

Beton mit hoher Leistungsfähigkeit

Autor(en): **Meyer, Bruno**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **58-59 (1990-1991)**

Heft 24

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153763>

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.

CEMENTBULLETIN

DEZEMBER 1991

JAHRGANG 59

NUMMER 24

Beton mit hoher Leistungsfähigkeit

Nutzenorientierter Baustoff. Leistungsfähigkeit und Konstruktion. Zweckmässige Zusammensetzung der Komponenten.

Unter der *Leistungsfähigkeit* eines Betons sei die Gesamtheit seiner Gebrauchseigenschaften verstanden. Sie zeigt sich dann, wenn Beton praktisch hergestellt und genutzt wird. Um sie beurteilen zu können, müssen zuvor die Herstellungsbedingungen und die künftige Nutzung festgelegt sein. Wie üblich, sei hier mit Beton der Baustoff aus Zementstein und Zuschlag bezeichnet, wobei der Zementstein im frischen Zustand ein Zementleim aus Zement, Wasser und eventuellen weiteren Komponenten ist. Die jeweilige Zusammensetzung basiert auf einem Mischungsentwurf.

Baustoff am Nutzen orientieren

Als *Baustoff* hat Beton technische, wirtschaftliche und ästhetische Eigenschaften, deren Gesamtheit die Qualität bildet. Leistungsfähigkeit umfasst vorab die technisch-wirtschaftlichen Aspekte. Bei Sichtflächen sollte sie Voraussetzung sein für ein befriedigendes Aussehen. Sie wird massgebend, wenn man sie infolge technisch-wirtschaftlichem Druck anheben will. Weil Beton unter Baustellenbedingungen entsteht, sind Bauherr, Ingenieur, Unternehmer und Materiallieferant an der Leistungsfähigkeit bzw. an deren Steigerung beteiligt. Gleichzeitig bestimmen sie auch die Betonqualität. Bauherr

2 und Ingenieur formulieren das Bauvorhaben in Projektierung und Ausschreibung, während der Unternehmer ein Werk anbietet. Jeder von ihnen hat eigene Ansprüche, die sich teils widersprechen. Im Einzelfall ist es Aufgabe der Projektierung, mit ihrem Entwurf solche Widersprüche auszugleichen. Die Leistungsfähigkeit von Beton ist dabei nur ein Teil. Sobald sie massgebend wird, muss man sich über die Baustoffeigenschaften eingehender Rechenschaft ablegen.

Kann man sich dabei weder auf die Normung noch auf eigene Erfahrungen abstützen, so erfordert dies im Fall von Beton eine zusätzliche Entwurfsarbeit, die vom Mischungsentwurf über Vorversuche bis zum Betonrezept reicht. Ob ein solcher Effort nun vom Bauherrn oder vom Unternehmer erbracht wird und ob sich daraus eine Steigerung der Leistungsfähigkeit ergibt, hängt von den *Zielen* ab, die man im Einzelfall verfolgt. Einerseits kann man ohne Kenntnis der Anforderungen kein zweckmässiges Rezept aufstellen, andererseits müssen auch die Anforderungen im Rahmen der technischen Möglichkeiten liegen.

Bei Bauwerksbeton ist es nicht möglich, die Leistungsfähigkeit vollumfänglich in Erfahrung zu bringen, weil man seinen praktischen Nutzen nicht jederzeit und nicht bis zur äussersten Grenze erprobt. Trotzdem will man das künftige Verhalten sowohl zum Zeitpunkt der Herstellung wie auch während des Gebrauchs voraussagen. Zur Kennzeichnung des Baustoffs ist man deshalb auch auf Merkmale angewiesen, die nicht anwendungsorientiert sind. Sie haben *nur beschreibende* Bedeutung. Sie sind von der momentanen Nutzung des konkreten Bauwerks losgelöst, werden aber so ausgewählt, dass sich zwischen ihnen und der Leistungsfähigkeit ein gesetzmässiger Zusammenhang ergibt. Ob eine bestimmte Eigenschaft zur Leistungsfähigkeit gehört oder bloss beschreibenden Charakter hat, hängt vom aktuellen Interesse ab. Zur Leistungsfähigkeit von Festbeton gehören beispielsweise seine Festigkeit und die besonderen Eigenschaften wie Wasserdichtigkeit, Frostbeständigkeit usw. Nur beschreibend hingegen sind in diesem Fall W/Z-Wert, Porosität, Zementgehalt, Kornabstufung usw. Aussagekräftige Zusammenhänge sind demzufolge die Beziehung von Festigkeit und W/Z-Wert oder von Frostbeständigkeit und Porosität, nicht aber jene von W/Z-Wert und Porosität.

