

Sifcon – Ein Hochleistungsfaserbeton zur Ertüchtigung von mechanisch hochbelasteten Betonoberflächen

1 Einleitung

Bauwerke, die neben der Tragfunktion auch Aufgaben des Umweltschutzes zu übernehmen haben, genügen häufig nicht mehr den gesetzlichen Anforderungen aufgrund ihrer Bauart und ihres Zustandes. Als Barrieren zum Schutz von Grundwasser und Boden gegenüber auslaufenden wassergefährdenden Flüssigkeiten bzw. als Sekundärsicherheitskonstruktionen sind sie nicht mehr brauchbar.

Die oben beschriebenen baulichen Anlagen bestehen in der Praxis häufig aus Betonkonstruktionen, die zwar ihre Tragfunktion uneingeschränkt weiterhin erfüllen, die aber eine absolute Undurchlässigkeit nicht mehr gewährleisten.

Eine Ertüchtigung dieser Betonflächen stellt den Planenden vor verschiedene Probleme.

- Rißüberbrückende dünnwandige Beschichtungen oder Folien sind vor mechanischen bzw. chemischen Angriffen zu schützen.
- Dickwandige Aufbaukonstruktionen erfordern erhebliche Veränderungen im Bereich vorhandener Anschlußhöhen.
- Vorhandene Einbauten müssen in das neue Abdichtungskonzept einbezogen werden.
- Betriebsstillstandszeiten für die baulichen Maßnahmen verursachen enorme Kosten.

In den 1990er Jahren wurden auf Anregung der chemischen Industrie an verschiedenen deutschen Universitäten umfangreiche Forschungen zu dem Thema Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen betrieben [1]. In diesem Zusammenhang wurden auch Möglichkeiten der Instandsetzung und Ertüchtigung von

bestehenden Betonflächen untersucht, die den Anforderungen aus dem Wasserhaushaltsgesetz nicht mehr genügen. Hierfür hat sich Sifcon, ein zementgebundener Hochleistungsmörtel mit extrem hohem Stahlfasergehalt, als besonders geeignet erwiesen, insbesondere wenn neben der erforderlichen Dichtheit betriebsbedingt hohe Anforderungen an die mechanische Widerstandsfähigkeit der Oberfläche gestellt werden [2], [3].

Aufgrund der Erkenntnisse aus den zugehörigen Forschungsvorhaben wurden in der Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb-Rili „BUwS“) [4] „flüssigkeitsdichte nichttragende Dichtschichten nach Eindringprüfung“ aufgenommen. Diese müssen ein erhöhtes Dehnvermögen aufweisen, ohne undicht zu werden, sowie bestimmte Vorgaben erfüllen, auf die im folgenden näher eingegangen wird.

Der Einsatz solcher Dichtschichten ist generell an eine Zulassung geknüpft. Um nicht für jedes Objekt eine Zulassung für den Einzelfall erwirken zu müssen, konnte durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt ein breites Anwendungsgebiet abgedeckt werden.

2 Sifcon (Slurry infiltrated fiber concrete)

Die hohen Fasergehalte, die zur Erzielung einer Mehrfachrißbildung unter Zugbeanspruchung in zementgebundenen Materialien erforderlich sind, können nicht mehr mit konventionellen Methoden untergemischt werden. Es wird daher zunächst ein Faserbett auf der vorhandenen Betonoberfläche ausgestreut, welches anschließend mit

einem sehr fließfähigen Hochleistungsmörtel, der sog. Slurry, aufgefüllt wird. Der somit erzielbare Fasergehalt liegt bei 10 Vol.-% und entspricht ca. 800 kg/m³. Unter Zugbeanspruchung reißt die zementgebundene Matrix i. d. R. bei 0,15 ‰, also bereits bei einer Dehnung von 0,15 mm/m. Die Stahlfasern bewirken, daß bei zunehmender Zugverformung der so entstandene erste Matrixriß sehr fein bleibt und sich zunächst weitere, ebenfalls sehr feine Risse bilden. Erst wenn die Zugfestigkeit der Sifcon-Schicht erreicht wird, ist die Mehrfachrißbildung abgeschlossen, und einzelne Risse öffnen sich entsprechend der Zunahme der Zugverformungen, während die übrigen praktisch kaum noch an Breite zunehmen.

