

# Betonoberflächenbearbeitung zur Aufnahme von Abdichtungen im Verbund

## Sachlage

Es kommt immer wieder vor, dass die auf einer Grundierung auf Bitumenbasis (Lackbitumen oder Bitumenemulsion) korrekt aufgeflämmten Polymerbitumen-Dichtungsbahnen (PBD) die Anforderungen an die Haft- und Schälzugfestigkeit nicht erfüllen. Die Erscheinung ist oftmals umso erstaunlicher (wenn nicht gar verwirrend), als bei der vorangehenden routinemässigen Kontrolle der PBD-Abdichtung mittels Laubrechen und Mikrofon kaum Hohlstellen auszumachen waren.

Die erste Analyse zeigt, dass es sowohl Fälle von Verbundschwächen zwischen Betonoberfläche und Grundierung (nicht feststellbar nach dem Aufbringen der Haftbrücke, erst nach dem Aufflämmen der PBD), wie auch Fälle von Verbundschwächen zwischen Grundierung und PBD (nicht feststellbar direkt nach dem Aufflämmen der PBD, erst nach ein bis zwei Tagen) gibt.

Auch wenn ein grosser Teil der hunderttausenden von jährlich eingebauten Quadratmetern PBD-Abdichtungen erfolgreich und zur vollen Zufriedenheit verarbeitet werden und den hohen Anforderungen der Normen genügen, ist jeder auftretende Einzelfall des Phänomens «Verbundschwäche» mit viel Ärger, Terminverzögerungen und grossen finanziellen Einbussen verbunden.

Seit Jahren gibt es schon vereinzelte Fälle dieses Phänomens. In der Zeitspanne der letzten fünf Jahren ist jedoch eine Zunahme zu Verzeichnen, dabei werden zusätzlich auch regionale Unterschiede in der Häufung der Fälle beobachtet – in der Westschweiz tritt es häufiger auf als in der Deutschschweiz. Das Phänomen kann dabei aber weder auf bestimmte Verarbeiter, noch auf bestimmte Lieferanten oder klimatische Gegebenheiten zurückgeführt werden. Langjährige Erfahrung der Autorenschaft mit solchen Phänomenen und eingehende Untersuchungen legen den Schluss nahe, dass auch Eigenschaften des Untergrundes einen Einfluss auf die Verbundfähigkeit von Abdichtungen haben müssen:

- Sehr harte Betonoberfläche (von blossem Auge nicht einfach feststellbar)
- Sehr poröser Beton (von blossem Auge kaum feststellbar)
- Karbonatsschicht auf der Betonoberfläche (oder sogar auf dem Voranstrich)

Rund um den Beton wird viel geforscht, weshalb es auch bereits eine sehr umfangreiche Literatur dazu gibt. Vor allem im Zusammenhang mit Festigkeit, Belastbarkeit, Langzeitverhalten, Bauzeitverkürzung etc. gibt es viele verschiedene Publikationen. Zum Einfluss von modernen Betonrezepturen mit Hochleistungszuschlagstoffen sowie modernen Verarbeitungsmethoden bezüglich Oberflächenstruktur von Betonbauteilen auf die Verbundfähigkeit des Betonuntergrunds für PBD-Abdichtungen, ist jedoch wenig bekannt.

Die Betrachtung des Phänomens der oftmals mangelnden Verbundfähigkeit von PBD-Abdichtungsbahnen bei Verwendung einer Grundierung auf Bitumenbasis erschliesst einen grossen Themenkreis:

<b>Beton</b>	Betonkonzept (Anforderungen, Rezepturen, Verträglichkeit mit der Abdichtung)
<b>Betonuntergrund</b>	Karbonatschichten auf der Oberfläche Hochfeste Zementhaut Luftporengehalt - Luftporenagglomerate Oberflächenlunker Curingmittel
<b>Betonbearbeitung</b>	Betonschädigung durch Kugelstrahlen Betonaufeuchtung durch Wasserstrahlen Betonschädigung durch Fräsen
<b>Grundierung</b>	Trennschicht Auftrag (Dicke) des Voranstrichs Lachenbildung in Tiefstellen Porenbildung Epoxidversiegelung, Epoxidgrundierung Glacivap
<b>PBD-Abdichtung</b>	Material Aufflämmen - Anpressen Liegedauer bis Schutzschicht

Die Fachgruppe Ingenieur- und Tiefbauabdichtungen der Technischen Kommission von PAVIDENSA hat diesen Themenkreis mit dem Fokus genauer unter die Lupe genommen, mögliche Massnahmen aufzuzeigen um das Risiko solcher Unannehmlichkeiten bei der Ausführung von Abdichtungsarbeiten zu mindern bzw. zu verhindern.

