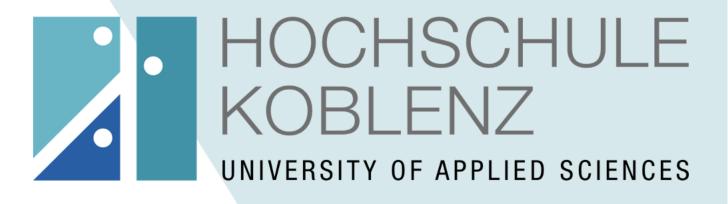
# Charakterisierung von Feuerbetonen zur Qualitätssicherung



Prof. Dr. Olaf Krause

Hochschule Koblenz WesterWaldCampus

Werkstofftechnik Glas & Keramik

krause@hs-koblenz.de

## Charakterisierung von Feuerbetonen aber bitte schön mit belastbaren Ergebnissen



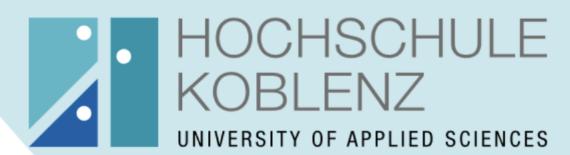
- Normative Grundlage: DIN EN ISO 1927 Teile 1-8
  - Teil 1: Einführung und Klassifizierung
  - Teil 2: Probenahme
  - Teil 3: Prüfung im Anlieferungszustand
  - Teil 4: Bestimmung der Konsistenz von Feuerbetonen
  - Teil 5: Herstellung und Behandlung von Probekörpern
  - Teil 6: Bestimmung der physikalischen Eigenschaften
  - Teil 7: Prüfungen an Fertigteilen
  - Teil 8: Bestimmung zusätzlicher Eigenschaften

## DIN EN ISO 1927 oder die Kunst reproduzierbare Messergebnisse zu generieren



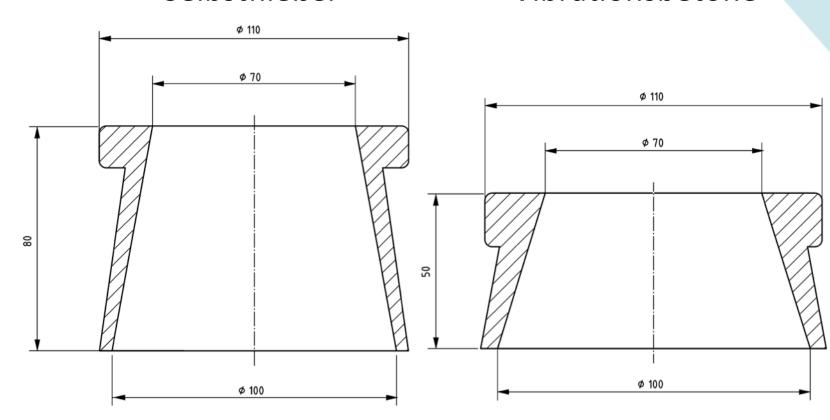
- Worauf es ankommt
  - ... und trivial klingt, aber die meisten Probleme bereitet:
- Immer gleiche Verarbeitungseigenschaften wovon hängen diese ab?
  - → Einfluss auf die rheologischen Eigenschaften (Verdichtung)
  - Temperatur (vor allem die initiale Massetemperatur),
  - dem Mischenergieeintrag
  - der Verflüssigung (Zeitpunkt des Ansteifens).
- Energieeintrag durch Vibration
- Definierte Umgebungsbedingungen während der Verfestigung:
  - Art und Menge der ausgebildeten Hydratphasen (nach 48 Stunden nicht abgeschlossen!),
  - Austrocknungsrate während des Abbindens (spezifische Oberfläche der Prüfkörperformate):

## DIN EN ISO 1927 - 3: Bestimmung der Konsistenz von Feuerbetonen



#### Selbstfließer

Vibrationsbetone



- Randbedingungen:
  - Vibrationsbetone:
    - Vibration mit einer Amplitude von 0,5 mm (ISO 1927-4) Schwingungsbreite 0,5 mm (ISO 1927-5)
    - 30 s einvibrieren und 20 s nach Ziehen des Kegelstumpfes
  - Selbstfließer:
    - 1 Minute frei (ohne Vibration ausfließen lassen)
  - Zweimalige Messung des Durchmessers

$$F_{V} = \left(\frac{\overline{d} - d_{0}}{d_{0}}\right) \cdot 100$$

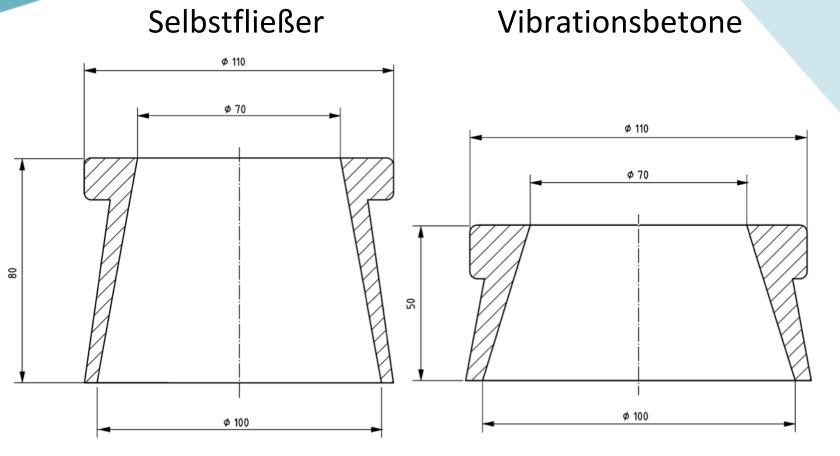
Dabei ist

- $\overline{d}$  der mittlere Durchmesser der ausgebreiteten Probe (siehe 5.2.7);
- $d_0$  der ursprüngliche untere Durchmesser, d. h. 100 mm.

## DIN EN ISO 1927 - 3: Bestimmung der Konsistenz von Feuerbetonen



Was wir dann ggf. übersehen:





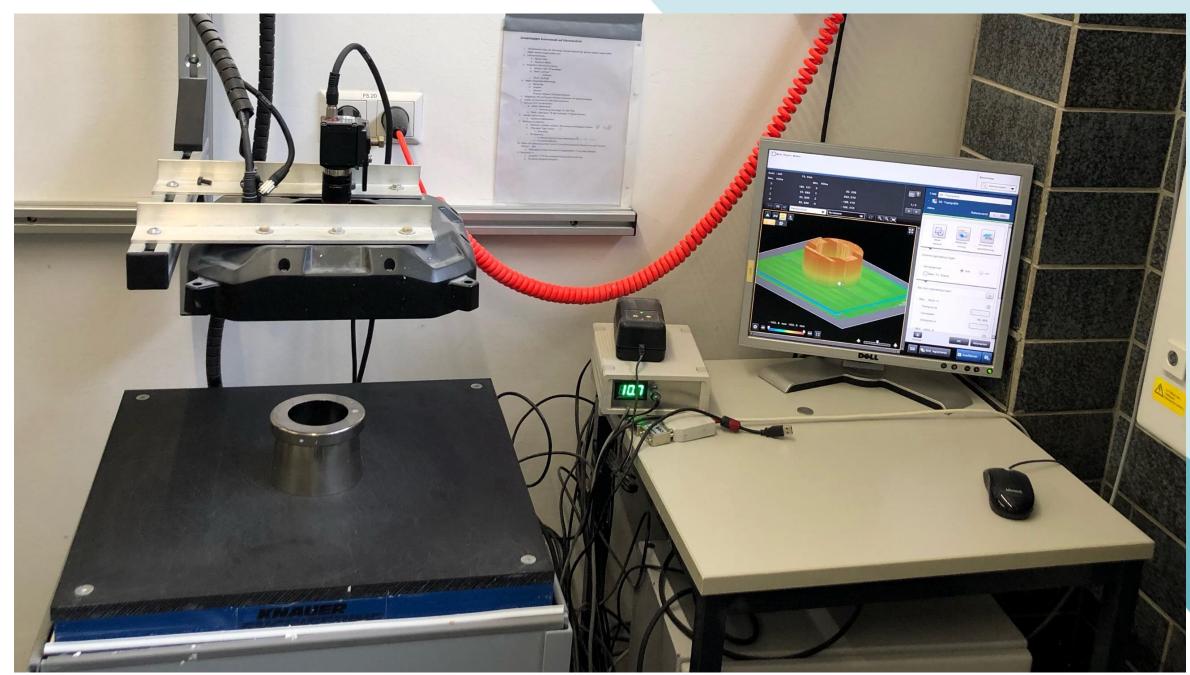


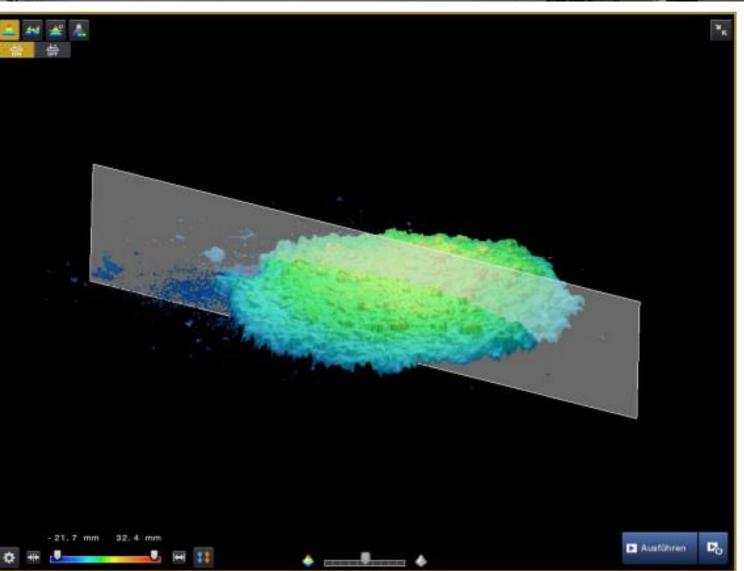
Dank an Marcel Bastian für die Überlassung des Videos!