3 Anforderungen an die Zusammensetzung der Slurry

Damit die Bindemittelmatrix ihre Aufgabe erfüllen kann, muß die Slurry so fließfähig sein, daß alle Hohlräume zwischen den Fasern ausgefüllt werden. Die DAfStb-Rili „BUwS“ stellt weiterhin folgende grundlegende Anforderungen an die Zusammensetzung:

- $w/z < 0,45$
- Zement der Festigkeitsklasse $\geq \text{CEM } 42,5$
- mittlere Biegezugfestigkeit $f_{\text{ctm,fl}} \geq 25 \text{ N/mm}^2$
- Dicke der Dichtschicht mindestens 50 mm

Um eine ausreichende Fließfähigkeit bei dem relativ niedrigen w/z -Wert zu erzielen, mußte ein Fließmittel auf Polycarboxylatether-Basis (PCE) eingesetzt werden. Zum baupraktischen Nachweis der Fließfähigkeit der Slurry im Fasergerüst wurde in einem

Glasaquarium zunächst ein ca. 10 cm dickes Faserbett eingebaut und mit der Slurry bis zur vollständigen Sättigung ohne Einsatz von Verdichtungsenergie aufgefüllt. Wenn an der Unterseite und an den seitlichen Sichtflächen keine Luftblasen oder Fehlstellen verblieben, war die Slurry als tauglich anzusehen. Das Bild 1 zeigt, wie die Slurry während des Einfüllvorganges das Faserbett fehlerstellenfrei und nahezu horizontal durchdringt.

Parallel hierzu wurden Versuche mit einer Fließrinne (Bild 2) in Anlehnung an das DBV-Merkblatt „Vergußmörtel“ [5] durchgeführt und die Zeiten protokolliert, innerhalb derer die Slurry bestimmte Wege in der horizontal ausgerichteten Fließrinne zurückgelegt hat. Somit liegen reproduzierbare Werte als Beurteilungskriterium für die Verarbeitbarkeit der Slurry vor.

Erste Versuche mit einem Bindemittel aus Zement und Flugasche sowie mit geringen Mengen von Mikrosilika als Stabilisierer zeigten bei Einsatz eines PCE-Fließmittels zwar die gewünschten Fließeigenschaften, jedoch wurde die geforderte Biegezugfestigkeit von 25 N/mm² nicht erreicht. Weiterhin traten bereits bei relativ kleinen Dehnungen erste Durchlässigkeitserscheinungen unter Beaufschlagung mit niedrigviskosen Prüfmedien auf.

Eine Modifizierung der Slurry mit einem Styrolacrylat sowie eine Erhöhung des Anteils an Mikrosilika und die Zugabe von feinem Sand führten zu der gewünschten Verbesserung der Dichtheit unter Zugbeanspruchung bei gleichzeitigem Erreichen der geforderten Biegezugfestigkeit.

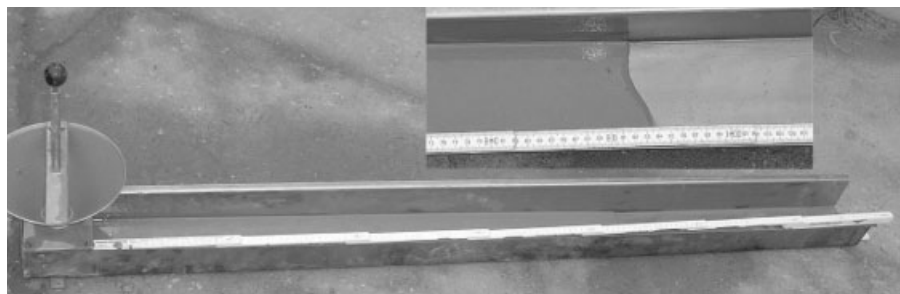


Bild 2. Konsistenzbestimmung der Slurry mit der Fließrinne

4 Dichtheitsprüfungen

Das Eindringverhalten von Flüssigkeiten in Beton ist von deren Oberflächenspannung σ und deren dynamischer Viskosität η abhängig, wobei mit steigendem Quotienten $(\sigma/\eta)^{0,5}$ die Eindringtiefe zunimmt. Die Ermittlung der Eindringtiefe in ungerissem Beton erfolgt, indem die Betonprobekörper nach einer definierten Beaufschlagungszeit gespalten werden und die Tiefe der Flüssigkeitsfront in den Bruchflächen gemessen wird. Dieses Verfahren konnte bei Sifcon nicht angewendet werden, da aufgrund des hohen Fasergehalts kein Spalten der Probekörper möglich war und zudem eine Beaufschlagung bei unterschiedlichen Dehnungen erfolgen mußte.

