

Herstellung von Hochleistungsbeton

Production of high-performance concrete



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

-Mehr als Mischen –

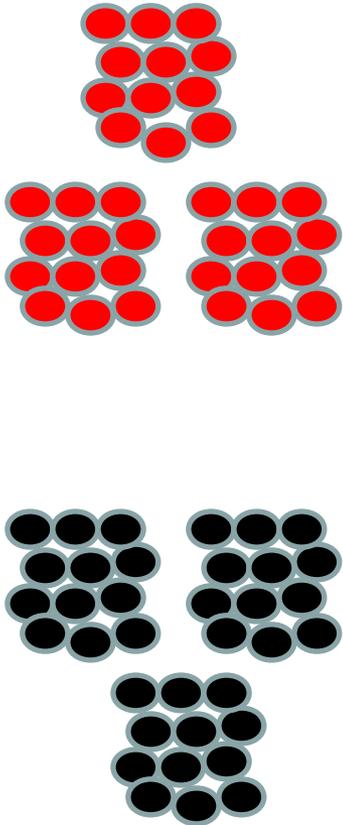
-- More than mixing -



- Übersicht -

1. Transportvorgänge beim Mischen (*kurz*)
 1. *Mixing transport processes*
1. Mischen von Normalbeton (*kurz*)
 2. *Mixing of normal concrete*
1. Mischphasen bei Hochleistungsbeton
 3. Four stages of mixing high performance concrete
1. Konsequenzen und Anpassung der Mischtechnik für Hochleistungsbeton
 4. Consequences and adaptation of mixing devices for HPC
1. Versuche am WIB
 5. Own tests
1. Verbesserungen der Mischtechnik/ Mischführung am WIB
 6. Optimization of mixing technology at WIB
1. Ausblick
 7. Outlook

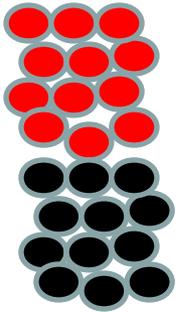
1. Transportvorgänge beim Mischen - konvektiver Transport -



- **Ausgangssituation :**
mehrere Komponenten
(große Partikelgruppen)
- **Mischwerkzeug** bewirkt
 - gerichtete Bewegungen
 - großer Bereiche des Mischgutes
- **Grobvermischung**
- Größe der Partikelgruppen sinkt stetig

agitator enables mixing of large areas

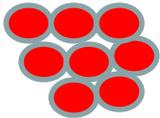
1. Transportvorgänge beim Mischen - dispersiver Transport -



- **Feinvermischung**
 - Kollision der Partikelgruppen untereinander
 - Partikelbewegung = **zufällig**
- **Voraussetzung :**
 - **verschiedene** Partikelgruppen

- Collosion of particles
- Random movement

1. Transportvorgänge beim Mischen - Desagglomeration -



Desagglomeration (Agglomerate grober Partikel)

abhängig von :

- **Dauer** und
- **Intensität** der Feinvermischung

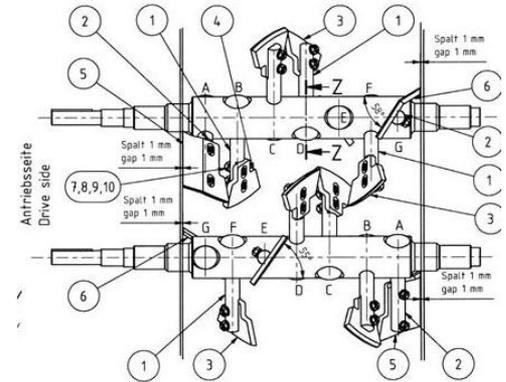
desagglomeration

- dependent on
- duration and intensity

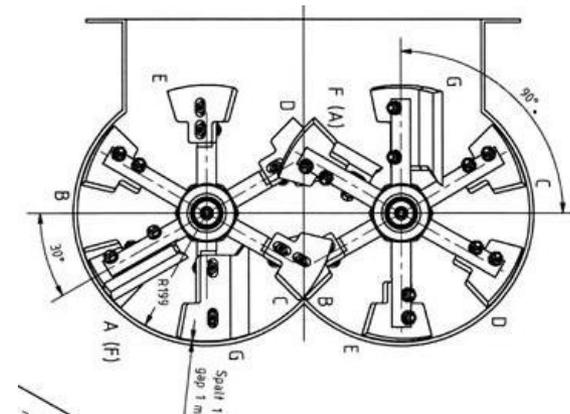
2. Mischen von Normalbeton

- Standard-Mischer -

- **Mischgut vollständig im Umlauf**
- Material in circulation completely
- **konvektiver und dispersiver Transport gekoppelt**
- convection coupled with dispersion
- **variabel : Drehzahl Mischwerkzeug in engen Grenzen**
- variable : agitator speed
- **Normalbetone normal concrete**
- **viel Wasser / wenig Feinststoffe / wenig FM**
- high water content / low fines and SP-content
- **schneller Übergang Kornhaufwerk / Suspension**
- fast transition debris/suspension
- **innerhalb von 30 Sekunden Nassmischzeit**
- Wet mixing time approx. 30 sec.



