Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 10 (1976)

Artikel: Beton hoher Grünstandfestigkeit für vorfabrizierte Bauteile

Autor: Dartsch, Bernhard

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-10476

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Beton hoher Grünstandfestigkeit für vorfabrizierte Bauteile

Concrete of High Strength in "Green" Condition for Precast Concrete Products

Béton à haute résistance au décoffrage immédiat pour éléments préfabriqués

BERNHARD DARTSCH
Dipl. Ing.
Verein Deutscher Ingenieure VDI
Düsseldorf, BRD

1. Einführung

Für die Herstellung von Betonfertigteilen werden oft frühhochfeste Betone bevorzugt, weil sie u.a. eine schnelle Wiederverwendung der Schalung zulassen. Nachteilig ist in diesen Fällen oft der zusätzliche wirtschaftliche Aufwand sowie auch ein erhöhtes betontechnisches Risiko in bezug auf Rißbildung, Ausblühungen usw. In vielen Fällen könnte statt eines frühhochfesten Betons ein Beton besonders hoher Grünstandfestigkeit die erwünschte wirtschaftliche Fertigung ermöglichen.

Mit Grünstandfestigkeit bezeichnet man die Festigkeit, die ein nach besonderen Regeln zusammengesetzter Beton unmittelbar nach dem Einbringen, Verdichten und Entformen aufweist /1/. Ein geeigneter Beton kann also nach dem Betonieren und Verdichten sogleich entschalt und die Schalung sofort wieder verwendet werden.

Weitere Vorteile dieses Verfahrens sind die in der Zusammensetzung des Betons begründete hohe Stapel-, Transport- und Einbaufestigkeit derartiger Bauteile nach bereits kurzer Zeit, ohne daß besondere Einrichtungen nötig würden.

Nachteilig steht einer breiten Verwendung dieser Technik entgegen, daß die mit den üblichen betontechnischen Mitteln erreichbare Grünstandfestigkeit recht klein ist und zudem empfindlich auf Streuungen in der Betonzusammensetzung reagiert. Die Anwendung beschränkt sich daher zur Zeit auf kleine oder besonders standfeste Fertigteile wie Steine oder Rohre.

2. Eigenschaften und Prüfverfahren

In Tabelle 1 sind Anhaltswerte zu den Eigenschaften von Beton hoher Grünstandfestigkeit zusammengestellt.

Der Begriff "Grünstandfestigkeit" wird in der Tabelle nicht genannt, sondern ist dort durch den Begriff "Druckfestigkeit" ersetzt, die im allgemeinen an frisch ausgeschalten Würfeln mit 20 cm Kantenlänge bestimmt wird, wobei seit der Wasserzugabe im Mischer im allgemeinen mindestens 20 Minuten vergangen sind. Die Übertragung der Druckfestigkeitsprüfung des Festbetons auf den "grünen" Beton ist nicht problemlos: Wichtig für den Formling ist weniger die Bruchfestigkeit als die Belastung, die noch ohne nennenswerte Verformung aufgenommen werden kann. Bei den Bemühungen um die Verbesserung der Grünstandfestigkeit darf dies nicht außer acht gelassen werden.

Tabelle 1 Anhaltswerte für die Eigenschaften von Beton hoher Grünstandfestigkeit (nach versch. Quellen)

		Betonalter						
		"grün"					1 d	28 d
		1 h	2 h	4 h	8 h	16 h	24 h	
Druckfestigkeit	N/mm²	0,1 - 0,5	0,2 - 0,6	0,3 - 0,8	0,5 - 2,0	5 - 10	10 - 35	50 - 70
	%				0,05- 1,0	10 - 30	30 - 50	100
Zugfestigkeit	%				0,05- 1,0	10 - 30	30 - 50	100
E-Modul	1000 N/mm²			<0,5	3 - 5	10 - 15	10 - 20	25 - 35
	%			bis 2	10 - 15	40 - 50	60 - 70	100
Bruchstauchung	‰	>20	>20	>15	~ 8	~ 3	~ 3	~ 2
Bruchdehnung	‰	> 2	0,5 - 1,0	0,1 - 0,6	0,1	> 2	> 2	> 2

