

6.1638

Das Verhalten von Beton zwischen 80 und 300 °C*)

Betonkonstruktionen, wie z. B. Schornsteine, Industrie-Behälter und Atomreaktoren, müssen oft Temperaturen zwischen 80 und 300 °C aushalten. Diese hohen Temperaturen können dabei dauernd oder kurzfristig wechselnd auf den Beton einwirken.

1. Einfluß der Temperatur auf die Betonbestandteile

1.1 Wasser

Das Wasser ist im Beton in drei Zustandsformen enthalten: Chemisch gebundenes Wasser, physikalisch durch Adsorption oder im molekularen Zustand in den hydratisierten Bestandteilen des Zementes gebundenes Wasser und freies Wasser, das mehr oder weniger die Kapillar- und Strukturporen im Beton füllt.

Wenn die Temperatur im Beton 100 °C nicht überschreitet, tritt nur eine Verdampfung des freien und eines Teiles des physikalisch gebundenen Wassers ein. Die Druckfestigkeit wird dabei geringfügig erhöht und die Zugfestigkeit geringfügig erniedrigt. Diese Austrocknung bewirkt jedoch ein Schwinden, das zu Mikrorissen führen kann. Durch eine zweckmäßige Zusammensetzung und Nachbehandlung des Betons kann diese Gefahr vermindert werden.

Oberhalb 100 °C enthält der Beton kein freies Wasser mehr, und das physikalisch gebundene Wasser beginnt weitgehend zu verdampfen. Hierbei kann die Betondruckfestigkeit geringfügig, die Zugfestigkeit u. U. stärker beeinträchtigt werden. Wenn jedoch 300 °C nicht überschritten werden, treten keine tiefgreifenden Strukturänderungen der hydratisierten Bestandteile auf, und der Beton gewinnt in Berührung mit feuchter Luft mehr oder weniger seine ursprüngliche Festigkeit zurück.

1.2 Bindemittel

Beton aus Flußsand und -kies mit reinem Portlandzement behält in etwa seine mechanischen Eigenschaften bis zu Temperaturen von 250 bis 300 °C. Treten Temperaturen zwischen 300 und 400 °C auf, dann sind Zemente vorzuziehen, die beim Hydratisieren wenig Kalkhydrat abspalten wie Tonerdezement, Puzzolanzement und hüttensandreiche Zemente. Bindemittel mit hohem Kalkhydratgehalt verhalten sich weniger gut, da dieses zerfällt, wenn die Temperatur 400 °C überschreitet. Hoher Gehalt an Magnesia kann durch Entwässerung und darauffolgende neuerliche Hydratation zu Treiberscheinungen führen.

In jedem Fall ist ein unnötig hoher Bindemittelgehalt wegen des damit verbundenen stärkeren Schwindens zu vermeiden.

*) Le comportement du béton entre 80 et 300 °. Etude établie par le service S.R.T. Bâtir No. 102 (1961) April-Heft, S. 21/23.

1.3 Zuschlagstoffe

Wenn die Temperatur 300 °C nicht überschreitet, so können kieselensäurehaltige Sande und Kiese ohne Bedenken verwendet werden. Quarz und kieselensäurehaltige Gesteine erleiden erst bei 575 °C eine mit einer sprunghaften Volumenvergrößerung verbundene Umwandlung.

Hinsichtlich einer zweckmäßigen Anwendung sollte man die folgenden Möglichkeiten berücksichtigen:

Bei kurzfristig wechselnden Temperaturen: Leichte und isolierende Zuschläge schützen das Bauwerk und bieten mehr Sicherheit.

Bei Dauererhitzung: Es sollten Zuschlagstoffe ohne Kristallwasser und mit guter Wärmeleitfähigkeit verwendet werden, damit sich die bei Inbetriebnahme unterschiedlichen Temperaturen im Beton möglichst schnell angleichen.

Die Wärmedehnzahl für Beton hängt überwiegend vom Mischungsverhältnis, der Gesteinsart und der Vorlagerung des Betons ab. Tafel 1 enthält die Wärmedehnzahlen von Beton mit 350 kg/m³ Zement und den am häufigsten verwendeten Zuschlagstoffen.

