

Informationsschrift

Moderne Fließmittel in der Betontechnologie –
Herstellung und Verwendung von Beton mit PCE

Beton- technologie

1. Ausgabe, Januar 2007

DEUTSCHE BAUCHEMIE ^{E.V.}

Konkrete Lösungen
für eine komplexe Welt.

Vorbemerkungen

Vorbemerkungen

Impressum

1. Ausgabe, Januar 2007
Redaktionsschluss: Dezember 2006
Auflage: 6.000

Copyright 2007

Deutsche Bauchemie e. V.
Karlstraße 21
60329 Frankfurt am Main
Telefon: +49(0)69 2556-1318
Telefax: +49(0)69 251609
www.deutsche-bauchemie.de

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung, bleiben der Deutschen Bauchemie e. V. vorbehalten.

Gestaltung
NEEDCOM GmbH, Bad Soden
www.needcom.de

Druck
Frotscher, Darmstadt
www.frotscher-druck.de

Bildnachweis
Jörg Schöner, Dresden
Mercedes-Benz, Stuttgart
Mitgliedsunternehmen Deutsche Bauchemie e. V.

Titelfoto: Mercedes-Benz, Stuttgart

ISBN 3-935969-34-1

Die vorliegende Informationsschrift „Moderne Fließmittel in der Betontechnologie - Herstellung und Verwendung von Beton mit PCE“ wurde von einer Projektgruppe des Fachausschusses 2 „Betontechnik“ der DEUTSCHEN BAUCHEMIE e. V. erarbeitet.

Es wird gebeten, Erfahrungen mit der Informationsschrift der DEUTSCHEN BAUCHEMIE e. V., 60329 Frankfurt am Main, Karlstraße 21 mitzuteilen.





1	Einleitung	4
2	Aufbau und Wirkungsweise	5
3	Einsatzbereiche	6
4	Herstellung und Verwendung der Betone	8
	Mischungsentwurf	8
	Herstellung	8
	Transport	9
	Einbau	9
	Nachbehandlung	10
5	Zusammenfassung	11



Einleitung

Bis in die 90-er Jahre des letzten Jahrhunderts setzten sich Fließmittel im Allgemeinen aus drei Hauptrohstoffen und einer Vielzahl von Abmischungen aus diesen Rohstoffen zusammen; Naphthalin-, Melamin- und Ligninsulfonat dominierten diesen Einsatzbereich über lange Jahre. Wesentliche Entwicklungen in der Betontechnologie wurden durch sie erst ermöglicht. Fließbeton, wasserundurchlässiger Beton und auch hochfester Beton konnten nur mit Hilfe dieser Fließmittel zielsicher und ökonomisch hergestellt werden. Bedingt durch ihren molekularen Aufbau bieten sie aber begrenzten Spielraum für Weiterentwicklungen.

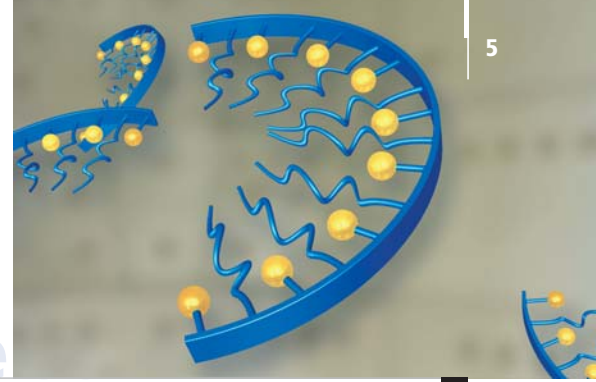
Erst mit der Einführung einer neuen Wirkstoffklasse, der Polycarboxylatether (kurz: PCE), wurde die Tür zu grundlegenden Innovationen wieder aufgestoßen. Der molekulare Aufbau der PCE bietet den Herstellern von Betonzusatzmitteln vielfältige Möglichkeiten. Durch Variation der chemischen Struktur der Polymere können Fließmittel auf bestimmte Eigenschaften hin optimiert werden. Vor etwas mehr als 10 Jahren, zuerst in Japan auf den Markt gebracht, hatten diese Fließmittel einen entscheidenden Anteil an der Entwicklung des selbstverdichtenden Betons (SVB).

Aufgrund ihrer technologischen Vielfältigkeit haben sich PCE-haltige Produkte in Europa mittlerweile einen großen Anteil des Fließmittelmarktes erobert.

