

# Betonwarenproduktion



 **BASF**

The Chemical Company

**BASF Construction Chemicals Austria GmbH**  
**Strobl Thomas**  
**Jänner 2007**

*Adding Value to Concrete*

## ➤ Besonderheiten erdfeuchter Betone

## ➤ Optimierung von Betonwaren

- Laborprüfmethoden
- Ausblühungen
- Einsatz von Zusatzmitteln

## ➤ Ergebnisse von Laborversuchen

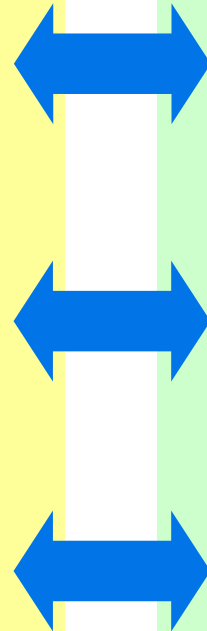
# Besonderheiten erdfeuchter Betone



- Trotz des großen Einsatzbereiches erdfeuchter Mischungen ist deren **Entwurf und die Optimierung dieses Stoffsystems bisher nicht geregelt**
- Die Beschäftigung mit diesen Themen basiert heute auf **Erfahrungen oder Annahmen der einzelnen Hersteller**
- Die Entwicklung von Rezepturen erdfeuchter Betone erfolgt nicht allein nach den betontechnologischen Gesichtspunkten
  - auch die wirtschaftlichen Aspekte der Herstellung (z. B. verfügbare Rohstoffe), die Produktionsbedingungen (Maschinenteknik) und die optische Gestaltung (Spezialkörnungen, Farbe) spielen dabei eine große Rolle
- Die Herstellung von Betonwaren aus erdfeuchtem Beton unterliegt also mehreren verschiedenen Einflussfaktoren, die sich quer beeinflussen

## Kundenanforderungen

- Maßgenauigkeit
- Form
- Textur
- Dichte
- Festigkeit
- Wasseraufnahme
- Gleit-/Rutschwiderstand
- Abriebwiderstand
- Frost-Taumittel-Widerstand
- Ausblühungen
- Farbe



## Betonwarenhersteller

- Mischeffizienz
- Befüllbarkeit der Formen
- Verdichtung
- Robustheit in der Produktion
- Kurze Härtezeiten
- Schneller Umschlag
- Reduzierte Bestände im Lager
- Wirtschaftlichkeit der Rezeptur

# Die verschiedenen Ansprüche an die Betonrezeptur

- gute Verarbeitbarkeit (Zeit, Verdichtungswilligkeit)
- hohe Gründruck-/Grünstandsfestigkeit
- geschlossene Oberflächen
- geringe Ausblühneigung, hohe Farbstabilität
- ausreichende Festbetonfestigkeit (auch Frühfestigkeit)
- hohe Dauerhaftigkeit
- möglichst niedrige Kosten



# Die verschiedenen Ansprüche an die Betonrezeptur

- Schwierig ist bisher vor Allem, die verschiedenen Ansprüche an die Betonrezeptur **in einem Laborverfahren abzubilden** und klar von maschinentechnischen Problemen im Produktionsprozess abzukoppeln
- Die starke Abhängigkeit der Gründruckfestigkeit und der Festbetoneigenschaften von der erzielten Rohdichte ist dabei ein bekannter Umstand



➤ Besonderheiten erdfeuchter Betone

➤ **Optimierung von Betonwaren**

- Laborprüfmethoden
- Ausblühungen
- Einsatz von Zusatzmitteln

➤ Ergebnisse von Laborversuchen

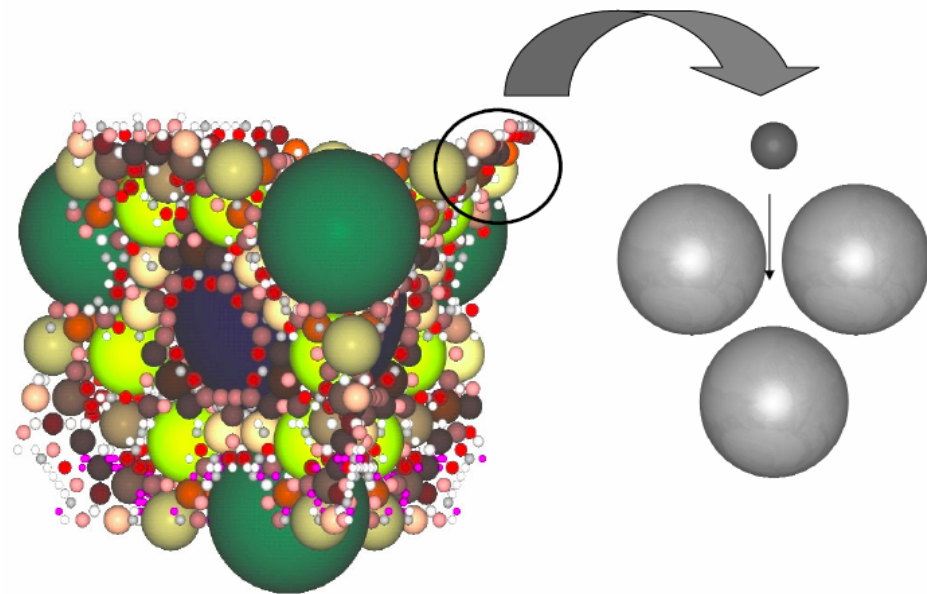
# Strategien zur Verbesserung erdfeuchter Betone

1. **Senkung des** für die optimale Verdichtung erforderlichen **Wassergehaltes** und des W/BM-Wertes durch die Verwendung von leistungsstarken Fließmittel
2. **Verbesserung der Packungsdichte** insbesondere des Feinstkorns ( $< 0,25$  mm) durch gezielte Kombination von Zement und geeigneten feinen Zusatzstoffen zusammen mit der Verwendung von leistungsstarken Fließmitteln
3. Nutzung einer feinststofflichen Optimierung und leistungsstarker Fließmittel zur **Senkung des Bindemittelgehaltes** ohne Veränderung der erforderlichen Festigkeits- und Dauerhaftigkeitseigenschaften



