

Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4
und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Holcim (Süddeutschland) GmbH



Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4 und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Beton für langsame Wärmeentwicklung	3
Versuchsreihe: Beton für massige Bauteile	4
Versuchsreihe 1: Zement/Flugasche-Konzepte mit w/z 0,45	6
Versuchsreihe 2: Zement/Flugasche-Konzepte mit w/z 0,48	7
Versuchsreihe 3: Zement/Flugasche-Konzepte mit w/z 0,50	8
Versuchsreihe 4: Zement/Flugasche-Konzepte mit w/z 0,55	9
Versuchsreihe 5: Zement/Flugasche-Konzepte mit w/z 0,58	10
Vergleich der Hydratationswärmemessungen	11
Praxisbeispiel 1: Fundament 28 m x 17 m x 1,5 m	12
Praxisbeispiel 2: Bodenplatte mit 1,3 m Stärke	13
Praxisbeispiel 3: Bodenplatte mit 1 m Stärke	14
Praxisbeispiel 4: Brückenwiderlager mit 1,2 m Stärke	15
Praxisbeispiel 5: Brückenüberbau mit 2 m Stärke	16
Praxisbeispiel 6: Windkraftfundament 3 m x 5 m	17
Praxisbeispiel 7: Bodenplatte mit 22 m x 2 m	18
Praxisbeispiel 8: Wand mit 1,2 m Stärke und 5 m Höhe	19
Praxisbeispiel 9: Wand mit 1,2 m Stärke und 7,1 m Höhe	20
Praxisbeispiel 10: Fundament 2,70 m x 3,90 m	21
Zusammenfassung	27

Copyright

Holcim (Süddeutschland) GmbH
72359 Dotternhausen

Verfasser

Holcim (Süddeutschland) GmbH
Horst Erler Produktmanagement

Beton für langsame Wärmeentwicklung

Bei großen Bauteilstärken wie Tunnelsohlen, Decken, massigen Bodenplatten oder dicken Unterkonstruktionen besteht immer ein erhöhtes Rissrisiko durch die Temperaturdifferenz zwischen Bauteilinnerem und der Bauteiloberfläche. Betonrezepturen mit niedriger Hydrationswärmeentwicklung sind die übliche Lösung für solche Fälle. In der Regel werden hierfür LH-Zemente (Low Heat – niedrige Wärmeentwicklung) eingesetzt. In vielen Fällen sind Betone mit Optimo 4 (CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N) und Steinkohleflugasche ebenso oder gar besser geeignet.

Massige Bauteile

Für massige Bauteile eignen sich spezielle Betonrezepturen mit Optimo 4 und Flugasche sehr gut, da die Wärmeentwicklung moderat und gleichmäßig verläuft. Einige Beispiele zeigen dies ganz deutlich. Nicht nur die Zementauswahl ist entscheidend, vielmehr steuert die Nachbehandlung des Betons die Temperatur im Bauteil. Somit ist selten ein Zement mit niedriger Wärmeentwicklung (LH-Zement) nötig, hingegen ist eine Mischung aus Optimo 4 und Flugasche empfehlenswert. Der Portlandkompositzement Optimo 4, der eine gleichmäßigere und langsamere Festigkeitsentwicklung aufweist als ein reiner Portlandzement, bewirkt eine deutlich geringere Temperaturentwicklung. Die Mischung aus Optimo 4 und Flugasche tendiert bei der Wärmeentwicklung in Richtung LH-Zement.

Auch bei kühlen Außentemperaturen haben Mischungen mit Optimo 4 und Flugasche den Vorteil, dass die Festigkeitsentwicklung spürbar schneller verläuft als bei einem Zement mit niedriger Wärme und langsamer Festigkeitsentwicklung.

Die Nachbehandlung ist entscheidend

Die Rissneigung, die in erster Linie von der Temperaturspannung im Bauteil abhängt, kann über die Nachbehandlung gesteuert werden. Wärmedämmmatten sind nicht nur in der kühlen Jahreszeit und im Winter vorteilhaft, auch im Sommer bei hohen Außentemperaturen lassen solche Maßnahmen die Temperatur im Bauteil langsam und gleichmäßig verlaufen und moderat abfließen, um die Rissneigung zu verringern.

Einige Beispiele zeigen, wie sich eine solche Nachbehandlung auf den Wärmefluss auswirkt. Speziell bei stark schwankenden Außentemperaturen ist die Auskühlung an der Oberfläche im Vergleich zum Kern deutlich stärker.

Zemente im Vergleich

An unterschiedlichen Betonrezepturen mit unterschiedlichen Wasserzementwerten und unterschiedlichen Festigkeitsklassen werden Ergebnisse aus Laboruntersuchungen vorgestellt.

Die Resultate zeigen, dass die maximale Betontemperatur eines Betons mit Optimo 4 und Flugasche ungefähr im Bereich eines Hochofenzementes (LH-Zement) liegt. Die Zementgehalte können reduziert werden, ohne die geforderte Festigkeitsklasse zu verlassen. Dadurch ist der Gesamtzementgehalt in der Betonmischung geringer und somit auch die Temperaturentwicklung im Beton.



Bild 1: Thermische Nachbehandlung

Aufgabe

Optimo 4N (CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N) mit Flugasche (FA) als langsame Betonrezeptur im Vergleich zu Modero 3B (CEM III/B 32,5 N-LH/HS/NA)

Betonversuche im Labor Holcim Dotternhausen

Ermittlung der Frisch- und Festbetoneigenschaften sowie Temperaturentwicklung.

Ausbreitmaß und Ansteifverhalten über 60 Minuten, Druckfestigkeiten 1 Tag, 2 Tage, 7 Tage, 28 Tage und 56 Tage.

Temperaturmessung im 200-mm-Styroporwürfel eingebettet in einer Kiste mit insgesamt 150 mm Styroporwandung. Dadurch sehr geringer Temperaturverlust und somit Anhaltswerte für die Praxis.

Versuchsreihe: Beton für massige Bauteile

Versuchsdurchführung Temperaturmessung

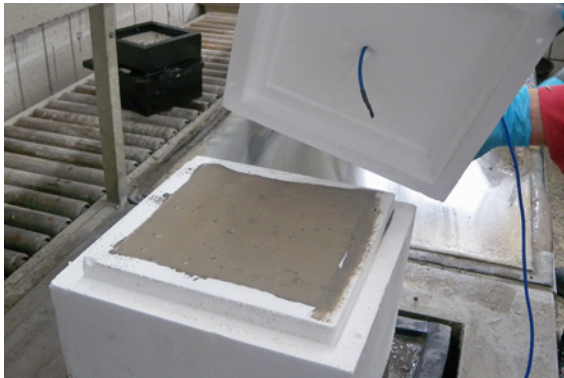


Bild 2: Styroporwürfel mit Beton gefüllt

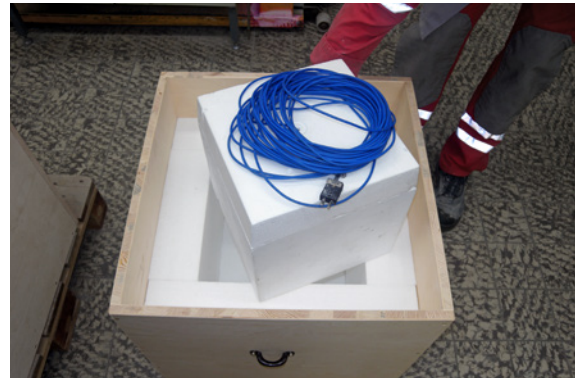


Bild 3: Temperaturmesskabel platziert

- Styroporwürfel 200 x 200 mm wird mit Frischbeton befüllt und verdichtet.
- Würfel wird mit Deckel verschlossen und Temperaturmessfühler wird durch den Deckel in der Würfelmitte platziert.
- Würfel wird in einer Kiste mit zusätzlich 100 mm Styroporverkleidung gelagert.
- Insgesamt Dämmung 150 mm in der Holzkiste, an allen Seiten.

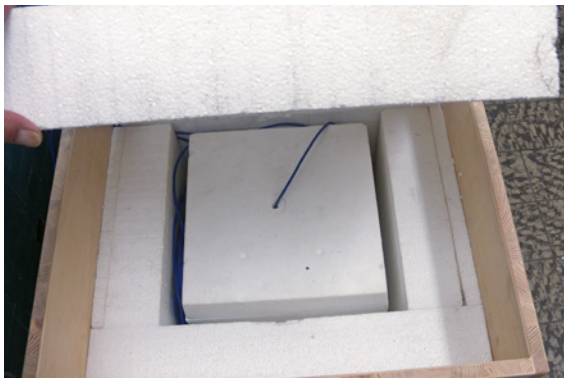


Bild 4: Styroporwürfel in Isolierbox



Bild 5: Messung läuft

- Würfel mittig in der Kiste platziert, 20 mm Luft und 100 mm Styropor umhüllen komplett den Würfel. Kiste wird mit Holzdeckel verschlossen und 7 Tage bei 22 °C gelagert.
- Temperaturmessung im Würfel mittig.

Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4 und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Ziel

Austausch von teuren Hochofenzementen gegen Normalzement mit Flugasche, um die Wärmeentwicklung im Beton zu reduzieren. Durch Zugabe von Flugasche und Reduzierung des Zementgehaltes wird die Hydratationswärme verringert, ohne die Endfestigkeit zu schwächen. LH-Zemente sind in Süddeutschland nur in geringer Auswahl vorhanden, dies wirkt sich dementsprechend auf den Preis aus. Ein Zement/Flugaschekonzept ist in der Regel deutlich günstiger.

Die Praxistauglichkeit einer solchen Rezeptur wird in den nächsten Beispielen mit unterschiedlichen Wasserzementwerten und Druckfestigkeitsklassen verdeutlicht. Um die Laborergebnisse zu unterstützen, sind im zweiten Teil der Broschüre tatsächliche Baustellenversuche dokumentiert.

