

Entwurf und Ausführung von wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton

Prof. Dr.-Ing. György Iványi

Institut für Massivbau der Universität Duisburg-Essen

Einleitung

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, „weiße Wannen“, bezeichnet. Die Bauweise wird im allgemeinen Hoch- und Wirtschaftsbau seit mehr als 40 Jahren erfolgreich 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 Erkenntnisse widerspiegelnde Monographien 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 auch das Einspruchsverfahren durchlief und demnächst zusammen mit Erläuterungen veröffentlicht werden soll. In der Richtlinie wird Entwurf und Ausführung von wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit geregelt, auf die daher im vorliegenden Beitrag Bezug genommen wird.

1. Grundlagen

Das Grundkonzept der WU-Bauwerke beruhte langjährig auf der Verwendung eines „Wasserundurchlässigen (WU) Betons“ in Kombination mit weiteren konstruktiven Maßnahmen. Durch die WU-Qualität des Betons sollte ein dichtes Betongefüge mit begrenzter Wassereindringtiefe, im allgemeinen ≤ 50 mm, unter einem Prüfdruck von 6 bar in einem gemäß DIN 1048-1 durchgeführten Versuch erzielt werden. Hierzu wurde für Bauteile mit Dicken von ≤ 40 cm ein Wasserzementwert (w/z) von $\leq 0,60$, bei dickeren Bauteilen von $\leq 0,70$ gefordert. Bild 1 zeigt, daß diese Wasserzementwerte zwar mit zunehmender Streubreite, jedoch stets die Erfüllung der Mindestanforderung an die Wassereindringtiefe gewährleisten; Betone mit $w/z \leq 0,60$ erfüllen sogar auch das nach DIN 1045 alt geforderte schärfere Kriterium der Wassereindringtiefe von ≤ 30 mm bei starkem chemischen Angriff. Im Sinne der in Bild 1 dargestellten, durch die Prüfpraxis vielfach bestätigten Ergebnisse ist es daher vollkommen ausreichend, die Wassereindringtiefe durch die richtige Vorgabe von w/z zu begrenzen.

Durch die Begrenzung des Wasserzementwertes soll allerdings nicht nur die Wassereindringtiefe unter Druck (Permeation), sondern vielmehr auch der gesamte Feuchtetransport durch die Bauteildicke, insbesondere der Kapillartransport, so begrenzt werden, daß das Bauteil luftseitig Feuchte, im jungen Alter des Betons vorwiegend Baufeuchte, nur durch Wasserdampfdiffusion in den Innenraum abgibt. Die Modellvorstellung für die beschriebenen Feuchtebedingungen/-transportmechanismen wird durch Bild 2, entnommen einem Veröffentlichungsentwurf von Dr. Alfes, veranschaulicht. Die dort definierte Ausdehnung der einzelnen Zonen gilt für einen Beton mit $w/z \leq 0,55$ (entspricht einer Festigkeitsklasse für Normalbeton von C 30/37) und begründet damit die Festlegung der Mindestbauteildicken gemäß WU-Richtlinie. Die Modellvorstellung beruht auf den Erkenntnissen u. a. von /8/ und /11/, die durch /9/, /10/ und /13/ bestätigt werden. Die diffusionsbedingte Feuchteabgabe kann dabei durch eine Beschichtung der luftseitigen Bauteiloberfläche deutlich verringert werden, wie dies aus Bild 3, entnommen /8/, erkennbar ist. Die günstige Wirkung einer Beschichtung, die allerdings hierfür geeignete Eigenschaften haben muß, wird auch durch /9/ und /13/ bestätigt.