## 1. Karbonatschichten

Die so genannten Karbonatschichten auf der Betonoberfläche sind gelegentlich die Ursache von Verbundschwächen von PBD-Abdichtungen. Eine heimtückische Eigenart der Karbonatschicht ist, dass man sie von blossen Auge nicht oder nur schwerlich erkennen kann. Ausserdem kann sie auch ohne Fehlverhalten einer am Bau beteiligten Partei auftreten.

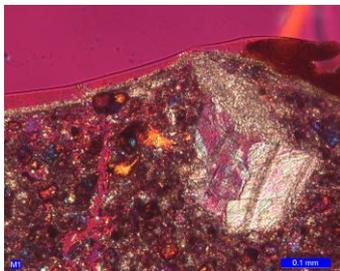
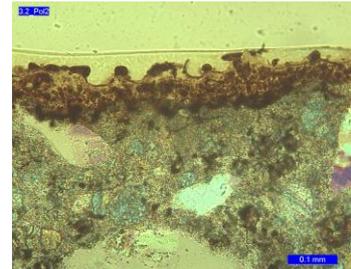
Die Karbonatschicht ist eine Folge von Ablagerungen von wasserlöslichen Substanzen aus dem Beton auf der Betonoberfläche. Diese Substanzen bestehen zur Hauptsache aus Calciumhydroxid, welches sich auf der Oberfläche zusammen mit Kohlendioxid aus der Luft zu Calciumkarbonat umwandelt. Das Auftreten von Karbonatschichten wird bei neu erstellten Betonkonstruktionen oder Reprofilierungen beobachtet, welche nach der Ausführung infolge von Niederschlägen zusätzliches Wasser aufsaugen konnten. Das Wasser löst aus dem Beton Hydroxide auf, transportiert diese beim Trocknungsvorgang an die Oberfläche und lagert sie dort ab. Wenn das Trocknen vor dem Strahlen weitgehend abgeschlossen ist, wird die Karbonatschicht beim Strahlen entfernt. Erfolgt das Strahlen jedoch vor dem Trocknen, oder erfolgt nach dem Strahlen eine erneute bedeutende Wasserzufuhr infolge von Niederschlägen, bildet sich die Karbonatschicht auf der bearbeiteten Oberfläche erneut. Es sind auch Fälle bekannt, bei denen sich die Karbonatschicht nach der Applikation der Grundierung auf Bitumenbasis gebildet hat.

Die Dicke solcher Karbonatschichten beträgt bis etwa 0,01 mm (10 Mikrometer). Die Karbonatschicht verschliesst die Betonoberfläche kompakt, sie verhindert dadurch das Verankern von Folgeschichten (Grundierungen auf Bitumenbasis, Grundierungen auf Epoxidbasis, PBD-Abdichtungen).



*Abbildung 1: PBD-Abdichtung mit sehr schwachem Verbund. Direkt nach dem Auflämmen war der Verbund gut, am nächsten Tag jedoch völlig ungenügend.*

*Abbildung 2: Betonoberfläche aus Bild 1 im Dünnschliff. Auf der Betonoberfläche liegt eine Karbonatschicht mit der darin eingelagerten Grundierung auf Bitumenbasis.*



*Abbildung 3: Karbonatschicht auf der Betonoberfläche (als helle Linie erkennbar). Die Schicht überzieht auch das beim Strahlen freigelegte Zuschlagskorn.*

Es ist davon auszugehen, dass neben den Witterungseinflüssen auch die Betoneigenschaften selbst einen wesentlichen Einflussfaktor darstellen können, z.B. der Wasseraufnahmekoeffizient. Zum spezifischen Problemkreis der Karbonatschichten sind dazu aber bisher keine Forschungsarbeiten durchgeführt worden. Zum Zusammenspiel von Betoneigenschaften, Betonbearbeitung und Witterungseinflüsse im Hinblick auf die Bildung von Karbonatschichten sind daher keine wissenschaftlich untersuchten Erkenntnisse vorhanden.

