

# Brückenabdichtungen

Autor(en): **Kilcher, Friedrich**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 33-34

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74166>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Brückenabdichtungen

Von Friedrich Kilcher, Solothurn

In regelmässigen Abständen liest man in letzter Zeit in der Tagespresse Berichte über Bauschäden an noch jungen Bauwerken oder auch über aufsehenerregende Gebäudeeinstürze. Man fragt sich, weshalb in der Fachpresse nicht mehr über solche «Ereignisse» geschrieben wird, führt doch meistens gerade die Analyse von Schäden zum Erkennen ihrer Ursachen. Und sollten nicht in erster Linie Forschung und Wissenschaft an der kausalen Schadenermittlung brennend interessiert sein? Erstaunen lösen auch die Antworten der Bauämter aus, die nach Bauschäden befragt, meistens negativ ausfallen. Aber wer spricht schon gerne von «seinen» Bauschäden?

Scheinbar unerklärliche Schäden, selbst erlebt und anderswo beobachtet, führten mich dazu, ihren Ursachen nachzugehen in der Absicht, künftig weitere Schäden zu vermeiden bzw. Lösungen aufgrund der erkannten Schadensursachen zu finden. Der Schutz des Brückenbetons ist eines dieser Forschungsgebiete, das im folgenden Beitrag dargestellt werden soll. Die Suche nach hilfsbereiten Gleichgesinnten an den Hochschulen verlief enttäuschend: «Warten Sie auf die Ergebnisse der Wissenschaft», hiess es. Oder war es schlicht das Misstrauen gegenüber dem Unternehmer oder fürchtete man gar den Vorwurf der Parteilichkeit? Können wir es uns aber leisten, lange, allzu lange auf die Wissenschaft zu warten, während täglich Millionenschäden zu Lasten des Volksvermögens entstehen? Die fehlende Zusammenarbeit und Information zwischen den Institutionen haben zur Folge, dass stets die alten Fehler aus Unwissenheit oder aus falschem Stolz wieder begangen werden.

Nicht nur die hier aufgeführten Schäden allein bilden die Grundlage für meine Untersuchungen; einige der dargestellten Lösungen mögen vielen Lesern einseitig erscheinen, auch bei mir haben sie anfangs nicht immer helle Begeisterung ausgelöst. Es müssen eben Forschungsergebnisse kritisch gelesen und kritisch interpretiert werden: Klare Antworten gibt die Forschung nur auf klare Fragen!

Es gibt noch viele offene Fragen; in den anvisierten Fällen sind aber die Antworten von relevanter volkswirtschaftlicher Bedeutung. In diesem Fall eilt die Praxis bereits der Wissenschaft voraus. Aber – warum betreibt die «Öffentliche Wissenschaft» nicht gezielte, präzise Forschungsarbeit, basierend auf dem Wissen von Fachleuten, von Praktikern?

Brückenabdichtungen haben *Betonflächen* zu schützen, die *unter dem Fahrbelag* liegen, aber auch *Brückenteile*, die *nicht befahren werden* (Bankette, Brüstungen, usw.).

## Schäden

Durch Schaden wird man klug!  
Wird man durch Schaden wirklich klug?

Analysierte Schäden sind für die Bearbeitung neuer Projekte sehr nützlich. Die gründliche Untersuchung der Schäden und die Erforschung der Ursachen hilft uns, diese Schäden zu vermeiden. Ich gestatte mir deshalb, Schäden an *eigenen Arbeiten* und solche von *Konkurrenten* in diesen Abschnitt einzubeziehen.

Schäden können durch äussere Einflüsse entstehen oder von einem der beteiligten Materialien ausgehen. Das schadenverursachende Material muss dabei selbst nicht unbedingt Schaden erleiden. Ein Materialbestandteil kann dieses selbst beschädigen.

## Schäden durch äussere Einflüsse

### Verkehr

Der Verkehr verursacht

- durch Schwingungen Risse und Abplatzungen im Beton,
- Ermüdungserscheinungen in der Bewehrung,
- Spurrillen: Der Belag wird komprimiert oder schiebt sich zur Seite und kann dadurch die Abdichtung beschädigen,
- Schäden durch auslaufendes Benzin, Öl oder Chemikalien,
- In Gefälle und in Steilkurven: Absacken, abkriechen des Fahrbelages,
- Mechanische Verletzungen. Dazu gehören nebst der Beanspruchung durch den normalen Verkehr die *Unterhaltsmaschinen*:
- der Schneepflug kann die Fahrfläche, Fahrbahnübergänge und stark die Schrammborde verletzen (Bild 1),
- die Strassenwischmaschine kann mit ihren stahlharten Borsten Schrammbord-Beschichtungen aufkratzen,
- durch Pannen- oder Unfallfahrzeuge.

### Temperatur

- Temperaturschwankungen verursachen unterschiedliche Längenände-

rungen der einzelnen Brückenmaterialien.

- Die Temperatur beeinflusst gleichzeitig Härte, Elastizität oder Weichheit der Dichtungsprodukte und Fahrbeläge sehr stark, was zu Verschiebungen, Blasen und Rissen in der Abdichtung führen kann. Die Mehrzahl der Abdichtungsmaterialien sind Thermoplaste (Versprödung in der Kälte).

### Eis, Wasser und Dampf

- Regenwasser dringt in die Risse, löst den Kalk und schwächt dadurch den Beton (Regenwasser enthält in unserer Zeit viele Säureanteile) (Bild 2).
- Regenwasser kann auch die bituminösen Bestandteile des Belages durchdringen und von innen her das Bitumen vom Splitt abtreiben.
- Wasser bringt die Bewehrung zum Rosten, Rost quillt und sprengt Beton ab.
- Wasser vergrössert das Volumen beim Gefrieren: Diese Quellung kann Frostschäden am Beton, an der Abdichtung oder an der Beschichtung verursachen.
- Die Kombination Beton-Abdichtung-Fahrbelag enthält immer Wasser in irgendeinem Aggregatzustand. Bei der Sonnenbestrahlung entsteht Dampf. Dampfdruck entsteht im Beton *unter* der Abdichtung oder auch *zwischen* Abdichtung und Fahrbelag (Gussasphalt). Er kann so gross sein, dass entweder Blasen und Ablösungen der Abdichtung vom Beton oder auch des Fahrbelages von der Abdichtung verursacht werden (Bild 3).

### Salz

- Salzwasser kann durch die Betonfläche oder durch Risse in den Beton eindringen und die darinliegende Bewehrung zum Rosten bringen. Rost quillt und sprengt Beton ab. Salzwasser kann auch einen Fahrbelag zersetzen (Walzasphalt).
- *Tausalzshock*: Es ist eine bekannte Tatsache, dass Tausalz auf Eis gestreut einen sehr starken Temperaturabfall bewirkt, der in den obersten Millimetern der Unterlage bis zu 12 °C Abkühlung innerhalb einer Minute betragen kann. Diese abrupte Abkühlung an der Oberfläche verursacht sehr grosse Oberflächenspannungen, wobei ein nicht frostbeständiger Beton Risse und Aufspaltungen erleiden kann. Sie führen zu Ablösungen an der Betonoberfläche. Dieser Vorgang wiederholt sich bei jeder Salzung auf Eis von neuem. Erfah-

