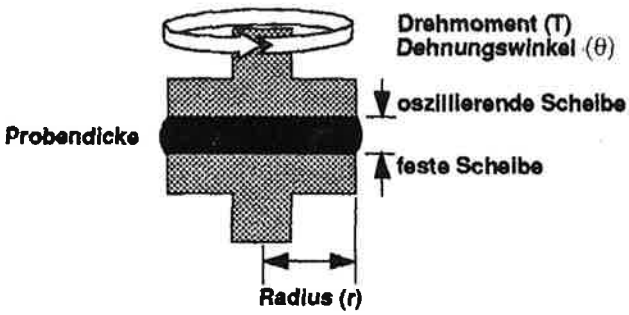


Bild 10: Systemskizze Rheometer

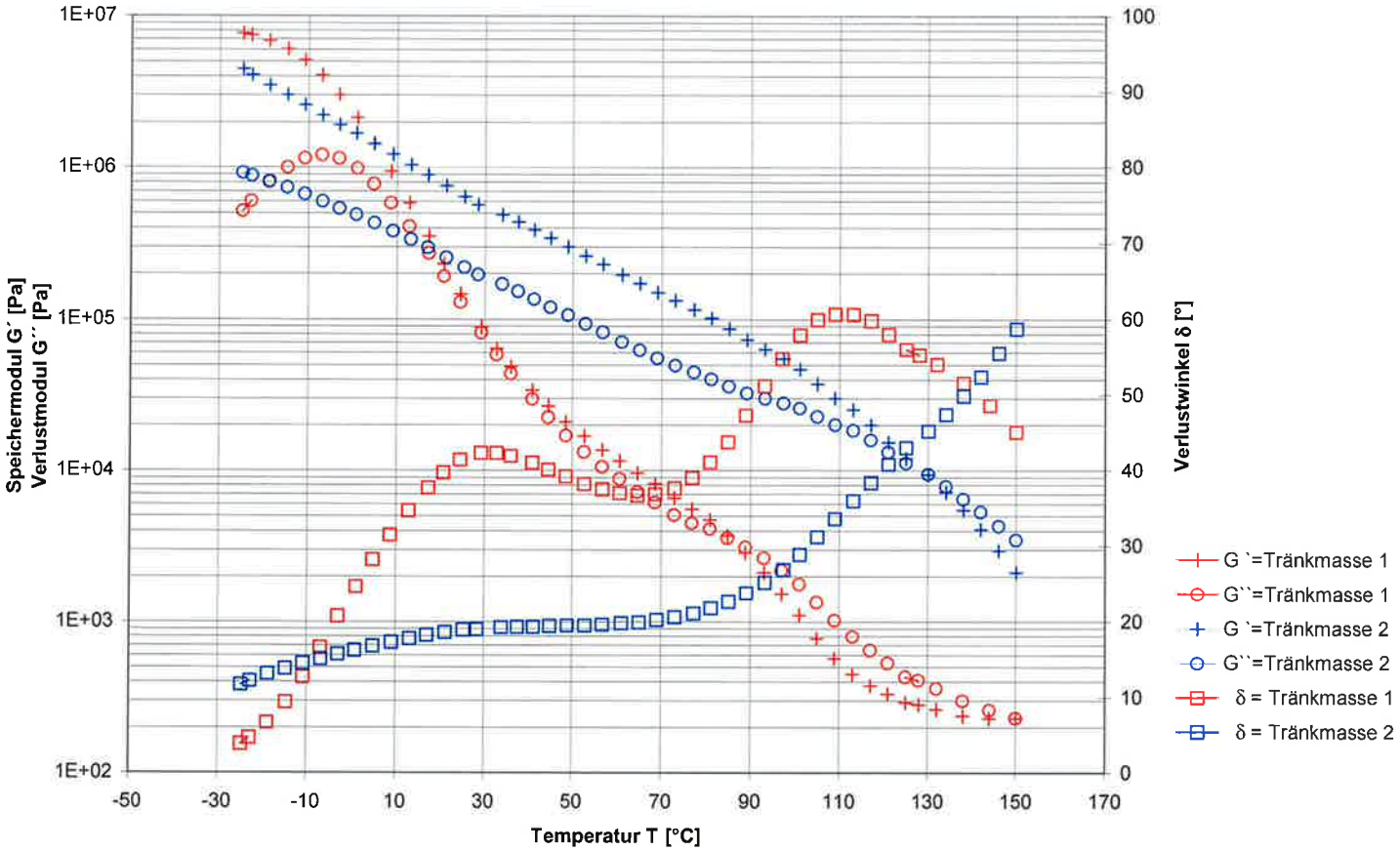


Bild 11: Exemplarische Darstellung des Verlaufes der dynamisch-elastischen Kennwerte zweier unterschiedlicher Tränkmassen im Temperaturbereich -30 °C bis +150 °C

Aufgrund der größeren Moduln G' und G" zeigt Tränkmasse 2 über weite Temperaturbereiche hinweg eine höhere Steifigkeit bei gleichzeitig geringerer Temperaturempfindlichkeit als Tränkmasse 1. Bei der Tränkmasse 1 nimmt die bei -20 °C etwa gleich große Steifigkeit mit steigender Temperatur sehr stark ab, was wiederum Auswirkungen auf die Standfestigkeit hat. Auffallend ist, dass Tränkmasse 2 im Bereich -20 °C bis +50 °C überwiegend elastische Eigenschaften aufweist. Dies deutet darauf hin, dass dieses Material insbesondere kurzen und schnell ablaufenden Belastungen standhält, aber Defizite gegenüber langsam ablaufenden größeren Verformungen (z. B. infolge Temperaturänderungen) hat. Die niedrigen Werte des Verlustwinkels für die Tränkmasse 2, der ein Maß für das Verhältnis zwischen dissipierter (umgewandelter) und gespeicherter Energie darstellt, zeigen, dass Belastungen nahezu ungedämpft in den Fahrbahnübergang eingebracht werden. Die lang anhaltenden hohen Spannungen wirken sich hierbei nachteilig auf den adhäsiven und kohäsiven Haftverbund aus. Im Tieftemperaturbereich bei -20 °C überwiegen auch bei Tränkmasse 1 die elastischen Materialeigenschaften. Bei steigenden Temperaturen kann man jedoch ausgewogenes viskoelastisches Materialverhalten beobachten, welches geeignet ist, sowohl langsam ablaufende Belastungen durch Spannungsabbau als auch schnell ablaufende elastisch aufzunehmen. Aufgrund der Größe und des Verlaufes des Verlustwinkels ist bei der Tränkmasse 1 von einer Dämpfung der eingetragenen Spannungen auszugehen, die auch die Beanspruchungen des Verbundes verringert.