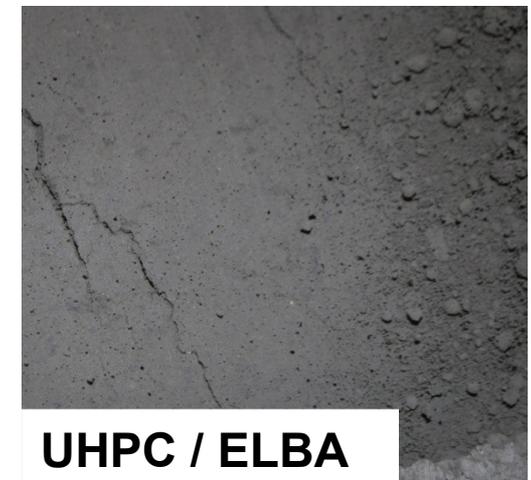
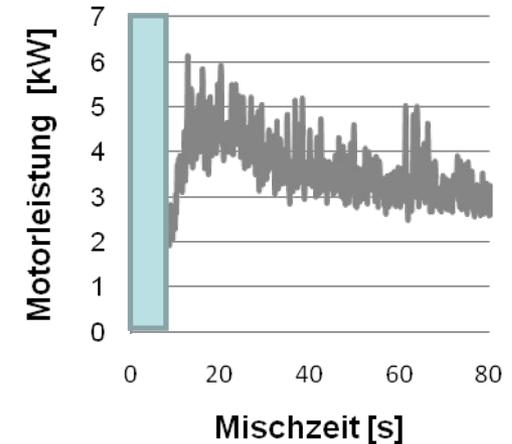
*BHS Doppelwellen-Mischer
BHS twin-shaft batch mixer*



3. Mischphasen bei Hochleistungsbeton

- Phase 1 / Ausbildung und Wachstum von Granulaten -

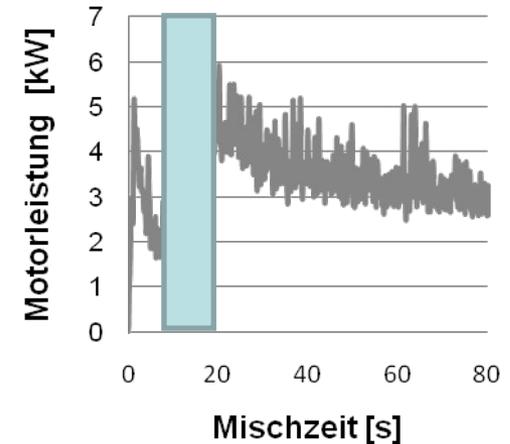
- **Missverhältnis Partikel- / Flüssigkeitsoberfläche**
 - disproportion of particle surface and liquid surface
- **Heterogene Verteilung der Wassertropfen im Mischgut**
 - heterogeneous distribution of liquid drops in the mix
- **Flüssigkeitstropfen von Feststoffpartikeln umgeben**
 - liquid drops surrounded by particles
- **Wasser drängt nach außen und bindet weitere Partikel**
 - water pushes outward and binds more particles
- **Oberflächen erscheinen trocken**
 - surface seems dry



3. Mischphasen bei Hochleistungsbeton

- Phase 2 / Vereinigung der Granulate -

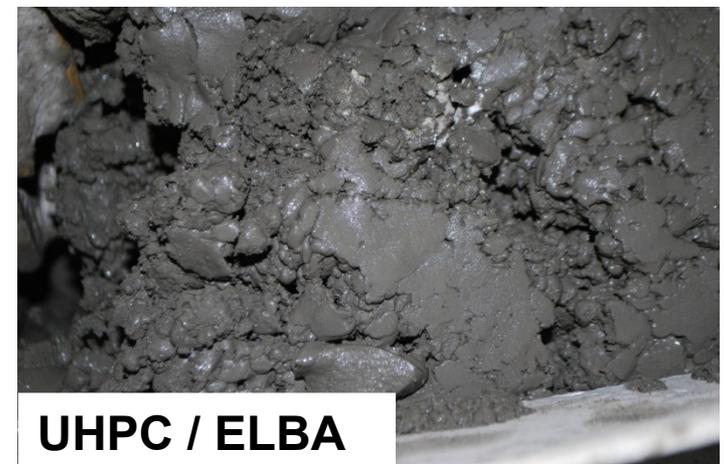
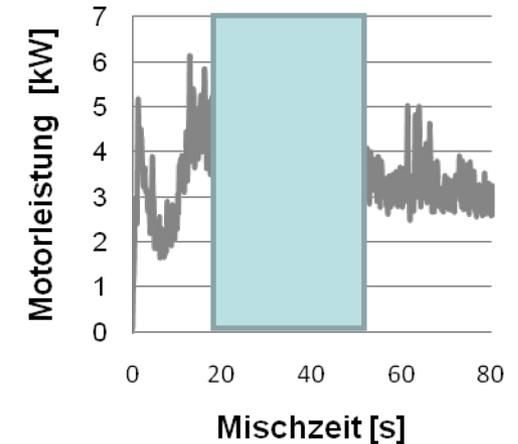
- **alle „freien“ Partikel wurden angelagert**
- all „free“ particles are bound
- **Flüssigkeit drängt weiter nach außen**
- water continues to push out
- **Oberfläche erscheint feucht**
- Surface seems wet
- **Vereinigung mit anderen Granulaten (Flüssigkeitsbrücken)**
- granules coalescence (liquid bridges)
- **maximaler Leistungsbedarf durch steigende Kohäsion**
- maximal power consumption by increased cohesion