Angesichts der gestiegenen Bedeutung dieser Fließmittelgruppe möchten die in der Deutschen Bauchemie e.V. vertretenen Hersteller von Betonzusatzmitteln mit dieser Informationsschrift den Betontechnologen, den Betonherstellern, den Verarbeitern und allen anderen Interessierten die wichtigsten Informationen über die Wirkstoffklasse, ihre Wirkungsweise und ihre Anwendung zur Verfügung stellen. Sie soll die Möglichkeiten, die sich hier für den Betonbau bieten, aufzeigen, aber auch die

Voraussetzungen, die für einen zielsicheren Einsatz dieser Produkte zu beachten sind, darstellen.





Aufbau und Wirkungsweise

Bei der Anfangshydratation bilden sich auf den Zementpartikeln positive und negative Ladungen. Als Folge daraus ziehen sich die Partikel gegenseitig an; sie agglomerieren und es bildet sich eine Flockenstruktur in der Zementsuspension aus.

Dies führt zu einer Bildung größerer, weniger beweglicher Agglomerate, zum anderen wird Wasser in der Flockenstruktur fixiert und kann nicht mehr zur Fließfähigkeit des Betons beitragen.

Fließmittel sorgen durch Anlagerung auf der Zementoberfläche für eine Auflösung der Agglomerate und stabilisieren die dispergierten Partikel.

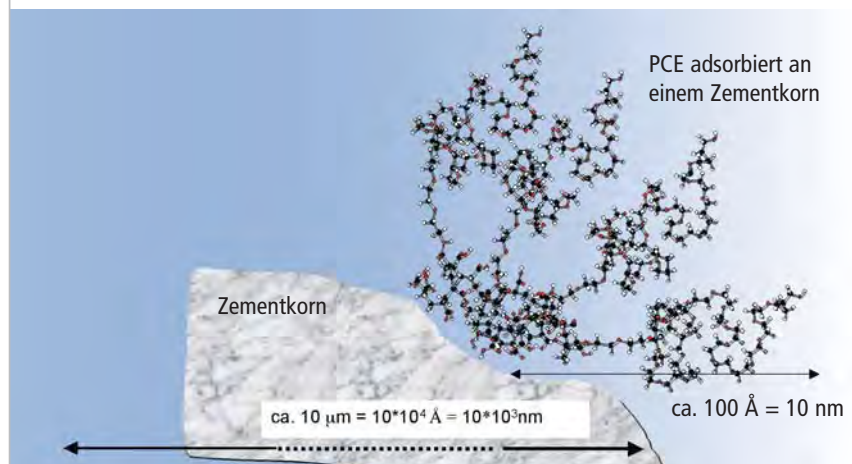
Naphthalin-, Melamin- und Ligninsulfonate besitzen viele negative Ladungen im Molekül. Mit einem Teil heften sie sich an die Oberflächen der Zementpartikel, laden diese negativ auf und bewirken so eine Abstoßung der Zementpartikel hauptsächlich aufgrund elektrostatischer Wechselwirkung.

Polycarboxylatether sind ebenfalls anionische (negativ geladene) Polymere. Sie bestehen aus einer Hauptkette und vielen daran hängenden Seitenketten. Die Struktur der Polymere erinnert dem Aussehen nach an einen Kamm, weshalb Polymere dieses Typs auch als Kammpolymere bezeichnet werden.

Die negativen Ladungen der PCE sitzen an der Hauptkette, die sich an die Oberfläche der Zementpartikel anlagert. Die langen Seitenketten ragen von der Oberfläche der Zementpartikel aus in die Lösung und sorgen zusätzlich zur elektrostatischen Abstoßung noch für eine sterische (räumliche) Stabilisierung der Partikel.

Entscheidend für die Wirkung der PCE sind also zum einen die Adsorption an der Zementoberfläche und zum anderen der sterische Effekt der Seitenketten. Die Adsorption lässt sich durch die Menge der negativen Ladungen steuern. Dies ermöglicht die Entwicklung von schnell adsorbierenden Fließmitteln mit einer hohen Anfangsverflüssigung oder von langsam adsorbierenden Fließmitteln mit einem sehr langen Konsistenzverlust. Über den Aufbau der Seitenketten kann die Viskosität des Zementleims und die Festigkeitsentwicklung des Zements beeinflusst werden.

Der wesentliche Unterschied der PCE im Vergleich zu Naphthalin-, Melamin- und Ligninsulfonaten liegt in der vielfältigen Variationsmöglichkeit ihrer chemischen Struktur, wodurch Fließmittel gezielt für unterschiedliche Einsatzzwecke hergestellt werden können.



