

# Dichte Betonbauwerke unter Beachtung wassergefährdender Stoffe

## 1. Allgemeines

Seit mehreren Jahren wird Stahl- und Spannbeton nicht nur als Tragkonstruktion, sondern auch als Dichtkonstruktion eingesetzt. So wurden erfolgreich unbeschichtete Bauwerke für Abwasserpumpwerke (Bild 1), Tiefgaragen u. Ä. als „Weiße Wannen“ sowie Dichtflächen, Auffangwannen (Bild 2) u. Ä. als Bauten zum Schutz der Umwelt vor wassergefährdenden Stoffen errichtet.



Bild 1: Abwasserpumpwerk

Wasser gefährdende Stoffe sind im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) [1] feste, flüssige und gasförmige Stoffe, die die physikalische, chemische und biologische Beschaffenheit des Wassers nachteilig verändern. Das Wassergefährdungspotential zahlreicher Stoffe ist vom Umweltbundesamt in Form von Wassergefährdungsklassen festgelegt [2]. Gegenüber den „Weißen Wannen“ sind für Anlagen, Anlagenteile und technische Schutzvorkehrungen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe wasserrechtliche Eignungsfeststellungen und Dichtheitsnachweise nach der Richtlinie des DAfStb [3] erforderlich. Für „Weiße Wannen“ reicht in der Regel ein Nachweis über die Rissbreitenbegrenzung nach der Richtlinie des DAfStb [4] aus.

Voraussetzung für die Dichtheit des Betons ist jedoch in beiden Fällen ein geeigneter Beton.

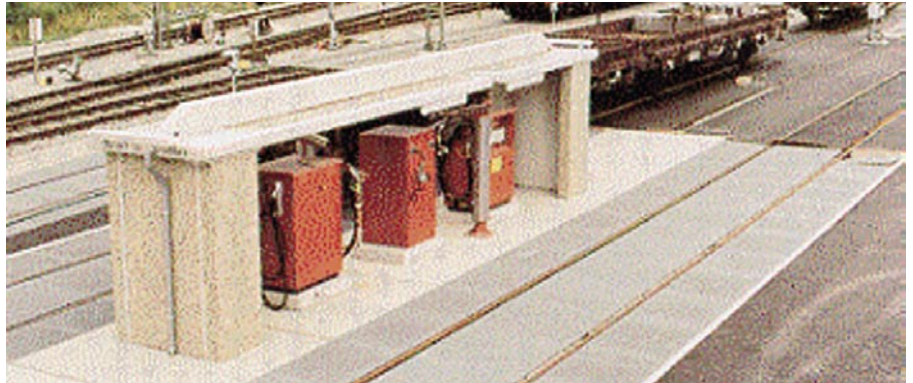


Bild 2: Gleistragwanne mit Dichtfläche

In diesem Beitrag soll gezeigt werden, wie derartige Bauwerke berechnet werden können. Es wird insbesondere auf die Besonderheiten bei der Nachweisführung und bei der Verwendung von Rechenprogrammen, am Beispiel MicroFe, eingegangen. Dieser Beitrag basiert auf einem Spezialseminar, das durch die GLOBAL.AEC Hameln erfolgreich durchgeführt wurde.

## 2. Dauerhaftigkeit der Bauwerke

In der DIN 1045 (7/88) / DIN 4227 (7/88) war die Festigkeit das entscheidende Auswahlkriterium des Betons. Die Umweltbedingungen wurden nur sekundär durch die Mindestbetonüberdeckungen und die Sicherung des Verbundes berücksichtigt. Zwischen den Umweltbedingungen und der Betonfestigkeit existierten keine Korrelationen. Da es sich bei Beton um einen künstlichen Stein handelt, ist er wie alle Baustoffe den Einwirkungen der Umwelt ausgesetzt. Die neuen Normen berücksichtigen dies, indem sie die Dauerhaftigkeit zum ausschlaggebenden Kriterium erheben und eine Korrelation zwischen Expositionsklasse und Mindestbetonfestigkeit, Sicherung des Verbundes,

Mindestzementgehalt, maximal zulässigem w/z Wert und Mindestluftgehalt herstellen.

