

Betonkühlung am Beispiel wasserundurchlässiger Betonbauwerke

Univ.-Doz. DI Dr. Johann Glatzl
 ÖBB - Infrastruktur Bau AG, Wien

Wasserundurchlässige Betonbauwerke oder auch kurz „Weiße Wannen“ sind Bauwerke, bei denen die Stahlbetonkonstruktion neben der tragenden Funktion auch die alleinige Abdichtungsfunktion gegenüber dem anstehenden Wasser übernimmt.



Bild 1: Lainzer Tunnel

Bei der Planung und Herstellung solcher Bauwerke finden sich auch in der Literatur die verschiedensten Lösungsansätze und Philosophien, die in drei Kategorien zusammengefasst werden können:

- Rissevermeidende Bauweise
- Risseverteilende Bauweise
- Rissesaniaende Bauweise

Nun, was verbirgt sich hinter diesen Schlagworten? Bei der rissevermeidenden Bauweise werden alle Maßnahmen gesetzt, damit mit hoher Eintretenswahrscheinlichkeit überhaupt keine wasserführenden Risse entstehen können.

Dies sind zum Beispiel:

- Begrenzung der Bauteillängen
- Anordnung von Raum- und Arbeitsfugen in geringen Abständen

- Vermeidung von Höhensprüngen in den Bodenplatten
- Vermeidung von Bewegungsbehinderungen durch das Anbetonieren an primäre Gründungsbauteile
- Begrenzung der Eigenspannungen des Betons aus dem Abfließen der Hydratationswärme (Betonkühlung)
- Einbau von Gleitfolien unter der Bodenplatte

Bei der risseverteilenden Bauweise wird so viel Bewehrung angeordnet, dass auch eine Spät-rissbildung infolge Zwang abgedeckt wird, was zu entsprechend großen Bewehrungsmengen führt (siehe Bild 3).

Bei der rissesaniaenden Bauweise wird das Auftreten von Rissen zugelassen, die dann zu einem späteren Zeitpunkt saniert werden.

Mit der Richtlinie „Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen“ der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik (Erstausgabe 03-1999 [1], Überarbeitung 12-2002 [2]) werden Elemente aller drei Philosophien übernommen und daraus ein Konzept erstellt, das an der Praxis geeicht den derzeitigen Stand der Technik für diese Bauwerke in Österreich darstellt. Dieses Konzept basiert auf den drei Säulen:

- Betonherstellung
- Bewehrungskonzept
- Bauausführung

Beim Abbindevorgang des Betons entsteht Hydratationswärme, die zu einer Erwärmung des Bauteils führt. Das Temperaturmaximum der hier verwendeten Betone wird nach etwa 30 Stunden erreicht. Während sich in der ersten Phase im Bauteil eine Druckspannung aufbaut, die durchaus erwünscht ist, entstehen in der Abkühlungsphase ab dem Durchschreiten der zweiten Nullspannungstemperatur Zugspannungen, die zu Rissen führen können. Um zielsi-