Laborversuche

Die folgenden Laborversuche im ersten Teil zeigen immer den Vergleich zwischen Hochofenzement mit der Bezeichnung LH und dem Zement/Flugasche Gemisch.

Die Festigkeitsentwicklung von Optimo 4 und Flugasche ist gleichmäßiger und moderater als die von LH-Zementen. Die Frühfestigkeiten sind etwas höher, dadurch werden die Ausschulfristen nicht verzögert. Außerdem verbessert die höhere Frühfestigkeit in der kühlen Jahreszeit die Gefrierbeständigkeit des Betons. Die gleichmäßige Festigkeitsentwicklung von Optimo 4 und Flugasche verringert die Rissneigung bei annähernd gleicher Endfestigkeit. Bei Glättbetonen verschiebt sich der Glättzeitpunkt mit Optimo 4 und Flugasche deutlich nach vorne. Dadurch kann der Glätter früher mit der Oberflächenbearbeitung beginnen und die Zeit, in der der Beton nahezu ungeschützt ist, verringert sich erheblich.

Durch diese Maßnahmen verringern sich die Ausschulfristen und der Bauablauf geht deutlich zügiger voran.

Untersuchungen der MPA Stuttgart untermauern die Erkenntnisse aus den Versuchsreihen und den Baustellenbeispielen.

Durch eine unabhängige Prüfstelle wurden ebenfalls Versuche mit Zement-Flugaschemischungen im Vergleich zu LH-Zement durchgeführt. Die Ergebnisse sind im hinteren Teil der Broschüre in Kurzfassung dargestellt. Bei Bedarf kann jederzeit der gesamte Prüfbericht der MPA Stuttgart zur Verfügung gestellt werden.

Hier wird ersichtlich, dass eine Zement-Flugaschemischung vergleichbar mit einem LH-Zement niedrigere Temperaturentwicklungen im Beton aufweist und mit deutlich geringerem Zementgehalt gute Frühfestigkeiten und ausreichende Endfestigkeiten erbringt.

Anhand dieser Ergebnisse zeigt sich ganz deutlich, dass das Zement/Flugaschekonzept sehr gut funktioniert.



Bild 6: Massige Bodenplatte



Bild 7: Massiges Fundament

Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4 und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Versuchsreihe 1: Zement/Flugasche-Konzepte mit w/z 0,45

Rezeptur

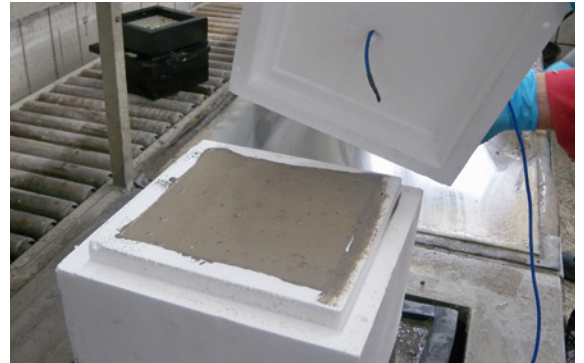
LH-Zement (Modero 3B) / CEM II/B-M (T-LL)
42,5 N (Optimo 4N)
C35/45, A/B 16 mm, w/z-Wert 0,45, F5

Druckfestigkeitsentwicklung

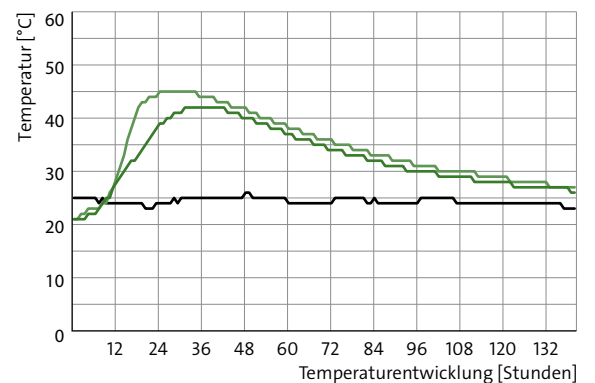
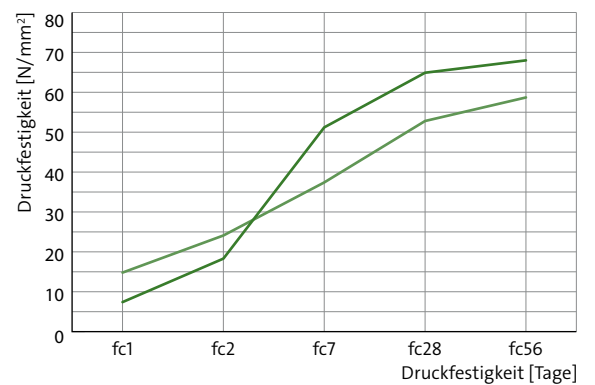
Optimo 4 entwickelt deutlich höhere Frühfestigkeiten und zeigt etwas niedrigere Endfestigkeiten als der LH-Zement. Die Druckfestigkeitsentwicklung ist moderater und gleichmäßiger im Festigkeitsanstieg. Die erforderlichen Endfestigkeiten werden zielsicher erreicht.

Temperaturverlauf

Optimo 4 liegt mit 45 °C Maximaltemperatur um nur 3 °C höher als der LH-Zement. Der Temperaturanstieg bei Optimo 4 ist steiler, verläuft aber nahezu parallel zum LH-Zement. Dies ist ein mit der Praxis vergleichbares Ergebnis.



w/z 0,45



— Ausgangsbeton: Rezeptur pur mit LH-Zement 360 kg/m³
— Optimierung: Rezeptur mit 320 kg/m³ Optimo 4 + 60 kg/m³ FA
— Lufttemperatur

Abbildung 1: Druckfestigkeitsentwicklung im Beton (oben) und Temperaturverlauf im Beton (unten)

Versuchsreihe 2: Zement/Flugasche-Konzepte mit w/z 0,48

Rezeptur

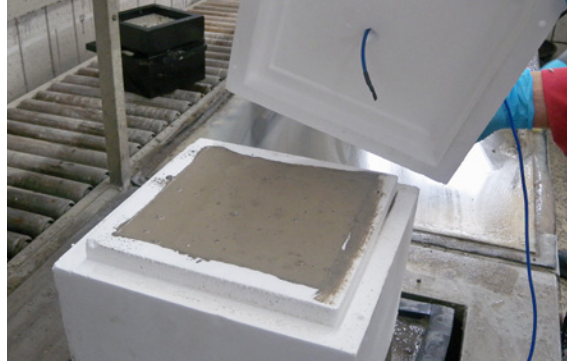
LH-Zement (Modero 3B) / CEM II/B-M (T-LL)
42,5 N (Optimo 4N)
C35/45, A/B 16 mm, w/z-Wert 0,48, F5

Druckfestigkeitsentwicklung

Optimo 4 entwickelt deutlich höhere Frühfestigkeiten und zeigt niedrigere Endfestigkeiten als der LH-Zement. Die Druckfestigkeitsentwicklung ist moderater und gleichmäßiger im Festigkeitsanstieg. Die geforderten Endfestigkeiten werden zielsicher erreicht.

Temperaturverlauf

Optimo 4 liegt bei 320 kg/m³ + 60 kg/m³ FA mit 45 °C Maximaltemperatur um nur 3 °C höher als der LH-Zement und bei 300 kg/m³ Optimo 4 und 80 kg/m³ FA mit 43 °C um nur 1 °C höher als der LH-Zement. Der Temperaturanstieg bei Optimo 4 ist etwas steiler, verläuft aber nahezu parallel zum LH-Zement. Hier wird in der Praxis kein großer Unterschied festzustellen sein.



w/z 0,48

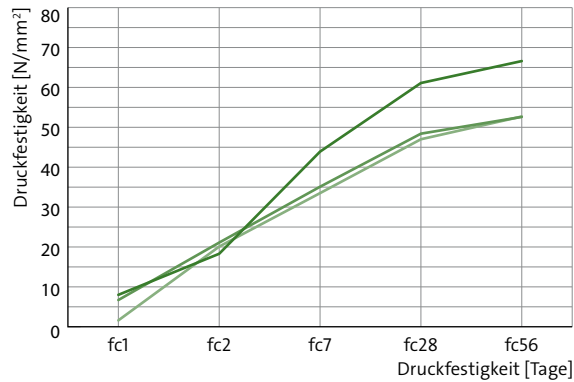
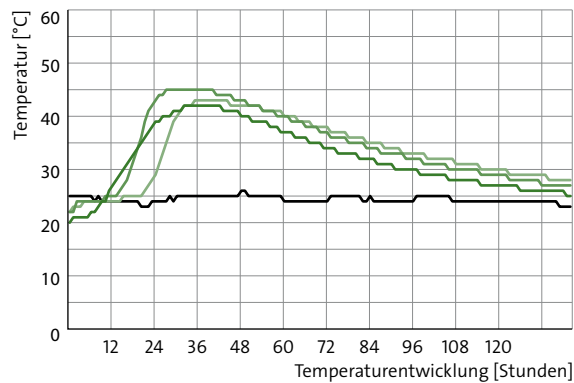


Abbildung 2: Druckfestigkeitsentwicklung im Beton (oben) und Temperaturverlauf im Beton (unten)



— Ausgangsbeton: Rezeptur pur mit LH-Zement 360 kg/m³
 — Optimierung: Rezeptur mit 320 kg/m³ Optimo 4 + 60 kg/m³ FA
 — Optimierung: Rezeptur mit 300 kg/m³ Optimo 4 + 80 kg/m³ FA
 — Lufttemperatur