# Packungsdichte und Grünstandsfestigkeit

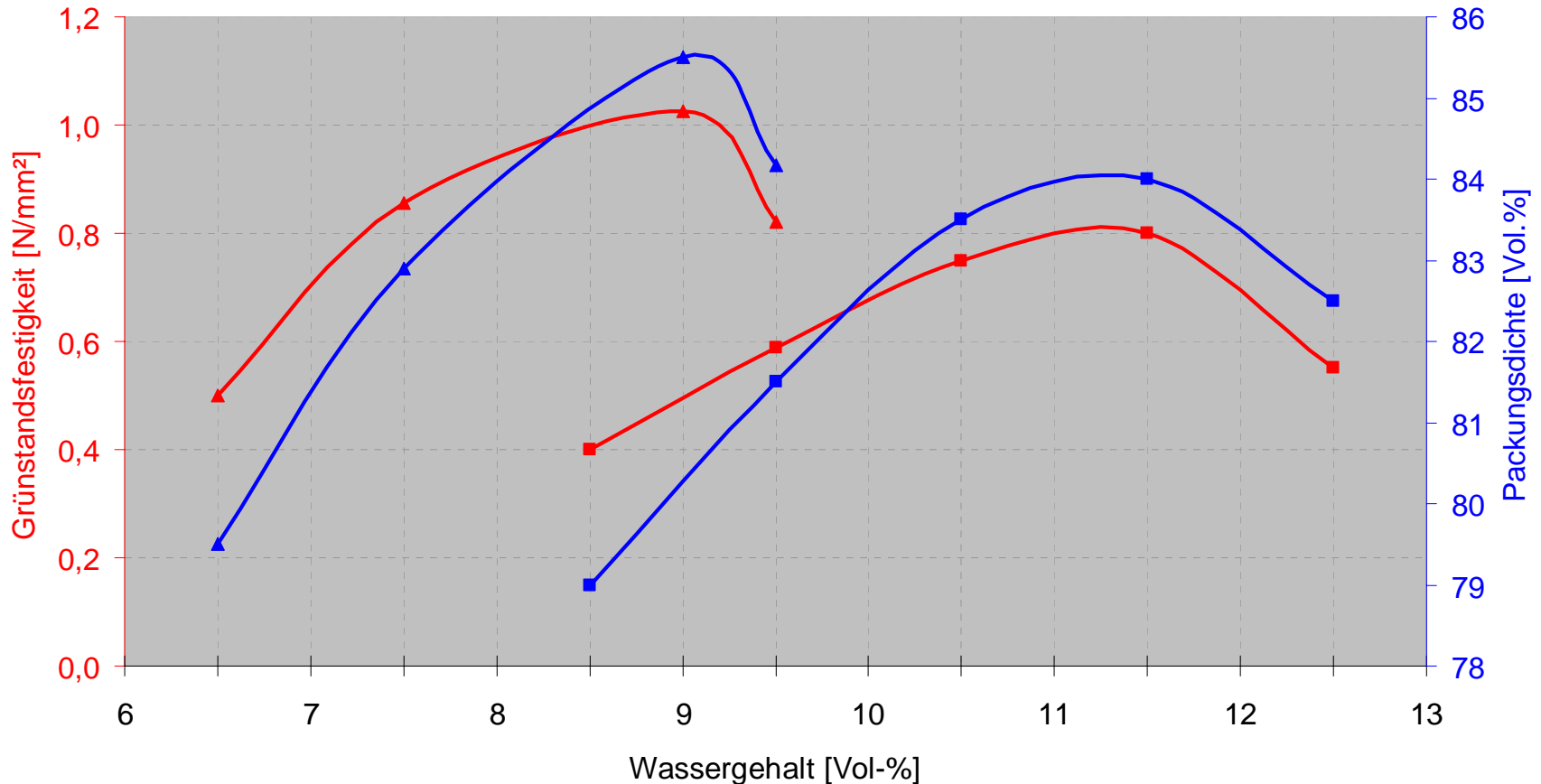
- In Abhängigkeit vom Wassergehalt ergibt sich für eine gewählte Stoffzusammensetzung eine charakteristische Dichtekurve
- Ab einem gewissen Wassergehalt ist die Probe so weit verdichtet, dass quasi kein luftgefüllter Hohlraum mehr zu Verfügung steht
- Dieser Punkt ist gleichzeitig auch der Bereich der optimalen Packung für diese Stoffzusammensetzung
- Gibt man mehr Wasser hinzu, so verdrängt dieses Wasser Feststoff, die Packungsdichte muss zwangsläufig wieder sinken



# Strategie 1 - Senkung des Wassergehaltes

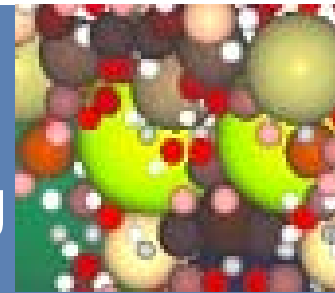
Zusammenhang zw. Packungsdichte, Grünstandsfestigkeit und Wassergehalt

- Grünstandsfestigkeit 325 kg/m<sup>3</sup> CEM I
- ▲ Grünstandsfestigkeit 313 kg/m<sup>3</sup> CEM I & 3,5 kg PCE-FM
- Packungsdichte 325 kg/m<sup>3</sup> CEM I
- ▲ Packungsdichte 313 kg/m<sup>3</sup> CEM I & 3,5 kg PCE-FM



# Strategie 2

## Zielgerichtete Feinststoffoptimierung



- Die Kornzusammensetzung des Feinstkornanteils ( $< 0,25$  mm) gezielt so beeinflussen, dass von vornherein eine höhere Packungsdichte erreicht wird
- Dazu muss die Kornzusammensetzung des Zementes und des Feinstkornanteils bekannt sein (z.B. Lasergranulometer)
- Anschließend werden Feinststoffe (Gesteinsmehl, Flugasche, Microsilica) ausgewählt, die sich als Füllkorn eignen, und die Hohlräume zw. den Zementpartikeln und den Feinstkornanteil füllen
- Das Vorgehen gleicht insofern der Zusammensetzung einer Regelsieblinie aus Einzelkörnungen – nur im kleineren Maßstab
- [Funk, Dinger, Predictive process control of crowded particulate suspensions. Kluwer Academic Publisher (1994), ISBN 0-7923-9409-7]

## Strategie 3

### Feinststoffoptimierte erdfeuchte Betone mit FM und normkonformen Festigkeiten

- Die Umsetzung der vorher genannten Strategien, in Kombination mit dem Einsatz leistungsfähiger Fließmittel bewirkt eine Herabsetzung der Gesamtwasserbedarfs und des W/B-Wertes und eine Optimierung der Packungsdichte und damit meist eine deutliche Steigerung der Festigkeit
- Zumeist ist es nicht das Ziel, erdfeuchte Betonwaren mit besonders hoher Festigkeit herzustellen
- Die Kornoptimierung und die Zugabe eines Fließmittels bietet jedoch die Möglichkeit, mit geringeren Bindemittelgehalt anforderungsgerechte erdfeuchte Betone herzustellen
- Grundgedanke ist dabei, das der Zement zum Teil durch geeignete inerte Zusatzstoffe ersetzt wird, oder der Zementanteil im Stoffraum herabgesetzt wird



