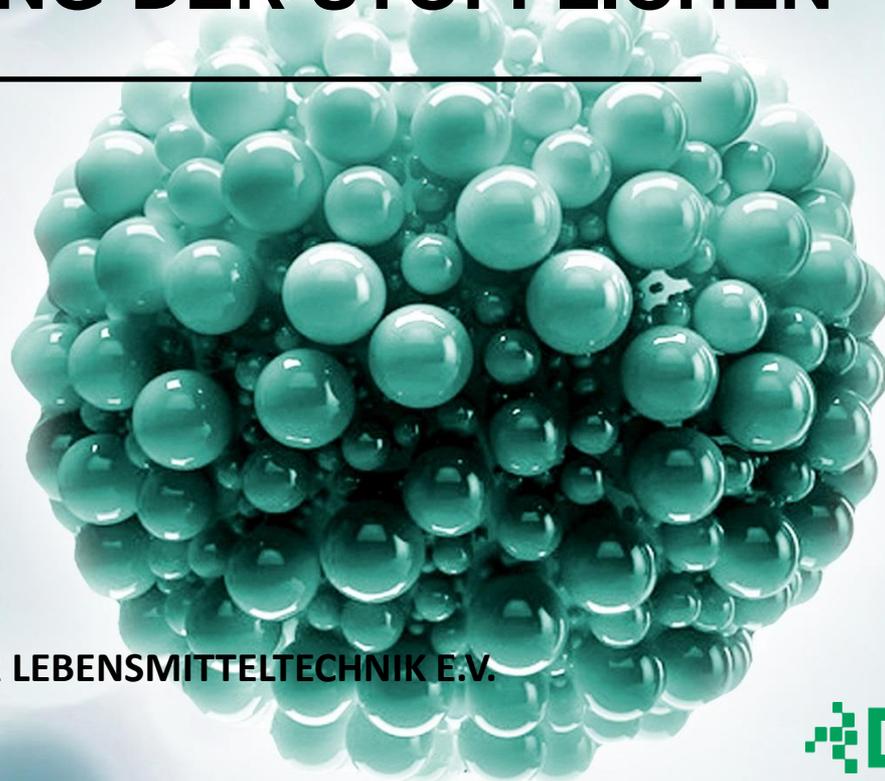


---

# TROCKENBACKEN VON ROGGENBROT- AUFKLÄRUNG DER STOFFLICHEN URSACHEN

---



DR. UTE BINDRICH  
DEUTSCHES INSTITUT FÜR LEBENSMITTELTECHNIK E.V.

# 1. Situation Roggen

... bis in die 1980er Jahre

- Mittlere, z.T. hohe enzymatische Aktivität
- Starke Angreifbarkeit der Stärke

## **Maßnahmen:**

- Senkung der Amylaseaktivität durch Sauerteigführung
- Rezepturen mit höheren Weizenanteilen



## **Züchtung**

- Auswuchsresistenz
- Halmstabilität

## **Klimawandel???**



# 1. Situation Roggen

... heute

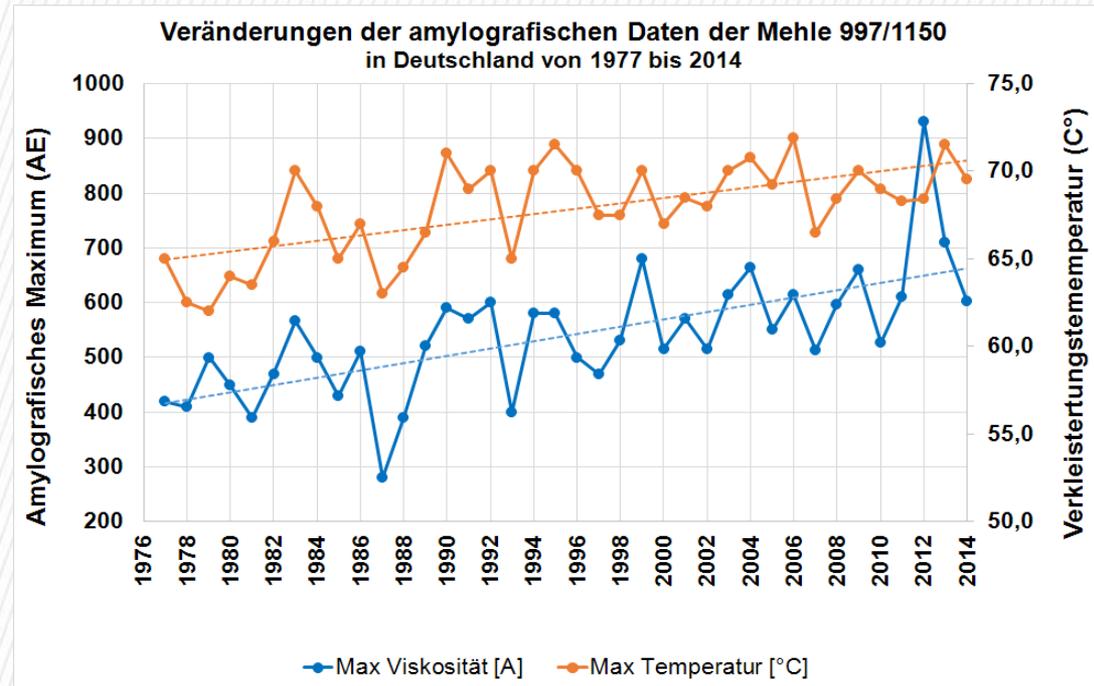
- Trend der stetig steigenden Werte von Amylogramm- und Fallzahldaten
- Korrelation zur Brotqualität stark vermindert:
  - z.T. gute und sehr gute Backergebnisse im erhöhten Fallzahlbereich
  - z.T. schlechte Backergebnisse im empfohlenen Fallzahlbereich



Maßnahmen gegen „Trockenbacken“:

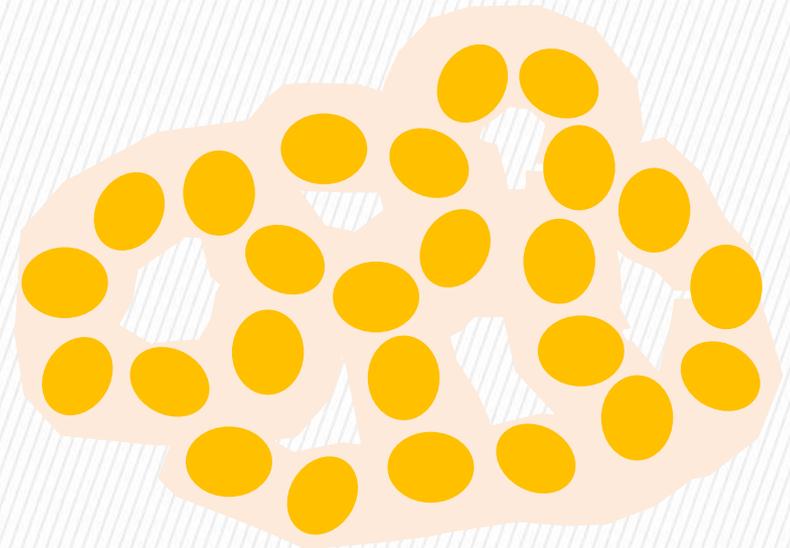
- Zusatz von Amylasen/ aktivem Malz
- Einsatz von Hydrokolloiden und erhöhter Wasserzusatz

