

## **Keimlinge als neuartige multifunktionelle Zutat in ökologischen Backwaren - Optimierung der Herstellung und Verwendung**

---

**Sprouting seed as an innovative multifunctional ingredient of organic bakery products - Optimizing production and use**

**FKZ: 06OE167**

**Projektnehmer:**

FiBL Deutschland e.V.  
Kasseler Straße 1a, 60486 Frankfurt am Main  
Tel.: +49 69 7137699-0  
Fax: +49 69 7137699-9  
E-Mail: [info.deutschland@fibl.org](mailto:info.deutschland@fibl.org)  
Internet: <http://www.fibl.org>

**Autoren:**

Beck, Alexander; Busch, Karl Georg; Damm, Erik; Deinert, Christoph; Dylla, Renate; Gruhn, Antonia; Steinhof, Peter

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL)

# Keimlinge als neuartige multi-funktionelle Zutat in ökologischen Backwaren - Optimierung der Herstellung und Verwendung



**Dr. Alexander Beck, Prof. Dr. Karl Georg Busch, Erik Damm,  
Christoph Deinert, Renate Dylla, Antonia Gruhn, Peter Steinhof**

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau

Projekt Nr.: **06OE167**  
Aktenzeichen: **514-06.01-06OE167**

Projektlaufzeit und Berichtszeitraum: **15.11.2008 bis 31.12.2010**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung des Projektes</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Ziele und Aufgabenstellung</b>	<b>8</b>
2.1	Aufgabenstellung und Ablauf	8
2.2	Wissenschaftlicher Stand	9
<b>3</b>	<b>Arbeitsblock II</b>	<b>14</b>
3.1	Ziele im Arbeitsblock	14
3.2	Methoden	14
3.2.1	Keimbedingungen	14
3.2.2	Probenahme zur mikrobiologischen Untersuchung	15
3.2.3	Probevorbereitung zur mikrobiologischen Untersuchung	15
3.2.4	Gesamtkeimzahl und Differenzierung der Keime	16
3.3	Ergebnisse	16
3.3.1	Beschreibung des erreichten qualitativen Status der Keime	16
3.3.2	Versuchsanlage	17
<b>4</b>	<b>Arbeitsblock III</b>	<b>29</b>
4.1	Ziele im Arbeitsblock	29
4.2	Material und Methoden	29
4.2.1	Material	29
4.2.2	Methoden	29
4.3	Ergebnisse	33
4.3.1	Ergebnisse Dinkel	45
<b>5</b>	<b>Arbeitsblock IV</b>	<b>66</b>
5.1	Ziele im Arbeitsblock	66
5.2	Material und Methoden	66
5.2.1	Material	66
5.2.2	Methoden	67
5.3	Ergebnisse	69
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>82</b>
6.1	Zusammenfassung	82
6.1.1	Keimung mit Roggen	82
6.1.2	Keimung mit Dinkel	85
6.1.3	Keimlinge als technologische Zutat	88
<b>7</b>	<b>Leitfaden</b>	<b>90</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>91</b>
<b>9</b>	<b>Übersicht Veröffentlichungen</b>	<b>92</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Thermoschrank zum Quellen und Keimen des Getreides .....	14
Abbildung 2	Temperatur in Abhängigkeit der Schütthöhe bei 10 °C Umgebungstemperatur .	18
Abbildung 3	Temperatur in Abhängigkeit der Schütthöhe bei 12,5 °C Umgebungs- temperatur .....	18
Abbildung 4	Temperatur in Abhängigkeit der Schütthöhe bei 15 °C Umgebungstemperatur .	19
Abbildung 5	Temperatur in Abhängigkeit der Schütthöhe bei 20 °C Umgebungstemperatur .	19
Abbildung 6	Keimzah lentwicklung bei 5 cm Schütthöhe und verschiedenen Temperaturen ..	20
Abbildung 7	Keimzah lentwicklung bei 10 cm Schütthöhe und verschiedenen Umgebungs- temperaturen .....	22
Abbildung 8	Keimzah lentwicklung bei 20 cm Schütthöhe und verschiedenen Umgebungs- temperaturen .....	23
Abbildung 9	Keimzahlen des unbehandelten Roggens auf Selektivmedien .....	24
Abbildung 10	Keimzahlen des gequollenen Roggens auf Selektivmedien, 5 cm Schütthöhe...	25
Abbildung 11	Keimzahlen des gequollenen Roggens auf Selektivmedien, 10 cm Schütthöhe.	26
Abbildung 12	Keimzahlen des gequollenen Roggens auf Selektivmedien, 20 cm Schichthöhe	26
Abbildung 13	Keimzahlen des gekeimten Roggens auf Selektivmedien, 5 cm Schütthöhe .....	27
Abbildung 14	Keimzahlen des gekeimten Roggens auf Selektivmedien, 10 cm Schütthöhe ...	27
Abbildung 15	Keimzahlen des gekeimten Roggens auf Selektivmedien, 20 cm Schütthöhe ...	28
Abbildung 16	Roggenkeimlinge nach 30 Stunden Keimung bei 10 cm Schütthöhe und unterschiedlicher Umgebungstemperatur .....	33
Abbildung 17	Roggenkeimlinge nach 30 Stunden Keimung bei 20 cm Schütthöhe und unterschiedlicher Umgebungstemperatur .....	34
Abbildung 18	Einfluss der Keimungstemperatur und der Schichthöhe auf die Fallzahl .....	35
Abbildung 19	Einfluss der Keimungstemperatur und der Schichthöhe auf die Fallzahl bei Zugabe von 5 % gekeimtem Getreide zu einem Roggenmehl mit der Fallzahl von 200.....	35
Abbildung 20	Einfluss der Keimtemperatur und der Schichthöhe auf die Fallzahl bei Zugabe von 10 % gekeimtem Getreide zu einem Roggenmehl mit der Fallzahl von 200	36
Abbildung 21	Einfluss der Keimungstemperatur und der Schichthöhe auf die maximale Verkleisterungstemperatur.....	37
Abbildung 22	Einfluss der Keimungstemperatur und die Schichthöhe auf die maximale Viskosität .....	37
Abbildung 23	Veränderung des Sauerstoffgehaltes während des Keimprozesses bei unterschiedlichen Keimungstemperaturen .....	38
Abbildung 24	Veränderung der Temperatur und des Sauerstoffgehaltes während der Keimung bei 15 °C.....	39
Abbildung 25	Veränderung der Temperatur und des Sauerstoffgehaltes während der Keimung bei 20 °C.....	39
Abbildung 26	Riboflavingehalt in Abhängigkeit der Keimzeit .....	41
Abbildung 27	Riboflavingehalt in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur .....	42
Abbildung 28	Riboflavingehalt in Abhängigkeit der Schütthöhe nach 30 Stunden Keimzeit .....	42
Abbildung 29	Einfluss der Keimbedingung auf den Folsäuregehalt in Roggen .....	43
Abbildung 30	Einfluss der Keimbedingung auf die relative Proteinlöslichkeit.....	44
Abbildung 31	Keimlinge der Keimreihe 1 .....	46
Abbildung 32	Keimlinge Keimreihe 2.....	47
Abbildung 33	Vergleich der Wasseraufnahme nach 15 und 20 Stunden in Abhängigkeit der Quelltemperatur .....	48

Abbildung 34	Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Schichthöhe und Keimzeit der Keimung 4 (20 Stunden Quellzeit/30 Stunden Keimzeit).....	49
Abbildung 35	Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Schichthöhe und Keimzeit der Keimung 8 (15 Stunden Quellzeit/48 Stunden Keimzeit).....	49
Abbildung 36	Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Schichthöhe und Keimzeit der Keimung 5 .....	50
Abbildung 37	Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Schichthöhe und Keimzeit der Keimung 6 .....	50
Abbildung 38	Verlauf des Sauerstoffgehaltes in Abhängigkeit der Keimtemperatur und Keimzeit der Keimreihe 1 (Quellzeit 20 Stunden/Keimzeit 30 Stunden) .....	51
Abbildung 39	Verlauf des Sauerstoffgehaltes in Abhängigkeit der Keimtemperatur und Keimzeit der Keimreihe 2 (Quellzeit 15 Stunden/Keimzeit 48 Stunden) .....	51
Abbildung 40	Fallzahlen in Abhängigkeit von Keimtemperatur und Schichthöhe der Keimreihe 1 (Quellzeit 20 h/ Keimzeit 30 h) .....	52
Abbildung 41	Fallzahlen in Abhängigkeit von Keimtemperatur und Schichthöhe der Keimreihe 2 (Quellzeit 15 Stunden/Keimzeit 48 Stunden).....	52
Abbildung 42	Einfluss der Keimzeiten auf die Fallzahl (Umgebungstemperatur 10 °C) .....	53
Abbildung 43	Einfluss der Keimzeit auf die Fallzahl (Umgebungstemperatur 12,5 °C) .....	54
Abbildung 44	Einfluss der Keimzeit auf die Fallzahl (Umgebungstemperatur 15 °C) .....	54
Abbildung 45:	Einfluss der Keimzeit auf die Fallzahl (Umgebungstemperatur 20 °C) .....	55
Abbildung 46	Maximale Viskosität in Abhängigkeit von Keimtemperatur und Schütthöhe der Keimreihe 1 .....	56
Abbildung 47	Maximale Viskosität in Abhängigkeit der Keimtemperatur und Schütthöhe der Keimreihe 2 .....	56
Abbildung 48	Verkleisterungstemperatur in Abhängigkeit der Schütthöhe und Umgebungstemperatur Keimreihe 1 .....	57
Abbildung 49	Verkleisterungstemperatur in Abhängigkeit der Schütthöhe und Umgebungstemperatur Keimreihe 2 .....	57
Abbildung 50	Extinktion in Abhängigkeit der Keimtemperatur und der Schütthöhe der Keimreihe 1 .....	58
Abbildung 51	Extinktion in Abhängigkeit der Keimtemperatur und der Schütthöhe der Keimreihe 2 .....	59
Abbildung 52:	Brotscheiben aus Broten der Keimreihe 2 (Keimung/Schütthöhe).....	60
Abbildung 53	Veränderung der Krumenfestigkeit der Dinkelbrote in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur und Schütthöhe .....	61
Abbildung 54	Lysingehalt in Abhängigkeit der Schütthöhe und Umgebungstemperatur in gekeimtem Dinkel .....	62
Abbildung 55	Einfluss der Keimbedingung auf den Vitamin B <sub>1</sub> -Gehalt in gekeimtem Dinkel....	62
Abbildung 56	Prozentuale Veränderung des Vitamin B <sub>1</sub> -Gehalts in gekeimtem Dinkel.....	63
Abbildung 57	Einfluss der Keimbedingung auf den Vitamin B <sub>2</sub> -Gehalt in gekeimtem Dinkel....	63
Abbildung 58:	Prozentuale Veränderung des Vitamin B <sub>2</sub> -Gehalts in gekeimtem Dinkel (30 Stunden Keimzeit) .....	64
Abbildung 59	Folsäuregehalt in gekeimtem Dinkel in Abhängigkeit der Keimbedingung (30 Stunden Keimzeit) .....	65
Abbildung 60	Einfluss der Trocknungsbedingungen auf den Feuchtigkeitsgehalt in gekeimtem Roggen .....	69
Abbildung 61	Weizenbrote im Stück mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C).....	72

Abbildung 62	Weizenbrotscheiben aus Broten mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C).....	73
Abbildung 63	Weizenbrote im Stück mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C).....	73
Abbildung 64	Weizenbrotscheiben aus Broten mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C).....	74
Abbildung 65	Roggenmischbrote im Stück mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C).....	74
Abbildung 66	Brotscheiben aus Roggenmischbroten mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 5 cm/ Umgebungstemperatur 12,5 °C).....	75
Abbildung 67	Roggenmischbrote im Stück mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C).....	75
Abbildung 68	Brotscheiben aus Roggenmischbrot mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C).....	75
Abbildung 69	Einfluss des Zusatzes von gekeimtem Roggen verschiedener Partikelgrößen auf das Brotvolumen.....	76
Abbildung 70	Einfluss des Zusatzes von gekeimtem Roggen verschiedener Partikelgrößen auf die Krumenfestigkeit .....	77
Abbildung 71	Brotscheiben eines Weizenbrotes mit und ohne gekeimten Dinkel .....	78
Abbildung 72	Brotscheiben eines Weizenvollkornbrotes ohne und mit gekeimtem Dinkel .....	79
Abbildung 73	Krumenfestigkeit nach 24 Stunden Lagerzeit bei Raumtemperatur.....	80
Abbildung 74	Krumenfestigkeit nach 48 Stunden Lagerzeit bei Raumtemperatur.....	80

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Mittelwerte, Standardabweichungen und prozentuales Keimwachstum bei 5 cm Schütthöhe .....	21
Tabelle 2	Mittelwerte, Standardabweichungen und prozentuales Keimwachstum bei 10 cm Schütthöhe .....	22
Tabelle 3	Mittelwerte, Standardabweichungen und prozentuales Keimwachstum bei 20 cm Schütthöhe .....	24
Tabelle 4	Probenbezeichnung der Keimversuche.....	45
Tabelle 5	Bezeichnung Partikelgrößen .....	67
Tabelle 6	Rezept Roggenbackversuch.....	67
Tabelle 7	Einfluss der Trocknungstemperatur auf die Fallzahl und Amylogramm- maximum von gekeimtem Roggen in Abhängigkeit der Keimbedingung .....	70
Tabelle 8	Fallzahl der Mehle bzw. Mehlmischung unter Keimbedingung: Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C.....	70
Tabelle 9	Fallzahl der Mehle bzw. Mehlmischung unter Keimbedingung: Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C.....	71
Tabelle 10	Rezept Weizenbrot .....	71
Tabelle 11	Rezept Roggenmischbort.....	72
Tabelle 12	Bezeichnung der Backversuche im Partnerbetrieb.....	78

## Abkürzungsverzeichnis

AE	Amylographeinheit
BE	
cm	Zentimeter
g	Gramm
kg	Kilogramm
ml	Milliliter
N	Newton
nm	Nanometer
s	Sekunde/n
SH	Schütthöhe
UPM	Umdrehungen pro Minute
UT	Umgebungstemperatur
°C	Grad Celsius
%	Prozent
µl	Mikroliter

# 1 Zusammenfassung des Projektes

Im Rahmen dieses Projektes wurden die betriebseigene Herstellung von Keimlingen, der Einsatz von Keimlingen in Sprossenbrot und der Einsatz zu technologischen Zwecken untersucht. Aus den Ergebnissen wurden allgemeine Handlungsempfehlungen abgeleitet. Diese wurden zu einem Leitfaden für handwerkliche Bäckereien zusammengefasst.

Um gleichmäßige Backergebnisse zu erhalten, werden Keimlinge mit konstanter Qualität benötigt. Qualitätsbestimmende Faktoren sind die mikrobiologische Belastung, die wertgebenden Inhaltsstoffe und die Enzymatik. Das Keimergebnis lässt sich im Keimprozess durch die Keimtemperatur, die Schichthöhe und die Keimdauer beeinflussen und steuern. Die Einflüsse dieser Faktoren auf die qualitätsbestimmenden Eigenschaften wurden im Projekt untersucht. Aus den Ergebnissen konnte die Faustzahl „15:15:30“ abgeleitet werden. Bei einer Schichthöhe von 15 cm, einer Keimtemperatur von maximal 15 °C und einer Keimdauer von 30 Stunden lassen sich gute Keimlingsergebnisse erzielen.

Die Herstellung von Essener Broten stellt besondere Anforderungen an die Teigführung. Durch die Keimung kommt es zu einer deutlichen Vermehrung der Enzymaktivität im Keimgut. Diese Enzymaktivität ist insbesondere für Roggenteige technologisch hoch relevant. Deshalb wurden Backversuche zur Optimierung der Herstellung solcher Brote durchgeführt. Die im Leitfaden zusammengefassten Hinweise aus dem Projekt helfen den Praktikern, Essener Brote erfolgreich herzustellen.

Die Keimlinge oder auch das aus diesen gewonnene aktive Malz kann zur Steuerung der Enzymatik bei der Teigführung eingesetzt werden. Im Projekt wurden verschiedene Verfahren zur Herstellung von Malz untersucht. Der Einsatz der Keimlinge zu technologischen Zwecken wurde dann in Backversuchen erprobt. Der Einsatz von Roggenkeimlingen als Zutat bei Weizenbrot kann sehr positive Ergebnisse zeigen. Der Zerkleinerungsgrad der Keimlinge hat entscheidenden Einfluss auf die Qualität der hergestellten Weizengebäcke. Insgesamt konnten das Volumen, die Krumenelastizität und die Krumenfestigkeit verbessert werden.

Der Einsatz von Keimlingen zur Korrektur der Enzymatik bei schwachen Roggenpartien hingegen zeigte sich problematisch.



## 2 Ziele und Aufgabenstellung

Das Projekt unterstützt die Ziele des Bundesprogramms Ökologischer Landbau im Rahmen der weiteren Stärkung und Ausdehnung der ökologischen Lebensmittelwirtschaft, insbesondere der Weiterentwicklung hoher Qualitätsstandards. Mit diesem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sollen die Entwicklung und die Verbreitung praxisorientierter Lösungen unter Einbindung von Praktikern vorangetrieben werden. Das Projekt zielt im Themenbereich „Ökologische Lebensmittel, Ernährung“ auf:

Punkt 2.1.1 Vermeidung bzw. Verringerung des Einsatzes von Zusatzstoffen im technologischen Verarbeitungsprozess zur Sicherung und Verbesserung der Qualität ökologischer Lebensmittel; Kommunikation der Ergebnisse an Handwerker und Lebensmittelverarbeiter,

Punkt 2.1.2 Haltbarkeit von Ökolebensmitteln: Entwicklung von schonenden Herstellungsverfahren, Entwicklung alternativer Konservierungsmethoden und

Punkt 2.1.3 qualitätserhaltende Herstellung von Öko-Conveniencelebensmitteln (sowohl für die Außer-Haus-Verpflegung als auch für Privathaushalte).

### 2.1 Aufgabenstellung und Ablauf

Bei der Herstellung von Sprossenbrot handelt es sich um ein technologisch anspruchvolles Produkt. Dies gilt sowohl für die sichere Herstellung der Keimlinge als auch für deren Einsatz als ernährungsphysiologisch bedeutende Komponente im Sprossenbrot sowie für deren Einsatz als technologische Zutat in anderen Produktarten. Die hierzu notwendigen Untersuchungen sind ein Teil des Projektes.

Folgende Schritte sollen im Projekt bearbeitet werden und bauen zum Teil aufeinander auf:

1. Herstellung der Keimlinge (Arbeitsblock II)
  - 1.1 Feststellen des aktuellen Status der Herstellungspraxis der Keimlinge und deren Qualität in der Partnerbäckerei
  - 1.2 Entwicklung von technologischen Verbesserungen und deren praktische Umsetzung in der Partnerbäckerei
  - 1.3 Besprechung der Erfahrungen und Ergebnisse mit weiteren Backwarenherstellern, die Keimlinge produzieren und einsetzen
  - 1.4 Ableiten von allgemeinen Handlungsempfehlungen und deren Darstellung in einem Herstellungsleitfaden
2. Einsatz in Sprossenbrot (Arbeitsblock III)
  - 2.1 Feststellung des aktuellen Status der Herstellung und Qualität der Sprossenbrote in der Partnerbäckerei
  - 2.2 Optimierung der Herstellung des Sprossenbrotes in Hinblick auf Sensorik, Ernährungsqualität und Hygiene unter Einbeziehung der Ergebnisse aus Arbeitsblock 1
  - 2.3 Ableiten von allgemeinen Handlungsempfehlungen und deren Darstellung in einem Herstellungsleitfaden

### 3. Einsatz zu technologischen Zwecken (Arbeitsblock IV)

3.1 Entwicklung und Durchführung von Testreihen zum Einsatz von Keimen zur Verbesserung der Backeigenschaften und Gebäckqualität in Weizen und Roggenteigen (Enzymatik, Wasserhaushalt, Haltbarkeit) unter Einbeziehung der Ergebnisse aus den Arbeitsblöcken 1 und 2

3.2 Ableiten von allgemeinen Handlungsempfehlungen und deren Darstellung in einem Herstellungsleitfaden

### 4. Erstellung eines Leitfadens zur Herstellung von Keimlingen und Sprossenbrot in einer handwerklichen Bäckerei (Arbeitsblock V)

4.1 Handlungsempfehlungen für die Herstellung von Keimlingen

4.2 Handlungsempfehlungen für die Herstellung von Sprossenbrot

4.3 Handlungsempfehlungen für den Einsatz von Keimlingen als technologische Zutat

Ablauf:

Die einzelnen Handlungsschritte wurden anhand der geplanten Aufgabenstellung im Projekt durchgeführt. Ausführliche Beschreibung siehe Kapitel 3 bis 5.

## 2.2 Wissenschaftlicher Stand

In der Bäckerbranche herrscht nach einer Flaute wieder ein steigendes Interesse an einer Umstellung auf Biobackwaren und damit an einer Profilierung mit neuartigen Produkten. Für die Neueinsteiger sind technologisch und handwerklich orientierte Beratungen wichtig, um qualitativ hochwertige Bioprodukte anbieten zu können, wie z. B. Backwaren aus bzw. mit Keimlingen.

Einige ökologisch ausgerichtete Bäckereien haben in den letzten Jahren begonnen, Sprossen- (Essener) Brote herzustellen. Dieser vollkommen neuartige Brottyp erfreut sich großer Beliebtheit und stellt eine echte Produktinnovation dar. Der Bäckerei Hårdtner wurde im Jahre 2005 der Innovationspreis Bio-Lebensmittel-Verarbeitung für ihr Essener Brot verliehen.

Keimlinge (Sprossen) sind seit ca. 20 Jahren, aus der asiatischen Küche kommend, auch in Deutschland zunehmend bekannt. Gekeimt werden Getreide, Leguminosen und Ölsaaten meist mit einfachen Keimgläsern. Der Einsatz von Keimlingen in Backwaren hat sich erst seit einigen Jahren durchgesetzt. Sprossen und Keimlinge können frisch, tiefgefroren oder getrocknet bezogen werden. Die meisten Betriebe stellen jedoch aus Kostengründen ihre Keimlinge selbst her.

Neueste Forschungen des Forscherkreises der Ernährungsindustrie zum Thema „Keimlinge in Brot“ (Schieberle 2007) zeigen interessante Ergebnisse, die in dem vorgeschlagenen Projekt vertieft und praxisnah erprobt werden sollen. Ziel des Projektes ist es, die Ergebnisse auf andere Getreidearten zu übertragen und in einen Leitfaden zu übersetzen.

Bei der Keimung vermehren sich aus ernährungsphysiologischer Sicht positive Nähr- und Vitalstoffe durch die Aktivierung und Neubildung von Enzymen. Es kommt zum Abbau der Korninhaltsstoffe, die zur Energiegewinnung des Keimlings genutzt werden. Der Weich- und Keimprozess bis zur „Ernte“ für z. B. Essener Brot dauert etwa ein bis drei Tage.

Aus der Forschung zur Herstellung von Keimlingen ist bekannt, dass für eine optimale Keimung verschiedene Parameter wichtig sind (Heyse 1995, Offenlegungsschrift 1974, Schieberle 2007).

Neben den erwünschten Effekten der Nährstoffbildung, wie diese aktuell (Schieberle 2007) am Beispiel von Weizen gezeigt wurden, entwickeln sich in dem feucht-warmen Klima der Keimung Mikroben. Zudem stellt das Keimgut mit seinen Abbauvorgängen ein gutes Nährmedium für aerobe Bakterien dar. Mit einer Zunahme von aeroben, mesophilen Gesamtkeimen während der zweitägigen Keimung von  $7,0 \times 10^4$  KBE/g auf  $1,3 \times 10^8$  ist zu rechnen (Mühlhäuser 2003). Pathogene Keime sind wenn, dann nur in relativ unbedenklichen Mengen nachgewiesen worden; ihr Vorhandensein ist jedoch rohstoff- und verfahrensabhängig nicht vollständig auszuschließen. Einen primären Einfluss auf die Teilungsrate der Bakterien nehmen die Keimtemperatur und die Keimdauer, wobei hier die Temperatur besonders hervorzuheben ist. So konnte bei einer Erhöhung der Keimtemperatur eine deutliche Intensivierung der Bakterienvermehrung gezeigt werden. Enterokokken konnten bei Temperaturen von 17 °C bzw. 21 °C nur sporadisch nachgewiesen werden, während bei einer Temperatur von 25 °C deutlich erhöhte Werte vorlagen. Da sich auch sporenbildende Bakterien bei 25 °C deutlich vermehren, empfehlen Merx u. a., Keimtemperaturen über 21 °C zu vermeiden. Auch in Bezug auf die Synthese von Thiamin, Riboflavin und  $\alpha$ -Amylase sind keine höheren Temperaturen erforderlich (Merx u. a. 1994). Durch das Übergießen mit heißem Wasser ist eine Reduzierung des Gesamtkeimgehalts zu erreichen. Allerdings werden dabei Vitamine, insbesondere Vitamin C und wasserlösliche Mineralstoffe, in Mitleidenschaft gezogen. Dazu wurden Versuche bei Temperaturen von 60 °C und 90 °C durchgeführt. Auch die Dauer des Eintauchens wurde berücksichtigt. Dabei wurde eine Probe mit 90 °C heißem Wasser übergossen, zwei weitere Proben wurden 2 Minuten bei 60 °C bzw. bei 90 °C eingetaucht und schließlich noch mal zwei Proben 5 Minuten bei 60 °C bzw. 90 °C. Immer konnte jedoch eine Reduktion des Vitamin C-Gehaltes im Gegensatz zur unbehandelten Kontrollprobe festgestellt werden. Da eben eine Verunreinigung des Samens mit pathogenen Keimen auf dem Feld oder bei der Lagerung nicht auszuschließen ist, ist eine Hitzebehandlung empfehlenswert (Harmuth-Hoene und Bognar 1988). Den pH-Wert des Weich- und Spülwassers zu senken, ist ein weiterer Versuch, die mikrobielle Entwicklung einzudämmen. Eingesetzt wurden Genusssäuren, wie Zitronensäure und Essigsäure, und Lactobacillen. Während die Genusssäuren keinen wesentlichen Einfluss zeigten, konnte mit Lactobacillen zwar beispielsweise eine vollständige Unterdrückung der Enterokokkenvermehrung erreicht werden, aber kein absoluter Schutz vor der Vermehrung unerwünschter Mikroorganismen (Merx u. a. 1994). Zu überlegen ist, ob eine Hitzebehandlung überhaupt notwendig ist, da es beim Einsatz von Frischkeimlingen in Backwaren durch den Backprozess zu einer Inaktivierung mikrobieller Keime kommen sollte (Mühlhäuser 2003). Doch dazu sind in der Literatur kaum Hinweise zu finden. Daher soll im vorliegenden Projekt geprüft werden, inwieweit die mikrobielle Belastung des Keimgutes, welches für das Verbacken bestimmt ist, überhaupt relevant ist.

Durch den Einfluss von Feuchtigkeit, Sauerstoff und Wärme wird die Keimung in Gang gesetzt. Dabei werden die normalerweise im Samen ruhenden Stoffwechselvorgänge aktiviert: Die Nährstoffe werden enzymatisch ab- und umgebaut oder eben auch ganz neu gebildet. Im Spross dienen diese dem Zellaufbau und dem Wachstum (Dohmen 1987). Insbesondere kommt es zur Bildung und starken Zunahme der Konzentration von Vitaminen. Weiterhin wird durch einen Eiweißumbau die biologische Wertigkeit des Getreideeiweißes verbessert. Gerade die aktuelle Studie von Schieberle bietet hier neue Informationen zu Fولاتen, Aminosäuren und Ballaststoffen bei Weizenkeimlingen (Schieberle 2007). Bereits 1988 wurde herausgefunden, dass die Vitaminzunahme von der Keimdauer abhängt. Von Bedeutung sind die B-Vitamine (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> und B<sub>6</sub>), Vitamin E und ganz besonders Vitamin C. Während des Keimungsprozesses wird Phytinsäure abgebaut, die mit Eiweiß und Mineralstoffen (Calcium, Magnesium und Eisen)

schwerlösliche Komplexe bildet und so die Mineralstoffe für den Körper unzugänglich macht, d. h. durch den Abbau wird die Bioverfügbarkeit der Mineralstoffe verbessert (Harmuth-Hoene und Bogner 1988). Zum Abbau von Phytinsäure konnten Wagner und Kuhn in ihrer Phytat-Studie Ergebnisse erzielen, die belegen, dass der Abbau der Phytinsäure bzw. die Phytaseaktivität durch den Weich- und Keimprozess bei Weizenproben nur wenig beeinflusst wird. Bei Roggenproben wurden allerdings nach dem Keimen nur noch 30 % der Phytinsäure festgestellt (Wagner und Kuhn 1994). Auch Larsson und Sandberg (1993) konnten während des Keimprozesses den Abbau von Phytinsäure nachweisen. Der Anteil des Proteins an der Trockensubstanz nimmt zwar während der Keimung zu, dies liegt aber daran, dass während dieser Zeit Trockenmasse bzw. Kohlenhydrate abgebaut werden. Auch wenn insgesamt das Protein nicht zunimmt, verändert sich doch der prozentuale Anteil der einzelnen Aminosäuren. Besonders hervorzuheben ist die verstärkte Neubildung des Lysins, welches als limitierende Aminosäure gilt. Somit ist von einer verbesserten biologischen Wertigkeit des Weizenproteins auszugehen (Jahn-Deesbach und Schipper 1991). Allerdings beziehen sich diese Ergebnisse auf eine Keimdauer zwischen 84 und 168 Stunden. Keimlinge, die zwischen 3,5 und 7 Tagen gekeimt haben, sind wegen des verstärkten Stärkeabbaus für das Verbacken nicht mehr relevant. Auch in anderen Studien, die kürzere Keimzeiten (1 bis 4 Tage) zugrunde legen, lassen sich Hinweise finden, dass der Anteil des Lysins zunimmt (El-Kader u. a. 1984, Chavan und Kadam 1989). Des Weiteren machten Jahn-Deesbach und Schipper (1991) Versuche zu Licht- und Dunkelkeimung in Bezug auf Verschiebungen in den Anteilen der Proteinfractionen. Unterschiede konnten hierbei nicht festgestellt werden. Auch Merx u. a. konnten keinen Einfluss der Lichtverhältnisse auf Stoffwechselfparameter feststellen. Während des Keimungsprozesses stellten Merx u. a. sinkende Thiamingehalte fest. Im Gegensatz dazu aber steigende  $\alpha$ -Amylase- und Riboflavingehalte, deren Synthese sich durch ein ein- bis zweimaliges tägliches Wässern intensivieren ließ (Merx u. a. 1994). Schieberle zeigt in seinen Untersuchungen, dass die  $\alpha$ -Amylase-Aktivität abhängig ist von der Keimdauer und von der Keimtemperatur. Während im Mehl niedrige Aktivitäten nachgewiesen wurden, konnten nach 72 Stunden schon Werte um das 50-fache festgestellt werden, die bei weiterer Keimdauer bis auf Werte um das 300-fache anstiegen. Die besten Ergebnisse konnte Schieberle bei Temperaturen von 20 °C und die schlechtesten bei 30 °C erzielen. Auch in anderen Studien konnte eine steigende  $\alpha$ -Amylaseaktivität während des Keimprozesses nachgewiesen werden (Wagner und Kuhn 1994, Merx u. a. 1994). Die sich bei der Keimung bildenden Vitamine, insbesondere B-Vitamine und Vitamin C, sind relativ hitzeempfindlich. Der Grad der Zerstörung ist von Temperatur und Dauer des Hitzeeinflusses abhängig (Dohmen 1987). Darüber, ob auch nach dem Backprozess die positiven Eigenschaften der Keimlinge im Endprodukt noch zu finden sind, ist in der Literatur sehr wenig nachzulesen. Auch über die allgemeine Entwicklung der Nährstoffe lassen sich meist nur im Ansatz Hinweise finden. Lediglich Schieberle (2007) liefert aktuelle Ergebnisse zu Fولاتen. Deshalb sollen bei praktischen Keimlings- und Backversuchen Proben auf wertgebende Inhaltsstoffe vor und nach dem Backen untersucht werden.

In ökologischen Bäckereien werden die Keimlinge oft suboptimal mit vorhandenen Gerätschaften der Bäckerei hergestellt. Mangels klarer Anweisungen entwickelt jeder Bäcker seine eigene Herstellungsweise nach Gutdünken, fast immer ohne genauere Prüfung von Hygieneparametern und der tatsächlichen Entwicklung wertgebender Inhaltsstoffe. Die schwankenden Produktqualitäten der Keimlinge führen sowohl zu ungleichen Nährstoffzusammensetzungen als auch zu backtechnischen Schwierigkeiten. Die existierenden backtechnischen Schwierigkeiten können unschwer an den Endprodukten (ballende Krume, Löcher, abgerissene Krume, klitschige Krume, schnelle Verderblichkeit) abgelesen werden. Da das Keimen von Getreidekörnern keine Erfindung der heutigen Zeit ist, sondern gerade in der Brauereipraxis täglich praktiziert wird, kann von der Braumalzherstellung gelernt werden.

Genauso wie beim Mälzen geht es auch beim Herstellen von Keimlingen, die für das Verbacken bestimmt sind, nicht darum, eine neue Pflanze zu entwickeln, sondern unter gesteuerten Bedingungen das Getreide so zu keimen, dass alle nährstoffbezogenen Vorteile entwickelt sind und gleichzeitig gute Backergebnisse erzielt werden können (Heyes 1995). Für optimale Keimergebnisse ist ein gut gereinigtes Getreide nötig, welches frei von Mutterkorn, Fremdsamen und Fusarienbefall ist (Mühlhäuser 2003). Vor dem Keimen soll das Getreide gründlich gewaschen werden und zerbrochene und verfärbte Samen sollen aussortiert werden. Eingeweicht wird über Nacht in der zwei- bis vierfachen Menge an Wasser. Wichtig ist ein regelmäßiges Spülen mit frischem Wasser, damit das Keimgut wieder mit Sauerstoff versorgt wird und das bei der Keimung entstehende CO<sub>2</sub> entweichen kann (Wagner und Kuhn 1994). Eine Weichzeit von 8 Stunden ist ausreichend (Merx u. a. 1994). Als wichtige Parameter für die Keimung werden bei der Malzherstellung die Keimgutfeuchte, die Keimtemperatur, das Sauerstoff-Kohlensäure-Verhältnis im Keimgut und die Keimzeit angegeben. Diese Parameter ermöglichen die Steuerung der Keimung. Um die gewünschten Stoffumsetzungen erreichen zu können, wird ein Feuchtigkeitsniveau von 38 bis 42 % für das Ankeimen empfohlen, welches stufenweise auf einen Endwert von 46 bis 52 % gesteigert werden soll. Für ein günstiges Wachstum sind Temperaturen von 14 bis 18 °C angegeben. Dagegen sollen Temperaturen von über 18 °C zu einer ungleichmäßigen Kornauflösung und Keimlingsentwicklung führen (Heyes 1995). Aus der Literatur sind allerdings Studien bekannt, die Keimversuche bei 17 °C, 21 °C und 25 °C durchgeführt hatten und von keiner ungleichmäßigen Kornauflösung berichten (Merx u. a. 1994). In der Braumalzherstellung wird auf ein ausgewogenes Sauerstoff/Kohlensäure-Verhältnis geachtet. Dazu wird das Gut ständig mit vollständig befeuchteter Luft durchströmt, mit dem Ziel die Haufentemperatur zu regulieren und die Abfuhr von Atmungs-CO<sub>2</sub> zu ermöglichen. Zur Bildung von Endoenzymen ist eine reichliche Sauerstoffzufuhr wichtig (Heyes 1995). Auch Merx u. a. sprechen das für einen gleichmäßigen Keimprozess wichtige Verhältnis von Sauerstoff und Kohlendioxid an. Nach seinen Ergebnissen ist schon beim Weichen der kontinuierliche Gasaustausch wichtig, da die Nassweiche eine verzögerte Entwicklung der Riboflavin- und  $\alpha$ -Amylasesynthese zur Folge hat (Merx u. a. 1994). Schieberle lässt das Getreide, ähnlich wie bei anderen Studien zu lesen ist, zwischen 15 und 192 Stunden keimen (Schieberle 2007). Generell kann zwar der grundsätzliche Weg des Keimens nachgelesen werden, dennoch können die Beschreibungen nur als Anhaltspunkte dienen, da meist im Labormaßstab gearbeitet wurde. Ziel ist es, die bisherigen Erkenntnisse auf die Praxis zu übertragen und weiter zu entwickeln, damit in der Bäckereipraxis optimal im größeren Umfang und in standardisierter Form gearbeitet werden kann.