Alternativ wurde die Zeit bestimmt, nach der die Prüfflüssigkeiten bei Beaufschlagung den gedehnten Probekörper durchdrangen. Hierzu wurden Platten aus Sifcon hergestellt, die nach einer definierten Lagerung auf zentrischen Zug beansprucht wurden. Die Einstellung der erforderlichen Dehnungen erfolgte über Wegaufnehmer, die an der Ober- und Unterseite des Probekörpers angebracht waren. Durch den Einbau in einen

Stahlrahmen wurden die aufgetragenen Dehnungen fixiert, und anschließend erfolgte die Beaufschlagung mit der vorgeschriebenen Druckhöhe unter Verwendung eingefärbter Prüfmedien (Bild 3). Durch eine regelmäßige optische Kontrolle der Beaufschlagungsunterseite wurde der Durchdringungszeitpunkt festgestellt, bzw. der Versuch wurde nach 168 Stunden abgebrochen, wenn bis dahin kein Flüssigkeitsdurchtritt festgestellt werden konnte.

Als Prüfflüssigkeiten kamen folgende wasserlösliche und nicht wasserlösliche Medien mit unterschiedlichen Oberflächenspannungen und dynamischen Viskositäten zum Einsatz:

n-Hexan
mit $(\sigma/\eta)^{0,5} = 7,83 \text{ [m}^{0,5}/\text{s}^{0,5}]$
Di-n-Butylether
mit $(\sigma/\eta)^{0,5} = 5,69 \text{ [m}^{0,5}/\text{s}^{0,5}]$
Ethanol
mit $(\sigma/\eta)^{0,5} = 4,41 \text{ [m}^{0,5}/\text{s}^{0,5}]$
n-Butanol
mit $(\sigma/\eta)^{0,5} = 2,97 \text{ [m}^{0,5}/\text{s}^{0,5}]$

Aus den Versuchsergebnissen konnten unter Berücksichtigung des Wurzel-Zeit-Gesetzes und der linearen Abhängigkeit der Eindringtiefe von

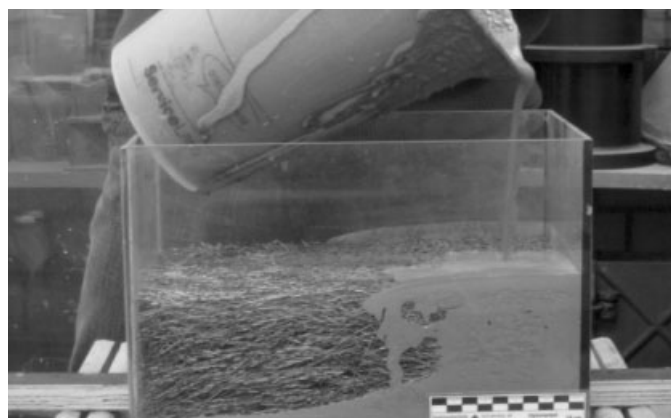


Bild 1. Infiltrierung des Faserbettes mit einer fließfähigen Slurry



Bild 3. Beaufschlagung der Sifcon-Probekörper im gedehnten Zustand

dem Verhältnis der Oberflächenspannung zur dynamischen Viskosität die in Bild 4 dargestellten rechnerischen Durchdringungszeiten für die Prüfmedien in Abhängigkeit von der Vordehnung ermittelt werden. Die zulässigen Beaufschlagungsdauern in Abhängigkeit von der Dehnung und $(\sigma/\eta)^{0,5}$ ergaben sich, indem eine Umrechnung in charakteristische Zeiten (Faktor $1/1,35^2$) erfolgte und die erforderlichen Sicherheitsbeiwerte für die Überprüfungsintervalle (Faktor $1/1,5^2$) eingerechnet wurden.