5.3.2 Funktionsprüfungen

Um das tatsächliche Verhalten eines Fahrbahnübergangssystems aus Asphalt unter wiederkehrenden Belastungen zu untersuchen, wurde durch die BAM ein sogenannter Temperaturwechselversuch und ein Schwingversuch als Funktionsprüfungen für den kompletten Fahrbahnübergang entwickelt [6]. Bei beiden Versuchen werden Bewegungen sowohl über die Unterlage (Konstruktionsbeton) als auch über die Fugenflanken (Verbundebene zum angrenzenden Fahrbahnbelag) in den Fahrbahnübergang eingebracht. Es werden nur Fugenbewegungen nachgestellt; der Lastfall direktes Befahren wurde wegen der positiven Beeinflussung des Verbundverhaltens durch die walkende Wirkung des überrollenden Verkehrs außer acht gelassen.

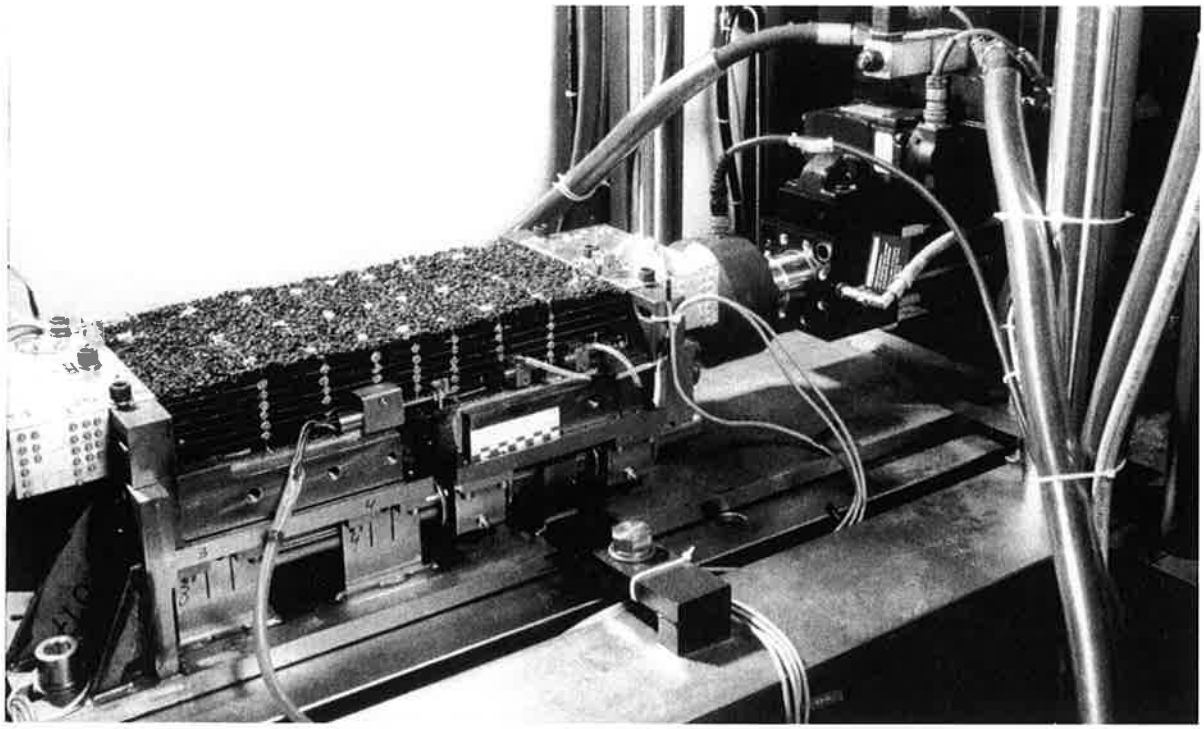


Bild 12: Darstellung der mechanischen Beanspruchungseinrichtung für die Durchführung von Systemprüfungen von Fahrbahnübergängen aus Asphalt mit eingebautem Probekörper

In dieser Prüfanlage (siehe Bild 12) können sowohl langsam als auch schnell ablaufende horizontale Verformungen des Fahrbahnübergangssystems simuliert werden, wie sie durch quasi-statische Bewegungen des Überbaues infolge Temperaturschwankungen, Kriech- und Schwindvorgänge sowie durch dynamische Verformungen infolge Verkehrsbelastung hervorgerufen werden können. Durch die Anordnung in einer steuer- und regelbaren Klimakammer ist die stufenlose Temperierung zwischen den Grenzwerten T_{min} = -20 °C und T_{max} = +50 °C gewährleistet.

5.3.2.1 Temperaturwechselversuch mit überlagertem Kriechen und Schwinden

Mit Hilfe des Temperaturwechselversuches wird die Leistungsfähigkeit eines Fahrbahnübergangssystems aus Asphalt gegenüber den in der Praxis zu erwartenden langsam ablaufenden, quasi-statischen, horizontalen Fugenbewegungen aus Temperaturänderung, Kriechen, Schwinden ermittelt. Nach dem Einbau und Einregeln des Probekörpers wird die Verschiebungsfunktion bei T= +15 °C gestartet und mit einer konstanten Verschiebungsgeschwindigkeit von 0,2 mm/h (quasi-statisch) bis zu einer Aufweitung des Fugenspaltes um +25 mm gedehnt und anschließend mit dem gleichen Verformungsgradienten bis zu einer Fugenspaltverengung von -12,5 mm gestaucht. Synchron dazu erfolgt kontinuierlich die dem Verformungszustand adäquate Temperaturänderung zwischen T_{min} = -20 °C und T_{max} = +50 °C wobei bei einer Fugenaufweitung um 25 mm die Temperatur von T_{min} = -20 °C und bei der Fugenstauchung -12,5 mm die Temperatur T_{max} = +50 °C erreicht ist. Der Belastungszyklus wird im Rahmen der