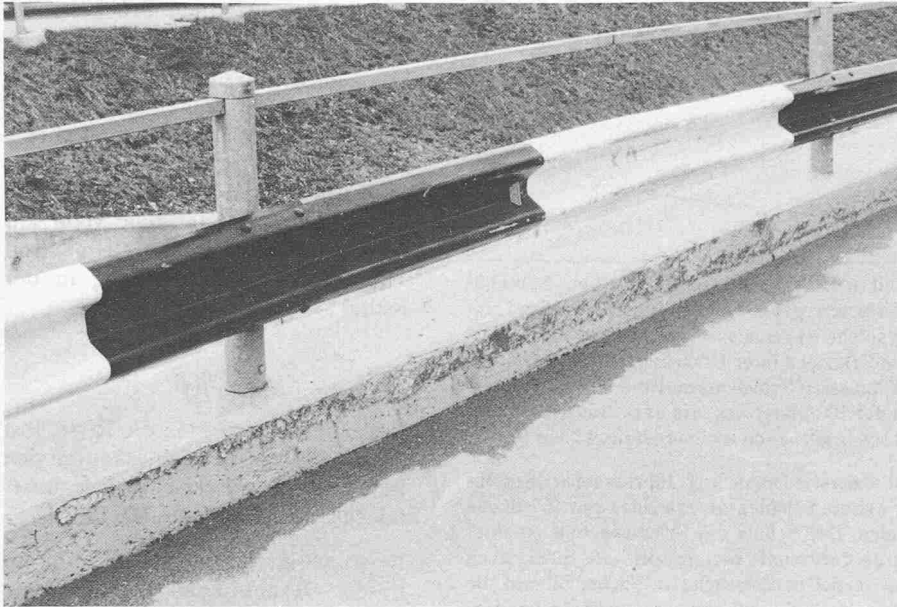


Bild 1. Durch Schneepflug beschädigte Schrammbordbeschichtung

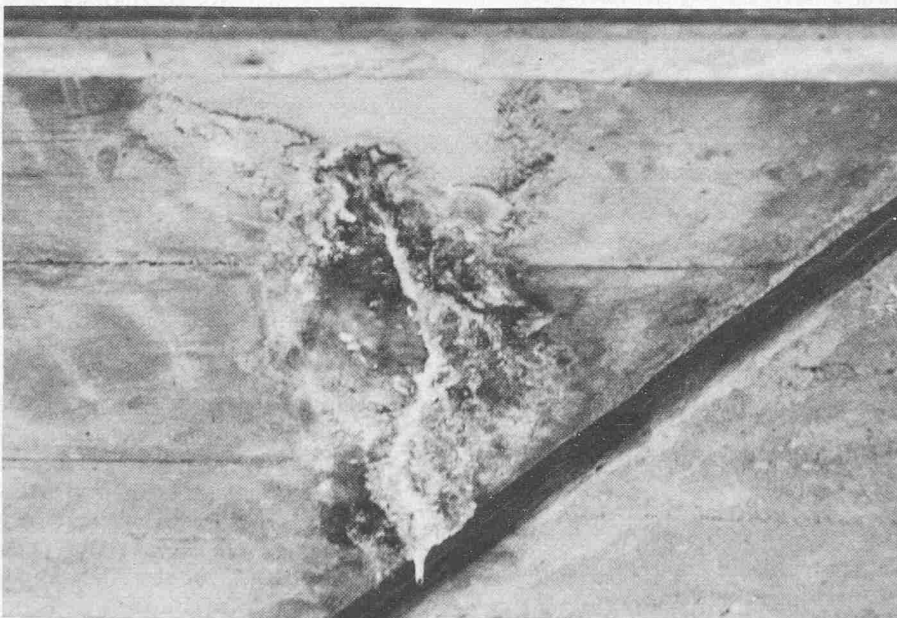


Bild 2. Kalkausschwemmungen durch Riss im Beton der Brückenfläche



Bild 3. Blasen unter einer kunststoffmodifizierten Bitumenfolie

rungsgemäss bietet der Fahrbelag dem darunterliegenden Beton Schutz vor diesen Tausalzshocks. Auf dem Beton von Banketten, Brüstungen und Brückenrändern wirkt dagegen der Tausalzschock mit voller «Kraft», selbst durch eine vorhandene Feuchtigkeitsisolation hindurch (Bild 4).

#### Schäden aus dem Zusammenwirken der verschiedenen Materialien

##### Einflüsse des Betons auf die Abdichtung

- Risse im Beton können die Abdichtung aufreissen.
- Alkalische Bestandteile können eine Verseifung der Abdichtungsmaterialien verursachen, im Speziellen bei Polyurethan- und Dispersions-Beschichtungen.
- Betonzusätze haben oft salzartigen Charakter und wirken hygroskopisch. Sie können durch osmotischen Druck Schäden am Beton oder an der Abdichtung verursachen.
- Trocknungsverzögerer können – soweit sie nicht vorgängig entfernt werden – zu Haftungsproblemen führen.

##### Einflüsse der Abdichtung auf den Beton

Chemische Bestandteile der Abdichtung können den Beton angreifen. Hitze während dem Einbau der Abdichtung kann den Beton schädigen. Stark unterschiedliche Längenänderungen der Abdichtung aus Temperaturschwankungen verursachen Risse oder Ablösungen im Beton oder in der Abdichtung selbst (besonders ausgeprägt bei zu harten Produkten auf Kunstharzbasis.)

##### Einfluss der Abdichtung auf den Fahrbelag

- Flüchtige Bestandteile wie Weichmacher, Alterungsschutzmittel, Aromaten können in den Belag eindringen und die bituminösen Bestandteile zersetzen.
- Die Weichheit bei grosser Dicke der Abdichtung kann für den Fahrbelag eine ungenügend belastbare Unterlage sein. Sie führt zur Zerbröckelung des Fahrbelages, besonders im Winter (Bild 5 und 6).
- Blasen zwischen Beton und Abdichtung können sich auf den Fahrbelag übertragen und diesen aufreissen (Bild 7).
- Überlappungen an der Abdichtung können beim Walzen unterschiedliche Verdichtung am Fahrbelag verursachen (speziell bei Walzasphalt), aber auch die Abdichtung an diesen Stellen durch örtlich überhöhten Druck verletzen (Bild 8). Walzasphalt weist einen Hohlraumgehalt von gegen 5 Prozent auf.

### *Einfluss des Fahrbelages auf die Abdichtung*

- Die Hitze beim Einbau des Fahrbelages kann die Abdichtung verbrennen, anschmoren, anlösen oder aufweichen.
- Chemische Bestandteile des Fahrbelages können die Abdichtung angreifen (Erweichung oder Versprödung).
- Schieben des Fahrbelages auf der Abdichtung kann diese aufreißen, zerkratzen oder ablösen.
- Bei mangelnder Haftung der Abdichtung am Beton (Bild 3) kann das Walzen des Fahrbelages eine Aufstauchung der Abdichtung verursachen und diese knicken, falten, durchlöchern oder aufreißen.
- Ablösungsschäden sind möglich zwischen der Abdichtung und dem Beton, bzw. dem Fahrbelag und der Abdichtung oder event. einzelner Schichten der verschiedenen Materialien unter sich.

Vibrationswalzen können auf Brücken nicht verwendet werden (*Brückenschwingung*) sondern nur *Schwergewichtswalzen*.

### **Herstellungsfehler der Materialien**

Sowohl die *Wahl* Wie die *Qualität* der verwendeten Rohmaterialien als auch ihre *qualitative Verarbeitung* bei der Herstellung der Endprodukte können Schadenquellen enthalten:

- z.B. Betonqualität, Zusatzmittel, Verdichtung, Oberflächenbehandlung
- z. B. minderwertige (billigere) Zusätze beim Abdichtungsmaterial
- z..B Belagsmischung, Überhitzung

### **Lehren aus den Schäden/ Funktionen einer Brückenabdichtung**

#### **Schutz**

Die Abdichtung muss den Beton und die Armierung vor Wasser und Salzwasser, vor Benzin, Öl oder Chemikalien (defekten Fahrzeugen) schützen.