Somit ist es möglich, durch Prüfungen mit wenigen ausgesuchten Referenzflüssigkeiten charakteristische Durchflußzeiten bei unterschiedlichen Dehnungszuständen in Abhängigkeit von dem o. g. Verhältniswert $(\sigma/\eta)^{0,5}$ zu ermitteln, welche die Vielzahl der möglichen Beaufschlagungsmedien abdeckt, ohne für jedes einzelne Medium separate Eindringversuche durchführen zu müssen.

5 Bemessungsansatz

Da der Sifcon auf vorhandene Betonkonstruktionen aufgebracht wird, erleidet er unter vertikalen Belastungen die gleichen Verformungen wie die Unterkonstruktion. Über geometrische Beziehungen können aus einer vorgegebenen Dehnung der Dichtschicht zugehörige Krümmungsradien für unterschiedlich dicke Tragplatten und hieraus zulässige Einsenkungen in Abhängigkeit von vorgegebenen Meßlängen ermittelt werden (Bild 5). Umgekehrt besteht somit die Möglichkeit, durch statische Berechnun-

gen oder durch in-situ-Versuche Verformungen der Betonkonstruktion zu ermitteln und hieraus die zugehörigen mittleren Dehnungen der Sifcon-Schicht zu bestimmen.

Unter zusätzlicher Berücksichtigung des Schwindens, welches bei Sifcon mit einer Dehnung von 0,1 ‰

ausreichend berücksichtigt ist, kann somit für unterschiedliche Beaufschlagungsmedien die zulässige Beaufschlagungsdauer ermittelt werden, innerhalb derer die Konstruktion dicht bleibt. Dies bedeutet für die Praxis, daß sichergestellt sein muß, daß nach einem Havariefall die freigesetzte um-

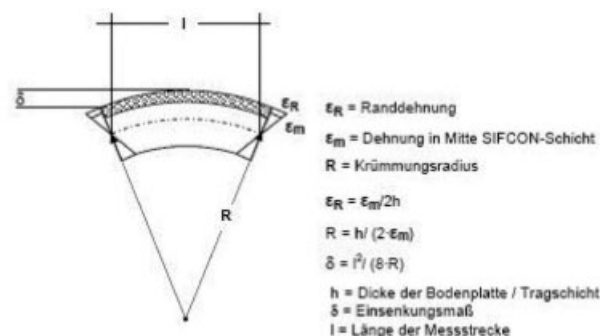


Tabelle 1: Zulässige mittlere Dehnung 0,05 ‰ (Gesamtdehnung 0,15 ‰)

d _{Unterkonstruktion}	Zulässiger Krümmungsradius	Zulässige Einsenkung	
		auf 4,0 m Länge	auf 1,0 m Länge
150 mm	1500 m	1,3 mm	0,08 mm
200 mm	2000 m	1,0 mm	0,06 mm
250 mm	2500 m	0,8 mm	0,05 mm
300 mm	3000 m	0,7 mm	0,04 mm
400 mm	4000 m	0,5 mm	0,03 mm
500 mm	5000 m	0,4 mm	0,025 mm

Tabelle 2: Zulässige mittlere Dehnung 0,4 ‰ (Gesamtdehnung 0,5 ‰)

d _{Unterkonstruktion}	Zulässiger Krümmungsradius	Zulässige Einsenkung	
		auf 4,0 m Länge	auf 1,0 m Länge
150 mm	187,5 m	10,3 mm	0,64 mm
200 mm	250 m	8,0 mm	0,50 mm
250 mm	312,5 m	6,4 mm	0,40 mm
300 mm	375 m	5,3 mm	0,33 mm
400 mm	500 m	4,0 mm	0,25 mm
500 mm	625 m	3,2 mm	0,20 mm

Tabelle 3: Zulässige mittlere Dehnung 0,9 ‰ (Gesamtdehnung 1,0 ‰)

d _{Unterkonstruktion}	Zulässiger Krümmungsradius	Zulässige Einsenkung	
		auf 4,0 m Länge	auf 1,0 m Länge
150 mm	83 m	24 mm	1,50 mm
200 mm	111 m	18 mm	1,11 mm
250 mm	139 m	14 mm	0,88 mm
300 mm	167 m	12 mm	0,75 mm
400 mm	222 m	9 mm	0,55 mm
500 mm	278 m	7 mm	0,44 mm