➤ Besonderheiten erdfeuchter Betone

➤ Optimierung von Betonwaren

➤ **Laborprüfmethoden**

➤ Ausblühungen

➤ Einsatz von Zusatzmitteln

➤ Ergebnisse von Laborversuchen

# BASF PEM Production Efficiency Method

## Zielsetzung

- Die in der Praxis angewendeten Herstellbedingungen soll möglichst gut simuliert werden
- Die gelieferten Prüfkennwerte sollen direkt in eine Rezepturoptimierung umsetzbar sein

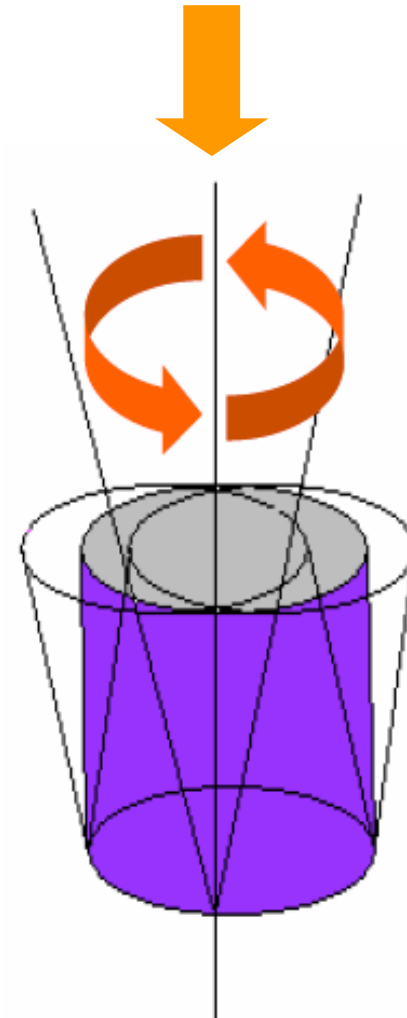


# BASF PEM

## Production Efficiency Method



- **Variierbare Parameter bei der Herstellung der Probekörper**
- Rotationsgeschwindigkeit
- Druck
- Rotationswinkel
- so kann die Methode an den jeweiligen Prozess der Herstellung angepasst werden



# BASF PEM Prüf-Setup

- **Die Betonzusammensetzung kann 1:1 simuliert werden**
- **Der Hobart-Mischer ermöglicht (bei entsprechender Ausrüstung) das Herstellen von Betonmischen bis Größtkorn 16 mm**

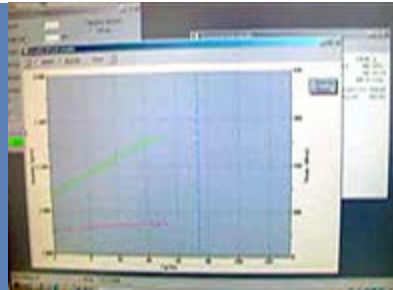


# BASF PEM Prüf-Setup

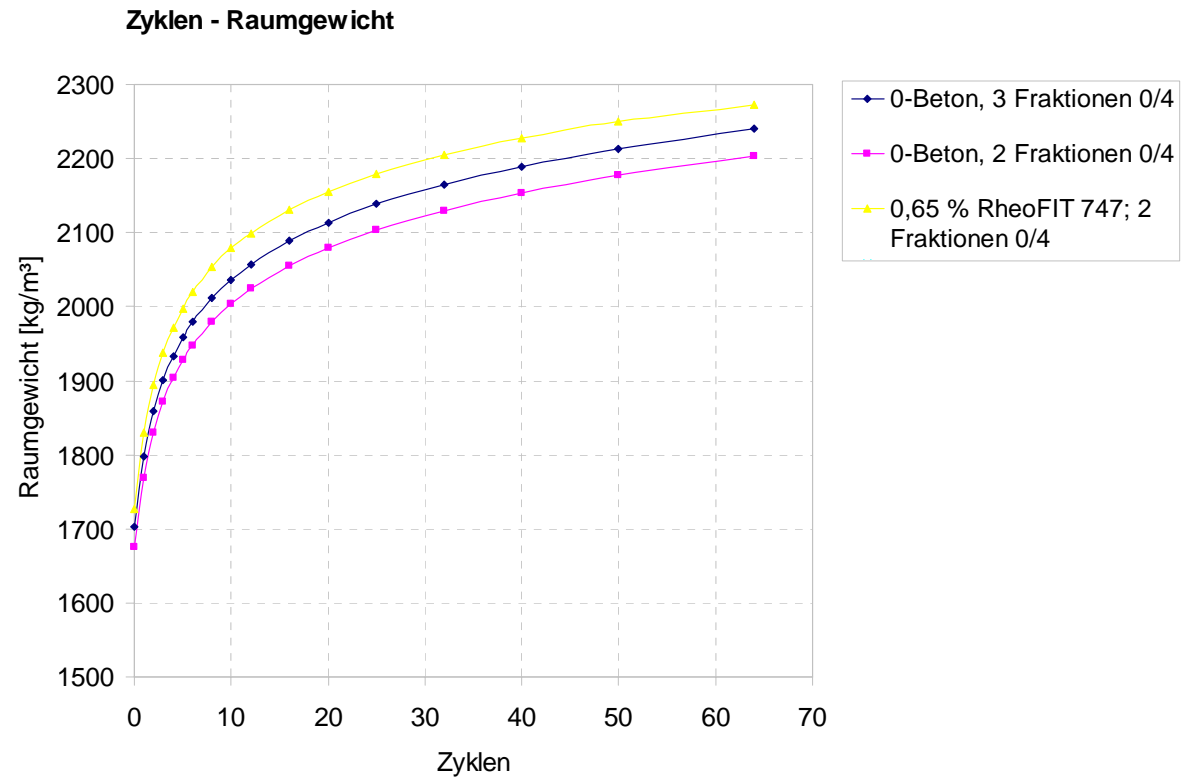
- Eine definierte Probemenge wird in den Verdichtungszyylinder eingewogen
- Die Verdichtungsparameter werden über eine Software vorgewählt
- Der ICT fährt das vorgegebene Verdichtungsprogramm automatisiert ab



# BASF PEM Prüf-Setup



- Die Software liefert (in Echtzeit während des Verdichtungszyklus) die Relation zwischen Raumgewicht und Anzahl der Verdichtungszyklen
- Vorgabeoptionen
  - vorgegebene Anzahl an Verdichtungszyklen
  - vorgegebenes Zielraumgewicht



# BASF PEM Prüf-Setup

- Die Prüfmethode liefert einen **Probekörper**
- wenn die Mischung zu feucht ist, bleibt ein größerer Teil des Leims an den Wandungen des Zylinders hängen
- über eine Auswaage des Probekörpers kann dieser **Leimverlust** quantifiziert werden
- augenscheinliche Beurteilung der Qualität der Betonoberfläche und der Kanten



- Jede Prüfserie kann optimal dokumentiert werden
- die Software zeichnet Prüfparameter auf
  - vorgewählte Verdichtungsparameter
  - Zusammenhang zw. Zyklen und resultierendem Raumgewicht
- Fotodokumentation
  - Einfluss auf die Oberflächenoptik