Einsatzbereiche

3 Einsatzbereiche

In den letzten Jahren wird ein stetig steigender Anteil der Betone mit höheren Konsistenzen in den Konsistenzklassen F4 bis F6 produziert. Wesentliches Ziel hierbei ist es, den Einbau deutlich zu erleichtern.

Mit der Entwicklung des selbstverdichtenden Betons (SVB), der beim Einbau nicht mehr verdichtet werden muss, wurde das derzeit betontechnologisch anspruchsvollste Betonkonzept in Hinblick auf die verarbeitbare Konsistenz erreicht. Dieser Beton wurde erst durch den Einsatz von Polycarboxylatethern in der Praxis umsetzbar. Mit selbstverdichtendem Beton lassen sich architektonische Bauteile aus Beton herstellen, die zuvor mit diesem Baustoff nicht realisierbar waren.

Bei SVB handelt es sich um einen Hochleistungsbeton, der nicht im Regelwerk der Betonnormung erfasst ist. Die erhöhten Anforderungen an die Überwachung sind in der DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ von 2003 festgelegt. Der Einsatz von SVB ist in der Bundesrepublik zurzeit auf besondere Bauwerke und Baumaßnahmen beschränkt. Dies liegt hauptsächlich an dem für diesen Beton erforderlichen Überwachungsaufwand durch Betontechnologen.

Um diesen Aufwand zu reduzieren, wurde der leicht verdichtbare Beton (LVB) entwickelt. Dieser erfüllt die Anforderungen der Betonnorm und wird mit der Konsistenzklasse F6 mit geringstem Verdichtungsaufwand verarbeitet.

Der hochfeste Beton ist ein weiteres Einsatzgebiet für das sich Fließmittel auf Basis von Polycarboxylatether besonders eignen. Diese Betone werden mit sehr niedrigen w/z -Werten hergestellt, um die geforderten Festigkeiten zu erreichen. Mit PCE werden bei moderaten Dosierungen hohe Wassereinsparungen erzielt. Hochfeste Betone werden zwar bereits mit herkömmlichen Fließmitteln hergestellt, allerdings mit mäßiger Konsistenzhaltung und mit sehr hohen Dosierungen, was in der Regel eine Reduktion der Frühfestigkeiten bewirkt.





Weitere Anforderungen an die Betone, die über die angestrebte Konsistenz- und Festigkeitsklasse hinausgehen, ergeben sich aus dem jeweiligen Einsatzgebiet.

So werden in der Transportbetonindustrie Betone benötigt, die eine lange Konsistenzhaltung über einen Zeitraum von einer Stunde und länger aufweisen. Ein geringer Konsistenzverlust in dieser Zeit bedeutet, dass auf der Baustelle keine Fließmittelzugabe mehr erfolgen muss, um die gewünschte Einbaukonsistenz zu erreichen. Mit PCE für den Einsatz im Transportbetonwerk ist es möglich, solche Betone herzustellen. Sie können auch eine möglicherweise längere Transportzeit ohne wesentlichen Konsistenzverlust sicherstellen, so dass die Betonkonsistenz zumindest nicht unter die ursprünglich im Werk eingestellte Konsistenzklasse fällt.

Eine weitere Anforderung an Transportbetone ist eine Reduktion der Ausschulfristen. Bei geeigneter Betonzusammensetzung werden geringe bis moderate Verzögerungszeiten erzielt, wodurch ein Ausschalen am nächsten Tag möglich ist.

In der Fertigteileindustrie werden in der Regel Betone mit einer sehr guten Frühfestigkeitsentwicklung benötigt, um die erforderlichen Abhebe- und Vorspannfestigkeitsentwicklung möglichst schnell mit minimalem Einsatz von Heizenergie zu erreichen. Mit den hierfür entwickelten Fließmitteln wird die sehr gute verflüssigende Wirkung mit einer sehr guten Frühfestigkeitsentwicklung der Betone bei geeigneter Mischungszusammensetzung kombiniert.

Da der Beton im Fertigteilewerk zumeist innerhalb von 30 bis 60 Minuten eingebaut ist, sind die Fließmittel für Fertigteilanwendungen so konzipiert, dass die Betone innerhalb dieses Zeitraums eine gute Konsistenzhaltung aufweisen und sich gut verarbeiten lassen.

Nach dem Einbringen soll der Beton schnell anstehen, um ein eventuell notwendiges Glätten möglichst schnell nach der Betonage durchführen zu können. Mit den modernen Fließmitteln für Fertigteilanwendungen ist dies gut möglich.

