



Dipl.-Ing. Dieter Rudat

Sachverständiger für Massivbau (ausgenommen Brückenbau)
(öffentlich bestellt und vereidigt seit 2001)

Beratender Ingenieur - BayIKBau –

Sachverständiger für Schäden an Gebäuden (EIPOS/IHK-Bil-
dungszentrum Dresden); Reg. 1277-17-2002

G 215173

Seite 1 von 13

Gutachten

1. Ausfertigung

Auftraggeber: Hilti Deutschland AG, 86916 Kaufering

Gegenstand des Gutachtens: Beurteilung der Hilti X-IE Befestigungselemente von Perimeterdämmungen auf die Funktion der Wasserundurchlässigkeit von WU-Betonwänden



Datum der Erstellung des Gutachtens: 28.06.2016



Inhalt	Seite
1 Anlass	3
2 Ortstermine	3
3 Feststellungen des Sachverständigen	3
3.1 Feststellungen aus den Unterlagen der Fa. Hilti	3
3.1.1 Produktdaten Dämmelement X-IE [9.5]	3
3.1.2 Hilti-Datenblatt: Dämmelement X-IE zur Befestigung von Perimeterdämmung in WU-Betonwänden, Stand 12/2015 [7.10]	4
3.1.3 Stellungnahme der Firma Hilti zur potentiellen Rissbildung im Beton infolge Setz-bolzenkorrosion vom 11.02.2016 [7.11]	4
4 Technische Regeln	6
5 Auswirkungen der Hilti X-IE Befestigungselemente von Perimeterdämmungen auf die Funktion der Wasserundurchlässigkeit von WU-Betonwänden	8
6 Zusammenfassung	10
7 Referenzunterlagen	11
8 Literatur	12
9 Anlagen	13



1 Anlass

Der Sachverständige Rudat wurde am 31.07.2015 von der Hilti Deutschland AG beauftragt, ein Sachverständigengutachten zu der Fragestellung zu erstellen, inwieweit sich die Hilti X-IE Befestigungselemente von Perimeterdämmungen auf die Funktion der Wasserundurchlässigkeit von WU-Betonwänden auswirken [7.1].

Zur Beurteilung dieser Fragestellung hat die Firma Hilti den Sachverständigen Rudat die in Abschnitt 7 dieses Gutachtens aufgeführten Unterlagen überlassen.

2 Ortstermine

Im Zusammenhang mit diesem Gutachten waren keine Ortstermine durchzuführen.

3 Feststellungen des Sachverständigen

3.1 Feststellungen aus den Unterlagen der Fa. Hilti

3.1.1 Produktdaten Dämmelement X-IE [9.5]

Zu diesem Produktdatenblatt gehören auch 2 Fotos [7.2], die den Befestigungsnagel mit seiner Abdeckkappe zeigen (s. Titelseite). Vor dem Eintreiben schaut der Nagel um ein bestimmtes Maß aus der Abdeckkappe heraus. Der Nagel schaut metallisch blank aus, weil er nach dem Produktdatenblatt mit Zink beschichtet ist. Die Abdeckkappe, die nach dem Eintreiben auf der Wärmedämmung sitzt, ist auf die Dicke der Wärmedämmung mit einem zylindrischen, vorne konisch zulaufenden Kunststoffteil versehen. Nach [7.3] besteht diese ab der Kappe, dort Teller genannt, einschließlich des zylindrischen, vorne konischen Anschlusses aus HDPE farblos oder schwarz.

Zum Nagel heißt es, dass dieser aus Kohlenstoffstahl HRC 58 besteht und eine Zinkbeschichtung 5-20 µm haben soll. Nach telefonischer Rückfrage bei dem Auftraggeber Firma Hilti handelt es sich bei dem Stahl HRC 58 um ein speziell gehärtetes Material, das von der Höhe Firma Hilti entwickelt wurde. Aufgrund der sehr dünnen Zinkschicht wird davon ausgegangen, dass es sich um eine galvanische Verzinkung handelt, die vermutlich beim Eintreiben in den Beton bereits Schäden erleiden dürfte. Dennoch soll es aufgrund der Materialeigenschaften des Nagels nicht zu Korrosionserscheinungen kommen.



3.1.2 Hilti-Datenblatt: Dämmelement X-IE zur Befestigung von Perimeterdämmung in WU-Betonwänden, Stand 12/2015 [7.10]

Dieses aktuelle Datenblatt enthält folgende Informationen:

-
- In [7.10] gibt es eine Skizze mit dem zugehörigen Text „Befestigung von Perimeterdämmung auf wasserundurchlässigem Beton (WU-Beton)“.
- Aus [7.10] geht der Anwendungszweck klar hervor. Dort heißt es zum Zweck der Anwendung, dass es sich um die Befestigung der Dämmplatten als temporäre Lagesicherung während der Bauphase handelt. Nach dem Verfüllen der Baugrube haben die X-IE Befestigungselemente keine statische Funktion mehr.
- Der Hinweis, dass der wasserundurchlässige Beton (WU-Beton) den jeweiligen europäischen bzw. nationalen Regelwerken entsprechen muss, ist zu begrüßen.
- In der Fassung [7.10] von 2015 heißt es auf Blatt 1: „Der Einsatz von X-IE Befestigungselemente beeinflusst die Wasserundurchlässigkeit von WU-Beton nicht“. Dies zu beurteilen ist Gegenstand dieses Gutachtens, mit dem der Sachverständige Rudat beauftragt wurde. Diesbezüglich ist auf Abschnitt 5 zu verweisen.
- Zur Auswahl des Befestigungselements enthält [7.10] auf Blatt 2 eine Tabelle. Danach gibt es Befestigungselemente mit der Bezeichnung X-IE 6. Zur Anwendung heißt es dort: *„Die Länge des Befestigers L muss gleich der Dicke t_i der Dämmplatte sein.“* Eine Einschränkung oder Abweichung hinsichtlich der verschiedenen Dämmmaterialien gibt es nicht
- [7.10] enthält präzise Angaben zur Mindestdicke des WU Betons von 200 mm sowie zu den Betonfestigkeitsklassen mit 25-55 N/mm².
- Weiterhin enthält [7.10] Angaben zu den minimalen Rand- und Achsabstände mit 75 bzw. 100 mm.
- Die Tabelle der empfohlenen Lasten findet sich auf Blatt 3 von [7.10]

3.1.3 Stellungnahme der Firma Hilti zur potentiellen Rissbildung im Beton infolge Setzbolzenkorrosion vom 11.02.2016 [7.11]

Der Sachverständige Rudat hatte die Möglichkeit beschrieben, dass die in den Beton eingetriebenen Nägel rosten könnten mit der Folge von möglicher Rissbildung in WU Beton. Die Stellungnahme [7.11] von Herrn DI Beck aus dem Hause Hilti geht auf diese vom Sachverständigen angedeutete Möglichkeit ein. Die dabei von Herrn DI Beck vorgetragene Argumente werden nachfolgend zusammengefasst und vom Sachverständigen Rudat beurteilt.

Herr Beck geht bei seinen Überlegungen, die durch eine anschauliche Skizze unterstützt werden, ebenso Sachverständige Rudat davon aus, dass die Nägel rosten könnten. Diese Überlegung ist auch nicht von der Hand zu weisen, weil sie lediglich über eine sehr dünne galvanische Verzinkung verfügen, die beim Eintreiben in den Beton bereits partiell zerstört werden könnte. Damit liegt der korrosionsanfällige schwarze Stahl des Nagels im Beton an der feuchtigkeitszugewandten Seite, wo vor allen Dingen zu Beginn der Baumaßnahme oder aber, wenn die WU-Wand permanent im Grundwasser steht, natürlich eine erhöhte Feuchtigkeitzufuhr herrscht.



Die Argumente von Herrn DI Beck, weswegen dennoch keine Rissbildung zu befürchten ist, lauten im Wesentlichen (Argumente kursiv, Stellungnahme Rudat in Klammern in Normalschrift):

- *die Korrosion und die damit verbundene Volumenvergrößerung des Nagels verlaufen sehr langsam, (dem ist aus Sachverständiger Sicht zuzustimmen);*
- *der Zugwiderstand der Scheibe sei verglichen mit den entstehenden Zwängungskräften um ein Vielfaches größer, wodurch ein „Spalten“ (Aufreißen) der Betonscheibe verhindert würde (Herr Beck betrachtet hinsichtlich dieser Spaltwirkung die Außenwand als Scheibe, weil es sich um eine Beanspruchung in der Wandebene handelt, das ist zutreffend), (dies ist eine Vermutung, für die es keinen Beleg gibt; die Zugfestigkeit des Betons ist in allen Richtungen vergleichsweise gering im Vergleich zur Druckfestigkeit; wenn der Nagel an der Betonoberfläche rosten kann, werden sich dort im Laufe der Zeit auch Betonabplatzungen und/oder Risse einstellen);*
- *beim Eintreiben des Nagels mit dem kleinen Durchmesser würden noch keine Risse entstehen, (nach allgemeiner praktischer Erfahrung aus dem Eintreiben von Dübel oder Nägeln in Beton ist dieser Annahme zuzustimmen);*
- *Druckspitzen im Kontaktbereich Nagel-Beton würden sich durch lokales Kriechen abbauen, (der Einfluss des Kriechens ist aus Sicht der Sachverständige hier zu vernachlässigen);*
- *das Volumenverhältnis zwischen Nagel und Beton sei um ein Vielfaches kleiner als das Volumenverhältnis zwischen der normalen Betonstahl-Bewehrung und dem Beton, (dem ist natürlich zuzustimmen);*
- *die galvanische Verzinkung würde die Grundmaterialkorrosion verzögern, (das trifft insoweit zu, als ausgeschlossen werden kann, dass die galvanische Verzinkung nicht beim Eintreiben des Nagels zumindest teilweise beschädigt wird);*
- *die Kontaktfläche zwischen Setzbolzen und Beton sei im Inneren des Betons geschlossen und daher makroskopisch dicht, (das trifft wohl zu, gilt aber auch für die Umhüllung normaler Bewehrungsstäbe durch Beton, die dennoch rosten, wenn die Karbonatisierungsfront entsprechend weit vordringt);*
- *der Nagel ist im alkalischen Milieu des Betons gegen Korrosion geschützt, die Karbonatisierung der Kellerwände sei verglichen mit direkter Außenluft ausgesetzten Wänden vergleichsweise gering, (beiden Argumenten wird vom Sachverständigen Rudat zugestimmt);*
- *der Setzbolzen sei nur oberhalb der Betonoberfläche der Korrosion ausgesetzt, die sich dann langsam von oben in den Beton hinein fortsetzen könnte, die damit verbundene Volumenvergrößerung würde dann vor allem spannungsfrei in Richtung der freien Fläche nach oben eintreten*
- (die Gefahr der Korrosion oberhalb der Betonoberfläche sieht der Sachverständige als sehr gering an, da nach seinem Verständnis von dem Produkt Hilti X-IE dieser Nagel bis auf den Nagelkopf vollständig mit Kunststoff (HDPE) ummantelt ist; insofern wird hier eine Korrosionsgefahr auch aufgrund der galvanische Verzinkung, die in diesem Bereich wohl nicht beschädigt werden kann, mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen).



4 Technische Regeln

Die geltenden technischen Regeln für Stahlbetonbauwerke in WU-Bauweise ergeben sich insbesondere aus [8.10] und [8.11]. Sie wurden vom Unterzeichner in seiner Veröffentlichung, zuletzt aktualisiert im März 2016, zusammengefasst. Diese Veröffentlichung liegt diesem Gutachten als Anlage 1 bei. Die wesentlichen Aussagen daraus werden nachfolgend zusammengefasst:

Theorie des Feuchtetransports durch Beton

Die Abbildung auf der folgenden Seite wird heute allgemein als theoretische Erklärung für den Feuchtetransport durch Beton und damit als Grundlage für die WU-Bauweise angesehen. Dieses Gedankenmodell beruht auf Untersuchungen von Beddoe und Springenschmid an der TU München.

Nach diesem Gedankenmodell wird eine wasserundurchlässige Wand oder Bodenplatte aus Beton in 3 Zonen unterteilt. Auf der wasserberührten Seite liegt der Druckwasser- oder Kapillarbereich mit insgesamt zwischen 70 und höchstens 95 mm. Auf der Innenseite des Bauwerks befindet sich die Diffusionszone, die jedenfalls in diesem Modell so bezeichnet wird (näheres dazu weiter unten), und der mittlere Bereich des WU-Betonbauteils trägt die Bezeichnung Kernbereich.

Es handelt sich hier also um ein Gedankenmodell. In dem Kapillarbereich findet der Wassertransport noch in flüssiger Form statt. Auf dem weiteren Weg zur Innenseite der Wand oder Bodenplatte findet dann nur noch die Diffusion statt, also Wassertransport in gasförmigem Aggregatzustand. Die Größenordnung der Diffusion ist in Fachkreisen umstritten. Die Beton nahe Industrie und deren Verbände setzen die Diffusionsraten sehr niedrig an. Wissenschaftliche Langzeitstudien an der TU Dresden haben jedoch gezeigt, dass die Diffusionsraten, abhängig von der jeweiligen Betonqualität, ganz unterschiedliche und um Zehnerpotenzen differierende Werte erreichen können. Diesbezüglich wird auf die Anlage 1 zu diesem Gutachten verwiesen, wo sich zu diesen Diffusionsraten konkrete Zahlenangaben finden.

Aus diesem Gedankenmodell zum Feuchtetransport durch Beton leiten sich die nachfolgend geschilderten Anforderungen an Wasserundurchlässige Wände und Bodenplatten nach dieser Bauweise ab.

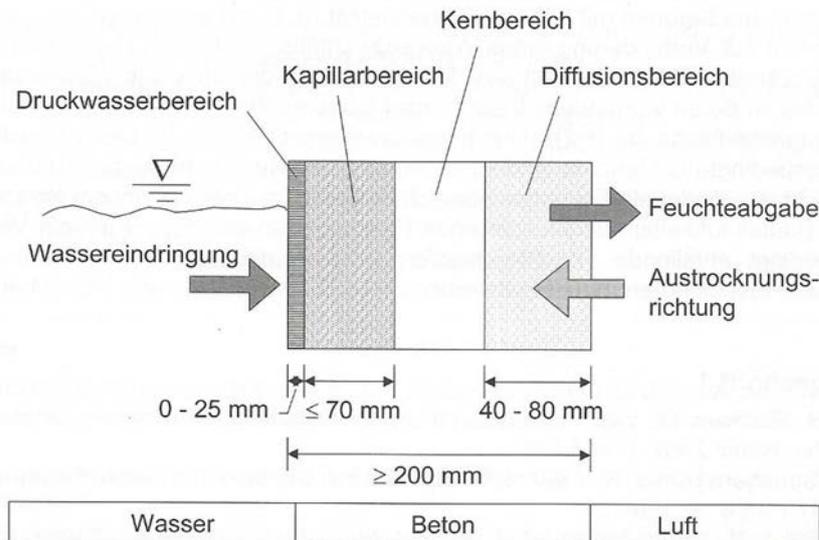


Bild E.1.1 – Arbeitsmodell (in Anlehnung an [1.2, 1.3]) für Feuchtebedingungen in einem Betonbauteil-Querschnitt unter einseitiger Beaufschlagung mit drückendem Wasser (Beton B35 WU, $w/z \leq 0,55$)

Beanspruchung-und Nutzungsklassen

Es werden zwei Beanspruchungsklassen unterschieden:

- **Beanspruchungsklasse 1: Drückendes und nicht drückendes Wasser sowie zeitweise aufstauendes Sickerwasser**
- **Beanspruchungsklasse 2: Bodenfeuchte und nicht stauendes Sickerwasser**

Nutzungsklassen: Die Richtlinie [8.10] unterscheidet die Nutzungsklassen A und B.

- **Bei der Nutzungsklasse A ist ein Feuchtetransport in flüssiger Form nicht zulässig, d. h. Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche als Folge von Wasserdurchtritt sind auszuschließen.**
- **Bei der Nutzungsklasse B sind Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche zulässig, d. h. es wird nur eine begrenzte Wasserundurchlässigkeit gefordert.**

Anforderungen an den WU-Beton

- Neben den sich aus den jeweils zutreffenden Expositionsklassen nach DIN 1045-1 bzw. dem EC2 ergebenden Anforderungen sind speziell bei wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton die Anforderungen an einen Beton mit hohem Wassereindringwiderstand nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 einzuhalten.



