

Becker, H.-R.; Filusch, S.; Frisch, J.; Hohmann, R.; Horstmann, M.; Kiltz, D.; Krell, J.; Krause, H.-J.; Zitzelsberger, T.

# Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton

## Empfehlungen für die Zusammenarbeit von Bauherr, Planer, Fachplaner und Ausführenden

### 1 Einführung und Motivation

In das Erdreich eingebettete Bauteile können mit einer hautförmigen Abdichtung auf der Wasserseite gegen eindringendes Wasser abgedichtet werden (*Schwarze Wanne*)<sup>1</sup> oder als *wasserundurchlässige Betonbauwerke (WU-Wanne bzw. Weiße Wanne)* ausgeführt werden. Bei den langjährig bewährten WU-Betonbauwerken übernimmt die tragende Betonkonstruktion auch gleichzeitig die Abdichtungsfunktion. Die Planung und Ausführung von WU-Betonbauwerken ist in der *WU-Richtlinie* [1, 2] des DAFStb geregelt. Für ein funktionierendes WU-Betonbauwerk ist eine besonders hohe Planungs- und Ausführungsqualität unabdingbar und eine Überwachung der Ausführung erforderlich. Die Planung gemäß WU-Richtlinie erfordert die Zusammenarbeit zwischen Bauherrn, Objektplaner, Tragwerksplaner, TA-Planer, Sachverständigen für Geotechnik und Bauphysiker. Auch Decken und Dächer des allgemeinen Hochbaus können als WU-Betonbauwerke geplant und ausgeführt werden. WU-Decken bzw. WU-Dächer werden in diesem Leitfaden jedoch nicht betrachtet.

Die vorliegenden Empfehlungen basieren auf der WU-Richtlinie, Ausgabe Dezember 2017 [1] und spiegeln die Erfahrung von in der Praxis tätigen Fachleuten wider. Ziel der vorliegenden Empfehlungen ist, Hinweise und Hilfestellungen für Bauherren, Planer und Bauausführende in kompakter Form für die Planung, Ausführung und Überwachung von WU-Betonbauwerken insbesondere bei drückendem Wasser (*Beanspruchungsklasse 1*) und *hochwertiger Nutzung* zu geben.

### 2 Zuständigkeiten bei der Planung und der Ausführung

Entscheidend für den Erfolg eines WU-Betonbauwerks ist, dass die Zuständigkeiten für die einzelnen Planungsaufgaben und die Ausführung von Anfang an klar geregelt sind. Der Objektplaner sollte daher zu Projektbeginn in Zusammenarbeit mit dem Bauherrn die Zuständigkeiten für die einzelnen Planungsaufgaben und die Ausführung klären und vertraglich festlegen. Eine Orientierungshilfe zur Abstimmung möglicher Zuständigkeit bei der Planung und der

Ausführung von wasserundurchlässigen Betonbauwerken enthält die Tabelle A.1 im Anhang A der WU-Richtlinie 2017 [1].

### 3 Bauherr

#### 3.1 Koordination und Planung von WU-Betonbauwerken

Bei WU-Betonbauwerken sollte so früh wie möglich, spätestens jedoch in der Leistungsphase Entwurfsplanung ein WU-Koordinator benannt werden. Gemäß [1] obliegt die WU-Koordination dem Objektplaner.

Die einzelnen Planungsaufgaben für WU-Betonbauwerke ergeben sich aus [1], vgl. auch Abschnitt 4 dieser Empfehlungen. Nach [1] ist die Planung von WU-Betonbauwerken vom Objektplaner unter Beteiligung von Fachplanern (z. B. Tragwerksplaner, TA-Planer) durchzuführen. Die WU-Koordination und die weiteren Planungsaufgaben erfordern über das Übliche hinausgehendes Fachwissen und Erfahrung.

Eine Orientierungshilfe zur Abstimmung möglicher Zuständigkeit bei der Planung enthält [1], Tabelle A.1. Gute Erfahrungen liegen vor, wenn die WU-Koordination und weitere Planungsaufgaben bei WU-Betonbauwerken (vgl. Abschnitt 4) von einem Tragwerksplaner übernommen werden, der über die übliche Tragwerksplanung hinausgehendes Fachwissen besitzt. Der Tragwerksplaner muss für diese Planungsleistungen jedoch explizit beauftragt werden, vgl. Abschnitt 2.

Im Folgenden wird nur noch einheitlich der Begriff »Planer« verwendet. Damit ist entweder der Objektplaner oder einer der Fachplaner (Tragwerksplaner, TA-Planer, etc.) gemeint, dem die jeweilige Planungsaufgabe zugeordnet bzw. beauftragt wurde.

#### 3.2 Baugrundgutachten als Planungsgrundlage

Maßgebend für die WU-Betonbauwerke sind insbesondere der während der gesamten Nutzungsdauer zu erwartende höchste Wasserstand (*Bemessungswasserstand*), die Art der Wasserbeanspruchung (*Beanspruchungsklasse*), sowie die chemische Zusammensetzung des anstehenden Wassers. Diese Informationen gehen aus einem qualifizierten Baugrundgutachten hervor, das vom Bauherrn vorzulegen ist.

<sup>1</sup> alle kursiv geschriebenen Wörter verweisen auf den entsprechenden Begriff im Glossar

### 3.3 Bauherr legt mit Unterstützung des Planers die Nutzung als Planungsgrundlage fest

Die entscheidende Grundlage für die Planung eines WU-Betonbauwerks ist die vorgesehene Nutzung mit den zugehörigen Anforderungen an das Raumklima (ggf. für Teilbereiche oder einzelne Räume des Untergeschosses unterschiedlich), die vom Bauherrn festgelegt werden muss (*Bedarfsplanung*). Der Planer unterstützt den Bauherrn dabei und legt auf dieser Planungsgrundlage die jeweilige *Nutzungs-kategorie* nach *WU-Richtlinie* [1] bzw. dem *DBV-Merkblatt* »Hochwertige Nutzung von Untergeschossen« [4] fest.

### 3.4 Informations- und Aufklärungspflicht des Planers

Der Planer soll dem Bauherrn sehr frühzeitig die zur vorgesehene Nutzung passenden möglichen Ausführungsvarianten eines WU-Betonbauwerks darlegen und die jeweiligen Vor- und Nachteile (z.B. mögliche Undichtigkeiten infolge Rissbildung während der Nutzung, ggf. erforderliche ständige Zugänglichkeit des Bauteils von innen) erläutern. Der Planer soll den Bauherrn auch über das Risiko und den Umgang mit unplanmäßigen Undichtigkeiten informieren und aufklären. Weitere Hinweise dazu siehe Abschnitt 4.

### 3.5 Fachunternehmer und Überwachung bringen Sicherheit

WU-Betonbauwerke erfordern – wie jede Art der Abdichtung gegen Wasser – besondere Sorgfalt bei der Ausführung. Es hat sich bewährt, dass das im Detail geplante WU-Betonbauwerk von Fachunternehmen ausgeführt wird.

Bei der Ausführung sind insbesondere die für die Wasserundurchlässigkeit wesentlichen Arbeiten, z.B. der Einbau von Fugenabdichtungssystemen und die Betonarbeiten zu überwachen. Es hat sich bewährt, dass die Überwachung im Rahmen der Leistungsphase 8 nach HOAI vom Planer durchgeführt wird. Weitere Hinweise vgl. Abschnitt 5.

## 4 Planer

### 4.1 Grundlagen der Planung

Die Betonkonstruktion übernimmt im Zusammenwirken mit einem geschlossenen Fugenabdichtungssystem und ggf. planmäßigen Dichtmaßnahmen die Sicherstellung der Wasserundurchlässigkeit.

Entwurf und Ausführungsplanung eines WU-Betonbauwerks erfolgen nach der *WU-Richtlinie* [1], [2], [5].

Die Konzeption des *WU-Betonbauwerkes* wird durch die *Beanspruchungskategorie*, den *Bemessungswasserstand* und die *Nutzungs-kategorie* bestimmt.

- Der Bemessungswasserstand und die Angaben zur Beanspruchungskategorie sind dem vom Bauherrn vorzulegenden Baugrundgutachten zu entnehmen.
- Liegt kein Baugrundgutachten vor, fehlen die Grundlagen der Planung.
- Die Nutzungs-kategorie nach *WU-Richtlinie* [1], [2] bzw. dem *DBV-Merkblatt* »Hochwertige Nutzung von Untergeschossen« [4] ergibt sich aus der vorgesehene Nutzung und ist mit dem Bauherrn nach erfolgter eingehender Beratung zu vereinbaren. Künftige Nutzungsänderungen sind hierbei einzubeziehen. Die Nutzungs-kategorie A\*\* nach [4] (normale Raumnutzung) stellt den üblichen Fall im Wohnungsbau dar.

- Es muss der Zeitpunkt vereinbart werden, ab dem die geplante Wasserundurchlässigkeit hergestellt sein muss. Das ist in der Regel der geplante Nutzungsbeginn bzw. der Beginn der Ausbaurbeiten.