Versuchsreihe 3: Zement/Flugasche-Konzepte mit w/z 0,50

Rezeptur

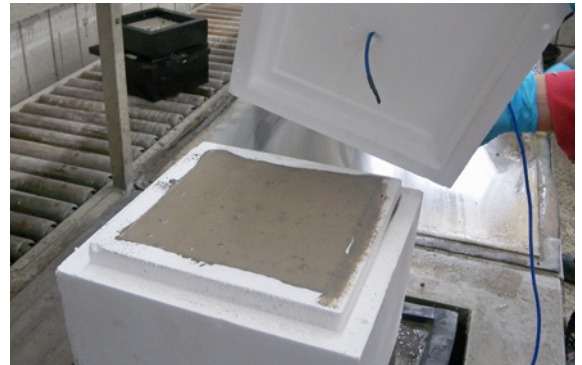
LH-Zement (Modero 3B) / CEM II/B-M (T-LL)
42,5 N (Optimo 4N)
C30/37, A/B 16 mm, w/z-Wert 0,50, F5

Druckfestigkeitsentwicklung

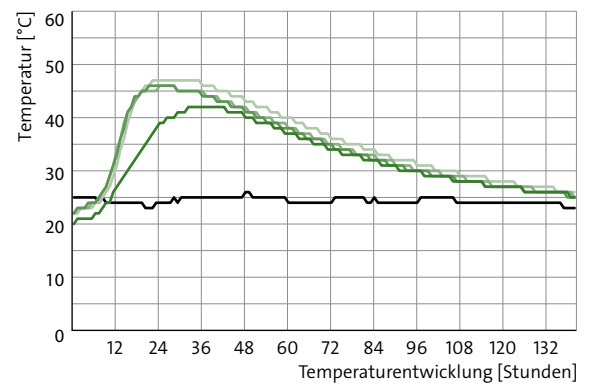
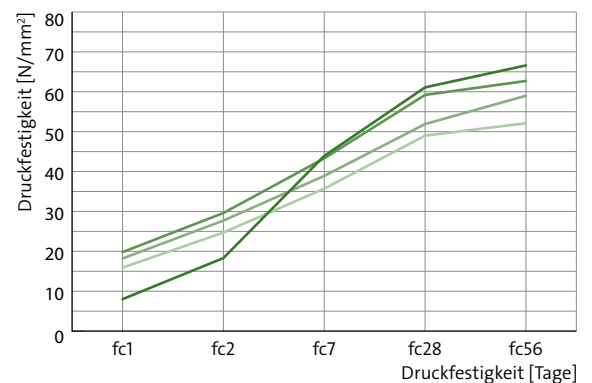
Optimo 4 entwickelt deutlich höhere Frühfestigkeiten und zeigt niedrigere Endfestigkeiten als der LH-Zement. Die Druckfestigkeitsentwicklung ist moderater und gleichmäßiger im Festigkeitsanstieg. Die geforderten Endfestigkeiten werden zielsicher erreicht.

Temperaturverlauf

Die Maximaltemperatur kann durch Zugabe von FA reduziert werden und liegt mit max. 5 °C nur unwesentlich über dem LH-Zement. Der Temperaturanstieg bei den Flugascherezepturen ist deutlich steiler, aber verläuft dann fast parallel zum LH-Zement.



w/z 0,50



— Ausgangsbeton: Rezeptur pur mit LH-Zement 360 kg/m³
 — Optimierung: Rezeptur mit 320 kg/m³ Optimo 4 + 60 kg/m³ FA
 — Optimierung: Rezeptur mit 330 kg/m³ Optimo 4 + 40 kg/m³ FA
 — Optimierung: Rezeptur mit 340 kg/m³ Optimo 4 + 30 kg/m³ FA
 — Lufttemperatur

Abbildung 3: Druckfestigkeitsentwicklung im Beton (oben) und Temperaturverlauf im Beton (unten)

Versuchsreihe 4: Zement/Flugasche-Konzepte mit w/z 0,55

Rezeptur

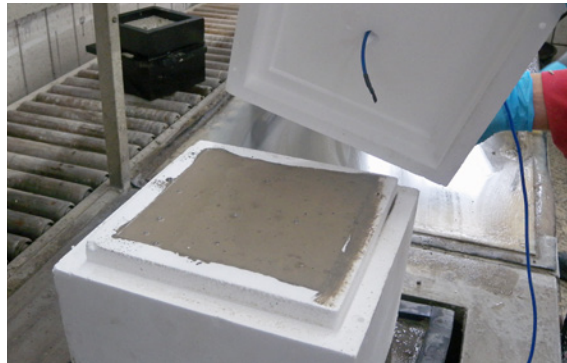
LH-Zement (Modero 3B) / CEM II/B-M (T-LL)
42,5 N (Optimo 4N)
C30/37, A/B 16 mm, w/z-Wert 0,55, F5

Druckfestigkeitsentwicklung

Bei den Flugascherezepturen zeigt sich eine Erhöhung der Frühfestigkeiten gegenüber dem LH-Zement. Der Festigkeitsverlauf von Optimo 4 und FA ist deutlich moderater und gleichmäßiger als der von LH-Zement und reagiert somit günstiger auf die Rissempfindlichkeit bei der Festigkeitsentwicklung. Die Endfestigkeiten sind vergleichbar, und alle im Bereich der geforderten Vorgaben.

Temperaturverlauf

Die Maximaltemperatur kann durch Zugabe von FA reduziert werden und liegt ca. 2 °C über dem LH-Zement, also unwesentlich höher. Die Rezeptur mit Optimo 4 ohne FA liegt nur 4 °C höher als der LH-Zement. Der weitere Temperaturverlauf ist nahezu parallel zu LH-Zement.



w/z 0,55

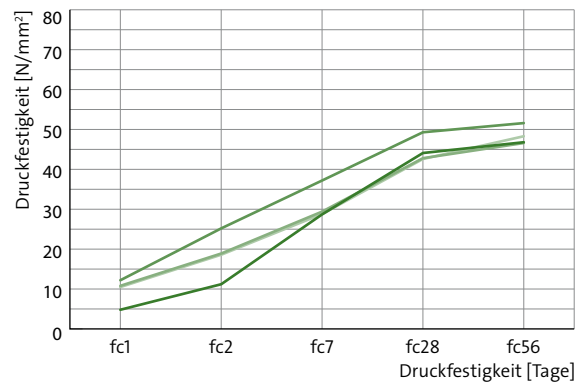
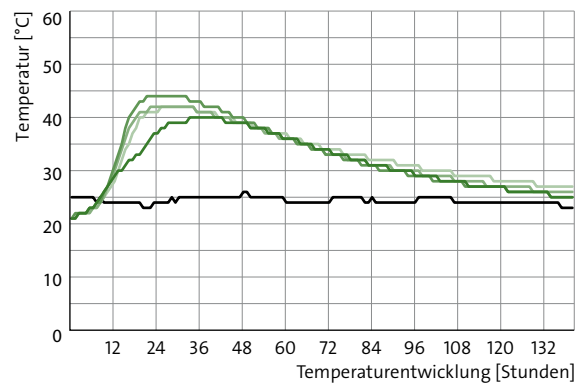


Abbildung 4: Druckfestigkeitsentwicklung im Beton (oben) und Temperaturverlauf im Beton (unten)



— Ausgangsbeton: Rezeptur pur mit LH-Zement 360 kg/m³
 — Optimierung: Rezeptur mit 320 kg/m³ Optimo 4 ohne FA
 — Optimierung: Rezeptur mit 300 kg/m³ Optimo 4 + 40 kg/m³ FA
 — Optimierung: Rezeptur mit 280 kg/m³ Optimo 4 + 80 kg/m³ FA
 — Lufttemperatur

Versuchsreihe 5: Zement/Flugasche-Konzepte mit w/z 0,58

Rezeptur

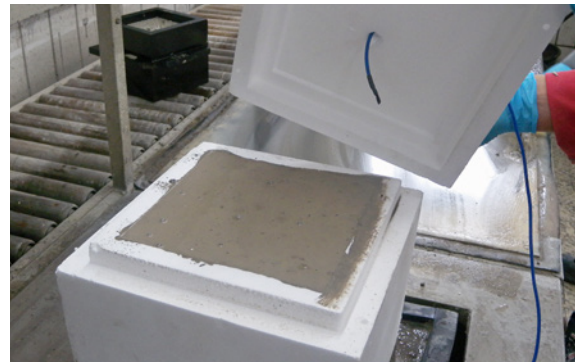
LH-Zement (Modero 3B) / CEM II/B-M (T-LL)
42,5 N (Optimo 4N)
C30/37, A/B 16 mm, w/z-Wert 0,58, F5

Druckfestigkeitsentwicklung

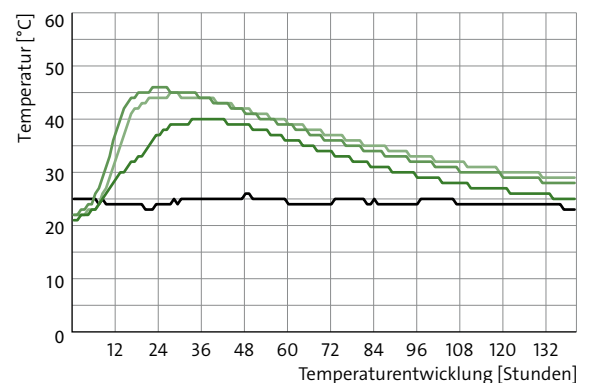
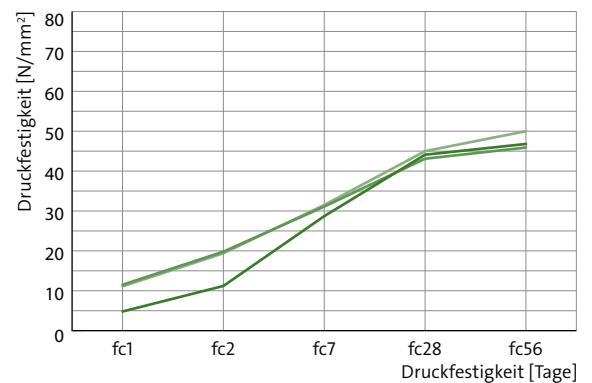
Bei den Flugascherezepturen zeigt sich eine höhere Frühfestigkeit gegenüber dem LH-Zement. Der Festigkeitsverlauf von Optimo 4 + FA ist deutlich moderater als der vom LH-Zement, dies wirkt sich positiv auf die Rissempfindlichkeit bei der Festigkeitsentwicklung aus. Die Endfestigkeiten sind alle vergleichbar und erreichen die geforderten Werte.

