Bauen mit Beton heute

Autor(en): **Spadini, Sandro**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 22

PDF erstellt am: **15.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85736

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Bauen mit Beton heute

Der «Jahrhundert-Baustoff» Beton wird in der Öffentlichkeit mehr und mehr in Frage gestellt. An der Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken wird gezweifelt. Mängel und Schäden können nicht bestritten werden. Haben wir beim Umgang mit dem Baustoff Beton Fehler gemacht? Wir alle am Bau Beteiligten sind angesprochen: Architekten, Ingenieure, Bauunternehmer, Lieferanten und Bauherren.

VON SANDRO SPADINI, ZÜRICH

Eine für die Bundesrepublik Deutschland durchgeführte Untersuchung über die Ursache von Bauschäden hat die in Bild 1 dargestellten Resultate ergeben. Die Zahlen dürften für betonspezifische Schäden in der Schweiz kaum wesentlich anders sein.

Etwa zwei Drittel der Schäden sind somit auf Fehler bei der Projektierung und Ausführung zurückzuführen. Die unbestritten starke Zunahme der Luftschadstoffe wird leider allzuoft als Ausrede für fehlerhafte Projektierung und mangelhafte Ausführung herangezogen. Privatdozent und Adjunkt der Schweizer Materialprüfungsanstalt Bruno Zschokke hat bereits vor 70 Jahren (!) in seinem bemerkenswerten Artikel «Über das Rosten der Eiseneinlagen im Eisenbeton» auf einige Dauerhaftigkeitsprobleme hingewiesen [2]. So zum Beispiel auf die Notwendigkeit eines genügenden Zementgehaltes wegen des korrosionsschützenden Kalkhydrats und wegen der Dichtigkeit, auf eine genügende Armierungsüberdekkung wegen der Karbonatisierung oder auf den geschwächten Korrosionsschutz als Folge von Rissen.

Beton ist mit Abstand der am meisten verwendete Baustoff und wird es auch künftig bleiben. Beton weist eine Reihe bemerkenswert guter Eigenschaften auf: Er ist wirtschaftlich, kann am Ort gegossen oder in einem Werk zu Fertigteilen verarbeitet werden. Er ist vielseitig anwendbar, lässt sich fast beliebig formen, und seine Oberflächen können verschiedenartig ausgebildet werden. Die Betonbauwerke können zahlreichen Einwirkungen ausgesetzt sein: Statische und dynamische Lasten, mechanische Angriffe, Temperaturänderungen, Feuer, Feuchtigkeit, chemische Angriffe zum Beispiel in Form von Tausalz oder Luftschadstoffen usw. Dank seiner hohen Widerstandsfähigkeit können mit dem Baustoff Beton dauerhafte Bauwerke erstellt werden. Die spezifischen Besonderheiten des Baustoffes und der Bauweise müssen allerdings, wie bei anderen Materialien auch, beachtet werden. Materialgerechtes Bauen ist erforderlich.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich vor allem auf den Hochbau. Auf die spezifischen Probleme anderer Gebiete, zum Beispiel des Brückenbaues, wird bewusst nicht eingegangen.

Entwurf

Beim Entwurf ist nebst statischen, wirtschaftlichen, gestalterischen und funktionellen Gesichtspunkten auch die Dauerhaftigkeit zu beachten.

Die *Bauteilabmessungen* sind unter Berücksichtigung der Ausführungstoleranzen so festzulegen, dass die angestrebte Qualität erreicht werden kann. Filigrane Bauteile sind zu vermeiden (Bild 2).

Für Aussenbauteile werden die folgenden Mindestabmessungen empfohlen:

Wände d ≧ 20 cm
(von der Höhe abhängig)

Stützen d ≧ 20×20 cm
(von der Höhe abhängig)

Brüstungen, Stürze d ≧ 18 cm
(wenn beidseitig armiert)

Bei einfachen *Bauteilformen* ist das Risiko von Ausführungsfehlern geringer. Die Bauteile sind so zu gestalten, dass Wasser abfliessen oder abtropfen kann (geneigte Oberflächen, Hohlkehlen, Wassernasen). Die Konstruktionen sind wenn möglich *zwängungsfrei* oder *zwängungsarm* auszubilden: Spezielle Lagerung, Dilatationsfugen, Schwindfugen.

Konstruktion

Durch eine gute konstruktive Ausbildung sollen die Beanspruchungen reduziert werden.

Armierungsüberdeckungen

Mindestwerte der Überdeckung nach SIA 162 E (1987)

- Bauteile, die der Witterung und anderen schädlichen Einwirkungen dauernd entzogen sind ü ≧ 20 mm
- In allen übrigen Fällen:
  bei geschalten Flächen ü ≧ 30 mm
  bei ungeschalten Flächen (Oberflächen) ü ≧ 35 mm

Die Mindestüberdeckung der Armierungen bei Witterungseinfluss ist in den Schweizer Betonvorschriften laufend erhöht worden [3].

1909: keine Angaben, 1915 (SBB): 10 mm, 1935 (SIA): 15 mm, 1956 (SIA): 20 mm, 1968 (SIA): 25 mm, 1987 E (SIA): 30 mm.

