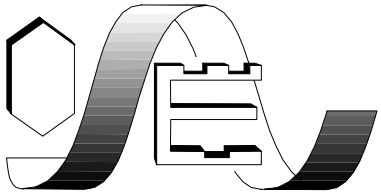


Emil-Fischer-Schule Berlin

Staatliche Fachschule für Lebensmitteltechnik

Fachrichtung Bäckereitechnik

Technikerarbeit

Unterschiede zwischen von Hand hergestellten und maschinell gerührten Sauerteigen

von Tom Bennet Rötz

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 3

1.1 Allgemeiner Teil 3
1.2 Grundlagen der Sauerteigherstellung 3
1.3 Zielbeschreibung 4

2 Versuchsanordnung 5

2.1 Allgemein 5
2.2 Zeitlicher Ablauf 5
2.3 Sauerteigherstellung 8
2.4 Brotrezepturen und Führungsbedingungen 9

3 Geräte 12

3.1 Sauerteiganlagen 12
3.2 Geräte zur Herstellung der Brote 14
3.3 Messgeräte 15
3.4 Material 16
3.5 Methoden 17

4 Ergebnisse Vorversuche 18

4.1 Sauerteige 18
4.2 Brotteige 20
4.3 Gebäcke 21

5 Ergebnisse Hauptversuche 24

5.1 Sauerteige 24
5.2 Brotteige 28
5.3 Gebäck 29

6 Auswertung 33

6.1 Detmolder Einstufenführung 33
6.2 Drei-Stufenführung 37
6.3 Brotfermentation 39
6.4 Vergleich aller fünf Verfahren 39

7 Zusammenfassung 41

8 Summary 42

1 Einleitung

1.1 Allgemeiner Teil

Brot ist seit je her das Grundnahrungsmittel Nr. 1 in der Bundesrepublik. Da der Konsum von Roggenbrot in Deutschland im europäischen Vergleich relativ hoch liegt, können deutsche Bäcker auf eine lange Tradition in der Roggenbrotherstellung zurückblicken.

Im Laufe der Jahrzehnte sind die verschiedensten Brotvariationen entstanden, so dass man im heutigen Bäckereisortiment nicht mehr nur noch das einfache Roggenbrot findet, sondern von „Mehrkornbrot“, über „Leichter-Leben-Brot“, hin zum „Joggingbrot“ der Phantasie des Bäckers keine Grenzen gesetzt sind. Doch so unterschiedlich die Rezepturen und Herstellungsweisen auch geworden sind, gilt nach wie vor, dass ein gutes Roggenbrot bzw. roggenhaltiges Brot auf einem guten Sauerteig basiert.

Die Fachwelt debattiert darüber welches das richtige, das „beste“ Sauerteigverfahren ist und ob ein Brot mit (maschinell) gerührtem Sauerteig, der aufgrund von Pumpfähigkeit weicher geführt werden muss, wirklich von einem Brot mit von Hand hergestelltem, fester gehaltenem Sauerteig zu unterscheiden ist?

1.2 Grundlagen der Sauerteigherstellung

Bei der Herstellung von Sauerteigen sind fünf Faktoren entscheidend für die Qualität des Produktes. Dies sind allen voran die Milchsäurebakterien des Sauerteiges, die durch Fermentation die für den Roggenbrotgeschmack charakteristischen Milch- und Essigsäuren bilden. Die Mikroflora der Sauerteige enthält eine Vielzahl von Lactobacillen. Die Stoffwechsel der Typen *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus sanfranciscensis* und *Lactobacillus pontis* sind dabei am besten untersucht (M. G. Gänzle; (2005): Handbuch Sauerteig). Diese Lactobacillen benötigen für die Fermentation vergärbare Substanzen die durch die im Mehl enthaltenen Polysaccharide oder deren Abbauprodukte, in Form von Maltose, Glucose oder Fructose bereitgestellt werden.