### Geht das noch besser?



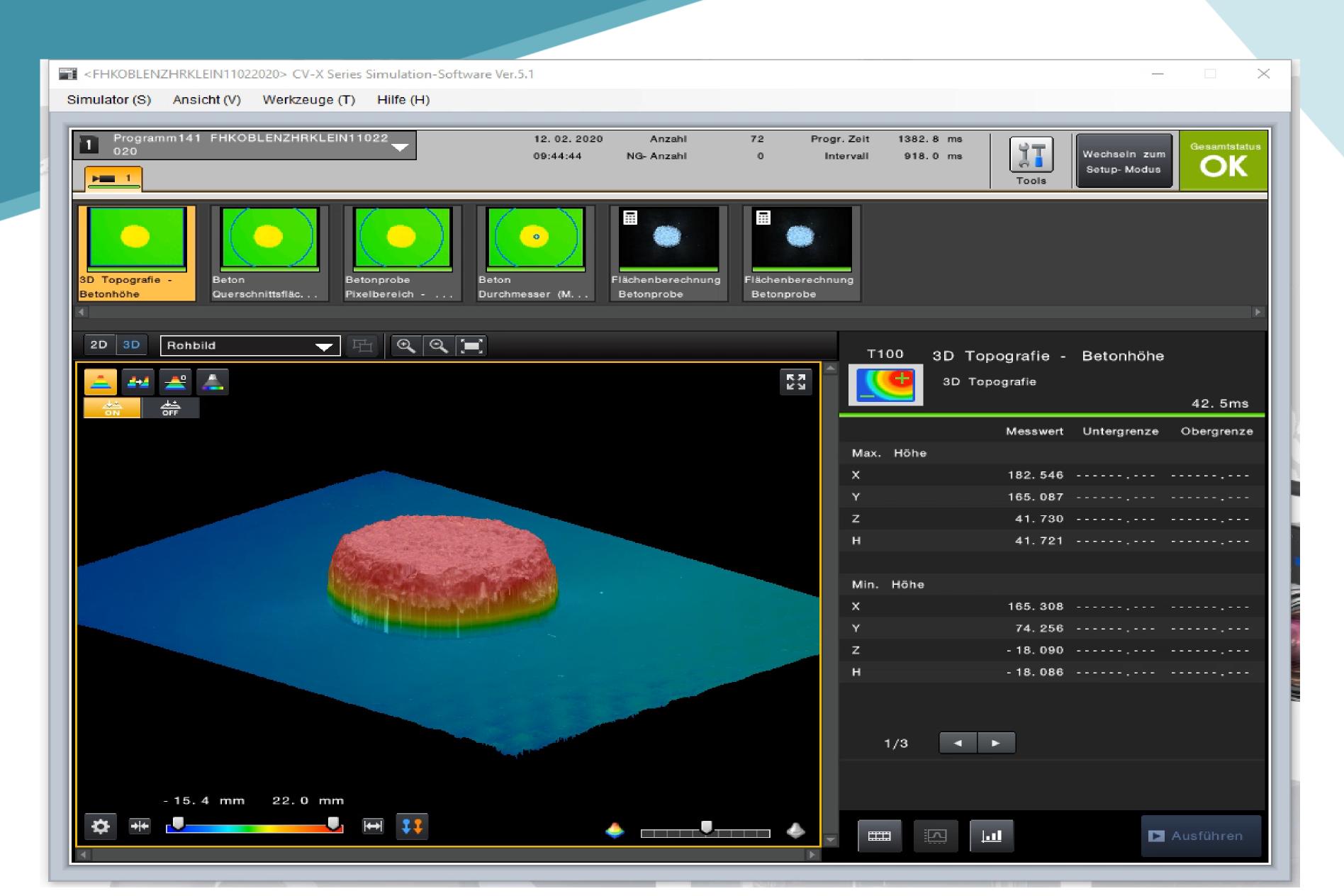
 Das 3D Ausbreitmaß erlaubt Aussagen über das zeit- und höhenabhängige Fließen von Feuerbetonen





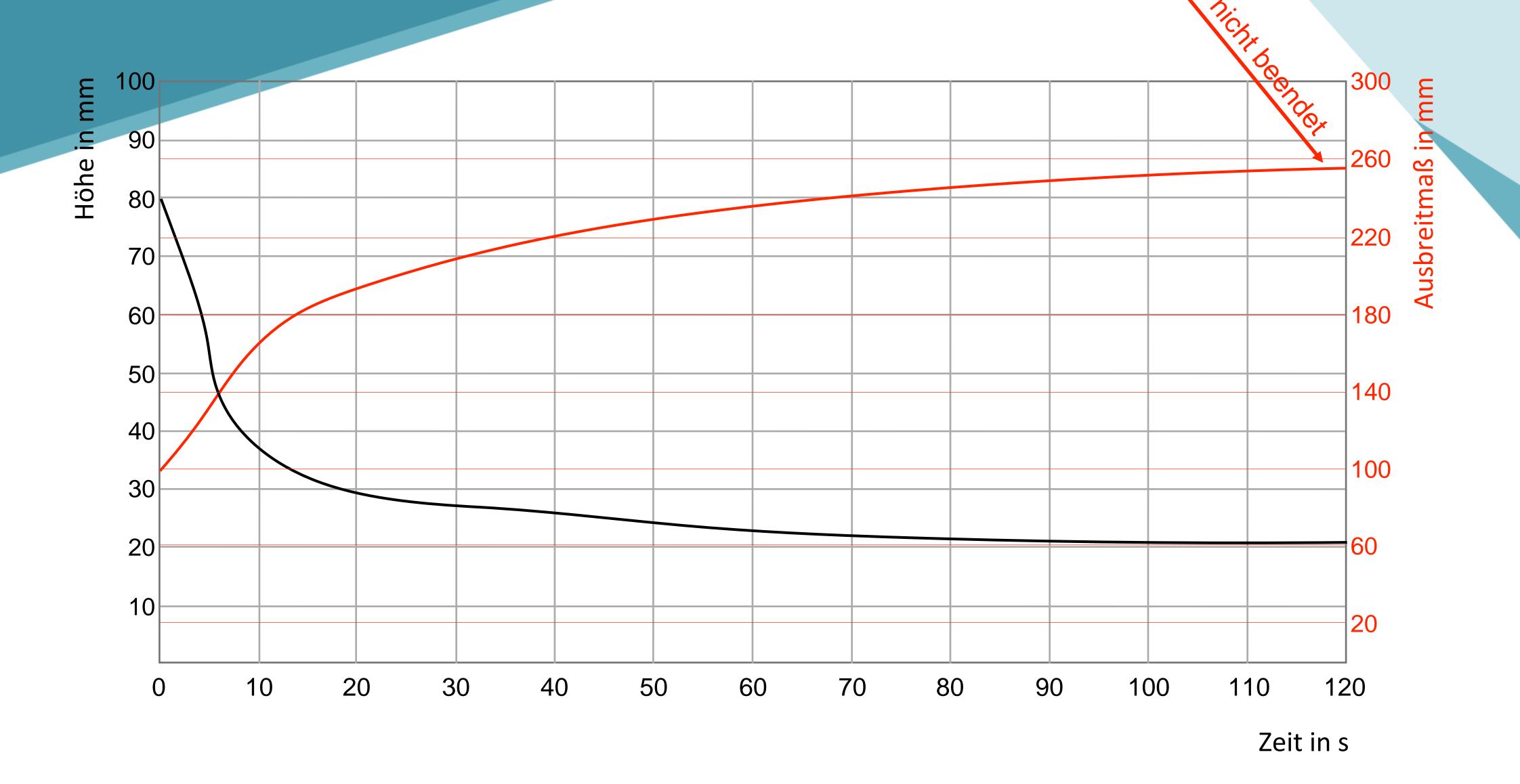
### 3D - Ausbreitmaß, was erhalten wir?