Für den Abdichter bestehen daher keine wirklichen Hilfsmittel zur Erkennung von Karbonatschichten. Ein geschultes Auge zur Erkennung von allfälligen Oberflächenmerkmalen (Anzeichen von Karbonatschichten auf dem Betonuntergrund kann ein Seidenglanzeffekt auf der Oberfläche sein), Kenntnisse über die Betoneigenschaften und derer Interpretation sowie Kenntnisse über die Geschichte des Bauwerks und der begleitenden Witterung können ihm eine Hilfe bieten, um die Möglichkeiten des Auftretens von Karbonatschichten abzuschätzen. Die Beweislast für die Tatsache, dass der Betonuntergrund für die Aufnahme einer PBD-Abdichtung vorgängig nicht geeignet war, bleibt letztendlich trotzdem am Abdichter hängen.

Praktische Tipps für den Abdichter:

- Abnahme der Betonoberfläche durch ein spezielles Labor.
- Im Zweifelsfall Dünnschliffanalyse durchführen lassen.
- Informationen über die Geschichte der Baustelle und deren begleitende Witterung anfordern.
- Zeitspanne zwischen Reinigung und Einbringung des Voranstrichs kurz halten, wenn möglich sollte es dazwischen nicht zu Regenfällen gekommen sein.
- Intervall zwischen dem Aufbringen des Voranstrichs und der PBD kurz halten.

## 2. Betonoberflächenbearbeitung

### Betonoberflächenbearbeitung: Warum?

Bei der Erstellung von Abdichtungen im Verbund ist die Betonoberflächenbearbeitung ein fester Bestandteil des Arbeitsablaufs. Durch die Betonbearbeitung soll dem Abdichtungssystem ein Betonuntergrund zur Verfügung gestellt werden können, mit welchem die Abdichtung einen beständigen Verbund eingehen kann. Die Betonbearbeitung ist notwendig, da Beton an seiner Oberfläche je nach Betonzusammensetzung und Verarbeitungsmethode Feinanteile (Zementhaut, Zementbojake) aufweist. Die Betonoberfläche mit diesen Feinanteilen erfüllt in der Regel die Anforderungen an die Haftzugfestigkeit der Oberfläche zur Aufnahme einer Abdichtung im Verbund nicht. Die Notwendigkeit eines geeigneten Betonuntergrundes ist auch in den Systemnormen für Abdichtungen abgehandelt, in diesen Normen sind Anforderungen an den Betonuntergrund gestellt, sie enthalten weiter Hinweise an die Untergrundvorbehandlung für Abdichtungen im Verbund.

### Damit wäre doch eigentlich alles gesagt! Oder doch nicht?

Bei etwas näherer Betrachtung der Thematik Betonoberflächenbearbeitung stellt man fest, dass die Wahl der Bearbeitungsmethode nicht so einfach zu bestimmen ist, wie man annehmen könnte. Auch wenn bei etwa 70 % der Betonoberflächenbearbeitung mittels einmaligem Kugelstrahlen oder Hochdruckwasserstrahlen die Anforderungen an die Betonoberfläche für Abdichtungen im Verbund erreicht wird, bleiben dennoch die restlichen 30 % der Betonoberflächen, bei welchen die Anforderungen nicht erfüllt werden. Dies führt gezwungenermassen zu Mehrkosten und sehr oft zu Verzögerungen, sowie in der Regel zu grossem Ärger. Die Verzögerungen im Bauprogramm wirken sich für die nachfolgenden Arbeiten sehr negativ aus.

