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

Band: 10 (1976)

Artikel: Portlandzementklinker als Zuschlagstoff für hochfesten Beton

Autor: Dratva, Thomas / Gebauer, Juraj

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-10477

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: 04.12.2025

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

Portlandzementklinker als Zuschlagstoff für hochfesten Beton

Portland Cement Clinker as Aggregate for High-strength Concrete

Clinker de ciment Portland comme granulat pour béton à haute résistance

THOMAS DRATVA
Ingenieur

JURAJ GEBAUER
Dr.

"Holderbank" Management und Beratung AG
Holderbank, Schweiz

1. Einleitung

Die neusten Entwicklungen und Tendenzen des Spannbetons deuten darauf hin, dass in absehbarer Zeit mit einer Reihe von wirtschaftlich interessanten Anwendungsmöglichkeiten für Konstruktions-Betone mit Festigkeiten von 85 - 120 N/mm^2 zu rechnen ist (1) - (3). Da aber die heutige Betontechnologie kaum Betone mit Festigkeiten über 70 N/mm^2 herzustellen erlaubt (4), wird die Entwicklung eines neuen Betontyps - eines hochfesten Betons - unerlässlich.

Die Technologie und Herstellung hochfester Betone befinden sich - mit einigen Ausnahmen (5) - im Stadium der Laborentwicklung. Im Prinzip werden folgende Massnahmen zur Herstellung hochfester Betone als die wichtigsten angesehen:

- Erhöhung der Verbundfestigkeit zwischen Zementpaste und Zuschlagkorn;
- erhöhte, vollständigere Verdichtung;
- Konstruktionsmassnahmen, wie z. B. 3-axialer Spannungszustand;
- Imprägnierung des erhärteten Betons mit Monomeren und deren Polymerisation.

Die Verbundfestigkeit zwischen der Zementpaste und dem Zuschlagkorn wurde anhand von Untersuchungen (6) (7) als eine im wesentlichen physikalische Bindung angesehen. Eine Erhöhung dieser Haftfestigkeit durch chemische Bindung würde zweifelsohne zu einer markanten Erhöhung der Betonfestigkeiten führen. Als Beweis kann man die Festigkeiten um 120 N/mm^2 anführen, welche Rimmer bei Verwendung von Tonerdezement mit Zuschlagstoffen aus Tonerdezement-Klinker erzielt hat (5). Der breiteren Anwendung dieses hochfesten Betontyps stand das Problem der Zersetzung der Kalziumaluminathydrate im Wege.

Es ist anzunehmen, dass bei der Verwendung von reinen Portlandzement-Klinkern als Zuschlagstoffe die Verbundfestigkeit zwischen der Paste und dem

Portlandklinkerkorn durch die mögliche chemische Bindung bei der Hydratation von beiden Komponenten wesentlich erhöht wird (8). Die Erhöhung der Betonfestigkeiten kann weiter die hohe Eigenfestigkeit des Portlandklinkers (9) günstig beeinflussen.

Der Gegenstand der beschriebenen Untersuchungen war die Abklärung der wichtigsten Betoneigenschaften des Portlandzementklinker-Betons.

2. Materialien

Für die Vergleichsbetone aus natürlichem Zuschlag wurde gebrochener glacialer Kiessand aus dem Schweizer Mittelland (Reuss) als Gemisch von 8 Fraktionen mit 30 mm Grösstkorn verwendet. Als Klinkerzuschlag wurde bei allen Betonmischungen der Portlandklinker aus der laufenden Fabriksproduktion verwendet. Der Klinker wurde nach Entfernung der 30 mm überschreitenden Körner durch Siebung auf gleiche Kornfraktionen wie der natürliche Zuschlag geteilt. Ein Teil des Klinkers 0 - 30 mm wurde für eine Versuchsserie mit gebrochenem Klinker (Serie C) in einem Labor-Backenbrecher zerkleinert und dann wiederum durch Siebung fraktioniert. Die Sieblinie der Betonmischungen entsprach der Ideal-Linie nach Fuller.

Die chemische Zusammensetzung des Portlandklinkers geht aus Tabelle 1 hervor:

Tabelle 1. Chemische Zusammensetzung des Portlandklinkers

Fraktion	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	MgO	K_2O + Na_2O	CaO frei
0,5 - 1 mm	63,8	20,3	6,7	3,1	1,7	2,2	1,5	2,1
8 - 12 mm	64,8	21,2	5,9	2,8	1,3	2,3	1,2	1,2

Fraktion	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	Dichte g/cm^3
0,5 - 1 mm	47,9	20,1	12,5	9,4	3,13
8 - 12 mm	56,3	16,1	10,9	8,5	3,15

Um die Verarbeitbarkeit der Betonmischungen zu verbessern, wurde einigen Betonmischungen ein Verflüssiger (Melment L 10) zugegeben.

