

Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton

Der „Geist“ der DAfStb-Richtlinie weist die WU-Planung den Baubeteiligten als eine Gemeinschaftsaufgabe zu

WU-Bauwerke – also Weiße Wannen – wurden und werden mit sehr unterschiedlicher Qualität geplant und ausgeführt. Das Wissen über wasserundurchlässigen Beton ist selbst unter den Fachleuten mit sehr unterschiedlicher Prägnanz verteilt, vor allem den Tragwerksplanern und den bauausführenden Firmen ermangelt es gelegentlich jener Kenntnisse, die für ein mangelfreies WU-Bauwerk nötig wären. Juristische Auseinandersetzungen sind die Folgen, Querelen allerdings, die man auf allen Seiten vermeiden könnte, wenn man die Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton angemessen kennen und richtig anwenden würde, die seit November vergangenen Jahres vorliegt. Ihre bautechnischen Intentionen und ingenieurwissenschaftlichen Inhalte beschreibt der folgende Beitrag – mit den jeweiligen Auswirkungen auf Planung, Prüfung und Bauausführung.

Univ. Prof. Dr.-Ing. György Iványi



studierte das Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Budapest (Diplom 1962); bis Mitte 1965 war er Bauleiter in Ungarn, von 1965 bis 1978 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Braunschweig, zuletzt Oberingenieur am Institut von Professor Kordina; seit 1978 lehrt und forscht er auf zahlreichen Gebieten des Betonbaus am Institut für Massivbau der Universität

Essen; aktive Betätigung in der Normungsarbeit, zuletzt Obmann der WU-Richtlinie; seit 1979 Prüfingenieur für Baustatik; Emeritus seit März 2004.

1 Einführung

Teilweise oder vollständig ins Erdreich eingebettete Bauwerke aus Beton, bei denen der Beton die lastabtragende Funktion und die Funktion der Wasserundurchlässigkeit grundsätzlich auch ohne zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen übernimmt, werden als WU-Bauwerke, umgangssprachlich als „weiße Wannen“, bezeichnet. Die Bauweise wird im allgemeinen Hoch- und Wirtschaftsbaubereich seit mehr als 40 Jahren praktiziert, der Bau von Becken und Behältern des Wasser- und Abwasserbereichs nach vergleichbaren Prinzipien blickt auf eine noch längere Erfahrung zurück. Über technische Einzelheiten dieser Bauweise wird in zahlreichen Veröffentlichungen berichtet, für grundsätzliche, den jeweiligen Stand der Wissenschaft und Technik widerspiegelnde Monografien mit umfangreichen Literaturangaben wird auf [1] bis [6] verwiesen.

Die Erzielung einer definierten Wasserundurchlässigkeit heißt die Erfüllung einer Nutzungsbedingung, mit anderen Worten eines Gebrauchstauglichkeitskriteriums. Die hierzu gehörenden Anforderungen werden in der DIN 1045-1 ebenso wie in der DIN 1055-100 nicht geregelt, in beiden Normen wird nur auf die Notwendigkeit derartiger Regelungen hingewiesen. Dies veranlasste den Deutschen Ausschuss für Stahlbeton zur Ausarbeitung einer entsprechenden Richtlinie, die nunmehr als Ausgabe November 2003 gedruckt vorliegt. Wegen der Komplexität der einzelnen Regelungen sah der für die Richtlinie zuständige Unterausschuss allerdings den Bedarf, umfangreiche Erläuterungen zu erarbeiten, die noch dieses Jahr veröffentlicht werden sollen.

Die Richtlinie ist unter Beachtung der Anforderungen der DIN 820 hinsichtlich der Beteiligung von Fachleuten aller betroffenen Bereiche erstellt worden. Insofern erfüllt sie auch die Kriterien, die an Allgemein anerkannte Regeln der Technik gestellt werden: Sie müssen von der Mehrheit der Fachleute anerkannt, wissenschaftlich begründet, praktisch erprobt und ausreichend bewährt zum Lösen technischer Aufgaben sein. Demgemäß ist die rechtliche Stellung der Richtlinie höher als die, die zuvor durch den Stand der Technik beschrieben worden war, der zwar unter den vorerwähnten zusätzlichen Bedingun-

gen das den Fachleuten verfügbare, nicht jedoch von ihrer Mehrheit anerkannte Wissen enthielt.

Die Regelungen der Richtlinie gelten als ergänzende Bestimmungen zur Gebrauchstauglichkeit von Betonbauwerken mit besonderen Anforderungen an Wasserundurchlässigkeit. Die Richtlinie regelt nur Anforderungen, die den Betonbau unmittelbar betreffen. Ihre Einhaltung kann daher nicht von vornherein alle Nutzungsanforderungen erfüllen, die in allgemeiner Form in der DIN 1055-100 Abschnitt 10.1, Absätze 1 und 2 definiert sind und die speziell bei teilweise oder vollständig ins Erdreich eingebetteten Bauwerken mit hohen Kriterien an das Raumklima verbunden sein können. Die Lösung der zugehörigen technischen Aufgabe liegt an einer Schnittstelle mehrerer technischer Regelungsbereiche. Zur Erfüllung besonderer Nutzungsanforderungen ist die Einhaltung der Richtlinie zwar notwendig, jedoch nicht hinreichend: Bauphysikalische und raumklimatische Maßnahmen sind gleichrangig vorzusehen, wobei allerdings dieser Hinweis weitgehend unabhängig davon gilt, auf welcher Weise die abdichtende Funktion der beschriebenen Betonbauwerke erfüllt wird.

2 Grundlagen

2.1 Allgemeines

Einleitend erscheint es wichtig, zwei solche, den Grundlagen der Richtlinie zuzuordnenden Themen näher zu erörtern, die als häufigste Quelle von Missverständnissen gelten:

- Was versteht man unter wasserundurchlässigem Beton?
- Wie sind Trennrisse in einem WU-Bauwerk zu bewerten?

