

# RUND UM DEN BETON

Ausgabe 1

Januar 2011

## In dieser Ausgabe:

Schwerbeton	2
Gesteinskörnungen für Schwerbeton	2
Schwerbeton am Klinikum	2
Alkalikieselsäurereaktion - AKR	3
Maßnahmen zu AKR	3
Untersuchungen zu AKR	3
Frostangriff auf Beton	4
Frostwiderstand des Betons	4
Einfluss von Taumitteln auf Beton	5
Betonprüfungen zum Frostwiderstand	5
Rätlecke	6

## DAS WAR DAS JAHR 2010

Im Januar konnte, dank dem Wassertief „Daisy“, auf vielen Baustellen kein Beton verarbeitet werden. So wurden ÜK2 -Akten fertiggestellt und der GÜB war Dauergast im IBK.

Im Februar erfolgte die Anerkennung nach der „RI-ZFP-TU durch die BAST.

Ab Februar begannen viele neue Projekte.

An Bahn- und Straßentunnel wurden von Januar bis Dezember erfolgreich Betondeckungs- und Dickenmessungen durchgeführt.

Sonderbetone wurden konzipiert und überwacht.

Im Juni wurden im IBK die ersten Schulungen durchgeführt.

Im Juni begannen die Betonagen des Schwerbetons,

sie dauerten bis August.

Hitze im Juli und August erforderten zusätzliche betontechnische Maßnahmen.

In der Betoninstandsetzung wurde während der Sommerferien in B.-W. ein Projekt betreut.

Im August begannen die Dickenmessungen am Jagdbergtunnel, einem Straßentunnel mit zwei ca. 3 km langen Röhren und 3-spurigen Fahrbahnen.

Im September wird unter [www.ibk1972.com](http://www.ibk1972.com) die neue Homepage ins Netz gestellt.

Im November nimmt unsere Auszubildende an einem Lehrgang zur QM-Beauftragten teil und wird Stellvertreter der QM-

Beauftragten nach DIN ISO 17025.

Im Dezember legte unsere Auszubildende ihre schriftliche Prüfung zur Industriekauffrau erfolgreich ab.

Die letzten Baustellenbesuche im Dezember mussten, bedingt durch die einsetzende Kälte und des vielen Schnees auf das Jahr 2011 verschoben werden.



Das Jahr endete wie es begonnen hatte.

## HOHLSTELLEN IM BETON

Mit dem Impakt-Echo Verfahren werden nicht nur Dickenmessungen im Tunnel durchgeführt, es lassen sich auch Hohlstellen in Bauteilen orten. Der Hohlraum muss mindestens eine Größe von 0,1 mm haben, damit die Schallwellen reflektiert werden.

Da die Impakt-Echo Messung eine punktuelle Messung ist, muss ein Messraster angelegt werden. Die Maschenweite des Rasters muss kleiner sein als die maximal tolerierbare flächige Ausdehnung der Hohlstelle.

Die Größe der detektierba-

ren Hohlstelle hängt von mehreren Faktoren, z.B. der Tiefenlage der Hohlstelle, der Dicke des Bauteils und dem Messpunktabstand ab.

Projekt: Überbau Hohlkastenprofil

*Bericht wird momentan erstellt.*

## Themen in dieser Ausgabe:

- Das war 2010
- Hohlstellensuche im Festbeton
- Schwerbeton
- Alkalikieselsäurereaktion -AKR
- Frost- und Frosttausalz-Angriff

## SCHWERBETON

Schwerbeton nach DIN 1045 (Trockenrohddichte  $\geq 2800 \text{ kg/m}^3$  bzw. *ofentrockene Rohddichte  $\geq 2600 \text{ kg/m}^3$* ) kommt zum Einsatz für

Strahlenschutz (Medizin, Werkstoffprüfung, Zoll, Forschung, Kernkraftwerke),

Ballastierung (Baumaschinen, Schiffe, Auftriebssicherung von Fundamenten, Rohrleitungen),

Tresore und

Schallschutz.