3. Verbesserung der Grünstandfestigkeit durch Faserzugabe

Die Wirkung einer Zugabe von kurzgeschnittenen Fasern in die Mischung auf die Betoneigenschaften ist in zahlreichen Arbeiten untersucht worden, u.a. in /2/ bis /6/. Die Möglichkeiten, die sich in Hinblick auf die Verbesserung der Grünstandfestigkeit von Beton ergeben, wurden bisher aber kaum beachtet. Im Forschungsinstitut der Zementindustrie in Düsseldorf, Bundesrepublik Deutschland, wurden daher auf Anregung des Verfassers einige Versuche durchgeführt, in denen die Erhöhung der Grünstandfestigkeit von Beton durch Zugabe von handelsüblichen Kunststoff-, Glas- und Stahlfasern beobachtet werden konnte.*)

3.1. Wirkung einer Faserbewehrung im Beton

Im Gegensatz zu der üblichen Bewehrung im Stahlbetonbau sind bei einer Bewehrung aus kurzen Fasern, die dem Beton beim Mischen zugegeben wurden, die Bewehrungselemente weder in Kraftrichtung ausgerichtet noch in der Zugzone konzentriert. In Verbindung mit den kurzen Einbindelängen ergibt sich so ein "Wirkungsgrad", der etwa bei 1/10 dessen einer üblichen Stabstahlbewehrung liegt. Die möglichen Verbesserungen der Eigenschaften des erhärteten Betons sind daher - und die zahlreichen veröffentlichten Versuche (/2/ bis /5/) haben das auch bestätigt - sehr gering.

---

*) Der Verfasser dankt seinem damaligen Direktor, dem Leiter dieses Instituts, Herrn Prof. Dr. Ing. G. Wischers, für die Unterstützung und das Interesse an dieser Frage und für die freundliche Genehmigung, Einzelheiten aus diesem Versuchsprogramm hier zu veröffentlichen.

Im frischen Beton liegen andere Verhältnisse vor. Ein wichtiges Kriterium für die Wirksamkeit einer Bewehrung ist das Verhältnis der Elastizitätsmoduln von Bewehrung und Matrix. Beim "grünen" und auch beim jungen Beton ist dieses Verhältnis günstiger als im Festbeton. Im "grünen" Beton wirken selbst relativ weiche Fasern aus Kunststoff als steife Einschlüsse und werden entsprechend zum Tragen herangezogen.

Die Haftung der Fasern in der Matrix ist eine weitere wichtige Einflußgröße für die Wirkung einer Faserbewehrung. Fasern mit großer Oberfläche und wassersaugende Fasern sind in dieser Beziehung günstiger, Stahlfasern ungünstig. Diese bieten aber Vorteile durch ihre Eigensteifigkeit und insbesondere durch ihr günstiges Tragverhalten im erhärteten Beton.

3.2. Einige Angaben zur Herstellung und Prüfung

Ausgangsstoffe: Als Ausgangsstoffe kommen die üblichen Ausgangsstoffe für Beton hoher Grünstandfestigkeit infrage. Es können alle handelsüblichen Fasern eingesetzt werden, d.h. insbesondere Kunststoff-, Glas- und Stahlfasern. Bei Tastversuchen wurden rd. 30 mm lange Fasern verwendet.

Mischungsverhältnis: Das Mischungsverhältnis entspricht weitgehend dem eines üblichen Betons hoher Grünstandfestigkeit. Bei den Versuchen wurde ein Zementgehalt von rd. 350 kg/m³ und ein Zuschlaggemisch mit einer Kornzusammensetzung in der Mitte zwischen den Sieblinien A 16 und B 16 gewählt. Bei Zugabe von Stahlfasern brauchte das Mischungsverhältnis des Ausgangsbetons nicht geändert zu werden: Kunststoff- und vor allem Glasfasern haben jedoch eine große Oberfläche und erfordern daher die Zugabe von Zementleim, wenn eine vergleichbare Verarbeitbarkeit der Mischung und gleiche Festigkeiten des erhärteten Betons sichergestellt werden sollen. Die Faserzugabe zur Erhöhung der Grünstandfestigkeit kann sehr gering sein, oft unter 1 Vol.-%.