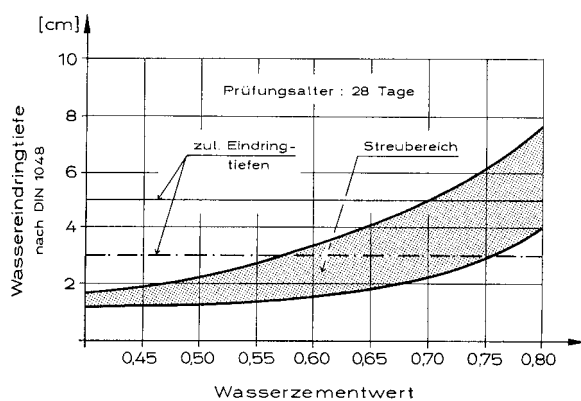


Bild 1: Wassereindringtiefen /6/

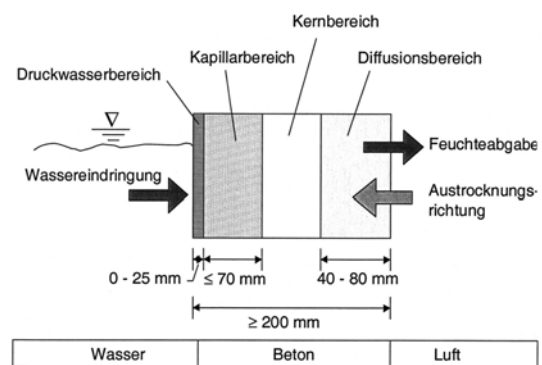


Bild 2: Feuchtetransport – Modellvorstellung

Im Gegensatz zu der Modellvorstellung nach Bild 2 wird in /7/ und /12/ unterstellt, daß der maßgebende Transportmechanismus im Beton Kapillartransport ist und daß der Vorgang uneingeschränkt einem $\sqrt{\text{Zeit}}$ -Gesetz folgt und maßgebend durch den auf das Bauteil einwirkenden hydrostatischen Druck beeinflusst wird. Wie hierzu in den anderen zitierten Arbeiten, insbesondere in /9/, deutlich ausgeführt wird, beruhen die entsprechenden Überlegungen, zuletzt veröffentlicht in /12/, auf unzutreffenden Annahmen hinsichtlich der Verteilung der Porenradien im Gefüge eines für die Wasserundurchlässigkeit geforderten Betons, und nur deswegen ergibt das Rechenmodell dann ein weder durch Versuche noch durch praktische Erfahrungen bestätigtes Ergebnis: Bereits infolge eines verhältnismäßig geringen hydrostatischen Drucks auf der wasserbeaufschlagten Seite entsteht rechnerisch auch bei dicken Bauteilen im Verlaufe der Zeit ein durch Kapillartransport gesättigtes Betongefüge, das eine dünne innere luftseitige Schicht ständig mit Kapillarwasser speist, mit der Folge einer nahezu zeitunabhängig hohen Wasserabgabe in den Innenraum durch Diffusion. In Bild 4 sind die Rechenergebnisse, tägliche luftseitige Wasserabgabe einer Wand mit der Dicke von 50 cm, außenseitig beaufschlagt mit einem hydrostatischen Druck von 2,5 m Wassersäule, über die Zeit dargestellt. (s. Bild 8 in /12/). Die „Erkenntnisse“ werden in /12/ zur Untermauerung der Empfehlung verwendet, für Bodenplatten eine innenseitige Aufständering, für Wände auch ein spezielles Belüftungssystem vorzusehen; sie werden zusätzlich durch eigene Versuche des Verfassers an einem Beton mit $w/z = 0,80$ (!) begründet. Bedauerlich an derartigen Veröffentlichungen ist – abgesehen von einer nicht nachvollziehbaren Ignorierung der mehrfach geäußerten Kritik an deren Grundlagen – insbesondere die dadurch verursachte Verunsicherung eines nicht ausreichend informierten Fachkreises.

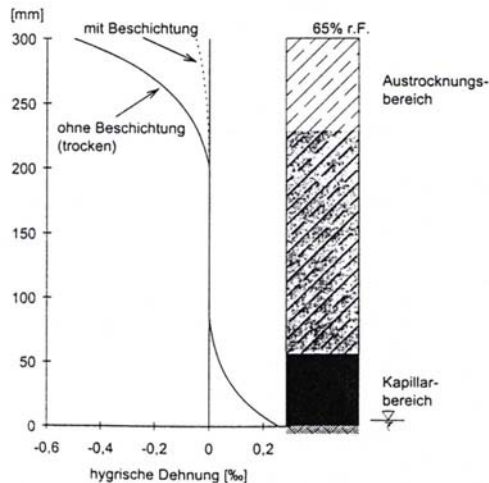


Bild 3: Verringerung der Diffusion durch Beschichtung /8/

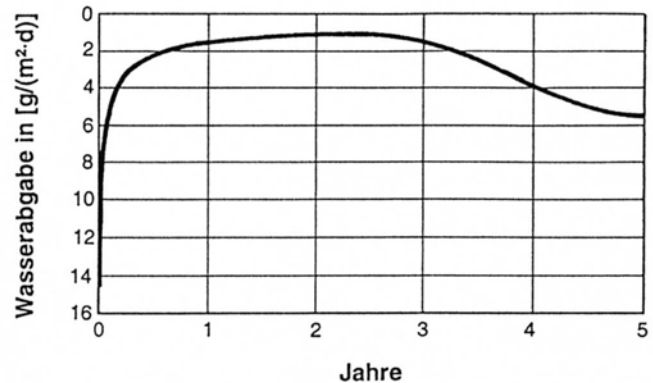


Bild 4: Zeitabhängige luftseitige Wasserabgabe /12/

2. Auslegungskriterien

2.1 Grundsätzliches

Die Wasserundurchlässigkeit von WU-Bauwerken wird durch Begrenzung des Wasserdurchtritts, d. h. als Feuchtetransport in flüssiger Form durch die Bauteile, erzielt.

Wasserdurchtritt durch den ungerissenen Beton kann im Sinne der Ausführungen in Abschnitt 1 grundsätzlich ausgeschlossen werden, wenn Wasserzementwert und Bauteildicken entsprechend gewählt werden und im Zuge der Ausführung ein gut verdichtetes Betongefüge erzielt wird.

Wasserdurchtritt durch Fugen aller Art, abgedichtete Durchdringungen, Sollrißquerschnitte mit Fugenabdichtung, Arbeitsfugen mit Fugenabdichtung oder entsprechender Vorbereitung der angrenzenden Fugenfläche kann grundsätzlich auch ausgeschlossen werden, wenn diese Konstruktionsabschnitte dementsprechend entworfen und ausgeführt wurden.

Durch einfach gerissene Bauteilquerschnitte, d. h. durch Biegerisse kann der Wasserdurchtritt grundsätzlich ausgeschlossen werden, wenn eine Mindesthöhe der Druckzone vorhanden ist.

„Grundsätzlich“ heißt in den vorstehenden Ausführungen: (gedanken-) fehlerfreie Planung, d. h. Entwurfserfahrung und fachmännische Ausführung vorausgesetzt. Wenngleich es bekannt ist, daß dieses Optimum nicht stets erreicht wird, so sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß die WU-Bauweise einen potentiellen Vorteil gegenüber anderen „dichten“ Bauweisen hat: Undichtheiten, d. h. eine Verfehlung des Planungsziels, treten infolge von Mängeln des Entwurfs oder Ausführung stets an den Orten der Fehlerquellen auf und sind auf einfache Weise nachträglich zu beheben. Voraussetzung für nachträgliche Abdichtungsmaßnahmen ist allerdings die Zugänglichkeit der undichten Stellen zum Zeitpunkt ihres Auftretens. Hierfür muß in der Planung, erforderlichenfalls mit Inkaufnahme eines verhältnismäßigen Aufwandes, vorgesorgt werden.

Ein Wasserdurchtritt durch Trennrisse ist abhängig von der Begrenzung der Rißbreite. Wegen der grundsätzlichen Bedeutung der Frage, welche Qualität der Wasserundurchlässigkeit durch Trennrissbreitenbegrenzung erzielt werden kann, wird hierauf in Abschnitt 2.4 ausführlich eingegangen.

2.2 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.