Beim Verbacken von Getreidekeimlingen ist zu beachten, dass es sich hierbei um Auswuchsgetreide handelt mit seinen typischen backtechnischen Auswirkungen. Besonders wirkt sich der erhöhte Enzymgehalt auf die Verarbeitungsfähigkeit aus. Bei Backversuchen setzte Mühlhäuser (2003) 20 % geflockte Keimlinge (bezogen auf die Gesamtmahlerzeugnisse) ein. Die deutlich erhöhte Enzymatik machte sich beispielsweise durch feuchtere, weichere Teige mit einer verringerten Knettoleranz bemerkbar. Deshalb wird das Zugabe der Keimlinge erst nach zwei Drittel der Knetzeit empfohlen (Mühlhäuser 2003). Eine Abnahme der Teigstärke stellten El-Kader u. a. fest, welche sie auf die Aktivierung der  $\alpha$ -Amylase und der proteolytischen Enzyme zurückführten. Bei ihren Untersuchungen der Brotqualität kamen sie zu den Ergebnissen, dass sich mit Keimen, welche zwei Tage gekeimt haben, die besten Backergebnisse erzielen lassen. Allerdings wurden diese nur zu 5 bis 10 % zugesetzt. Bei höheren Zugaben konnten nur schlechtere Ergebnisse festgestellt werden (El-Kader u. a. 1984). Aufgrund des Stärkeabbaus während der Keimung ist für die Weiterverarbeitung das Beimischen von Schrot oder Mehl wichtig, da ohne spezielle Weiterbehandlung ein Verbacken nicht möglich wäre (Offenlegungsschrift 1974). Für den Einsatz von Keimlingen als

technologisch wirksame Zutat ist es wichtig, in Bezug auf Enzymatik und Wasserhaushalt im Teig und Gebäck, möglichst gleichbleibende Produktqualitäten der Keimlinge zu erzeugen. Erste Hinweise hierzu geben Mühlhäuser (2003) und Schieberle (2007). Beide Autoren prüfen jedoch nicht systematisch den möglichen Einsatz von Keimlingen als technologische Zutat in z. B. Roggenteigen oder Vollkornweizenteigen zur Steuerung der Enzymatik oder der Frischhaltung.

Für einige Produkttypen könnten mögliche technologische Wirkungen der Keimlinge eine hohe Bedeutung für die Haltbarkeit und Sensorik des Endproduktes haben, z. B.:

- neigen insbesondere freigeschobene Vollkornbackwaren zum schnellen Austrocknen (Haltbarkeit, Textureigenschaften),
- werden ökologische Auszugsmehlgebäcke immer öfter mit isolierten Enzymen hergestellt (Rösche, Volumenausbeute, Ausbund, Gärungsverlauf),
- lässt sich die Qualität von Roggen und Roggenmischbrotten aus enzymschwachen Roggenpartien durch Keimlinge (Enzyme) erheblich verbessern (Sensorik und Frischhaltung).

Insgesamt sind zum technologischen Einsatz der Keimlinge bei der Backwarenherstellung noch extrem wenige Kenntnisse vorhanden. Nach Wissensstand der Autoren setzten einige Unternehmen Keimlinge für diese Zwecke ein, jedoch ist keinerlei Schrifttum vorhanden.

Die bisherigen Studien (Mühlhäuser 2003, Schieberle 2007 und Offenlegungsschrift 2004) zeigen erste Trends, bedürfen jedoch einer Überprüfung und Erweiterung sowie einer Übersetzung für die Praxis handwerklicher Betriebe.

Des Weiteren wurden Versuche gemacht, die Mikroorganismenbelastung des gekeimten Getreides zu minimieren, indem beispielsweise Hydrogenperoxid oder verschiedene Chlorverbindungen dem Weich- und Spülwasser zugesetzt wurden (Montville und Schaffner 2004, Piernas und Guiraud 1997). Dabei handelt es sich allerdings um Chemikalien, die im Biobereich nicht eingesetzt werden dürfen. Daher sind diese Ergebnisse für das vorliegende Projekt nicht relevant.

Im Rahmen der Literaturrecherche wurde noch weitere Literatur gesichtet. Diese war allerdings für das zu bearbeitende Thema nicht von Bedeutung und wurde somit nicht erwähnt.

## 3 Arbeitsblock II

### 3.1 Ziele im Arbeitsblock

Statuserhebung in dem Partnerbetrieb zur Herstellung der Keimlinge  
Optimierung der Herstellung von Keimlingen unter Praxisbedingungen

### 3.2 Methoden

#### 3.2.1 Keimbedingungen

Die Quellung und Keimung wurde im Thermoschrank (siehe Abbildung 2) der Firma Aqualytic durchgeführt. Der Keimungsprozess erfolgte bei 10 °C, 12,5 °C, 15 °C und 20 °C und mit den Schütthöhen von 5 cm, 10 cm und 20 cm in Kunststoffboxen (56 x 33 x 25 cm). Die Luft im Thermoschrank wurde mit drei kleinen Ventilatoren im Kopfraum des Thermoschranks umgewälzt. Die Quellung und Keimung erfolgte unter Lichtausschluss. Die Dauer der Quellung (Nassweiche) betrug bei Roggen 20 Stunden und bei Dinkel 15 bzw. 20 Stunden. Nach der Quellzeit wurde das Wasser über ein Sieb abgossen. Der gequollene Roggen wurde anschließend 30 Stunden gekeimt, die Dinkelkörner 30 bzw. 48 Stunden. Nach der Keimzeit wurde das Getreide tiefgefroren und vakuumgefrieretrocknet.



Abbildung 1 Thermoschrank zum Quellen und Keimen des Getreides

Der Temperaturverlauf in der Getreideschüttung während der Keimung wurde mit Thermoelementen gemessen und aufgezeichnet. Bei der Schütthöhe von 5 und 10 cm befand

sich das Thermoelement 2 cm oberhalb des Bodens in der Mitte der Kunststoffbox. Die Temperatur im Getreide mit 20 cm Schütthöhe wurde in zwei verschiedenen Höhen gemessen. Die untere Messung erfolgte wie bei den anderen Schütthöhen in 2 cm oberhalb des Bodens. Die zweite Messstelle wurde in 13,5 cm oberhalb des Bodens eingebaut. Während des Keimprozesses wurde die Temperatur in Abständen von 5 Minuten aufgezeichnet.

### 3.2.2 Probenahme zur mikrobiologischen Untersuchung

Die für die Versuche benötigten Getreideproben wurden mit einem mit Ethanol abgeflamten Löffel entnommen und in sterile Schott-Flaschen überführt. Diese wurden sofort verschlossen und in einer mit Kühllakus ausgestatteten Kühlbox ins mikrobiologische Labor gebracht.

### 3.2.3 Probevorbereitung zur mikrobiologischen Untersuchung

Es wurden von jeder Probe 20 g eingewogen und diese auf 200 g mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Im Anschluss wurde dieses Proben-Wasser-Gemisch mit dem Ultra-Turrax mit autoklaviertem Dispergierstab 20 s mit 20.500 UPM zerkleinert (Homogenisat). Anschließend wurde die Probe in einen sterilen Stomacher-Beutel überführt, welcher aufgrund seines Zwei-Kammer-Aufbaus als Filter fungierte. Mit dem gefilterten Homogenisat konnten dann die Verdünnungsreihen hergestellt werden.

Von jedem Filtrat wurden Verdünnungsreihen hergestellt. Aufgrund der Probenaufarbeitung stellte das Homogenisat bereits die erste Verdünnungsstufe dar ( $10^{-1}$ ). Insgesamt wurden sechs Verdünnungsstufen benötigt ( $10^{-1}$  bis  $10^{-6}$ ). Hierfür wurde aus der ersten Verdünnungsstufe 1 ml entnommen, in ein mit 9 ml Drop-Lösung befülltes Reagenzglas überführt und kräftig vermischt. Dies stellte die zweite Verdünnungsstufe dar, woraus dann die nächste Verdünnung analog zu der beschriebenen Vorgehensweise hergestellt wurde etc. Die mikrobiologischen Untersuchungen erfolgten mit dem Tropfplattenverfahren mit 50  $\mu$ l.

Ausgezählt wurden Abschnitte mit 5 bis 50 Kolonien. Die Berechnung der Gesamtkeimzahl (Keimbildende Einheiten = KBE) erfolgte mit der Formel:

$$\bar{c} = \frac{\sum c}{(n_1 * 1) + (n_2 * 0,1)} * d = \frac{\sum c}{1,1} * d$$

$\bar{c}$ : Anzahl der KBE

$\sum c$ : Summe der Kolonien, welche in den zur Auswertung herangezogenen Verdünnungsstufen ausgezählt wurden

$n_i$ : Anzahl der ausgezählten Nährmedienplatten

d: Faktor der niedrigsten, ausgewerteten Verdünnungsstufe



### 3.2.4 Gesamtkeimzahl und Differenzierung der Keime

Die Gesamtkeimzahl wurde auf Standard 1 Agar bestimmt.

Die Differenzierung der Keime wurde auf folgenden Nährböden durchgeführt:

1. VRBD-Agar - selektiv für Enterobacteriaceae, gezählt werden lilafarbene Kolonien mit mindestens 2 mm Durchmesser.
2. GSP-Agar - selektiv für Pseudomonaden, gezählt werden pinkfarbene Kolonien (Pseudomonaden) welche auf Cytochromoxidase mit einer Blaufärbung reagieren.
3. MRSm-Agar - selektiv für Lactobacillen, gezählt werden cremefarbene Kolonien mit umliegenden Klärungshöfen.
4. CE-Agar - selektiv für Bacillus cereus, gezählt werden matte, flache Kolonien mit rosarotem Untergrund, welche von einem deutlichen Präzipitathof umgeben sind.
5. Baird-Parker-Agar (BP) - selektiv für Staphylokokken und Mikrokokken, gezählt werden schwarze, glänzende Kolonien, die von einem schmalen, weißen Saum und einem Klärungshof umgeben sind.
6. Sabouraud-Agar (SAB) - selektiv für Hefen, gezählt werden kleine, weiße und erhabene Kolonien.

### 3.3 Ergebnisse

Darstellung und Auswertung der messtechnischen Ergebnisse aus der Stuserhebung und den Optimierungsversuchen für die in dem Beispielbetrieb etablierte Herstellungspraxis.

#### 3.3.1 Beschreibung des erreichten qualitativen Status der Keime

In dem Partnerbetrieb wurde zu Beginn des Projektes die Keimung von Roggen und Dinkel im Hinblick auf den Temperaturverlauf während der Keimung untersucht. Das unbehandelte Getreide wurde in Kunststoffwannen mit unterschiedlicher Schütthöhe zwischen 15 cm und 20 cm zwischen zwölf und 20 Stunden mit Wasserüberschuss gequollen, das Wasser abgelassen und anschließend gekeimt. Nach der Quellzeit erreichten der Roggen und der Dinkel eine Schütthöhe zwischen 30 cm und 40 cm, weil das Getreide durch die Wasseraufnahme das Volumen um ca. 100 % vergrößerte. Die Keimzeit des Roggens betrug 32 Stunden und die des Dinkels 44 Stunden. Während dieser Zeit wurde die Temperatur im keimenden Getreide in der Mitte der Getreideschüttung gemessen. Zu Beginn der Keimung wurden Temperaturen zwischen 18 °C und 25 °C gemessen, die durch die Tagestemperatur verursacht wurden. Im keimenden Roggen wie auch im Dinkel stieg die Temperatur am Ende der Keimzeit auf Temperaturen zwischen 41 °C und 48 °C an. Im Rahmen orientierender Versuche wurden die Fallzahl und der Viskositätsverlauf des Getreides im Temperaturprofil gemessen, um den Einfluss der durch Keimung veränderten Aktivität der  $\alpha$ -Amylase zu messen. Das Viskositätsmaximum im Micro Visco-Amylo-Graph war im Vergleich zum ungekeimten Roggen um 73 % und im Dinkel um 80 % geringer. Die Fallzahl lag außerhalb des Messbereichs. Die Messergebnisse ließen daraus schließen, dass die durch die Tagestemperatur ungesteuerten Keimbedingungen zu einer drastischen Veränderung der

Stärkeeigenschaft geführt haben. Die Gesamtkeimzahl des gekeimten Getreides betrug bei Dinkelkeimlingen  $4,9 \times 10^7$  KBE/g und bei Roggenkeimlingen  $5,9 \times 10^7$  KBE/g. Eine Differenzierung der Mikroorganismen wurde nicht durchgeführt. Nach Merx u. a. (1994) sind Temperaturen über 21 °C zu vermeiden, um die Zunahme sporenbildender Bakterien zu reduzieren bzw. zu verhindern.

Die Staturerhebung hat gezeigt, dass die empirisch ermittelten Keimbedingungen zu einer drastischen Veränderung der Stärkeeigenschaft (Aktivität der  $\alpha$ -Amylase) und einem hohen Anstieg der Gesamtkeimzahl führten. Aus backtechnologischer und hygienischer Sicht ist es deshalb angebracht, den Einfluss der Keimbedingungen auf die Veränderung der Backeigenschaft und der Mikroorganismen systematisch zu untersuchen.

### 3.3.2 Versuchsanlage

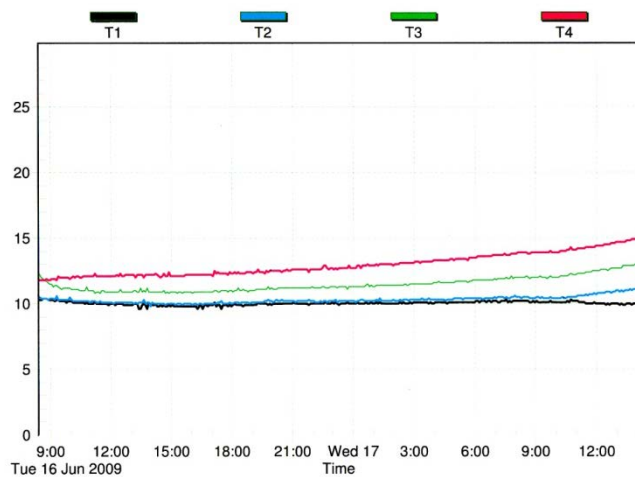
Die Bedingungen zur Herstellung von Keimen sollten entsprechend der Zielsetzung des Forschungsvorhabens in einem Rahmen untersucht werden, der für produzierende Betriebe wirtschaftlich ist und gleichzeitig zu einer Verbesserung der Qualität der Keime im Vergleich zu den praktizierten und sehr unterschiedlichen Keimbedingungen führt. Das Getreide wurde in einem Thermoschrank mit der Temperatur 10,0 °C, 12,5 °C, 15,0 °C und 20,0 °C gequollen und gekeimt. Dadurch wurde gewährleistet, dass durch die Jahreszeit bedingte Schwankungen der Temperatur im Quell- bzw. Keimraum ausgeschlossen waren. Die Quellung und Keimung erfolgte in Kunststoffkisten. Dazu wurde in die jeweilige Kiste so viel Getreide gefüllt und Leitungswasser im Überschuss zugesetzt, dass das Getreide nach der Quellzeit durch Zunahme des Volumens auf die Schütthöhe von 5 cm, 10 cm und 20 cm anstieg. Nach der Quellzeit von 20 Stunden wurde das überschüssige Quellwasser über ein Sieb abgegossen und der Roggen über einen Zeitraum von 30 Stunden gekeimt.

Unter diesen Bedingungen wurde bei jeder der vier Temperaturen der Temperaturverlauf in dem Getreide unterschiedlicher Schütthöhe gemessen. Die Messstelle der Schütthöhe 5 cm und 10 cm war jeweils in der Mitte der Schüttung. In der 20 cm hohen Schüttung wurde die Temperatur in der Mitte und zusätzlich 2 cm über dem Boden gemessen. Zur besseren Lesbarkeit sind im Folgenden Umgebungstemperatur (UT) und Schütthöhe (SH) abgekürzt.

In Vorversuchen wurde festgestellt, dass sich die Temperatur innerhalb der Getreideschüttung während des Wässerns nicht veränderte und der gewählten Temperatur im Thermoschrank entsprach.

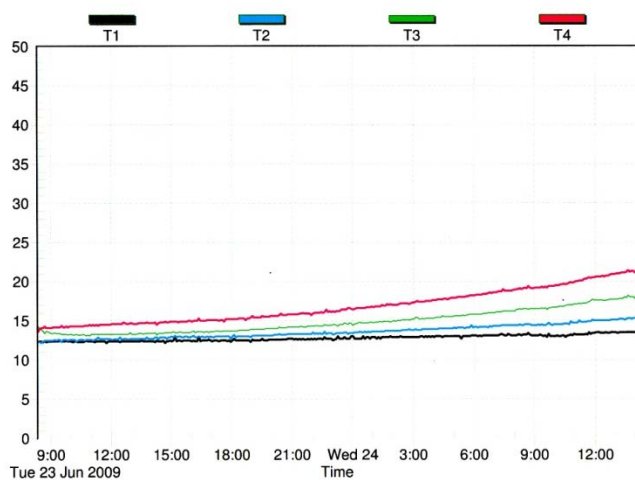
Die in den Abbildungen verwendeten Abkürzungen T1 bis T4 stehen für die jeweiligen Schütthöhen des gequollenen Getreides bzw. die Position des Thermoelements:

- ›T1: Schütthöhe 5 cm;
- ›T2: Schütthöhe 10 cm;
- ›T3: Schütthöhe 20 cm, Mitte;
- ›T4: Schütthöhe 20 cm, 2 cm über dem Boden



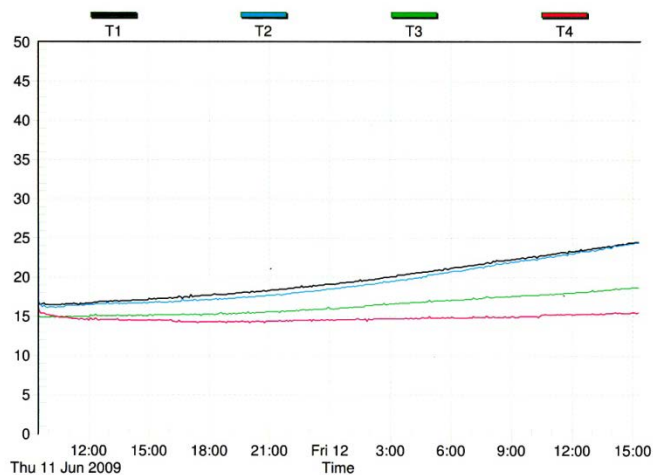
**Abbildung 2 Temperatur in Abhängigkeit der Schütthöhe bei 10 °C Umgebungstemperatur**

Wie die Abbildung 2 zeigt, blieb die Temperatur im Roggen mit der UT 10 °C unabhängig von der SH nahezu konstant (10 bis 11 °C). Eine Abweichung gab es nur bei der SH 20 cm. Hier stieg die Temperatur in der Mitte des Behälters um 1 °C von 12 °C auf 13 °C, während die Temperatur am Boden des Behälters um 3 °C anstieg (von 12 °C auf 15 °C).



**Abbildung 3 Temperatur in Abhängigkeit der Schütthöhe bei 12,5 °C Umgebungstemperatur**

Die UT 12,5 °C führte auch hier bei 5 cm SH zu keiner Temperaturzunahme. Bei 10 cm stieg die Temperatur um 2,5 °C und bei 20 cm in der Mitte um 5 °C an, während sie am Boden um 10 °C anstieg (siehe Abbildung 3).

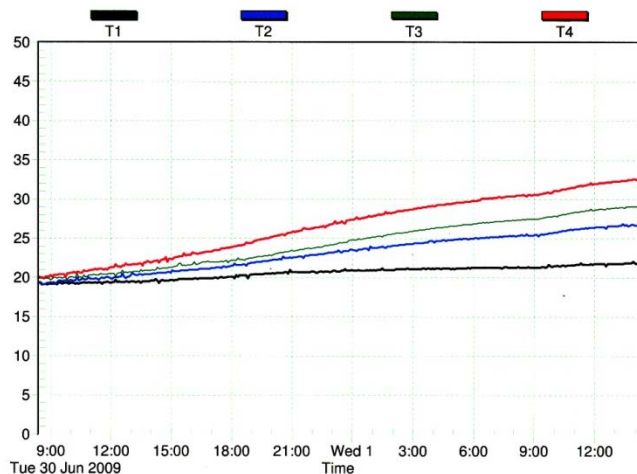


**Abbildung 4 Temperatur in Abhängigkeit der Schütthöhe bei 15 °C Umgebungstemperatur**

In der Abbildung 4 wurden die Temperaturmessstellen vertauscht. Nur für diese Abbildung gilt:

- T1: 20 cm, über dem Boden;
- T2: 20 cm Mitte;
- T3: 10 cm;
- T4: 5 cm.

Die Abbildung zeigt, dass in der SH 5 cm während der Keimzeit die Temperatur nicht anstieg, während sie in der SH 10 cm um 4 °C anstieg und bei 20 cm an beiden Messstellen auf 25 °C angestiegen war.



**Abbildung 5 Temperatur in Abhängigkeit der Schütthöhe bei 20 °C Umgebungstemperatur**

Die UT 20 °C war in diesem Versuch für alle Schütthöhen vermutlich zu hoch, um die durch den Stoffwechsel während der Keimung entstehende Wärme vollständig abzuführen (siehe Abbildung 5). In der SH 5 cm stieg die Temperatur um 3 °C an. In der SH 10 cm stieg die Temperatur auf 28 °C, während in der SH 20 cm in der Mitte die Temperatur von 30 °C und am Boden von 34 °C gemessen wurde.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Anstieg der Temperatur im keimenden Roggen von der Höhe der Getreideschicht und von der UT beeinflusst wurde. Je geringer die SH, umso weniger durch Stoffwechsel gebildete Wärme kann im Getreide gespeichert werden. Das Oberflächen/Volumen-Verhältnis ist hier günstiger als bei höheren Schütthöhen. Eine höhere UT bewirkte auch einen intensiveren Stoffwechsel und somit mehr Wärmeentwicklung. Die Temperatur während der Keimung beeinflusst neben der Stoffwechselaktivität auch die Mikroflora im Getreide.

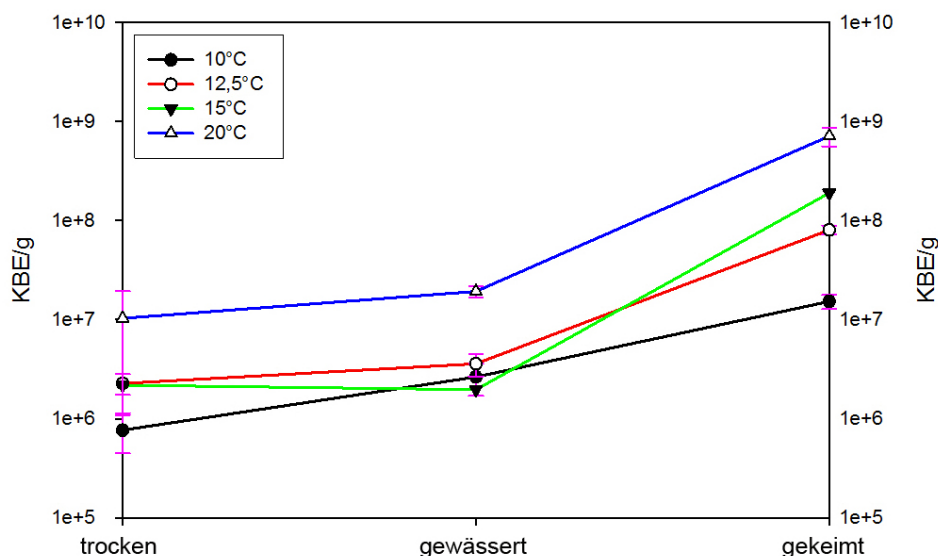
Eine umfassende mikrobiologische Untersuchung des gequollenen und gekeimten Getreides wurde nur mit Roggen durchgeführt. In Abhängigkeit der Anbau- und Lagerbedingungen von Getreide können die Keimzahl und die Keimflora sehr unterschiedlich sein. Von besonderem Interesse war die Zunahme der Gesamtkeimzahl in Abhängigkeit der Keimbedingung. Deshalb wurde von jeder Keimbedingung eine Roggenprobe auf ihren Gesamtkeimgehalt untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Anfangskeimzahl von unbehandeltem Roggen in Abhängigkeit der UT schwankte. Während bei 10 °C UT  $7,66 \times 10^5$  keimbildende Einheiten (KBE) ermittelt wurden, stiegen die KBE bei 20 °C auf  $1,03 \times 10^7$  an. Dies entsprach einer Zunahme von ca. 1,25 Dekaden.

Durch die Quellung nahmen die KBE weiter zu. Während bei 10 °C ein Wachstum auf 344 % im Vergleich zum unbehandelten Roggen festgestellt wurde, waren es bei den höheren Temperaturen Zunahmen von 158 % bei 12,5 °C, 90 % bei 15 °C und 187 % bei 20 °C.

Die Keimung des Roggens führte in Abhängigkeit der Temperatur in der Getreideschüttung zu einer weiteren starken Zunahme der Gesamtkeimzahl. Im Vergleich zum unbehandelten Roggen stiegen die Keimzahlen auf 1.985 % bis 8.669 %.

Während beim Wässern bei den niedrigen Temperaturen ein stärkeres Keimwachstum auftrat, veränderte sich der Keimgehalt während des Keimes umgekehrt. Hier war das Wachstum bei höheren Temperaturen stärker als bei niedrigen Temperaturen. Die Abbildung 6 zeigt die Keimzahlentwicklung in Roggen mit der SH 5 cm vor und nach der Quellung und nach der Keimzeit in Abhängigkeit der UT.



**Abbildung 6 Keimzahlentwicklung bei 5 cm Schütthöhe und verschiedenen Temperaturen**

Die Keimzahlen bzw. die prozentuale Zunahme in Abhängigkeit der Temperatur der SH 5 cm zeigt die Tabelle 1.

**Tabelle 1 Mittelwerte, Standardabweichungen und prozentuales Keimwachstum bei 5 cm Schütthöhe**

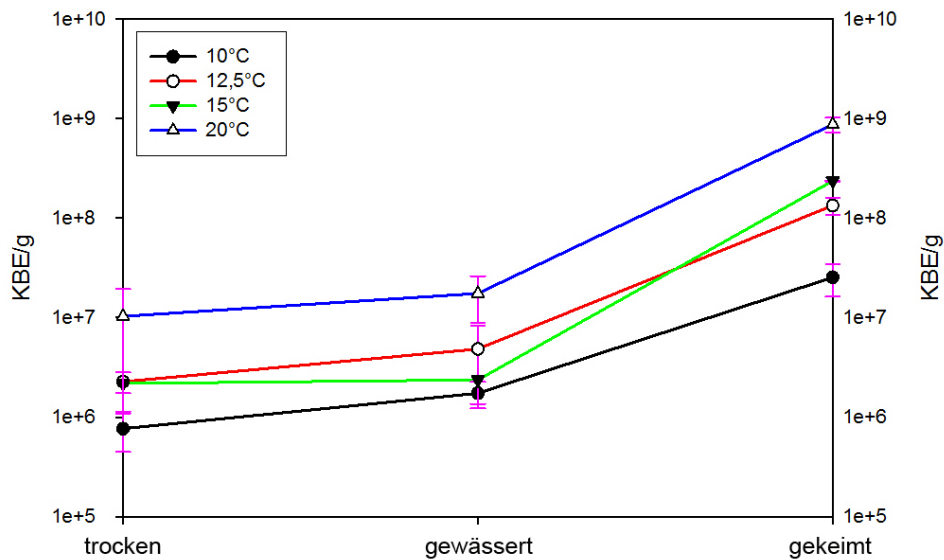
	10°C		12,5°C		15°C		20°C	
	Mittelwert	St.abw.	Mittelwert	St.abw.	Mittelwert	St.abw.	Mittelwert	St.abw.
<b>trocken</b>	7,66E+05	3,17E+05	2,27E+06	5,37E+05	2,18E+06	0,00E+00	1,03E+07	9,15E+06
<b>gequollen</b>	2,64E+06	9,41E+05	3,58E+06	9,01E+05	1,96E+06	0,00E+00	1,92E+07	2,42E+06
<b>gekeimt</b>	1,52E+07	2,42E+06	8,00E+07	8,43E+06	1,89E+08	0,00E+00	7,10E+08	1,50E+08

	trocken	gewässert	gekeimt
	Keimwachstum in %	Keimwachstum in %	Keimwachstum in %
<b>10 °C</b>	100	344,22	1.985,63
<b>12,5 °C</b>	100	158,06	3.532,01
<b>15 °C</b>	100	89,91	8.669,72
<b>20 °C</b>	100	186,77	6.906,61

	Keimzahl in %
<b>10 °C</b>	100,00
<b>12,5 °C</b>	295,89
<b>15 °C</b>	284,78
<b>20 °C</b>	1.342,91

Auch bei 10 cm SH (Abbildung 7) war die Entwicklung der Keimzahl ähnlich der bei SH 5 cm. Nach der Quellung konnte auch ein unterschiedlicher Anstieg der Keimzahlen beobachtet werden. Während bei 10 °C ein Wachstum auf 226 % festgestellt wurde, waren es bei den höheren Temperaturen Zunahmen auf 212 % bei 12,5 °C, 108 % bei 15 °C und 170 % bei 20 °C.

Die Gesamtkeimzahl im gekeimten Roggen zeigte unter allen Bedingungen eine größere Zunahme durch das Keimen als durch die Quellung. Bezogen auf den Keimgehalt im unbehandelten Roggen stiegen die Keimzahlen zwischen 3.305 % und 10.800 %. Auch bei der SH 10 cm war zu beobachten, dass nach dem Quellen bei niedrigen Temperaturen ein höheres Keimwachstum auftrat und beim Keimen die höheren Temperaturen ein größeres Wachstum bewirkten.



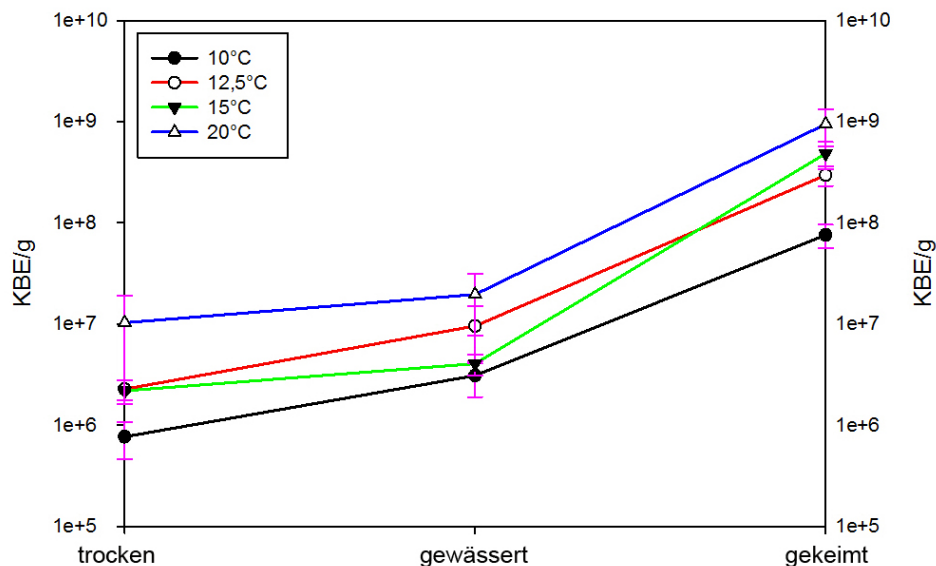
**Abbildung 7 Keimzahlentwicklung bei 10 cm Schütthöhe und verschiedenen Umgebungstemperaturen**

In der Tabelle 2 sind die Keimzahlen bzw. die prozentuale Zunahme in Abhängigkeit der Temperatur der SH 10 cm wiedergegeben.

**Tabelle 2 Mittelwerte, Standardabweichungen und prozentuales Keimwachstum bei 10 cm Schütthöhe**

	10°C		12,5°C		15°C		20°C	
	Mittelwert	St.abw.	Mittelwert	St.abw.	Mittelwert	St.abw.	Mittelwert	St.abw.
<b>trocken</b>	7,66E+05	3,17E+05	2,27E+06	5,37E+05	2,18E+06	0,00E+00	1,03E+07	9,15E+06
<b>gequollen</b>	1,74E+06	5,14E+05	4,82E+06	3,46E+06	2,36E+06	0,00E+00	1,75E+07	8,60E+06
<b>gekeimt</b>	2,53E+07	9,12E+06	1,33E+08	2,60E+07	2,36E+08	2,89E+06	8,70E+08	1,44E+08

	trocken	gewässert	gekeimt
	Keimwachstum in %	Keimwachstum in %	Keimwachstum in %
<b>10 °C</b>	100	226,65	3.305,03
<b>12,5 °C</b>	100	212,80	5.887,42
<b>15 °C</b>	100	108,26	10.802,75
<b>20 °C</b>	100	169,75	8.463,04



**Abbildung 8 Keimzahlentwicklung bei 20 cm Schütthöhe und verschiedenen Umgebungstemperaturen**

Die Abbildung 8 zeigt, dass die Keimzahlentwicklung des Roggens mit 20 cm SH einen ähnlichen Verlauf hatte wie bei den oben diskutierten Temperaturen. Es fällt auf, dass der Anstieg der Gesamtkeimzahl größer war als bei den Schütthöhen 5 cm und 10 cm (Abbildung 6 und Abbildung 7). Im gequollenen Roggen wurde eine unterschiedliche Zunahme der Keimzahlen beobachtet. Während bei 10 °C ein Wachstum auf 404 % verzeichnet werden konnte, waren es bei den höheren Temperaturen Zunahmen auf 421 % bei 12,5 °C, 186 % bei 15 °C und 121 % bei 20 °C.

Im gekeimten Roggen mit der SH 20 cm wurde unter den Versuchsbedingungen der größte Zuwachs der Keimzahl in Bezug auf die Keimzahl im unbehandelten Roggen festgestellt. Sie stieg zwischen 9.176 % und 22.133 % an.

Nach dem Quellen wurde in der Getreideschüttung mit 20 cm unabhängig von der UT ein größer Anstieg der Keimzahl festgestellt als bei den SH 5 cm und 10 cm. Der Grund dafür kann in der in dieser SH immer höheren Temperatur in der Schüttung im Vergleich zu geringeren SH gesehen werden. Das zeigt auch der Vergleich der Messwerte in der Tabelle 1 und Tabelle 2 mit der Tabelle 3.



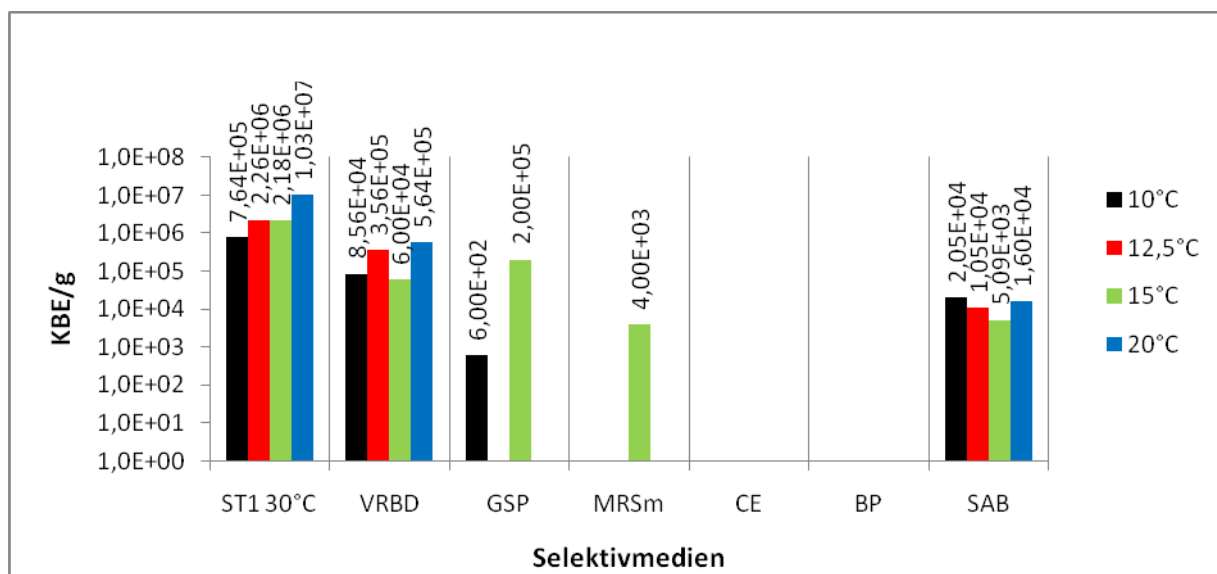
**Tabelle 3 Mittelwerte, Standardabweichungen und prozentuales Keimwachstum bei 20 cm Schütthöhe**

	10°C		12,5°C		15°C		20°C	
	Mittelwert	St.abw.	Mittelwert	St.abw.	Mittelwert	St.abw.	Mittelwert	St.abw.
<b>trocken</b>	7,66E+05	3,01E+05	2,27E+06	5,09E+05	2,18E+06	0,00E+00	1,03E+07	8,68E+06
<b>gequollen</b>	3,09E+06	1,19E+06	9,53E+06	5,45E+06	4,05E+06	9,48E+05	1,96E+07	1,19E+07
<b>gekeimt</b>	7,57E+07	1,98E+07	2,96E+08	6,42E+07	4,83E+08	1,46E+08	9,43E+08	3,76E+08

	trocken	gewässert	gekeimt
	Keimwachstum in %	Keimwachstum in %	Keimwachstum in %
<b>10 °C</b>	100	403,66	9.893,32
<b>12,5 °C</b>	100	420,53	13.046,36
<b>15 °C</b>	100	185,55	22.133,03
<b>20 °C</b>	100	190,32	9.176,39

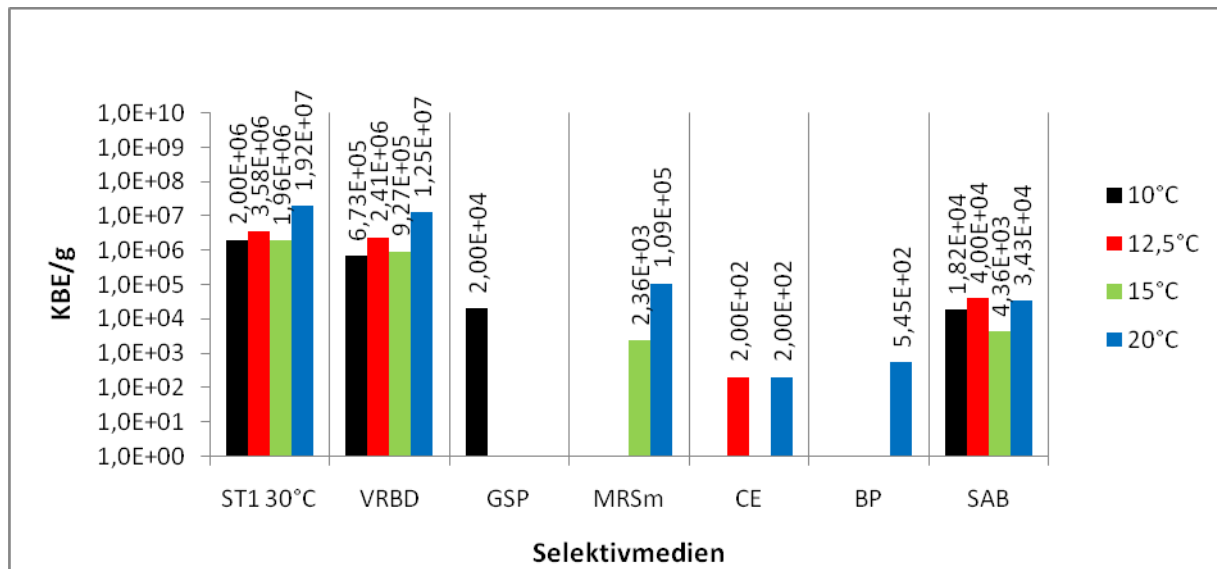
Neben der Gesamtkeimzahl war es auch von Interesse, eine Differenzierung der Mikroorganismen durchzuführen, um auch dadurch die optimalen Bedingungen der Keimung von Getreide festzulegen. Dazu wurden folgende Selektivmedien eingesetzt:

- ›VRBD-Agar - selektiv für Enterobacteriaceae,
- ›GSP-Agar - selektiv für Pseudomonaden,
- ›MRSm-Agar - selektiv für Lactobacillen,
- ›CE-Agar - selektiv für Bacillus cereus,
- ›Baird-Parker-Agar (BP) - selektiv für Staphylokokken und Mikrokokken,
- ›Sabouraud-Agar (SAB) - selektiv für Hefen.



