

# Optimierungsmöglichkeiten für das keramische Strangpressen

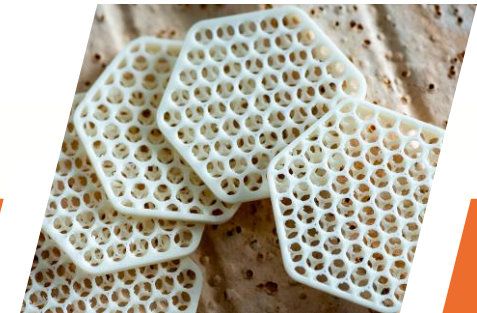
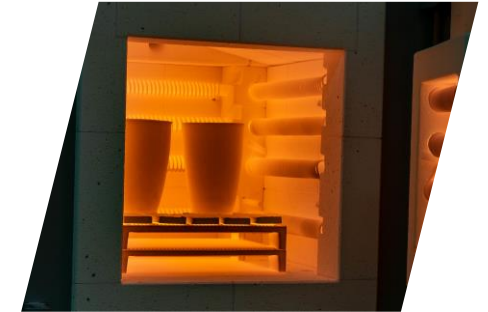
Marcel Engels, Miriam Miehling

1. Westerwälder Industriekolloquium, Ransbach-Baumbach

19.11. – 20.11.24

FGK

Forschungsinstitut für Glas und Keramik  
[www.fgk-keramik.de](http://www.fgk-keramik.de)



# Forschungsinstitut für Glas – Keramik GmbH

Wir forschen, entwickeln, optimieren und prüfen

Rohstoffe, Glas und Keramik

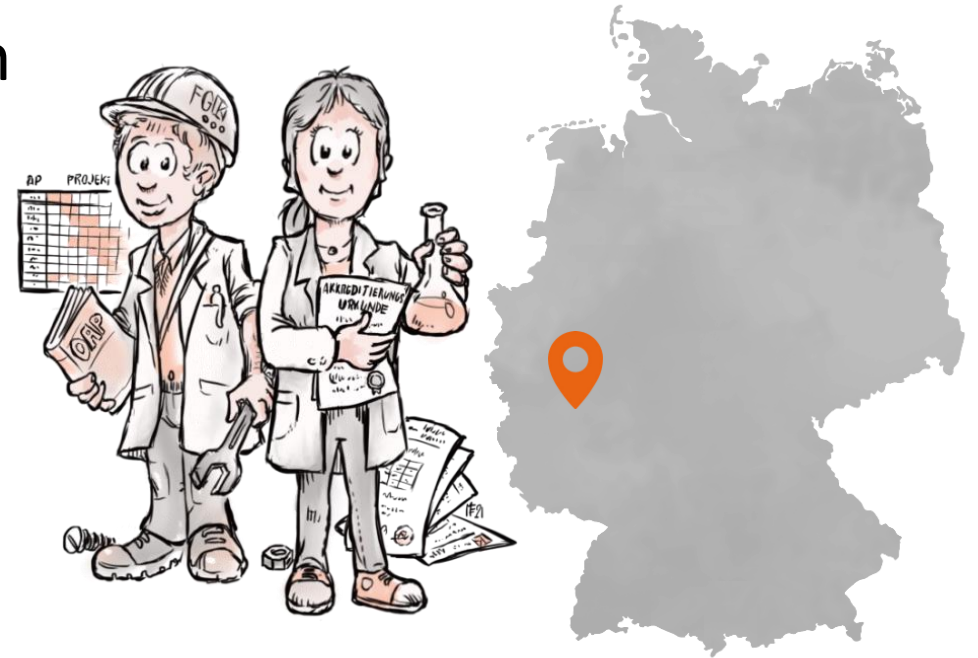
- seit mehr als 35 Jahren

**Auftrag:** Unterstützung der Industrie  
bei Forschung und Entwicklung  
Einführung neuer anwendungsorientierter  
Impulse

**Gesellschafter:** Rheinland-Pfalz (90%)  
Westerwaldkreis (10%)

**Mitarbeitende:** 45 (+ Azubis)

Akkreditiertes Prüflabor



Rheinland-Pfalz

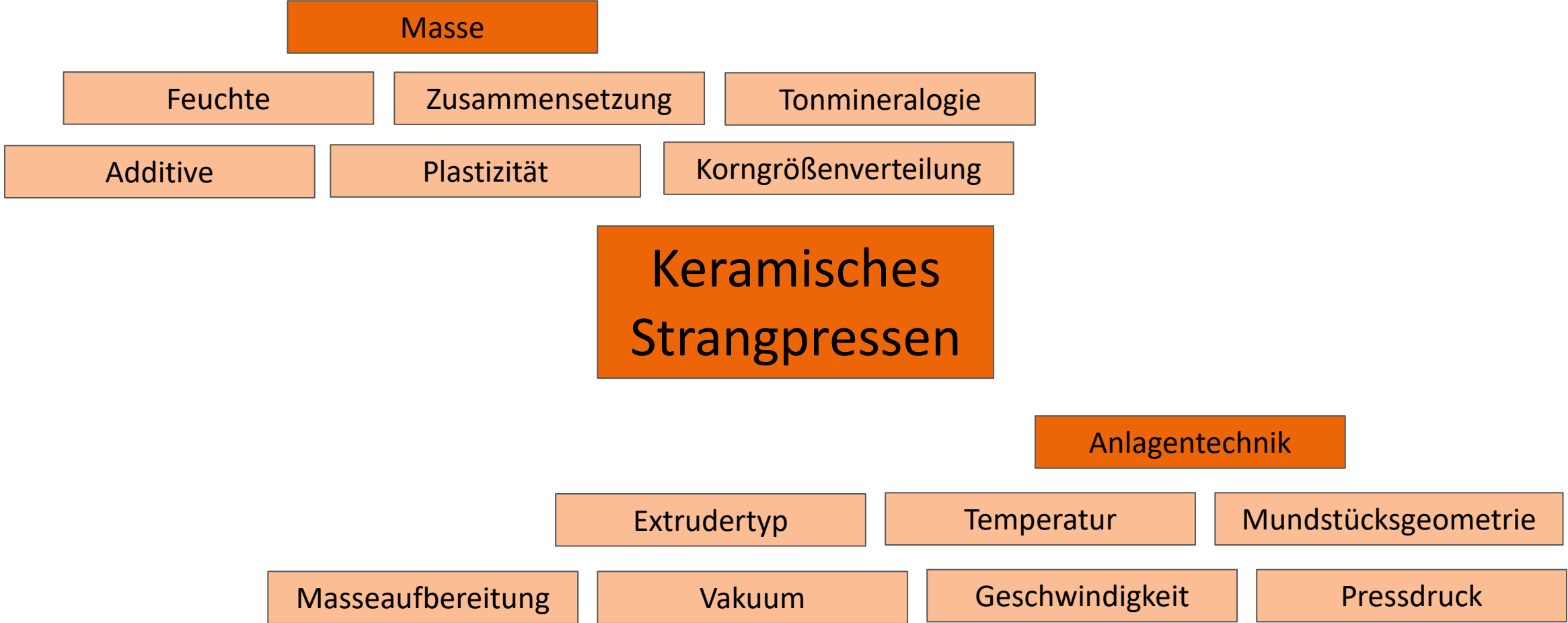
MINISTERIUM FÜR  
WIRTSCHAFT, VERKEHR,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND WEINBAU