**Begrenzter Erfolg**



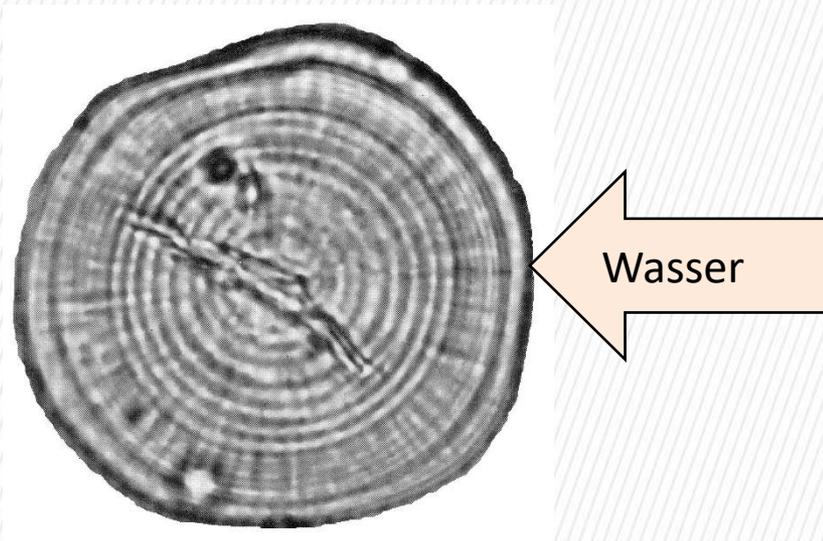
## 2. Vorgänge beim Übergang vom Teig zur Krume (wie sie sein sollten)

- Gashaltung durch annähernd dichte Backhaut
- Wasserfreisetzung durch Protein-denaturierung
- Stärkeverkleisterung durch Aufnahme von freiem und freigesetztem Wasser
- Bildung einer Netzwerkstruktur aus optimal verkleisterter Stärke  
(Voraussetzung für eine „saftige“ Krume)



### 3. Stärkequellung und partielle Verkleisterung

Stärke Korn Roggen (Quelle:  
Schormüller 1967)



Dichte Stärkekörner: 1,4 ... 1,5 g/cm<sup>3</sup>

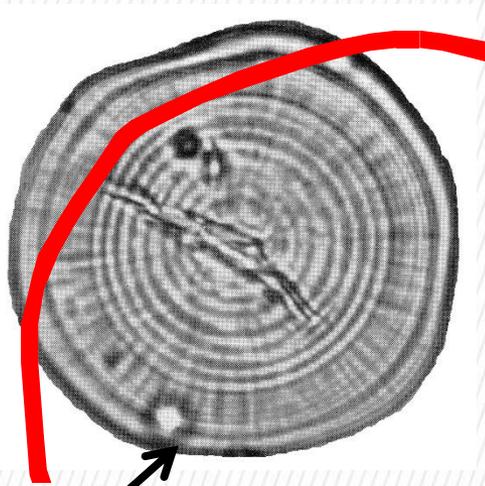
Sehr langsame Quellung bei  
Raumtemperatur und  
atmosphärischem Druck

**Beschleunigung** der Quellung durch  
Energiezufuhr (Temperatur, Druck  
Scherung)

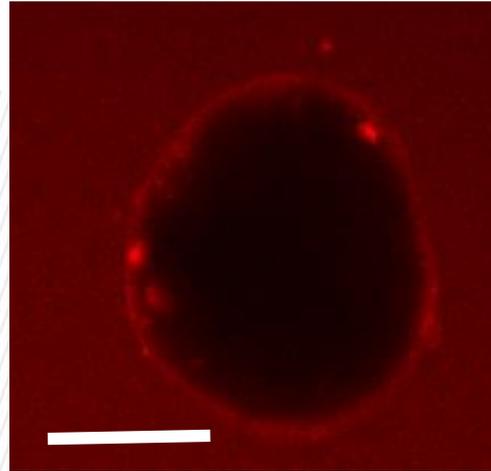
Bei weiterer Zufuhr von Energie  
kommt es in Abhängigkeit vom  
Wasserangebot zu einer (partiellen)  
Verkleisterung

## 1. Zugänglichkeit

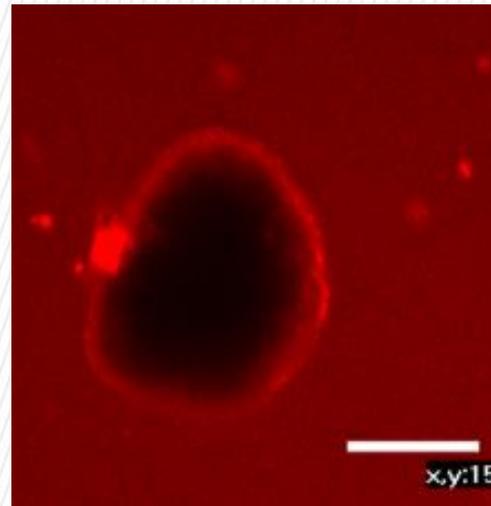
Stärke Korn Roggen  
(Quelle: Schormüller 1967)



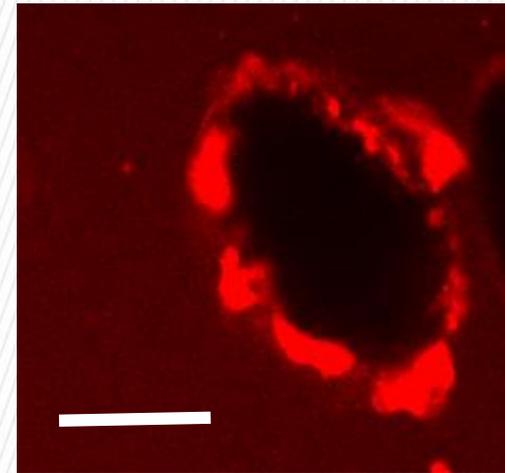
Schicht aus Proteinen und Hemicellulosen (HCell)



dünne, geschlossene Schichten



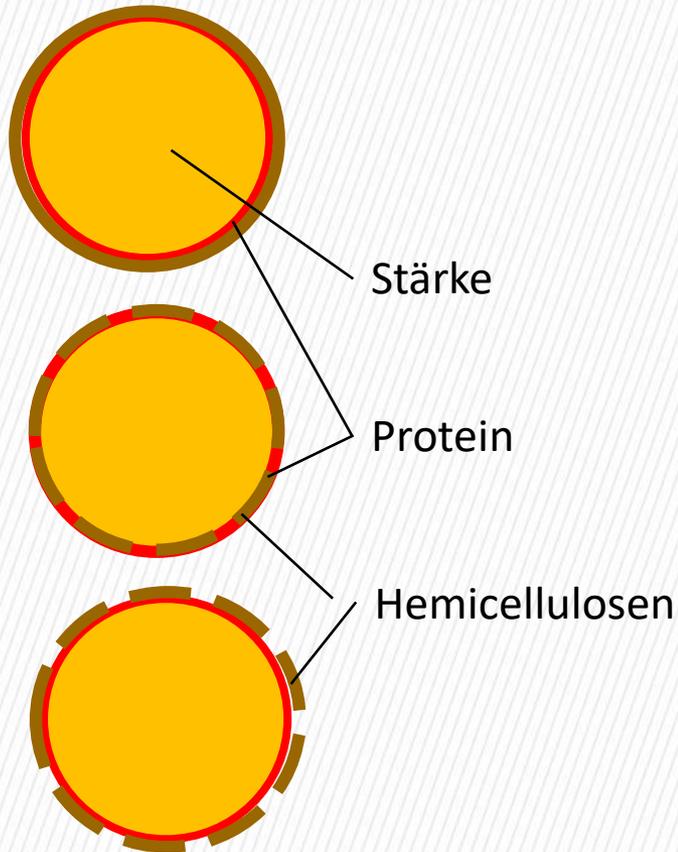
dicke, geschlossene Schichten



dicke, unterbrochene Schichten

Länge der Balken: 15 µm

## Eingeschränkter Stofftransport durch die Grenzfläche (Modellvorstellungen)



Stärke ist mit Proteinschicht und Schicht aus HCel umgeben; Protein ist Proteasen nicht zugänglich