Für die Mörtelmischungen wurde ISO-Normensand aus Beckum (BRD) und ASTM-Quarzsand (Ottawa) verwendet.

3. Betonzusammensetzung und Versuchsbedingungen

Die Zusammensetzung der Betone und Mörtel ist aus der Tabelle 2 ersichtlich.

Tabelle 2. Zusammensetzung der Mischungen

Prüfserie	Mischung Nr.	Typ der Zuschlagstoffe	W/Z-Faktor	Gewichtsverhältnis Zement/Zuschlag	Max. Korn (mm)
A	1	natürlich	1,0	1 : 7	5
	2	natürlich + P-Klinker 0,15 - 0,50 mm	1,0	1 : 7	5
B	3	natürlich	0,34	1 : 3,6	30
	4	P-Klinker	0,40	1 : 3,8	30
	5	P-Klinker	0,42	1 : 3,7	16
	6	P-Klinker	0,43	1 : 3,7	8
C	7	P-Klinker gebrochen	0,41	1 : 3,7	16
	8	P-Klinker gebrochen	0,43	1 : 3,7	8

Serie A: Mit der Serie A wurde an Zementmörteln der Beitrag des feinen Portlandklinkers zur Hydratation und Festigkeitsentwicklung untersucht. Ausgehend von der Mörtelzusammensetzung nach ISO wurde eine Hälfte des Zementes bei der Mischung 1 durch Quarzsand 0,2 - 0,6 mm, bei der Mischung 2 durch Portlandklinker Fraktion 0,15 - 0,50 mm ersetzt.

Serie B: Die Betonmischungen der Serie B wurden auf der Basis gleicher Konsistenz bei gleichem Zementgehalt hergestellt. Unterschiede im Wasseranspruch der Zuschlagstoffe sind daher in den Resultaten automatisch berücksichtigt. Als Variable wurde das maximale Korn gewählt. Der Portlandklinker wurde bei dieser Serie nur ausgesiebt.

Serie C: Diese Serie besteht aus Betonen aus gebrochenem Portlandklinker. Alle anderen Bedingungen gleichen jenen der Serie B, so dass auch hier die Mischung 3 als Kontrollmischung dient.

Versuchsdurchführung: Die Mischungen wurden auf folgende Eigenschaften geprüft: Konsistenz, Druck- und Biegezugfestigkeit, E-Modul, Schwinden und Quellen (im Wasser), Kriechmass, Frost-Tau-Widerstand und Sulfatbeständigkeit. Als Prüfkörper wurden meistens Betonprismen nach Schweiz. Betonnorm SIA 162 und Mörtelprismen gemäss ISO-Vorschrift verwendet.

4. Resultate und Diskussion

Der Portlandklinker wurde mit den üblichen Methoden auf seine Eignung als Betonzuschlag geprüft. Die Oberflächenbeschaffenheit der Klinkerkörner ist im allgemeinen rauh; die meisten Körner weisen eine runde oder gedrungene Kornform auf. Die Korngrössenverteilung des Klinkers aus einem bestimmten Drehofen ist verhältnismässig konstant; Unterschiede zeigen sich beim Vergleich der Korngrössenverteilung von Klinkern aus verschiedenen Oefen. Die aus dem Ofen anfallende Korngrössenverteilung ist zur direkten Betonherstellung meistens nicht geeignet; um zu entsprechenden Sieblinien zu gelangen, ist der Klinker durch Sieben zu klassieren. Um Klinkerkörner mit schwacher Eigenfestigkeit zu eliminieren, kann der Klinker mit gewöhnlichen Brechmaschinen der Zuschlagstoffindustrie gebrochen werden. Da der klassierte und eventuell gebrochene Klinker trocken ist, kann man den W/Z-Faktor mit grosser Genauigkeit bestimmen. In der Tabelle 3 sind die wichtigsten Eigenschaften des für die Versuche verwendeten PC-Klinkers enthalten.