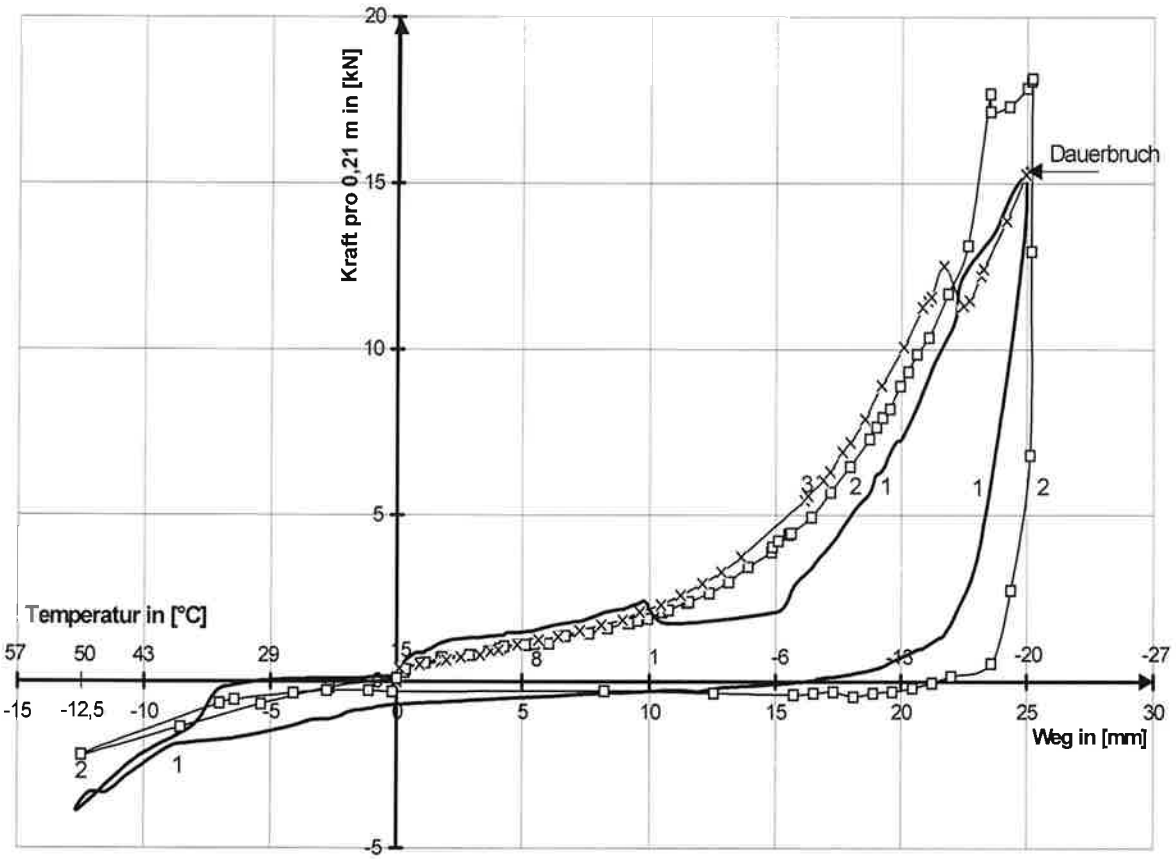


Bild 13: Beispiel für ein Kraft-Fugenspaltänderungs-Diagramm als Ergebnis des Temperaturwechselversuches (hier nach mehrmaligem Wiederholen des Beanspruchungszyklus)

Grundprüfung zum Nachweis der prinzipiellen Leistungsfähigkeit des Systems einmal durchfahren. Dabei darf das zu untersuchende Fahrbahnübergangssystem seine Dichtfunktion nicht verlieren. Als Auswertung des Temperaturwechselversuches wird das Kraft-Fugenspaltänderungs-Diagramm (Federkennlinie) erstellt.

Dem in Abhängigkeit von der Temperatur aufgezeichneten Kraft-Fugenspaltänderungs-Diagramm können die von den angrenzenden Bauteilen aufzunehmenden Rückstellkräfte entnommen werden. Aus dem Kurvenverlauf wird viskoelastisches Systemverhalten ersichtlich. Es wird deutlich, dass die plastischen Deformationen einen relativ großen Anteil an der Gesamtdeformation ausmachen. Um in die Fugenausgangsposition zurückzukehren, ist nach der Entlastung auf die Kraft Null eine Druck- bzw. Zugkraft erforderlich. Bei wiederholten Belastungszyklen (siehe Bild 13) ist eine zunehmende Kraftdifferenz zwischen Belastung und Entlastung festzustellen, was auf eine Dehnungsverfestigung, wie sie häufig bei viskoelastischen Materialien beobachtet wird, schließen lässt. Diese führte schließlich im o. a. Beispiel zur Überschreitung der Zugfestigkeit der Tränkmasse und damit zum Versagen des Haftverbundes des Probekörpers im Verlauf des dritten Belastungszyklus.

5.3.2.2 Schwingversuch

Mit Hilfe des Schwingversuches wird das Verhalten der Fahrbahnübergangssysteme aus Asphalt unter schnell ablaufenden dynamischen Einwirkungen, wie sie aus dem überrollenden Verkehr resultieren, überprüft. Der Schwingversuch wird bei einer Temperatur von –20 °C ± 2 K durchgeführt. Zur Nachstellung der anhand von Versuchen ermittelten statistischen Lastklassenverteilung erfolgt die dynamische Beanspruchung mit einem in 6 Verschiebungsklassen abgestuften Lastkollektiv (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Definition eines Beanspruchungszyklus für den Schwingversuch

Verschiebungsklasse	Amplitude in [mm] = w_{oben}	Anzahl pro Beanspruchungszyklus
1 (maximale Verschiebung)	0,67	60
2	0,61	60
3	0,55	180
4	0,49	280
5	0,43	1220
6	0,37	8200

Die Belastungsfunktion wird als Sinusfunktion, die in jeder Verschiebungsklasse mit konstanter Wegamplitude zwischen den Scheitelwerten w_{oben} und $w_{unten} = 0$ schwingt, aufgebracht. Die Lastwechselfrequenz beträgt 1 Hz. In jedem Beanspruchungszyklus werden die Verschiebungen nacheinander abgestuft aufgebracht.