2.2 Wasserundurchlässigkeit des Betons

Unter einem WU-Beton wird ein solcher mit dichtem Gefüge und begrenzter Wassereindringtiefe – unter einem Prüfdruck von 6 bar in den sog. Plattenversuchen, im allgemeinen ≤ 50 mm, bei starkem chemischem Angriff ≤ 30 mm – verstanden. Die Voraussetzung zur Erfüllung dieser Prüfkriterien ist eine entsprechende Begrenzung des Wasserzementwertes. Wie aus **Abb. 1** hervorgeht, korrelieren Wassereindringtiefe und Wasserzementwert gut, sodass in der Richtlinie mit Rücksicht auf die von der Bauteildicke abhängig konservativ festgelegten Höchstwasserze-

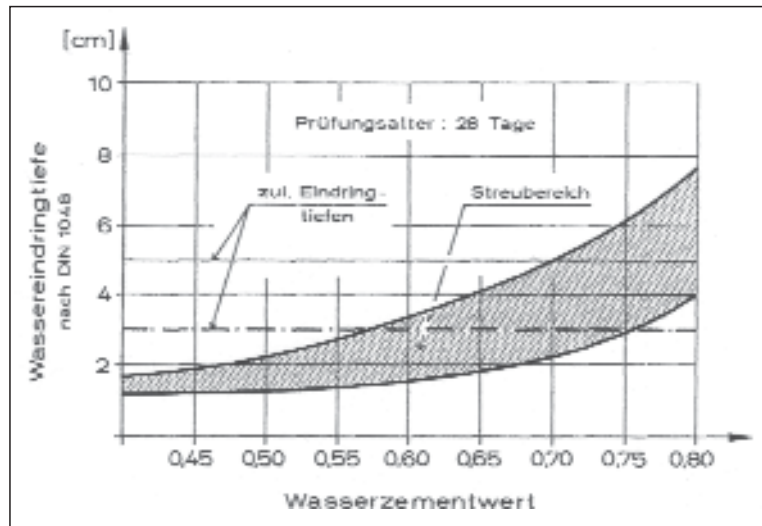


Abb. 1: Wassereindringtiefen nach Bonzel-Manns [6]

mentwerte keine unbedingte Notwendigkeit für eine zusätzliche Prüfung gesehen wird.

Die Eindringung des Wassers in die Poren unter Druck (Permeation) ist allerdings nur die eine, die Wasserundurchlässigkeit des Betons eigentlich am wenigsten beeinflussende Art des Feuchtetransports. Wesentlicher sind vielmehr der an den Druckwasserbereich anschließende Kapillarbereich und der luftseitige Diffusionsbereich, deren Ausdehnung ebenfalls durch den Wasserzementwert begrenzt wird. Wird nun die Bauteildicke in Kombination mit einem Wasserzementwert so gewählt, dass zwischen beiden Feuchtetransportbereichen ein ausreichender Kernbereich verbleibt, ist das Bauteil mit einem ungestörten Betongefüge zeitunabhängig wasserundurchlässig: Ein Feuchtetransport in flüssiger Form durch den Beton erfolgt nicht. Die beschriebene Modellvorstellung für einen Beton mit $w/z \leq 0,55$ ist in **Abb. 2** dargestellt. Dieser Wasserzementwert gilt für Mindestbauteildicken nach der Richtlinie, für größere Bauteildicken gilt $w/z \leq 0,60$ zur Erzielung der Wasserundurchlässigkeit.

Wenngleich das beschriebene Verhalten des Betons mit ungestörtem, dichtem Gefüge und ausreichender Bauteildicke seit langem bekannt ist, entstand die experimentell an der TU München verifizierte Modellvorstellung erst im letzten Jahrzehnt [7]. Die Forschungsaktivitäten zur genaueren Erkundung der Ursachen eines nur sehr begrenzten Kapillarbereichs durch „Selbstabdichtung“ sind am selben Ort noch im Gange, ohne allerdings dabei die grundsätzliche Aussage in Frage zu stellen: Der Kapillarttransport gehorcht nicht einem Wurzel-Zeit-Gesetz, ein Wasserdurchtritt durch den Beton als Langzeitwirkung ist nur bei Wasserzementwerten und Bauteildicken außerhalb der Regelungen der Richtlinie zu erwarten.

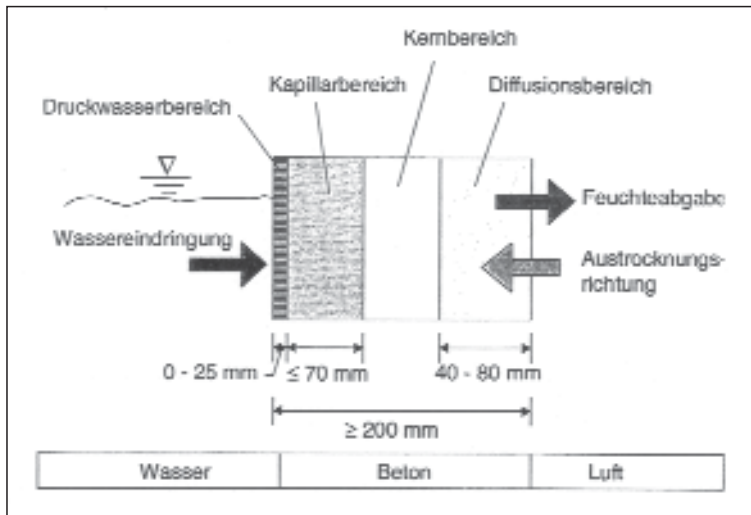


Abb. 2: Arbeitsmodell für Feuchtebedingungen, $w/z \leq 0,55$

Besondere Beachtung sollte dem luftseitigen Diffusionsbereich geschenkt werden: Hierüber erfolgt in erster Zeit die Abführung des im Beton vorhandenen freien Wassers („Baufeuchte“), wobei die Dauer dieses Diffusionsvorganges vom Partialdruckgefälle (innenseitige Temperatur und Luftfeuchte) stark beeinflusst wird bzw. gezielt beeinflusst werden kann, wobei es sich dann um die einleitend erwähnte „Schnittstellenproblematik“ handelt. Beim Erreichen eines Gleichgewichtszustandes findet eine Diffusion in beiden Richtungen, allerdings auf einem sehr niedrigen Niveau, statt.

In früheren Arbeiten wurde häufig von der Modellvorstellung ausgegangen, dass der Kapillarttransport zeit- und druckabhängig stets zu einer vollständigen Durchfeuchtung eines Bauteils führt, die Gültigkeit des Wurzel-Zeit-Gesetzes für diese Transportart wurde hierbei ungeprüft unterstellt [8]. Zur Bestätigung wurden Fälle herangezogen, deren Begleitumstände – Qualität des Betons, Angaben über die Möglichkeit der Abführung der Baufeuchte – nicht näher definiert sind, für den experimentellen Nachweis des Modells wird in einer neueren Arbeit der Kapillarttransport, der durch einen Beton mit $w/z = 0,80$ beobachtet wurde, herangezogen [9]. In Kenntnis der unter kontrollierten und nachvollziehbaren Umständen entstandenen Forschungsergebnisse seriöser Forschungsinstitute ist die wiederholte Verbreitung von unhaltbaren Thesen bedauerlich, sie dient leider der Verunsicherung eines Teils von nicht ausreichend informierten Fachkreisen.