Tabelle 3. Eigenschaften des Portlandklinkers

	Dichte g/cm^3	Raumgewicht kg/m^3	Wasseraufnahme nach 24 Std. %
natürliche Zuschlagstoffe	2,65	1,96	0,34
Portland-Klinker	3,14	2,87	2,3 - 6,1

In Untersuchungen an Mörtel (Serie A) wurde der Einfluss der feinen Fraktion (0,15 - 0,50 mm) von Portland-Klinker auf die Hydratation geprüft. Die Resultate sind übersichtlich in Fig. 1 zusammengestellt. Die Beteiligung des Klinkers am Hydratationsprozess kommt in diesem mageren Mörtel gut zum Vorschein. Die Druckfestigkeit des Mörtels mit Klinker ist gegenüber dem Mörtel mit Quarz-Sand nach 28, resp. 90 Tagen um 52%, resp. 67% höher. Der Hydratationsgrad, ausgedrückt in Prozenten des gebundenen Wassers zeigt um 30 - 50 % höhere Werte beim Mörtel mit Klinker. Durch dieses Experiment wurde die Annahme, dass beim Portlandklinker-Beton mit einer erhöhten Verbundfestigkeit auf chemischer Basis zu rechnen ist, bestätigt.

Mit den Serien B und C wurde hauptsächlich die Festigkeitsentwicklung, der Einfluss des Grösst-Korns und des gebrochenen Portland-Klinkers auf Betoneigenschaften untersucht. Dabei wurden bei den verschiedenen Betonmischungen mit Portland-Klinker als Zuschlag nach 28 Tagen Festigkeiten zwischen 75 - 87 N/mm^2, nach 90 Tagen 80 - 97 N/mm^2 erzielt. Die Kontrollbetone erreichten nur 50 - 70 % der Klinkerbeton-Festigkeiten. Einige Resultate sind in Fig. 2 enthalten. Zur Uebersicht sind die Relationen zwischen den Festigkeiten der einzelnen Mischungen in der Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4. Vergleich der Festigkeiten von Betonen aus Portland-Klinker und natürlichen Zuschlagstoffen

(28 Tg. Festigkeiten des Kontroll-Betons (Misch. 3) = 100 %)

Misch. Nr.	Typ des Zuschlags	Max. Korn (mm)	Druckfestigkeit		Biegezugfestigkeit	
			1 Tg.	28 Tg.	1 Tg.	28 Tg.
3	natürlich	16	49	100	54	100
4	PC-Klinker	30	79	121	76	133
5	PC-Klinker	16	93	143	87	152
6	PC-Klinker	8	102	161	93	170
7	PC-Klinker gebrochen	16	103	157	90	168

Die Festigkeiten der Klinkerbetone steigen mit kleinerem Grösst-Korn. Durch Brechen des Klinkers wurden die Festigkeiten um weitere ca. 15% erhöht. Die Druckfestigkeiten des Klinkerbetons erreichten bereits nach 1 Tag die 28-tägige Druckfestigkeit des Kontrollbetons.

Der E-Modul des Klinkerbetons (Fig. 3) ist bei Belastungen zwischen 30 - 75 % der Bruchlasten um ca. 15% höher als derjenige des Kontrollbetons. Das Schwindmass, resp. Quellen des Klinkerbetons ist kleiner als beim Kontrollbeton (Fig. 4). Die Werte des Kriechmasses (Fig. 5) erlauben es vorerst nicht, Schlüsse zu ziehen, da die Belastungsdauer erst 21 Tage beträgt. Auch hier ist aber die Tendenz zu kleineren Längeänderungen beim Klinkerbeton erkennbar.

Sowohl bei der Prüfung des Frost-Tau-Widerstandes nach 30 Wechselzyklen als auch bei der Sulfatbeständigkeitsprüfung nach 1-monatiger Lagerung in 10%iger $NaSO_4$ Lösung wurde keine Verschlechterung der Klinkerbetonqualität festgestellt.

5. Schlussfolgerungen

Der Beitrag berichtet über erste Resultate von Versuchen mit hochfestem Beton aus Portlandzement-Klinker als Zuschlagstoff. Aufgrund der bisher vorliegenden Resultate konnte folgendes festgestellt werden:

- Die Herstellung des Portlandklinker-Betons ist mit keinen besonderen Schwierigkeiten verbunden und kann in den üblichen Betonmischanlagen vorgenommen werden.
- Portland-Klinker lässt sich durch Sieben gut klassieren. Mit gewöhnlichen Brechern der Zuschlagstoffindustrie kann man den Klinker problemlos brechen.