Temperaturverlauf

Die Maximaltemperatur kann durch Zugabe von FA reduziert werden und liegt mit ca. 5 °C nur unwesentlich über dem LH-Zement.



w/z 0,58



— Ausgangsbeton: Rezeptur pur mit LH-Zement 360 kg/m³
— Optimierung: Rezeptur mit 320 kg/m³ Optimo 4 + 60 kg/m³ FA
— Optimierung: Rezeptur mit 280 kg/m³ Optimo 4 + 80 kg/m³ FA
— Lufttemperatur

Abbildung 5: Druckfestigkeitsentwicklung im Beton (oben) und Temperaturverlauf im Beton (unten)

Vergleich der Hydratationswärmemessungen

Hydratationswärme

Das Diagramm zeigt deutlich, wie die Hydratationswärmeeentwicklung durch Zugabe von Flugasche reduziert werden kann. Optimo 4 ohne Flugasche zeigt eine maximale Hydratationswärme von 320 J/g, Modero 3B hingegen hat eine maximale Hydratationswärme von 251 J/g.

Die maximal zulässige Hydratationswärme bei LH-Zementen beträgt 270 J/g. Durch Zugabe von Flugasche kann die Hydratationswärme von Optimo 4 auf weniger als 270 J/g gesenkt werden. Dadurch entsteht ein Beton mit langsamer Festigkeitsentwicklung und einer Hydratationswärme ähnlich der eines LH-Zementes.

Erklärung

In der Ansicht wird der Vergleich der Hydratationswärmemessungen von Pur-Zement zu Abmischungen Zement und Flugasche dargestellt.

So kann durch Zugabe von Flugasche und Reduzierung des Zementgehalts ein Beton hergestellt werden, der ein ähnliches Temperaturverhalten wie ein LH-Zement aufweist.

Der so hergestellte Beton zeigt dann eine mittlere bis langsame Festigkeitsentwicklung. Dieser Beton ist auch dementsprechend nachzubehandeln.

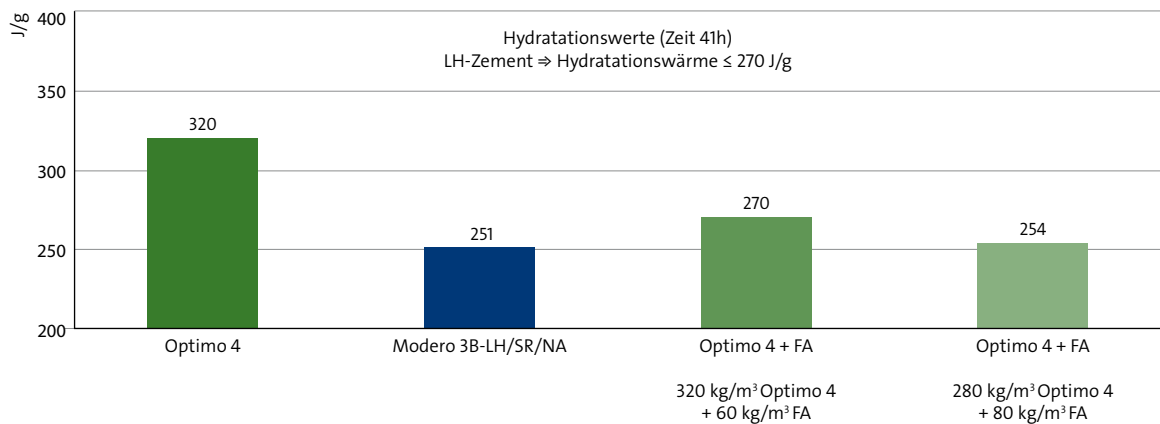


Abbildung 6: Hydratationswärmeeentwicklung im Vergleich

Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4 und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Praxisbeispiel 1: Massiges Fundament

Fundament Bochingen

Bauteilstärke 28 m x 17 m x 1,5 m (Betonmenge: 710 m³)

Beton

C30/37

Zementsorte: Optimo 4 (CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N)

300 kg/m³ Optimo 4 + 80 kg/m³ FA

w/z-Wert: 0,53; Konsistenz F3; Sieblinie: A/B 32

Betoneinbau

Frischbetonkonsistenz im Betonwerk 480 bis 520 mm, Druckfestigkeit im Durchschnitt 47 N/mm². Zwischen Betoneinbau und Oberflächenbearbeitung keine Zwischennachbehandlung.

Nachbehandlung

Nachbehandlung durch Auflegen von Folien nach Abschluss der Oberflächenbearbeitung und Wärmedämmmatten zur thermischen Nachbehandlung am Folgetag

Temperaturmessung

Temperaturmessung im Fundament mit einer Stärke von 1,5 m. Die Temperaturfühler wurden im Bauteil, an der Unterseite, in der Mitte und an der Oberseite eingebaut. Parallel dazu wurde die Lufttemperatur gemessen.

Auswertung

Der Temperaturverlauf im Fundament zeigt einen gleichmäßigen Temperaturanstieg aller Messfühler bis zur Maximaltemperatur von 53 °C im Kern. Durch Auflegen von Thermomatten konnte die Oberflächentemperatur der Kerntemperatur angepasst werden. Bei Temperaturunterschieden von ca. 20 °C kann es zu Spannungsrissen kommen. Im Bauteil konnten die Temperaturunterschiede deutlich unter 20 °C gehalten werden, somit ist mit Rissen durch Temperaturspannung nicht zu rechnen. Die Nachbehandlung wurde erst beendet, als sich die Betontemperaturen der Umgebungstemperatur angepasst hatten. Nach Entfernen der Dämmmatten und Folien konnten keine Risse an der Betonoberfläche festgestellt werden.



Bild 8: Nachbehandlung mit Folie



Bild 9: Nachbehandlung mit Thermomatten

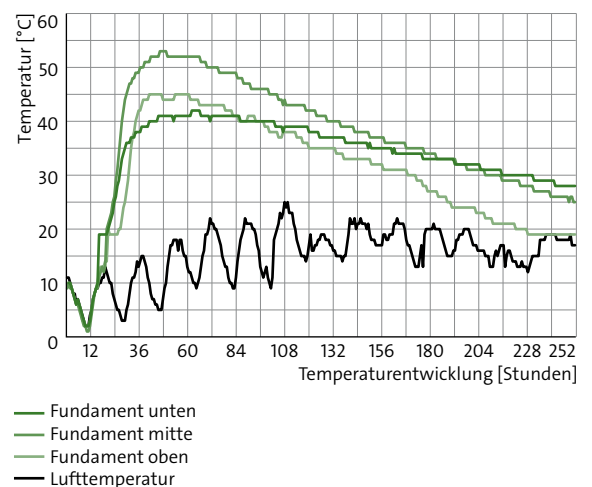


Diagramm 7: Fundament 28 m x 17 m x 1,5 m

Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4 und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Praxisbeispiel 2: Massige Bodenplatte

Bodenplatte Stuttgart Gerberareal
Bauteilstärke 1,3 m

Beton

C30/37 / C35/45

Zementsorte: Optimo 4 (CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N)

280 kg/m³ Optimo 4 + 100 kg/m³ FA

340 kg/m³ Optimo 4 + 100 kg/m³ FA

w/z-Wert: 0,53; Konsistenz F4; Sieblinie: A/B 32

Betoneinbau

Die Frischbetonkonsistenz lag im Betonwerk zwischen 480 und 520 mm, die Druckfestigkeit betrug im Durchschnitt 47 N/mm². Zwischen Betoneinbau und Oberflächenbearbeitung erfolgte keine Zwischennachbehandlung.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgte durch Folien nach Abschluss der Oberflächenbearbeitung.

Temperaturmessung

Temperaturmessung in der Bodenplatte mit einer Stärke von 1,25 m. Die Temperaturfühler wurden im Bauteil, an der Unterseite, in der Mitte und an der Oberseite eingebaut. Parallel dazu wurde die Lufttemperatur gemessen. Die Messung erfolgte mit dem Messgerät MC 862. Die Messung wurde über mehrere Tage durchgeführt.

Auswertung

Die Bodenplatte wurde mit zwei unterschiedlichen Betonen hergestellt. In den unteren 2/3 wurde ein Beton mit 280 kg/m³ Optimo 4 + 100 kg/m³ Flugasche eingebaut, im oberen Drittel ein Beton mit 340 kg/m³ Optimo 4 + 100 kg/m³ Flugasche. Der Beton im oberen Drittel sollte höhere Festigkeiten aufweisen, um beständiger gegen Abrieb und mechanische Beanspruchung zu sein. Der Temperaturverlauf zeigt eine Maximaltemperatur in der Mitte des Bauteils von 57 °C, an der Unterseite von 53 °C und an der Oberseite von 47 °C. Die Außentemperaturen waren sehr hoch, in der Nacht über 20 °C und am Tag bei ca. 40 °C. Die Bodenplatte wurde lediglich durch eine Folie nachbehandelt, somit hat die Sonneneinstrahlung einen großen Einfluss auf die Temperaturentwicklung im Bauteil. Es gab dennoch keine großen Temperaturunterschiede zwischen Bauteilmitte und Außenseite. Leider konnte die Temperatur an der Betonoberfläche nur zwei Tage beobachtet werden, da das Messkabel durchtrennt wurde. Anhand des Temperaturverlaufs zwischen Unterseite und Mitte zeigt sich eine gleichmäßige, langsame Abkühlung des Betons. Somit sind keine Risse durch Temperaturspannung zu erwarten.



