

# Aufschluss und Vermengung – Grundlagen erfolgreicher Mischung

## BFT-Fachforum 2019: Der perfekte Mix

K. Krenzer, M. Landmann, **J. Lipowsky**, U. Palzer

Gefördert durch:

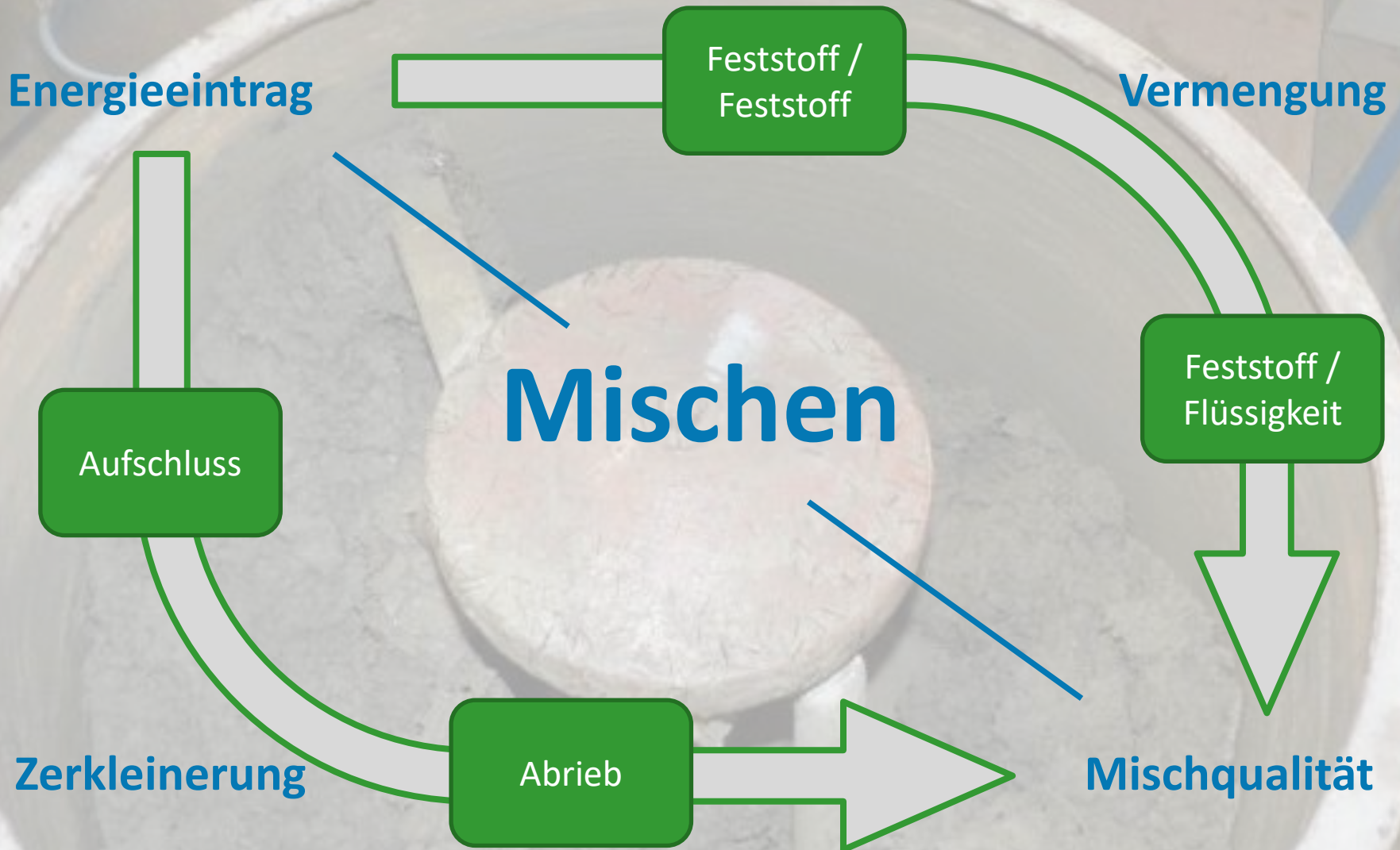


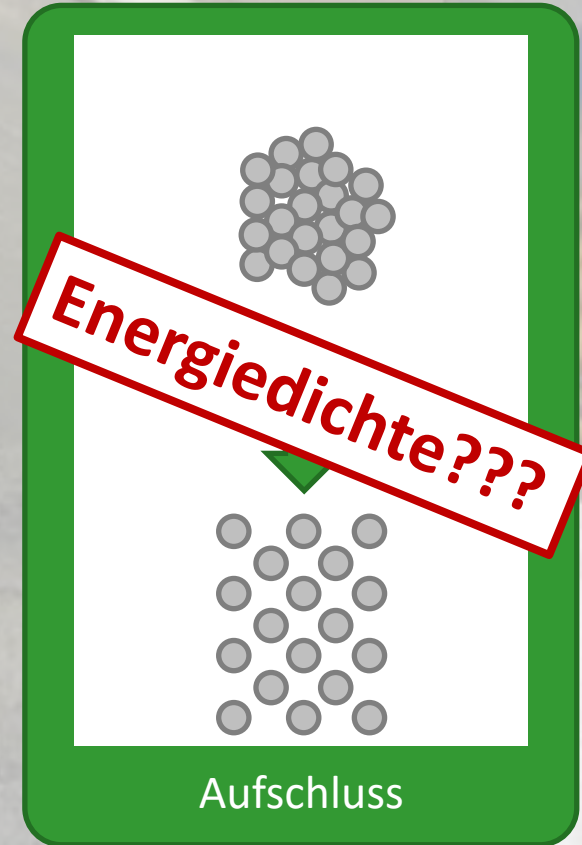
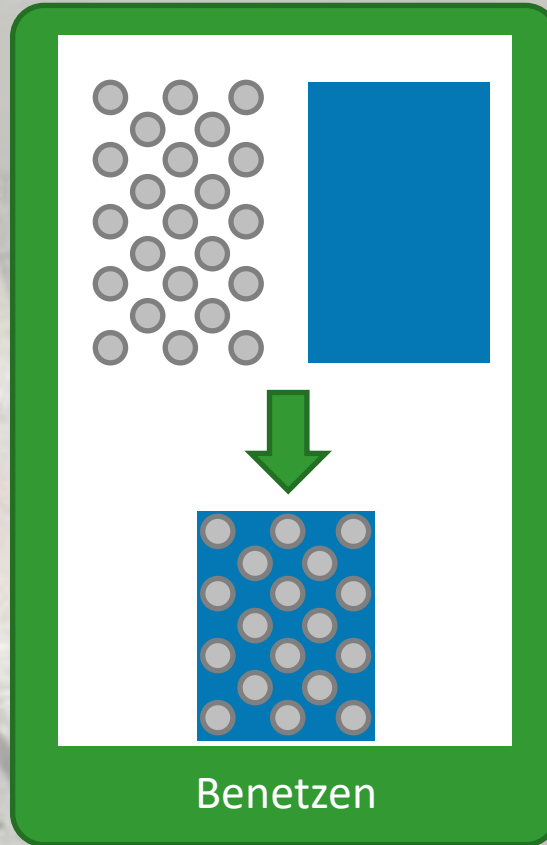
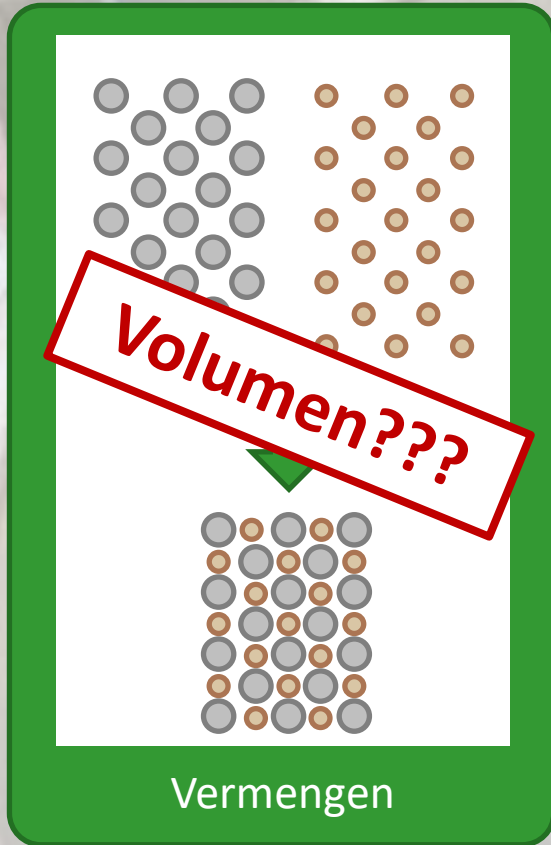
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Mischen