Herstellen: Die Fasern wurden von Hand gleichmäßig innerhalb 1 Minute in den laufenden Mischer gegeben. - Die Stahlfasern kamen nach Zugabe aller Mischungsbestandteile in den Mischer. Bei Einsatz von Kunststoff- und Glasfasern wurden erst Zement, Wasser und die mittleren Kornfraktionen vorgemischt, dann die Fasern und anschließend die restlichen Kornfraktionen zugegeben.

Verdichten: Faserbewehrter Beton verhält sich auch bei einer geringen Faserzugabe etwas anders als Beton ohne Faserzugabe, dies ist auf das große Auflockerungsvermögen des Betons infolge der Fasern zurückzuführen. Bei den Versuchen war der Verdichtungswiderstand und damit die erforderliche Verdichtungsenergie der Faserbetonmischungen aber praktisch nicht höher als bei den Nullmischungen. Die Beurteilung des Verdichtungswiderstandes erfolgte dabei nach dem in /7/ beschriebenen modifizierten Verdichtungsversuch, der sich eng an den Verdichtungsversuch nach DIN 1048 anlehnt.

Prüfen: Das Prüfen der Festigkeit an grünem Beton kann wegen der geringen Festigkeiten nicht streng nach DIN 1048 bzw. einem anderen genormten Verfahren zur Bestimmung der Druckfestigkeit des Festbetons erfolgen. Bei den Tastversuchen erwies sich folgende Verfahrensweise als praktikabel:

Die Probekörper wurden wie folgt in die Prüfpresse eingebaut: Der Boden der Form wurde entfernt, dann der Prüfkörper in die Prüfpresse gestellt und dort die Seitenwände eingeschalt. Dieses

Verfahren ist auch bei Würfeln mit 30 cm Kantenlänge und bei Zylindern 15/30 durchführbar.

Die Probekörper wurden mit einer Belastungsgeschwindigkeit von etwa 0,1 kp/cm²sec geprüft, so daß nach rd. 30 sec der Bruch eintrat. Diese Prüfung fand im allgemeinen rd. 30 min nach der Wasserzugabe in den Mischer statt.

Im Bild 1 sind die gemessenen Festigkeiten von faserbewehrtem Beton in Relation zum Nullbeton hoher Grünstandfestigkeit dargestellt.

Tastversuche mit Dauerbelastungen von rd. 50% der jeweiligen Bruchlast zeigten, daß die erhöhten Gründruckfestigkeiten auch weitgehend ausgenutzt werden können: Die Verformungen waren optisch nicht wahrnehmbar und kamen nach rd. 10 min praktisch zum Stillstand.

Die Verbesserungen der Eigenschaften des grünen Betons durch eine Faserzugabe beschränken sich nicht nur auf die Festigkeit. Das Bruchverhalten wird ebenfalls verbessert. Ein Beton ohne Faserzugabe zerfällt nach dem Bruch, ein Beton mit Faserzugabe behält trotz erheblicher Stauchung einen gewissen Zusammenhalt.