### 4.2 Aufgaben des Planers

In der *WU-Richtlinie* [1] sind die Aufgaben der Planung sowie insbesondere die erforderlichen Planungsschritte beschrieben:

- Festlegung eines zur vorgesehene Nutzung passenden und geeigneten Entwurfsgrundsatzes (EGS) hinsichtlich Trennrissen,
- Konstruktion unter Berücksichtigung der Wasserbeanspruchung, der vorgesehene Nutzung und des Entwurfsgrundsatzes hinsichtlich Trennrissen,
- Festlegung von ausreichenden Bauteildicken,
- Planung sämtlicher Fugen und Durchdringungen inkl. deren Abdichtung / Abdichtungssystemen,
- Planung von Bauablauf, Betonierabschnitten und weiterer ausführungstechnischer Maßnahmen gemäß festgelegtem Entwurfsgrundsatz,
- Vorgabe der erforderlichen Eigenschaften des WU-Betons, insbesondere des maximalen w/z-Wertes, der Festigkeitsentwicklung, des maximalen Größtkornes, der Expositionsklassen, der Druckfestigkeitsklasse sowie ggfs. weiterer beton-technologischer Maßnahmen,
- Planung von Abdichtungsmaßnahmen für planmäßige und unplanmäßige Rissbildung, z. B. Injektionsmaßnahmen,
- Planung weiterer Details und Übergänge falls erforderlich wie z. B. Kellerabgänge, Lichtschächte oder Anschluss an Bestandsgebäude,
- Dokumentation der durchgeführten Beratung und der Planung inklusive möglicher Einschränkungen während der Nutzung.

Je nach Beanspruchungs- und Nutzungs-kategorie sieht die *WU-Richtlinie* [1], Kapitel 6 drei Entwurfsgrundsätze (EGS) hinsichtlich *Trennrissen* (*Risse*, *Risse in WU-Betonbauwerken*, *Entwurfsgrundsätze*) vor:

- EGS **a** : Vermeidung von Trennrissen durch die Festlegung von konstruktiven, betontechnischen und ausführungstechnischen Maßnahmen
- EGS **b** : Bauweise mit Trennrissen, Festlegen von Rissbreite (viele kleine Risse mit geringen Rissbreiten), sodass Wasserdurchtritt durch *Selbtheilung* begrenzt werden kann. Der EGS **b** ist bei der Kombination von Nutzungs-kategorie A und Beanspruchungskategorie 1 nicht oder nur mit Sondermaßnahmen anwendbar
- EGS **c** : Bauweise mit Trennrissen, Festlegen von Rissbreite (wenige breite Risse) in Kombination mit planmäßigen Dichtmaßnahmen

Bei allen drei Entwurfsgrundsätzen kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass trotz fachlich richtiger regelkonformer Planung und qualitätsvoller Ausführung wasserführende Trennrisse auftreten. Diese Risse sind systemimmanent und können auch erst zu einem späteren Zeitpunkt auftreten. Gemäß der *WU-Richtlinie* [1] ist daher die Abdichtung wasserführender Trennrisse bei allen Entwurfsgrundsätzen zu planen und auszu-schreiben (*Injektion*).

Bei EGS **a** sind dies unplanmäßige Risse und bei EGS **b** planmäßige Risse mit unplanmäßig großer Rissbreite (*Risse*), die sich nicht selbst heilen (*Selbtheilung*). Bei EGS **c** handelt es sich um planmäßige Risse, die mit planmäßigen Maßnahmen abzudichten

ten sind. Der Planer muss seinem Auftraggeber die Vor- und Nachteile der zur Diskussion stehenden WU-Konzeption und des zugehörigen Entwurfsgrundsatzes erläutern, vgl. Tabelle A.1 in [1], insbesondere hinsichtlich Kosten, Risiken, Zugänglichkeit und zu erwartender Wasserundurchlässigkeit bei Nutzungsbeginn. Nur so kann er vermeiden, isoliert für einzelne Nachteile seiner Planung selbst dann zu haften, wenn diesen Nachteilen vom Bauherrn gewünschte Vorteile gegenüberstehen. Es hat sich bewährt, dass der Planer zur Vermeidung von Haftungsrisiken diese Erläuterung dokumentiert. Nach Festlegung des Entwurfsgrundsatzes sind Maßnahmen zur Umsetzung des Entwurfsgrundsatzes zu planen. Bei den EGS  $\text{[a]}$  und  $\text{[c]}$  bedeutet dies vor allem, Maßnahmen zur Minderung von *Zwangsbeanspruchungen* zu planen. Dies kann insbesondere durch konstruktive Maßnahmen (Reduzierung der *Verformungsbehinderung* in Verbindung mit betontechnischen und ausführungstechnischen Maßnahmen zur Reduzierung von *Verformungen*) erreicht werden.

- Es sind Betone mit hohem Wassereindringwiderstand einzusetzen.
- Die WU-Richtlinie [1] enthält Empfehlungen zu Mindestbauteildicken, die für Beton mit den Anforderungen der WU-Richtlinie (WU-Beton) gelten, siehe [1], Abschnitt 7.1. Eine vorgesehene Unterschreitung dieser Mindestbauteildicken sollte vorab durch den Planer mit allen Beteiligten abgestimmt werden. Bei Beanspruchungsklasse 1 sind nach [1] zusätzliche Anforderungen an das lichte Innenmaß  $b_{w,i}$  zu beachten.
- Bei Ausnutzung der Mindestbauteildicken nach WU-Richtlinie [1] ist bei Beanspruchungsklasse 1 ein WU-Beton mit einem  $(w/z)_{\text{eq}} \leq 0,55$  und bei Wänden zusätzlich ein Größtkorn der Gesteinskörnung  $\leq 16$  mm zu verwenden. Diese zusätzlichen Anforderungen sind in die Ausschreibung und in die Ausführungsunterlagen aufzunehmen.
- Das Fugenabdichtungssystem ist als geschlossenes Abdichtungssystem für Arbeits-/ Sollriss- / Dehnfugen im Detail zu planen. Gleichermaßen sind Abdichtungen von Durchdringungen wie z.B. Rohrdurchführungen Schalungsanker zu planen. Der Abstand zwischen der Bewehrung und dem Fugenabdichtungssystem ist so zu planen, dass ein vollständiges Einbetonieren des Fugenabdichtungssystems möglich ist, vgl. auch [6], [7], [8].
- Bei WU-Betonbauwerken ist das nachträgliche Abdichten von Rissen oder anderen Undichtigkeiten von der Luftseite her relativ einfach möglich, wenn die Bauteilinnenflächen zugänglich sind. Die Zugänglichkeit zu den Bauteilinnenflächen (Wände und Sohlplatte) des WU-Betonbauwerks ist bei der Planung von TA-Anlagen und Wand- / Bodenaufbauten zu berücksichtigen. Zur Herstellung der Zugänglichkeit kann die bereichsweise Entfernung eines (durchfeuchteten) Aufbaus erforderlich werden.
- Unter bestimmten Randbedingungen (z. B. Zugänglichkeit zur Betonkonstruktion nicht dauerhaft sichergestellt, Rissbildung während der Nutzung konzeptionell nicht auszuschließen, Wasserwechselzone, Undichtigkeiten vor Nutzungsbeginn wegen fehlendem Wasser nicht erkennbar) kann die Verwendung von *Frischbetonverbundsystemen (FBV-Systeme)* in Kombination mit einem WU-Betonbauwerk als vorsorglicher Schutz zur Abdichtung planmäßiger, unplanmäßiger, nicht erkennbarer oder nicht zugänglicher Trennrisse in Erwägung gezogen werden, vgl. [14], [15], [16]. Die Verwen-

dung von FBV-Systemen ist weder in der WU-Richtlinie Ausgabe 2017 [1] noch der DIN 18533 [10] geregelt und entspricht demnach derzeit nicht den anerkannten Regeln der Technik. Darüber müssen alle Beteiligten von Seiten des Planers aufgeklärt werden. Die Konzeption des WU-Betonbauwerks sowie die Detailplanung, insbesondere der Übergänge und Durchdringungen, muss auf die Verwendung eines FBV-Systems abgestimmt sein (ganzheitliche Planung). Der Nachweis der Verwendungseignung und der Verträglichkeit aller eingesetzten Komponenten inkl. der Übergänge ist durch aussagekräftige Unterlagen, z. B. allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse (abP), zu belegen. Hinweise zur Ausführung von WU-Betonbauwerken mit FBV-Systemen können Abschnitt 5 entnommen werden.

- Es hat sich bewährt, dass der Planer die Bauausführung aller für die Wasserundurchlässigkeit wesentlichen Arbeiten des WU-Betonbauwerks nach dem qualitätssichernden Vier-Augen-Prinzip überwacht (Leistungsphase 8 nach HOAI).

