

Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton werden auch als Weiße Wannen bezeichnet. Sie sind in der Lage, die tragende und die abdichtende Funktion als monolithisches Bauwerk in einem zu übernehmen. In dieser einfachen Konstruktion liegt ein entscheidender Vorteil gegenüber anderen Abdichtungen.

■ 1 Regelwerke

Neben den allgemeinen Regelwerken für den Betonbau [1], [2] legt die DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“ [3] detaillierte Anforderungen an Planung und Ausführung fest. Bauphysikalische und weitere nutzungsbedingte Anforderungen (siehe 4.3) sind vom Planer gesondert zu berücksichtigen und nicht Gegenstand der WU-Richtlinie. Hinweise und Festlegungen hierzu können [7] entnommen 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 beinhaltet Bodenplatten und Wände sowie sinngemäß auch Decken, Dächer, Behälter und Becken.

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

■ 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

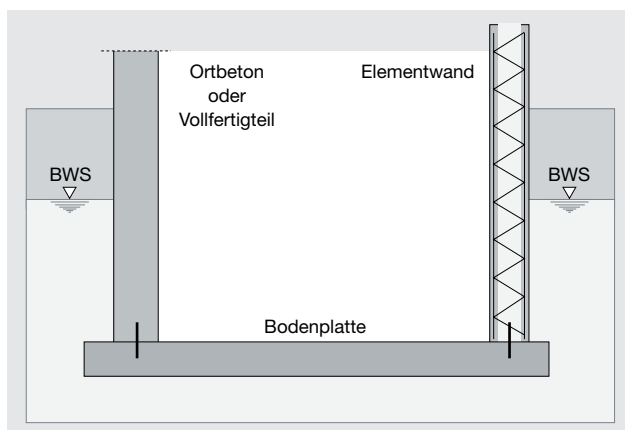


Bild 1: Wasserundurchlässige Bauwerke (Weiße Wannen) aus Beton ohne zusätzliche Abdichtung in verschiedenen Bauweisen.

angestrebt und im Weiteren auf die Planungsverantwortung für die einzelnen Bereiche hingewiesen.

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.

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.

■ 3 Lastfall Wasser/Feuchtetransport

WU-Konstruktionen verhindern den Durchtritt von Wasser in flüssiger Form. Die Bandbreite der Beanspruchung reicht von Bodenfeuchte bis hin zu nicht drückendem und drückendem Wasser. Der Bemessungswasserstand muss bei der Planung bekannt sein. Die Art der Wasserbeanspruchung wird in eine Beanspruchungsklasse eingestuft. Neben dem hydrostatischen Wasserdruck muss ein eventueller chemischer Angriff durch Grundwasser oder Boden 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 Beton mit hohem Wassereindringwiderstand können nach [3] wie im Bild 2 dargestellt werden. Die kapillare Wasseraufnahme auf der dem Wasser zugewandten 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 Austrocknungsbereich 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 Bauteildi-

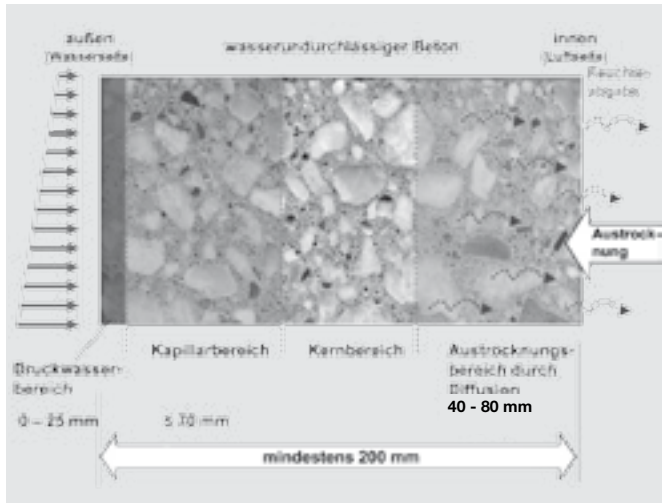


Bild 2: Arbeitsmodell für Feuchtebedingungen im Betonquerschnitt bei einseitiger Wasserbeaufschlagung für ungerissene Betone C30/37 und $w/z \leq 0,55$ in Anlehnung an Beddoe/Springenschmid [9]

cke praktisch 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 [5], [12]. Auch in [14] wurde bei ständig drückendem Wasser (schwimmende Häuser) in keinem Fall über erhöhte Luftfeuchten berichtet.