2.3 Wasserdurchtritt durch Trennrissen

Die Elemente der Wasserundurchlässigkeit in einem WU-Bauwerk sind Beton, Fugen aller Art, Einbauteile und Risse, wobei nicht mit Fugenabdichtung versehene Arbeitsfugen und Sollrissquerschnitte

als Trennrisse gelten. Mit Ausnahme von Trennrissen kann durch die übrigen Elemente ein Wasserdurchtritt, d. h. Feuchtetransport in flüssiger Form – eine mängelfreie Ausführung vorausgesetzt – grundsätzlich ausgeschlossen werden, wenn die Regelungen der Richtlinie eingehalten werden; dies gilt auch für Biegerisse mit Mindesthöhe der Druckzone.

Trennrisse führen zum Zeitpunkt der Wasserbeaufschlagung ($t = 0$) in Abhängigkeit von anstehendem Druck, Rissbreite und Bauteildicke unterschiedlicher Menge von Wasser. Das zugehörige strömungsmechanische Modell, laminare Strömung in einem Spalt, kann zur Beschreibung der durch die Bauteildicke strömenden Wassermenge wegen der makroskopisch heterogenen Struktur des Betons und der dadurch bedingten Rauigkeit der Rissoberflächen, wegen Bewehrungseinflüsse und verzweigter Risse, nur mit Korrekturfaktoren erheblicher Unsicherheit angewendet werden; zuverlässige Ergebnisse können nur experimentell erzielt werden.

Versuche an der RWTH Aachen [10] ergaben, dass zum Zeitpunkt $t = 0$ Risse mit sehr geringen Breiten in Abhängigkeit vom Druckgefälle, definiert als Verhältniswert der Druckhöhe des Wassers und der Bauteildicke, kein Wasser führen (Abb. 3a), solche mit nur wenig größeren Breiten zwar weiterhin nicht durchströmt werden, jedoch auf der der Wasserbeaufschlagung abgewandten Seite zu Feuchtflecken und Verfärbungen führen (Abb. 3b).

Seit mehreren Jahrzehnten ist bekannt, dass zum Zeitpunkt $t = 0$ noch durchströmte Risse im Verlaufe der Zeit zunehmend weniger Wasser rühren, der Vorgang der Wasserführung erreicht mit der Zeit, i. d. R. in 10 bis 50 Tagen, einen Grenzwert: In Abhängigkeit von der Rissbreite werden die durchströmenden Wassermengen stark vermindert, im Grenzfall nur noch mit Durchfeuchtungen verbunden. Der Effekt wird allgemein als „Selbstheilung“ der Risse bezeichnet. Abb. 4 zeigt durch Risse unterschiedlicher Breite geführte, zeitabhängig abnehmende Wassermengen.

Umfangreiche Versuche an der RWTH Aachen [11] dienten der Klärung der Ursachen dieses Phänomens und der Ermittlung solcher Rissbreiten in Abhängigkeit vom Druckgefälle, die nach Abschluss der Selbstheilung nur noch Durchfeuchtungen, nicht jedoch Wasserführung mit auf der Bauteiloberfläche angesammelten Wassermengen verursachen. Von den möglichen Ursachen der Selbstheilung (Abb. 5) stellte sich maßgebend der chemische Prozess, die dichte

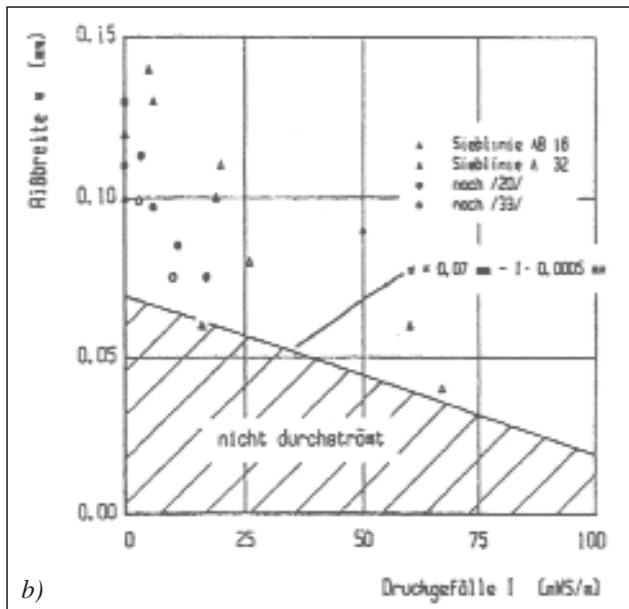
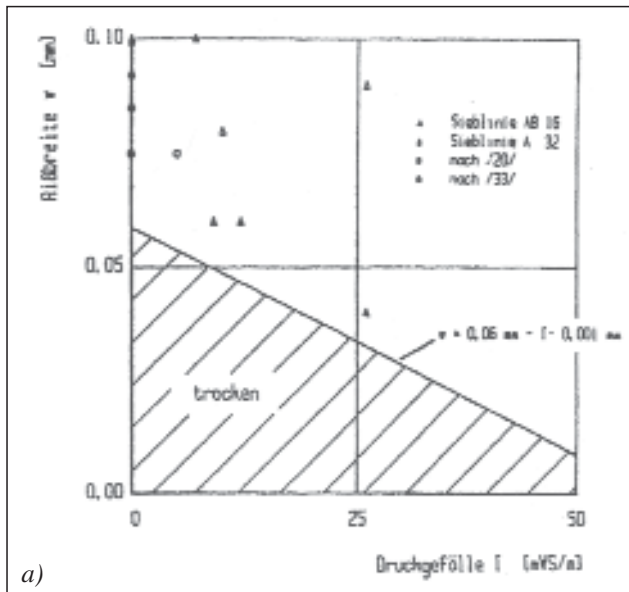


Abb. 3: Wasserdurchtritt durch Trennrisse, $t = 0$ [10]
 a) trocken, b) feucht, nicht durchströmt

tende Wirkung der Bildung von Calciumcarbonat in den Rissen heraus.

Die vom Druckgefälle abhängigen Grenzwerte von Rissbreiten, die nach Abklingen des Selbstheilungsprozesses nur noch Durchfeuchtungen verursachen, sind auf der Grundlage der Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt (Tab. 1). Mit geringen Korrekturen auf der sicheren Seite bilden diese Versuche die Grundlage der Festlegung der Grenzwerte in Tabelle 2 der Richtlinie (Tab. 2).