1m

1mm

1µm

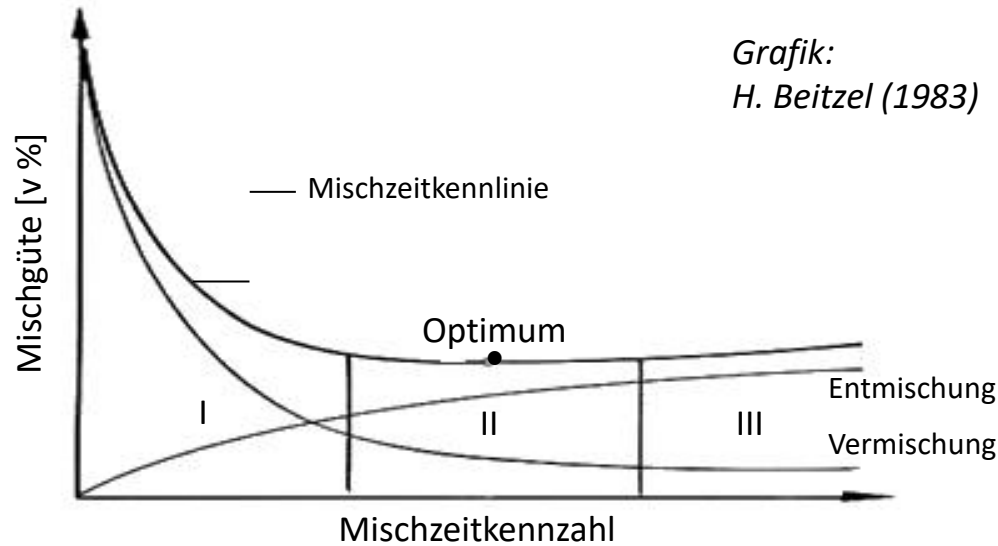
1-stufig

2-stufig

**Konventionelles Mischverfahren**



gemeinsames Vermengen  
aller Komponenten



## Einfluss verschiedener Prozessgrößen

	Prozessgröße	
	1. Grades	2. Grades
Ausbreitmaß		Mindestscherrate der Partikel (aus Simulation)
1d-Druckfestigkeit	Rohstofftemperatur	Mischzeit, Drehzahl des Mischwerkzeugs, durchschnittliche Maximalscherraten (aus Simulation)

↑ schnellere Verfestigung / geringeres Ausbreitmaß  
 ↓ langsamere Verfestigung / höheres Ausbreitmaß

## 1-stufig

### Konventionelles Mischverfahren



gemeinsames Vermengen  
aller Komponenten

## 2-stufig

getrennte Herstellung der  
chemisch-reaktiven Phase  
(Bindemittelleim)