#### **Haftung**

Eine sehr starke Haftverbindung zum Beton und eine Schubsicherung zum Fahrbelag der Brücke ist für eine gute Abdichtung unerlässlich.

#### **Widerstand**

Die Abdichtung selbst muss widerstehen

- dem Dampfdruck aus dem Beton der Brücke,
- der Einbau-Temperatur des Fahrbelages,
- den chemischen Einflüssen aus dem



Bild 4. Durch Tausalz-Temperaturschock zerstörter Beton. Beachtenswert ist die unterschiedliche Betonart der Oberfläche und des Kernbetons. Die Beschichtung konnte die Zerstörung nicht verhindern



Bild 5. Durch nachgiebige (weiche) Unterlagen wurde dieser Walzasphalt nach wenigen Wintern zerstört



Bild 6. Durch eine weiche, dicke Abdichtung wurde dieser Gussasphalt schon im ersten Winter zerstört

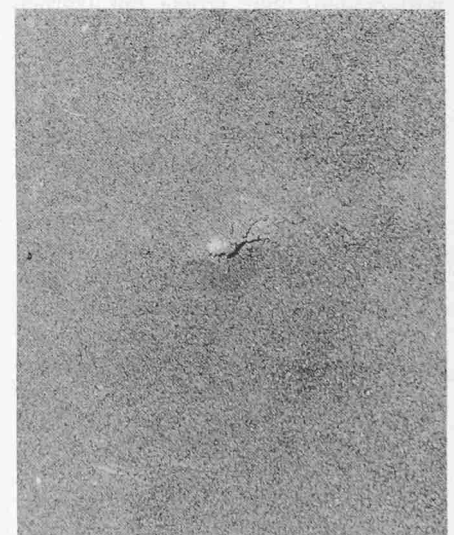


Bild 7. Blasen der Abdichtung haben sich auf den Walzasphalt übertragen

- Fahrbelag und dem Beton,
- den Temperatur- und Wetteränderungen,
- Salz, Wasser, Chemikalien und
- der Alterung.

### Anpassung

Die Abdichtung muss sich anpassen

- den Betonungenauigkeiten. Insbesondere nach der Reinigung mit *Hochdruckwasserstrahl* ist der Beton uneben und die Abdichtung muss sich all diesen Formen anpassen können;
- den Längenänderungen des Betons als Folge von Temperaturschwankungen, ohne dadurch Spannungen zu verursachen;
- an alle Randabschlüsse, Fahrbahnübergänge, Wasserabläufe usw.;
- die Abdichtung muss unbedingt Betonrisse elastisch überbrücken können.

### Ausgewogene Eigenschaften

Die Abdichtung muss wohlausgewogene Eigenschaften aufweisen. Sehr gut ausgewogen müssen sein:

- Schichtdicke,
- Elastizität,
- Härte,
- Reissfestigkeit,
- Kerbzähigkeit,
- Haftfestigkeit.

Die Abdichtung darf nicht allzu dick, elastisch und gleichzeitig sehr weich sein. Der Fahrbelag wird im Winter spröde und würde auf der weichen Unterlage zerbröckeln. Umgekehrt würde auf einer weich-plastischen Unterlage der Belag im Sommer «schwimmen» (Bilder 5 und 6).

### Verlege-Einfachheit

Die Abdichtung soll verlegeeinfach sein. Die Unternehmung muss grosse Flächen während den kurzen Schönwetterzeiten, ohne grosse Zusatzarbeiten, beschichten können.

### Wirtschaftlichkeit

Die Abdichtung soll wirtschaftlich sein. Preise: Der Preis einer Abdichtung repräsentiert wenige Prozente der ganzen Bauwerkkosten. Nicht nur der Gesteinpreis, sondern auch die Unterhaltskosten, die Lebensdauer, die technische Wirkung und die Vereinfachung anderer wichtiger Aufgaben sollen für die Wahl des Brückenabdichtungs-Systems massgebend sein.

### Zusammenfassung

Wäre der Beton nicht gleichzeitig empfindlich gegen Wasser, Salz, Risse, Verschleiss usw., könnte man eigentlich direkt auf dem Brückenbeton fahren.

Nachdem dies aber nicht möglich ist, muss der Beton geschützt werden. Es gibt aber auch keine befahrbare Abdichtung oder isolierenden Fahrbelag mit allen vorgenannten Eigenschaften, deshalb ist es sinnvoll die Funktionen zu trennen.

Das beste ist, eine Abdichtung zu verwenden, die allen Anforderungen wie oben beschrieben entspricht und einen Fahrbelag zu verwenden, der seine Funktionen als verschleissfeste, rutschfeste Fläche von langer Lebensdauer erfüllen kann. Zur Zeit erfüllt *Gussasphalt* diese Anforderung am Besten: Er ist sehr kompakt und widerstandsfähig gegen Verschleiss. Er passt sich der Unterlage an ohne gewalzt zu werden (Walzschäden ausgeschlossen). Er füllt sich nicht mit Regen- oder Schmelzwasser, denn er hat keine Hohlräume, die dieses Wasser über längere Zeit zurückhalten. Wir müssen nur noch die geeignete Abdichtung finden, die vor allem seiner Einbauhitze widerstehen kann und eine perfekte Verbindung zum Asphalt herstellt. Alle zuvor beschriebenen Bedingungen für eine gute Brückenabdichtung führen zu den Charakteristiken von Neoprene®, verwendet im Efkaprene® unserer Firma (Neo-

nommen und ist seither an weit über 100000 m<sup>2</sup> Brückenfläche erfolgreich verwendet worden.

«Schulmässige» Prüfungen dürfen nie als selbständige Absolutwerte, sondern immer nur im Zusammenwirken des Gesamten beurteilt werden. Darum wurden für Efkaprene S3 Testes mit praxisnahen Bedingungen geschaffen. Diese Testmethoden wurden zum Teil in die neuen Richtlinien der BAM für die Prüfung von Brückenabdichtungen aufgenommen. Die unterschiedliche Beanspruchung von Abdichtungen unter Fahrbelägen und den freiliegenden Beschichtungen von Banketten und Brüstungen führte zu verschiedenen Produkten:

### Brückenabdichtung unter Fahrbelägen

#### Schulmässige Eigenschaftsprüfungen von Efkaprene S3

EMPA 29352 Heisslagerung in Silikonöl 220 °C als Simulation von Gussasphalt. Verkürzung nach zehn Minuten: 0,86%.

EMPA 30653 Salzaufnahme nach 32 Wochen Lagerung in gesättigter Kochsalzlösung: Gewichtsabnahme 0,3%!!

	unbewittert	bewittert 1000h Xenotest	unter Einfluss von aktiven Mikroorganismen > 5000 h
EMPA 37301/1+2 EMPA 230856			
Reissdehnung	580%	380%	400%
Reissfestigkeit	47 kp/cm <sup>2</sup>	43 kp/cm <sup>2</sup>	44 kp/cm <sup>2</sup>
Oberfläche		geringer Glanzverlust	keine sichtbare Veränderung 2% Gewichtsverlust

prene hat sich in verschiedenen Bereichen seit 50 Jahren bewährt).

