Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 130 (2004)
Heft: Dossier (22/04): Werkstoff Beton

Artikel: Wasserdichte Betonkonstuktionen
Autor: Vetterli, Edi / Zwicky, Peter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-108409

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

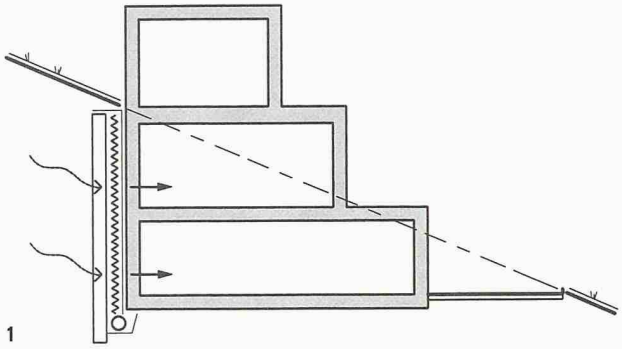
Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 28.08.2025

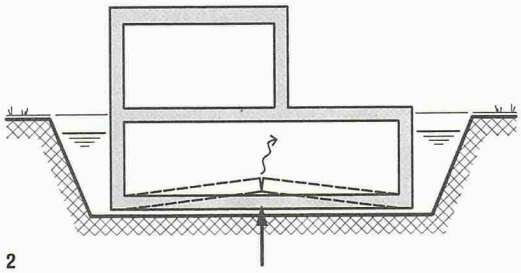
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Edi Vetterli und Peter Zwicky

Wasserdichte Betonkonstruktionen



1



2

BAUWERKE UNTER TERRAIN		ABDICHTUNGSSYSTEME				
HOCHBAU	Untergeschosse	WDB	WDM	PBD	KDB	GA
TIEFBAU	Unterführungen	WDB	PBD	KDB	FLK	TDB
	Tagbau-Tunnel Galerien	WDB	PBD	KDB	FLK	TDB
	Becken und Teiche	KDB	AB	TDB		
	Behälterbau	WDB	WDM	FLK	KDB	
BRÜCKEN		PBD	FLK	GA		
TUNNEL	Untertagbau-werke	WDB	KDB			
DEPONIEN	Reaktordeponien	KDB	MIN	AB	TDB	

LEGENDE

Wasserdichte Beton-konstruktionen	WDB
Wasserdichte Mörtel	WDM
Asphaltbeton	AB
Gussasphalt	GA
Polymerbitumen-Dichtungsbahnen	PBD
Kunststoff-Dichtungsbahnen	KDB
Flüssigkunststoffe	FLK
Ton-Dichtungs-bahnen	TDB
Mineralische Ab-dichtung	MIN

3

Beton ist dicht, heisst es oftmals auch in Fachkreisen – die Praxis belehrt uns häufig eines Schlechteren. Wie erreichen Planer und Unternehmer das Ziel, ein wasserdichtes Bauwerk mit einer Betonkonstruktion zu erstellen? In der neuen Norm SIA 272 «Abdichtungen und Entwässerungen für unterirdische Bauwerke» werden die Anforderungen an Werkstoffe, konstruktive Durchbildung und Ausführung auch für das System «Wasserdichte Betonkonstruktion» zusammengestellt und beschrieben.

1
Schematische Darstellung des Ableitkonzepts für die Abdichtung eines unterirdischen Bauwerks. Das Wasser wird aussen am Bauwerk gefasst und drucklos abgeleitet (Bilder: Peter Zwicky)

2
Schematische Darstellung des Verdrängungskonzepts für die Abdichtung eines unterirdischen Bauwerks. Die Abdichtung ist druckwasserhaltend konzipiert, und das Bauwerk ist auf Wasserdruck bemessen und gegen Auftrieb gesichert

3
Übersicht der wichtigsten gegenwärtig angewendeten Abdichtungssysteme für verschiedene Bauwerkskategorien. Die Bezeichnung der Abdichtungssysteme (rechts oben) richtet sich nach dem Aufbau der Dichtungsschicht

Bei einer wasserdichten Betonkonstruktion übernimmt der Beton neben der Tragwerkfunktion auch das Abdichten gegen Wasser. Wasserdichte Betonkonstruktionen werden eingesetzt gegen Oberflächenwasser (Niederschlag, Gewässer), Wasser im Baugrund (Grundwasser, Bergwasser, Stauwasser, Sickerwasser) und Betriebswasser (Behälterbau, eingeschlepptes Wasser, Reinigungswasser).