Die Mikroorganismen des Teiges werden über das Anstellgut eingebracht. Moderne Starter werden industriell hergestellt und kontinuierlich auf ihre Qualität überprüft. Durch das Startgut eventuell hervorgerufene Schwankungen im Sauerteig können durch wöchentliches Anfrischen weitestgehend ausgeschlossen werden.

Die verwendeten Mehle werden heutzutage von hochmodernen Mühlen mit den gewünschten Spezifikationen geliefert und können deshalb ebenfalls als konstanter Faktor angesehen werden. Die Teigausbeute (TA) nimmt kaum Einfluss auf die Aktivität der Mikroorganismen und ist darüber hinaus leicht zu kontrollieren.

Zwei Faktoren, die entscheidenden Einfluss auf die Sauerteigqualität nehmen und teilweise Schwankungen unterliegen können, sind die Reifezeit und die Temperatur (Prof. Dr. Brümmer (2008): Vortrag Roggen). Durch Veränderungen im Sauerteig im Verlauf der Reifezeit, wie z.B. dem Sauerstoffgehalt und dem pH-Wert, ändert sich auch die Stoffwechselaktivität der Lactobacillen. So sind beispielsweise im aeroben Anfangsstadium die heterofermentativen Lactobacillen aktiv, während die homofermentativen Lactobacillen die anaeroben Phasen der Sauerteigreife bevorzugen. Da die Aktivität aller Mikroorganismen stark Temperatur abhängig ist, können auch über diesen Faktor Veränderungen im Sauerteig hervorgerufen werden.

1.3 Zielbeschreibung

In dieser Technikerarbeit soll untersucht werden, ob die vollautomatische Rührung der Sauerteige einen weiteren Faktor darstellt, der Einfluss auf das Endprodukt nimmt. Gibt es Unterschiede zwischen von Hand hergestellten Sauerteigen, (maschinell) gerührten Sauerteigen und zwischen verschiedenen Sauerteigverfahren werden diese herausgestellt und miteinander verglichen.

Hierzu werden die klassische Drei-Stufen-Führung (3F) und die Detmolder-Einstufenführung (DEF), jeweils manuell und (maschinell) hergestellt und in einem Roggenmischbrot 70:30 vom Typ „Berliner

Landbrot“ verbacken. Als weiteres Sauerteigverfahren wird die von IsernHäger entwickelte Brotfermentation verwendet, die sich nicht nur durch die maschinelle Rührung von der traditionellen Sauerteigherstellung unterscheidet, sondern auch in Rezeptur und Führungsbedingungen ein komplett neues Verfahren der Sauerteigproduktion darstellt.

Zur Auswertung der Versuchsreihe werden objektive Messwerte wie Säuregrade, pH-Werte, Brotvolumina, Temperaturen und Zeiten und auch subjektive Ergebnisse, wie die sensorische Brotprüfung der Gebäcke, herangezogen.

2 Versuchsanordnung

2.1 Allgemein

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten wurden für alle Sauer- und Brotteige Mehl derselben Charge, Stein-Speisesalz (ESCO), Back-Hefe (Uniferm) und einheitliches Anstellgut benutzt. Das Aufarbeiten der Teige wurde stets von einer Person durchgeführt, um Unterschiede in der Formgebung möglichst gering zu halten.

Die sensorischen Prüfungen fanden, wie bei Roggengebäcken üblich, einen Tag nach der Herstellung statt, da sich die zu bewertenden Kriterien während des Auskühlens verändern und bei warmen Gebäcken somit keine objektive Bewertung möglich ist.