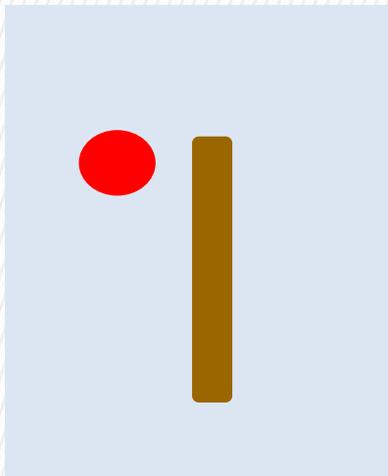
Gemische Schicht aus Protein und HCel; Protein ist Proteasen zugänglich

Keine geschlossene Hcel-Schicht auf der Proteinschicht; Protein ist Proteasen zugänglich

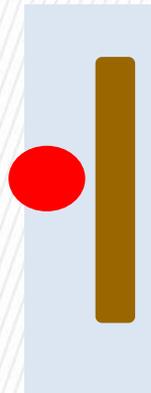
## 2. Verfügbarkeit von Wasser (Modellvorstellungen)

- Verfügbares Wasser wird durch Hemicellulosen dauerhaft aufgenommen
- Komplexe aus Proteinen und Hemicellulosen verhindern die Proteindenaturierung und somit die Freisetzung von Wasser

Wasserüberschuss



Wassermangel

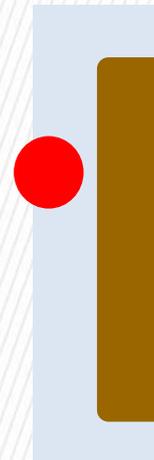
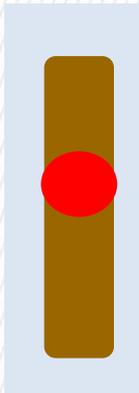


## 2. Verfügbarkeit von Wasser (Modellvorstellungen)

- Verfügbares Wasser wird durch Hemicellulosen dauerhaft aufgenommen
- Komplexe aus Proteinen und Hemicellulosen verhindern die Proteindenaturierung und somit die Freisetzung von Wasser

Komplexbildung be(ver)hindert die Proteindenaturierung

Denaturierung erfolgt; Wasser wird aber von den HCel (irreversibel) aufgenommen



***Dem entsprechend ergibt sich die Notwendigkeit der differenzierten qualitativen und quantitativen Beurteilung der wesentlichen Inhaltsstoffe:***

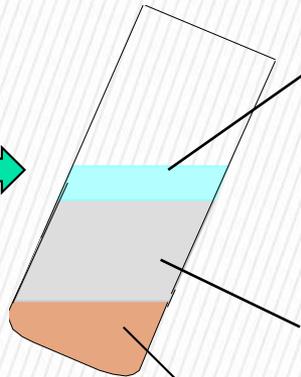
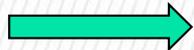
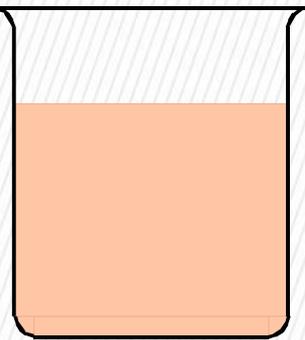
- Stärke
- Proteine
- Hemicellulosen:
  - Pentosane
  - Glucane

***unter Berücksichtigung des pH-Werts***

# 4. Anwendung alternativer analytischer Methoden zur Charakterisierung des Stoffzustands

Probenaufarbeitung

Suspension mit 10 % TS;  
pH 6,8 bzw. pH 4,0

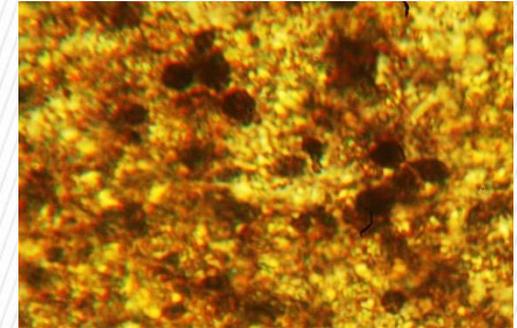


Überstand:  
Wasser, gelöste Proteine,  
Kohlenhydrate und  
Mineralien

Gelphase 1:  
Wasser, gequollene  
Proteine und Kohlenhydr.  
aber auch ein Teil der  
Stärke

Stärkephase 1

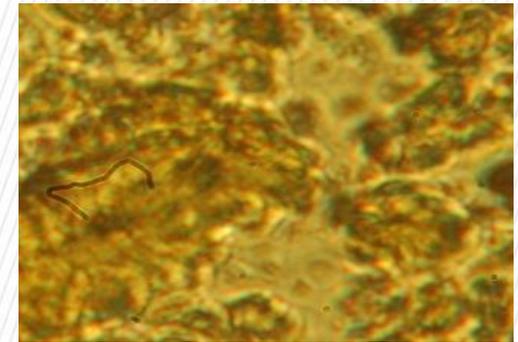
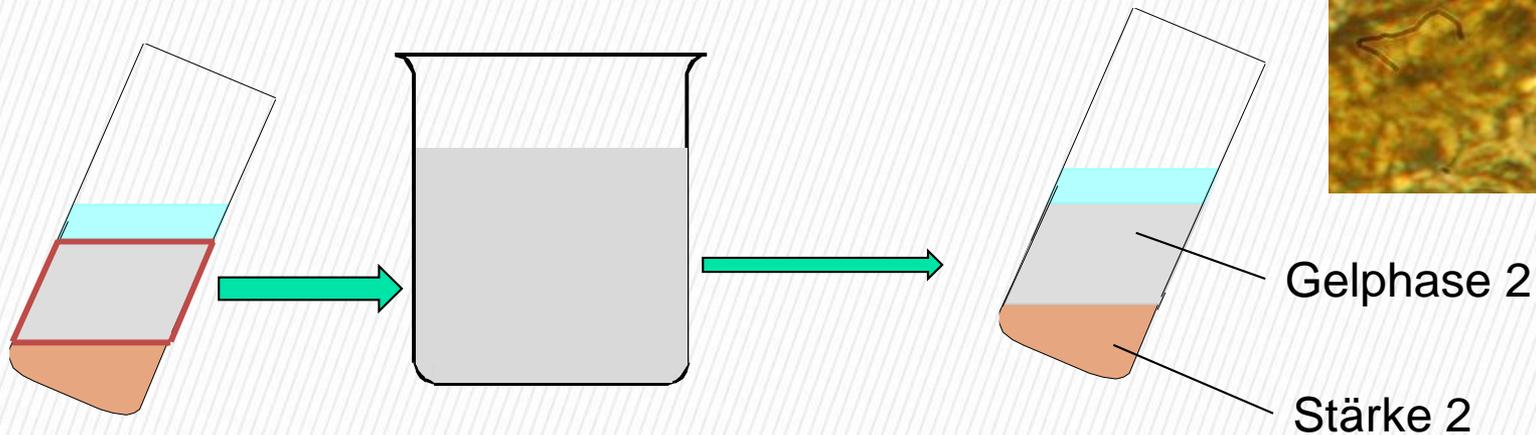
Zentrifugieren:  
20.000 g; 30 min