3. Mischphasen bei Hochleistungsbeton

- Phase 3 / Übergang zur Suspension -

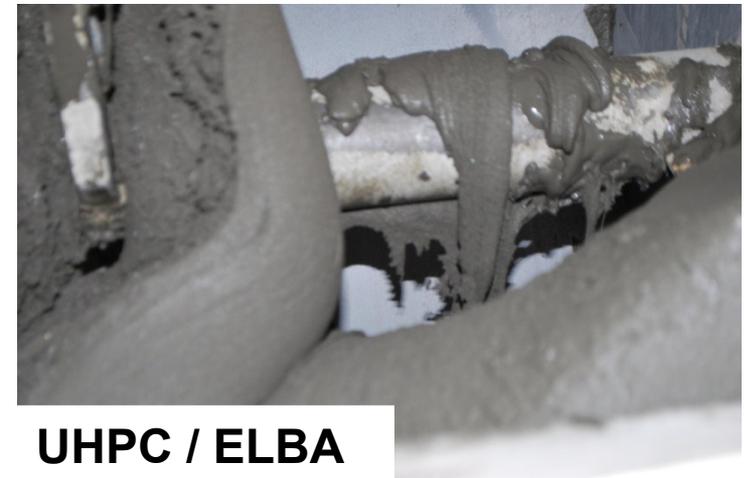
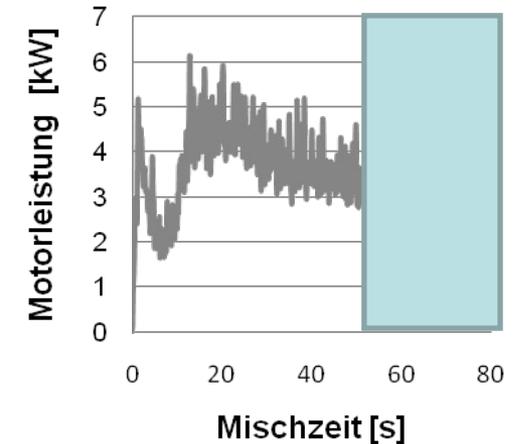
- **weitere Freisetzung von Flüssigkeit**
- water continues to push out
- **Übergang Kornhaufwerk / Suspension in Teilbereichen**
- transition debris/suspension partly
- **Verminderte Kohäsion / Antriebsleistung**
- decreased cohesion and power consumption



3. Mischphasen bei Hochleistungsbeton

- Phase 4 / Auflösung von Agglomeraten -

- **Starke Beeinflussung der Fließeigenschaften durch Agglomerate**
 - flow-inhibiting properties by agglomerates
- **Desagglomeration durch Mischvorgang :**
 - deagglomeration by mixing
- **niedrige Fließgrenze**
 - high slump
- **niedrige Viskosität**
 - low viscosity
- **minimale Antriebsleistung**
 - minimal power consumption





- Grundsätzliches -

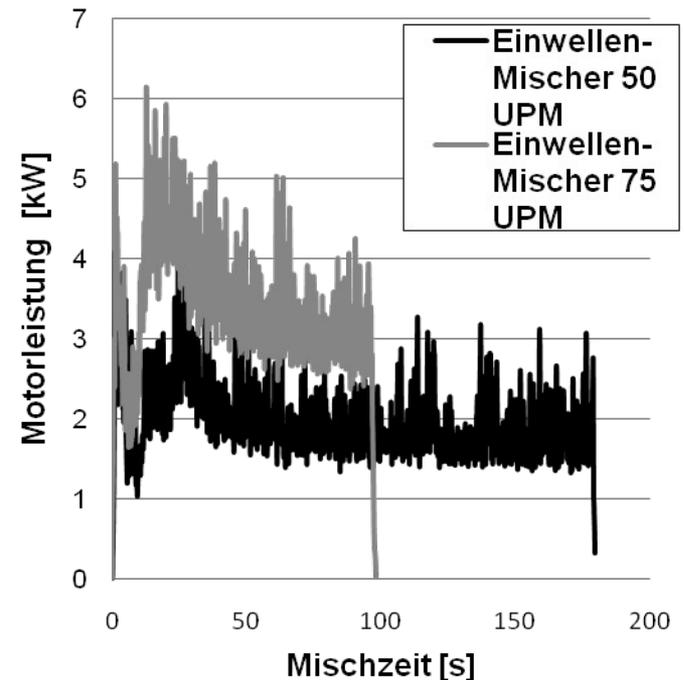
- **deutlich gesteigerte Anzahl der Partikel** significantly increased number of particles
- **längere Mischzeit** increased mixing time

- **höhere Kohäsion** higher cohesion
- **höhere Antriebsleistung** higher propulsion power

- **hoher Gehalt an Feinstbestandteilen** high content of (ultra)-fines
- **bessere Desagglomeration** better deagglomeration

- Umsetzung Standard-Mischer -

- Kürzere Mischzeit und bessere Desagglomeration durch :
 - shortened mixing time and better desagglomeration
 - Anhebung der Drehzahl (Werkzeuggeschwindigkeit) increased agitator speed
 - Beispiel SVB im Labor-Mischer ELBA (60 l); 3 kW
 - example SCC in laboratory mixer ELBA (60 l); 3 kW engine
 - Mischzeitverkürzung aber : shortened mixing time but :
 - unzulässige Motorüberlast unauthorized motor overload
 - Höhere Antriebsleistung erforderlich
 - higher propulsion power required
- (BHS 60l-Mischer von 3kW auf 11kW !)



- Umsetzung Standard-Mischer -

▪ Desagglomeration ???

„Müssen Komponenten noch desagglomert werden, werden in den Mischraum hochtourig laufende Messersterne eingebracht, die durch Prallbelastung eine Desagglomeration herbeiführen. Im Bereich sehr hoher Froude-Zahlen (> 7) nehmen die Scherkräfte auf das Mischgut stark zu“

„Mischen von Feststoffen“ [Ralf Weinekötter]

$$Fr = \frac{d * n^2 * 2 * \pi^2}{9.81}$$

mit d (Durchmesser in m) ; n (Werkzeugumdrehungen pro Sekunde)

Elba Produktionsmischer EMS 1000 bei gesteigerter Drehzahl (45 UPM) : Fr = 1.62

Elba Labormischer EMS 60 bei gesteigerter Drehzahl (75 UPM) : Fr = 1.75

Vorgabe Fr = 7 bei EMS 60 : Drehzahl \approx 150 UPM

erforderliche Motorleistung ???