- Im Portlandklinker-Beton nimmt ein Teil des Klinkers am Hydratationsprozess teil. Durch die chemische Bindung wird die Verbundfestigkeit zwischen Matrix und dem Zuschlagkorn wesentlich erhöht, was wiederum zur Erhöhung der Festigkeiten beiträgt.
- Die bis jetzt gemessenen Druckfestigkeiten des Klinkerbetons lagen um etwa 20 - 60 % höher gegenüber den Vergleichsbetonen, hergestellt aus besten herkömmlichen Materialien mit einem sehr tiefen W/Z-Faktor. Die Biegezugfestigkeiten der Klinkerbetone lagen gegenüber den Vergleichsbetonen noch günstiger.
- Schwind- und Kriechmass der Portlandklinker-Betone ist gegenüber dem Kontrollbeton kleiner.
- Die bisherigen Resultate der Dauerhaftigkeit haben keine Verschlechterung der Eigenschaften von Klinkerbeton gegenüber dem Kontrollbeton gezeigt.

Literaturverzeichnis

(1) FIP: Methods of Achieving High-strength Concrete. Report of the FIP Commission, Fifth Congress of the FIP, Paris 1966

(2) FIP: Very High-strength Concrete. Report of the FIP Commission, Sixth Congress of the FIP, Prague 1970

(3) Swamy, R.N., Ibrahim, A.B., Anaud, K.L.: The Strength and Deformation Characteristics of High Early Strength Structural Concrete. Materials and Structures, RILEM, 1975, No. 48

(4) Mather, B.: Stronger Concrete. Symp. Concrete Strength, Highway Research Record, No. 210, 1967

(5) Rimmer, B.: High-grade Concrete. Industrialized Building Systems + Components, March 1967

(6) Hsu, T.T.C., Slate, F.O.: Tensile Bond Strength between Aggregate and Cement Paste or Mortar. Journal of ACI, April 1963

(7) Alexander, K.M., Wardlaw, J., Gilbert, D.J.: Aggregate - Cement Bond, Cement Paste Strength and the Strength of Concrete. Proceedings Int. Conference on the Structure of Concrete, London 1965

(8) Berger, B.L.: Properties of Concrete with Cement Clinker Aggregate. Cement and Concrete Research, Vol. 4, 1974, pp. 99 - 112

(9) Roy, D.M., Gonda, G.R.: High Strength Generation in Cement Pastes. Cement and Concrete Research, Vol. 3, 1973, pp. 807 - 820

Fig. 1 Vergleichsuntersuchungen an Mörtel mit PC-Klinker-Sand und Quarzsand

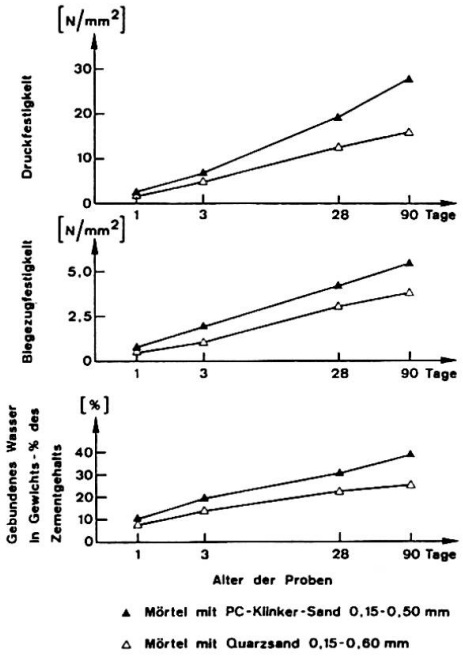


Fig. 2 Festigkeitsentwicklung mit der Zeit bei PC-Klinker-Beton und Kies-Sand-Beton