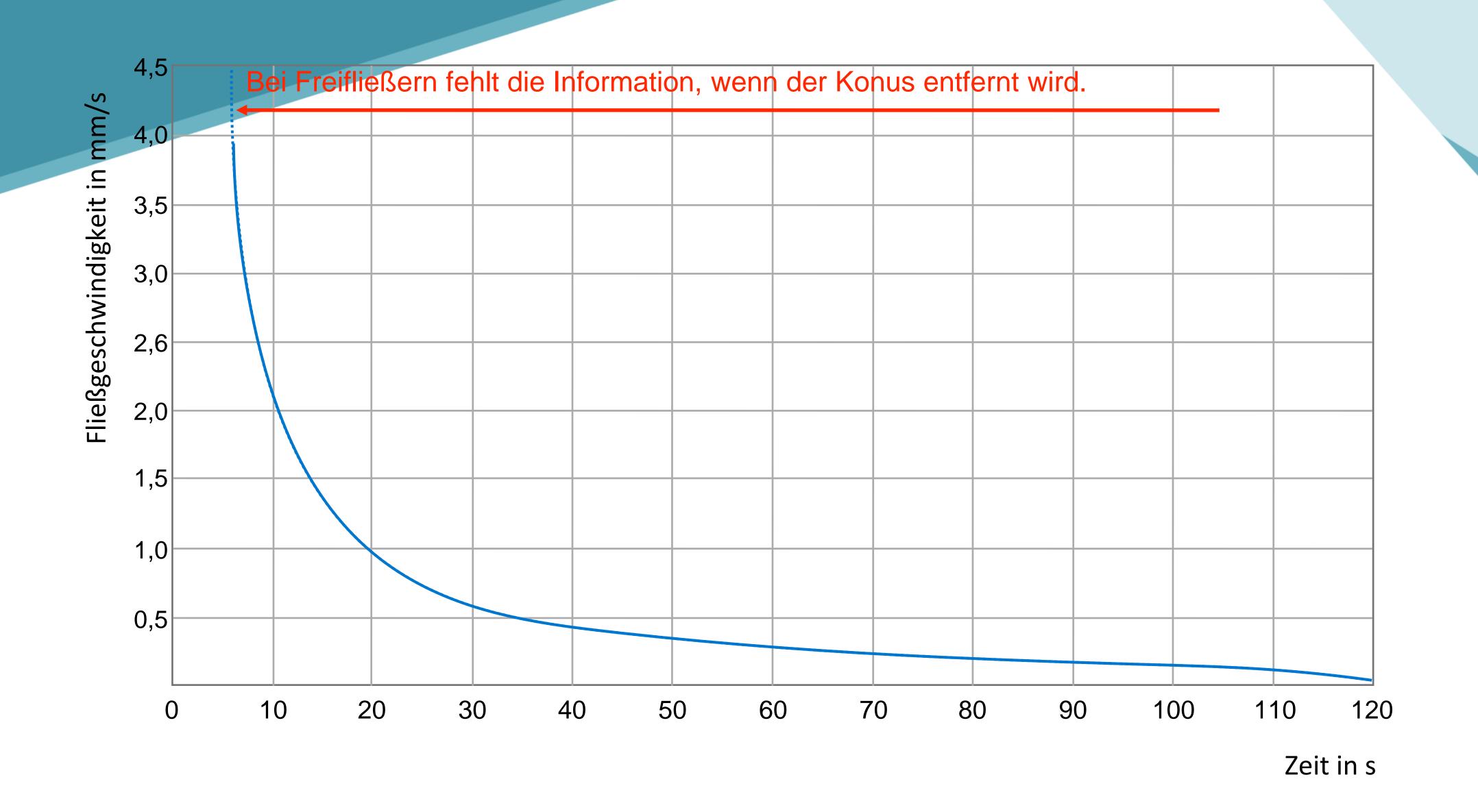
3D - Ausbreitmaß, was erhalten wir? Zeitabhängiges Ausbreitmaß f(Höhe)





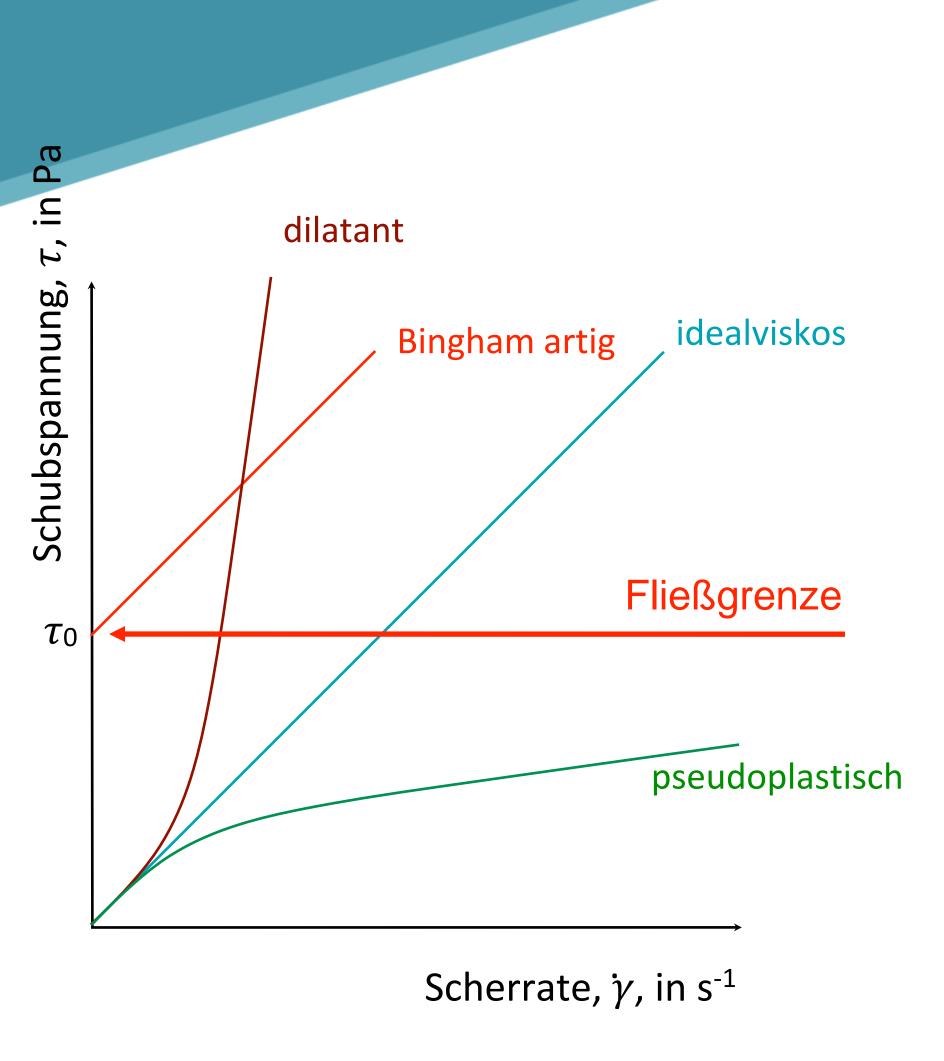
## 3D - Ausbreitmaß, was erhalten wir? Fließgeschwindigkeit





## 3D - Ausbreitmaß, was erhalten wir? Berechnung der Fließkurven





2500 Schubspannung, au, in Pa 2000 1500 1000 500 0,04 0,05 0,06 0,09 0,10 0,01 0,02 0,03 0,07 0,08 Scherrate,  $\dot{\gamma}$ , in s<sup>-1</sup> 11

## Fließverhalten eines Feuerbetons f(Massetemperatur = 15°C, Mischdauer = var.)



#### Mischparameter:

Alle Massen werden 1 Minute trocken vorgemischt.