4. Konsequenzen / Anpassungen der Mischtechnik für Hochleistungsbeton

- Umsetzung Intensiv-Mischer -

Eintrag der Mischenergie in **Teilmenge** : mixing energy in **subset**

hohtouriges Mischen mit überschaubarer Motorleistung High speed mixing with moderate engine power

Mischwerkzeug : agitator

drehbarer Behälter : rotating mixing drum

→ **exzentrische Anordnung**, eccentric arrangement
→ Zuführung des Mischgutes zum Mischwerkzeug feeder to agitator

→ **Werkzeuggeschwindigkeit bis 20 m/s** agitator speed up to 20 m/s

DFG SPP 1182 „Nachhaltiges Bauen mit UHPC“

→ kürzere Mischzeiten, bessere Frischbetoneigenschaften, geringerer Energieeinsatz

→ shortened mixing time, better fresh concrete properties, lower power consumption



- Intensiv-Mischer Typ Kniele (Konus-Mischer) -

innere Mischwelle inner agitator

▪ **variable** Werkzeuggeschwindigkeit über FU

▪ Variable agitator speed with frequency inverter

→ **Froude-Zahl $\gg 7$ möglich** $Fr \gg 7$ possible

▪ Werkzeuggeschwindigkeit unabhängig vom Abstreifer

▪ Agitator speed independent from outer scraper

äußerer Abstreifer outer scraper

▪ Zuführung Mischgut zur Mischwelle feeder to inner agitator

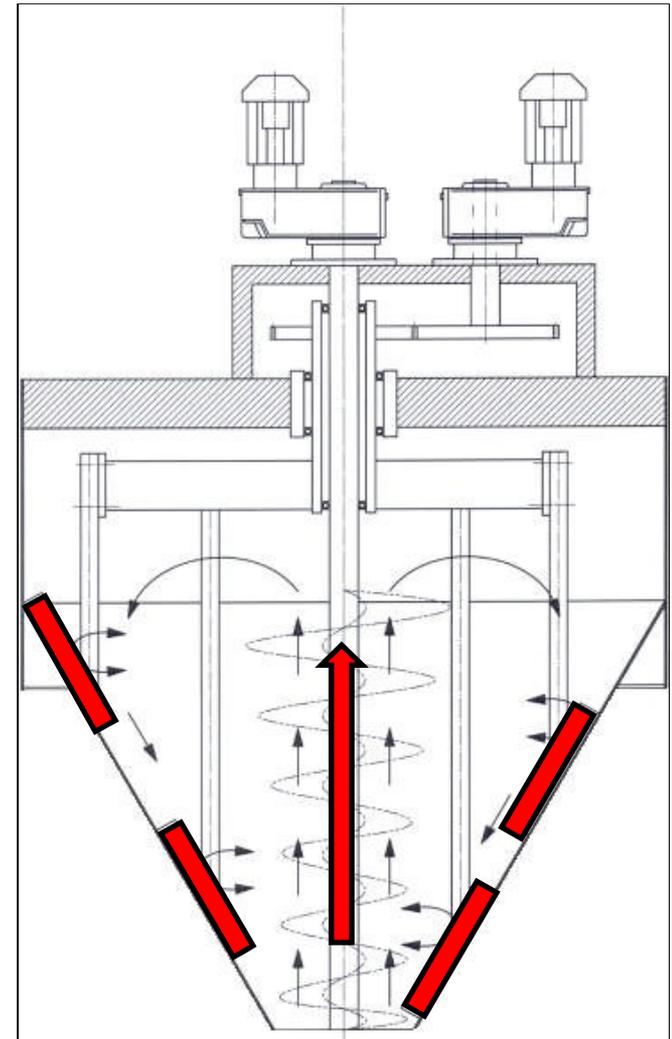
▪ Geschwindigkeit/Richtung über FÜ

▪ Variable speed / direction via frequency inverter

▪ einfache Entleerung / hoher Füllstand bei Teilmengen

▪ vakuumfähig

▪ deutlich günstiger



- Anlagentechnische Trennung -

Herstellung einer Suspension im Suspensions-Mischer production of suspension in suspension mixer

Unterschied : Difference

→ konventioneller Mischer (standard mixer) :

Wasser/FM in Kornhaufwerk verteilen distribution of water/SP in debris

Mischphasen 1-4 mixing phases 1-4

→ Suspensionsmischer : suspension mixer

Mehlkornbestandteile in Wasser/FM distribution of fines in water/SP

Wegfall Mischphasen 1-3 (4) cancellation of mixing phases 1-3

Untermischen der (groben) Gesteinskörnung

- Transportbeton ready-mix concrete : Standard-Mischer standard mixer oder Fahrmischer truck mixer
- Fertigteilwerk precast : Standard-Mischer standard mixer

4. Konsequenzen / Anpassungen der Mischtechnik für Hochleistungsbeton

- Umsetzung Suspensions-Mischer -

1. Mischwerkzeug arbeitet als Zentrifuge : agitator as centrifuge

- Spalt Mischwerkzeug / Mischzellenwandung ca. 3mm
- gap between agitator and mixing cell approx. 3 mm
- Werkzeuggeschwindigkeit (Nennrehzahl 1000 UPM) :19 m/s
- agitator speed at rated speed 19 m/s
- Schergradienten (Verhältnis Schergeschwindigkeit/Scherspaltweite)
- über 6000 s^{-1} (Mischer $\ll 100 \text{ s}^{-1}$) shear gradient above 6000 s^{-1}
- Froude-Zahl : 135 [-]



1. Umpumpen : pumping

- Suspension fließt durch Mischzelle tangential in den Vorlagebehälter
- suspension flows tangentially in mixing tank
- Durch Zentrifugalkräfte werden die (ungemischten) Partikel separiert und in die Mischzelle befördert (M centrifugal forces and transport in mixing cell)



- Umsetzung Suspensions-Mischer -

1. Perforierte Blattrührer _perforated stirrer

- **hochturbulente Flüssigkeitsströmung** high turbulent fluid flow
- **extrem hohe Scherbelastung** extremely high shear
- **(Pseudo)-Kavitation** (pseudo)-cavitation