Wasserdichte Betonkonstruktionen sind in der Schweiz hauptsächlich gebräuchlich für Bauwerke unter Terrain (Stichwort «weisse Wanne»), in Tunnelbauwerken (z.B. Spritzbeton, Tübbingbeton) und im Behälterbau (z.B. für Kläranlagen). Flachdächer, Brückenbauwerke und Deponien werden in der Regel mit anderen Systemen abgedichtet. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass bei wasserdichten Betonkonstruktionen die abdichtende Funktion nicht allein vom wasserdichten Beton erfüllt werden kann. Es sind zusätzliche Massnahmen erforderlich, um zu einem dichten Bauwerk zu gelangen. Dazu gehören die fachgerechte konstruktive Durchbildung mit einem adäquaten Bewehrungsgehalt (SIA 262, Art. 4.4) zur Begrenzung der Rissbreiten, das Abdichten von Fugen, Rissen und Durchdringungen sowie eine qualitativ einwandfreie Materialwahl und Ausführung. Im Allgemeinen ist der Aufwand für eine wasserdichte Betonkonstruktion, inklusive zusätzliche

Massnahmen, gegenüber einer «normalen» Betonkonstruktion mit einem anderen Abdichtungssystem etwa gleich gross. Die Kosten für die zusätzlichen Massnahmen betragen – je nach Schwierigkeitsgrad – etwa 3 bis 5 % der Rohbaukosten[1]. In der Nutzungsvereinbarung legen Bauherr und Projektverfasser die Anforderungen an die Dichtigkeit eines Bauwerkes oder Bauteils fest[2]. Dazu werden die Dichtigkeitsklassen verwendet, wie sie in den neuen SIA-Normen 197 und 272 sowie im NPK 172 beschrieben sind. Weitere Anforderungen im Zusammenhang mit den Einwirkungen von Wasser sind das Verhindern von Eisbildung und Eisdruck sowie das Vermeiden von Kondenswasserbildung, soweit von der Nutzung her erforderlich (SIA 180).

Konzepte und Systeme

In der Planungsphase, möglichst bereits im Stadium Vorprojekt, wird das Abdichtungskonzept festgelegt. Unterschieden wird grundsätzlich zwischen dem Ableitkonzept und dem Verdrängungskonzept.

Beim Ableitkonzept wird das Wasser mittels Drainage- und Entwässerungselementen aussen am Bauwerk dauerhaft gefasst und drucklos abgeleitet (Bild 1). Die Abdichtung wird nicht gegen drückendes Wasser konzipiert. Das Tragwerk muss, sofern Drainagen und Entwässerungen permanent funktionstüchtig sind, nicht auf Wasserdruck bemessen werden.

Beim Verdrängungskonzept wird das Wasser nicht abgeleitet. Die Abdichtung wird als druckwasserhaltend konzipiert. Das Bauwerk muss auf Wasserdruck bemessen und gegen Auftrieb gesichert werden, wie aus Bild 2 hervorgeht[3].

Beim Ableitkonzept bildet vor allem das Versagen der Drainage- und Entwässerungselemente, zum Beispiel durch Sinterbildung oder Verschlammung, ein konzeptionelles Risiko. Diese Elemente müssen demnach über die ganze Lebensdauer des Bauwerks periodisch kontrolliert, gespült und gereinigt werden.

Beim Verdrängungskonzept stellen Auswirkungen einzelner Fehlstellen auf das ganze Bauwerk ein erhebliches Risiko dar. In der Praxis führen oft auch Setzungen oder Beschädigungen im Verlaufe der Bauarbeiten bei beiden Konzepten zu späteren Mängeln und Schäden durch eindringendes Wasser. Inwieweit Wassereintritte bei wasserdichten Betonkonstruktionen als Mangel gelten, ist abhängig von der Nutzungsvereinbarung.

Für das Abdichten eines Bauwerkes stehen zahlreiche Systeme zur Verfügung. In Bild 3 sind die wichtigsten gegenwärtig in der Schweiz angewendeten Abdichtungssysteme im Hoch- (Unterterrain), Tief-, Brücken-, Untertag- und Deponiebau zusammengestellt.

Eigenschaften und Risiken

Das Abdichtungssystem «wasserdichte Betonkonstruktion» gehört zur Gruppe der starren Abdichtungen. Damit ist auch das hauptsächliche Risiko definiert: Das System kann keine Deformationen aufnehmen. Generell kann das System als einfach, robust, dauerhaft und bezüglich klimatischen Einbaubedingungen weitgehend als problemlos eingestuft werden. Darin liegen die wesentlichen Vorteile dieser Konstruktionsart.