Westerwaldkreis



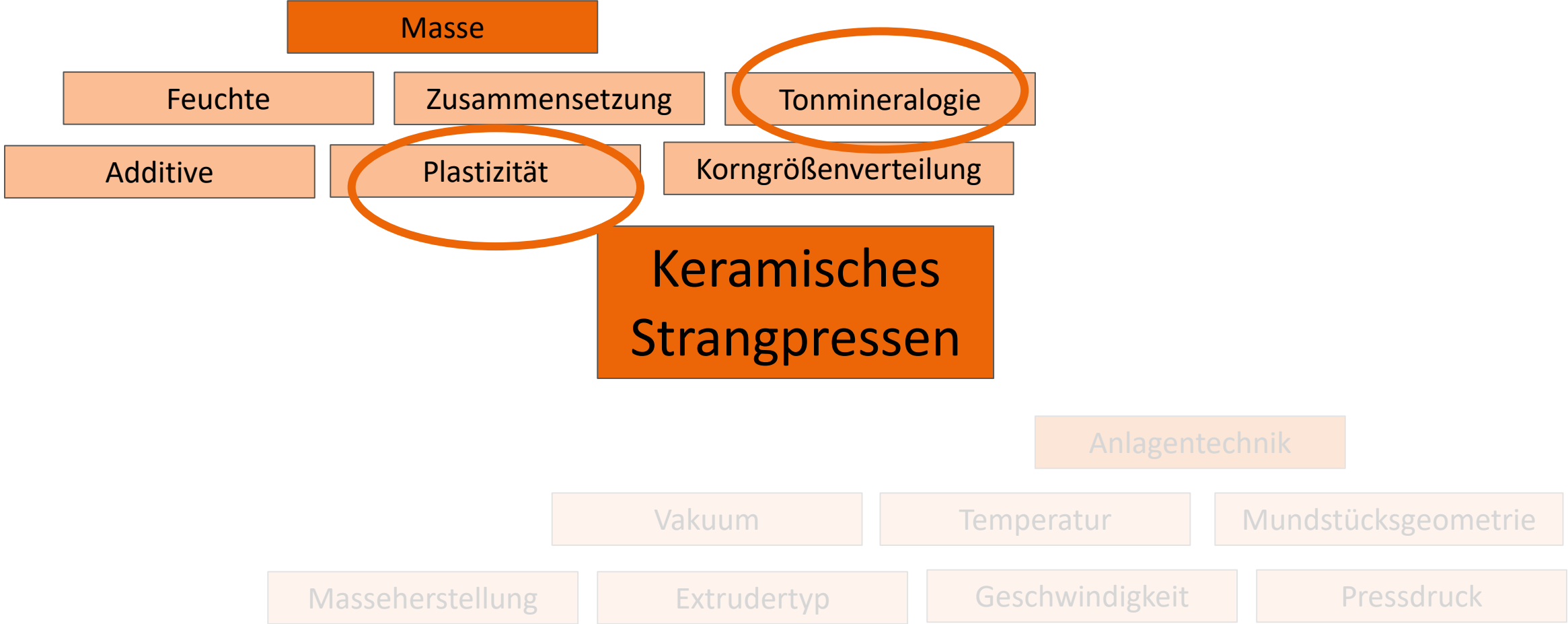
# Keramisches Strangpressen

## Einflussfaktoren auf Strangpressverhalten und Produktqualität



# Keramisches Strangpressen

## Einflussfaktoren auf Strangpressverhalten und Produktqualität



# Faktor Masse: Plastizität von Tonen

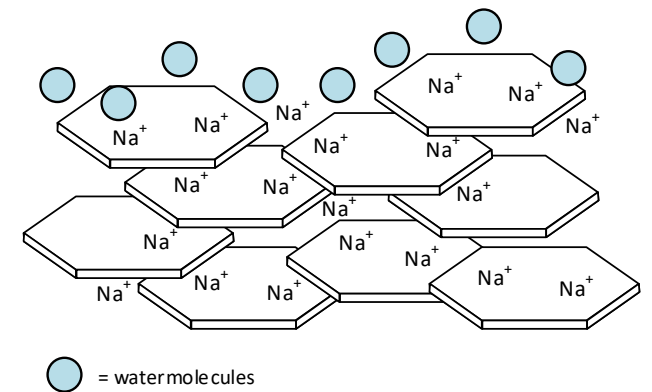
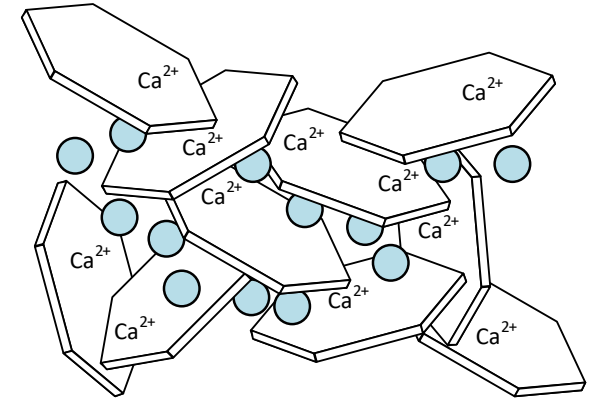
## Plastizität wird maßgeblich beeinflusst durch:

- **pH-Wert:** der saure Bereich unterstützt die “Kartenhausstruktur”  
Kaolinitische und illitische Tone: minimale Pressfeuchte bei pH-Werte höher 7  
Ca-Montmorillonit: pH-Werte zwischen 5 und 7  
Na-Montmorillonit: pH-Werte zwischen 6 and 9
- **Lösliche Salze:** „versteifen“ den Scherben
- **Eisen-Minerale:** verflüssigen bei geringen pH –Werten
- **Organische Komponente** (Huminsäuren, porenbildenden Additiven):  
Senkung der Plastizität, erhöhte TBF

Die **Ermittlung plastischer Eigenschaften** ist immer abhängig von der eingesetzten Messmethode und wird somit mit unterschiedlichen Parametern mit unterschiedlichen Bewertungsgrundlagen dargestellt:

- **Deformationseigenschaften** (Stauhen, Belastungsdeformation, Rheometrie)
- **Verformungswiderstand** (Pressparameter, Druck, Stromaufnahme)
- **Feuchte- und Temperatureigenschaften**

Wässrige Kaolinit Dispersionen



# Plastifizierung von Tonen - Zusammenfassung

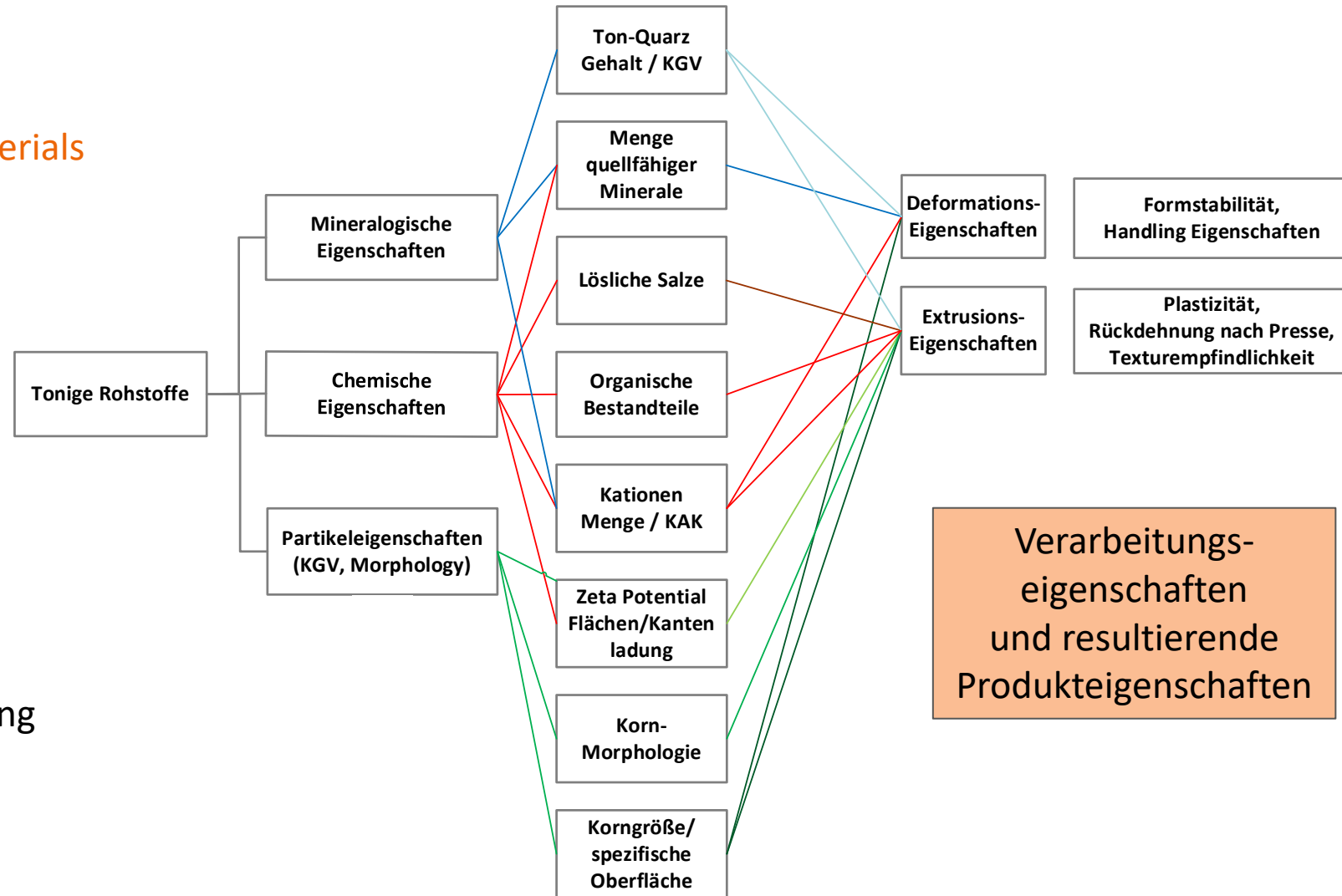
## Eigenschaften der Tone

Die **Verarbeitungseigenschaften** des Tonmaterials basieren auf dessen **Interaktion mit Wasser/Feuchte und Temperatur**

Die Verarbeitungseigenschaften entstehen durch eine komplexe Interaktion der **mineralogischen, chemischen, kolloidalen und physikalischen Eigenschaften**

Für die Bewertung dieser Einflüsse ist eine **Kombination von Testmethoden notwendig**, die eine alleinige chemische Charakterisierung übersteigt.