In der Betonwarenindustrie werden PCE zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit und Verdichtungswilligkeit von erdfeuchten Betonen eingesetzt.

Für den Industriefußbodenbau ist die gute Frühfestigkeitsentwicklung, die mit Polycarboxylatethern auch bei hohen Konsistenzen ermöglicht wird, besonders hervorzuheben.



Herstellung der Betone

4 Herstellung der Betone

Mischungsentwurf

Ein in der Betonindustrie zu beobachtender Trend ist der zunehmende Ersatz von Zement durch Zusatzstoffe, so dass die Zementgehalte oft bei den Mindestgehalten liegen. Dies ist sowohl aus ökonomischen und auch ökologischen Gründen sinnvoll. Die Absenkung der Feinstbestandteile bewirkt jedoch eine Abnahme der Robustheit der produzierten Betone. Da PCE vornehmlich für fließfähige Betone eingesetzt werden, ist eine Anpassung der Betonrezeptur zur Erhöhung der Robustheit sinnvoll. So ist insbesondere bei sehr fließfähigen Betonen und SVB auf einen ausreichenden Mehlkorngesamtgehalt zu achten. Eine weitere Steuergröße zur Steigerung der Robustheit der Betone ist der Sandgehalt. Mit der Anhebung des Sandanteils und mit dem gezielten Einsatz eines Feinsandes kann ebenfalls die Robustheit der Betone gesteigert werden. Generell gilt, je höher die Konsistenzklasse, desto höher sollte der Mehlkorngesamtgehalt der Betone liegen.

Bei den PCE handelt es sich um hochwirksame Fließmittel; die Abhängigkeit ihrer Wirksamkeit vom verwendeten Zement ist daher etwas größer als bei herkömmlichen Fließmitteln.



Aus diesem Grund sollte vor einem Wechsel des Zements, möglichst in Abstimmung mit dem Fließmittellieferanten, sichergestellt werden, dass mit der gewünschten Zement/Zusatzmittelkombination alle Anforderungen erfüllt werden können.

Weitere Einflussfaktoren, welche die Dosierung, die Konsistenzhaltung und die Festigkeitsentwicklung eines Betons beeinflussen, wie zum Beispiel die Betontemperatur, der Wassergehalt und die eingesetzte Zementsorte müssen bei der Auswahl eines Fließmittels und der Erstellung von Betonrezepturen durch Erstprüfungen ermittelt und berücksichtigt werden.

Insbesondere die verflüssigende Wirkung muss, wie bei den konventionellen Fließmitteln auch, bei unterschiedlichen Temperaturen untersucht werden. Bei hohen Betontemperaturen im Sommer zeigen PCE ihre hohe Leistungsfähigkeit in Hinblick auf die Konsistenzhaltung. Die Wirkung dieser Fließmittel wird, wie oben erwähnt, von ihrem Adsorptionsverhalten auf die Zementoberfläche bestimmt. Da dies temperaturabhängig ist, wird die verflüssigende Wirkung bei niedrigen Betontemperaturen reduziert und es kann während der Transportzeit zu einer Nachverflüssigung kommen. In solchen Fällen sollten in Abstimmung mit dem Hersteller Fließmittel zur Anwendung kommen, die für die Anwendung bei niedrigen Temperaturen besonders geeignet sind.

Herstellung

Um eine optimale Wirksamkeit zu erreichen, ist eine ausreichend lange Nassmischzeit im Zwangsmischer notwendig. In der Regel sollten 45 Sekunden nicht unterschritten werden. Die optimale Mischzeit ist vom verwendeten Mischertyp, der Betonrezeptur und der Frischbetontemperatur abhängig. Sie sollte in Werksversuchen optimiert werden. Werden die erforderlichen Mindestmischzeiten unterschritten, kann nicht aufgeschlossenes Fließmittel beim anschließenden Transport zu einer Nachverflüssigung und im Extremfall zur Entmischung des Betons führen. Bei der Betonherstellung kann die Zugabe als Betonverflüssiger (BV) und als Fließmittel (FM) im Werk erfolgen und auch nachträglich als Fließmittel (FM) auf der Baustelle. Um die optimale Wirksamkeit zu erzielen ist das Betonzusatzmittel bei der Betonherstellung gleichzeitig mit dem Zugabewasser zuzugeben oder nach der Zugabewasserdosierung in die nasse Betonmischung zu dosieren; keinesfalls sollten die Produkte auf die trockene Betonmischung dosiert werden. Sollte eine Nachdosierung auf der Baustelle erforderlich sein, sollte diese mit dem gleichen Produkt erfolgen.