2.3 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 darüberhinausgehende 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, jedoch auch unter Berücksichtigung der in Abschnitt 2.1 gemachten Bemerkungen zum „grundsätzlichen“ Ausschluß des Wasserdurchtritts durch einen WU-Baukörper bzw. der Bewertung der Frage des Wasserdurchtritts durch Trennrisse, 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.

„Feuchtstelle“ wird allerdings restriktiv definiert: Es sind dies feuchtebedingte Dunkelfärbungen, ggf. auch mit Bildung von Wasserperlen an diesen Stellen, nicht jedoch solche Wasserdurchtritte, die mit auf der Bauteiloberfläche angesammelten Wassermengen verbunden sind. Hieraus ist erkennbar, daß durch diese Definition zwei Aspekte berücksichtigt werden sollen: Einerseits

das, was unter „grundsätzlich“ gemeint ist, d.h. geringfügige Mängel in Entwurf und Ausführung („nobody is perfect“). Andererseits eröffnet die Definition die Möglichkeit einer technischen Bewertung des Wasserdurchtritts durch Trennrisse mit begrenzten Breiten.

Beide Nutzungsklassen regeln nur das, was „betonseitig“ möglich ist, nämlich eine strenge bzw. weniger strenge Begrenzung des Wasserdurchtritts. Selbst die Erfüllung der Kriterien der Nutzungsklasse A kann allerdings nicht ein „trockenes“ Raumklima gewährleisten. Selbst mit der Nutzungsklasse B kann es jedoch auch erreicht werden: In beiden Fällen gehören dazu zusätzliche raumklimatische Maßnahmen, bei Nutzungsklasse A mit einem geringeren, bei Nutzungsklasse B ggf. mit einem größeren Aufwand.

Die WU-Richtlinie läßt eine weitere Möglichkeit der Definition in Anlehnung an DIN 1055-100, Abschnitt 10.1 Absatz 5 auch zu: Regelung der Wasserundurchlässigkeitsanforderungen im Einzelfall durch Vereinbarung – s. hierzu die eingangs zu diesem Abschnitt gemachten Bemerkungen hinsichtlich der mit dieser Regelung verbundenen Risiken.

2.4 Wasserdurchtritt durch Trennrisse

Trennrisse sind Risse durch die gesamte Dicke des Bauteils. Der Wasserdurchtritt durch Trennrisse ist abhängig von Rißbreite, hydrostatischem Druck, Bauteildicke und Dauer der Wasserbeaufschlagung. Das Verhältnis von Druckhöhe des Wassers (h_w) zur Bauteildicke, (h_b), beides in [m], wird als Druckgefälle (h_w/h_b) bezeichnet.

Zum Zeitpunkt $t = 0$ kann ein Wasserdurchtritt durch die Bauteildicke nur mit außerordentlich kleinen Rißbreiten so begrenzt werden, daß die Anforderungen gemäß Abschnitt 2.3 an Nutzungsklasse A (keine Feuchtstellen) oder B (nur Feuchtstellen im Sinne der Definition) erfüllt werden können. In Bild 5 sind die zugehörigen Grenzlinien unterhalb von stark streuenden

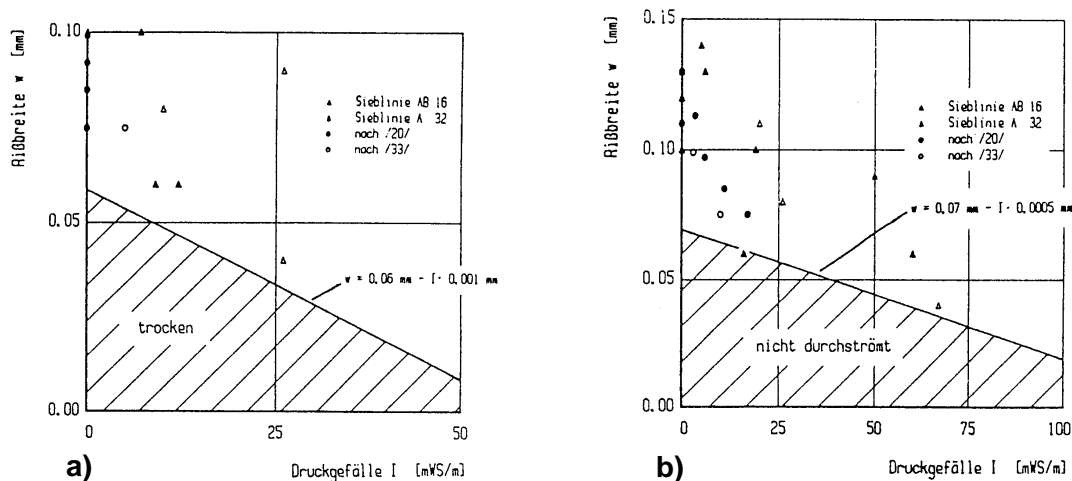


Bild 5: Wasserdurchtritt durch Trennrisse, $t = 0$ /14/

Versuchswerten in Abhängigkeit vom Druckgefälle nach /14/ dargestellt. Danach liegen die „sicheren“ Grenzißbreiten in einer Größenordnung, die baupraktisch, mit den üblichen Methoden der Rißbreitenbegrenzung, wirtschaftlich nicht erfüllbar sind. Einzelwerte können jedoch Zufallsbeobachtungen bestätigen.

Es ist allerdings bekannt, daß sich der Wasserdurchtritt durch Trennrisse zeitabhängig mehr – kleine Rißbreiten, geringes Druckgefälle – oder weniger schnell – größere Rißbreiten und hohes Druckgefälle – einem Endwert nähert, der günstigstenfalls Stillstand heißen kann, was jedoch einen Ausschluß von Feuchtstellen im Sinne der Definition der Nutzungsklasse A nicht mit Sicherheit gewährleistet. Bild 6 zeigt die aus Versuchen gewonnenen Ergebnisse in Form von normierten Durchflußmengen über die Zeit nach /15/; durch die Normierung konnte der Parameter „Druckgefälle“ eliminiert werden.