Die Grundnorm für die Sicherung der Qualitätseigenschaften des Betons ist die DIN EN 206-1. Sie erlaubt – als europäisches Dokument – in einigen Abschnitten die Anwendung nationaler Regeln, um unterschiedliche klimatische und geographische Bedingungen, verschiedene Schutzniveaus sowie gut eingeführte regionale Gepflogenheiten und Erfahrungen zu berücksichtigen. Diese nationalen Anwendungsregeln wurden für Deutschland in der DIN 1045-2 definiert.

Damit war es möglich, die nationalen Anforderungen an den wasserundurchlässigen Beton [4] und den Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen [3] in der DIN 1045-2 von der stofflichen Seite zu integrieren.

Aus den Mindestanforderungen sowohl an den Fest- als auch an den Frischbeton kann eine zweckmäßige Rezeptur für den Frischbeton festgelegt werden.

$$V = V_w + V_z + V_{zu} + V_p$$

$$V_{zi} = V_w + V_z = m_w / c_w + m_z / c_z$$

(V<sub>Z</sub> Zementleimgehalt, ρ Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>])  
 W Wassermenge  
 Z Zement  
 Zu Zuschlagsstoffe  
 P Porenvolumen

Dabei sind folgende Grundsätze für die Zusammensetzung eines dichten Betons zu beachten:

- Verdichtungsporen sind bei der Herstellung zu vermeiden.
- Der Luftporenanteil ist kontrolliert einzubringen.
- Der Kapillarporenanteil ist zu minimieren: << 25%.
- Der w/z-Wert sollte in dem Bereich  $0,45 \leq w/z \leq 0,5$  gewählt werden.

Neuerdings lassen sich auch sehr dichte Betone durch den Einsatz von puzzolanhaltigen Fließmitteln bei einem w/z-Wert < 0,4 herstellen. Die wässrige Suspension des hochaktiven Puzzolans reagiert mit dem überschüssigen Kalkhydrat. Es entstehen Calciumsilikathydrate, die die noch vorhandenen Kapillarporen verschließen. Dieser Beton zeichnet sich durch eine höhere Dichte gegenüber Wasser und einem höherem Widerstand gegenüber aggressiven Medien aus.

Jede neue Rezeptur des Frischbetons muss in einem Laborversuch einer Erstprüfung unterzogen werden.

### 3. Sicherheitskonzept

#### 3.1 Grenzzustände

Unter Verwendung der Entwurfskriterien für Frischbeton im Abschnitt 2 kann ein dichter Beton materialseitig entworfen werden.

Da jedoch in Betontragwerken eine Rissbildung durch die Wirkung von Zug-, Biege-, Querkraft- und Torsionsbeanspruchungen aus direkten Einwirkungen oder aus Zwang nahezu unvermeidbar ist, kommt der Berechnung der Einwirkungen und der für die Nutzung des Tragwerkes erforderlichen Rissbreitenbegrenzung eine große Bedeutung zu. Für dichte

Bauwerke müssen die Nachweise für Rissbreiten  $0,1 \leq w_k \leq 0,2$  gegenüber der DIN 1045-1 erweitert werden. Außerdem ist eine Ergänzung des Sicherheitskonzeptes hinsichtlich der Definition „dicht“ erforderlich. So schließt die Forderung der Dichtheit das Eindringen einer Flüssigkeit in den Beton ein und das Durchdringen der Konstruktion aus. Dies wird durch ein Bemessungskonzept gewährleistet, in dem die wahrscheinlichen Zustandsgrößen des Betons (ungerissen, Biege- und Trennrisse) unter den möglichen Einwirkungen (mechanische, physikalische, chemische) ermittelt und hinsichtlich ihrer Auswirkungen untersucht werden. Für wassergefährdende Stoffe muss im Zeitraum der Beaufschlagung ein entsprechendes Sicherheitsmaß gegen Durchdringen des Betons in einem separaten Dichtheitsnachweis nachgewiesen werden.