Tabelle 4: Zulässige mittlere Dehnung 1,9 ‰ (Gesamtdehnung 2,0 ‰)

d _{Unterkonstruktion}	Zulässiger Krümmungsradius	Zulässige Einsenkung	
		auf 4,0 m Länge	auf 1,0 m Länge
150 mm	40 m	50 mm	3,1 mm
200 mm	53 m	38 mm	2,4 mm
250 mm	66 m	30 mm	1,9 mm
300 mm	79 m	25 mm	1,5 mm
400 mm	105 m	19 mm	1,2 mm
500 mm	132 m	16 mm	1,0 mm

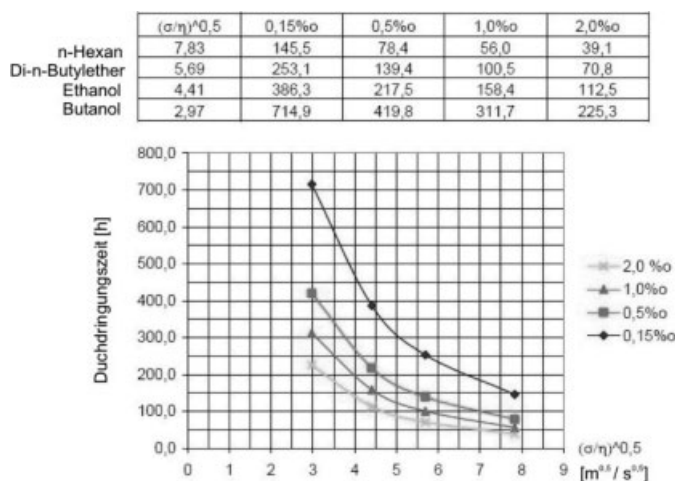


Bild 4. Durchdringungszeiten für die Prüfmedien in Abhängigkeit von der Vordehnung

Bild 5. Zulässige Dehnungen und zugehörige Einsenkungen in Abhängigkeit von der Dicke der Unterkonstruktion

weltgefährdende Flüssigkeit innerhalb dieses Zeitraums von der Dichtfläche entfernt werden muß.

Die Vorgehensweise bei der Bemessung wird anhand der folgenden Beispiele verdeutlicht:

Beispiel 1: Eine vorhandene Stahlbetonsohle eines Kellers unter einer Abfüllanlage soll ertüchtigt werden, so daß sie im Havariefall als Auffangfläche für austretende wassergefährdende Flüssigkeiten geeignet ist. Folgende Randbedingungen sind vorgegeben:

Belastung:

ausschließlich Fußgängerverkehr, praktisch keine krümmungshervorrufende Belastung, Ansatz: $\epsilon = 0,5 \text{ ‰}$

Dicke der vorhandenen Sohle:

$d = 25 \text{ cm}$

Gesamtdehnung:

$\epsilon_m = 0,1 \text{ ‰}$ (Schwinden) + $0,5 \text{ ‰}$ (Last) = $0,15 \text{ ‰}$

Ungünstigstes Beaufschlagungsmedium:

Ethanol mit $(\sigma/\eta)^{0,5} = 4,41 \text{ m}^{0,5}/\text{s}^{0,5}$

Aus Bild 7 ergibt sich eine zulässige Beaufschlagungsdauer von 90 Stunden. Vom Betrieb muß sichergestellt sein, daß die ausgelaufene wassergefährdende Flüssigkeit innerhalb dieser Zeit von der Auffangfläche entfernt wird.

Beispiel 2: In einer Halle werden Gebinde mit umweltgefährdenden Flüssigkeiten in Regalen zwischengelagert. Die Beschickung der Regale erfolgt mit einem Gabelstapler. Der vorhandene Fußboden besteht aus einer gerissenen Stahlbetonplatte B 35 mit einer Dicke von 30 cm.

