

Wasserundurchlässige (WU-)Betonbauwerke sind Konstruktionen, die ohne zusätzliche äußere flächige Abdichtung erstellt werden und allein aufgrund des Betons und konstruktiver Maßnahmen wie Fugenabdichtung und Rissbreitenbegrenzung einen Wasserdurchtritt in flüssiger Form verhindern (Bild 1). WU-Bauwerke aus Beton gehören zur Gruppe der starren Abdichtungen und verbinden die tragende und abdichtende Funktion in einer Schicht miteinander. Vorteil dieser Bauweise ist die einfache, monolithische Konstruktion der Wand, die gegenüber mechanischen Angriffen von außen unempfindlich ist.

### ■ 1 Regelwerke

Weißer Wannen werden seit Jahrzehnten erfolgreich gebaut. Neben den allgemeinen Regelwerken für den Betonbau wie DIN 1045/DIN EN 206-1 [1, 2] ist vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) im Mai 2004 die Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“ [3] veröffentlicht worden, die detaillierte Anforderungen an Planung und Ausführung stellt. Bauphysikalische und weitere nutzungsbedingte Anforderungen sind weiterhin vom Planer gesondert zu berücksichtigen und nicht Gegenstand der WU-Richtlinie. Wasserundurchlässige Wände können aus Ortbeton, Elementwänden (Gitterträger-Halb fertigteile, Dreifachwände) oder Vollfertigteilen hergestellt werden. Die Regelungen der Richtlinie stellen eine Ergänzung zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1045-1 dar. Die Anwendung der WU-Richtlinie ist daher bauvertraglich zu vereinbaren. Der Anwendungsbereich der WU-Richtlinie beinhaltet Bodenplatten, Wände und sinngemäß auch Decken und Dächer mit der Funktion der Wasserundurchlässigkeit. Ebenso kann die Richtlinie auf Behälter oder Becken angewendet werden.

DIN 18195 „Bauwerksabdichtungen“ beinhaltet keine wasserundurchlässigen Bauwerke aus Beton und ist daher *nicht* anzuwenden.

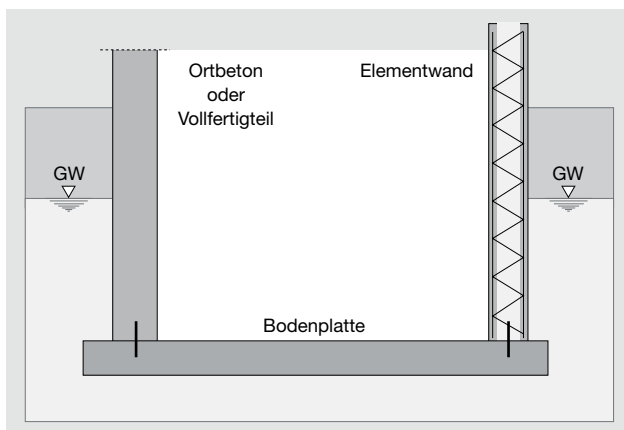


Bild 1: Wasserundurchlässige Bauwerke (Weiße Wannen) aus Beton ohne zusätzliche Abdichtung in verschiedenen Bauweisen.

### ■ 2 Begriffe

**Wasserundurchlässigkeit:** Im Sinne der Richtlinie ist die Wasserundurchlässigkeit erreicht, wenn die Anforderungen an die Begrenzung/Verhinderung des Wasserdurchtritts durch den Beton, durch Fugen, Arbeitsfugen und Sollrissquerschnitte, durch Einbauteile (Durchdringungen) und Risse erfüllt werden. Hier wird eine ganzheitliche Betrachtung des Bauwerks angestrebt und im Weiteren auf die Planungsverantwortung für die genannten einzelnen Elemente hingewiesen.

**Beanspruchungsklasse:** Die Beanspruchungsklasse wird vom Planenden festgelegt und berücksichtigt die Art der Beaufschlagung des Bauwerks oder Bauteils mit Feuchte oder Wasser. Zur Festlegung der Beanspruchungsklasse ist u. a. die Kenntnis des Bemessungswasserstands und der Baugrundverhältnisse erforderlich.

**Nutzungsklasse:** Festlegungen des Planers – in Abstimmung mit dem Bauherrn – zur geplanten Nutzung des Bauwerks.

**Bemessungswasserstand:** Der höchste innerhalb der planmäßigen Nutzungsdauer zu erwartende Grundwasser-, Schichtenwasser- oder Hochwasserstand unter Berücksichtigung langjähriger Beobachtungen und zu erwartender zukünftiger Gegebenheiten: der höchste planmäßige Wasserstand.

### ■ 3 Lastfall Wasser/Feuchtetransport

WU-Konstruktionen verhindern den Durchtritt von Wasser in flüssiger Form. Die Bandbreite der Beanspruchung reicht von Bodenfeuchte über Sicker- und Schichtenwasser (stauend oder nicht stauend) bis hin zu nicht drückendem und drückendem Wasser. Der Bemessungswasserstand muss bei der Planung bekannt sein. Die Weiße Wanne sollte bis mindestens 30 cm über den Bemessungswasserstand geführt werden. Die Art der Wasserbeanspruchung wird in eine Beanspruchungsklasse eingestuft. Neben dem hydrostatischen Wasserdruck muss ein eventueller chemischer Angriff durch aggressives Grundwasser berücksichtigt werden. Ergibt die Wasseranalyse nach DIN 4030-2 einen Angriffsgrad XA2 aufgrund eines pH-Wertes  $< 5,5$  oder aufgrund kalklösender Kohlensäure, dürfen die in der WU-Richtlinie aufgeführten Rechenwerte für die Trennrissbreiten nicht in Ansatz gebracht werden. Empfehlenswert ist hier eine Bauweise mit vermindertem Zwang ohne unkontrollierte Trennrissbildung (s. Abschnitt 4).

Feuchtetransport und Diffusion innerhalb eines ungestörten Bauteilquerschnitts aus wasserundurchlässigem Beton können nach neueren Untersuchungen von Beddoe/Springenschmid [4] wie im Bild 2 dargestellt werden. Vom DAfStb ist zum Feuchtetransport ein Positionspapier erschienen [5]. Die kapillare Wasseraufnahme auf der was-