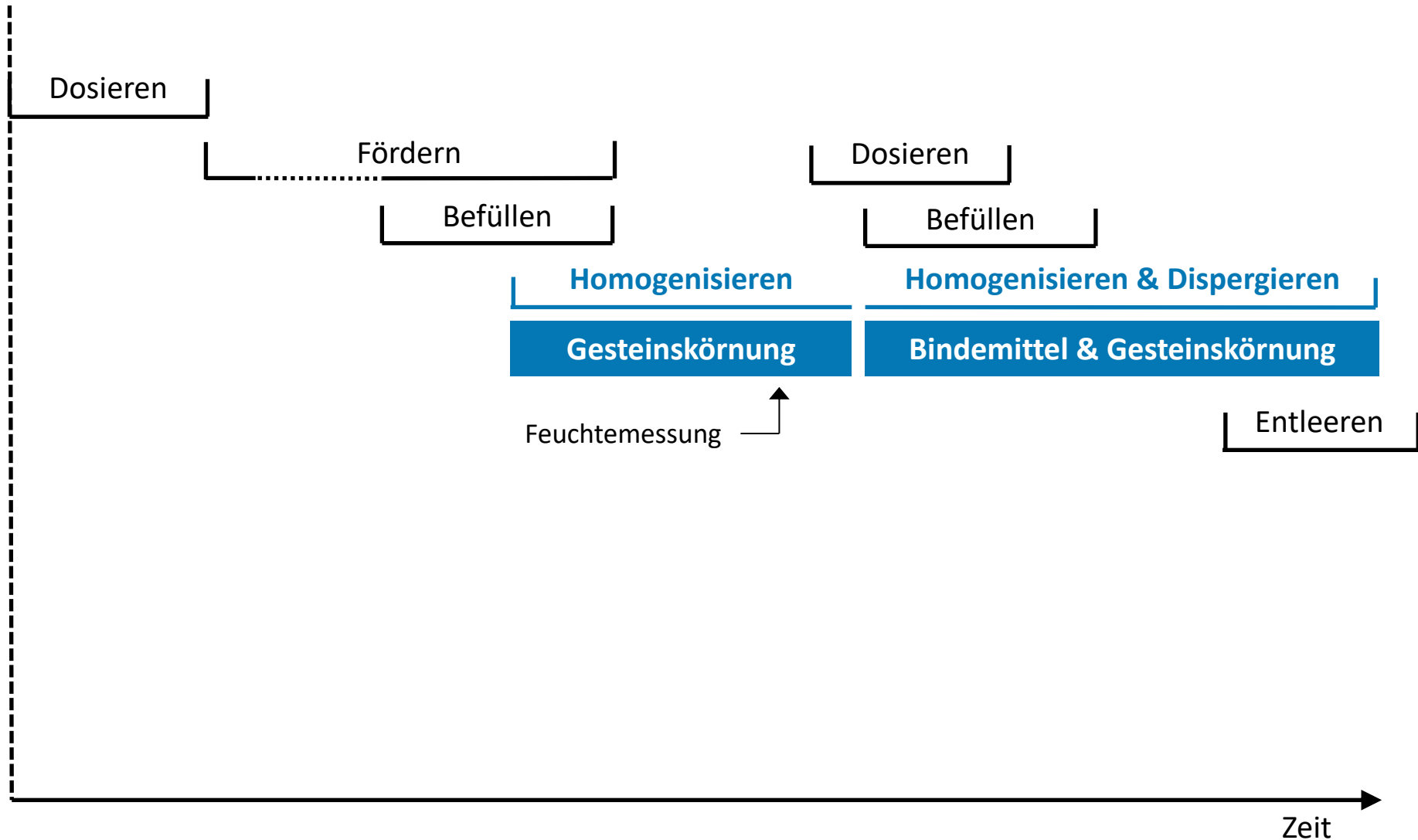
**Suspensionsmischverfahren**

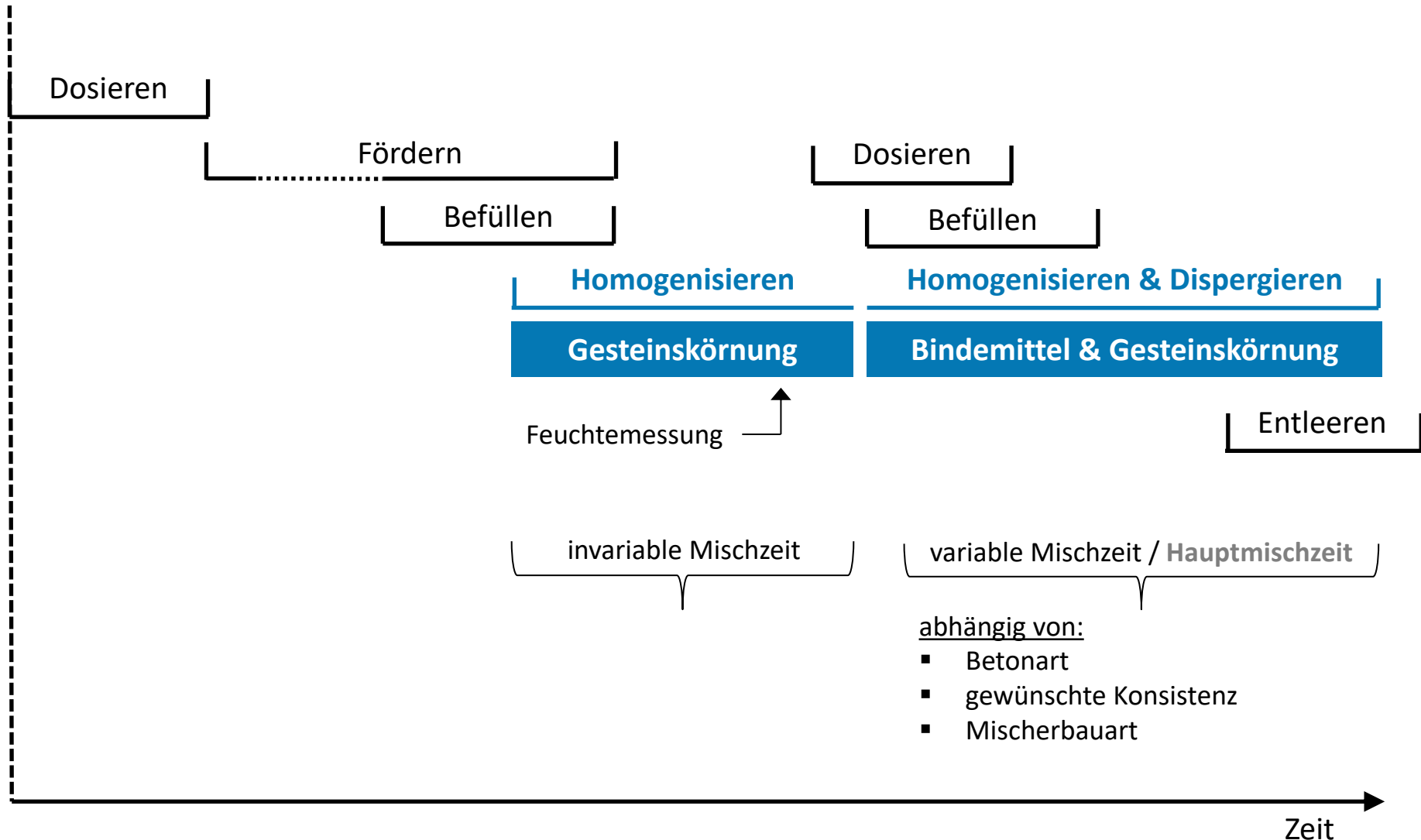
+

### Konventionelles Mischverfahren



Vermengen der Suspension  
mit der  
inerten Gesteinskörnung

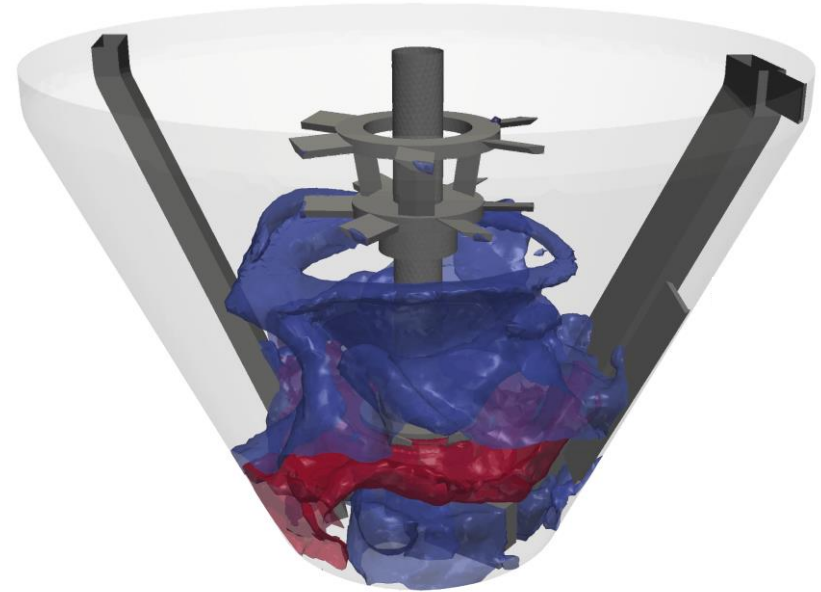




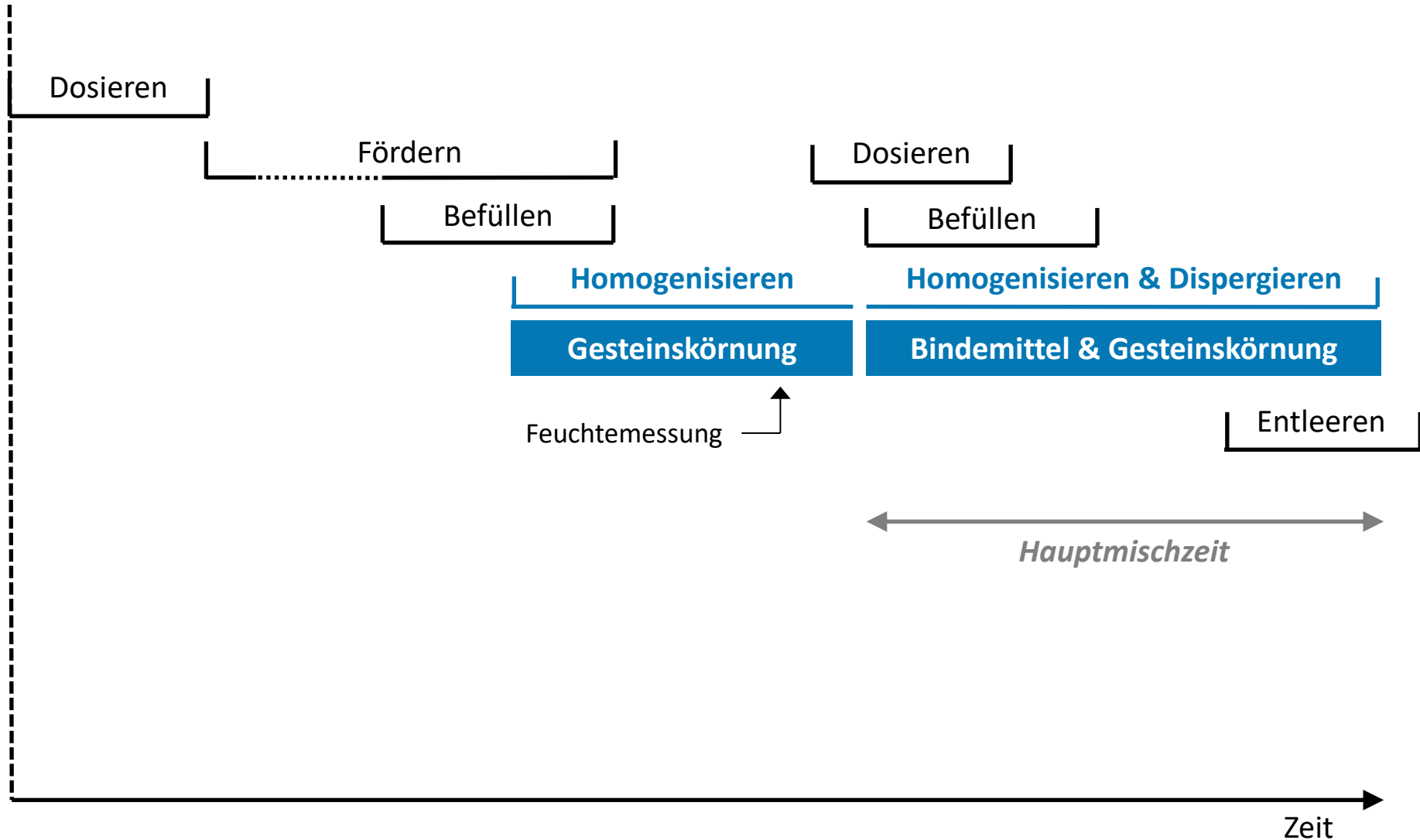
1-stufig

2-stufig

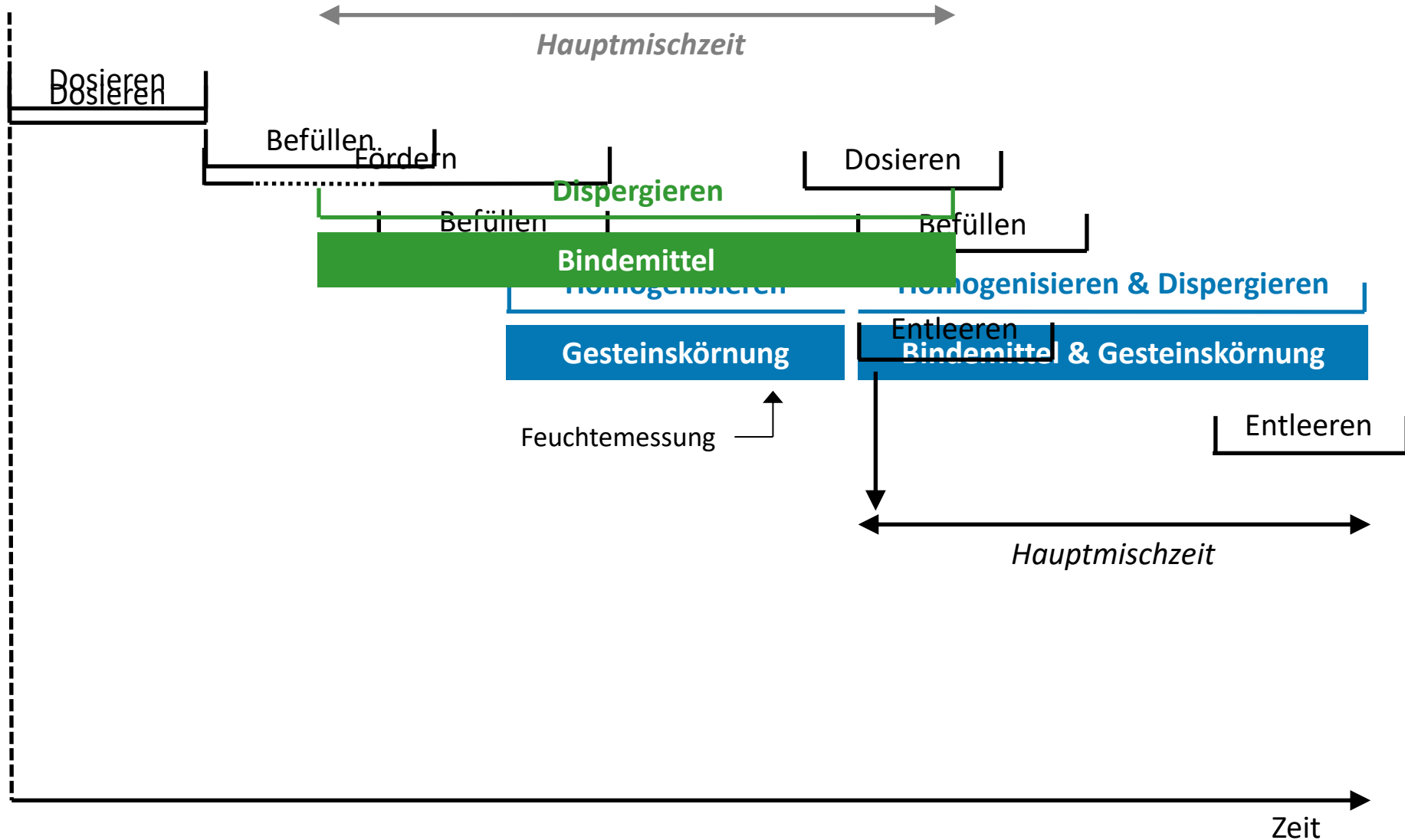
Stand der Technik



Intensives Rühren des Bindemittels in  
einem hierfür optimierten  
Suspensionsmischer  
(bis ca.  $10.000 \text{ min}^{-1}$ )



# ... zum 2-stufigen Mischprozess



- Forschung & Entwicklung (Beispiele)

Namen / Institute	Thematik	Jahr
Соломатов, Тахиров, Тахер, Шах	Suspensionsmischen	1989
...		
Peters, Rößler, Ludwig	Powerultraschall	seit 2009
Baumert, Garrecht	Suspensionsmischen	seit 2010
Takahashi, Bier, Westphal	Misch- und Förderprozesse	2011, 2014
IAB	Suspensionsmischen	seit 2014

- Begriff: „Bindemittelaktivierung“ bzw. „Zementaktivierung“

- Vereinfachte Darstellung aller Betonarten in einer Matrix