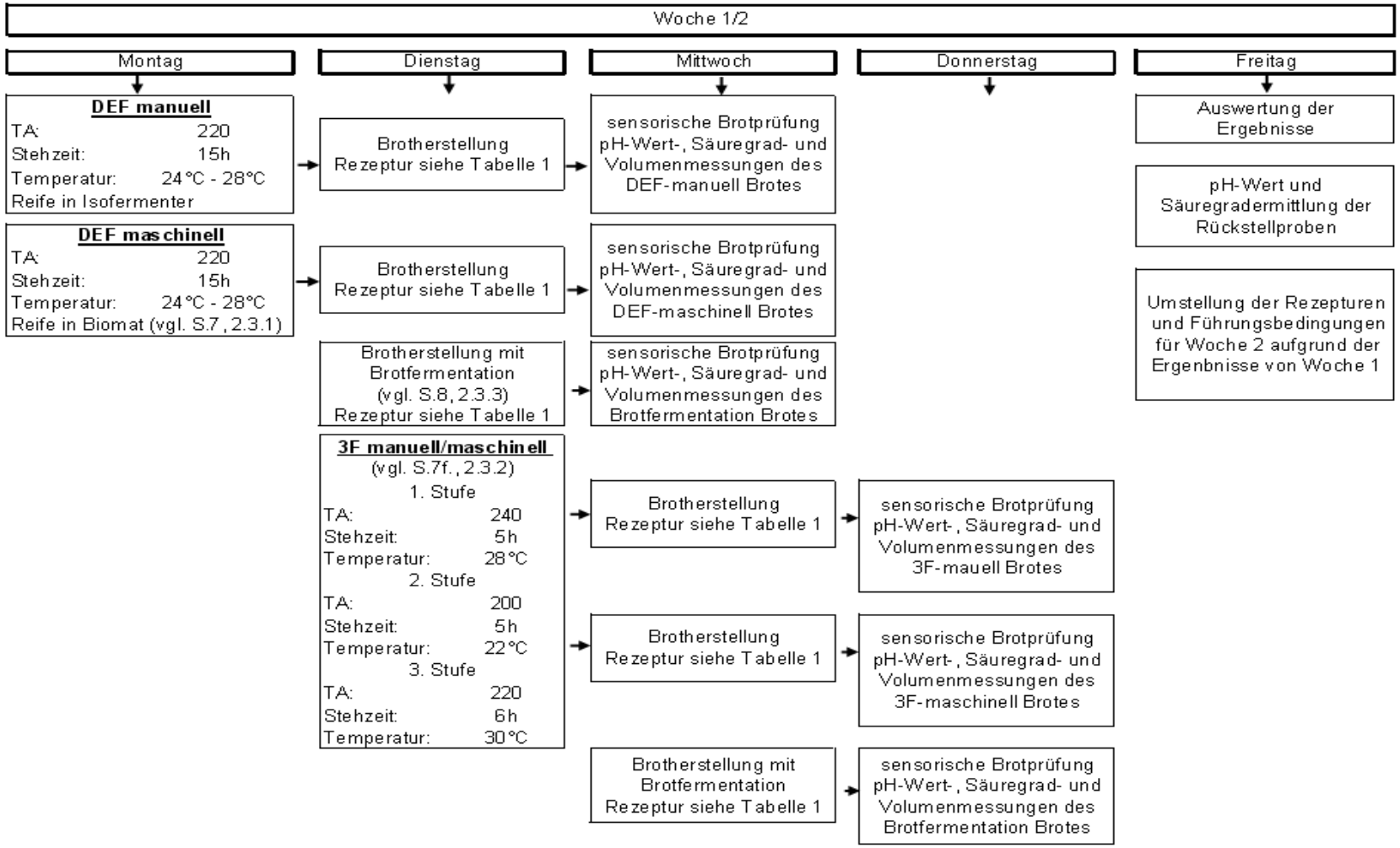
2.2 Zeitlicher Ablauf

Für den praktischen Teil der Projektarbeit waren zwei Wochen vorgesehen. Da dieses Projekt darauf basierte, dass die Sauerteige die nach dem gleichen Verfahren hergestellt wurden, auch nahezu identische Säuregrade und pH-Werte besaßen, stellten die Ergebnisse der ersten Woche, die Basis für die Hauptversuche in Woche zwei dar.

Auf der Grundlage der Brotprüfung und der Messwerte aus den Vorversuchen, wurden dann die Rezepturen und Führungsparameter in

Woche zwei so umgestellt, dass die pH-Werte und Säuregrade der Sauerteige ähnlich genug waren, um eine Vergleichbarkeit der Gebäcke und der Messwerte zu ermöglichen.