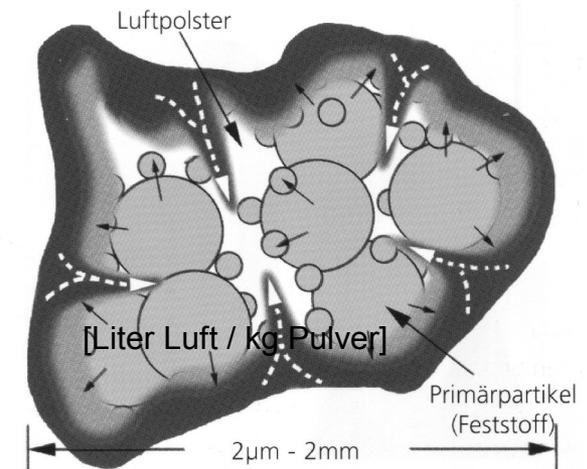
- Umsetzung Suspensions-Mischer -

Agglomerate sind Dispersionen von Feststoffen in Luft Agglomerates are dispersions of solids in air

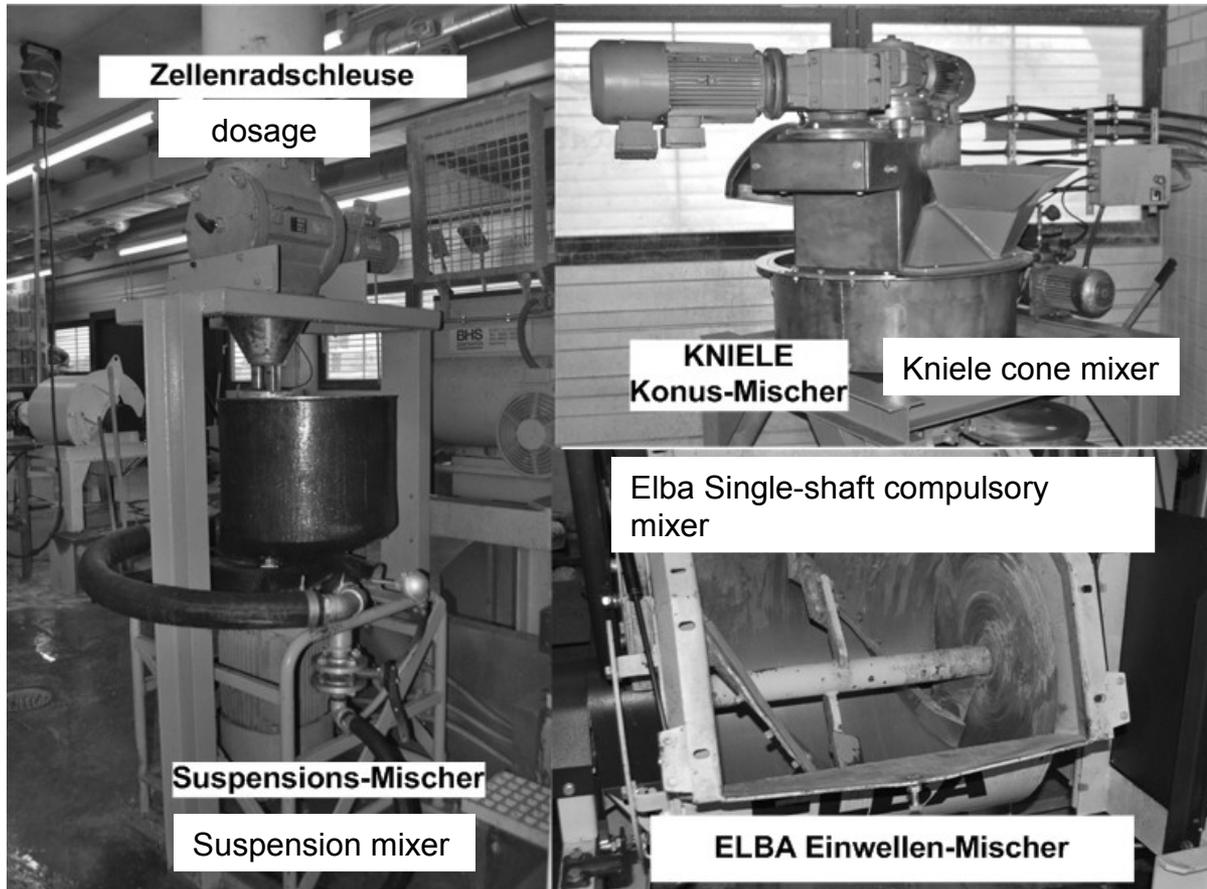
pyrogene Kieselsäuren enthalten bis zu 20l Luft /kg pyrogenic silica contains up to 20 l air /kg

- Ausdehnung der Luft durch (Pseudo)-Kavitation expansion of air by (pseudo)-cavitation
- Überwindung der interpartikulären Kräfte overcoming of interparticular forces
- Vergrößerung Partikelabstand increased particle distance
- Benetzung mit FM- und Wassermolekülen wetting with water and SP molecules
- „Druckbenetzung“ durch anschließende Implosion „pressure wetting“ by implosion