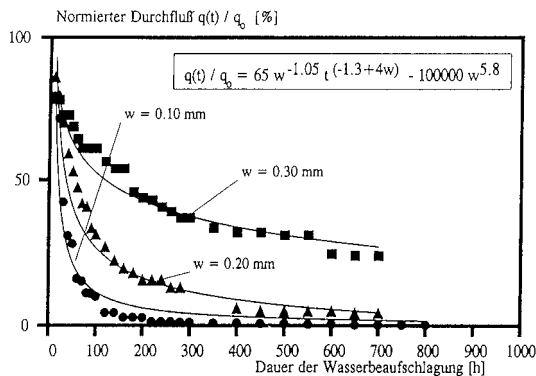


Bild 6: Zeitliche Entwicklung des Wasserdurchtritts /15/

	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.

Tabelle 1: Begrenzung der Trennrißbreiten nach der WU-Richtlinie

Die Ursache dieses – günstigen – Phänomens ist die sog. „Selbstheilung“ der Risse, die nach heutigem Kenntnisstand – neben anderen Effekten – vorwiegend auf einem chemischen Prozeß, die Bildung von Calciumcarbonat im Riß und mit dessen „verstopfender“ Wirkung zusammenhängt (/15/, /16/). Daraus folgt, daß bereits eine verhältnismäßig geringe Vergrößerung der Rißbreite mit einem erneuten Wasserdurchtritt und einem Neubeginn des Selbstheilungsprozesses verbunden sein kann.

In der WU-Richtlinie werden die vom Druckgefälle abhängigen Grenzrißbreiten in Anlehnung an die Versuchsergebnisse – mit geringen Korrekturen zur sicheren Seite – nach /15/ festgelegt (s. Tabelle 1). Gleiches gilt für die zugehörige geringfügige, auch ohne nennenswerte Änderung des Ergebnisses eines bereits abgeklungenen Selbstheilungsprozesses mögliche Vergrößerung der Rißbreite von $\Delta w \leq 0,1 w$. Empfehlungen in /3/ sind erheblich restriktiver: Dort wird bereits für ein Druckgefälle von ≤ 10 eine „unbedenkliche“ Rißbreite nur von $\leq 0,10$ mm vorgeschlagen. Leider sind die Angaben nicht näher verifizierbar, die Empfehlung wird mit „Beobachtungen und Erfahrungen“ begründet, in /29/ kommentarlos zusammen mit den Ergebnissen nach /15/ dargestellt und erklärt, mit diesen (mit welchen von beiden?) Angaben kann eine Bemessung durchgeführt werden. Die auf einem sehr niedrigen Niveau definierten Grenzwerte von /3/ lassen die Vermutung zu, daß diese eigentlich den Streubereich von Bild 5b) abdecken und von der Vorstellung „Durchfeuchtung ohne Wasserdurchtritt“ ausgehen, was jedoch keinesfalls verallgemeinert werden kann.

Die beschriebenen Fakten werden in der Planungspraxis mit ziemlicher Regelmäßigkeit mißachtet. Von der mehr „saloppen“ Vorstellung über einen WU-Baukörper (entsteht automatisch bei Verwendung von WU-Beton bei Begrenzung der Trennrißbreiten, z. B. auf $w_k = 0,15$ mm) abgesehen, wird die Rißbreitenbegrenzung entweder als ein grundsätzliches Mittel für den Ausschluß eines Wasserdurchtritts verstanden – gefördert leider auch durch Darstellungen, wie die zuvor zitierte Gegenüberstellung von deutlich unterschiedlichen Angaben zur Trennrißbreite in /29/, wobei die niedrigeren Werte die Vorhersage „kein Wasserdurchtritt“ suggerieren – oder es wird zumindest unterstellt, daß die Selbstheilung ein kurzer Prozeß mit anschließendem Stillstand ist. Diese (Wunsch-)Vorstellungen werden in der WU-Richtlinie deutlich mit dem Hin-

weis korrigiert: Die Anforderungen an Nutzungsklasse A können bei Ausnutzung einer Rißbreitenbegrenzung unter Berücksichtigung der in Tabelle 1 definierten Grenzüßbreiten ohne planmäßig vorgesehene Abdichtungsmaßnahmen (Füllen der Risse) in der Regel nur durch zusätzliche raumklimatische Maßnahmen erfüllt werden. Auf eine Empfehlung, die Rißbreiten in Anlehnung an Bild 5 zu begrenzen, wird in der Richtlinie bewußt verzichtet.

3. Entwurfsgrundsätze

3.1 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. Wenn in diesem Sinne in den folgenden Abschnitten die allgemein möglichen Entwurfsgrundsätze vorgestellt werden, so sind diese keinesfalls als eine ausschließliche Aufgabe des Tragwerkplaners zu verstehen. Seine Festlegungen müssen zustimmend, jedoch mindestens informativ von den anderen Baubeteiligten zur Kenntnis genommen werden. Des weiteren gilt für alle Entwurfsgrundsätze der verbindliche Hinweis: Sie stellen zwar stets einen angestrebten Weg zum gesteckten Ziel dar, das jedoch in Teilbereichen aus mannigfachen Gründen verfehlt werden kann. Aus diesem Grunde müssen für diesen Fall stets Vorsorgemaßnahmen in der Planung vorgesehen werden, die Bestandteile eines jeden Entwurfskonzepts sein müssen.

3.2 Entwurfsgrundsatz 1: 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 vorneherein muß daher klargestellt werden: Es handelt sich bei diesem Entwurfsgrundsatz um einen anspruchsvollen Weg zum Ziel, der zahlreiche Vorsorgemaßnahmen erfordert, der jedoch bei der Gegenüberstellung deren Kosten mit Einsparungen insbesondere wegen eines zu erwartenden verminderten Bewehrungsaufwandes mit z. T. erheblichen wirtschaftlichen Vorteilen verbunden sein kann. Hinzu kommt eine nicht in jedem Fall unmittelbar zahlenmäßig bezifferbare Risikominderung durch zweifelsfreie Erfüllung der Nutzungsbedingungen. Diese Aspekte müssen dem Bauherrn bzw. Nutzer des WU-Bauwerks bekannt und von ihm akzeptiert worden sein, d. h. es muß sich um eine „Planung“ im Sinne des Abschnitts 3.1 handeln.