Aus der statischen Berechnung ergibt sich unter Ansatz der ungünstigsten Lastkombination (z. B. Rad des Gabelstaplers neben einem Regalfuß) eine maximale Einsenkung $\delta = 0,48 \text{ mm}$ auf einer Meßlänge von einem Meter. Die Berechnung der zugehörigen mittleren Dehnung ϵ_m in der Sifcon-Dichtschicht wird durch Interpolation der entsprechenden Werte der Tabellen 2 und 3 (Bild 5) folgendermaßen ermittelt:

Die maximale Einsenkung $\delta = 0,48 \text{ mm}$ liegt zwischen den Werten der Tabelle 2, $\delta_2 = 0,33 \text{ mm}$, $\epsilon_2 = 0,5 \text{ ‰}$ und der Tabelle 3, $\delta_3 = 0,75 \text{ mm}$, $\epsilon_3 = 1,0 \text{ ‰}$ jeweils in den Zeilen für eine 300 mm dicke Betonunterkonstruktion. Somit erhält man die maßgebende mittlere Dehnung aus der Beziehung

$$\begin{aligned}\epsilon_m &= \epsilon_2 + [(\delta - \delta_2)/(\delta_3 - \delta_2)] \cdot (\epsilon_3 - \epsilon_2) \\ &= 0,5 + [(0,48 - 0,33)/(0,75 - 0,33)] \cdot (1,0 - 0,5) \\ &= 0,5 + 0,15/0,42 \cdot 0,5 = 0,4 + 0,18 \\ &= 0,68 \text{ ‰}\end{aligned}$$

Bei n-Butanol mit $(\sigma/\eta)^{0,5} = 2,97 \text{ m}^{0,5}/\text{s}^{0,5}$ als ungünstigstem Beaufschlagungsmedium ergibt sich aus Bild 6 eine zulässige Beaufschlagungsdauer von 85 Stunden, innerhalb derer die wassergefährdende Flüssigkeit zu entfernen ist.

6 Randanschlüsse, Rohrdurchführungen und Pumpensumpf

Zur Sicherstellung eines benötigten Auffangvolumens sind Durchdrin-

gungen der Dichtkonstruktion, Pumpensumpfe sowie Anschlüsse zu aufgehenden Bauteilen ebenfalls dicht auszuführen. Hierzu wurden Versuche an Verbundkörpern aus Sifcon und flüssigkeitsdicht verschweißten Edelstahlblechen durchgeführt, die einen horizontalen Schenkel mit einer Aufkantung als Umlaufsperre aufweist, welche in die Dichtschicht eingreift (Bild 7). Der Dichtheitsnachweis wurde durch Saugglockenversuche nach der DAfStb-Rili „BUwS“ erbracht, wobei der aufgebrachte Unterdruck von 0,5 bar ohne Verluste über die jeweilige Versuchsdauer von 6 Minuten hielt. Durch einen aufgebrachten Wasserfilm auf der Probekörperoberseite konnte optisch überprüft

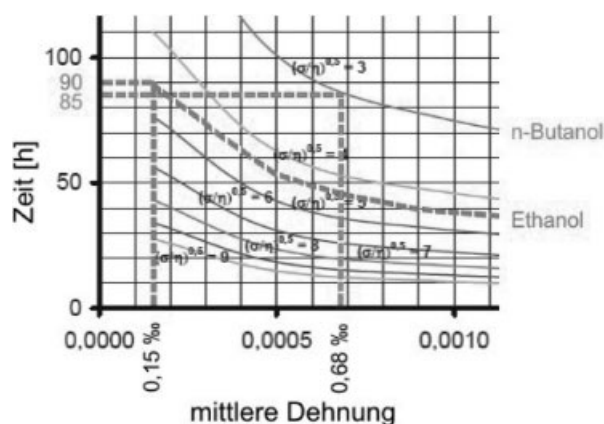


Bild 6. Ermittlung der Beaufschlagungsdauern (Beispiele 1 und 2)