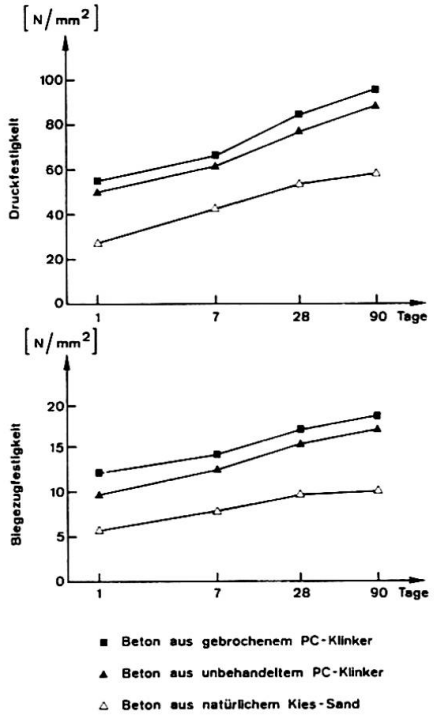


Fig. 3 E-Modul bei verschiedenen Belastungsstufen

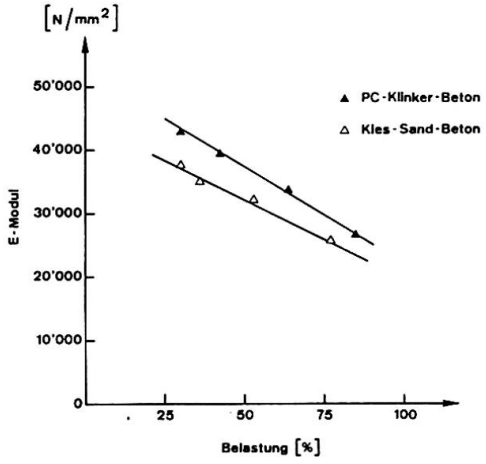


Fig. 4 Schwindmass

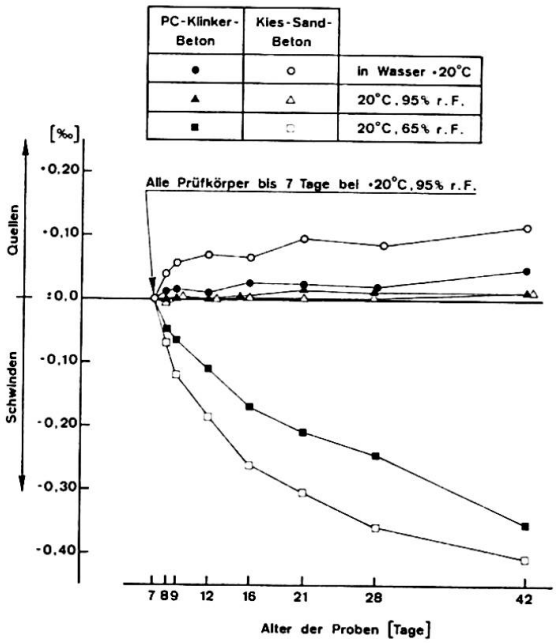
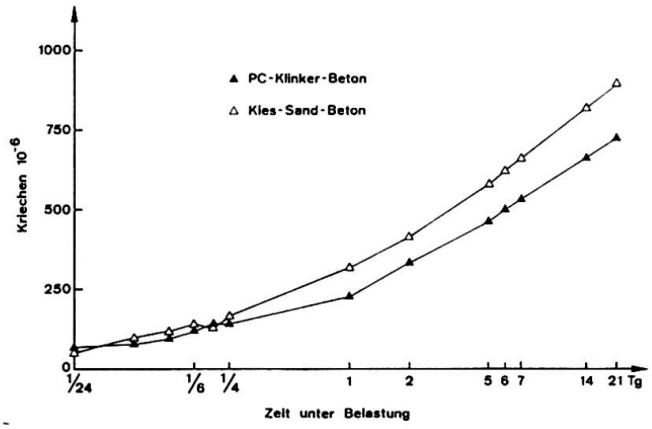


Fig. 5 Kriechen bei der Belastung von 12 N/mm²



ZUSAMMENFASSUNG

Betone, die mit dem PC-Klinker als Zuschlagstoff hergestellt werden, weisen gegenüber den Vergleichsbetonen aus natürlichen Zuschlagstoffen wesentlich höhere Festigkeiten, einen erhöhten E-Modul und geringeres Schwind- und Kriechmass auf. Dabei wurde bei der Verwendung von gebrochenem PC-Klinker gegenüber dem unbehandelten Klinker eine weitere Verbesserung dieser Eigenschaften beobachtet. Die Hauptgründe für die erhöhte Qualität des Klinkerbetons sind die Erhöhung der Verbundfestigkeit zwischen der Zementpaste und dem Klinker und die Tatsache, dass auch ein Teil des Klinkers am Hydratationsprozess teilnimmt.

SUMMARY

Concrete made with Portland cement clinker as aggregate shows higher strength and Youngs-modulus, as well as lower shrinkage and creep compared to the concrete made with natural aggregate. Furthermore an additional improvement of the concrete properties was observed when crushed clinker instead of non treated clinker has been used as aggregate. The main reason for the improvement of the Portland clinker concrete is the increase of the bonding strength between cement paste and clinker, and the fact that one part of the clinker aggregate participates in hydration.

RESUME

En utilisant du clinker de ciment Portland comme granulat pour béton, on a obtenu des résistances très élevées, ainsi que des modules d'élasticité élevés et un retrait et un fluage réduits par rapport au béton confectionné à base de granulats naturels. En concassant le clinker avant l'utilisation comme granulat, on peut encore améliorer ces propriétés par rapport au clinker non concassé. Les raisons principales de la meilleure qualité des bétons avec granulat clinker sont la cohésion élevée entre matrice et granulats et le fait que le granulat participe également en partie au processus d'hydratation.