- In jedem Fall darf der Wasserzementwert w/z_{eq} 0,60 nicht überschreiten, was bei einem Normalbeton der Druckfestigkeitsklasse C25/30 entspricht.
- Die ausreichende Verarbeitbarkeit fordert in der Regel die Konsistenzklasse F3 oder weicher.
- Bei Ausnutzung der Mindestdicken nach folgender Tabelle 1 aus [8.10] darf bei der Beanspruchungsklasse 1 der Wasserzementwert 0,55 nicht überschreiten und das Größtkorn der Zuschlagsstoffe ist auf 16 mm zu begrenzen.

Tabelle 1 - Empfohlene Mindestdicken von Bauteilen in mm

			1	2	3
	Bauteil	Beanspruchungsklasse	Ausführungsart		
			Ortbeton	Elementwände	Fertigteile
1	Wände	1	240	240	200
2		2	200	240	100
3	Bodenplatte	1	250		200
4		2	150		100

Anmerkung: Bei Wänden unter der Beanspruchungsklasse 2 darf unter Beachtung besonderer betontechnischer und ausführungstechnischer Maßnahmen die Wanddicke auf 200 mm abgemindert werden

5 Auswirkungen der Hilti X-IE Befestigungselemente von Perimeterdämmungen auf die Funktion der Wasserundurchlässigkeit von WU-Betonwänden

In diesem Abschnitt soll die eigentliche Fragestellung beantwortet werden, ob durch diese Hilti X-IE Befestigungselemente von Perimeterdämmungen ein negativer Einfluss auf die Wasserundurchlässigkeit der WU-Beton-Wände eintreten kann.

Aufgrund der im Abschnitt 4 geschilderten theoretischen Grundlagen der WU-Bauweise und den Abmessungen des Hilti X-IE Nagels dringt dieser also maximal um 29 mm in den Kapillarbereich der WU-Wand ein, der 70-95 mm dick ist.

Die Befestigungen werden ca. im Abstand von zumindest 100 cm angebracht. Daher ist es aus Sicht des Sachverständigen nicht vorstellbar, dass dadurch der Feuchtetransport durch die WU-Wand in messbarer Größenordnung beeinflusst wird, wenn man bedenkt, dass schon die Diffusionsraten um Zehnerpotenzen schwanken können.

Natürlich gelten diese Ausführungen nur für WU-Beton entsprechend [8.10] ohne durchgehende Trennrisse, wie auch die gesamte im Abschnitt 4 geschilderte Theorie des Feuchtigkeitstransports immer auf den diesen Beton bezogen ist.



Diese Ausführungen gelten unabhängig von der Wanddicke des Betons, die nach den Ausführungen in [8.10] bzw. Anlage 1 zumindest 20 cm betragen muss.

Deswegen muss an dieser Stelle noch auf die Frage eingegangen werden, ob durch das Eintreiben des Nagels vom Hilti X-IE Befestigungselement möglicherweise eine Rissbildung entstehen kann. Diese wäre dann zu befürchten, wenn der Nagel rosten könnte. Rostbildung wäre dann denkbar, wenn die galvanische Verzinkung des Nagels beim Eintreiben in den Beton bereits teilweise beschädigt wird und wenn Wasser und Sauerstoff an die Oberfläche des Nagels herankommen können.

Soweit der Sachverständige die Angaben in [7.10] verstanden hat, ist der eigentliche Stahl des Nagels ein Kohlenstoffstahl, der also rosten kann. Eine galvanische Verzinkung mit einer Dicke von 5-20 µm kann durchaus beim Eintreiben in den Beton zumindest teilweise bis auf die Oberfläche des Nagels geschädigt werden.

Die Bewehrung im Beton rostet deswegen nicht, weil sie von einer hoch alkalischen Zementmatrix mit pH-Werten von 12-14 umgeben ist. Diese alkalische Schutzwirkung der Zementmatrix bleibt so lange erhalten, bis durch Fortschreiten der Karbonatisierungsfront der pH-Wert in der Umgebung der Bewehrung auf unter 9 absinkt. Bei entsprechend guter Betonqualität dauert dies bei normalen Expositionsklassen und ausreichender Betondeckung zumindest 50 Jahre. Mit ausreichender Betondeckung werden die aktuell geltenden Werte nach DIN 1045 von 2008 bzw. EC2 verstanden. Für diesen Fall gelten Expositionsklassen XC. Dabei ist zu unterscheiden:

- XC1: trocken oder ständig nass (dies würde zum Beispiel bei einem permanent im Grundwasser stehenden WU-Bauwerk zutreffen);
- XC2: nass, selten trocken, zum Beispiel Gründungsbauteile (dies dürfte der übliche Anwendungsfall für eine WU-Außenwand im Bereich Erdfeuchte sein);
- XC3: mäßige Feuchte - Bauteile, zu denen die Außenluft häufig oder ständig Zugang hat;
- XC4: wechselnd nass und trocken - Außenbauteile mit direkter Beregnung.

Für die hier zu betrachtenden Außenwände in WU-Bauweise im Erdreich kommen nach Auffassung des Sachverständigen lediglich die beiden Expositionsklassen XC1 und XC2 Frage. Dafür verlangen die technischen Regeln lediglich eine Mindestbetondruckfestigkeit C16/20 sowie eine Mindestbetondeckung von 10 bzw. 20 mm. Es handelt sich also um vergleichsweise geringe Beanspruchungen infolge Karbonatisierung mit entsprechend niedrigen Anforderungen an den Beton und die Betondeckung. Bei Bauwerken, die nach der WU-Richtlinie des DAfStb errichtet werden, muss die Mindestbetondruckfestigkeit C 20/25 betragen. In der aktuell laufenden Bearbeitung der WU-Richtlinie wird die Mindestbetondruckfestigkeit vermutlich auf C 30/37 erhöht werden.

Damit Stahl rostet, wird eine bestimmte Feuchtigkeit verlangt - die allerdings im Beton fast regelmäßig vorhanden ist - und der Zutritt von Luft mit Sauerstoff und CO₂.

Der direkte Wasserzutritt zum Nagel dürfte ebenso wie der Luftzutritt durch die bis auf die äußere Oberkante des Betons verlaufende HDPE-Hülle so gut wie ausgeschlossen sein. Unter Berücksichtigung der in 3.1.4 vorgetragenen Argumente und der hier zusammengefassten Anforderungen an WU-Bauwerke kann aus Sicht des Sachverständigen Rudat lediglich im äußersten



Randbereich der Nägel von 10 bis höchstens 20 mm im Laufe von 50 Jahren mit Korrosion gerechnet werden, wenn mehrere ungünstige Umstände zusammentreffen:

- die galvanische Verzinkung muss beim Eintreiben des Nagels zerstört worden sein
- die Schutzwirkung gegen Luftzutritt wird durch den unsachgemäßen Einbau der HDPE Schutzummantelung eingeschränkt und
- die Wände befinden sich nicht ständig im Wasser sondern in der Wasserwechselzone.

Selbst wenn diese ungünstigen Einflüsse zusammen treffen würden, ist ein messbarer Einfluss auf die Wasserundurchlässigkeit der gesamten Wand auszuschließen.

6 Zusammenfassung

Der Sachverständige Rudat war beauftragt worden, eine gutachtliche Stellungnahme zu der Frage abzugeben, ob bei der Verwendung der Hilti X-IE Befestigungselemente für Perimeterdämmungen in WU-Beton-Wänden eine negative Beeinflussung der Wasserundurchlässigkeit dieser Wände eintreten kann.

Selbst wenn Rostbildung an der Nageloberfläche im Beton nicht mit absoluter Sicherheit ausgeschlossen werden kann, werden derartige negative Auswirkungen auf die Wasserundurchlässigkeit in einer messbaren Größenordnung nicht für möglich gehalten.

München, den 28.06.2016

Gez.: 

Dieter Rudat



7 Referenzunterlagen

- [7.1] Auftragsschreiben der Firma Hilti vom 31.07.2015
- [7.2] Fotos von dem Element bei der Montage
- [7.3] Produktdaten Dämmelement X- IE, Stand 12/13
- [7.4] Schreiben der Fa. Hilti vom 13.02.2001
- [7.5] Kurzbericht KB 1.1/10-223-4 der MFPA Leipzig vom 24.08.2010
- [7.6] Schreiben des Deutschen Beton- und Bautechnikvereins an die Firma Hilti von 09.09.2011
- [7.7] Stellungnahme der Firma Hilti vom 06.09.2012
- [7.8] Internes Schreiben der Firma Hilti von 07.07.2015
- [7.9] Direktmontagetechnik, Sonderdruck aus DMT 5/1995
- [7.10] Hilti-Datenblatt: Dämmelement X-IE zur Befestigung von Perimeterdämmung in WU-Betonwänden, Stand 12/2015
- [7.11] Stellungnahme der Firma Hilti zur potentiellen Rissbildung im Beton infolge Setzbolzenkorrosion vom 11.02.2016



8 Literatur

- [8.1] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Juli 2008
- [8.2] DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1, Juli 2008
- [8.3] DIN 1045-3: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 3: Bauausführung, Juli 2008
- [8.4] DIN 1045-4: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen, Juli 2008
- [8.5] DIN EN 206-1: Beton Teil 1: Festigung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (Deutsche Fassung EN 206-1: 2000)
- [8.6] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Heft 525: Erläuterungen zur DIN 1045-1, September 2003 mit Berichtigung zu Heft 525 vom Mai 2005
- [8.7] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Heft 526: Erläuterung zu den Normen DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN 4226, Mai 2003
- [8.8] DIN 1045-1: Normenausschuss Bauwesen (NABau - Stand der Auslegungen zur DIN 1045-1, Stand 04.05.2005
- [8.9] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, 2001
- [8.10] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinie "Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie), November 2003
- [8.11] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Heft 555: Erläuterung zur DAfStb-Richtlinie "Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton", 2006
- [8.12] Rudat: Anerkannten Regeln der Technik für wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, März 2016
- [8.13] DBV-Tagungsband „Weiße Wannen – technisch und juristisch immer wieder problematisch? 2008
- [8.14] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Heft 525: Erläuterungen zur DIN 1045-1, 2. überarbeitete Auflage 2010
- [8.15] DIN EN 1992-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen, 2011
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau mit Nationalem Anhang, 2011
- [8.16] DBV Heft 28: WU-Bauweisen – Weiße Wannen und Weiße Dächer, 2013



9 Anlagen

- Anlage 1 Rudat: Anerkannte Regeln der Technik für wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, 2016**
- Anlage 2 Produktdaten Dämmelement X- IE, Stand 12/2015**



Dipl.-Ing. Dieter Rudat

G 214105-1

Sachverständiger für Massivbau (ausgenommen Brückenbau)
(öffentlich bestellt und vereidigt seit 2001)

Beratender Ingenieur - BayIKBau –

Sachverständiger für Schäden an Gebäuden (EIPOS/IHK-
Bildungszentrum Dresden); Reg. 1277-17-2002

**Anlage 1: Rudat: Anerkannte Regeln der Technik für wasserundurchlässige
Bauwerke aus Beton, 2016**



Anerkannte Regeln der Technik für Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton

Dieter Rudat, München

1	Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, Stand der anerkannten Regeln der Technik März 2016	2
1.1	DIN 18.195: Abdichtung von Bauwerken	2
1.2	Anwendungsbereich der WU-Richtlinie	4
1.3	Beurteilung der Dichtheit von WU-Beton	5
1.4	Planungsgrundsätze	6
1.5	Anforderungen an Baustoffe und Bauteile	8
1.6	Entwurf, Bemessung und Konstruktion	10
1.7	Ausführung	22
2	Stahlfaserbeton	23
3	Hochwertige Nutzung von Untergeschossen [21]	24
4	Zusammenfassung	25
5	Literatur	27



1 Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, Stand der anerkannten Regeln der Technik März 2016

Das Anforderungsprofil und die Prinzipien der Planung und Ausführung von wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton richten sich nach der gleichnamigen Richtlinie (WU-Richtlinie) des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) vom November 2003 [1] sowie der danach erschienenen Erläuterung dazu in Heft 555 des DAfStb [2] aus dem Jahre 2006.

1.1 DIN 18.195: Abdichtung von Bauwerken

Die grundlegende Norm für die Abdichtung von Bauwerken mit bituminösen Baustoffen, Folien und dergleichen ist DIN 18.195. In dieser Norm heißt es ausdrücklich, dass sie nicht für wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton gilt. Sie muss dennoch hier herangezogen werden, weil sich aus dieser Norm eine präzise Definition der Unterscheidungskriterien für die Beanspruchungsklassen von Bauwerken durch Bodenfeuchte und nicht stauendes Sickerwasser einerseits sowie drückendes und zeitweise aufstauendes Sickerwasser andererseits ergibt. Derartige klare Kriterien fehlen in der DAfStb-Richtlinie [1], weswegen hier auch im Zusammenhang mit der WU-Richtlinie auf DIN 18.195 Bezug genommen werden muss.

Das Unterscheidungskriterium zwischen den verschiedenen Beanspruchungsklassen durch Bodenfeuchte oder drückendes bzw. zeitweise aufstauendes Sickerwasser ergibt sich aus der Tabelle 1 der DIN 18.195, Teil 1. Diese Tabelle wird hiermit als Abdruck aus DIN 18.195-1 wiedergegeben:

Tabelle 1: Zuordnung der Abdichtungsarten nach dieser Norm zur Einbausituation und zur Art der Wasserbeanspruchung

Nr.	1	2	3	4	5	6
1	<i>Bauteilart</i>	<i>Wasserart</i>	<i>Einbausituation</i>		<i>Art der Wassereinwirkung</i>	<i>Art der erforderlichen Abdichtung nach</i>
2	<i>Erdberührte Wände und Bodenplatten oberhalb des Bemessungswasserstandes</i>	<i>Kapillarwasser</i>	<i>stark durchlässiger Boden⁸⁾</i>		<i>Bodenfeuchte und nicht-stauendes Sickerwasser</i>	<i>DIN 18195-4</i>
3		<i>Haftwasser</i>	<i>> 10⁻⁴ m/s</i>	<i>mit Dränung¹⁾</i>		
4		<i>Sickerwasser</i>	<i>wenig durchlässiger Boden⁸⁾</i>	<i>≤ 10⁻⁴ m/s</i>	<i>ohne Dränung²⁾</i>	<i>aufstauendes Sickerwasser</i>
5	<i>Waagerechte und geneigte Flächen im Freien und im Erdreich; Wand- und Bodenflächen in Nassräumen³⁾</i>	<i>Niederschlagswasser Sickerwasser Anstau- bewässerung⁴⁾ Brauchwasser</i>	<i>Balkone u.ä. Bauteile Wohnungsbau Nassräume³⁾ im Wohnungsbau⁶⁾</i>		<i>nichtdrückendes Wasser, mäßige Beanspruchung</i>	<i>8.2 von DIN 18 195-5:2000-08</i>
6	<i>genutzte Dachflächen⁵⁾ intensiv begrünte Dächer⁴⁾ Nassräume (ausgenommen Wohnungsbau)⁶⁾ Schwimmbäder⁷⁾</i>		<i>nichtdrückendes Wasser, hohe Beanspruchung</i>	<i>8.3 von DIN 18 195-5:2000-08</i>		



7			<i>nicht genutzte Dachflächen, frei bewittert, ohne feste Nutzsicht, einschließlich Extensivbegrünung</i>	<i>nichtdrückendes Wasser</i>	<i>DIN 18531</i>
8	<i>Erdberührte Wände, Boden- und Deckenplatten unterhalb des Bemessungswasserstands</i>	<i>Grundwasser Hochwasser</i>	<i>Jede Bodenart, Gebäudeart und Bauweise</i>	<i>drückendes Wasser von außen</i>	<i>Abschnitt 8 von DIN 18195-6:2000-08</i>
9	<i>Wasserbehälter, Becken</i>	<i>Brauchwasser</i>	<i>im Freien und in Gebäuden</i>	<i>drückendes Wasser von innen</i>	<i>DIN 18195-7</i>

- 1) *Dränung nach DIN 4095*
 2) *Bis zu Gründungstiefen von 3 m unter Geländeoberkante, sonst Zeile 8*
 3) *Definition Nassraum siehe 3.31*
 4) *Bis etwa 10 cm Anstauhöhe bei Intensivbegrünungen*
 5) *Beschreibung siehe 7.3 von DIN 18195-5*
 6) *Beschreibung siehe 7.2 von DIN 18195-5*
 7) *Umgänge, Duschräume*
 8) *Siehe DIN 18130-1*

Wesentlich für die Beanspruchung der Weißen Wanne ist also die Frage, ob es sich nur um Bodenfeuchte bzw. nicht stauendes Sickerwasser oder um zeitweise aufstauendes Sickerwasser handelt. Als Unterscheidungskriterium gibt die vorstehende Tabelle der DIN 18.195-1 den Durchlässigkeitsbeiwert des anstehenden Bodens an, und zwar sowohl an die das Bauwerk umschließende Wände als auch unter der Bodenplatte. Dieser Durchlässigkeitsbeiwert k_f nach Darcy muss größer als 10^{-4} m/s sein, damit der Baugrund nicht zu zeitweise aufstauendem Sickerwasser neigt. Bei drückendem Grundwasser benötigt man derartige Unterscheidungskriterien natürlich nicht.