Die hohe Trockenrohddichte wird durch Verwendung schwerer Gesteinskörnung erreicht. Diese sind überwiegend Baryt (Schwerspat überwiegend  $\text{BaSO}_4$ ), Ilmenit (Titaneisenstein überwiegend  $\text{FeTiO}_3$ ), Magnetit (Magneisenstein überwiegend  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) oder Hämatit (Roteisenstein überwiegend  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

oder Schwermetallschlacken (überwiegend Blei- oder Chromschlacke). Für Strahlenschutzbetone werden auch Limonit, Colemanit, Borfritte, Borcalcit oder Borcarbid verwendet.

Um eine hohe Rohddichte zu erzielen, ist eine hohe Packungsdichte der Gesteinskörnungen notwendig. Um diese zu erreichen, sollte die Kornzusammensetzung möglichst im Sieblinienbereich A/B liegen. Betonzusatzstoffe wie Flugaschen dürfen verwendet werden

Betonzusatzmittel – Bertonverflüssiger, Fließmittel und Verzögerer – werden eingesetzt

Reaktionen zwischen schweren Gesteinskörnungen und Betonzusatzmitteln sind nicht auszuschließen. Deshalb sind erweiterte Erstprüfungen (Erstarren und Erhärten) erforderlich.

Durch zu hohe Mehlkorngelalte (Abrieb beim Gesteinskorn) ist u. U. eine Zustimmung im Einzelfall für diesen Beton erforderlich.



*Magnetit als Gesteinskorn für Schwerbeton*

## GESTEINSKÖRNUNGEN FÜR SCHWERBETON

### Baryt

Bei Baryt, der auch als Schwerspat bezeichnet wird, handelt es sich um ein farbloses oder weißes Mineral, welches durch Spuren von Fremdbestandteilen auch verschiedene Farbtönungen enthalten kann.

Baryt ist ein Bariumsulfat bei dem jedes seiner Moleküle jeweils ein Barium- und ein Schwefelatom sowie vier Sauerstoffatome enthält ( $\text{BaSO}_4$ ).

Der Name Baryt wurde aus dem griechischen Wort "barys" (schwer) abgeleitet.

### Magnetit

Magnetit ist ein Eisenerz. Benannt wurde das Erz nach einer Sage nach dem Hirten Magnes, der als erster einen Magnetstein gefunden haben soll bzw. nach seinem ersten Fundort in der Landschaft Magnesia.

Seine Farbe ist schwarz und hat einen leichten Metallglanz. Magnetit kommt in massiver oder gekörnter Form und daneben auch als Kristalle vor, welche oft oktaedrisch geformt sind, besitzen also je acht dreieckige Begrenzungsflächen. Er ist ein durchaus häufiges Mineral, das allerdings selten den Hauptbestandteil eines Gesteins stellt.

## SCHWERBETON AM KLINIKUM

Es wurden zwei Schwerbetonsorten eingesetzt. Die angestrebte Festbetonrohddichte für die Wandbetone lag bei  $3200 \text{ kg/m}^3$ ; bei dem Deckenbeton lag diese bei  $4000 \text{ kg/m}^3$ . Beide Betone entsprachen der Druckfestigkeitsklasse C 30/37. Bei dem Wandbeton wurde ein Baryt eingesetzt; beim Deckenbeton kam ein Magnetit und ein Stahlgranulat zum Einsatz.

Der Wandbeton wurde mit einer Konsistenz F3/4 gepumpt; der Deckenbe-

ton wurde über ein Förderband eingebaut.

Rohstoffe der beiden Betone:

CEM I 42,5 R/CEM III B 32,5 N-LH/HS, stabilisierendes Fließmittel, Baryt 0/16, Sand/Splitt 0/16, w/z 0,55

CEM I 42,5 R, Magnetit 0/2, Magnetit 0/20, Eisengranulat 0/8, w/z 0,52.

Die geforderten Rohdichten konnten problemlos eingehalten werden.