$$V_L = \frac{m}{\rho_S} - \frac{m}{\rho}$$

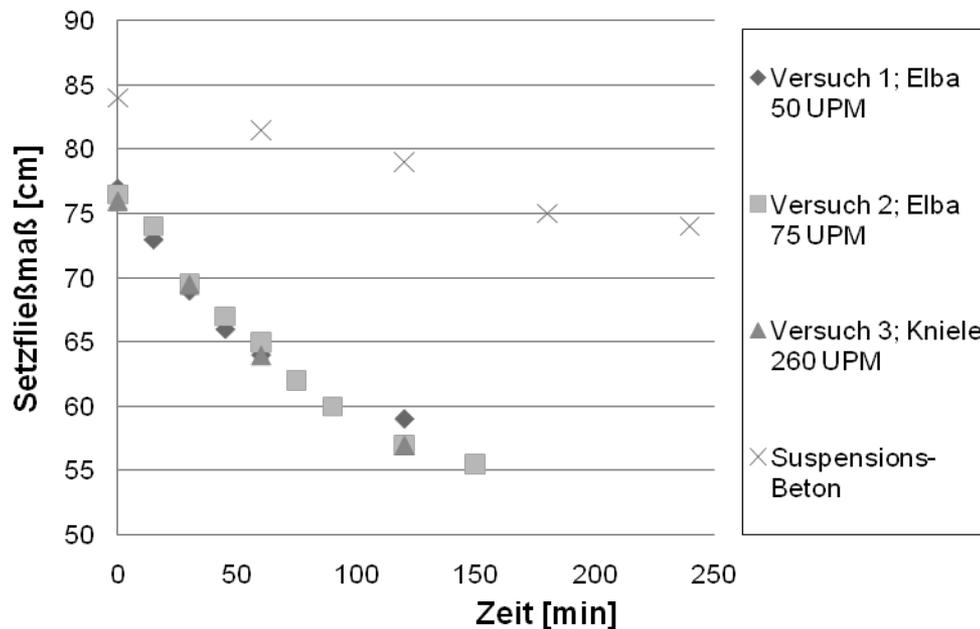


- **Vergleich der Mischsysteme** -



5. Versuche am WIB

- Vergleich der Mischsysteme / SVB -



	SVB / SCC [kg]
CEM I 52,5 R HS/NA (Holcim)	-
CEM I 42,5 R (Heidelberger)	330
Centrlit NC (MC Bauchemie)	-
Flugasche (Staudinger)	-
Feinstflugasche (Microsit M 20)	-
Kalksteinmehl (Walhalla)	220
Feinquarz W12	-
Quarzsand H33	-
Sand 0/2	587
Gesteinskörnung 2/8	687
Gesteinskörnung 8/16	360
FM Sika ViscoCrete 1035	6
FM Sika ViscoCrete-20 Gold	-
Wasser	152

2/3 FM zu Mischbeginn
1/3 FM später

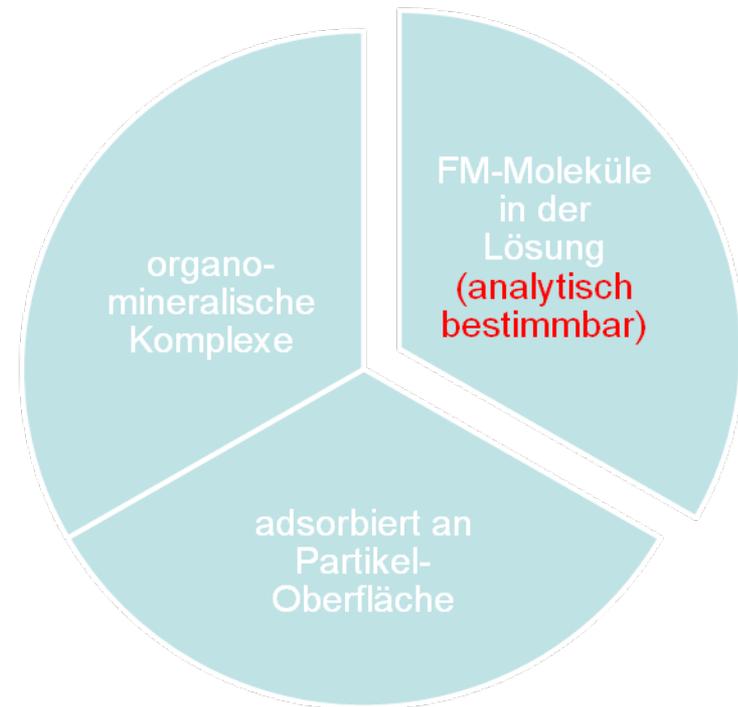
- konventionelle Mischer : ähnliches Verhalten; schneller Verlust der SVB-Eigenschaften
- conventional mixer : similar behaviour; rapid loss of SCC properties
- Suspensions-Beton : höherer Ausgangswert; SVB-Eigenschaften über mehrere Stunden
- higher slump at the beginning; SCC properties for several hours

- Vergleich der Mischsysteme / SVB -

Erklärungsansatz : Fließmittel

Exlanation : superplasticizer

Suspensions-Mischer : suspension mixer



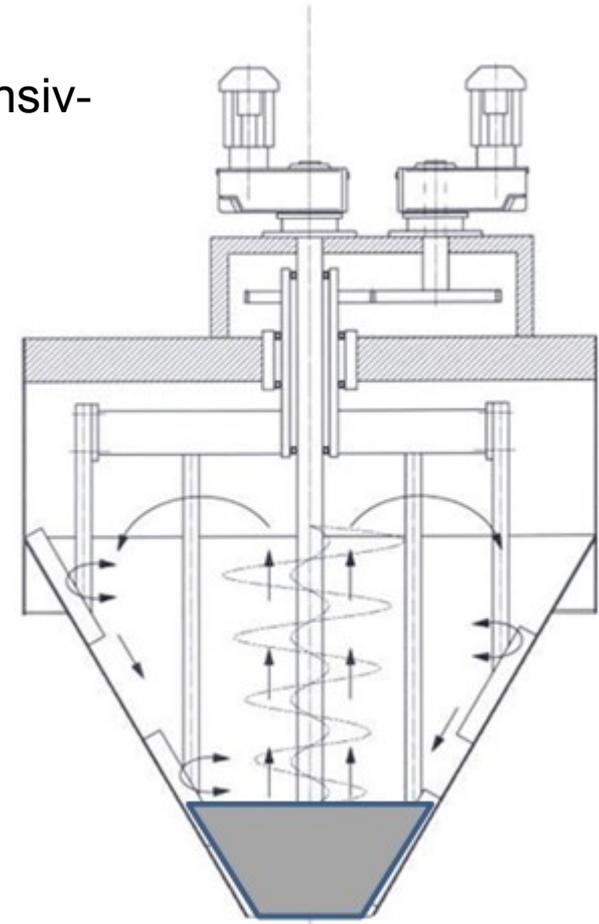
▪ **schnellere** und **intensivere** Benetzung der Partikel faster and intensive wetting of particles

➤ **weniger** organo-mineralische Komplexe lower content of organo-mineral complex

- Vergleich der Mischsysteme High-Volume Fly Ash-Concrete -

Was bewirkt die Herstellung einer Suspension im Intensiv-Mischer ? Is the production of a suspension in an intensive mixer beneficial ?