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 zum Grundsatzproblem, lastunabhängige Einwirkungen, Zwang und Mindestbewehrung, /17/ bis /28/ und /34/, ausführungstechnisch zusätzlich auf /35/ bis /37/, hingewiesen.

Um Mißverständnisse zu vermeiden, muß an dieser Stelle erwähnt werden, daß die Verwirklichung dieses Entwurfsgrundsatzes an Bedingungen gebunden ist, 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 Ausführung 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 den 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.

3.3 Entwurfsgrundsatz 2: Begrenzung der Trennrißbreite unter Ausnutzung der Selbstheilung der Risse

Unter Zugrundelegung dieses Entwurfsgrundsatzes werden Trennrisse planmäßig erwartet, deren Breite wird jedoch unter Beachtung der in Abschnitt 2.4 ausgeführten Kriterien durch eine entsprechend gewählte Bewehrung begrenzt. Abgesehen davon, daß Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Herabsetzung der Wahrscheinlichkeit einer Trennrißbildung wenngleich nicht in dem Umfang, wie beim Entwurfsgrundsatz, jedoch auch hierbei vorgesehen werden sollten, müssen auch bei der Verwirklichung dieses Entwurfsgrundsatzes Ursachen und Zeitpunkt der erwarteten Trennrißbildung bekannt sein. Insofern gelten auch hier die am Ende des Abschnitts 3.2 gemachten Hinweise für eine gründliche Überprüfung aller rißauslösenden Zustände: Erhärtungsphase, Bauzustand und Nutzungsbedingungen. Dies, weil ein maßgebender Faktor der zur richtigen Wahl der zur Begrenzung der Trennrißbreiten erforderlichen Bewehrung die Größe der dabei anzusetzenden effektiven Zugfestigkeit des Betons ($f_{ct,eff}$) ist. So ist z. B. nur bei Bauteildicken, die infolge der Hydratationswärmeentwicklung eine schnelle Erwärmung und darauf folgende Abkühlung erwarten lassen, der Ansatz einer im Vergleich zur Endzugfestigkeit verminderten effektiven Zugfestigkeit angebracht – die allgemein übliche Annahme von $f_{ct,eff} = 0,50 f_{ct,m}$ kann bei dicken Bauteilen wegen des wärmebedingt höheren wahren Alters des Jungbetons in der maßgebenden Abkühlphase grob falsch sein. Gleiches gilt für rißauslösende Einwirkungskombinationen außerhalb der Erhärtungsphase des Betons. Allerdings muß für jeden Nachweiszustand sorgfältig auch geprüft werden, ob es sich tatsächlich um eine trennrißauslösende Einwirkungskombination handelt: Bei dicken Bodenplatten wird der Zwang in der Erhärtungsphase fälschlicherweise häufig (gedanklich) vereinfachend trennrißauslösend bewertet, obwohl es sich dabei um Biegezustände handelt, wie dies in /22/ ausgeführt wird.

3.4 Entwurfsgrundsatz 3: 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. Ansonsten gelten auch für diesen Entwurfsgrundsatz die zusätzlichen Bemerkungen in Abschnitt 3.3.

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 WU-Richtlinie verbindlich vor. Bei Beanspruchungsklasse 2 – Bodenfeuchte – kann dies auch durch Abklebungen, bei Beanspruchungsklasse 1 jedoch in der Regel 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 Maßnahmen 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. Hinweise zur Planung

4.1 Allgemeines

Wie in Abschnitt 3.1 ausgeführt, wird „Planung“ als ein ganzheitlicher Begriff verwendet, der alle Belange vom Entwurf und Ausführung abdeckt. Allgemeine wie detaillierte Hinweise zur Planung gibt es in der Literatur zugenüge, weswegen in diesem Beitrag auf eine systematische Wiederholung der Grundsätze verzichtet wird. Angesprochen werden sollen hier nur einige Einzelheiten, die häufig Ursache des Mißlingens von WU-Bauwerken sind.

4.2 Konstruktive Einzelheiten

„Alle Konstruktionen sollen eine klare, einfache und eindeutige Lastabtragung ermöglichen“, „Wahl von Lagerungsbedingungen mit geringer Verformungsbehinderung“ werden in der WU-Richtlinie allgemein gefordert – diese Forderungen enthalten nahezu alle bekannten entwurfsbezogenen Beiträge, woraus jedoch noch lange nicht folgt, daß sie auch beachtet werden. Regelmäßig findet man die Beispiele nach Bild 7: „Aufhängung“ von Außenwänden auf Elementen der verbleibenden Baugrubenumschließung (Bild 7a)) und ohne Not gewählte – vermeintlich wirtschaftliche – Lösungen von gegliederten Bodenplatten im Bereiche der Einleitung von Stüt-

zenkräften (Bild 7b) und c)), wobei in letzteren Darstellungen auf die Einzelheiten der