Um den Bauablauf zu vereinfachen, wurden *Normen* geschaffen. Neben technischen Regeln und Begriffen enthalten sie auch Baustoffeigenschaften, die mittels Prüfmethode und Normpositionen präzisiert werden. Durch diese Rationalisierung kann man sich auf das Wesentliche des Einzelfalls beschränken, vorausgesetzt, dass man sich zuvor Rechenschaft über die Anwendbarkeit der jeweiligen Norm abgelegt hat. In der Praxis heisst das, dass man den Zusammenhang beachtet, in welchem die Normen ihre Gültigkeit haben, und dass man das Verhältnis der allgemeinen Aussage zum konkreten Problem beurteilt. Die Normen selbst sind keine fixen Grössen, sondern einem Wandel unterworfen. Ihre

3 Aussagen können ebenfalls in verschiedener Hinsicht aufgestellt werden, so auch bezüglich der Leistungsfähigkeit [1]. Die Leistungsfähigkeit ist also nicht nur ein Kriterium für Ausschreibungen in Vertragstexten, sondern auch für das Normenschaﬀen.

In der Praxis zählt man oft mehrere Leistungsfähigkeiten auf. Dies ist dort sinnvoll, wo verschiedene Betonarten hergestellt werden. Ein konkreter Beton hat nur eine Leistungsfähigkeit, da seine Eigenschaften zusammenhängen. Den Begriff der Leistungsfähigkeit kann man auch auf Bauteile, z. B. aus Stahlbeton, oder auf ganze Bauwerke beziehen. In diesem Fall meint man deren Wirtschaftlichkeit und Gebrauchstauglichkeit, enthaltend die Dauerhaftigkeit, Funktionstüchtigkeit und das Aussehen.

Wo beginnt die *hohe Leistungsfähigkeit*? – Sie beginnt dort, wo auch hohe Anforderungen gestellt werden, sei es in technischer oder wirtschaftlicher Hinsicht. Beton mit hoher Leistungsfähigkeit bezeichnet jene Mischungen, die noch nicht zur täglichen Routine gehören [2]. Breite Erfahrung und Normierung fehlen. Bei einem Projekt wird man sich zuerst über die massgebenden Kenngrössen verständigen, Vorversuche im Labor anordnen und Prototypen herstellen. Für die Ausführung kann man nicht auf ein eingespieltes Team zurückgreifen, sondern muss auch hier Erfahrungen mit Mannschaft und Geräten sammeln. Der Begriff wird also für jenen Beton gebraucht, wo mit jeder Spezifikation noch mehr oder weniger Entwicklungsarbeit geleistet wird [3].

Leistungsfähigkeit und Konstruktion

Eine *Konstruktion* muss tragsicher und gebrauchstauglich sein. Tragsicher heisst, dass die Konstruktion in einem Zustand des statischen Gleichgewichts ist und dass ihr Widerstand grösser ist als die Beanspruchung. Dieses Verhältnis lässt sich rechnerisch in mechanischen Grössen (Länge, Kraft) ausdrücken und ist normiert. Gebrauchstauglich ist eine Konstruktion, wenn ihr Verhalten innerhalb erwarteter Grenzen bleibt. Zu deren Beschreibung benützt man diverse Grössen. Solche Grenzen können als branchenüblich angenommen oder vertraglich vereinbart werden. Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit werden im Rahmen der Projektierung von einem Ingenieur nachgewiesen. Benötigt werden dazu ein Nutzungsplan und ein Sicherheitsplan, die ebenfalls während der Projektierung erarbeitet werden. Gelingen die Nachweise nicht, so muss der Konstrukteur sein Projekt abändern, wozu er mehrere Möglichkeiten hat:

- Tragsystem (Spannweiten, Versteifungen, Gelenke, Vorspannung, Verbund)
- Mehraufwand an Material (Querschnittabmessungen, Bewehrung)
- Materialeigenschaften (Baustoffwahl, Leistungsfähigkeit)

Ausserdem kann man bei der Gebrauchstauglichkeit nochmals auf den Nutzungsplan zurückkommen und die dort vertraglich vereinbarten Gren-

4 zen z. B. im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit modifizieren. Bei der Tragsicherheit hingegen sind keine Abstriche erlaubt.