■ 4 Elemente einer WU-Planung

Eine Weiße Wanne erfordert mehr als nur Beton mit hohem Wassereindringwiderstand, um funktionsfähig zu sein. Die in der Planung zu berücksichtigenden einzelnen Elemente und Maßnahmen sind:

- Baustoff:
Beton mit hohem Wassereindringwiderstand
- 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.

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 kann der Beton reißen. Bei einer wasserundurchlässigen

Betonkonstruktion müssen diese Risse mit Hilfe von Bewehrungsstahl auf eine festgelegte maximale rechnerische Rissbreite begrenzt werden. Bevorzugt sollte 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 entstehen 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 vorgesehene 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. Bauphysikalische Anforderungen aus der Nutzung
4. Bestimmung der Mindestwanddicken
5. Druckgefälle i und rechnerische Rissbreite w_k festlegen
6. Konstruktion hinsichtlich Zwangbeanspruchung optimieren
7. Fugenaufteilung und Abdichtungssystem festlegen
8. Einbauteile, Durchdringungen

4.1 Ermittlung des Bemessungswasserstands und der Beanspruchungsklasse

Die Ermittlung des Bemessungswasserstands (BWS) ist unverzichtbare Grundlage jeder Planung. Grundwasserflurstandskarten liefern erste Kenntnisse. 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 von Wasserwerken, Industrie, tagesbaubedingte Sümpfungen 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 BWS. Sicherheitszuschläge zum BWS sollten unter Berücksichtigung von Baugrundeigenschaften sowie in Abhängigkeit von der Genauigkeit der vorhandenen Informationen festgelegt werden.

Tafel 1: Zuordnung der Beanspruchungsklassen

Beanspruchungsklasse 1	Beanspruchungsklasse 2
<p><i>drückendes Wasser</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Grundwasser, Schichtenwasser, Hochwasser oder anderes Wasser, das einen hydrostatischen Druck ausübt (auch zeitlich begrenzt) 	<p><i>nicht stauendes Sickerwasser</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Wasser, das bei sehr stark durchlässigen Böden ($k_f \geq 10^{-4} \text{ m/s}$) ohne Aufstau absickern kann ■ Wasser, das bei wenig durchlässigen Böden durch dauerhaft funktionierende Dränung nach DIN 4095 abgeführt wird
<p><i>nicht drückendes Wasser</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Wasser in tropfbar flüssiger Form, das keinen oder nur einen geringen hydrostatischen Druck (Wassersäule $\leq 100 \text{ mm}$) ausübt 	<p><i>Bodenfeuchte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ kapillar im Boden gebundenes Wasser
<p><i>zeitweise aufstauendes Sickerwasser</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Wasser, das sich auf wenig durchlässigen Bodenschichten ohne Dränung aufstauen kann. Die Bauwerkssohle liegt mindestens 30 cm über Bemessungswasserstand 	

Nach den Erläuterungen zur WU-Richtlinie [4] kann der BWS 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 Ermittlung des zu erwartenden BWS und dem vereinfachten Ansetzen auf Geländeoberkante sollte nicht ohne Einbeziehung des Bauherrn erfolgen. Ein Ansetzen des BWS 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 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. Die Nutzungsklasse A stellt die Variante für hochwertig genutzte Bauwerke dar. Weitergehende Festlegungen bei hochwertiger Nutzung regelt [7].

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 Bauweise mit begrenzter Rissbildung ist für die Nutzungsklasse A wegen des während der Selbstheilung möglichen temporären Wasserdurchtritts im Regelfall nicht anwendbar [4].

4.3 Bauphysikalische Anforderungen aus der Nutzung

Zur Vermeidung von Tauwasser auf den Innenflächen müssen nach [3] zusätzliche bauphysikalische und raumklimatische Maßnahmen (Lüftung, außen liegende Wärmedämmung, Heizung, Klimatisierung) getroffen werden. Bei Nutzungsklasse A muss der Planer den Bauherrn hierauf gesondert hinweisen.

Diese Forderungen lassen sich nach [7] exakt festlegen. Dort wird eine Unterteilung der Nutzungsklasse A in die Klassen A*, A** und A*** vorgenommen, die einen differenzierten Bezug zwischen Anforderungen, Raumklima und technischen Maßnahmen herstellen.

