

# Dynamische Prüfung des Verbundes von Brücken-Abdichtungssystemen

Der Verbund der Brücken-Abdichtung auf die Betonunterlage wird durch die Verkehrsbelastung beansprucht und kann bei Versagen zu Schäden führen. Das Hauptziel des Forschungsprojektes bestand darin, ein Laborprüfverfahren zu entwickeln, mit welchem die Eignung eines Brückenabdichtungssystems in Bezug auf das Langzeitverhalten des Verbundes zwischen Abdichtung und Betonunterlage bewertet werden kann. Die neu entwickelte dynamische Schub-Schwellprüfung wurde in Praxisbeispielen angewendet und validiert.

Der Verbund der Abdichtung auf die Betonunterlage wird durch den Verkehr beansprucht und kann geschwächt werden, wenn Scherkräfte bis auf die Abdichtung übertragen werden oder wenn Pump-effekte auftreten.

Das Hauptziel des Forschungsprojektes<sup>[1]</sup> bestand darin, ein Laborprüfverfahren zu entwickeln, mit welchem die Eignung eines Brückenabdichtungssystems in Bezug auf das Langzeitverhalten des Verbundes zwischen Abdichtung und Betonunterlage bewertet werden kann.



VON DR.  
**CHRISTIAN ANGST**  
dipl. Ing ETH;  
Delegierter des VR,  
IMP Bautest AG,  
Oberbuchsitzen

chende Oberlast angesteuert. Das Verhältnis von Unter- zu Oberlast wurde mit 1:10 festgelegt.

- Die Form der Belastungen wurde, in Anlehnung an andere dynamische Prüfungen in der Asphalttechnologie, haversine-förmig gewählt.
- Die Einleitung der Kraft muss – insbesondere bei Zugversuchen – ohne Lastspitze erfolgen, um jegliche Überbelastung des Prüfkörpers zu vermeiden.

## Konzept

In einem ersten Schritt wurden zwei unterschiedliche, dynamische Prüfmethode an einem Brücken-Abdichtungssystem entwickelt und deren Präzision bestimmt. Anschliessend wurden verschiedene System geprüft, um die Sensibilität der Prüfmethode zu beurteilen und um erste Erfahrungswerte zu sammeln.

Die Methoden wurden auch verwendet, um einer konkreten Frage nachzugehen, nämlich der Untersuchung des Einflusses der Eigenschaften des Beton-Untergrundes auf den Verbund Abdichtung/Untergrund.

## Methodenentwicklung

Die Beanspruchung des Verbundes Abdichtung/Schutzschicht und Abdichtung/Untergrund unter dynamischer Belastung hat folgende Kriterien zu erfüllen:

- Die Versuchsparameter sind derart festzulegen, dass eine hohe Anzahl von Zyklen aufgebracht werden kann, ohne dass eine Schichttrennung bzw. ein Bruch in einer Schicht erfolgt. Im Rahmen des Initialprojektes<sup>[2]</sup> wurde diese Anzahl mit 2000 Zyklen vorgeschlagen.
- Die Beanspruchungsart soll der kritischen Beanspruchung in der Praxis möglichst nahe kommen. Aus diesem Grunde wurden dynamische Zug- wie auch dynamische Schubversuche festgelegt. Um eine hohe Reproduzierbarkeit zu erreichen, wurden Schwellversuche gewählt. Dabei wird von einer Unterlast ausgehend eine entspre-

## Zugschwellversuch

Im Rahmen der Methodenentwicklung wurden folgende Parameter variiert:

- Unterlast
- Oberlast
- Prüftemperatur

Aufgrund der oben dargestellten Parameterstudie wurden die Prüfbedingungen für die weiteren Untersuchungen wie folgt festgelegt:

Unterlast:	0,002 N/mm <sup>2</sup>
Oberlast:	0,2 N/mm <sup>2</sup>
Temperatur:	30 °C
Anzahl Zyklen:	2000
Belastungskurve:	Haversine-Belastung mit Pausen Belastung (Oberlast: 0,2 Sekunden) Pause (Unterlast: 1,5 Sekunden)

Ein Prüfergebnis wird aus dem Mittelwert dreier Einzelversuche gebildet.