Nachweise und Bemessung sind abhängig voneinander, was ein *iteratives Vorgehen* erfordert, bis die optimale Lösung gefunden ist. Als Spielraum wird üblicherweise der Materialaufwand oder das Tragsystem benützt. Eher ungewohnt sind Änderungen der einzelnen Materialeigenschaften und des Nutzungsplans, besonders wenn die Planung bereits weit fortgeschritten ist. Beim Material will man sich auf Kennwerte abstützen, die durch grosse Erfahrung erhärtet sind, weil oft sowohl die Bemessungsgrössen wie auch der Tragwiderstand von ihnen abhängen.

An *Betoneigenschaften* sind für den Konstrukteur vorab jene von Interesse, die das Tragverhalten bestimmen: Festigkeiten, Verformungen und Bruchmechanismus. Im besonderen sind dies Druck-, Zug- und Biegezugfestigkeit, E-Modul sowie Kriechen und Schwinden als Langzeitverhalten. Im Fall von Stahlbeton sind sie aber nur von indirekter Bedeutung, da primär das Verhalten der Gesamtkonstruktion massgebend ist. Wird also die Leistungsfähigkeit von Beton einseitig gesteigert, so heisst das noch nicht, dass im gleichen Masse auch das Tragverhalten verbessert wird. Andererseits wirken sich auch Fehler der Betontechnologie nicht katastrophal aus – ein Sachverhalt, der als «Gutmütigkeit des Betons» bezeichnet wird. Ein Konstrukteur ist deshalb nicht in erster Linie am Betonrezept interessiert. Er wird in dieser Meinung bestätigt, solange er das Tragverhalten nur unter dem Aspekt der Sicherheit beurteilt. Nun ist es aber so, dass eine Konstruktion nicht bloss tragende Funktion hat. Im Nutzungsplan gibt sich der Ingenieur Rechenschaft über *alle* Anforderungen, die an ein Bauwerk gestellt werden, und über die Massnahmen, um die Gebrauchstauglichkeit zu gewährleisten. Weil diese Massnahmen vor allem baustofftechnologischer Art sind [4], besteht zwischen der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks und der Leistungsfähigkeit des Betons ein direkter Zusammenhang. Man kann also ein Projekt von ungenügender Gebrauchstauglichkeit den Anforderungen anpassen, indem man primär die Leistungsfähigkeit des Betons steigert.

Zusammensetzung zweckmässig festlegen

Soll die Leistungsfähigkeit des Betons gesteigert werden, so trifft man *Massnahmen an der Zusammensetzung*. Deshalb sind immer mehrere Betoneigenschaften betroffen. Daraus resultieren folgende Tendenzen:

- höhere Festigkeit
- höherer E-Modul
- geringeres Kriechmass
- geringere Durchlässigkeit

Diese Faktoren können auch höhere Beständigkeit gegen Frost, Hitze, chemische Angriffe und Abrieb sowie geringere Rissbildung zur Folge

5 haben. Insgesamt steigt somit die Dauerhaftigkeit. Um diesen Vorgaben zu genügen, kann die Betonzusammensetzung wie folgt verändert werden:

- Reduktion des W/Z-Werts durch Reduktion des Anmachwassers und/oder Erhöhung der Zementmenge
- Ermittlung der günstigsten Siebkurve unter Beachtung der Feinstanteile (Sandqualität) und Reduktion des Grösstkorns
- Zugabe von Zusatzstoffen (Filler, Silikastaub usw.)

Nicht in jedem Fall verlaufen diese Tendenzen gleichsinnig. Erhöht man die Leistungsfähigkeit z.B. zwecks Frost-Tausalz-Beständigkeit mit Eintrag von Luftporen, so wird die Festigkeit abnehmen. Wesentlich aber ist, dass für Veränderungen alle Betonkomponenten in Betracht gezogen werden. Es ist also nicht so wie im einfachsten Fall, wo man sie als Vorgaben hinnimmt und daraus nur noch die benötigte Zementmenge ermittelt [5].