Wenn der anstehende Boden das Kriterium eines Durchlässigkeitsbeiwertes k_f von mehr als 10^{-4} m/s nicht erfüllt, kann das Bauwerk dennoch für Bodenfeuchte und nicht stauendes Sickerwasser bemessen werden, wenn um das Bauwerk herum und unter der Sohle ein drainfähiger Boden oder anderes dränfähiges Material mit entsprechenden Eigenschaften eingebaut wird und zusätzlich ein Dränagesystem nach DIN 4.095 [7] vorgesehen wird.

Zum Bemessungswasserstand wird in [2] ergänzend ausgeführt, dass im Allgemeinen hierzu ein geotechnischer Fachmann hinzuziehen ist. Insbesondere ist Folgendes zu berücksichtigen:

- Schichtenwasser im anstehenden Boden infolge von unterschiedlich durchlässigen Bodenschichten, wobei insbesondere der mögliche Aufstau von Schichtenwasser in der verfüllten Baugrube zu prüfen ist, wenn das Verfüllmaterial durchlässiger als der anstehende Boden ist (Wanneneffekt);
- Stauwasser aus der Geländeform (Hangwasser, insbesondere bei Geländeneigungen über 10 % (auch hier kann ein Wanneneffekt auftreten);
- Zeitweise aufstauendes Sickerwasser aus Niederschlägen, die wegen geringer Durchlässigkeit des Bodens nicht schnell genug versickern können (wiederum Wanneneffekt möglich);



- Je nach Genauigkeit der vorliegenden Informationen über den höchsten Grundwasserstand sollte der Bemessungswasserstand einen angemessenen Sicherheitszuschlag erhalten.

Wird kein Baugrundsachverständiger hinzugezogen und bei dem anstehenden Boden mit aufstauendem Sickerwasser gerechnet werden muss, ist zur Bemessung der ungünstigste Fall anzunehmen, wonach sich das Niederschlagswasser um das Bauwerk herum bis zur Oberkante Gelände aufstauen kann.

Hinweis: Die DIN 18.195 befindet sich derzeit in Überarbeitung. Sie wird ersetzt durch 5 neue Normen DIN 18.531-18.535, die derzeit bereits weit fortgeschritten sind. Teilweise ist die Einspruchsfrist schon abgelaufen und die Einsprüche werden derzeit eingearbeitet. Mit dem endgültigen Erscheinen dieser neuen Abdichtungsnorm Reihe wird Ende 2016/Anfang 2017 gerechnet. In diesem Zusammenhang wird auch DIN 18.195 neu erscheinen mit folgendem Inhalt: „Abdichtung von Bauwerken – Begriffe“ mit dem Beiblatt „Hinweise zur Kontrolle und Prüfung von Schichtdicken von flüssig verarbeiteten Abdichtungsstoffen“.

1.2 Anwendungsbereich der WU-Richtlinie

Diese Richtlinie gilt für teilweise oder vollständig ins Erdreich eingebettete Betonbauwerke und -bauteile, die nach DIN 1045, Teile 1 bis 4, in Verbindung mit DIN EN 206-1 bemessen, hergestellt und ausgeführt werden und bei denen der Beton sowohl die lastabtragende Funktion als auch die Funktion der Wasserundurchlässigkeit auch ohne zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen (z. B. nach DIN 18.195) übernimmt. Mit der Erläuterung [2] zur WU-Richtlinie wurde die Anwendung der Prinzipien auch auf sogenannte „Weiße Dächer“ erweitert (siehe dazu die Fachliteratur Abschnitt 5).

Bei wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton nach dieser Richtlinie wird davon ausgegangen, dass ein Kapillartransport durch die Bauteildicke hindurch unabhängig vom hydrostatischen Druck und vom Schichtenaufbau der Bauteile nicht erfolgt. Weiter gehende Regelungen über den Feuchtetransport anderer Arten und Ursachen (z. B. durch Diffusion), die ebenfalls eine raumseitige Feuchteabgabe zur Folge haben können, enthält die Richtlinie nicht. Auch Oswald ging in [20] unter Bezug auf Untersuchungen von langjährig als "weiße Wannen" genutzten Kellerräumen auf diese Fragen ein und kommt zusammenfassend bezüglich des Feuchtetransportes zu folgenden grundsätzlichen Aussagen:

- Dauernd druckwasserbelastete WU-Bauwerke sind auch bei hochwertigen Raumnutzungen meist wenig problematisch. (Anmerkung des Verfassers: *Diese Aussage muss unter Beachtung von Abschnitt 3 dieser Ausarbeitung inzwischen deutlich relativiert werden*).
- Die ohnehin gegen Baufeuchte aus dem Beton zu ergreifenden Maßnahmen sind vorzusehen.
- Vorsicht ist bei Holzwerkstoffen im Zwischenraum der Beläge geboten.
- Eine Unterlüftung ist eher schadensträchtig.
- Unter feuchteempfindlichen Wandverkleidungen und Bodenbelägen (z. B. Holzwerkstoffen, Holz) muss insbesondere dann eine dampfsperrende Schicht im Aufbau angeordnet werden (z. B. eine Lage PE-Folie), wenn die Möglichkeit besteht, dass die feuchteempfindliche Lage durch die Nutzer dampfsperrend abgedeckt wird.
- Problematisch bleiben die Sicherstellung der Zugänglichkeit für später offenbar werdende Lecks (Risse) und die Minimierung der Folgen späterer, nicht vorhersehbarer Rissbildungen in sehr hochwertig genutzten Räumen.



Deswegen sind insbesondere bei hohen Nutzungsanforderungen die Auswirkungen der "anderen" Feuchtetransportvorgänge durch raumklimatische und bauphysikalische Maßnahmen auf das erforderliche Maß zu begrenzen, was auch für die Tauwasserbildung auf raumseitigen Oberflächen gilt. Zur Frage des Feuchtetransports durch WU-Bauwerke wird auf den folgenden Abschnitt 1.3 verwiesen.

Zu der Nutzung sehr hochwertiger Objekte wurde in [20] weiter ausgeführt, dass bei derartigen Objekten mit höchsten Anforderungen an die Zuverlässigkeit der druckwasserbelasteten Wanne auch in Zukunft schwarze Wannen Vorteile haben und ihre Anwendungsgebiete behalten werden.

1.3 Beurteilung der Dichtheit von WU-Beton

Gründungs- und Kellerkonstruktionen aus Beton können wasserundurchlässig hergestellt werden, sie sind aber nie wasserdicht.

Simulationsrechnungen auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse (siehe [22] bis [24]) zeigen, dass selbst bei sehr dicht ausgeführten, rissbreitenbeschränkten Betonen unter Wasserkontakt eine gewisse Feuchtigkeitsmenge hindurchdringt. Die Dichtigkeit des Betons spielt hier eine wesentliche Rolle und bestimmt, wieviel Feuchtigkeit hindurchdringen kann. Es sind Unterschiede im Bereich von bis zu zwei Größenordnungen möglich.

Daraus folgt, dass immer eine gewisse, nicht exakt zu spezifizierende Feuchtigkeitsmenge durch die Konstruktion dringt. Diese muss entsprechend den Nutzungsansprüchen aus dem Innenraum abgeführt werden, um Feuchteanreicherung und damit gekoppelte Schäden wie z. B. Schimmelbildung zu verhindern.

Die für die Simulationsrechnungen verwendete Software Delphin ist geeignet für den gekoppelten Wärme-, Feuchte-, Luft- und Salztransport. Das Programm erlaubt, das Wärme- und Feuchteverhalten von ein- und zweidimensionalen Konstruktionsdetails unter stationären und instationären klimatischen Bedingungen zu berechnen. Dabei wird sowohl der Wärme- und Feuchtetransport als auch die Wärme- und Feuchtespeicherung berücksichtigt.

Bei den Untersuchungen wurden einschichtige Bauteildicken des Betons von 20, 25 und 30 cm variiert. Verwendete Materialien:

- einfacher Beton C20/25
- Konstruktionsbeton C30/37
- Konstruktionsbeton C35/40
- extrem dichter WU-Beton mit einer Rissbreitenbegrenzung der Biegerisse auf 0,1 mm.

In allen Fällen sind Trennrisse grundsätzlich auszuschließen, weil durch Trennrisse, auch wenn sie nur 0,1 mm breit sind, ein konvektiver Wassertransport stattfindet, der um Zehnerpotenzen größer ist als der durch Diffusion.

Klimatische Randbedingungen der Berechnung:

- innen stationär: 20° C, 50 % relative Luftfeuchtigkeit, Dauer 10 Jahre;
- außen stationär: 10° C, 100 % relative Luftfeuchtigkeit mit Wasserkontakt, Dauer 10 Jahre.

Für die Berechnung wurde sichergestellt, dass sich jeweils ein stationärer Zustand einstellte, was in Abhängigkeit von den Materialien mehrere Jahre dauert.



Die Ergebnisse der auf dieser Basis ermittelten Durchflussraten sind aus folgender Tabelle zu entnehmen. Sie zeigen die erheblichen Größenunterschiede, die sich zwischen den verschiedenen Betongüten, abhängig von der Bauteildicke, ergeben.

Feuchtelast für den Innenraum in Abhängigkeit von der Konstruktionsdicke und der Betongüte:

Material	Durchlässigkeit in g/(m ² d)		
	20 cm	25 cm	30 cm
Einfacher Beton C20/25	170	135	110
Konstruktionsbeton C30/37	80	65	55
Konstruktionsbeton C35/40	14	11	9
Extrem dichter WU-Beton	3,3	2,6	1,6

Fazit: Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen zeigen, dass selbst bei sehr dicht ausgeführten, rissbreitenbeschränkten Betonen unter Wasserkontakt eine gewisse Feuchtigkeit hindurchdringt, die vom Innenraum aufgenommen und - entsprechend der Nutzung - abtransportiert werden muss. Aus den Berechnungen wird ferner deutlich, dass die Dichtigkeit des Betons einen sehr großen Einfluss darauf hat, wie viel Feuchtigkeit durchdringen kann. Es sind Unterschiede von bis zu zwei Größenordnungen möglich.

Beispielsweise schwanken die hindurchdringenden Feuchtigkeitsmengen für einen WU-Kellerraum mit 30 m² Grundfläche, der an drei Seiten bis zu 2,0 m Höhe im Grundwasser steht, zwischen 35 und 1.750 Litern pro Jahr. Die 35 l/a gelten für den extrem dichten, speziell hergestellten WU-Beton, den es in dieser Qualität vermutlich nur unter Laborbedingungen gibt. Der Wert von 1.750 l/a gilt für einen 20 cm dicken C30/37, der in jedem Fall die Mindestanforderungen an einen WU-Beton nach der WU-Richtlinie sogar übererfüllt.

Die minimale diffundierende Feuchtigkeitsmenge für eine 30 cm dicke Bodenplatte oder Wand aus extrem dichtem WU-Beton entspricht etwa der gleichen Feuchtigkeitsmenge, die pro Jahr von einer dort arbeitenden Person abgegeben wird.

1.4 Planungsgrundsätze

Mit der Planung von wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton sind die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit zu erfüllen. Dabei geht es um die Erzielung einer definierten Wasserundurchlässigkeit unter Berücksichtigung der Beanspruchungsklasse.

Die Wasserundurchlässigkeit wird im Wesentlichen im Sinne der Richtlinie [1] von folgenden Einflussgrößen bestimmt:

- Wahl der geeigneten Betonqualität;
- Wahl der Bauteilabmessungen und der Bewehrungsführung, Einbau von Fugenabdichtungen;
- Vermeidung resp. Begrenzung der Rissbreiten oder dauerhafte Abdichtung;
- Planung sämtlicher Fugen und Durchdringungen;
- Planung von Bauablauf, Betonierabschnitten, Arbeitsfugen, Sollrissquerschnitten (Scheinfugen) einschl. der erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen;



- ggf. Berücksichtigung angreifender Wässer und Böden.

Sofern die Berücksichtigung der vorgenannten Einflussparameter zur Erfüllung der festgelegten Nutzungsanforderungen nicht ausreicht, sind in der Planung zusätzlich bauphysikalische und raumklimatische Maßnahmen vorzusehen.

Die Wasserundurchlässigkeit eines Bauwerks wird durch die Erfüllung der Anforderungen an die Begrenzung des Wasserdurchtritts durch den Beton, durch Fugen, Arbeitsfugen, Sollrissquerschnitte, durch Einbauteile und Risse erzielt.

Durch die Erfüllung der Anforderungen an den Beton und die Bauteildicken gemäß dieser Richtlinie [1] wird der Wasserdurchtritt durch den Bauteilbeton grundsätzlich ausgeschlossen. Das gilt auch für den Wasserdurchtritt durch Sollrissquerschnitte und Arbeitsfugen mit Fugenabdichtung.

Bei Einhaltung der später noch zu definierenden Mindesthöhe der Druckzone wird ein Wasserdurchtritt durch Biegerisse grundsätzlich ausgeschlossen.

Der Wasserdurchtritt durch Trennrisse ist abhängig von der Begrenzung der Rissbreite. Es ist aber festzuhalten, dass bei Trennrissen immer ein kollektiver Wassertransport stattfindet. Die Menge hängt von der Rissbreite ab.

Es werden zwei Beanspruchungsklassen unterschieden:

- **Beanspruchungsklasse 1: Drückendes und nicht drückendes Wasser sowie zeitweise aufstauendes Sickerwasser**
- **Beanspruchungsklasse 2: Bodenfeuchte und nicht stauendes Sickerwasser**

Nutzungsklassen: Die Richtlinie [1] unterscheidet die Nutzungsklassen A und B.

- **Bei der Nutzungsklasse A ist ein Feuchtetransport in flüssiger Form nicht zulässig, d. h. Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche als Folge von Wasserdurchtritt sind auszuschließen.**

Zu den Nutzungsklasse A wird in [2] ergänzend ausgeführt:

Keine feuchte Stellen durch Wasserdurchtritt (bei Wassertropfen auf der Bauteiloberfläche muss geprüft werden, ob es sich um Oberflächentauwasser handelt. Unterhalb einer innen-seitig vorgesehenen Dampfsperre kann sich infolge der Dampfdruckverhältnisse (Diffusion) eine hohe Ausgleichsfeuchte des Betons ausbilden, welche die Betonoberfläche bei Entfernen der Dampfsperre dunkel erscheinen lässt. Mit dem "Löschblatttest" kann zuverlässig festgestellt werden, ob es sich bei den dunklen Flecken um Feuchtstellen handelt: Ein loses, auf die Betonoberfläche aufgelegtes Löschblatt oder saugfähiges Zeitungspapier darf sich nicht infolge Feuchtigkeitsaufnahme dunkel verfärben).

Keine - auch nicht temporär - wasserführende Risse und Fugen.