Darüber hinaus sind meist auch raumklimatische Anforderungen aus der Energieeinsparverordnung zu beachten. Bei hochwertiger Nutzung, z. B. als Wohnraum, kann eine außen liegende Perimeter-Wärmedämmung vorgesehen werden, die gleichzeitig einem möglichen Tauwasseranfall auf der Innenseite entgegenwirkt. Die Bildung von Tauwasser ist nämlich vom Raumklima und der Oberflächentemperatur des Bauteils abhängig. Sie hat nichts mit der Dichtigkeit des Baustoffs zu tun [13], [15].

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 innen liegende Abdichtung angeordnet werden. Die vorhandene Baufeuchte kann sonst im Laufe der Zeit zum Feuchtigkeitsstau führen, da das Gleichgewicht im Austrocknungsbereich gestört wird.

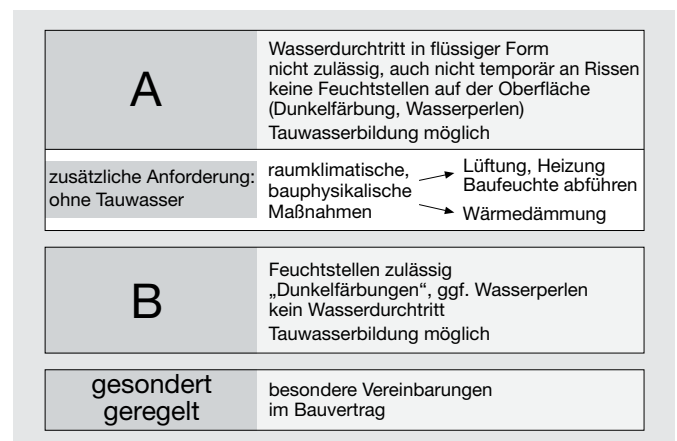


Bild 3: Nutzungsklassen nach der WU-Richtlinie

Tafel 2: Empfohlene Mindestbauteildicken in mm

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

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

4.4 Bestimmung der Mindestwanddicken

Die WU-Richtlinie empfiehlt Mindestwanddicken (Tafel 2). 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 oder zwischen den Innenflächen von Elementwänden gefordert, um einen einwandfreien Betoneinbau zu ermöglichen:

- 8 mm Größtkorn: b_{w,i} ≥ 12 cm
- 16 mm Größtkorn: b_{w,i} ≥ 14 cm
- 32 mm Größtkorn: b_{w,i} ≥ 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.

4.5 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 rechnerisch angenommenen Rissbreiten können sich aufgrund von Streuungen bei Materialeigenschaften und Ausführung sowie Vereinfachungen bei der Rissberechnung von den tatsächlich auftretenden Rissen unterscheiden [6], [17].

Grundlage der zulässigen Rechenwerte für die Trennrissbreiten ist die Annahme einer potenziellen Selbstheilung im Riss,

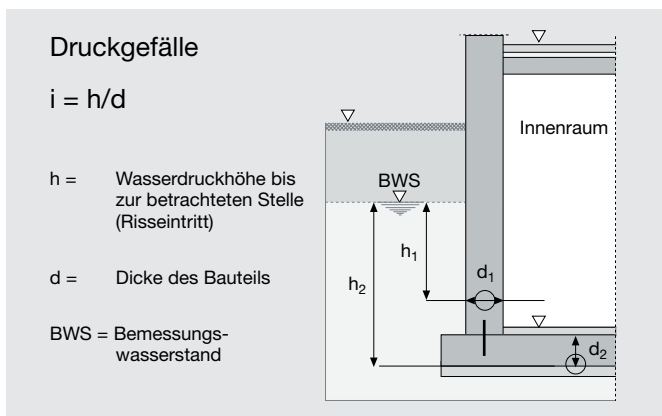


Bild 4: Bestimmung des Druckgefälles

Tafel 3: Maximale Trennrissbreiten nach [3]

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 ¹⁾ w _k [mm]	zulässiges Druckgefälle $i = (h_{Wasser}/d_{Bauteil})$
0,20	≤ 10
0,15	> 10 ... ≤ 15
0,10	> 15 ... ≤ 25

¹⁾ nur für Wasser mit CO₂ (Kalklösende Kohlensäure) ≤ 40 mg/l und pH-Wert ≥ 5,5; andernfalls ist Selbstheilung nicht ansetzbar

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 [13] werden für die rechnerischen Trennrissbreiten in Tafel 3 wesentlich niedrigere zulässige Druckgefälle als in [3] empfohlen, so z. B. w_k = 0,20 nur bis zu i ≤ 2,5.