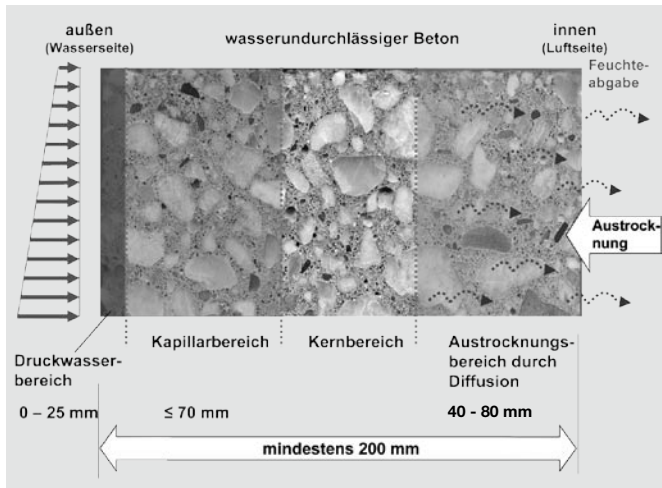


Bild 2: Arbeitsmodell für Feuchtebedingungen im Betonquerschnitt bei einseitiger Wasserbeaufschlagung für ungerissene Betone C30/37 und  $w/z \leq 0,55$  in Anlehnung an Beddoe/Springenschmid [4]

serzugewandten Seite erfolgt unabhängig vom hydrostatischen Wasserdruck maximal bis in eine Tiefe von etwa 7 cm. Auf der luftzugewandten Seite trocknet das Bauteil langsam aus. Hier bildet sich ein Diffusionsbereich aus, in dem lediglich das Überschusswasser des Betons an die Innenluft abgegeben wird (Entweichen der Baufeuchte). Die Austrocknungstiefe dieses Diffusionsbereichs liegt maximal bei etwa 8 cm. Solange sich Kapillarbereich und Diffusionsbereich nicht überschneiden (Bauteildicken  $> 20$  cm), ist im Kernbereich kein Feuchtetransport – auch nicht in gasförmiger Form – nachweisbar. Das bedeutet, dass sich die raumseitige Feuchteabgabe bei ausreichender Bauteildicke nahezu unabhängig von den Randbedingungen und der Feuchtesituation auf der Außenseite verhält. Bei WU-Bauwerken verlangsamt sich die Diffusion im Austrocknungsbereich im Laufe der Zeit und kommt nach Abgabe der Eigenfeuchte praktisch zum Erliegen.

#### ■ 4 Elemente einer WU-Planung

Eine wasserundurchlässige Betonkonstruktion erfordert mehr als nur den Baustoff „wasserundurchlässiger Beton“ oder „Beton mit hohem Wassereindringwiderstand“, um funktionsfähig zu sein. Die in der Planung zu berücksichtigenden einzelnen Elemente und Maßnahmen sind:

- **Baustoff:**  
Beton mit hohem Wassereindringwiderstand (neue Bezeichnung nach DIN 1045-2; früher: wasserundurchlässiger Beton oder WU-Beton)
- **Zwangspannungen im Bauwerk:**  
Aussagen zur Rissbreite und Bewehrungsführung; Nachweis zur Begrenzung der Rissbreite bzw. Rissvermeidung; Ziel: Optimierung der Konstruktion zur Vermeidung von Zwang
- **Fugenplanung:**  
Auswahl und Anordnung von Fugenabdichtungen
- **Bauausführung:**  
Betonierbarkeit, Verdichtung, Nachbehandlung
- **Bauphysik:**  
Wärmedämmung, Nutzungsanforderungen, Baufeuchte

Insbesondere die Anforderungen aus der Nutzung sind mit dem Auftraggeber zu klären und vertraglich festzulegen. In der WU-

Richtlinie werden hierzu Nutzungsklassen genannt, die planerisch festzulegen und vertraglich zu vereinbaren sind.

Durch die kraftschlüssige Verbindung der zu unterschiedlichen Zeitpunkten betonierten Sohlplatte und Wände werden die baustoffbedingten Bauteilverformungen der Bauteile behindert. Auch die Reibung auf der Unterseite von Sohlplatten sowie die Gebäudegeometrie können Verformungen behindern, die sich im Beton z. B. aufgrund von Trocknungsschwinden (Verkürzen durch Austrocknung) oder Temperaturänderungen einstellen wollen. Dadurch können Zwangspannungen entstehen, welche die Zugfestigkeit des Betons erreichen können. An diesen Stellen reißt der Beton. Bei einer wasserundurchlässigen Betonkonstruktion müssen diese Risse mit Hilfe von Bewehrungsstahl auf eine festgelegte maximale rechnerische Rissbreite begrenzt werden. Alternativ kann die Entstehung und Größe der Zwangspannungen durch eine günstige zwangarme Konstruktion vermindert werden. Die WU-Richtlinie regelt drei mögliche Bauweisen, um eine Weiße Wanne zu konstruieren:

- Vermeidung von Trennrissen (keine unkontrollierte Trennrissbildung). Durch günstige Konstruktion oder enge Sollrissfugenabstände nur geringe Zwangspannungen im Bauwerk.
- Bauweise mit begrenzter Rissbildung (voller Zwang mit Trennrissbildung und Rissbreitenbegrenzung). Nachweis zur Begrenzung der Rissbreite.
- Bauweise mit zugelassenen Trennrissen und nachträglich vorgesehenen Dichtungsmaßnahmen. Wasser führende Risse werden planmäßig verpresst. (Zugänglichkeit der Bauteile muss dauerhaft gewährleistet sein!)

Unabhängig von den nachfolgend speziell für WU-Bauwerke durchzuführenden Planungsschritten müssen allgemeine Festlegungen nach DIN 1045/DIN EN 206-1 getroffen werden. Dazu gehört z. B. die Auswahl der Expositionsklassen, die wiederum Mindestdruckfestigkeitsklassen und Maße für die Betondeckungen bestimmen. Die statischen und konstruktiven Anforderungen an den Beton können durchaus höher sein als die aus den Vorgaben an eine WU-Konstruktion.

Folgende Konstruktionsschritte sind bei der Planung von WU-Bauwerken durchzuführen:

1. Ermittlung des Bemessungswasserstands und der Beanspruchungsklasse
2. Festlegung der Nutzungsklasse
3. Bestimmung der Mindestwanddicken
4. Druckgefälle  $i$  und rechnerische Rissbreite  $w_k$  festlegen
5. Konstruktion hinsichtlich Zwangbeanspruchung optimieren
6. Fugenaufteilung und Abdichtungssystem festlegen
7. Einbauteile, Durchdringungen
8. Bauphysikalische Anforderungen aus der Nutzung

#### 4.1 Ermittlung des Bemessungswasserstands und der Beanspruchungsklasse

Grundwasserflurstandskarten geben erste Kenntnis für die Planungsgrundlage „Bemessungswasserstand“. Grundwasserstände bzw. Grundwasserganglinien von Umweltämtern, Wasserbehörden usw. liefern lediglich Werte von *höchstgemessenen* Wasserständen (HGW), die nicht zwangsläufig mit dem Bemessungswasserstand (BWS) gleichzusetzen sind.