Als Anwendungsbeispiele für die Nutzungsklasse A werden bezeichnet: Standard für den Wohnungsbau und Lagerräume mit hochwertiger Nutzung.

Für die Nutzungsklasse A ist der Entwurfsgrundsatz "Rissbreitenbegrenzung auf Werte, die Selbstheilung erwarten lassen" wegen des dabei auftretenden temporären Wasserdurchtritts und ggf. verbleibender Durchfeuchtungen nicht oder nur in Sonderfällen, z. B. bei späterem Nutzungsbeginn und entsprechendem Lüftungsaufwand, anwendbar. Es müssen Maßnahmen zur Vermeidung von nicht abgedichteten Rissen getroffen werden, wie z. B. Sollrissquerschnitte mit Dichtung. Andernfalls sind entstandene Risse planmäßig abzudichten. Ob der Vorgang der Selbstheilung überhaupt eintreten kann, hängt auch von den spezifischen Eigenschaften des anstehenden Grundwassers ab und ist im Vorfeld zu prüfen, bevor dieser Effekt einer Planung und Ausführung zugrunde gelegt werden kann.



Müssen zusätzlich zu diesen Anforderungen Bauteiloberflächen von Tauwasserbildung freibleiben, ist trockenes Raumklima oder beides gefordert, so müssen bei der Planung entsprechende raumklimatische und bauphysikalische Maßnahmen vorgesehen werden (Heizung, Lüftung zur Abführung der Baufeuchte, Wärmeschutz zur Vermeidung von Oberflächentauwasser, siehe Abschnitt 3).

- **Bei der Nutzungsklasse B sind Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche zulässig, d. h. es wird nur eine begrenzte Wasserundurchlässigkeit gefordert.**

Solche Feuchtstellen dürfen in Bereichen von Trennrissen, Sollrissquerschnitten, Fugen und Arbeitsfugen vorhanden sein. Unter Feuchtstellen sind nach [1] feuchtebedingte Dunkelfärbungen, ggf. auch Wasserperlen an diesen Stellen zu verstehen, nicht jedoch Wasserdurchtritte mit angesammelten Wassermengen auf der Bauteiloberfläche.

Zur Nutzungsklasse B wird in [2] ergänzend Folgendes ausgeführt:

- Feuchtflecken zulässig;
- temporär bis zur Selbstheilung wasserführende Risse (der Zeitpunkt des Abschlusses der Selbstheilung muss mit den Nutzungsanforderungen des Bauwerks vereinbar sein);
- Risse mit längerfristig feuchten Rissufer, jedoch keine Wasseransammlungen auf der wasserabgewandten Bauteiloberfläche (bezüglich der Wassertropfen auf der Bauteiloberfläche gilt das gleiche wie zur Nutzungsklasse A ausgeführt).

Als Anwendungsbeispiele für Nutzungsklasse B werden aufgeführt:

- Einzelgaragen, Tiefgaragen;
- Installations- und Versorgungsschächte sowie -kanäle;
- Lagerräume mit geringen Anforderungen.

Demzufolge beinhaltet Nutzungsklasse B den klassischen Fall der "weißen Wanne". Wenn in das Bauwerk ohnehin Wasser, z. B. durch einfahrende Fahrzeuge bei Tiefgaragen eingeschleppt wird, ist es unwirtschaftlich, einen hohen baulichen Aufwand zu treiben, um kleinste Wasserdurchtritte zu verhindern. Bei diesen Bauwerken ist eindringendes Wasser in so geringen Mengen, dass es innenseitig verdunstet, unschädlich. Für diese Fälle reicht es aus, Risse in der Breite so zu begrenzen, dass die Wasserdurchtritte in den angegebenen Grenzen bleiben. Gegebenenfalls können Risse mit einem Wasserdurchtritt, der über die vorstehenden Definitionen hinausgeht, nachträglich abgedichtet werden.

Als Vorteil der wasserundurchlässigen Betonbauwerke wird die Möglichkeit der nachträglichen Abdichtung von Undichtheiten gesehen, wenn deren Zugänglichkeit gegeben ist. Im Klartext bedeutet dies, dass Trennrisse ggf. auftreten können, sie müssen jedoch durch Verpressen oder andere Maßnahmen abgedichtet werden können, was zu den geschuldeten Leistungen des Auftragnehmers gehört. Dabei ist zu beachten, dass derartige Feuchtigkeitsdurchtritte durch Risse möglicherweise bei einem Bauwerk erst Jahre nach der Herstellung auftreten, wenn die der Bemessung zugrunde gelegte Grundwasserhöhe erreicht wird, die während der Bauzeit - aus welchen Gründen immer - nicht aufgetreten ist.

1.5 Anforderungen an Baustoffe und Bauteile

Neben den sich aus den jeweils zutreffenden Expositionsklassen nach DIN 1045-1 bzw. EC2 ergebenden Anforderungen sind speziell bei wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton die Anforderungen an einen Beton mit hohem Wassereindringwiderstand nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 einzuhalten.



In jedem Fall darf der Wasserzementwert w/z_{eq} 0,60 nicht überschreiten, was bei einem Normalbeton der Druckfestigkeitsklasse C25/30 entspricht.

Die ausreichende Verarbeitbarkeit fordert in der Regel die Konsistenzklasse F3 oder weicher.

Bei Ausnutzung der Mindestdicken nach folgender Tabelle 1 aus [1] darf bei der Beanspruchungsklasse 1 der Wasserzementwert 0,55 nicht überschreiten und das Größtkorn der Zuschlagsstoffe ist auf 16 mm zu begrenzen.

Generell ist zum Wasserzementwert auszuführen, dass die Dichtheit mit abnehmendem w/z -Wert abnimmt. Geprüft wurde früher die Wasserundurchlässigkeit durch eine mehrtägige Belastung eines Prüfkörpers mit 5 bar Wasserdruck, wobei die größte zulässige Wassereindringtiefe 50 mm nicht überschreiten soll. Diese Versuche erfolgten nach DIN 1048-5: Prüfverfahren für Beton. Derartige Prüfungen werden nach DIN 1045-2 nicht mehr gefordert, weil praktisch alle fachgerecht hergestellten Betonsorten ab der Druckfestigkeitsklasse C25/30 diese Anforderung immer erfüllen.

Generell wird bei den heutigen Betonqualitäten also die Wassereindringtiefe von 50 mm bei dem o. g. Versuch deutlich unterschritten. Erst bei Wasserzementwerten oberhalb von 0,65 bis 0,70 wird die Wassereindringtiefe von 50 mm erreicht.

In [9] wird zum Wassereindringwiderstand Folgendes ausgeführt:

Wenn der Widerstand gegen Eindringen von Wasser an Probekörpern zu bestimmen ist, müssen das Verfahren und die Konformitätskriterien zwischen dem Verfasser der Festlegungen und dem Hersteller vereinbart werden. Solange kein vereinbartes Prüfverfahren vorliegt, darf der Wassereindringwiderstand indirekt durch Grenzwerte für die Betonzusammensetzung festgelegt werden (unter Hinweis auf DIN 1045-2, 5.5.3 - wie oben zitiert).

Aufgrund der vorstehenden Ausführungen wird in [2] bezüglich des Nachweises der Wassereindringtiefe zusammengefasst, dass deren Nachweis bei Einhaltung der Anforderungen an die Betonzusammensetzung in der Regel nicht erforderlich sei.

Aus Sicht des Verfassers und aus eigenen negativen Erfahrungen bei ausgeführten WU-Bauwerken in den letzten Jahren muss bei der Auswahl der Betonsorte auch dem Anwendungsbereich der Zemente Beachtung geschenkt werden. Nach der Tabelle F.3.1 der DIN 1045-2 von 2008 sind für die hier infrage kommenden Expositionsklassen XC1 bis XC4 bestimmte Zementsorten für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar, also auszuschließen. Einige Zementhersteller verfügen jedoch für diese Zementsorten über sogenannte allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (AbZ), mit denen diese Tabelle F.3.1 umgangen werden kann. Diese Zemente, vor allen Dingen der Klasse CEM II, enthalten zum Teil hohe Anteile an Kalksteinmehl und anderen Zusatzstoffen, die sich nach Auffassung des Unterzeichners negativ auf die Wasserundurchlässigkeit auswirken. Deswegen empfiehlt der Unterzeichner für derartige anspruchsvolle WU-Bauwerke die Verwendung der Zementsorten CEM III A oder B. Sie sind zwar etwas aufwendiger zu verarbeiten als die sogenannten Composite-Zemente der Klasse CEM II. Bei der Auswahl der richtigen Betonsorten und des zugehörigen Zements darf aber nicht die einfache Verarbeitbarkeit sondern das Ergebnis am fertigen Beton muss im Mittelpunkt stehen.

Sofern beim Betonieren Fallhöhen von mehr als 1 m auftreten, ist stets eine Anschlussmischung zu verwenden.

Sofern Elementwände (auch als Dreifachwände bezeichnet) zum Einsatz kommen, sollte stets eine mindestens 30 cm hohe Anschlussmischung zur Anwendung kommen.

Für die Mindestdicke der Bauteile gilt die Tabelle 1 aus [1].



Tabelle 1 - Empfohlene Mindestdicken von Bauteilen in mm

	Bauteil	Beanspruchungs- klasse	1	2	3
			Ausführungsart		
			Ortbeton	Elementwände	Fertigteile
1	Wände	1	240	240	200
2		2	200	240	100
3	Bodenplatte	1	250		200
4		2	150		100

Anmerkungen: Bei Wänden unter der Beanspruchungsklasse 2 darf unter Beachtung besonderer betontechnischer und ausführungstechnischer Maßnahmen die Wanddicke auf 200 mm abgemindert werden.

Fugen und Durchdringungen müssen, angepasst an die Beanspruchungsklasse, grundsätzlich planmäßig mit aufeinander abgestimmten Systemen wasserundurchlässig ausgebildet werden.

1.6 Entwurf, Bemessung und Konstruktion

1.6.1 Beton

Generell sollen alle wasserundurchlässigen Konstruktionen eine klare, einfache und eindeutige Lastabtragung ermöglichen.

Die Erfüllung der Nutzungsklasse A kann für die Beanspruchungsklasse 1 durch eine Einhaltung der Mindesthöhe der Druckzone oder eine Begrenzung der Biegerissbreite eingehalten werden (Rissbreiten siehe Tabelle 2).

Für die Nutzungsklasse B und Beanspruchungsklasse 2 (unabhängig von der Nutzungsklasse) gibt es keine Anforderungen an die Mindestdruckzonenhöhe.

Als Entwurfsgrundsätze für die Einhaltung der Nutzungsklassen hinsichtlich Trennrissbildung und Trennrissbreiten wird in [1] Folgendes ausgeführt:

- Vermeidung von Trennrissen durch konstruktive, betontechnische und ausführungstechnische Maßnahmen;
- Festlegung von Trennrissbreiten (abhängig von der Beanspruchungsklasse);
- Festlegung von Trennrissbreiten in Verbindung mit im Entwurf vorzusehenden Dichtmaßnahmen. Dabei sind die Mindestanforderungen an rechnerische Trennrissbreiten nach DIN 1045-1, 11.2.1 einzuhalten.

Nach der WU-Richtlinie handelt es sich also hier um drei unterschiedliche Entwurfsgrundsätze, die demnach im Rahmen dieser Richtlinie auch sämtlich ihre Berechtigung haben. Welcher dieser Entwurfsgrundsätze zum Tragen kommt, ist jeweils von Fall zu Fall entsprechend den Nutzungsanforderungen zwischen dem Tragwerksplaner, dem Auftraggeber und schließlich auch den ausführenden Firmen zu vereinbaren.

Allerdings ist der Entwurfsgrundsatz a „Vermeidung von Trennrissen“ eher eine theoretische Lösung, weil bei größeren Bauvorhaben das absolute Verhindern von Trennrissen kaum möglich ist. Allenfalls bei sehr kurzen Bauwerken ohne nennenswerte Zwängungsbeanspruchungen durch Temperatur, Bodenreibung und dergl. könnte dies erreicht werden oder aber durch Vor-



spannung in einer solchen Größe, dass Trennrisse grundsätzlich unter allen möglichen Lastkombinationen, also auch unter allen Zwängungsbeanspruchungen, auszuschließen sind. Dies ist allerdings dann auch eine Maßnahme, die mit erheblichen Kosten verbunden ist.

Die Entwurfsgrundlage b „Festlegung von Trennrissbreiten, abhängig von der Beanspruchungsklasse“ ist die übliche Regelung für so genannte „weiße Wannen“, d. h. abhängig von der Beanspruchung wird die Bewehrung darauf bemessen, dass Biege- und Trennrisse bestimmte Rissbreiten nicht überschreiten, wie in diesem Dokument an verschiedenen Stellen ausgeführt wurde.

Der Entwurfsgrundsatz c ist dem Grunde nach eine Ausführung gemäß DIN 1045-1 ohne Berücksichtigung der erhöhten Anforderungen für wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton. Auch dies ist ein gangbarer Weg, wenn der Auftraggeber sich darüber im Klaren ist und auch vom Tragwerksplaner darüber in Kenntnis gesetzt wurde, dass mit diesem Entwurfsgrundsatz das Auftreten von breiteren Rissen bis zu 0,3 oder 0,4 mm möglich ist und dass diese im Nachhinein verpresst werden müssen. Diese Mindestanforderungen an die Rissbreite ergeben sich aus den 1045-1 bzw. EC2, wobei der geringere Wert für Beanspruchung von außen gilt. Dabei ist aber auch zu beachten, dass insbesondere, wenn die Rissursache Temperaturbewegungen zwischen kalter und warmer Jahreszeit sind, diese Risse immer wieder auftreten können. Da hilft häufig auch das Verpressen mit den begrenzt dehnfähigen PUR-Harzen nichts, denn deren Dehnfähigkeit beträgt lediglich etwa 10 % der verpressten Rissbreite. Überschreiten die Rissbewegungen diese Rissbreitenänderungen, so reißen die Bauteile wieder auf und bei starrer Verpressung ohnehin, meistens dann nicht im Riss, sondern daneben, weil die mit EP-Harz verpressten Risse eine höhere Zugfestigkeit aufweisen als der umgebende Beton.

Da bei den Entwurfsgrundsätzen b und c planmäßig Risse vorgesehen werden, kann natürlich nach Ausführung der Baumaßnahme das Auftreten dieser Risse auch nicht als Mangel eingestuft werden. So wird das auch in [2] zum Ausdruck gebracht. Es ist aber nach [2] eine eindeutige Verpflichtung der Planung und Ausschreibung, die Maßnahmen zur Rissbehandlung zu planen und die damit verbundenen Arbeiten im LV vorzusehen.

Der Auftraggeber bzw. der Nutzer dieser Bauwerke muss sich demnach insbesondere bei dem Entwurfskriterium c, aber im Prinzip auch beim Entwurfskriterium b darüber im Klaren sein, dass er bei entsprechenden Zwängungsbeanspruchungen, die sich jährlich aufgrund der Temperaturunterschiede Sommer/Winter wiederholen, immer wieder vor das Problem gestellt wird, Risse zu verpressen. Allerdings bauen sich die Rissursachen im Laufe der Jahre ab, aber es kann schon 8-10 Jahre dauern in denen erneut Risse auftreten, wenn deren Abdichtung nicht auf andere Art und Weise, also nicht durch Rissverpressen erfolgt.

Insbesondere bei Tiefgaragen ist die wiederholte Verpressung von Rissen noch aus einem anderen Grund durchaus problematisch. Wenn Risse erst nach der Nutzung der Tiefgarage auftreten, dann sind insbesondere die Bodenplatten dieser Tiefgaragen mit chloridhaltigem Tausalzwasser beaufschlagt worden und diese chloridhaltige Flüssigkeit ist dann natürlich auch in die Risse eingedrungen. Das Verpressen der Risse sollte man tunlichst immer dann vornehmen, wenn sie ihre größte Rissbreite haben, also in den ausgehenden Wintermonaten. Wenn aber das Tausalz erst in die Risse eingedrungen ist, liegt eine Gefährdung der Bewehrung vor und sie kann auch durch das nachträgliche Verpressen der Risse nicht vermieden werden; sie wird nur vorübergehend kaschiert. Lediglich wenn es gelingt, durch weitere bauliche Maßnahmen den Zutritt von Feuchtigkeit und von Sauerstoff zu dem in den Beton eingedrungenen Chlorid zu verhindern, erfolgt keine weitere Chloridkorrosion an der Bewehrung.