Bild 1. Ursachen für Mängel und Schäden an Bauten in der Bundesrepublik Deutschland [Ref. 1]

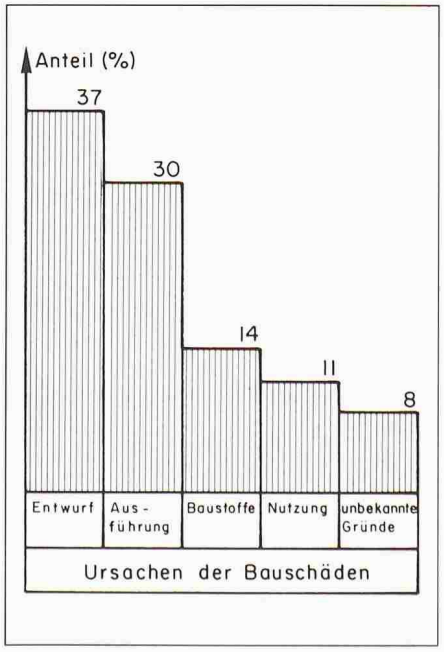
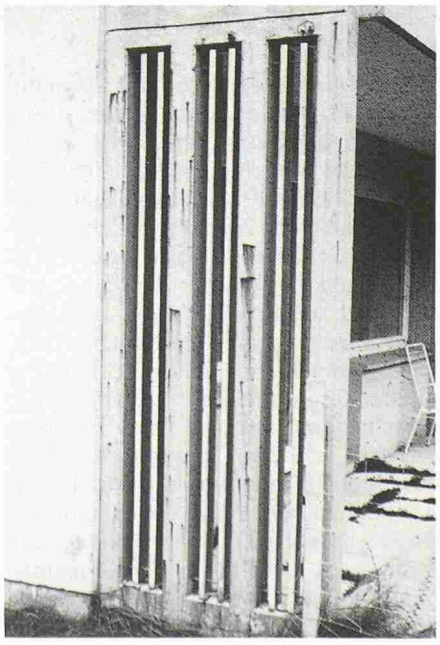


Bild 2. Stützenquerschnitte 12×12 cm, Baujahr 1964.



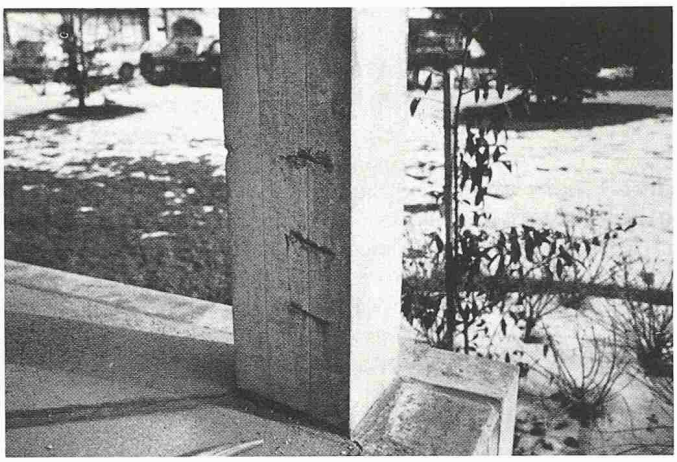


Bild 3. Der Armierungskorb hat sich schräg gestellt, Baujahr: 1970

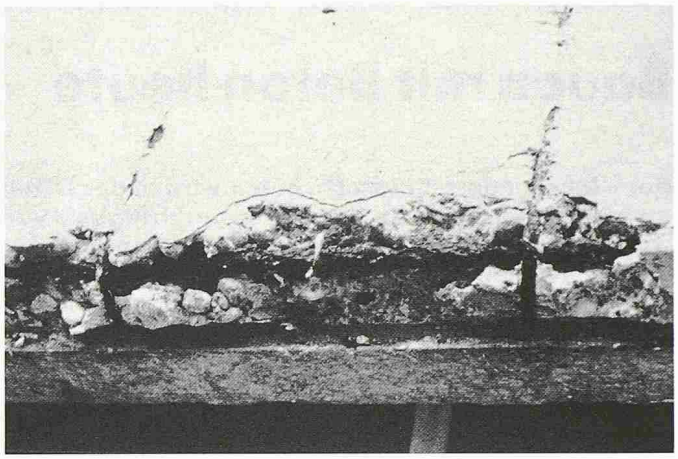


Bild 4. Fenstersturz mit ungenau abgebogenen Passeisen; Verdichtungsmängel infolge zu dünnem Querschnitt; Bügel im Bereich der Wassernase ohne Überdeckung, Baujahr 1973

Die Mindestwerte müssen am *Bauwerk* eingehalten sein. Um die Bautoleranzen (Schalungen, Abbiegen der Armierungen) abzudecken, sind in der Statik und Konstruktion (Armierungsplan bzw. -liste) *Vorhaltemasse* zu berücksichtigen:

- je nach Bauteilabmessungen (hohe Wände und Stützen > v)
- je nach Armierungs-∅ (dünne Stäbe > v).

Es empfiehlt sich ein Vorhaltemass von v = 5 bis 10 mm. Die Mindestüberdeckungen gelten auch für Montageeisen.

Abstandshalter

Mittels einer genügenden Zahl von Distanzhaltern und Betonklötzchen ist die Überdeckung der Armierungen in der Schalung sicherzustellen.

Bei Aussenbauteilen und Sichtbetonwänden sind zur Sicherstellung der Armierungsüberdeckung zementgebundene Abstandshalter zu verwenden (bessere Haftung, gleiche Wärmedehnung, Aussehen).