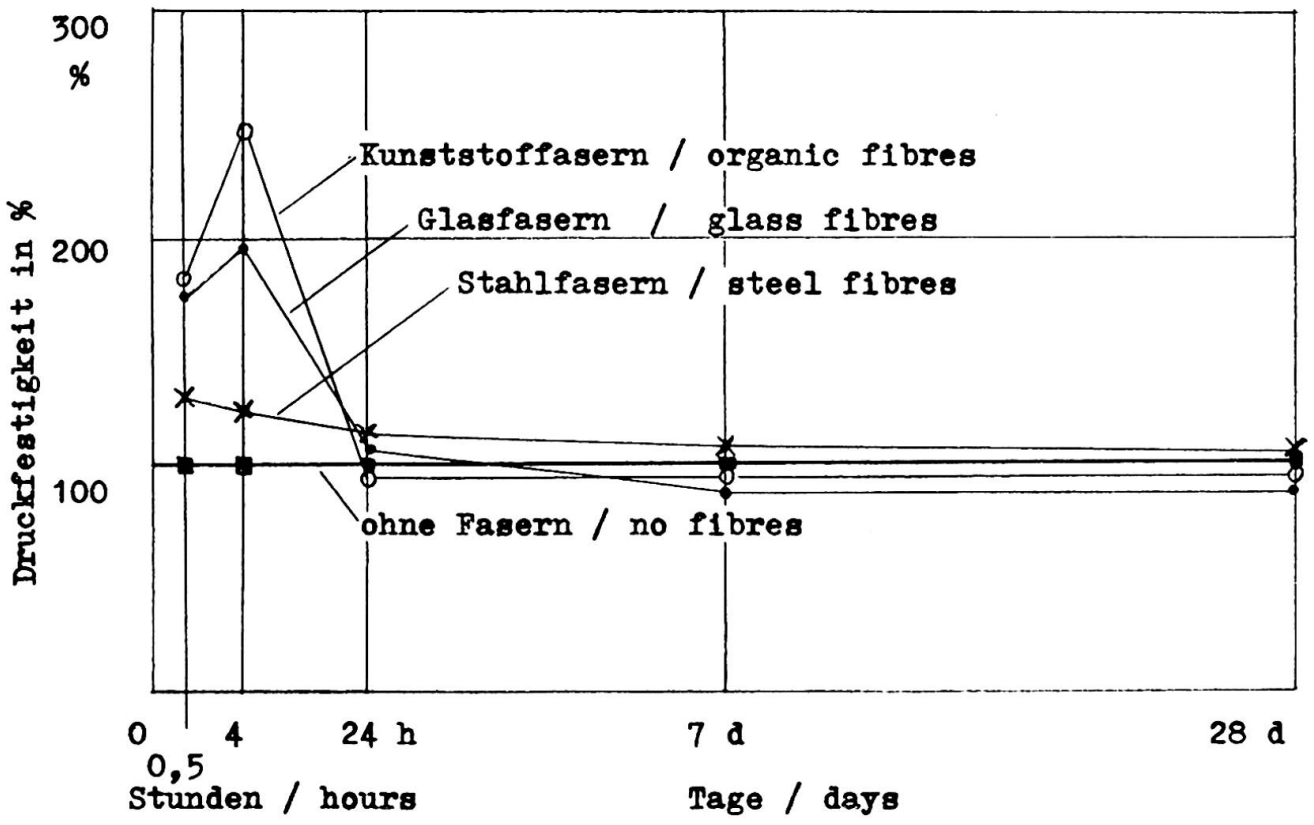

Bild 1: Erhöhung der Druckfestigkeit in jungem Alter von Beton hoher Grünstandfestigkeit durch Zugabe von 0,6 Vol-%Fasern. (Beton ohne Fasern: 100%)

Improving of the compressive strength in young age of concrete with high strength in "green" (freshly compacted) condition by addition of fibres (concrete without fibres: 100%)

Langzeitverhalten: Der Faserbewehrung wird im hier behandelten Anwendungsfall nur eine Aufgabe innerhalb der ersten Stunden nach der Herstellung zugewiesen. Tastversuche zum Langzeitverhalten zeigten, daß die Reaktion zwischen dem - sehr geringen - Anteil von Glasfasern und dem Beton zu keinen Schädigungen des Betons in höherem Alter führen, aber daß bei Stahlfaserbeton, der im Freien lagert, Rostflecken an der ungeschützten Oberfläche des Betons auftreten. Bei Einsatz von Kunststoffasern sind keine Auswirkungen auf das Langzeitverhalten zu erwarten, so daß allgemein gesagt werden kann, daß die gewählten niedrigen Faserzugaben, gleich welcher Art, keine nennenswerten nachteiligen Wirkungen auf die Tragfähigkeit des Betons erwarten lassen.