Empfehlungen von Lohmeyer (Tab. 3) sind erheblich restriktiver. Leider sind die Angaben nicht näher verifizierbar, die Tabellenwerte sind mit „Beobachtungen und Erfahrungen“ begründet. Die auf

Tab. 1: Empfehlungen für die Begrenzung der Rissbreiten, Versuchsergebnisse [11] (nach Abklingen der Selbstheilung: Durchfeuchtungen)

Druckgradient I (mWS/m)	Rechenwert der Rißbildung w_{cal} (mm)
≤ 10	0,20
≤ 20	0,15
≤ 30	0,10
≤ 40	0,05

Tab. 2: WU-Richtlinie, Begrenzung der Rissbreiten (Tabelle 2 der Richtlinie) (nach Abklingen der Selbstheilung: Durchfeuchtungen)

	1	2
	Druckgefälle h_w/h_b ¹	Zulässige Rissbreite w in mm (Rechenwert) ²
1	≤ 10	0,20
2	> 10 bis ≤ 15	0,15
3	> 15 bis ≤ 25	0,10

¹ h_w = Druckhöhe des Wassers in m; h_b = Bauteildicke in m
² Für angreifende Wässer mit > 40 mg/l CO_2 (kalklösende Kohlensäure und $pH < 5,5$ darf die Selbstheilung der Risse nicht in Ansatz gebracht werden.

Tab. 3: Empfehlungen für die Begrenzung der Rissbreiten, Beobachtungen [3]

Druckgradient I = h/d (mWS/m)	unbenkliche Rißbreite w (mm)
$\leq 2,5$	$\leq 0,20$
≤ 5	$\leq 0,15$
≤ 10	$\leq 0,10$
≤ 20	$\leq 0,05$

einem sehr niedrigen Niveau definierten Grenzwerte lassen die Vermutung zu, dass diese eigentlich den Streubereich von Abb. 3b abdecken und von der Vorstellung „Durchfeuchtung ohne Wasserdurchtritt“ ausgehen, was jedoch bei den Tabellenwerten von Lohmeyer keinesfalls verallgemeinert werden kann. Weiterhin ist zu beiden Empfehlungen, von [3] und [11], zu bemerken, dass Rissbreitenbegrenzungen mit $w = 0,05$ mm wegen des zugehörigen Bewehrungsbedarfs außerhalb von technisch sinnvollen Lösungen liegen.

Zur Bewertung des Selbstheilungsprozesses sind einige wesentliche Hinweise zu beachten:

■ Die Selbstheilung beginnt immer mit einer Wasserführung unterschiedlicher Intensität: ohne Wasserführung keine Selbstheilung. Eine vollständig trockene Bauteiloberfläche kann auch am Ende des Selbstheilungsprozesses nicht allgemein erwartet werden, es sei denn, planmäßig zusätzliche raumklimatische

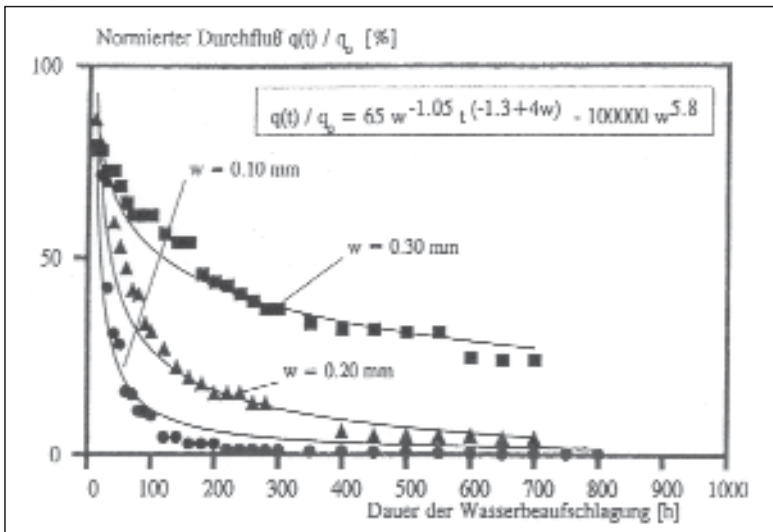


Abb. 4: Zeitabhängige Verringerung des Wasserdurchtritts durch Selbstheilung der Risse [11]

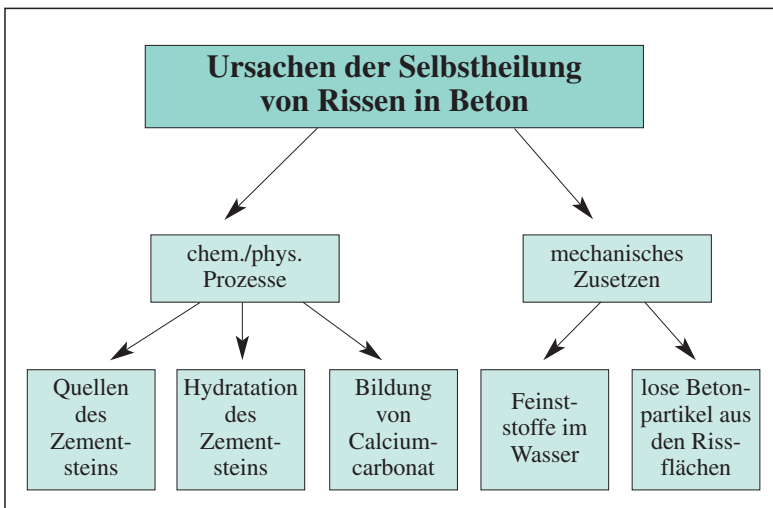


Abb. 5: Ursachen der Selbstheilung der Risse

Maßnahmen werden ergriffen, die für eine kontinuierliche Verdunstung der zur Bauteiloberfläche geführten Feuchte sorgen. Der Selbstheilungsprozess führt zu einer mehr oder weniger starken Verschmutzung der Bauteiloberfläche auf der Innenseite.

■ Eine nennenswerte Vergrößerung der Breite von Rissen, deren Wasserführung durch Selbstheilung bereits zum Stillstand gekommen ist, kann zu einer Fortsetzung des Selbstheilungsprozesses mit den oben erwähnten Folgen führen. Die noch tolerierbare Grenze wird in der Richtlinie mit 10 v. H. der ursprünglichen Rissbreite definiert.