# ALKALIKIESELSÄUREREAKTION - KURZ AKR

Bei einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) reagieren alkaliempfindliche SiO<sub>2</sub> Bestandteile der Gesteinskörnung mit den Alkalihydroxiden (Kalium- und Natriumhydroxid) der Porenlösung im Beton zu einem Alkali-Kieselsäuregel, das bestrebt ist, Wasser aufzunehmen. Unter ungünstigen Umständen vergrößert sich dabei das Volumen des Alkali-Kieselsäuregels mit der Zeit so stark, dass lokal Quelldrücke auftreten, die das Betongefüge schädigen und äußerlich zu Netzrissebildung, Ausblühungen und Abplatzungen führen können. Fachleute sprechen dann von einer "schädigenden AKR", die in Medienberichten häufig als Betonkrebs bezeichnet wird. Eine AKR verläuft in vielen Betonen ohne eine Schädigung des Betons ab, so dass weder die Stand- bzw. Verkehrssi-

cherheit gefährdet ist noch die Dauerhaftigkeit verringert wird.

Die Schadensbilder treten normalerweise erst nach einem Zeitraum von 5 bis 10 Jahren und mehr auf. Die Dauerhaftigkeit des Betons kann dadurch beeinträchtigt werden. Die Standicherheit betroffener Bauteile ist jedoch in der Regel nicht gefährdet.

Voraussetzung für eine schädigende AKR im Beton ist:

- ausreichende Feuchtigkeit
- hoher wirksamer Alkaligehalt in der Porenlösung des Betons
- alkaliempfindliche Gesteinskörnung.

In Deutschland regelt die "Alkali-Richtlinie" des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton e.V. (DAfStb) die Maßnahmen zur Vermeidung einer schädigenden AKR.

## DAfStb-Richtlinie Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkaliaktion im Beton (Alkali-Richtlinie)

- Teil 1: Allgemeines
- Teil 2: Gesteinskörnungen mit Opal sandstein und Flint
- Teil 3: Gebrochene alkaliempfindliche Gesteinskörnungen

Ausgabe Februar 2007

(Ersatz für Ausgabe Mai 2001; bisherige Vertriebsnummer 65033)

## MASSNAHMEN GEGEN AKR

Um Maßnahmen zur Vermeidung festlegen zu können, müssen die Umgebungsbedingungen des Betons in Form der Feuchtigkeitsklasse und die Alkaliempfindlichkeit der Gesteinskörnung in Form der Alkaliempfindlichkeitsklasse beschrieben werden. Hierzu ist jede Gesteinskörnung nach DIN EN 12620, die in Deutschland für Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 verwendet werden soll, in eine Alkaliempfindlichkeitsklasse einzustufen. Bei bestimmten Kombinationen aus Feuchtigkeitsklasse, Alkaliempfindlichkeitsklasse und ggf. Zementgehalt des Betons sind

vorbeugende Maßnahmen anzuwenden. Die Alkali-Richtlinie gibt sowohl die Prüfmethode und Kriterien zur Einstufung von Gesteinskörnungen in eine der Alkaliempfindlichkeitsklassen als auch die vorbeugenden betontechnologischen Maßnahmen an.

Auch aus Steinen, die einem in den Weg gelegt werden, kann man Schönes bauen.

*Johann Wolfgang von Goethe*

Eine schädigende AKR kann im Wesentlichen durch zwei Maßnahmen vermieden werden:

- Austausch der alkaliempfindlichen Gesteinskörnung
- Reduzierung des Alkaligehaltes der Porenlösung des Betons

Letzteres kann durch die Verwendung spezieller Zemente mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt erreicht werden. In Deutschland sind diese Zemente, die auch als NA-Zemente bezeichnet werden, in der DIN 1164-10 genormt.

## LABORUNTERSUCHUNGEN AUF AKR

Um an einem Bauteil festzustellen inwieweit eine AKR zur Schädigung der Betonoberflächen geführt hat, sollte eine Rasterelektronenmikroskopie durchgeführt werden.

Wir führen derartige Untersuchungen zusammen mit der TU München und dem geologischen Labor K. Rapp durch.

Betonproben werden entnommen und gesägt. Als nächster Schritt werden Dünnschliffpräparate hergestellt.