Auch für wasserundurchlässige Bauwerke muss das Sicherheitskonzept über den Rissbreitenachweis hinaus erweitert werden. In der Richtlinie wird dieser separate Dichtheitsnachweis durch die Einhaltung von Mindestbauteildicken und einer verbleibenden Druckzonenhöhe realisiert.

Eine weitere Methode ist die Abschätzung des rechnerischen Wassertransportes durch den Beton und dessen Gegenüberstellung zur Verdunstungsmenge. Dieses Verfahren wird aber in der Richtlinie nicht favorisiert.

Die Erweiterung des Sicherheitskonzeptes soll nun im Zusammenhang mit der DIN 1055-100 dargestellt werden.

Grundsätzlich werden die einwirkenden Größen einer Konstruktion den aufnehmbaren gegenübergestellt. Ein Tragwerk wird nicht geschädigt, wenn nachgewiesen wird, dass

$$E_d \leq R_d \quad \text{und} \quad E_d \leq C_d$$

ist. Hierin ist  $E_d$  die Größe einer Beanspruchung und  $R_d$  die Größe einer

aufnehmbaren Beanspruchung bzw.  $C_d$  der Bemessungswert des Gebrauchstauglichkeitskriteriums.

Nach dem neuen Normensystem werden diese Forderungen durch Nachweisverfahren in den Grenzzuständen erfüllt. Mit den Grenzzuständen werden Zustände beschrieben, bei denen ein Tragwerk die gestellten Anforderungen gerade noch erfüllt. Es werden in den neuen Normen drei Grenzzustände unterschieden:

- Grenzzustand der Tragfähigkeit,
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und der
- Grenzzustand der Dauerhaftigkeit.

#### 3.2 Nachweisformate für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Grenzzustände der Tragfähigkeit sind Zustände, deren Überschreiten rechnerisch zum Versagen des Tragwerkes führen würde.

Diese Nachweise sind ohne Änderungen am Sicherheitskonzept auch für die hier betrachteten Bauten zu führen.

#### 3.3 Nachweisformate für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Beim Überschreiten der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind festgelegte Nutzungsanforderungen eines Tragwerkes oder Teile davon nicht mehr erfüllt. Die erforderlichen Nachweise werden in der Regel mit den charakteristischen bzw. repräsentativen Werten geführt. Die Teilsicherheitsfaktoren sind demzufolge bei dieser Betrachtung  $\gamma_G = \gamma_Q = 1$  gesetzt. Die unter 3.1 beschriebenen Zusatznachweise für wasserundurchlässigen Beton und Beton für wassergefährdende Stoffe bestehen aus Gebrauchstauglichkeitsnachweisen als modifizierte Rissbreitenbegrenzung und zusätzliche Dichtheitsnachweise. Nach der DIN 1055-100 können verschiedene Nachweisformate der Ermittlung der Beanspruchung  $E_d$  zugeordnet werden. Der Rissbreitenachweis für Stahlbeton ist in der Re-

gel der quasi-ständigen Kombination zugeordnet. Nach der DAfStb-Richtlinie für wasserundurchlässigen Beton ist abweichend davon stets von der häufigen Kombination auszugehen.

Außerdem ist die Mindestbewehrung abweichend von der DIN 1045-1 mit dem Beiwert zur Berücksichtigung von nichtlinear verteilten Betonzugspannungen mit  $k = 1$  auszulegen. Der Rechenwert der Rissbreiten ergibt sich in Abhängigkeit vom Druckgefälle im Bereich  $0,10 \leq w_k \leq 0,20$ .

In der DAfStb-Richtlinie für wassergefährdende Stoffe ist die Kombinationsvorschrift für die Rissbreitenbegrenzung festgelegt, da ein zusätzlicher Gebrauchszustand, der Dichtheitsnachweis, in der Richtlinie aufgenommen wurde. Allerdings ist für durchgängige Risse ein Dichtheitsnachweis auf der Basis eines Rissbreitennachweises mit einem experimentell ermittelten  $w_{cal}$  zu führen. In diesem ist vor der Beaufschlagung die seltene Kombination maßgebend und während der Beaufschlagung eine modifizierte quasi-ständige Kombination zu wählen:

$$E_{d,dicht} \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + A_d + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i} \right\}$$

$A_d$  Einwirkung infolge der Beaufschlagung

Da erfahrungsgemäß viele Bauherren für Bauten mit wassergefährdenden Stoffen die Einhaltung von Rissbreiten fordern, ist es angebracht, die dem Dichtheitsnachweis zu Grunde gelegten Kombinationen auch für die Rissbreitenbegrenzung zu verwenden. Der Rechenwert der Rissbreiten liegt auch hier in den Grenzen  $0,10 \leq w_k \leq 0,20$ .