**Abbildung 9 Keimzahlen des unbehandelten Roggens auf Selektivmedien**

Die Messwerte in der Abbildung 9 zeigen, dass die Keimzahlbelastung des trockenen Roggens innerhalb einer Zehnerpotenz schwankte, wobei es eine Zunahme mit steigender Temperatur gab. Einzig auf den GSP-Platten (Pseudomonaden) war ein Unterschied von drei Dekaden zwischen 10 °C und 15 °C festzustellen. Auf MRSm (Lactobacillen) konnte nur bei 15 °C ein Wachstum festgestellt werden. CE-Agar (Bacillus cereus) und Baird-Parker-Agar (Staphylokokken/Mikrokokken) waren bei keiner Temperatur bewachsen.



**Abbildung 10 Keimzahlen des gequollenen Roggens auf Selektivmedien, 5 cm Schütthöhe**

Die Abbildung 10 zeigt, dass nach der Quellung in der SH 5 cm auf dem Nährboden ST1- und VRBD-Agar die Keimzahl bei allen Temperaturen ähnlich hoch war, bei 20 °C aber höher lag. Hier wurde ein Unterschied von einer Zehnerpotenz festgestellt. Der GSP-Agar zeigte nur bei 10 °C ein erkennbares Wachstum. Auf MRSm-Agar war es nur mit 15 °C und 20 °C UT zu einem Keimwachstum gekommen, welches bei 20 °C schon zwei Zehnerpotenzen größer war. Auf den Cereus-Platten wurde nur bei 12,5 °C und 20 °C Keimwachstum nachgewiesen. Auf den BP-Platten traten nur bei 20 °C Kolonien auf. Auf den SAB-Platten kam es bei allen Temperaturen zu einem Wachstum, jedoch mit einer Schwankungsbreite von knapp einer Zehnerpotenz.

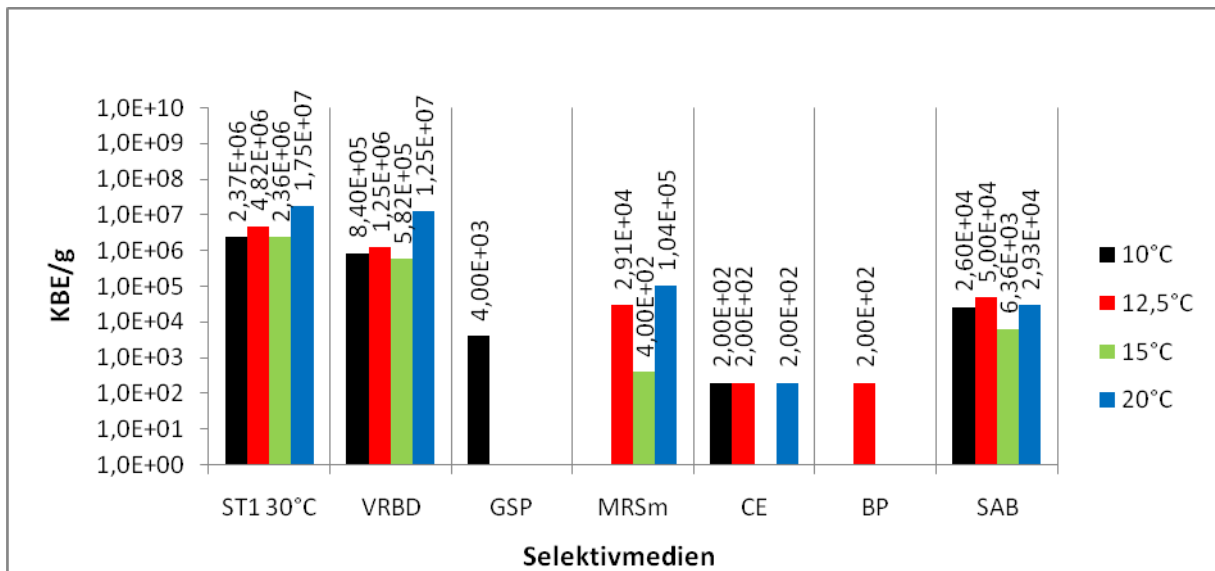


Abbildung 11 Keimzahlen des gequollenen Roggens auf Selektivmedien, 10 cm Schütthöhe

Die Gesamtkeimzahl und die Keimzahl auf Selektivmedien nach der Quellung zeigten, dass mit steigender Temperatur die Keimzahl fast immer zunahm. Eine Ausnahme bilden hierbei die Keimzahlen der Versuche bei 15 °C UT (Abbildung 11). Auf den GSP-Medien wurden nur bei 10 °C Kolonien nachgewiesen. Die MRSm-Medien zeigten erst ab 12,5 °C Koloniebildungen, wobei der Wert bei 15 °C zwei bis drei Zehnerpotenzen geringer war, als bei 12,5 °C und 20 °C. Auf dem CE-Agar zeigte sich ein einheitliches Wachstum bei allen Temperaturen, mit Ausnahme der 15 °C. Auf BP war nur bei 12,5 °C Keimwachstum nachweisbar. Auf den SAB-Platten waren relativ einheitliche Ergebnisse zu verzeichnen. Eine Ausnahme bildeten hier wieder die Keimzahlen der Versuche mit 15 °C.

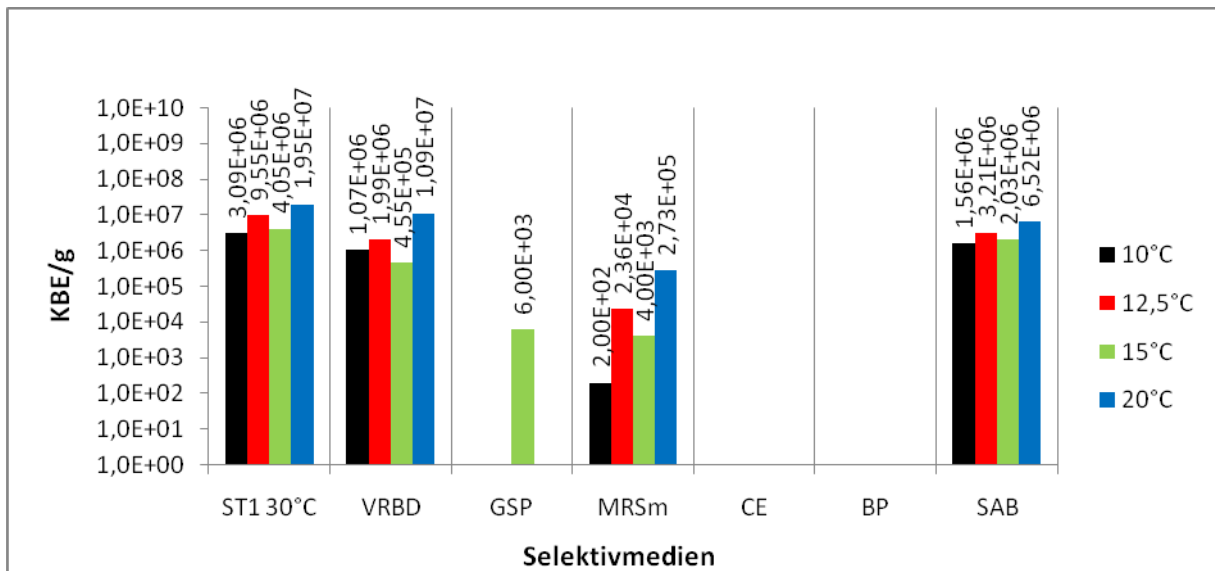


Abbildung 12 Keimzahlen des gequollenen Roggens auf Selektivmedien, 20 cm Schichthöhe

Der Vergleich der Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigt, dass durch die doppelte SH auch die Keimzahlen auf den jeweiligen Selektivmedien anstiegen. Die höhere Temperatur bewirkte bei

fast allen Keimen eine verstärkte Vermehrung. Auf CE- und BP-Agar konnte in dieser SH kein Wachstum nachgewiesen werden.

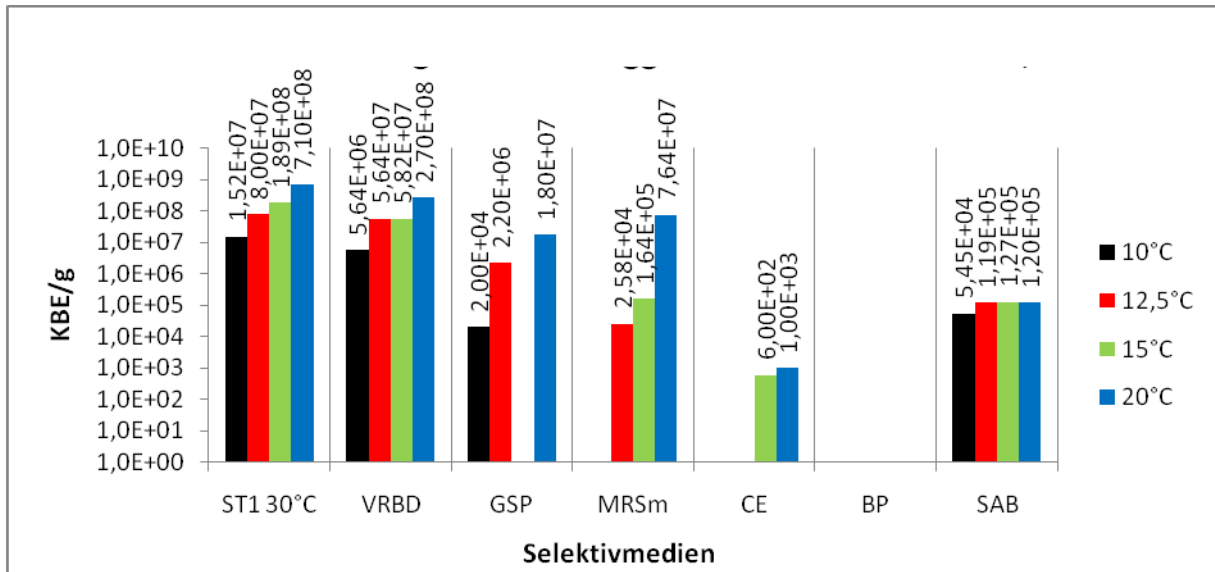


Abbildung 13 Keimzahlen des gekeimten Roggens auf Selektivmedien, 5 cm Schütthöhe

Die Keimzeit des Roggens betrug bei allen Versuchen 30 Stunden, die in Abhängigkeit der UT zu einer Veränderung der Keimzahl führte.

In dem Keimversuch mit 5 cm SH nahm die Gesamtkeimzahl im Vergleich zum gequollenen Roggen um eine Zehnerpotenz zu, wie die Keimzahlen auf dem ST1-Agar zeigen.

In den Getreideschüttungen mit 5 cm SH wurde nach der Keimung auf dem GSP bei 15 °C kein Wachstum festgestellt (siehe Abbildung 13). Auf dem MRSm kam es mit der UT 10 °C ebenfalls nicht zum Keimwachstum. Auch auf CE-Agar konnte bei 10 °C und bei 12,5 °C keine Koloniebildung festgestellt werden. Auf Baird-Parker wurde kein Wachstum nachgewiesen.

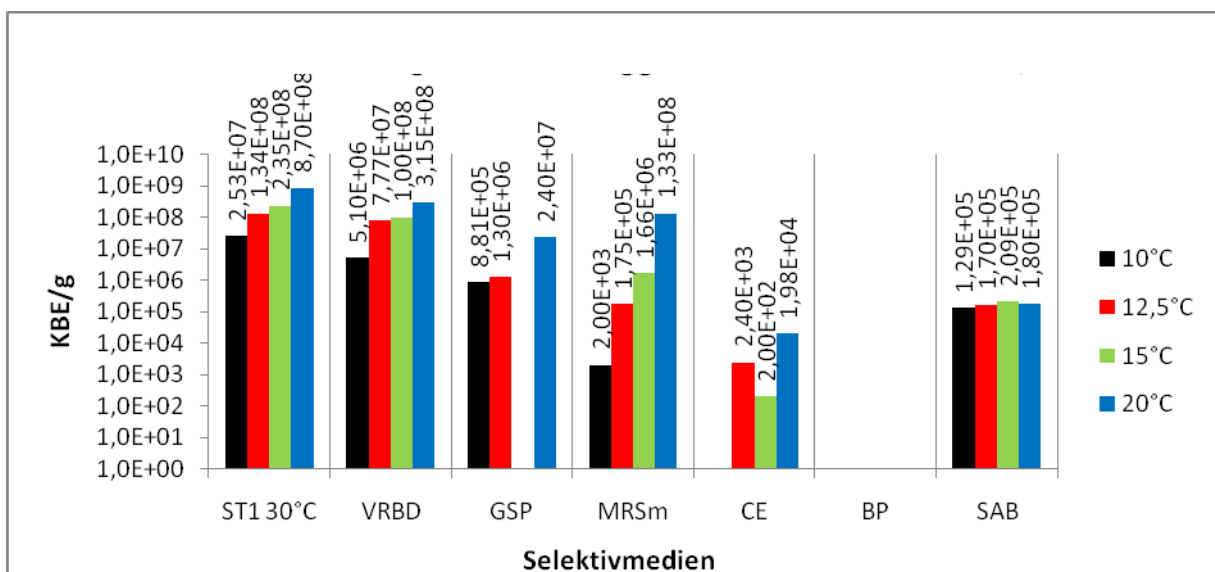
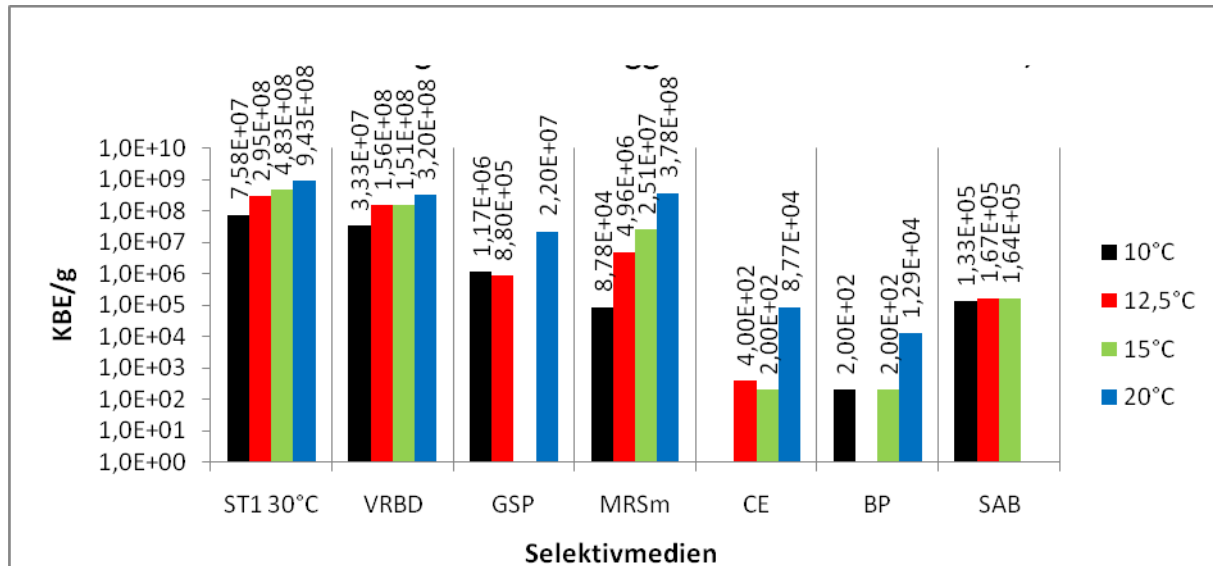


Abbildung 14 Keimzahlen des gekeimten Roggens auf Selektivmedien, 10 cm Schütthöhe

Die Abbildung 14 zeigt die differenzierten Keimzahlen des Keimversuchs mit 10 cm Schütthöhe. Die Zahlenwerte zeigen, dass die Höhe der KBE/g mit steigender Temperatur anstieg. Während die Keimzahl auf den ST1-Medien um 1,5 Zehnerpotenzen zunahm, waren es z. B. auf den MRSm-Medien etwa fünf Dekaden. Die Enterobacteriaceae auf den VRBD-Platten zeigten einen Anstieg von knapp zwei Zehnerpotenzen. Die Anzahl der Hefen blieb bei allen Temperaturen annähernd gleich. Staphylokokken waren bei keiner Temperatur nachweisbar.



**Abbildung 15 Keimzahlen des gekeimten Roggens auf Selektivmedien, 20 cm Schütthöhe**

Die Keimbelastung des gekeimten Roggens mit der SH 20 cm zeigte einen ähnlichen Verlauf wie die der SH 5 cm und 10 cm (siehe Abbildung 15). Während die Keimzahlen abhängig von der Temperatur um ca. eine Dekade anstiegen (ST1, VRBD und GSP), stiegen sie bei den Lactobacillen um ca. 3,5 Dekaden. *Bacillus cereus* zeigte einen Wachstumssprung von ca. 2,5 Zehnerpotenzen, während *Staphylococcus aureus* einen Sprung von knapp 2 Dekaden machte. Lediglich die Hefen blieben über alle Temperaturen mit der Keimzahl nahezu stabil.

Die im Rahmen des Forschungsprojektes ermittelten Gesamtkeimzahlen und Keimzahlen für einzelne Spezies beziehen sich ausschließlich auf das untersuchte Getreide. Je nach Belastung des Ackerbodens mit Mikroorganismen, Düngung und Lagerung des Getreides können die Keimzahl und die Arten der Spezies unterschiedlich sein. Die Ergebnisse in diesem Bericht zeigen nur die Entwicklung der Gesamtkeimzahl bzw. der selektierten Mikroorganismen des in dem Projekt verarbeiteten Roggens in Abhängigkeit der Keimbedingungen.

## 4 Arbeitsblock III

### 4.1 Ziele im Arbeitsblock

Optimierte Herstellungspraxis von Sprossenbroten (Essener Broten)

### 4.2 Material und Methoden

Zunächst findet eine Stuserhebung an den im Partnerbetrieb hergestellten Essener Broten mittels der unter 2. vorgestellten Untersuchungsparameter (ohne Technologie zuzüglich Sensorik) statt (zwei Produkte mit je einer Wiederholung).

Aufgrund der Ergebnisse der Stuserhebung wird ein Backversuchsprogramm zur Optimierung der Herstellung erarbeitet und festgelegt. Hierbei wird von sechs Entwicklungsstufen (Backversuchen) mit je einer Wiederholung ausgegangen. Ziel ist es, bei möglichst optimalen sensorischen Eigenschaften möglichst gute ernährungsphysiologische Werte zu erhalten. Die Versuchsprodukte werden sensorisch nach DLG-Schema, mittels Lagertest einschließlich Texturanalyse und Wassergehalt auf Haltbarkeit und analytisch auf ernährungsphysiologische Faktoren und Mikrobiologie untersucht (d.h. zwölf Proben sind zu untersuchen).

#### 4.2.1 Material

- › Roggen (Brodowin)
- › Dinkel „Kulmer Rotkorn“
- › Weizenmehl Type 550
- › Roggenmehl Type 1150
- › Roggenvollkornmehl
- › Weizenvollkornmehl
- › Backferment
- › Hefe

#### 4.2.2 Methoden

##### Keimbedingungen

Die Quellung und Keimung wurde im Thermostatschrank der Firma Aqualytic durchgeführt. Der Keimungsprozess erfolgte bei 10 °C, 12,5 °C, 15 °C und 20 °C und bei den Schütthöhen von 5 cm, 10 cm und 20 cm in Kunststoffboxen (56 x 33 x 25 cm). Die Luft im Thermostatschrank wurde mittels drei kleiner Ventilatoren im Kopfraum umgewälzt. Die Quellung und Keimung erfolgte unter Lichtausschluss. Die Quellzeit betrug bei Roggen 20 Stunden und bei Dinkel 15 bzw. 20 Stunden. Nach der Quellzeit wurde das Wasser über ein Sieb abgossen. Die gequollenen Roggenkörner wurden darauf 30 Stunden gekeimt, die Dinkelkörner 30 bzw. 48

Stunden. Nach der Keimzeit wurde das Getreide tiefgefroren und für weitere Untersuchungen zu einem späteren Zeitpunkt vakuumgefriergetrocknet.

Der Temperaturverlauf während der Keimung wurde mit Thermoelementen gemessen. Bei der Schütthöhe von 5 und 10 cm befand sich das Thermoelement 2 cm oberhalb des Bodens in der Mitte der Kunststoffbox. Die Temperatur der 20 cm Schütthöhe wurde in zwei verschiedenen Höhen gemessen. Die untere Messung erfolgte wie bei den anderen Schütthöhen in 2 cm oberhalb des Bodens. Die zweite Messstelle wurde in 13,5 cm oberhalb des Bodens eingebaut. Während des Keimprozesses wurde die Temperatur in Abständen von 5 Minuten aufgezeichnet.

### **Bestimmung des Sauerstoffgehalts**

Der Einfluss der verschiedenen Keimbedingungen auf den Sauerstoffverbrauch des keimenden Getreides wurde bei der Schütthöhe von 20 cm in der Höhe von 3,5 cm vom Boden der Kunststoffbox mit einem digitalen Oxy-Meter (Firma Griesinger) jede Minute gemessen und aufgezeichnet.

### **Vermahlung des Getreides**

Das Getreide wurde nach der Vakuumgefrieretrocknung mit der Zentrifugalmühle Z 1000 (Firma Retsch) mit Siebeinsätzen zwischen 1,0 mm und 0,5 mm bzw. 0,2 mm vermahlen.

### **Bestimmung der Fallzahl (nach Perten)**

Die Bestimmung der Fallzahl wurde nach dem ICC-Standard 107 durchgeführt.

Abweichend davon wurde zur genaueren Differenzierung der Enzymaktivität Roggenmehl Type 1150 mit 5 % und 10 % gekeimtem Getreide gemischt und dann die Fallzahl der Mehlmischung bestimmt.

### **Bestimmung der Viskosität (Micro Visco-Amylo-Graph)**

Der Viskositätsverlauf des gekeimten Getreides wurde bei steigender Temperatur mit dem Micro Visco-Amylo-Graph (MVAG, Firma Brabender) gemessen. Dazu wurden 12,00 g Getreide-TS (vermahlen) in den Messbecher des MVAG eingewogen und mit vollionisiertem Wasser auf 100 g aufgefüllt, die Temperatur wurde von 30 °C mit 3 °C/Minute auf 95 °C erhöht und die Viskosität gemessen.

### **Bestimmung des Lysingehalts**

Die Bestimmung des Lysingehalts erfolgte nach saurer Hydrolyse mit einem HPLC.

### **Bestimmung des Vitamingehalts B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub>**

Die Bestimmung des Gehalts an Vitamin B<sub>1</sub> erfolgte mit der Methode DIN EN 14122.2003 und des Gehalts an Vitamin B<sub>2</sub> nach DIN EN 14152.2003.

## **Bestimmung des Folsäuregehalts**

Die Bestimmung der Folsäure erfolgte nach dem ELISA (Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay) Prinzip. Dazu wird die Folsäure mit Hühner-Pankreatin aus dem vermahlenden Probenmaterial freigesetzt. Auf den zur fotometrischen Bestimmung benutzten Mikrotiterplatten ist *Lactobacillus rhamnosus* angelagert, der in Abhängigkeit der Folsäurekonzentration wächst und dadurch eine konzentrationsabhängige Trübung bewirkt, die im Fotometer bei 610 bis 630 nm gemessen wird. Zur Bestimmung wurde das VitaFast Folsäure Testkit (Art. Nr.: P1001) der Firma R-Biopharm eingesetzt.

## **Bestimmung der Proteinlöslichkeit**

Die wasserlöslichen Proteine im gekeimten Getreide wurden indirekt über die optische Dichte einer Suspension mittels Fotometer bestimmt.

Dazu wurden aus jeder Probe 5 g Getreide-TS (vermahlen) in einen Zentrifugenbecher eingewogen und mit 40 g destilliertem Wasser suspendiert. Diese wurde dann mithilfe eines Magnetrührers und eines Magnetrührstäbchens eine Stunde gerührt. Das Magnetrührstäbchen wurde danach entfernt und die daran haftenden Rückstände mit 5 g destilliertem Wasser zurück in die Suspension gespült. Anschließend wurde die Probe 30 Minuten bei 3.246 g zentrifugiert und anschließend der Überstand abdekantiert. Dieser wurde nochmals 15 Minuten bei 3.246 g zentrifugiert.

0,5 ml des Überstands wurden mit 0,5 ml der vorbereiteten Ninhydrinreagenz (3 g Ninhydrin in 100 ml Ethanol 99 %ig, jeweils frisch hergestellt) und 9 ml Ethanol (99 %ig) in ein Reagenzglas mit Stopfen pipettiert und 1 bis 2 Sekunden mithilfe eines Reagenzglasrüttlers vermischt. Das Reagenzglas mit der Probe wurde dann 15 Minuten in einem Wasserbad mit 60 °C temperiert und danach 5 Minuten wassergekühlt.

Die blaugefärbte Probe wurde über einen Faltenfilter filtriert, wobei die ersten ml verworfen wurden. Das Filtrat wurde in eine Küvette gefüllt und sofort bei  $\lambda=525$  nm gegen destilliertem Wasser gemessen. Die Extinktion wird vom Detektor in einem dimensionslosen Zahlenwert ausgedrückt.

Die Methode wurde jeweils als Doppelbestimmung durchgeführt.

## **Backversuch Dinkel**

Die Backversuche wurden mit Zutaten und Dinkel-Backferment in dem Partnerbetrieb durchgeführt.

Die gekeimten Dinkelkörner wurden mit einer Flockiermaschine geflockt und anschließend zur Vorteigherstellung mit Dinkel-Backferment vermengt. Dieser wurde für 8 Stunden in einen temperierten Gärraum (ca. 30 °C) gegeben. Anschließend wurden die restlichen Zutaten zugegeben und der Teig für ca. 30 Minuten mit einem Spiralknetter bei langsamer Knetstufe zu einer homogenen Masse verarbeitet. Der Teig wurde dann in Kästen gefüllt und nach einer kurzen Abstezeit gebacken.

Es wurden jeweils drei Brote (Dreifachbestimmung) mit einem Nettogewicht von ca. 600 g hergestellt.



## Bestimmung der Krumenfestigkeit

Die Bestimmung der Krumenfestigkeit wurde mit dem Texture-Analyser durchgeführt. Dazu wurde eine 26 mm dicke Brotscheibe geschnitten auf die Probenfläche des Texture-Analyzers gelegt. Die Messung erfolgte mit einem runden Hartgummistempel mit dem Durchmesser von 24 mm.

Die Messung erfolgte unter den Bedingungen:

- › Geschwindigkeit vor: 2,0 mm/s
- › Geschwindigkeit Test: 0,5 mm/s
- › Rückgeschwindigkeit: 2,0 mm/s
- › Penetrationstiefe: 5,0 mm

Die Kraft für die Penetration wird in Newton ( N ) angegeben.  
Aus jeder Doppelbestimmung wurde der Mittelwert errechnet.

### 4.3 Ergebnisse

In dem folgenden Abschnitt wird die Umgebungstemperatur (UT) auch mit der Bezeichnung Keimtemperatur beschrieben. Mit beiden Bezeichnungen ist die Temperatur in der Umgebung des keimenden Getreides und nicht die Temperatur in der Getreideschüttung gemeint.

In Abbildung 16 und Abbildung 17 sind die Wachstumsstadien nach verschiedenen UT und der SH 10 cm und 20 cm abgebildet. Die UT 10 °C führte zu einer geringen Ausbildung der Primärwurzel. Mit der UT 20 °C zeigte sich die höhere Stoffwechselaktivität im Korn durch ein kräftig ausgebildetes Keimblatt bzw. eine solche Keimwurzel.



Umgebungstemperatur 10 °C

Umgebungstemperatur 12,5 °C



Umgebungstemperatur 15 °C



Umgebungstemperatur 20 °C

**Abbildung 16 Roggenkeimlinge nach 30 Stunden Keimung bei 10 cm Schütthöhe und unterschiedlicher Umgebungstemperatur**



Umgebungstemperatur 10 °C



Umgebungstemperatur 12,5 °C



Umgebungstemperatur 15 °C



Umgebungstemperatur 20 °C

**Abbildung 17 Roggenkeimlinge nach 30 Stunden Keimung bei 20 cm Schütthöhe und unterschiedlicher Umgebungstemperatur**

### **Backtechnische Eigenschaften**

Die stärkeabbauenden Enzyme  $\alpha$ - und  $\beta$ -Amylase, die die backtechnologische Eignung des Roggens bestimmen, sind Schlüsselenzyme des Keimvorgangs. Die  $\alpha$ -Amylaseaktivität wurde durch die Bestimmung der Fallzahl bestimmt. Die Messung ergab für das ungekeimte Getreide eine Fallzahl von 187. Durch die Keimung wurde die Enzymaktivität erhöht, wodurch die Fallzahl abnahm (siehe Abbildung 18). Mit der UT 12,5 °C und 20 cm SH betrug die Fallzahl nur noch 62 s, wodurch die Messgrenze dieser Methode erreicht war. Die Differenzierung des Einflusses der Keimbedingung auf die Aktivität der  $\alpha$ -Amylase wurde dadurch erreicht, dass das gekeimte Getreide mit 5 % bzw. 10 % einem Roggenmehl Type 1150 mit der Fallzahl 200 zugesetzt wurde und von dieser Mehlmischung die Fallzahl gemessen wurde. Die so ermittelten Fallzahlen zeigen Abbildung 19 und Abbildung 20.

Mit steigender UT und größerer SH nahm durch die erhöhte Aktivität der  $\alpha$ -Amylase die Fallzahl ab. Der Zusatz von 5 % bei 10 °C UT gekeimtem Roggen ergab Fallzahlen zwischen 178 und 186. Die UT von 20 °C während der Keimung führte unter gleichen Messbedingungen zu einer Reduzierung der Fallzahl auf ca. 120.

Der Zusatz von 10 % gekeimtem Roggen (UT 10 °C) reduzierte die Fallzahl auf 172 bzw. 182 und die UT 20 °C während der Keimung auf Werte von 92 und 103. Die Ergebnisse zeigten, dass der Zusatz von gekeimtem Roggen eine Wirkung wie aktives Malzmehl auf die Fallzahl ausübte.