4.6 Konstruktion hinsichtlich Zwangbeanspruchung optimieren

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

- thermisch
 - Abfließen der Hydrationswärme
 - 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). Die Variante mit feinkörnigem Sandbett ist wegen der notwendigen Auflage für die Abstandhalter ausführungstechnisch zu hinterfragen. 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 μ bei unterschiedlichen Untergrundverhältnissen, Trenn- und Gleitschichten
(in Anlehnung an die DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“, 2004, sowie an [4])

Untergrund	Gleitschicht	Reibungsbeiwert μ 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	≈ 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 [13] 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 [8]):

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

4.7 Fugenaufteilung und Abdichtungssystem festlegen

Hierunter fallen Arbeitsfugen an Betonierabschnitten, geplante Scheinfugen zur Zwangverminderung und Raumbfugen (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 nicht geregelte Fugenabdichtungen.

Geregelte Fugenabdichtungen

- unbeschichtete Fugenbleche (innen¹⁾, Bild 5)
- Fugenbänder (innen¹⁾/außen²⁾)

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.

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

Nicht geregelte Fugenabdichtungen

- Injektionsschläuche/Verpressschläuche (innen¹⁾)
- Quellprofile (innen¹⁾)
- Dichtrohre (innen¹⁾)
- Bentonitfolien (außen²⁾)
- beschichtete Fugenbleche (innen¹⁾)
- streifenförmige Dichtungen (außen²⁾)
- Kombinationen (z. B. Fugenblech + Quellprofil)

Von jedem *nicht geregelten* Fugenabdichtungssystem wird 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 ist im Internet unter www.abp-fugenabdichtungen.de zu finden. Weitere Hinweise zur Planung und Ausführung von Fugenabdichtungen sind in [4], [10] und [18] enthalten.

4.8 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 alle Rohrdurchführungen die Wände oder Sohlplatte rechtwinklig auf möglichst kurzem Weg durchstoßen. Zwischen den Bewehrungslagen eingebaute paral-

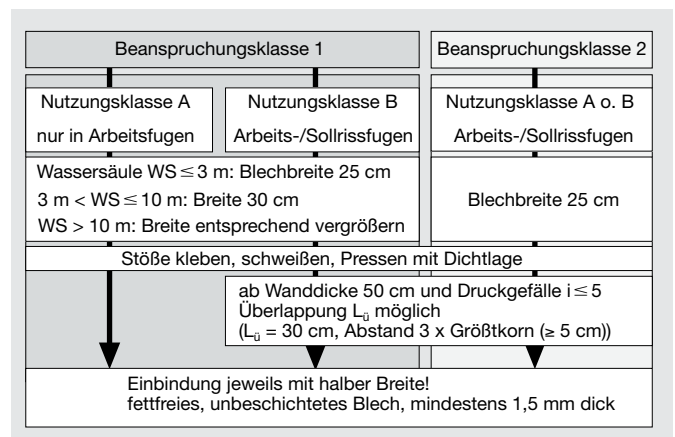


Bild 5: Anforderungen an unbeschichtete Fugenbleche nach WU-Richtlinie

lel 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.

■ 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. Die Mindestdruckfestigkeitsklasse beträgt C25/30, der Mindestzementgehalt 280 kg/m^3 . Für Dicken über 40 cm ist $(w/z)_{eq} \leq 0,70$ möglich. Aus statischen Gründen kann eine höhere Festigkeitsklasse notwendig werden. Die Dauerhaftigkeit des Betons wird über die vom Planer festzulegenden Expositionsklassen sichergestellt. Gegebenenfalls werden bei besonderen 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 $(w/z)_{eq} \leq 0,55$ zu verwenden. Für Wände ist in diesem Fall ein Beton mit einem maximalen Größtkorn von 16 mm vorzusehen.

Um Zwangsspannungen 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 Beton mit mittlerer Festigkeitsentwicklung ($r \leq 0,50$) im Winter bzw. langsamer Festigkeitsentwicklung ($r \leq 0,30$) im Sommer
- Verwendung von Zementen mit niedriger Hydratationswärmeentwicklung (LH-Zemente) oder von Zementen mit normaler Anfangsfestigkeit