EMPA 103892 Wasserdampf-Diffusions-Durchgangszahl KD 0,0025 g/m<sup>2</sup> · h mm Hg

EMPA 32885/

EMPA 1+2 Haftfestigkeit am Beton: ab 35 bis 50 kp/cm<sup>2</sup> Riss im Efkaprene, wenn vorher: Abriss im Beton.

BAM

2.33/18571/1 Verschiedene Versuchsergebnisse wie:

*Wasserdampf-Diffusions-durchlass-Koeffizient*  
 $\Delta = 13,1 \cdot 10^{-9} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$   
*Salzbeständigkeit*

14tägige Lagerung in Tausalz-lösung konzentriert ergab keine feststellbare Veränderung von Reissfestigkeit und Reissdehnung.

*Bitumenverträglichkeit*

14 Tage in 70° Bitumenschmelze gelagert, Reduktion der Dehnung von 102% auf 55% unter statischer Zuglast von 2,5 kg.

*Hitzebeständigkeit*

15 Minuten bei 240 °C in

### Forschung und Prüfergebnisse

Unser Unternehmen verarbeitet seit über 20 Jahren flüssige Neoprene-Produkte auf *Flachdächern* und *unterirdischen Einstellhallen*. Es lag nahe, diese Produkte auf ihre Eignung als Brückenabdichtung zu prüfen. Gleichzeitig mit den ersten kleinen Brückenobjekten wurden seit 1973 Testversuche an der EMPA Dübendorf durchgeführt. Mit den wesentlich höheren Anforderungen, die im Ausland an die Brückenabdichtung gestellt werden, hat die Firma diese Versuche und Tests auch auf ausländische Versuchsanstalten ausgeweitet, wie *MA 39 Wien* und die *Bundesanstalt für Materialprüfungen (BAM) in Berlin*.

Nach 4jähriger Labor- und Praxis-Erprobung wurde das vergütete Efkaprene «Efkaprene S3» als optimale Brückenabdichtung 1978 in die Praxis über-

Stickstoff Atmosphäre. Reduktion der Dehnung von 102% auf 55% unter statischer Zuglast von 2,5 kg.

#### Praxisnahe Beanspruchungen

(BAM 2.33/18571/1:)

##### Rissüberbrückung

Betonplatte (30×20×4 cm) mit Drahtbürste gereinigt und mit Efkaprene S3 1 mm stark beschichtet.

a) Aufbringen von 3 mm Wasser, 16 Std. bei -15 °C gelagert, aufstreuen von Tausalz 90 g/m<sup>2</sup>, 4 Std. Lagerung bei -15 °C, 4 Std. Lagerung bei +20 °C, abgiessen des Wassers.

■ Ganzes Prozedere 25 mal wiederholt im 24-h-Rhythmus.

b) Auf obige Platte zwei Lagen zu 3 cm Gussasphalt (245 °C) aufgebracht.

c) Durch Beanspruchung (negatives Biegemoment) Betonriss (von unten Sollbruchstelle vorgekerbt) bis 2 mm in 11 Minuten erzeugt. Heiss-Lagerung in gerissenem Zustand unter Gussasphalt 21 Tage bei 70 °C.

Bei allen Prüfplatten war die Abdichtung Efkaprene S3 nach obigen Beanspruchungen vollkommen intakt.

##### Scherfestigkeit

Betonplatte 3,5 cm und Efkaprene 1 mm und Gussasphalt 6,5 cm.

Bei 23 °C und 46,8 N/mm Scherkraft wurde der Gussasphalt abgeschert, wobei das Gummigranulat aus dem Gussasphalt herausgezogen wurde.

Bei 50 °C und 11,8 N/mm wurde der Gussasphalt an der Krafteinleitungsstelle abgelöst und gestaucht.

Efkaprene und Gummigranulat haben die Scher-Beanspruchungen unbeschadet überstanden.

Versuchen, bedingte einen grossen Kraftaufwand, d.h. der Gussasphalt umkrallte das Gummigranulat der Efkaprene-Abdichtung und erhielt dadurch eine starke Haftung gegen vertikale Ablösung!

##### Beurteilung der Ergebnisse

Die Rissüberbrückungs-Fähigkeit, Beständigkeit gegen Gussasphalteinbau-Hitze, Schub- und Scherfestigkeit, Haftfestigkeit von Efkaprene S3 am Beton sowie seine Haftvermittlung zum Gussasphalt verleiht diesem Kombinations-System enorme Fähigkeiten, die bis heute einmalig sind:

Hervorragende Abdichtung des Betons durch Efkaprene S3 auch über nachträglich auftretenden Rissen (Bild 14). Hervorragende Haftvermittlung zum Gussasphalt: er kann weder horizontal schieben, noch vertikal sich ablösen, weil er praktisch auf jedem Quadratzentimeter an die Unterlage «befestigt» ist. Die gleichzeitige Durchführung von Proben und Tests, zusammen mit praktischer Anwendung, erlaubte auch eine zügige Entwicklung der Verarbeitungstechnik und dadurch ein praxisgerechtes Brücken-Abdichtungssystem.

##### Beschichtung von nichtbefahrenen Brückenflächen und Brüstungen

(BAM 2.33/19051/1 und 2)

Diese jüngeren Prüfungen an der BAM (ab März 1979) wurden wesentlich ausgeweitet, so wurde z. B.:

- mehr Gewicht auf Wetter- und Alterungsbeständigkeit gelegt,

Bei diesen Untersuchungen hat die Firma gleich zwei Produkte prüfen lassen, nämlich Efkaprene G (hell) und Efkalast 428/2. Beide Produkte haben die Prüfung als Abdichtung von nicht befahrenen Betonflächen voll bestanden.

Das Lesen und Verwerten von Prüfergebnissen verlangt ein starkes, kritisches Engagement, um die Resultate folgerichtig in die ganze Bewertung einzuordnen. Oft bedingt ein Resultat die Wiederholung eines Versuches oder verlangt nach einer weiteren, anderen Prüfung, um das Bild auszuweiten oder abzurunden. Ein scheinbar gutes Resultat für eine Eigenschaft (z. B. hohe Dampfdurchlässigkeit) verursacht oft Nachteile für eine andere Eigenschaft (etwa salzundurchlässig zu sein), was unbedingt erkannt werden muss. - Demgegenüber kann ein scheinbar ungünstiges Resultat bedeutungslos sein: z. B. Reduktion der Reissdehnung von ursprünglich 580% auf 380% bei praktisch gleichbleibender Reissfestigkeit von 48 kp/cm<sup>2</sup> (47 kp/cm<sup>2</sup>). Die ursprüngliche Dehnfähigkeit dieses Elastomers ist derart hoch, dass dieser Verlust unbedeutend ist, zumal diese Dehnungs-Abnahme sich stetig verflacht (etwa der Fähigkeit, salzundurchlässig zu sein).

## Mögliche Lösungen der Abdichtungsprobleme an Brücken

### Abdichtungen der Brückenflächen unter dem Fahrbelag

Die heute üblichen Abdichtungsmethoden verwenden meist bituminöse Zusammensetzungen, zum Beispiel

1. Heiss gegossenen Gussasphalt 20 mm oder Mastix 8-10 mm,
2. Heiss verklebte, kunststoffmodifizierte Bitumenfolien 4-5 mm,
3. Flüssig verarbeitete Dünnschichten aus Teerepoxyden,
4. Flüssig verarbeitete, weiche, halbplastische Epoxy-Polyurethan-Mischungen 4-7 mm,
5. Sandwichfolien mit in Epoxy, Bitumen oder sonstigen weichgemachten Materialien eingebetteten Metallfolien 5-10 mm,
6. Kaltflüssig aufgetragene vulkanisierbare Elastomere etwa 1 mm.