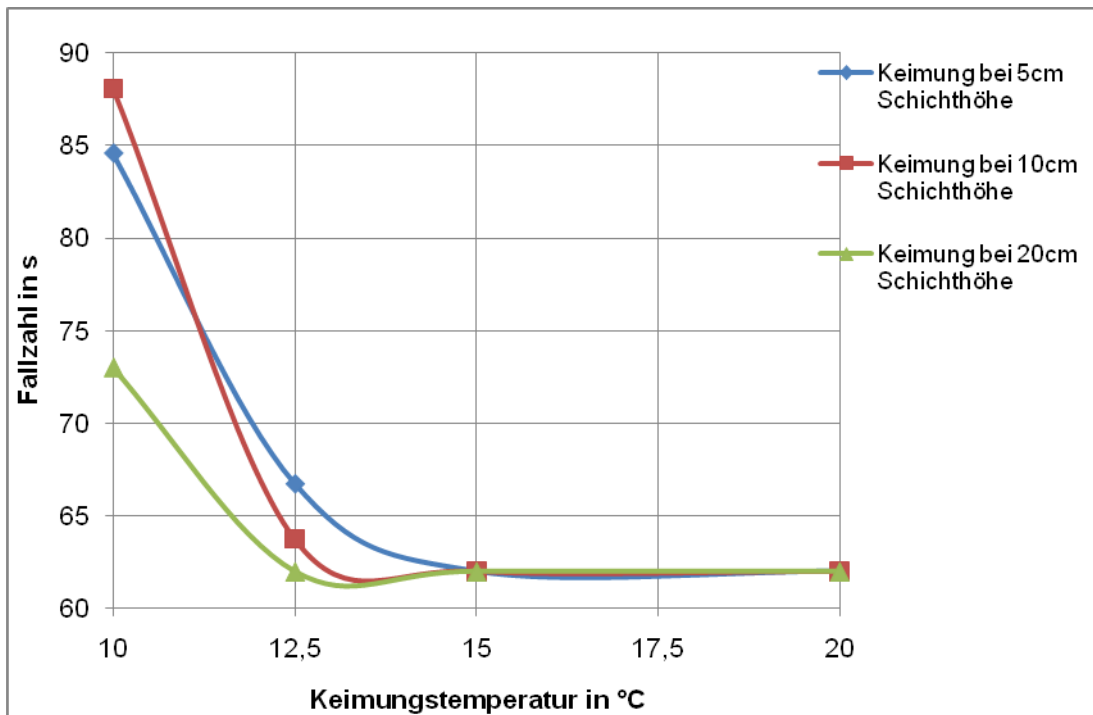


Abbildung 18 Einfluss der Keimungstemperatur und der Schichthöhe auf die Fallzahl

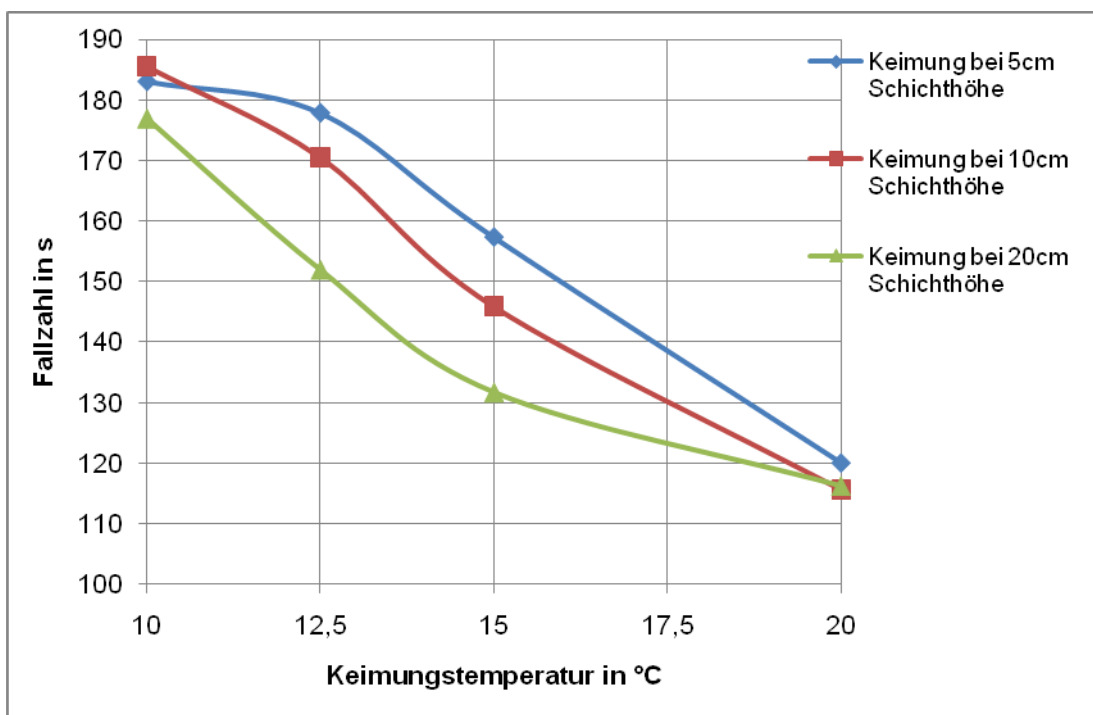
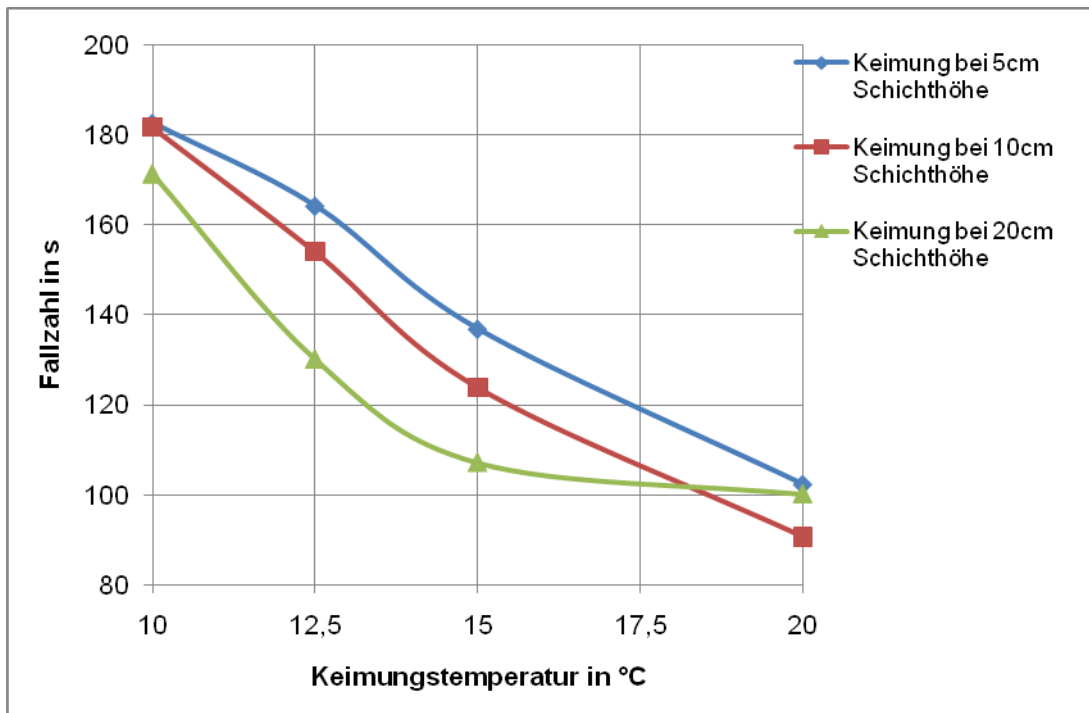


Abbildung 19 Einfluss der Keimungstemperatur und der Schichthöhe auf die Fallzahl bei Zugabe von 5 % gekeimtem Getreide zu einem Roggenmehl mit der Fallzahl von 200

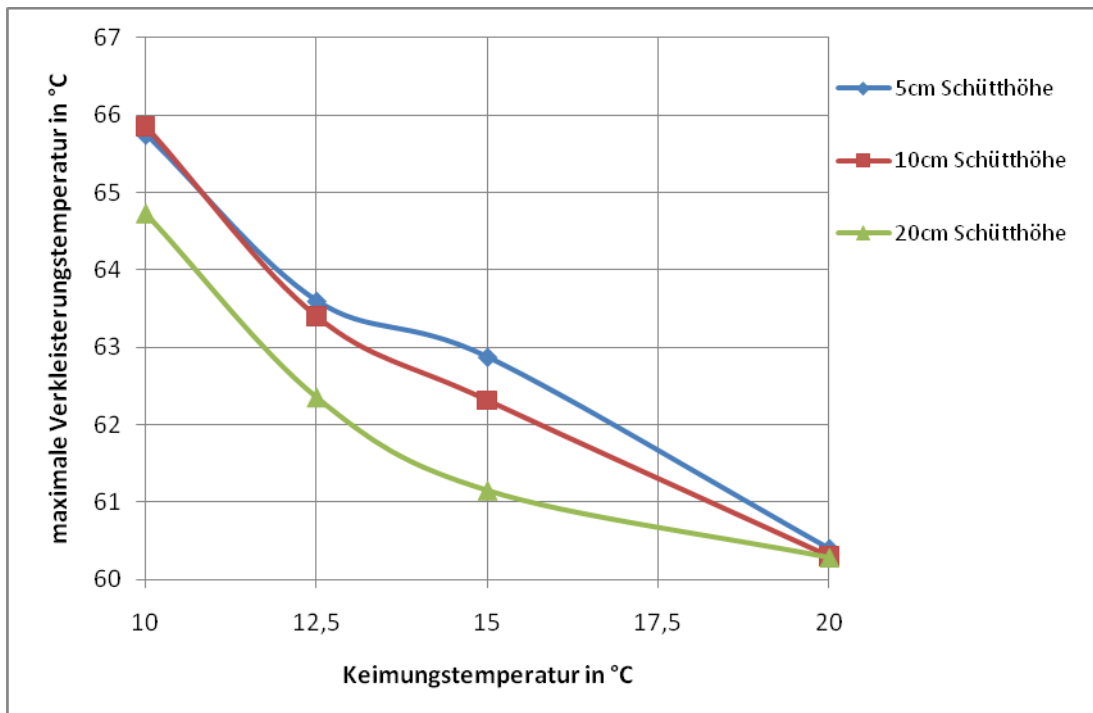


**Abbildung 20 Einfluss der Keimtemperatur und der Schichthöhe auf die Fallzahl bei Zugabe von 10 % gekeimtem Getreide zu einem Roggenmehl mit der Fallzahl von 200**

Der Einfluss der Keimbedingung auf den Viskositätsverlauf einer Mehl-Wasser-Suspension im Temperaturprofil wurde mit dem Micro Visco-Amylo-Graph gemessen. Der Beginn des Viskositätsanstiegs, der Verlauf der Viskosität und die maximale Viskosität ermöglichen Rückschlüsse auf das Backverhalten des Getreides. Der unbehandelte Roggen hatte die Verkleisterungstemperatur 71 °C und ein Viskositätsmaximum von 401 BE.

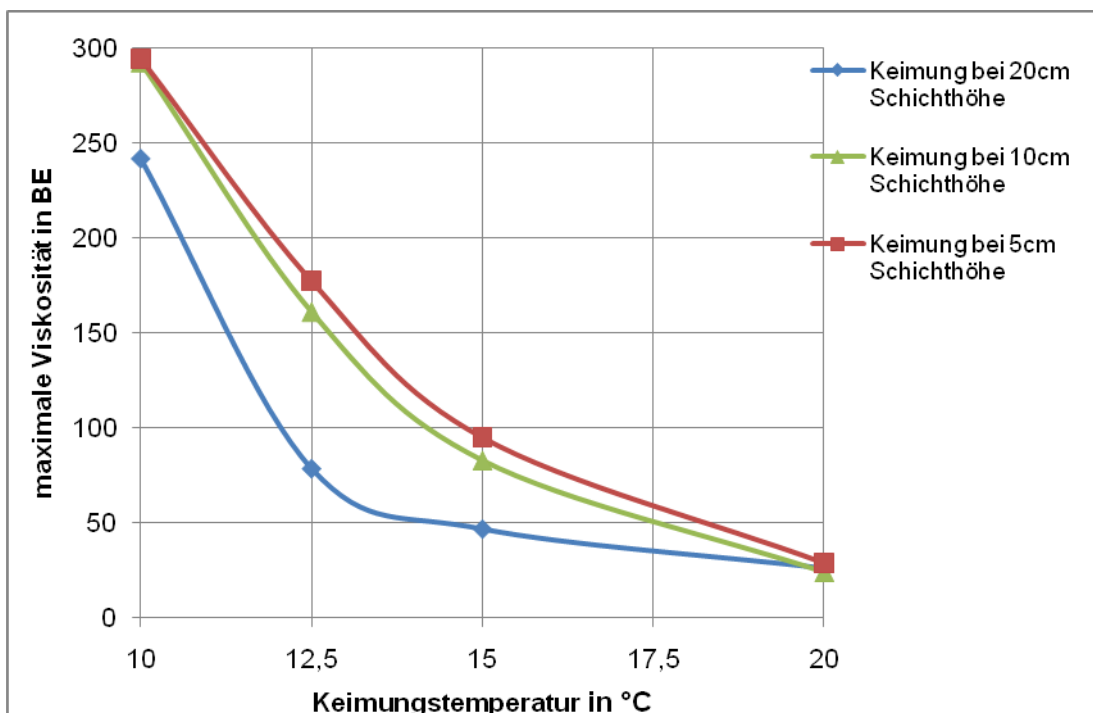
Die Abbildung 21 zeigt den Einfluss der Keimbedingung auf die Verkleisterungstemperatur des Roggens. Mit dem Anstieg der UT und der SH nahm die Verkleisterungstemperatur unter allen Versuchsbedingungen ab. Besonders deutlich war sie bei der Schichthöhe 20 cm, in der der Temperaturanstieg während der Keimung unabhängig von der Umgebungstemperatur immer höher war als mit der SH 10 cm und 15 cm (siehe Abbildung 2 bis Abbildung 5).

Die gleiche Tendenz zeigte auch die Messung der Fallzahl. Somit aktiviert die Temperatur im Getreide während der Keimung die Enzyme, die zu einer schnelleren Quellung der Stärkekörner bei niedrigerer Temperatur führt und somit die Verkleisterungstemperatur senkt.



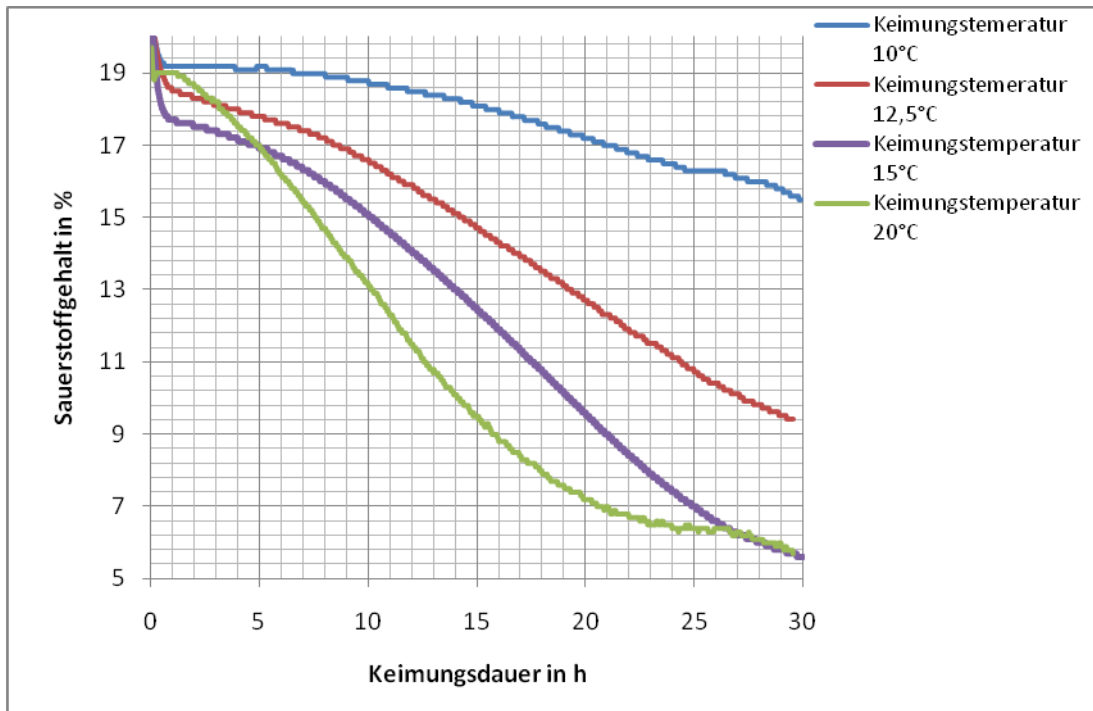
**Abbildung 21 Einfluss der Keimungstemperatur und der Schichthöhe auf die maximale Verkleisterungstemperatur**

Das Maximum der Viskosität zeigte die gleiche Tendenz. Wie die Abbildung 22 zeigt, nahm das Viskositätsmaximum mit dem Anstieg der SH und der UT ab. Das zeigt, dass die durch höhere Temperatur aktivierte  $\alpha$ -Amylase die früher verkleisterte Stärke schneller hydrolysieren kann, die zu einer geringeren Viskositätsausbildung im Maximum führt.



**Abbildung 22 Einfluss der Keimungstemperatur und die Schichthöhe auf die maximale Viskosität**

Neben der Temperatur beeinflusst auch der Sauerstoffgehalt den Verlauf der Keimung in einer Getreideschüttung. Deshalb wurde unter allen Keimbedingungen der Verlauf des Sauerstoffgehalts gemessen, der in der Abbildung 23 dargestellt ist. Die Abnahme des Sauerstoffs pro Zeiteinheit stieg in dem keimenden Roggen mit größerer SH und höherer UT. Die höchste Abnahme wurde mit der SH 20 cm und der UT 20 °C gemessen. Nach 30 Stunden Keimdauer nahm bei der UT 15 °C und 20 °C der Sauerstoffgehalt von ca. 19 % auf weniger als 6 % ab.



**Abbildung 23** Veränderung des Sauerstoffgehaltes während des Keimprozesses bei unterschiedlichen Keimungstemperaturen

In Abbildung 24 und Abbildung 25 ist der Verlauf des Sauerstoffgehalts und der Temperatur in der Getreideschüttung bei der UT 15 °C und 20 °C dargestellt. Mit der UT 15 °C zeigten der Temperaturanstieg und die Abnahme des Sauerstoffgehalts einen annähernd linearen Verlauf. Mit der UT 20 °C, die zu einer Zunahme der Temperatur in der Getreideschüttung auf über 30 °C führte, kam es nach 20 Stunden zu einer langsameren Abnahme des Sauerstoffgehalts bei gleichzeitiger Verringerung des Temperaturanstiegs. Es kann deshalb angenommen werden, dass unter diesen Bedingungen aufgrund der geringen Sauerstoffkonzentration der aerobe Stoffwechsel in den anaeroben Stoffwechsel überging. Weil im anaeroben Stoffwechsel der Energiegewinn geringer ist gegenüber dem aeroben Stoffwechsel, nahm vermutlich die Temperatur nach 20 Stunden Keimzeit langsamer zu.

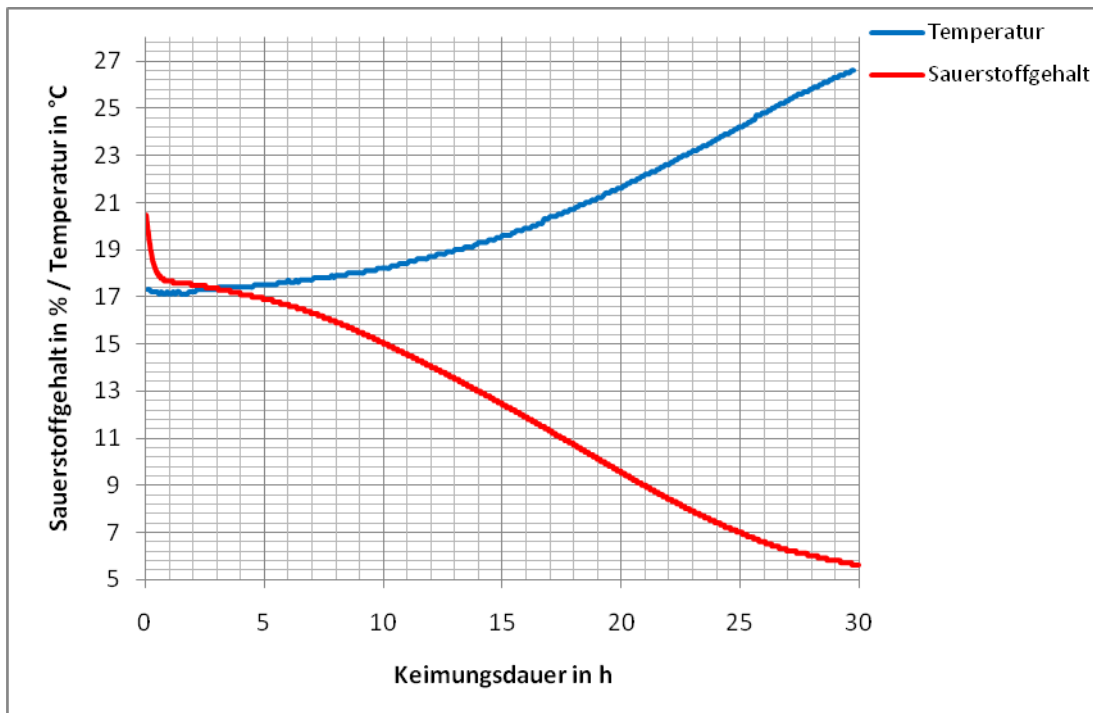


Abbildung 24 Veränderung der Temperatur und des Sauerstoffgehaltes während der Keimung bei 15 °C

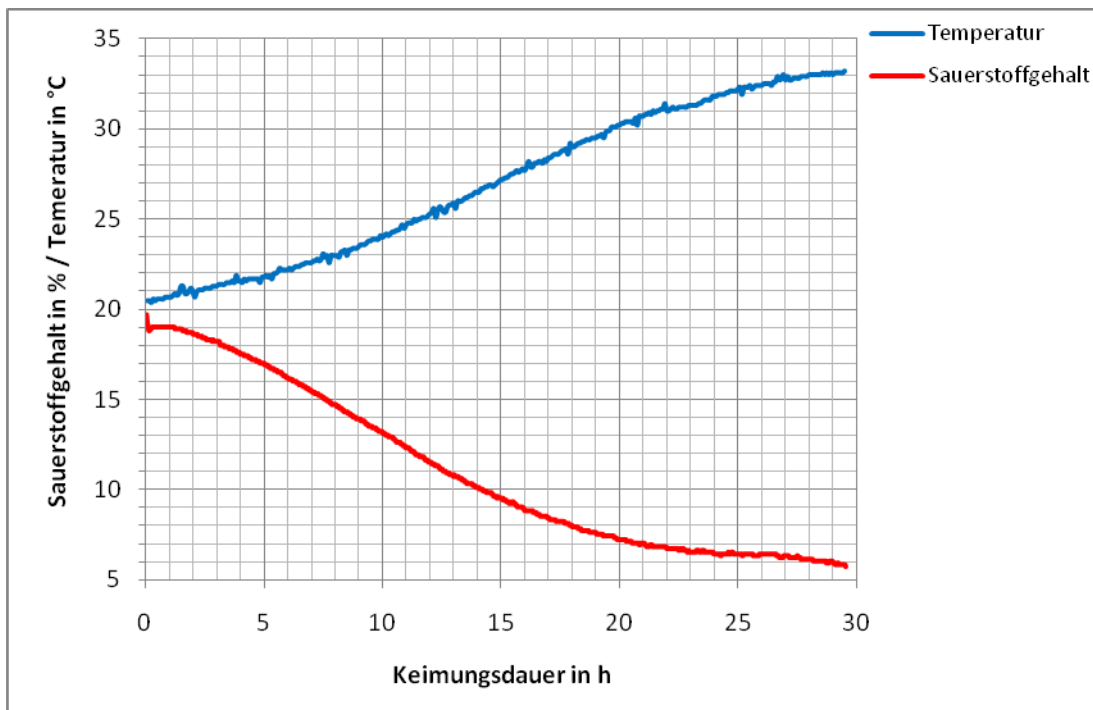


Abbildung 25 Veränderung der Temperatur und des Sauerstoffgehaltes während der Keimung bei 20 °C

Die von der UT der Getreideschüttung beeinflusste Abnahme des Sauerstoffs während der Keimung ist ein Indiz für die von den Keimbedingungen (Schütthöhe/Umgebungstemperatur)



bestimmte Stoffwechselaktivität. Je höher der Sauerstoffverbrauch war, umso höher war die Stoffwechselaktivität des Roggens, die zu einem vermehrten Anstieg der Temperatur der Getreideschüttung führte. In Abhängigkeit der Stoffwechselaktivität nahmen die Fallzahl, die Verkleisterungstemperatur und das Viskositätsmaximum ab. Neben der Temperatur im keimenden Roggen könnte auch der Sauerstoffgehalt als Messgröße während der Keimung berücksichtigt werden.

## Backversuch

Die Überprüfung des Einflusses der Keimbedingungen erfolgte mit einem Backversuch.

Die Rezeptur entsprach der des Essener Brotes in dem Partnerbetrieb, die im Abschnitt Material und Methoden aufgeführt ist.

Für die Versuche wurden folgende Parameter variiert:

1. Teigausbeute zwischen 170 und 185
2. Austausch von Roggenkeimlingen durch Roggenmehl Type 1150 (5 bis 15 %)
3. Einfluss der Keimtemperatur zwischen 10 und 20 °C

Zu 1: Der Anstieg der Teigausbeute von 170 auf 185 führte zu einer Zunahme des Volumens der Brote von 740 ml auf 800 ml bei gleichzeitiger Zunahme des spezifischen Volumens von 1,00 ml/g auf 1,08 ml/g. Die Festigkeit der Krume, die durch Penetration eines Stempels mit dem Texture-Analyser gemessen wurde, nahm unter gleichen Versuchsbedingungen von 25,0 N auf 17,3 N ab, während die Klebrigkeit der Krume von 1,1 N auf 1,3 N anstieg. Die größere Teigwassermasse zeigte in geringen Grenzen einen Einfluss auf die Gebäckeneigenschaft. Die Teige mit geringerem Wassergehalt ließen sich gut aufarbeiten.

Zu 2: Der Austausch von Roggenmehl Type 1150 mit 5 bis 15 % gegen gekeimten Roggen sollte zu einer besser gelockerten Backware führen, an der der Einfluss der Enzymaktivität der Keimlinge deutlicher zu erkennen ist. Der Zusatz von Roggenmehl bewirkte einen Anstieg des Brotvolumens von 800 ml auf 820 ml, hatte aber keinen Einfluss auf das spezifische Volumen. Das spezifische Volumen betrug im Versuch mit 100 % Keimlingen und auch in dem Brot mit Roggenmehl im Durchschnitt 1,1 ml/g. Die Krumenfestigkeit im Brot ohne Roggenmehl betrug 17,3 N, mit 5 % 20,5 N, mit 10 % 19,5 N und mit 15 % 17,8 N. Die Klebrigkeit der Krume stieg von 1,3 N auf 1,9 N in dem Brot mit 15 % Roggenmehl. Bis auf die Zunahme der Klebrigkeit veränderten sich die Messwerte nur in geringen Grenzen. Durch den Zusatz des Roggenmehls sollten die Gashaltung verbessert und die Enzymaktivität im Teig verringert werden. Beide Zielgrößen wurden nur ungenügend erreicht. Deshalb wurde in dem folgenden Versuch auf den Zusatz von Roggenmehl verzichtet.

Zu 3: Die unterschiedliche UT von 10 °C und 20 °C wurde mit Roggenkeimen aus der SH 5 cm durchgeführt. Das Volumen aller Brote betrug zwischen 870 ml und 890 ml und lag somit in engen Grenzen. Das spezifische Volumen betrug immer 1,37 ml/g. Die Krumenfestigkeit nahm mit ansteigender Umgebungstemperatur von 16,7 N auf 6,8 N ab, während die Klebrigkeit der Krume von 0,7 N auf 1,4 N um 100 % zunahm. Die UT während der Keimung beeinflusste somit nur die Krumeneigenschaften, während das Brotvolumen in geringen Grenzen variierte.

Die Beurteilung des Keimzustandes von Roggenkeimlingen mit der Rezepturvorgabe eines Essener Brotes aus 100 % Roggenkeimen ließ nur eine Differenzierung in Bezug auf die Krumeneigenschaften zu. Das Brotvolumen und das spezifische Volumen konnten unter den Versuchsbedingungen nicht differenziert werden.

### Wertgebende Inhaltsstoffe

Ein Ziel der Keimung von Getreide zur Herstellung von Essener Brot ist die Zunahme der wertgebenden Inhaltsstoffe Thiamin (B<sub>1</sub>), Riboflavin (B<sub>2</sub>), Folsäure und Lysin. Der unter oben beschriebenen Bedingungen gekeimte Roggen wurde für die Bestimmungen vakuumgefriergetrocknet, vermahlen und auf seinen Vitamingehalt bzw. Lysingehalt untersucht.

In Abbildung 26 ist der Vitamin B<sub>2</sub>-Gehalt von Roggen unter der Keimbedingung 20 °C UT und 20 cm SH nach 8 Stunden und am Ende der Keimzeit dargestellt. Nach 8 Stunden Keimung hatte der Gehalt um ca. 30 % und am Ende der Keimung um ca. 115 % zugenommen.

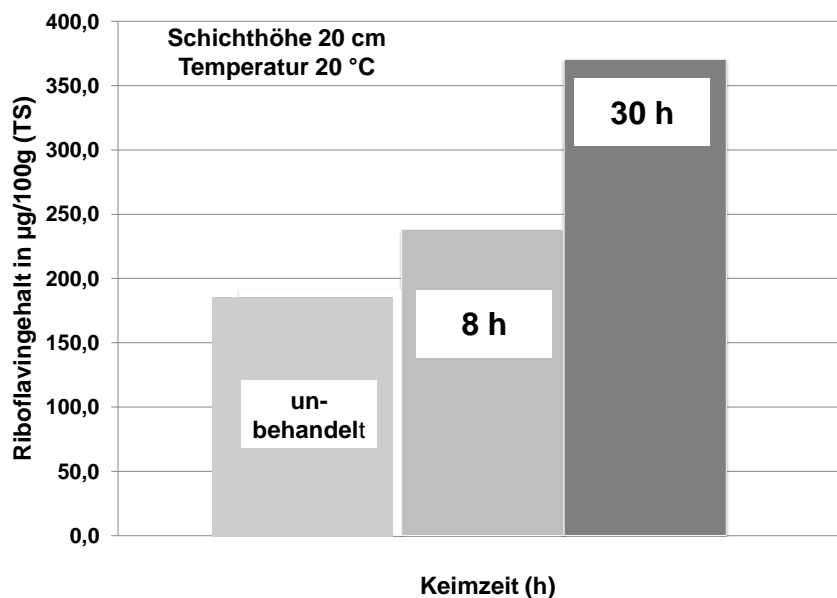


Abbildung 26 Riboflavingehalt in Abhängigkeit der Keimzeit

Die Abbildung 27 zeigt den Gehalt an Riboflavin nach der Keimung von 30 Stunden in der SH 5 cm und unterschiedlichen Umgebungstemperaturen. In allen UT nahm der Gehalt an B<sub>2</sub> im Vergleich zum unbehandelten Getreide zwischen 80 % und 100 % zu. Das bedeutet, dass die Umgebungstemperatur eine untergeordnete Rolle spielte.

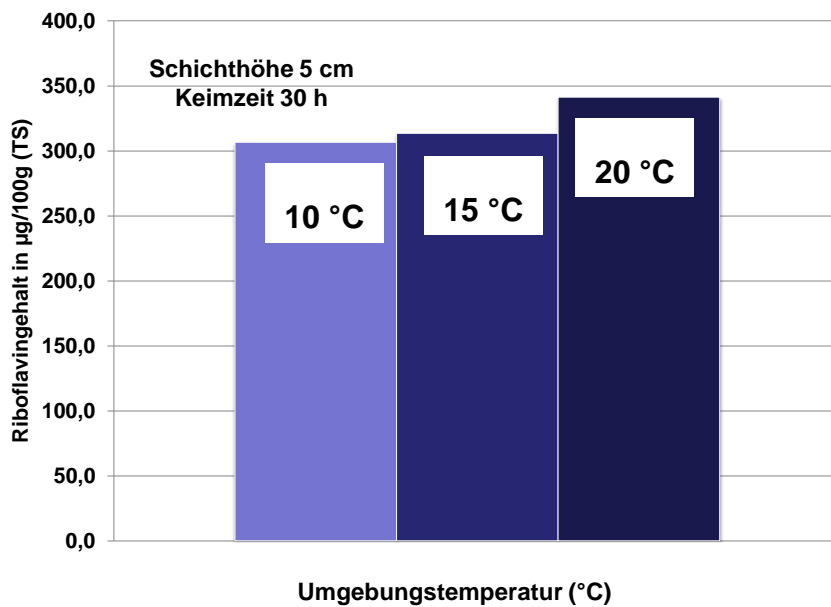


Abbildung 27 Riboflavingehalt in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur

Die Abbildung 28 zeigt den Einfluss der SH auf den Gehalt an B<sub>2</sub> in gekeimtem Roggen mit der UT 10 °C. Der Gehalt stieg bei dieser Temperatur bei allen SH zwischen 65 % und 80 % an. Die Schütthöhe hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Bildung von Riboflavin während der Keimung.

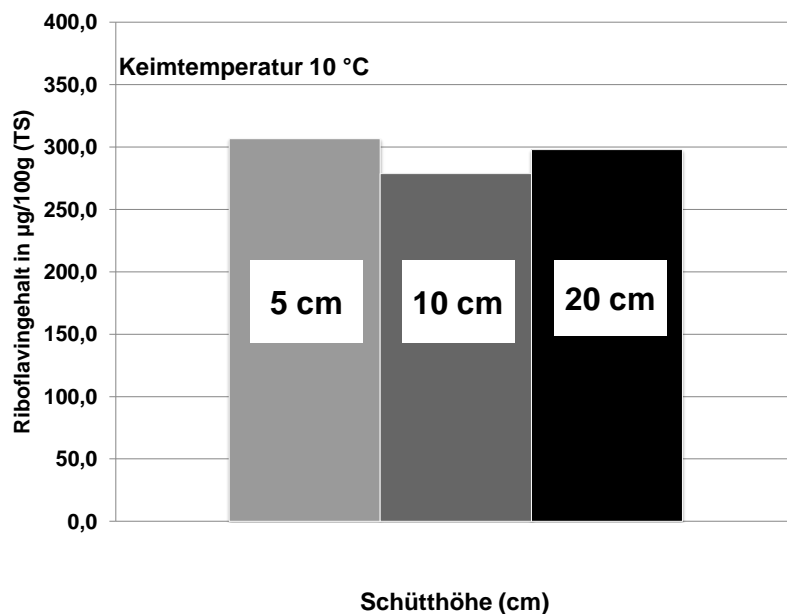


Abbildung 28 Riboflavingehalt in Abhängigkeit der Schütthöhe nach 30 Stunden Keimzeit

Die Ergebnisse der Bestimmung von Riboflavin in gekeimtem Roggen zeigen, dass es unter allen Keimbedingungen zu einem Anstieg des Gehalts zwischen 65 und 115 % kam. Der größte Anstieg wurde unter der Bedingung 20 °C und 20 cm SH gemessen. In dieser Getreideschicht wurde während der Keimung auch die höchste Temperatur im Rahmen dieser Versuchsreihe von über 30 °C gemessen. Somit scheint die Zunahme des Riboflavingehalts im Roggen primär von der Keimzeit und nur unwesentlich von der Temperatur und der Schütthöhe beeinflusst worden zu sein.

Die Bestimmung des Gehalts an Thiamin (B<sub>1</sub>) führte unter den Versuchsbedingungen zu uneinheitlichen Ergebnissen, die eine eindeutige Aussage über den Einfluss der Keimbedingungen nicht ermöglichen. Deshalb wird auf die Darstellung der Ergebnisse verzichtet.

Der Gehalt an Folsäure wurde wie der Gehalt an B<sub>2</sub> durch die Keimbedingungen beeinflusst. Im unbehandelten Roggen betrug der Folsäuregehalt 55 µg/100 g. Unter allen Versuchsbedingungen stieg der Gehalt mit ansteigender UT an (siehe Abbildung 29). In dem Getreide mit 10 cm SH bei 10 °C UT wurde ein Folsäuregehalt unterhalb des Gehalts von unbehandeltem Roggen gemessen, was auf einen Messfehler zurückgeführt werden kann. Der größte Anstieg wurde unter der Bedingung 20 cm SH und 20 °C UT gemessen. Mit der UT 10 °C betrug die Zunahme ca. 70 % und mit 20 °C ca. 230 %. Unter den Versuchsbedingungen war somit für Roggen zur Bildung von B<sub>2</sub> und Folsäure die Keimbedingung 20 cm SH und der UT 20 °C am besten geeignet.

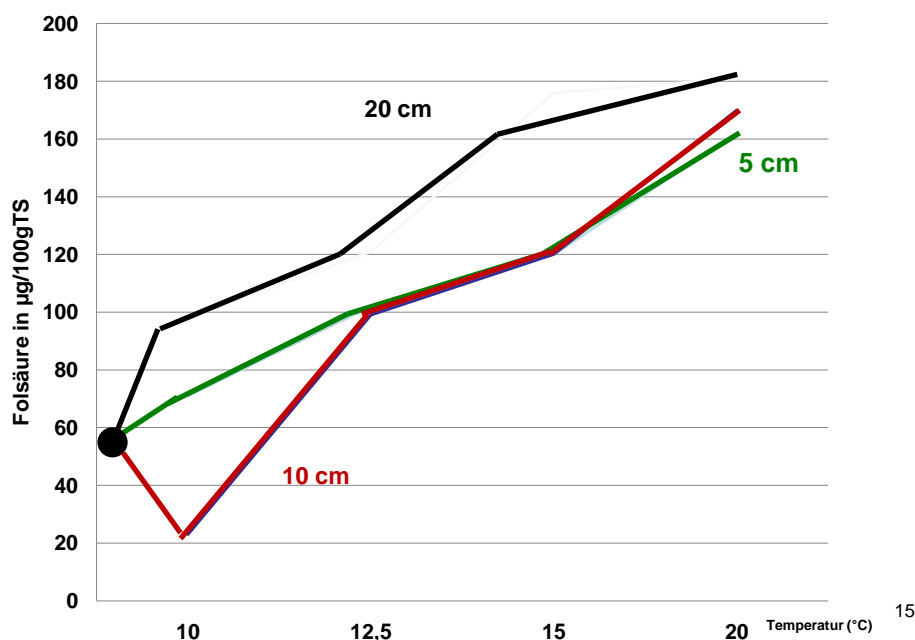


Abbildung 29 Einfluss der Keimbedingung auf den Folsäuregehalt in Roggen

Das Ziel der Keimung war neben der Anreicherung von Vitaminen auch die Zunahme der essenziellen Aminosäure Lysin, die im Brotgetreide die begrenzende essenzielle Aminosäure ist. Der Lysingehalt im unbehandelten Roggen betrug 3,9 g/kg. Unter allen Keimbedingungen wurde in dem gekeimten Roggen ein Gehalt zwischen 3,8 g/kg und 4,3 g/kg gemessen. Ein

Zusammenhang zwischen der Umgebungstemperatur bzw. der Schütthöhe und dem Gehalt an Lysin konnte nicht festgestellt werden.

### Proteinlöslichkeit

Protein im Roggen besitzt zur Herstellung von Teigen und Backwaren nicht den Stellenwert wie das Protein im Weizen, weil die Ausbildung des Kleberproteins im Roggen nicht erfolgt. Es ist aber an der Wasserbindung im Teig beteiligt. Durch Aktivierung der Enzyme während der Keimung werden auch Proteasen vermehrt gebildet, die eine Hydrolyse des Proteins bewirken können. Dadurch kann die Wasserbindung im Teig reduziert werden. Die Aktivität der Proteasen wurde über die Löslichkeit des abgebauten Proteins indirekt bestimmt. Der wässrige Extrakt des vermahlenden Getreides wurde mit Ninhydrin angefärbt und die Intensität der Färbung im Fotometer gemessen. Je farbintensiver der Extrakt war, umso mehr abgebautes bzw. gelöstes Protein konnte aus dem Roggen extrahiert werden, der auf eine höhere Aktivität der Proteasen hinweist.

Die Abbildung 30 zeigt die Zunahme der relativen Proteinlöslichkeit in Abhängigkeit der SH und der UT. Die Veränderung der Löslichkeit war unter den Versuchsbedingungen nicht immer einheitlich. Aus der Abbildung ist aber eine Tendenz der Zunahme der Löslichkeit ab der UT 15 °C und den SH 5 cm und 20 cm zu erkennen. Die Zunahme der Aktivität der Proteasen verlief somit ähnlich der Aktivitätszunahme der  $\alpha$ -Amylase.

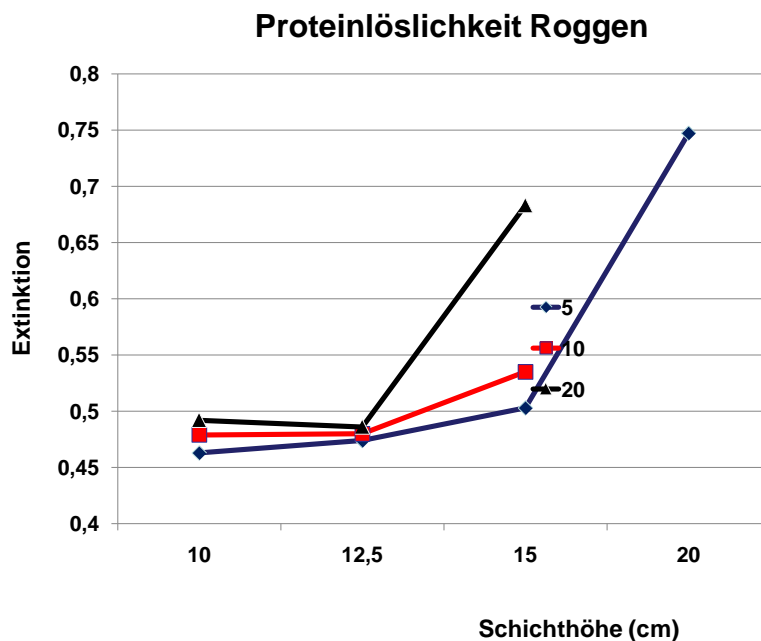


Abbildung 30 Einfluss der Keimbedingung auf die relative Proteinlöslichkeit

### 4.3.1 Ergebnisse Dinkel

Die Untersuchungen des Dinkels wurden ein Mal entsprechend der Quell- und Keimbedingungen des Roggens durchgeführt (Keimreihe 1) und zusätzlich als eine Versuchsreihe in Anlehnung an die im Partnerbetrieb durchgeführten Keimbedingungen (Keimreihe 2). Im Folgenden werden die Versuche entsprechend der Keimbedingung, wie in Tabelle 4 beschrieben, benannt. Direkt im Anschluss an die Keimung wurde der Dinkel visuell beurteilt.