# BASF PEM Prüf-Setup

- Die Probekörper können zur Bestimmung der **Grünstandsfestigkeit** herangezogen werden
- digitales Kraftmessgerät
  - Messbereich bis 1000 N
- in Kombination mit einem geeigneten Testständer



# Typische Bruchkräfte: 200 – 1000 N

➤ Damit kann der Einfluss von Betonrezepturänderungen, oder der Einfluss von Zusatzmitteln auf die Grünstandsfestigkeit direkt dargestellt werden



# Alternative Methode

- Manche Betonmischungen sind eher „plastisch“ (verformen sich bei Druckbelastung stark) und gehen bis 1000 N Druckbelastung nicht zu Bruch
- Derartige Probekörper können alternativ mit der „Stempeldruckmethode“ zu Bruch gefahren werden



# Alternative oder zusätzliche Möglichkeit

- Mit einem geeigneten Testständer kann der **Verformungswiderstand** der Probekörper gemessen werden
- z.B. die notwendige Kraft für 3 mm Verformung

**Möglichkeit den  
Verformungsweg  
zu limitieren**



# BASF PEM Prüf-Setup

- Die Prüfmethode liefert **Probekörper**
  - Spaltzugfestigkeit
  - Druckfestigkeit
  - Beurteilung der Farbbrillanz
  - Beurteilung der Ausblühneigung
  - ...



➤ Besonderheiten erdfeuchter Betone

➤ Optimierung von Betonwaren

➤ Laborprüfmethoden

➤ **Ausblühungen**

➤ Einsatz von Zusatzmitteln

➤ Ergebnisse von Laborversuchen

# Ein wichtiges Thema ist die Vermeidung oder Reduzierung von Ausblühungen an Betonwaren

➤ Diese Ausblühungen lassen sich in zwei Bereiche unterteilen



➤ weiße Verfärbungen (Kalkausblühung)

- gelöstes  $\text{Ca(OH)}_2$  gelangt über Transportwege (Kapillarporen) an die Oberfläche
- carbonatisiert dort zu Calciumcarbonat und bildet weiße Schleier oder Aussinterung
- Herkunft  $\text{Ca(OH)}_2$ : entsteht durch Reaktion von Zementklinkerphasen

➤ braune Verfärbungen

- gelöstes  $\text{Fe}^{2+}$  und  $\text{Fe}^{3+}$  gelangt über Transportwege (Kapillarporen) an die Oberfläche
- an der Oberfläche kommt es zu Oxidation und Hydroxidbildung
  - führt zu flächenhaften braunen Verfärbungen

- Herkunft ist lösliches Eisen:
  - Zuschlag (eisenhaltige Mineralien z. B. Augit, Biotit)
  - Zement ( $\text{FeO}$ ,  $\text{C}_4\text{AF}$ )
  - Flugasche (Hämatit, Glasbestandteile)
  
- Löslichkeit der Eisenverbindungen:
  - hohe  $p_{\text{H}}$ -Werte fördern Lösung von zweiwertigem Eisen
  - verschiedene Zusatzmittel können Lösung von dreiwertigem Eisen fördern (Komplexbildung)



# Es gibt zwei grundsätzliche Möglichkeiten das Potenzial für Ausblühungen zu reduzieren

- Reduzierung der Transportwege für gelöste, ausblühfähige Stoffe
- Verringerung Stoffpotential für Ausblühungen



# Reduzierung der Transportwege für gelöste, ausblühfähige Stoffe

- Gesamtwasseranteil reduzieren
  - geringere Kapillarporosität
  
- Verdichtungswilligkeit erhöhen
  - höhere Packungsdichte
    - Optimierung des Gesamtwasseranteils
      - in Kombination mit einem gezielten Einsatz von Zusatzmittel
      - unter Zuhilfenahme von Laborprüfmethoden
  
- Einsatz von hydrophobierenden Zusatzmitteln
  - RheoFIT 743

# Verringerung Stoffpotential für Ausblühungen

- Im Fall der weißen Kalkausblühungen ist es möglich, die gebildete Menge an Calciumhydroxid (Portlandit), welches zwangsläufig bei der Zementhydratation anfällt und z. B. für den Korrosionsschutz von Stahl (Bewehrung) an sich unabdingbar ist, zu reduzieren
- hierzu ist der **Einsatz von Hüttensand** optimal, da dieser als latent hydraulisches Material bereits zum frühen Zeitpunkt die Menge an Portlandit reduziert



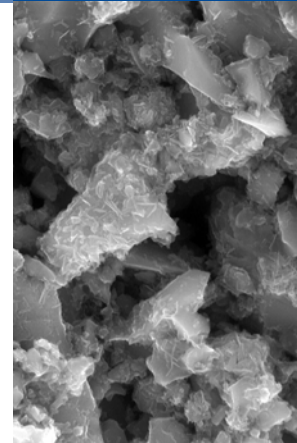
# Hüttensand (granulierte Hochofenschlacke) (S)



- Hüttensand entsteht durch schnelles Abkühlen einer Schlackenschmelze geeigneter Zusammensetzung, die im Hochofen beim Schmelzen von Eisenerz gebildet wird
- Er enthält nach Massenanteilen mindestens zwei Drittel glasig erstarrte Schlacke und weist bei geeigneter Anregung hydraulische Eigenschaften auf
- Hüttensand muss nach Massenanteilen zu mindestens zwei Dritteln aus Calciumoxid ( $\text{CaO}$ ), Magnesiumoxid ( $\text{MgO}$ ) und Siliciumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) bestehen
- Der Rest enthält Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und geringe Anteile anderer Verbindungen
- Das Massenverhältnis  $(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2)$  muss größer als 1,0 sein.

# CEM III/A 52,5 N (mit Hüttensandgehalt von 40 %)

- Zusätzlich bewirkt ein hüttensandhaltiger Zement eine **deutlich verfeinerte Porenstruktur**, die einen erhöhten Widerstand gegenüber Transportvorgängen bietet (Senkung der Kapillarporosität gegenüber Einsatz von PZ um 4 - 7 Vol.-%)
- dies ist dann auch bei der Reduktion von braunen Verfärbungen wirksam
- weiterhin bewirkt ein hüttensandhaltiger Zement eine **Reduktion des Angebots an löslichem Eisen durch Reduzierung des Klinkeranteils**
- der pH-Wert der Porenlösung ist gegenüber einem Portlandzement reduziert, was sich bezüglich der Löslichkeit der Eisenverbindungen positiv auswirkt