### **Normen und Anforderungen an den Betonuntergrund**

Die Normen für Abdichtungen behandeln die Thematik des geeigneten Betonuntergrunds durch Festlegungen von Anforderungen an Eigenschaften, die vom Betonuntergrund zu erfüllen sind. Die Normen enthalten weiter Hinweise auf mögliche Verfahren zur Betonbearbeitung.  
 SIA 271; Abdichtungen von Hochbauten

SIA 272; Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und Untertag

SIA 273; Abdichtung von befahrbaren Flächen im Hochbau

SN 640 450; Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken

Tabelle 1, Anforderungen an den Betonuntergrund bei Abdichtungen im Verbund

Eigenschaft	Prüfverfahren	Anforderung			
		SIA 271	SIA 272	SIA 273	SN 640 450
Festigkeit	EN 1542 Haftfestigkeit im Abreissversuch	≥ 1,5 N/mm <sup>2</sup>			
Rautiefe	EN 1766 Sandfleckverfahren	0,5 ... 1,5 mm	0,5 ... 1,2 mm		
Ebenheit	SN 640 520, 2 m-Latte	≤ 8 mm	≤ 10mm	SIA V414/10, Tabelle 38	≤ 10mm
Feuchtigkeit	ZTV-ING, Abschnitt 4, Anhang A: CM-Messung	≤ 4 Masse-%			

Eigenschaft	Prüfverfahren	Anforderung			
		SIA 271	SIA 272	SIA 273	SN 640 450
Oberflächenbeschaffenheit	Sichtprüfung	kein Staub, Sand, Zementschlamm, Rost, lose Teile, Farbresten, Öl, Nachbehandlungsmittel, Strahlgut		sauber abgezogen, keine Brauen, keine Kanten und keine Überzähne, keine Reste von Beschichtungen sowie keine oberflächlichen Verunreinigungen, keine Kiesnester, keine Spuren von alten Abdichtungen, kein Öl, Fett, usw., kein Wasser, und keine losen Teile, keine freiliegenden Bewehrungen und keine anderen Metallteile, keine Plastikteile	
Porosität	SIA 162/1	Eigenschaft nicht gefordert			Wert bestimmen
Wasseraufnahmekoeffizient	SN EN 1062-3	$W \leq 0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{h}$		Eigenschaft nicht gefordert	

Die verschiedenen Normen für Abdichtungen enthalten weiter Hinweise an die Untergrundvorbereitung für Abdichtungen im Verbund.

### Betonoberflächen und deren Bearbeitung

Bei der Betrachtung der Thematik Betonoberflächenbearbeitung stellt man fest, dass bei etwa 30 % der Betonoberflächen das einmalige Kugelstrahlen oder Hochdruckwasserstrahlen mit 750 – 1000 bar nicht zum Ziel führt, nach der Betonbearbeitung werden die Anforderungen der Norm an die Betonoberfläche nicht erreicht. Mit anderen Worten, das gewählte Betonbearbeitungsverfahren war nicht in der Lage, die vorliegende Betonoberfläche richtig zu bearbeiten. Die Hintergründe der sehr unterschiedlichen Qualitäten von Betonoberflächen sind vielfältig. Folgende Überlegungen können dazu Hinweise geben:

- Wahl der Rohstoffe (Bezugsort)
- Betonrezeptur (Zusatzstoffe etc.)
- Transport (korrekte Benützung der Fahrmischer)
- Einbaumethode (Pumpen/Silo-/Betonkübel etc.)
- Verdichtungsmethode (Nadel/Balken/Rüttler etc.)
- Oberflächenbehandlung (Taloschieren von Hand/maschinell/welche Maschinen)
- Nachbehandlung (Abdecken/chemisch/Befeuchtung)
- Witterung (heiss/kalt/nass/starke Winde etc.)

Was bewirkt die Betonoberflächenbearbeitung?

Grundsätzlich geht es darum, eine saubere, druck- und zugfeste sowie fettfreie Betonoberfläche zu erstellen. Die gewählte Bearbeitungsmethode dient dazu lose Bestandteile wie Zementmilch und Verschmutzungen jeder Art, z.B. eingefahrene Erde, Rost, Öl, Fett etc. zu entfernen. Sie dient aber auch dazu, eine zu glatte Betonoberfläche aufzurauen, so dass die Rauigkeit innerhalb des von der Norm geforderten Bereichs zu liegen kommt (auf der Brücke z.B. 0.5 – 1.2 mm). Die Wahl, wie die Betonoberflächen bearbeitet werden soll, ist nicht immer auf den ersten Blick bestimmbar und oft erst mit Hilfe von Erkenntnissen aus Laboruntersuchungen zu eruieren.