Armierungen

Das *Armierungsgeflecht* soll so stabil hergestellt werden, dass es sich durch das Einbringen und Verdichten des Betons nicht verschieben kann (Bild 3). *Bindedrähte* sind zurückzubiegen. *Passeisen* sind wenn immer möglich zu vermeiden. Senkrecht zu einer Aussenfläche liegende stumpfe Armierungsenden sind ungeschickt. Eine klare Bewehrungsanordnung ist anzustreben. Die geometrische Verträglichkeit bei ineinandergreifenden Armierungen verschiedener Bauteile ist zu beachten (vielfach nicht auf dem gleichen Plan dargestellt!). *Bewehrungskonzentrationen* sind zu vermeiden (Überlappungsstösse beachten). Vibrierlücken von mindestens 8 cm Breite sind einzuplanen und in die Armierungspläne einzuzeichnen.

Schalungen und Einlagen

Bei *Schalungseinlagen* (Arbeitsfugen, Wassernasen) darf die Mindestüberdekkung der Armierung nicht unterschritten werden (Bild 4). Scharfe *Betonkanten* sind ungünstig, da sie häufig schon während der Bauzeit beschädigt werden und damit die Überdeckung der Armierung geschwächt wird. *Ankerplatten*, zum Beispiel für das Anschlagen von Fassadenelementen, Türzargen oder Geländern, sollten wenn möglich so angeordnet werden, dass sie nicht der Witterung ausgesetzt sind. Andernfalls ist auf einen dauerhaften Korrosionsschutz zu achten.

Bemessung

Mit einer korrekten Bemessung ist sicherzustellen, dass ein Bauwerk entsprechend den äusseren Einwirkungen für die vorgesehene Dauer einen genügenden Tragwiderstand aufweist und gebrauchsfähig bleibt.

Wenn die Gebrauchstauglichkeit nicht beachtet wird, so zum Beispiel die *Verformungen*, kann die Dauerhaftigkeit infolge starker Rissbildung geschwächt werden (Bild 5).

Eine häufige Ursache für Dauerhaftigkeitsprobleme sind die sogenannten *Schwindrisse*. Mit Schwindarmierungen von 0,1 bis 0,2% des Betonquerschnittes können Aussenbauteile aber nicht dauerhaft bemessen werden.

Massnahmen zur Begrenzung der Rissweiten

- Vorspannung
- Aufgezwungene oder behinderte Verformungen durch konstruktive Massnahmen begrenzen (Lagerung, Dilatationsfugen)
- Begrenzung der Rissbreiten durch entsprechend bemessene schlaffe Bewehrung
- Betontechnologische Massnahmen (Reduktion W/Z-Faktor, Mehlkorngehaltbegrenzung)
- Ausführungstechnische Massnahmen (Betonieretappen, -grössen, -reihenfolge, Schwindfugen, Nachbehandlung).

Die Auswirkungen von Rissen sind unter Berücksichtigung der vorhandenen Einwirkungen hinsichtlich Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und Aussehen zu beurteilen. Aufgrund der sich daraus ergebenden Anforderungen ist die *Mindestbewehrung* zu bemessen. Kleinere Stababstände sind optimaler. Das Entstehen von über den Armierungen verlaufenden *Längsrissen* (Setzen des Betons, Verbundstörungen) ist vor allem zu verhindern (kleiner W/Z-Faktor, geringe Betoniergeschwindigkeit, gutes Verdichten, kein Vibrieren der Armierungen).

Betontechnologie

Mittels betontechnologischer Massnahmen, abgestimmt auf die spezifischen Verhältnisse und Anforderungen, können die Frisch- und Festbetoneigenschaften derart optimiert werden, dass qualitativ hochwertige, dauerhafte Betonbauten entstehen.

Die Zusammensetzung des Betons beeinflusst den Korrosionsschutz der Bewehrung in entscheidendem Masse. Die wesentlichen Einflussfaktoren sind dabei: die Zementart, der Zementgehalt, der Wasserzementwert (W/Z-Faktor), der Zuschlag, die Zusatzstoffe und Zusatzmittel.

Zement

Der Zement im Beton muss insbesondere vier Anforderungen erfüllen, nämlich:

Bild 5. Verformungsriss im Übergang Stütze–Decke. Spannweite l = 13,2 m; Deckenstärke d = 35 cm ≙ 1/38; Durchbiegung δ = 50 mm ≙ 1/270. Baujahr 1966

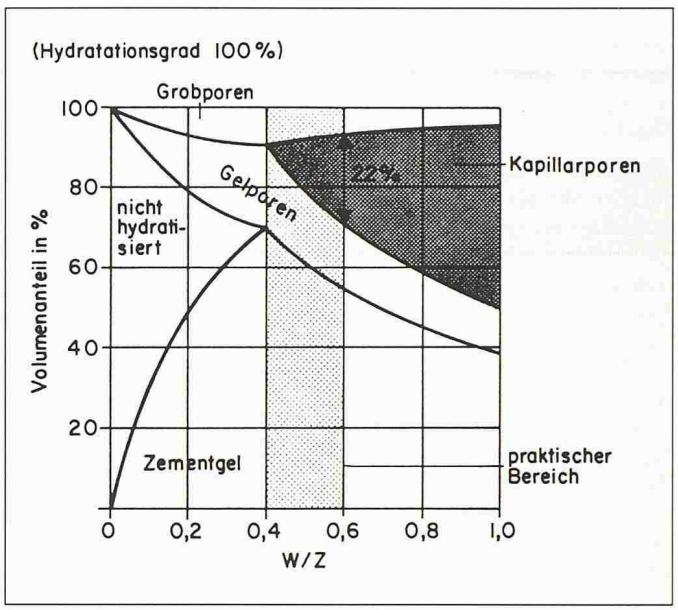


Bild 6. Porosität des Zementsteins in Abhängigkeit vom Wasserzementwert [4]

- Hochfestes Verkleben der Zuschlagkörner
- Ausfüllen der zuvor mit Wasser gefüllten Poren durch Hydratationsprodukte
- Ergänzen der Kornzusammensetzung des Zuschlags im Feinstbereich zur Minderung des Wasseranspruchs und zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit
- Schaffung eines hochalkalischen Milieus im Beton als Korrosionsschutz des Bewehrungsstahls.