■ Da der Haupteinfluss der Selbstheilung die Bildung von Calciumcarbonat ist, kann der Prozess durch Kalk lösende Kohlensäure im Wasser gehemmt werden. Der Grenzwert in Tabelle 2 der Richtlinie wurde mangels ausführlicher experimenteller Daten auf der sicheren Seite liegend formuliert.

■ Bei wechselnden Wasserständen beginnt der Selbstheilungsprozess im erstmalig wasserbeaufschlagten Rissabschnitt gegebenenfalls erst zu einem späteren Zeitpunkt, die Folgen des Selbstheilungsprozesses sind dann mit den Nutzungsanforderungen möglicherweise nicht mehr vereinbar.

Zusammenfassend ist festzuhalten: Die derzeit üblichen Maßnahmen zur Begrenzung der Trennrissbreiten – mit mehr oder weniger zutreffenden Annahmen für die wirksame Zugfestigkeit zum Zeitpunkt der vorausgesetzten Trennrissbildung – i. d. R. auf $w = 0,15$ mm, gelegentlich auch auf $w = 0,10$ mm, lassen im Lichte der Begleiterscheinungen des Selbstheilungsprozesses keinesfalls den allgemeinen Schluss zu, dass dadurch eine Bauteiloberfläche ohne Feuchtstellen erzielt wird, wie dies für die sog. Nutzungsklasse A gemäß der Richtlinie gefordert wird.

Zusätzlich zu den bisherigen Ausführungen ist zu beachten: Die rechnerisch nachgewiesenen Rissbreiten – unterstellt: mit den richtigen Annahmen – stellen keinesfalls den oberen Grenzwert der tatsächlich zu erwartenden dar, die Verteilung der Breite der im Bauteil entstandenen Risse unterliegt statistischen Gesetzmäßigkeiten. In Kenntnis dieses Umstandes ist es nicht abwegig, ihn gezielt auszunutzen: Die Rissbreitenbegrenzung auf einem höheren Niveau – mit u. U. einer erheblichen Stahlersparung – vorzunehmen als dies z. B. nach Tabelle 2 der Richtlinie

in Abhängigkeit vom Druckgefälle als Sollwert erforderlich wäre und Risse über dem Sollwert planmäßig für eine nachträgliche Abdichtung vorzusehen. Dieses Vorgehen setzt – wegen der damit verbundenen vertraglichen Konsequenzen – eine entsprechende Aufklärung und Kommunikation unter den Baubeteiligten voraus.

3 Regelungen der Richtlinie

3.1 Allgemeines

Die Richtlinie liegt nunmehr veröffentlicht vor, sodass auf eine nähere inhaltliche Wiedergabe der einzelnen Regelungen im vorliegenden Beitrag verzichtet wird. Hier sollen nur einige grundsätzliche Abschnitte angesprochen werden, die den „Geist“ der

Richtlinie prägen, für alles Weitere wird auf die Erläuterungen zur Richtlinie verwiesen.

3.2 Auslegungskriterien

3.2.1 Wasserseitige Beanspruchungen

Als vorrangiges Kriterium für die wasserseitige Beanspruchung eines Bauteils gilt die Beantwortung der Frage: Ist eine Wasserbeaufschlagung der Bauteiloberfläche temporär oder ständig vorhanden oder ist nur mit Bodenfeuchte, d. h. nicht mit Wasser in tropfbar flüssiger Form, zu rechnen? Eine weitere Unterscheidung, insbesondere hinsichtlich des hydrostatischen Drucks des anstehenden Wassers, ist nur für Teilaspekte der Wasserundurchlässigkeit, z. B. für die Trennrissbreitenbegrenzung, von Belang, nicht jedoch, was die allgemeine Auslegung eines WU-Baukörpers angeht. In diesem Sinne werden auch in der WU-Richtlinie nur diese beiden wasserseitigen Beanspruchungsarten als Beanspruchungsklasse 1 bzw. 2 unterschieden.

3.2.2 Nutzungsanforderungen

Die Qualität der Wasserundurchlässigkeit wird durch die Anforderungen der Nutzung bestimmt. Es ist allerdings für jedermann erkennbar, dass die Nutzungsanforderungen außerordentlich vielfältig sind: Wohnkeller, Arbeitsräume, Lagerräume für unterschiedlich feuchteempfindliche Güter, Tiefgaragen, usw. könnten mit zahlreichen Merkmalen und zugehörigen, ausufernden Definitionen hinsichtlich der Feuchtebedingungen versehen werden – derartige „Feinheiten“ leisten WU-Baukörper nicht oder nur auf dem Papier. Hierzu muss beachtet werden, dass alle „betonseitigen“ Regelungen nur den Wasserdurchtritt, d. h. einen Feuchtetransport in flüssiger Form, erfassen und definieren können, in der grundsätzlichen Form eigentlich nur als eine „yes/no“-Regelung: Entweder ist ein Wasserdurchtritt zulässig oder nicht. Eine darüber hinausgehende Festlegung, insbesondere in Form von definierten Leckraten, mag im Einzelfall mit einem sachkundigen Bauherrn getroffen werden, sie kann jedoch nicht ohne einen vorprogrammierten Streit verallgemeinert werden. Im Sinne der vorstehenden Ausführungen werden in der WU-Richtlinie nur zweierlei Wasserundurchlässigkeitskriterien definiert:

■ Nutzungsklasse A: Wasserdurchtritt nicht zulässig, d. h. Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche infolge von Wasserdurchtritt ausgeschlossen;

■ Nutzungsklasse B: begrenzte Wasserundurchlässigkeit, d. h. Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche zulässig.

Die „Feuchtstelle“ wird allerdings restriktiv definiert: Es sind dies feuchtebedingte Dunkelfärbungen, ggf. auch mit Bildung von Wasserperlen an die-

sen Stellen, nicht jedoch solche Wasserdurchtritte, die mit auf der Bauteiloberfläche angesammelten Wassermengen verbunden sind. Hieraus ist erkennbar, dass durch diese Definition zwei Aspekte bei der Nutzungsklasse B berücksichtigt werden sollen: Einerseits werden geringfügige Mängel in Entwurf und Ausführung („Nobody is perfect“) als vertretbar angesehen, andererseits eröffnet die Definition die Möglichkeit einer technischen Bewertung des Wasserdurchtritts durch Trennrisse mit begrenzten Breiten.