➤ Besonderheiten erdfeuchter Betone

➤ Optimierung von Betonwaren

➤ Laborprüfmethoden

➤ Ausblühungen

➤ **Einsatz von Zusatzmitteln**

➤ Ergebnisse von Laborversuchen

# Einsatz von Betonzusatzmittel für die Betonwarenproduktion

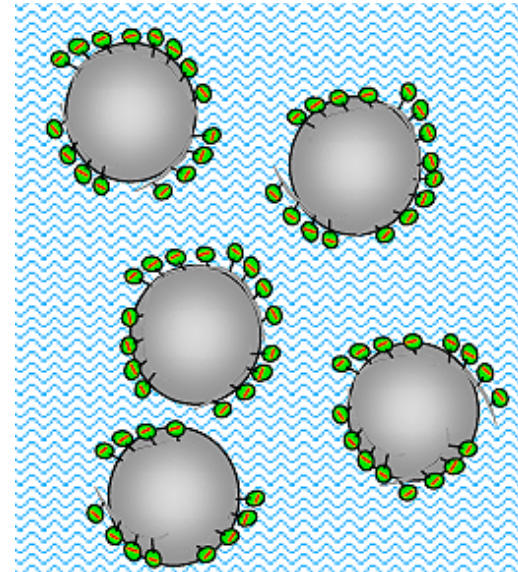


- Die Verarbeitbarkeit (Verdichtungswilligkeit und Befüllbarkeit) kann zum einen über **dispergierende Polymere** und zum anderen über **Luftporenbildende Tenside** erhöht werden
- Mit der Entwicklung der **Polycarboxylatether (PCE)** eröffnen sich neue Potentiale bei der Optimierung des Betons
  - neben der elektrostatischen Wechselwirkung, wie sie von den klassischen Verflüssigern wie z.B. Ligninsulfonaten her bekannt ist, kommt die sterische Abstoßung hinzu
  - dies führt zu einer deutlich erhöhten Dispergierwirkung des Zusatzmittels, die auch bei höheren Dosierungen von anderen Rohstoffen nicht erreicht werden kann
- Die **Tenside führen kleinste Luftporen (Mikroluft) ein**, die im Beton wie ein Schmiermittel wirken
  - Kugellagereffekt

# Der Effekt von PCE basierenden Produkten ist wesentlich effizienter

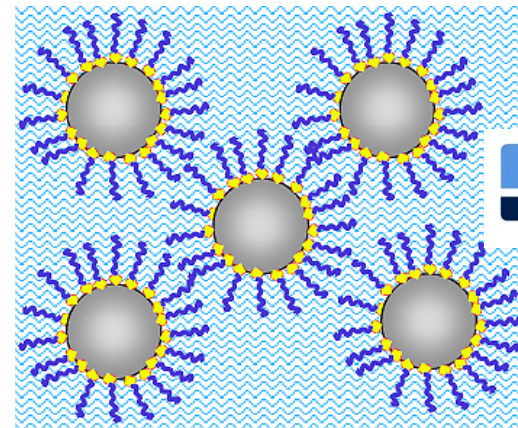
## ➤ Traditionelle Zusatzmittel

- wirken über eine elektrostatische Abstoßung



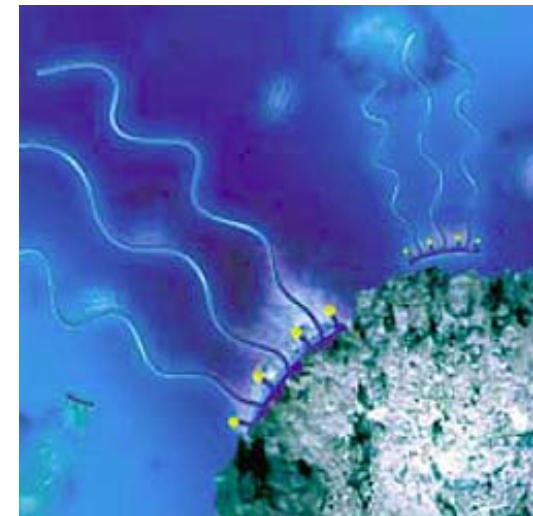
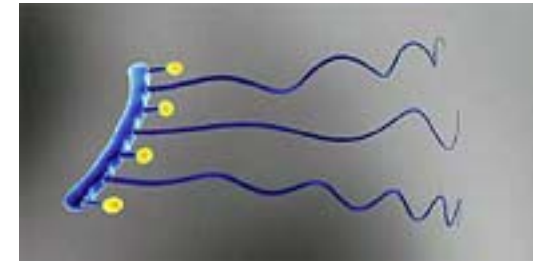
## ➤ RheoFIT – Produkte

- PCE – Basis
  - elektrostatische und sterische Wirkung



# PCE – FM wirken auch in sog. „erdfeuchten Betonen“ sehr effizient

- Der Zement wird besser dispergiert (besser aufgeschlossen)
- bessere Verdichtungswilligkeit
- dichtere Struktur der Zementsteinmatrix
  - geringere Porosität
    - höhere Festigkeit (auch höhere Frühfestigkeit)
    - höhere Dichtigkeit
    - geringere Wasseraufnahme
  - Verminderung von Ausblühungen



# RheoFIT – für bessere Farbbrillanz

- Die starken PCE - Dispergiermittel sorgen nicht nur für einen besseren Aufschluss des Zementes
- auch **die Farbpigmente werden in gefärbten Betonwaren feiner in der Matrix verteilt**
- dadurch wird die **Farbintensität bzw. die Farbbrillanz** der Produkte erhöht