Alle Rohdaten sind um die zum Zeitpunkt der Messaufzeichnung beeinflussenden Faktoren (z. B. Grundwasserförderungen

**Tafel 1: Zuordnung der Beanspruchungsklassen**

Beanspruchungsklasse 1	Beanspruchungsklasse 2
<p><i>drückendes Wasser</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Grundwasser, Schichtenwasser, Hochwasser oder anderes Wasser, das einen hydrostatischen Druck ausübt (auch zeitlich begrenzt)</li> </ul>	<p><i>nicht stauendes Sickerwasser</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wasser, das bei sehr stark durchlässigen Böden (<math>k_f \geq 10^{-4} \text{ m/s}</math>) ohne Aufstau absickern kann</li> <li>■ Wasser, das bei wenig durchlässigen Böden durch dauerhaft funktionierende Dränung nach DIN 4095 abgeführt wird</li> </ul>
<p><i>nicht drückendes Wasser</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wasser in tropfbarer flüssiger Form mit geringem hydrostatischen Druck (Wassersäule <math>\leq 10 \text{ cm}</math>), ausschließlich auf horizontalen oder geneigten Flächen</li> </ul>	<p><i>Bodenfeuchte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ kapillar im Boden gebundenes Wasser</li> </ul>
<p><i>zeitweise aufstauendes Sickerwasser</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wasser, das sich auf wenig durchlässigen Bodenschichten ohne Dränung aufstauen kann. Die Bauwerkssohle liegt mindestens 30 cm über Bemessungswasserstand</li> </ul>	

von Wasserwerken, Industrie, tagebaubedingte Sumpfun gen usw.) zu bereinigen. Sollten vorhandene örtliche Kenntnisse keine ausreichenden Aufschlüsse liefern, sind zur Beurteilung vom Planer Sonderfachleute (Hydrogeologen, Geotechniker) hinzuzuziehen. Der Grundwasserstand, der sich ohne Grundwasserabsenkung in extremen Nassperioden – unter Berücksichtigung der durch die Kulturlandschaft bedingten Vorflut – einstellen würde, ist der maßgebende Bemessungswasserstand. Sicherheitszuschläge zum Bemessungswasserstand sollten unter Berücksichtigung von Baugrundeigenschaften sowie in Abhängigkeit von der Genauigkeit der vorhandenen Informationen festgelegt werden.

Nach den Erläuterungen zur WU-Richtlinie [6] kann der Bemessungswasserstand auf der sicheren Seite liegend auf Höhe der Geländeoberkante (GOK) angesetzt werden, wenn keine langjährigen Beobachtungen vorliegen oder die zu erwartenden zukünftigen Gegebenheiten nicht abgeschätzt werden können. Dieses Vorgehen wird jedoch als Ausnahmefall gewertet. Die Entscheidung zwischen der möglicherweise zeitlich aufwändigen und kostenintensiven Ermittlung des zu erwartenden BWS und dem vereinfachten Ansetzen auf Geländeoberkante sollte nicht ohne Einbeziehung des Bauherrn erfolgen. Ein Ansetzen des Bemessungswasserstands auf Geländeoberkante kann auch aus wirtschaftlichen Gründen sinnvoll sein, wenn die Kosten für die Ermittlung des BWS größer sind als die Kostenersparnis, die mit einer Ausführung eines WU-Bauwerks mit einem BWS unterhalb der GOK verbunden ist.

Die Beanspruchungsklasse (Tafel 1) richtet sich nach der Art des auftretenden Wassers.

**4.2 Festlegung der Nutzungsklasse**

Vom Planer ist in Abstimmung mit dem Bauherrn bzw. in Abhängigkeit von der Funktion und der angestrebten Nutzung die Nutzungsklasse A oder B festzulegen (Bild 3). Als höherwertige Anforderung dürfen in der Nutzungsklasse A keine Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche innen als Folge eines Wasserdurchtritts auftreten. „Feuchtstellen“ im Sinne der Richtlinie sind feuchtebedingte Dunkelfärbungen oder die Bildung von Wasserperlen.

Zur Vermeidung von Tauwasser auf den Innenflächen müssen zusätzliche raumklimatische Maßnahmen (Lüftung, außen liegende Wärmedämmung, Heizung) getroffen werden. Bei Nutzungsklasse A muss der Planer den Bauherrn hierauf gesondert hinweisen.

Bei Nutzungsklasse B sind Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche zulässig. Im Gegensatz zur Nutzungsklasse A wird somit eine nur begrenzte Wasserundurchlässigkeit gefordert. Feuchtstellen dürfen im Bereich von Trennrissen, Sollrissquerschnitten, Fugen und Arbeitsfugen auftreten.

- Nutzungsklasse A:
  - Standard für Wohnungsbau
  - Lagerräume mit hochwertiger Nutzung
- Nutzungsklasse B:
  - Einzelgaragen, Tiefgaragen
  - Installations- und Versorgungsschächte und -kanäle
  - Lagerräume mit geringen Anforderungen

Die Nutzungsklasse A stellt die Variante für hochwertig genutzte Bauwerke dar. Die Bauweise mit begrenzter Rissbildung (s. Abschnitt 4) ist für Nutzungsklasse A wegen des während der Selbstheilung möglichen temporären Wasserdurchtritts nicht anwendbar [6]. Neben den Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit sind i. d. R. auch raumklimatische Anforderungen aus der Energieeinsparverordnung zu beachten. Mit einer außen liegenden Wärmedämmung wird gleichzeitig einem möglichen Tauwasseranfall auf der Innenseite entgegengewirkt.

**4.3 Bestimmung der Mindestwanddicken**

Von der WU-Richtlinie werden Mindestwanddicken empfohlen (Tafel 2). Bei drückendem Wasser soll eine Ort beton- oder Elementwand mindestens 24 cm dick sein. Bei Ausnutzung der Mindestwanddicken und Beanspruchungsklasse 1 ist das Größtkorn des Betons auf 16 mm und der w/z-Wert auf maximal 0,55 beschränkt. Bei Wänden aus Vollfertigteilen kann die

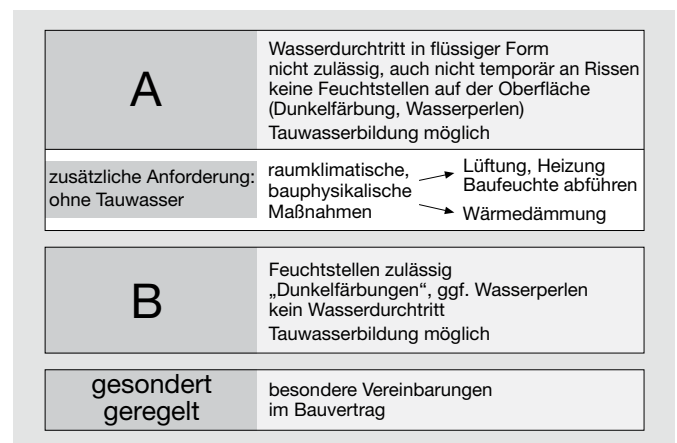


Bild 3: Nutzungsklassen nach der WU-Richtlinie

**Tafel 2: Empfohlene Mindestbauteildicken in mm**

	Beanspruchungs- klasse	d <sub>min</sub> [mm] bei Ausführungsart		
		Ortbeton	Element- wände	Fertig- teile
Wände	1 (Druckwasser)	240	240	200
	2 (Bodenfeuchtigkeit, Sickerwasser)	200	240 (200) <sup>1)</sup>	100
Boden- platte	1 (Druckwasser)	250	–	200
	2 (Bodenfeuchtigkeit, Sickerwasser)	150		100

<sup>1)</sup> mit besonderen betontechnischen und ausführungstechnischen Maßnahmen (z. B. F6-Betone oder SVB)

Dicke auf 20 cm herabgesetzt werden. Bodenplatten sollen mit mindestens 25 cm Dicke ausgeführt werden.