Bild 14: Beanspruchungsfunktion beim Schwingversuch (hier: 8 von 130 Abschnitte)

Nach 130 Beanspruchungsabschnitten (siehe Bild 14) mit insgesamt 1,3 Mio. Lastspielen, die in etwa der Schwerverkehrsbeanspruchung einer Bundesfernstraße während der 15-jährigen Nutzungsdauer entsprechen, bzw. bei Versagen des Probekörpers wird der Versuch beendet. Während des Versuches wird das Kraft-Längenänderungs-Diagramm für jede Verschiebungsklasse in Abständen von 250.000 Lastwechseln aufgenommen. Aus der Differenz der Scheitelwerte für die Federkraft ΔP und den Verschiebungsweg Δw lässt sich die Federsteifigkeit k des Probekörpers ermitteln.

Der Verlauf der Federsteifigkeit $\Delta P/\Delta w$ wird über der Anzahl der Lastwechsel aufgetragen (siehe Bild 15). Aus diesem Diagramm wird der Abfall der Federsteifigkeit nach $1{,}3*10^6$ Lastwechseln als Maß für die Ermüdung des Fahrbahnüberganges aus Asphalt unter dynamischer Belastung herangezogen.

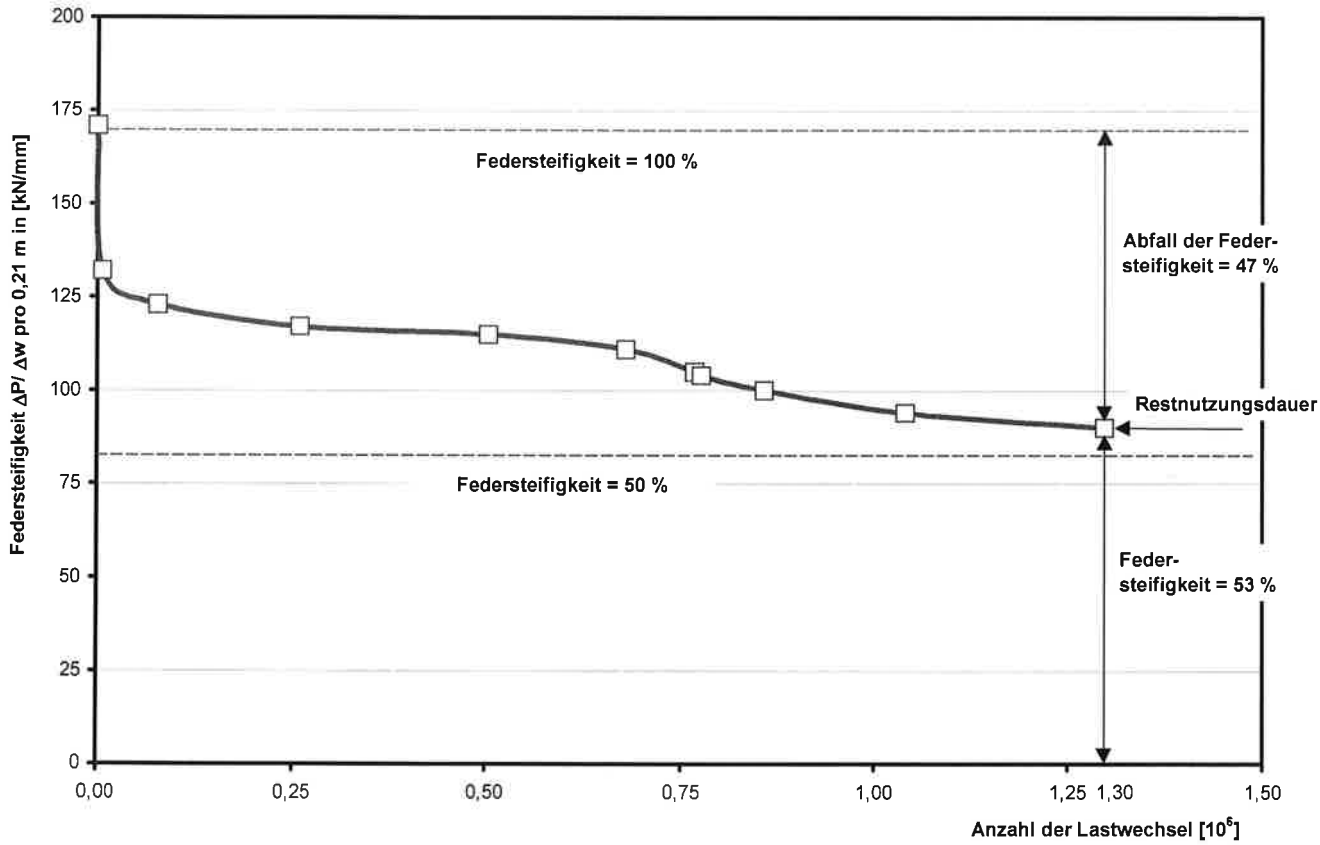


Bild 15: Beispiel für eine Ermüdungskurve eines Schwingversuches

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Fahrbahnübergänge aus Asphalt nach einer Lastwechselzahl von $1{,}3*10^6$ Lastspielen einer Ermüdung unterliegen. Trotz des Abfalls der Federsteifigkeit nach dieser Beanspruchung ist im o. a. Beispiel von einer verbleibenden Restnutzungsdauer bis zum Erreichen des 50%-Wertes der Ausgangsfedersteifigkeit als Grenzwert für die zulässige Ermüdung auszugehen.