**Feinststoff-Gehalt** →

↓ **Zementanteil**

	300 [kg/m <sup>3</sup> ]		400 [kg/m <sup>3</sup> ]		500 [kg/m <sup>3</sup> ]	
	Zement	Zusatzstoff(e)	Zement	Zusatzstoff(e)	Zement	Zusatzstoff(e)
100/0 [Ma.-%]	300	0	400	0	500	0
90/10 [Ma.-%]	270	30	360	40	450	50
80/20 [Ma.-%]	240	60	320	80	400	100
70/30 [Ma.-%]	210	70	280	120	350	150

- 3 Mischverfahren auf dem Markt verfügbar
- 2 davon für betontechnologische Zwecke geeignet

- Wahl charakteristischer Zusammensetzungen

**Feinststoff-Gehalt** →

		300 [kg/m <sup>3</sup> ]		400 [kg/m <sup>3</sup> ]		500 [kg/m <sup>3</sup> ]	
		Zement	Zusatzstoff(e)	Zement	Zusatzstoff(e)	Zement	Zusatzstoff(e)
Zementanteil ↓	100/0 [Ma.-%]	300	0	400	0	500	0
	90/10 [Ma.-%]	270	30	360	40	450	50
	80/20 [Ma.-%]	240	60	320	80	400	100
	70/30 [Ma.-%]	210	70	280	120	350	150

Herkömmliche Betone  
(hier aber F2/F3 !)

„Klinkerreduzierte Betone“

- k-Wert-Methode
- Gleichwertigkeit der Betonleistungsfähigkeit
- Gleichwertige Leistungsfähigkeit von Zement-Zusatzstoff-Kombinationen

Leicht- und Selbst-  