**Tabelle 4 Probenbezeichnung der Keimversuche**

Umgebungstemperatur	Probenbezeichnung	
	Keimreihe 1 20 Stunden Quellung 30 Stunden Keimung	Keimreihe 2 15 Stunden Quellung 48 Stunden Keimung
10 °C	Keimung 1	Keimung 5
12,5 °C	Keimung 2	Keimung 6
15 °C	Keimung 3	Keimung 7
20 °C	Keimung 4	Keimung 8

Die Keimlinge der Keimreihe 1 zeigten innerhalb der SH (Schichthöhe) in ansteigender UT (Umgebungstemperatur) eine minimale Zunahme des Keimwachstums (siehe Abbildung 31). Der Wurzelkeim war mit höherer Temperatur und größerer SH stärker ausgeprägt. Bei Keimung 1 mit 10 °C war die Keimbildung am geringsten ausgeprägt. Bedingt durch die Verlängerung der Keimzeit von 30 auf 48 Stunden in der Keimreihe 2 trat eine stärkere Ausbildung des Keimwachstums auf, die besonders im Versuch Keimung 8 sichtbar wurde (siehe Abbildung 32).

**Schichthöhe  
5 cm**

**Schichthöhe  
10 cm**

**Schichthöhe  
20 cm**

**Keimung 1**



**Keimung 2**



**Keimung 3**



**Keimung 4**



**Abbildung 31 Keimlinge der Keimreihe 1**

**Schichthöhe  
5 cm**

**Schichthöhe  
10 cm**

**Schichthöhe  
20 cm**

**Keimung 5**



**Keimung 6**



**Keimung 7**



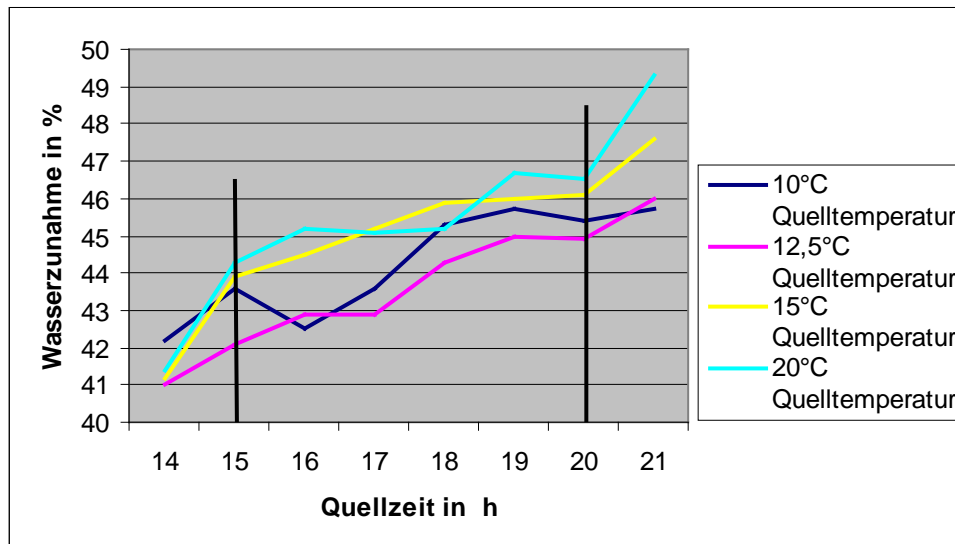
**Keimung 8**



**Abbildung 32 Keimlinge Keimreihe 2**



Die Quellzeit der Keimreihe 1 betrug 20 Stunden, die der Keimreihe 2 15 Stunden. Die Bestimmung der Wasseraufnahme der Dinkelkörner bei unterschiedlichen Quelltemperaturen zeigte, dass durch die Verlängerung der Quellzeit um 5 Stunden der Wassergehalt in den Körnern um ca. 2 bis 3 % zunahm (siehe Abbildung 33).



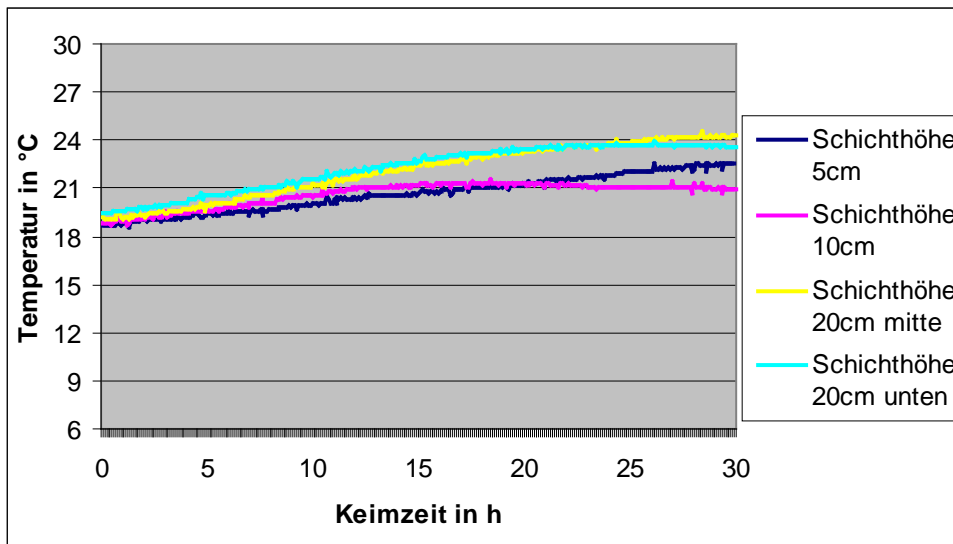
**Abbildung 33 Vergleich der Wasseraufnahme nach 15 und 20 Stunden in Abhängigkeit der Quelltemperatur**

Während der Keimung des Dinkels wurde die Temperatur in der Schüttung gemessen und aufgezeichnet. Exemplarisch sind Temperaturverläufe nach 30 Stunden Keimzeit und 48 Stunden Keimzeit grafisch dargestellt.

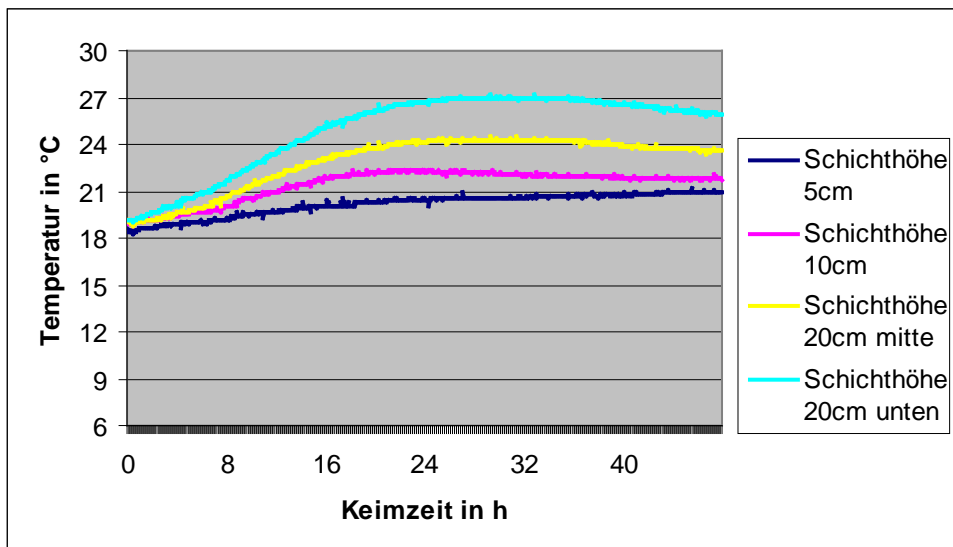
Der Temperaturanstieg war unter allen Keimbedingungen umso größer, je höher die SH war. So wurde bei allen Keimungen der SH 5 cm der geringste und bei der SH 20 cm der größte Temperaturanstieg gemessen, wie er auch schon bei der Keimung des Roggens festgestellt wurde.

Die Höhe der Temperatur am Ende der Keimung wurde auch von der Keimzeit beeinflusst. Abbildung 34 zeigt den Temperaturverlauf während der Keimung von 30 Stunden und Abbildung 35 den Verlauf über 48 Stunden bei der UT 20 °C. Nach 30 Stunden betrug die Temperatur in Dinkel mit der Schütthöhe 20 cm ca. 24 °C, in dem Versuch mit 48 Stunden bis zu 27 °C, die am Ende der Keimzeit gering abnahm. Die in Abbildung 34 dargestellten Kurven der Schichthöhen 10 cm und 20 cm zeigen, dass nach der Keimzeit oberhalb 20 Stunden eine Abnahme der Temperatur in der Getreideschüttung auftrat. Es ist nicht auszuschließen, dass durch den Stoffwechsel des Getreides der Sauerstoff in der Getreideschüttung verbraucht war und der anaerobe Stoffwechsel einsetzte. Entsprechend weniger Wärme konnte sich entwickelt haben bzw. es wurde mehr Wärme an die Umgebung abgegeben als durch Stoffwechsel gebildet wurde.

Unter den Keimbedingungen erreicht der Dinkel in keiner Schüttung die Höhe der Temperatur des Roggens, der unter gleichen Bedingungen gekeimt wurde.



**Abbildung 34 Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Schichthöhe und Keimzeit der Keimung 4 (20 Stunden Quellzeit/30 Stunden Keimzeit)**



**Abbildung 35 Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Schichthöhe und Keimzeit der Keimung 8 (15 Stunden Quellzeit/48 Stunden Keimzeit)**

Exemplarisch für den Temperaturverlauf in einer Getreideschüttung mit geringer UT zeigt Abbildung 36 den Verlauf der Keimung 5 (UT 10 °C), Abbildung 37 den der Keimung 6 (UT 12,5 °C). Ein Anstieg der Temperatur im keimenden Getreide wurde mit der SH 5 und 10 cm nicht gemessen, mit 20 cm nahm sie bis zu 4 °C zu. Der Temperaturanstieg zeigt, dass durch die Aktivierung der Keimung im Dinkel und den daraus folgenden Anstieg der Stoffwechselaktivität die dabei entstehende Wärme in Abhängigkeit von der UT und steigender Schütthöhe langsamer an die Umgebung abgegeben wurde. Es ist bekannt, dass mit höherer Temperatur die Stoffwechselaktivität in einem Getreidekorn zunimmt.

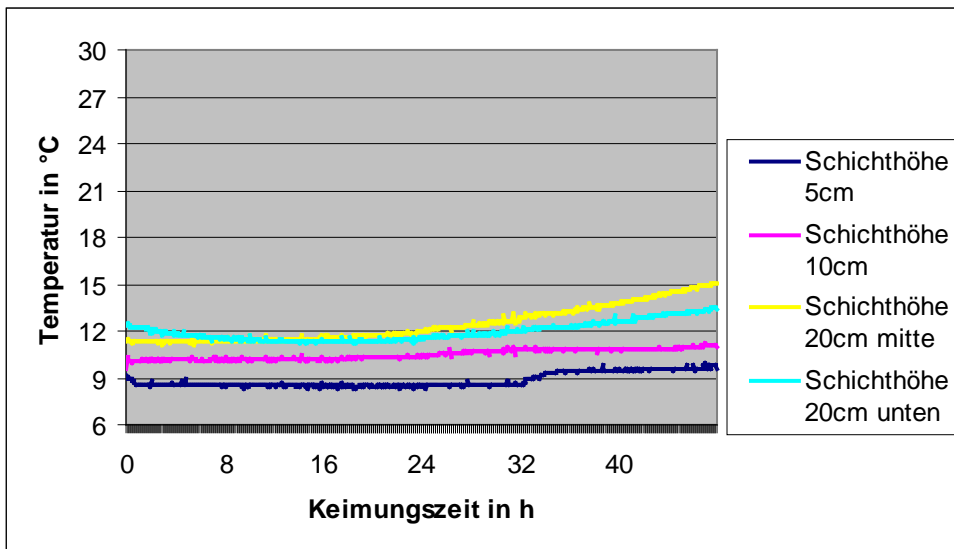


Abbildung 36 Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Schichthöhe und Keimzeit der Keimung 5

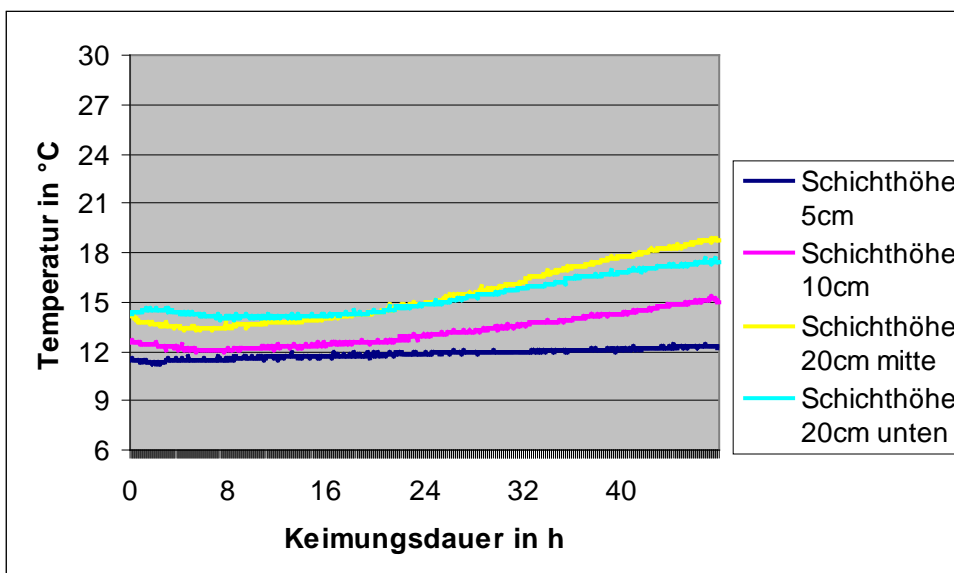
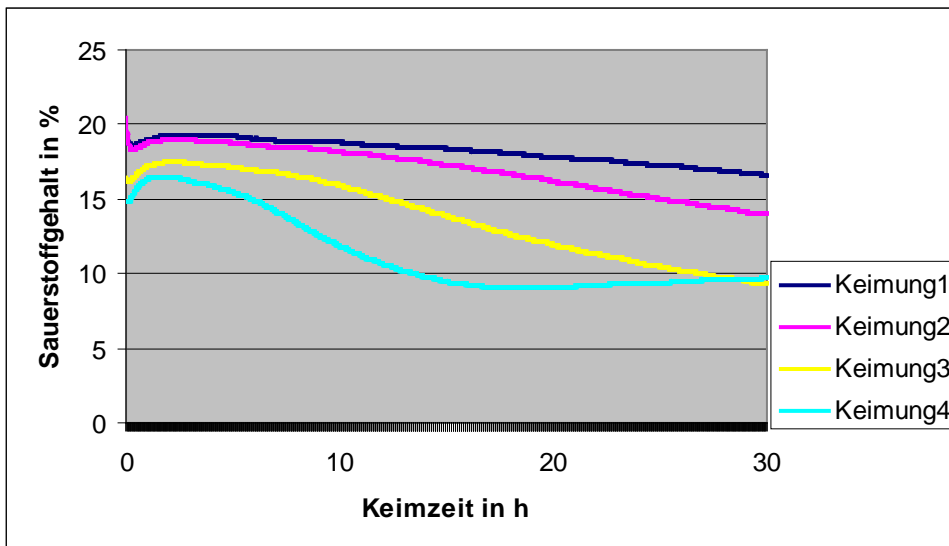


Abbildung 37 Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Schichthöhe und Keimzeit der Keimung 6

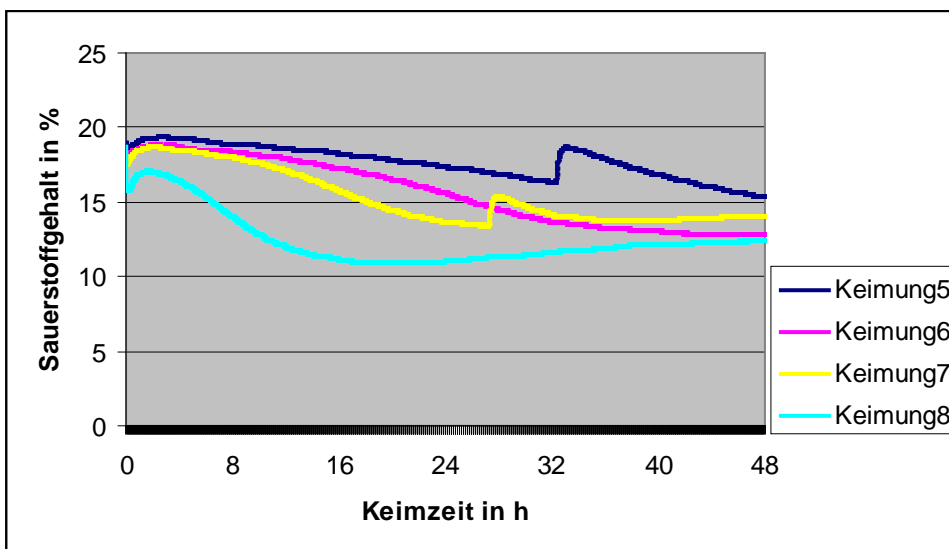
Zur Überprüfung der Veränderung der Sauerstoffkonzentration während der Keimung wurde der Sauerstoffgehalt im Getreide mit der Schütthöhe 20 cm gemessen.

In Abbildung 38 und Abbildung 39 sind die Veränderungen des Sauerstoffgehaltes in Abhängigkeit der UT und der Keimzeit dargestellt.

Der Sauerstoffgehalt sank bei gleicher Keimzeit mit zunehmender Umgebungstemperatur. Je höher die UT während der Keimung war, umso schneller wurde der Sauerstoff verbraucht. Der Sauerstoffgehalt sank bei Keimung 1 um ca. 13,5 %, bei Keimung 2 um ca. 26 % und bei Keimung 3 um ca. 47 %. Dies lässt darauf schließen, dass die Keimung mit steigender Keimtemperatur schneller voranschritt und der Sauerstoff somit schneller verbraucht wurde. Während der Keimung 4 veränderte sich der Sauerstoffgehalt nach ca. 17 Stunden Keimzeit nicht mehr. Der Sauerstoffgehalt in der Getreideschüttung war um ca. 44 % reduziert.



**Abbildung 38** Verlauf des Sauerstoffgehaltes in Abhängigkeit der Keimtemperatur und Keimzeit der Keimreihe 1 (Quellzeit 20 Stunden/Keimzeit 30 Stunden)



**Abbildung 39** Verlauf des Sauerstoffgehaltes in Abhängigkeit der Keimtemperatur und Keimzeit der Keimreihe 2 (Quellzeit 15 Stunden/Keimzeit 48 Stunden)

Auch in der Keimreihe 2 wurde in der Keimung 8, die der Keimung 4 mit 18 Stunden längerer Keimzeit entspricht, nach ca. 17 Stunden ein Stagnieren des Sauerstoffverbrauchs gemessen.

Bei den Keimungen 5 und 7 der Keimreihe 2 kam es bei der Messung der Sauerstoffkonzentration zu einem abrupten Anstieg der Konzentration. Die Zunahme des Messwerts ist auf leichte Erschütterung des Thermoschranks durch Öffnen der Tür zurückzuführen, worauf die sensible Sauerstoffelektrode reagierte. Es ist auszuschließen, dass der sprunghafte Anstieg der Sauerstoffkonzentration in einem Zusammenhang mit der Keimung steht.

## Enzymatik

Wie auch der gekeimte Roggen wurde der Dinkel auf die Aktivität der  $\alpha$ -Amylase durch die Bestimmung der Fallzahl untersucht.

Im unbehandelten Dinkel wurde eine Fallzahl von 293 s gemessen. Abbildung 40 und Abbildung 41 zeigen die Veränderungen der Aktivität der  $\alpha$ -Amylase in Abhängigkeit der Keimtemperatur und Schütthöhe in der Darstellung der Fallzahl.

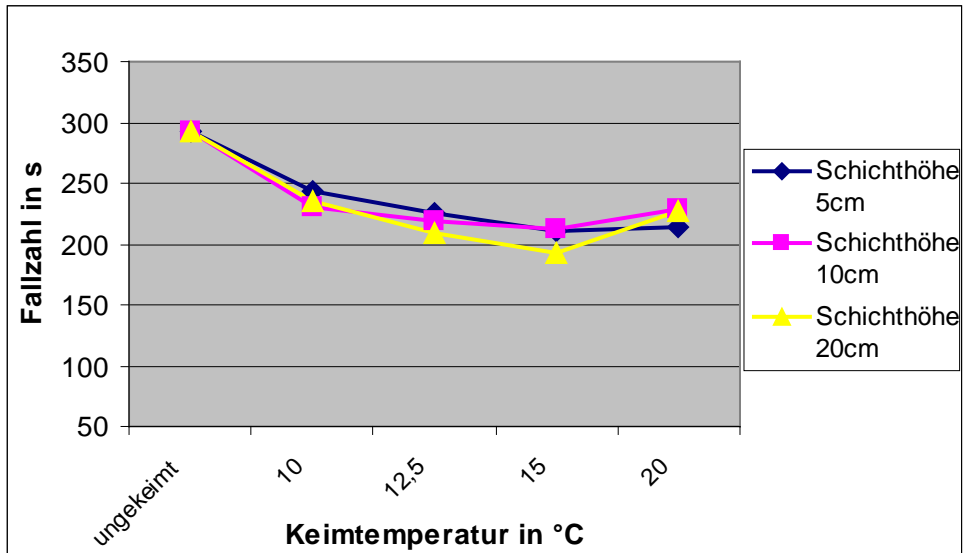


Abbildung 40 Fallzahlen in Abhängigkeit von Keimtemperatur und Schichthöhe der Keimreihe 1 (Quellzeit 20 h/ Keimzeit 30 h)

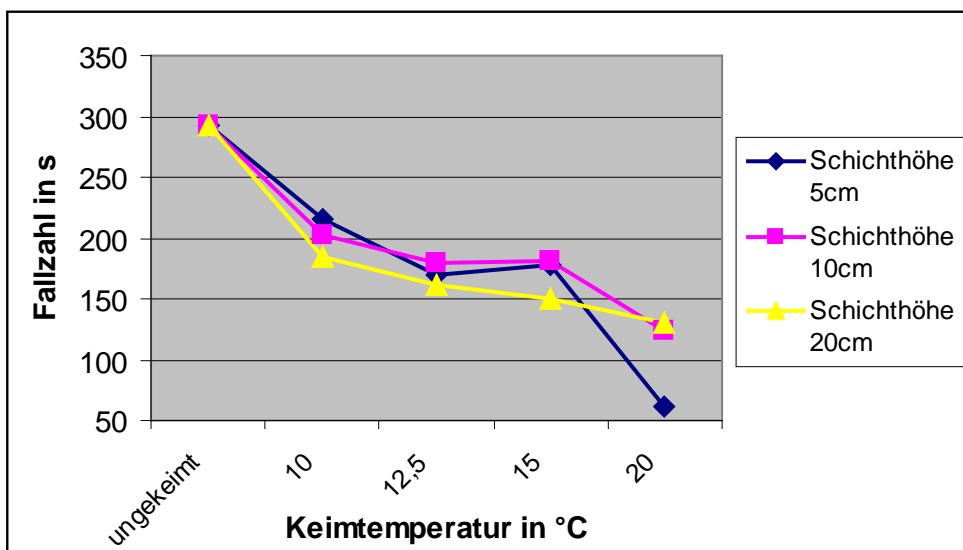


Abbildung 41 Fallzahlen in Abhängigkeit von Keimtemperatur und Schichthöhe der Keimreihe 2 (Quellzeit 15 Stunden/Keimzeit 48 Stunden)

Es ist zu erkennen, dass die Fallzahl mit steigender UT und somit auch die Temperatur in der Getreideschüttung tendenziell abnahmen. Hohe Enzymaktivitäten beschleunigten die Hydrolyse der Stärke, wodurch die Fallzahl sank.

Der Vergleich der visuellen Beurteilung der Keimung (siehe Abbildung 31 und Abbildung 32) mit der Fallzahl-Bestimmung zeigte, dass die Zunahme der  $\alpha$ -Amylase-Aktivität im Getreide noch vor dem Erscheinen des sichtbaren Keimes begann.

Wie in Abbildung 41 zu erkennen ist, zeigten bei 10 °C die gekeimten Körner noch keinen sichtbaren Auswuchs, aber die Fallzahl war um 28 % bzw. 40 % geringer im Vergleich zum unbehandelten Getreide (siehe Abbildung 40).

Bei der Bestimmung der Fallzahl der Keimreihe 1 (Keimung 1 bis 4) ist ein tendenzieller Abfall der Messwerte bei zunehmender UT zu erkennen, aber eine Zunahme bei der UT von 20 °C bei den SH 10 cm und 20 cm. Die Ursache dafür konnte aufgrund des zeitlichen Rahmens des Projekts nicht weiter untersucht werden.

Auch innerhalb der Keimreihe 2 stieg mit höherer UT innerhalb der Schichthöhen die  $\alpha$ -Amylase-Aktivität, welche um ca. 58 % geringer war als im unbehandelten Getreide. Bei der Keimung der UT 20 °C, Schütthöhe 5 cm lag die Fallzahl mit 62 s außerhalb des Messbereichs der Bestimmung. Das Ergebnis entspricht der visuellen Beurteilung der Keimung. Der unter diesen Bedingungen gekeimte Dinkel zeigte den am deutlichsten ausgeprägten Auswuchs.

Den Einfluss der Keimzeit auf die Fallzahl zeigen die folgenden Abbildungen, in denen die Fallzahlen nach 30 und 48 Stunden Keimzeit miteinander verglichen wurden.

Die Keimungen 1-4 wurden mit 30 Stunden Keimzeit durchgeführt, die Keimung 5 bis 8 mit 48 Stunden. Abbildung 42 bis Abbildung 45 zeigen, dass die längere Keimzeit immer zu einer geringeren Fallzahl führte als die Keimzeit von 30 Stunden. Da die Aktivität der  $\alpha$ -Amylase einen Einfluss auf die Qualität der Backwaren besitzt, kann über die Keimzeit gezielt Einfluss darauf genommen werden.

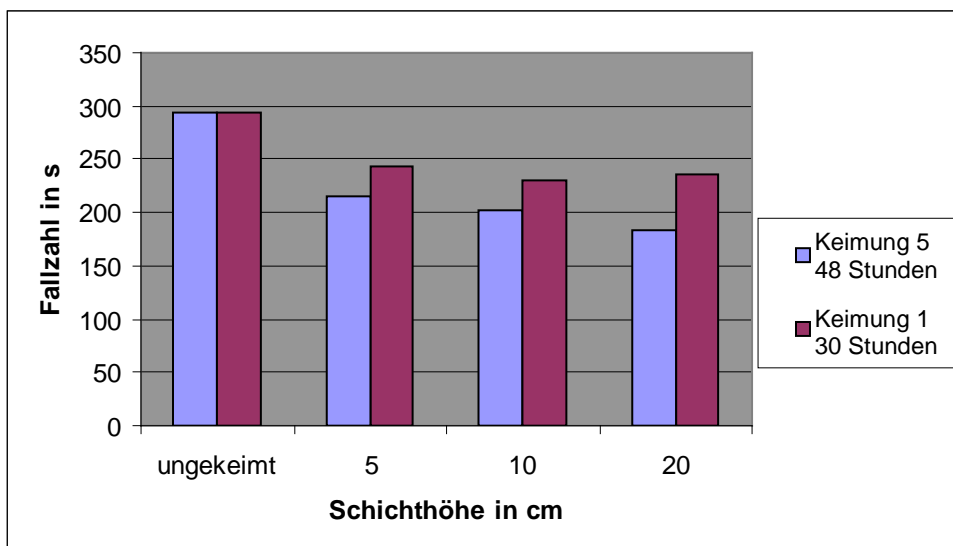


Abbildung 42 Einfluss der Keimzeiten auf die Fallzahl (Umgebungstemperatur 10 °C)

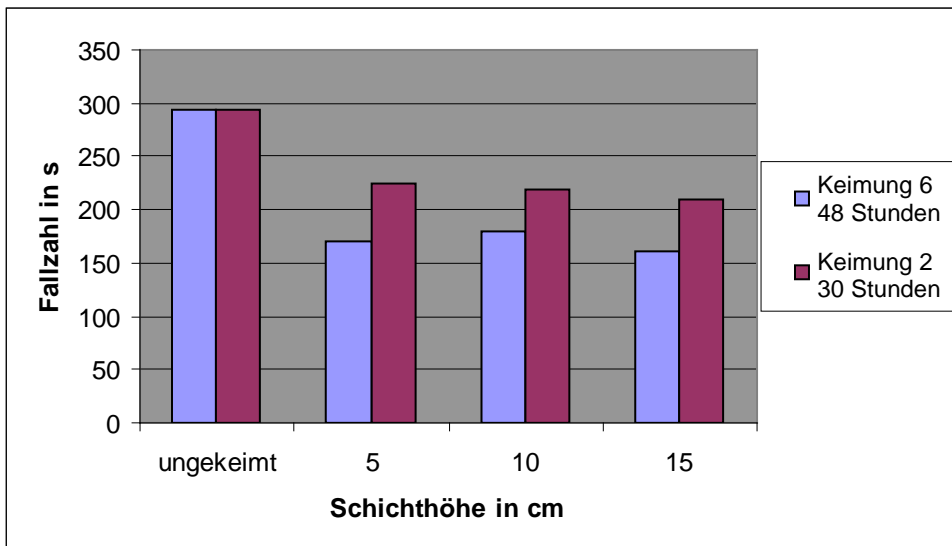


Abbildung 43 Einfluss der Keimzeit auf die Fallzahl (Umgebungstemperatur 12,5 °C)

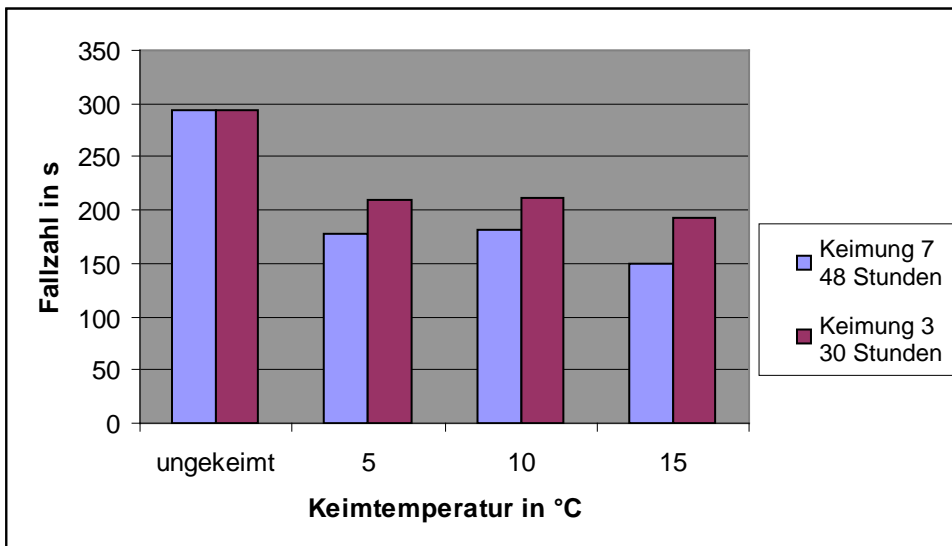
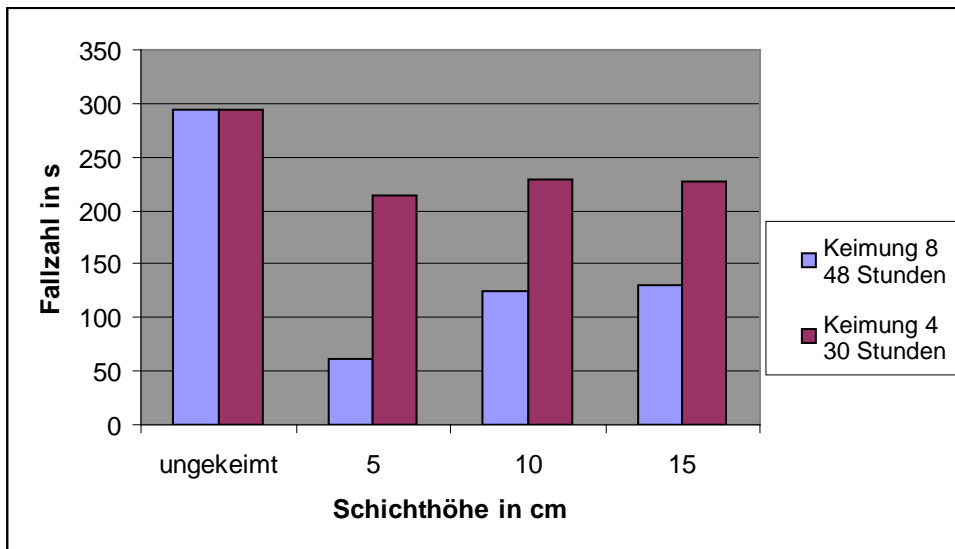


Abbildung 44 Einfluss der Keimzeit auf die Fallzahl (Umgebungstemperatur 15 °C)



**Abbildung 45: Einfluss der Keimzeit auf die Fallzahl (Umgebungstemperatur 20 °C)**

Die Bestimmung der Fallzahl ermöglicht eine Aussage über die Viskosität einer verkleisterten Mehl-Wasser-Suspension, die einen Rückschluss auf die Aktivität der  $\alpha$ -Amylase ermöglicht. Zusätzlich zur Bestimmung der Fallzahl wurde der Viskositätsverlauf der Mehl-Wasser-Suspension mit steigender Temperatur gemessen, wodurch die Stärkeeigenschaft in Annäherung an den Backprozess beurteilt werden kann. Der Viskositätsverlauf wurde im Micro Visco-Amylo-Graph (MVAG) gemessen.

Für den unbehandelten Dinkel wurden die maximale Viskosität von 250,7 BE und die Verkleisterungstemperatur im Maximum von 89,4 °C gemessen.

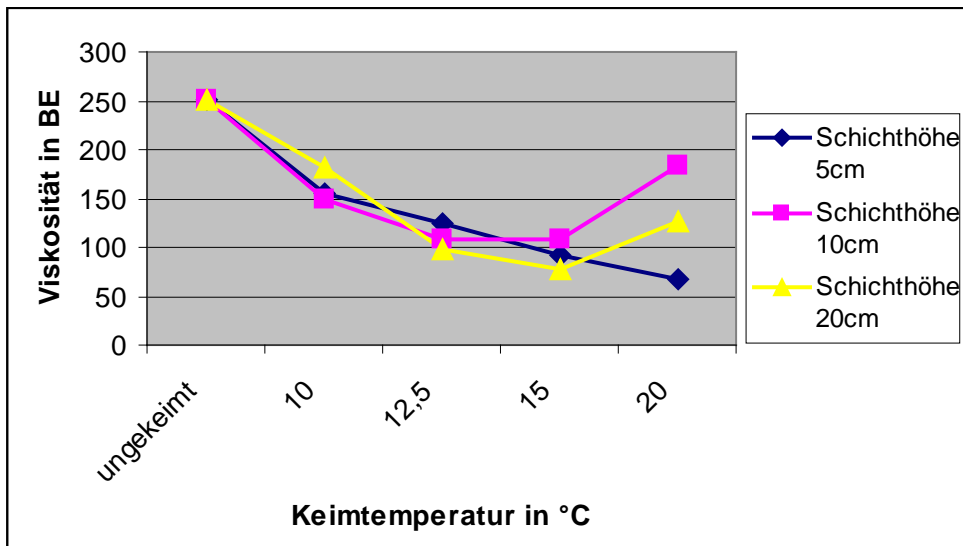
In Abbildung 46 wird deutlich, dass die maximale Viskosität der Mehl-Wasser-Suspension in der Keimreihe 1 bis zur UT 15 °C stetig abnahm. Die Probe aus der SH 5 cm folgte dem Trend auch bei 20 °C UT, während die Proben aus der SH 10 cm und 20 cm eine höhere maximale Viskosität ergaben als mit der UT 15 °C.

Wie auch bei der Bestimmung der Fallzahl festgestellt wurde, stiegen die Werte der SH 10 cm und 20 cm der Keimreihe 1 bei der UT 20 °C wieder an.