Über all diesen Massnahmen stehen die *Bedingungen der Ausführung*: Das Betonrezept muss auch auf die Verarbeitbarkeit des Frischbetons, auf das Ansteifen und evtl. auf Frühfestigkeit abgestimmt werden. Aus diesen Gründen ist es notwendig, obige Rezepturen je nach Bedarf mit Zusatzmitteln zu ergänzen. Abweichungen vom Betonrezept wirken sich bei hoher Leistungsfähigkeit stärker aus als bei üblichem Beton. Man braucht deshalb eine eingehendere Qualitätssicherung. Dies hat den Vorteil, dass die Streuung der Werte geringer ausfällt, was wiederum zu höherer Leistungsfähigkeit beiträgt. Genauere Messwerte dienen zudem der langfristigen Erfahrung, so dass momentane Misserfolge wirksam korrigiert werden können, statt dass sie als abschreckende Beispiele in Erinnerung bleiben. Zur Ausführung gehört auch der Kostenrahmen, sei er von den verfügbaren Mitteln oder von den Terminen vorgegeben.

Für die *Stahlbetonkonstruktion* bedeutet dies kleinere Verformungen bzw. die Möglichkeit zu geringeren Querschnittabmessungen. Risse treten dabei erst bei höherer Beanspruchung auf [6]. Die Duktilität ist nicht geringer, da sie nicht von den Betoneigenschaften, sondern vom Querschnitt des Stahlbetons abhängt [7]. Werden Materialmengen verglichen, so zählt nicht der Bewehrungsgehalt in %, sondern in t. Die reinen Betonkosten werden höher ausfallen, müssen aber im Rahmen des Bauwerks beurteilt werden.

Der Marktanteil von Beton hoher Leistungsfähigkeit ist derzeit noch gering. Trotzdem werden sich Investitionen in Ausbildung und Ausrüstung lohnen. Man arbeitet an den Grenzen des Möglichen und kann in Kenntnis dieser Grenzen auch mit dem üblichen Beton flexibler umgehen. Die Anwendung ist nicht auf die spektakulären Beispiele wie Hochhäuser und Türme beschränkt. Es ist anzunehmen, dass schon viele Einzelfälle mit gezielten Rezepturen gelöst worden sind und somit die Leistungsfähigkeit des Betons gesteigert haben.

6 Beton von hoher Leistungsfähigkeit ist ein Beitrag zur Gebrauchstauglichkeit der Bauwerke. Er kann als Einzelanfertigung wie ein Massan zug hergestellt oder als Sorten wie eine Konfektion angeboten werden. In beiden Fällen ist entscheidend, dass der Herstellung ein nutzenorientiertes Konzept zugrunde liegt.

*Bruno Meyer
dipl. Ing. ETH*

Literatur

- [1] *Wischers, G.* (1990): «Leistungsfähigkeit» als Kriterium für die Normung von Zement und Beton. *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, Heft 3, S. 51–60
- [2] Es ist zwar bereits üblich, von Hochleistungsbeton zu sprechen und ihn mit HLB abzukürzen. Doch wird immer auch betont, dass solche Mischungen noch nicht zum Alltag gehören. Im Französischen lauten die Bezeichnungen «bétons à hautes performances» (BHP) und im Englischen «High-Performance Concrete» (HPC). Diese Abkürzung ist nicht zu verwechseln mit jener für Hochwertigen Portlandzement (HPC).
- [3] *Carino, N.J.; Clifton, J.R.* (1991): High-Performance Concrete: Research Needs to Enhance its Use. *Concrete International*, Sept. 1991, p. 70–76
- [4] Norm SIA 160 (1989): Einwirkungen auf Tragwerke. Zürich: Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein
- [5] TFB Wildegg (1980): Gezielte Betonmischung. *Cementbulletin* Nr. 5
- [6] *Charif, H.* (1991): Réduction des déformations grâce aux bétons à hautes performances. Doc SIA D 068, Zurich: Société suisse des ingénieurs et des architectes, p. 29–39
- [7] *Jaccoud, J.-P.* (1991): Dimensionnement des structures en bétons à hautes performances. Doc SIA D 068, Zurich: SIA, p. 41–50

TFB

Zu jeder weiteren Auskunft steht zur Verfügung die
TECHNISCHE FORSCHUNGS- UND BERATUNGSSTELLE
DER SCHWEIZERISCHEN ZEMENTINDUSTRIE
Postfach
Lindenstrasse 10 5103 Wildegg Telefon 064 57 72 72
Telefax 064 53 16 27