➤ Besonderheiten erdfeuchter Betone

➤ Optimierung von Betonwaren

➤ Laborprüfmethoden

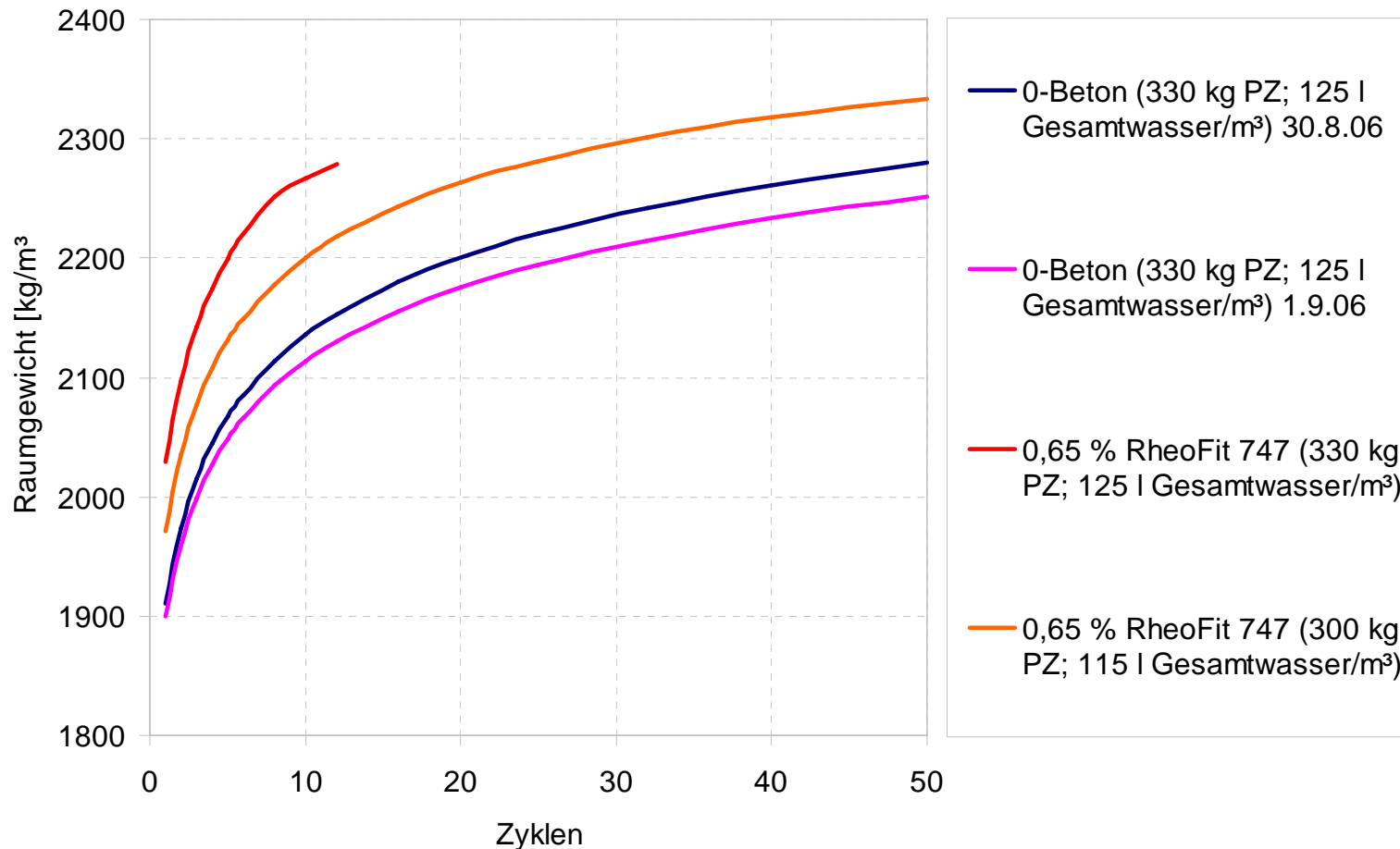
➤ Ausblühungen

➤ Einsatz von Zusatzmitteln

➤ **Ergebnisse von Laborversuchen**

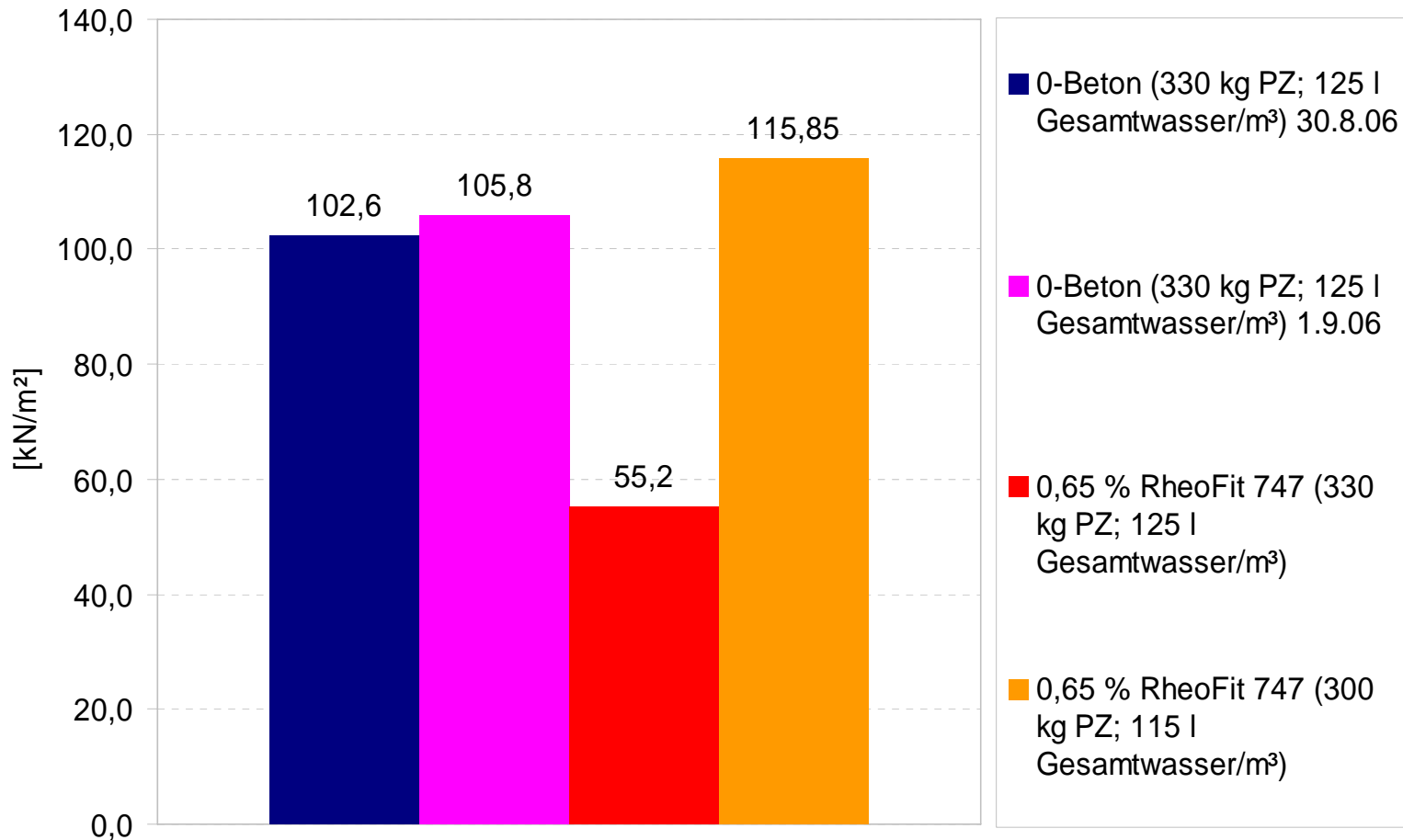
# Labor-Vergleichsserie mit RheoFIT 747

## Zyklen - Raumgewicht



# Labor-Vergleichsserie mit RheoFIT 747

## Grünstandsfestigkeit



# Labor-Vergleichsserie mit RheoFIT 747



Auftrag 975  
Rez. Nr. 3277  
Ø-Beton  
65 Zyklen

Trotz einer Bindemittelreduktion von  $30 \text{ kg/m}^3$  und einer Gesamtwassereduktion von  $10 \text{ l/m}^3$  resultiert die selbe Oberflächenoptik am frischen Betonkörper