Demzufolge muss also vor dem Verpressen von Rissen in Tiefgaragen – wenn dies nach der ersten Nutzung erfolgt – zunächst eine Untersuchung dahingehend erfolgen, bis zu welcher Tie-



fe und Konzentration Chlorid in den Beton eingedrungen ist. Dieser Umstand ist für die Standsicherheit von Tiefgarage unbedingt zu beachten.

In [2] wird zur Rissverpressung weiterhin ausgeführt:

Für alle Entwurfsgrundsätze sind planmäßig Dichtmaßnahmen nach Abschnitt 12 aus [1] für unerwartet entstandene Trennrisse bzw. für Trennrisse, deren Breite über dem entwurfsmäßig festgelegten Werten liegt, vorzusehen. Dichtmaßnahmen sind auch für alle weiteren Elemente der Wasserundurchlässigkeit für den Fall planmäßig vorzusehen, dass die Kriterien der vereinbarten Nutzungsklasse des Bauwerks nicht erreicht werden konnten.

Die zu berücksichtigenden Lastfälle richten sich nach den verschiedenen Abschnitten des EC 1-1 [28]. Insbesondere sind Zwängungslasten, die in [1] als indirekte Einwirkungen bezeichnet werden, zu berücksichtigen.

Beim Nachweis von weißen Wannern spielen insbesondere die Lagerungsbedingungen eine große Rolle, d. h. Bodenplatten und Wände, die als weiße Wanne ausgebildet werden, sollen möglichst wenig durch Versprünge und Versätze mit dem Baugrund zur Bildung von Festpunkten und damit verbunden von Zwängungen führen. Diese haben nicht nur beim Abbindevorgang des Betons (Hydratation) und Schwinden einen großen Einfluss, sondern sie wirken sich vor allem auch bei wechselnden Temperaturbeanspruchungen während der gesamten Lebensdauer des Bauwerks sehr ungünstig auf die Rissbreitenentwicklung und Dichtheit von weißen Wannern aus (später Zwang).

Die Vorspannung von Betonbauteilen ist natürlich eine sehr geeignete Maßnahme, um durch Überdrücken der Querschnitte Zugspannungen und damit Risse zu vermeiden, jedoch wird im Zusammenhang mit dieser Zusammenfassung hier nicht weiter darauf eingegangen, weil die Anwendung der Vorspannung im Hochbau und insbesondere beim Bau von Einfamilien- und Reihenhäusern keine Rolle spielt.

Bei der Bemessung von wasserundurchlässigen Bauwerken ist der Nachweis der Wasserundurchlässigkeit als zusätzlicher Gebrauchstauglichkeitsnachweis in Ergänzung zu DIN 1045-1 bzw zu EC2 zu führen.

Nachweise für Nutzungsklasse A (keine Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche zulässig) und Beanspruchungsklasse 1 für Biegerisse:

Druckzonenhöhe $x \geq 30$ mm und $\geq 1,5 D_{\max}$ (D_{\max} : Größtdurchmesser der Gesteinskörnung)

Alternativ kann der Nachweis der Druckzonenhöhe durch eine Begrenzung der Breite der Biegerisse auf die Werte der Tabelle 2 ersetzt werden.

Die Alternativregelung, statt Einhaltung einer Mindesthöhe der Druckzone die Begrenzung der Biegerissbreite nachzuweisen, dient der Vereinfachung der Nachweise für den Tragwerksplaner und liegt bei Einhaltung der in Tabelle 2 definierten Rissbreiten auf der sicheren Seite. Das Entfallen dieser Regelung für Nutzungsklasse B und beide Nutzungsklassen bei Beanspruchungsklasse 2 ist durch die geringen Anforderungen bzw. durch den fehlenden Wasserdruck begründet.

Daraus folgt eindeutig, dass Trennrisse bei Nutzungsklasse A und Beanspruchungsklasse 1 nicht zugelassen sind.



Tabelle 2 - Rechenwerte der Trennrissbreiten gemäß DIN 1045-1 in Abhängigkeit vom Druckgefälle, wenn der Wasserdurchtritt durch Selbstheilung der Risse begrenzt werden soll

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

h_w : Druckhöhe des Wassers in Metern

h_b : Bauteildicke in Metern

Bei Anwendung dieser Tabelle wird leider häufig übersehen, dass diese Rissbreiten nur dann zu einer Wasserundurchlässigkeit führen, wenn Selbstheilung eintreten kann. Ohne Selbstheilung läuft auch bei einer Rissbreite von 0,1 - 0,15 mm Wasser konvektiv in die Innenräume.

Sofern bei Beanspruchungsklasse 1 im Zusammenhang mit Nutzungsklasse B ein temporärer Wasserdurchtritt durch Trennrisse vertretbar ist, sind diese rechnerischen Trennrissbreiten in Abhängigkeit vom Druckgefälle wiederum nach Tabelle 2 zu begrenzen. Die Verfasser von [1] gehen davon aus, dass bei Einhaltung dieser Tabellenwerte der anfängliche Wasserdurchtritt mit der Zeit durch Selbstheilung der Risse stark reduziert wird. Das bedingt jedoch, dass sich diese Risse zeitabhängig nur in sehr geringem Umfang ändern, und zwar mit höchstens 10 % ihrer größten Rissbreite gemäß Tabelle 2.

Für Beanspruchungsklassen 2 ist unabhängig von der Nutzungsklasse der Rechenwert der Trennrissbreiten in Wänden auf höchstens 0,20 mm zu begrenzen, für Bodenplatten wird auf DIN 1045-1, Abschnitt 11.2.1 verwiesen.

Der Entwurfsgrundsatz, der die Begrenzung der Trennrissbreite unter Ausnutzung der Selbstheilung der Risse zum Inhalt hat, bedeutet, dass planmäßig Trennrisse erwartet werden, deren Breite jedoch unter Beachtung der Regelungen zur Begrenzung der Rissbreite durch eine entsprechend gewählte Bewehrung begrenzt wird. Dieser Entwurfsgrundsatz entspricht der heute allgemein üblichen Praxis, sofern Bauwerke die Bedingungen der Nutzungsklasse B erfüllen sollen.

Bezüglich der Rechenwerte der Rissbreiten (siehe folgende Tabelle 2) ist zu beachten, dass es sich eben um Rechenwerte handelt, während die tatsächlichen Rissbreiten statistischen Gesetzmäßigkeiten unterliegen, d. h. also niedrigere wie höhere Werte auftreten können.

Es besteht auch die Möglichkeit, als Entwurfsgrundsatz die rechnerische Begrenzung der Rissbreiten auf einem niedrigeren Niveau nachzuweisen, d. h. größere rechnerische Rissbreiten in Kauf zu nehmen, als sie nach der folgenden Tabelle erforderlich wären. Dadurch wird zwar in Kauf genommen, dass Risse mit größeren Breiten als nach Tabelle 2 gefordert nachträglich planmäßig abgedichtet werden müssen. Ein solches Vorgehen ist jedoch mit erheblich reduziertem Bewehrungsaufwand verbunden, so dass die Kosteinsparung in der Regel höher ist als die Kosten der nachträglichen Abdichtung von Rissen mit unzulässigen Rissbreiten. Dies muss der Planer unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit jeweils abwägen, aber er muss vor allen Dingen seinen Auftraggeber auch über diesen von ihm gewählten Entwurfsgrundsatz informieren.

Der vorstehende Hinweis auf Begrenzung der Trennrissbreiten für Bodenplatten gemäß DIN 1045-1, Abschnitt 11.2.1, bedeutet, dass spezielle WU-Kriterien hier keine Berücksichtigung finden. Dem liegt der Gedanke zu Grunde, dass alle Trennrisse, die die festgelegten Nutzungsanforderungen nicht erfüllen, erst nachträglich abgedichtet werden. Zu diesem Konzept können



sowohl nur begrenzte als auch höherwertige Maßnahmen zur Trennrissbildung gehören, wofür unter wirtschaftlichen und sonstigen z. B. den Bauablauf berücksichtigenden Gesichtspunkten entschieden werden sollte.

In [2] wird bezüglich der Entwurfsgrundsätze noch einmal betont, dass bei allen Entwurfsgrundsätzen eine Abdichtung von Trennrissen mit Breiten, die der Nutzungsanforderung nicht entsprechen, erforderlich werden kann. Die vorsorgliche Festlegung solcher Maßnahmen sieht die Richtlinie jedoch verbindlich vor, das bedeutet, dass der Planer bzw. das ausführende Unternehmen bereits vor dem Herstellen der "weißen Wanne" entsprechende Maßnahmen vorgesehen haben muss, um derartige Risse, die breiter sind als die planmäßig vorgesehenen, nachträglich abzudichten.

Konstruktive Maßnahmen zur Vermeidung von Rissen bzw. überbreiten Rissen in Bodenplatten sind insbesondere das Vermeiden von unnötigen Festhaltungen und Gliederungen in der Bodenfuge. Die ungünstige Wirkung von derartigen Gliederungen, z. B. durch Aufzugsschächte, Installationskanäle, Kranfundamente für den Bauzustand usw., lassen sich durch geeignete Festlegung der Betonierabschnitte und ihrer zeitlichen Abfolge zumindest deutlich abmindern.

Im Falle starker unvermeidbarer Gliederungen kann großen Verformungsbehinderungen auch durch die Anordnung von so genannten "Hydratationsgassen" vorgebeugt werden.

Zu erwartende Verformungen lassen sich weiterhin durch betontechnische Maßnahmen, z. B. durch Betonrezepturen mit begrenzter Wärmeentwicklung, wirksam vermindern.

Zu den ausführungstechnischen Maßnahmen gehören insbesondere die Nachbehandlung und der Schutz des Betons nach dem Betonieren, wobei auf die Witterungsbedingungen abzustellen ist. Ungünstige Wirkung von hohen Strahlungsintensitäten, starke Gewitter oder windbedingte Abkühlungen sind auf jeden Fall durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden.

Im Gegensatz zu den in [1] und [2] enthaltenen Erläuterungen und Literaturangaben wird in der Praxis leider häufig zu stark vereinfachend vorgegangen. Ohne Untersuchung der tatsächlichen Verformungsbehinderungen und der Einwirkungen sowie der sich daraus ergebenden Zwangsspannungen wird für alle Bauteile immer eine Trennrissbildung angenommen, wozu häufig eine willkürlich gewählte Größe der effektiven Zugfestigkeit und eine ebenso willkürlich gewählte rechnerische Rissbreite zur Ermittlung der erforderlichen Mindestbewehrung angenommen wird. Diese Vorgehensweise ist zu stark vereinfachend und entspricht nicht den Anforderungen der Richtlinie und den durch sie definierten anerkannten Regeln der Technik. In [2] wird diese Formulierung ausdrücklich verwendet, um den Anspruch zu bestätigen, dass es sich eben bei [1] und [2] um die Wiedergabe der aktuellen anerkannten Regeln der Technik handelt.

Für angreifende Wässer mit einem Anteil von mehr als 40 mg/Liter CO₂ (kalklösende Kohlensäure) und pH < 5,5 darf von einer Selbstheilung der Risse nicht ausgegangen werden.

Weiterhin enthält dieser Abschnitt von [1] den Hinweis, dass die Möglichkeit einer Rissbreitenbegrenzung auch durch eine Kombination von Stabstahl- und Stahlfaserbewehrung besteht.

Anmerkung des Sachverständigen: Reiner Stahlfaserbeton ist demzufolge gemäß dieser Richtlinie nicht als Baustoff für wasserundurchlässige Bauwerke geeignet und entspricht damit auch nicht den anerkannten Regeln der Technik.

Hinweis zu den Anforderungen der Nutzungsklasse A bei Beanspruchungsklasse 1:

Begrenzung der Trennrissbreite gemäß der vorstehenden Tabelle 2 unter Annahme der Selbstheilung der Risse genügt nur dann den Anforderungen, wenn zusätzlich raumklimatische und bauphysikalische Maßnahmen getroffen werden (also z. B. eine Wärmedämmung auf der Außenseite des wasserundurchlässigen Bauwerks und entsprechende Lüftungsmöglichkeiten zur Abführung von ggf. durch die Außenwand diffundierender Feuchtigkeit).



Nutzungsklasse A ist jedoch erst dann erreicht, wenn der temporäre Wasserdurchtritt durch Selbstheilung der Risse nicht mehr erfolgt.

Zu den beiden alternativen Nachweismöglichkeiten der Wasserundurchlässigkeit über die Mindestdruckzonenhöhe bzw. die Einhaltung der in vorstehender Tabelle genannten Rechenwerte der Trennrissbreiten wird in [2] ausgeführt:

Die Einhaltung der Mindesthöhe der Betondruckzone soll die Verhinderung des Wasserdurchtritts durch Biegerisse sicherstellen. Das zuvor definierte Mindestmaß ist zwar kleiner als die Größenordnung des Kapillarbereichs gemäß den Modellvorstellungen beim Wasserdurchtritt durch Betonbauteile. Es reicht jedoch aus, um die durch Kapillartransport zur Risspitze beförderten Feuchtemengen so gering zu halten, dass im Allgemeinen von deren stetiger Verdunstung bei Einhaltung der Nutzungsklasse A ausgegangen werden kann. (Anmerkung dazu: Dabei darf nicht vergessen werden, dass in jedem Fall Diffusion stattfindet, auch wenn Wasser kapillar nicht mehr durch die Wand gefördert werden kann. Über die Größenordnung der infolge Diffusion in die Räume gasförmig eindringenden Wassermengen gibt es in der Literatur eine große Bandbreite der Werte. Gesichert ist die Tatsache, dass diese Menge um so geringer ist, je dichter das Betongefüge ist, d. h. je weniger Poren es enthält. Diesbezüglich wird auf die umfangreichen Ausführungen zur Diffusion in Abschnitt 1.3 verwiesen.)

Der Alternativnachweis über die Begrenzung der Biegerissbreiten auf ein vom Druckgefälle abhängiges Maß führt stets zu größeren Druckzonenhöhen, als oben definiert. Dieser Nachweis ist zudem einfacher auszuführen, als der Direktnachweis der Druckzonenhöhe.

Es besteht weiter die Möglichkeit, wasserundurchlässige Bauwerke der Nutzungsklasse A auch mit Rissbreiten zu entwerfen, die breiter sind als die Werte der vorstehenden Tabelle 2, wenn entwurfsmäßig hierfür entsprechende Dichtmaßnahmen vorgesehen werden, auf die später noch einzugehen ist.

Die Ausnutzung der Möglichkeit, Durchfeuchtungen auch bei der Nutzungsklasse A zu erlauben, wie in [1] optional vorgesehen, setzt allerdings einen hohen Klimatisierungsbedarf zur Sicherstellung einer ständigen Verdunstung der Feuchte auf der Innenseite der Bauteile voraus, der allerdings ggf. aus anderen Gründen ohnehin erforderlich ist.

Zur Bewehrungsführung wird in [1] vorgegeben, dass wasserundurchlässige Bauwerke in der Regel mit einem beidseitigen Bewehrungsnetz, bestehend aus Längs- und Querbewehrung, zu versehen sind. Ausnahmen sind lediglich bei Beanspruchungsklasse 2 für Fertigteile mit geringer statischer Beanspruchung, für Elementwände und für raumabschließende Bodenplatten vorgesehen, wenn entsprechende Nachweise geführt werden können.

1.6.2 Fugen

Zur Fugenausbildung und zum Anlegen von Sollrissquerschnitten werden folgende Angaben gemacht:

- Bewegungsfugen sind zu vermeiden. Lediglich dort, wo Relativverformungen zwischen benachbarten Bauteilen durch andere konstruktive Maßnahmen nicht beherrscht werden können, sollen Bewegungsfugen angeordnet werden.
- Arbeitsfugen sind zu planen und nach diesem Plan auszuführen.
- Speziell zur Arbeitsfuge zwischen Bodenplatte und Wand heißt es, dass die Arbeitsfuge entweder in der Ebene der Bodenplatte oder als erhöhter Sockel ausgebildet werden kann, nachträglich "aufgesetzte Sockel" sind nicht zulässig.
- Als Regelausführung ist der Einbau einer Fugenabdichtung zu empfehlen.