Um die Präzision eines Prüfverfahrens zu beschreiben sind zwei Werte erforderlich: die Wiederholbarkeit «r» und die Reproduzierbarkeit «R». Da die Reproduzierbarkeit nur im Rahmen eines Ringversuches bestimmt werden kann, beschränkte sich die Bestimmung der Präzision auf die Wiederholbarkeit.

Die Wiederholbarkeit wurde ermittelt, indem sechs Dreier-serien Prüfkörper des gleichen Aufbaus untersucht wurden. Die Wiederholbarkeit betrug 66 %. Das bedeutet, dass zwei



1 | Versuchsaufbau des Zug-Schwellversuches und Fotos der Trennschicht EP-Versiegelung/PBD.  
1 | Conception expérimentale de l'essai de traction et photos de la couche de séparation Vitrification époxy/PBD.

Ergebnisse um bis zu 66% auseinanderliegen können, ohne dass die beiden Prüfergebnisse statistisch gesehen als «unterschiedlich» betrachtet werden müssen. Diese Feststellung muss als sehr unbefriedigend bezeichnet werden.

Wert von 16% ist die Wiederholbarkeit als sehr befriedigend zu bezeichnen.

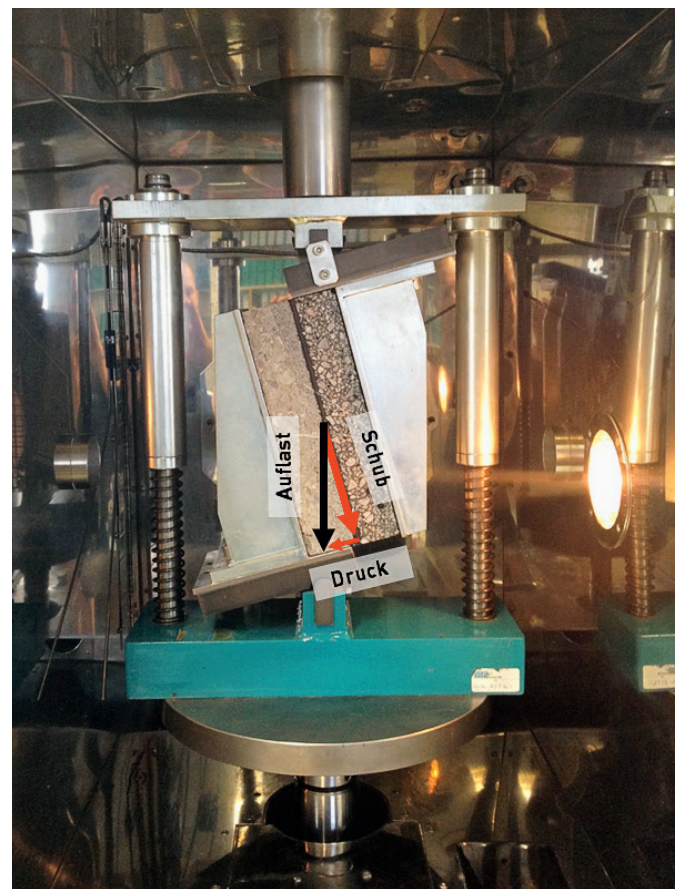
## Schub-Schwellversuche

Für die Durchführung des dynamischen Schub-Schwellversuches wurde die Prüfanordnung einer bei der Bundesanstalt für Materialforschung- und Prüfung (BAM) Berlin entwickelten Prüfmethode<sup>[3]</sup> verwendet, die zur Prüfung des Schichtenverbundes bei Brückenabdichtungen zum Einsatz kommt. Bisher wurde diese Prüfung mit einer statischen Beanspruchung durchgeführt; neu ist die Verwendung unter dynamischer Beanspruchung. In der Abb. 2 ist eine entsprechende Prüfeinrichtung in der Universalprüfmaschine eingebaut worden. Einer der Vorteile dieser Prüfmethode liegt in deren Verteilung der Spannungen. Dank der Schrägstellung wird die aufgebrachte Last in eine Schubbeanspruchung sowie einer vertikal zur geprüften Schicht gerichteten Kraft aufgeteilt. Diese Beanspruchung ist praxisnäher als eine reine Schubbeanspruchung.