#### Hinweise beim Einsatz von Elementwänden:

- Die Entscheidung für den Einsatz von Elementwänden muss so früh wie möglich (in der Regel in der Entwurfsplanung) getroffen werden, vgl. dazu auch die Hinweise in Abschnitt 5.
- Bei der Verwendung von Elementwänden ist aus Gründen einer besseren Betonierbarkeit eine Mindestdicke von 30 cm zu empfehlen, wenn in der Ortbetonergänzung ein Fugenabdichtungssystem und eine Anschlussbewehrung liegen. Zur Sicherstellung der Betonierbarkeit und des fachgerechten Einbaus von innenliegenden Fugenabdichtungen gelten nach WU-Richtlinie [1] besondere Anforderungen an die lichten Innenmaße  $b_{w,i}$  (zwischen den Bewehrungslagen und bei Elementwänden ohne Bewehrung zwischen den Innenflächen der Fertigteilplatten). Bei Elementwänden führen diese lichten *Innenmaße*  $b_{w,i}$  in vielen Fällen zu dickeren Bauteilen als die Mindestdicken nach WU-Richtlinie [5].
- Bei der Verwendung von Elementwänden werden die Elementstoßfugen in der Regel als Sollrissfugen mit Dichtelement ausgebildet. Die Möglichkeit, eine nur einreihige Anschlussbewehrung vorzusehen oder sogar auf eine Anschlussbewehrung zu verzichten, sollte mit dem Ziel einer besseren Betonierbarkeit geprüft werden, vgl. lichte Innenmaße  $b_{w,i}$ .

## 5 Bauausführende

WU-Betonbauwerke erfordern – wie jede Art der Abdichtung gegen Wasser – besondere Sorgfalt bei der Ausführung. Das im Detail geplante WU-Betonbauwerk soll deshalb von Fachunternehmen ausgeführt werden.

Vor der Bauausführung müssen die ausführbaren Planunterlagen mit allen für das WU-Betonbauwerk relevanten Details vorliegen. Noch vorhandene Unklarheiten oder fehlende Detailplanung wie z. B. der Hinweis auf Ausführungsplänen »Arbeitsfugen nach Festlegung des bauausführenden Unternehmens« sollten bei WU-Betonbauwerken nicht akzeptiert und eine vollständige und plausible Planung eingefordert werden.

Sind im Leistungsumfang des Bauausführenden auch Leistungen für die Planung von WU-Betonbauwerken enthalten, sollte der Bauausführende einen geeigneten Planer beauftragen, um das Haftungsrisiko für die Planung abzugeben.

Werden vom Bauunternehmen Änderungen vorgeschlagen (z. B. Verwendung von *Elementwänden* anstatt der vorgesehenen Ortbetonkonstruktion), muss die Planung durch einen

Planer (Objekt- und Tragwerksplaner) angepasst werden. Der Einfluss auf die Planungskosten, die Bauzeit und die Risikoübernahme sind zu berücksichtigen.

Empfohlen wird ein Betonstartgespräch. Ausführende und Betontechnologen sollten spätestens jetzt die sich aus dem Entwurfsgrundsatz und der Konstruktion ergebenden ausführung- und betontechnischen Maßnahmen abstimmen und einen Betonierplan erstellen. Aus betontechnischer Sicht bedeutet dies, dass die Vorgaben der WU-Planung hinsichtlich einer Unterlage für die WU-Bodenplatte (Sauberkeitsschicht, Dämmung, Gleitschicht etc.), der Expositionsklassen, der WU-Eigenschaften des Betons, der Betondruckfestigkeitsklasse, der vorgegebenen Festigkeitsentwicklung, der Hydratationswärmeentwicklung und des Schwindens in entsprechende Betoneigenschaften umzusetzen sind. Der Betonierplan umfasst im Wesentlichen Vorgaben zu Betonierabschnitten, zur Höhe der erforderlichen Anschlussmischung (Beton mit reduziertem Größtkorndurchmesser), zur Höhe der Schüttagelagen, zur Fallhöhe (bzw. Länge der Fallrohre oder Einbauschläuche), zu Einfüll- und Rüttelöffnungen, zu Art und Anzahl der Verdichtungsgeräte (Rüttler), zur erforderlichen Rütteldauer, zum Zeitpunkt des Nachverdichtens und zur Art und Dauer der Nachbehandlung. Die logistischen Randbedingungen, die Bauteildicke und die während der Ausführung zu erwartenden Witterungseinflüsse sind in die Überlegungen mit einzubeziehen.

Besonders zu berücksichtigen ist das Entstehen und Abfließen von Hydratationswärme, insbesondere bei massigen Bauteilen (z. B. dicken Bodenplatten), vgl. hierzu DAfStb-Richtlinie »Massige Bauteile aus Beton« [11].

Fugenabdichtungssysteme (z. B. Fugenbleche, Fugenbänder, Injektionsschlauchsysteme), andere Abdichtungen (z. B. streifenförmige außenliegende Fugenabdichtungen) oder Frischbetonverbundsysteme gemäß WU-Planung sind fachgerecht lagerichtig und stabil einzubauen. Die für das wasserdichte Verbinden von Fugenabdichtungen geltenden Regelungen aus allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnissen, Normen und der WU-Richtlinie sind zu beachten.

Die Nachbehandlung ist Teil des Betonierplans. Insbesondere in der kalten Jahreszeit oder bei dicken Bauteilen kann zudem eine auf die Planung abgestimmte thermische Nachbehandlung, z. B. durch Auflegen von Wärmedämmmatten erforderlich werden. Die thermische Nachbehandlung (Zeitpunkt Auflegen und Entfernen der Wärmedämmmatten) muss sorgfältig in Abstimmung mit dem Planer geplant werden.

Insbesondere sind bei der Ausführung zu beachten:

### Bewehrungsarbeiten

- Geeignete Abstandshalter für WU-Betonbauwerke verwenden. Diese müssen der Vorgabe des Planers entsprechen.
- Auf einen ausreichenden Abstand der Bewehrung zu Fugenabdichtungssystemen ist zu achten (Vorgabe der Planung).

### Schalung

Die Dichtigkeit der Schalung verhindert das Auslaufen von Zementleim. Insbesondere im Anschlussbereich Boden – Wand kann durch auslaufenden Zementleim die Dichtigkeit des WU-Betonbauteils (Einbindung Fugenabdichtung) beeinträchtigt werden.

### Fugenabdichtungssysteme

- Alle Elemente des Fugenabdichtungssystems müssen gegen Verschieben und Umknicken sowie gegen Beschädigungen vor, während und nach der Betonage gesichert werden.

- Arbeitsfugen und Fugenabdichtungssysteme sind vor und nach dem Betonieren sorgfältig zu säubern und zu kontrollieren. Mörtelanreicherungen sind unmittelbar nach der Betonage zu entfernen.

### Betoneinbau

- Der Beton muss so eingebaut und verdichtet werden, dass ein monolithisches und dichtes Betongefüge ohne Fehlstellen entsteht. Eine auf die Konsistenz abgestimmte Verdichtung (in der Regel durch Rütteln) gewährleistet, dass insbesondere in Fugenbereichen die Bewehrung und Fugenabdichtungssysteme dicht umschlossen werden. Die Vernadelung der einzelnen Betonierlagen (ca. 50 cm pro Lage) muss zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein, um unplanmäßige »kalte« Fugen auszuschließen, hierbei ist unter Umständen der Einsatz eines Betonverzögerers sinnvoll.
- Der Beton darf nicht übermäßig *Bluten*, damit »Wassersäcke« unter horizontaler Bewehrung oder Mörtelanreicherungen an Fugenabdichtungsstrukturen vermieden werden. Ein übermäßiges Bluten kann durch Begrenzung der Blutwassermenge, z. B. auf  $6 \text{ kg/m}^3$  (Bluteimerverfahren nach DBV-Merkblatt »Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton« [12]) vermieden werden. Dies muss vertraglich mit dem Betonlieferanten vereinbart werden. Eine Blutwassermenge kleiner als  $6 \text{ kg/m}^3$  wird üblicherweise bei einem Beton der Druckfestigkeitsklasse C30/37 mit einem maximalen Wassergehalt von  $175 \text{ kg/m}^3$  eingehalten.
- Die freie Fallhöhe des Betons sollte 100 cm möglichst nicht übersteigen (Verwendung von Einbaurohren oder -schläuchen, die erst unmittelbar über der Verarbeitungsstelle enden, ansonsten ist nach WU-Richtlinie [1] eine Anschlussmischung zwingend gefordert).

### Elementwände

- *Elementwände* müssen so transportiert, entladen, gelagert und montiert werden, dass sie nicht beschädigt werden. Elemente mit für die Dichtigkeit relevanten Beschädigungen sind entweder auszusortieren oder fachgerecht instand zu setzen.
- Die Innenoberflächen der Fertigteilplatten müssen vollflächig rau sein und eine *mittlere Rautiefe* von mindestens 1,5 mm aufweisen. Dies ist nach [1] bei Anlieferung auf der Baustelle visuell zu prüfen, im Zweifelsfall zu messen (z. B. Sandflächenverfahren) und zu dokumentieren. Elemente mit nicht ausreichender Rauigkeit dürfen nicht verwendet werden.
- Die Innenflächen der Fertigteilplatten sind vor dem Betonieren ausreichend vorzunässen (matt feucht). Stehendes Wasser in der Arbeitsfuge Wand/Bodenplatte ist zu entfernen. Das Vor-nässen muss nach WU-Richtlinie [1] dokumentiert werden. Die Oberflächentemperatur der Fertigteilplatten muss beim Vor-nässen und während des Betonierens über  $0^\circ\text{C}$  liegen.
- Zur Erzielung dichter Fugen ist auf ausreichende Verdichtung des Betons zu achten (siehe Hinweis *Betoneinbau*).

### Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgt nach den Vorgaben des Betonierplans.

### Eigenüberwachung durch das Bauunternehmen

- Betone für WU-Betonbauwerke werden der Überwachungskategorie 2 nach DIN 1045-3 [13] zugeordnet. Erforderliche Prüfungen und Dokumentationspflichten können DIN 1045-3,

Anhang NB [13] entnommen werden.

Bei WU-Bauteilen ist eine über die DIN 1045-3 [13] hinausgehende Eigenüberwachung durch das Bauunternehmen mit Unterstützung z. B. eines Betontechnologen zu empfehlen. Hierzu zählen, z. B.:

- die Überprüfung der Konsistenz durch die Ermittlung des Ausbreitmaßes bei jedem Fahrzeug mit Untersuchungen des Wassersaumes auf dem Ausbreittisch,
- die Überprüfung des Wassergehalts durch Darrversuche (z. B. Mikrowellendarren nach [12]),
- die Überprüfung der Wasserabsonderung (Bluten) durch den »Bluteimertest« nach [12].

Weitere für die Wasserundurchlässigkeit relevante Punkte (z. B. Fugenabdichtungen) sind im Sinne einer Qualitätssicherung laufend zu kontrollieren und zu dokumentieren.

### Überwachung der Bauausführung

Es hat sich bewährt, dass der Planer die Bauausführung aller für die Wasserundurchlässigkeit wesentlichen Arbeiten des WU-Betonbauwerks nach dem qualitätssichernden Vier-Augen-Prinzip überwacht (Leistungsphase 8 nach HOAI).

### Ausführung von Frischbetonverbundsystemen (FBV-Systeme) in Verbindung mit WU-Betonbauwerken

Die Baustelle (Rohbaugewerk) sowie ggfs. auch die Nachfolgegewerke müssen über die Besonderheiten bei der Verwendung von FBV-Systemen informiert werden. Der Bauablauf muss auf die

Verwendung von FBV-Systemen abgestimmt sein.

Für die Funktionstüchtigkeit von FBV-Systemen in Verbindung mit WU-Betonbauwerken ist es entscheidend, dass die FBV-Systemkomponenten zu einem dichten System gefügt sind und durch Verbund einen vollflächigen Hinterlaufschutz zwischen FBV-System und WU-Betonbauwerk entsteht, vgl. [14].

Eine Qualitätsüberwachung sollte in mehreren Arbeitsschritten durchgeführt werden, da es durch nachfolgende Gewerke zu Beschädigungen der eingebauten FBV-Systeme kommen kann, vgl. [15], [16]:

1. Vor der Verlegung des FBV-Systems,
2. Nach der Verlegung des Frischbetonverbundsystems,
3. Nach der Verlegung der Bewehrung vor der Betonage,
4. Wo möglich abschließende Kontrolle nach dem Ausschalen und vor der Verfüllung des Arbeitsraums.

Insbesondere sind bei der Qualitätsüberwachung folgende Punkte zu beachten:

- Schutz des verlegten FBV-Systems vor Verschmutzung (insbesondere in der Arbeitsfuge und Boden-Wand-Fuge) und vor Beschädigungen,
- Kontrolle vor der Betonage auf Beschädigungen und ggf. Reparatur nach Herstellerangaben,
- Kontrolle auf Sauberkeit und Entfernen von eventuellen Verschmutzungen, ausgelaufener Zementschlämme und Wasseransammlungen,
- Einhaltung der Ausschalfristen, insbesondere bei Wänden und Festlegung eines baustellengerechten Anfüllschutzes.

## 6 Glossar

**Beanspruchungsklasse:** Art der Beaufschlagung des Bauwerks oder Bauteils mit Feuchte oder Wasser nach WU-Richtlinie [1].

- Beanspruchungsklasse 1: ständig oder zeitweise drückendes Wasser, auch zeitweise aufstauendes Sickerwasser;
- Beanspruchungsklasse 2: Bodenfeuchte (kapillar im Boden gebundenes Wasser) und an der Wand frei ablaufendes Wasser (nicht stauendes Sickerwasser).

Die Beanspruchungsklasse zusammen mit dem Bemessungswasserstand ist vom Sachverständigen für Geotechnik verantwortlich festzulegen, vgl. WU-Richtlinie [1], Anhang A, Tabelle A.1.

**Bedarfsplanung:** methodische Ermittlung der Wünsche und Bedürfnisse von Bauherren und Nutzern, zielgerichtete Aufbereitung als Bedarf und Umsetzung in bauliche Anforderungen. Hilfestellung gibt DIN 18205 »Bedarfsplanung im Bauwesen« [17].

**Begrenzung des Wasserdurchtritts:** siehe Nutzungsklasse B und Selbstheilung

**Bemessungswasserstand (höchster planmäßiger Wasserstand):** Der Bemessungswasserstand ist der höchste innerhalb der planmäßigen Nutzungsdauer zu erwartende Wasserstand (Grundwasser, Schichtenwasser, Hochwasser). Der Bemessungswasserstand ist unter Berücksichtigung langjähriger Beobachtungen und zu erwartender zukünftiger Gegebenheiten (z. B. ein zu erwartender Anstieg des Grundwasserstandes) zu ermitteln. Gemäß DAfStb-Heft 555 [2] sollte, wenn keine langjährigen Be-

obachtungen vorliegen oder die zu erwartenden künftigen Gegebenheiten (»Blick in die Zukunft«) nicht abgeschätzt werden können, der Bemessungswasserstand auf der sicheren Seite liegend auf Höhe der Geländeoberkante angesetzt werden.

Die Beanspruchungsklasse zusammen mit dem Bemessungswasserstand ist vom Sachverständigen für Geotechnik verantwortlich festzulegen, vgl. WU-Richtlinie, Anhang A, Tabelle A.1.

**Betone mit hohem Wassereindringwiderstand:** Nach DIN 1045-2 [18], Abschnitt 5.5.3 sind die Anforderungen an Betone mit einem hohen Wassereindringwiderstand bei Bauteildicken bis 40 cm wie folgt definiert:  $(w/z)_{eq} \leq 0,60$ , Mindestzementgehalt  $280 \text{ kg/m}^3$ , bei Anrechnung von Zusatzstoffen  $270 \text{ kg/m}^3$ , Mindestdruckfestigkeitsklasse C25/30, vgl. [18]. Beim Ausnutzen der Mindestdicken (Mindestdicken + maximal 15 %) und Beanspruchungsklasse 1 nach WU-Richtlinie [1]:  $(w/z)_{eq} \leq 0,55$ . Bei Bauteildicken über 40 cm können nach [18] auch höhere  $(w/z)_{eq}$ -Werte in Betracht kommen.

**Bluten von Betonen:** Wasserabsonderung an der Betonoberfläche infolge Sedimentation von Feststoffen. Folgen: lokale Änderung des Wasserzementwerts, Anreichern einer wasserhaltigen Schlämme an der Bauteiloberfläche, Setzen des Frischbetons und damit einhergehend evtl. Bildung von »Wassersäcken« unter der oberen Bewehrung sowie Verbundstörungen. Weitere Hinweise zum Bluten von Betonen können [12] entnommen werden.

### Chemische Zusammensetzung des anstehenden Wassers:

Aus der chemischen Zusammensetzung gemäß Bodengutachten ist sofern zutreffend die Einstufung hinsichtlich chemischem Betonangriff, Expositionsklassen XA1 bis XA3 gemäß DIN EN 206-1 / DIN 1045-2 [18], Tabelle 2, anzugeben. Falls der Sulfatgehalt des Grundwassers > 600 mg/l beträgt, ist dieser zusätzlich zur XA Klasse anzugeben. Bei XA3 sind in der Regel zusätzliche Schutzmaßnahmen für den Beton erforderlich. Ist eine Einstufung in eine XA Klasse erforderlich, ist im Einzelfall zu prüfen, ob eine Selbstheilung möglich ist. Für angreifende Wässer mit >40 mg/l CO<sub>2</sub> (kalklösende Kohlensäure) oder mit pH-Wert <5,5 darf nach [1] die Selbstheilung der Risse ebenfalls nicht in Ansatz gebracht werden.

**Drückendes Wasser:** siehe unter »Beanspruchungsklasse«

**Elementwände** (auch: Dreifachwände, Hohlwände, Doppelwände): Hierbei handelt es sich um zwei Betonfertigteileplatten, die über Gitterträger miteinander verbunden sind. In den Zwischenraum wird nach dem Einbau der Elementwände auf der Baustelle Ort beton eingebracht und verdichtet, sodass sich nach dem Erhärten ein monolithisches Bauteil ergibt. Voraussetzung für den flächigen Verbund der Ortbetonergänzung mit den beiden Fertigteileplatten ist eine ausreichende Rauigkeit der vorgehärteten Innenflächen der Fertigteileplatten sowie die fachgerechte Betonage. Die Rauigkeit wird u. a. auch mit dem Begriff der »mittleren Rautiefe« beschrieben. Bei fehlendem Verbund zwischen Ortbetonergänzung und Fertigteileplatte kann sich z. B. durch Risse eindringendes Wasser in der Verbundfuge ausbreiten. Die Undichtigkeit ist in einem solchen Fall nur schwierig und mit viel Aufwand zu lokalisieren. Eine Instandsetzung ist entsprechend teuer. Die Mindestdicken von Elementwänden sowie die lichten Abstände  $b_{w,i}$  zwischen den beiden Fertigteileplatten bzw. zwischen den Bewehrungslagen in der Ortbetonergänzung sind gemäß [1] einzuhalten. Weitere Hinweise zu Elementwänden können [1] und [6] entnommen werden.