Danach erfolgt eine Rasterelektronenmikroskopie (REM).

Bei der REM wird die zu untersuchende Probe mit einem Elektronenstrahl rasterförmig abgetastet. Durch die Wechselwirkung zwischen dem Elektronenstrahl und der Probe werden Rückstreuerelektronen, Sekundärelektronen und Röntgenstrahlen erzeugt. Abschließend erfolgt eine Beurteilung der Bilder der REM, die eine Beurteilung auf eine AKR ermöglichen.



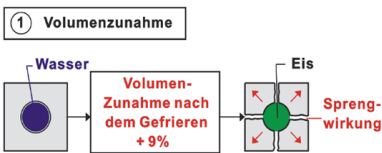
An diversen Objekten, auch in B.-W. haben wir mit dieser Methode Schäden durch AKR nachweisen können.

## FROSTANGRIFF AUF BETON

Während des Gefrierens von Wasser in porösen Systemen laufen mehrere Vorgänge ab, die das Gefrierverhalten (Frostwiderstand) ganz entscheidend beeinflussen:

- Volumenänderung des Wassers,
- Gefrierpunktniedrigung des Wassers in kleinen Poren,
- Verdunstungsneigung des Wassers an Porenoberflächen und
- Diffusionsvorgänge von Wasser im Porensystem.

Alle genannten Einflüsse sind ganz entscheidend von Art und Menge der Poren und insbesondere von der Porengrößenverteilung abhängig.



Es muss unterschieden werden, ob junger Beton während der Anfangserhärtung oder bereits ausreichend erhärteter Beton einer Frosteinwirkung bzw. wiederholten Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt wird. Junger Beton ist gefrierbeständig, d. h., er kann nach den RILEM-Richtlinien einen einzelnen Frost-Tau-Wechsel ohne Schaden überstehen, wenn er eine Mindestdruckfestigkeit von 5 N/mm<sup>2</sup> besitzt. Bei zu geringer Festigkeit besteht die Gefahr, dass die Betonfestigkeit bleibend herabgesetzt oder andere Eigenschaften beeinträchtigt werden. Wiederholte Frost-Tau-Wechsel können auch bei erhärtetem Beton bestimmte Eigenschaften nachteilig beeinflussen.

Bei gefrierbeständigem Beton, der einmal kurz nach Erreichen der Gefrierbeständigkeit durchgefroren wird und dann noch 28 Tage normal lagert, muss man bei niedrigem w/z-Wert mit einem Festigkeitsverlust von bis zu 15

% rechnen. Die Höhe des Festigkeitsverlustes hängt weitgehend von der Dauer der Vorlagerung vor dem Frost, d. h. von der Festigkeit bei Frostbeginn ab. Meist wird wegen der Porosität des Zementsteins das Porenvolumen des Betons bei Frost vergrößert. Die Schäden gehen von der Oberfläche aus und sind mehr oder weniger gleichmäßig über diese verteilt. Bei frostunbeständiger Gesteinskörnung werden meist nur einzelne Körner zerstört, die dann den darüber liegenden Beton abdrücken. Die Schäden zeigen sich daher nur an einzelnen Stellen der Betonoberfläche als strahlenförmige Risse über den Körnern oder als kraterförmige Aussprengungen, an deren Spitze ein frostunbeständiges Korn sitzt.

## FROSTWIDERSTAND DES BETONS

Die wichtigste Voraussetzung für einen hohen Frostwiderstand eines Normalbetons ist ein Gefüge mit wenig Kapillarporenraum, d. h. dichter normaler Gesteinskörnung und kapillarporenarmem Zementstein.

Der Frostwiderstand einer Gesteinskörnung hängt - wie bei allen Baustoffen - im Wesentlichen von Porenraum, Porenart und besonders Porengröße ab. Eine weitere Rolle spielt die Dauer des Wasserangebots, d. h., ob die Gesteinskörnung ggf. durch zwischenzeitliche Trocknungsperioden überhaupt die kritische Sättigung erreicht. Schließlich hat die Korngröße einen maßgebenden Einfluss. Einmal ist der Porenraum kleinerer Körner der gleichen Gesteinskörnung geringer, da die Zerkleinerung über die Korpporen läuft, andererseits kann das Wasser in kleinen Körnern beim Gefrieren eher aus dem Korn entweichen als bei großen Körnern, sodass sich dann kein schädlicher Druck aufbauen kann.