Alle Systeme aber unterliegen irgend einer oder mehreren Schadenquellen, die im Abschnitt «Schäden» beschrieben sind. Die Abdichtungs-Systeme 2 bis 5 ertragen zum Teil knapp die Hitze von Walzasphalt.

Auch die flüssig aufgetragene Abdichtung mit kaltvulkanisierendem Elastomer unterliegt im Zusammenhang mit Walzasphalt noch einigen Schadenquellen wie Betonoberflächenzustand (Unebenheiten), es bleibt die Gefahr



Bild 8. Überlappungen bei einer kunststoffmodifizierten Bitumenfolie bilden Wasserstau, der in den Hohlräumen des Walzasphaltes bleibt

### Hitzebeständigkeit und Oberflächenrauigkeit

Betonplatte: Aufbau wie vorher beschrieben. Bei 80 °C Oberflächentemperatur des Gussasphaltes und 10 Prozent Längsgefälle über drei Tage und 2060 N simulierte Radlast, entstand keinerlei Abrutschen des Asphaltbelages.

Efkaprene S3 erlitt keine Schäden aus der Hitze und gilt als beständig unter Gussasphalt-Einbaubedingungen.

Das Ablösen des Gussasphaltes senkrecht zur Fläche vom Efkaprene-Belag nach den

- für die Rissüberbrückung wurden zwar nur Öffnungen von 0,2 mm mit 1000 Schwingungen bei -10 °C und statischer Ausweitung auf 0,4 bis 0,5 mm bei 70 °C während einer Woche durchgeführt, wobei auch die bewitterten Proben alle Rissprüfungen bestanden haben.

Die Abreissproben ergaben alle Werte um etwa 30 kp/cm<sup>2</sup>, wobei die Abrisse vorwiegend im Beton erfolgten.

des *Belagschiebens* während dem Walzen. Eine *Mastixüberschicht* würde die Unebenheiten ausgleichen, aber den Aufbau verteuern, ohne die Qualität des Fahrbelages zu verbessern.

*Das Brücken-Abdichtungssystem Efkaprene S3*

1. Die *Betonunterlage* bzw. die *Betonoberfläche*. In 4jähriger Aufbauarbeit wurde die Hochdruckwasserstrahlreinigung auf die heutige Höchstform gebracht (Bild 9):

- der optimale Reinigungseffekt liegt zwischen 750 und 1000 bar Wasserdruck,
- die Zementschlämme wird vom Kernbeton weggerissen und fortgespült. Die Betonporen werden geöffnet. (Im Gegensatz zu allen anderen Reinigungsmethoden, bei denen Betonstaub in die Poren gepresst, gewischt oder geschlagen wird.)

2. *Haftvermittlung* (Bild 10). In die offenen Poren des trockenen Betons wird der Primer (Efkaprimer C) eingeschwenmt. Er dringt 1 bis 3 mm in den Beton ein (bei Rissen tiefer, in sehr kompaktem Beton weniger tief). Im Efkaprene S3-System wird bereits der Primer vulkanisiert, d.h. er wird unempfindlich gegen Kondenswasser oder alkalische Bestandteile des Betons (unempfindlich gegen Wasser/Frostabdrängung). Der Efkaprimer wirkt wie eine Imprägnierung und verschliesst weitgehend die Poren und dichtet sie gegen Tausalz ab. Efkaprimer C ist die Verankerung der Abdichtung an den Beton.

3. Die *eigentliche Abdichtung* (Bild 11, 12 und 13). Efkaprene S3 wird auf dem Arbeitsplatz mit dem Vulkanisator vermischt und kann innerhalb eines Arbeitstages auf den geprimeren Beton mit Lammfellrollern aufgetragen werden. Je Schicht werden etwa 700 bis 800 g/m<sup>2</sup> aufgebracht. Nach einer Ablüftphase folgt die nächste Schicht. Die Schichten werden als Ganzes zu einer festhaftenden, elastischen, kerbzähnen, rissüberbrückenden Gummihaut von etwa 0,7 bis 1 mm zusammenvulkanisiert.

Sehr viele «Fachleute», Wissenschaftler und Bauingenieure können «die Fähigkeit, Risse zu überbrücken!», kaum fassen. Sie gehen von der falschen Voraussetzung aus, dass sich der Belag von 0 auf 2 mm dehnen müssen. Es war unser Ziel, die Eigenschaften Dehnfähigkeit, Reißfestigkeit, Kerbzähigkeit, Haftfestigkeit und Schichtstärke so aufeinander abzustimmen, dass beim Entstehen eines Risses im Beton die Reißfestigkeit von Efkaprene grösser ist



Bild 9. Reinigung der Betonoberfläche mit Hochdruckwasserstrahl (750 bar)

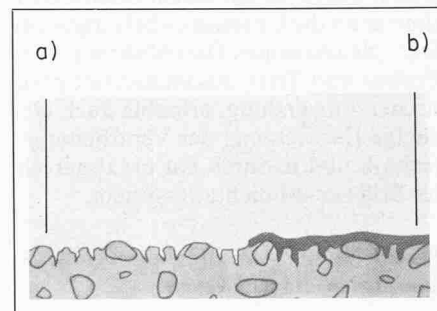


Bild 10. a) Beton gereinigt mit Hochdruckwasserstrahl  
b) Efkaprimer dringt in die Betonporen

als die Haftung zwischen Efkaprene und der Unterlage. Dadurch lösen sich beidseitig des Risses z.B. je 1 mm Efkaprene von der Unterlage und es stehen bereits 2 mm freiliegende Abdichtung für eine Dehnung auf x Millimeter zur Verfügung. Die Haftfestigkeit bleibt gesamthaft aber dennoch für die übrigen Aufgaben (Dampfdruck, mechanische Schubkräfte, usw.) gross genug (Bild 14).

4. *Haftvermittlung zum Fahrbelag*. In die oberste noch flüssige Efkaprene-Schicht wird ein körniges Gummi-Granulat von 4 bis 5 mm eingestreut. Dieses wird vom Efkaprene fest an-vulkanisiert. Selbst die Menge des Gummigranulats beruht auf Forschungen. Aus dem ursprünglichen Schutzmittel für die Abdichtung wurde ein echter, aktiver Haftvermittler (Bild 15).

Das Granulat wird nur so eng gestreut, dass der Guss- oder Walzasphalt zwischen den Granulaten sich fest auf die Abdichtungsfläche abstützen kann. Der Fahrbelag kann sich an den Granulaten verkrallen, was dem Walzasphalt die schubfeste Verbindung vermittelt und dem Gussasphalt zusätzlich sogar die vertikale Verankerung gewährleistet. Diese Tatsache ist deshalb wichtig, weil das leidige *Blasenproblem beim Gussasphalt* entfällt (Bild 16).

Ein *gut eingestellter* Gussasphalt kann auf der Efkaprene-Brückenabdichtung nicht mehr schieben und auch vertikal nicht mehr Blasen bilden (seit vier Jahren wurden gegen 100000 m<sup>2</sup> Brückenabdichtungen nach diesem System erfolgreich, ohne Blasen verlegt). Der Asphalt umhüllt die Gummigranulate (praktisch ein Stück je Quadratzentimeter,) eine Verschiebung kann sich gar nicht aufaddieren, so dass der Gussasphalt fast als «vollflächig» befestigt betrachtet werden kann. Entsprechende Testwerte sind im Abschnitt «Forschung und Prüfergebnisse» beschrieben.