Beton als wasserdichter Baustoff

Die Wasserdichtigkeit des Baustoffs Beton wird in der neuen Norm SIA 262/1 mit der Wasserleitfähigkeit charakterisiert. Diese kann mittels Versuchen an Bohrkernen ermittelt werden. Der Richtwert für die Wasserleitfähigkeit wird mit $10\,g/m^2 \cdot h$ bei nicht drückendem Wasser angegeben. Ein Wert für Bereiche mit drückendem Wasser fehlt[4]. Gute Anhaltspunkte für die Dichtigkeit von Beton bei drückendem Wasser liefert die Berechnung der Durchlässigkeit nach Darcy. In der neuen Norm SIA 272 wird ein k-Wert für einen dichten Beton von $10^{-10}\,m/s$ als Richtwert angegeben.

Bei den angegebenen Richtwerten zur Wasserleitfähigkeit bzw. Durchlässigkeit nach Darcy muss überprüft werden, ob das durchtretende Wasser von der Raumluft aufgenommen und abgeführt werden kann. Die Aufnahmekapazität von Wasser in der Luft (Verdunstung) ist abhängig von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit, wie die Beispiele in Bild 4 zeigen. Wichtig ist, dass der Abtransport des Wassers in der Luft durch natürliches oder künstliches Trocknen (Lüftung, Entfeuchtung) gewährleistet ist.

Risse und Rissbreitenänderung

Neben den beschriebenen Konzeptrisiken sind auch die Systemrisiken zu beachten. Beim starren System «wasserdichte Betonkonstruktion» sind dies im Wesentlichen die Rissbildung und die Rissbreitenänderung.

Während die neue Norm SIA 262 die Anforderungen an Material und Ausführung einer qualitativ einwandfreien Betonkonstruktion ausreichend und detailliert beschreibt, sind die zusätzlichen Massnahmen, welche für eine wasserdichte Betonkonstruktion erforderlich sind, nur allgemein im Artikel 4.4.5 beschrieben. In der überarbeiteten Norm SIA 272 wird davon ausgegangen, dass Risse in Betonkonstruktionen systembedingt auftreten. Massnahmen für die Beeinflussung von Rissen (Rissbreiten und Rissverteilung) sowie das Abdichten von Rissen und Fugen sind deshalb in das Projekt aufzunehmen. Soll die Wasserdichtigkeit bei einem Bauwerk mittels Beton hergestellt werden, muss mit Undichtigkeiten infolge durchgehender Risse gerechnet werden. Nachdichtungen mittels Injektionen, Abkleben oder ähnlichen Massnahmen sind demzufolge nicht als anschliessende Mängelbehebung, sondern als geplante Massnahmen zu betrachten.

Risse in Betonkonstruktionen sind nicht zu vermeiden und können ab einer Breite von 0.1 mm wasserführend sein. Sie treten vor allem auf infolge Temperaturänderungen, Schwinden und Belastungen. Die Summe der Rissbreiten aufgrund dieser Einflüsse kann durch den Bewehrungsgehalt nur unwesentlich beeinflusst werden, wohl aber die Rissverteilung. Wenige, massive Bewehrungsstäbe pro Meter führen auch zu wenigen und breiteren Rissen, mehrere und dünnere Bewehrungsstäbe pro Meter führen zu einer feineren Rissverteilung. Deshalb sind gemäss SIA 262, Art. 4.4.2 die Anforderungen bezüglich Rissverteilung und somit die Mindestbewehrung zu definieren. In Abhängigkeit von der Mindestbewehrung und den Anforderungen sind etwa folgende Rissbreiten zu erwarten:

- hohe Anforderungen 0.15 bis 0.2 mm
- erhöhte Anforderungen 0.3 bis 0.5 mm
- normale Anforderungen 0.4 bis 0.7 mm

Da die drei Einflussgrössen Temperatur, Schwinden, Belastung zeitabhängige Funktionen sind, dürfen neben den berechneten Rissbreiten auch die Rissbreitenänderungen, d. h. das Öffnen und Schliessen der Risse, nicht vernachlässigt werden, wobei das Öffnen für die Dichtigkeit kritisch ist. Die Grössenordnung der Rissbreiten bzw. Riss-breitenänderungen kann mittels einfacher Formeln abgeschätzt werden (siehe Kasten).

Beispielsweise wird sich eine 8 m breite Betonplatte infolge Schwindens und einer Abkühlung von 20 °C um rund 3.2 mm verkürzen (Berechnung siehe Kasten). Können die dadurch auftretenden Zugkräfte nicht oder nur teilweise von der Bewehrung übernommen werden, entstehen Risse mit einer (theoretischen) maximalen Breite von bis zu ca. 3 mm. In der Praxis wird die gesamte Rissbreite bei korrekter Betonrezeptur eher kleiner als der oben errechnete Wert sein, da die Elastizität der Platte einen Teil der Betonverkürzung aufnimmt.