- Bei Überschreitung der gemäß Tabelle 1 vorgesehenen Mindestwanddicken ist es auch möglich, bei entsprechender Fugenvorbereitung und sorgfältigem Anbetonieren einen dichten Anschluss des Betons in bewehrten Arbeitsfugen ohne zusätzliche Einbauteile zu erreichen (dies gilt für Wanddicken ≥ 300 mm).
- Sollrissquerschnitte sind an solchen Stellen vorzusehen, wo planmäßig durch eine Schwächung der Wand ein Riss erzielt werden soll, der jedoch durch Einbau einer entsprechenden Fugenabdichtung ebenfalls wasserundurchlässig sein muss. Bei Nutzungsklasse A ist der Einbau einer solchen Fugenabdichtung zwingend erforderlich. Die Schwächung des Betonquerschnitts an einer solchen Sollrissstelle muss zumindest ein Drittel der Querschnittsdicke betragen.

Hinweise zur fachgerechten Fügetechnik von Fugenbändern finden sich u. a. in DIN 18.197 [15].

Aus bauphysikalischen Gründen vorgesehenen Haustrennfugen in Wänden von Doppel- und Reihenhäusern setzen nicht notwendigerweise auch eine Fuge in der Bodenplatte voraus. Wenn aber zum Beispiel in den Außenwänden eines größeren WU-Bauwerks Fugen zum Abbau von Zwängungsspannungen vorgesehen werden, diese aber in der Bodenplatte nicht entsprechend ihre Fortsetzung finden, sind an diesen Stellen der Bodenplatten Risse vorprogrammiert.

Arbeitsfugen, die keine Fugendichtung erhalten, sind wie Trennrisse zu betrachten, wenn im Fugenbereich Zugkräfte zu erwarten sind. Dies gilt auch für ungewollte Arbeitsfugen durch eine unplanmäßige Unterbrechung des Betoniervorgangs.

Ein Sonderfall der Arbeitsfuge ist der Übergang von einem wasserundurchlässigen Bauteil aus Beton auf ein außen abgedichtetes Bauteil.

Als Fugenabdichtung dürfen nur solche Produkte Verwendung finden, für die es einen Verwendbarkeitsnachweis gibt. Hierzu wird auf die Bauregelliste A, Teile 1 und 2 verwiesen. Fugenbänder gemäß DIN 7.865 und DIN 18.541 dürfen entsprechend den Verwendungsregeln von DIN 18.197 eingesetzt werden.

Es gibt eine Reihe von Fugenabdichtungen, deren Verwendbarkeit nicht durch den Anwendungsbereich dieser Richtlinie [1] geregelt ist. Hierbei handelt es sich um:

- Außen liegende, streifenförmige Dichtungen mit Stoffen gemäß DIN 18.195-2;
- beschichtete Fugenbleche;
- Dichtrohre;
- Injektionsschläuche gemäß DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen";
- Kompressionsdichtungen;
- Quellbänder;
- Quellmaterialstreifen.

Diese Aufzählung ist nicht als abschließend anzusehen. Für alle diese Materialien und Stoffe ist deren Verwendbarkeit jeweils im Einzelfall nachzuweisen. Fugendichtungen für wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton benötigen einen Verwendbarkeitsnachweis. Dies kann eine Norm sein, in welcher die Verwendbarkeit der jeweiligen Fugenabdichtung geregelt ist und die in die Bauregelliste des DIBt aufgenommen ist. Für nicht genormte Fugendichtungen ist in der Bauregelliste A, Teil 2, der Verwendbarkeitsnachweis in Form eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses (AbP) vorgesehen, das nach festgelegten Prüfrichtlinien von Prüfinstituten ausgestellt wird, die hierfür vom DIBt anerkannt sein müssen.



Unbeschichtete Fugenbleche gemäß DIN EN 10.051 oder gemäß DIN EN 10.088-2 werden in [1] gesondert geregelt. Bei Beachtung der diesbezüglichen Regelungen darf der Verwendbarkeitsnachweis entfallen, wenn die diesbezüglichen Regelungen im Abschnitt 10.2. von [1] beachtet werden:

Die Mindestblechdicke muss 1,5 mm betragen.

Bei Beanspruchungsklasse 1, Nutzungsklasse A dürfen unbeschichtete Fugenbleche nur in Arbeitsfugen eingesetzt werden. Dabei muss die Breite des Bleches bei einem Wasserdruck von bis zu 3 m zumindest 250 mm betragen, bei Wasserdrücken zwischen 3 und 10 m Wassersäule muss die Blechbreite mindestens 300 mm betragen.

Die vorherigen Regelungen gelten bei Beanspruchungsklasse 1, Nutzungsklasse B auch für Sollrissquerschnitte.

Bei Beanspruchungsklasse 2 dürfen diese unbeschichteten Fugenbleche in Arbeits- und Sollrissfugen eingesetzt werden, wobei die Blechbreite jeweils mindestens 250 mm betragen muss.

Unbeschichtete Fugenbleche müssen planmäßig beiderseits der Fuge jeweils mit ihrer halben Breite in den Beton einbinden.

Bei Beanspruchungsklasse 1 müssen diese unbeschichteten Fugenbleche an den Stoßstellen durch Schweißen, Kleben oder Zusammenpressen mit einer dichtenden Zwischenlage verbunden werden.

Abweichend davon dürfen bei Beanspruchungsklasse 1, Nutzungsklasse B ab einer Wanddicke von 500 mm und bis zu einem Druckgefälle von $h_w/h_b = 5$ auch überlappt gestoßen werden, wobei die Überlappung zumindest 300 mm betragen muss. Dabei sind die Mindestmaße des lichten Abstands zwischen den Blechenden zu beachten. Diese müssen mindestens 50 mm betragen oder, falls dies einen größeren Wert ergibt, die dreifache Dicke des Größtkorns der Zuschlagstoffe aufweisen.

Bezüglich der Fugenausbildung wird weiterhin auf die Veröffentlichung [12] verwiesen. Der Verfasser, Prof. Dr.-Ing. Hohmann, hat sich mit dem Thema der Fugenabdichtung in den letzten Jahren ausgiebig beschäftigt und mehrere Veröffentlichungen darüber verfasst.

Zusätzlich zu den schon in [1] gemachten Ausführungen zu Arbeitsfugen sind hieraus noch folgende Regelungen und Empfehlungen zu entnehmen:

Damit Fugenbänder ihre Funktion erfüllen können, müssen sie voll umschlossen und hohlraumfrei einbetoniert sein. Unter Bezug auf die DIN V 18.197 muss der lichte Abstand zwischen dem Fugenband und der Bewehrung deshalb mindestens 20 mm betragen. Ebenfalls nach DIN V 18.197 soll der lichte Abstand zwischen der Anschlussbewehrung und dem innen liegenden Fugenband mindestens 5 cm betragen. Das gilt selbstverständlich auch für unbeschichtete Fugenbleche, beschichtete Fugenbleche und Kombi-Arbeitsfugenbänder.

Fugenbänder müssen symmetrisch zur Fugenachse eingebaut werden. Sie sind so zu befestigen, dass sie ihre Lage beim Betonieren nicht verändern. Innen liegende Fugenbänder sind mindestens alle 25 cm an der Bewehrung und an den Randankern mit so genannten Fugenbandklammern zu befestigen.

Fugenbänder können bei Richtungsänderungen im Radius verlegt werden, wobei der Mindestbiegeradius abhängig vom Fugenbandtyp ist. Bei innen liegenden Arbeitsfugenbändern wird der Biegeradius nach DIN 18.197 zu ≥ 15 cm angegeben.

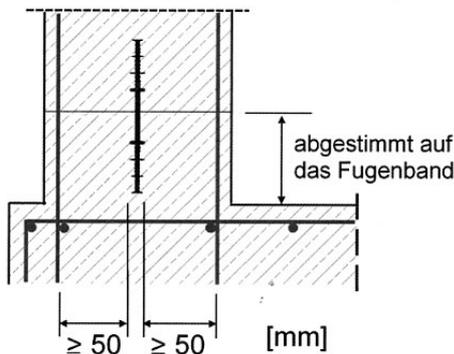


Bild 6. Abstand zwischen Fugenband und Anschlußbewehrung

Fig. 6. Spacing between waterstop and starter bars

Der Artikel [12] enthält einige spezielle Angaben zu so genannten Kombi-Arbeitsfugenbändern (KAB). KAB-Profile sind speziell ausgebildete Fugenbänder, an deren unterem Ende ein Quellprofil in einer nach unten offenen Nut eingelassen ist. Vor dem Betonieren der Bodenplatte soll das KAB direkt auf die oberste Bewehrungslage aufgestellt und mit ca. 2 Haltebügeln je m fixiert werden. Der Vorteil der KAB liegt darin, dass eine Betonaufkantung oder eine Bewehrungsanpassung hier nicht erforderlich ist.

Nach dem Betonieren bindet das KAB ca. 30 mm in den Beton der Bodenplatte ein (abhängig von der ausgeführten Betondeckung). Oberhalb der Arbeitsfuge dichtet das KAB nach dem Labyrinth-Prinzip wie ein ganz normales Arbeitsfugenband. Unterhalb der Arbeitsfuge soll die fehlende Einbindetiefe durch das im unteren Profilteil integrierte Quellprofil kompensiert werden.

Diese KAB benötigen ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (AbP), aus dem der maximal zulässige Wasserdruck zu entnehmen ist.

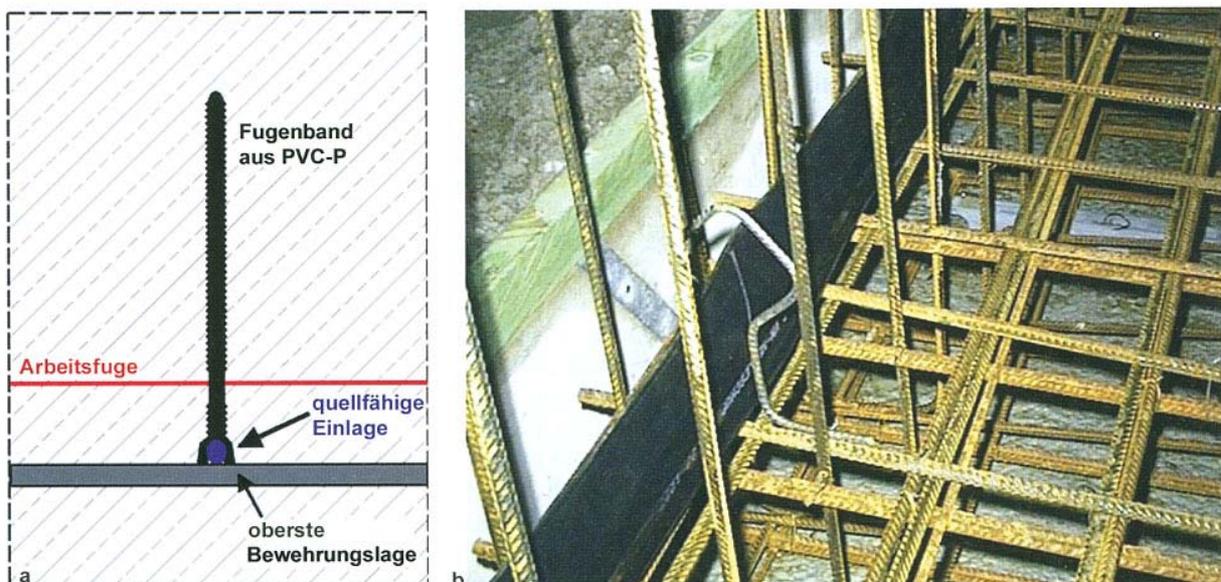


Bild 11. Kombi-Arbeitsfugenband KAB auf der obersten Sohlbewehrung vor dem Betonieren der Bodenplatte

Fig. 11. Combined construction joint waterstop placed on top of the slab reinforcement shortly before concreting

Beschichtete Fugenbleche zur Abdichtung von Arbeitsfugen werden ähnlich wie die KAB auf die obere Bewehrungslage aufgesetzt (siehe obige Abbildung). Auch hier ergibt sich der maximal



zulässige Wasserdruck aus dem AbP, wobei in Österreich der Wasserdruck generell bei butylkautschukbeschichteten Fugenblechen auf 1 m Wassersäule begrenzt ist.

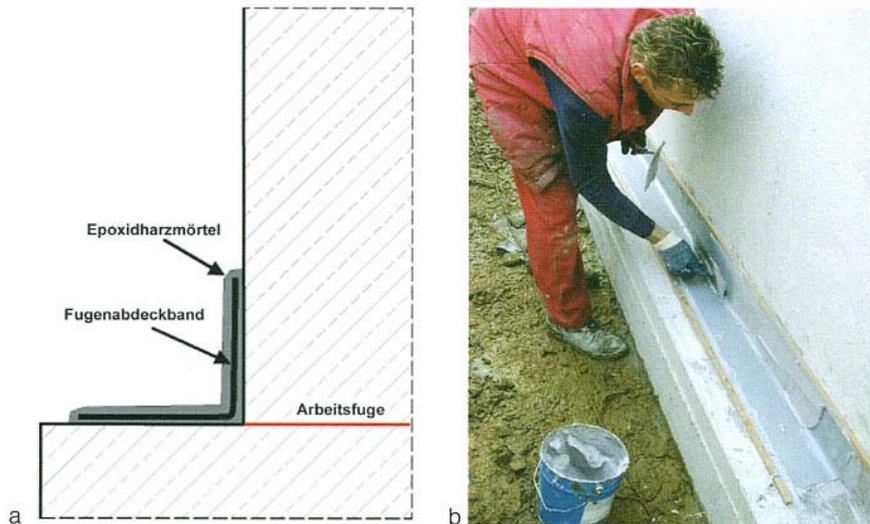


Bild 15. Abdichtung einer Arbeitsfuge mit einer streifenförmigen Fugenabdichtung
Fig. 15. Sealing of a construction joint with sealing strips

Injektionsschläuche werden grundsätzlich nicht als Abdichtung angesehen, sondern lediglich als technisches Hilfsmittel, mit dem das eigentliche Abdichtungsprodukt, das Injektionsmaterial, in die Arbeitsfuge eingebracht werden kann und diese Fuge damit abdichtet. Als Injektionsmaterial kommen in Frage PUR-Harze, Zementsuspensionen oder Acrylharze. Auch für den Einsatz dieser Abdichtungsmittel sind AbP erforderlich.

Ein weiteres Abdichtungsmaterial für Arbeitsfugen sind quellfähige Fugeneinlagen, für die ebenfalls ein AbP erforderlich ist, aus dem z. B. auch hervorgeht, ob diese quellfähigen Fugeneinlagen für den Einsatz in Wasserwechselzonen geeignet sind.

Seit einigen Jahren schon kommen häufiger Abklebesysteme oder Adhäsionsabdichtungen von Fugen zum Einsatz. Dabei handelt es sich gemäß obiger Abbildung um streifenförmige Abdichtungen aus TPE, gewebekaschiertem Elastomer oder PVC, die in der Regel mit einem Epoxidharzkleber wasserseitig druck- und wasserfest auf den Beton geklebt werden, um so eine Arbeitsfuge oder unter Umständen auch eine Dehnfuge zu überbrücken. Die Streifenbreite beidseits der Fuge soll mindestens 15 cm betragen. Auch hierfür ist, da es sich um ein nicht geregeltes Bauprodukt handelt, ein AbP erforderlich.

Eine Übersicht über sämtliche derzeit am Markt üblichen Abdichtungssysteme für Arbeitsfugen und die zugehörige Bewehrungsführung geht aus der folgenden Abbildung Tabelle 1 hervor.

Zu einzelnen Abdichtungsmaßnahmen gibt [2] spezifische Hinweise.