**Zeitabhängige Interaktionen** müssen dabei in Betracht gezogen werden

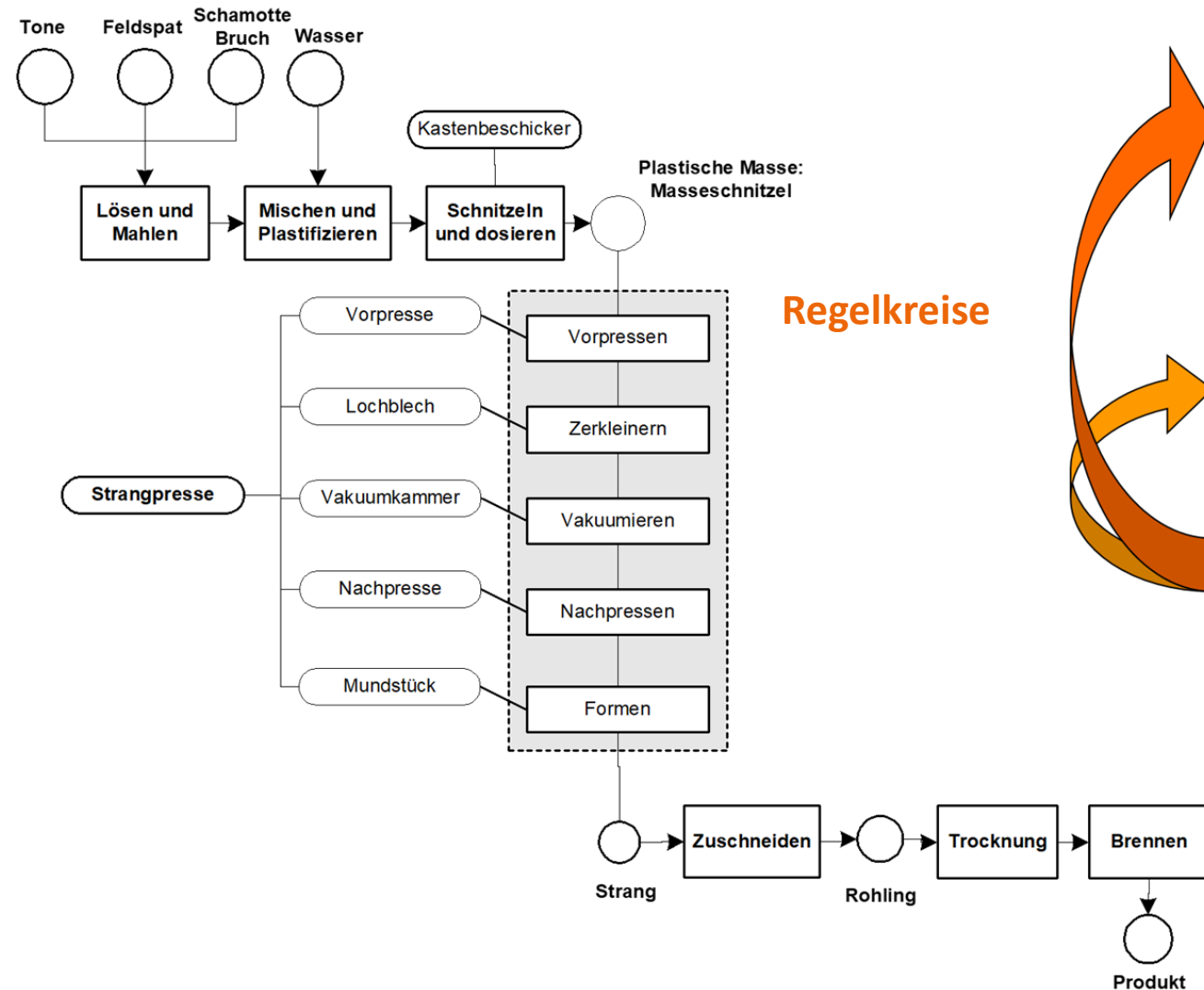


# Der Strangpressprozess: Prozessschritte und Parameter

## Grundlage für die Prozesskontrolle

## Korrelationsbasierter Regelkreisentwurf unter Einbeziehung von Material- und Verarbeitungsparametern

## Die Optimierung des Strangpressprozesses ist immer eine Kompromisslösung



## Regelkreise

## Parameter

Chemie, Mineralogie  
KGV

Feuchte der Masse  
Plastizität der Masse  
Fließeigenschaften

Vakuum  
Pressdruck  
Schneckengeschwindigkeit  
Mundstückgeometrie  
Temperatur  
Stranggeschwindigkeit  
Vortrieb

Verdichtung  
Dichte  
Plastizität  
Restfeuchte  
Temperatur

Maße  
Deformation



# Fokus Masse: Optimierungsmöglichkeiten für das keramische Strangpressen

## Charakterisierung Strangpressverhalten im Labormaßstab

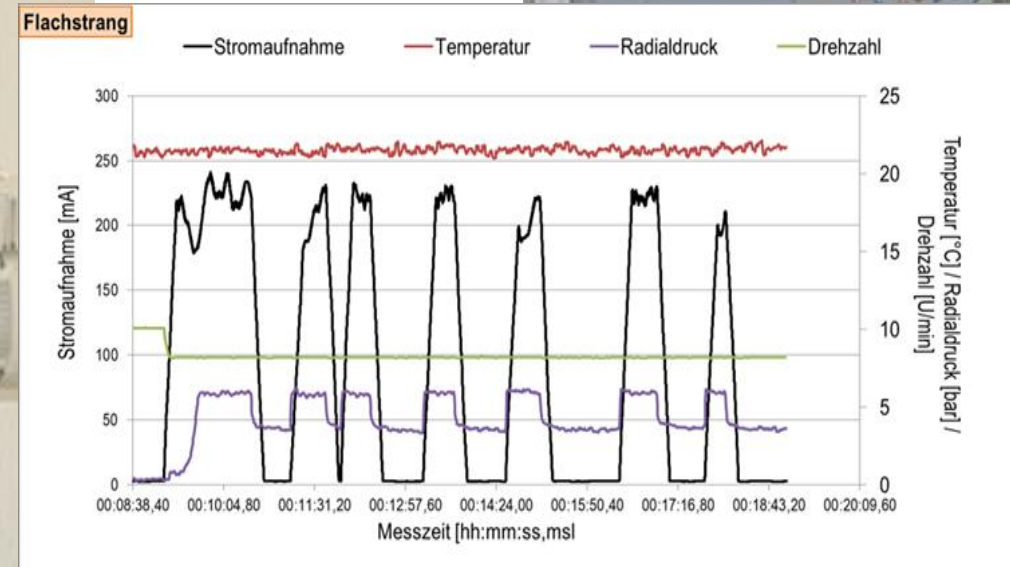
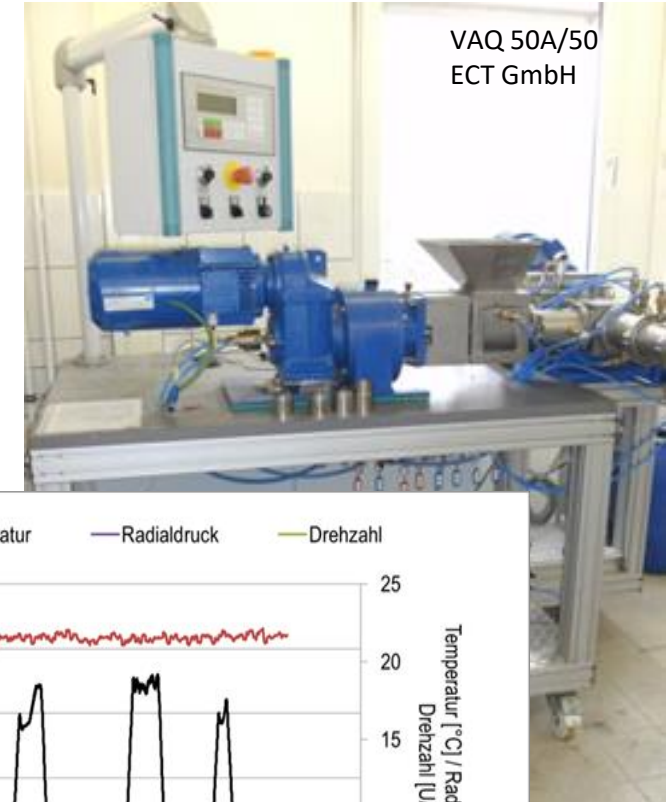
Laboruntersuchungen  
an Masseversätzen  
mind. ca. 2 - 5 kg