# 4. Anwendung alternativer analytischer Methoden zur Charakterisierung des Stoffzustands

Probenaufarbeitung

Gelphase  
5 x Aufschlämmen mit  
Wasser pH 4



# 4. Anwendung alternativer analytischer Methoden zur Charakterisierung des Stoffzustands

Verkleisterungseigenschaften der Stärke

## Traditionell:

### Fallzahl / Amylogramm

#### Bedingungen:

pH-Wert ca. 6,5  
Wasserüberschuss

#### Was wird gemessen:

Integrale Veränderung der Konsistenz bei Erwärmung der Mehl- (Schrot-) Wasser-Suspension

#### Aber:

Roggenmahlprodukte enthalten auch andere Inhaltsstoffe, die die Messergebnisse entscheidend beeinflussen

## Alternativ:

### Thermische Analyse und optische Charakterisierung

#### Bedingungen:

pH-Wert kann eingestellt werden  
Wasserüberschuss aber auch eingeschränktes Wasserangebot (Teilverkleisterung) kann getestet werden

#### Was wird gemessen?

Energiebedarf für die Realisierung der Strukturwandlungen

#### Optische Einschätzung der Verkleisterung:

Intensität der Färbung mit Jod-Kaliumjodid

# 4. Anwendung alternativer analytischer Methoden zur Charakterisierung des Stoffzustands

Denaturierungseigenschaften des Proteins

Traditionell:

**Keine spezielle Untersuchung**

Alternativ:

**Thermische Analyse**

**Bedingungen:**

pH-Wert kann eingestellt werden

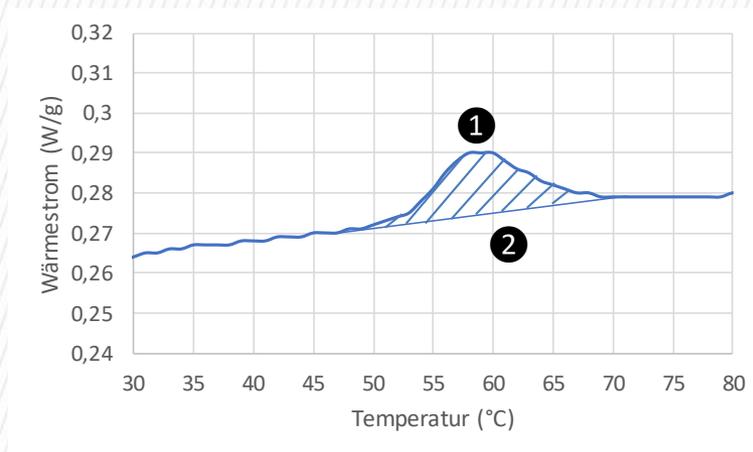
Ionen können zugesetzt werden

Ausreichende Hydratisierung ist erforderlich

**Was wird gemessen?**

Energiebedarf für die Realisierung der Strukturwandlungen

- ① Peaktemperatur
- ② Denaturierungsenthalpie



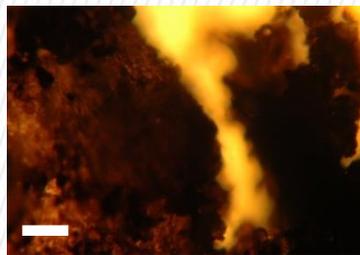
# 4. Anwendung alternativer analytischer Methoden zur Charakterisierung des Stoffzustands

Grenzflächeneigenschaften von Stärkekörnern

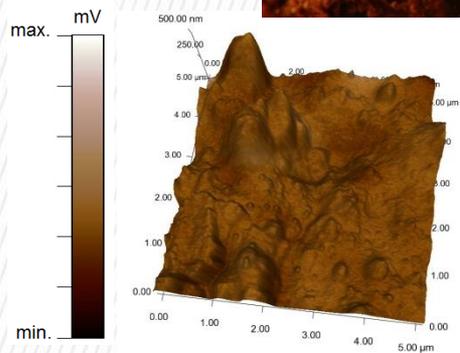
## Raster-Kraftmikroskopie

Roggenmuster im *empfohlenen* Fallzahlbereich

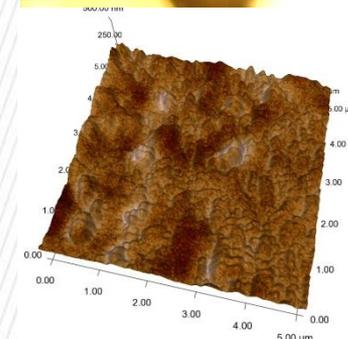
Fallzahl: 140 s  
Viskositätsmaximum Amylogramm: 440 BU  
Verkleisterungsenthalpie bei Wasserüberschuss: 8,4 J/g (**54,0%**)