verdichtende Betone

- Prämisse: Praxis im Labor nachbilden
- Mischer, Verfahrensabläufe & Rezepturanpassung

Nassmischzeit (1-stufig) oder Suspensionsmischzeit (2-stufig)

Mischverfahren	Mischprinzip	Verfahrensablauf	Drehzahl [min <sup>-1</sup> ]	FM-Gehalt [Ma.-%]	Suspension [dm <sup>3</sup> ]
1-stufig	I	-	50	0,8	-
2-stufig	II	1	3.000	0,5	42
		2	3.000	0,5	50
	III	1	3.000	0,5	42
		2	3.000	0,8	50
		3	3.000	0,5	42
		4	3.000	0,8	50

Hauptmischzeit [s]			
60	120	240	360
I <sub>60</sub>	I <sub>120</sub>	I <sub>240</sub>	I <sub>360</sub>
II <sub>60,1</sub>	II <sub>120,1</sub>	II <sub>240,1</sub>	II <sub>360,1</sub>
II <sub>60,2</sub>	II <sub>120,2</sub>	II <sub>240,2</sub>	II <sub>360,2</sub>
III <sub>60,1</sub>	III <sub>120,1</sub>	III <sub>240,1</sub>	III <sub>360,1</sub>
III <sub>60,2</sub>	III <sub>120,2</sub>	III <sub>240,2</sub>	III <sub>360,2</sub>
III <sub>60,3</sub>	III <sub>120,3</sub>	III <sub>240,3</sub>	III <sub>360,3</sub>
III <sub>60,4</sub>	III <sub>120,4</sub>	III <sub>240,4</sub>	III <sub>360,4</sub>