Bild 10:
Betoneinbau
Gerberareal



Bild 11: Massige
Bodenplatte

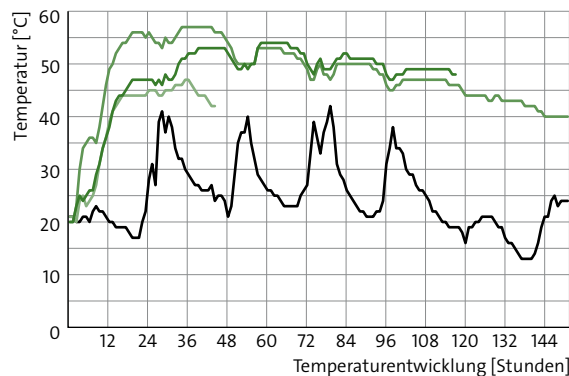


Abbildung 8:
Bodenplatte mit
1,3 m Stärke

- 001 Bodenplatte Beton DH 32 unten 280/100
- 002 Bodenplatte Beton DH 32 mitte 280/100
- 003 Bodenplatte Beton DN 55 oben 340/100
- Lufttemperatur

Praxisbeispiel 3: Massige Bodenplatte

Bodenplatte Stuttgart Gerberareal
Bauteilstärke 1 m

Beton

C50/60

Zementsorte: Optimo 4 (CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N)

375 kg/m³ Optimo 4 + 120 kg/m³ FA

w/z-Wert: 0,44; Konsistenz F4; Sieblinie: A/B 22

Betoneinbau

Konsistenz im Bereich F4, Frischbetonkonsistenz im Betonwerk zwischen 500 und 550 mm. Die Druckfestigkeit betrug im Durchschnitt 66 N/mm² nach 56 Tagen.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgte durch Auflegen von Folien.

Temperaturmessung

Temperaturmessung in der Bodenplatte mit einer Stärke von 1 m. Die Temperaturfühler wurden im Bauteil, an der Unterseite, in der Mitte und an der Oberseite eingebaut. Parallel dazu wurde die Lufttemperatur gemessen. Die Messung erfolgte mit dem Messgerät MC 862. Die Messung wurde über mehrere Tage durchgeführt.

Auswertung

Die Bodenplatte wurde mit einem Beton C50/60 hergestellt. Rezeptur mit 375 kg/m³ Optimo 4 + 120 kg/m³ Flugasche. Der Temperaturverlauf zeigt eine Maximaltemperatur in der Mitte des Bauteils von 60 °C, an der Unterseite von 57 °C und an der Oberseite von 50 °C.

Die Außentemperaturen waren sehr hoch, in der Nacht über 20 °C und am Tag bei ca. 35 °C. Die Bodenplatte wurde lediglich durch eine Folie nachbehandelt, somit hatte die Sonneneinstrahlung einen großen Einfluß auf die Temperaturentwicklung im Bauteil. Es gab keine großen Temperaturunterschiede zwischen Bauteilmitte und Unterseite. An der Oberseite waren die Temperaturen maximal 8–10 °C tiefer.

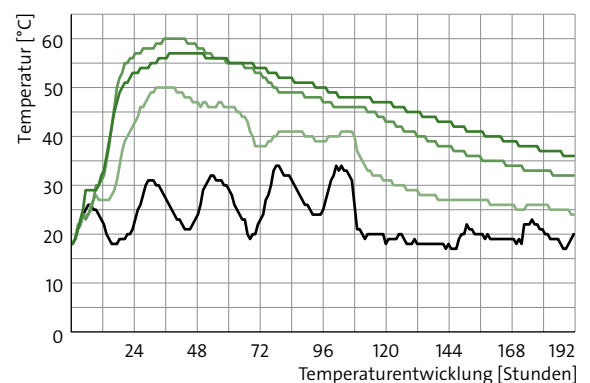
Anhand des Temperaturverlaufs zwischen Unterseite, Mitte und Oberseite zeigt sich eine gleichmäßige, langsame Abkühlung des Betons. Somit sind keine Risse durch Temperaturspannung zu erwarten.



Bild 12: Bodenplatte Gerberareal



Bild 13: Massige Bodenplatte



— 1 bei 20 cm unten
— 2 bei 55 cm mitte
— 3 bei 90 cm oben
— Lufttemperatur

Abbildung 9: Bodenplatte mit 1 m Stärke

Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4 und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Praxisbeispiel 4: Massiges Fundament

Brückenwiderlager Albstadt

Bauteilstärke 1,2 m

Beton

C50/60

Zementsorte: Optimo 5 (CEM II/B-M (T-LL) 52,5 N)

390 kg/m³ Optimo 5

w/z-Wert: 0,42; Konsistenz F3; Sieblinie: A/B 16

Betoneinbau

Die Frischbetonkonsistenz lag im Betonwerk zwischen 500 und 550 mm, die Druckfestigkeit betrug im Durchschnitt 66 N/mm² nach 56 Tagen.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgte durch Auflegen von Folien.

Temperaturmessung

Temperaturmessung im Fundament eines Widerlagers. Maximaltemperatur 62 °C in der Mitte des Bauteils und 45 °C am Rand des Bauteils. Die Lufttemperatur betrug im Durchschnitt 10 °C.

Auswertung

Die Temperaturmessung im Fundament des Brückenwiderlagers zeigt folgendes Ergebnis: Maximaltemperatur Bauteilmitte 62 °C, im Randbereich max. 45 °C. Lufttemperatur im Durchschnitt 10 °C, Temperaturunterschied von Mitte zu Rand 17 °C. Da die Holzschalung am Bauteil verblieb, ist dies kein zu großer Unterschied. Im Bauteil entstanden keine Risse infolge von Temperaturspannungen.



Bild 14:
Brückenwiderlager



Bild 15:
Massenfundament

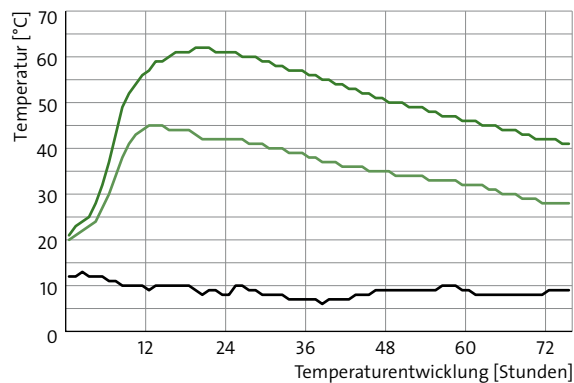


Abbildung 10:
Bauteilstärke 1,2 m

— Mitte Fundament
— Außen knapp an der Schalung
— Lufttemperatur

Praxisbeispiel 5: Massiger Brückenkörper

Brückenüberbau Tuttlingen
Bauteilstärke 2 m (740 m³)

Beton

C45/55

Zementsorte: Optimo 4 (CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N)

330 kg/m³ Optimo 4 + 100 kg/m³ FA

w/z-Wert: 0,43; Konsistenz F4; Sieblinie: A/B 32

Betoneinbau

Die Frischbetonkonsistenz lag im Betonwerk zwischen 480 und 520 mm, die Druckfestigkeit betrug im Durchschnitt 62 N/mm² nach 28 Tagen. Der Beton wurde geglättet, zwischen Betoneinbau und Glättbeginn wurde der Beton durch Aufsprühen von Curing zwischennachbehandelt.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgte zuerst direkt nach dem Glätten mit einem Curing und anschließend durch Auflegen von Folien und Wärmedämmmatten.

Temperaturmessung

Temperaturmessung im Brückenkörper mit einer Stärke von 1,5 m und 2 m. Die Temperaturfühler wurden im Bauteil, an der Unterseite, in der Mitte und an der Oberseite eingebaut. Parallel dazu wurde die Lufttemperatur im geschützten Bereich unter der Brücke gemessen.

Die Messung erfolgte mit 2 Messgeräten, die an unterschiedlichen Stellen eingebaut wurden: Einmal in der Mitte der Brücke über der Stütze bei einer Stärke von 2 m und einmal im normalen Brückenbereich bei 1,5 m. Die Messung wurde über 48 Tage durchgeführt.

Auswertung

Der Temperaturverlauf im Brückenkörper mit einer Stärke von 2 m zeigte eine Maximaltemperatur von 64 °C im Bauteilkern. Die Temperatur an der Bauteiloberseite verläuft fast parallel mit ca. 10 °C geringeren Temperaturen. Insgesamt ist der Temperaturverlauf an allen Messstellen gleichmäßig mit sehr langsamem Temperaturabfall im Laufe der Messzeit.

Die Nachbehandlung wurde erst beendet, als sich die Betontemperaturen der Umgebungstemperatur angepasst hatten. Sie wurde vorbildlich durchgeführt und ausreichend lange durchgehalten.

Nach Entfernen der Dämmmatten und Folien konnten keine Risse an der Betonoberfläche festgestellt werden.



Bild 16: Bückenüberbau



Bild 17: Donaubrücke Tuttlingen

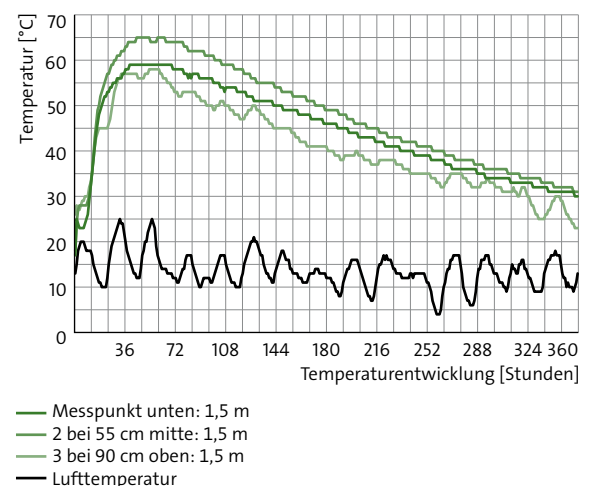


Abbildung 11: Brückenüberbau mit 2 m Stärke

Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4 und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Praxisbeispiel 6: Massiges Fundament

Windkraftfundament Prechtal

Bauteilstärke: 3 m x 5 m

Beton

C30/37

Zementsorte: Optimo 4 (CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N)

300 kg/m³ Optimo 4 + 80 kg/m³ FA

w/z-Wert: 0,53; Konsistenz F4; Sieblinie: A/B 22

Betoneinbau

Die Frischbetonkonsistenz lag im Betonwerk zwischen 460 und 480 mm, die Druckfestigkeit betrug im Durchschnitt 44 N/mm² nach 28 Tagen

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgte an der Oberseite durch ständiges Wässern mit einem Schlauch. Die Seitenwände verblieben in der Schalung.