Waschen mit SDS-Lösung



-215 bis +380 mV



-86 bis +74 mV

⇒ **Zugänglichkeit der Stärke für Wasser ist eingeschränkt**

# 5. Ausgewählte Ergebnisse

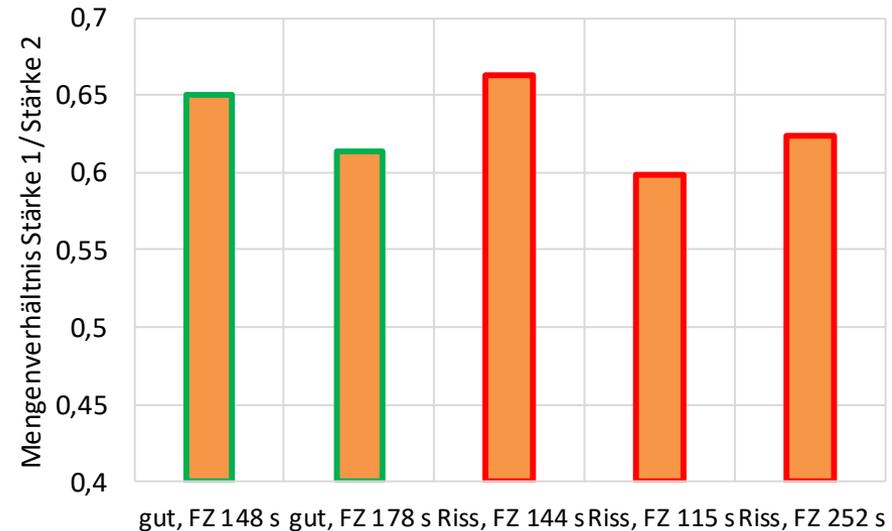
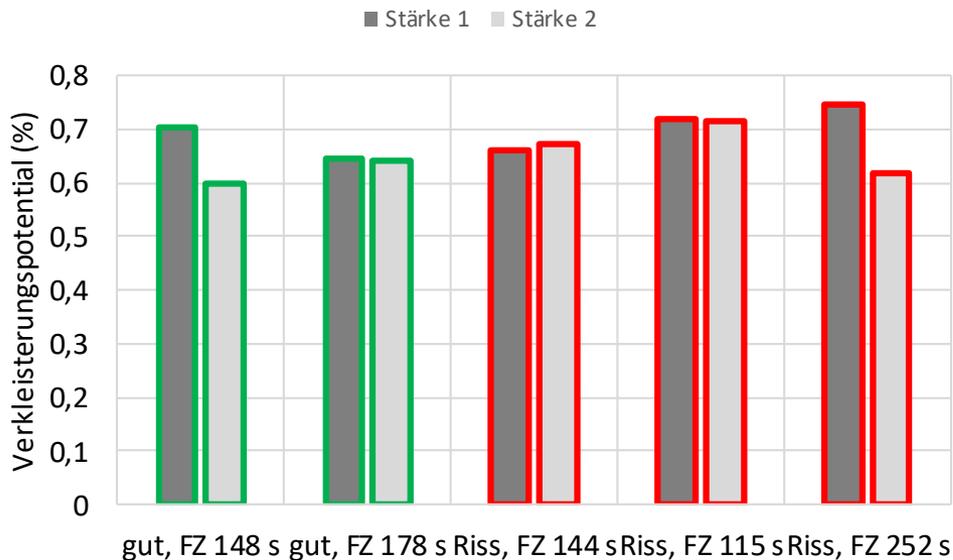
Charakterisierung von Roggenmustern aus dem Erntejahr 2017:

- Gute Krumeneigenschaften
- Gute Krumeneigenschaften aber **Rissbildung** 120 h nach dem Backen

Charakterisierung nativer Stärke

## Verkleisterungspotential der Stärke:

Verhältnis der Verkleisterungsenthalpie der separierten Stärke bei Wasserüberschuss bezogen auf die Verkleisterungsenthalpie von Roggenstärke mit minimaler Belegung der Stärkekornoberfläche

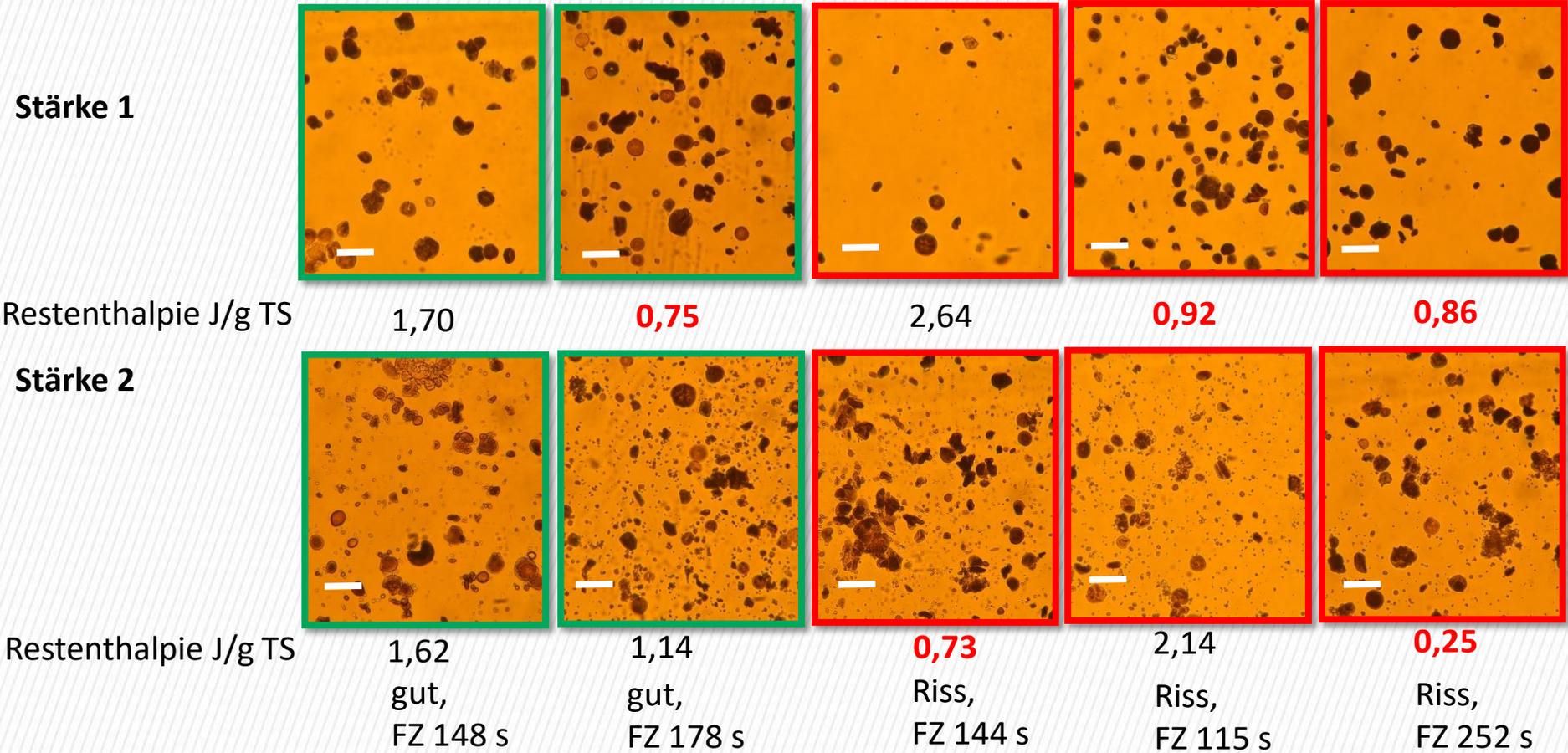


→ Eigenschaften der nativen Stärke bei Verkleisterung bei Wasserüberschuss erklären die Rissbildung nicht

# 5. Ausgewählte Ergebnisse

Eingeschränkte Zugänglichkeit der Stärke für Wasser und unterschiedliche Verfügbarkeit von Wasser

Charakterisierung teilverkleisterter Stärke



Länge der Balken: 100 µm

## 5. Ausgewählte Ergebnisse

Eingeschränkte Zugänglichkeit der Stärke für Wasser und unterschiedliche Verfügbarkeit von Wasser