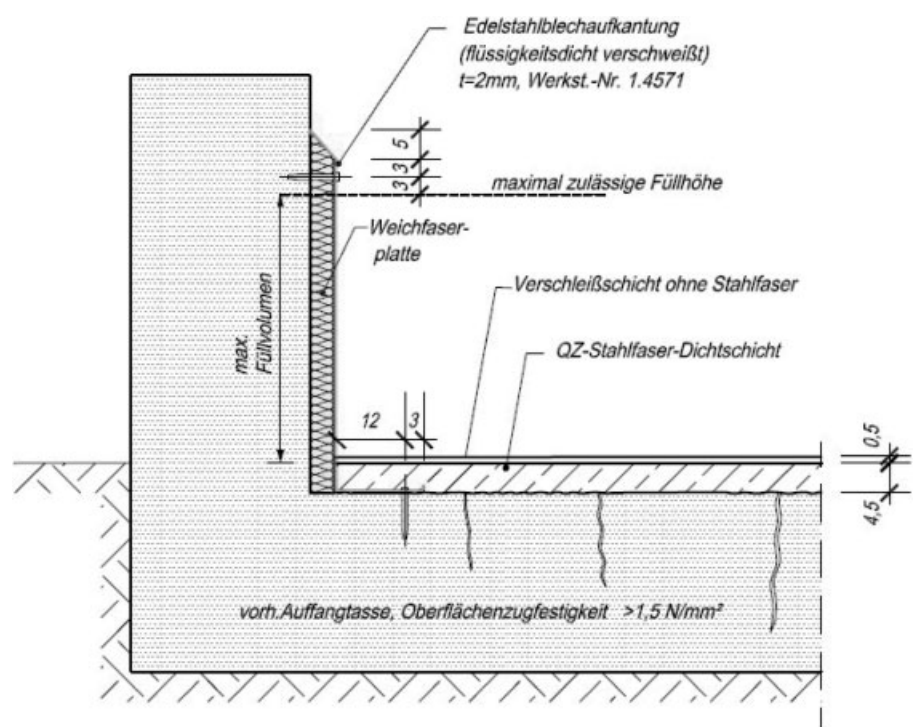


Bild 7. Prinzipskizze Randaufkantungselement

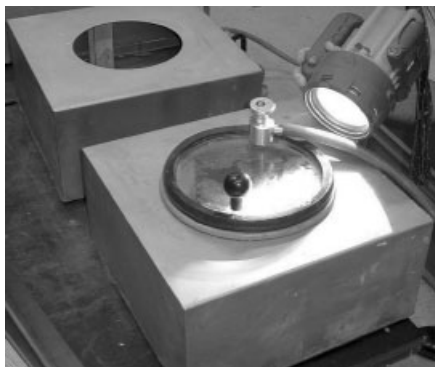


Bild 8. Dichtheitsprüfung der Randaufkantungselemente mit Vakuumverfahren

werden, daß keine Undichtigkeiten, die sich in Form von aufsteigenden Luftblasen zeigen würden, aufgetreten sind (Bild 8).

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die umfangreichen Untersuchungen an den Dichtschicht-Probekörpern wurden am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau (Bereich Konstruktions-teilprüfung) der Ruhr-Universität Bochum ausgeführt. Auf Grundlage der hierbei gewonnenen Erkenntnisse wurde vom Deutschen Institut für Bautechnik auf Antrag der Ingenieurgesellschaft Quinting Zementol die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das QZ-Stahlfaser-Dichtschichtsystem zur Verwendung in LAU-Anlagen [6] erteilt. Mit dieser Zulassung besteht die Möglichkeit einer geregelten Ausführung von Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen vorhandener Betonflächen, die ansonsten keine Barrierefunktion zum Schutz von Grundwasser und Boden gegenüber auslaufenden wassergefährdenden Flüssigkeiten mehr übernehmen könnten. Dieses Flächenabdichtungssystem mit einer Gesamtschichtdicke von 45 + 5 mm bzw. 45 + 10 mm ist nach [6]

- rißüberbrückend
- widerstandsfähig gegenüber Rißbildung und Abplatzungen unter statischer und dynamischer Beanspruchung
- dauerhaft
- befahrbar mit Fahrzeugen mit luftbereiften Rädern, Vulkollanrädern und mit Polyamidrädern
- witterungsbeständig und darf Frostangriff bei hoher Wassersättigung ohne Taumittel ausgesetzt werden

– unter Berücksichtigung bestimmter Dehnungsbeanspruchungen flüssigkeitsundurchlässig gegenüber bestimmten wassergefährdenden Flüssigkeiten.

