

ist als auf dem freien Land, ebenso berücksichtigt werden wie aus Sicherheitsgründen die Kanalisierung der Luftströmung in den Strassenschluchten moderner Grossstädte. Zu beachten sind auch die Sogkräfte auf Dachrändern.

Schneelast

Die Schneelast kann im Gebirge als Leitgefahr für die Bemessung von Dächern massgebend werden. In den Alpen wurden schon Werte von über 20 kN/m² gemessen. Hier sind auch die örtlichen Verhältnisse, wie Treibschneeansammlungen, gebührend zu beachten. Im schweizerischen Mittelland beträgt die Schneelast kaum mehr als 1 kN/m².

Temperaturänderungen

Temperaturänderungen von $\pm 20^\circ$ Celsius bei Betonbauten bis $\pm 30^\circ$ bei Stahlbauten gegenüber dem Jahresmittelwert von $+10^\circ$ verursachen stets Längenänderungen. Ungleichmässige Temperaturänderungen (Temperaturgefälle) im Querschnitt des Tragwerks verursachen Zwängungen, die beispielsweise bei der Bemessung von Brückenlagern zu beachten sind.

Erddruck

Die Grösse des wirkenden Erddrucks liegt zwischen dem aktiven Erddruck als Kleinstwert, der sich jedoch erst nach einer kleinen Bewegung (Verschiebung und/oder Kippung) der Stützwand einstellt, und dem sogenannten Ruhe- druck, welcher etwa um die Hälfte grösser ist als der aktive Erddruck, bei dem keine Bewegung der Stützwand stattfindet. Der passive Erddruck, auch Erdwiderstand genannt, als Grösstwert kann nur durch eine Verschiebung der Stützwand gegen das Erdreich hervorgerufen werden.

Anfahr-, Brems- und Fliehkräfte

Diese Zusatzlasten sind im Brückenbau und bei Kranbahnen zu berücksichtigen. Sie werden im allgemeinen nur für die Bemessung fester Lager und von deren Unterbauten massgebend. Die Anfahr- und Bremslasten betragen bei Eisenbahnbrücken 10% der ruhenden Verkehrslast ohne Stosszuschlag und bei Strassenbrücken 5%.

Erdbeben

Die in der Schweiz bisher aufgetretenen Erdbeben verursachen im allgemeinen so kleine Baugrundbeschleunigungen

(0,02 g), dass die ausreichende Erdbebensicherheit bereits durch die Bemessung auf Wind gewährleistet wird. Bei grösseren Baugrundbeschleunigungen (0,02 bis 0,05 g), die in einzelnen örtlich begrenzten Gebieten auftreten können (z.B. Oberrhein und Wallis), erreichen die Bauwerksbeschleunigungen je nach Baugrund und Steifigkeit des Bauwerks Werte bis zu 0,1 g über Fels und 0,25 g über Alluvium.

Baukontrolle und periodische Überwachung

Die Kontrolle der Bauausführung sollte nach Möglichkeit durch den Projektanten erfolgen, da dieser allein in der Lage ist, die Auswirkung einer Abweichung sofort zu beurteilen.

Auch nach Inbetriebnahme sollte jedes Tragwerk vom Projektanten periodisch auf seinen baulichen Zustand überprüft werden. Die Länge der Inspektionsintervalle ist der Gefährdung und Bedeutung des Bauwerks anzupassen (z.B. Brücken alle 5 Jahre und Hochbauten alle 20 Jahre).

Adresse des Verfassers: Dr. Max Herzog, dipl. Bauing., Rohrerstrasse 3, 5000 Aarau.

Vereinfachte Konstruktionsnormen

Teil II: Betonbauten

Der völlig unbefriedigende Zustand des Normenwesens im Betonbau hat im April 1991 zur Abhaltung des IVBH-

VON MAX HERZOG, AARAU

Kolloquiums über «Konstruktionsbeton» in Stuttgart geführt, wo sich rund 300 Vertreter des Betonbaus aus über 30 Ländern wenigstens auf eine gemeinsame Absichtserklärung einigen konnten. Mit ihr wird sowohl eine Vereinheitlichung als auch eine Vereinfachung des gegenwärtigen Zustands angestrebt. Obwohl in der Schweiz die Vereinheitlichung der Bemessung von Bauten aus unbewehrtem Beton, Stahlbeton und Spannbeton mit der Ausgabe 1989 der SIA-Norm 162 erreicht worden ist, muss die erwünschte Vereinfachung noch dringend nachgeholt wer-

den. Vereinfachte Bemessungsverfahren sind im Zeitalter der EDV und der Personal Computers zur raschen Kontrolle umfangreicher Computerausdrucke unbedingt erforderlich. Nicht der Ingenieur, welcher am besten rechnen kann, ist der Meister, sondern jener, welcher am besten schätzen kann.