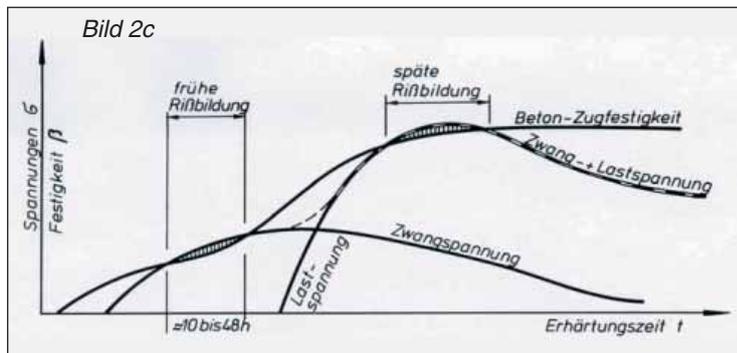
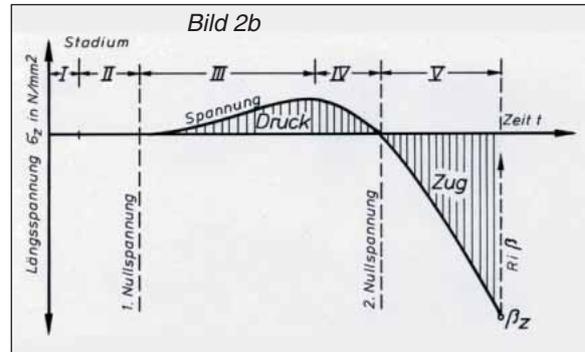
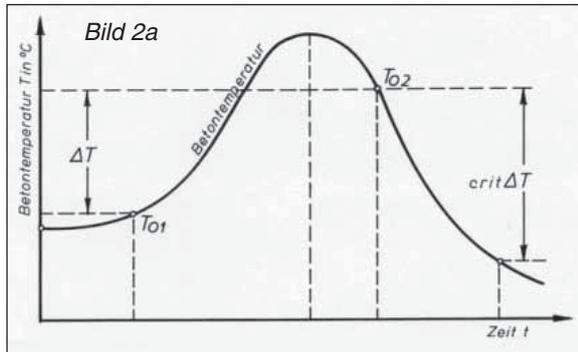


Bild 2a: Betontemperatur bei Erwärmung und Abkühlung des Betons infolge Hydratation (aus [3])

Bild 2b: Spannungen im Beton bei behinderter Verformung und Rissgefahr bei Erreichen der Betonzugfestigkeit (aus [3])

Bild 2c: Entwicklung der Betonzugfestigkeit sowie Entstehen von Zwangs- und Lastspannungen in Bauteilen aus jungem Beton (aus [3])

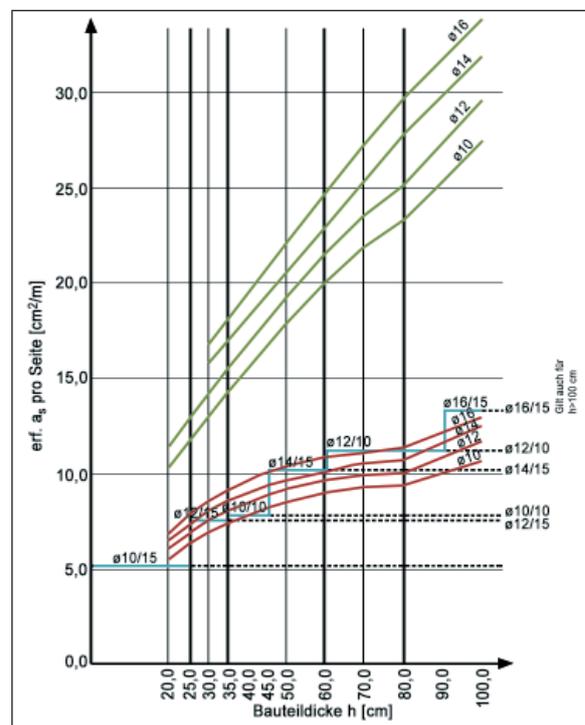
cher ein wasserundurchlässiges Betonbauwerk zu erreichen ist es einerseits notwendig, die Wärmeentwicklung im Beton zu begrenzen (rissevermeidende Bauweise) und andererseits ein hinreichendes Maß an Bewehrung zur Rissbreitenbeschränkung aus Zwang einzulegen (risseverteilende Bauweise).