Die Wanddicken und die Bewehrungsanordnung müssen einen sachgerechten Betoneinbau und eine ungehinderte Verdichtung erlauben. In Abhängigkeit vom Größtkorn im Beton werden darüber hinaus bei innen liegenden Fugenabdichtungen und Beanspruchungsklasse 1 Mindestabstände  $b_{w,i}$  als liches Maß zwischen den Bewehrungslagen gefordert, um einen einwandfreien Betoneinbau zu ermöglichen:

- 8 mm Größtkorn:  $b_{w,i} \geq 12$  cm
- 16 mm Größtkorn:  $b_{w,i} \geq 14$  cm
- 32 mm Größtkorn:  $b_{w,i} \geq 18$  cm

Für Beton mit einem Größtkorn von 32 mm ergibt sich hierdurch bei Beanspruchungsklasse 1 bei üblicher Betondeckung und Bewehrungsstabdurchmesser bis 10 mm eine Mindestbauteildicke von etwa 27 bis 30 cm.

**4.4 Druckgefälle  $i$  und rechnerische Rissbreite  $w_k$  festlegen**

Wird eine WU-Bauweise mit begrenzter Rissbildung gewählt, muss das Druckgefälle  $i$  als Quotient der Wasserdruckhöhe zur Bauteildicke an der betrachteten Stelle (potenzieller Ort der Rissbildung) ermittelt werden. Anhand des Druckgefälles wird die maximale rechnerische Rissbreite in der WU-Richtlinie vorgegeben (Bild 4 und Tafel 3), die unter der Voraussetzung der Selbstheilung einen Wasserdurchtritt unterbindet. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass sich die rechnerisch angenommenen Rissbreiten aufgrund von Streuungen bei Materialeigenschaften und Ausführung sowie Vereinfachungen bei der Rissberechnung von den tatsächlich auftretenden Rissen unterscheiden können [7], [8].

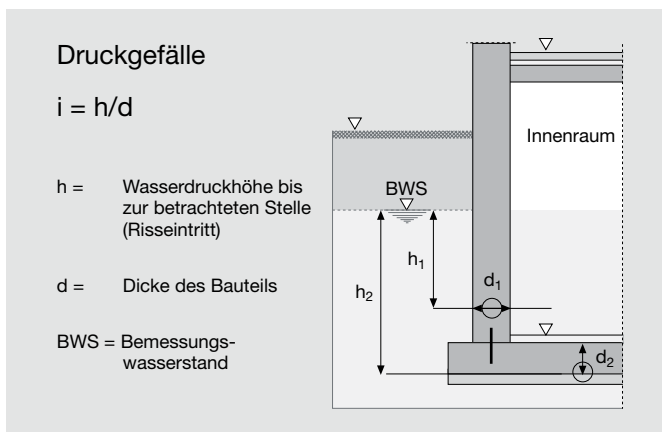


Bild 4: Bestimmung des Druckgefälles

**Tafel 3: Maximale Trennrissbreiten**

Zulässige Trennrissbreiten, wenn der Wasserdurchtritt durch Selbstheilung begrenzt werden soll Voraussetzung: Risse mit geringer zeitlicher Änderung $\Delta w \leq 0,1w$	
zulässiger Rechenwert der Trennrissbreite <sup>1)</sup> $w_k$ [mm]	zulässiges Druckgefälle $i = (h_{Wasser}/d_{Bauteil})$
0,20	$\leq 10$
0,15	$> 10 \dots \leq 15$
0,10	$> 15 \dots \leq 25$

<sup>1)</sup> nur für Wässer mit  $CO_2$  (Kalklösende Kohlensäure)  $\leq 40$  mg/l und pH-Wert  $\geq 5,5$ ; andernfalls ist Selbstheilung nicht ansetzbar

Grundlage der zulässigen Rechenwerte für die Trennrissbreiten ist die Annahme einer potenziellen Selbstheilung im Riss, wenn das Druckgefälle und damit die Strömungsgeschwindigkeit im Riss nicht zu groß werden. Wesentliche Einflussgröße auf die Selbstheilung von Rissen ist die Neubildung von Calciumcarbonat an den Rissflanken. Sie ist nahezu unabhängig von der Zementart. Da die Selbstheilung bei dynamischer Beanspruchung mit kurzzeitigen Änderungen der Rissbreite beeinträchtigt wird, dürfen die Trennrissbreiten nach Tafel 3 nur bei  $\Delta w \leq 10\%$  verwendet werden. Von Lohmeyer und Ebeling [9] werden für die rechnerischen Trennrissbreiten in Tafel 3 wesentlich niedrigere zulässige Druckgefälle empfohlen, so z. B.  $w_k = 0,20$  nur bis zu  $i \leq 2,5$ .

**4.5 Konstruktion hinsichtlich Zwangbeanspruchung optimieren**

Risse entstehen im Festbeton, wenn die Zugspannungen im Bauteil die Zugfestigkeit des Betons erreichen. Dies kann durch äußere Lasten wie Eigengewicht sowie Verkehrslasten oder durch lastunabhängige Formänderungen geschehen. Lastunabhängige Verformungen können sowohl zu Eigenspannungen als auch zu Zwangspannungen führen. Folgende Arten der Verformungen sind zu betrachten:

- thermisch
  - Abfließen der Hydratationswärme
  - Temperaturänderungen (Bauzustand und Nutzung)
  - Frost
- hygrisch (Feuchte)
  - Schwinden (Trocknungsschwinden)
  - Quellen
- ungleiche Setzungen oder Hebungen des Baugrundes

Das Ziel jeder WU-Planung ist eine geometrisch einfache, möglichst zwangarme Bauwerkskonstruktion in Verbindung mit einer risikoarmen, kontrollierbaren Ausführung. Neben der Optimierung der Betonzusammensetzung und einer fachgerechten Ausführung kann bereits das Bauwerk selbst zwangarm konstruiert werden. Vorteilhaft ist eine ebene, reibungsarm gelagerte Sohlplatte mit gleichmäßiger Dicke. Querschnittsänderungen, Versprünge oder Vouten begünstigen eine Rissbildung. Durch die Anordnung von Trenn- oder Gleitschichten können die rechnerischen Reibungsbeiwerte zwischen Sohle und Baugrund verringert werden (Tafel 4). Als Alternative zu Lagerungsbedingungen ohne wesentliche Verformungsbehinderung können auch horizontale Sollrissfugen (Scheinfugen) angeordnet werden. Diese müssen mit einer Fugenabdichtung versehen werden. Bewegungsfugen (Raumfugen) sind nach Möglichkeit zu vermeiden, da die sachgerechte Herstellung sehr aufwendig ist.