### Drei Fallbeispiele:

Fall 1: Betonoberfläche präsentiert sich glashart und annähernd spiegelglatt. Auf Grund von Dünnschliffanalysen an Bohrkernen wurde folgende Methode gewählt:  
Zweimal Kugelstrahlen, einmal Wasserstrahlen 750 – 1000 bar.



*Erscheinungsbild leicht bräunlich "glasig", von blosssem Auge feststellbar. Diese Schicht musste abgetragen werden.*

Fall 2: Betonoberfläche weist die richtige Ebenheit und Rauigkeit auf, die Haftfestigkeit ist jedoch mit weniger als 1 N/mm<sup>2</sup> deutlich zu gering. Bei Vorversuchen mit Wasserstrahlen 750 – 1000 bar, Kugelstrahlen und Fräsen erreichte man die notwendige Haftfestigkeit der Abdichtung auf der Betonoberfläche vor allem bei Schälzugversuchen nicht. Dünnschliffanalysen an Bohrkernen ergaben, dass die obersten zwei bis drei Millimeter dieser Betonoberfläche entfernt werden mussten. Folgende Methode wurde gewählt: spezielle Hochdruckwasseranlage 2000 – 2500 bar, mit Balken millimetergenau gesteuert, wurden die zwei bis drei Millimeter vollflächig abgetragen.



*Linke Seite unbearbeitet, rechte Seite hochdruckgestrahlt 1000 bar. Das Resultat: Haftfestigkeit immer noch ungenügend.*



*Hier musste mit größerem Geschütz aufgeföhren werden: Wasser-Hochdruckstrahlen mit 2000 bar, Abtragung 2-3 mm.*



*Nach Abtragung der nicht festen Schicht zeigte sich dieses Rissbild. Die Sanierung der Risse erfolgte mit Elastomerbitumen.*

Fall 3: Betonoberfläche weist zu grosse Unebenheit und zu grosse Rauigkeit auf. Folgende Methode wurde gewählt: Bearbeitung mit Oberflächenfräse, Nachwaschen mit Wasserstrahlen 750 – 1000 bar sowie Aufbringen einer Ausgleichsschicht.



Ausgleichsschicht wurde teilweise und ohne vorgängige Reinigung aufgetragen.

Die beschriebenen Fallbeispiele sind nicht etwa abschliessend, sondern zeigen lediglich auf, wie vielfältig und anspruchsvoll die Wahl der richtigen Betonoberflächenbearbeitung sein kann.

### **Oberflächenbearbeitungsmethoden**

Grundsätzlich gibt es fünf Methoden für die Bearbeitung der Betonoberfläche, welche in der Praxis zu Anwendung gelangen. Die Methoden 1 bis 4 gelangen dabei grossflächig zur Anwendung, Methode 5 wird kleinflächig eingesetzt.

## 1. Hochdruckwasserstrahlen 750 – 1000 bar (horizontal und vertikal)



### Vorteile:

- grosse Leistung
- horizontal/vertikal/Gewölbe etc. einsetzbar
- keine Verletzung der Betonoberflächenstruktur (keine Mikrorisse)

### Nachteile:

- nach der Bearbeitung mit Hochdruckwasserstrahlen muss eine Trocknungszeit eingerechnet werden; diese ist von der Witterung abhängig.

## 2. Kugelstrahlen (horizontal)



### Vorteile:

- grosse Leistung, auch bei harter Oberfläche.
- keine Wartezeiten da Trockenmethode.
- saubere Methode da Strahlgut in Maschine aufgesaugt wird.

### Nachteil:

- Gefahr der Verletzung der Betonoberflächenstruktur (Mikroriss)
- Randpartien horizontal bei aufgehenden Bauteilen können ca. 10 cm nicht behandelt werden.
- Muss möglicherweise Nachgewaschen werden mit 750 - 1000 bar.

## 3. Sandstrahlen (horizontal und vertikal)



### Vorteile:

- keine Wartezeit da Trockenmethode
- ideale Betonoberflächenbearbeitungsmethode
- wird als Ergänzung zu Kugelstrahlen bei aufgehenden Bauteilen angewendet.