**Entwurfsgrundsätze hinsichtlich Trennrissen:** siehe Risse in WU-Betonbauwerken

**Frischbetonverbundsysteme (FBV-Systeme):** FBV-Systeme sind vorzuinstallierende Systeme für Betonbauwerke. FBV-Systeme bestehen aus einer dehnfähigen Dichtungsschicht mit einer darauf applizierten Verbundschicht. Sie werden auf einer ebenen Unterlage (z. B. eine glatt abgezogene Sauberkeitsschicht ohne hervorstehende Grate etc.) in Bahnen verlegt und gemäß abP zu einer dauerhaft dichten Hülle zusammengefügt. Nach Verlegen der Bewehrung erfolgt die Betonage des WU-Betonbauteils. Der Beton verbindet sich während seiner Erhärtung mit dem FBV-System. Dadurch entsteht eine hinterlaufsichere Hülle. Während aller Arbeitsschritte ist zur Sicherstellung der Hinterlaufsicherheit insbesondere auf die Sauberkeit des Frischbetonverbundsystems zu achten. Der Einsatz von FBV-Systemen in Verbindung mit WU-Betonbauwerken kann dann von Vorteil sein, wenn:

- Trennrisse im Beton konzeptionell nicht ausgeschlossen werden können und eine nachträgliche Injektion von Rissen nicht gewollt oder möglich sind, weil zum Beispiel die Zugänglichkeit zur Bauteilinnenfläche nicht gegeben ist,
- Trennrisse im Beton konzeptionell nicht ausgeschlossen werden können, vor Nutzungsbeginn nicht zielsicher erkennbar sind (z. B. bei Wasserwechselzonen),

- ein Schutz der Betonkonstruktion z. B. bei betonangreifendem Grundwasser erforderlich ist,
- ein besonderer Schutz vor Radon oder Methangas gewünscht wird,
- ein WU-Betonbauwerk als direkt befahrene Parkfläche ausgeführt wird, z. B. mit einer luftseitig aufgetragenen rissüberbrückenden Beschichtung zum Schutz der Konstruktion vor chloridhaltigen Wässern aus dem Parkbetrieb.

Die Planung von WU-Betonbauwerken in Verbindung mit FBV-Systemen erfolgt meist nach Entwurfsgrundsatz [a] oder [c] favorisiert wird aktuell der Entwurfsgrundsatz [c]. Das FBV-System stellt in diesem Fall eine »vorweggenommene planmäßige« Abdichtung der Risse dar und kann aus technischer Sicht die sonst übliche *Injektion von Rissen* ersetzen.

Die Verwendung von FBV-Systemen ist derzeit jedoch weder in der DIN 18533 [10] noch in der WU-Richtlinie [1] geregelt. Somit entspricht die Verwendung von FBV-Systemen derzeit nicht den anerkannten Regeln der Technik. Planung, Ausschreibung und Ausführung erfolgt derzeit auf der Grundlage bauaufsichtlicher Prüfzeugnisse. Der Einsatz von FBV-Systemen muss nach Aufklärung durch den Planer mit dem Bauherrn und ggfs. sonstigen Beteiligten abgestimmt werden. Die Aufklärung, die Abstimmung und die Zustimmung des Bauherrn zur Verwendung von FBV-Systemen sollte unbedingt dokumentiert werden.

Betonkonstruktion und FBV-Systeme müssen »ganzheitlich« geplant werden. Dazu gehört der Nachweis der Verwendungseignung und der Verträglichkeit aller eingesetzten Komponenten im Verbund. FBV-Systeme sollten nur von zertifizierten Fachunternehmen verarbeitet werden. Weitere Hinweise zu FBV-Systemen können den Abschnitten »Planung« und »Bauausführung« entnommen werden. Praktische Erfahrungen bei Verwendung von FBV-Systemen können unter anderem [14], [15] und [16] entnommen werden.

**Fugenabdichtungssysteme:** Fugen und Fugenabdichtungssysteme sind zu planen. Nach WU-Richtlinie [1] sind Fugen und Durchdringungen dauerhaft planmäßig wasserdicht auszubilden, d. h., in der Regel mit einem Fugenabdichtungssystem zu versehen. Ein Wasserdurchtritt ist nicht zulässig.

Als Abdichtung können innenliegende Fugenabdichtungssysteme (in Abhängigkeit der Fugenart, z. B. Fugenbleche oder Fugenband, u. a.) oder außenliegende Fugenabdichtungssysteme (Fugenband, Adhäsionsdichtung) zur Anwendung kommen. Die Fugenabdichtung muss als geschlossenes, lückenloses Abdichtungssystem ausgebildet werden. Adhäsionsdichtungen können nur dann zur Ausführung kommen, wenn die Zugänglichkeit des Bauwerks an der Außenseite (ausreichend breiter Arbeitsraum!) umlaufend gegeben ist.

Die Verwendungseignung von Fugenabdichtung muss nachgewiesen werden. Fugenbänder nach DIN 7865 [19] und DIN 18541 [20] dürfen nur nach den Verwendungsregeln von DIN 18197 [8] eingesetzt werden, die Verwendung von unbeschichteten Fugenblechen ist in der WU-Richtlinie [1] geregelt. Für alle anderen Fugenabdichtungssysteme ist nach [1] ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) als Verwendungsnachweis vorzulegen. Gültige bauaufsichtliche Prüfzeugnisse sind unter [www.abp-fugenabdichtungen.de](http://www.abp-fugenabdichtungen.de) aufgelistet.

Zwischen innenliegenden Fugenabdichtungssystemen (z. B. Fugenbänder, Fugenbleche) und der Bewehrung muss ein lichter Abstand von mindestens 20 mm eingehalten werden. Dies gilt insbesondere auch für außenliegende Fugenbänder. Der lichte

Abstand zwischen der Anschlussbewehrung und einem innenliegenden Fugenband sollte nach [8] mindestens 50 mm betragen. Weitere Hinweise zu Fugenabdichtungssystemen können z. B. [7] entnommen werden.

**Hochwertige Nutzung:** siehe »Nutzungsklassen«

**Hoher Wassereindringwiderstand:** siehe Beton mit hohem Wassereindringwiderstand

**Injektion (Verpressen):** Das Abdichten von wasserführenden Trennrissen (vgl. Risse) oder sonstigen Undichtigkeiten nach [1] durch Injektion mit Materialien gemäß DAfStb Richtlinie »Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen« (Instandsetzungsrichtlinie) [21]. Injektionen werden in der Regel von innen durchgeführt, dazu muss die Zugänglichkeit zur Bauteiloberfläche gegeben sein.

Bei der Injektion von wasserführenden Rissen kann es sich um eine zum Entwurf gehörende planmäßige Maßnahme handeln (EGS  $\square$ ). Es kann sich auch um eine Maßnahme zum Abdichten von außerplanmäßigen Rissen oder sonstigen Undichtigkeiten handeln. In jedem Fall sind Injektionsmaßnahmen von einem sachkundigen Planer nach DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie [21] zu planen (Injektionsmaterialien, Verfahren, Anordnung von Bohrkanälen, etc.). Hinweis: Die DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie gilt nur bis zur Einführung der DAfStb-Instandhaltungsrichtlinie.

**Innenmaße  $b_{w,i}$ :** Für Ortbeton- oder Elementwände bei Beanspruchungsklasse 1 gelten über die empfohlenen Mindestdicken nach WU-Richtlinie [1] hinaus besondere Anforderungen an die lichten Innenmaße  $b_{w,i}$  zwischen den Bewehrungslagen und bei Elementwänden ohne Bewehrung in der Ortbetonergänzung zwischen den Innenflächen der Fertigteilplatten zur Sicherstellung der Betonierbarkeit und eines fachgerechten Einbaus von innenliegenden Fugenabdichtungen. (Hinweis:  $D_{max}$  – Durchmesser des Größtkorns der Gesteinskörnung)

bei  $D_{max} = 8 \text{ mm}$ :  $b_{w,i} \geq 120 \text{ mm}$ ;  
 bei  $D_{max} = 16 \text{ mm}$ :  $b_{w,i} \geq 140 \text{ mm}$ ;  
 bei  $D_{max} = 32 \text{ mm}$ :  $b_{w,i} \geq 180 \text{ mm}$ .

In vielen Fällen führen die genannten Mindestabstände aufgrund der Anforderung zur Betonierbarkeit zu dickeren Bauteilen als die Mindestdicken nach WU-Richtlinie [1], [5].

**Mittlere Rautiefe:** Maß für die Rauigkeit einer Oberfläche, hier speziell für die Innenflächen der beiden Fertigteilplatten bei Elementwänden. Die Rautiefe kann mit dem Sandflächenverfahren nach Kaufmann bestimmt bzw. überprüft werden. Allerdings ist das Verfahren nur bei horizontalen Flächen anwendbar. Nach der WU-Richtlinie 2017 [1] muss die Rauigkeit der Elementwände im Lieferwerk regelmäßig kontrolliert werden.