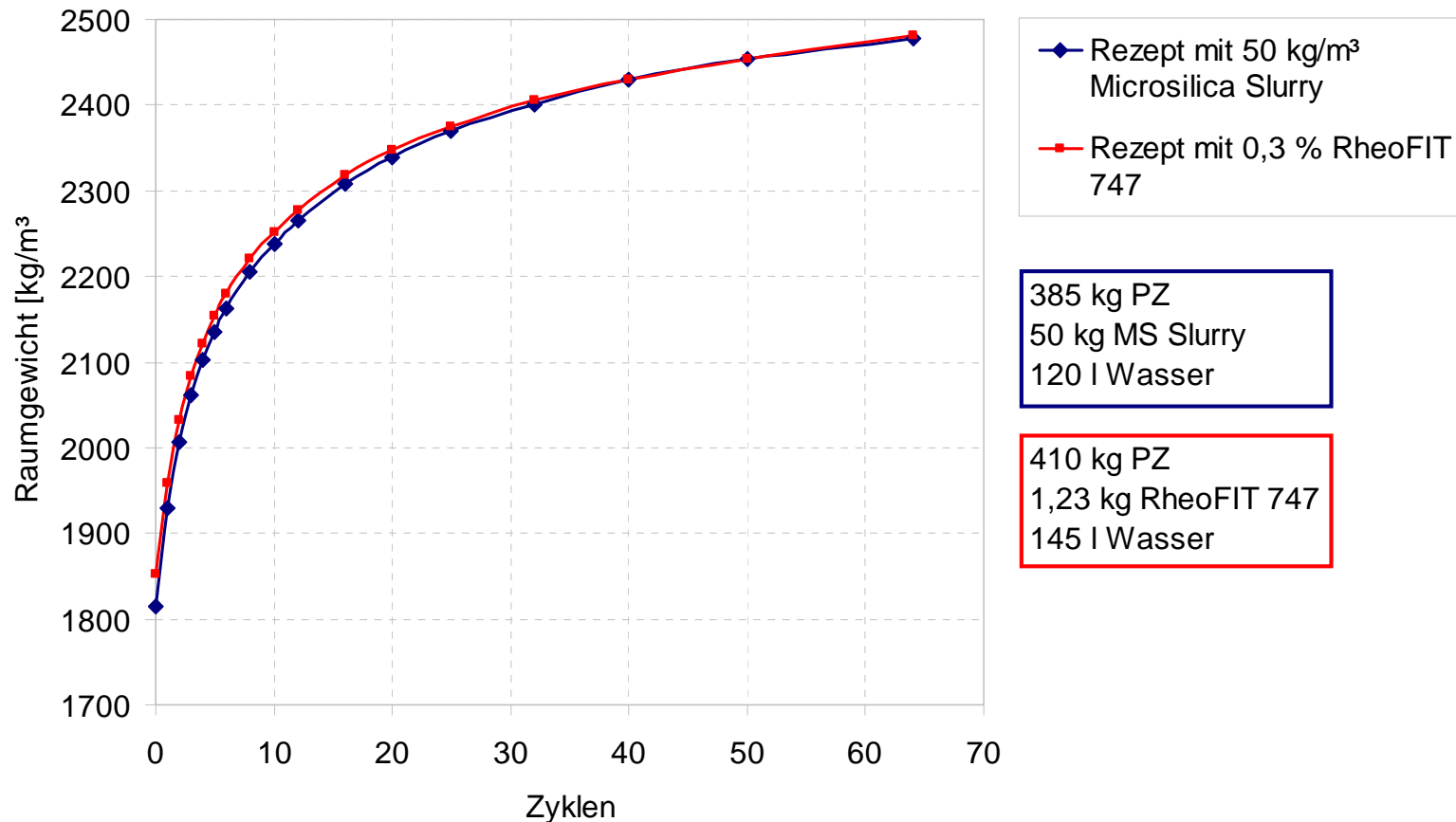


Auftrag 975  
Rez. Nr. 3277  
RheoFIT 747 0,65%  
65 Zyklen

# Labor-Vergleichsserie

## Ersatz von Microsilica Slurry in einer Rezeptur

Zyklen - Raumgewicht  
C60/75/B4/C1/GK16/ - Betonrezeptur für Hohldielendecke  
Zielsetzung: Alternativrezeptur ohne Microsilica Slurry