Wegen der vorausgegangenen, jahrzehntelangen mechanischen Beanspruchung der Gesteinskörnungen enthalten natürlich entstandener Sand

und Kies und daraus durch Brechen gewonnene Gesteinskörnung meist nur wenig frostempfindliche Körner. Gesteinskörnung aus gebrochenem Felsgestein hat im Beton im Allgemeinen einen ausreichenden Frostwiderstand, wenn die Wasseraufnahme des Gesteins 0,5 M.-% nicht überschreitet oder das Gestein im durchfeuchteten Zustand eine Druckfestigkeit von mindestens 150 N/mm<sup>2</sup> aufweist. Dann ist die Wasseraufnahme gering und bei Eisdruck leistet das dichte Gestein ausreichend Widerstand. Außerdem spielen folgende Betoneigenschaften eine wichtige Rolle: Zugfestigkeit, E-Modul, Kriechen bzw. Relaxation, Wärmedehnung, Wasserdichtheit, Hydratationswärme und Wärmeleitfähigkeit. Neben der eigentlichen Ursache der Frostschäden, der Volumenzunahme des Wassers bei Eisbildung, können bei der Inhomogenität eines Betons auch stark unterschiedliche Wärmedehnungskoeffizienten von Zementstein und Gesteinskörnung bei schnellen Temperaturänderungen zu Gefügespannungen und Rissen führen. Die erforderliche Druckfestigkeit für frostbeständigen Normalbeton beträgt je

nach Klima rund 15 bis 40 N/mm<sup>2</sup>.

Straßenbeton soll nach ausreichender Erhärtung vor der ersten Frostbeanspruchung einmal austrocknen, um luftgefüllte Kapillarporen zu erhalten. Im Herbst wird statt feuchter Nachbehandlung kurze Zeit nach dem Einbringen des Straßenbetons ein Nachbehandlungsfilm aufgesprüht, damit der Beton einerseits nur langsam und nicht zu früh austrocknet und andererseits bei der Hydratation kein Wasser nachsaugen bzw. nach Teilaustrocknung kein oder nur wenig Wasser aufnehmen kann.



## EINFLUSS VON TAUMITTELN AUF BETON

Frostschäden werden auch durch Taumittel hervorgerufen oder verstärkt und treten als flächenhafte Abtragungen auf. Auf Straßen werden meist Natriumchlorid bis etwa  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , seltener Calcium- und Magnesiumchlorid bei niedrigeren Temperaturen bis etwa  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  gestreut. Auf den Beton wirken die Salze nicht oder nur schwach angreifend, ggf. durch Kristallisationsdruck in den Zementsteinporen. Neben der Umweltbelastung und der Fahrzeugkorrosion entstehen jedoch immer mehr Probleme an Brückenbauwerken durch die Korrosion des Betonstahls. Auf Flugplätzen werden daher künstlicher Harnstoff (Urea) oder Alkohole verwendet, die zwar teurer sind, aber keine Korrosion von Flugzeugteilen verursachen. Harnstofflösungen können im Beton bei Temperaturen über  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$  zu Ammoniak und Kohlensäure zersetzt werden, die beide Beton angreifend sind.

Die Taumittel bringen Schnee und Eis auf dem Beton durch die Gefrierpunktniedrigung des Wassers zum Schmelzen und entziehen die dazu notwendige

ge Schmelzwärme fast ausschließlich dem Beton. Die dabei auftretende schockartige Abkühlung der Betonoberfläche kann bis zu 14 K in 1 bis 2 Minuten betragen. Die dadurch verursachten Zugspannungen liegen im Bereich der Betonzugfestigkeit und darüber.