Mischzeit nass:

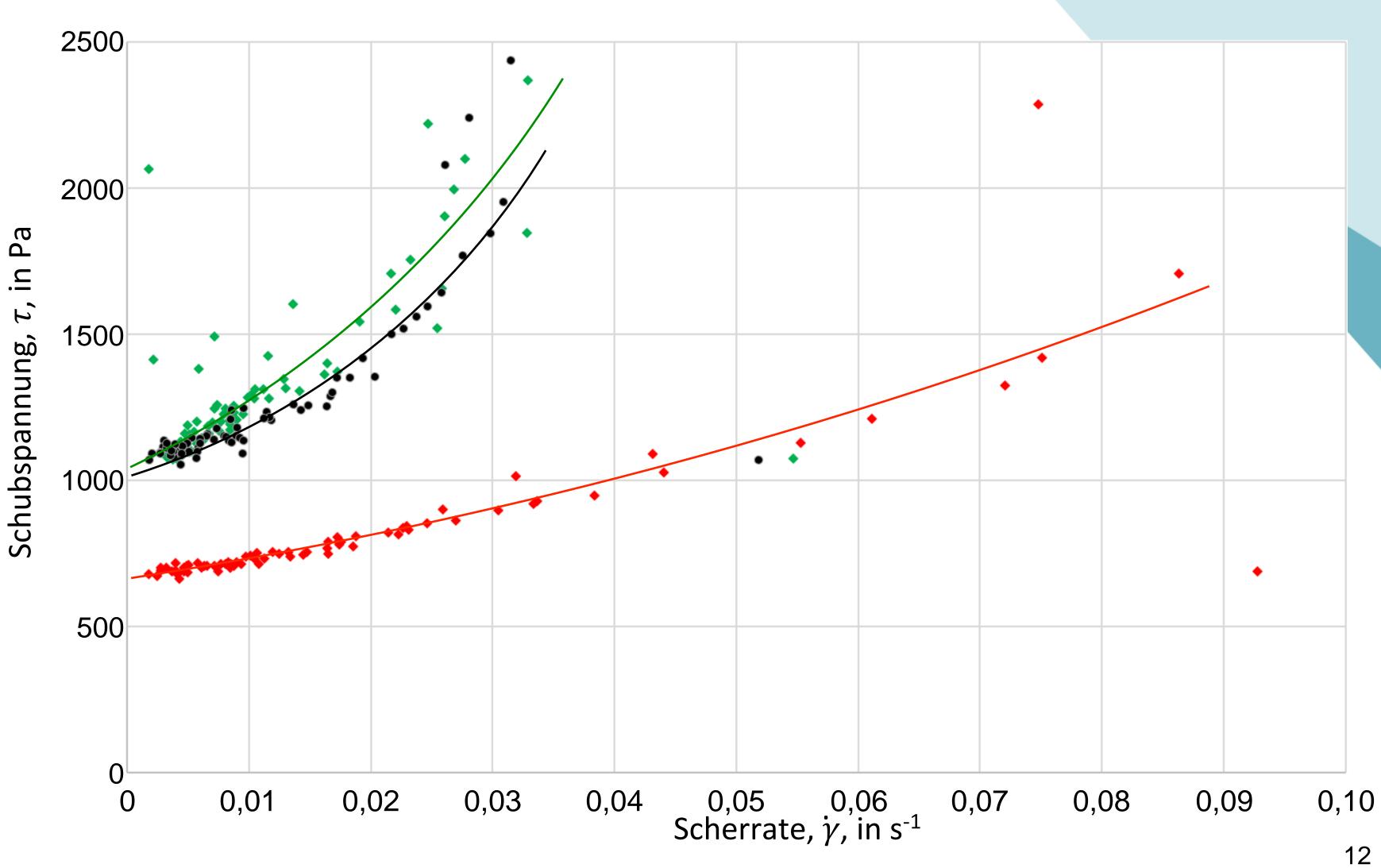
2 Minuten

◆ 3 Minuten

4 Minuten



→ Mehr Mischenergieeintrag führt zu einer Erwärmung der Masse, wodurch die Viskosität sinkt und die Dilatanz abnimmt.



## Fließverhalten eines Feuerbetons f(Massetemperatur = 15, 25°C, Mischdauer = var.)



#### Mischparameter:

Alle Massen werden 1 Minute trocken vorgemischt.

#### Mischzeit nass:

2 Minuten

15 °C 3 Minuten

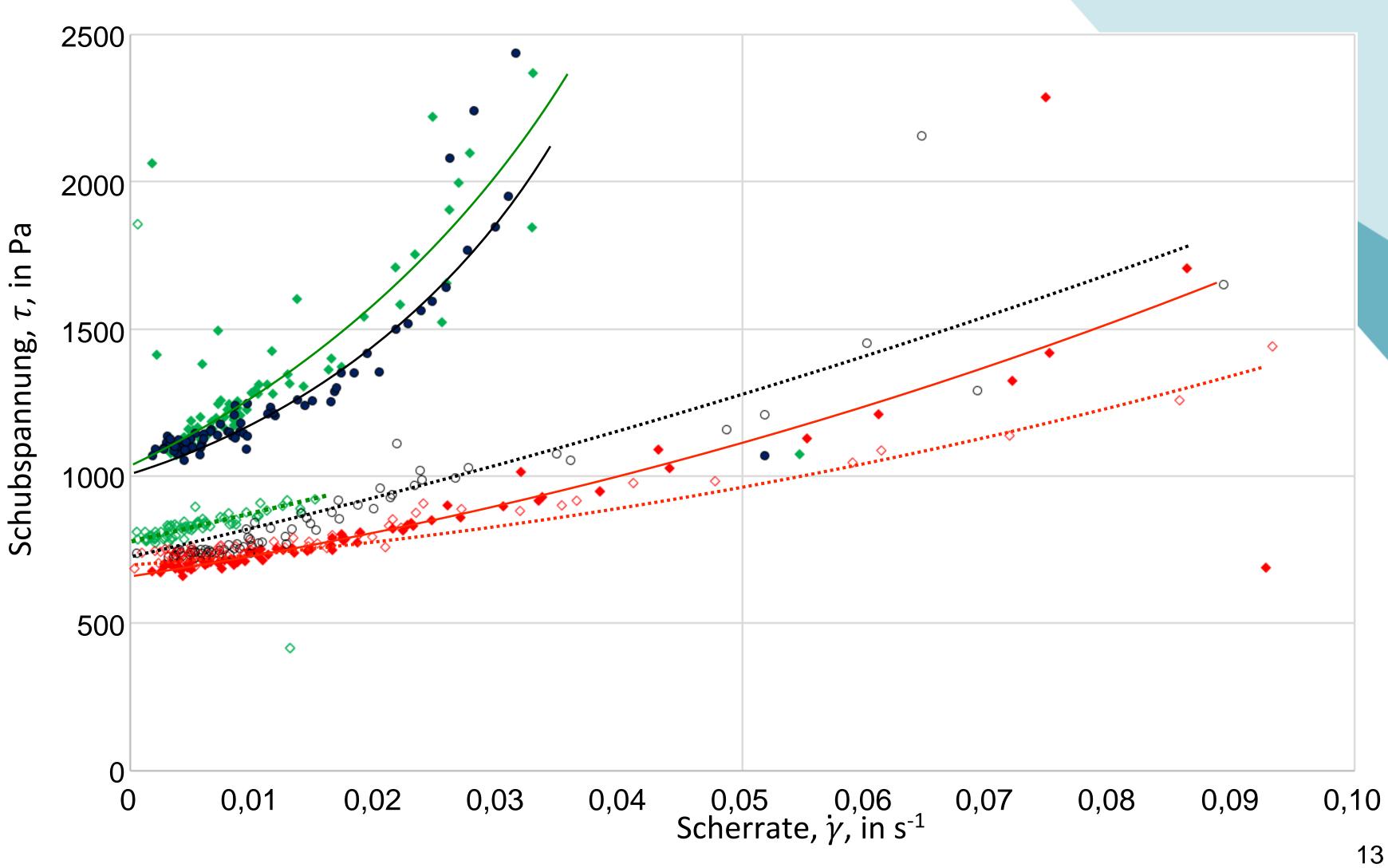
4 Minuten

2 Minuten

3 Minuten

4 Minuten

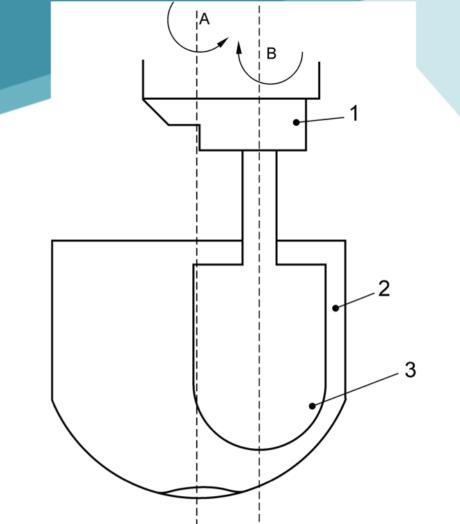
→ Höhere Massetemperaturen führen zu einem verbesserten Fließverhalten.

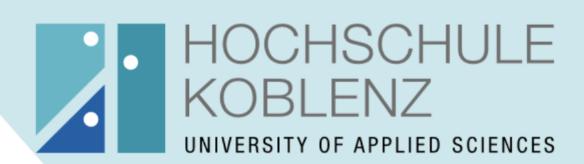




- Das 3D-Ausbreitmaß führt zu einem besseren Verständnis des Fließverhaltens und damit des Verdichtungsverhaltens von Feuerbetonen, auch wenn sich die genaue Berechnung der dyn. Viskosität schwierig gestaltet.
- Die Massetemperatur vor dem Mischen wirkt sich deutlich auf das Verdichtungsverhalten der Feuerbetone aus.
- Längeres Mischen führt zu einer Erwärmung der Masse, wodurch der Temperatureffekt abgemildert wird.
- Das hängt aber stark vom verwendeten Mischaggregat ab.
- Die hier eingebrachte Mischenergie durch den Eirich-Mischer ist sehr hoch, bezogen auf das Mischvolumen.