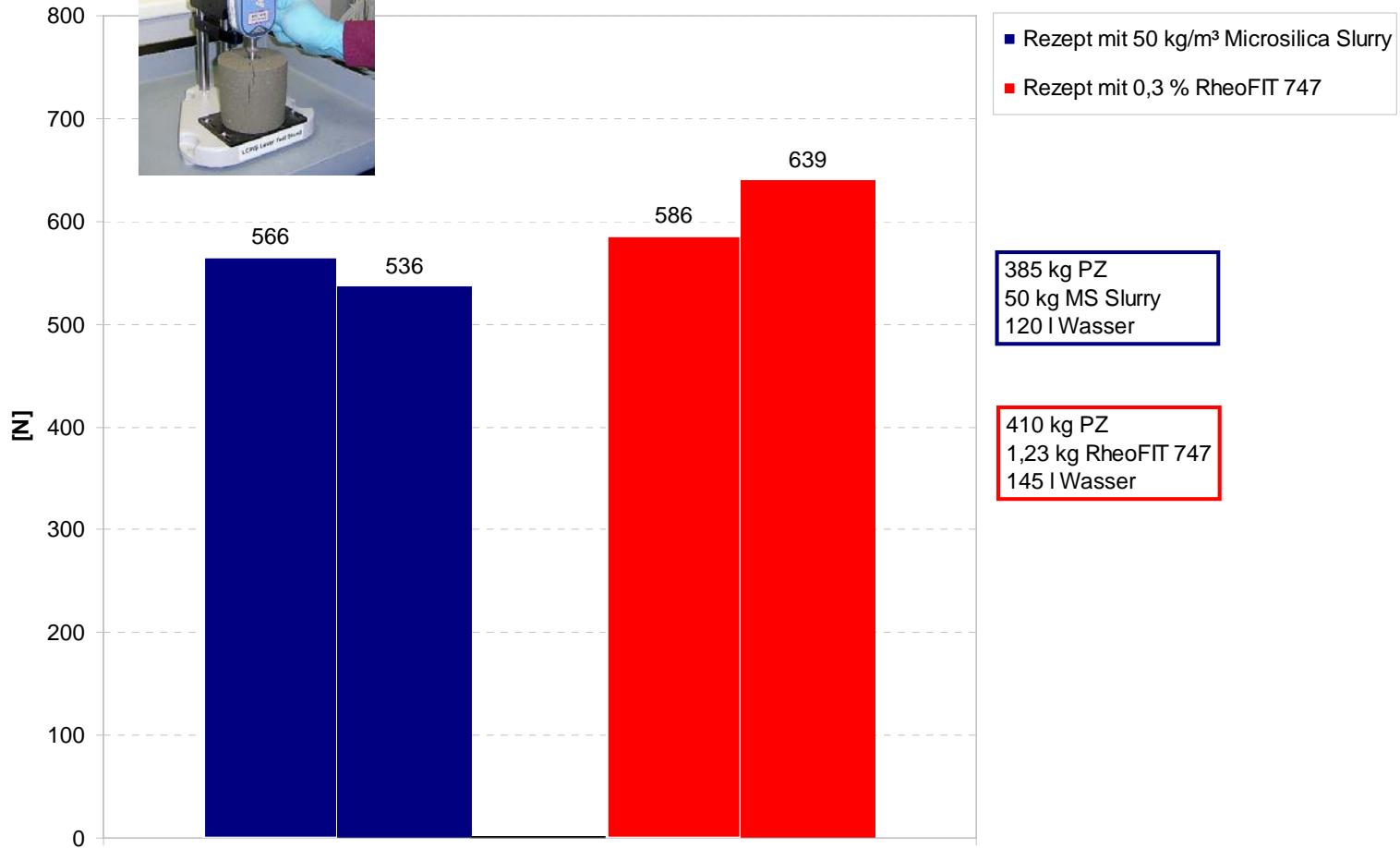
# Labor-Vergleichsserie

## Ersatz von Microsilica Slurry in einer Rezeptur



### Grünstandsfestigkeit

C60/75/B4/C1/GK16/ - Betonrezeptur für Hohldielendecke  
Zielsetzung: Alternativrezeptur ohne Microsilica Slurry  
(Stanzmethode - Kraftaufwand bis Bruch)

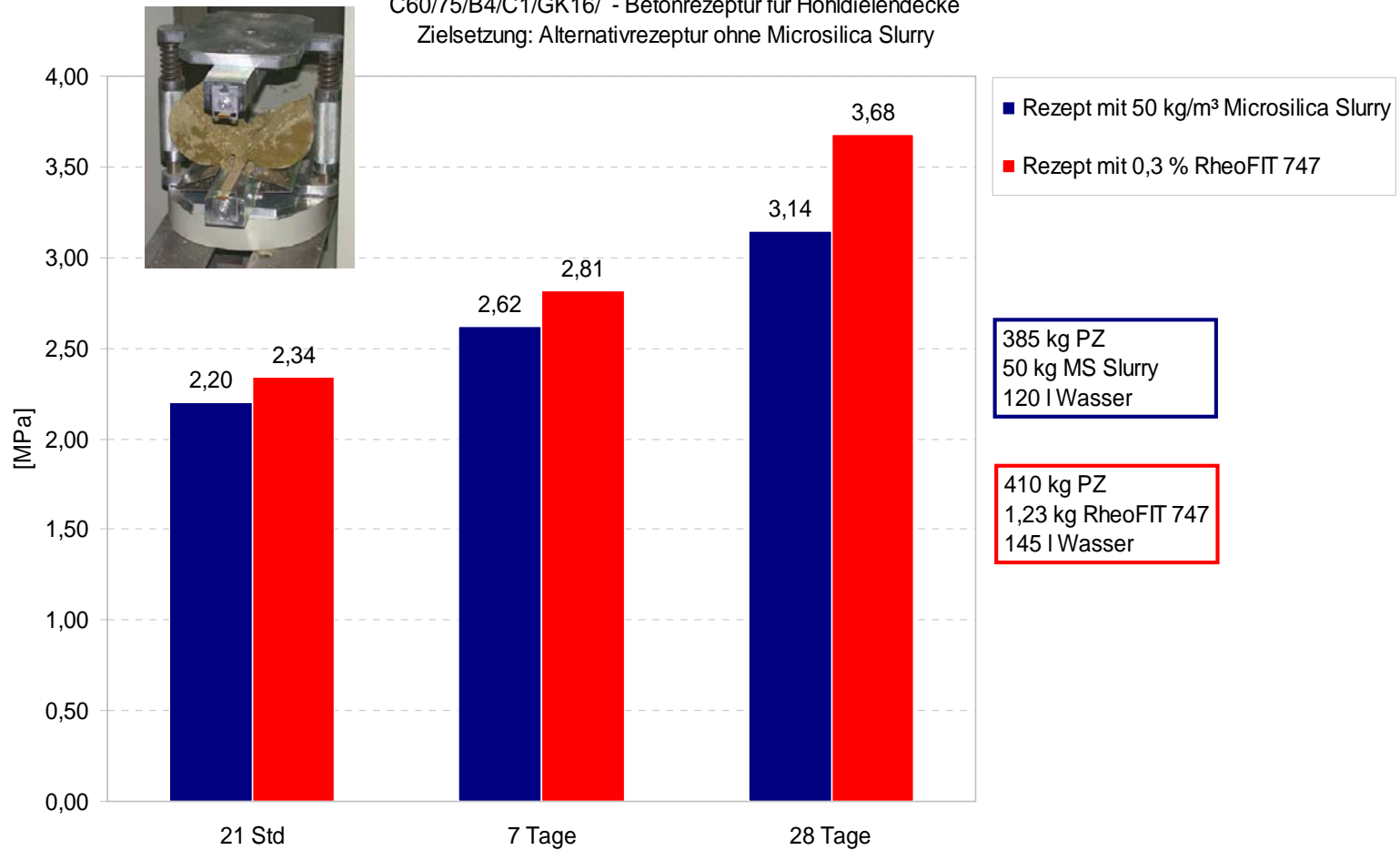


# Labor-Vergleichsserie

## Ersatz von Microsilica Slurry in einer Rezeptur

### Spaltzugfestigkeit

C60/75/B4/C1/GK16/ - Betonrezeptur für Hohldieleendecke  
Zielsetzung: Alternativrezeptur ohne Microsilica Slurry



- Der Gesamtprozess „Betonwarenproduktion“ ist sehr komplex und lässt sich mit den sonst für Beton üblichen betontechnologischen Ansätzen nicht ausreichend beschreiben
- Mit der PEM steht ein Laborprüfverfahren zur Verfügung, mit dem eine gezielte Rezepturoptimierung möglich ist. Der Versuchsaufwand in der Produktionsanlage kann damit drastisch reduziert werden
- RheoFIT Zusatzmittel auf PCE-Basis wirken nachweislich auch in sehr trockenen Betonmischen sehr effizient. Viele Frisch- und Festbetoneigenschaften können positiv beeinflusst werden



# Danke für Ihre Aufmerksamkeit



Grenzen sind unsere Herausforderung

## **BASF Construction Chemicals Austria GmbH**

A-8670 Krieglach  
Roseggerstraße 101  
Tel +43 3855 23 71 0  
Fax +43 3855 23 71 23

Beton & Zusatzmittel – wirklich informativ:  
[www.basf-cc.at](http://www.basf-cc.at)