- Dichtrohre: Schwind- bzw. Dichtrohre dürfen nur in vertikalen Sollrissquerschnitten verwendet werden. Ein horizontaler Einbau ist nicht zulässig.
- Quelledichtungen: Quelledichtungen entwickeln ihre dichtende Wirkung erst unter Einwirkung von Wasser durch den Aufbau eines Quelldrucks. Bei Nutzungsklasse A und Beanspruchungsart 1 sind Quelledichtungen nur geeignet, wenn im Verwendbarkeitsnachweis nachgewiesen wurde, dass auch bei wechselnder Wassereinwirkung kein temporärer Wasserdurchtritt erfolgt oder wenn sichergestellt ist, dass die Quelledichtung nie austrocknet. Ferner muss sichergestellt sein, dass das Quellen der Dichtelemente nicht bereits vor dem Betonieren auftritt, also ehe sich der Quelldruck aufbauen kann.



- Injektionsdichtungen: Die Wirkung der Injektionsdichtungen beruht auf dem vollständigen Füllen der Hohlräume von Fugen mit einem dichtenden Material. Der bloße Einbau eines Injektionsschlauches ist noch keine Fugendichtmaßnahme. Generell sind Injektionsdichtungen als alleinige Fugenabdichtung nur für Arbeitsfugen geeignet. Es wird empfohlen, die Injektionsdichtung nur als Sekundärdichtung in Kombination mit anderen Fugenabdichtungen anzuwenden, insbesondere bei Nutzungsklasse A, Beanspruchungsklasse 1.
- Kompressionsdichtungen: Bei Kompressionsdichtungen ist zwischen Klemmkonstruktionen und Einschlagdichtungen zu unterscheiden. Im ersten Fall wird die Abdichtwirkung durch Anpressen eines speziellen Klemmfugenbandes aus Elastomer oder Thermoplast mit Klemmflanschen an die Betonoberfläche erzielt. Im zweiten Fall entsteht eine Dichtwirkung durch das Anpressen des in eine Nut eingeschlagenen Elastomerprofils an die Flanken der nutförmigen Aussparung im Beton des Fugenbereichs.

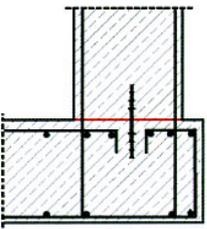
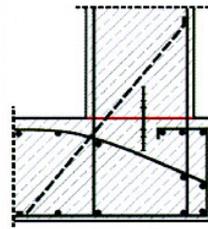
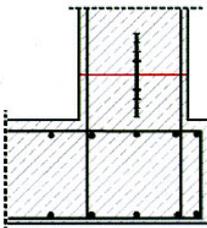
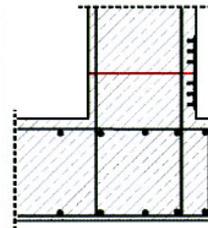
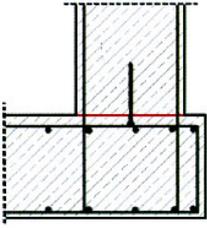
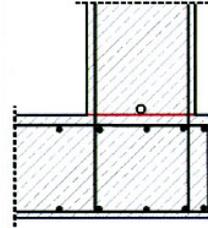
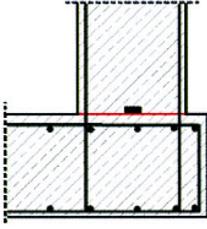
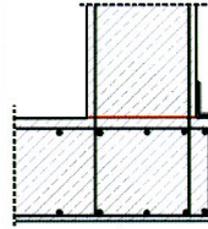
Die oben stehenden Ausführungen, nach denen unbeschichtete Fugenbleche bei größeren Bauteildicken auch überlappend gestoßen werden können, tragen der Erfahrung Rechnung, dass bei größeren Bauteildicken und geringen Druckgefällen dichte Stoßstellen von Fugenblechen auch durch überlappende Anordnung erreicht werden können. Die Dichtheit hängt dabei jedoch von einer vollständigen Füllung des Zwischenraums zwischen den überlappenden Blechen ab.

Da die Gefahr geringer Restundichtheiten beim Überlappungsstoß nicht völlig ausgeschlossen werden kann, ist sein Einsatz auf Nutzungsklasse B beschränkt.



Table 1. Abdichtungssysteme für Arbeitsfugen und Bewehrungsführung

Table 1. Waterproofing systems for construction joints and set up of reinforcement

Abdichtungssystem		Besonderheiten
 <p>Innenliegendes Arbeitsfugenband oder -blech ohne Aufkantung</p>	 <p>Innenliegendes Arbeitsfugenband oder -blech mit abgebogener oberer Bewehrung</p>	Bewehrungsanpassung erforderlich
 <p>Innenliegendes Arbeitsfugenband oder -blech mit Aufkantung</p>	 <p>Außenliegendes Arbeitsfugenband mit Aufkantung</p>	
 <p>Kombi-Arbeitsfugenband oder beschichtetes Fugenblech</p>	 <p>Verpreßter Injektionsschlauch</p>	keine Aufkantung oder Bewehrungsanpassung erforderlich
 <p>Quellfähige Fugeneinlage</p>	 <p>Adhäsions- oder Klebeabdichtung</p>	



1.7 Ausführung

Beton

Allgemein gilt für die Ausführung DIN 1045-3. Dabei wird auf solche Regelungen verwiesen, welche die Wasserundurchlässigkeit von Betonbaukörpern beeinflussen, wie

- Dichtheit der Schalung und der Schalungsanschlüsse;
- Vorbereiten/Vornässen der Arbeitsfugen und der Ortbeton-Fertigteileanschlüsse vor dem Betonieren.

Es sind spezielle Abstandhalter und Schalungsanker zu verwenden, welche die Wasserundurchlässigkeit örtlich nicht beeinträchtigen. Hierzu wird auf die DBV-Merkblätter "Abstandhalter" und "Wasserundurchlässige Baukörper aus Beton" verwiesen.

Zusätzliche Regelungen zur Ausführung, die über DIN 1045-3 und DIN 1045-4 hinausgehen, werden nachfolgend zusammengefasst.

Die Innenseiten von Elementwandplatten müssen eine bestimmte Mindestrauigkeit betragen, die bei Herstellung der Platten zu dokumentieren ist.

Fertigteile und Elementwandplatten dürfen bei der Montage nicht beschädigt werden. Sofern dabei Risse entstehen, sind sie durch entsprechende Dichtmaßnahmen (siehe Abschnitt "Risse") zu schließen.

Vor der Montage der Elemente ist die Arbeitsfuge Bodenplatte/Wand zu reinigen und vorzunässen.

Die Elementwandplatten müssen im Bereich der Arbeitsfuge Bodenplatte/Wand mindestens 30 mm hoch aufgeständert werden.

Vor dem Einbau des Kernbetons sind die Innenoberflächen der Elementwände ausreichend lange vorzunässen. Die Oberflächentemperatur muss dabei oberhalb 0 °C liegen.

Der Kernbeton ist in gleichmäßigen, in der Regel 500 mm hohen waagerechten Lagen einzubringen, wobei er bei sämtlichen Wänden stets gleichzeitig hochzuführen ist. Waagerechte Arbeitsfugen dürfen nur in Höhe der Bodenplatten und der Geschossdecken angeordnet werden. Auf eine sorgfältige Verdichtung des Betons wird ausdrücklich hingewiesen.

Unter Bezug auf DIN 1045-3 sind Schutz- und Nachbehandlungsmaßnahmen so zu wählen, dass Eigen- und Zwangsspannungen infolge Hydratation möglichst gering bleiben (es wird auf DIN 1045-3, 8.7.2, Absatz 3 verwiesen).

Für Bauteile nach der WU-Richtlinie [1] sind Abstandhalter mit hohem Wassereindringwiderstand einzusetzen.

Unabhängig von der relativen Luftfeuchte ist der Beton stets nach dem oben bereits zitierten Abschnitt 8.7.2 der DIN 1045-3 nachzubehandeln.

Folgende Verfahren sind sowohl allein als auch in Kombination für die Nachbehandlung geeignet:

- *Belassen in der Schalung;*
- *Abdecken der Betonoberfläche mit dampfdichten Folien, die an den Kanten und Stößen gegen Durchzug gesichert sind;*
- *Auflegen von wasserspeichernden Abdeckungen unter ständigem Feuchthalten bei gleichzeitigem Verdunstungsschutz;*



- *Aufrechterhalten eines sichtbaren Wasserfilms auf der Betonoberfläche (z. B. durch Besprühen oder Fluten);*
- *Anwendung von Nachbehandlungsmitteln mit nachgewiesener Eignung.*

Fugenabdichtungen

In [1] wird ausgeführt, dass alle in den Beton eingreifenden Fugenabdichtungen vor dem Betonieren plangemäß lagegenau zu verlegen sind, an den Stoßstellen zu verbinden und in ihrer Lage zu sichern sind.

Außen liegende Abdichtungen sind vor dem Verfüllen des Arbeitsraums gegen mechanische Beschädigung zu schützen.

Risse

Sofern abhängig von der zutreffenden Nutzungsklasse dennoch bei der Ausführung im Beton, an den Fugen und um die Einbauteile herum Risse auftreten, so sind entsprechende im Entwurfsgrundsatz vorzusehende Abdichtungsmaßnahmen zu ergreifen. Für wasserseitige Dichtmaßnahmen wird auf die weiter oben erwähnten Fugenabdichtungen verwiesen. Hier sind insbesondere die außen liegenden streifenförmigen Dichtungen mit Stoffen gemäß DIN 18.195-2 gemeint.

Bei Beanspruchungsklasse 2 sind auch Abdichtungsmaßnahmen auf der raumseitigen Oberfläche zulässig, für die ebenfalls ein Verwendbarkeitsnachweis vorliegen muss.

Das Füllen von Rissen, undichten Fugen und undichtem Betongefüge sowie das Instandsetzen von Fehlstellen erfolgt entsprechend der DAfStb-Richtlinie "Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 2 [14].

Gegebenfalls sind die diesbezüglichen Injektionsmaßnahmen in mehreren Arbeitsgängen durchzuführen bzw. nach angemessenem Zeitraum zu wiederholen.

Die im Abschnitt 10 von [1] aufgeführten Klebedichtungen sind prinzipiell auch zur nachträglichen Abdichtung von außen zugänglichen Rissen geeignet.

Bezüglich des Injizierens von Rissen als Maßnahme zum nachträglichen Dichten und Instandsetzen von Fehlstellen wird ausdrücklich in [2] betont, dass auch mehrmaliges Injizieren kein Mangel ist, sondern als systembedingt angesehen werden muss.

Mit der Methode der Acrylat-Vergelung, die inzwischen zumindest als Stand der Technik angesehen werden kann, lassen sich auch breitere Risse abdichten, weil durch diese Technik auf der Außenseite des Bauteils im Bereich der Risse eine nachträgliche Außenabdichtung entsteht. Zu dieser Technik gehört auch die gegebenenfalls erforderliche Nachvergelung, die in jedem Fall immer mit auszuschreiben.

2 Stahlfaserbeton

Die Ausführung von Bauwerken aus Stahlfaserbeton, insbesondere von wasserundurchlässigen Bauwerken, richtet sich nach dem DBV-Merkblatt "Industrieböden aus Stahlfaserbeton", 07/2013 sowie nach der DAfStb-Richtlinie "Stahlfaserbeton", ebenfalls aus dem Jahr 2013.

Da nach diesem Merkblatt und nach den technischen Regeln und Zulassungen der verschiedenen Hersteller und Anbieter von Stahlfasern derzeit ein Rissicherheitsnachweis bei reinem Stahlfaserbeton nicht geführt werden kann und bei reinem Stahlfaserbeton mit einer Rissbreite von 0,3 bis 0,4 mm gerechnet werden muss, scheidet gemäß den vorstehenden Ausführungen



reiner Stahlfaserbeton für die Wände von wasserundurchlässigen Betonbauwerken in jedem Fall aus.

Allenfalls für Bodenplatten von Bauwerken der Nutzungsklasse B und der Beanspruchungsklasse 2 kann reiner Stahlfaserbeton akzeptiert werden.

Bei einer Kombination von Stahlfaserbeton mit Rundstahlbewehrung ist gemäß dem vorgenannten Merkblatt des DBV ein Nachweis der Rissbreiten möglich. Demzufolge ist diese Kombination auch bei wasserundurchlässigen Bauwerken einsetzbar. Die Stahlfasern bewirken eine nicht unerhebliche Reduzierung der Rundstahlbewehrung gegenüber einer gleichartigen Ausführung ohne Stahlfasern.

3 Hochwertige Nutzung von Untergeschossen [21]

Dieser Ausblick kann als Stand der Technik angesehen werden.

Ausgehend von weiterführenden Untersuchungen zum Verhalten von Stahlbetonbauteilen unter Druckwasser wird davon ausgegangen, dass bei einem fachgerecht hergestellten ungerissenen Betonbauteil ein Wasserdurchtritt in Form von flüssigem Wasser ausgeschlossen werden kann. Maßgebend für die luftseitige Wasserdampfabgabe ist in den ersten Jahren die im Beton vorhandene Baufeuchte, wobei die Ausbildung der luftseitigen Bauteiloberfläche hier auch eine Rolle spielt. Diese Feuchtigkeit ist durch entsprechendes Lüften abzuführen.

Die diesbezüglichen Untersuchungen haben gezeigt, dass die nutzungsbedingte Luftfeuchte deutlich höher ist als die aus der Betonoberfläche im Laufe der Zeit entweichende Baufeuchte.

Nach sehr langen Zeiträumen wird ein Feuchtegleichgewicht erreicht. Danach findet ein Feuchteausgleich nur auf einem sehr geringen Niveau statt, der entsprechend den diesbezüglichen Untersuchungen an der TU München um ein Vielfaches geringer sein soll als die nutzungsbedingt anfallende Feuchte. Aus diesem Grund wird in der Überarbeitung durch den DAfStb ausgeführt, dass die dabei ausdiffundierenden Feuchtemengen gegenüber den nutzungsbedingten Feuchteänderungen (z. B. Aufenthalt von Menschen) vernachlässigt werden könne.

Aus Sicht des Sachverständigen sind diese Ausführungen zwar technisch bedingt richtig. Sie vernachlässigen aber den Einfluss der Diffusion gemäß Abschnitt 1.3 und sie verdrängen das Problem solcher Räume, in denen sich Menschen praktisch nicht aufhalten. Das sind Räume mit hochwertiger Nutzung, z. B. Archive oder dergleichen, wo tatsächlich keine nutzungsbedingte Feuchte eingetragen wird, jedenfalls so gut wie nie, es sei denn es betreten ausnahmsweise in großen Zeitabständen Personen vorübergehend diese Räume. Hier kann das als Dampf hindurch diffundierende Wasser sehr wohl eine Rolle spielen, insbesondere wenn die Innenseiten der Außenbauteile direkt an Einrichtungen wie Regale, Archive und dergleichen, ohne Belüftungszwischenraum anschließen. In solchen Fällen kann es durchaus auch aufgrund der Diffusion zu langfristigen Schäden an den eingelagerten Gütern kommen. Bedauerlicherweise werden die durch Diffusion zu erwartenden Feuchtigkeitsmengen in sämtlichen diesbezüglichen Ausführungen des DAfStb und des DBV nicht quantifiziert. Hierzu ist bei Bedarf auf andere Literaturquellen zuzugreifen (z. B. SIA-Norm oder die Ausführungen in Abschnitt 1.3).

Offenbar in Erkenntnis dieser Umstände hat der Deutsche Beton- und Bautechnik-Verein mit seinem Merkblatt [21] eine weitergehende Differenzierung der Nutzungsklasse A vorgenommen. Die maßgebliche Tabelle aus diesem Merkblatt wird nachfolgend wiedergegeben.