### Der Mischenergieeintrag spielt also eine große Rolle





Was sagt die Norm (ISO 1927-5)?

- Legend
- 1 Antrieb2 Mischtrod
- MischtrogMischflügel

Skizze Mischer gem. ISO 1927-5)

- Die Charge ist 2 min bei herkömmlichen Feuerbetonen und von 4 min bei verflüssigten Feuerbetonen zu mischen. Falls erforderlich, ist der Mischer nach der halben Mischdauer auszuschalten, um die an den Rändern des Mischers haftende Masse abzukratzen.
  - ANMERKUNG 1 Die Nass-Mischzeit sollte in Abhängigkeit von der Produktart oder der Zeit, die vom Hersteller empfohlen wird, nicht weniger als 2 min und nicht mehr als 8 min betragen.
  - ANMERKUNG 2 Im Allgemeinen erfordern verflüssigte Feuerbetone eine längere Mischdauer als herkömmliche Feuerbetone und es ist mit mindestens 4 min zu rechnen.
- Der Mischflügel muss sich mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit zwischen 40 min<sup>-1</sup> und 65 min<sup>-1</sup> um die Achse A (Symmetrieachse des Mischtrogs) drehen, wobei sich der Mischflügel gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit zwischen 120 min<sup>-1</sup> und 145 min<sup>-1</sup> um die Achse B (Symmetrieachse des Mischflügels) dreht.

### Der Mischenergieeintrag spielt also eine große Rolle

HOCHSCHULE KOBLENZ
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

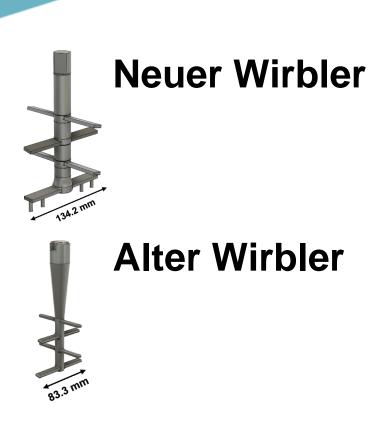
- Wie wirkt sich der Verschleiß des Mischwerkzeuges auf den Mischenergieeintrag aus?
- Kleiner Versuch:
  - Wirbler fabrikneu
  - Wirbler verschlissen
- Wirblergeschwindigkeit: 700 Umdrehungen/Minute
- Mischzeit 5 Minuten und 3 (3,5) Minuten
   (um es vorwegzunehmen 3 Minuten reichen nicht aus, um mit
   dem verschlissenen Wirbler eine verarbeitungsfähige Masse zu
   erzielen).





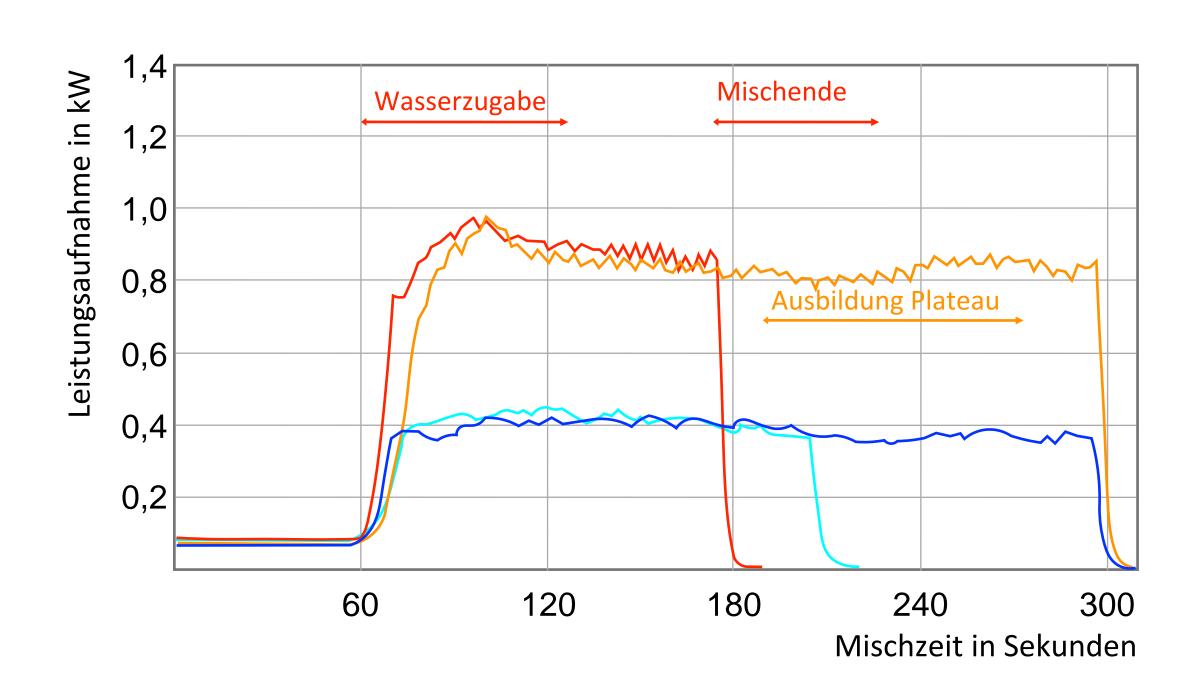
## Einfluss der Mischenergie anahnd einer 5 kg Mischung im Eirichmischer

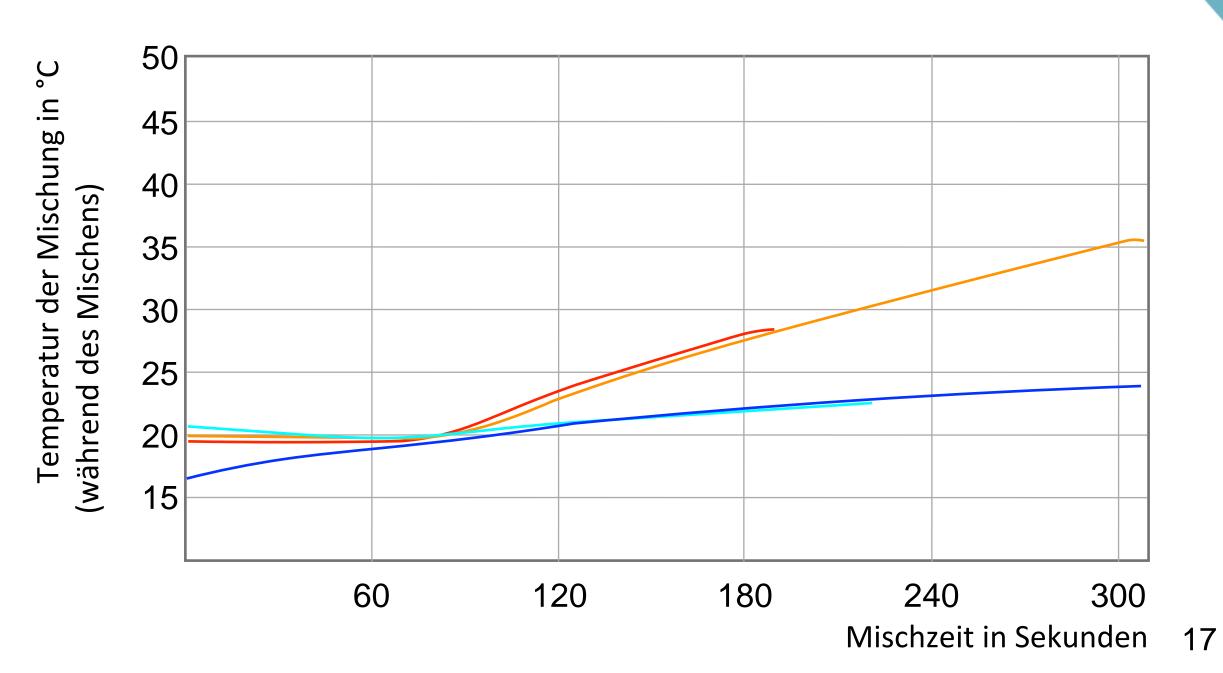




700 Umdrehungen/Minute 3 Minuten Mischzeit 700 Umdrehungen/Minute 5 Minuten Mischzeit

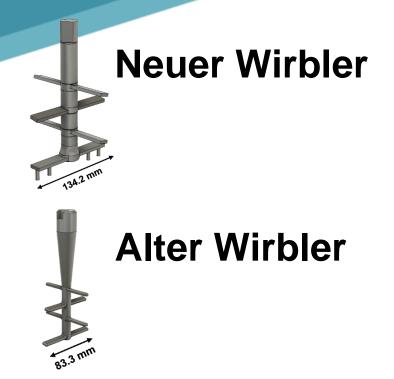
700 Umdrehungen/Minute 3,5 Minuten Mischzeit 700 Umdrehungen/Minute 5 Minuten Mischzeit