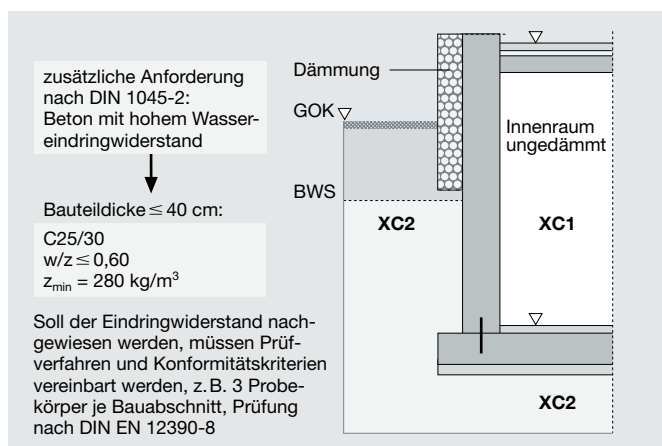


Bild 6: Beispiel für Expositionsklassen für eine Weiße Wanne

- Verwendung von Flugasche als Zusatzstoff
- niedrige Frischbetontemperaturen
- Begrenzung des Zementleimvolumens auf $V_{zL} \leq 290 \text{ l/m}^3$

Eine Zusammenstellung aller Anforderungen 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 Schaleninnenflächen gefordert, um einen guten Verbund zum auf der Baustelle eingebrachten Kernbeton zu gewährleisten. Die mittlere Rautiefe in Anlehnung an DIN EN 1766 muss $R_f \geq 0,9 \text{ mm}$ betragen und vom Elementwandhersteller nachgewiesen werden. Der Planer sollte bereits im Leistungsverzeichnis einen Hinweis aufnehmen, dass die eingesetzten Elementwände den „Anforderungen der WU-Richtlinie des 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 dem Einbau der Bewehrung die Überwachung des fachgerechten Betoneinbaus sowie die Nachbehandlung.

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 Wassersperreplatte oder als mehrteiliger Ankerstab mit Wassersperre – sind vor allem bei Druckwasserbeanspruchung zur Sicherstellung der Wasserundurchlässigkeit erforderlich.

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	$d_{min} \cdot 1,15$	20	25	$d_{min} \cdot 1,15$	15	24	$d_{min} \cdot 1,15$	24 (20) ¹⁾		
äquivalenter Wasserzementwert w/z_{eq}	$\leq 0,55$	$\leq 0,60$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,60$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,60$	$\leq 0,60$		
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		
bei Größtkorn [mm]	- ²⁾	8	16	16	32	keine Anforderung			keine Anforderung ³⁾		

¹⁾ besondere technische und ausführungstechnische Maßnahmen ²⁾ nicht erlaubt ³⁾ 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

Tafel 6: Nachweisführung bei wasserundurchlässigen Bauwerken nach WU-Richtlinie, in Anlehnung an [17]

Beanspruchungsklasse	Nutzungsklasse	
	A	B
1	Nachweis der Druckzonenhöhe $x \geq 30$ mm oder $x \geq 1,5 \cdot D_{max}$ (Größtkorn)	Begrenzung der Biegerissbreite $w_{cal} \leq w$ nach Tafel 3
	und	
	Vermeidung von Trennrissen, z. B. durch abgedichtete Sollrissfugen	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)
Sollrissquerschnitt	Fugenabdichtung erforderlich	
	Fugenabdichtung nicht 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 Schüttagungen 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. Anforderungen an die Fugenrauigkeit enthalten [3] und DIN 1045-3, Abschn. 10.3.6.

Unmittelbar nach Fertigstellung der Betonoberflächen (Sohlplatten) bzw. nach dem Ausschalen 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 Zwangspannungen 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 Nachbehandlungsmaßnahme darstellt. Im Zweifel empfiehlt sich eine Prüfung der Temperaturunterschiede zwischen Kern und Rand, um ggf. mit einer wärmedämmenden Auflage (z. B. Luftpolsterfolie) reagieren zu können. Der Temperaturunterschied zwischen Kern und Rand sollte aufgrund der Rissgefahr durch Eigenspannungen 15 K bis 18 K nicht überschreiten. Weitere Empfehlungen zur Nachbehandlung von Sohlplatten enthält [16].

Bei der Montage von Elementwänden muss die Anschlussfuge Sohle-Wand frei von Verunreinigungen sein. Die Fertigteilschalen 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.