6 Erfahrungen mit bisher eingesetzten Systemen

6.1 Umfrage über die Bewährung von Fahrbahnübergängen aus Asphalt

6.1.1 Allgemeines

Im Rahmen einer im Jahr 1996, **also vor Einführung der ZTV-BEL-FÜ**, durchgeführten Umfrage bei den Straßenbauverwaltungen der Länder zu Erfahrungen mit Fahrbahnübergängen aus Asphalt wurden der Bundesanstalt für Straßenwesen insgesamt 724 Übergänge gemeldet. Sie verteilen sich auf 343 Bauwerke. Aneinandergereiht ergäben diese Fahrbahnübergänge eine Länge von 9.085 m, davon 8.788 m im Fahrbahnbereich und 297 m im Bereich der Kappen.

Um die Bewährung beurteilen zu können, sollten die Fahrbahnübergänge mindestens 4 Jahre unter Verkehr gelegen haben. Von den 724 Objekten waren aber 253 jünger; sie wurden bei der Auswertung zu Fragen der Bewährung nicht berücksichtigt.

Die Umfrage bezog sich auf Objekte in Bundesfernstraßen, dennoch liegen 23% der gemeldeten Fahrbahnübergänge in anderen Straßen, wie Land-, Kreis- und Gemeindestraßen.

In den Fragebögen wurde im Wesentlichen folgendes abgefragt:

- Art der Lagerung des Tragwerks und Art des Lagers unter dem Fahrbahnübergang (fest, beweglich)
- Art des Fahrbahnbelages
- Lage des Fahrbahnüberganges (Bauwerksanfang-/ende, Zwischenstütze usw.)
- Fabrikat des Fahrbahnüberganges
- Dicke, Breite, Länge
- Längs- und Querneigung, Kreuzungswinkel
- Verkehrsbelastung, Schwerverkehrsanteil
- Regelmäßiger Brems- und Anfahrverkehr oder stehender Verkehr auf dem Fahrbahnübergang
- Schadensbildung.

Nicht in allen Fällen waren die Unterlagen vollständig, so dass manche sich nur zur Auswertung von Teilaspekten eigneten.

6.1.2 Allgemeine statistische Angaben

Im Zuge des Neubaues von Brückenüberbauten wurden 7% der Fahrbahnübergänge eingebaut, bei Instandsetzungen 89%. Bei 4% liegen keine entsprechenden Angaben vor. Geht man davon aus, dass die hier betrachtete

Stichprobe von 724 Objekten repräsentativ für die Gesamtheit ist, so kann der Instandsetzungsfall als Haupteinsatzgebiet der Fahrbahnübergänge aus Asphalt angesehen werden.

Die meisten Fahrbahnübergänge enden stumpf an den Schrammborden der Kappen. Bei dieser Ausführungsart bestehen erhebliche Zweifel hinsichtlich der Wasserundurchlässigkeit im Bereich des Anschlusses. Zum einen wird hier durch die im Neuzustand noch vorhandene Haftung an drei seitlichen Flanken der Spannungsverlauf im Fahrbahnübergang nachteilig beeinflusst. Zum anderen stört das in der Betonkappe vorhandene Fugenabschlussprofil aus Kunststoff den Haftverbund.

Die solidere - wenn auch teurere und zeitaufwendigere - Ausführung mit im Kappenbereich durchlaufendem Fahrbahnübergang wurde nur bei 12 % der Fahrbahnübergänge umgesetzt.

Über die Lage des Einbauortes der Fahrbahnübergänge gibt Bild 16 Auskunft. Danach sind die meisten am Anfang oder Ende von Überbauten angeordnet worden (84 %).

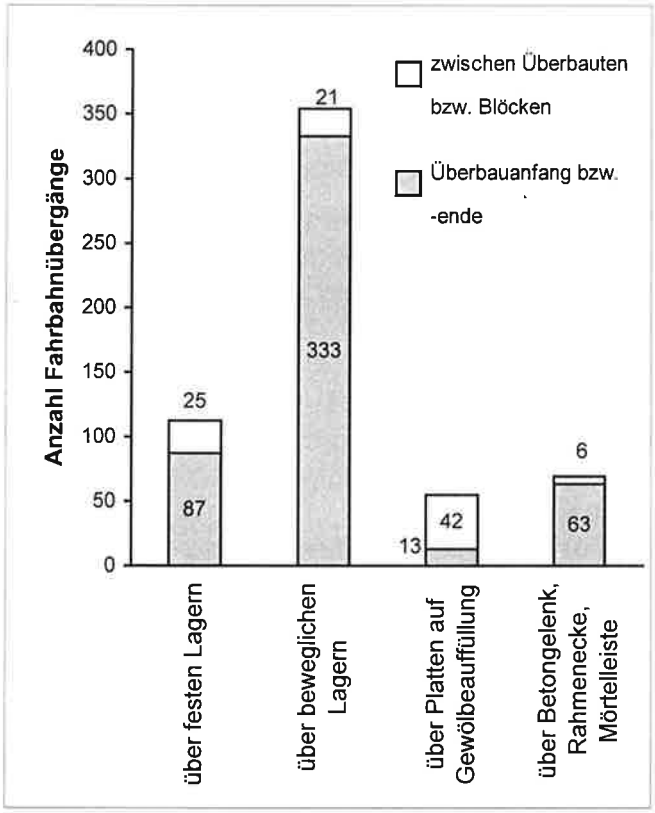


Bild 16: Aufteilung der gemeldeten Fahrbahnübergänge auf ihre Lage am Bauwerk und auf die Lagerungsart des Tragwerks

6.1.3 Schadensarten, Schadenshäufigkeit allgemein

Die Bewährung der Fahrbahnübergänge aus Asphalt wird nach der Häufigkeit und Schwere von Schäden beurteilt. In den Fragebögen wurde unterschieden nach Schäden allgemein und Schäden, welche die Funktionsfähigkeit beeinträchtigen, also z. B. die Wasserundurchlässigkeit oder Verkehrssicherheit.

Auf Bild 17 erkennt man, dass 59% von 471 Objekten, die mindestens 4 Jahre alt sind, keine Schäden aufweisen. Der Anteil von 39% mit Schäden erscheint hoch. Bei 12 % war die Funktionsfähigkeit beeinträchtigt, bei 7 % war die Frage nach der Funktionsbeeinträchtigung nicht beantwortet worden.