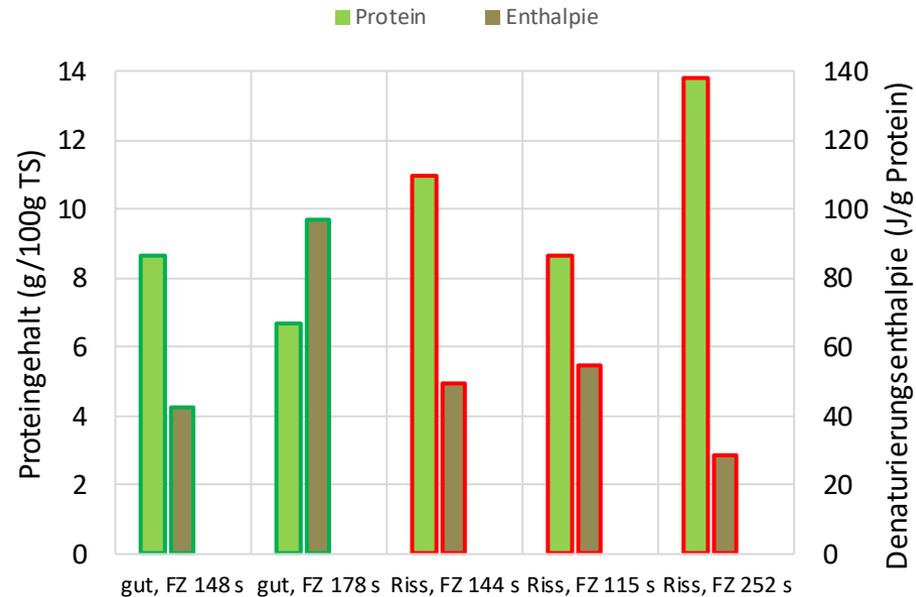
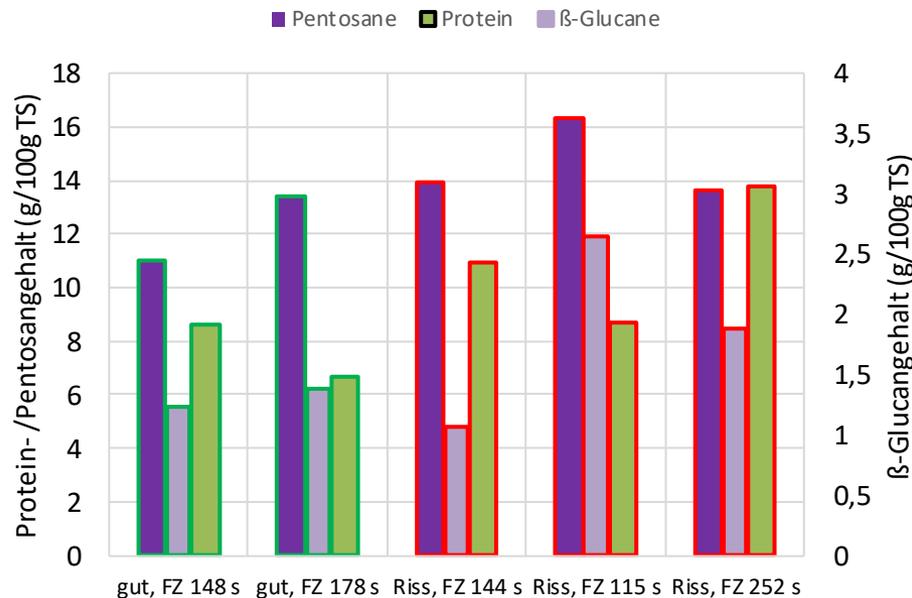
Charakterisierung teilverkleisterter Stärke

Anteil sehr dunkler Körner (LM)	Restenthalpie	Schlussfolgerung
gering	gering	Gute Verkleisterungseigenschaften
groß	groß	Verkleisterung bei Wassermangel eingeschränkt; gute Zugänglichkeit der Stärke für Wasser
groß	gering	Generell eingeschränkte Zugänglichkeit der Stärke für Wasser; Verkleisterungsenthalpie nativer Stärke (Wasserüberschuss) geringer
		Durch Wassermangel hervorgerufene eingeschränkte Zugänglichkeit („Versiegelung“ der Stärkekornoberfläche; Effekte, die bei Wasserüberschuss nicht auftreten)

# 5. Ausgewählte Ergebnisse

Eingeschränkte Verfügbarkeit von Wasser – Freisetzung von Wasser durch Denaturierung der Proteine und Einfluss von Hemicellulosen

## Charakterisierung der Gelphase 2



## Zusammensetzung

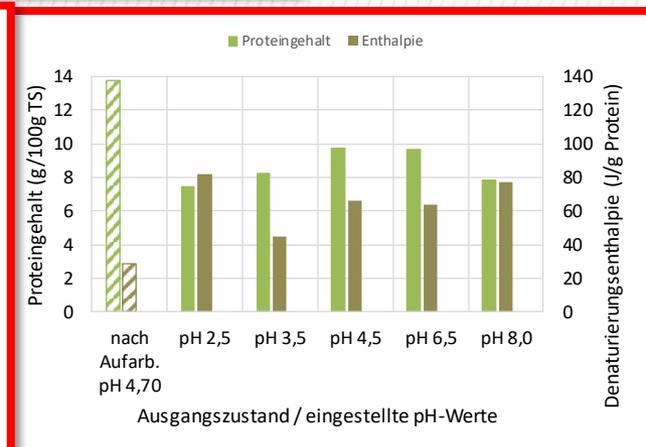
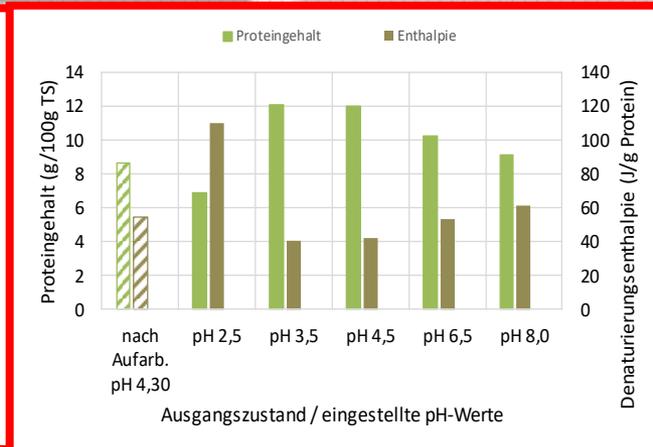
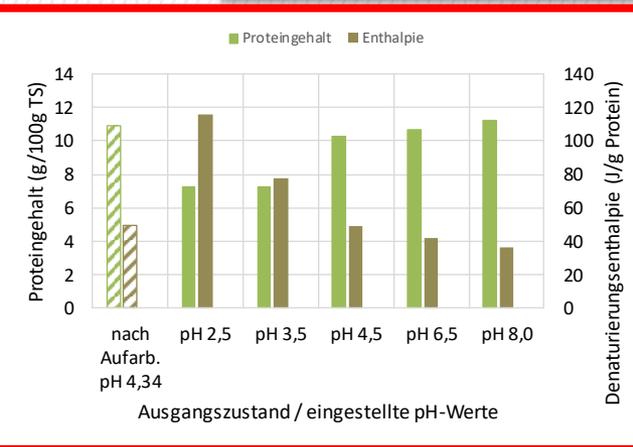
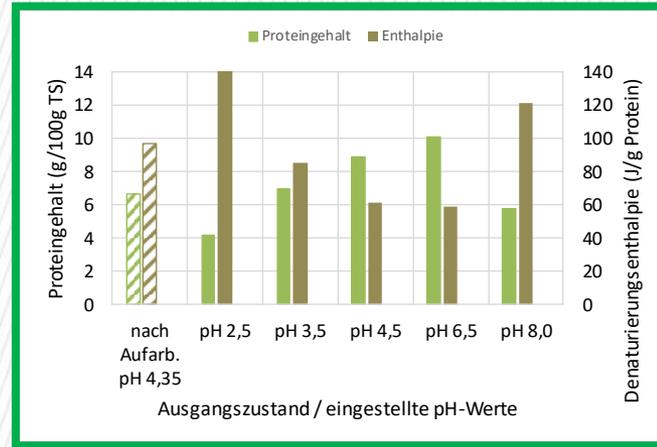
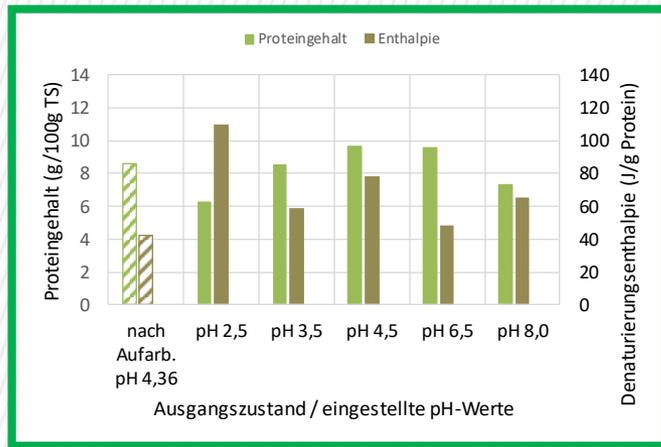
## Proteinmenge und Denaturierungsenthalpie