## Wie wirkt sich das auf die technologischen Eigenschaften aus?



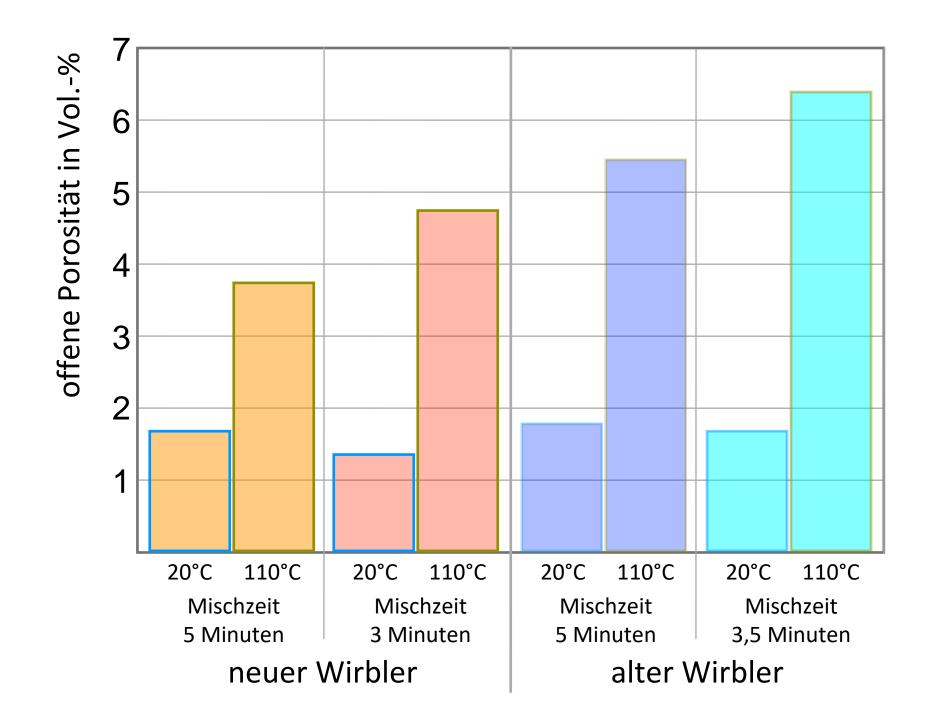


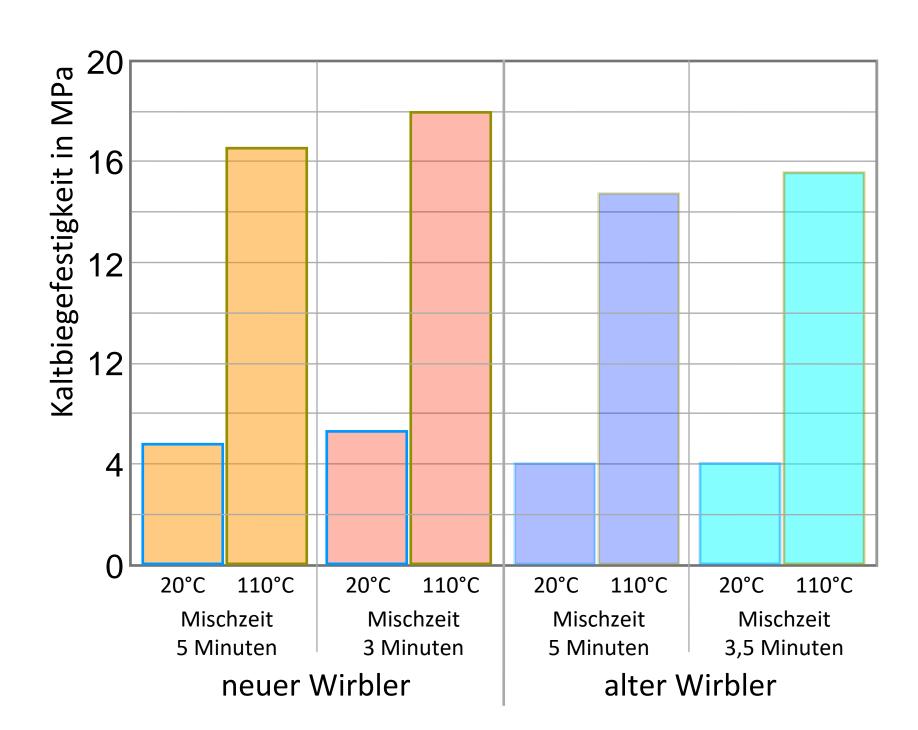
700 Umdrehungen/Minute 3 Minuten Mischzeit

700 Umdrehungen/Minute 5 Minuten Mischzeit

700 Umdrehungen/Minute 3,5 Minuten Mischzeit

700 Umdrehungen/Minute 5 Minuten Mischzeit



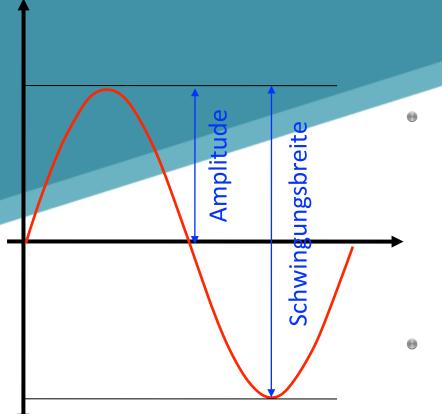




- Die ISO 1927 spezifiziert den Mischprozess nicht ausreichend.
  - → Mit Abweichungen technologischer Ergebnisse muss gerechnet werden, da hier auch das Verdichtungsverhalten maßgeblich beeinflusst wird.
- Auch verschlissene Mischwerkzeuge beeinflussen das Verdichtungsverhalten und letztlich die erzielbaren technologischen Eigenschaften.
- Die technologischen Eigenschaften ändern sich signifikant!

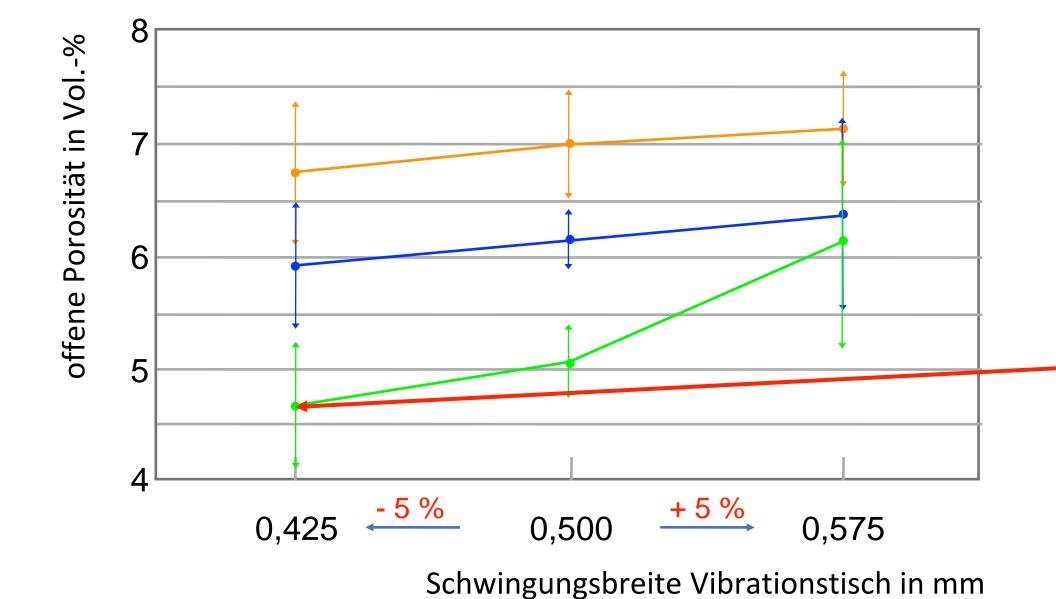
## Einfluss der Vibrationsparameter auf die technologischen Eigenschaften





In ISO 1927 gibt es zwei Festlegungen:

- Vibration mit einer Amplitude von 0,5 mm (ISO 1927-4)
- Vibration mit einer Schwingungsbreite 0,5 mm (ISO 1927-5)
- Wir reden also über eine Verdopplung