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 ¹⁾	–

¹⁾ 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

■ 8 Überwachung

Wasserundurchlässige Bauwerke mit Druckwasserbeanspruchung sind nach [1] grundsätzlich in die Überwachungsklasse 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 [1] noch in [3] gefordert. Falls eine solche Prüfung dennoch 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

Regionale Ansprechpartner	www.beton.org
<p>BetonMarketing Nord GmbH Hannoversche Straße 21, 31319 Sehnde-Höver, Tel.: 05132 8796-0, Fax: 05132 8796-15, hannover@betonmarketing.de</p> <p>BetonMarketing Ost GmbH Teltower Damm 155, 14167 Berlin-Zehlendorf, Tel.: 030 3087778-0, Fax: 030 3087778-8, mailbox@bmo-berlin.de</p> <p>BetonMarketing Süd GmbH Gerhard-Koch-Straße 2+4, 73760 Ostfildern, Tel.: 0711 32732-200, Fax: 0711 32732-202, info@betonmarketing.de Büro München: Beethovenstraße 8, 80336 München, Tel.: 089 450984-0, Fax: 089 450984-45, info@betonmarketing.de</p> <p>BetonMarketing West GmbH Annastraße 3, 59269 Beckum, Tel.: 02521 8730-0, Fax: 02521 8730-29, info@bmwest.de</p>	
Herausgeber: Verein Deutscher Zementwerke e.V., Tannenstraße 2, 40476 Düsseldorf	www.vdz-online.de
Verfasser: Dipl.-Ing. Thomas Bose, BetonMarketing Süd GmbH, Dipl.-Ing. Rolf Kampen, BetonMarketing West GmbH	

Unsere Beratung erfolgt unentgeltlich. Auskünfte, Ratschläge und Hinweise geben wir nach bestem Wissen. Wir haften hierfür – auch für eine pflichtwidrige Unterlassung – nur bei grobem Verschulden, es sei denn, eine Beratung wird im Einzelfall vom Empfänger unter Hinweis auf besondere Bedeutung schriftlich erbeten und erteilt.

Nr. H 10 01.10/4

Beton

■ 9 Nachträglich eingebaute Innenwannen aus Beton

Wenn steigende Grundwasserstände zu vernässten Kellern geführt haben und in jedem Falle dann, wenn zusätzlich erhöhter Wasserdruck eine Verstärkung der Tragkonstruktion erfordert, bietet der nachträgliche Einbau Weißer Innenwannen eine Möglichkeit die Bausubstanz zu retten und für trockene Keller zu sorgen [11]. Die gültigen Regelwerke können hier sinngemäß angewendet werden.

■ 10 Literatur

- [1] DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton (2008-08/2001-07), 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] Erläuterungen zur WU-Richtlinie, DAfStb-Heft 555, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag, Berlin 2006
- [5] Positionspapier des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton zur DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ – Feuchtetransport durch WU-Konstruktionen, Juli 2006, DAfStb, Berlin
- [6] DBV-Merkblatt Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau, Januar 2006, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Berlin
- [7] DBV-Merkblatt Hochwertige Nutzung von Untergeschossen, Fassung Januar 2009, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Berlin
- [8] Alfes, C.: Bauen mit der Elementwand im drückenden Wasser. beton 52 (2002) H. 1, Verlag Bau+Technik, Düsseldorf
- [9] Beddoe, R.; Springenschmid, R.: Feuchtetransport durch Bauteile, Beton- und Stahlbetonbau 94 (1999) H. 4, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [10] Hohmann, R.: Fugenabdichtungen bei wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2009
- [11] Hohmann, R.; Tetz, C.; Dahmen, H.-P.: Innenwannen aus Beton als nachträgliche Abdichtung, Beton- und Stahlbetonbau 103 (2008) H. 3, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [12] Kampen, R.: Dichtigkeit von wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton, Beton+Fertigteiltagebuch, Bauverlag, Gütersloh 2007
- [13] Lohmeyer, G.; Ebeling, K.: Weiße Wannen – einfach und sicher. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2009
- [14] Oswald, R.; Wilmes, K.; Kottje, J.: Weiße Wannen hochwertig genutzt, Bauforschung für die Praxis 80, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2007
- [15] Richter, T.: Bauphysikalische Bewertung von Weißen Wannen im Wohnungsbau, beton (58) 2008, H. 4, Verlag Bau+Technik, Düsseldorf
- [16] Springenschmid, R.: Zum Einfluß der Temperatur während der Nachbehandlung auf Risse in Bodenplatten und Weißen Wannen. Beton- und Stahlbetonbau 98 (2003) H. 11
- [17] Timm, G.: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton – von der Planung bis zur Ausführung, Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004) H. 7, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [18] Zement-Merkblatt B 22: Arbeitsfugen – Fugenabdichtungen, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e. V., Düsseldorf 2002