Die Norm SIA 162 setzt die Verwendung von *Portlandzement* voraus. Für der Witterung ausgesetzte Bauteile ist ein Mindestgehalt von Z = 300 kg/m³ zu empfehlen.

Der Baustoff Beton wird vielfach immer noch ausschliesslich nach seiner Druckfestigkeit definiert und beurteilt. Andere Eigenschaften, wie zum Beispiel die Frostsicherheit oder Wasserdichtigkeit, können mindestens gleich wichtig sein. Die Dauerhaftigkeit einer Betonkonstruktion hängt in hohem Masse von der *Dichtigkeit* des Betons an seiner Oberfläche ab. Der Korrosionsschutz der einbetonierten Armierungen wird damit nicht nur durch das Mass, sondern durch die *Qualität der Überdeckung* sichergestellt. Massgebend für die Dichtigkeit ist die Porosität des Zementsteins. Diese hängt vor allem vom *Wasserzementwert* ab. Von praktischer Bedeutung für die Dichtigkeit ist dabei der Anteil der Kapillarporen, der durch den W/Z-Faktor beeinflusst wird (Bild 6).

Ein wasser- und gasdichter Beton kann damit nur mit einem niedrigen Wasserzementwert erzielt werden (Bild 7).

Zuschlag

Folgende Anforderungen an das Kies-Sand-Gemisch sind zu beachten:

- Kontinuierliche Siebkurve mit geringer Streuung
- Mehlkorngehalt (Zement + Feinanteile ∅ < 0,10 mm) > 350 kg/m³ Übermass an Sand ∅ < 4 mm sowie Brechsand vermeiden
- Korndurchmesser abgestimmt auf Bauteilform, -abmessung und Armierungsabstände; maximal ein Viertel bis ein Fünftel der kleinsten Bauteilabmessung, bzw. 32 mm
- Frostbeständigkeit.

Zusatzmittel

Die Eigenschaften eines zweckmässig zusammengesetzten Frischbetons können durch Zusatzmittel gezielt verbessert werden. Die Verwendung von Zusatzmitteln ist aber rechtzeitig einzuplanen und unbedingt durch Vorversuche abzuklären. Speziell zu beachten sind:

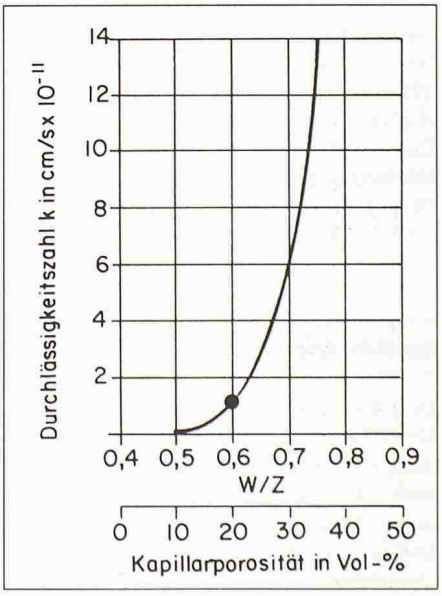
- Vorschriften des Herstellers hinsichtlich Dosierung, Kombinationen verschiedener Mittel, Mischdauer
- Zeitlich beschränkte Wirkung
- Auswirkungen von Unter- oder Überdosierungen inklusive allenfalls zu ergreifender Massnahmen
- Allfällige ungünstige Veränderung anderer relevanter Betoneigenschaften.

Durch die Verwendung von *Betonverflüssiger* können der Wasserzementwert und die Konsistenz unabhängig voneinander derart optimiert werden, dass sowohl die Anforderungen hinsichtlich Dichtigkeit als auch jene hinsichtlich Verarbeitbarkeit erfüllt werden. Die Dosierung ist von der Siebkurve, dem gewünschten W/Z-Faktor und vom Produkt abhängig. Anzustreben ist ein Ausbreitmass von a = 45 ± 3 cm, was einer Konsistenz K3 bzw. KR entspricht [6]. Die genauen Spezifikationen inklusive allfällige Toleranzen sind im Leistungsverzeichnis und auf den Plänen vollständig aufzuführen.

Zusatzstoffe

Frisch- und Festbetoneigenschaften können durch die Beigabe von hydraulischem Kalk, Flugasche oder Filler entsprechend den spezifischen Anforderungen verbessert werden. Weil unsere Kies-Sande gewaschen werden, fehlt im allgemeinen der notwendige Mehlkornanteil. Frischbeton mit ungenügendem Mehlkorngehalt hat ein geringeres Wasserrückhaltevermögen und neigt daher beim Transport und Einbringen zum Wasserabscheiden und Entmischen. Allerdings gilt es auch zu beachten, dass sich mit zunehmendem Mehlkorngehalt der Wasseranspruch erhöht und damit einige Betoneigenschaften nachteilig verändert werden

Bild 7. Durchlässigkeit von Beton in Abhängigkeit vom Wasserzementwert [5]



(Dichtigkeit, Festigkeit, Schwinden und Kriechen). Durch die Beigabe von *hydraulischem Kalk* (25 bis 50 kg/m³) wird die Verarbeitbarkeit des Frischbetons beträchtlich verbessert.