Einfülltrichter mit  
pneumatischer  
Stopfvorrichtung

VAR 50  
ECT GmbH

Messung  
von  
Radialdruck  
und  
Temperatur

Vakuummkammer





# Charakterisierung Strangpressverhalten im Labormaßstab

## Messmöglichkeiten und Probenvorbereitung für weitere Untersuchungen

Vakuumlaborextruder	VAR 50	VAQ 50A/50
Temperierbare Version	5 - 50°C	
Zylinderdurchmesser	50 mm	
Max. Pressdruck	50 Bar	150 Bar
max. Durchsatz	36 l/h	40 l/h
Stufenlos regelbarer Antrieb	6,6 bis 65 U/Min	
Anschlussleistung	1,5 kW	4,5 kW
Befüllung	Pneumatische Stopfvorrichtung	Horizontal liegende Vorpresse, mit dem Extruder durch ein schwenkbares Gelenk verbunden (Extrusionsrichtungen zwischen 0 und 90°).
Verarbeitungsmenge (min.)	ca. 2 Kg	ca. 5 Kg
Erfassung von	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Drehzahl für Zuführ- und Pressschnecke</li> <li>- Leistung der Antriebsmotoren</li> <li>- Vakuum</li> <li>- Fließpressdruck (Radialdruck)</li> <li>- Strangtemperatur</li> </ul>	

### Rundstrang, $\varnothing$ 33 mm:

Plastizität nach Pfefferkorn; Rheologische Charakterisierung; Frostproben zur qualitativen Beurteilung der Texturbildungsneigung Semiquantitative Beurteilung der Verarbeitungs-/Produktqualität

### Flachstrang, 40 x 67,5 mm:

Rheologische Charakterisierung; Semiquantitative Beurteilung der Verarbeitungs-/Produktqualität Trockenschwindung, Brennschwindung, Wasseraufnahme und Porosität

### Trapezstrang, 22 x 20 x 15 mm:

Semiquantitative Beurteilung der der Verarbeitungs-/Produktqualität Bestimmung der Trockenbiegefestigkeit; 3-Punkt Biegefestigkeit

# Optimierungsansatz - Zieldefinition

## Auswahl und Festlegung der „Ideal“-Kriterien – basierend auf Produktionsanforderungen

### Verarbeitungseigenschaften

- Niedriger Verarbeitungsaufwand
- Toleranz gegenüber Feuchteschwankungen
- Toleranz gegenüber Rohstoffschwankungen
- Gleichmäßige Verdichtung
- Fehlerfreies Extrudieren

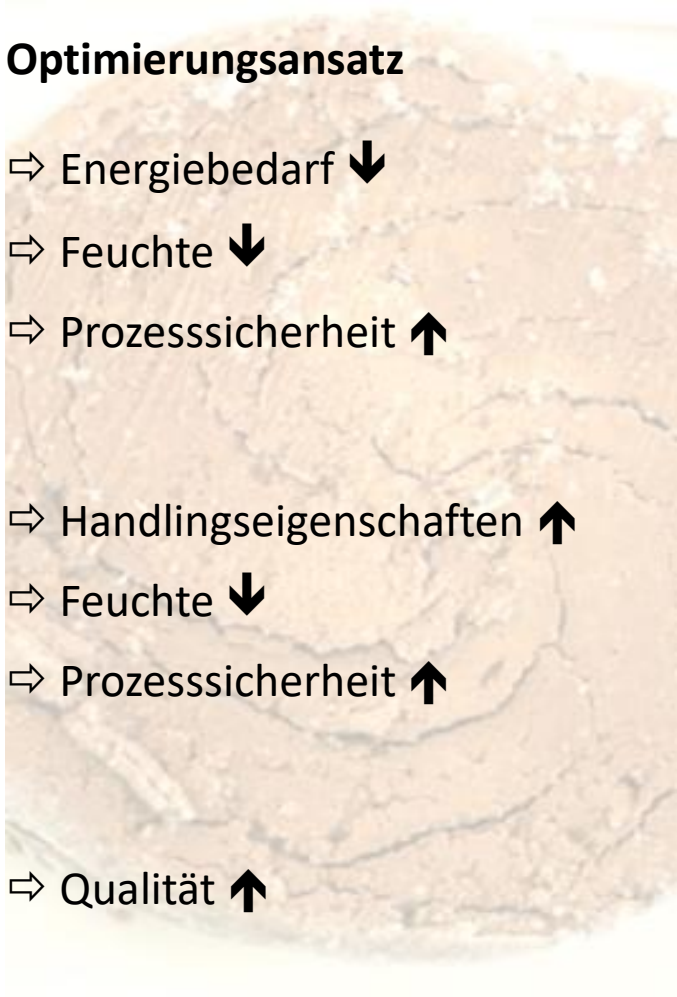
### Material- und Rohlingseigenschaften

- Innerer Massezusammenhalt / Formstabilität
- Toleranz gegenüber Feuchteschwankungen
- Gutes Trocknungsverhalten
- Hohe Trockenbiegefestigkeit

### Produktanforderungen

- Fehlerfrei
- Schwindung / Wasseraufnahme

### Optimierungsansatz

- 
- ⇒ Energiebedarf ↓
  - ⇒ Feuchte ↓
  - ⇒ Prozesssicherheit ↑
  - ⇒ Handlingeigenschaften ↑
  - ⇒ Feuchte ↓
  - ⇒ Prozesssicherheit ↑
  - ⇒ Qualität ↑

# Optimierungsmöglichkeiten für das keramische Strangpressen

## Auf dem Weg zum Ziel: Parameter und Messmethoden

### Verarbeitbarkeit:

Geringe Stromaufnahme  
Geringer Radialdruck  
Stabile Verarbeitungsbedingungen

### Materialanforderung:

Geringe Rückdehnung  
Gute Formstabilität



Gleichmäßige Verdichtung (Texturanfälligkeit)  
Konstante Materialeigenschaften über  
Feuchtebereich

### Produktanforderungen:

Gute TBF  
Gutes Trocknungsverhalten  
Wasseraufnahme (stabil über Feuchtebereich)  
Schwindung (stabil über Feuchtebereich)

Strangpressscharakterisierung  
Strangpressscharakterisierung  
Strangpressscharakterisierung

Rheometrie: Komplianz, geringe Jel  
Rheometrie: Hohe Nachgebegrenze  
Komplianz, geringe Jvisk  
Rheometrie: Verhältnis  $F_l/R_u = 1$   
Messreihen in Abhängigkeit der Feuchte



**Die Optimierung des  
Strangpressprozesses  
ist immer eine  
Kompromisslösung**

Unterschiedliche (gegensätzliche) Anforderungen → Priorisierung

# Messmethoden - Plastische Eigenschaften von Massen

## Traditionelle Methoden der Plastizitätsmessung

Korrelation: Plastizität – Wassergehalt

### Pfefferkorn

Stauchhöhe gegen Wassergehalt

Probenvorbereitung durch einschlagen

Nachteil: nicht-dynamische Bestimmung der Deformation, keine Erfassung der elastischen Komponente

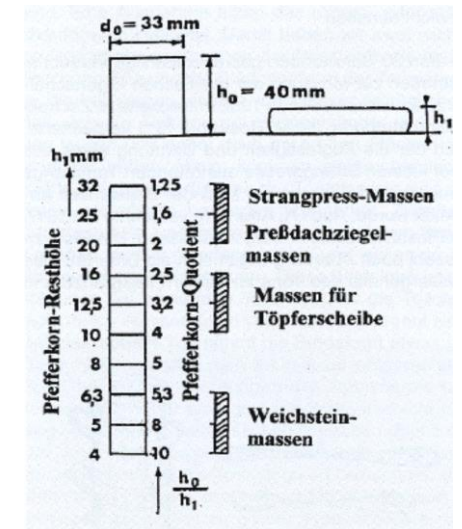
### Plastimeter nach Persson

Eindringtiefe eines Kegels

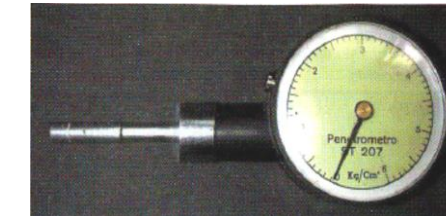
### Penetrometer

Eindringtiefe mit stahlgedertem Dorn

Nachteil: schlechte Reproduzierbarkeit, geringe Prüfmittelfähigkeit (R&R)