Auf der Baustelle ist eine stichprobenartige Sichtprüfung der mittleren Rautiefe vorzunehmen und die Messung im Zweifelsfall. Für weitere Hinweise vgl. auch [6].

**Nutzungsklassen:** In der WU-Richtlinie [1] sind unterschiedliche Nutzungsklassen für WU-Betonbauwerke definiert:

- Nutzungsklasse A: Feuchstellen auf der luftseitigen Bauteiloberfläche als Folge von Wasserdurchtritt sind nicht zulässig (kein Wasserdurchtritt);
- Nutzungsklasse B: Feuchstellen auf der luftseitigen Bauteiloberfläche (im Sinne von feuchtebedingten Dunkelverfärbungen, ggfs. Bildung von Wasserperlen an diesen Stellen) als Folge von Wasserdurchtritt sind zulässig (begrenzter Wasserdurchtritt). Nicht zulässig ist nach [1] ein Wasserdurchtritt, der zum Abfließen oder Abtropfen von Wassertropfen oder zu Pfützenbildung führt.

Die Nutzungsklasse ist durch den Planer unter Mitwirkung des Bauherrn (vgl. WU-Richtlinie [1], Anhang A, Tabelle A.1) festzulegen. Sie ist die Grundlage für den Entwurf, die Konstruktion und die weitere Planung von WU-Betonbauwerken. Der Bauherr muss die von ihm vorgesehene Nutzung benennen.

Die Nutzungsklasse B ist z. B. für Parkhäuser, in die ohnehin durch den PKW-Verkehr Wasser eingetragen wird, oder sonstige »Feuchträume«, wie Schächte ö. ä. gedacht. WU-Betonbauwerke der Nutzungsklasse B sind weniger aufwendig und daher in der Regel kostengünstiger als WU-Betonbauwerke der Nutzungsklasse A.

Nach DAfStb-Heft 555 [2] ist standardmäßig im Wohnungsbau von Nutzungsklasse A auszugehen, dies gilt auch für übliche Keller. Zu beachten ist, dass bei Nutzungsklasse A gemäß WU-

**Tabelle 1:** Differenzierung der Nutzungsklasse A in Abhängigkeit von raumklimatischen Anforderungen [4]

	1	2	3	4	5
	Unterklasse	Raumnutzung	Raumklima (i.d.R.)	Beispiele (informativ)	Maßnahmen (informativ)
1	A***	anspruchsvoll	warm, sehr geringe Luftfeuchte, geringe Schwankungsbreite der Klimawerte	Archive, Bibliotheken, Technikräume mit feuchteempfindlichen Geräten (Labor, EDV usw.), Lager für stark feuchte- oder temperatur-empfindliche Güter	Wärmedämmung nach EnEV <sup>3)</sup> , Heizung, Zwangslüftung, Klimaanlage (Luftentfeuchtung)
2	A**	normal	warm, geringe Luftfeuchte, mäßige Schwankungsbreite der Klimawerte	Räume für dauerhaften Aufenthalt von Menschen wie Versammlungs-, Büro-, Wohn-, Aufenthalts- oder Umkleieräume, Verkaufstäten, Lager für feuchteempfindliche Güter, Technikzentralen	Wärmedämmung nach EnEV <sup>3)</sup> , Heizung, Zwangslüftung, ggf. Klimaanlage
3	A*	einfach	warm bis kühl, natürliche Luftfeuchte, große Schwankungsbreite der Klimawerte	Räume für zeitweiligen Aufenthalt von wenigen Menschen, ausgebauter Kellerräume, wie Hobbyräume, Werkstätten, Waschküche im Einfamilienhaus, Wäschetrockenraum, Abstellräume	Wärmedämmung nach EnEV <sup>3)</sup> , ggf. ohne Heizung, natürliche Lüftung (Fenster, Lichtschächte, ggf. nutzerunabhängig)
4	A <sup>01)</sup>	untergeordnet	keine Anforderungen	einfache Technikräume (z. B. Hausanschlussraum)	–

<sup>1)</sup> entspricht der WU-Richtlinie [1], 5.3 (2). u.U. ist eine Einordnung in Nutzungsklasse B möglich  
<sup>2)</sup> Baukonstruktive Anforderungen an die Zugänglichkeit der umschließenden Bauteile sind immer zu beachten.  
<sup>3)</sup> EnEV: Energieeinsparverordnung

Richtlinie [1] lediglich der Wasserdurchtritt durch die Konstruktion unzulässig ist. Bestehen zusätzliche Anforderungen aus Nutzung an das Raumklima (Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit), ist eine der Nutzungsklassen A\* bis A\*\*\* nach dem DBV Merkblatt »Hochwertige Nutzung von Untergeschossen« [4] festzulegen. In [4] sind Nutzungsklassen gemäß Tabelle 1 definiert:

Für Kellerräume mit üblicher Nutzung (z. B. Abstellräume, Mietkeller) im allgemeinen Hochbau sollte als »Normalfall« die Nutzungsklasse A\*\* angesetzt werden um insbesondere Kondensfeuchte auf den Innenwänden zu vermeiden. Dazu ist beispielsweise eine Dämmung der Außenwände, eine Heizung und / oder Lüftung bzw. ggfs. eine Entfeuchtung erforderlich, vgl. [3].

**Reduzierung von Verformungen:** Betonbauteile erwärmen sich während der Hydratation (Erhärtungsphase) und dehnen sich dabei aus. Ist der Hydratationsprozess abgeschlossen, fließt die Hydratationswärme ab und die Betonbauteile verkürzen (= verformen) sich. Weitere Verformungen können durch jahreszeitliches Erwärmen und Abkühlen entstehen. Auch durch Austrocknungsprozesse (Schwinden) verkürzen (= verformen) sich Betonbauteile. Verformungen können reduziert werden, indem eine Betonzusammensetzung gewählt wird, die während der Hydratation möglichst wenig Wärme entwickelt und im maximalen Wassergehalt begrenzt ist. Das Schwinden kann durch eine geeignete Betonzusammensetzung reduziert, jedoch nicht vermieden werden. Ist ein Betonbauteil der Witterung oder jahreszeitlich bedingten Temperaturdifferenzen ausgesetzt, werden auch jahreszeitlich bedingte Verformungen auftreten.

**Risse im Stahlbetonbau:** Risse sind typisch für die Bauart Stahlbeton. Die Dauerhaftigkeit (und damit die Tragfähigkeit) und die Gebrauchstauglichkeit sind in der Regel dann nicht eingeschränkt, wenn entweder Risse in ihrer Breite begrenzt werden oder breite Risse mit planmäßigen Maßnahmen geschlossen werden. Bei WU-Bauwerken kann eine darüber hinaus gehende Reduzierung der *Rissbreite* erforderlich werden (*Risse in WU-Betonbauwerken*). Grundsätzlich muss zwischen der rechnerischen Rissbreite gemäß [22] und den Ist-Rissbreiten am Bauwerk unterschieden werden. Rechenwerte der Rissbreite sind grundsätzlich nur als Anhaltswerte zu verstehen, deren gelegentliche geringfügige Überschreitung im Bauwerk nicht ausgeschlossen werden kann. Aus Bild1 kann entnommen werden, dass beispielsweise bei einer rechnerischen Rissbreite von  $w_k =$

0,20 mm ca. 20 % aller am Bauwerk möglichen Risse im abgeschlossenen Rissbild Breiten größer als 0,20 mm aufweisen können. Die rechnerische Rissbreite ist definiert als mittlere Breite im Wirkungsbereich der Bewehrung und weicht in der Regel von der an der Bauteiloberfläche messbaren Breite ab. Weitere Informationen zu Rissen enthält DAFStb-Heft 600 – Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2) [23] und das DBV-Merkblatt »Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau« [24].

**Risse in WU-Betonbauwerken:** Siehe »Risse im Stahlbetonbau« mit folgenden Ergänzungen: Bei WU-Betonbauwerken kann Wasser durch Trennrisse (Risse, die die WU-Betonbauwerke auf der gesamten Dicke durchtrennen) eindringen. Deshalb muss bereits bei der Planung ein Entwurfsgrundsatz (EGS) hinsichtlich Trennrisse festgelegt werden. Bei WU-Betonbauwerken müssen Trennrisse entweder vermieden werden (EGS  $\bar{a}$ ), in ihrer Breite so begrenzt werden, dass bei Beanspruchungsklasse 1 der Wasserdurchtritt infolge Selbstheilung (siehe »Selbstheilung«) begrenzt wird (EGS  $\bar{b}$ ) oder durch planmäßige Maßnahmen abgedichtet werden (EGS  $\bar{c}$ ), vgl. auch unter *WU-Betonbauwerk*.

Um Trennrisse zu vermeiden (EGS  $\bar{a}$ ), sind konstruktive, betontechnische und ausführungstechnische Maßnahmen zur Reduzierung der Zwangsbeanspruchungen erforderlich. Das Ziel Trennrisse zu vermeiden ist wegen der Eigenschaften des Werkstoffs Stahlbeton (Schwinden, Hydratation) besonders anspruchsvoll. Der Entwurfsgrundsatz sichert keinesfalls die Rissfreiheit zu.