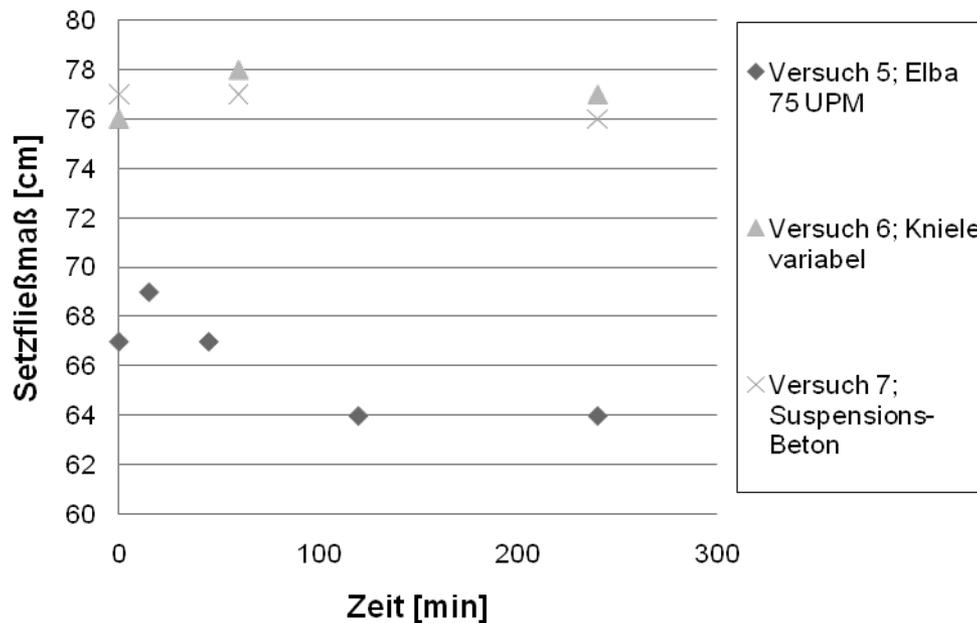
- **hohtouriger Aufschluss Wasser/FM/Zement**
▪ High speed mixing water/SP/cement
- **unter Aufrechterhaltung der Fließfähigkeit**
▪ While maintaining the fluidity
- **Zugabe Flugasche** addition fly ash
- **Zugabe Sand** addition sand
- **Absenkung der Werkzeuggeschwindigkeit** decreased acitator speed
- **Zugabe grobe Gesteinskörnung** addition coarse aggregate



5. Versuche am WIB



- Vergleich der Mischsysteme High-Volume Fly Ash-Concrete -

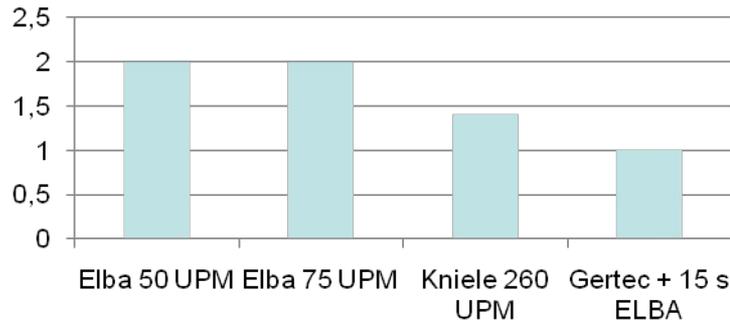


	HVFA-Beton [kg]
CEM I 52,5 R HS/NA (Holcim)	153,4
CEM I 42,5 R (Heidelberger)	-
Centrlit NC (MC Bauchemie)	-
Flugasche (Staudinger)	352
Feinstflugasche (Microsit M 20)	-
Kalksteinmehl (Walhalla)	-
Feinquarz W12	-
Quarzsand H33	-
Sand 0/2	632
Gesteinskörnung 2/8	737
Gesteinskörnung 8/16	386
FM Sika ViscoCrete 1035	-
FM Sika ViscoCrete-20 Gold	6
Wasser	109

→ schneller und intensiver Aufschluss von Zement im Intensiv-Mischer vorteilhaft
 → fast and intensive mixing of cement in intensiv-mixer beneficial

- Vergleich der Mischsysteme energetische Betrachtung -

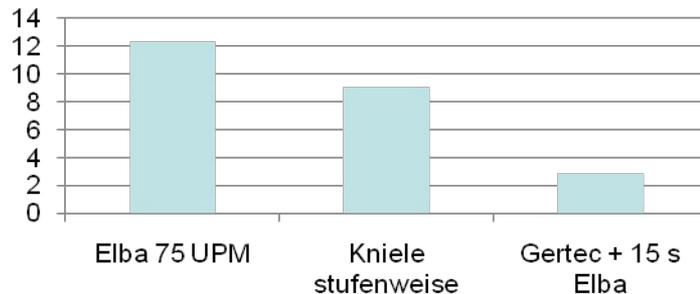
kWh/cbm SVB



- beste Frischbetoneigenschaften
- bei geringstem Energieeintrag

- best fresh-concrete properties
- and lowest energy consumption

kWh/cbm HVFA



- optimale Frischbetoneigenschaften
- bei ca. 25 % Energieeintrag

- optimal fresh-concrete properties
- by approx. 25 % power consumption

- Vergleich der Mischsysteme Schlussfolgerungen-

optimale Frischbetoneigenschaften durch : optimal fresh-concrete properties by

→ **möglichst schnellen und intensiven** Aufschluss der **Bindemittelkomponenten**

→ fast and intensive mixing process for binders

▪ hoher Anteil der Antriebsleistung in Standard –Mischanlagen für Frischbetonqualität nicht nutzbar