Zusammenstellung der Ergebnisse: Tabelle 2:

Unbewehrter und faserbewehrter Beton hoher Grünstandfestigkeit im Vergleich

Eigenschaft	Besonderheit des faserbewehrten Betons
Zusammensetzung	i.a.gleich; größere Variationsbreite; dichtes Gefüge eher erreichbar Faserzugabe bis etwa 1 Vol-%. praktisch alle Faserarten geeignet
Mischen	längere Mischzeit; aufwendigere Mischtechnik durch stufenweises Zugeben der Bestandteile. Geringerer Füllungsgrad des Mischers
Verdichten	aufwendiger; i.a. genügt eine etwas längere Rütteldauer
Stapeln und Transportieren	günstigeres Bruchverhalten günstigere Festigkeiten
Festigkeiten	Gründruckfestigkeit bis 250 % höher End-Druckfestigkeit praktisch gleich
Langzeitverhalten	i.a. keine negativen Wirkungen der Fasern
Gesundheitsschutz	Verletzungsgefahr bei Stahlfasern; Vorsicht bei Asbestfasern
Wirtschaftlichkeit	geringe Kostenerhöhung bei deutlich verbesserter Gründruckfestigkeit

4. Ausblick

Hohe Grünstandfestigkeiten werden beim Spritzbeton und der Fertigteilproduktion, beispielsweise der Rohrherstellung, verlangt. Eine besonders hohe Grünstandfestigkeit erlaubt die aufrechte Herstellung von schlanken - bewehrten oder unbewehrten - Fertigteilen, insbesonders dann, wenn diese einen komplizierten Querschnitt aufweisen und damit eine teure Schalung benötigen. Hier kann die Erhöhung der Grünstandfestigkeit durch Zugabe von geringen Mengen handelsüblicher Fasern in die Betonmischung zu wesentlichen technischen und wirtschaftlichen Vorteilen führen.

5. Literatur

/1/ Wierig, H.-J.: Eigenschaften von "grünem, jungem" Beton beton 18 (1968) H.3. S. 94/101

/2/ ACI-committee 544 : State-of-the-art-report on fiber reinforced concrete. ACI-Journal, Proc. V. 70 (1973) H. 11 , S. 729/744

/3/ Fibre reinforced concrete. ACI SP 44. Detroit 1974

/4/ Fibre-reinforced cement composites. Report produced by the materials technology division. Concrete society. Techn. Report No 51.067, London 1973

/5/ Wischers, G.: Faserbewehrter Beton. beton 24 (1974) H. 3,S. 95/99 und H. 4,S. 137/141

/6/ Romualdi, J.P., und G.B. Batson: Mechanics of crack arrest in concrete. Proc. ASCE 89 (1963), S. 147/168

/7/ Dartsch, B.: Zur Bestimmung von Verformungseigenschaften des Frischbetons. Determination of deformation properties of fresh concrete systems. La détermination des propriétés de déformation du béton frais. Materialprüfung - materials testing - materiaux, essais et recherches 17 (1975) H. 12, S. 434/439

ZUSAMMENFASSUNG

Fertigteile aus Beton hoher Grünstandfestigkeit können sofort nach dem Betonieren ausgeschalt werden. Versuche haben gezeigt, dass die Grünstandfestigkeit des Betons durch eine geringfügige Zugabe von kurzen handelsüblichen Fasern wesentlich verbessert, z.B. verdoppelt, wird. Nachteile für den erhärteten Beton sind bei richtiger Anwendung nicht zu befürchten, so dass dieser wirtschaftlichen Technik neue Anwendungsgebiete erschlossen werden.

SUMMARY

The formwork can be removed and re-used just after placing and compacting of the concrete, if this concrete is of high strength in "green" (freshly compacted) condition. Tests have shown, that a small addition of short fibers into the concrete mix will raise, e.g. double, the "green" strength without creating disadvantages in the hardened concrete. So the field of application of this economical technique can be extended.

RESUME

Les éléments préfabriqués en béton à haute résistance au coffrage immédiat peuvent être décoffrés immédiatement après le bétonnage. Des essais ont montré que par une faible addition de fibres courtes dans le mélange, la résistance d'un tel béton dans le stade frais compacté est considérablement améliorée, par ex. doublée. Lors d'un emploi correct il n'y a pas à craindre d'inconvénients pour le béton durci, de sorte que de nouveaux domaines d'utilisation s'ouvrent à cette technique économique.