Bild 2c zeigt den Zusammenhang von Zwangspannung, Beton-Zugfestigkeit und rissbildung. Dabei wird in eine Früh- und in eine Spät-rissbildung unterschieden. Überschreiten die Eigenspannungen aus dem Abfließen der Hydratationswärme des jungen Betons die zu diesem Zeitpunkt aufnehmbare Betonzugfestigkeit, kommt es zur Frührissbildung, für die eine ausreichende Menge an Bewehrung vorhanden sein muss. Im vorliegenden Konzept wird dafür die 3-Tage-Betonzugfestigkeit von rund 1,3 N/mm² zu Grunde gelegt und durch Bewehrung abgedeckt (siehe Bild 3). Die Abdeckung einer Spät-rissbildung aus Zwang hätte zur Folge, dass eine wesentlich größere Bewehrungsmenge erforderlich wäre. Die Anordnung solcher Bewehrungsmengen wäre unwirtschaftlich, weswegen darauf verzichtet wird und sich allfällige, in sehr geringem Umfang ergebende Spät-risse verpresst werden (rissesanierende Bauweise).

Die vorstehenden Ausführungen erfordern es einen Beton zu erzeugen, der eine mög-

lichst geringe Wärmeentwicklung aufweist. Die Wärmeentwicklung wird im Wesentlichen durch die Betonzusammensetzung und die Frischbetontemperatur bestimmt. Dabei hat sich die Verwendung von C₃A-freien Zementen

Bild 3: Bewehrungsmenge zufolge Zwangsbeanspruchung aus dem Abfließen der Hydratationswärme für Früh- u Spät-rissbildung



sowie von aufbereiteten hydraulisch wirksamen Zusatzstoffen (z. B. aufbereitete Flugasche) im Bezug auf die Wärmeentwicklung des Betons als günstig erwiesen. Durch die Begrenzung des Gesamtwassergehaltes wird das Schwinden des Betons günstig beeinflusst. Eine typische Zusammensetzung für diesen Beton zeigt Tabelle 1. Die Betoneigenschaften für diesen Beton sind in Tabelle 2 dargestellt.

Nach Möglichkeit sollte die Errichtung eines wasserundurchlässigen Betonbauwerkes in gemäßigte Jahreszeiten verlegt werden, wo keine Kühlungsmaßnahmen erforderlich sind. Eine Herstellung im Hochsommer sollte nach Tüchtigkeit bei solchen Bauwerken unterbleiben, da hier jedenfalls temperatursteuernde Maßnahmen erforderlich sind und eine Betonkühlung zur Begrenzung der Frischbetontemperatur mit $\leq 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ oft unumgänglich sein wird. Sind Maß-

nahmen zur Frischbetontemperaturbegrenzung zu erwarten, dann sollte, wie die Massenbilanz des Betons zeigt, bei der Gesteinskörnung begonnen werden. Dabei sind das Abdecken und Berieseln der Zuschlagstoffe die einfachsten und kostengünstigsten Maßnahmen, bei denen die Verdunstungskälte genützt wird. Ist genügend Platz vorhanden, so besteht die Möglichkeit große Zuschlagstoffdeponien anzulegen, den Zuschlagstoff über eine Zentralabnahme abzuziehen und so den natürlichen Kühleffekt optimal zu nutzen.

Reichen natürliche Kühlmethode zur Begrenzung der Frischbetontemperatur nicht aus oder scheiden sie auf Grund von Platzproblemen zur Anlegung großer Deponien aus, so kann mit Stickstoff bzw. Scherbeneis gekühlt werden. Der flüssige Stickstoff wird per Tankfahrzeug zur Mischanlage angeliefert und dort in einen vorgehaltenen Silo abgefüllt. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Zuschlagstoffe mit Stickstoff zu kühlen bzw. diesen direkt in die Mischertrommel des Transportfahrzeuges einzublasen. Beim Einblasen des flüssigen Stickstoffes direkt in die Mischertrommel kann es, wie Bild 5 zeigt, zu größeren Kühlmittelverlusten verbunden mit erhöhten Nachmischzeiten kommen, weswegen sich eine direkte Kühlung der Zuschlagstoffe als günstiger erwiesen hat. Bei größeren Betonmengen und kontinuierlicher Betonierung, wie das bei Tunnelbaustellen der Fall ist, wird der Einsatz einer Scherbeneisanlage sinnvoll sein. Das in einer kompakten Containeranlage herge-