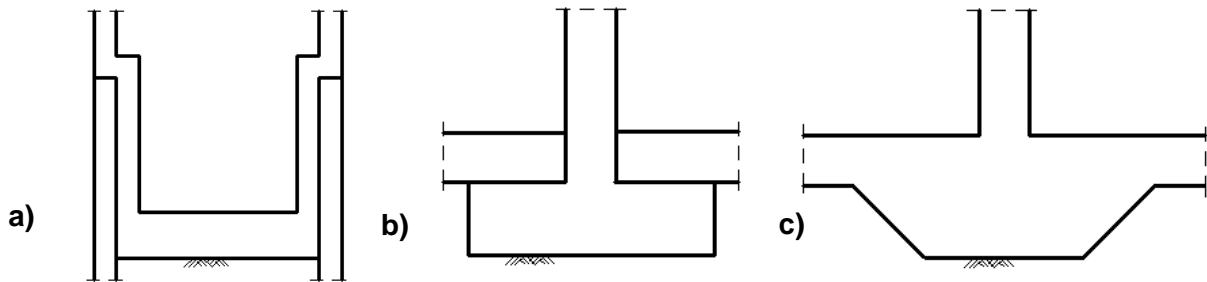


Bild 7: Zu vermeidende konstruktive Lösungen

zugehörigen „grausamen“ Anschlußdetails bewußt verzichtet wird. Diese Kritik gilt nur für wenig durchdachte konstruktive Ausbildungen, Gliederungen an UK Bodenplatten, wie Aufzugschächte, Installationskanäle, usw. sind unvermeidbare Bestandteile des Gründungsabschnitts, die daraus folgenden Verformungsbehinderungen lassen sich in der Herstellungsphase allerdings durch eine geeignete Festlegung der Betonierabschnitte und ihrer zeitlichen Aueinanderfolge zumindest deutlich vermindern. Im Falle besonders starker, unvermeidbarer Gliederungen kann großen Verformungsbehinderungen auch durch die Anordnung einer sog. Hydratationsgasse vorgebeugt werden. Das Prinzip dieser Lösung ist einfach – Offenlassen einer Betonierlücke geringer Betonmenge, deren Hydratationswärme die benachbarten fertigbetonierten Abschnitte in ihrem Verformungsverhalten praktisch nicht beeinflusst – die Verwirklichung verlangt allerdings einen umsichtigen Entwurf der zugehörigen Bewehrungsführung, die unter Beachtung der geometrischen Verhältnisse der Hydratationsgasse eine ordnungsgemäße Ausbildung der benachbarten Arbeitsfugen und eine Säuberung der Lücke vorm Betonieren erlauben muß.

Außer den gliederungsbedingten Verformungsbehinderungen entstehen weitere solche infolge der Reibung zwischen Bodenplatte und Baugrund. Die Notwendigkeit des Einsatzes reibungsmindernder bzw. viskoser Zwischenschichten muß unter Beachtung der Dicke der Bodenplatte entschieden werden: Während geringe Auflasten von dünnen Bodenplatten ohne zusätzliche Maßnahmen mit einer hohen Scheinreibung verbunden sind /31/, gilt dies für dicke Bodenplatten nicht mehr: Wie erste experimentelle Ergebnisse in Essen bestätigen, entspricht der Reibungsbeiwert dort ungefähr dem der inneren Reibung des Bodens. Hieraus folgt, daß die übliche Entwurfspraxis, überall eine „doppelte Baufolie“ anzuordnen, mit einem Reibungsbeiwert, der sogar höher als der der inneren Reibung des Bodens ist, für dicke Platten falsch, für dünne Platten vielfach nicht zielführend ist. Im letzteren Fall sollten bei großflächigen Bodenplatten erforderlichenfalls wirksamere reibungsmindernde konstruktive Lösungen gewählt werden /5/.

Ein besonderes Kapitel der WU-Bauweise ist die Ausbildung von Fugen aller Art. Da diese Bereiche – vom Entwurfskonzept wie von der Ausführung her – die schadensanfälligsten sind, gilt als oberstes Gebot zumindest für Bewegungsfugen aller Art, sie zu vermeiden. Für Arbeitsfugen gilt des weiteren: Sie müssen zuverlässig konzipiert und ausführbar sein, die Behebung ihrer Ausführungsfehler sollte einfach möglich sein. Nun leidet dieses Thema unter mehreren Problemen, insbesondere jedoch darunter, daß Empfehlungen für die Ausbildung von Arbeitsfugen in der Mehrzahl aller Veröffentlichungen kritiklos erfolgt (s. /29/, /30/, /32/ und /33/, wobei eine rühmliche Ausnahme ist /1/, wo außenliegende Arbeitsfugen gemäß Bild 8c) abgelehnt werden), weil offenkundig der Zorn der Anbieter von nicht erwähnten oder kritisierten Fugenabdichtungsmethoden befürchtet wird. Nur in geringerem Umfang gilt die allerdings nachvollziehbar unterschiedliche Beurteilung von verschiedenen, durchaus bewährten Lösungen: Gewohnheiten, Erfahrungen und personelle Voraussetzungen der Ausführenden. Daraus folgt der vom Tragwerksplaner verbindlich zu beachtende Schluß: Die Ausbildung von Arbeitsfugen ebenso wie die Vorgabe der Betonierabschnitte sollte stets unter Berücksichtigung dieser Prämissen, d.

h. in Zusammenarbeit mit den Ausführenden erfolgen – dies auch dann, wenn hieraus geringfügige Vertragsänderungen zu erwarten sind.

Für Arbeitsfugen Wand/Bodenplatte wird in der WU-Richtlinie eine ebene oder eine „Sockellösung“ mit Fugenabdichtung empfohlen (Bild 8d) und e)), letztere mit der Maßgabe: „Sockel müssen vor dem Betonieren der Bodenplatte geschalt und in einem Arbeitsgang mit der Bodenplatte betoniert werden; nachträglich 'aufgesetzte' Sockel sind nicht zulässig.“ Leider ist der ausgeschlossene Fall allgemein üblich, mit der Folge einer an OK Bodenplatte entstandenen ungesicherten „wilden“ Arbeitsfuge. Darüber hinaus wird auch die Möglichkeit erwähnt, bei Wanddicken ≥ 30 cm eine kornraue Fuge ohne zusätzliche Fugenabdichtungen auszuführen – eine Lösung, mit der der Verfasser ebenso wie viele Baufirmen beste Erfahrungen haben (Bild 8a) und b)).