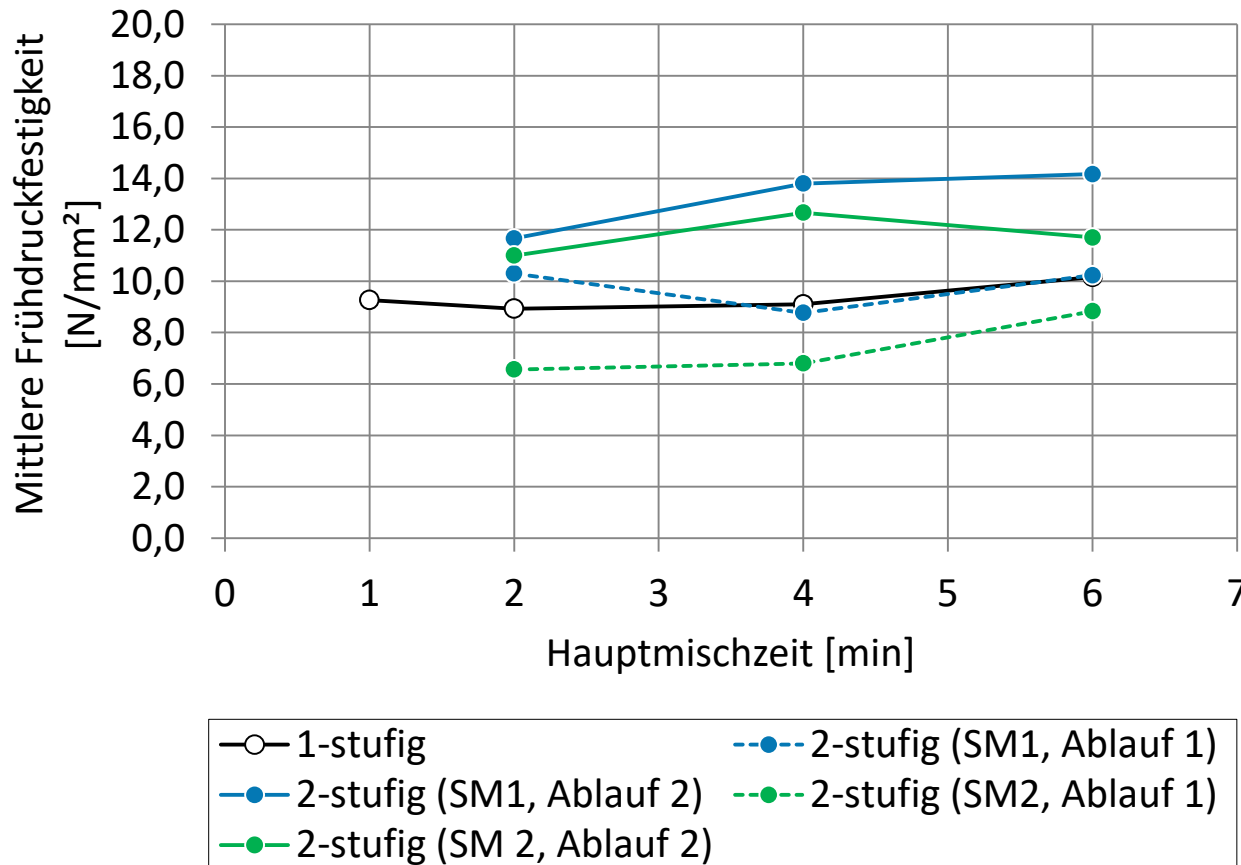
→ Ringtellermischer

technologisch nicht möglich oder unvorteilhaft

Untersuchungsbereich



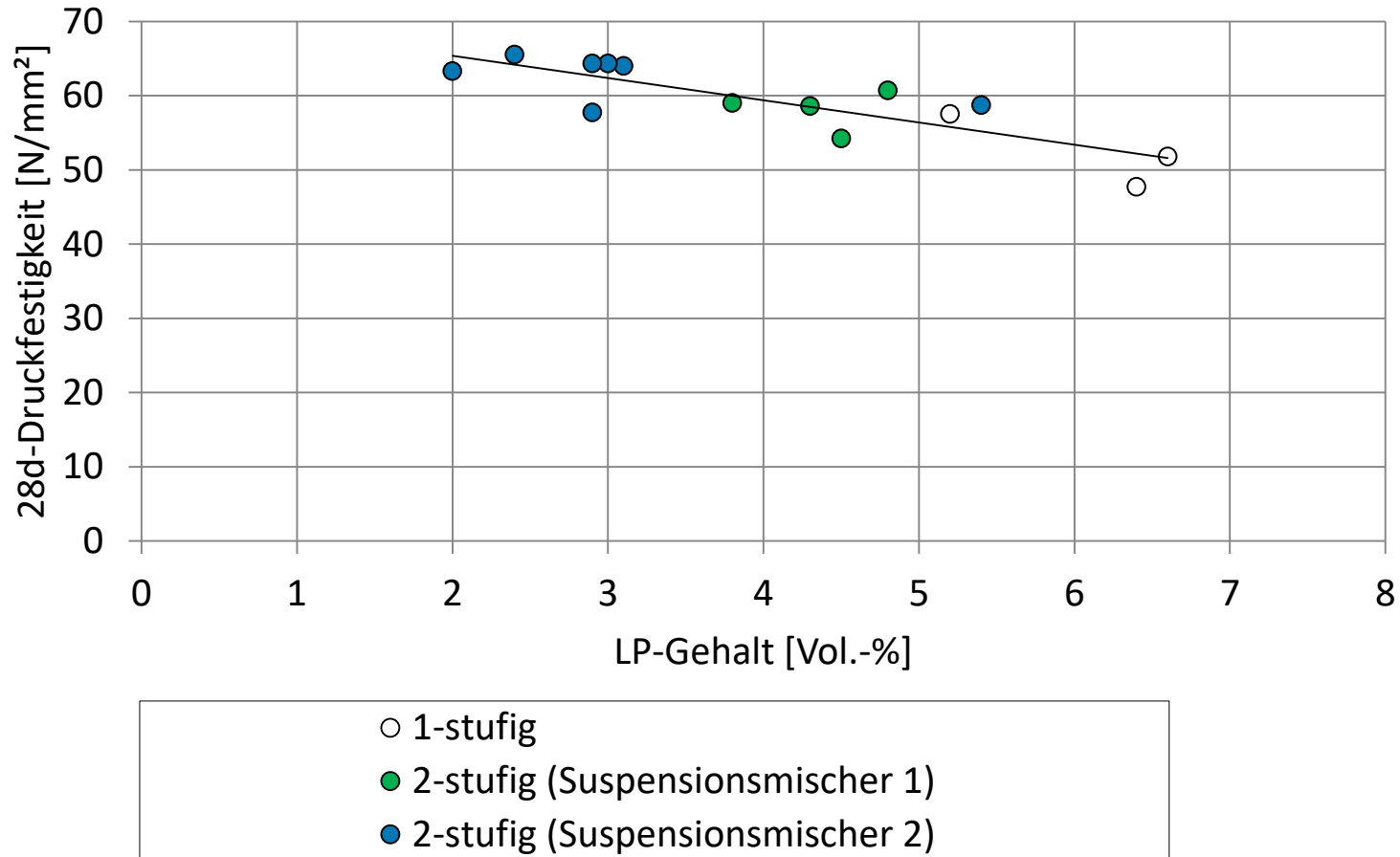
- Mittlere Frühdruckfestigkeit in Abhängigkeit von der Hauptmischzeit
- Wärmebehandlung bei 40,0 °C