Abdichtungsmassnahmen

Bei den Abdichtungsmassnahmen für Risse steht die Rissverpressung mit Feinzement oder Kunststoffen im Vordergrund. Für die Wahl der Verpressstoffe ist das Abschätzen von Rissbreitenänderungen von ausschlaggebender Bedeutung. Als Regelwerke für das Füllen von Rissen gelten die ZTV-ING[5] und die DAfStb-Richtlinie[6]. Daraus geht im Wesentlichen hervor, dass die zulässigen Rissbreitenänderungen bei einer Bauteiltemperatur von 15 °C für Polyurethanharze max. 10 – 20 % der ursprünglichen Rissbreite betragen. Für Acrylat-Gele gibt es in diesen Richtlinien keine Angaben, in der Literatur findet man den Wert einer maximalen Bewegung von 15–20 %[7].

Dass diese Werte überschritten werden können, zeigt als Beispiel eine einfache Abschätzung für Risse mit einer Breite von 0.2 mm und einem Rissabstand von 2.0 m: Bei einer Temperaturdifferenz von –10 °C ergibt sich bereits eine Rissbreitenänderung Δb_r von 0.2 mm, was 100 % der ursprünglichen Rissbreite entspricht. In diesem Fall verbleibt nur das Verschliessen des Risses mit einem aufgeklebten Kunststoffband mit Ableiten des Leckwassers oder eine flächenhafte Hinterpressinjektion. Wie bei der Rissbreitenänderung müssen auch für die Fugen die Bewegungen bekannt sein. Die Abdichtungsmassnahmen sind auf diese Bewegungen abzustimmen bzw. zu dimensionieren.

Edi Vetterli, dipl. Bauing. ETH/SIA
Henauer Gugler AG Ingenieure und Planer, Zürich
Mitglied SIA Kommission 272
e.vetterli@hegu.ch
Peter Zwicky, Ing. HTL
Ingenieurbüro für Abdichtungstechnik, Sarnen
Präsident SIA Kommission 272
zwicky.abdichtungstechnik@bluewin.ch

Rissbreiten und Rissbreitenänderungen

Temperaturänderungen:

$\Delta b_r^* = \omega \cdot \Delta T \cdot B$

ω = 10^{-5} pro °C (Thermischer Ausdehnungskoeffizient von Beton)

ΔT = Differenz zwischen Temperatur beim Einbau und Temperatur im Gebrauchszustand

B = Riss- bzw. Fugenabstand**

Schwinden:

Δb_r = 0.1–0.3 mm/m

Belastungen:

$\Delta b_r = (\sigma \cdot l) / E$

σ = Normalspannung

l = Bauteillänge

E = E-Modul

* b_r, Δb_r: Rissbreite resp. Rissbreitenänderung

** Angaben zu Rissbreitenänderungen gelten auch für Fugenbreitenänderungen

Das folgende Beispiel soll die Grössenordnungen von möglichen Rissbildungen verdeutlichen:
Betonplatte, Abstand von Fuge zu Fuge: B = 8.0 m (Arbeits- oder Bewegungsfuge)
Temperaturänderung ΔT: –20 °C (Negativwert massgebend für Rissöffnung)
Die horizontalen Belastungen sind als vernachlässigbar angenommen. Verkürzung infolge Schwinden: 0.2 mm/m; Verkürzung infolge Abkühlung: 0.2 mm/m
Die 8 m breite Betonplatte wird sich also infolge Schwinden und einer Abkühlung von 20 °C um rund 3.2 mm verkürzen.

Temperatur	rel. Luftfeuchtigkeit	Aufnahmekapazität von Wasser
10 °C	90 %	0.94 g/m³
20 °C	60 %	12.20 g/m³

4

Beispiele für die Aufnahmekapazität von Wasser in der Luft (Verdunstung) bei verschiedenen Temperaturen und relativen Luftfeuchtigkeiten

Anmerkungen

1 Haak, A., Emig, K.-F.: Abdichtungen im Gründungsbereich und auf genutzten Deckenflächen. Ernst + Sohn, Berlin, 2. Auflage, 2003, S. 292.
2 SIA 260 (Norm): Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Ziffer 2.2. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 2003.
3 SIA 261 (Norm): Einwirkungen auf Tragwerke, Ziffer 4.4. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 2003.
4 SIA 262 (Norm): Betonbau, und 262/1: Ergänzende Festlegungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 2003.
5 ZTV-ING (Richtlinie): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien. Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund, 2003.
6 DAfStb-Richtlinie: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Beuth-Verlag, Berlin, 2001.
7 Depke, F. M., et al.: Rissverpressung. Expert-Verlag, Ehningen bei Böblingen, 1991.