*Der Fahrbelag*. Der Gussasphalt wird von seiner einstigen, schwer erfüllbaren Abdichtungsfunktion (eigene Rissgefahr, Unterläufigkeit) befreit und wird für seine *neue Hauptaufgabe*, nämlich *verfor-*



Bild 11. Auftragen der Abdichtung Efkaprene von Hand

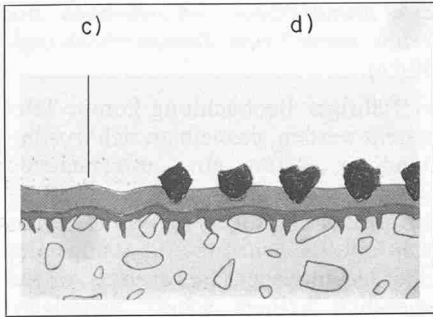


Bild 13. c) Efkaprene passt sich der Oberfläche an und verbindet sich fest mit dem Efkaprimer  
d) Der Haftvermittler Gummigranulat wird in die oberste Efkaprene-Schicht eingebettet und verankert

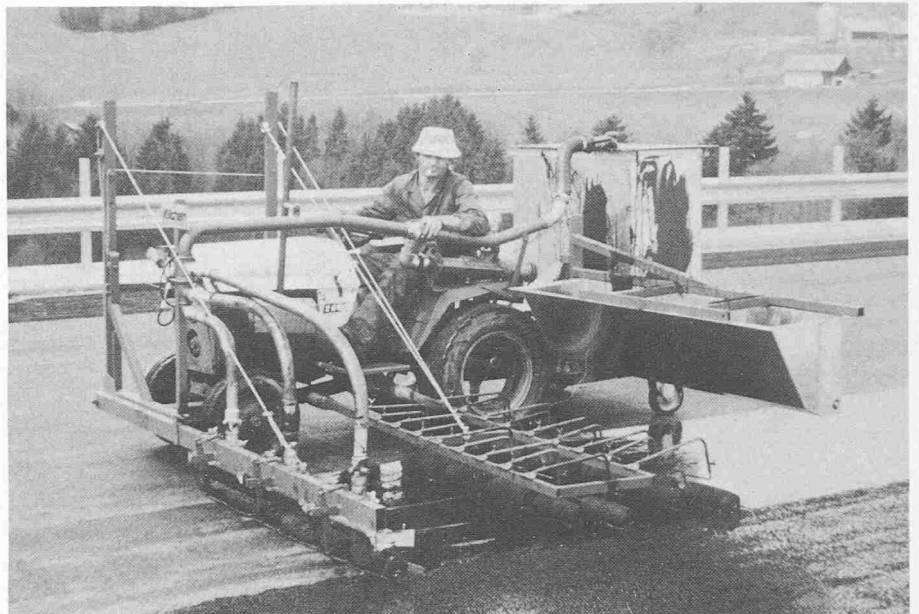


Bild 12. Auftragen der Abdichtung Efkaprene mit Spezialmaschine

mungs- und verschleissfest zu sein, konzipiert. Nachdem das Aufbringen des zähen Gussasphaltes anfänglich Probleme gebracht hat, dürfen diese heute als bewältigt betrachtet werden.

**Efkaprene S3 und Gussasphalt.** Das Efkaprene-Gussasphalt-System bietet optimale Eigenschaften. Die Gestehungskosten dieser Brückenbelagskonstruktion sind nicht höher, wenn ein reeller Vergleich gezogen wird. In jedem Falle bietet dieses System eine Langzeitlösung mit weit längerer Lebensdauer als die bisher bekannten. Der neue splittreich eingestellte Gussasphalt ist verformungsbeständig, verschleissfest und widersteht auch den extremsten Verkehrsbeanspruchungen. Efkaprene bietet die optimale Haft- und Schubsicherheit. Es kann Betonrisse auch unter dem Gussasphalt überbrücken, passt sich allen Unebenheiten des Betons an und bietet ihm einen vollwertigen Schutz gegen Tausalzwasser. Die vertikale Einsenkung ist so klein, dass im Winter der Fahrbelag nicht zerbröckelt.

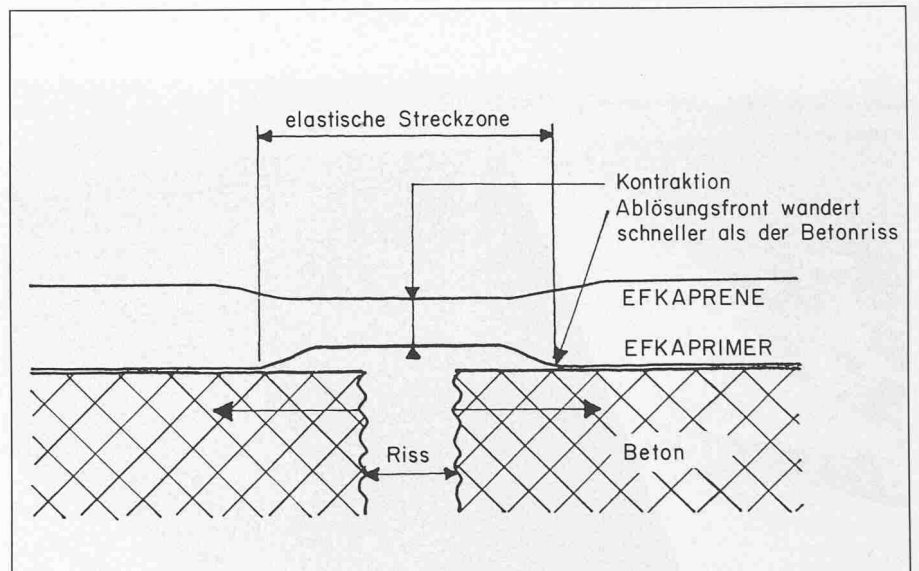


Bild 14. Schematische Darstellung einer Rissüberbrückung

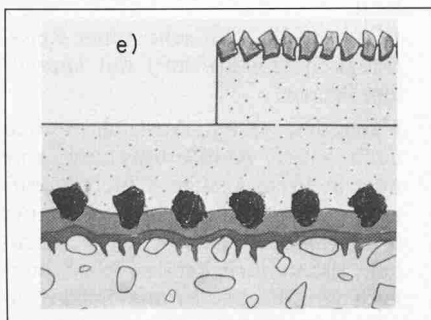


Bild 16. e) Der Gussasphalt umkrallt die Gummigranulate

**Beschichtung von nicht befahrenen Brücken-Betonflächen**

Mehr oder weniger gebräuchliche Beschichtungsmethoden

1. Zwei-Komponenten-Kunstharze (UP, EP, Acryl: keine Rissüberbrückung, zu grosses Eigenleben bei Temperaturschwankungen; zu dampfdicht)