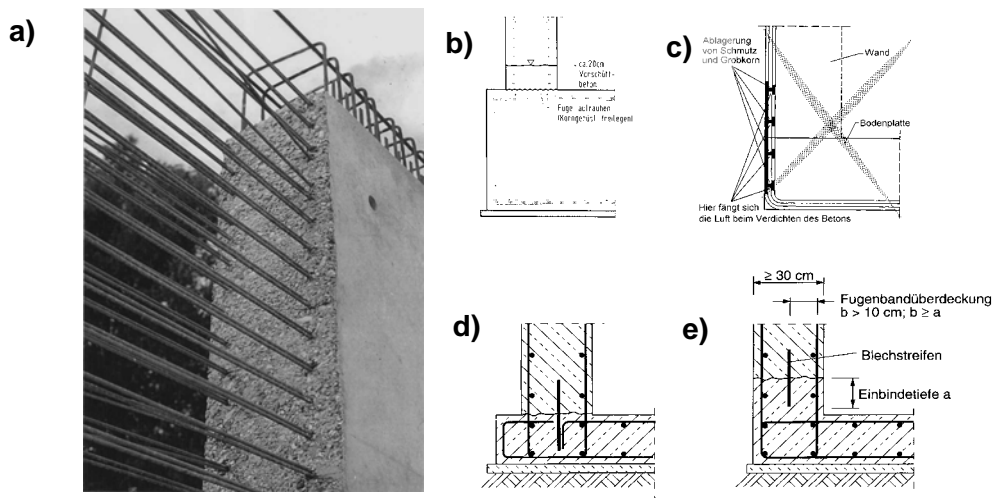


Bild 8: Fugenlösungen

In der WU-Richtlinie sind Sollrißquerschnitte, die den Ort eines erwarteten Risses – in der Regel für Wände – vorgeben, konzeptionell verankert, um den Bauteilabschnitt zwischen zwei Sollrißquerschnitten rissfrei zu halten. Über den Aspekt einer ausreichenden Schwächung dieses Querschnitts hinaus ist die wichtigste Bedingung für das Funktionieren dieses Konzepts die richtige Wahl des Ortes und der Abstände von Sollrißquerschnitten. Hierzu muß der Spannungszustand des betrachteten Bauteils unter Berücksichtigung der tatsächlichen, z. T. von den Steifigkeiten der anschließenden Bauteile abhängigen Lagerungsbedingungen bekannt sein, um sicherzustellen, daß sich ein rißerzeugender Spannungszustand zwischen zwei Sollrißquerschnitten nicht ausbilden kann. Beispiele hierfür finden sich in /23/, /24/ und /34/.

4.3 Hinweise zur Bauausführung

Wenngleich eine Ausführung der Betonarbeiten im Sinne der DIN 1045-3 bereits eine hohe Qualität gewährleisten soll, sind für WU-Bauwerke einige weitere Maßnahmen erforderlich, um auch den Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit besser gerecht zu werden. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sollen hier nur einige besonders wichtig erscheinende Aspekte erwähnt werden.

Während im allgemeinen Hochbau die Forderung an einen dichten Anschluß zwischen angrenzenden Bauteilen nur die Bedingungen der vorausgesetzten Kraftübertragung bezweckt, ist er bei WU-Bauwerken ein unerlässliches Kriterium der Wasserundurchlässigkeit. Aus diesem Grunde wird allgemein empfohlen, in Grenzfällen der Anwendung auch verbindlich verlangt, daß der Wandanschluß zur Bodenplatte mit einer feinkörnigen Anschlußmischung hergestellt

wird. Die üblichen Gegenargumente – die Anschlußmischung käme regelmäßig später als die normale – bieten nur einen Anlaß zur Beurteilung der Qualität der Baustellenorganisation.

Besondere Anforderungen werden in der WU-Richtlinie an die sog. „Elementwände“, auch bekannt als „Dreifachwände“, gestellt. Die Wasserundurchlässigkeit dieser Konstruktion hängt – neben allen anderen Kriterien an Ortbetonwände – wesentlich davon ab, ob der Kernbeton zwischen den Fertigteilplatten lückenlos eingebracht und verdichtet wird und daß die innenseitigen Oberflächen der Fertigteile kornrauh sind, d. h. eine „innige“ Verbindung mit dem Ortbeton gestatten, um Hinterläufigkeit in der Verbundebene auszuschließen. Hierzu sieht die WU-Richtlinie ausführliche, über die Zulassungen hinausgehende Bestimmungen vor.

Während die Regelungen der DIN 1045-3 für die Frischbetontemperatur bei niedrigen Lufttemperaturen auch WU-Bedingungen abdecken – mindestens 10 °C bei Zementen mit niedriger Hydrationswärme – gilt diese Bemerkung nicht für hochsommerliche Witterungsverhältnisse mit der Obergrenze des Frischbetons von 30 °C. Wenn die Bauausführung erkennbar in die Sommermonate fällt, müssen vertraglich niedrigere Frischbetontemperaturen /36/ mindestens ≤ 25 °C vereinbart werden.

Eine ausreichende Nachbehandlung ist ein unerlässliches Qualitätskriterium von WU-Bauwerken. Aus diesem Grunde schließt die WU-Richtlinie die Anwendung der Regelungen einer „phantasievollen“ Bestimmung der DIN 1045-3, Abschnitt 8.72 (2) – wenn „Nachbehandlungswitterung“ dann keine Nachbehandlung (!) – ausdrücklich aus. Die tatsächlich erforderlichen Maßnahmen müssen auf den Einzelfall abgestimmt werden, wobei leider hierzulande besondere Maßnahmen mit hoher Garantie zur Herabsetzung des Trennrüßrisikos, wie z. B. Rohrinnenkühlung (vgl. z. B. /35/) von vorneherein gar nicht erst erwogen werden, obwohl nach Erfahrungen des Verfassers die damit verbundenen Kosten mit denen der ggf. sonst erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen die Waage halten. Schließlich sei eine Bemerkung gestattet zur sog. „thermischen Vorspannung“, die das Einprägen eines Eigenspannungszustandes in der intensiven Aufheizphase des Bauteils mit entgegengesetztem Vorzeichen zu dem in der Abkühlphase bewirken soll. Ohne besonderen Aufwand ist dieses Prinzip nur bei Bodenplatten ausführbar: Die Plattenoberfläche soll dazu zunächst je nach Plattendicke unterschiedlich lange Zeit kühl gehalten und anschließend wärmedämmend abgedeckt werden. Der Laborerfolg der Maßnahme ist nachprüfbar, in der Praxis kann sie nur funktionieren, wenn eine Vollzeitbauüberwachung auf der Baustelle dafür sorgt, daß die Verdunstung auf der Plattenoberfläche durch Feuchthaltung verhindert wird.