Da es sich hier um hochwirksame Fließmittelprodukte handelt, ist die möglichst genaue Einhaltung des Gesamtwassergehaltes bei der Betonherstellung von besonderer Bedeutung. Zu große Abweichungen bei der Wasserdosierung können zu erheblichen Konsistenzschwankungen führen.

In der Anfangszeit ihrer Markteinführung war die richtige Dosierung von PCE Produkten im Transportbeton oft schwierig, da diese für den Einsatz in hochfesten Betonen und selbstverdichtenden Betonen konzipiert waren und bereits auf sehr geringe Schwankungen der Dosiermenge oder z. B. des w/z-Wertes sehr sensibel reagierten. Mittlerweile stehen jedoch viele Produkte zur Verfügung, die sich durch eine geringere Dosierempfindlichkeit auszeichnen. Dennoch sollte bei der Auswahl der Dosieranlagen auf eine genügende Dosiergenauigkeit geachtet werden, um die Konsistenz sicher einstellen zu können.

Um die Lieferqualität des Betons sicherzustellen kann es auch bei Verwendung von PCE notwendig sein, ein bestimmtes Vorhaltemaß bei der Betonkonsistenz einzustellen. Verantwortlich hierfür ist die Anfangshydratation des Zements, die innerhalb der ersten 30 min zu einem gewissen Konsistenzrückgang führen kann.

Ein Vermischen dieser Fließmittel mit anderen Zusatzmitteln in der Dosieranlage und in Lagerbehältern sollte generell vermieden werden, da Unverträglichkeiten der Betonzusatzmittel untereinander nicht auszuschließen sind. Entsprechende Empfehlungen des Herstellers sind zu berücksichtigen. Beim Einsatz unterschiedlicher Betonzusatzmittel im Beton ist deren Eignung durch Erstprüfungen nachzuweisen.

Bei der Herstellung von LP-Betonen mit Fließmitteln auf Basis von PCE ist zu berücksichtigen, dass diese Fließmittel aufgrund ihrer chemischen Struktur für den Einsatz im Beton Entschäumer enthalten. Um erfolgreich LP-Beton herzustellen, muss die Auswahl des Luftporenbildners darauf abgestimmt sein. Es sollten vom Hersteller empfohlene Kombinationen verwendet werden, deren Eignung im Rahmen der Wirksamkeitsprüfung nachgewiesen wurde.

Neben diesen Maßnahmen gelten die üblichen Vorgehensweisen zur Herstellung von LP-Beton, wie sie zum Beispiel in der Informationsschrift „Herstellen von Luftporenbeton“ der Deutschen Bauchemie e.V. beschrieben werden.

Transport

Mit einem geeigneten PCE und einem auf die Anforderungen abgestimmten Betonkonzept sind Verarbeitbarkeitszeiten von 90 min in aller Regel einstellbar. Im Gegensatz zu konventionellen Fließmitteln ist dabei, wenn eine gute Frühfestigkeitsentwicklung angestrebt wird, von besonderem Interesse, dass diese Leistung mit nur geringer Verzögerung erzielt werden kann.

Das bislang übliche Einstellen der Verarbeitungskonsistenz durch Nachdosieren eines Fließmittels durch den Fahrer des Mischfahrzeugs auf der Baustelle kann somit entfallen.

Einbau

Bei der Verarbeitung des Frischbetons begünstigt die stabilisierende Wirkung der PCE den Zusammenhalt des Betons insbesondere bei sehr weichen Konsistenzen. Dieser stabilisierende Effekt kann bei der direkten Oberflächenbearbeitung (Abziehen/Glätten) zu einer erhöhten Klebrigkeit des Frischbetons führen. Durch die Wahl geeigneter Rezepturparameter lässt sich dem in gewissem Maße entgegen-



Nachbehandlung

wirken. Der Einsatz von Rundkorn und Natursand sowie ein ausreichender Wassergehalt können sich hier günstig auswirken. Sollte der Effekt jedoch zu stark ausgeprägt sein, muss auf ein in dieser Hinsicht besser geeignetes Fließmittel zurückgegriffen werden.