### Nachteil:

- Staubentwicklung
- geringe Leistung

#### 4. Fräsen (horizontal)

Anwendung bei zu rauen und unebenen Betonoberflächen, Abtragen von alten Schichten

Vorteile:

- Korrektur der Ebenheit
- Abtragen von Schichten

Nachteil:

- Verletzung der Betonoberflächenstruktur (erzeugt Mikrorisse)
- muss nachgewaschen werden
- je nach Fräskopf entsteht grosse Rauigkeit, welche mit einer Kratzspachtelung korrigiert werden muss

#### 5. Schleifen

Schleifen mit Diamantscheibe und direkter Staubabsaugung.

Vorteile:

- bearbeiten von Kleinflächen, horizontal bis überhängend
- Korrektur der Unebenheit

Nachteil:

- muss nachgewaschen werden
- geringe Leistung

## Praxistipps

Die Schwierigkeit bei der Auswahl der richtigen Betonbearbeitungsmethode besteht überwiegend darin, dass visuelle Methoden keine ausreichenden Erkenntnisse über die Eigenschaften des Betonuntergrundes ergeben. Man ist also auf sensorische Prüfungen am Betonuntergrund und allenfalls weitergehende Untersuchungen im Labor angewiesen.

### Sensorische Prüfungen des Betonuntergrundes vor Ausführung der Betonoberflächenbearbeitung

1. Betonuntergrund im Streiflicht visuell prüfen
2. Oberfläche des Betonuntergrundes auf mechanische Festigkeit mit hartem Kratzwerkzeug (z. B. Schraubenzieher) prüfen.

Tabelle 2, Resultate der sensorischen Prüfungen

	<b>Betonuntergrund hochfest</b>	<b>Betonuntergrund fest</b>	<b>Betonuntergrund weich</b>
Visuelle Prüfung im Streiflicht	Oberfläche erscheint spiegelnd	Oberfläche erscheint matt	Oberfläche erscheint matt
Kratzprüfung	Kratzwerkzeug hinterlässt praktisch keine Spuren auf der Betonoberfläche.	Kratzwerkzeug hinterlässt sichtbare Spuren im 10tels mm Bereich.	Kratzwerkzeug hinterlässt gutsichtbare Spuren im mm – Bereich. Mit Kratzwerkzeug weiter bearbeiten bis die Dicke der abzutragenden Oberfläche ersichtlich wird.

	<b>Betonuntergrund hochfest</b>	<b>Betonuntergrund fest</b>	<b>Betonuntergrund weich</b>
Hinweise hinsichtlich Abdichtungssystem	Haftvermittler kann sich ohne richtige Betonbearbeitung mit der Betonoberfläche nicht verbinden.	Auf jeden Fall Vorprüfungen mit gewähltem Abdichtungssystem mit Verbund durchführen.	
Hinweise zur Betonbearbeitung	Spezielle Oberflächenbearbeitung notwendig. Zusätzliche Untersuchungen im Labor sinnvoll zur Abklärung der geeigneten Betonbearbeitungsmethode und der Ursache der Oberflächenfestigkeit	Standartoberflächen - bearbeitung genügt - 1 x Hochdruckwasser 750 bar -1000 bar oder -1 x Kugelstrahlen etc.	Spez. Oberflächenbearbeitung notwendig. Zusätzliche Untersuchungen im Labor sinnvoll zur Abklärung der geeigneten Betonbearbeitungsmethode und der Ursache der Oberflächenfestigkeit

### Weitere Prüfmöglichkeiten

Vorversuche mit gewähltem Abdichtungssystem mit Verbund anordnen  
 (Versuche mit Handschälzüge / wenn notwendig Haft-/Schälzüge durch Labor anordnen)  
 Kernbohrungen und Dünnschliffanalyse anordnen zur Unterstützung der Auswahl der Oberflächenbearbeitungsmethode.

### Aufgaben der Beteiligten (SIA 118/272 Pkt. 1.3)

Aufgaben des Unternehmers

Prüfen des Untergrundes und der einzubauenden Baustoffe mit Beschaffen der Eignungsnachweise vor der Ausführung der Arbeiten unter Mitwirkung des Bauherrn gemäss den Vorgaben im Projekt

Aufgaben des Bauherrn

Mitwirken bei der Prüfung des Untergrundes und der Abnahme des Untergrundes gemäss SIA 118/272 Pkt. 1.3.

Vorversuche bereits in Offertphase mitberücksichtigen.