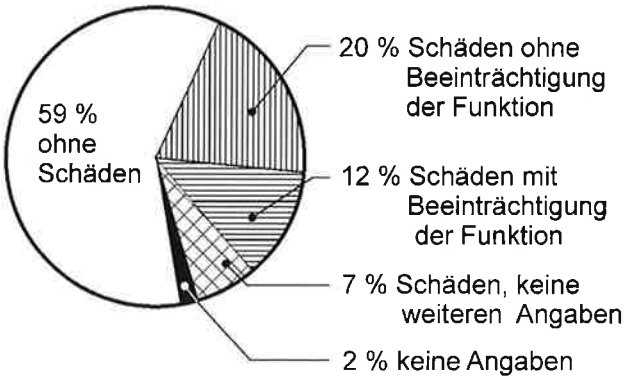


Bild 17: Prozentualer Anteil der Fahrbahnübergänge ohne und mit Schäden (ohne und mit Beeinträchtigung der Funktion); Alter mindestens 4 Jahre

Die in den Umfrageformularen aufgeführten Schadensformen wurden für die Auswertung zu folgenden Gruppen zusammengefasst:

- **„Auswandern der Tränkmasse in den Rollspuren, freigelegtes Korngerüst der Muldenfüllung, Ausbruch von Mineralkorn“**
  Hierbei handelt es sich mehr um einen „Schönheitsfehler“, wenn nicht die Griffigkeit beeinträchtigt wird.
- **„Verdrückungen“**
  Verdrückungen sind in geringer Ausprägung auch eher „Schönheitsfehler“, können aber bei der Ausbildung größerer Höhendifferenzen durchaus zu schweren Mängeln werden, wenn sie die Verkehrssicherheit beeinträchtigen.
- **„Flankenablösungen“** und
  „Risse in der Mitte und in den Drittelspunkten“
  Risse im Fahrbahnübergang und Ablösungen der Muldenfüllung von den Flanken sind erhebliche Mängel, da ein wesentliches Leistungsmerkmal des Fahrbahnüberganges, nämlich die Wasserundurchlässigkeit, verloren gehen kann.
- **„Ablösung von der Unterlage“**
  Ablösungen von der Unterlage sind erhebliche Mängel, bei dem der Fahrbahnübergang schon im Stadium der Auflösung ist. Der Schaden kann nur erkannt werden, wenn der Fahrbahnübergang ausgebaut worden ist.

Die Bewertung der Schadensbilder erfolgte durch den jeweils Meldenden innerhalb des vorgegebenen Rasters subjektiv, da detaillierte Bewertungskriterien nicht vorgegeben waren.

Bild 18 zeigt die Häufigkeit der Schadensformen aller gemeldeten Fahrbahnübergänge. Die Schäden sind aufgegliedert nach ihrem Auftreten nur in Fahrstreifen, nur in Standstreifen oder in beiden Verkehrsflächen gleichzeitig. Bei manchen Objekten treten mehrere Schadensformen gleichzeitig auf.

Am häufigsten ist die Gruppe „Auswandern der Tränkmasse in den Rollspuren usw." vertreten, gefolgt von den „Verdrückungen". Diese Schadensformen sind weitgehend der Kategorie „Schäden ohne Beeinträchtigung der Funktion" zuzuordnen.

„Flankenablösungen" und „Risse" treten in Standstreifen nicht häufiger auf als in Fahrstreifen. Das ergibt auch eine ausschließlich für die Objekte in Autobahnen durchgeführte Auswertung.