Bild 15. Maschinelles Einstreuen von Gummigranulat als Haftvermittler



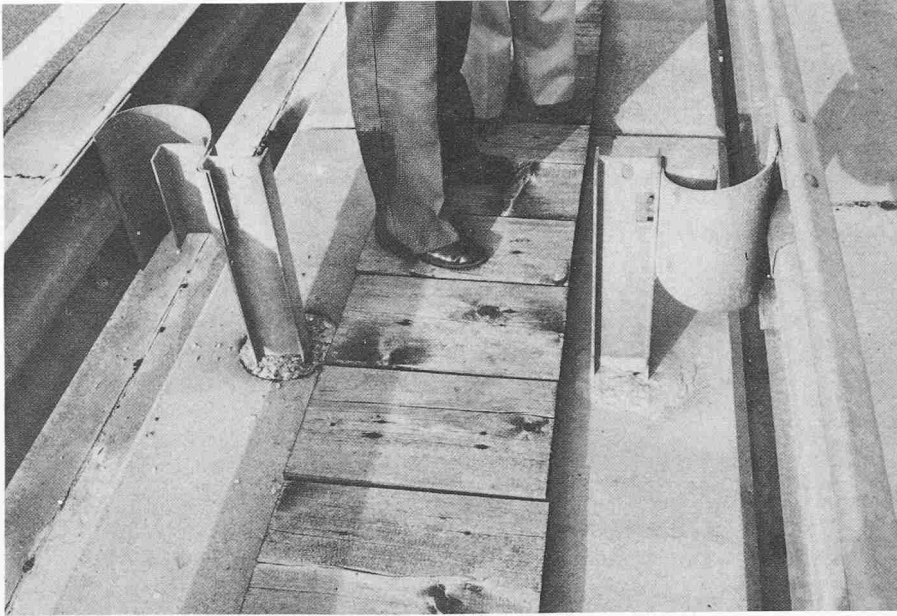


Bild 17. Die Leitplanken überragen den Brückenrand. Detail Pfostenanschluss rechts: Inbetriebsetzung des Objekts 1971. Pfostenanschlüsse mit Efkaprene im Jahre 1975 beschichtet, das heisst 4 Jahre vor und 5 Jahre nach der Beschichtung dem Tausalz ausgesetzt. Beispiel an der N5 (Aufnahme: 1980)

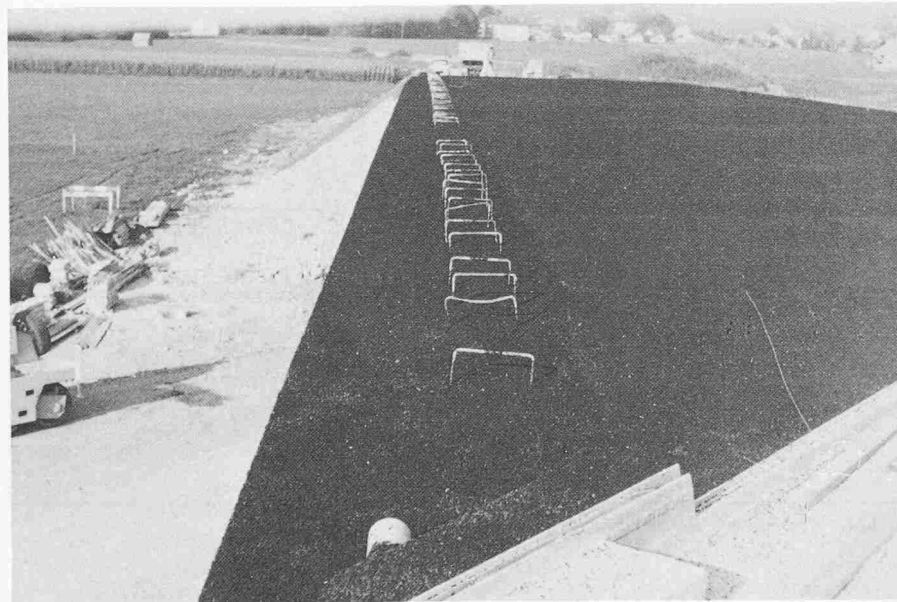


Bild 18. Efkaprene-Brückenabdichtung bis zum Brückenrand gezogen. Anschlussbewehrung für Gehwegaufbau einbetoniert. Beispiel an der N12

2. Polyurethane (langsame Versprödung, keine Rissüberbrückung, ungenügende Kalkbeständigkeit.)
3. Elastomere (wenn Schichtdicke, Elastizität, Haftfestigkeit und Kerbzähigkeit nicht abgestimmt sind, ungenügende Rissüberbrückungsfähigkeit.)
4. Bituminöse Anstriche (Versprödung, Abblätterung, Abwitterung)
5. Reine Imprägnierungen werden heute meist auf den vom Verkehr abgewandten Flächen verwendet.

Allgemein ist festzustellen: Zu grosse Dampfdurchlässigkeit bringt auch Salzdurchlässigkeit und bringt bei ungenügender Haftfestigkeit Ablösungen.

Die nichtbefahrenen Betonflächen einer Brücke sind stärkeren Verschleissinflüssen ausgesetzt als die unter dem Fahrbelag liegende Brückenbeschichtung. Sie erleiden unmittelbar die volle Wirkung der Witterungseinflüsse:

- Sonnenhitze-kalter Gewitterregen,
- Eis-Tausalz-Temperaturschock,
- Mechanische Verletzungen jeglicher Art und UV-Strahlung.

Diese Einwirkungen durchdringen teils die Beschichtung und wirken durch diese hindurch auf den darunterliegenden Beton. Mit andern Worten: ein Beton mit ungenügender Festigkeit und Frostbeständigkeit kann durch keine, noch so gute Beschichtung geschützt werden!

Zwei grundsätzliche Überlegungen zum Beton, speziell zum Tausalzshock (vgl. Bild 4).

In 7jähriger Beobachtung konnte festgestellt werden, dass ein an sich frostbeständiger Beton eine ungenügende Oberflächenqualität aufweisen kann. Ein frostbeständiger Beton, mit gleicher Oberflächenzone und genügender Überdeckung der Bewehrung würde eigentlich keinen Schutz benötigen, wenn er nicht zu Rissen neigen würde. Diese jedoch sind unvermeidlich, wenn der Brüstungs-(Bankett-)beton direkt mit der Brücke zusammenbetoniert ist: Die Temperaturen im Brückenbeton ändern sich langsamer, sicher aber anders als die im Brüstungsbeton. Dies führt zu unterschiedlichen Längenänderungen von Brüstungs- und Brückenbeton und dadurch zu Rissen quer zur Brückenlängsrichtung. Durch diese Risse dringt Regen- und Salzwasser und greift die Bewehrung an. Das Zerstörungswerk beginnt. Folgerung: Die Risse müssen dicht bleiben!

#### Brückenrand-Beschichtungen mit Elastomeren

1. Die Betonunterlage. Der beschriebene Beton wird wie auf der befahrenen Fläche mit Hochdruckwasserstrahl von der Zementschlämme befreit. Grosse Löcher werden mit einem speziellen Kunststoffmörtel ausgespachtelt. Keine Mörtelbeschichtung!!!
2. Haftvermittlung. In die offenen Poren des trockenen Betons wird der Primer evtl. in zwei Schichten eingeroillt. Die Primeraufnahme ist an vertikalen Flächen geringer als auf horizontalen Flächen.
3. Die Beschichtung. Die Firma hat hierfür zwei Produkte:

Efkaprene G hell, ähnlich Efkaprene S3, auf gleichem Primer aufgebaut.

Efkalast 428-2 mit sehr hoher Reissfestigkeit ( $250 \text{ kp/cm}^2$ ) mit speziellem Primer.

Nach dem ersten Anstrich werden nach einer Ablüftungsphase eine oder mehrere weitere Schichten aufgetragen und das Ganze zu einer festhaftenden, elastischen, kerbzähnen, rissüberbrückenden Elastomerhaut von 0,5 bis 0,7 mm Stärke zusammen vulkanisiert. Angaben zur Rissüberbrückung siehe unter Efkaprene S3.