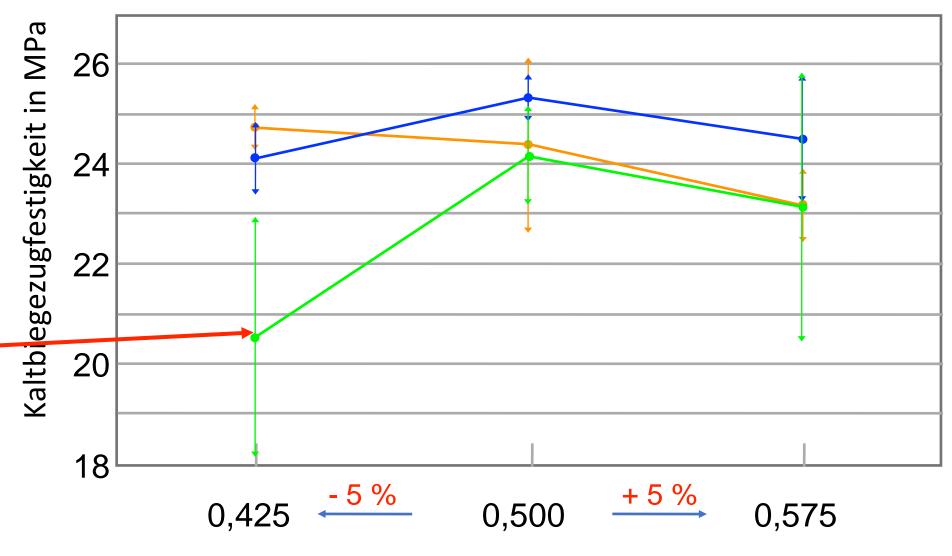


Kleine Studie:

- Ein Feuerbeton mit einer empfohlenen Wasserzugabe von 3,5 Gew.-% wird mit einer Schwingungsbreite von 0,5 mm vibriert.
- Die Schwingungsbreite wird um ± 5 % variiert und die Änderung der
  - offenen Porosität und der
  - Kaltbiegefestigkeit nach 110°C gemessen.
- Das Ergebnis:
- 3,9 Gew.-% Wasser
- Ferner werden

Entmischung!

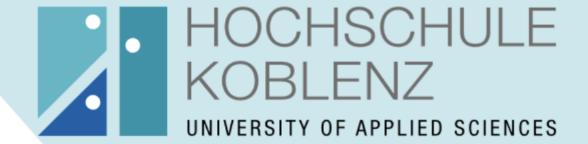
- 5 % Wasser (4,095 Gew.-%) und
- 10 % Wasser ((4,290 Gew.-%)
- zusätzlich hinzugegeben:





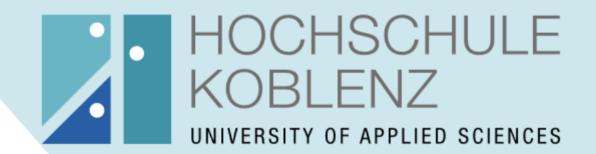
- Die Vibrationsparameter haben einen Einfluss auf das Verdichtungsverhalten.
- Insbesondere wenn der Wassergehalt nicht stimmt (Entmischungsgefahr wächst).

### Wann prüft man überhaupt?

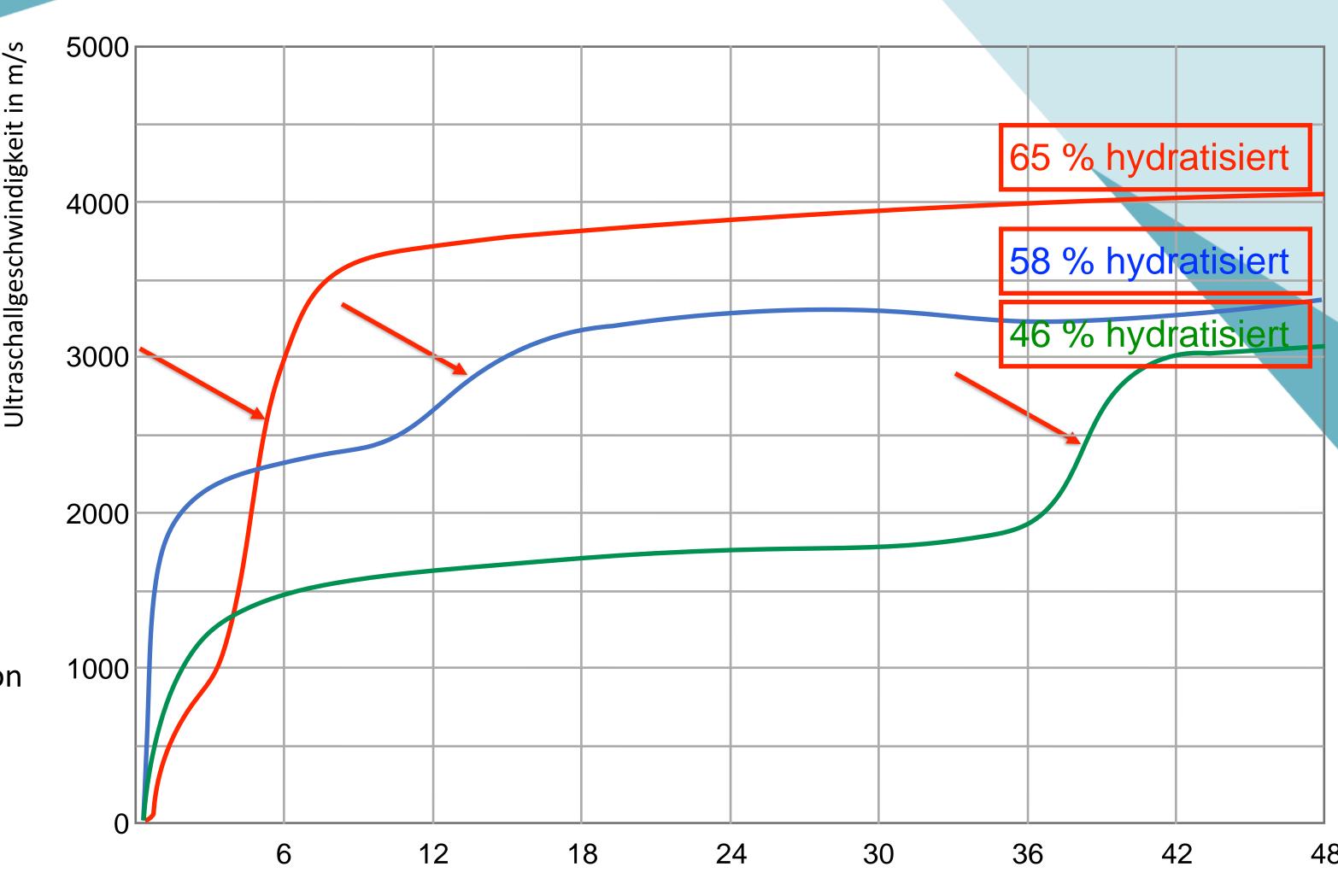


- DIN EN ISO 1927-5 sieht folgende Vorgehensweise vor:
  - Abbinden (Lagerung):
    - Nach beendeter Formgebung ist die Form mit den Probekörpern an der Luft bei einer relativen Feuchte von mindestens 90
       % in einem Klimaschrank oder in einem luftdicht schließenden Kunststoffsack zu lagern.
    - Die Abbindetemperatur beträgt 18 °C bis 22 °C.
    - Nach einer Lagerdauer von 24 h sind die Probekörper aus der Form herauszunehmen und weitere 24 h unter den gleichen Bedingungen zu lagern.
  - Trocknung:
    - Nach dem Abbinden sind die Probekörper für eine Dauer von mindestens 16 h in einem Wärmeschrank bei  $110 \pm 5$  °C bis zur Massenkonstanz zu trocknen.

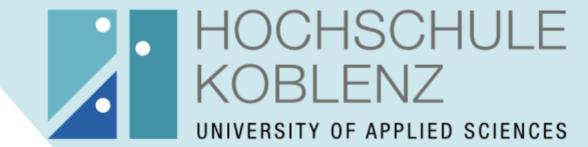
### Wann prüft man überhaupt?



- Unterschiedliche Verflüssiger führen zu unterschiedlicher Hydratationskinetik
- Beispiel:
  - LC Feuerbeton verflüssigt mit:
    - Phosphat
    - Acrylat
    - Polycarboxylat
- Ultraschalllaufzeiten weisen auf eine frühe Koagulation hin,
- während der Zeitpunkt der eigentlichen Hydratation große Unterschiede aufweist.
- Selbst nach 48 Stunden sind die Unterschiede groß!
- Hydratationsgrad unterscheidet sich.