Durch die Diffusion von Taumitteln in den Beton entsteht in einer dünnen Schicht ein Konzentrationsgefälle von außen nach innen und dadurch eine kontinuierliche Änderung des Gefrierpunktes. Beim Überschneiden der Temperatur- und der Gefrierpunktcurve kann es geschehen, dass das Wasser im Beton zuerst an der Oberfläche und in einer tiefer liegenden Schicht und erst beim weiteren Abkühlen in der dazwischen liegenden Schicht gefriert. Es kann dabei den Gefrierdruck nicht in die Poren der benachbarten gefrorenen Schichten abgeben und sprengt daher die äußere Schicht ab. Deshalb sind Tausalzschäden in ihrer Art gewöhnlichen Frostabsprengungen sehr ähnlich, die bei Beton mit hohem w/z-Wert auftreten.

Taumittel setzen den Dampfdruck im Beton herab. Dadurch wird die Wirkung der Taumittel noch erhöht, indem der Beton schon bei niedrigen Luftfeuchten mit Wasser gesättigt ist und in Trocknungsperioden weniger Wasser verdunstet und mehr gefrierbares Wasser im Beton verbleibt.

Bevor der Beton mit Tausalz in Berührung kommt, sollte er wenigstens einmal austrocknen, da sich eine einmal ausgetrocknete Betondecke nicht mehr so stark voll saugt und die Sprengkräfte in den nur zum Teil mit Wasser gefüllten Kapillarporen kleiner sind. Im Spätherbst hergestellte Betonfahrbahnen sollten deshalb nicht durch Feuchthalten nachbehandelt, sondern durch einen Nachbehandlungsfilm vor Feuchtigkeitsabgabe geschützt werden. Stets ist für eine ausreichende Entwässerung zu sorgen, damit das Salzwasser von der Betonoberfläche abfließen kann.

## BETONPRÜFUNGEN ZUM FROST- UND FROST-TAUMITTELWIDERSTAND

### Luftporengehalt nach DIN EN 12350-7

Mit der Bestimmung des Luftporengehaltes (LP) von Frischbeton kann die Frostbeständigkeit des Festbetons bestimmt werden.

Der Luftporengehalt wird als Anteil Luftporen im Zementstein am Gesamtvolumen des fertig verdichteten Betons definiert. Der Luftporengehalt gibt einen Hinweis auf den Verdichtungsgrad.

Bei der Prüfung des Luftporengehaltes von Frischbeton mittels Druckausgleichsverfahren wird zwischen einem mit Beton und einem mit Druckluft gefüllten Behälter ein Druckausgleich hergestellt. Der dabei durch die Luftporen des Betons bedingte Druckabfall wird auf einem kalibrierten Manometer als prozentualer Luftporengehalt der Probe abgelesen.

Das Verfahren ist nur geeignet für

Beton mit dichten Gesteinskörnungen.



Luftporentopf

### CDF - Test nach DIN EN 12390-9

Bei dieser Prüfung wird der Beton auf seine Widerstandsfähigkeit gegen Frost und Tausalze getestet. Dies wird in der s. g. CDF-Prüfanlage durchgeführt. Die Probekörper werden unter Tausalz-Einwirkung in regelmäßigem Rhythmus eingefroren und wieder

aufgetaut. Nach der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel und der Schäden, die an den Proben im Laufe der Prüfung eintreten, wird die Beständigkeit oder Empfindlichkeit des verwendeten Betons beurteilt



CDF - Prüfanlage

## Unsere kleinere Rätsecke

Sie finden uns auch  
im web  
Ibk1972.com

9					6		3	
6							5	
					5		4	2
7	8	3				2		
	2	1	4			8		
			2	3				
		8		6				5
			3	1				
		4					7	1
7			9					
						4	5	3
2			6			1		
	6		8	9		5		
	1			4				6
						3	8	4
	7	8						
					2	6	3	1
		1			5			

### Unsere Adresse

Geschäftliche Hauptadresse

Stuttgarter Str. 171  
70806 Kornwestheim

Telefon: 07154/80 82 78 - 0  
Fax: 07154/80 82 78 - 20  
E-Mail: info@ibk1972.com