Baustoffe

Zemente

In der Schweiz werden fünf Zementtypen unterschieden:

- normal erhärtender Portlandzement (PC),
- schneller erhärtender (hochwertiger) Portlandzement (HPC),
- sehr schnell erhärtender Tonerdeschmelzzement (Lafarge-Zement),

- Hochofenzement entsteht durch Nassvermahlen von Hochofenschlacke mit normalem Portlandzement (geringe Wärmetönung).

- Puzzolan- oder Trasszement entsteht durch Zusatz von Puzzolan oder Trass (beides Vulkanaschen) zum bereits vermahlenen normalen Portlandzement (geringe Wärmetönung).

Zu beachten ist, dass die anfänglich sehr hohe Druckfestigkeit von Beton aus Tonerdeschmelzzement im Laufe der Zeit wieder auf Werte absinkt, die unter denjenigen von gleichaltem Beton aus normalem Portlandzement liegen.

Zuschlagstoffe

Kies und Sand müssen vor der Verarbeitung zu Beton gewaschen und nach Durchmessern sortiert werden. Der Sandanteil (Korndurchmesser kleiner als 8 mm) des verwendeten Gemisches sollte 50 Gewichtsprozente möglichst nicht überschreiten. Ein zu kleiner Mehkkornanteil unter 0,02 mm muss notfalls mit einem Fillerzusatz angehoben werden. Das verwendete Grösst-

korn sollte ein Drittel der kleinsten Bauteilabmessung nicht übersteigen.

Anmachwasser

Das Anmachwasser muss frei von schädlichen Beimengungen (organische, aber auch Sulfate und Chloride) sein.

Beton

Die Zusammensetzung des Betons ist unter Berücksichtigung der gewünschten Verarbeitungskonsistenz (erdfeucht, steifplastisch oder plastisch) mit Vorversuchen zu erproben. Vorteilhaft sind ein geringer Zementgehalt (bei Konstruktionsbeton mindestens 250 kg PC pro m³) und ein niedriger Wassers-Zementfaktor (W/Z kleiner als 0,5). Durch Beimengung eines Hochleistungsverflüssigers kann der W/Z-Faktor auf Werte um 0,4 gesenkt werden. Die Mischdauer von 90 Sekunden ist unter allen Umständen einzuhalten.

Die Klassifizierung des Betons erfolgt aufgrund seiner Druckfestigkeit im Alter von 7 oder 28 Tagen. Bei kontrollierter Betonherstellung im Fertigbetonwerk liegt die massgebende 5%-Fraktile der Druckfestigkeit im allgemeinen um 10 N/mm² unter dem Mittelwert. Zur Abgeltung von Verarbeitungsfehlern ist es üblich, die Rechenfestigkeit des Betons auf zwei Drittel der 5%-Fraktile abzumindern. B 40/30 bedeutet beispielsweise: Mittelwert der Druckfestigkeit 40 N/mm², 5%-Fraktile 30 N/mm² und Rechenwert 20 N/mm², wobei die Zugfestigkeit näherungsweise $\sqrt{20/10} = 1,4$ N/mm² beträgt.

Bewehrungsstahl

In der Schweiz sind drei Sorten von Bewehrungsstahl gebräuchlich:

- glatter Rundstahl S 235: Durchmesser 5 bis 20 mm,
- naturharter oder kaltverfestigter Rippenstahl S 500: Durchmesser 8 bis 50 mm und
- geschweißte Bewehrungsnetze S 550: Durchmesser 3 bis 12 mm.

Die Rechenwerte der Fliessgrenzen entsprechen den 5%-Fraktilen der Versuchsergebnisse.

Spannstahl

Höchstwertiger Spannstahl wird in zwei Sorten verwendet:

- Stabstahl S 1030 und S 1230: Durchmesser 26 bis 36 mm
- gezogener Draht (auch als sieben-drähtige Litzen) vom S 1570 für Durchmesser 9 bis 12 mm bis zum S 1860 für Durchmesser 3 mm.

Bemessung

Bemessungsphilosophie

Grundsätzlich muss das erstellte Betonbauwerk – sei es nun unbewehrt, schlaff bewehrt oder/und vorgespannt – den Ansprüchen des Bestellers genügen. Dabei sollte die Querschnittsbemessung so erfolgen, dass das Gleichgewicht der äusseren und inneren Kräfte auch ohne Zuhilfenahme der Zugfestigkeit des Betons erreicht wird. Im allgemeinen müssen folgende Nachweise geführt werden:

- auf Tragfähigkeit,
- auf Gebrauchsfähigkeit und
- auf Ermüdung (nur bei dynamischer Beanspruchung) oder eventuell Erdbeben.