5. Literatur

- /1/ Grube, H.: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, Elsner 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/ Cziesilski, E., Friedmann, M.: Gründungsbauwerke aus Wasserundurchlässigem Beton, Bautechnik 54 (1985).
- /8/ Beddoe, R., Springenschmid, R.: Feuchtetransport durch Bauteile aus Beton, Beton- und Stahlbetonbau 94 (1999), H4.
- /9/ Klopfer, H.: Wassertransport und Beschichtungen bei WU-Beton-Wannen, Aachener Bau-sachverständigentage 1999.
- /10/ Lohmeyer, G.: Bauwerkssohlplatten aus WU-Beton: Bauphysikalische Besonderheiten, beton 50 (2000), H. 10.
- /11/ Brauer, N.: Analyse der Transportmechanismen für wassergefährdende Flüssigkeiten in Beton zur Berechnung des Medientransportes in ungerissene und gerissene Betondruck-zonen, DAfStb. H. 538, Beuth Verlag Berlin 2002.
- /12/ Fechner, O.: Wassertransport durch WU-Beton, Beton- und Stahlbetonbau 98 (2003), H. 1.
- /13/ Schäper, M., Kreye, J.: Die kritischen Randbedingungen einer Innenbeschichtung Weißer Wannen, Beton- und Stahlbetonbau 98 (2003), H. 1.
- /14/ Ripphausen, B.: Untersuchungen zur Wasserdurchlässigkeit und Sanierung von Stahlbetonbauteilen mit Trennrissen, Dissertation Aachen, 1989.
- /15/ Edvardsen, C. K.: Wasserundurchlässigkeit und Selbstheilung von Trennrissen in Beton, DAfStb. H. 455, Beuth Verlag Berlin 1996.
- /16/ Reinhardt, H.-W., Jooss, M.: Permeability and self-healing of cracked concrete as a function of the temperature and crack width, Cement and Concrete Research 33 (2003) S. 981-985.
- /17/ Rostásy, F. S., Henning, W.: Zwang und Rißbildung in Wänden und Fundamenten, Beton- und Stahlbetonbau 84 (1989), H. 8.
- /18/ Rostásy, F. S., Laube, M., Onken, P.: Zur Kontrolle früher Temperaturrisse in Betonbauteilen, Bauingenieur 68 (1993), H. 1.

- /19/ Mangold, M.: Die Entwicklung von Zwang- und Eigenspannungen in Betonbauteilen während der Hydratation, Berichte aus dem Baustoffinstitut der TU München, Heft 1/1994.
- /20/ DBV-Merkblatt: Beschränkung von Temperaturrissen im Beton, Fassung Oktober 1996, Deutscher Beton-Verein E. V.
- /21/ Schütte, J., Teutsch, M., Falkner, H.: Fugenlose Betonbodenplatten, Heft 121 des iBMB, TU Braunschweig, 1996.
- /22/ Plannerer, M.: Temperaturspannungen in Betonbauteilen während der Erhärtung, Berichte aus dem Baustoffinstitut der TU München, Heft 2/1998.
- /23/ Iványi, G.: Bemerkungen zu Mindestbewehrung in Wänden, Beton- und Stahlbetonbau 90 (1995), H. 11.
- /24/ Paas, U.: Mindestbewehrung für verformungsbehinderte Bauteile im jungen Alter, DAfStb. H. 489, Beuth Verlag Berlin 1998.
- /25/ Eierle, B.: Berechnungsmodelle für rißgefährdete Betonbauteile unter frühem Temperaturzwang, Berichte aus dem konstruktiven Ingenieurbau der TU München, Heft 4/2000.
- /26/ Hintzen, W., Thielen, G.: Betontechnische Einflüsse auf die Rißbildung infolge Hydratationswärme, beton 49 (1999), H. 10/11.
- /27/ Müller, H. S., Kvitsel, V.: Kriechen und Schwinden von Beton, Beton- und Stahlbetonbau 97 (2002), H. 1.
- /28/ Rostásy, F. S., Krauß, M., Budelmann, H.: Planungswerkzeug zur Kontrolle der frühen Rißbildung in massigen Betonbauteilen Teil 1 bis 7, Bautechnik 79 (2002), H. 7 bis 12.
- /29/ Lohmeyer, G., Ebeling, K.: Fugenausbildung bei Weißen Wannen, beton 47 (1997), H. 10.
- /30/ Lohmeyer, G.; Weiße Wannen, beton 47 (1997), H. 10.
- /31/ Simons, H.-J.: Die Gleitfolienpressung bei Weißen Wannen, Bautechnik 68 (1999), H. 3.
- /32/ Bauberatung Zement: Arbeitsfugen, Lohmeyer 09/98.
- /33/ Lohmeyer, G., Ebeling, K.: Die Dreifachwand für Keller, beton 46 (1996), H. 1.
- /34/ Kerkeni, N., Hegger, J., Kahmer, H.: Mindestbewehrung von weißen Wannen aus Doppelwänden, Beton- und Stahlbetonbau 97 (2002), H. 1.
- /35/ Groth, P., Hedlund, H.: Air cooling of concrete by means of embedded cooling pipes – Part I and Part II, Materials and Structures, Vol. 31 (1998), S. 209 ff. und 387 ff.
- /36/ Stumvoll, M., Trenkwald, A.: Kühlung von Beton, Beton- und Stahlbetonbau 95 (2000), H. 6.
- /37/ Beckhaus, K.: Einfluß der Temperatur bei der Nachbehandlung von Beton, Berichte aus dem Baustoffinstitut der TU München, Heft 1/2000.