Im folgenden Schema ist der geplante Ablauf der ersten- und zweiten Woche dargestellt.


Woche 1/2
Montag
Dienstag
Mittwoch
Donnerstag
Freitag
DEF manuell
TA: 220
Stehzeit: 15h
Temperatur: 24°C - 28°C
Reife in Isofermenter
Brotherstellung
Rezeptur siehe Tabelle 1
sensorische Brotprüfung
pH-Wert-, Säuregrad- und
Volumenmessungen des
DEF-manuell Brotes
Auswertung der
Ergebnisse
DEF maschinell
TA: 220
Stehzeit: 15h
Temperatur: 24°C - 28°C
Reife in Biomat (vgl. S.7, 2.3.1)
Brotherstellung
Rezeptur siehe Tabelle 1
sensorische Brotprüfung
pH-Wert-, Säuregrad- und
Volumenmessungen des
DEF-maschinell Brotes
pH-Wert und
Säuregradermittlung der
Rückstellproben
Brotherstellung mit
Brotfermentation
(vgl. S.8, 2.3.3)
Rezeptur siehe Tabelle 1
sensorische Brotprüfung
pH-Wert-, Säuregrad- und
Volumenmessungen des
Brotfermentation Brotes
Umstellung der Rezepturen
und Führungsbedingungen
für Woche 2 aufgrund der
Ergenbnisse von Woche 1
3F manuell/maschinell
(vgl. S.7f., 2.3.2)
1. Stufe
TA: 240
Stehzeit: 5h
Temperatur: 28°C
2. Stufe
TA: 200
Stehzeit: 5h
Temperatur: 22°C
3. Stufe
TA: 220
Stehzeit: 6h
Temperatur: 30°C
Brotherstellung
Rezeptur siehe Tabelle 1
sensorische Brotprüfung
pH-Wert-, Säuregrad- und
Volumenmessungen des
3F-mauell Brotes
Brotherstellung
Rezeptur siehe Tabelle 1
sensorische Brotprüfung
pH-Wert-, Säuregrad- und
Volumenmessungen des
3F-maschinell Brotes
Brotherstellung mit
Brotfermentation
Rezeptur siehe Tabelle 1
sensorische Brotprüfung
pH-Wert-, Säuregrad- und
Volumenmessungen des
Brotfermentation Brotes

2.3 Sauerteigherstellung

Das Anstellgut für die DEF und die 3F wurde mit einem IsernHäger RSB (Roggen StartGut®Bio) Starter hergestellt, der bei einer Zugabe von 10% (bezogen auf die Gesamtmehlmenge) bei einer TA von 200, 16h bei 28℃ lagerte und anschließend kühl gestellt wurde.

Detmolder-Einstufenführung

Die DEF wurde mit einer TA von 220 angesetzt und sollte bis zur Reife 15h Stehzeit erhalten. Die Start-temperatur lag bei 24℃ und zum Ende der Stehzeit sollte die Temperatur auf 28℃ angestiegen sein. Bei der manuellen Führung wurde der Sauerteig angerührt und anschließend im Isofermenter bis zur Verarbeitung gelagert.

Abbildung 1 manuelle DEF im Isofermenter

Abbildung 2 (maschinell)e DEF im BioMat

Der BioMat zur Herstellung der (maschinell) gerührten DEF rührte bis zur vollen Reife (960 min) 60 sec links, 300 sec Pause, 60 sec rechts und dann erneut 300 sec Pause. In der Lagerphase bis zum Gebrauch rührte der BioMat 60 sec links, 900 sec Pause, 60 sec rechts und anschließend 900 sec Pause.