**Tafel 4: Rechenwerte von Reibungsbeiwerten  $\mu$  bei unterschiedlichen Untergrundverhältnissen, Trenn- und Gleitschichten**  
(in Anlehnung an die DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“, 2004, sowie an [6])

Untergrund	Gleitschicht	Reibungsbeiwert $\mu$ bei 1. Verschiebung
Mineralgemisch (Kiessandgemisch)	keine	1,4 ... 2,1
Feinkörniges Sandbett, 6 bis 10 cm dick, mittlerer Korndurchmesser < 0,35 mm	keine	$\approx 0,70$
Unterbeton bzw. Sauberkeitsschicht, rau abgezogen	2 Lagen PE-Folie, 0,2 mm dick	d = 30 cm: $\mu \approx 2,0$
Unterbeton bzw. Sauberkeitsschicht mit hoher Ebenheit und flügelgeglättet	2 Lagen PE-Folie, 0,2 mm dick	$\approx 0,80$
	PTFE-Folie	0,2 ... 0,5
Unterbeton bzw. Sauberkeitsschicht mit hoher Ebenheit	Bitumenschweißbahn, stumpf gestoßen verlegt	d = 30 cm: $\mu \approx 0,45$ d > 100 cm: $\mu \approx 0,20$
	Bitumen vergossen 5 mm bis 8 mm dick Sorten 30/45, 50/70 oder 70/100	$\approx 0$ (bei T > 0 °C)

Weitere konstruktive Maßnahmen zur Verringerung der Rissgefahr in WU-Bauteilen sind die Begrenzung der Bauteilabmessungen sowie die Begrenzung und wechselseitige Anordnung von Betonierabschnitten.

Die Wandhöhe hat einen Einfluss auf die Zwangbeanspruchung und damit auf die Abstände der Fugen. Bei niedrigen Wänden müssen die Fugenabstände unter sonst gleichen Verhältnissen geringer sein. Nach Empfehlungen aus [9] sollten hierbei die Abstände von Schein- bzw. Betonierfugen in Wänden höchstens die zweifache Wandhöhe betragen und zusätzliche geeignete betontechnologische und bautechnische Maßnahmen ergriffen werden.

Bei Elementwänden bzw. Dreifachwänden sollten als maximale Wandabschnitte (abhängig von Wandlänge zu Wandhöhe l/h) eingehalten werden (nach [10]):

- Wanddicken 25 cm  $\leq d \leq 30$  cm: l/h  $\leq 2,5$  mit l  $\leq 6$  m
- Wanddicken 30 cm < d  $\leq 40$  cm: l/h  $\leq 3,0$  mit l  $\leq 9$  m

#### 4.6 Fugenaufteilung und Abdichtungssystem festlegen

Hierunter fallen Arbeitsfugen an Betonierabschnitten, geplante Scheinfugen zur Zwangverminderung und Raumfugen (Bewegungsfugen) zwischen Gebäudeabschnitten. Die Art der Fugenabdichtung ist auf den Wasserdruck abzustimmen. Die *Auswahl und Festlegung des Abdichtungssystems* sowie Ausbildung der Knotenpunkte fallen eindeutig in den *Verantwortungsbereich des Planers!* Die Fugenabdichtung muss als geschlossenes System an den Stoßpunkten zwischen horizontalen und vertikalen Fugen miteinander verbunden sein.

Die WU-Richtlinie unterscheidet geregelte und ungeregelte Fugenabdichtungen.

#### Geregelte Fugenabdichtungen

- unbeschichtete Fugenbleche (innen<sup>1)</sup>, Bild 5)
- Fugenbänder (innen<sup>1)/außen<sup>2)</sup>)</sup>

Die Verwendung von Fugenbändern ist in DIN V 18197 geregelt. Für unbeschichtete Fugenbleche nennt die WU-Richtlinie besondere Verwendungsregeln, die in Bild 5 dargestellt sind.

<sup>1)</sup> innen = mittig innerhalb der Wand bzw. Sohle  
<sup>2)</sup> außen = auf der wasserzugewandten Seite

#### Nicht geregelte Fugenabdichtungen

- Injektionsschläuche/Verpressschläuche (innen<sup>1)</sup>)
- Quellprofile (innen<sup>1)</sup>)
- Dichtrohre (innen<sup>1)</sup>)
- Bentonitfolien (außen<sup>2)</sup>)
- beschichtete Fugenbleche (innen<sup>1)</sup>)
- streifenförmige außen liegende Dichtungen (außen<sup>2)</sup>)
- Kombinationen (z. B. Fugenblech + Quellprofil)

Zukünftig wird von jedem so genannten *nicht geregelten* Fugenabdichtungssystem ein Verwendbarkeitsnachweis in Form eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses (ABP) verlangt, in dem die Anwendungsbereiche festgelegt und durch eine amtliche Prüfung nachgewiesen sind.

Eine Liste mit geprüften „nicht geregelten“ Fugenabdichtungssystemen bei Angabe des Verwendungsbereichs (Wasserdruck) ist im Internet unter [www.abp-fugenabdichtungen.de](http://www.abp-fugenabdichtungen.de) zu finden. Weitere Hinweise zur Planung und Ausführung von Fugenabdichtungen sind in [11], im DAfStb-Heft 555 [6] sowie im Zement-Merkblatt B 22 [12] enthalten.

#### 4.7 Einbauteile, Durchdringungen

Alle Durchdringungen durch wasserundurchlässige Bauwerke müssen sorgfältig geplant und abgedichtet werden. Dies betrifft nicht nur Rohrdurchführungen oder Leitungskanäle, sondern auch Ankerhülsen aus dem Verspannen der Schalung. Die richtige Auswahl von wassersperrenden Schalungsankern und geeigneten Abstandhaltern (z. B. aus Faserzement) für die Bewehrung gehört zur Planungsleistung. Grundsätzlich sollten al-

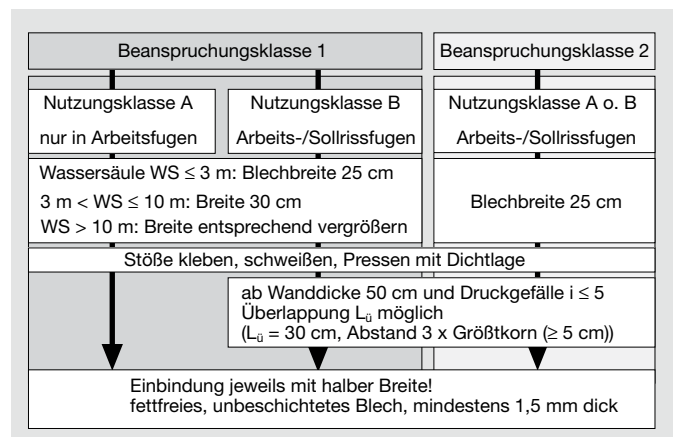


Bild 5: Anforderungen an unbeschichtete Fugenbleche nach WU-Richtlinie

le Rohrdurchführungen die Wände oder Sohlplatte rechtwinklig auf möglichst kurzem Weg durchstoßen. Zwischen den Bewehrungslagen eingebaute parallel verlaufende Rohrleitungen wirken durch die Querschnittsverminderung wie eine nicht abgedichtete Scheinfuge und können bei Zwangbeanspruchung zu Undichtigkeiten führen. Für Rohrdurchführungen werden speziell abgedichtete Einbauteile (z. B. Faserzementeinsätze, Dichtmanschetten, Verpresssysteme) angeboten. Nachträglich eingebaute Rohre können z. B. mit einer EPDM-Schraubdichtung wirksam abgedichtet werden.