Wünschenswert ist ein Farbton der Beschichtung, der das gleiche Verhalten in bezug auf die Wärmeaufnahme aufweist, wie der benachbarte Fahrbelag. Optimale Werte von Temperaturengleich zwischen Brüstungs- und Brückenbeton wurden von mittelgrauen Farbtönen der Brüstungsbeschichtung erbracht.

Weiss bleibt zu kalt,  
schwarz wird zu heiss.

Der dunklere Farbton lässt auch die Eisbildung (infolge Umwandlung von Licht in Wärme) später eintreten. Dies hat möglicherweise das Ausbleiben von Schäden aus dem Tausalz-Temperaturstocher zur Folge.

Der Farbton wird meist nach dem optischen Aussehen gewählt. Die praktische Wirkung der Helligkeit ist aber weitere Prüfungen wert.

#### Wichtige Massnahmen

**Unterhalt.** Eine rissüberbrückende Beschichtung muss elastisch sein. Sie ist aber durch mechanische Einwirkungen verletzlich, insbesondere durch Maschinen des Strassenunterhaltes (Schneepflug, usw)! Jede verletzte Beschich-

tung muss im Frühjahr durch den Strassenunterhaltungsdienst repariert werden!

**Konstruktive Massnahmen.** Die Leitplanken können über den Brückenrand nach innen vorstehen und so eine mechanische Verletzung durch Schneepflug und Pannenfahrzeuge praktisch vermeiden (Bild 17).

Die Brückenabdichtung wird bis über den Rand des Brückenbetons druchgezogen. Der Randbeton wird als «Verschleisssteil» auf die Brücke aufgesetzt und dort befestigt (Bild 18).

#### Schlussbemerkung

*Das Problem Brückenabdichtung-Fahrbelag scheint praktisch gelöst zu sein. Für die gründliche Lösung der Probleme an den Brückenrändern sind noch Forschungen notwendig. Sie sind von öffentlichem Interesse und sollten auch von der «öffentlichen Hand» finanziert*

werden. Beschichtungen mit unterschiedlichem Erhaltungsgrad, bei gleichem Aufbau, bis zu sieben Jahren überwintert, stehen für die Beurteilung zur Verfügung. Die Abhängigkeit von der Betonqualität scheint eindeutig gegeben.

#### Literaturhinweise

Einige Forschungs- und Prüfberichte sind im Abschnitt «Forschung und Prüfergebnisse» genannt worden. Ferner sei auf den Aufsatz «Frost-Tausalz-Einwirkungen auf Beton» von B. Harnik verwiesen, erschienen in der SIA-Dokumentation 23. (1977).

Adresse des Verfassers: F. Kilcher, Ing. SIA, Wengisteinstrasse 9a, 4500 Solothurn.

## Fusionsmaschine zeigt erstmals Reaktoreignung

Einer Forschungsgruppe des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik (IPP) in Garching bei München ist möglicherweise ein Durchbruch geglückt, eines Tages auf dem Wege der Kernfusion Energie zu erzeugen – und zwar mit einem zu bisherigen Modellen alternativen Maschinentyp. Damit scheinen sich die Hoffnungen zu verstärken, einmal den Prozess, wie er im Sonneninneren stattfindet, auch auf der Erde in einem kontinuierlich laufenden Reaktor nachzuahmen. Mit einer Fusionsmaschine der sogenannten Stellaratorfamilie, an dem jetzt der Experimentiererfolg erzielt wurde, lässt sich nämlich ein heisses Plasma kontinuierlich einschliessen. Damit wäre dann im Reaktor auch eine kontinuierliche Energiegewinnung möglich – im Gegensatz zu den Reaktoren des bisher an der Spitze der Erwartung stehenden Tokamaktyps, mit dem aber prinzipiell nur ein weniger effektiver gepulster Betrieb möglich ist. Der Stellarator, der am IPP entwickelt wurde, ist die verbesserte Version einer Reaktorlinie, die bereits in den 50er Jahren in Princeton (USA) begonnen wurde.

Das grundlegende Prinzip ist bei Tokamak und Stellarator identisch: in einem ringförmigen Gefäss – Durchmesser etwa 2 Meter – werden durch ein Magnetfeld die Atomkerne und Elektronen eines Plasmas zusammengehalten. Damit es zur Energie spendenden Kernreaktion kommt, müssen die Atomkerne von Deuterium und Tritium, den schweren Isotopen des Wasserstoffs, unter hohem Druck und grosser Temperatur solange zusammengepresst werden, bis die einzelnen Kerne miteinander verschmelzen. Dabei wird, ähnlich wie im Zentrum der Sonne, die Fusionsenergie freigesetzt.

Die Rolle der Magnetfelder ist es, die heissen und schnellen Teilchen des Plasmas von der Wand des Reaktionsgefässes fernzuhalten. Sonst hätte das zur Folge, dass kalte Atome aus der Gefässwand herausgeschlagen werden, in das Plasma eindringen und die Fusionsprozesse unterbrechen.

Dieses Problem der *Einschliessung des Plasmas* wird bei Tokamak und Stellarator unterschiedlich gelöst. Am Stellarator wird durch geschickte Anordnung von Spulen um das Ringgefäss ein Magnetfeld «gewickelt». Bei den frühen Experimenten am Princeton Stellarator drangen jedoch trotzdem so viele Teilchen an die Wand – ein Effekt, der sich bei höheren Temperaturen und grösseren Maschinen verstärken sollte –, dass 1969 diese Entwicklung in den USA praktisch eingestellt wurde zugunsten der Tokamaklinie.

Trotz dieser negativen Erfahrungen liess sich das IPP nicht von der Weiterentwicklung des Stellaratorstyps abschrecken. Eigene Versuche in allerdings noch kleinen Apparaturen mit kalten Plasmen hatten nämlich schon das Funktionieren des Stellaratorprinzips gezeigt – wenn auch nur in diesem simplen «Wendelstein II-A» genannten Prototyp.

Bei den zuerst in der Sowjetunion gebauten Fusionsreaktoren vom Typ Tokamak wird der Plasmaeinschluss anders gelöst: Zusätzlich zu Magnetfeldspulen um den Gefässring wird ein Magnetfeld um das Plasma erzeugt durch einen elektrischen Strom, der im Plasma selbst fliesst. Der elektrische Strom wird durch einen Transformator in das Plasma eingebracht. Durch die kombinierte Wirkung beider Magnetfelder konnte das Plasma in einem dünnen Ring entlang der Achse des Ringgefässes zusammengehalten werden.

Nachteil dieser Anordnung: Dieser Strom muss durch den Transformator aufrechterhalten werden, der aber nur eine endliche Speicherkapazität hat; daher muss der Reaktor – zum Neuaufladen des Transformators – immer wieder neu angefahren werden. Ein anderes Problem beim Tokamak sind die durch diesen Strom im Plasma erzeugten «Instabilitäten». Durch verschiedene Prozesse im Plasma kann der Entladungsvorgang durch eine sich rasch aufbauende «Strominstabilität» ruckartig gestoppt werden. Zum Glück gelang es, in grösseren Tokamak diese Instabilitäten etwas zu bändigen. Ein späterer Reaktor mit Pulsbetrieb wird jedoch immer von Nachteil sein, denn er «ähneln einem Kohlekraftwerk, bei dem man alle zwei Stunden die Anlage abschalten und die Asche herauskratzen müsste», so ein beteiligter Physiker. Diesen Schwierigkeiten versucht man in Garching durch ein modifiziertes Stellaratorprinzip aus dem Weg zu gehen mit dem Ziel eines Prototyps, der kontinuierlich betrieben werden kann. Die weiter unter dem Namen «Wendelstein» laufende Serie sucht die Vorteile