Flugasche wird als Zementersatz verwendet. Bei gleichbleibenden Verarbeitungseigenschaften kann der Wassergehalt reduziert werden, womit die Dichtigkeit verbessert wird. Neben einer Verminderung der Gesamtporosität ist auch eine Verschiebung hin zu kleineren Poren festzustellen. Diesem Vorteil stehen allerdings auch zwei Nachteile gegenüber. Da bei derartigem Beton die Hydratation langsamer erfolgt, ist eine längere Nachbehandlung unbedingt erforderlich. Zudem weist dieser Beton eine geringere Alkalireserve auf, womit wiederum der Korrosionsschutz der Armierung verschlechtert wird. Bei Bauteilen mit erhöhten Anforderungen hinsichtlich Dauerhaftigkeit soll *Flugasche nicht als Zementersatz* verwendet werden.

Bei der *Planung der Betonzusammensetzung* sind insbesondere die folgenden Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- Äussere Einwirkungen auf das Bauwerk und sich daraus ergebende Anforderungen
- Form, Abmessungen, Armierungen des Bauteils
- Art des Einbringens und Verarbeitens (Kran, Pumpen, Gleiten)
- Ort der Herstellung (Werk, Baustelle) und Art des Transportes
- Witterung.

Die Anforderungen hinsichtlich Betonzusammensetzung sind im Sinne von Massnahmen zur *Qualitätssicherung* während der Ausführung zu überprüfen. Auf vielen Baustellen beschränkt sich die Qualitätskontrolle auf die Prüfung der Druckfestigkeit an Probewürfeln. Die Resultate liegen erst Tage oder Wochen nach der Erstellung eines Bauteiles vor. Eine Einflussnahme ist damit gar nicht mehr möglich. Zudem ist die Druckfestigkeit als Mass für die Beurteilung der Dauerhaftigkeit kaum geeignet. Bei Bauteilen mit erhöhten Anforderungen sind zur Sicherstellung der Betonqualität *Vorversuche und Frischbetonkontrollen* unbedingt notwendig.

Ausführung

Die Ausführung hat entsprechend den Vorgaben in den für diese Arbeiten relevanten Dokumenten zu erfolgen: Normen, Vorschriften, Leistungsverzeichnisse, Pläne, Listen usw. Vorgegebene Sollwerte sind zu erfüllen, Fehlstellen zu vermeiden.

Betonherstellung

Qualitativ hochwertiger Beton kann auf der Baustelle oder auch in einem Werk hergestellt werden. Beim *Baustellenbeton* ist die Qualität in erster Linie abhängig vom Können und der Zuverlässigkeit des Maschinisten sowie der Funktionstüchtigkeit der maschinellen Einrichtungen. Die Dosieranlagen sollen periodisch, mindestens aber nach jeder Montage, überprüft werden. Beim *Werks- oder Transportbeton* kommen organisatorische und administrative Probleme sowie nicht voraussehbare oder beeinflussbare Schwierigkeiten (Verkehrsstaus, Kapazitätsengpässe des Werkes) hinzu, die Ursachen von Qualitätsmängeln sein können.

Wie die Erfahrungen zeigen, können im Winter die geforderten, minimalen Frischbetontemperaturen praktisch nur beim Werksbeton eingehalten werden. Je nach Betonzusammensetzung und Transportdauer ist mit dem Werk ein Konsistenz-Vorhaltemass abzusprechen.

Mischdauer

Im allgemeinen wird die notwendige *Mischdauer*, d.h. die Zeitspanne des Mischens nach der Zugabe der letzten Komponente, von mindenstens einer Minute nicht eingehalten, was eine Verschlechterung von Qualität und Verarbeitbarkeit zur Folge hat.

Verarbeitung

Der Beton soll raschmöglichst verarbeitet werden, auf jeden Fall bevor er ansteift. Folgende *Verarbeitungszeiten* nach der Herstellung bzw. Anlieferung (Wasserbeigabe) sind zu beachten:

- trockenes, normales Wetter: ½ Std.
- feuchtes, kühles Wetter: 1 Std.

Bei der Verwendung von Erstarrungsverzögerern ist eine Planung des Betoniervorganges unabdingbare Voraussetzung. In Zeiten extremer Witterungsverhältnisse ist die *Frischbetontemperatur* zu überwachen. 5 °C. < T_B < 30 °C. Der Beton soll in gleichmässigen, horizontalen Schichten von etwa 50 cm eingebaut werden. Bei grossen Betonierhöhen, engen Schalungen oder hohem Bewehrungsgrad besteht die Gefahr von *Entmischungen. Kies- und Sandnester* sind Fehlstellen, wo der Korrosionsschutz der Armierungen nicht gewährleistet ist. In solchen Fällen werden die Nester jeweils freigespitzt und mit Zementmörtel geflickt. Bei Bauteilen, die der Witterung ausgesetzt sind, ist dies jedoch keine dauerhafte Sanierungsmassnahme. Mittels Einbauöffnungen, Vibrierlücken, Betonierfenstern, Trichterrohren sowie durch betontechnologische Massnahmen (kontinuierliche Kornabstufung im Sandbereich, optimaler Mehlkorngehalt) oder eventuell durch Mörtelvorlagen können Entmischungserscheinungen verhindert werden.