Aufgrund der durchgeführten Parameterstudie wurden die Prüfbedingungen für die weiteren Untersuchungen wie folgt festgelegt:

Unterlast:	0,015 N/mm <sup>2</sup>
Oberlast:	0,15 N/mm <sup>2</sup>
Temperatur:	23°C
Anzahl Zyklen:	2000
Belastungskurve:	Haversine-Belastung mit Pausen Belastung (Oberlast: 0,2 Sekunden) Pause (Unterlast: 1,5 Sekunden)

Die Wiederholbarkeit wurde analog zum Zug-Schwellversuch bestimmt. Der Wert lag jedoch wesentlich tiefer. Mit einem



2 | Prüfeinrichtung der BAM zur Beurteilung des Schubverbundes der Brückenabdichtungen mit der Darstellung der Spannungsverteilung in der Trennschicht.

2 | Appareillage d'essai du BAM pour évaluer le cisaillement des étanchéités de pont, avec représentation de la répartition des contraintes dans la couche de séparation.

**Tabelle 1: Untersuchte Brückenabdichtungsaufbauten**

Bez.	Grundierung	Abdichtung	Schutzschicht (SS)	Lagerung vor Einbau SS
FLK PU	Epoxid	PU	MA	L1 (trocken)
				L2 (nass)
				L3 (feucht)
FLK PMMA	Epoxid	PMMA	MA	L1 (trocken)
				L2 (nass)
PBD1	bitumenhaltig	PBD-SBS	MA	L1 (trocken)
				L2 (nass)
PBD2	Epoxid	PBD-SBS	MA	L1 (trocken)
				L2 (nass)
				L2 (nass)

Die Abkürzungen L1, L2 und L3 werden in der Tab. 2 erläutert

### Prüfungen an Abdichtungssystemen

Die zu prüfenden Brückenabdichtungssysteme wurden auf der Basis der im Initialprojekt<sup>[1]</sup> festgelegten Aufbauten anlässlich der Projektleitersitzungen ausgewählt und mit den übrigen Projekten abgesprochen. Aus der Koordination des Gesamtprojektes sowie der Bedürfnisse des Einzelprojektes EP3 wurden die in der Tab. 1 aufgeführten Aufbauten untersucht.

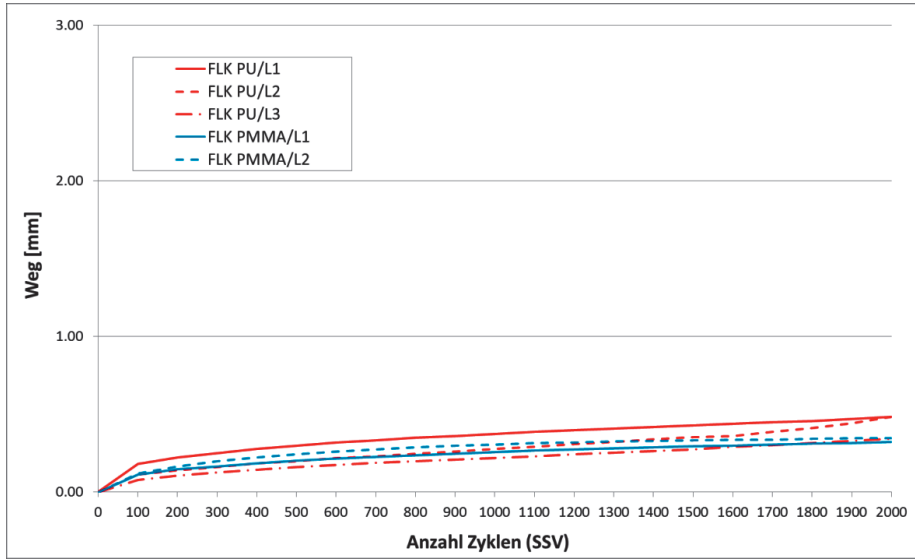
Vor dem Einbau der Schutzschicht aus Gussasphalt MA 8 wurde die Abdichtung bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen gelagert. Diese Lagerungsbedingungen entsprachen verschiedenen, in der Praxis vorkommenden Fällen: «optimale Bedingungen», «Regen am Vortag» sowie «Taufeuchte». Obwohl das Hauptziel des vorliegenden Forschungsauftrages auf dem Haftverbund Abdichtung zum Betonuntergrund liegt, wurden die oben erwähnten Prüfplatten aus einem anderen Einzelprojekt des Forschungspaketes verwendet, um die Prüfergebnisse innerhalb des gesamten Forschungspaketes «Brückenforschung» verwenden zu können. Für das vorliegende Forschungsprojekt waren die in der Tab. 2 festgelegten Konditionierungsparameter von Bedeutung.