Temperaturmessung

Temperaturmessung am Bauteil (Fundament) 3 m x 5 m. Die Messfühler wurden an der Unterseite des Fundamentes, in der Mitte und an der Oberseite installiert. Die Maximaltemperatur im Bauteilkern liegt bei 61 °C, an der Unterseite bei 52 °C und an der Oberseite bei 44 °C.

Auswertung

Temperaturmessung am Fundament einer Windkraftanlage mit einer Breite von 5 m und einer Stärke von 3 m. Trotz nicht durchgeführter Abdeckung mit Folien und Wärmedämmmatten ist der Temperaturunterschied zwischen Kern und Außenseiten nicht im kritischen Bereich. Vom Kern zu den jeweiligen Außenseiten ist die Temperaturdifferenz weniger als 20 °C, somit ist die Gefahr der Rissbildung infolge Temperaturspannung nicht gegeben. Am Bauteil wurden keine Risse festgestellt.



Bild 18: Fundament Windkraftanlage



Bild 19: Fundament Windkraftanlage

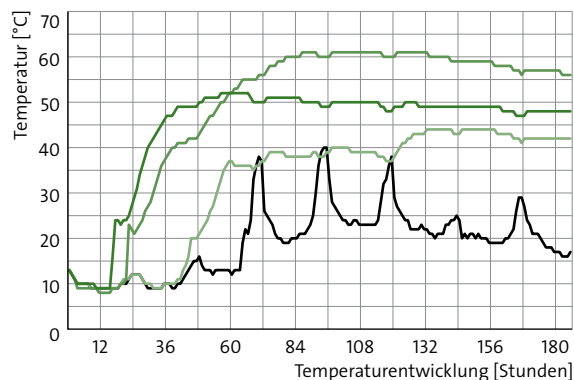


Abbildung 12: Windkraftfundament 3 m x 5 m

— Fundament unten
— Fundament mitte
— Fundament oben
— Lufttemperatur

Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4 und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Praxisbeispiel 7: Massige Bodenplatte

Bodenplatte Turm Rottweil
Bauteilstärke 2 m

Beton

C50/60

Zementsorte: Optimo 4 (CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N)

340 kg/m³ Optimo 4 + 110 kg/m³ FA

w/z-Wert: 0,47; Konsistenz F4; Sieblinie: A/B 22

Betoneinbau

Die Frischbetonkonsistenz lag im Betonwerk zwischen 520 und 560 mm, die Druckfestigkeit betrug im Durchschnitt 66 N/mm² nach 56 Tagen.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgte durch Auflegen von Folien.

Temperaturmessung

Temperaturmessung in der Bodenplatte mit einer Stärke von 2 m. Die Temperaturfühler wurden im Bauteil, an der Unterseite, in der Mitte und an der Oberseite eingebaut. Parallel dazu wurde die Lufttemperatur gemessen.

Die Maximaltemperatur in der Mitte der Bodenplatte betrug 55 °C, an der Unterseite wurden 43 °C gemessen und an der Oberfläche lag die Temperatur bei 35 °C. Der Verlauf der Kurve zeigt, dass die Temperaturunterschiede zwischen unten, mitte und oben durchweg im günstigen Bereich lagen und somit keine Risse durch Temperaturspannungen entstanden.

Auswertung

Der Verlauf der Temperaturkurve zeigt, dass die Temperaturunterschiede zwischen unten, mitte und oben durchgehend im günstigen Bereich unter 20 °C Temperaturdifferenz lagen und somit keine Risse durch Temperaturspannungen entstanden sind. Die Außentemperaturen lagen über die gesamte Messphase zwischen 0 und 10 °C, was der Maximaltemperatur im Bauteil zugute kam. Auch mit einem C50/60 kann somit ein massiges Bauteil problemlos und rissefrei hergestellt werden. Wichtig ist immer, dass die Nachbehandlung zeitig und ausreichend erfolgt.

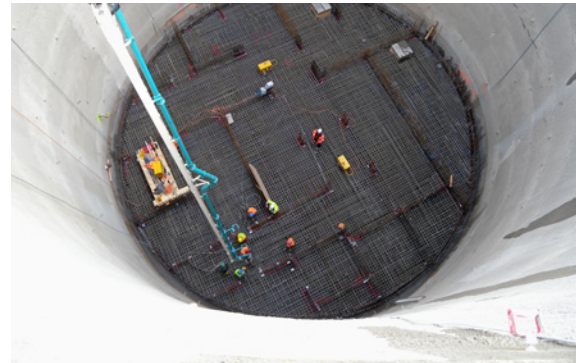


Bild 20: Betonage Bodenplatte



Bild 21: Nachbehandlung Bodenplatte

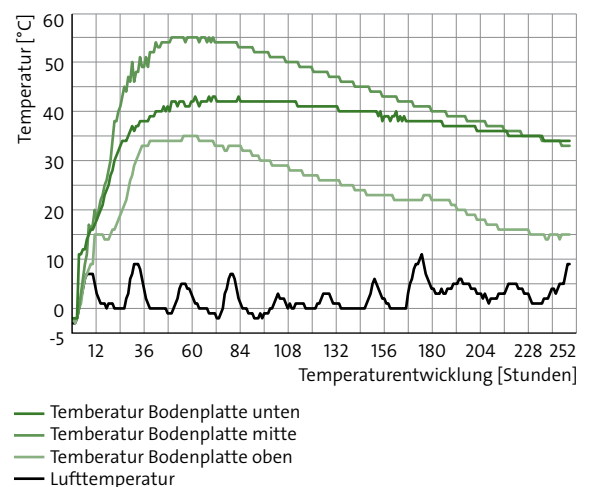


Abbildung 13: Bodenplatte/Fundament 22 m x 2 m

Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4 und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Praxisbeispiel 8: Massige Wand

Hochwasserrückhaltebecken Hechingen
Wandhöhe 5 m, Wandstärke 1,2 m

Beton

C30/37

Zementsorte: Optimo 4 (CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N)

320 kg/m³ Optimo 4 + 60 kg/m³ FA

w/z-Wert: 0,48; Konsistenz F4; Sieblinie: A/B 16 mm

Betoneinbau

Die Frischbetonkonsistenz lag im Betonwerk zwischen 520 und 560 mm, die Druckfestigkeit betrug im Durchschnitt 49 N/mm² nach 28 Tagen.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgte durch Belassen in der Schalung und Auflegen von Folien.

Temperaturmessung

Temperaturmessung in der Wand mit einer Stärke von 1,2 m. Die Temperaturfühler wurden im Bauteil, an der Unterseite, in der Mitte und an der Oberseite eingebaut. Parallel dazu wurde die Lufttemperatur gemessen.

Die Maximaltemperatur in der Mitte der Wand betrug 45 °C, an der Unterseite wurden 39 °C gemessen und an der Oberfläche lag die Temperatur bei 37 °C. Der Verlauf der Kurve zeigt, dass die Temperaturunterschiede zwischen unten, mitte und oben durchweg im günstigen Bereich lagen und somit keine Risse durch Temperaturspannungen entstanden.

Auswertung

Der Verlauf der Temperaturkurve zeigt, dass die Temperaturunterschiede zwischen unten, mitte und oben durchgehend im günstigen Bereich weit unter 20 °C Temperaturdifferenz lagen und somit keine Risse durch Temperaturspannungen entstanden sind. Die Wand konnte somit ohne Probleme auch mit Normalzement und FA problemlos und rissefrei hergestellt werden. Das Belassen in der Schalung und das Abdecken der Wandoberseite dienten als ausreichende Nachbehandlung.



Bild 22: Wand HRB Hechingen



Bild 23: Nachbehandlung Wandkrone

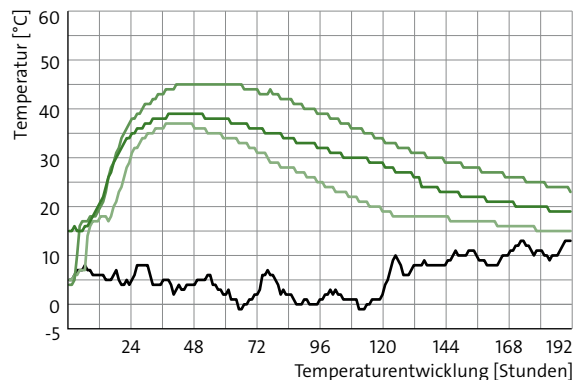


Abbildung 14: Wand HRB Hechingen 5m Höhe – 1,2m Stärke

— Optimo 4+FA-Wand unten
— Optimo 4+FA-Wand mitte
— Optimo 4+FA-Wand oben
— Lufttemperatur

Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4 und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Praxisbeispiel 9: Massige Wand

Einlassbauwerk Kappel am Rhein
Wandhöhe 7,1 m, Wandstärke 1,2 m

Beton

C35/45

Zementsorte: Modero 3B (CEM III/B 32,5 N-LH/SR/NA
360 kg/m³ Modero 3B + 40 kg/m³ Stoneash
w/z-Wert: 0,45; Konsistenz F4; Sieblinie: A/B 32 mm

Betoneinbau

Die Frischbetonkonsistenz lag im Betonwerk zwischen 550 und 600 mm, die Druckfestigkeit betrug im Durchschnitt 60 N/mm² nach 28 Tagen.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgte durch Belassen in der Schalung und Auflegen von Folien.

Temperaturmessung

Temperaturmessung in der Wand mit einer Stärke von 1,2 m. Die Temperaturfühler wurden im Bauteil, an der Unterseite, in der Mitte und an der Oberseite eingebaut. Parallel dazu wurde die Lufttemperatur gemessen.