Bildquelle: W. Bender



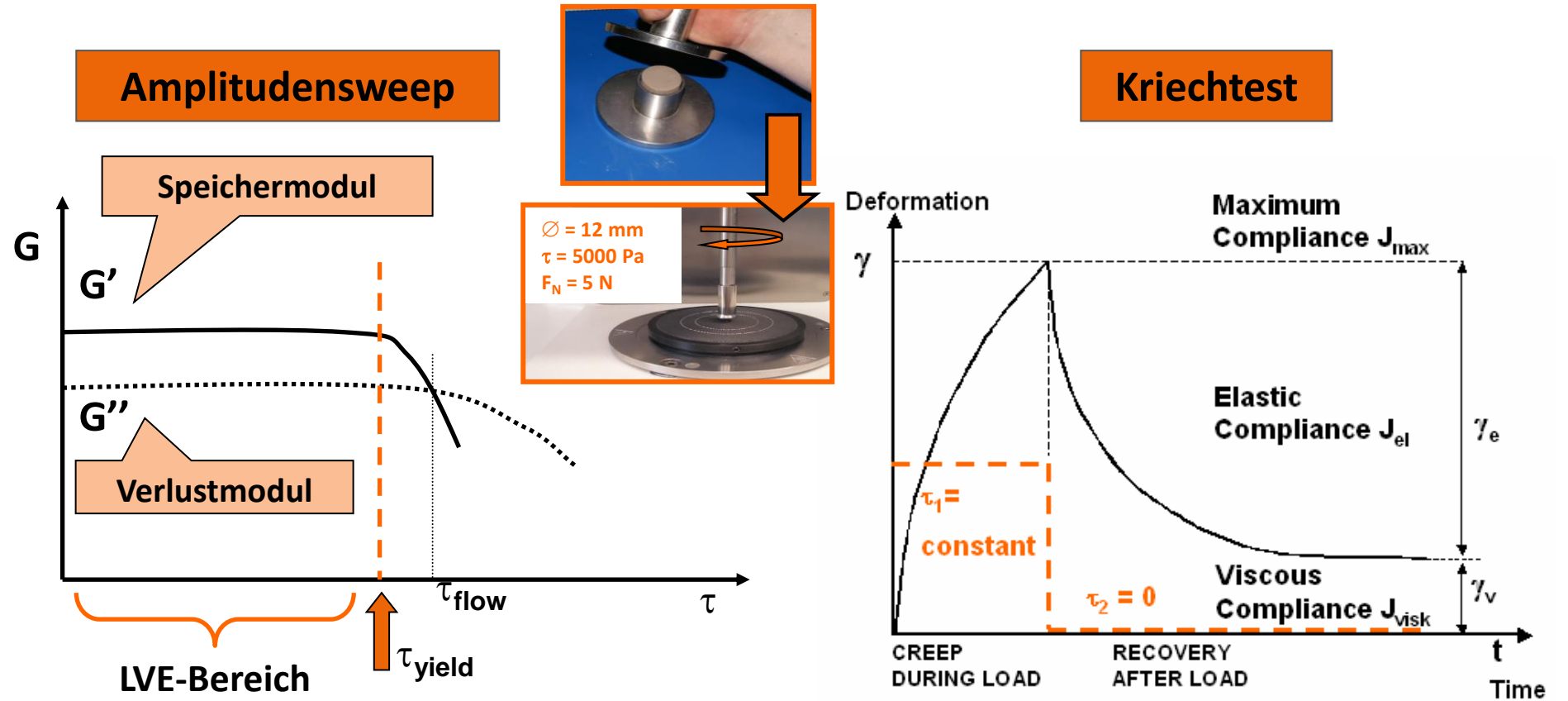
# Messmethoden - Rheologische Charakterisierungen

Informationen zu Strukturstärke und Deformationseigenschaften; „moderne“ Plastizitätsmessung

Probenpräparation aus frisch stranggepressten Prüflingen → gleichmäßig und repräsentativ;  
Präparation aus Rund- und Flachstrang



Anton Paar MCR 302e





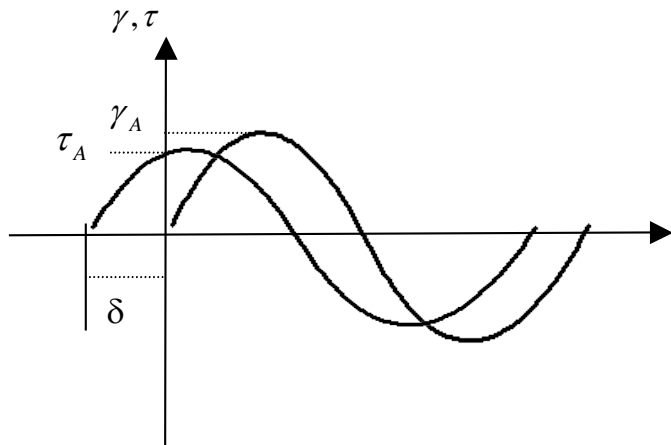
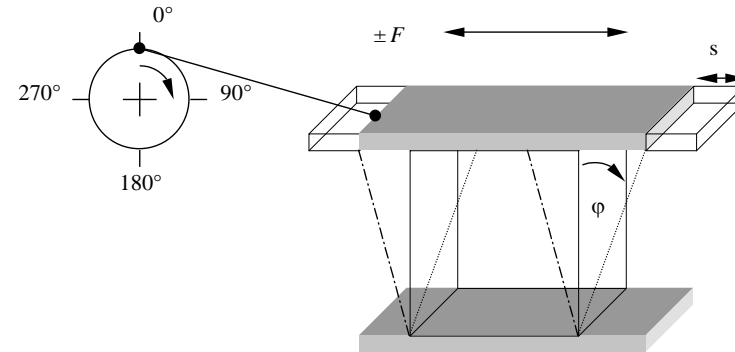
# Messmethoden - Rheologische Charakterisierungen

## Amplitudensweep: Untersuchung der Strukturstärke / Nachgebegrenze

### Zur Charakterisierung von Plastizität, Deformationseigenschaften und Textur-Empfindlichkeit

Amplitudensweep: **Nachgebegrenze-Bestimmung**  
Linear-viskoelastischer Bereich (LVE-Bereich), in dem die Probe ohne Zerstörung der Struktur belastet werden kann

Voraussetzung: Wandhaftung - homogene Verformung



Speichermodul:  $G' = \left(\frac{\tau_A}{\gamma_A}\right) \cdot \cos \delta$

Verlustmodul:  $G'' = \left(\frac{\tau_A}{\gamma_A}\right) \cdot \sin \delta$

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'}$$

Dämpfungsfaktor:

Energie nach dem Entlasten der Rückdeformation, repräsentiert das **elastische Verhalten** der Messprobe

Maß für die während des Scherprozesses verbrauchte Energie (Deformationsenergie) zur Veränderung der Probenstruktur oder Wärme, repräsentiert das **viskose Verhalten** der Messsubstanz

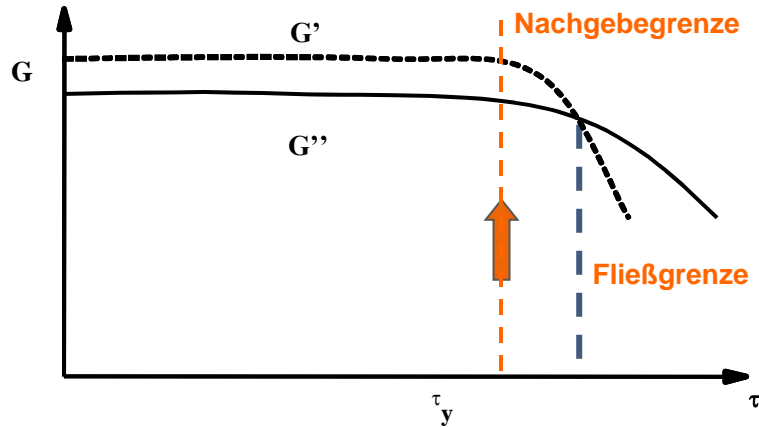
Verlust- oder Dämpfungsfaktor, Quotient der verlorenen und der gespeicherten Deformationsenergie, **Verhältnis zwischen dem viskosen und dem elastischen Anteil des Deformationsverhaltens**