**Tabelle 2: Wahl der Konditionierung der Abdichtung vor dem Einbau der Schutzschicht aus Gussasphalt MA8**

Bezeichnung	Bemerkung
L1 (trocken)	« <b>Optimale Bedingungen</b> ; entspricht Normalfall mit günstigem Wetter»: 7 Tage 23°C/50 % rel. Luftfeuchtigkeit (rF) Applikation Gussasphalt
L2 (nass)	« <b>Regen am Vortag</b> ; entspricht einer Situation nach Regen und Entfernen des sichtbaren Wassers»: 7 Tage 23°C/50 % rF, 24h im Wasser, Wasser abstreifen, 24 Stunden 23°C/80 % rF Applikation Gussasphalt
L3 (feucht)	« <b>Feucht, neblig</b> ; entspricht einer Situation mit <b>Taufeuchte</b> »: 7 Tage 23°C/50% rF; 48 Stunden 23°C/80 % rF Applikation Gussasphalt

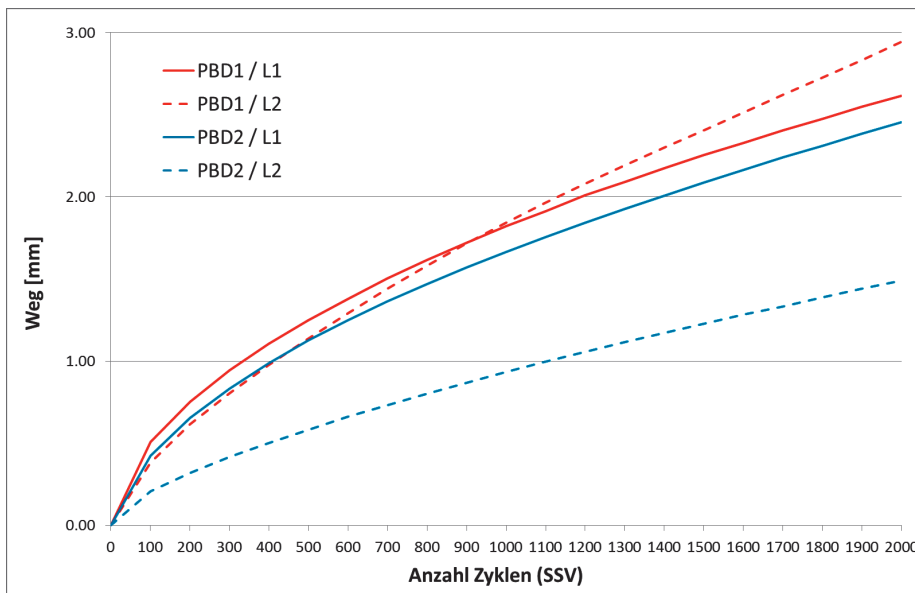
L'adhérence de l'étanchéité des ponts au support en béton est sollicitée par la charge de trafic; en cas de défaillance, cela peut occasionner des dommages. L'objectif principal du projet de recherche était de concevoir une méthode d'essai en laboratoire per-

mettant d'évaluer l'aptitude d'un système d'étanchéité pour ponts en étudiant l'évolution à long terme de l'adhérence entre l'étanchéité et le support en béton. Le nouvel essai de traction/cisaillement dynamique a été mis en œuvre et validé dans la pratique.