Verdichten

Damit die geforderten Festbetoneigenschaften sicher erreicht und die Armierungseisen dicht umhüllt werden, muss der Beton vollständig verdichtet werden. Dies ist dann der Fall, wenn der Beton sich nicht mehr setzt, die Oberfläche geschlossen ist und beim Vibrieren nur noch vereinzelt Luftblasen austreten. Bei schwer zugänglichen Stellen ist besondere Sorgfalt erforderlich, wie etwa im Bereich von Aussparungen, dichter Bewehrung oder entlang der Schalungen. Beim Einbringen des Betons in Schichten ist auf eine genügende Verzahnung derselben zu achten.

Nachbehandlung

Gemäss SIA 162 E (1987) ist der Beton so rasch als möglich bis zum Zeitpunkt genügender Festigkeit gegen Auswaschen, vorzeitiges Austrocknen durch Sonnenbestrahlung oder Wind, gegen Frost, starke Temperaturwechsel und schädliche Erschütterungen zu schützen. Es sind Massnahmen zu treffen, um den Beginn des Schwindens so lange zu verzögern, bis der Beton eine genügende Zugfestigkeit erreicht hat.

Die Dauerhaftigkeit des Betons, insbesondere im Oberflächenbereich, kann durch eine gute Nachbehandlung entscheidend verbessert werden. Ein wesentlicher Teil der Nachbehandlung ist der Schutz vor dem Austrocknen. Wird dem Oberflächenbeton Wasser entzogen, kommt es zu *Hydratationsmängeln* oder gar zu *Schrumpfrissen* (Bild 8).

Die Art und Dauer der Nachbehandlung richtet sich nach den folgenden Gegebenheiten:

- Anforderungen, speziell hinsichtlich Wasserdichtigkeit und Dauerhaftigkeit
- Witterungsbedingungen (relative Luftfeuchte, Temperatur, Wind, Sonneneinstrahlung)
- Betonzusammensetzung und -temperatur
- Bauteilart und -abmessungen, Oberflächenbeschaffenheit.

Nachbehandlungsarten

Die wirksamste Art der Nachbehandlung ist die Lagerung unter Wasser, was jedoch nur in Ausnahmefällen möglich ist. Die folgenden praktisch ausführbaren Massnahmen können empfohlen werden, und zwar in der Reihenfolge abnehmender Wirksamkeit:

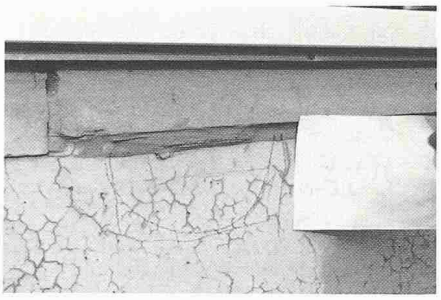
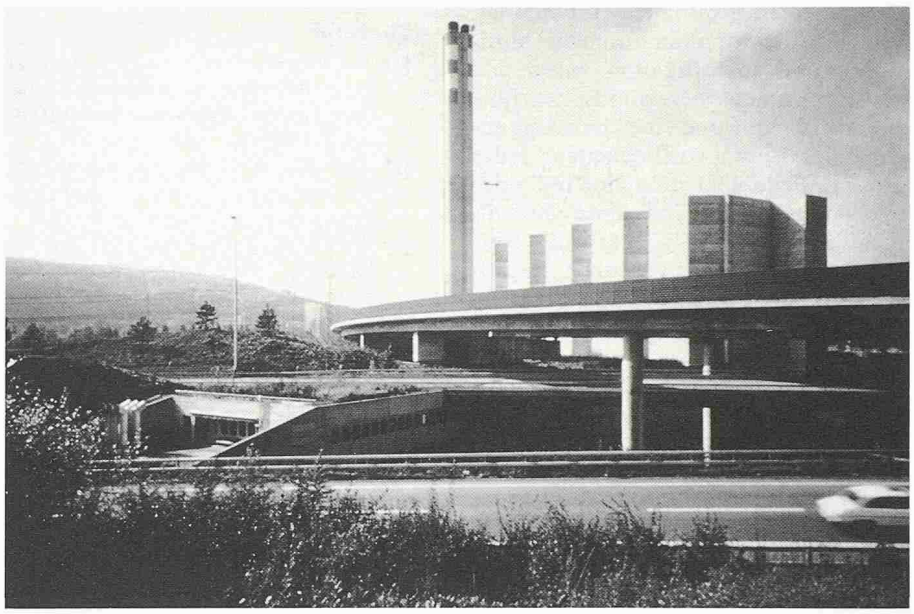


Bild 8. Schrumpfrisse in einer Brüstung, Baujahr 1972.



(Bild 9. Autobahndreieck und Heizkraftwerk Aubrugg, Zürich)

- Bauteile in der Schalung belassen. Saugende Schalungen sind dabei feucht zu halten.
- Abdecken mit Isolationsmatten. Die Abgabe von Feuchtigkeit und Hydratationswärme wird behindert; Schutz vor Sonneneinstrahlung. Bei Wänden sind die Matten mit Kanthölzern so zu fixieren, dass eine Durchlüftung zwischen Beton und Matten verhindert wird.
- Abdecken mit Folien (Bauplastik).
- Aufbringen von wasserhaltenden Abdeckungen (Jute, Sand). Diese sind ständig feucht zu halten.
- Aufsprühen eines flüssigen Filmes oder einer Folie. Wirksam sind nur Mittel, die zum Beispiel bei einer Horizontalfläche sofort nach dem Abziehen des Betons aufgebracht werden können.
- Besprühen mit Wasser. Voraussetzung ist allerdings ein kontinuierliches, flächendeckendes Besprühen, da sonst diese Massnahme wegen des Abschreckeffekts nachteilig wirkt.