# Messmethoden - Rheologische Charakterisierungen

## Amplitudensweep: Untersuchung der Strukturstärke / Nachgebegrenze

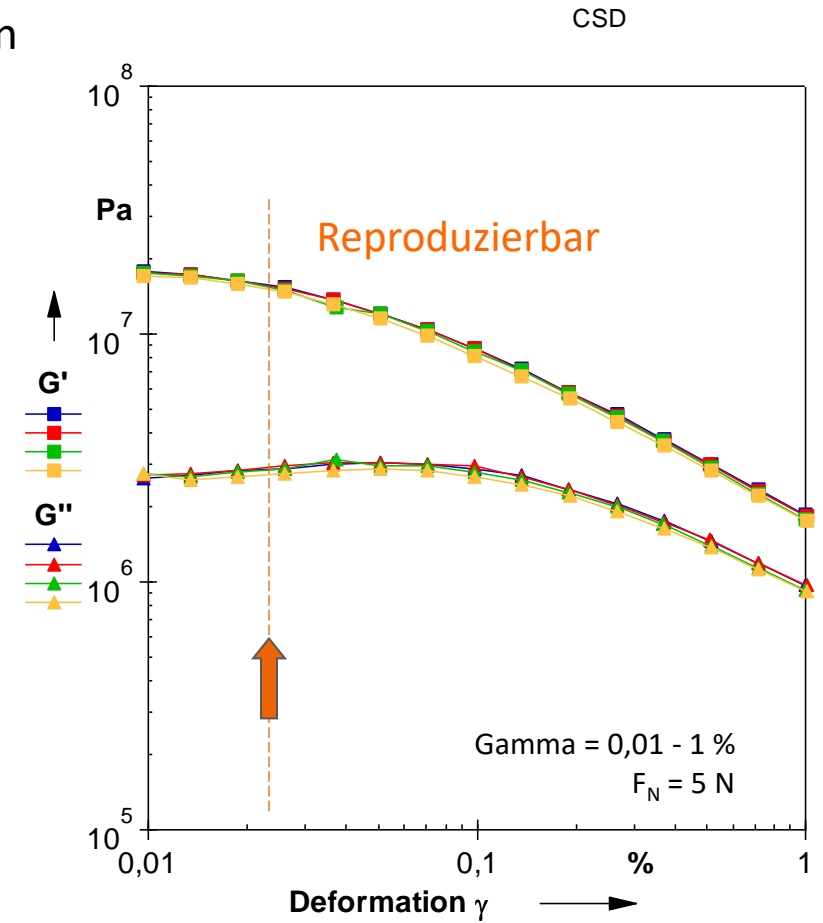
Vergleich Theorie und Praxis – Reale Messkurven und ihre Interpretation



Fließgrenze wird nicht erreicht bei der Messung keramischer Massen!

Speichermodul > Verlustmodul: Feststoffverhalten

Kennzahlen für plastisch keramische Massen: **Nachgebegrenze**

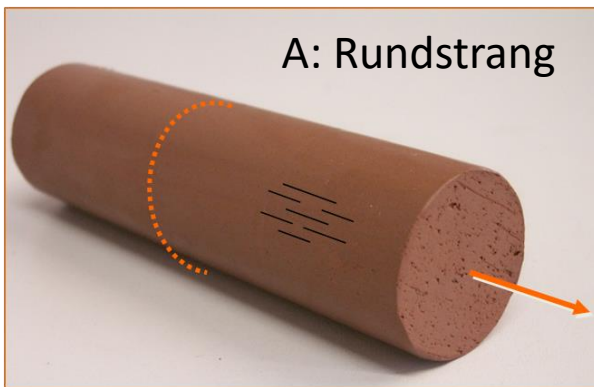


# Untersuchung der plastischen Massen mittels Rheometrie

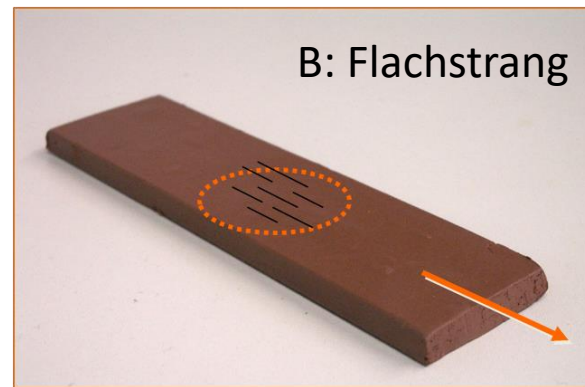
## Plastizität, Deformationseigenschaften und Texturempfindlichkeit

### Messung der Plastizität, der Deformationseigenschaften und der Textur-Empfindlichkeit

Bewertung der Texturempfindlichkeit:  
Orientierung der Plättchen in Extrusionsrichtung

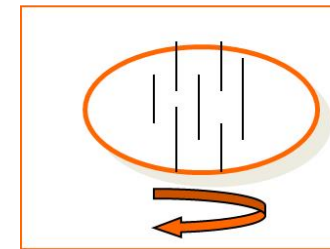
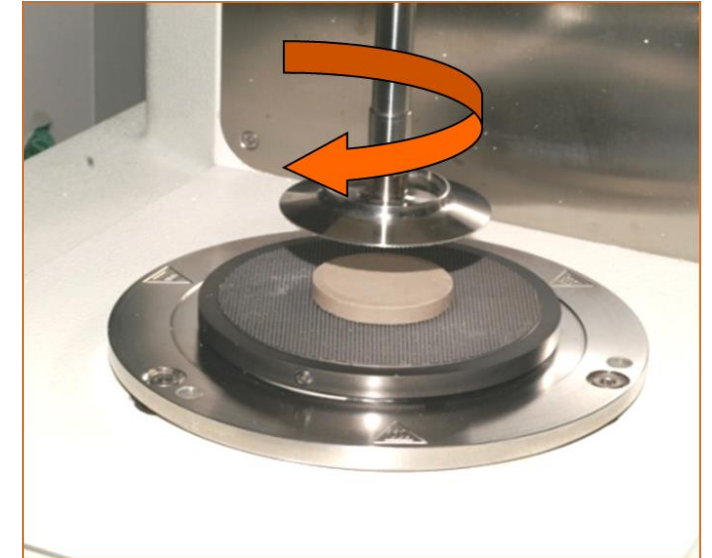


A: Rundstrang

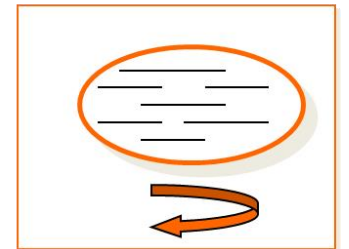


B: Flachstrang

Unterschiedliche Orientierung der Plättchen, je nach Entnahme der Probe zur rheologischen Charakterisierung:  
Je mehr anisotrope Ausrichtung und je höher Unterschiede der Deformation der Probe A und B: Textur-Empfindlichkeit steigt



A



B

# Anwendungsbeispiel für Untersuchungsprogramm Strangpressen

## Charakterisierung einer silikatkeramischen Fliesen-Masse

Untersuchung der Einflussfaktoren **Massenfeuchte** sowie Zugabe **verschiedener Additive**



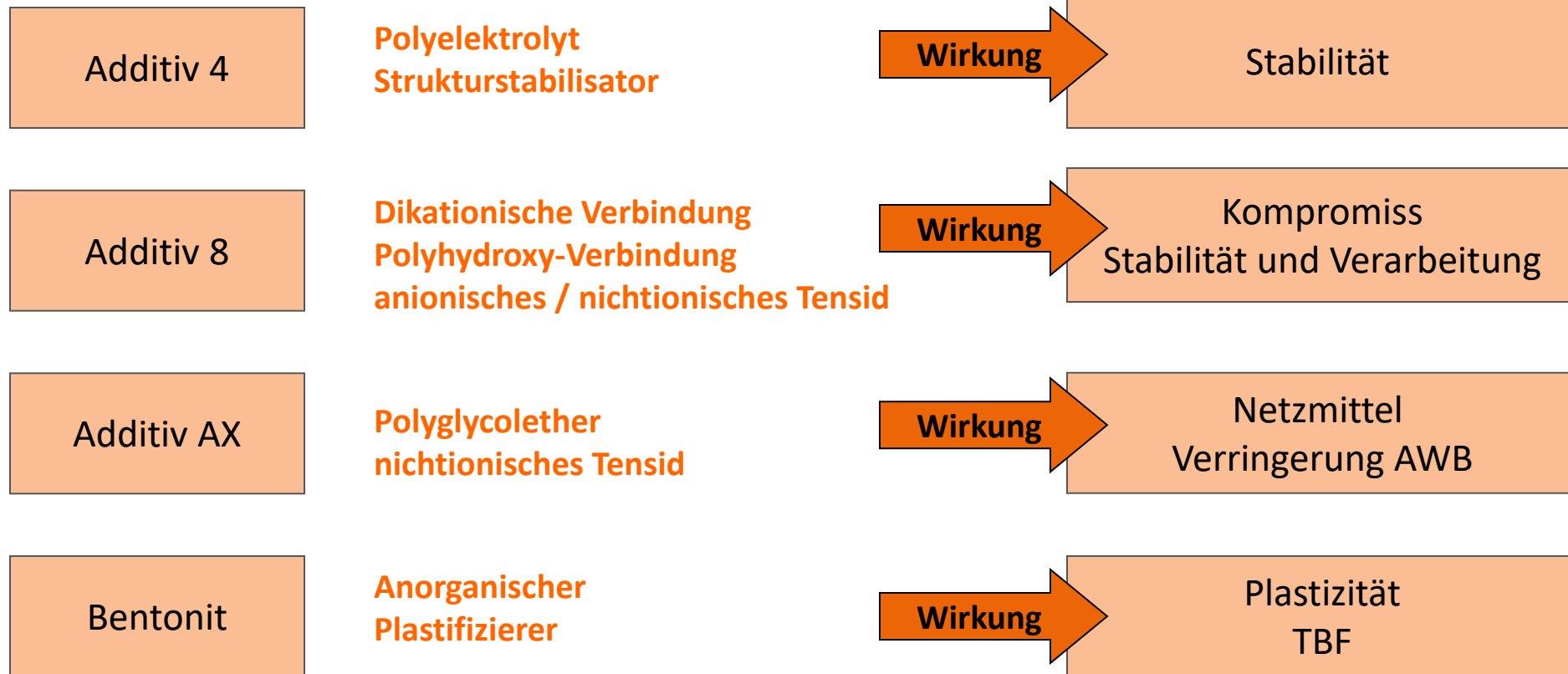
# Anwendungsbeispiel für Untersuchungsprogramm Strangpressen