Entwurfsgrundsatz  $\bar{b}$  mit dem Ziel der Selbstheilung der Risse ist nur für Nutzungsklasse B und u. U. während der Bauzeit anwendbar. Wasserführende Trennrisse, die sich nicht selbst heilen, oder sonstige Risse können nachträglich abgedichtet werden (in der Regel durch Injektion), wenn die Zugänglichkeit zur WU-Konstruktion von innen gegeben ist. Die Abdichtungsmaßnahmen sind zu planen.

Bei EGS  $\bar{c}$  werden planmäßig breitere Risse zugelassen als bei EGS  $\bar{b}$ . Ziel dieses EGS ist es, die Anzahl der Risse zu minimieren. Die Risse werden mit planmäßigen, zum Entwurf gehörenden Maßnahmen vor Ausbau- bzw. Nutzungsbeginn abgedichtet, in der Regel durch (nachträgliche) *Injektion*.

Das Auffinden von Trennrissen ist dann einfach möglich, wenn diese wasserführend sind. Somit ist es von Vorteil, wenn eine evtl. Wasserhaltung so früh wie möglich abgestellt wird (Auftriebssicherheit beachten!). Eine Lokalisierung von während der Bauzeit trockenen aber nach Nutzungsbeginn potenziell wasserführenden Trennrissen ist im Regelfall nicht zielsicher möglich.

Für alle Entwurfsgrundsätze sind nach [1] planmäßig (bei der Ausschreibung und bei der Ausführungsplanung) Dichtmaßnahmen nach [1], Abschnitt 12 für unerwartet entstandene Trennrisse bzw. für Trennrisse, deren Breite über dem entwurfsmäßig festgelegten Wert liegt, vorzusehen.

**Selbstheilung von Rissen:** Verringerung des Wasserdurchtritts durch Trennrisse in Abhängigkeit von der Rissbreite und der Wasserdruckhöhe mit der Zeit, siehe auch unter *Risse in WU-Betonbauwerken*. Um Selbstheilung zu ermöglichen, müssen die Trennrissbreiten in Abhängigkeit des anstehenden Wasserdrucks begrenzt werden und die Risse langsam und fortwährend von Wasser durchströmt werden. Zudem muss die chemische Zusammensetzung des anstehenden Wassers (Grundwasseranalyse erforderlich) eine Selbstheilung ermöglichen. Bei zu breiten Rissen ist nicht mit einer Selbstheilung zu rechnen (*Risse im*

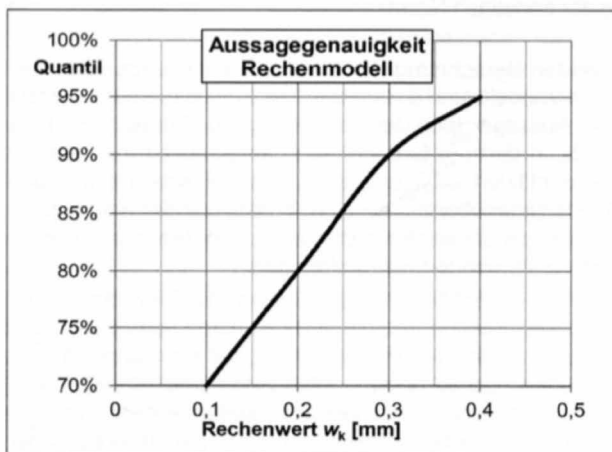


Abb. 1: Vorhersagegenauigkeit des Modells für die Rissbreitenbegrenzung nach DIN EN 1992-1-1/NA [24]



*Stahlbetonbau*). Zu beachten ist, dass durch Selbstheilung der Durchtritt von Wasser durch einen Trennriss begrenzt (*Begrenzter Wasserdurchtritt*) wird. Feuchte Rissufer und einzelne Wasserperlen im (geheilten) Riss sind also auch nach abgeschlossener Selbstheilung über die gesamte Nutzungsdauer möglich. In der WU-Richtlinie [1] wird deshalb bewusst von »Begrenzung des Wasserdurchtritts durch Selbstheilung« und nicht von »Abdichtung der Risse durch Selbstheilung« gesprochen. Selbstheilung benötigt Zeit.

Entwurfsgrundsatz [b] mit dem Ziel der Selbstheilung der Risse bei Beanspruchungsklasse 1 ist nur für Nutzungsklasse B und u. U. während der Bauzeit anwendbar.

**Schwarze Wanne:** Bei »Schwarzen Wannen« wird die Wasserdichtigkeit durch eine außen (= wasserseitig) angeordnete flächige Bauwerksabdichtung, z. B. eine Abdichtung aus Bitumenschweißbahnen, erreicht. Auch bei »schwarzen Wannen« ist eine auf die gewählte Abdichtungsbauart abgestimmte detaillierte Fachplanung und eine sorgfältige Ausführung entscheidend für den Erfolg. Die Fachplanung und Ausführung der Abdichtung von erdberührten Bauteilen erfolgt nach den Normen DIN 18195 [25] und DIN 18533 [10].

Bei evtl. Undichtigkeiten während der Nutzung muss bei Außenwänden zunächst eine Zugänglichkeit von außen hergestellt werden (Aufgraben). Soll bei einer »Schwarzen Wanne« die Bodenplatte außenseitig abgedichtet werden, dann muss die Dichtungsschicht unterhalb der Bodenplatte angeordnet, d. h., vor dem Bau des eigentlichen Tragwerkes eingebaut werden. Dichtungsschichten unterhalb von Bodenplatten sind später nicht mehr zugänglich, sodass eine Instandsetzung bei Undichtigkeiten kaum möglich bzw. sehr aufwendig und kostenintensiv werden kann.

In der Praxis werden auch »Mischkonstruktionen« geplant und ausgeführt, z. B. die Bodenplatte als WU-Betonbauwerk nach [1] und die Außenwände mit einer außenseitig angeordneten Abdichtung nach DIN 18915 [25] bzw. DIN 18533 [10]. Bei diesen »Mischkonstruktionen« muss insbesondere der Übergang der Außenabdichtung auf das WU-Betonbauwerk genau geplant werden und ein für die Verwendung geeignetes Bauprodukt eingesetzt werden.

**Verformungsbehinderungen:** Versprünge auf der Unterseite einer Bodenplatte, insbesondere Fundamentverstärkungen und Aufzugsunterfahrten, führen zu einer »Verkrallung« mit dem Untergrund und stellen somit Verformungsbehinderungen dar. Auch Reibung zwischen der Bodenplatte und unebenen, rauen Sauberkeitsschichten und Pfahlgründungen sind Verformungsbehinderungen. Wände, die z. B. direkt an einen unebenen Verbau anschließen (einhäutig geschaltete Wände z. B. an Schlitz- und Bohrpfahlwänden), sind ebenfalls in ihrer Verformung behindert.

Wenn Verformungen und Dehnungen, die infolge indirekter Einwirkungen entstehen (insbesondere abfließende Hydratationswärme und Schwinden bzw. Temperatureinwirkungen), behindert werden, entstehen Zwangsspannungen. Bei Zugspannungen infolge Zwang können Risse entstehen. Die auftretenden Zwangszugspannungen werden umso größer, je größer das Schwindmaß bzw. die Temperatureinwirkung und je stärker die Verformungsbehinderung ist.

Für den EGS [c] und vor allem bei Anstreben einer Rissvermeidung für den EGS [a] sind daher die Verformungsbehinderungen so weit wie möglich auf ein baupraktisch realistisches Maß zu reduzieren.

Dies erfordert ebene Bodenplattenunterseiten (z. B. flügelgeglättete Sauberkeitsschichten) in Verbindung mit reibungsmindernden Gleitschichten unterhalb der Bodenplatte (z. B. 2 Lagen PE-Folie), vgl. dazu auch [26] oder wirksame zusammendrückbare »Weichlagen« an Versprüngen der Bodenplattenunterseiten. Bei Wänden können die Verformungsbehinderungen durch die Herrichtung ebener Verbauf Flächen in Verbindung mit reibungsmindernden Trennlagen reduziert werden.

Durch Fugen können Bauteile unterteilt werden, sodass Zwangsbeanspruchungen »abgebaut« werden.

**WU-Betonbauwerk, WU-Wanne (auch Weiße Wanne):** Bei wasserundurchlässigen Konstruktionen aus Beton (WU-Betonbauwerk) übernimmt der Beton neben der tragenden Funktion auch die Abdichtungsfunktion in der Fläche. Dafür ist eine Mindestdicke der wasserberührten Betonbauteile einzuhalten und es muss ein Beton mit hohem Wassereindringwiderstand nach [18] bzw. [1] verwendet werden. Bei einem WU-Betonbauwerk müssen alle Fugen und Durchdringungen planmäßig wasserdicht ausgeführt werden.

Trennrisse müssen entweder vermieden werden, in ihrer Breite so begrenzt werden, dass der Wasserdurchtritt infolge Selbstheilung begrenzt werden oder durch planmäßige Maßnahmen abgedichtet werden kann. Da keine äußere Abdichtungsschicht erforderlich ist, kann diese auch nicht beschädigt oder durch Wasser hinterlaufen werden. Undichtigkeiten in Trennrissen und Arbeitsfugen sind bei Zugänglichkeit zur Betonkonstruktion von innen gut lokalisierbar und können in der Regel durch Injektion von innen mit geringem Aufwand abgedichtet werden.