Nachbehandlungsdauer

Die Nachbehandlungsdauer ist in erster Linie von der Festigkeitsentwicklung und den Witterungsbedingungen abhängig. Sie kann in Anlehnung an [7] gemäss Tabelle 2 festgelegt werden. Nachbehandlungsmassnahmen sind rechtzeitig zu planen, im Leistungsverzeichnis speziell auszuschreiben und zu entschädigen. Sie sind in den Plänen zu spezifizieren. Allfällige Erschwernisse und Verzögerungen für den Arbeitsfortschritt auf der Baustelle müssen zugunsten der verbesserten Qualität in Kauf genommen werden.

Schalungen

Die Schalungen sollen dicht, ausreichend stabil und masshaltig sein. Verunreinigungen aller Art (Holzreste!), Wasserlachen, unkorrekte Anwendung des Schalungsöls, Kanthölzer, die als Distanzhalter einbetoniert werden (!), beeinträchtigen die Dauerhaftigkeit und das Aussehen. Die *Ausschalfristen* richten sich nach den Anforderungen hinsichtlich statisch erforderlicher Betonfestigkeit und den anschliessend vorgesehenen Nachbehandlungsmassnahmen.

Arbeitsfugen

Arbeitsfugen sind eine Schwächung des monolithischen Querschnittes und sollten auf ein Minimum reduziert werden. Sie sollen insbesondere geplant und nicht einfach dem Zufall überlassen werden. Sie sind an Stellen geringer statischer Beanspruchung anzuordnen und senkrecht zur Armierung zu legen. Bei erhöhten Anforderungen müssen Arbeitsfugen abgeschalt werden, damit der Beton richtig verdichtet werden kann. Zur Herstellung eines möglichst guten Verbundes sind die Zuschlagkörner mittels eines Oberflächenverzögerers freizulegen. Vor dem Anbetonieren ist der ältere Beton im Bereich der Arbeitsfuge feucht zu halten. Er darf beim Anbetonieren allerdings nicht nass sein.

Schutzmassnahmen und Unterhalt

Bei speziellen Verhältnissen genügen die voranstehend behandelten Massnahmen in Entwurf, Konstruktion, Bemessung, Betontechnologie und Ausführung zur Erzielung eines dauerhaften Betons nicht. *Erhöhte Anforderungen* an die Beständigkeit von Betonbauten können zum Beispiel gegeben sein durch:

- Chemische Einwirkungen aus der Umwelt (Luft, Boden, Wasser) oder aus der Nutzung (Feststoffe, Flüssigkeiten, Gase)
- Physikalische Einwirkungen aus der Umwelt oder aus der Nutzung (Temperaturen, Kriechströme usw.)
- Mechanische Einwirkungen aus der Nutzung (Abrieb, Schläge usw.).

In solchen Situationen sind spezielle *Schutzmassnahmen* erforderlich, zum Beispiel:

- Vakuumbehandlung
- Anstriche, Beschichtungen, Überzüge, Beläge (Erneuerungen beachten!)
- Spezialzemente, Faserzugabe, Kunststoffzusätze
- Erhöhte Armierungsüberdeckungen (Massnahmen zur Verhinderung von Oberflächenrissen beachten!)
- Beschichtete Bewehrungsstähle oder Spezialstähle.

Bauwerke, die starken Einwirkungen ausgesetzt sind, müssen zur Erhaltung von Tragsicherheit, Gebrauchsfähigkeit und Bausubstanz *regelmässig überprüft* werden. Dies ermöglicht eine rechtzeitige Planung und Durchführung von gezielten *Unterhaltsmassnahmen.* Im Rahmen der vom Projektverfasser auszuarbeitenden Nutzungs- und Sicherheitspläne sind Kontroll- und Unterhaltsmassnahmen festzulegen.

Schlussbemerkungen

Die Ursachen von Schäden und Mängeln an unseren Betonbauwerken sind weitgehend bekannt. Aus den gemachten Fehlern können wir lernen und die Erfahrungen in ein qualitätsbewusstes Bauen umsetzen. Zur Schaffung dauerhafter und unterhaltsarmer Bauwerke bedarf es einer Vielzahl von Massnah-

men bei allen Beteiligten. Hervorzuheben sind hier vor allem: Eine auf Motivation und Identifikation basierende gute Zusammenarbeit vom Entwurf bis zur Ausführung und eine klare Abgrenzung der Verantwortlichkeiten. Jedes grössere Bauobjekt stellt eine individuelle Aufgabe dar und kann deshalb nicht kochrezeptartig bearbeitet werden. Interdisziplinäres Denken, Kreativität und persönliches Engagement jedes Beteiligten sind erforderlich.

Auf das Bauvorhaben abgestimmte Qualitätssicherungs-Massnahmen in der Projektierung und Ausführung sind systematisch einzuplanen und durchzusetzen. Die technische Bauleitung für die Tragkonstruktionen sollte dabei dem Fachmann, d.h. dem Bauingenieur übertragen werden. Termin- und Kostendruck bei den Unternehmern und Honorardruck bei den Projektierenden sind eine schlechte Basis für qualitativ hochwertige Leistungen. Das Billigste ist auch hier auf die Dauer nicht das Günstigste.

Sorgen wir also dafür, dass jene, welche die Dauerhaftigkeit der Betonbauten hinterfragen, eine klare Antwort bekommen werden. Freuen wir uns auf interessante und schöne Bauten mit dem Jahrhundert-Baustoff Beton (Bild 9)

Adresse des Verfassers: *S. Spadini*, dipl. Bauing. ETH/SIA, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstrasse 395, 8029 Zürich.