3.3 Aufgaben der Planung

In der WU-Richtlinie wird allen technischen Regelungen der vorrangige Hinweis vorangestellt: WU-Bauwerke aus Beton können mit Erfolg nur errichtet werden, wenn sich der Aufgabe alle Baubeteiligten bewusst sind und in ihrer Tätigkeit koordiniert vorgehen – dies ist der grundsätzliche Weg zur Vermeidung von Misserfolg. In diesem Sinne wird unter dem Begriff „Planung“ die gemeinsame Aufgabe definiert, Funktion, Nutzungsanforderungen des Bauwerks und die hierzu erforderlichen Regelungen zur Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit für Entwurf und Ausführung, ebenso wie die technischen Verantwortlichkeiten der Baubeteiligten für diese Fragen, festzulegen.

3.4 Entwurfsgrundsätze

Die Entwurfsgrundsätze der Richtlinie beziehen sich nur auf Trennrissbildung und Begrenzung der Trennrissbreiten. Für die anderen Elemente der Wasserundurchlässigkeit gelten die allgemeinen Regelungen, deren Einhaltung eine grundsätzliche Wasserundurchlässigkeit gewährleistet. Die Qualität dieser muss in Abhängigkeit von der festgelegten Nutzungsklasse beurteilt werden (s. Abschnitt 2.3).

■ Entwurfsgrundsatz a): Vermeidung von Trennrissen:

Durch die Festlegung von konstruktiven, betontechnischen ausführungstechnischen Maßnahmen kann eine Trennrissvermeidungsstrategie konzipiert und – wie zahlreiche Beispiele zeigen – mit Erfolg praktiziert werden. Die grundsätzliche Akzeptanz dieses Entwurfsgrundsatzes ist behaftet mit der Befürchtung, hierbei nicht mit Sicherheit auszuschließende Mängel könnten einem der „abhängigen“ Baubeteiligten angelastet werden. Von vornherein muss daher klargestellt werden: Es handelt sich bei diesem Entwurfsgrundsatz um einen anspruchsvollen Weg zum Ziel, der zahlreiche Vorsorgemaßnahmen erfordert, die jedoch bei der Gegenüberstellung deren Kosten mit Einsparungen insbesondere wegen eines zu erwartenden verminderten Bewehrungsaufwandes mit z. T. erheblichen wirtschaftlichen Vorteilen verbunden sein können. Hinzu kommt eine nicht in jedem

Fall unmittelbar zahlenmäßig bezifferbare Risikominderung durch zweifelsfreie Erfüllung der Nutzungsbedingungen.

Eine detaillierte „Handlungsanweisung“, selbst eine Fallstudie zum Vorgehen bei der Verwirklichung dieses Entwurfsgrundsatzes, würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, hierzu wird insbesondere auf eine große Zahl von Veröffentlichungen zu Grundsatproblemen, lastunabhängigen Einwirkungen, Zwang und Mindestbewehrung (s. hierzu [12] mit einer umfangreichen Literaturangabe) und ausführungstechnischen Empfehlungen [6] hingewiesen.

Die Verwirklichung dieses Entwurfsgrundsatzes ist an Bedingungen gebunden, die über eine stets unerlässliche kooperative und koordinierte Zusammenarbeit der Baubeteiligten hinausgehen, nämlich an ein ausgeprägtes Problembewusstsein, an vertiefte technische Kenntnisse und an Erfahrungen mit Entwurf und Ausrührung im Rahmen eines derartigen Konzepts – diese sind die subjektiven Voraussetzungen. Es gibt allerdings auch objektive Kriterien, die erfüllt sein müssen: Der Planungsablauf muss zeitlich ermöglichen, dass die erforderlichen Maßnahmen ergriffen werden können, gemeint sind hier z. B. die notwendigen betontechnischen Vorbereitungen oder der Zeitbedarf für die Abstimmungen zwischen Tragwerksplaner und Ausführenden.

Weiterhin muss der Bauablauf ermöglichen, dass trennrissauslösende Einwirkungen nicht nur in der Erhärtungsphase der Betonbauteile sondern bis einschließlich der Fertigstellung des Bauwerks auf das erforderliche Maß begrenzt werden können und schließlich, dass die zu Beginn nur als Zwang vorhandenen später jedoch auch aus Lasten oder nutzungsbedingt hinzugekommenen Einwirkungen die Kriterien zur Vermeidung der Trennrissbildung zu jedem Zeitpunkt einzuhalten ermöglichen.

■ Entwurfsgrundsatz b): Begrenzung der Trennrissbreite unter Ausnutzung der Selbstheilung der Risse:

Unter Zugrundelegung dieses Entwurfsgrundsatzes werden Trennrisse planmäßig erwartet, deren Breite wird durch eine entsprechend gewählte Bewehrung begrenzt. Dieser Entwurfsgrundsatz entspricht der heutigen allgemeinen Praxis, sofern die Bedingungen der Nutzungsklasse B erfüllt werden sollen (siehe hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt 2.3).

■ Entwurfsgrundsatz c): Begrenzung der Trennrissbreite nach Anforderungen der DIN 1045-1:

Im Rahmen dieses Entwurfsgrundsatzes wird nur eine Minimalforderung erfüllt: die der DIN 1045-1, d. h. Rissbreitenbegrenzung auf ein Mindestmaß, ohne Berücksichtigung von WU-Kriterien. Grundgedanke dieses Konzepts ist, dass alle Trennrisse, die

die festgelegten Nutzungsanforderungen nicht erfüllen, erst nachträglich abgedichtet werden. Hieraus folgt, dass zu diesem Konzept sowohl nur begrenzte als auch höherwertigere Maßnahmen zur Begrenzung der Trennrissbildung gehören können – hierüber kann unter wirtschaftlichen und sonstigen, z. B. den Bauablauf berücksichtigenden Gesichtspunkten, entschieden werden.

Allgemein sei darauf hingewiesen, dass die Wahl der Entwurfsgrundsätze zweckmäßig für einzelne Bauteile unterschiedlich sein kann. So wird z. B. für Bodenplatten i. d. R. nach Entwurfsgrundsatz a) verfahren, für Wände kann unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten Entwurfsgrundsatz c) bevorzugt angewendet werden, usw.

3.5 Abdichtung von Trennrissen

Bei allen Entwurfsgrundsätzen kann eine Abdichtung von Trennrissen mit Breiten, die den Nutzungsanforderungen nicht entsprechen, erforderlich werden; die vorsorgliche Festlegung solcher Maßnahmen sieht die Richtlinie verbindlich vor. Bei Beanspruchungsklasse 2 – Bodenfeuchte – kann dies auch durch Abklebungen, bei Beanspruchungsklasse 1 jedoch in den meisten Fällen durch Füllen der Risse, d. h. durch Rissinjektion erfolgen.