Wesentlich sind für die Berechnung nicht nur die Art der zu verwendenden Kombinationen, sondern auch die Kombinationsbeiwerte.

Tabelle 1 zeigt, dass Rechenprogramme nur anwendbar sind, wenn sie die

Flexibilität der Kombinationsbeiwerte und der zu verwendenden Kombinationen zulassen.

#### 4. Dichtheitsnachweis

In einem Bauteil können drei Zustände auftreten:

Der Querschnitt ist

- ungerissen.
- einseitig gerissen. Dabei spielt es für die Nachweisführung keine Rolle, ob der Querschnitt oben oder unten gerissen ist.
- durchgängig gerissen.

Durchgängige Risse stellen Schwachstellen in einem Bauwerk dar und sollten vermieden werden. Besser ist es, dass an diesen Stellen eine Fuge vorgesehen wird, die ordnungsgemäß gedichtet wird. Ist dies nicht möglich, dann kann über einen Eindringversuch im Labor eine Rissweite ermittelt werden, für die die Konstruktion auszulegen ist.

Befindet sich der Querschnitt im Zustand I oder ist er einseitig gerissen, dann gilt der Querschnitt im Zeitraum der Beaufschlagung als dicht, wenn die verbleibende Querschnittshöhe oder der noch gedrückte Bereich größer oder gleich der mit einem Sicherheitsbeiwert multiplizierten Eindringtiefe des Mediums ist. Das Bemessungsformat kann wie folgt beschrieben werden:

$$k > \gamma_e * e_{tk}$$

mit  
 $e_{tk}$  charakteristischer Wert der Eindringtiefe  
 $\gamma_e$  Sicherheitsbeiwert der Eindringtiefe

Befindet sich der Querschnitt im Zustand I, dann ist für  $k$  die Querschnittshöhe  $h$  im Nachweis zu setzen. Für den gerissenen Querschnitt ist für  $k = x$ , die Druckzonenhöhe im Zustand II, im Nachweis anzusetzen.

Außerdem sind folgende Beziehungen einzuhalten:

$$k \geq 2 * d_g \geq 30 \text{ mm}$$

$d_g$  Größtkorndurchmesser

Der charakteristische Wert der Eindringtiefe wird für einen FDE-Beton (Flüssigkeitsdichter Beton durch Eindringversuch) im Labor bestimmt. Auf den Eindringversuch kann verzichtet werden, wenn ein Beton der Druckfestigkeitsklasse C30/37 nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 als dichter Beton der Berechnung zu Grunde gelegt wird. Dieser Beton ist als FD-Beton zu kennzeichnen. Die Eindringtiefe kann dann nach der DAfStb-Richtlinie rechnerisch ermittelt werden. Rechnerisch ermittelte Eindringtiefen sind größer als die, die durch einen Versuch ermittelt werden, so dass sich unwirtschaftliche Konstruktionen ergeben können.

Bautenkategorie	Kombination für die Rissbreitenbeschränkung	Kombinationsbeiwerte							
		Temperatur		Verkehr		Wind		Schnee	
		$\psi_0$	$\psi_2$	$\psi_0$	$\psi_2$	$\psi_0$	$\psi_2$	$\psi_0$	$\psi_2$
Allgemeiner Hochbau	-Quasi-ständig <sup>1</sup> -Häufig <sup>2</sup>	0,6	0	0,7	0,3 <sup>5</sup>	0,6	0	0,5 <sup>3</sup>	0 <sup>4</sup>
Brückenbau	-Quasi-ständig <sup>1</sup>	0 <sup>6</sup>	0,5	0,8	0,2	0,3	0	-	-
	-Häufig <sup>2</sup>	0 <sup>6</sup>	0,5	0,8	0	0,6	0	-	-
WU-Betonbauten	Häufig	In der Regel Hoch- oder Tiefbau							
Bauten f. wasserg. Stoffe	-Sellen (vor der Beaufschlagung) -Mod. Quasi-ständig (während der Beaufschlagung)	0,8	0,5	0,8 <sup>7</sup>	0,5 <sup>7</sup>	0,6	0	0,7	0