Tafel 1 Wärmedehnzahlen von Beton mit verschiedenen Zuschlagstoffen

Gesteinsart der Zuschlagstoffe	Wärmedehnzahl ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) für Beton mit 350 kg/m ³ Zement		
	Luftlagerung	Wasserlagerung	Mittel
Kieselensäurehaltiger Sand und Kies	12,5 ... 13,5	11,5 ... 12,5	12,5
Quarzit	13	12	12,5
Sandstein	10,5 ... 11,5	9,5 ... 10,0	10,5
Porphyr / Granit / Dolerit	9,5 ... 10,5	8,5 ... 9,5	9,3
Hochofenschlacke	9,5 ... 10,5	8,5 ... 9,5	9,3
Kalkstein	7,5 ... 8,5	6,5 ... 7,0	7,3

2. Einfluß der Temperatur auf die Festigkeit von Beton

Aus Tafel 2 ist ersichtlich, daß die Zugfestigkeit mit steigender Temperatur schneller sinkt als die Druckfestigkeit. Die größten Festigkeitsverminderungen traten bei Verwendung von kieseligen Zuschlagstoffen wie Quarz und Granit auf.

Die Druckfestigkeit nach Erhitzen wurde an verhältnismäßig jungem Beton bestimmt. Der Druckfestigkeitsanstieg bei 200 bis 300 °C entspricht in etwa dem, der durch eine Wärmebe-

Tafel 2 Einfluß der Temperatur auf die Betondruck- und Betonzugfestigkeit

Höchsttemperatur im Beton °C	Betondruckfestigkeit %	Betonzugfestigkeit %
20	100	100
100	—	80 ... 90
200	90 ... 120	70 ... 85
300	80 ... 110	50 ... 75
400	60 ... 90	—

handlung hervorgerufen wird, wobei angenommen wird, daß der Beton bei den hohen Temperaturen schnell eine Druckfestigkeit erreicht, die er bei normalen Temperaturen erst nach längerer Zeit aufweisen würde.

3. Raumänderungen

Temperaturerhöhungen rufen Dehnungen des Stahls und des Betons hervor. Die Wärmedehnzahl von Stahl beträgt ungefähr $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ und liegt im Bereich der Wärmedehnzahl der verschiedenen Schwerbetone von 8 bis $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Die Raumänderungen unbewehrter Betone infolge erhöhter Temperatur hängen u. a. von der Wärmedehnzahl, der Wärmeleitfähigkeit und auch der Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe ab. Im allgemeinen sollte man Bestandteile gleicher und geringer Wärmedehnung, mittlerer Wärmeleitfähigkeit sowie eine sandreiche Kornzusammensetzung vorsehen.

Auf Stahlbeton haben Temperaturen bis 100°C keinen bedenkliehen Einfluß. Oberhalb 100°C kann durch die Wärmedehnung des Stahles und durch das Schwinden des Betons infolge Verdampfens des physikalisch gebundenen Wassers die Haftung zwischen Beton und Stahl beeinträchtigt werden.

Diese Auswirkungen können durch erhöhte Überdeckung des Bewehrungsstahls, durch Wahl von Bewehrungsstäben mit geringem Durchmesser und durch Verwendung von Zuschlagstoffen mit möglichst gleicher Wärmedehnung wie Stahl vermindert werden.

4. Kurzfristige Temperaturwechsel

Bis zu einer Temperatur von 300°C werden Betone, insbesondere Stahlbetone, durch Temperaturwechsel kaum geschädigt, es sei denn, daß die Oberfläche sehr plötzlich dieser Hitzeeinwirkung ausgesetzt wird. Nimmt z. B. ein Betonpfahl nach und nach ansteigend eine Temperatur von 300°C an, dann stellt sich im Innern ein Temperaturgleichgewicht ein, und es treten nur geringe Spannungen auf. Wirkt jedoch lediglich auf eine Seite eines Bauteiles eine Temperatur von 300°C ein und verbleibt die andere Seite bei einer Temperatur von 20 bis 30°C , dann treten bei behinderter Verformung Spannungen auf, die nach Überschreiten der Zugfestigkeit zu Rissen führen können.

Betone, auf die kurzfristig eine Temperatur von 300 °C wirkt, sollten durch Isolierschichten gegen diese rasche Erhitzung geschützt werden. Betone, die längere Zeit einer Temperatur von 300 °C ausgesetzt sind, sollten dagegen gut wärmeleitend sein, um die Spannungen aus ungleicher Erwärmung zu vermindern.

5. Schlußfolgerung

Betone bzw. Stahlbetone, auf die Temperaturen bis zu 300 °C einwirken, sind mit möglichst wenig Zement herzustellen. Der Zuschlag soll reich an Feinkorn sein. Die Stahleinlagen sollten mindestens 3 cm überdeckt sein, da auch die Korrosion durch Wärme gefördert wird. Die zusätzlich auftretenden Wärmespannungen bei bewehrtem Beton müssen berücksichtigt werden. Stoffe mit stark unterschiedlichen Wärmedehnzahlen, wie z. B. Asbestzement und Stahlbeton, sollten nicht zusammen verwendet werden.

H. Mathieu