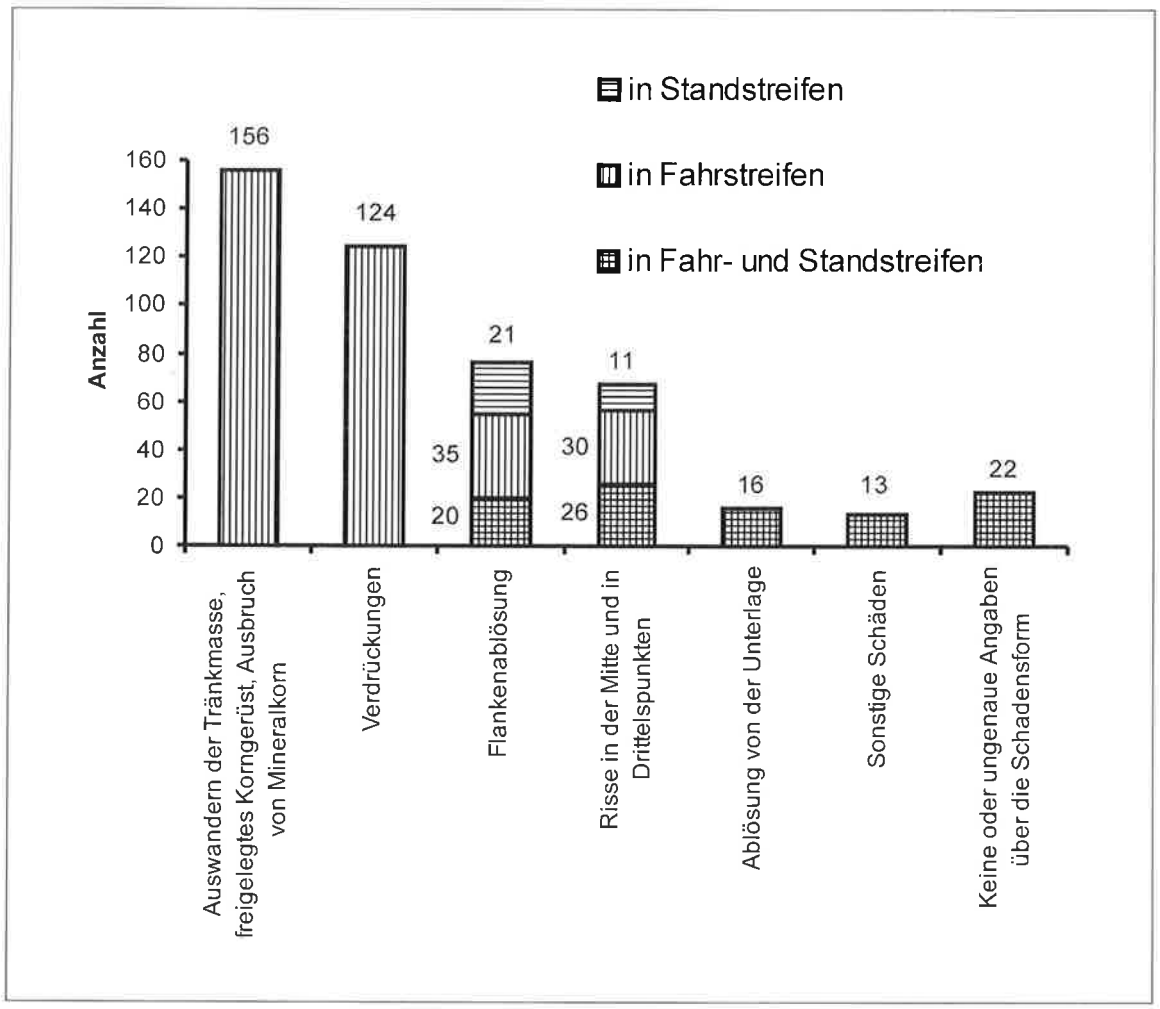


Bild 18: Häufigkeit der Schadensformen, aufgegliedert nach Fahrbahnbereichen (alle Baujahre)

Risse in der Mitte der Fahrbahnübergänge sind häufiger anzutreffen (73 %) als Risse in den Drittelspunkten.

6.1.4 Schadenshäufigkeit in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussparametern

Das Ergebnis der Auswertung der Schadenshäufigkeit in Abhängigkeit von den verschiedenen Einflussparametern ist in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Einfluss von Schadensbildung in Abhängigkeit verschiedener Einflussparameter, Zusammenfassung

Merkmal	Einfluss auf Schadensbildung
Fabrikat	keine Auswertung möglich
Dicke	
Breite	
Quer- und Längsneigung	
Dehnlänge (bis 30 m)	nicht erkennbar
elastische Lagerung	
DTV	
DTV SV	eher gering
Bremsen, Anfahren	erkennbar
Stehender Verkehr	
Kreuzungswinkel	

Für die Merkmale Fabrikat, Dicke, Breite sowie Quer- und Längsneigung konnte keine Auswertung durchgeführt werden, da die Struktur der Daten dafür ungeeignet war. So sind z. B. 92 % der potentiell für die Auswertung geeigneten Fahrbahnübergänge zwischen 50 und 60 cm breit. Die verbleibenden Anzahl von Objekten mit anderen Breiten ist zu gering, um darauf statistische Aussagen abstützen zu können.

Um einen möglichen Einfluss der Dehnlänge von Tragwerken auf die Dauerhaftigkeit von Fahrbahnübergängen aus Asphalt zu finden, wurde die Häufigkeit des Auftretens von Flankenablösungen und Rissen in Abhängigkeit von der Dehnlänge dargestellt. Dabei zeigte sich keine Abhängigkeit im Bereich von 0 bis 30 m Dehnlänge. Die größeren Dehnlänge waren zu gering vertreten, um eine gesicherte Aussage zu ermöglichen.

Bei elastischer Lagerung von Brückenüberbauten, auch schwimmende Lagerung genannt, traten nicht mehr Schäden auf als bei Lagerung mit Festhaltekonstruktionen.

Ebenso wenig konnte bei unterschiedlicher Verkehrsstärke (DTV) eine unterschiedliche Schadenshäufigkeit festgestellt werden. Allenfalls beim Schwerverkehrsanteil (DTV SV) deutet sich ein Zusammenhang an.

Die bekannte Schadensneigung bei Beanspruchung durch regelmäßiges Bremsen und Anfahren (Lichtsignalanlagen) und durch regelmäßig stehenden Verkehr (Lichtsignalanlagen, Parkflächen) wird durch die Umfrage bestätigt. Erwartungsgemäß treten hier die Schadensarten „Verdrückungen“ und „Auswandern von Tränkmasse usw.“ häufiger auf.

Auch mit zunehmender Schiefe, also bei kleiner werdenden Kreuzungswinkeln, treten wegen der längeren Überrollstrecken vermehrt „Verdrückungen“ und „Auswandern von Tränkmasse usw.“ auf. Dies könnte ein Hinweis dafür sein, dass die Breite von Fahrbahnübergängen aus Asphalt über das Regelmaß von 50 cm hinaus nicht beliebig vergrößert werden kann.

6.1.5 Fazit

Nach dem vorliegenden Datenmaterial weist ein nicht unerheblicher Prozentsatz der in den Jahren 1983 bis 1993 eingebauten Fahrbahnübergänge Schäden auf, die manchmal sogar die Funktionsfähigkeit einschränken. Allerdings lässt die vorliegende Datenbasis nur begrenzt Rückschlüsse auf die Schadensursachen zu.

Es kann davon ausgegangen werden, dass durch die mit den ZTV-BEL-FÜ gestellten Anforderungen an

- Prüfungen
- Planung und
- Ausführung

von Fahrbahnübergängen aus Asphalt Schäden künftig auf ein Minimum reduziert werden, weil

- nur noch erfolgreich geprüfte Systeme zur Anwendung gelangen werden
- nicht mehr unter mangelhaften oder unbekannten Randbedingungen eingebaut werden wird (Bestandsaufnahme des Auftraggebers)
- die Randbedingungen des Einbaues durch ein Einbauprotokoll des Auftragnehmers rückverfolgbar dokumentiert werden.

7 Ausblick

Eine wesentliche Voraussetzung für die Funktion und Lebensdauer von Fahrbahnübergängen aus Asphalt ist die gedrungene Kornform der Mineralstoffe. Je kubischer die Kornform umso größer ist der für die Aufnahme der Tränkmasse erforderliche Hohlraumgehalt. Gleichzeitig kann das Korngerüst den Bewegungen des Tragwerks durch reversible Umlagerung folgen und bleibt dabei gleichzeitig in jedem Verformungszustand standfest. Die Anforderung an die Kornform gemäß den TL-BEL-FÜ lautet „Kornformklasse < 3:1 mind. 80 M.-%". Inzwischen werden von den Systemherstellern auch Splitte der „Kornformklasse < 2:1 mind. 80 M.-%" verwendet.