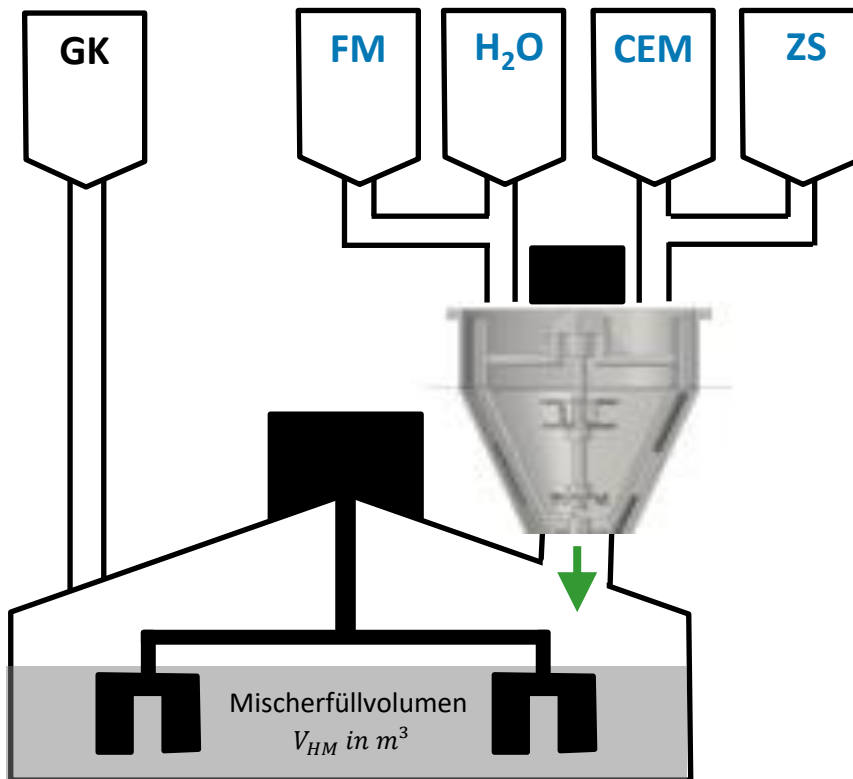
Suspensionsmischen kann zu einem Festigkeitszuwachs führen, aber abhängig vom Verfahrensablauf

2-stufig:  
3.000 U/min

- Korrelation des LP-Gehalts mit der 28d-Druckfestigkeit



- **Vollständige Entleerung:**  
**Input  $\triangleq$  Output**



Erweiterte Stoffraumrechnung:

Suspensionsmischer

$$V_{BML} = V_{FM} + V_{H_2O} + V_{CEM} + V_{ZS} + V_{LP,BML}$$



vollständige Entleerung der  
Suspension

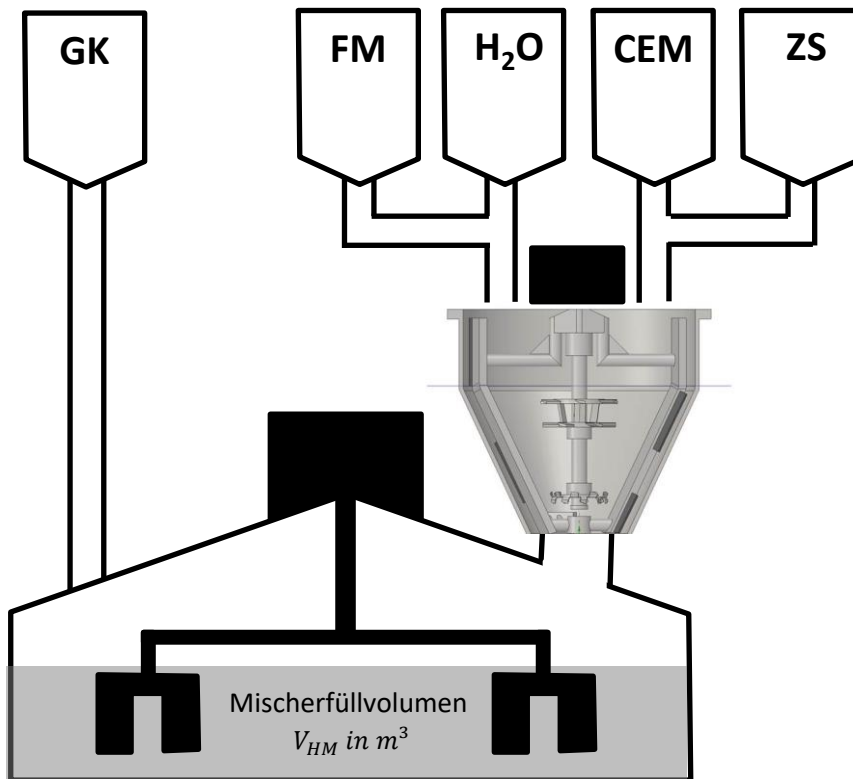


Stoffraumrechnung im  
Hauptmischer

$$1\text{m}^3 = \frac{1}{V_{HM}} (V_{BML} + V_{GK} + (V_{LP,Beton} - V_{LP,BML}))$$