## Optimierungsprogramm - Vorgehensweise



# Einflussfaktoren Massenfeuchte/Zugabe verschiedener Additive

Untersuchung + Bewertung der Wirkweise in Modell-Masse mit Charakterisierungsprogramm



Versuchsreihe soll vorausgesagte Wirkweise untersuchen und beste Feuchte-/Additiveinstellung identifizieren

# Einflussfaktoren Massenfeuchte/Zugabe verschiedener Additive

## Strangpresscharakterisierung: Verarbeitungsaufwand

### Laborstrangpresse

Produktion von  
Rund-/Flach-/Trapezstrang-Proben  
unter Aufzeichnung und Bewertung von:

Produktqualität

Radialdruck

Stromaufnahme

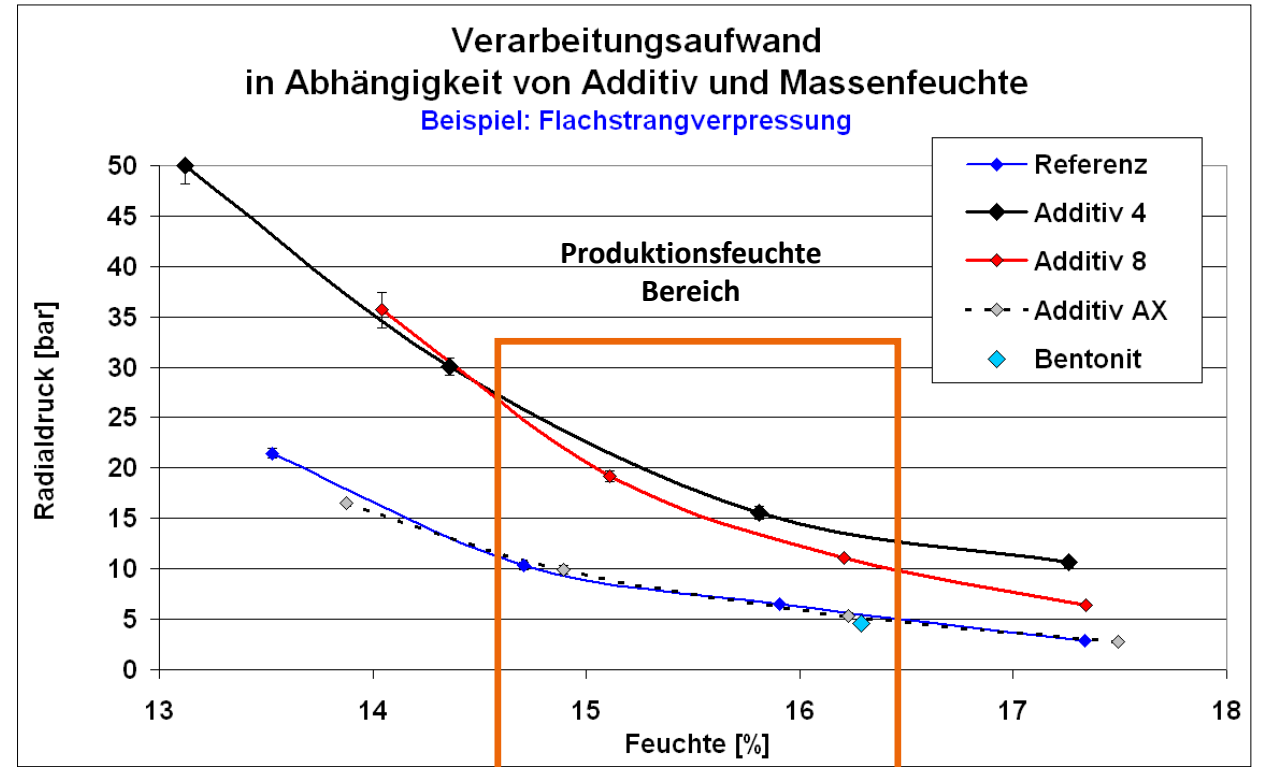


AX: vergleichbar mit Referenz

A4: starke Erhöhung des Verarbeitungsaufwands

A8: Erhöhung des Verarbeitungsaufwands

Bentonit: vergleichbar mit Referenz





# Einflussfaktoren Massenfeuchte/Zugabe verschiedener Additive

## Untersuchung durch Strangpresscharakterisierung - qualitativ

### Laborstrangpresse

Produktion von  
Rund-/Flach-/Trapezstrang-Proben  
unter Aufzeichnung und Bewertung von:

### Produktqualität

Radialdruck

Stromaufnahme



### Möglichst objektive Bewertung von Pressverhalten und Produkt:

- Strangstabilität
- Drachenzähne
- Laminierungen, Texturen, Blasen
- Regulierungsbedarf
- Strangoberfläche



Bewertung "Pressverhalten Gesamt"				
Feuchte [%]	13,5	14,7	15,9	17,1
Probenbezeichnung				
Referenzmasse	-	-	+	+
Masse Additiv 4	--	-	-	-
Masse Additiv 8	-	+	+	++
Masse Additiv AX	+	++	-	-
Masse Bentonit	n.b.	n.b.	++	n.b.

### Ausprägung Texturbildung

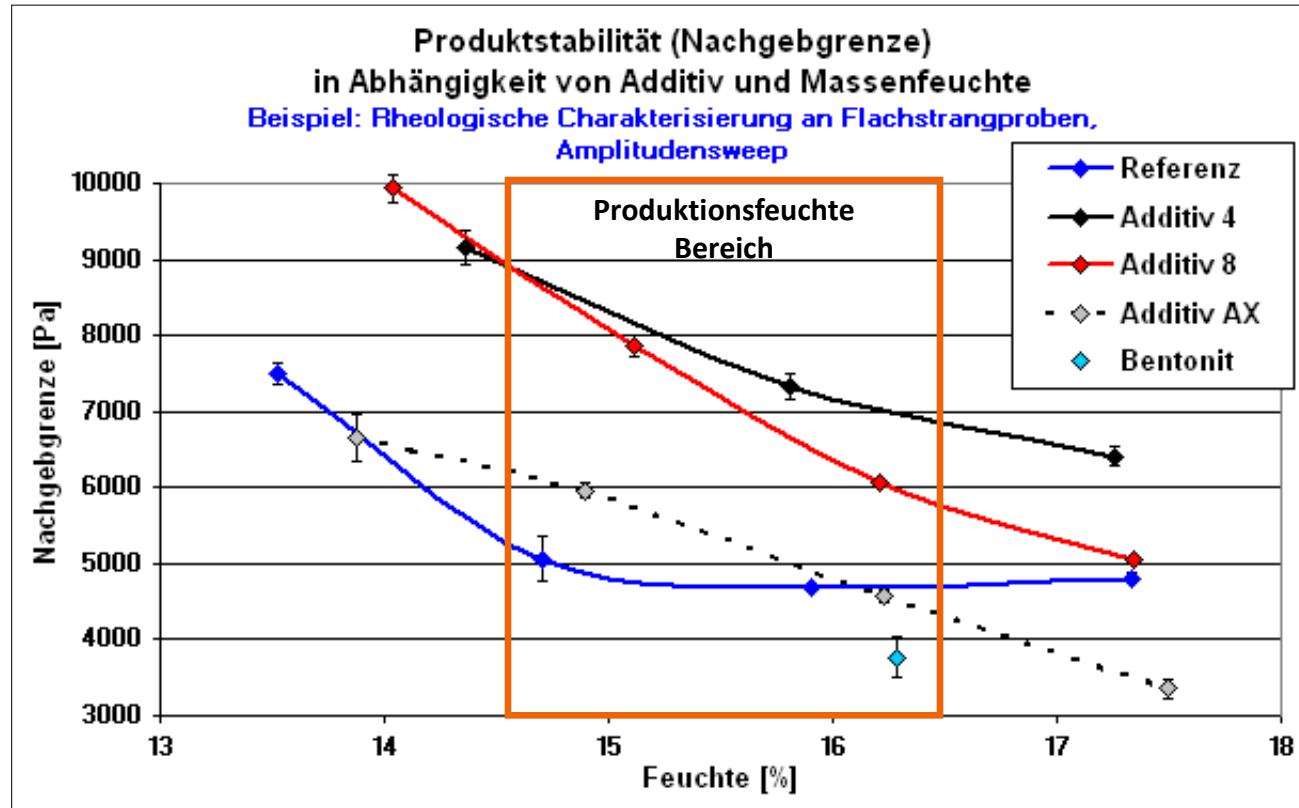


# Einflussfaktoren Massenfeuchte/Zugabe verschiedener Additive

## Rheologische Charakterisierung

**Beispiel:** Nachgebegrenze

aus Amplitudensweep  
an frisch extrudierten Proben  
(Flachstrang)