#### 4.8 Bauphysikalische Anforderungen aus der Nutzung

Bei hochwertiger Nutzung, z. B. als Wohnraum, kann beispielsweise eine außen liegende Perimeter-Wärmedämmung vorgesehen werden. Sofern Wand- und Fußbodeninnenflächen z. B. durch Fußbodenaufbauten, PVC-Beläge oder dergleichen diffusionsdicht verschlossen werden und somit die Baufeuchte nicht austrocknen kann, muss unter diesen Flächen eine Abdichtung angeordnet werden. Die vorhandene Baufeuchte kann sonst im Laufe der Zeit zum Feuchtigkeitsstau führen, da das Gleichgewicht im Austrocknungsbereich gestört wird. Alternativ können vorgefertigte aufgeständerte Fußbodensysteme Abhilfe schaffen und die Luftzirkulation ermöglichen.

### ■ 5 Anforderungen an den Beton

Zur Herstellung von WU-Bauwerken ist nach DIN 1045 und DIN EN 206-1 ein Beton mit hohem Wassereindringwiderstand zu verwenden. Die erforderliche Dichtigkeit wird bei Bauteildicken bis zu 40 cm über einen maximalen äquivalenten Wasserzementwert  $(w/z)_{eq} \leq 0,60$  sichergestellt, für Dicken über 40 cm mit  $(w/z)_{eq} \leq 0,70$ . Die Mindestdruckfestigkeitsklasse beträgt C25/30, der Mindestzementgehalt  $280 \text{ kg/m}^3$ . Aus statischen Gründen kann eine höhere Festigkeitsklasse notwendig werden. Die Dauerhaftigkeit des Betons wird über die vom Planer festzulegenden Expositionsklassen sichergestellt. Gegebenenfalls werden durch Zutreffen besonderer Expositionsklassen, wie z. B. XA2 (mäßiger chemischer Angriff) oder XF3 (z. B. frei stehender Behälter), höhere Anforderungen an die Betonzusammensetzung erforderlich. Ein Beispiel für die Festlegung der Anforderungen an den Beton zeigt Bild 6. In Abhängigkeit von den Expositionsklassen wird auch die Betondeckung festgesetzt. Die Einbaukonsistenz des Betons sollte der Konsistenzklasse F3 oder weicher entsprechen. Bei Ausnutzung der Mindestwanddicken nach der WU-Richtlinie und bei Beanspruchungsklasse 1 ist ein Beton mit einem

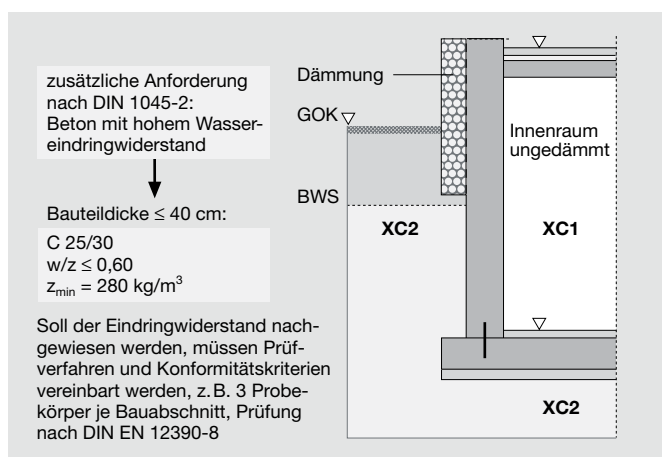


Bild 6: Beispiel für Expositionsklassen für eine Weiße Wanne

$(w/z)_{eq} \leq 0,55$  zu verwenden. Für Wände ist in diesem Fall ein Beton mit einem maximalen Größtkorn von 16 mm vorzusehen.

Um Zwangspannungen innerhalb des Bauwerks und somit die Rissgefahr möglichst gering zu halten, sind ggf. weitere Vorgaben an die Betonzusammensetzung sinnvoll. Lastunabhängige Verformungen durch Hydratationswärme und Trocknungsschwinden lassen sich durch folgende Maßnahmen verringern:

- Verwendung von Zementen mit niedriger Hydratationswärmeentwicklung (LH-Zemente) oder von Zementen mit normaler Anfangsfestigkeit
- Verwendung von Steinkohlenflugasche als Betonzusatzstoff
- niedrige Frischbetontemperaturen (bzw. Begrenzung im Sommer)
- Begrenzung des Zementleimvolumens auf  $V_{ZL} \leq 290 \text{ l/m}^3$  (in Anlehnung an die DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“)

Eine Zusammenstellung aller Anforderungen an den Beton zeigt Tafel 5.

### ■ 6 Nachweise

Die erforderlichen Nachweise richten sich nach den gewählten Entwurfsgrundsätzen für die Nutzungsklassen (Tafel 6). Der Nachweis der Wasserundurchlässigkeit ist ein zusätzlicher Gebrauchstauglichkeitsnachweis. Für den Nachweis zur Begrenzung der Rissbreite gilt DIN 1045-1, Abschnitt 11.2. Dabei ist stets von der häufigen Einwirkungskombination auszugehen.

Neben den in der WU-Richtlinie geforderten Nachweisen sind zur Sicherstellung der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit die für übliche tragende Stahlbetonbauwerke geltenden Anforderungen zu erfüllen.

- Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1045-1
- Festlegung von Expositionsklassen nach DIN 1045-2 mit der zusätzlichen Anforderung „Beton mit hohem Wassereindringwiderstand“

Die Nachweise zur Begrenzung der Rissbreiten müssen im Entstehungszeitraum der Zwangsschnittgrößen geführt werden. Dies kann einen Nachweis zu unterschiedlichen Zeitpunkten, z. B. Erhärtungsphase und Nutzungsphase, erforderlich machen. Für Ortbetonbauteile und Elementwände mit abgedichteten Sollrissquerschnitten gilt der Nachweis der Trennrissfreiheit als erbracht, wenn die Sollriss- oder Fugenabstände so gewählt werden, dass Risse infolge Lasten und Zwang in den dazwischen liegenden Bereichen vermieden werden.