Literatur

[1] *Roosmalen:* Ursachen für Mängel beim Bauen in verschiedenen Ländern Europas, Beton- und Stahlbetonbau 5/1985

[2] *Zschokke B.:* Über das Rosten der Eiseneinlagen im Eisenbeton, Schweizerische Bauzeitung 24/1916

[3] *Trüb U.A.:* Zehn Regeln für den Erhalt von dauerhaftem Beton, Cementbulletin 1/1986

[4] *Czernin W.:* Zementchemie für Bauingenieure, Bauverlag, Wiesbaden-Berlin, 1977

[5] *Concrete Manual*, U.S. Department of the Interior, Government Printing Office, Washington, 1975

[6] *Lewandowski R.:* Zur Einführung der Regelkonsistenz, Betonwerk + Fertigteil-Technik 2/1984

[7] *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:* Richtlinien zur Nachbehandlung von Beton, DS - Der Sachverständige 11/1984

Schockbelastung von plastisch deformierenden Schutzraum-Einbauteilen

VON ERWIN KESSLER, TUTTWIL

Im folgenden wird auf einen grundlegenden Fehler im Beitrag von Daniel Schuler im SI+A Heft 37/1987 «Plastische Formänderungsenergie duktiler Biegeträger unter stossartiger Belastung» hingewiesen und gezeigt, wie Schockbelastungen physikalisch korrekt ermittelt werden.

Phänomenologie der Schockbelastung

Unter der Wirkung einer Bombenexplosion wird ein Schutzbauwerk ruckartig verschoben: Typischerweise während etwa 10 Millisekunden erfährt das Schutzbauwerk eine hohe Beschleunigung. Einbauteile im Innern, welche mit dem Bauwerk fest verankert sind, werden dadurch ebenfalls beschleunigt. Durch diese Beschleunigung - welche ein Mehrfaches der Erdbeschleunigung beträgt - ergeben sich Trägheitskräfte, welche zu hohen Beanspruchungen der Einbauteile führen können. Wird die Material-Fliessgrenze duktiler Einbauteile überschritten, dann werden die Trägheitskräfte entsprechend der Fliesslast begrenzt, dafür treten aber plastische Deformationen auf.

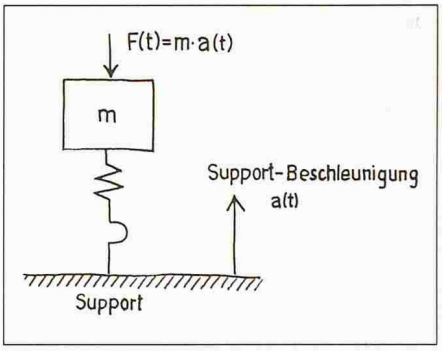
Die Beschleunigung des ganzen Schutzbauwerkes, d.h. die sogenannte Starrkörperbeschleunigung, ist nicht die einzige Ursache für solche Schockbelastungen: Ein Einbauteil, das z.B. an einer Aussenwand befestigt wird, ist zusätzlich der dynamischen Bewegung der Wand ausgesetzt. Schutzbauten werden in der Regel so bemessen, dass sie unter Nennbelastung beträchtlich inelastisch deformiert werden. Diese inelastischen Deformationen ergeben für die gesamte Schockbelastung der Einbauteile einen Beitrag, welcher den Starrkörper-Anteil in vielen Fällen übersteigt.

Für plastisch deformierbare Einbauteile können die auch noch vorhandenen starken elastischen Schwingungen des Schutzbauwerkes in erster Näherung vernachlässigt werden, da ihr energetischer Beitrag eher klein ist (sie sind dagegen wegen der hohen Beschleunigungsspitzen wichtig für spröde Einbauteile).

Berechnung der Schockbelastung

Wegen der Vernachlässigbarkeit der elastischen Schwingungen für duktile Objekte lassen sich diese mit einer stark vereinfachten, pulsförmig idealisierten Schockbelastungsfunktion behandeln. Einfache Berechnungsverfahren sind z.B. im klassischen Buch von Biggs [1] beschrieben.

Nach der Theorie der Relativbewegung - auf die hier nicht näher eingegangen wird (vgl. Lehrbücher der Mechanik) - kann die Wirkung einer Schockbelastung (= Support-Bewegung) durch eine äquivalente äussere Belastung ersetzt werden. Im Fall eines einfachen (elastoplastischen) Schwingers ergibt sich folgendes:



Betrachten wir zum Beispiel einen rechteckförmigen Beschleunigungspuls $a(t) = a_{max} = 16\,g$ während 10 ms. Die Supportbewegung erreicht dann gerade eine maximale Geschwindigkeit $v_{max} = 1{,}6$ ms. Es sei $m = 100$ kg und die Deformations-Charakteristik bilinear ideal-elastoplastisch. Dann besteht die dynamische äquivalente äussere Belastung aus einem Rechteck-Kraftstoss $F = F_{max} = 16\,g \cdot 100\,kg = 16\,kN$. Die bleibende plastische Deformation unter dieser Belastung hängt ab von der Eigenfrequenz und der Fliessgrenze und kann in so einfachen Fällen wie in diesem Beispiel aus Diagrammen entnommen werden [1].

Warnung vor Energiemethode auf falscher Grundlage

In der Fachzeitschrift «Schweizer Ingenieur und Architekt» 37/87 vom 10. September 1987 wurde von Daniel Schuler ein Aufsatz unter dem Titel