<sup>1</sup> Stahlbeton    <sup>2</sup> Spannbeton    <sup>3</sup> F, Fahrzeuglast ≤ 30 kN    <sup>4</sup> G, 30 kN ≤ Fahrzeuglast ≤ 160 kN    <sup>5</sup> Orte bis 1000 m NN    <sup>6</sup> Orte über 1000 m NN    <sup>7</sup> siehe DIN FB 101  
<sup>8</sup> g.g.f. nach Absprache mit Betreiber 1,0    <sup>9</sup>  $\psi_0 = 0,8$ , wenn Nachweisrelevant

Tabelle 1: Kombinationsbeiwerte

## 5. Anmerkungen zur Berechnung dichter Betonbauwerke mit Hilfe von EDV-Programmen

Wie bereits dargestellt sind für eine EDV-Berechnung flexible Rechenprogramme erforderlich, in denen sowohl die Kombinationsvorschriften abgebildet als auch Modifikationen der Kombinationsbeiwerte möglich sind.

MicroFe zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass die Einwirkungskombinationen vollautomatisch erzeugt werden. In MicroFe können Betonbauwerke für den allgemeinen Hochbau, den Brückenbau und WU-Beton

berechnet und bemessen werden.

Der Rissbreitennachweis für WU-Betonbauten ist vollständig und für Bauwerke mit wassergefährdenden Stoffen bedingt in MicroFe umgesetzt. Er kann in MicroFe sowohl für die ständige oder häufige Kombination erfolgen.

Der Nachweis in MicroFe auf Rissweiten  $0,1 \leq w_k \leq 0,2$  ist problemlos möglich.

Bei Bauwerken für wassergefährdende Stoffe muss darauf geachtet werden, dass die Kombinationsbeiwerte nach Tabelle 1 angepasst werden.

In der Anlage 3 zum Tagungsband [5] wird eine Tanktasse mit Hilfe von MicroFe modelliert und als dichtes Betontragwerk bemessen. Der Tagungsband kann von der GLOBAL.AEC GmbH, Hameln (Telefon 05151/40366-0) bezogen werden.

*Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Weitendorf, BTU Cottbus,  
Dipl.-Ing. André Weitendorf,  
GLOBAL.AEC, Hameln*

### Literatur

- [1] WHG: Fassung der Bekanntmachung vom 19. August 2002; BGBl. I S. 3245
- [2] Katalog wassergefährdender Stoffe; Umweltbundesamt
- [3] DAfStb-Richtlinie: Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen; Entwurf 2003-10-22
- [4] DAfStb-Richtlinie: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton; Ausgabe November 2003
- [5] Prof. Dr.-Ing. habil. D. Weitendorf, Dipl.-Ing. Ullrich Kluge: Tagungsband „Wasserundurchlässige Beton- und Spannbetonbauwerke unter Beachtung wassergefährdender Stoffe; GLOBAL.AEC Hameln; Herbst 2004

### Neues Modul in MicroFe

**M344 Nachweise für WU-Beton und wassergefährdende Stoffe** **590,00 EUR**

Erweiterter Nachweis der Rissbreitenbeschränkung für WU-Beton mit erweiterter Einwirkungskombination und Dichtheitsnachweis bei wassergefährdenden Stoffen - Für Platten und Faltwerke Setzt jeweiliges Bemessungsmodul nach DIN 1045-1 voraus Voraussichtlich lieferbar ab 12/04

**Frühbestellerpreis bis 31.12.04** **390,00 EUR**