	Raumnutzung	Raumklima (in der Regel)	Beispiele (infomativ)	Maßnahmen ²⁾ (infomativ)
A***	anspruchsvoll	warm, sehr geringe Luftfeuchte, geringe Schwankungsbreite der Klimawerte	Archive, Bibliotheken, Technikräume mit feuchteempfindlichen Geräten (Labor, EDV usw.), Lager für stark feuchte- oder temperaturempfindliche Güter	Wärmedämmung nach EnEV ³⁾ , Heizung, Zwangslüftung, Klimaanlage (Luftentfeuchtung)
A**	normal	warm, geringe Luftfeuchte, mäßige Schwankungsbreite der Klimawerte	Räume für dauerhaften Aufenthalt von Menschen, wie Versammlungsräume, Büro-, Wohn-, Aufenthalts- oder Umkleieräume, Verkaufsstätten; Lager für feuchteempfindliche Güter, Technikzentralen	Wärmedämmung nach EnEV ³⁾ , Heizung, Zwangslüftung, ggf. Klimaanlage
A*	einfach	warm bis kühl, natürliche Luftfeuchte, große Schwankungsbreite der Klimawerte	Räume für zeitweiligen Aufenthalt von wenigen Menschen, ausgebaute Kellerräume, wie Hobbyräume, Werkstätten, Waschküchen im Einfamilienhaus, Wäschetrockenraum; Abstellräume	Wärmedämmung nach EnEV; ggf. ohne Heizung, natürliche Lüftung (Fenster, Lichtschächte, ggf. nutzerunabhängig)
A^{0 1)}	untergeordnet	keine Anforderungen	einfache Technikräume (z. B. Hausanschlussraum)	-

1) Entspricht WU-Richtlinie [1], 5.3 (2), u. U. ist eine Einordnung in Nutzungsklasse B möglich

2) Baukonstruktive Anforderungen an die Zugänglichkeit der umschließenden Bauteile sind immer zu beachten

3) EnEV: Energieeinsparverordnung

4 Zusammenfassung

Die WU-Richtlinie [1] stammt aus dem Jahr 2003, die diesbezüglichen Erläuterungen [2] aus dem Jahre 2006. Sie stellen in Verbindung mit den anderen zitierten Quellen die aktuellen anerkannten Regeln der Technik für wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton dar, was sowohl in [1] als auch in [2] ausdrücklich betont wird.

Es ist aber nicht so, dass es vorher noch keine Regeln für das Herstellen von "weißen Wannen" und WU-Betonbauteilen gab. Hierzu wird insbesondere auf die seinerzeit existierenden DBV-Merkblätter verwiesen, die allerdings inzwischen zurückgezogen wurden, weil sie durch die entsprechenden auch bauordnungsrechtlich eingeführten Regelungen in [1] ersetzt wurden. Es ist aber auch insbesondere auf die Literatur [3] verwiesen, die es bereits in der 4. Auflage seit 1995 ab und in der die wesentlichen Konstruktions- und Ausführungsprinzipien, wie sie jetzt auch in [1] stehen, bereits enthalten waren. Das gilt speziell für die Anforderungen an die Wasserun-



Dipl.-Ing. Dieter Rudat

öbuv Sachverständiger für Massivbau

Sachverständiger für Schäden an Gebäuden

**Wasserundurchlässige
Bauwerke aus Beton**

durchlässigkeit des Betons und seine Herstellung, an den Nachweis der Rissicherheit und der einzuhaltenden Rissbreiten unter Berücksichtigung des Selbstheilungseffekts des Betons, der grundlegenden Konstruktionsprinzipien - wie z. B. der Vermeidung von Zwängungen zwischen Bodenplatten und Baugrund - und auch der Abdichtung von Fugen.

Weiterhin sind auch bereits die Maßnahmen, die bei Durchfeuchtungen im Nachhinein zu treffen sind, in [3] ausführlich beschrieben worden. Daran hat sich bis heute nichts Wesentliches verändert. So waren die empfohlenen zulässigen Trennrissbreiten in [3] sogar strenger, d. h. kleiner gewählt worden, als sie jetzt in der Tabelle 2 von [1] enthalten sind.

Es kann also keine Rede davon sein, dass bei Bauwerken, die vor dem Jahre 2003 hergestellt wurden, keine anerkannten Regeln der Technik zur Herstellung von "weißen Wannen" bestanden und hätten beachtet werden müssen.

München, den 15.03.2016

Gez.: *Dieter Rudat*



5 Literatur

- [1] DAfStb-Richtlinie "Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)", November 2003
- [2] Heft 555 des DAfStb: Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, 2006
- [3] Lohmeyer: „Weiße Wannen, einfach und sicher“, 1995
- [4] Lohmeyer, Ebeling: „Weiße Wannen, einfach und sicher“, 2006
- [5] DBV-Merkblatt "Industrieböden aus Stahlfaserbeton", 07/2013
- [6] DIN 18.195-1 Bauwerksabdichtungen, Teil 1: Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten, 08/2000
DIN 18.195-2 Bauwerksabdichtungen, Teil 2: Stoffe, 08/2000
DIN 18.195-3 Bauwerksabdichtungen, Teil 3: Anforderungen an den Untergrund und Verarbeitung der Stoffe, 08/2000
DIN 18.195-4 Bauwerksabdichtungen, Teil 4: Abdichtungen gegen Bodenfeuchte (Kapillarwasser, Haftwasser) und nicht stauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden, Bemessung und Ausführung, 08/2000
DIN 18.195-6 Bauwerksabdichtungen, Teil 6: Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser und aufstauendes Sickerwasser, Bemessung und Ausführung, 08/2000
DIN 18.195-8 Bauwerksabdichtungen, Teil 8: Abdichtungen über Bewegungsfugen, 03/2004
DIN 18.195-9 Bauwerksabdichtungen, Teil 9: Durchdringungen, Übergänge, An- und Abschlüsse, 03/2004
DIN 18.195-10 Bauwerksabdichtungen, Teil 10: Schutzschichten und Schutzmaßnahmen, 03/2004
DIN 18.195 Beiblatt 1 Bauwerksabdichtungen - Beispiele für die Anordnung der Abdichtung bei Abdichtungen, 01/2006
- [7] DIN 4095: Baugrund, Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung, 06/1990
- [8] DIN 1045-1 bis DIN 1045-4: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Juli 2008
- [9] DIN EN 206-1: Beton, Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung, Konformität
- [10] DAfStb Heft 525: Erläuterungen zu DIN 1045-1, 09/2003 mit Berichtigung 1:2005-05
- [11] DAfStb Heft 526: Erläuterungen zu den Normen DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN 4226, 05/2003
- [12] Hohmann: Fugenausbildung und -abdichtung bei wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton, neue Regelwerke setzen Maßstäbe (in Fachzeitschrift Abdichtungstechnik 3/07, Seite 21 - 31)
- [13] 33. Aachener Bausachverständigentage 2007: Bauwerksabdichtungen, Feuchteprobleme im Keller und im Gebäudeinneren (Zusammenfassung der Fachbeiträge)



- [14] DAfStb-Richtlinie "Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teile 1-4, 2001
- [15] DIN V 18.197 "Abdichten von Fugen in Beton mit Fugenbändern", Beratungsstand 5/2004
- [16] DIN 18.541 "Fugenbänder aus thermoplastischen Kunststoffen zur Abdichtung von Fugen in Ortbeton", 11/1992
- [17] DBV-Merkblatt "Fugenausbildung für ausgewählte Baukörper aus Beton", 2001
- [18] DBV-Merkblatt "Injektionsschlauchsysteme und quellfähige Einlagen für Arbeitsfugen", 01/2010
- [19] DBV-Sachstandsbericht "Quellfähige Fugeneinlagen für Arbeitsfugen", Berlin 1999
- [20] Oswald, Wilmes, Kottjé: Weiße Wannen - Hochwertig genutzt, aus: Bauforschung für die Praxis Band 80, 2007
- [21] DBV-Merkblatt „Hochwertige Nutzung von Untergeschossen – Bauphysik und Raumklima“, 01/2009
- [22] Scheffler: Validation Of Hygrothermal Material Modeling Under Consideration Of The Hysteresis Of Moisture Storage; Dissertation an der TU Dresden, Fakultät für Bauingenieurwesen, 2009
- [23] Scheffler, Plagge: A Whole Range Hygric Material Model: Modelling Liquid And Vapour Transport Properties In Porous Media; International Journal Of Heat And Mass Transfer 53 (2010)
- [24] Nikolai, Fechner, Grunewald: Delphin-Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-, Luft- Feuchte- und Salztransport in kapillarporösen Medien; Software entwickelt am Institut für Bauklimatik der TU Dresden, 2010
- [25] Scheffler: Beurteilung der Dichtheit von WU-Beton; Simulationsstudie zum Feuchtedurchgang durch Beton unter einseitigem Wasserkontakt bei unterschiedlicher Dichte und Dicke des Betons, 2012
- [26] EUROCODE 2; DIN EN 1992-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken; Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau mit Nationalem Anhang, 2011
- [27] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Heft 600 – Erläuterungen zum EC 2, Ausgabe 2012
- [28] DIN EN 1991-1-1 von 2010 einschl. NA von 2015: „Einwirkungen auf Tragwerke“
- [29] DBV-Merkblatt: „WU-Dächer“, 07/2013



Dipl.-Ing. Dieter Rudat

G 214105-1

Sachverständiger für Massivbau (ausgenommen Brückenbau)
(öffentlich bestellt und vereidigt seit 2001)

Beratender Ingenieur - BayIKBau –

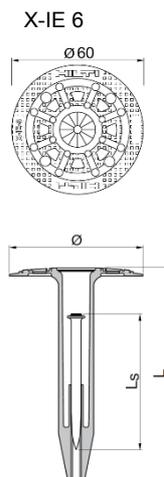
Sachverständiger für Schäden an Gebäuden (EIPOS/IHK-
Bildungszentrum Dresden); Reg. 1277-17-2002

Anlage 2: Produktdaten Dämmelement X- IE 12/2015

Dämmelement X-IE zur Befestigung von Perimeterdämmung in WU-Betonwänden

Produktdaten

Abmessungen



Generelle Information

Materialdaten

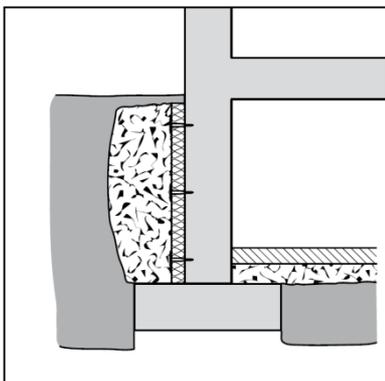
Kunststoffteil: HDPE, farblos

Nagel: Kohlenstoffstahl: HRC 58
Zinkbeschichtung: 5 – 20 µm

Bolzensetzgerät

DX 460 IE und DX 460 IE XL

Anwendung: Lagesicherung von Perimeterdämmung



Befestigung von Perimeterdämmung auf wasserundurchlässigem Beton (WU-Beton)

Dämmmaterial: XPS, EPS, PUR, PIR

Der Zweck der Befestigung ist die temporäre Lagesicherung von Dämmplatten auf wasserundurchlässigem Beton (WU-Beton) während der Bauphase. Nach dem Verfüllen der Baugrube haben die X-IE Befestigungselemente keine statische Funktion mehr.

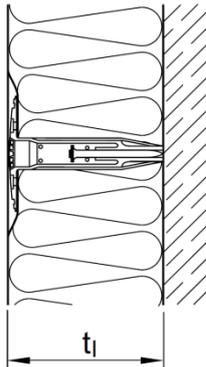
Der wasserundurchlässige Beton (WU-Beton) muss hinsichtlich Planung, Ausführung und Eigenüberwachung den jeweiligen europäischen bzw. nationalen Regelwerken entsprechen.

Übliche Befestigungsmuster: 2 bis 4 St./m²

Der Einsatz von X-IE Befestigungselementen hat einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Wasserundurchlässigkeit von WU-Beton.

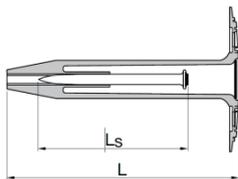
Auswahl des Befestigungs-elementes

Dämmelemente X-IE 6



Wahl der Befestigerlänge $L = t_i$

Die Länge des Befestigers L muss gleich der Dicke t_i der Dämmplatte sein.



Bezeichnung	Setzbolzen X-PH, L _s	Artikel- nummer	Dämmstoffdicke t [mm]
X-IE 6-25	X-PH 47	2041714	25
X-IE 6-30	X-PH 52	2041715	30
X-IE 6-35	X-PH 52	2041716	35
X-IE 6-40	X-PH 52	2041717	40
X-IE 6-50	X-PH 62	2041718	50
X-IE 6-60	X-PH 62	2041719	60
X-IE 6-70	X-PH 62	2041740	70
X-IE 6-75	X-PH 62	2041741	75
X-IE 6-80	X-PH 62	2041742	80
X-IE 6-90	X-PH 62	2041743	90
X-IE 6-100	X-PH 62	2041744	100
X-IE 6-120	X-PH 62	2041745	120
X-IE 6-140	X-PH 62	2041393	140
X-IE 6-150	X-PH 62	2048523	150
X-IE 6-160	X-PH 62	2041394	160
X-IE 6-180	X-PH 62	2041395	180
X-IE 6-200	X-PH 62	2041396	200

Systemempfehlung

Bolzensetzgerät

DX 460 IE und DX 460 IE XL

Kartuschenempfehlung

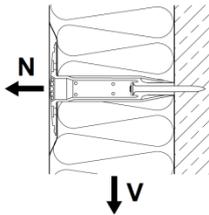
6.8/11M gelbe oder **rote** Kartusche

Genauere Energieeinstellung am Setzgerät nach Setzversuchen auf der Baustelle.

Anwendungsbedingungen
Mindestdicke des WU-Betons
 $h_{\min} = 200 \text{ mm}$
Dicke der Dämmplatten
 $t_1 = 25 - 200 \text{ mm}$
Anwendungsgrenze für X-IE
Beton: $f_{cc} = 25 - 55 \text{ N/mm}^2$
Achs- und Randabstände

Minimaler Randabstand: 75 mm

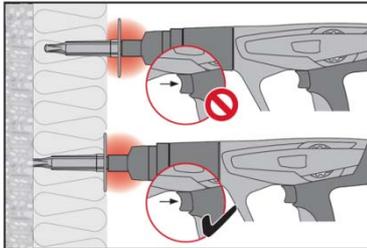
Minimaler Achsabstand: 100 mm

Lastwerte
Empfohlene Lasten


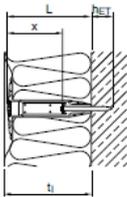
	Dämmstoffdicke, t_1 [mm]				
	40	50	60 - 70	75	80 - 200
Querlast, V_{rec} [N]	150	250	300	325	350
Zuglast, N_{rec} [N]	250	290	300	300	300

Befestigungsqualität

Montageanleitung



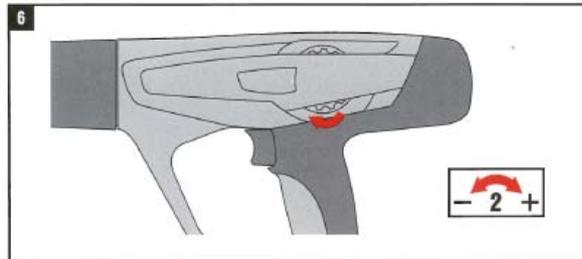
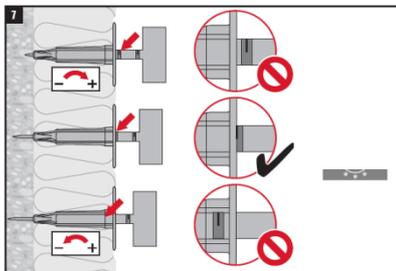
Vor Auslösen des Gerätetriggers ist das X-IE Dämmelement bis zur Oberfläche des Betons durch den Dämmstoff hindurch zu drücken.



	Dämmstoffdicke t_i [mm]													
	40	50	60	70	75	80	90	100	120	140	150	160	180	200
$h_{ET} = 24-29$ mm														
x_{min} [mm]	9	9	19	29	34	39	49	59	79	99	109	119	139	159
x_{max} [mm]	14	14	24	34	39	44	54	64	84	104	114	124	144	164

Überprüfung der richtigen Eintreibenergie mittels X-Maß Lehre (X-Maß = Abstand zwischen Nagelkopf und Teller des X-IE)

Gegebenenfalls Anpassung der Eintreibleistung mittels Drehrad auf dem Bolzensetzgerät



Dies ist eine verkürzte Darstellung der Montageanleitung. Bitte beachten Sie immer die dem Produkt beigelegten Anleitungen.