# 5. Ausgewählte Ergebnisse

Direkte Wechselwirkung von Proteinen und Hemicellulosen

**Elektrostatische Wechselwirkungen:** werden durch den pH-Wert beeinflusst

**Kovalente Bindungen:** keine Abhängigkeit vom pH-Wert

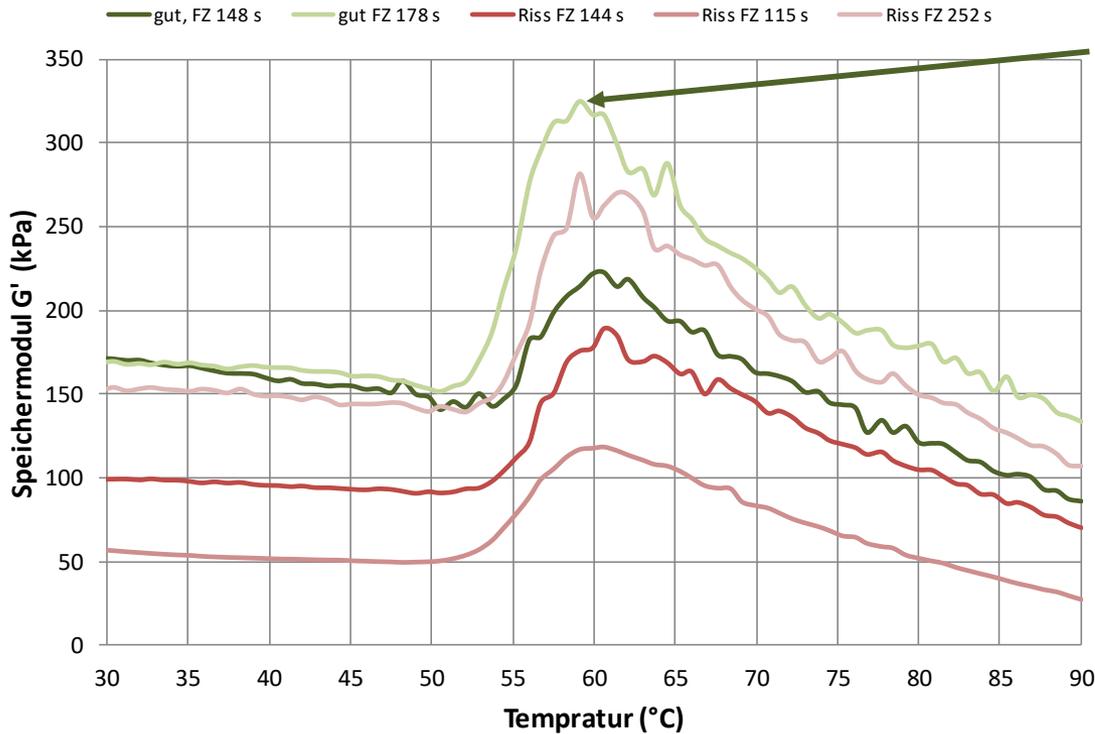


# 5. Ausgewählte Ergebnisse

## Rheologische Tests

### Speichermodul-Temperatur-Funktion Gelphase 2

Drehmoment-Temperatur-Funktion Messkneteter Fallzahlschrot (pH-vermindert + 2 % NaCl)



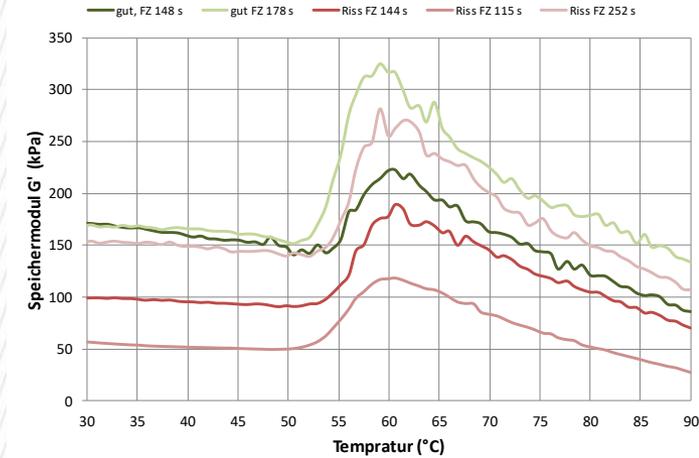
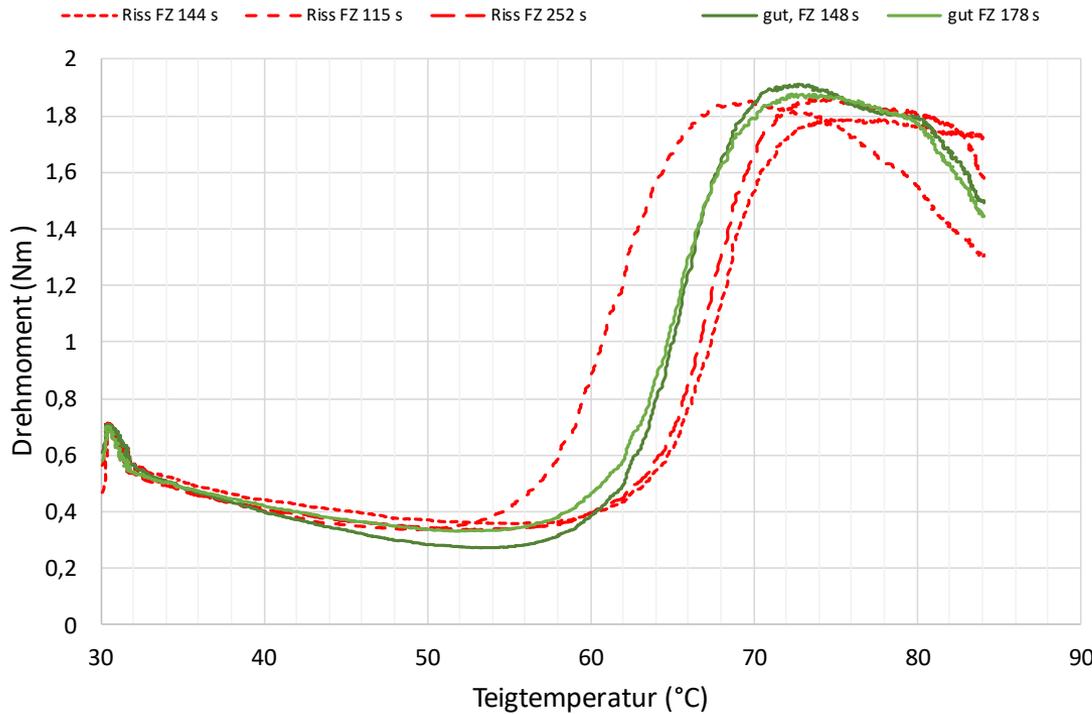
Beginn der Wasserfreisetzung durch Proteindenaturierung