Beim Einsatz von Elementwänden ist eine ausreichende Rauigkeit der Schalinnenflächen gefordert, um einen guten Verbund zum auf der Baustelle eingebrachten Kernbeton zu gewährleisten. Die mittlere Rautiefe in Anlehnung an DIN EN 1766 muss  $R_t \geq 0,9 \text{ mm}$  betragen und vom Elementwandhersteller nachgewiesen werden. Der Planer sollte bereits im Leistungsverzeichnis einen Hinweis mit aufnehmen, dass die eingesetzten Elementwände den „Anforderungen der WU-Richtlinie des

**Tafel 5: Anforderungen an die Betonzusammensetzung für Betonbauwerke nach der WU-Richtlinie; Voraussetzung: keine Anforderungen aus XA und XS sowie Bauteildicken ≤ 40 cm**

Beanspruchungsklasse	Wände (Ortbeton)				Bodenplatten (Ortbeton)		Kernbeton für Elementwände						
	1		2	1	2	1		2					
Mindestbauteildicke $d_{min}$ [cm]	24	27,5 (24 · 1,15)	20	25	15	24	27,5 (24 · 1,15)	24 (20) <sup>1)</sup>					
äquivalenter Wasserzementwert $w/z_{eq}$	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 0,60	≤ 0,60		≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 0,60					
Mindestdruckfestigkeitsklasse	C25/30												
besondere Betoneigenschaft	hoher Wassereindringwiderstand												
für Bauteile mit innen liegenden Fugenabdichtungen gilt	lichtes Maß zwischen Bewehrungslagen						lichtes Maß zwischen Innenflächen der Fertigteile						
$b_{w,i}$ [cm]	< 12	≥ 12	≥ 14	≥ 14	≥ 18	keine Anforderung	keine Anforderung	< 12	≥ 12	≥ 14	≥ 14	≥ 18	keine Anforderung
bei Größtkorn [mm]	- <sup>2)</sup>	8	16	16	32	keine Anforderung	keine Anforderung	- <sup>2)</sup>	8	16 <sup>3)</sup>	16	32	keine Anforderung <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> besondere technische und ausführungstechnische Maßnahmen <sup>2)</sup> nicht erlaubt <sup>3)</sup> Anschlussmischung 8 mm

Zusätzliche Anforderungen (ggf. sinnvoll)	- Temperaturanstieg begrenzen: Verwendung von LH-Zementen oder mit normaler Festigkeitsentwicklung 32,5 N - Begrenzung der Frischbetontemperatur - besondere Nachbehandlungsmaßnahmen (kontrollierter Wärmeabfluss)
Anschlussmischung	bei Fallhöhen > 1 m: Anschlussmischung mit max. 8 mm Größtkorn; Höhe = Bauteildicke, jedoch mind. 30 cm hoch
Konsistenzklasse	F3, F4, F5 oder F6 (SVB möglich), abhängig vom Einbauverfahren; zulässige Betoniergeschwindigkeit beachten (insbesondere bei F5, F6, SVB)
Stahlfaserbeton	Stahlfaserbeton (SFB) möglich: Abminderung der Stabstahlbewehrung nach DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton

DAfStb“ entsprechen müssen, da diese Wände auch im Hochbau verwendet werden und nicht in jedem Fall für den Einsatz in wasserundurchlässigen Bauwerken geeignet sind.

## 7 Bauausführung

Zu den Anforderungen an die Bauausführung gehören neben Einbau der Bewehrung die Überwachung des fachgerechten Betoneinbaus sowie die Nachbehandlung des Betons.

Abstandhalter und Schalungsanker dürfen die Wasserundurchlässigkeit des Bauwerks nicht beeinträchtigen. Geeignete Abstandhalter sind z. B. im DBV-Merkblatt „Abstandhalter“ aufgeführt. Spezielle Schalungsanker – z. B. mit aufgeschweißter Wassersperrplatte oder als mehrteiliger Ankerstab mit Wassersperre – sind vor allem bei Druckwasserbeanspruchung zur Sicherstellung der Wasserundurchlässigkeit an den Ankerstellen erforderlich.

Die freie Fallhöhe des Betons darf 1 m nicht überschreiten, um Entmischungen am Wandfuß vorzubeugen. Bei Überschreitung

der Fallhöhe ist ein Fallpolster aus Beton mit 8 mm Größtkorn mindestens 30 cm hoch (bzw. Höhe = Bauteildicke) vorzusehen. Die einzelnen Schüttilagen sind auf 30 cm bis 50 cm zu begrenzen und mit dem Innenrüttler zu vernadeln. Die oberste Betonierlage in Wänden ist nachzuverdichten. Fugenflächen sollten nicht glatt abgezogen, sondern aufgeraut werden.

Unmittelbar nach Fertigstellung der Betonoberflächen (Sohlplatten) bzw. nach dem Entschalen der Wände muss die Betonoberfläche durch geeignete Nachbehandlungsmaßnahmen vor Austrocknung geschützt werden. Die Nachbehandlung ist unabhängig von den Witterungsbedingungen stets vorzunehmen (Nachbehandlungsdauer nach DIN 1045-3). Nachbehandlungsmaßnahmen sind so zu wählen, dass Eigen- und Zwangsspannungen infolge Hydratationswärme möglichst gering bleiben. Vor allem bei dickeren Bauteilen ist deshalb darauf zu achten, dass die Temperaturdifferenz zwischen Kern und Randzone zum Zeitpunkt des Ausschalens (i. d. R. nach Überschreitung des Temperaturmaximums im Kern) nicht zu groß wird. Eine Schalhaut aus Holz dämpft den Wärmeabfluss in der Randzone, so dass eine Verlängerung der Einschaldauer bis zu einem annähernden Temperaturengleich im Bauteilinnern eine günstige Nachbehand-

**Tafel 6: Nachweisführung bei wasserundurchlässigen Bauwerken nach WU-Richtlinie, in Anlehnung an [7]**

Beanspruchungsklasse	Nutzungsklasse		
	A		B
1	Nachweis der Druckzonenhöhe $x \geq 30$ mm oder $x \geq 1,5 \cdot D_{max}$ (Größtkorn)	oder	Begrenzung der Biegerissbreite $w_{cal} \leq w$ nach Tafel 3
	Vermeidung von Trennrissen, z. B. durch abgedichtete Sollrissfugen	oder	Begrenzung der Trennrissbreite $w_{cal} \leq w$ nach Tafel 3 nur in Kombination mit raumklimatischen und bauphysikalischen Maßnahmen
2	Begrenzung der Trennrissbreite	Wände $w_{cal} \leq 0,20$ mm Bodenplatten $w_{cal} \leq w$ nach DIN 1045-1, 11.2.1 (i. d. R. $w_{cal} \leq 0,30$ mm)	Begrenzung der Trennrissbreite $w_{cal} \leq w$ nach Tafel 3
Sollrissquerschnitt	Fugenabdichtung erforderlich		Fugenabdichtung nicht erforderlich

lungsmaßnahme darstellt. Im Zweifel empfiehlt sich eine Prüfung der Temperaturunterschiede zwischen Kern und Rand, um gegebenenfalls mit einer wärmedämmenden Auflage (z. B. Luftpolsterfolie) reagieren zu können. Der Temperaturunterschied zwischen Kern und Rand sollte aufgrund der Rissgefahr durch Eigenspannungen 15 bis 18 K nicht überschreiten. Weitere Empfehlungen zur Nachbehandlung von Sohlplatten enthält [13].