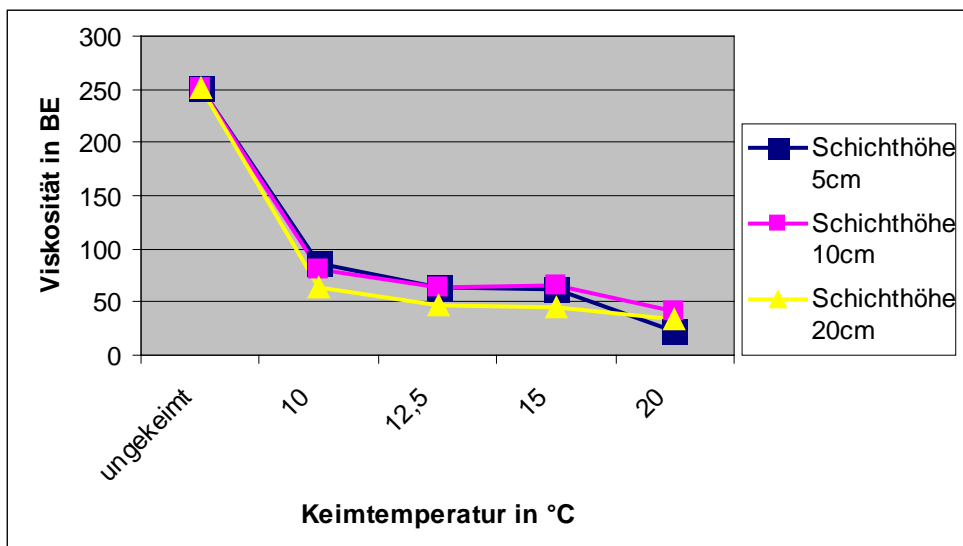
Abbildung 47 zeigt die maximale Viskosität der Proben der Keimreihe 2 grafisch. In dieser Keimreihe sank die maximale Viskosität mit steigender SH und zunehmender UT unter allen Keimbedingungen. Besonders ausgeprägt war im Vergleich zum unbehandelten Getreide der Viskositätsabfall durch die Keimung. Nach der Keimzeit von 48 Stunden betrug das Viskositätsmaximum weniger als 20 % bezogen auf das Maximum des unbehandelten Dinkels.

Der visuell beurteilte am weitesten fortgeschrittene Keimungszustand der Keimung 8 bestätigte sich auch durch die Messung der Viskosität mit dem MVAG. Auch hier wurden die größten Änderungen unter der Versuchsbedingung 20 °C UT und 5 cm SH gemessen.



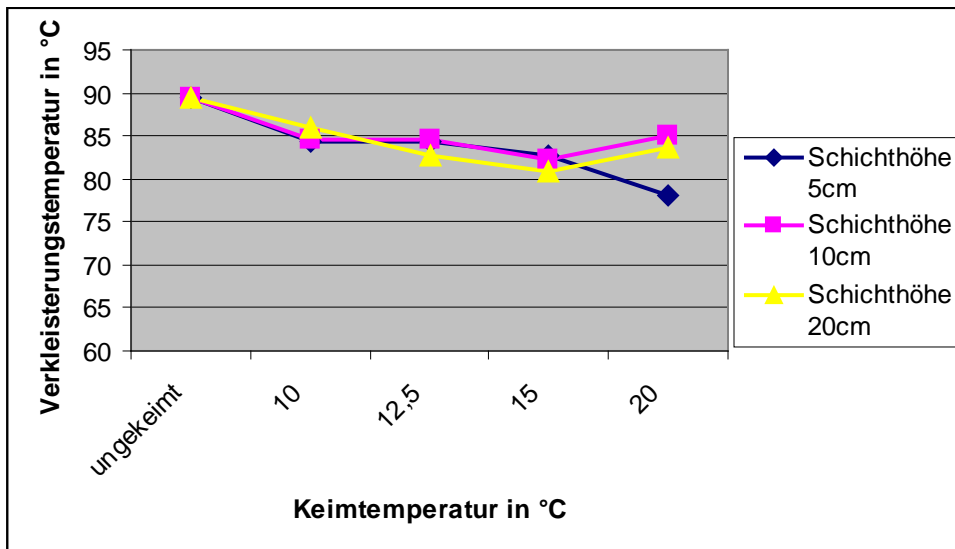


**Abbildung 46** Maximale Viskosität in Abhängigkeit von Keimtemperatur und Schütthöhe der Keimreihe 1



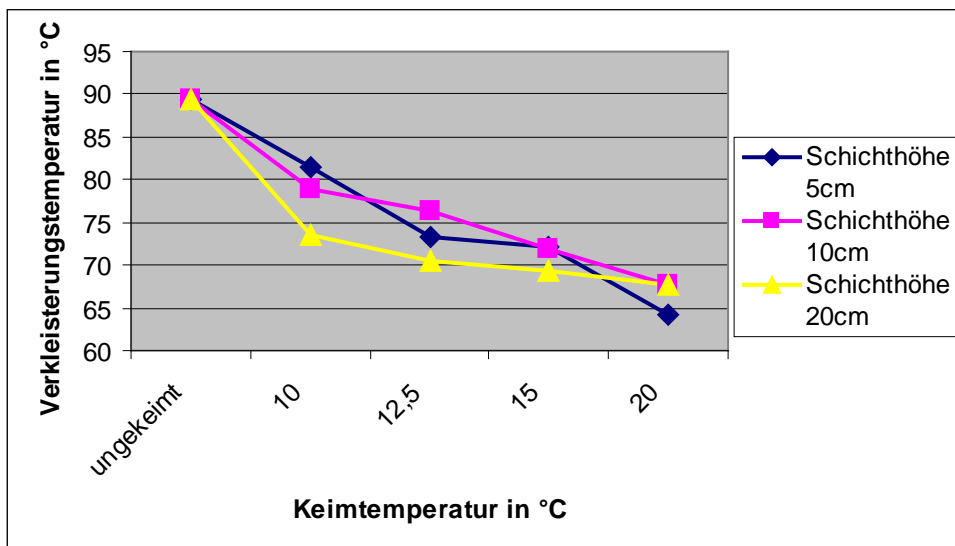
**Abbildung 47** Maximale Viskosität in Abhängigkeit der Keimtemperatur und Schütthöhe der Keimreihe 2

Die Verkleisterungstemperatur in Abhängigkeit von SH und UT der Keimreihe 1 ist in Abbildung 48 dargestellt, die der Keimreihe 2 in Abbildung 49. Die Verkleisterungstemperatur nahm unter den Bedingungen der Keimreihe 1 von 89 °C im unbehandelten Dinkel bis zur UT 15 °C unabhängig von der Schütthöhe ab. Sie betrug zwischen 81 °C und 83 °C. In der Probe der SH 5 cm sank sie nach der UT 20 °C weiter auf 77 °C, während die Verkleisterungstemperatur der Schüttungen 10 cm und 20 cm wieder anstieg. Eine gleiche Tendenz zeigten auch die Messwerte der Viskositätsmaxima dieser Proben.



**Abbildung 48 Verkleisterungstemperatur in Abhängigkeit der Schütthöhe und Umgebungstemperatur Keimreihe 1**

Die Verkleisterungstemperatur des Dinkels aus der Keimreihe 2 nach der Keimzeit von 48 Stunden lag unter allen Bedingungen unter denen der Keimreihe 1. Die geringsten Verkleisterungstemperaturen wurden in der Schüttung UT 20 °C gemessen. Sie betragen zwischen 64 °C und 67 °C. Je geringer die Verkleisterungstemperatur im Dinkel war, umso früher konnte die  $\alpha$ -Amylase Stärke hydrolysieren, wodurch die Viskosität geringer wurde im Vergleich zu nicht abgebauter Stärke.



**Abbildung 49 Verkleisterungstemperatur in Abhängigkeit der Schütthöhe und Umgebungstemperatur Keimreihe 2**

## Proteasenaktivität

Der Inhaltsstoff Protein im Dinkel und insbesondere das Kleberprotein besitzen zur Teigbildung und Teig rheologie eine zentrale Bedeutung. Die durch die Keimung aktivierten Proteasen können während der Keimzeit das Kleberprotein durch Hydrolyse schwächen, wodurch der Anteil wasserlöslicher Aminosäuren steigt und als ein relatives Maß für die Proteaseaktivität angesehen werden kann.

Die wasserlöslichen Proteine wurden extrahiert, mit Ninhydrin gefärbt und fotometrisch bestimmt.

Die fotometrische Bestimmung der wasserlöslichen Proteine im unbehandelten Dinkel zeigte die geringste Extinktion und somit die geringste Konzentration an gelösten, stickstoffhaltigen Substanzen. Begründet werden kann dies dadurch, dass im ungekeimten Korn die stickstoffhaltigen Substanzen zum größten Teil in Form von hochmolekularen Eiweißkörpern wie Prolaminen und Glutelinen vorliegen. In dem unbehandelten Dinkel lösen sich primär nur Albumine bzw. Globuline. Die Extinktion der gekeimten Dinkel extrakte nahm mit steigender Umgebungstemperatur innerhalb der Schütthöhe zu.

Abbildung 50 zeigt, dass die Extinktion und somit der Anteil wasserlöslicher Aminosäuren des Dinkels der Keimreihe 1 nach 30 Stunden primär von der UT beeinflusst wurde und nicht von der SH.

Der Vergleich der Extinktion in Abbildung 50 mit Abbildung 51 nach 48 Stunden Keimung zeigt, dass durch die längere Keimzeit ein Einfluss der SH zu erkennen ist. Je höher die SH war, umso größer war auch der Anteil löslicher Aminosäuren. Die Tendenz der Aktivität der Proteasen entspricht der der  $\alpha$ -Amylasen, die auch mit ansteigender Temperatur in der Getreideschüttung zunahm.

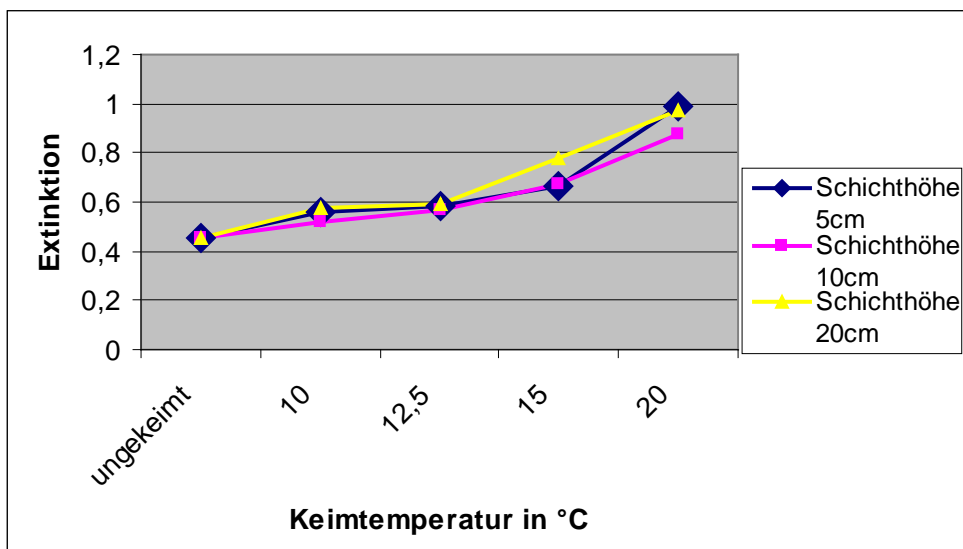
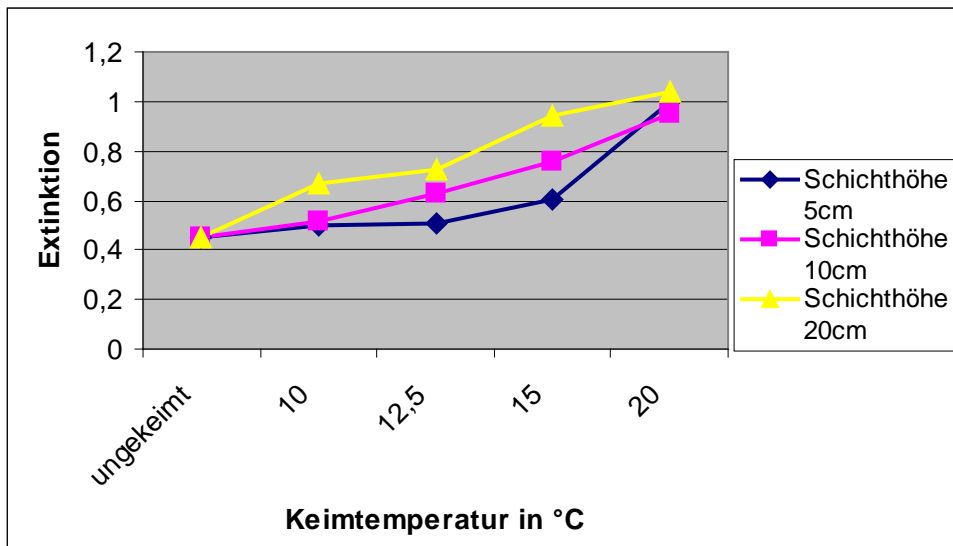


Abbildung 50 Extinktion in Abhängigkeit der Keimtemperatur und der Schütthöhe der Keimreihe 1



**Abbildung 51 Extinktion in Abhängigkeit der Keimtemperatur und der Schütthöhe der Keimreihe 2**

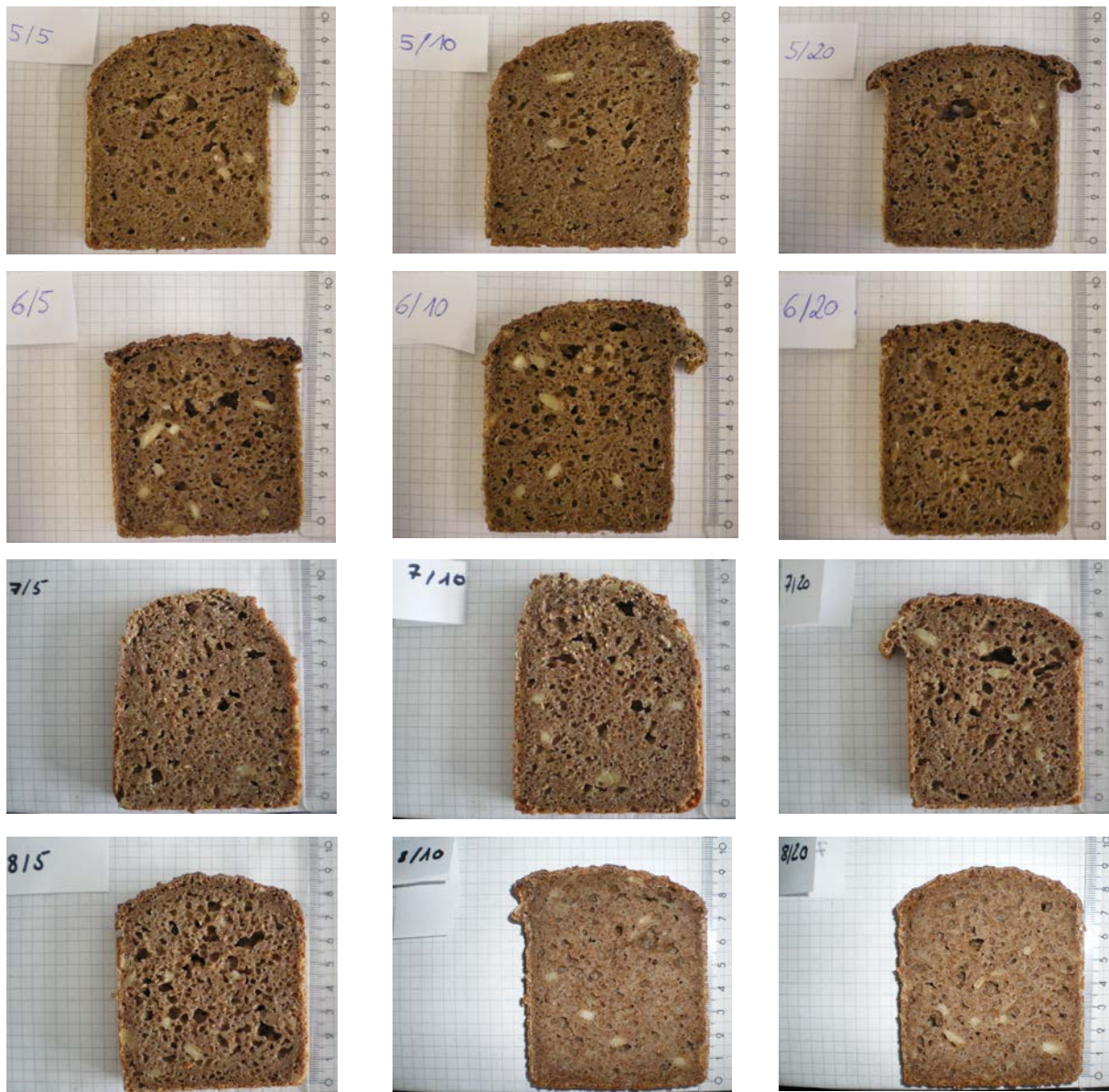
### Backversuche

Aus dem Dinkel der Keimreihe 2 wurden im Partnerbetrieb unter praxisnahen Bedingungen Brote in Anlehnung an die im Betrieb verwendete Rezeptur für Essener Brot hergestellt und 24 Stunden nach dem Ausbacken beurteilt. Die Brote wurden nach den Kriterien Krumenbeschaffenheit, Porung, Form, Oberflächenbeschaffenheit, Farbe und Geschmack untersucht.

Die Krume war bei allen Broten feucht, was zu einer rauen Schnittfläche führte. Es wurde bei allen Broten eine klebende Krume festgestellt, die eine beeinträchtigte Trennbarkeit der Scheiben bewirkte. Dies kann auf die hydrolysierte Stärke und somit auf die verminderte Wasserbindung im Brot zurückgeführt werden. Alle Brote wiesen eine offene, grobe Porung auf. Die, durch Eiweißabbau während der Keimung entstandene, Beeinträchtigung der Kleberqualität kann dafür der Grund sein, ebenso die Amylaseaktivität.

Die Beschaffenheit der Brotkruste war bei allen Broten fest mit dunkelrötlich bis brauner Färbung. Durch den enzymatischen Stärkeabbau steigt der Gehalt niedermolekularer Kohlenhydrate, die durch Maillard-Reaktion zu einer intensiven Färbung führen können. Bei einigen Broten wurden Krustenrisse, besonders in den Randbereichen festgestellt. Das Aufplatzen der Kruste kann mehrere Ursachen haben. Risse treten auf, wenn die Stabilität der Kruste geringer ist als der während des Backens entstehende Gasdruck in der Krume.

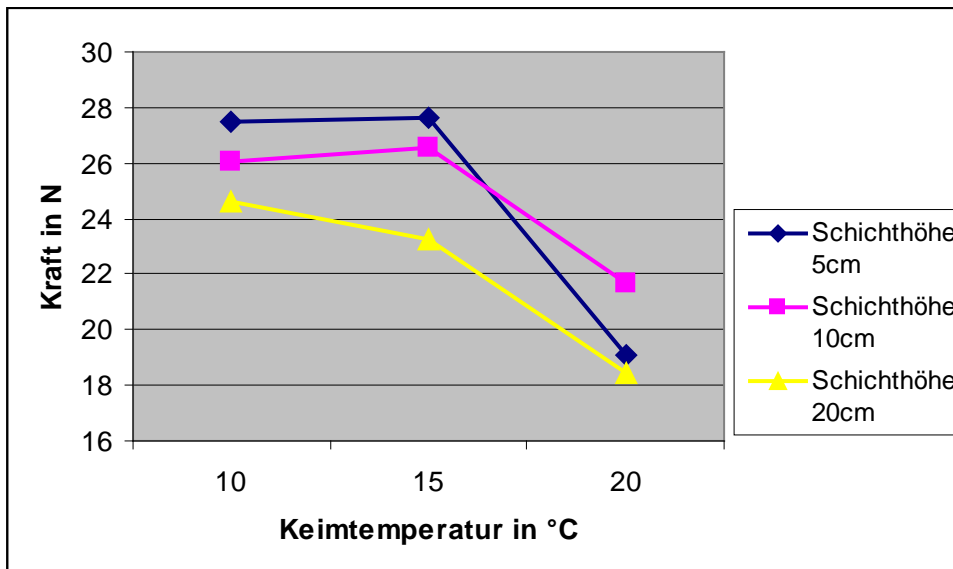
Es wurde bei allen Dinkelbroten ein leicht süßlicher Geschmack festgestellt, der in dem Stärkeabbau und der damit verbundenen Bildung niedermolekularer Kohlenhydrate begründet sein kann.



**Abbildung 52: Brote aus der Keimreihe 2 (Keimung/Schütthöhe)**

Die Krumenfestigkeit der Dinkelbrote wurde mit dem Texture-Analyser gemessen. Die Brote aus dem mit 12,5 °C UT gekeimten Dinkel standen zur Messung nicht zur Verfügung. Zur Bewertung der Krumenfestigkeit wurden die Mittelwerte aus den Doppelbestimmungen eines Backversuchs herangezogen.

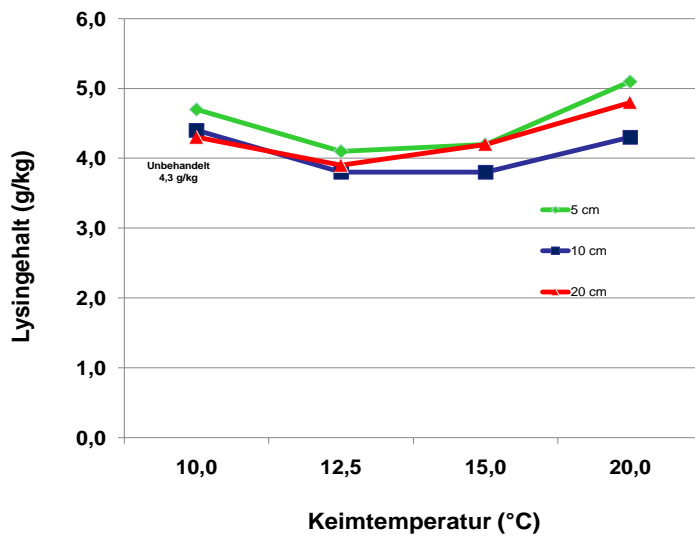
Die SH 5 cm und 10 cm bewirkten in dem Brot aus Dinkel, der oberhalb von 15 °C UT gekeimt wurde, eine Abnahme der Krumenfestigkeit von ca. 15 bzw. 32 %. Tendenziell nahm die Krumenfestigkeit in Broten aus dem mit steigender UT gekeimten Getreide ab (siehe Abbildung 53). Die Brote aus der SH 20 cm zeigten im Vergleich mit allen Broten die geringste Krumenfestigkeit. Die Messergebnisse zeigten, dass die mit steigender Temperatur in der Getreideschüttung ansteigende Enzymaktivität zu einer weniger stabilen und weicheren Kruste führte.



**Abbildung 53** Veränderung der Krumenfestigkeit der Dinkelbrote in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur und Schütthöhe

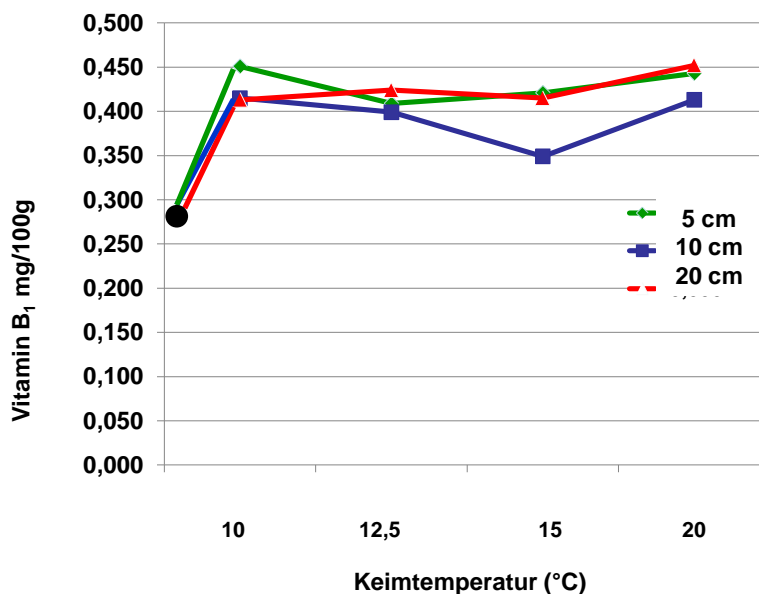
### Wertgebende Inhaltsstoffe

Das in Getreide als limitierende Aminosäure angesehene Lysin wurde in gekeimtem Dinkel der Keimreihe 2 untersucht, um eine durch die Keimung bedingte Veränderung festzustellen. Der Lysingehalt in dem unbehandelten Dinkel betrug 4,3 g/kg, der durch die Keimung bei 10 °C UT in allen Proben praktisch gleich blieb. Die Abbildung 54 zeigt, dass mit der UT 12,5 °C und 15 °C der Lysingehalt abnahm. Mit der UT 20 °C stieg der Gehalt wieder auf seinen Ausgangswert von 4,3 g/kg an oder lag gering darüber. Im Rahmen des Projekts konnte nicht geklärt werden, warum der Lysingehalt diesen Veränderungen in Abhängigkeit der UT unterlag. Aus der Probe mit dem höchsten Lysingehalt von 5,1 g/kg (UT 5 °C/ SH 5 cm) wurde ein Brot gebacken, in dem der Lysingehalt mit 3,8 g/kg bestimmt wurde. Durch den Gär- und Backprozess trat eine messbare Reduzierung von 24 % auf.



**Abbildung 54** Lysingehalt in Abhängigkeit der Schütthöhe und Umgebungstemperatur in gekeimtem Dinkel

In der Ernährung ist Getreide ein wichtiger Lieferant der Vitamine B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub>. Durch die Keimung von Getreide ist zu erwarten, dass der Gehalt dieser Vitamine ansteigt. In Abbildung 55 ist der B<sub>1</sub>-Gehalt in Dinkel nach den verschiedenen Keimbedingungen grafisch dargestellt.



**Abbildung 55** Einfluss der Keimbedingung auf den Vitamin B<sub>1</sub>-Gehalt in gekeimtem Dinkel

Im unbehandelten Getreide betrug der Vitamin B<sub>1</sub>-Gehalt 0,285 µg/100 g, der unter allen Keimbedingungen zunahm. Auffällig ist die Abnahme in der Probe mit der Keimbedingung SH 10 cm und UT 15 °C. Es ist anzunehmen, dass hier ein Messfehler die Ursache für die Abnahme ist. Unter den Versuchsbedingungen stieg der Gehalt zwischen 22 % und 59 % an, wie Abbildung 56 zeigt. Offensichtlich erfolgt die Steigerung des Vitamin B<sub>1</sub>-Gehaltes unabhängig von der Keimtemperatur.

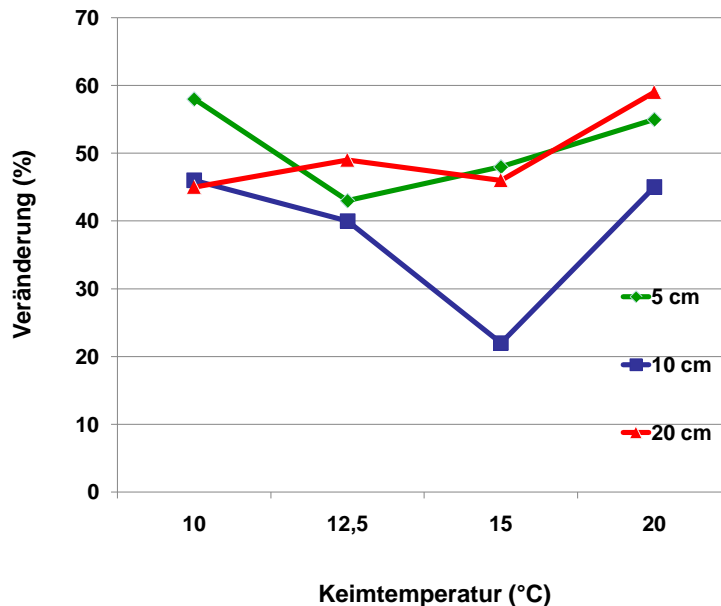


Abbildung 56 Prozentuale Veränderung des Vitamin B<sub>1</sub>-Gehalts in gekeimtem Dinkel

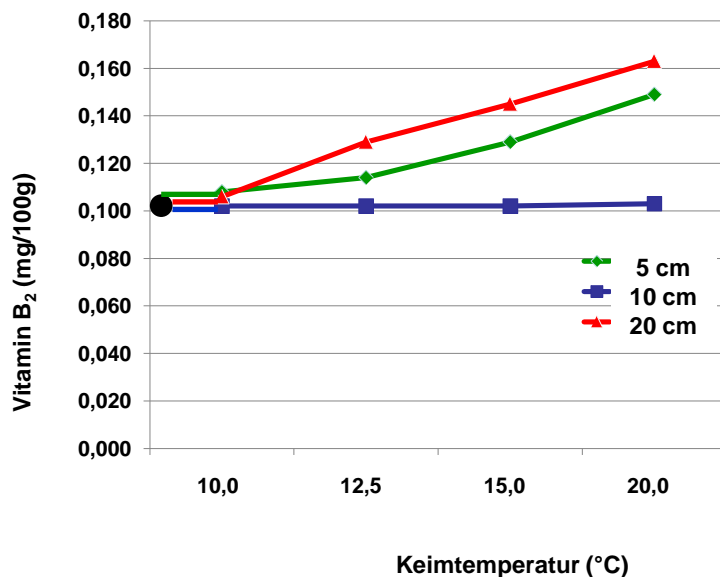
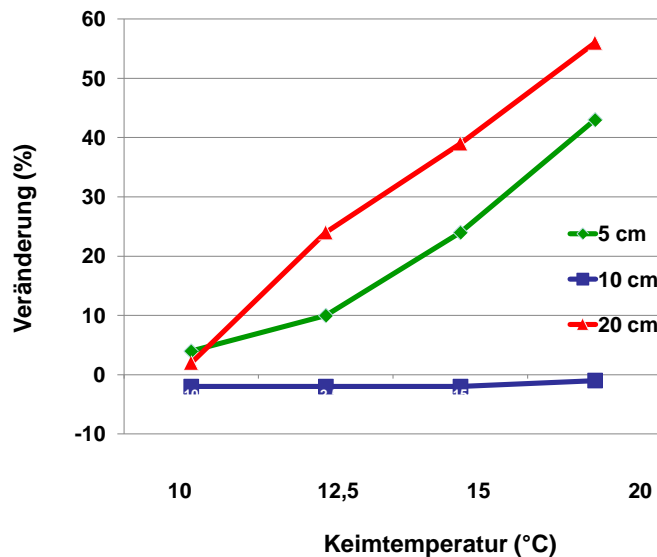


Abbildung 57 Einfluss der Keimbedingung auf den Vitamin B<sub>2</sub>-Gehalt in gekeimtem Dinkel



Der Vitamin B<sub>2</sub>-Gehalt nahm in den Schütthöhen 5 cm und 20 cm mit zunehmender Umgebungstemperatur zu: In der Probe mit der SH 5 cm von 0,104 µg/100 g bis auf 0,149 µg/100 g und in der Probe mit der SH 20 cm auf 0,162 µg (siehe Abbildung 57). Durch diese Keimbedingung stieg der Gehalt um 43 % bzw. 56 % an (siehe Abbildung 58).

Der Dinkel aus den Versuchen mit 10 cm SH ergab keine Veränderung im Vitamin B<sub>2</sub>-Gehalt. Der Grund für den unveränderten Gehalt kann seine Ursache in einem systematischen Fehler haben. Festgehalten werden kann, dass die Entwicklung temperaturabhängig verläuft.



**Abbildung 58: Prozentuale Veränderung des Vitamin B<sub>2</sub>-Gehalts in gekeimtem Dinkel (30 Stunden Keimzeit)**

Neben den beiden B-Vitaminen wurde auch Folsäure bestimmt und die Veränderung des Gehalts grafisch dargestellt. Der Folsäuregehalt im unbehandelten Dinkel wurde mit 66,9 µg/100 g bestimmt. Wie die Abbildung 59 zeigt, war der Gehalt nach der Keimung, unabhängig von den Keimbedingungen, in allen Proben geringer als in der unbehandelten Probe. Innerhalb dieses Projektes konnte kein Zusammenhang für die Abnahme des Folsäuregehalts in Dinkel um bis zu 68 % durch die Keimbedingung festgestellt werden.

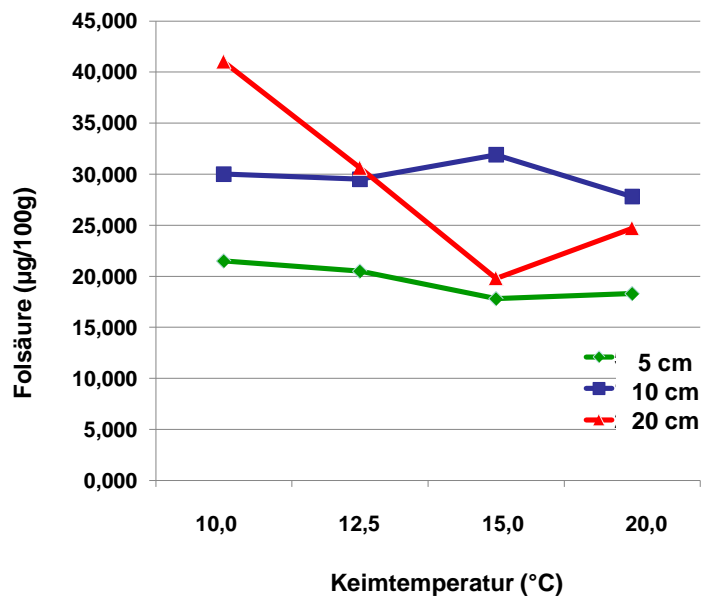


Abbildung 59 Folsäuregehalt in gekeimtem Dinkel in Abhängigkeit der Keimbedingung (30 Stunden Keimzeit)

## 5 Arbeitsblock IV

### 5.1 Ziele im Arbeitsblock

Erprobung des Einsatzes von Sprossen zu technologischen Zwecken

Beschreibung der Einsatzmöglichkeiten

### 5.2 Material und Methoden

#### 5.2.1 Material

In einem ersten Schritt wird eine Reihe von Backversuchen zur Erprobung des Einsatzes von Sprossenbrot zur Verbesserung der Teigeigenschaften und Gebäckqualität im System Roggenbrot und Weizenbrot konzipiert. Ziel ist es, durch den Einsatz der Keimlinge für enzymchwache Mehle eine Verbesserung der sensorischen Qualität und der Teigeigenschaften zu erreichen. Weiterhin wird der Einfluss des Einsatzes von Keimlingen auf den Wasserhaushalt des Gebäcks getestet. Ziel ist in beiden Fällen die Verbesserung der Sensorik und der Haltbarkeit. Insbesondere bei Weizengebäcken wird eine Verringerung der Austrocknung oder ein Hinauszögern der Retrogradation angestrebt

Im Rahmen dieses Projektes werden im System Weizen/Dinkel zwölf Backversuche und im System Roggen sechs Backversuche durchgeführt (18 Backversuche). Die genaue Konzeption der Backversuche wird auf der Grundlage der Ergebnisse der Keimlinge und der Versuche mit Essener Brot abgeleitet.

Es werden bei den Versuchen insbesondere mit Roggen enzymchwache Mehle eingesetzt, um mögliche Effekte zu zeigen. Im Weizengebäckbereich wird sowohl die Wirkung bei hoch ausgemahlene Mehlen als auch bei Vollkornprodukten getestet werden. Austrocknungsgefährdete Produkte stehen hierbei im Fokus. Die Endprodukte werden den üblichen sensorischen Untersuchungen und Gebäckbeurteilungsverfahren sowie Haltbarkeitstests unterzogen.

Ziel ist es, technologische Strategien zu entwickeln, wie Keimlinge zur Verbesserung der Backqualitäten und zur Korrektur von Rohstoffschwankungen in ökologischen Bäckereien eingesetzt werden können.

Die Aktivierung von Getreide führt zu einem Anstieg der Enzymaktivität, die auch in Malzmehl erwünscht ist und erwartet wird. Deshalb wurden Versuche durchgeführt, das gekeimte Getreide zur Enzymaktivierung von enzymarmen Mehlen/Getreide gezielt einzusetzen. Dazu wurden Trocknungsbedingungen untersucht, die auch in handwerklichen Bäckereien möglich sind.

## 5.2.2 Methoden

### Trocknung des Getreides

Die Trocknung erfolgte in einem temperierten Konvektionstrockner mit Lufttemperaturen zwischen 30 °C, 40 °C und 50 °C in einer Schichthöhe von ca. 2 cm.

### Vermahlung und Fraktionierung des gekeimten Roggens

Der gekeimte und gefriergetrocknete Roggen wurde mit der Retsch Mühle Z 1000 mit verschiedenen Siebeinsätzen vermahlen; so wurden Vollkornmehle mit unterschiedlicher Partikelgröße hergestellt, fraktioniert und wie folgt bezeichnet:

**Tabelle 5 Bezeichnung Partikelgrößen**

	Vermahlungsgrad	Partikelgröße
1	sehr grob	> 1.400 µm
2	grob	800 µm
3	mittel	500 µm
4	fein	< 250 µm

### Backversuch

Die Überprüfung der technologischen Eigenschaften des gekeimten Roggens erfolgte durch den Zusatz unterschiedlicher Mengen zu einem Teig. Auf den Zusatz von Säure zum Roggenmischbrotteig wurde verzichtet, um den Einfluss der Keimlinge besser beurteilen zu können. In der Tabelle 6 ist die Rezeptur des Teiges aufgeführt.

**Tabelle 6 Rezept Roggenbackversuch**

Mehl	1.000 g
Hefe	40 g
Salz	20 g
Wasser	650 bzw. 800 ml

Die Rezepturbestandteile wurden alle gleichzeitig in den Knetkessel des Hobart-Kneters gegeben und 1 Minute mit der Stufe 1 gemischt. Anschließend erfolgte die Knetung des Teiges mit der Stufe 2 über 4 Minuten. Die Hefe wurde im Teigwasser suspendiert.