A4 + A8: deutliche **Erhöhung der Strukturstärke**

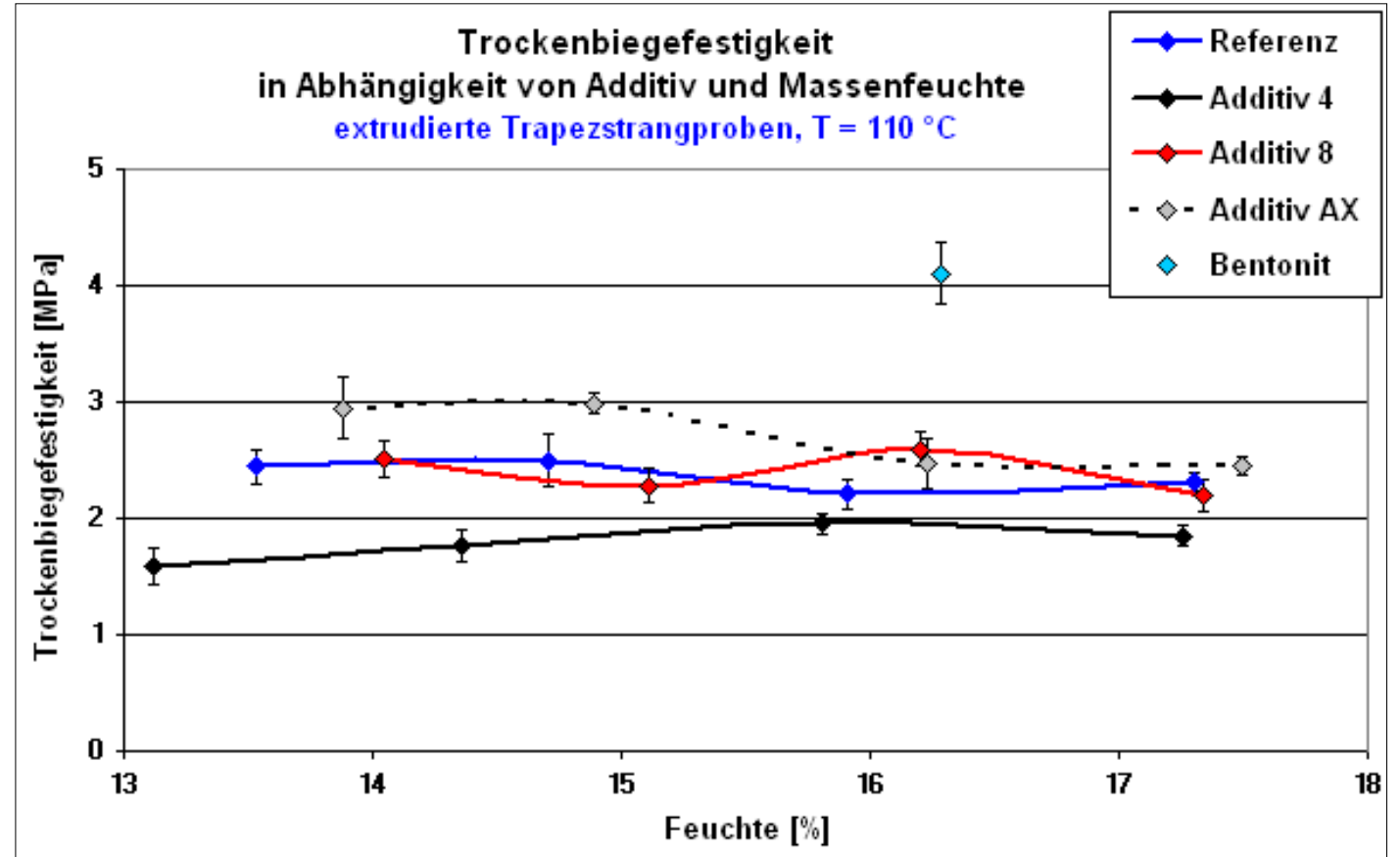
Bentonit: **niedrigere Strukturstärke** im Vergleich zur Referenz

AX: stärkere Feuchtebeeinflussung als Referenz

# Einflussfaktoren Massenfeuchte/Zugabe verschiedener Additive

## Bestimmung der Trockenbiegefestigkeit

an extrudierten Trapez-Proben  
(getrocknet bei 110 °C)



Bentonit: signifikante Verbesserung der TBF

AX: leichte Verbesserung der TBF

A8: vergleichbar mit Referenz

A4: Verschlechterung der TBF

# Zusammenfassung und Ergebnis der Strangpressversuchsreihe

## Gesamtbewertung mittels Ergebnismatrix

Ermöglicht direkten **qualitativen/quantitativen Vergleich der Ergebnisse** in Kombinations-/Übersichtsmatrix (Verarbeitungseigenschaften, Rheologie, TBF, Schwindung...)

**Auswahl der besten Testmasse(n)** für einen **gezielten Produktionsversuch** unter Berücksichtigung der Ziel-Parameter (z.B. Kompromiss aus Verarbeitbarkeit und Produktstabilität)

Bewertung der Rohstoffe und Massen: Verarbeitbarkeit, Material- und Produkthanforderungen

Masse	Verarbeitung							Materialanforderung				Produktanforderungen					
	VAR 50	Strom- aufnahme	Verarbeitbarkeit (über Feuchtstufen)					Nachgiebigkeit	Denung	Stabilität	Textur- empfindlichkeit Verhältnis Jvisk Flach/Rund	TBF	WA	Schwindung			Stabilität
	Druck		12%	14%	15%	16%	>17%							TS F3	BS (1205°C)	GS F3	
Referenz	0	0	--	0	-	--		0	0	0	-	0	0	0	0	0	0
Additiv 1	+	+	0	0	0	0	0	-	++	0	-	-	++	-	+	-	0
Additiv 2	+	+		-	0	++	--	--	+	--	--	0		-	+	-	-
Additiv 3	0	0	0	0	0	0	0	-	0	-	--	-	++	--	+	-	+
Additiv 4	++	++	--	-	0	-	--	--	++	++	-	--		0	+	+	-
Additiv 5	+	+		0	0	++	-	-	+	0	+	-	++	-	+	-	+
Additiv 6	++	++		0	+	+	++	--	++	0	-	-	+	-	+	-	0
Additiv 7	+	++		0	+	++	-	-	+	-	-	-	+	-	+	0	-
Additiv 8	++	++		-	+	+	++	--	++	0	--	0	+	-	+	-	-
Additiv AX	0	0		+	++	0*	-*	-	0	--	+	++	+	-	+	-	0

--	Drachenzähne, Material kaum Verarbeitbar
-	Drachenzähne, schwer regulierbar
0	kleine Drachenzähne, über Stranggeschwindigkeit nachregulierbar
+	gute Verarbeitbarkeit, keine Drachenzähne
++	sehr gute Verarbeitbarkeit

\* Masse und produkt weich und deformierbar

# Zusammenfassung und Fazit

Optimierungsmöglichkeiten für das keramische Strangpressen: Fokus Masse

**Basis: Multi-Parameter-Charakterisierungsprogramm**

Wichtig: genaue Zielsetzung und Priorisierung der Optimierung, da manche Parameter gegensätzlich

Definition der Masse-Bewertungskriterien:

Verarbeitungseigenschaften

Verarbeitungsaufwand

Produktstabilität

Toleranz gegenüber Feuchteschwankungen

Anmachwasserbedarf

Trockenbiegefestigkeit

Anwendung einer prozessnahen, umfassenden Massencharakterisierungsmethodik  
als Grundlage für Optimierungsaktivitäten

# Vielen Dank für Ihr Interesse!

**Miriam Miehling**

miriam.miehling@fgk-keramik.de

02624 / 18 6 17

Forschungsinstitut für Glas – Keramik GmbH  
Heinrich-Meister-Str. 2  
56203 Höhr-Grenzhausen

Ransbach-Baumbach  
19.11.2024



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR  
WIRTSCHAFT, VERKEHR,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND WEINBAU

Westerwaldkreis



Forschungsinstitut für Glas und Keramik  
[www.fgk-keramik.de](http://www.fgk-keramik.de)