Bei der Montage von Elementwänden muss die Anschlussfuge Sohle-Wand frei von Verunreinigungen sein. Die Fertigteilflächen dürfen keine Risse aufweisen. Die Wände müssen mindestens 30 mm aufgeständert werden. Vor dem Betonieren sind die Innenseiten vorzunässen. Die Oberflächentemperatur der Fertigteile muss über 0 °C liegen.

## ■ 8 Überwachung

Wasserundurchlässige Bauwerke mit Druckwasserbeanspruchung sind nach DIN 1045-3 [1] grundsätzlich in die Überwachungsklasse 2 (ÜK 2) einzuordnen (Tafel 7). Eine Ausnahme besteht, wenn der Baukörper maximal zeitweise aufstauendem Sickerwasser ausgesetzt ist und wenn in der Projektbeschreibung nichts anderes festgelegt ist. In diesem Fall darf die Überwachungsklasse 1 angewendet werden. Damit gilt die Ausnahmeregelung auch für den Lastfall Bodenfeuchtigkeit und nicht stauendes Sickerwasser. Findet bei den Expositionsklassen eine Einstufung in XA (chemischer Angriff) oder XS (Meerwasser) statt oder ist aus statischen Gründen eine Betonfestigkeitsklasse > C25/30 erforderlich, muss in jedem Fall nach ÜK 2 überwacht werden.

Die Prüfung der Wassereindringtiefe wird weder in DIN 1045-2 noch in der WU-Richtlinie gefordert. Falls eine Prüfung der Wassereindringtiefe gewünscht wird, müssen Prüfverfahren, -häufigkeiten und Konformitätskriterien zwischen den Vertragspartnern vereinbart bzw. als besondere Leistung ausgeschrieben werden. Der Prüfablauf der Wassereindringtiefe ist in DIN EN 12390-8 geregelt. Konformitätskriterien zur Beurteilung der Ergebnisse sind dort nicht enthalten, sondern müssen festgelegt werden (z. B. maximal 5 cm Wassereindringtiefe als Mittelwert aus 3 Probekörpern je vorgegebenem Bauabschnitt).

## Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung

<b>Regionale Ansprechpartner</b>	<b>www.beton.org</b>
<p><b>BetonMarketing Nord GmbH</b> Hannoversche Straße 21, 31319 Sehnde-Höver, Tel.: 05132 8796-0, Fax: 05132 8796-15, hannover@betonmarketing.de</p> <p><b>BetonMarketing Ost GmbH</b> Teltower Damm 155, 14167 Berlin-Zehlendorf, Tel.: 030 3087778-0, Fax: 030 3087778-8, mailbox@bmo-berlin.de</p> <p><b>BetonMarketing Süd GmbH</b> Gerhard-Koch-Straße 2+4, 73760 Ostfildern, Tel.: 0711 32732-200, Fax: 0711 32732-202, info@betonmarketing.de</p> <p>Büro München: Rosenheimer Straße 145 g, 81671 München, Tel.: 089 450984-0, Fax: 089 450984-45, muenchen@betonmarketing.de</p> <p>Büro Wiesbaden: Friedrich-Bergius-Straße 7, 65203 Wiesbaden, Tel.: 0611 261066, Fax: 0611 261068, wiesbaden@betonmarketing.de</p> <p><b>BetonMarketing West GmbH</b> Annastraße 3, 59269 Beckum, Tel.: 02521 8730-0, Fax: 02521 8730-29, bmwest@betonmarketing.de</p>	
<b>Herausgeber: Verein Deutscher Zementwerke e.V., Tannenstraße 2, 40476 Düsseldorf</b>	<b>www.vdz-online.de</b>
<b>Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann</b>	

**Tafel 7: Überwachungsklassen (ÜK) für WU-Bauwerke**

Gegenstand	ÜK 1	ÜK 2	ÜK 3
Festigkeitsklassen für Normalbeton	≤ C25/30	≥ C30/37 ≤ C50/60	≥ C55/67
Expositionsklasse	X0, XC, XF1	XA, ≥ XF2, XM	–
besondere Beton-eigenschaften	–	Beton für WU-Baukörper <sup>1)</sup>	–

<sup>1)</sup> Bei Beton mit hohem Wassereindringwiderstand ÜK 1 zulässig nur für Beton, der maximal zeitweilig aufstauendem Sickerwasser ausgesetzt ist und für den die Projektbeschreibung keine andere Festlegung enthält.

Beanspruchungs-klasse 1	ÜK 2	Druckwasser oder nicht drückendes Wasser (< 10 cm)
	ÜK 1	zeitweilig aufstauendes Sickerwasser
Beanspruchungs-klasse 2	ÜK 1	nicht aufstauendes Sickerwasser
	ÜK 1	Bodenfeuchtigkeit

## ■ 9 Literatur

- [1] DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton (2001-07), Beuth-Verlag, Berlin
- [2] DIN EN 206: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (2001-07), Beuth-Verlag, Berlin
- [3] DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“ (2003-11) und Berichtigung zur WU-Richtlinie (2006-03)
- [4] Beddoe, R.; Springenschmid, R.: Feuchttransport durch Bauteile, Beton- und Stahlbetonbau 94 (1999) H. 4, S. 158-166, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [5] Positionspapier des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton zur DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ – Feuchttransport durch WU-Konstruktionen, Juli 2006, DAfStb, Berlin
- [6] Erläuterungen zur WU-Richtlinie, DAfStb-Heft 555, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag, Berlin 2006
- [7] Timm, G.: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton – von der Planung bis zur Ausführung, Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004) H. 7, S. 514-519, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [8] DBV-Merkblatt Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau, Fassung Januar 2006, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Berlin
- [9] Lohmeyer, G.; Ebeling, K.: Weiße Wannen – einfach und sicher. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2006.
- [10] Alfes, C.: Bauen mit der Elementwand im drückenden Wasser. beton 52 (2002) H. 1, S. 22-27, Verlag Bau+Technik, Düsseldorf
- [11] Hohmann, R.: Fugenabdichtungen bei wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2005
- [12] Zement-Merkblatt B 22: Arbeitsfugen – Fugenabdichtungen, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e. V., Düsseldorf 2002
- [13] Springenschmid, R.: Zum Einfluß der Temperatur während der Nachbehandlung auf Risse in Bodenplatten und Weißen Wannen. Beton- und Stahlbetonbau 98 (2003) H. 11, S. 654-660