Je nach Zielsetzung kann dabei ein hydraulisch bindender Füllstoff, Zementsuspension, mit begrenzt kraftschlüssiger oder ein Polyurethanharz mit begrenzt dehnfähiger Wirkung verwendet werden. Zum Ersteren ist zu bemerken, dass ein erneutes Aufreißen beim Einsatz einer Zementsuspension mit der günstigen Wirkung der Selbstheilung eines Trennrisses mit nunmehr verminderter Breite einhergeht. Ein erneutes Aufreißen von mit Polyurethanharz gefüllten Rissen kann nur durch Wiederholung derselben Maßnahme behoben werden.

Wegen häufiger Fehlinterpretation sei darauf hingewiesen, dass die injizierbare Mindestrissbreite nach den Richtlinien nur allgemeinen vertraglichen Charakters ist – im Einzelfall kann die Injektion einvernehmlich auch bei erheblich kleineren Rissbreiten mit Erfolg durchgeführt werden. Dann kann allerdings beim Einsatz von Polyurethanen nur mit dichtender, nicht jedoch mit dehnfähiger Wirkung gerechnet werden.

4 Bemerkungen zum allgemeinen „Wissensstand“

4.1 Allgemeines

Wie eingangs ausgeführt, erfüllt die Richtlinie alle Kriterien, die an Allgemein anerkannte Regeln

der Technik gestellt werden. Die dazu erforderliche Akzeptanz durch die „Mehrheit der Fachleute“ und die allgemein verbreitete Anwendung der WU-Bauweise bedeutet allerdings nicht, dass das zugehörige Wissen Allgemeingut ist. Der allgemeine Wissensstand der Baubeteiligten – zugegeben, gefördert auch durch zahlreiche, oft durch Firmeninteressen gefärbte Publikationen, die einer Prüfung im Sinne der technischen Regeln der Richtlinie in keiner Weise standhielten – entspricht nicht in jeder Hinsicht dieser Voraussetzung. Angefangen von den physikalischen Grundlagen der Funktionsweise eines WU-Bauwerks, den Transportmechanismen von Feuchte durch den Beton, der Größenordnung und zeitlichem Verlauf der lastunabhängigen Einwirkungen im Herstellungs- und Betriebszustand, der richtigen Einschätzung der Verformungsbehinderungen durch die Lagerungsbedingungen und der daraus folgenden Zwangsschnittgrößen, bis hin zu den Kriterien für die Entstehung von Rissen und der Rolle von Trennrissen hinsichtlich der Wasserundurchlässigkeit, trifft man leider im Kreise der Baubeteiligten häufig auf „Halbwissen“, das zwar – durch Zusammentreffen günstiger Bedingungen – vielfach auch durch Erfolg, ggf. mit geringfügigen Nachbesserungen, gekrönt wird, oft genug jedoch in Misserfolg mit endlosen juristischen Auseinandersetzungen mündet.

Im Folgenden soll beispielhaft auf einige stereotypische Wissensdefizite bei den einzelnen Baubeteiligten und auf ihr nicht den Planungsgrundsätzen (s. Abschnitt 3.3) entsprechendes Verhalten bei der Verwirklichung von WU-Bauwerken eingegangen werden.

4.2 Bauherr/Planer

Der Bauherr wird i. d. R. durch einen oder mehrere Planer (Architekt, Fachplaner), häufig durch Planungsgesellschaften vertreten. Gängige Fehleinschätzungen der WU-Bauweise, unzulängliche Vorstellungen sind:

- Die WU-Bauweise ist eine „billige“ Lösung für die Bauwerksabdichtung, der Kostenvorteil der nicht zum Einsatz kommenden Abdichtung wird ohne Gegenleistung für die WU-bedingten Maßnahmen verlangt, die Aufgaben der Planung im Sinne der Richtlinie (s. Abschnitt 3.3) werden ignoriert.
- Erkundungen, die der Festlegung der wasserseitigen Beanspruchungen dienen, werden durch „Erfahrungen und Beobachtungen“ ersetzt, Nutzungsanforderungen nicht präzise festgelegt, erwartet wird häufig ein „wasserdichtes“ Bauwerk, die eingangs erwähnte Schnittstellenproblematik – Bauphysik, Raumklima – wird nicht beachtet, Maßnahmen zur Abführung der Baufeuchte ignoriert.
- Konstruktionsbedingte Machbarkeitskriterien werden nicht geprüft, aus Kostengründen Bauteilab-

messungen minimiert und dadurch ungünstige Ausführungsbedingungen geschaffen.

Für Verbesserungsvorschläge, spezielle Hinweise, ist diese Gruppe der Baubeteiligten oft „beratungsresistent“, die erwartete Qualität des Bauwerks haben die anderen Baubeteiligten zu gewährleisten.

4.3 Tragwerksplaner

Der Tragwerksplaner sollte das Bindeglied zwischen Bauherr/Planer und Bauausführenden sein. Diese Aufgabe erfüllt er aus mannigfachen Gründen nicht immer mit der erwarteten Qualität:

- Baustoffkundliche, betontechnische Kenntnisse sind oft nur minimal (Festigkeitsklasse, WU-Beton, schwindarmer Beton), Grundlagenkenntnisse über Eigenschaften der Wasserundurchlässigkeit, Transportphänomene (s. Abschnitt 2.2) fehlen.
- Die Rolle von Trennrissen im WU-Konzept (s. Abschnitt 2.3) wird oft falsch eingeschätzt (Rissbreitenbegrenzung \approx WU-Qualität, zwar nicht näher definiert, womöglich jedoch mit trockenen Innenflächen der Bauteile).
- Kenntnisse über die Eigenschaften des erhärtenden Betons liegen nur reduziert auf die – recht und schlecht – festzulegende effektive Zugfestigkeit des Jungbetons zur Ermittlung der Mindestbewehrung vor.
- Der lagerungsbedingte Zwang wird auch mit Näherungsannahmen nur selten realistisch verfolgt, als einfachster Ansatz wird Trennrissbildung im Herstellungszustand unterstellt, unabhängig davon, dass diese Annahme nur in einem steifigkeitsabhängig seltenen Grenzfall zutrifft.
- Ein der Tragwerksplanung zugrunde gelegtes Ausführungskonzept wird i. d. R. nicht erarbeitet, Betonierabschnitte und Arbeitsfugen sind Sache der Bauausführung. In selteneren anderen Fällen werden komplizierte, auf die Bauteildicke nicht abgestimmte Lösungen für Arbeitsfugen vorgesehen, die Ausführungsfehler vorprogrammieren.
- Die beratende Tätigkeit des Tragwerksplaners zur Verhinderung von nicht WU-gerechten Konstruktionen ist – auch unter Beachtung der kritisierten „Beratungsresistenz“ der Planer – oft nicht erkennbar, ohne Protest werden von den Planern vorgelegte, beliebig ungeeignete Konzepte, wie z. B. Einzelfundamente in Kombination mit einer dünnen Bodenplatte, als WU-mäßig erfolgreich ausführbar akzeptiert.