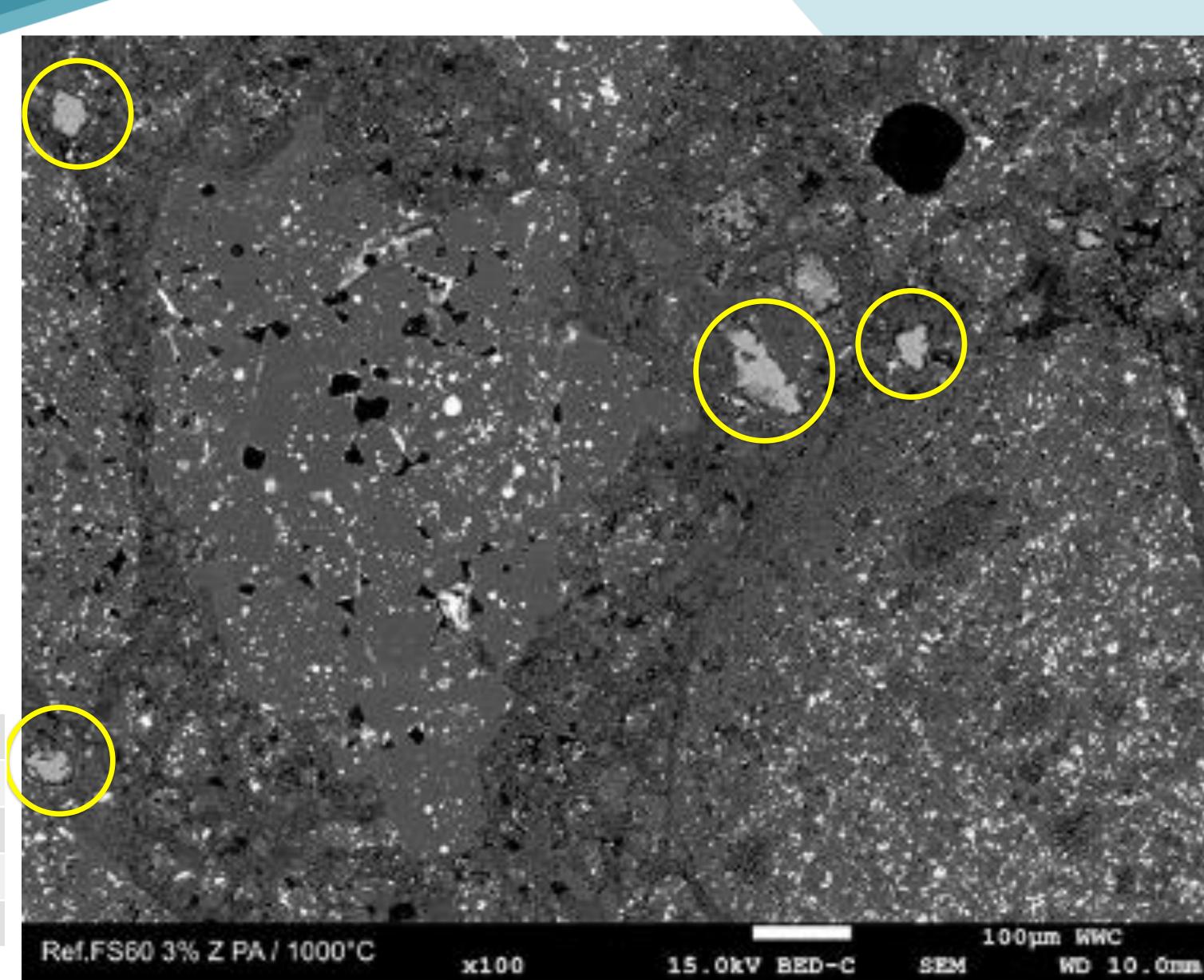


### Sie glauben das nicht?



- Überall im Gefüge finden Sie nach Trocknung bei 110°C unreagierten Zement!
- Der Prüfkörper trocknet schneller aus als der Rest des Zementklinkers reagieren kann.
- Der Effekt ist von Format zu Format unterschiedlich stark (spezifische Oberfläche).
- Das Austrocknen beginnt bereits bei der Minimalforderung der ISO 1927-5 von 95 % relativer Feuchte.

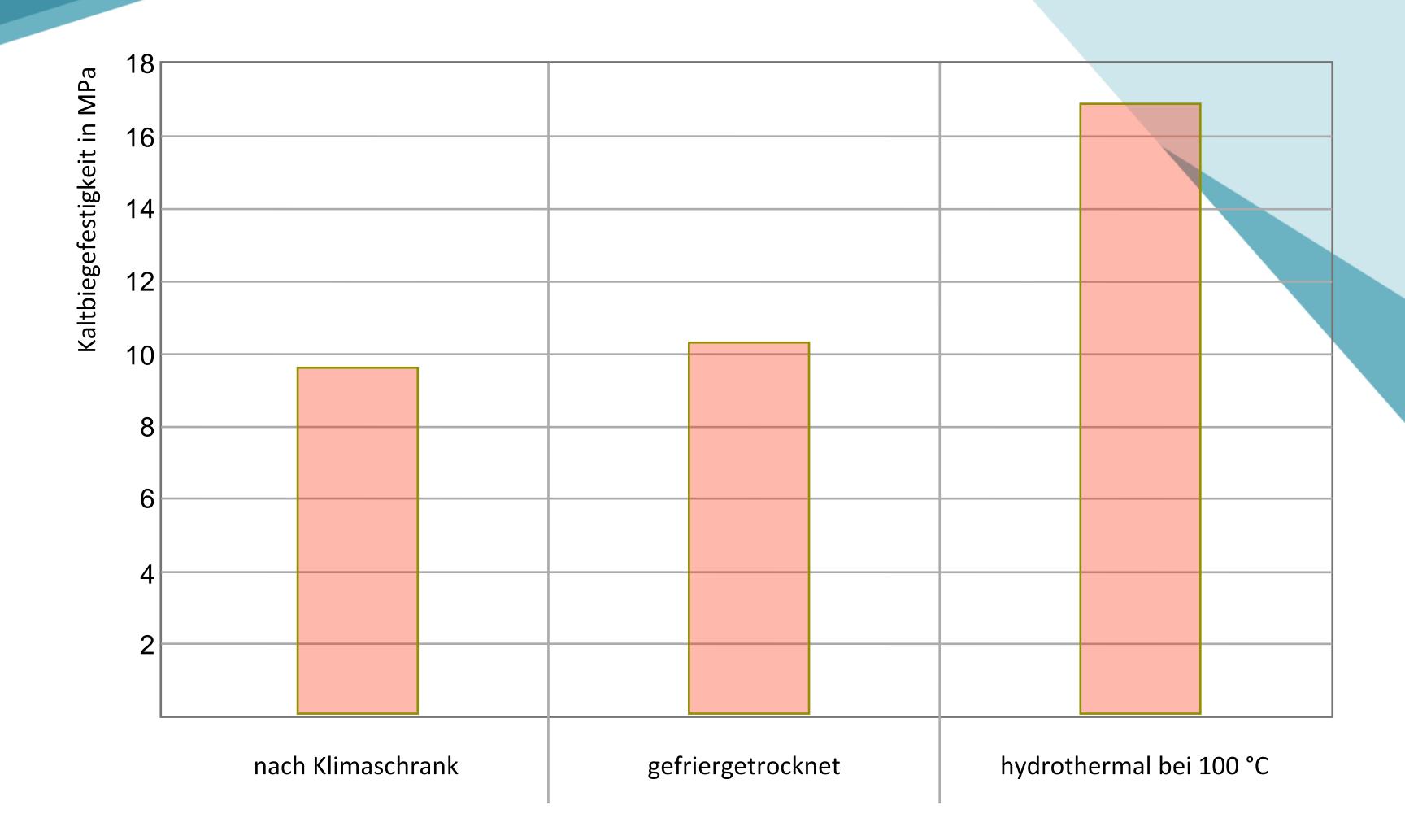
Format	1	b	h	Volumen	Oberfläche	spez. Oberfl.
Α	230	114	64	1678080	96472	0,06
В	230	64	54	794880	61192	0,08
C	230	64	64	942080	67072	0,07
D	160	40	40	256000	28800	0,11



## Zustellungen oder großformatige Formteile haben aber eine viel kleinere spezifische Oberfläche ...



- Hier stellen sich noch während des Aufheizens hydrothermale Bedingungen ein, die eine starke Nachhydratation verursachen.
- Die Festigkeit steigt erheblich!
- 48 Stunden Klimaschrank
- Porenwasser verringert die Festigkeit
- Eine hydrothermale Auslagerung bei 100°C bedingt eine deutliche Nachhydratation und damit eine erhebliche Festigkeitssteigerung.





- Der Vortrag greift lediglich exemplarisch Effekte auf, die sich aber in der Bewertung von Feuerbetonen als Fallstricke erweisen können
- Die vorliegende Fassung der DIN EN ISO 1927 müsste hier nachjustiert werden, damit auch laborübergreifend vergleichbare Ergebnisse erzielt werden.
- Gegenwärtig ist es eigentlich unabdingbar alle Präparationsschritte so sauber wie möglich zu dokumentieren.
- Ein generelles Problem ist darin zu sehen, dass auch nach 48 Stunden ein Feuerbeton nicht "fertig" ist, um reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen.
- Für eine Überarbeitung sollte man sich generell die Frage stellen, welche Ergebnisse im Labor man erzielen möchte, damit das Verhalten von Feuerbetonen in der Zustellung besser verstanden werden kann.

### Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