WU-Betonbauwerke sind nach [1] im Detail zu planen, dazu gehört auch das Abdichten von planmäßigen und unerwartet entstandenen Trennrissen und sonstigen Undichtigkeiten.

**WU-Richtlinie:** Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) »Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton« [1]. Sie beinhaltet alle wesentlichen Punkte, die bei Planung, Konstruktion, Bemessung und Ausführung zu beachten sind. Die WU-Richtlinie der Ausgabe 2017 ersetzt die bis dahin gültige WU-Richtlinie 2003 inkl. der Berichtigung von 2006. Das Heft 555 des DAfStb [2] enthält wichtige Erläuterungen zur WU-Richtlinie. Es ist erstmals 2006 erschienen und bezieht sich demnach auf die WU-Richtlinie von 2003 mit der Berichtigung 2006. Derzeit (Dezember 2017) wird das Heft 555 überarbeitet und soll in 2018 mit Bezug auf die neue WU-Richtlinie 2017 [1] herausgegeben werden. Hinweise zur neuen WU-Richtlinie können z. B. [5] entnommen werden.

**Zwangsbeanspruchungen:** Entstehen dann, wenn Verformungen des Betonbauteils durch Verformungsbehinderungen behindert werden. Übersteigen die Zwangsbeanspruchungen die Zugfestigkeit (elastische Grenzdehnung) des Betons, entstehen Trennrisse. Zwangsbeanspruchungen können minimiert werden, wenn Verformungen und Verformungsbehinderungen reduziert werden.

## 7 Literatur

*Nachfolgend sind nur die aus Sicht der Verfasser wesentlichen Literaturstellen aufgelistet. Die Beachtung der umfangreichen Sekundärliteratur wird empfohlen.*

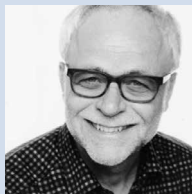
- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.: DAfStb-Richtlinie »Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton« (WU-Richtlinie), Ausgabedatum 12-2017
- [2] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie »Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton«, Heft 555, Beuth Verlag, 2006. Hinweis: Überarbeitete Neuausgabe voraussichtlich Ende 2018
- [3] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.: DBV Merkblatt »WU-Dächer«. Fassung 07/2013
- [4] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.: DBV Merkblatt »Hochwertige Nutzung von Untergeschossen – Bauphysik und Raumklima«. Fassung 01/2009
- [5] Alfes, C., Fingerloos, F., Flohrer, C.: Hinweise und Erläuterungen zur Neuausgabe der DAfStb-Richtlinie »Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton«. In: Betonkalender 2018, Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, 2018, S. 174 – 226
- [6] Hohmann, R.: Elementwände im drückendem Wasser. Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, 2016
- [7] Hohmann, R.: Fugenabdichtung bei wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, 2009
- [8] DIN 18197: 2018-01 »Abdichten von Fugen in Beton mit Fugenbändern
- [9] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.: DBV-Heft 37 »Frischbetonverbundfolie«. 08/2016
- [10] DIN 18533:2017-07: Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze. Teil 2: Abdichtung mit bahnenförmigen Abdichtungsstoffen. Teil 3: Abdichtung mit flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen
- [11] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V.: DAfStb-Richtlinie »Massige Bauteile aus Beton«: 2010-04, Teil 1: Ergänzungen zu DIN 1045-1, Teil 2: Änderungen und Ergänzungen zu DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, Teil 3: Änderungen und Ergänzungen zu DIN 1045-3
- [12] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.: DBV Merkblatt »Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton«. Fassung 01/2014
- [13] DIN EN 13670: 2011-03: Ausführung von Tragwerken aus Beton mit DIN 1045-3: 2012-03: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670 mit DIN 1045-3:2012-03: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670
- [14] Freimann, T., Heinlein, U.: Planung und Anwendung der Frischbetonverbundsysteme bei wasserundurchlässigen Baukonstruktionen aus Beton, Beton-Kalender 2018, Ernst W. + Sohn Verlag, Berlin, 2017
- [15] Haack, A., Kessler, D.: Abdichtung bei unterirdischen Bauwerken. Beton-Kalender 2014, Ernst W. + Sohn Verlag, Berlin, 2013, S. 525 – 583
- [16] Bloch, M. Zitzelsberger, T.: WU-Konstruktionen mit Frischbetonverbundsystemen. Bauphysik-Kalender, Ernst W. + Sohn Verlag, Berlin, 2018
- [17] DIN 18205: 2016-11: Bedarfsplanung im Bauwesen
- [18] DIN EN 206-1: 2001-07: Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität mit DIN EN 206-1/A1-Änderung: 2004-10 und DIN EN 206-1/A2-Änderung: 2005-09 mit DIN 1045-2:2008-08, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-12
- [19] DIN 7865: Elastomer-Fugenbänder zur Abdichtung von Fugen in Beton – Teil 1: 2015-02 Formen und Maße, Teil 2: 2015-02 Werkstoff-Anforderungen und Prüfung, Teil 3: 2012-05 Verwendungsbereich
- [20] DIN 18541: Fugenbänder aus thermoplastischen Kunststoffen zur Abdichtung von Fugen in Beton – Teil 1: 2014-11: Begriffe, Formen, Maße Kennzeichnung, Teil 2: 2014-11: Anforderungen an die Werkstoffe, Prüfung und Überwachung
- [21] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.: DAfStb-Richtlinie »Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen«. Teile 1 bis 4. – Ausgabe Oktober 2001
- [22] DIN EN 1992-1-1: 2011-01: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau inkl. A1-Änderung 2015-03 (DIN EN 1992-1-1/A1: 2015-03) mit DIN EN 1992-1-1/NA: 2013-04 Nationaler Anhang EN 1992-1-1 inkl. A1-Änderung 2015-12 (DIN EN 1992-1-1/NA/A1: 2015-12)
- [23] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.: Erläuterungen zu Eurocode 2 (DIN EN 1992-1-1) – Heft 600 der Schriftenreihe des DAfStb, 2012
- [24] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.: DBV Merkblatt »Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau«. Fassung 05/2016
- [25] DIN 18195: 2017-07: Abdichtung von Bauwerken – Begriffe
- [26] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.: DBV Merkblatt »Industrieböden aus Beton«. Fassung 02/2017

*Es handelt sich bei dem Artikel um eine Zweitveröffentlichung. Er erschien bereits in einem Sonderdruck von »Der Bausachverständige« zum Sika Seminar: »Bau und Praxis 2018 für Bauwerksabdichtungen«.*

**DIE AUTOREN**

**Dipl.-Ing. H.-R. Becker**

Ingenieurbüro Becker  
 Tragwerksplanung und Baukonstruktion; Beratender  
 Ingenieur - Bauvorlageberechtigter IKNW;  
 Sachverständiger DIN EN ISO/IEC 17024  
 Nöhstraße 20  
 58089 Hagen  
 becker@becker-tragwerke.de



**Dr.-Ing. Denis Kiltz**

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.  
 Leiter Bauberatung und DBV-Bauberater Gebiet  
 West  
 Bessemerstraße 30  
 44793 Bochum  
 kiltz@betonverein.de



**Dipl.-Ing. Sebastian Filusch**

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.  
 Bauberatung Gebiet West  
 Bessemerstraße 30  
 44793 Bochum  
 filusch@betonverein.de



**Dr.-Ing. Jürgen Krell**

ö.b.u.v SV IK-Bau NRW für Betontechnologie  
 und Mörtel  
 Am Strauch 86  
 40793 Hilden  
 info@krell-consult.de



**Dipl.-Ing. Jan Frisch**

TPA GmbH Gesellschaft für Qualitätssicherung und  
 Innovation Bereich Betontechnologie International  
 Prüfstellenleiter; Sachkundiger Planer für Betonin-  
 standsetzung  
 Siegburger Str. 241  
 50679 Köln  
 jan.frisch@tpaqi.com



**Dr.-Ing. Hans-Jürgen Krause**

KEMPEN KRAUSE INGENIEURE GmbH  
 Ritterstrasse 20  
 52072 Aachen  
 Tel. 0241/88 99 00  
 info@kempenkrause.de



**Prof. Dr.-Ing.  
 Rainer Hohmann**

Fachhochschule Dortmund  
 Fachbereich Architektur  
 Fachgebiet Bauphysik  
 Emil-Figge-Straße 40  
 44227 Dortmund  
 rainer.hohmann@fh-dortmund.de



**Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtschaftsing. (FH)  
 Thomas Zitzelsberger**

Sika Deutschland GmbH  
 Bausysteme und Konstruktion  
 Kornwestheimerstrasse 107  
 70439 Stuttgart  
 zitzelsberger.thomas@de.sika.com



**Dr.-Ing. Michael Horstmann**

KEMPEN KRAUSE INGENIEURE GmbH  
 Ritterstrasse 20  
 52072 Aachen  
 Tel. 0241/88 99 00  
 info@kempenkrause.de



**ANZEIGE**