Tragfähigkeitsnachweis

Der Tragfähigkeitsnachweis ist erbracht, wenn die mit den Lastbeiwerten vergrösserten Einwirkungen ohne Zwängungen kleiner oder höchstens gleich gross sind wie die durch den Widerstandsbeiwert $\gamma_R = 1,2$ (dieser Wert gilt nur für Betonbauten) verkleinerten plastischen Widerstände des Tragwerks. Der Nachweis darf sowohl mit theoretischen Modellen als auch mit Modellversuchen und in-situ-Messungen geführt werden.

Die Mindestbewehrung beträgt in Haupttragrichtung 0,15% des Betonquerschnitts, in Querrichtung 0,1% und bei Stützen 0,6 %.

Gebrauchsfähigkeit

Die Dauerhaftigkeit der Betonbauten kann durch nicht zu knappe Abmessungen, durch eine ausreichende Betonüberdeckung der Bewehrung und vor allem durch eine sorgfältige Bauausführung gewährleistet werden.

Die langfristigen Verformungen von Betonbauten infolge von Schwinden (lastfreie Volumenverkleinerung durch Austrocknen) und Kriechen (Zunahme der lastabhängigen Verformung mit der Zeit) des Betons sind unter Berücksichtigung allfälliger Schnittkraftumlagerungen durch Rissbildung stets im elastischen Zustand nachzuweisen.

Der Elastizitätsmodul beträgt für die üblichen Betongüteklassen näherungsweise das 800- bis 1000fache der Druckfestigkeit. Zum Nachweis der Kriechverformungen darf der Kriechmodul des Betons vereinfachend zu einem Drittel des Elastizitätsmoduls angenommen werden.

Das Schwindmass des bewehrten Betons darf näherungsweise einer Abkühl-

lung des Betons um 20 ° bis 30 ° Celsius gleichgesetzt werden. Die Wärmedehnzahl des Betons liegt je nach Zuschlagstoff zwischen 6 und 13.10⁻⁶ (im Mittel bei 10.10⁻⁶).

Besonders verformungsweich sind nur einseitig bewehrte Bauteile, wie Platten und Plattenbalken, sowie torsionsbeanspruchte Tragelemente und sehr schlanken Stützen unter Dauerlasten.

Ermüdung

Die Ermüdungsfestigkeit von Beton ist mittelspannungsabhängig. In Funktion des Spannungsverhältnisses $\kappa = \sigma_{\max}/\sigma_{\min}$ beträgt die ertragbare Oberspannung $\sigma_{\max} = \sigma_U + \kappa(R_c - \sigma_U)$.

Die Ermüdungsfestigkeiten von Bewehrungs- und Spannstahl sind als Folge der vorhandenen grossen Kerben in Form der Oberflächenprofilierung (Rippen) und der Spanngliedanker näherungsweise mittelspannungsunabhängig. Die ertragbare Spannungsspannungsamplitude $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ ist eine Funktion der Lastspielzahl.

Erdbeben

Die massgebenden dynamischen Festigkeiten von Beton und Stahl steigen bei so hohen Dehngeschwindigkeiten, wie sie bei Erdbeben vorkommen, um mindestens die Hälfte der statischen Festigkeiten an. Die Lastspielzahlen sind jedoch so klein, dass noch keine Abminderung infolge Ermüdung zu beachten ist.

Spannbeton

Die Wahl des Vorspanngrades (voll oder teilweise) ist auf die Beanspruchung abzustimmen. Stark frequentierte Eisenbahnbrücken sollten im Gebrauchszustand keine Zugspannungen aufweisen, die über der sehr kleinen Zugfestigkeit des Betons liegen. Hochbelastete Träger im Hochbau werden vorgespannt, um ihre Durchbiegungen in Grenzen zu halten. Bei ihnen wird es genügen, einen Teil der Tragfähigkeit mit Spannstahl zu gewährleisten. Strassenbrücken liegen zwischen den vorgenannten Extremfällen.

Die Abminderung der Vorspannung durch Reibung des Spannglieds im Hüllrohr, durch Relaxation des Spannstahls sowie durch Schwinden und Kriechen des Betons ist beim Gebrauchsfähigkeitsnachweis zu berücksichtigen. Sie liegt in der Grössenordnung von 15%.