Die hier beispielhaft aufgeführten Probleme mögen nur für einzelne Tragwerksplaner gelten. Was allerdings das baustoffkundliche Desinteresse dieses Kreises angeht, so lässt es sich verallgemeinern.

4.4 Bauausführende

Qualitätsbewusstsein und Erfahrung sind die wesentlichen Voraussetzungen für eine fachgerechte Ausführung von WU-Bauwerken, sie werden allerdings vielfach vermisst:

■ Am häufigsten fehlt eine bauwerksspezifische Arbeitsvorbereitung, die Planung des Bauablaufs wird der Baustellenhektik überlassen.

■ Eine konstruktive, rechtzeitige Kritik der Planungsunterlagen und eine damit verbundene Einflussnahme auf wichtige konstruktive Details, die zur qualitätsvollen Ausführung unerlässlich sind, wird nur selten angetroffen.

■ Das Besondere eines WU-Bauwerks, das eine erhöhte Sorgfalt zur Erzielung der bestimmungsgemäßen Bauwerksqualität verlangt, wird oft nicht beachtet und erst entdeckt, wenn die sonst „kleinen Sünden“ – schlecht vorbereitete Arbeitsfugen, nachlässig oder nicht verdichteter Beton, keine Berücksichtigung der Witterungsbedingungen beim Betonieren und Nachbehandeln, usw. – der Bauausführung, die vielleicht im 3. OG eines gewöhnlichen Wohnhauses ohne nennenswerte Folgen blieben, zu kostspieligen Nachbesserungen – Abdichtungsmaßnahmen – und zum Streit führen.

Nicht unerwähnt soll allerdings die Bemerkung bleiben: Die Qualität der Bauausführung, die Tätigkeit der Bauausführenden zu tadeln, ist zwar allgemein üblich, unbeachtet bleibt dabei allerdings die ebenfalls allgemein übliche Vergabepaxis von Bauherren und Planern, die zu Niedrigpreisen Höchstqualität erwarten.

5 Schlussbemerkungen

Abschließend kann die berechtigte Frage gestellt werden: Was wird besser durch die WU-Richtlinie? Hierzu einige Gedanken:

■ Positive Änderungen durch die Richtlinie können nur erwartet werden, wenn sie von allen Baubeteiligten vollinhaltlich, nicht abschnitts- und zuständigkeitsweise, zur Grundlage ihrer Tätigkeit gemacht wird.

■ Den „Geist“ der Richtlinie enthält in konzentrierter Form der Abschnitt „Aufgaben der Planung“ (s. Abschnitt 3.3), der deutlich macht, dass die „Planung“ eines WU-Bauwerks als gemeinsame Aufgabe aller Baubeteiligten angesehen werden muss. Wird dies in Zukunft zum Grundsatz erhoben, so wäre dies zumindest ein Teilerfolg der Richtlinie.

■ Ein erklärtes Ziel der Richtlinie ist, im Kreise der Baubeteiligten Qualitätsanspruch zu wecken. In Anbetracht der in Abschnitt 4 beispielhaft aufgeführten Unzulänglichkeiten und Wissenslücken erscheint dringend geboten, hieraus Konsequenzen zu ziehen: sich weiterzubilden.

Die Bilanz der WU-Bauwerke der Vergangenheit ergibt ein gemischtes Ergebnis: Neben zahlreichen Bauwerken hoher Qualität, die unter Bedingungen erstellt wurden, die nahezu deckungsgleich mit den Inhalten der Richtlinie sind, gibt es eine große Gruppe von solchen, die zwar nicht unbedingt den Planungsgrundsätzen der Richtlinie entsprechend, jedoch unter günstigen äußeren Bedingungen entstanden und deren kleinere Mängel einfach behoben werden konnten und schließlich die nicht geringe Zahl von Problemfällen, die dem Ansehen der Bauweise ständig Schaden zugefügt haben, die bedauerlicherweise besser bekannt sind, als die guten Beispiele. Es ist zu hoffen, dass durch die Richtlinie in Zukunft immer mehr solche hochwertige Bauwerke entstehen, die zur erstgenannten Gruppe zählen.

Literatur

- [1] Grube, H.: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, Eisner Verlag, Darmstadt 1982.
- [2] Linder, R.: Baukörper aus Wasserundurchlässigem Beton, Beton Kalender 1986, Teil II
- [3] Lohmeyer, G.: Weiße Wannen, einfach und sicher, Beton-Verlag Düsseldorf, 4. Auflage 1995.
- [4] Iványi, G., Buschmeyer, W.: Flüssigkeitsbehälter, Beton Kalender 2000, Teil II, Abschnitt G.
- [5] Sommer, R.: Wasserundurchlässige Becken und Behälter aus Stahlbeton, Dissertation Essen, 1993.
- [6] DBV-Merkblatt: Wasserundurchlässige Baukörper aus Beton, Fassung Juni 1996, Deutscher Beton-Verein e. V.
- [7] Beddoe, R., Springenschmid, R.: Feuchttransport durch Bauteile aus Beton, Beton- und Stahlbetonbau 94 (1999), H 4.
- [8] Cziesilski E., Friedmann, M.: Gründungsbauwerke aus wasserundurchlässigem Beton, Bautechnik 54 (1985).
- [9] Fechner, O.: Wassertransport durch WU-Beton, Beton- und Stahlbetonbau 98 (2003), H. 1.
- [10] Ripphausen, B.: Untersuchungen zur Wasserdurchlässigkeit und Sanierung von Stahlbetonbauteilen mit Trennrissen, Dissertation Aachen, 1989.
- [11] Edvardsen, C. K.: Wasserundurchlässigkeit und Selbstheilung von Trennrissen in Beton, DAfStb. H. 455, Beuth Verlag Berlin 1996.
- [12] Rostásy, F.S., Krauß, M., Budelmann, H.: Planungswerkzeuge zur Kontrolle der frühen Rißbildung in massigen Bauteilen, Teile 1 bis 7, Bautechnik 79(2002), H. 7 bis 12