3 | Grafische Darstellung der Schub-schwellversuche SSV an unterschiedlichen FLK-Abdichtungen mit unterschiedlichen Lagerungen.

3 | Présentation graphique des essais de traction/cisaillement (ETC) sur différentes étanchéités FLK, avec différents stockages.



4 | Grafische Darstellung der Schub-schwellversuche SSV an unterschiedlichen PBD-Abdichtungen mit unterschiedlichen Lagerungen.

4 | Présentation graphique des essais de traction/cisaillement (ETC) sur différentes étanchéités PBD, avec différents stockages.

Die Ergebnisse der Schub-Schwellversuche sind in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Es fällt auf, dass die FLK-Abdichtungen deutlich geringere Deformationen aufweisen als die PBD-Abdichtungen. Andererseits kann kein systematischer Einfluss der unterschiedlichen klimatischen Lagerung der Abdichtung vor dem Einbau der Gussasphaltschutzschicht festgestellt werden.

### Einfluss des Betonuntergrundes

Die bisherigen Untersuchungen wurden an Prüfkörpern durchgeführt, bei denen optimale, gleichbleibende Eigenschaften des Betonuntergrundes vorausgesetzt wurden. Im Verlaufe der Bearbeitung des Forschungsauftrages wurde von der Begleitkommission der Wunsch geäußert, auch die Dauerhaftigkeit des Verbundes Beton/Abdichtung in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Betonuntergrundes zu untersuchen. Dabei sollten die im Rahmen des Forschungsauftrages entwickelten, dynamischen Prüfmethode

n auf Prüfkörper angewendet werden, bei denen der Betonuntergrund variiert.

Um dies zu ermöglichen, wurden die Betonplatten, welche im EP 4 «Zerstörungsfreie Prüfungen, Beurteilung von Verbund und Oberflächen» mit unterschiedlichen Betonsorten erstellt wurden, benutzt. Diese Betonplatten wurden im Rahmen des EP 4<sup>[4]</sup> eingehend untersucht, sodass auf weitere Prüfungen des Betonuntergrundes verzichtet werden konnte.

Die für das EP 4 betonierten Probefelder wurden mit verschiedenen Betonen und zwei unterschiedlichen Oberflächenbearbeitungen erstellt:

Beton gemäss SN EN 206-1:

C-30/37, XC4, Dm 32 mm, W/Z ca. 0,40

Variante 1:

Luftporengehalt 1,0 Vol.-% (Frischbetonkontrolle)

Variante 2:

Luftporengehalt 5,4 Vol.-% (Frischbetonkontrolle)

**Tabelle 3: Untersuchte Probefelder mit unterschiedlichen Beton-Eigenschaften und unterschiedlicher Bearbeitung der Oberfläche**

Feld Nr.	Grundierung	Abdichtung	Luftporen Frischbeton	Luftporen Porosität SIA	Haftzugfestigkeit Beton	Bearbeitung der Oberfläche
			[Vol.-%]	[Vol.-%]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
1.1 A	bit.	PBD	1,1	1,4	3,8	Flügelmaschine
2.3 A	bit.	PBD	5,4	5,8	2,8	Flügelmaschine
1.1 B	bit.	PBD	1,1	2,2	3,5	Vibrobalcken
2.3 B	bit	PBD	5,4	4,0	2,4	Vibrobalcken
1.2. A	EP	PBD	1,1	1,4	3,0	Flügelmaschine
2.2 A	EP	PBD	5,4	5,8	2,8	Flügelmaschine
1.2 B	EP	PBD	1,1	2,2	4,6	Vibrobalcken
2.2 B	EP	PBD	5,4	4,0	2,4	Vibrobalcken

Die Bearbeitung der Oberfläche des Frischbetons erfolgte ebenfalls in zwei unterschiedlichen Varianten, nämlich einerseits mit einer Flügelmaschine und andererseits mit einem Vibro-Balken. Als Abdichtungssystem wurde eine PBD-Abdichtung mit Guss-

asphalt-Schutzschicht gewählt, wobei die Grundierung variiert wurde, indem sowohl eine bituminöse Grundierung als auch eine Epoxi-Grundierung verwendet wurde. Daraus ergaben sich die acht Versuchsfelder, die in der Tabelle 3 aufgeführt sind.