Die Maximaltemperatur in der Mitte der Wand betrug 43 °C, an der Unterseite wurden 38 °C gemessen und an der Oberfläche lag die Temperatur bei 31 °C. Der Verlauf der Kurve zeigt, dass die Temperaturunterschiede zwischen unten, mitte und oben durchweg im günstigen Bereich lagen und somit keine Risse durch Temperaturspannungen entstanden.

Auswertung

Der Verlauf der Temperaturkurve zeigt, dass die Temperaturunterschiede zwischen Unten, Mitte und Oben durchgehend im günstigen Bereich weit unter 20 °C Temperaturdifferenz lagen und somit keine Risse durch Temperaturspannungen entstanden sind. Die Ergebnisse dieser Messung mit 360 kg/m³ CEM III-Zement sind durchaus mit der vorherigen Messung (Beispiel 8) mit 320 kg/m³ Optimo 4 + FA vergleichbar. Die Umgebungsbedingungen und die Bauteilgeometrie sind vergleichbar.



Bild 24: Wand Einlassbauwerk Rhein



Bild 25: Nachbehandlung Wand

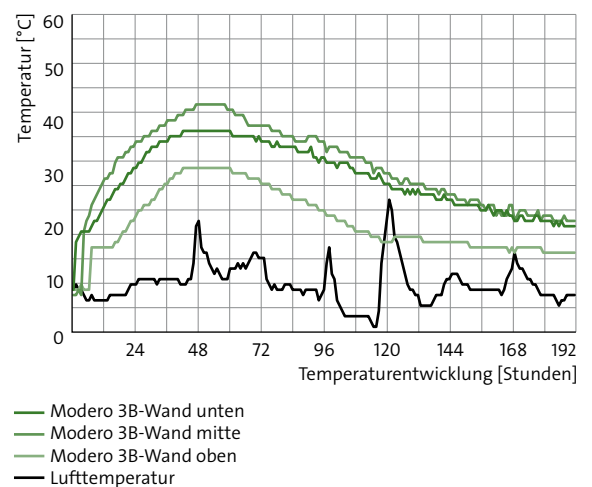


Abbildung 15: Wand Einlassbauwerk
Kappel 7,1m Höhe – 1,2m Stärke

Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4 und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Praxisbeispiel 10: Massiges Fundament

Windkraftfundamente Windpark Gengenbach
Bauteilstärke: 2,70 m x 3,90 m

Beton

C30/37

Zementsorte: Optimo 4 (CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N)

280 kg/m³ Optimo 4 + 50 kg/m³ FA

w/z-Wert: 0,53; Konsistenz F4; Sieblinie: A/B 32 /16

Betoneinbau

Der Beton wurde mit einer Betonpumpe eingebracht.

Nachbehandlung

Eine Nachbehandlung der Oberseite wurde nicht durchgeführt. Die Seitenwände verblieben in der Schalung.

Temperaturmessung

Temperaturmessung am Bauteil (Fundament)
2,70 m x 3,90 m.

Die Messfühler wurden an der Unterseite des Fundamentes, in der Mitte und an der Oberseite installiert. Die Maximaltemperatur im Bauteilkern liegt bei 61 °C, an der Unterseite bei 41 °C und an der Oberseite bei 44 °C.

Auswertung

Temperaturmessung am Fundament einer Windkraftanlage mit einer Breite von 2,70 m und einer Stärke von 3,90 m. Trotz nicht durchgeführter Abdeckung mit Folien und Wärmedämmmatten ist der Temperaturunterschied zwischen Kern und Außenseiten nicht im kritischen Bereich. Vom Kern zu den jeweiligen Außenseiten ist die Temperaturdifferenz unter 20 °C, somit ist die Gefahr der Rissbildung infolge Temperaturspannung nicht gegeben. Am Bauteil wurden keine Risse festgestellt.

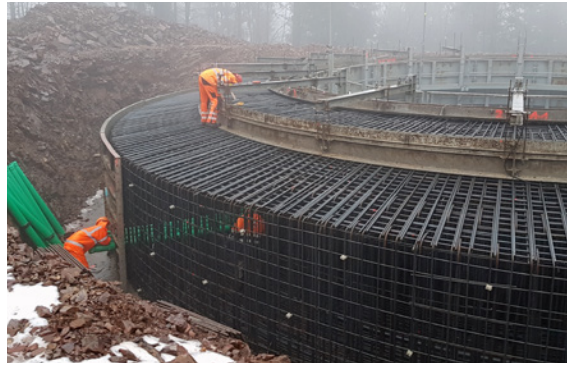


Bild 26: Fundament
Windkraftanlage



Bild 27: Fundament
Windkraftanlage

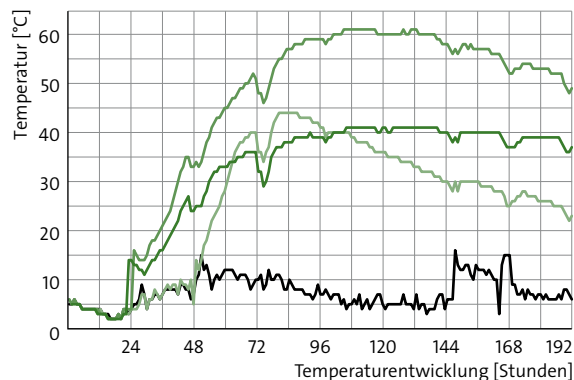


Abbildung 16:
Windkraft-
fundament
2,70 m x 3,90 m

— Fundament unten [°C]
— Fundament mitte [°C]
— Fundament oben [°C]
— Lufttemperatur

Kurzfassung der Untersuchungen

Kurzfassung der Untersuchungsergebnisse aus dem Bericht Nr. 903 2158 000 vom
24.10.2016

Berichts-Nr.:	903 2158 000/Kurzfassung
Auftraggeber:	Holcim (Schweiz) AG Technical Expert Center Zementweg 1 CH- 5303 Würenlingen
Auftrags-Nr. (Kunde):	Auftrag vom 01.07.2016
Auftrags-Nr. (MPA):	903 2158 000 /Bj
Prüfgegenstand:	siehe Seite 2
Prüfspezifikation mit Ausgabedatum:	siehe Seite 2
Eingangsdatum des Prüfgegenstandes:	21.06.2016
Datum der Prüfung:	01.07.2016 - 20.09.2016
Datum des Berichts:	09.01.2017
Seite 1 von	3 Textseiten
Beilagen:	2
Anlagen:	-
Gesamtseitenzahl:	5
Anzahl der Ausfertigungen:	2x Kunde (Original und pdf) 1x Bearbeiter 1x Archiv

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.

Veröffentlichung des vorliegenden Berichtes (auch auszugsweise) ist nur mit schriftlicher Genehmigung der MPA Universität Stuttgart zulässig.

1 Aufgabenstellung

In Rahmen der Untersuchungen wurden Messungen der Hydrationswärme an insgesamt sieben Zementen bzw. Zement-Flugasche-Gemischen durchgeführt, sowie Messungen der Wärmeentwicklung und der Betoneigenschaften an fünf Betonen. Die Untersuchungen erfolgten einerseits an Zementproben (Lösungsverfahren – Hydrationswärme im Alter von 7 Tagen nach DIN EN 196-08) und andererseits an Betonprüfkörpern (teiladiabatischer Versuch). Es wurden drei verschiedene Zemente eingesetzt, nämlich LH-Zement des Typs Modero 3B (Hochofenzement), Portlandkompositzement des Typs Optimo 4 und Schieferhochofenzement des Typs Durabilo 4. Eine Übersicht der verwendeten Zemente und Betone ist in Tabelle 1, Beilage 1, dargestellt. Zum Vergleich der Ergebnisse wurden bei den Betonen ein äquivalenter w/z-Wert von 0,45 und eine weiche Frischbetonkonsistenz (F3) festgelegt. Die Prüfkörper zur Messung der Temperaturentwicklung an Betonproben (teiladiabatischer Versuch) wurden in einer Würfelform (Innenkantenlänge 30 cm), bestehend aus einer Holzschalung (Dicke rd. 1 cm) mit einer 10 cm dicken Schicht aus XPS hergestellt. Die Temperaturen wurden in der Würfelmittle, an der Außenseite der Dämmung und im Lagerraum über einen Zeitraum von 10 Tagen minütlich gemessen.

2 Prüfergebnisse

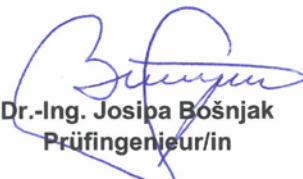
Die Hydrationswärme der untersuchten Zemente (Doppelbestimmung nach DIN EN 196-08) ist in Abbildung 1, Beilage 1, dargestellt. Die Ergebnisse zeigen deutliche Tendenzen mit einer akzeptablen Streuung der Einzelwerte. Der Referenzzement (Modero 3B) liegt deutlich unter dem Grenzwert von 270 J/g für die maximale zulässige Hydrationswärme von LH-Zementen, wobei die zwei anderen Zemente erwartungsgemäß höhere Hydrationswärmen aufweisen. Der Portlandkompositzement Optimo 4 liegt mit 295 J/g deutlich über dem Grenzwert und der Schieferhochofenzement Durabilo 4 mit 275 J/g liegt nur leicht über dem Grenzwert. Wenn die Zemente teilweise durch Flugasche ersetzt werden, kommt es zu einer deutlichen Abnahme der Hydrationswärme. Bei höherem Anteil der Flugasche im Bindemittelgemisch wird eine geringere Hydrationswärme gemessen. Wenn 22,2 M.-% des Zements durch Flugasche ersetzt werden, weisen die beiden untersuchten Gemische niedrigere Hydrationswärmen als der Referenzzement auf. Die Ergebnisse bestätigen den bekannten positiven Effekt der Flugaschezugabe auf die Begrenzung der Hydrationswärme in massigen Bauteilen.