Nach 10 Minuten Teigruhe bei Raumtemperatur wurde der Teig in Stücke zu je 600 g aufgeteilt und manuell rund-, dann langgewirkt und in Kästen gegart und gebacken. Die Stückgare erfolgte bei 30 °C und 75 % relative Feuchtigkeit zwischen 35 Minuten und 45 Minuten. Das Weizenbrot wurde bei 220 °C gebacken. Das Roggenmischbrot wurde bei 250 °C angebacken und mit fallender Temperatur bis zu 220 °C fertiggebacken. Zu Beginn des Backprozesses wurden die Teige beschwadet und nach 2 Minuten der Zug geöffnet. Die Beurteilung erfolgte nach 24 Stunden.

### **Bestimmung der Fallzahl (nach Perten)**

Die Fallzahlbestimmung wurde nach dem ICC-Standard 107 durchgeführt.

Abweichend davon wurde zur genaueren Differenzierung der Enzymaktivität Roggenmehl Type 1150 mit 5 % und 10 % gekeimtem Getreide gemischt und dann die Fallzahl der Mehlmischung bestimmt.

### **Bestimmung der Viskosität (Micro Visco-Amylo-Graph)**

Der Viskositätsverlauf des gekeimten Getreides bei steigender Temperatur wurde mit dem Micro Visco-Amylo-Graph (MVAG) gemessen. Dazu wurden 12,0 g Getreide-TS in den Messbecher des MVAG eingewogen und mit vollionisiertem Wasser auf 100 g aufgefüllt und die Temperatur wurde von 30 °C mit 3 °C/Minute auf 95 °C erhöht.

### **Bestimmung der Krumenfestigkeit**

Die Bestimmung der Krumenfestigkeit wurde mit dem Texture-Analyser durchgeführt. Dazu wurde eine 26 mm dicke Brotscheibe auf die Probenfläche des Texture-Analysers gelegt. Die Messung erfolgte mit einem runden Hartgummistempel mit dem Durchmesser von 24 mm.

Die Messung erfolgte unter den Bedingungen:

- Geschwindigkeit vor: 2,0 mm/s
- Geschwindigkeit Test: 0,5 mm/s
- Rückgeschwindigkeit: 2,0 mm/s
- Penetrationstiefe: 5,0 mm

Die Kraft für die Penetration wird in Newton (N) angegeben. Aus jeder Doppelbestimmung wurde der Mittelwert errechnet.

### **Bestimmung der Feuchtigkeit**

Die Bestimmung der Feuchtigkeit wurde mit dem Schnellwasserbestimmer der Firma Sartorius durchgeführt.

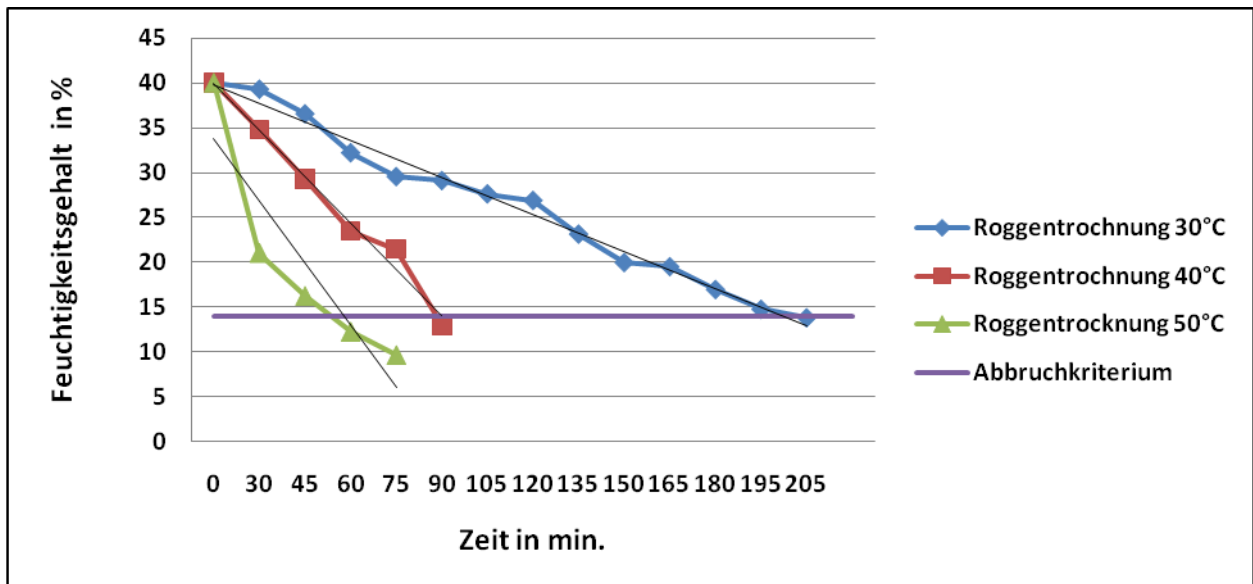
### **Bestimmung des Brotvolumens**

Das Brotvolumen wurde mit der Methode von Neumann-Doose durch Volumenverdrängung bestimmt.

## 5.3 Ergebnisse

Getreide kann je nach Sorte und Witterung während der Reife- und Erntezeit in seiner Backeigenschaft beeinflusst werden. Die Eigenschaft von Weizen ist primär sortenabhängig, während die Qualität von Roggen häufig durch die Witterung geprägt wird. Die Enzymaktivität im Korn und dadurch auch im Mehl kann so gering sein, dass sie zur Herstellung eines Brotes mit guter Qualität zu niedrig ist. Deshalb werden in der Praxis Mehle oder Backmittel dem Teig zugesetzt, durch die die Enzymaktivität erhöht und die Qualität des Brotes verbessert werden können. Im Rahmen des Projektes wurden deshalb Versuche durchgeführt, gekeimtes Getreide zu trocknen und zu vermahlen, und dieses wurde enzymarmen Teigen zugesetzt, um die Enzymaktivität im Teig zu optimieren.

Das Ziel der Trocknung war, das Getreide möglichst ohne Reduzierung der Enzymaktivität in kurzer Zeit auf eine Lagerfeuchtigkeit unter 14 % zu trocknen. Den Einfluss der Lufttemperatur (Trocknungstemperatur) in einem Konvektionstrockner und der Trocknungszeit auf den Wassergehalt des Roggens zeigt die Abbildung 60. Ausgehend von dem Wassergehalt von ca. 40 % im gekeimten Getreide nahm der Wassergehalt in Abhängigkeit der Trocknungstemperatur ab. Je höher die Temperatur war, umso schneller trocknete das Getreide auf einen Wassergehalt unter 14 %. Die Trocknung mit der Lufttemperatur 30 °C dauerte 205 Minuten, mit der Lufttemperatur 50 °C nur ca. 50 Minuten. Während der Trocknung in Abhängigkeit des Wassergehalts und der Temperatur können die  $\alpha$ -Amylasen eine Hydrolyse der Stärkemoleküle bewirken, die zu einer Fallzahl außerhalb des Messbereichs führen kann. Um in dem Messbereich das Fallzahlgeräts zu bleiben, wurde der getrocknete Roggen einem Roggenmehl Type 1150 im Verhältnis Roggenmehl zu Keimlinge von 90 zu 10 zugegeben.



**Abbildung 60 Einfluss der Trocknungsbedingungen auf den Feuchtigkeitsgehalt in gekeimtem Roggen**

In Tabelle 7 sind die Fallzahl und das Amylogrammmaximum des getrockneten Roggens nach unterschiedlichen Trocknungstemperaturen dargestellt. Die Fallzahlen zeigen keinen deutlichen Einfluss der Trocknungstemperatur, ebenso nicht die Amylogrammmaxima. Es fällt aber auf, dass die Fallzahl mit der Keimbedingung SH 5 cm /UT 12,5 °C geringer war als nach der Keimbedingung SH 5 cm / UT 20 °C, für die Amylogrammmaxima aber ein entgegengesetztes

Verhalten gemessen wurde. Die Trocknungstemperatur 50 °C führte unter den Versuchsbedingungen zu der geringsten Aktivität der  $\alpha$ -Amylase, wie die Messwerte zeigen.

Für alle weiteren Untersuchungen wurde deshalb das Getreide mit 50 °C getrocknet.

**Tabelle 7 Einfluss der Trocknungstemperatur auf die Fallzahl und Amylogrammmaximum von gekeimtem Roggen in Abhängigkeit der Keimbedingung**

	Type 1150	Schütthöhe 5cm / Umgebungstemperatur 12,5°C			Schütthöhe 20cm / Umgebungstemperatur 20°C		
		30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C
<b>Feuchtigkeits- gehalt in %</b>	10,1	13,4	13,1	12,3	12,5	12,3	12,4
<b>Fallzahl in s</b>	220,0	66,0	74,0	70,0	110,0*	112,0*	117,0*
<b>Amylogramm- maximum in BE</b>	537,0	142,0	159,0	164,0	61,0	31,0	31,0

\* Fallzahl wurde mit dem Mischungsverhältnis Roggenmehl Type1150 zu Keimlinge = 90 zu 10 bestimmt.

Das getrocknete Getreide wurde mit der Zentrifugalmühle Z 1000 (Firma Retsch) vermahlen und fraktioniert. So entstanden Fraktionen mit der Bezeichnung fein, mittel, grob und sehr grob. Diese Fraktionen wurden Roggenmehl Type 1150 und Weizenmehl Type 550 mit einem Anteil von 10 % zugesetzt und die Fallzahl bestimmt. Zusätzlich wurden Mischungen in verschiedenen Verhältnissen aus den Roggen- und Weizenmehlen hergestellt und mit Fraktionen des gekeimten Getreides vermischt. Die Mischungen bestanden somit aus 90 % reinem Roggenmehl/Weizenmehl bzw. einer Mischung daraus und 10 % einer Fraktion des gekeimten und vermahlenden Roggens.

Tabelle 8 und Tabelle 9 zeigen den Einfluss der Keimlinge nach unterschiedlichen Keimbedingungen und nach Fraktionierung auf die Fallzahl der Mehle bzw. Mehlmischungen.

**Tabelle 8 Fallzahl der Mehle bzw. Mehlmischung unter Keimbedingung: Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C**

Mehl	Feuchtigkeitsgehalt	ohne	fein	mittel	grob	sehr grob
	in %		< 250µm	500µm	800µm	> 1.400µm
100 RM	10,83	224	197	211	216	214
80 RM & 20 WM	11,31	235	196	209	224	230
60 RM & 40 WM	12,08	250	211	225	223	237
40 RM & 60 WM	11,97	270	218	226	237	251
20 RM & 80 WM	12,65	305	224	234	254	277
100 WM	12,89	372	243	255	283	318

**Tabelle 9 Fallzahl der Mehle bzw. Mehlmischung unter Keimbedingung: Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C**

Mehl	Feuchtigkeitsgehalt	ohne	fein	mittel	grob	sehr grob
	in %		< 250µm	500µm	800µm	> 1.400µm
100 RM	10,83	224	130	136	134	166
80 RM & 20 WM	11,31	235	129	130	133	147
60 RM & 40 WM	12,08	250	131	132	134	163
40 RM & 60 WM	11,97	270	132	136	145	173
20 RM & 80 WM	12,65	305	136	142	146	172
100 WM	12,89	372	146	153	157	205

Die Fallzahlen zeigen, dass durch den Zusatz des enzymaktiven Getreides von 10 % des Gesamtmehles die Fallzahl reduziert wurde. Die Keimbedingung SH 20 cm / UT 20 °C führte zu einer größeren Verringerung der Fallzahl als die Keimbedingung SH 5 cm / UT 12,5 °C. Mit diesen Versuchen wird die Bedeutung der Umgebungstemperatur, die Einfluss hat auf die Temperatur in der Getreideschüttung während der Keimung, deutlich.

Der Vergleich der Fallzahlen innerhalb einer Mehlmischung bzw. eines reinen Mehles zeigte, dass die Fallzahl mit steigender Partikelgröße des gekeimten Roggens auch anstieg. Es ist deshalb anzunehmen, dass durch den kürzeren Diffusionsweg bei den kleinen Partikeln mehr Enzyme in den Teig diffundieren können als bei größeren Partikeln. Somit kann auch die Partikelgröße ein Rohstoffparameter zur Beeinflussung der Fallzahl sein.

Besondere Bedeutung hat die Fallzahl von Getreide für die Herstellung von Backwaren. Dazu wurden Brote aus einem Roggenmehl Type 1150 und Weizenmehl Type 550 im Verhältnis 60 zu 40 hergestellt, denen die Fraktionen des gekeimten Roggens zugesetzt wurden. Der Zusatz aus der Keimbedingung SH 5 cm / UT 12,5 °C wurde bei 10 % belassen, während der Zusatz des Roggens aus der Keimbedingung SH 20 cm / UT 20 °C auf 5 % reduziert wurde, weil der Zusatz von 10 % die Fallzahl auf 173 reduziert hat. Mit dieser geringen Fallzahl ist kein Backergebnis mit genügend differenzierender Aussage zu erwarten.

In Tabelle 10 und Tabelle 11 ist die Rezeptur der Brote aufgeführt.

**Tabelle 10 Rezept Weizenbrot**

Zutaten	Nullversuch	Keimbedingung SH 5 cm / 12,5 °C	Keimbedingung SH 20 cm / 20 °C
Weizenmehl Type 550	1.000 g	1.000 g	1.000 g
Hefe	50 g	50 g	50 g
Salz	15 g	15 g	15 g
Zucker	10 g	10 g	10 g
Kokosfett	10 g	10 g	10 g
Wasser	640 g	640 g	640 g
gekeimter Roggen mit unterschiedlicher Partikelgröße	-	100 g	50 g
<b>Summe</b>	<b>1.710 g</b>	<b>1.810 g</b>	<b>1.760 g</b>

\* gekeimter Roggen mit unterschiedlicher Partikelgröße



**Tabelle 11 Rezept Roggenmischbrot**

Zutaten	Nullversuch	Keimbedingung SH 5 cm / 12,5 °C	Keimbedingung SH 20 cm / 20 °C
Roggenmehl Type 1150	600 g	600 g	600 g
Weizenmehl Type 550	400 g	400 g	400 g
Hefe	50 g	50 g	50 g
Salz	15 g	15 g	15 g
Zucker	10 g	10 g	10 g
Kokosfett	10 g	10 g	10 g
Wasser	750 g	750 g	750 g
gekeimter Roggen mit unterschiedlicher Partikelgröße	-	100 g	50 g
<b>Summe</b>	<b>1835 g</b>	<b>1935 g</b>	<b>1885 g</b>

Die unterschiedlichen Fraktionen und somit Partikelgrößen beeinflussten auch das Backergebnis. Abbildung 61 zeigt Weizenbrote im Vergleich mit dem Zusatz von 10 % Keimlingen der Keimbedingung SH 5 cm / UT 12,5 °C. Abbildung 62 zeigt diese Brote im Querschnitt. Hier ist sehr gut zu erkennen, dass das Volumen von der Fraktion fein bis zur Fraktion grob zunahm, mit der Fraktion sehr grob wieder geringer ausfiel. Der Einfluss der Partikelgröße des gekeimten Roggens wurde auch schon bei der Bestimmung der Fallzahl festgestellt.

Die Volumenzunahme der Weizenbrote war auf eine Optimierung der Mehleigenschaften infolge der aus den jeweiligen Partikeln ausgetretenen Enzymen zurückzuführen. Es handelte sich offenbar um eine Vielzahl von Enzymen (z. B. Amylasen, Proteasen, Xylanasen), die im Weizenbrot zur Verbesserung der Teigeigenschaft und somit zur Volumenzunahme beigetragen haben.

Der Zusatz der Keimlinge hat gezeigt, dass sie die gleiche Wirkung auf den Weizenteig besitzen wie aktives Malzmehl.

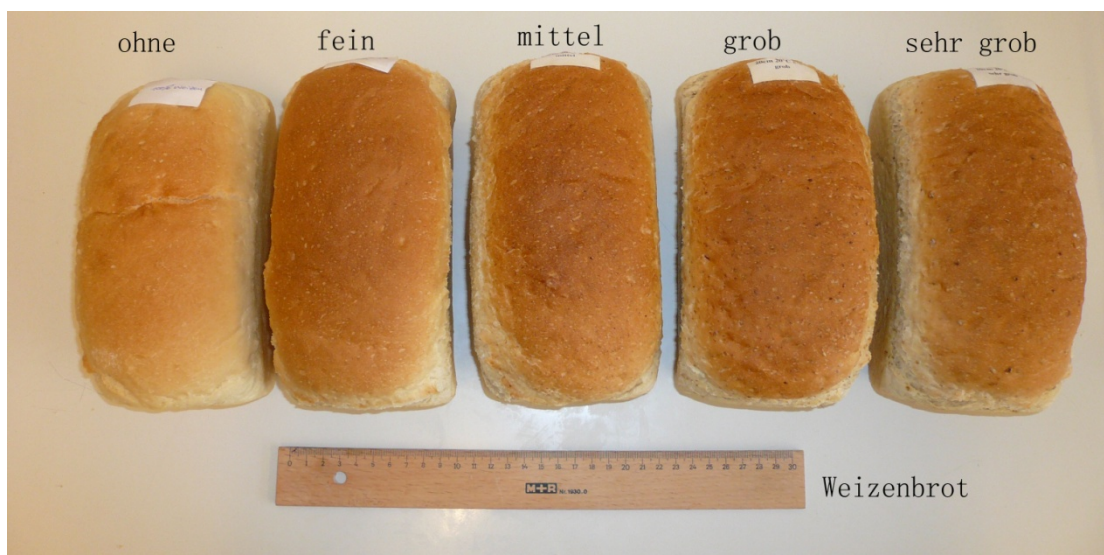


**Abbildung 61 Weizenbrote im Stück mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C)**

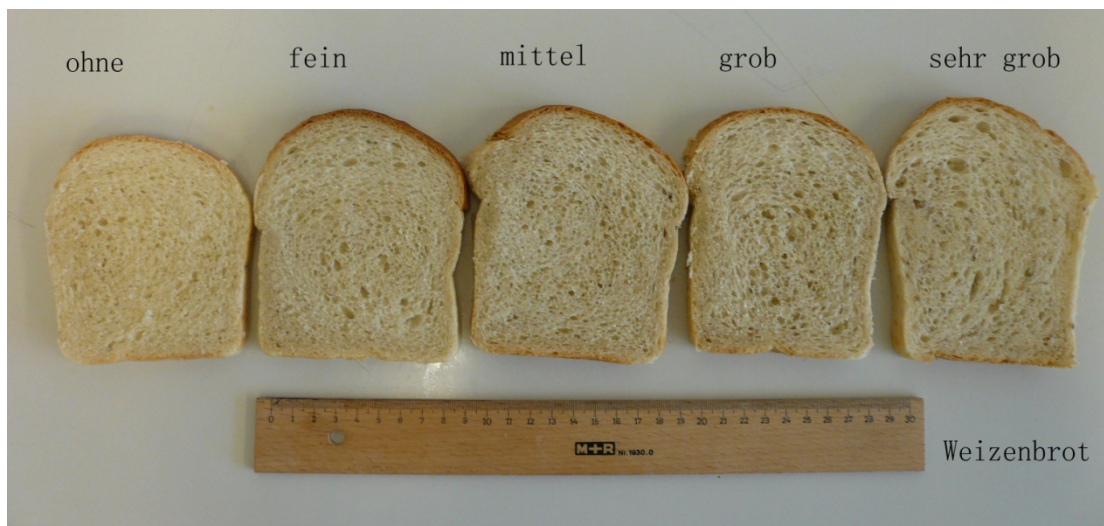


**Abbildung 62 Weizenbrotscheiben aus Broten mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C)**

Die Kruste der Weizenbrote mit Fraktionen beider Keimbedingungen war gleichmäßig und matt glänzend. Die Brote mit dem Zusatz vom gekeimten Roggen besaßen eine dunklere Krusten- und Krumenfarbe. Des Weiteren wiesen sie eine lockerere Porung als das Brot ohne Zusatz von gekeimtem Roggen auf. Die Partikel grob und sehr grob waren in den ausgebackenen Broten gut zu erkennen. Sensorisch zeigten die Weizenbrote einen milden Geschmack mit einem leicht nussigen Nachgeschmack.



**Abbildung 63 Weizenbrote im Stück mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C)**



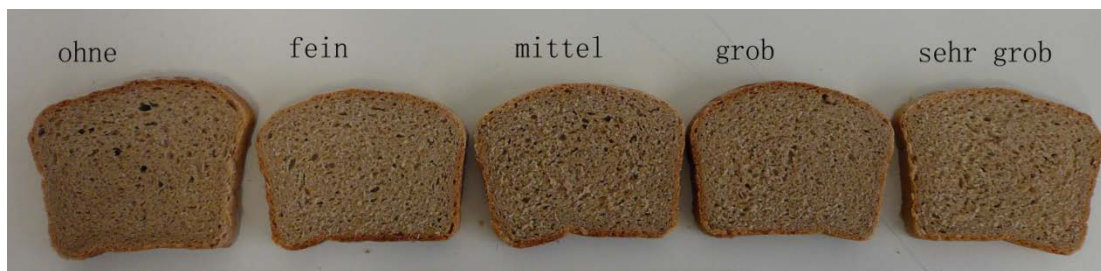
**Abbildung 64 Weizenbrotenscheiben aus Broten mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C)**

Abbildung 63 und Abbildung 64 zeigen, dass die Brote mit den Keimen aus der Keimbedingung SH 20 cm / UT 20 °C in allen Fraktionen eine Volumenvergrößerung gegenüber dem Brot ohne Zusatz aufwiesen und somit die gleiche Wirkungsrichtung wie der Zusatz von 10 % Keimlingsfraktion des vorherigen Versuchs.

Neben dem reinen Weizenbrot wurden auch Roggenmischbrote im Verhältnis Roggenmehl Type 1150 und Weizenmehl Type 550 von 6 zu 4 mit gekeimtem, vermahlenem und fraktioniertem Roggen gebacken. Die Abbildungen 65 und 66 zeigen die Brote ohne und mit gekeimtem Roggen der Keimbedingung SH 5 cm / UT 12,5 °C. Die Keimbedingungen waren die gleichen wie bei dem Backversuch mit Weizenmehl. Der Zusatz betrug 10 % des Gesamtmehls.



**Abbildung 65 Roggenmischbrote im Stück mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C)**



**Abbildung 66 Broteinschnitten aus Roggenmischbrot mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 5 cm/ Umgebungstemperatur 12,5 °C)**

Die Roggenmischbrote hatten alle eine dunkelbraune Farbe und eine glatte Kruste. Die Krume war etwas feucht, wie sie bei Broten mit diesem Mischungsverhältnis üblich ist. Die Elastizität war bei allen Broten gleich befriedigend.

Ebenso wie bei den Weizenbroten wurde auch ein Versuch mit dem Zusatz von 5 % der zweiten Keimbedingung durchgeführt. Das Ergebnis zeigen Abbildung 67 und Abbildung 68.



**Abbildung 67 Roggenmischbrote im Stück mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C)**

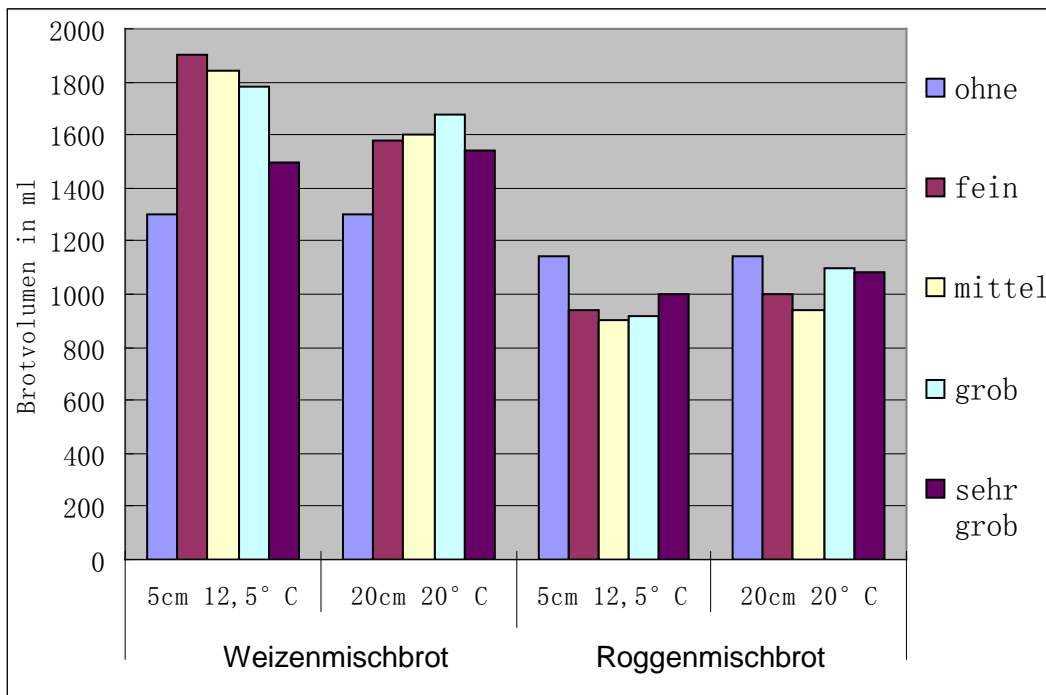


**Abbildung 68 Broteinschnitten aus Roggenmischbrot mit und ohne gekeimten Roggen (Keimbedingung: Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C)**

Hier ist zu erkennen, dass durch den der Zusatz keine Zunahme des Volumens der Roggenmischbrote erreicht wurde. Lediglich das Brot mit dem Zusatz „grob“ zeigte eine deutliche Wölbung, die nicht auf den Zusatz zurückgeführt wurde.

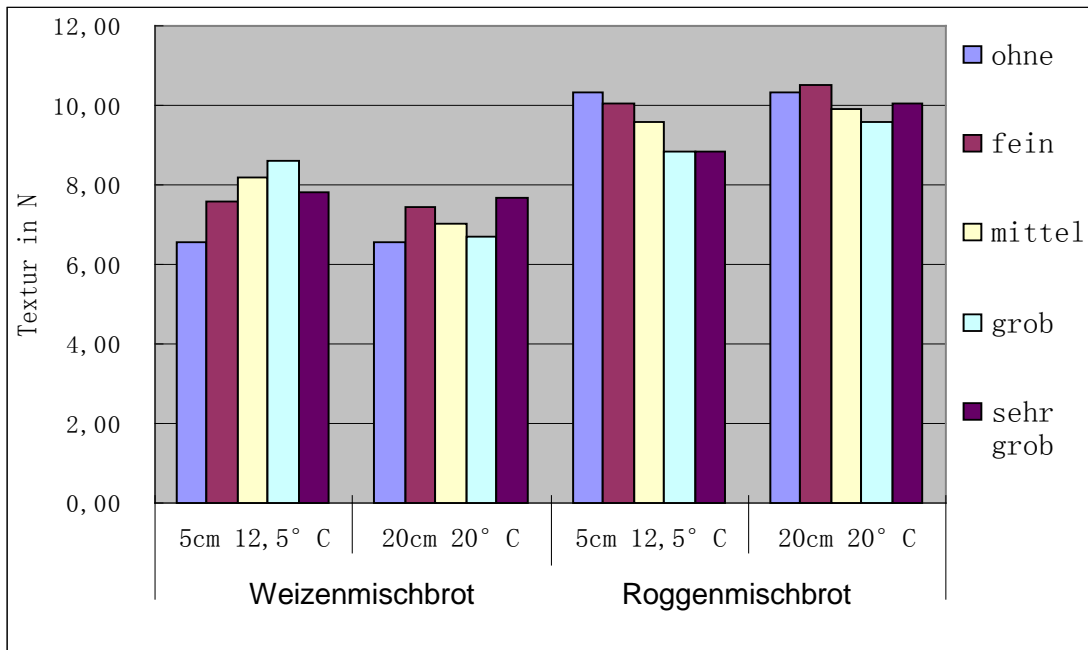
Einen Vergleich des Einflusses der Partikelgröße auf das Brotvolumen zeigt Abbildung 69.

In den Fraktionen aus der Keimbedingung SH 5 cm /UT 12,5 °C wurde das größte Volumen durch die feinste Fraktion erhalten. Im Vergleich zum Nullversuch nahm das Volumen um ca. 48 % zu. Mit zunehmender Partikelgröße nahm der Einfluss auf das Brotvolumen ab. Die Fraktionen aus der Keimbedingung SH 20 cm / UT 20 °C zeigten eine geringere Differenzierung der Partikelgröße auf die Volumenveränderung. Die Volumenzunahme betrug hier zwischen 19 und 28 %.



**Abbildung 69 Einfluss des Zusatzes von gekeimtem Roggen verschiedener Partikelgrößen auf das Brotvolumen**

Der Zusatz der Fraktionen zum Teig des Roggenmischbrotes führte bei allen Broten zu einer Volumenreduzierung. Die vermutlich aus den Roggenpartikeln diffundierten Enzyme destabilisierten demnach den Teig mit einem Roggenmehlanteil von 60 %. Es kann angenommen werden, dass in dem Weizenteig vor allem Enzyme wirksam wurden, die das Kleberprotein unterstützten bzw. die Wasserbindung in einem Weizenteig verbesserte. Da der Roggen keinen Kleber ausbildet und die Teigviskosität von Roggenteigen primär durch wasserbindende Kohlenhydrate (Pentosane) bestimmt wird, konnte der Kleber nicht unterstützt werden, und der enzymatische Abbau der Pentosane im Teig bzw. der Stärkeabbau während der Backphase trugen zu einer Volumendepression bei.



**Abbildung 70 Einfluss des Zusatzes von gekeimtem Roggen verschiedener Partikelgrößen auf die Krumenfestigkeit**

Die Festigkeit der Krume war in allen Weizenbroten mit dem Zusatz von gekeimtem Roggen größer als im Nullversuch. Das kann in der größeren Porung dieser Brote bedingt sein. Die Roggenmischbrote zeigten durch den Zusatz der Keimlinge alle eine geringere Krumenfestigkeit als der Nullversuch. Hier wurde indirekt der enzymatische Einfluss der Keimlinge bestätigt. Die Ausbildung der Krume war durch die hydrolytisch wirkenden Enzyme nicht vollständig, sie nahm dadurch in ihrer Festigkeit ab (siehe Abbildung 70).

### Produktionstest

Die Überprüfung der Wirkungsrichtung des gekeimten Getreides auf eine Backware wurde unter Produktionsbedingungen im Partnerbetrieb durchgeführt.

Dazu wurden drei unterschiedliche Teige hergestellt, denen gekeimter Dinkel nach dem Flockieren zugesetzt wurde, der unter Produktionsbedingungen im Partnerbetrieb hergestellt worden waren.

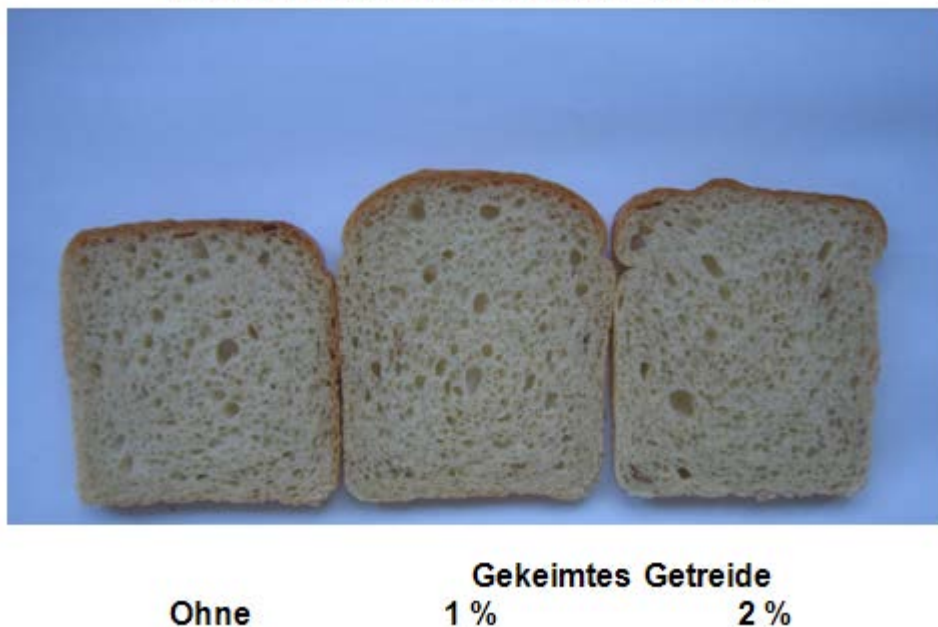
Die Teige wurden aus 5 kg Mahlprodukt, 0,1 kg Hefe und 0,1 kg Salz hergestellt. Das Teigwasser betrug in dem Teig aus Weizenmehl 3,1 l, in dem Teig aus Weizenvollkornmehl 4,1 l und in dem Teig aus Roggenvollkornmehl und Weizenvollkornmehl 4,2 l. Diesen Teigen wurde der gekeimte und flockierte Dinkel mit 1 % und 2 % zugesetzt, dann wurden sie gebacken und mit einem Brot gleicher Herstellung ohne Keimlinge verglichen. Die Bezeichnung der Backversuche zeigt Tabelle 12.

**Tabelle 12 Bezeichnung der Backversuche im Partnerbetrieb**

	Versuchsbezeichnung		
	ohne	0,05 kg Keimlinge	0,10 kg Keimlinge
Weizenmehl Type 550	1.1	1.2	1.3
Weizenvollkornmehl	2.1	2.2	2.3
Roggenvollkornmehl zu Weizenvollkornmehl 3 zu 2	3.1	3.2	3.3

In Abbildung 71 ist der Einfluss des Zusatzes an gekeimtem Dinkel zu Weizenmehl Type 550 gut zu erkennen. Der Querschnitt der Brote nahm, wie auch in den vorher beschriebenen Versuchen mit Weizenmehl, durch den Zusatz zu. Der Zusatz von 1 % führte zu einer besser ausgeprägten Lockerung und Wölbung des Brotes als der höhere Zusatz. Mit einem Zusatz von 2 % waren die Wölbung und das Volumen immer noch größer als im Nullversuch, aber geringer als nach dem Zusatz von 1 %.

**Backversuch 1 Auszugsmehl Type 550**



**Abbildung 71 Broteiben eines Weizenbrotes mit und ohne gekeimten Dinkel**

Auch im Weizenvollkornbrot wurde ein positiver Einfluss des gekeimten Dinkels festgestellt. Die Abbildung 72 zeigt die Brote im Querschnitt. Es ist zu erkennen, dass mit 1 % und 2 % der Querschnitt der Brote zunahm und auch die Wölbung ausgeprägter war.

## Backversuch 2 Weizenvollkornschrotbrot



Ohne

Gekeimtes Getreide

1 %

2 %

**Abbildung 72 Brotsscheiben eines Weizenvollkornbrottes ohne und mit gekeimtem Dinkel**

Der Zusatz des gekeimten Dinkels zu Weizenmehl Type 550 und Weizenvollkornmehl zeigte in den daraus hergestellten Broten einen positiven Einfluss auf den Brotquerschnitt und die Wölbung des Brotes. Der Zusatz der Keimlinge zu Teigen aus ausschließlich Roggenvollkornmehl und Weizenvollkornmehl hatte einen negativen Einfluss auf das Brot. Auf die Darstellung der Ergebnisse wurde verzichtet.

In dieser Versuchsreihe wurde die Wirkungsrichtung der Keimlinge auf die Gebäckeeigenschaft aus den Versuchen im Backtechnikum der Beuth Hochschule bestätigt.

Alle Brote dieser Versuchsreihe wurden nach einem und zwei Tagen Lagerzeit auf ihre Krumenfestigkeit mit dem Texture-Analyser untersucht. Wie die Abbildung 73 zeigt, beeinflusste der Zusatz von gekeimtem Dinkel die Festigkeit der Krume. Je höher der Zusatz war, umso weniger fest war die Krume. Dieser Einfluss wurde bei allen Broten gemessen, unabhängig von der Zusammensetzung des Mehles. Nach 48 Stunden Lagerung der Brote zeigte die Krumenfestigkeit die gleiche Tendenz mit insgesamt höheren Messwerten (siehe Abbildung 74). Das Ergebnis belegt, dass Dinkelkeime einen positiven Einfluss auf die Frischhaltung der hergestellten Brote hatten.