Fließmittel auf PCE-Basis werden aufgrund ihrer sehr guten Wirksamkeit und ihres günstigen Einflusses auf den Zusammenhalt sehr oft zur Herstellung von fließfähigen Betonen in den Konsistenzklassen F4 bis F6 eingesetzt. Diese sind in der Regel leicht zu fördern und zu verdichten. Die Verdichtungsart ist entsprechend der Betonkonsistenz zu wählen. So genügt bei F6-Betonen im Allgemeinen schon ein Wabbeln, Stochern oder Abziehen.

Diese Fließmittel können neben der Konsistenz auch die Rheologie von Betonen beeinflussen.

So kann ein solcher Beton infolge seiner thixotropen Eigenschaften im Ruhezustand in einer recht steifen Konsistenz erscheinen, beim Einbringen von Verdichtungsenergie jedoch, z. B. durch Innenrüttler oder beim Abziehen, wieder sehr viel weicher werden. In einem solchen Fall ist die Verdichtungsenergie dieser weicheren Konsistenz anzupassen, da ansonsten die Gefahr des Entmischens besteht.

Macht die Bauweise ein Glätten der Oberfläche erforderlich, wie z. B. bei der Herstellung von Betonfertigteilen oder Industriefußböden, so muss besonders auf das Auftreten dieser Eigenschaften geachtet werden. So können selbst erfahrene Mitarbeiter zu früh mit dem Glätten beginnen. In diesen Fällen ist der Glättzeitpunkt, an dem mit der Nachbearbeitung begonnen wird, sorgfältig auf die tatsächliche Konsistenz bei Energieeintrag abzustimmen. Um unnötige Wartezeiten oder Fehlversuche zu vermeiden, empfiehlt es sich, dies in geeigneten Vorversuchen unter Berücksichtigung der wichtigsten Einflussfaktoren, wie z. B. der Temperatur, zu ermitteln.

Auch Betone, die mit den modernen Fließmitteln hergestellt werden, sind nachzubehandeln. Eine Nachbehandlung des frischen Betons ist zum Schutz der Betonoberfläche gegen Austrocknung und somit zur Sicherstellung der gewünschten Betonqualität erforderlich. Liegt der Beton zu lange ungeschützt gegen Wasserverdunstung an der Oberfläche, insbesondere bei erhöhten Außentemperaturen oder in windiger Umgebung, so ist sehr schnell mit dem Austrocknen der Oberfläche zu rechnen. Dieses Erscheinungsbild wird oft auch als Elefantenhaut oder Sinterschicht bezeichnet. Die Nachbearbeitung einer solchen Oberfläche wird erheblich erschwert.

Dem kann durch alle Maßnahmen, die eine zu schnelle und starke Wasserabgabe verhindern, entgegengewirkt werden. Beispielsweise kann das Aufbringen eines geeigneten Nachbehandlungsmittels auf den frischen Beton, der Schutz der Betonoberfläche vor Zugluft oder ein Abdecken mit Folie hier Abhilfe schaffen.

Zusammenfassung



Fließmittel auf der Basis von Polycarboxylatethern bieten dem Betontechnologen von heute neue, fortschrittliche und ökonomische Lösungsmöglichkeiten. Leicht verdichtbarer Beton (LVB) für den Einsatz im Fertigteil- und Transportbetonwerk kann auch als hochfester Beton mit minimalem Personal- und Maschineneinsatz produziert und verarbeitet werden. Betone mit hohen Frühfestigkeiten für den Einsatz im Fertigteilwerk reduzieren den Energiebedarf zum Heizen und erhöhen die Produktivität. Mit Transportbetonen, die sicher über 90 Minuten verarbeitbar bleiben, wird ein Nachdosieren von Fließmittel auf der Baustelle überflüssig. Dies sind Beispiele für Weiterentwicklungen in der Betontechnologie, die erst durch diese Fließmittel möglich wurden.

Um das volle Potential, das in diesen Produkten steckt, nutzen zu können, ist es notwendig, ihre Wirkungsweise und deren Abhängigkeiten zu kennen und angefangen beim Mischungsentwurf bis hin zum Einbau und der Nachbehandlung eines Betons zu berücksichtigen.

Dann können die modernen Fließmittel auf PCE-Basis einen wesentlichen Beitrag zu einer ökonomischen Betonproduktion mit einer hohen Verarbeitungssicherheit leisten.





Deutsche Bauchemie e. V.
Karlstraße 21
60329 Frankfurt am Main
Telefon +49 (0)69 - 2556 - 1318
Telefax +49 (0)69 - 251609
www.deutsche-bauchemie.de

DEUTSCHE BAUCHEMIE ^{e.V.}
Konkrete Lösungen
für eine komplexe Welt.