Die Entwicklung der Druckfestigkeiten der untersuchten Betone zeigt Abbildung 2, Beilage 2. Die Temperaturentwicklung der fünf untersuchten Betonrezepturen ist in Abbildung 3, Beilage 2, graphisch dargestellt. Die Temperaturentwicklungen weisen auf ein ähnliches Verhalten aller untersuchten Betone hin. Der Referenzbeton mit dem LH-Zement erfährt das Maximum von rd. 47 °C

nach etwa 1,5 Tagen, die Betone mit dem Gemisch aus Schieferhochofenzement und Flugasche liegen etwas höher in der Maximaltemperatur bei rd. 48 °C nach etwa 1,4 Tagen und die Betone mit dem Gemisch aus Portlandkompositzement und Flugasche weisen eine Maximaltemperatur von 52 °C bereits nach etwa 1,2 Tagen auf. Auffällig ist der etwas steilere anfängliche Temperaturanstieg bei Optimo 4 als bei Betonen mit dem Referenzzement und Durabilo 4. Etwa 15 Stunden nach der Herstellung beträgt die Temperatur von beiden Betonen mit Optimo 4 über 44 °C, wobei die restlichen Betone unter 35 °C liegen. Der Beton mit dem Durabilo 4 weist eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Referenzbeton aus LH-Zement auf, insbesondere bei den höheren Anteilen an Flugasche. Die Temperaturverläufe bei der Abkühlung sind für alle untersuchten Betone nahezu identisch und verlaufen sehr gleichmäßig.

Die Ergebnisse der Druckfestigkeit verdeutlichen die Vorteile der untersuchten Betone im Vergleich zum Referenzbeton. Diese weisen eine vergleichsweise schnelle Festigkeitsentwicklung auf, mit r-Werten bis zu 0,53. Der Referenzbeton dahingegen fällt in die Kategorie der langsamen Festigkeitsentwicklung mit einem r-Wert von 0,19. Im Alter von einem Tag weist der Referenzbeton eine Druckfestigkeit von 5,3 MPa auf. Die Betone aus Zement-Flugasche-Gemischen weisen im gleichen Alter deutlich höhere Druckfestigkeiten zwischen etwa 10 und etwa 20 MPa auf. Somit ist die Rissneigung infolge der thermischen Spannungen wesentlich geringer, ausgehend von der gleichen Temperaturverteilung. Die 56-Tagesfestigkeiten der Betone aus Zement-Flugasche-Gemischen sind im Vergleich zum Referenzbeton um rd. 20% höher. Die höheren Frühfestigkeiten sind ein wesentlicher Aspekt in der Baupraxis, beispielweise bei der Einhaltung von Ausschallfristen. Weiter trägt die höhere Festigkeit zum verbesserten Frostwiderstand von Beton bei. Trotz des relativen steilen Anstiegs der Druckfestigkeit bei Betonen mit Optimo 4 und Durabilo 4, sind die Auswirkungen auf die Wärmeentwicklung vergleichsmäßig gering.

Anhand der dargestellten Versuchsergebnisse wird festgestellt, dass die untersuchten Betone aus Zement-Flugasche-Gemischen eine gute Alternative zu dem Referenzbeton aus Hochofenzement darstellen. Da der maximale Temperaturunterschied zwischen Betonrandzone und Betonkern die vorgeschriebenen Werte nicht übersteigen soll, sind im Bedarfsfall entsprechende thermische Nachbehandlungsmethoden zu ergreifen.


Dr.-Ing. Josipa Bošnjak
Prüfingenieur/in


Dr.-Ing. Christian Öttl
Referatsleiter Betontechnologie

Tabelle 1. Übersicht der untersuchten Zement-Flugasche-Gemische und Betone

Bez.	Untersuchte Zement-Flugasche-Gemische			Untersuchte Betone		
	Zementart [-]	Zementmenge [kg/m ³]	Flugaschezugabe [kg/m ³]	Zementart [-]	Zementmenge [kg/m ³]	Flugaschezugabe [kg/m ³]
Mo	Modero 3B	360	-	Modero 3B	360	-
Op	Optimo 4	360	-	-	-	-
Op60	Optimo 4 + FA	300	60	Optimo 4 + FA	300	60
Op80	Optimo 4 + FA	280	80	Optimo 4 + FA	280	80
Du	Durabilo 4	360	-	-	-	-
Du60	Durabilo 4 + FA	300	60	Durabilo 4 + FA	300	60
Du80	Durabilo 4 + FA	280	80	Durabilo 4 + FA	280	80

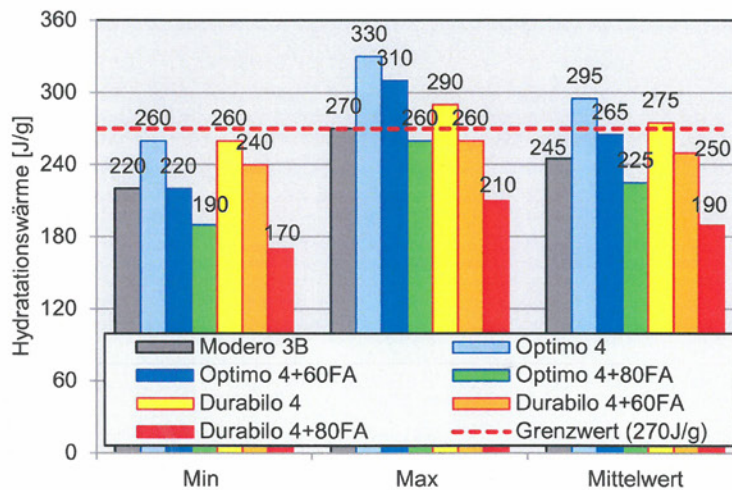


Abbildung 1. Hydratationswärme (Lösungsverfahren nach DIN EN 196-08) der untersuchten Zemente und Zement-Flugasche-Gemische

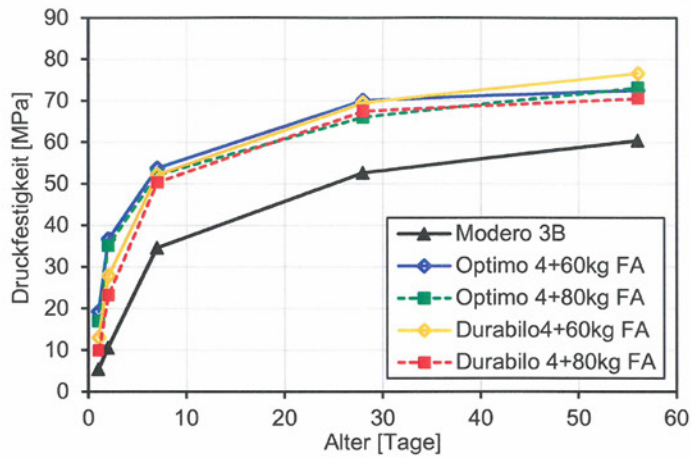


Abbildung 2. Entwicklung der Druckfestigkeit der untersuchten Betone

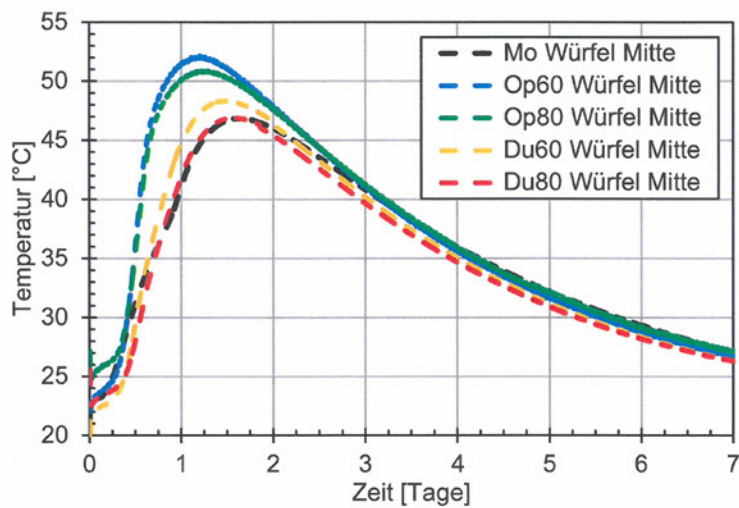


Abbildung 3. Vergleich der Temperaturentwicklung in der Würfelmitte für die fünf untersuchten Betonrezepturen in den ersten 7 Tagen nach der Herstellung

Moderate Betontemperatur

Anwendungsbeispiele für Optimo 4 und Flugasche als Ersatz für LH-Zement

Zusammenfassung

Anhand der vielen Labor- und Baustellenprüfungen zeigt sich ganz deutlich, dass die Rezepturen mit Optimo 4 und Flugasche für massive Bauteile geeignet sind.

Mit Optimo-4-Flugaschemischungen lassen sich die maximalen Temperaturen deutlich senken und in einen Bereich eines LH-Zementes bringen.

Die Frühfestigkeit ist am Anfang etwas höher als bei LH-Zement, allerdings ist die Festigkeitsentwicklung bei Optimo-4-Flugaschemischungen wesentlich moderater und gleichmäßiger.

Die Prüfungen zeigen, dass die Optimo-4-Flugaschemischungen bei allen Wasserzementwerten und somit auch bei allen Festigkeitsklassen problemlos einsetzbar sind. Bei hohen Wänden hat eine Optimo-4-Flugasche-rezeptur den Vorteil, dass der Schalungsdruck, durch eine höhere Frühfestigkeitsentwicklung gegenüber eines LH-Zements, schneller abgebaut wird. Der Beton mit Optimo-4-Flugaschemischung kann früher bearbeitet oder entschalt werden.

Eine angemessene Nachbehandlung bzw. Zwischennachbehandlung trägt wesentlich zu guten Ergebnissen bei.





Holcim (Süddeutschland) GmbH
72359 Dotternhausen
Telefon +49 7427 79 300
Telefax +49 7427 79 248
info-sueddeutschland@holcim.com
www.holcim-sued.de