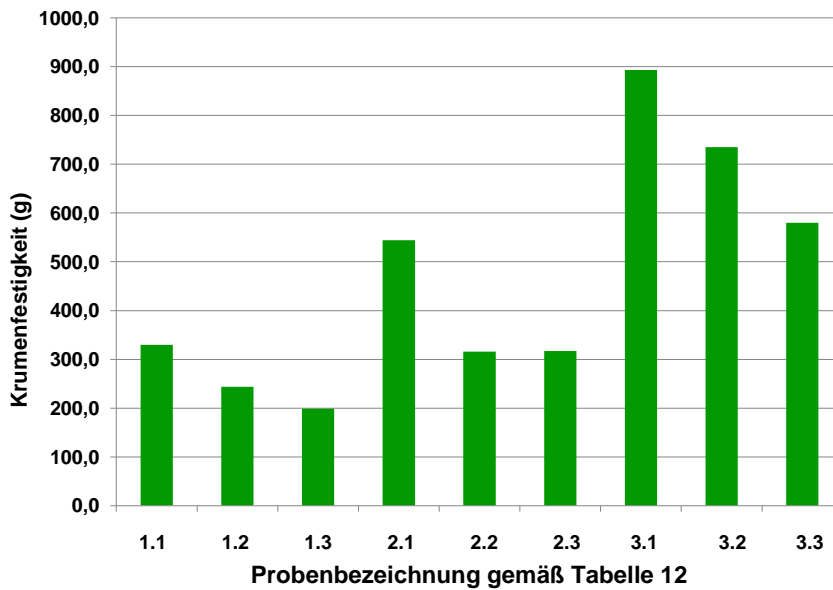


Abbildung 73 Krumenfestigkeit nach 24 Stunden Lagerzeit bei Raumtemperatur

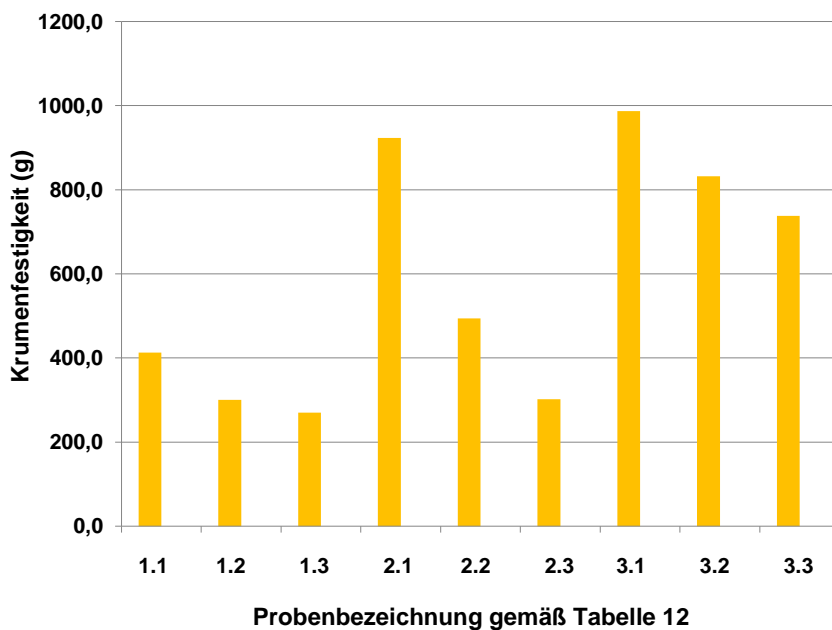


Abbildung 74 Krumenfestigkeit nach 48 Stunden Lagerzeit bei Raumtemperatur

Die Ergebnisse des Zusatzes von gekeimten Getreiden zeigten, dass diese in Abhängigkeit der Mehlzusammensetzung bzw. der Getreideart einen positiven Einfluss auf das Brotvolumen und die Frischhaltung ausüben. Zu beachten ist, dass die Qualität des Getreides sorten-, standort- und witterungsabhängig ist und dadurch nach vorgegebener Keimbedingung nicht immer gleiche Eigenschaften aufweist. Im Arbeitsblock III wurde über die Zusammenhänge zwischen Keimbedingung (Temperatur/Zeit/Schütthöhe) berichtet. Es wird deshalb immer angeraten,

Vorversuche mit dem jeweils zur Verarbeitung vorgesehenen Getreide durchzuführen, um die optimale Menge des gekeimten Getreides als Backzutat zu ermitteln und auch den Grad der Zerkleinerung (flockieren – vermahlen) festzulegen.

# 6 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

## 6.1 Zusammenfassung

### 6.1.1 Keimung mit Roggen

#### Mikrobielle Belastung

Im zweiten Arbeitsblock wurde Roggen 20 Stunden bei Umgebungstemperaturen von 10 °C, 12,5 °C, 15 °C und 20 °C gequollen und anschließend bei der gleichen Temperatur über einen Zeitraum von 30 Stunden gekeimt. Während der Keimzeit wurde die Temperatur in jeder Getreideschüttung gemessen. Am Ende der Keimzeit wurde in dem Getreide die Gesamtkeimzahl bestimmt und eine Differenzierung der Keime durchgeführt.

Die Messung der Temperatur im Getreide zeigte, dass diese von der Schütthöhe und der Umgebungstemperatur beeinflusst wurde und den höchsten Wert am Ende der Keimzeit zeigte. In der Umgebungstemperatur 10 °C blieb die Temperatur in der Schütthöhe 5 cm im Getreide konstant bei 10 °C. Mit Zunahme der Umgebungstemperatur von 12,5 °C auf 20 °C und der Schütthöhe 10 und 20 cm nahm die Temperatur in der Schüttung konstant zu bis auf den höchsten Wert in der Schüttung 20 °C Umgebungstemperatur und 20 cm Schütthöhe. Sie betrug hier 35 °C und hatte somit während der Keimung um 15 °C zugenommen. Die höhere Umgebungstemperatur und somit Ausgangstemperatur der Keimung führte zu einem intensiveren Stoffwechsel im Getreidekorn.

Je höher die Schütthöhe war, umso vollständiger wurde die gebildete Wärmeenergie in der Schüttung gespeichert, wodurch die Temperatur im Getreide höher lag als die Umgebungstemperatur.

In Abhängigkeit der Ausgangstemperatur der Keimung kann es neben der Zunahme der Stoffwechselaktivität auch zu einem Anstieg der Mikroorganismen kommen, die durch die Anbau- und Lagerbedingungen in jeder Getreidepartie vorhanden sind.

Die Bestimmung der Mikroorganismen (Keimzahlbestimmung) im Roggen wurde in zwei Versuchsreihen ermittelt, weil der Roggen innerhalb der Untersuchungszeit in zwei Partien geliefert wurde. Es war nicht anzunehmen, dass die Anzahl der Mikroorganismen im unbehandelten Getreide in jeder Partie gleich groß war. Deshalb wurde von jeder Partie eine Versuchsreihe durchgeführt und daraus der Mittelwert der Keimzahl berechnet.

Das unbehandelte Getreide wurde auf jeweils 10 °C, 12,5 °C, 15 °C und 20 °C temperiert und davon die Gesamtkeimzahl bestimmt. Diese Keimzahl wurde für jede Temperatur mit 100 % bezeichnet und im Folgenden die Zunahme der Keimzahl prozentual angegeben. Die Gesamtkeimzahl betrug nach der Lagerung des Roggens:

› bei 10 °C  $7,7 \times 10^5$  keimbildende Einheiten (KBE),

› bei 12,5 °C  $2,7 \times 10^6$  KBM,

› bei 15 °C  $2,2 \times 10^6$  KBM,

› und bei 20 °C  $1,0 \times 10^7$  KBM.

Durch die Quellung nahmen in der Schüttung 5 cm die KBM weiter zu. Während bei 10 °C ein Wachstum um 344 % im Vergleich zum unbehandelten Roggen festgestellt wurde, waren es bei 12,5 °C eine Zunahme um 158 %, bei 15 °C um 90 % und bei 20 °C um 187 %.

Die Keimung des Roggens führte in Abhängigkeit der Temperatur in der Getreideschüttung zu einer weiteren starken Zunahme der Gesamtkeimzahl. Im Vergleich zum unbehandelten Roggen stiegen die Keimzahlen um 1.985 % bis 8.669 %.

Während beim Wässern bei niedrigen Temperaturen ein stärkeres Keimwachstum auftrat, veränderte sich der Keimgehalt während des Keimes in umgekehrter Richtung. Hier war das Wachstum bei höheren Temperaturen stärker als bei niedrigen Temperaturen.

Auch bei 10 cm Schütthöhe war die Entwicklung der Keimzahl ähnlich der wie bei Schütthöhe 5 cm. Nach der Quellung konnte auch ein unterschiedlicher Anstieg der Keimzahlen beobachtet werden. Während bei 10 °C ein Wachstum um 226 % festgestellt wurde, waren es bei 12,5 °C eine Zunahme um 212 %, bei 15 °C um 108 % und bei 20 °C um 170 %.

Die Gesamtkeimzahl im gekeimten Roggen zeigte unter allen Bedingungen eine größere Zunahme durch das Keimen als durch die Quellung. Bezogen auf den Keimgehalt im unbehandelten Roggen stiegen die Keimzahlen zwischen 3.305 % und 10.800 %. Auch bei der Schütthöhe 10 cm war zu beobachten, dass nach dem Quellen bei niedrigen Temperaturen ein höheres Keimwachstum auftrat und beim Keimen die höheren Temperaturen ein größeres Wachstum bewirkten.

Die Keimzahlentwicklung des Roggens mit 20 cm Schütthöhe zeigte während der Quellung ebenfalls einen ähnlichen Verlauf wie der bei 5 cm und 10 cm Schütthöhe in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur. Es fiel auf, dass der Anstieg der Gesamtkeimzahl größer war als bei den Schütthöhen 5 cm und 15 cm. Im gequollenen Roggen wurde eine unterschiedliche Zunahme der Keimzahlen beobachtet. Während bei 10 °C ein Wachstum um 404 % verzeichnet werden konnte, waren es bei 12,5 °C eine Zunahme um 421 %, bei 15 °C um 186 % und bei 20 °C um 121 %.

Im gekeimten Roggen mit der Schütthöhe 20 cm wurde unter den Versuchsbedingungen der größte Zuwachs der Keimzahl in Bezug auf die Keimzahl im unbehandelten Roggen festgestellt. Sie stieg um 9.176 % bis 22.133 % an.

Nach dem Quellen wurde in der Getreideschüttung mit 20 cm unabhängig von der Umgebungstemperatur ein größer Anstieg der Keimzahl festgestellt als bei den Schütthöhen 5 cm und 10 cm. Der Grund dafür kann in der in dieser Schütthöhe höheren Temperatur gesehen werden im Vergleich zur Temperatur in der geringeren Schütthöhe, die durch den temperaturbedingten aktiveren Stoffwechsel des Getreides verursacht war.

Neben der Gesamtkeimzahl wurde auch eine Differenzierung auf Selektivmedien für Enterobacteriaceae, Pseudomonaden und Aeromonaden, Lactobacillen, Bacillus cereus, Staphylococcus aureus und Hefen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass die ermittelten Keimzahlen eindeutig den Keimparametern zugeordnet werden konnten. Es wurde eine Abhängigkeit von der Schütthöhe ebenso festgestellt wie die von der Umgebungstemperatur und somit der Temperatur in der jeweiligen Getreideschüttung. Je höher die Temperatur im Getreide war, umso höher war auch die Keimzahl für jede Spezies. Eine Zunahme der Temperatur um 5 °C führte zu einer Zunahme um ein bis zwei Zehnerpotenzen, also um 1.000 bis 10.000 %. Für die Unterdrückung der Mikroorganismen ist deshalb eine möglichst geringe Temperatur im keimenden Getreide vorteilhaft. Temperaturen über 15 °C sollten aus mikrobiologischen Gründen nicht überschritten werden.

## Backtechnologischer Einfluss

Der backtechnologischer Einfluss der Keimung wurde im Arbeitsblock III an Roggen und Dinkel untersucht.

Im Roggen nahm die Temperatur in der Schüttung mit Erhöhung der Umgebungstemperatur und der Schütthöhe zu, bei gleichzeitiger Abnahme des Sauerstoffgehalts. Mit dem Anstieg der Temperatur in der Schüttung nahm auch die Aktivität der  $\alpha$ -Amylase zu. Die Fallzahl lag in den Schüttungen mit der Temperatur  $> 15\text{ °C}$  außerhalb des Messbereichs der Methode. Der Einfluss der Keimbedingung auf die Aktivität der  $\alpha$ -Amylase wurde auch durch die Bestimmung des Verkleisterungsverhaltens des Getreides gemessen. Die Verkleisterungstemperatur nahm mit der Umgebungstemperatur und der Schütthöhe ab, ebenso die Viskosität im Maximum. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine Umgebungstemperatur zwischen  $10\text{ °C}$  und  $15\text{ °C}$  bei gleichzeitig geringer Schütthöhe des Getreides backtechnologischer bessere Bedingungen darstellt als höhere Umgebungstemperaturen und eine Schütthöhe  $> 10\text{ cm}$ .

Die Verkleisterungstemperatur wurde durch die Temperatur im keimenden Roggen ebenfalls verändert, genau wie die maximale Viskosität im Amylogramm. Der Beginn der Verkleisterung mit  $66\text{ °C}$  im Roggen der Bedingung  $5\text{ cm}$  Schütthöhe und  $10\text{ °C}$  Umgebungstemperatur wurde durch höhere Temperaturen bis auf  $60,4\text{ °C}$  reduziert. Dadurch ist der Temperaturbereich der  $\alpha$ -Amylase zur Hydrolyse bis zu ihrer thermischen Inaktivierung größer, wodurch die Viskosität im Amylogramm reduziert wird bzw. der Teig während des Backens in diesem Temperaturbereich weniger stabil bleibt. Die Messergebnisse des Amylogramms belegen die Aktivität der Amylase. Das Maximum der Viskosität sank von  $300\text{ AE}$  im Getreide mit der Keimtemperatur von  $10\text{ °C}$  auf  $30\text{ AE}$  im Getreide mit der Keimtemperatur von  $35\text{ °C}$ .

Die Veränderungen in der Getreideschüttung wurden messtechnisch neben der Temperatur auch über den Verlauf der Sauerstoffkonzentration verfolgt. Der Sauerstoffgehalt von  $19\%$  zu Beginn jeder Keimung nahm in der Getreideschüttung mit der Temperatur von  $10\text{ °C}$  um  $3\%$  auf  $16\%$  ab, während die Getreidetemperatur von  $35\text{ °C}$  am Ende der Keimung zu einer Reduzierung um  $6\%$  führte. Die von der Temperatur im Getreide bedingte Stoffwechselaktivität kann somit auch über den Sauerstoffgehalt gemessen und gesteuert werden. Die Abnahme des Sauerstoffs korreliert umgekehrt proportional mit der Temperatur im Roggen und der Enzymaktivität.

Die durch die Keimung bedingte Zunahme der Enzymaktivität führte auch zu einem Anstieg der Proteinaseaktivität, wodurch Protein hydrolysiert wurde und somit zu einer Reduzierung der Wasserbindung in der Teigphase führte. Dadurch stieg der Anteil wasserlöslichen Proteins bzw. der von Aminosäuren an. Die Bestimmung der relativen Proteinlöslichkeit zeigte, dass oberhalb der Umgebungstemperatur  $12,5\text{ °C}$  bzw.  $15\text{ °C}$  die Aktivität der Proteinasen zunahm. Für Roggen, der mit der Umgebungstemperatur von  $10\text{ °C}$  gekeimt wurde, wurde unabhängig von der Schütthöhe die gleiche relative Proteinlöslichkeit gemessen. In diesen Keimversuchen wurde die Temperatur von  $15\text{ °C}$  nicht erreicht bzw. überschritten. Oberhalb von  $15\text{ °C}$  Umgebungstemperatur bzw. Temperatur im keimenden Getreide stieg die Löslichkeit an, die auf eine erhöhte Proteinaseaktivität schließen ließ.

## Wertgebende Inhaltsstoffe

Die Bestimmung der Vitamine im gekeimten Getreide beschränkte sich auf die Vitamine Thiamin (B<sub>1</sub>), Riboflavin (B<sub>2</sub>) und Folsäure. Der Gehalt an Riboflavin nahm unter den Keimbedingungen im Vergleich zum unbehandelten Roggen immer zu. Bei allen Umgebungstemperaturen betrug die Zunahme nach 30 Stunden zwischen 80 und 100 %. Die größte Zunahme wurde unter der Keimbedingung Umgebungstemperatur 20 °C und Schütthöhe 20 cm mit 115 % gemessen.

Die Bestimmung des Thiamingehalts ergab uneinheitliche Ergebnisse, die einen Einfluss der getesteten Keimbedingung auf den Gehalt nicht erkennen ließen. Deshalb wird auf eine Darstellung verzichtet.

Der Gehalt an Folsäure, der im unbehandelten Roggen 55 µg/100 g betrug, nahm zwischen 70 % und 230 % zu. Der höchste Gehalt wurde unter der Keimbedingung Schütthöhe 20 cm und Umgebungstemperatur 20 °C gemessen. Die Temperatur in dem keimenden Getreide betrug unter den Versuchsbedingungen 35 °C, wodurch die Folsäurebildung besonders intensiv war.

Der Gehalt der essenziellen Aminosäure Lysin wurde durch die Keimung nicht verändert. Im unbehandelten Roggen betrug der Lysingehalt 3,9 g/kg, im gekeimten Roggen wurden zwischen 3,8 g/kg und 4,3 g/kg gemessen. Ein Zusammenhang zwischen dem Lysingehalt und den Keimbedingungen wurde nicht festgestellt. Merx u. a. (1994) haben einen Anstieg des Lysingehalts nach der Keimzeit von über 70 Stunden festgestellt, die unter den Versuchsbedingungen nicht vorgesehen waren.

## 6.1.2 Keimung mit Dinkel

### Quell- und Keimbedingungen

Aufgabe des Projektes war es, neben dem Getreide Roggen auch das Getreide Dinkel auf seine Veränderungen durch die Keimbedingungen zu charakterisieren. Mit Dinkel wurden zwei Keimreihen durchgeführt. In der ersten Keimreihe entsprachen die Quell- und Keimbedingungen denen der Bedingungen des Roggens. In der zweiten Keimreihe wurde die Quellzeit von 20 Stunden auf 15 Stunden verkürzt und die Keimzeit von 30 Stunden auf 48 Stunden verlängert. Diese Bedingungen wurden in Anlehnung an das im Partnerbetrieb praktizierte Verfahren gewählt. Die Charakterisierung in Bezug auf die technologischen Eigenschaften und auf die Inhaltsstoffe entsprach der des Roggens.

Die Wasseraufnahme des Dinkels während der Quellzeit von 15 bzw. 20 Stunden war bei gleicher Umgebungstemperatur nach der längeren Quellzeit um 2 bis 3 % höher. Die Wasseraufnahme folgte bei allen Quelltemperaturen der selben Tendenz: Der Wassergehalt im Dinkel betrug nach 15 Stunden Quellung bei allen Quelltemperaturen zwischen 42 % und 44 % und nach 20 Stunden zwischen 45 % und 46,5 %.

Der Temperaturanstieg in der Getreideschüttung während der Keimung war umso größer, je höher die Schichthöhe war. So wurde bei allen Keimungen mit Schütthöhe 5 cm der geringste, bei Schütthöhe 20 cm der größte Temperaturanstieg gemessen. Bei der Keimung wird die für das Wachstum erforderliche Energie durch Atmung gewonnen, wodurch ein entsprechender Betrag an Wärme frei wird, der zu einem Temperaturanstieg führte.

In Dinkel nahm der sichtbare Auswuchs mit steigender Temperatur sowie steigender Schichthöhe nach 30 Stunden Keimung tendenziell zu. Die Verlängerung der Keimzeit auf 48

Stunden verstärkte den Auswuchs. Unter der Keimbedingung Umgebungstemperatur 20 °C, Quellzeit 15 Stunden und Keimzeit 48 Stunden wurde der stärkste Auswuchs mit der Schütthöhe 5 cm festgestellt. Der Sauerstoffgehalt in der Getreideschüttung sank während der Keimung tendenziell bei gleicher Keimzeit und zunehmender Umgebungstemperatur. Je höher die Temperatur beim Keimvorgang war, desto mehr und desto schneller wurde Sauerstoff verbraucht. In der ersten Keimreihe nahm während der Keimzeit der Sauerstoffgehalt kontinuierlich ab. In dem Getreide mit der Umgebungstemperatur von 10 °C sank der Gehalt um 13,5 %. Mit dem Anstieg der Umgebungstemperatur auf 12,5 °C fiel der Gehalt um ca. 26 % und bei 15 °C um ca. 47 % auf 10 % Sauerstoff.

Mit der Umgebungstemperatur 20 °C, die zu einem Temperaturanstieg in der Getreideschüttung 20 cm auf 27 °C führte, sank nach 17 Stunden der Sauerstoffgehalt auf 44 %, der bis zum Ende der Keimung unverändert blieb. Im Rahmen des Projektes konnte nicht geklärt werden, warum es zu dieser Stagnation kam, und ob die Aktivität des Getreidestoffwechsels die Ursache dafür war. Im Vergleich zu der Keimung des Roggens nahm der Sauerstoffgehalt unter gleichen Bedingungen langsamer ab. Das lässt darauf schließen, dass im Vergleich zum Roggen im Dinkel die Keimung langsamer verläuft. Das zeigt auch die geringere Zunahme der Temperatur in der Getreideschüttung des Dinkels unter gleichen Bedingungen.

Das stärkeabbauende Enzym  $\alpha$ -Amylase und die Zunahme an wasserlöslichen Dinkelproteinen können als Indikator für den Keimfortschritt angesehen werden. Während der Keimung stiegen tendenziell die Aktivitäten der stärkeabbauenden Enzyme und die Anteile der wasserlöslichen Proteine mit steigender Keimtemperatur sowie steigender Schichthöhe. Die Verlängerung der Quellzeit/Keimzeit (Keimung 2) führte zu einer höheren Aktivität als die, die in der Keimung 1 gemessen wurde.

Die Keimbedingung Umgebungstemperatur 20°C, Quellzeit 15 Stunden, Keimzeit 48 Stunden, Schütthöhe 5 cm zeigte die höchste Aktivität der  $\alpha$ -Amylase, die durch die Bestimmung der Fallzahl gemessen wurde. Die Fallzahl im unbehandelten Dinkel betrug 290, die durch die Bedingungen der Keimreihe 1 auf Werte zwischen 200 und 215 verringert wurde. In der Keimreihe 2 war die Abnahme der Fallzahl deutlich größer. Nach 48 Stunden Keimzeit nahm die Fallzahl gleichmäßig mit der Zunahme der Temperatur und Schütthöhe ab und betrug in den Schüttungen bei 20 °C Umgebungstemperatur nur noch zwischen 55 und 130.

Im Vergleich der Fallzahlen des Dinkels mit denen des Roggens, der unter den Bedingungen (Keimreihe 1) gekeimt wurde, ist der Einfluss der Aktivität der  $\alpha$ -Amylase im Dinkel geringer. Der Grund dafür kann in der höheren Verkleisterungstemperatur im Dinkel im Vergleich zum Roggen und in einem langsameren Verlauf der Keimung gesehen werden.

Die Verkleisterungstemperatur im unbehandelten Dinkel betrug 90 °C, die in der Keimreihe 1 mit der Umgebungstemperatur zwischen 10 °C und 15 °C auf 81 bzw. 83 °C sank. Die Umgebungstemperatur 20 °C und die Schütthöhe 5 cm reduzierten den Beginn der Verkleisterung auf 77 °C. In der Keimreihe 2 nahm die Verkleisterungstemperatur stärker ab. Mit ansteigender Umgebungstemperatur und Schütthöhe sank sie auf 64 °C und 67 °C. Die Veränderung des Viskositätsmaximums folgte im Wesentlichen der Tendenz der Veränderung der Verkleisterungstemperatur. In der Keimreihe 1 nahm sie von 250,7 BE im unbehandelten Dinkel in den Schüttungen der Umgebungstemperatur bis 15 °C auf 75 bis 80 BE ab. In der Keimreihe 2 war der Einfluss der Keimzeit auf das Viskositätsmaximum ähnlich groß wie auf die Verkleisterungstemperatur. Mit dem Anstieg der Schütthöhe und der Umgebungstemperatur sank die Viskosität bis auf 25 BE bzw. 90 BE. Der Grund dafür ist in der Aktivität der  $\alpha$ -Amylase zu sehen, die durch die geringere Verkleisterungstemperatur die Stärke vollständiger abbauen konnte, wodurch die Viskosität verringert wurde.

## Backversuche

Um den Einfluss der Quell- und Keimbedingungen auf die Gebäckeeigenschaften zu untersuchen, wurden Backversuche durchgeführt, das Brot nach 24 Stunden Lagerung bei Raumtemperatur sensorisch beurteilt und die Krumenfestigkeit gemessen. Dazu wurden Dinkelkeime eingesetzt, die unter der Bedingung Quellzeit 15 Stunden/Keimzeit 48 Stunden hergestellt worden waren. Die Rezeptur und die Durchführung des Backversuches entsprachen denen im Partnerbetrieb zur Herstellung eines Essener Brotes aus ausschließlich gekeimtem Dinkel.

Alle Brote hatten nach 24 Stunden Lagerzeit bei Raumtemperatur eine feuchte, weiche und klebende Krume. Die Porung aller Brote war offen und grob, was auf den Eiweißabbau während der Keimung zurückgeführt werden kann. Die Festigkeit der Krume nahm mit dem Anstieg der Umgebungstemperatur und der Schütthöhe zu. Daraus kann geschlossen werden, dass die Aktivität der  $\alpha$ -Amylase zu einer teilweisen Hydrolyse der Stärke geführt hat, wodurch die Klebrigkeit und die Festigkeit der Krume gefördert wurden.

## Wertgebende Inhaltsstoffe

Die Bestimmung der wertgebenden Inhaltsstoffe wurde mit Dinkel aus der Keimreihe 2 durchgeführt. Der Gehalt an Thiamin (Vitamin B<sub>1</sub>) im Dinkel betrug im unbehandelten Getreide 0,285  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ , der unter allen Keimbedingungen zunahm. Der Gehalt stieg zwischen 22 % und 59 % an. Je höher die Temperatur in der Schüttung war, umso mehr Thiamin wurde im Dinkel gebildet. Auffällig ist die Abnahme in der Probe mit der Keimbedingung Schütthöhe 10 cm und Umgebungstemperatur 15 °C. Es ist anzunehmen, dass hier ein Messfehler die Ursache für die Abnahme ist.

Der Gehalt an Riboflavin (Vitamin B<sub>2</sub>) nahm in den Schütthöhen 5 cm und 20 cm mit zunehmender Umgebungstemperatur von 0,104  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  bis auf 0,149  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  in der Probe mit der Schütthöhe 5 cm zu und auf 0,162  $\mu\text{g}$  in der Probe mit der Schütthöhe 20 cm. Durch diese Keimbedingung stieg der Gehalt um 43 % bzw. 56 % an. Der Dinkel aus den Versuchen mit 10 cm Schütthöhe ergab keine Veränderung im Vitamin B<sub>2</sub>-Gehalt. Der Grund für den unveränderten Gehalt kann seine Ursache in einem systematischen Fehler haben.

Der Folsäuregehalt im unbehandelten Dinkel wurde mit 66,9  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  bestimmt, der unter allen Keimbedingungen bis zu 68 % geringer war als im unbehandelten Getreide. Innerhalb dieses Projektes konnte kein Zusammenhang für die Abnahme des Folsäuregehalts im Dinkel festgestellt werden.

Der Lysingehalt in dem unbehandelten Dinkel betrug 4,3 g/kg, der durch die Keimung bei 10 °C Umgebungstemperatur in allen Proben praktisch gleich blieb. Nach der Umgebungstemperatur 12,5 °C und 15 °C nahm der Gehalt leicht ab und stieg bei 20 °C wieder auf den Ausgangswert an oder war geringfügig höher. Im Rahmen des Projekts konnte nicht geklärt werden, warum der Lysingehalt diesen Veränderungen in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur unterlag. Aus der Probe mit dem höchsten Lysingehalt von 5,1 g/kg (Umgebungstemperatur 5 °C/ Schütthöhe 5 cm) wurde ein Brot gebacken, in dem der Lysingehalt mit 3,8 g/kg bestimmt wurde. Durch den Gär- und Backprozess trat eine messbare Reduzierung von 24 % auf.



### 6.1.3 Keimlinge als technologische Zutat

Die durch die Keimung bewirkte Erhöhung der Enzymaktivität im Getreide wurde in Bezug auf seine Eignung als Zusatz zu enzymarmen Mehlen bzw. zur Optimierung der Gebäckeeigenschaft überprüft. Dazu wurde Roggen unter den Keimbedingungen Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C und Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C gekeimt, durch Konvektion (50 °C) getrocknet, zu Partikeln unterschiedlicher Größe vermahlen und Teigen zur Herstellung von Backwaren zugesetzt.

Zur Überprüfung der Enzymaktivität im gekeimten Roggen wurde dieser mit Roggenmehl Type 1150 im Verhältnis Roggenkeime zu Roggenmehl von 1 zu 9 durch Bestimmung der Fallzahl ermittelt. Die Fallzahl des Roggenmehls betrug 220. Der Zusatz ergab in der Mischung mit Roggenmehl die Fallzahl von 70 (Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C) bzw. 117 (Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C). Zur weiteren Differenzierung wurde der gekeimte Roggen vermahlen und fraktioniert, um gekeimtes Getreide mit unterschiedlichen Partikelgrößen (fein, mittel grob, sehr grob) zu erhalten. Jede Fraktion wurde reinem Roggenmehl, Weizenmehl bzw. Mischungen aus beiden Mehlen zugesetzt und darin die Fallzahl bestimmt. Den größten Einfluss auf die Fallzahl hatten die feinen Partikel, den geringsten die sehr groben Partikel. Die Keimlinge der Keimung Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C reduzierten die Fallzahl des Roggenmehles von 224 um 4 bis 12 % und die des Weizenmehles von 372 um 14 % und 35 %. Der Roggen aus der Keimbedingung Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C führte im Roggenmehl zu einer Reduzierung zwischen 26 % und 42 % und im Weizenmehl von 45 % und 61 %. Die Verringerung der Fallzahl in den Mischungen Roggen-/Weizenmehl entsprach dem Mischungsverhältnis.

Nach einer Standardrezeptur wurden Brote aus Weizenmehl Type 550, Weizenvollkornmehl und Roggenmehl Type 1150 und Weizenmehl Type 550 (Verhältnis 6 zu 4) hergestellt. Den Teigen wurden jeweils 10 %, auf Mehl bezogen, Keimlingsfraktionen der Keimbedingung Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C zugesetzt. Die Fraktionen der Keimbedingung Schütthöhe 20 cm/Umgebungstemperatur 20 °C wurden aufgrund der höheren Enzymaktivität nur 5 %, auf Mehl bezogen, zugesetzt. In den Broten aus Weizenmehl und Weizenvollkornmehl wurde eine Zunahme des Volumens und somit eine Unterstützung des Klebers durch Inhaltsstoffe aus dem Keimling festgestellt. Die feine Fraktion der Keimbedingung Schütthöhe 5 cm/Umgebungstemperatur 12,5 °C führte zu der Volumenerhöhung von 52 %, die grobe Fraktion zu 20 % und zu einem Anstieg der Krumenfestigkeit zwischen 15 % und 31 %. Die Fraktionen der zweiten Keimbedingung bewirkten eine Volumenzunahme zwischen 33 % und 24 % und einen uneinheitlichen Anstieg der Krumenfestigkeit bis zu 15 %. Keinen bzw. einen negativen Einfluss hatten die Keimlinge auf das Roggenmischbrot. Hier wurde in der Tendenz eine Volumenreduzierung festgestellt.

In dem Partnerbetrieb wurde überprüft, ob unter Produktionsbedingungen gekeimter Dinkel als Zusatz zu Mehlen die gleiche Wirkungsrichtung zeigt wie die der Roggenfraktionen. Dazu wurden Dinkelkeime aus der Produktion flockiert und unterschiedlichen Teigen mit 1 % und 2 %, bezogen auf das Mehl, zugesetzt. Das Volumen der Brote aus Weizenmehl und Weizenvollkornmehl nahm durch den Zusatz der Keimlinge zu. Die Keimlinge in dem Brot aus der Mehlmischung Roggenvollkornmehl zu Weizenvollkornmehl von 3 zu 2 zeigten keinen positiven Einfluss auf das Brotvolumen. Die Krumenfestigkeit wurde in allen Broten durch den Zusatz der Keimlinge verringert. In dem Brot aus Weizenmehl reduzierte der Zusatz von 1 % Keimlinge die Krumenfestigkeit um ca. 23 %, der Zusatz von 2 % um ca. 38 %. In dem Brot aus Weizenvollkornmehl konnte eine Reduzierung um ca. 43 % gemessen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass gekeimtes Getreide in Weizenbrot zu einer Volumenzunahme führen kann, die Festigkeit der Krume reduzieren und somit die Frischhaltung verbessern kann.

Die Keimung von Roggen und Dinkel im Rahmen des Projektes hat gezeigt, dass einige wertgebende Inhaltsstoffe (z. B. Riboflavin) vermehrt gebildet werden, wenn die Temperatur im keimenden Getreide Werte um 20 bis 35 °C annimmt. Die Thiaminbildung während der Keimung verläuft nahezu temperaturunabhängig. Gleichzeitig steigt aber bei dieser Temperatur die Aktivität hydrolysierender Enzyme, die zu einer Reduzierung der daraus hergestellten Backwaren führen kann. Auch der Gehalt an Mikroorganismen steigt, der in Abhängigkeit der Zusammensetzung der Keimflora aus gesundheitlichen und hygienischen Gründen gering gehalten werden sollte.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass während der Keimung das Getreide die Temperatur von 15 °C nicht überschreiten sollte, um die backtechnische Eignung zu gewährleisten und um eine Zunahme wertgebender Inhaltsstoffe zu erreichen.

## 7 Leitfaden

Der Praxisleitfaden „Essener Brot – Herstellung und Verwendung von Keimlingen in der Bäckerei“ wurde in Arbeitsblock V aus den Ergebnissen der Arbeitsblöcke II bis IV entwickelt.

Der Leitfaden umfasst die Beschaffungsmöglichkeiten von Keimlingen, die Herstellung von Keimlingsbrot und den Einsatz von Keimlingen zu technologischen Zwecken.

Im Schwerpunkt wird eine ausführliche Praxisanleitung zur Herstellung der Keimlinge in der eigenen Bäckerei gegeben, sowie deren Aufbewahrung und Haltbarmachung beschrieben.

Ergänzt wird der Leitfaden mit Rezepturen von Keimlingsbrot.

## 8 Literaturverzeichnis

- Abd El-Kader, M. A. u. a.: Nährwert und Backverhalten von angereicherten Weizenmehlen (gekeimter Weizen, gekeimter Mais, gekeimte Sojabohnen). Getreide Mehl und Brot (1984) 7, S. 206-210
- Batscheider, A.: Verfahren und Vorrichtung zur natürlichen Vitaminisierung von Getreide und zur sonstigen Erhöhung seines ernährungsphysiologischen Wertes. Deutsches Patentamt - Offenlegungsschrift (1974)
- Chavan, J.K. und Kadam, S.S.: Nutritional improvement of cereals by sprouting. CRC critical reviews in food science and nutrition 5 (1989) 28, S. 401-437
- Dohmen, B.: Ernährungsphysiologischer Wert von Keimlingen. Ernährungs-Umschau 34 (1987) 7, B29-B32
- Harmuth-Hoene, A. und Bogner, A.: Nährwert und mikrobielle Belastung von Keimlingen aus Mungbohnen und Weizen. Ernährungs-Umschau 35 (1988) 10, S. 358-362
- Heyes, K.-U. (Hrsg.): Handbuch der Brauereipraxis. 3. verbesserte und erweiterte Auflage. Nürnberg: Getränke-Verlag Hans Carl (1995)
- Jahn-Deesbach, W. und Schipper, A.: Proteinqualität von Keimgetreide. Getreide Mehl und Brot 45 (1991) 1, S. 3-5
- Larsson, M. und Sandberg, A.: Phytate reduction in oats during malting.: Part II, S. 146-150; Bioavailability '93 – nutritional, chemical and food processing implications of nutrient availability. ISSN 0933-5463, 1993
- Merx, H. u. a.: Einfluss von Keimungsparametern auf den Vitamingehalt und die mikrobiologische Qualität von Sprießkorn (Roggen und Weizen). 2. Mitt.: Einfluss der Keimgutfuchte und der Keimtemperatur. Getreide Mehl und Brot (1994) 48, S. 22-27
- Merx, H. u. a.: Einfluss von Keimungsparametern auf den Vitamingehalt und die mikrobiologische Qualität von Sprießkorn (Roggen und Weizen). 3. Mitt.: Maßnahmen zu Retardierung der mikrobiellen Entwicklung. Getreide Mehl und Brot (1995) 49, S. 35-39
- Montville, R. und Schaffner, D.: Analysis of published sprout seed sanitization studies shows treatments are highly variable. Journal of Food Protection 67 (2004) 4, S. 758-765
- Mühlhäuser, H.: Getreidekeimlinge für Brot und Backwaren. Getreide Mehl und Brot 57 (2003) 1, S. 28-39
- Piernas, V. und Guiraud, J.P.: Disinfection of Rice Seeds Prior to Sprouting. Journal of food science 62 (1997) 3, S. 611-615
- Schieberle, P.: Optimierung des Nähr- und Genusswertes von Brot durch Zusatz von gekeimtem Weizen unter Berücksichtigung der Teig- und Backqualität. Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. - Schlussbericht 2007
- Wagner, S. und Kuhn, M.: Änderungen in der Zusammensetzung von keimendem Getreide und Amaranth; Studien zum Abbau von fällbarem Phytat in Weizenmehlteigen. Getreide Mehl und Brot 48 (1994) 4, S. 6-10

## 9 Übersicht Veröffentlichungen

- 24.10.2009 Vorstellung des Projektes und der Zwischenergebnisse auf dem Treffen des Arbeitskreises Gutes Brot (ABG) in Apenburg
- 23.10.2010 Vorstellung des Leitfadens und der Endergebnisse im Rahmen des BÖL-Projektes „Know-how - Veranstaltungen für Öko-Praktiker“ in Köln
- 07.12.2010 Vorstellung des Leitfadens und der Endergebnisse im Rahmen eines Workshops in Berlin, Märkisches Landbrot GmbH

In Planung:

- Januar 2011 Bioland-Fachmagazin I/2011 „Keimlinge als multifunktionelle Zutat – Die Chance für Produktinnovationen“
- 29.03.2011 Vorstellung des Leitfadens und der Endergebnisse im Rahmen des BÖL-Projektes „Neues Wissen für Öko-Praktiker – Veranstaltungen zum Wissenstransfer“ bei der Akademie Deutsches Bäckerhandwerk – Karl-Grüsser-Fachschule in Berlin

Entgegen der ursprünglichen Planung soll der Leitfaden nicht im Rahmen der BioFach 2011 vorgestellt werden, da hier die Zielgruppe der handwerklichen Bäcker erfahrungsgemäß kaum vertreten ist.