Tabelle 1: Betonzusammensetzung für BS 1

Zement CEM I 32,5 (PZ275), C ₃ A-frei	220-270 kg/m ³
AHWZ (z. B. aufbereitete Flugasche)	90-60 kg/m ³
Gesteinskörnungen GK 32	
wirksamer Wassergehalt	$\leq 165\text{ l/m}^3$
anrechenbarer w/b-Wert	0,55-0,60
Luftgehalt für XF3 (FB)	2,0-5,0 %
für XF4(FTB)	4,0-8,0 %
Konsistenz	$\geq F 45$

Tabelle 2: Betoneigenschaften für BS 1

• Druckfestigkeit 28 d	35-40 N/mm ²
56 d	40-50N/mm
• Wassereindringtiefe (XC4)	15-20 mm
• Frostbeständigkeit (XF3)	am Festbeton nachgewiesen
• max. Temperatur des Betons im Bauwerk	Sommer $\leq 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ Winter $\leq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$

Für die Steuerung der Frischbetontemperatur und der Temperatur im Bauwerk ergeben sich folgende Möglichkeiten:

• Betonausgangsstoffe Gesteinskörnung Zement	- Abdecken, Berieseln - Zentralabnahme aus großen Deponien - Stickstoff - Zementkühlung im Werk
• Betonherstellung	- flüssiger Stickstoff - Scherbeneis
• Bauwerk	- Berieseln - Rohrkühlung

stellte Scherbeneis wird über eine Förderschnecke direkt in den Zwangsmischer befördert.

Von wesentlicher Bedeutung ist eine klare und faire vertragliche Regelung bezüglich der Kostentragung der Kühlmaßnahmen. Liegt der Ausführungszeitpunkt in der Sphäre des Auftragnehmers, so zum Beispiel bei einer Neubaustrecke mit mehreren Unterführungsbauwerken, die im Rahmen eines über einige Jahre laufenden Bauvertrages zu errichten sind, und besteht die Möglichkeit diese Bauwerke in der kühlen Jahreszeit zu errichten, bedarf es auch keiner gesonderten Kostenregelung. Im umgekehrten Fall, wenn zwingend die Ausführung eines wasserundurchlässigen Betonbauwerkes in der heißen Jahreszeit erforderlich ist, sollte im Rahmen des Bauvertrages eine Kostenregelung bezüglich der Kühlmaßnahmen getroffen werden. Angaben dazu gibt die Richtlinie „Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen“ der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik. Hier werden die Maßnahmen zur Erzielung einer Frischbetontemperatur $\leq 22 \text{ }^\circ\text{C}$, um eine Betontemperatur im Bauwerk von $\leq 45 \text{ }^\circ\text{C}$ einzuhalten, als Aufzählungsposition formuliert, die dann zur Anwendung kommt, wenn die höchste Tages-

temperatur $\geq 28 \text{ }^\circ\text{C}$ und die mittlere Tagestemperatur $\geq 19 \text{ }^\circ\text{C}$ betragen.

Der Verfasser hofft mit den vorstehenden Ausführungen gezeigt zu haben, dass die Temperatursteuerung des Betons bei wasserundurchlässigen Betonbauwerken zur Begrenzung der Zwängungsspannungen unabdingbar ist. Dabei allenfalls erforderliche Maßnahmen zur Betonkühlung sind nicht Selbstzweck, sondern Notwendigkeit zur Erreichung hoher Qualität und Dauerhaftigkeit bei den zu errichtenden Bauwerken.

Literatur:

- [1] Richtlinie „Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen“, ÖVBB, Ausgabe 03/1999
- [2] Richtlinie „Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen“, ÖVBB, Ausgabe 12/2002
- [3] Lohmeyer G.: Weiße Wannen – einfach und sicher. Düsseldorf: Beton Verlag. 4. überarbeitete Auflage, 1995



Bild 4: Stickstoffsilo



Bild 5: Einblasen des Stickstoffes in die Mischertrommel



Bild 6: Misch- und Scherbeneisanlage Lainzer Tunnel