▪ high proportion of energy consumption in standard mixers not beneficial for fresh-concrete properties

▪ verringerter Anteil der Antriebsleistung in Intensiv-Mischern für Frischbetonqualität nicht nutzbar

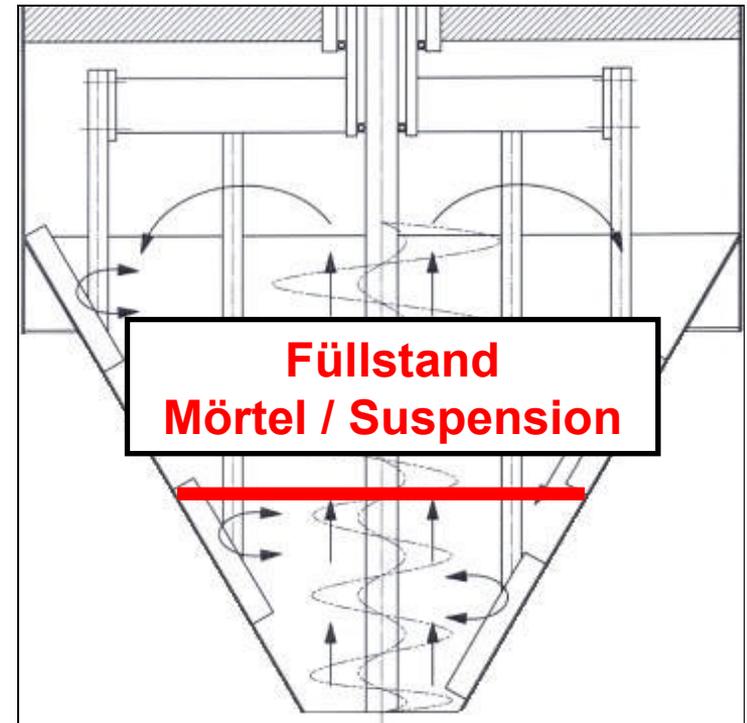
▪ reduced proportion of energy consumption in intensive mixers not beneficial for fresh-concrete properties

→ **minimaler Energiebedarf bei anlagentechnischer Trennung**

- Intensiv-Mischer Typ Kniele -

Ziel :

- schnelle Herstellung einer Bindemittel-Suspension
 - fast production of suspension
- Zugabe der übrigen Komponenten unter Aufrechterhaltung der Fließfähigkeit
 - addition of the other components while maintaining the fluidity
- Standard-Werkzeug max. 2 kW Energieeintrag
 - standard agitator max. 2 kW input
- Einbringung der Motorleistung (10 kW) durch Umgestaltung des Mischwerkzeugs im unteren Bereich
 - new agitator geometry for production of the suspension



6. Verbesserung der Mischtechnik / Mischführung am WIB

- Suspension-Mischer -

Ziele :

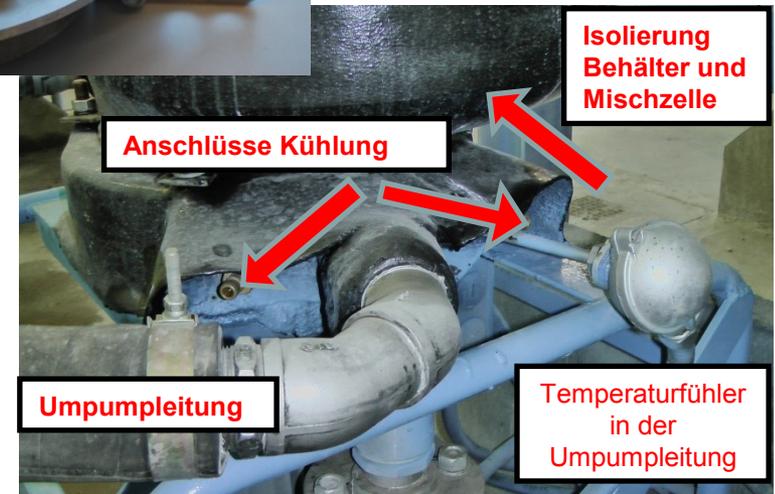
Einfache kostengünstige Regulierung der Dosier-Einrichtung über Mischersteuerung

möglichst schnelle Zuführung ohne Abriss der Flüssigkeitsströmung

Parameterstudien : parameter studies

- definierte Ausgangsbedingungen (kühlbare Mischzelle) defined initial conditions (cooled mixing cell)
- Dosier-Reihenfolge und Geschwindigkeit (Zellenradschleuse) dosage-sequence and speed
- Einfluss der Werkzeuggeometrie agitator geometry
- Werkzeuggeschwindigkeit agitator speed
- Erfassung über die universelle WIB-Anlagensteuerung auf Basis von LABView
- data-recording via universal WIB plant control on LABView-basis

- Easy adjustment of dosage by mixer control
- Fast dosage without stalling



- Leistungsschall -

Ziele :

- optimale Desagglomeration optimal desagglomeration
- Beeinflussung der Kristallisationskeim-Bildung Influence on crystallization
- Vorverlegung des Erstarrungsbeginns um ca. 1.5 Stunden (Tagungsband 17. IBAUSIL) shortening initial setting (approx. 1.5 h)
- Frühfestigkeit early strength



7. Ausblick

- Herstellung von Hochleistungsbetonen -

Beispiel Transportbeton :

- Energieeffiziente Herstellung der Suspension im Suspensions-Mischer
- niedrigere Viskosität und Fließgrenze ermöglichen betontechnologische Optimierung bzw. Einsparungen concrete technological optimization by low viscosity and high slump
- Untermischen der groben Gesteinskörnung im Fahrmischer intermixing of coarse aggregates in truck mixer
- Zielgenaue Frischbetonkonsistenz an der Baustelle durch Mess- und Dosier-Systeme im Fahrmischer (z.B. Grace Verifi)
- Exact consistency in field by measurement and postdosage in truck mixer (z.B. Grace Verifi)



Vielen Dank !