Es ist geplant, die ZTV-BEL-FÜ und TL/TP-BEL-FÜ nach ausreichender Erfahrungssammlung in einigen Jahren fortzuschreiben. Zu diesem Zeitpunkt wird sicherlich wieder über die bis dahin gewonnenen Erkenntnisse, die Verwendung anderer Materialien, über andere Herstellungsarten oder Ausführungsvarianten diskutiert werden. Jedoch ist bereits mit der Einführung des Regelwerkes eine spürbare Abnahme der Schäden infolge mangelhafter Planung bzw. Ausführung zu erwarten.

Eine Neufassung des Regelwerkes wird in jedem Fall erforderlich, wenn harmonisierte europäische Normen oder wie im Fall der Fahrbahnübergänge aus Asphalt Leitlinien der EOTA (European Organisation for Technical Approval = Europäische Organisation für technische Zulassungen) vorliegen.

Für sieben Produktfamilien von Fahrbahnübergängen (flexible expansion joints) - darunter auch die Fahrbahnübergänge aus Asphalt (asphaltic expansion joints) -

wird zur Zeit bei der EOTA das Arbeitsprogramm für die Erteilung eines Mandates im Ständigen Ausschuss erstellt.

Die nationale Spiegelung der working group der EOTA erfolgt im Sachverständigenausschuss für Fahrbahnübergänge beim Deutschen Institut für Bautechnik.

8 Abkürzungsverzeichnis

Abs 4	„Abschlussprofil für Abdichtung" Richtzeichnung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
AfA	Ausführungsanweisung des Herstellers
AK 7.10.4	Arbeitskreis „Fahrbahnübergänge aus Asphalt und Fugen in Belägen auf Ingenieurbauwerken" der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
ARS	Allgemeines Rundschreiben Straßenbau
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
BWT	Bauwerkstemperatur in Grad Celsius
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
DIN 1072	Straßen- und Wegebrücken; Lastannahmen einschließlich Beiblatt 1
DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke für beide Fahrtrichtungen im Jahresdurchschnitt in Kfz pro 24 Stunden
DTV(SV)	durchschnittlicher täglicher Schwerverkehr von Lastkraftwagen mit mehr als 3,8 t zulässigem Gesamtgewicht in Fahrzeugen pro 24 Stunden
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf (Schweiz)
EOTA	European Organisation for Technical Approval = Europäische Organisation für technische Zulassungen
FE	Finite Elemente
P-Stelle	Prüfstelle z. B. Grundprüfstelle
STUVA	Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V., Köln
Übe 1	„Unterkonstruktion für einen wasserdichten Übergang mit einem Dichtprofil" Richtzeichnung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
Ü-Stelle	Überwachungsstelle
WPK	werkseigene Produktionskontrolle
Z-Stelle	Zertifizierungsstelle

9 Literaturverzeichnis

[1] Allgemeines Rundschreiben Straßenbau 11/1998 vom 10. März 1998, Az.: StB 25/38.55.10-17/105 Va 97 des BMVBW, veröffentlicht in der Sammlung: Brücken- und Ingenieurbau; Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund

[2] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Herstellung von Fahrbahnübergängen aus Asphalt in Belägen auf Brücken und anderen Ingenieurbauwerken aus Beton (ZTV-BEL-FÜ), Ausgabe 1998; FGSV Verlag, Köln

[3] Technische Lieferbedingungen für die Baustoffe zur Herstellung von Fahrbahnübergängen aus Asphalt (TL-BEL-FÜ), Ausgabe 1998 und Technische Prüfvorschriften für Fahrbahnübergänge aus Asphalt (TP-BEL-FÜ), Ausgabe 1998; FGSV Verlag, Köln

[4] Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V. (STUVA), Köln: Praxisnahe Prüfung von Fugenausbildungen in Belägen auf Brücken, in Tunneln und Trögen mit Hilfe einer Rundlaufprüfanlage (15.223 R 92 A), 1993

[5] Vater, J.; Recknagel, Ch.; Mühlnikel, R.: Erarbeitung von Kriterien für Anforderungen und Prüfungen von Fahrbahnübergängen aus Asphalt (15.225 R 93 D), 1993; Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

[6] Vater, J.; Recknagel, Ch.; Mühlnikel, R.: Untersuchungen zur Ermüdung des Materialverbundes unter Lastwechselbeanspruchungen bei Fahrbahnübergängen aus Asphalt (15.241 R 94 D), 1994; Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

[7] Fachtagung Sonderkapitel aus dem Brücken- und Ingenieurbau der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin am 4. Juni 1997

[8] Richtlinie Fahrbahnübergänge aus Polymerbitumen, Ausgabe 1998, Hrsg. Bundesamt für Strassen, Schweiz

[9] Lehmann, P.: Stand der Technik von Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen, Sachstandsbericht; Hrsg.: Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Strassenbau, April 1994

[10] Stahel, E.; Spuler, T.: Dauerelastische Dehnfugen als Fahrbahnübergänge für Brücken, in Strasse und Verkehr, Zeitschrift der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, 81. Jg., April 1995, Heft 4/95

[11] Krieger, J.; Rath, E.: Verhalten von Fahrbahnübergängen aus Asphalt bei kurzzeitig auftretenden Horizontallasten (95 242/B4), Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Schlussbericht: Oktober 1996

[12] Krieger, J.; Rath, E.: Verhalten von Fahrbahnübergängen aus Asphalt infolge Horizontallasten, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 14, Bergisch Gladbach, Schlussbericht: Mai 1997

[13] Holst, K. H.: Brücken aus Stahlbeton und Spannbeton, Entwurf, Konstruktion und Berechnung; 4. Auflage 1998, Verlag Ernst & Sohn, Berlin

[14] Wruck, R.: Fahrbahnübergänge aus Asphalt, Auswertung einer Umfrage; BASt-Bericht 2001, in Vorbereitung