# 5. Ausgewählte Ergebnisse

## Rheologische Tests

### Speichermodul-Temperatur-Funktion Gelphase 2

### Drehmoment-Temperatur-Funktion Messkneteter Fallzahlschrot (pH-vermindert + 2 % NaCl)



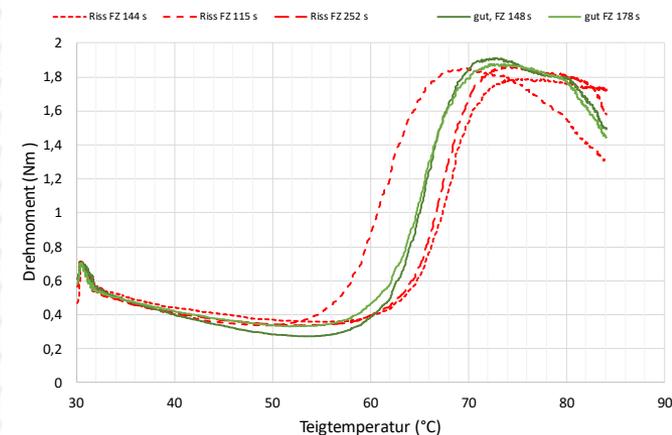
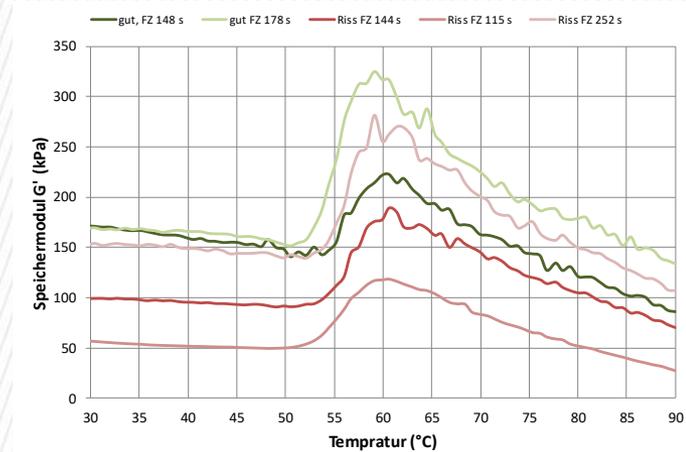
# 5. Ausgewählte Ergebnisse

## Rheologische Tests

### Speichermodul-Temperatur-Funktion Gelphase 2

### Drehmoment-Temperatur-Funktion Messkneteter Fallzahlschrot (pH-vermindert + 2 % NaCl)

Probe	Temperatur (°C)		
	Speichermodul max.	Verkleisterungsbeginn	$ \Delta $
gut, FZ 148 s	60,6	61,0	0,4
gut, FZ 178 s	59,1	60,9	1,8
Riss, FZ 144 s	60,7	64,2	3,5
Riss, FZ 115 s	60,6	56,6	4,0
Riss, FZ 252 s	59,0	63,3	4,3

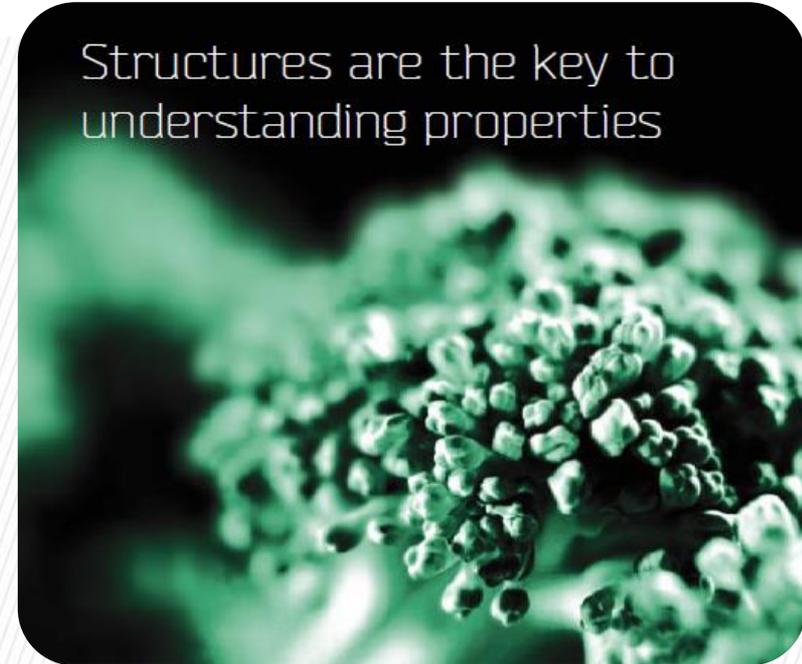


## 6. Zusammenfassung und Ausblick

- Falls nicht Auswuchs vorliegt, spielen Amylasen bei den gegenwärtigen Eigenschaften von Roggenmahlprodukten eine untergeordnete Rolle.
- Die Qualität von Roggengebäcken wird maßgeblich vom Verkleisterungsverhalten der Stärke bestimmt.
- Dafür müssen Stärkekörner für Wasser zugänglich sein und es muss ausreichend freies Wasser zur Verfügung stehen.
- Abschirmende Schichten auf Stärkekörnern und intensive Wechselwirkungen von Hemicellulosen mit Proteinen in der flüssigen Phase des Teiges behindern die Stärkeverkleisterung.
- Darüber hinaus sollte der Beginn der Wasserfreisetzung durch Denaturierung mit dem Beginn der Stärkeverkleisterung weitgehend übereinstimmen.
- Die genauen stofflichen Ursachen für die Phänomene sind bisher aber noch nicht identifiziert.
  - Was bewirkt die Unterschiede in den Wechselwirkungen von Hemicellulosen mit Proteinen?
  - Was ist ursächlich für die unterschiedliche Verkleisterungskinetik der Stärke?
- Einfache Ursache-Wirkungsbeziehungen gibt es nicht.
- Gegenwärtig werden > 50 analytische Parameter bestimmt, deren Relevanz mit Hilfe statistischer Methoden ermittelt werden wird.
- Dabei kommen auch modernste Methoden der Charakterisierung von Makromolekülen zum Einsatz.
- Im besten Fall kann ein empirisches Modell aufgestellt werden.

.... für Ihre Aufmerksamkeit

.... den beteiligten Forschungsstellen



IGF-Vorhaben Nr.: 17339 BG & 19354 BG

gefördert durch/via



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn, wird/wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

[u.bindrich@dil-ev.de](mailto:u.bindrich@dil-ev.de)