Die Versuche wurden mit einem Hochleistungsmörtel, dessen Zusammensetzung beim DIBt hinterlegt ist, durchgeführt, der hohe Anteile an Kunststoff und Stabilisierer beinhaltet und die erforderlichen Fließeigenschaften aufweist.

Aufgrund der hohen Fließfähigkeit, die zum vollständigen Ausfüllen des Fasergerüsts erforderlich ist, kann ein Gefälle innerhalb der Dichtschicht nicht ohne weiteres hergestellt werden. Aus diesen Gründen wurde an der Fachhochschule Münster eine Diplomarbeit mit dem Thema angeregt, die Mengen der Zusatzstoffe weiter zu optimieren und die Möglichkeiten für das Herstellen eines Gefälles zu untersuchen. Hierbei hat sich gezeigt, daß bei einem terrassenartigen Betonniervorgang mit entsprechender zeitlicher Reihenfolge ein stufenförmiges Gefälle erzielt werden kann. Bild 9 zeigt ein im Gefälle liegendes Stahlfaserbett, welches mit der gewünschten Deckschicht von 5 mm Dicke ausgeführt werden sollte. Hierzu wurde eine Sperre in Form einer Dachlatte auf dem Faserbett eingebaut. Aufgrund des hohen Fließvermögens der Slurry stellte sich jeweils eine horizontale Oberfläche der Dichtschicht ober- und unterhalb der Sperre ein. Somit besteht bei entsprechenden örtlichen Randbedingungen auch die Möglichkeit, durch das Aufbringen eines Hartstoffmaterials und anschließende Glättung ein lineares Gefälle herzustellen.

Neben den Anwendungsgebieten im Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen gibt es auf-



Bild 9. Herstellung eines stufenförmigen Gefälles

grund der geringen erforderlichen Schichtdicke und des extrem duktilen Verhaltens mit dem einhergehenden Widerstand gegen mechanische Beanspruchung noch eine Vielzahl von weiteren Einsatzmöglichkeiten für Sifcon, wie sie z. B. in [7] aufgeführt werden. Hierzu zählen u. a.

- Instandsetzung von Start- und Landebahnen von Flughäfen, Betonfahrbahndecken und fugenlose Instandsetzung von Industrieböden (ohne Rückbau der vorhandenen Betonflächen mit entsprechend kürzeren Sperrzeiten)
- Instandsetzung von Tosbecken (besonders in Bereichen der höchsten Beanspruchung durch Abrieb)
- Instandsetzung von Parkdecks (zur dauerhaften Abdichtung gegen Tausalz zur Vermeidung von Korrosionsschäden)
- Anprallschutz auch bei vertikalen Flächen (Greiferanprall in Müllbunkern)

Literatur

- [1] DAfStb-Heft 416: Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen – Sachstandsbericht. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton. Beuth-Verlag, Berlin, 1991.
- [2] DAfStb-Heft 465: Lemberg, M.: Dichtschichten aus hochfestem Faserbeton. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton. Beuth-Verlag, Berlin, 1996.
- [3] Wienke, B.: Stahlfaserbeton für Dicht- und Verschleißschichten auf Betonkonstruktionen. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton. Beuth-Verlag, Berlin, 1996 (DAfStb-Heft 468).
- [4] DAfStb-Richtlinie „Betonbau im Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“. Ausgabe 10/2004. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton. Beuth-Verlag, Berlin, 2005.
- [5] DBV-Merkblatt „Vergußmörtel“. Ausgabe 09/1990. Deutscher Beton-Verein Wiesbaden.
- [6] Deutsches Institut für Bautechnik. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-74.1-65: QZ-Stahlfaser-Dichtschichtsystem zur Verwendung in LAU-Anlagen.
- [7] Breitenbücher, R., Wörner, J. D.: SIFCON – Slurry Infiltrated Fibre Concrete: Ein neuer Hochleistungsbeton. Beton 12/95, S. 861–866.

Dipl.-Ing. Burkhard Wienke, Quinting Zementol Ingenieurgesellschaft für Beton- und Umwelttechnik, Talstraße 8, 59387 Ascheberg-Herbern