**Tabelle 4: Ergebnisse der dynamischen Zug-Schwellversuche an Bohrkernen mit unterschiedlichem Betonuntergrund**

Feld Nr.	Grundierung	Luftporen [Vol.-%]	Oberflächenbearbeitung	Dehnung bei 2000 Zyklen (Mittelwert) [mm]	Bruch bei n Zyklen (Mittelwert) Zyklen	Trennschicht bei Bruch	Bemerkung
1.1 A	bituminös	1,1 %	Flügelmaschine	0,358	-	-	
2.3 A	bituminös	5,4 %	Flügelmaschine	-	80	Beton/PBD	3 PKs gerissen
1.1 B	bituminös	1,1 %	Vibrobalcken	0,628	350	Beton/PBD	1PK bis 2000 Zyklen, 2 PKs gerissen
2.3 B	bituminös	5,4 %	Vibrobalcken	-	69	Beton/PBD	3 PKs gerissen
1.2 A	Epoxy	1,1 %	Flügelmaschine	0,747	-	-	
2.2 A	Epoxy	5,4 %	Flügelmaschine	0,243	-	-	
1.2 B	Epoxy	1,1 %	Vibrobalcken	1,477	-	-	
2.2 B	Epoxy	5,4 %	Vibrobalcken	0,349	-	-	

Aus den Prüfergebnissen (Tabelle 4) lassen sich folgende Schlüsse ableiten:

- Bei den PBD-Abdichtungen mit bituminösem Haftvermittler (Grundierung) kann ein deutlicher Einfluss des Luftporengehaltes des Betons festgestellt werden. Sowohl bei der Bearbeitung mit Flügelmaschine wie auch mit Vibrobalken konnten beim Beton mit 5,4 % Luftporengehalt die angestrebten 2000 Belastungs-Zyklen nicht erreicht werden. Es kam zu frühzeitigem Bruch bei relativ kleiner Anzahl Zyklen von 69 bzw. 80 Zyklen. Beim Luftporengehalt von 1,1 Vol.-% konnten die angestrebten 2000 Belastungszyklen gefahren werden.
- Beim Vergleich der Flügelmaschine mit dem Vibrobalken fällt auf, dass die Flügelmaschine den Haftverbund ganz offensichtlich positiv beeinflusst.

## Folgerungen

Es steht eine neue, validierte Prüfmethode zur Beurteilung des Verbundes Beton-Unterlage/Brücken-Abdichtung unter

dynamischer Beanspruchung zur Verfügung. Die Prüfmethode eignet sich hervorragend, um unterschiedliche Abdichtungssysteme zu untersuchen und zu bewerten.

Diese Methode eignet sich auch für die Untersuchung von Fragen in Zusammenhang mit Verbundprobleme verschiedener Asphalt-Schichten, zum Beispiel dem Einfluss von Niedertemperatur-Asphalt auf den Schichtenverbund.

## Literatur

- [1] Angst, Ch. Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP3 – Langzeitverhalten des Verbundes, ASTRA-Bericht 1514, Bern 2015.
- [2] Gubler R.; 2007, Forschungspaket Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Decken auf Betonbrücken – Initialprojekt.
- [3] EN 13653; 2004, Abdichtungsbahnen – Abdichtungssysteme auf Beton für Brücken und andere Verkehrsflächen – Bestimmung der Schubfestigkeit.
- [4] Angst, Ch. Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP4 – Zerstörungsfreie Prüfungen, Beurteilung von Verbund und Oberflächen, ASTRA-Bericht 2006/514\_OBF, Bern 2015.