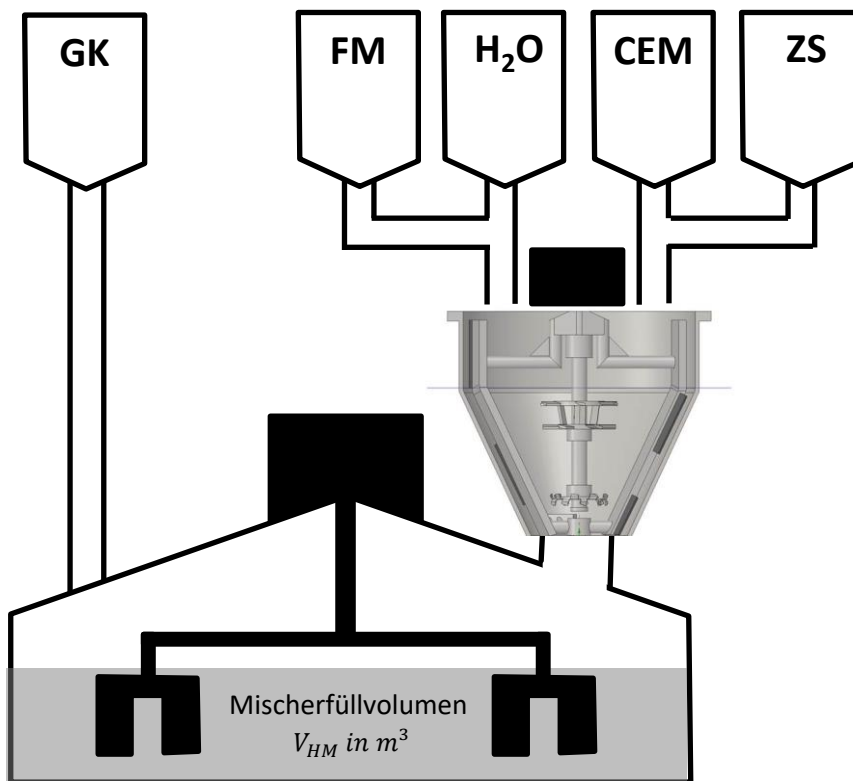
(alle Einheiten in  $\text{m}^3$ )

- **Vollständige Entleerung:**  
**Input  $\triangleq$  Output  $\pm$  zulässige Abweichung**



$e_1$  EN 206:  
zulässige Abweichungen für das  
Dosieren von Ausgangsstoffen,  
(3 Ma.-% bis 5 Ma.-%)

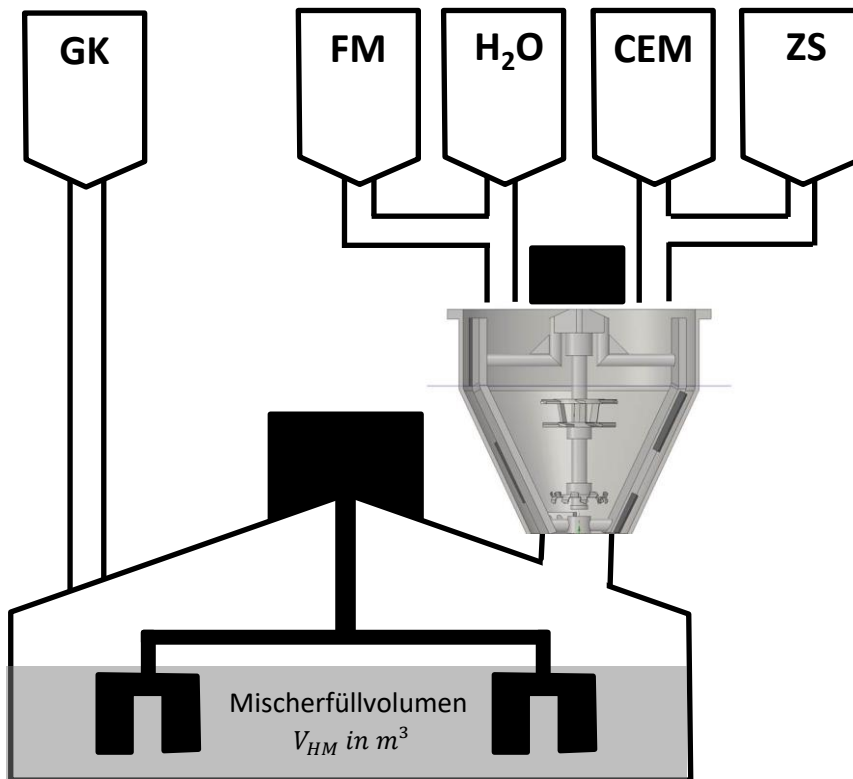
- **Vollständige Entleerung:**  
**Input  $\triangleq$  Output  $\pm$  zulässige Abweichung**



$e_1$  EN 206:  
zulässige Abweichungen für das  
Dosieren von Ausgangsstoffen,  
(3 Ma.-% bis 5 Ma.-%)

$e_2$  ???

- **Vollständige Entleerung:**  
**Input  $\triangleq$  Output  $\pm$  zulässige Abweichung**



EN 206:  
zulässige Abweichungen für das  
Dosieren von Ausgangsstoffen,  
(3 Ma.-% bis 5 Ma.-%)



**unzureichende Homogenisierung und Dispergierung aller Komponenten  
→ Bildung verbleibender Agglomerationen & unvollständige Entleerung**



## Einflussfaktoren:

- Maschinentechnik  
... Mischertyp, Dimensionierung Mischzelle und –werkzeug
- Mechanische Verfahrenstechnik  
... Mischzeit, Trombenbildung, Turbulenz, Zugabezeitpunkt der Ausgangsstoffe
- Bindemittelzusammensetzung  
... Feststoffgehalt bzw. w/z-Wert, Fließmitteltyp und –dosierung, Mineralogie, spezifische Oberfläche, LP-Mittel
- Temperatur der Rohstoffe

- Mischen ist komplex und alles andere als trivial
- Zweistufiges Mischverfahren:
  - Vorteilhaft für vielfältige Anwendungen (bspw. höhere Frühfestigkeit)
  - Neue Möglichkeiten der Suspensionsmischtechnologie machen praktische Anwendungen möglich
  - Suspensionsmischer  $\neq$  Suspensionsmischer
  - Viele weitere Anforderungen (z.B. Konsistenzhaltung, Mischungsstabilität, Steuerungsprozesse)
- Fokus weiterer Arbeiten: effizienteres Mischen mit Zusatzstoffen

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

**Dr.-Ing. Justus Lipowsky**

Tel.: +49.3643.8684-156

E-Mail: [j.lipowsky@iab-weimar.de](mailto:j.lipowsky@iab-weimar.de)

IAB Weimar gGmbH

Forschungsbereich Baustoffe

Über der Nonnenwiese 1

99428 Weimar

Germany