Drei-Stufenführung

Die 3F wurde in der 1. Stufe mit 1,5% Anstellgut, einer TA von 240 und einer Solltemperatur von 28℃ angesetzt. Die Stehze it betrug 5h. Die 2. Stufe bekam bei einer TA von 200 und einer Solltemperatur von 22℃ ebenfalls eine Stehzeit von 5h, während die 3. Stufe mit der TA 220 und bei einer Solltemperatur von 30℃, 6h Stehzeit bis zur vollen Reife erhielt. Die 1. Stufe der manuellen Führung wurde per Hand vermengt und in einem 5 L Eimer im Isofermenter aufbewahrt, während Stufe 2 und 3 im

Spiralkneter angerührt wurden und im Isofermenter lagerten. Der Multifermenter zur automatischen Herstellung einer 3F rührte wie folgt:

- 1. Stufe: 60 sec rechts, 300 sec Pause, 60 sec links, 300 sec Pause
- 2. Stufe: 60 sec rechts, 300 sec Pause, 60 sec links, 300 sec Pause
- 3. Stufe: 90 sec rechts, 90 sec Pause, 90 sec links, 300 sec Pause

In der Verarbeitungsstufe kühlte der Multifermenter den Sauerteig auf 25℃ runter und rührte 90 sec rechts, 90 sec Pause, 90 sec links und 90 sec Pause.

Brotfermentation

Das Anstellgut für die Brotfermentation wurde mit einem IsernHäger BSK-Starter (Brotfermentation StartGut®Konventionell) angesetzt, der zu 0,5% (auf das Sauerteigmehl bezogen) zugesetzt wurde und bei einer TA von 300 und einer Solltemperatur von 32℃, 24h im Isofe rmenter lagerte. Diese Stufe wurde mit der Hand angerührt. Das Anstellgut reifte anschließend mit den restlichen Zutaten bei einer TA von 200, 42h in der B 200 Ecoline. Diese Sauerteiganlage wurde speziell für die Produktion der Isernhäger Brotfermentation entwickelt und ist mit einem kontinuierlich rührenden „Rotor-Stator-System“ ausgestattet. Die Hälfte der Mehlmenge der Brotfermentation (in diesem Fall 30kg) wurde durch Brot ersetzt.

2.4 Brotrezepturen und Führungsbedingungen

Durchführung der Vorversuche

Die Brotrezepturen wurden so ausgelegt, dass von jedem Teig 16 Brote mit einer Teigeinlage von 1,450 kg hergestellt werden konnten. Die abgewogenen Rezepturbestandteile wurden im Spiralkneter im All-in-Verfahren zunächst 240 sec gemischt und anschließend 120 sec geknetet. Nach der Teigruhe wurden die Teige abgewogen, rund gewirkt, lang gestoßen, in Roggenmehl gewälzt und in Brotkörbe gelegt. Nach der Stückgare im Gärschrank lagerten die Brote weitere 5 min an der Luft, damit sie eine rustikale Krustenoptik erhielten. Dann wurden die Brote auf

Abziehdielen gekippt und mit Schwaden in den Ofen eingeschossen, der auf 270℃ vorgeheizt war. Nach 30 - 45 sec wurden Zug und Ofenklappe geöffnet, um den Schwaden abziehen zu lassen. Nun wurden die Brote 10 min angebacken, bevor sie in einem auf 200℃ vorgeheizten Herd 50 min ausgebacken wurden.

Folgende Rezepturen und Führungsbedingungen lagen der Herstellung zu Grunde.

Tabelle 1 Rezepturen und Führungsbedingungen der Vorversuche

Rezeptur						
	Brotferm. 1	**DEF-manuell**	**DEF-Anlage**	**Brotferm. 2**	**3F Anlage**	**3F manuell**
WM 550 [kg]	4,32	4,07	4,07	4,32	4,07	4,07
RM 1150 [kg]	7,45	6,07	6,07	7,45	4,56	4,56
Sauerteig [kg]	5,24	7,51	7,51	5,24	10,87	10,87
Hefe [kg]	0,26	0,19	0,19	0,26	0,16	0,16
Salz [kg]	0,29	0,27	0,27	0,29	0,27	0,27
Wasser [kg]	7,45	5,39	5,39	7,45	3,57	3,57
Teig [kg]	25,01	23,5	23,5	25,01	23,5	23,5
Führungsbedingungen						
TA	170	170	170	170	170	170
Versäuerung [%]	26	36	36	26	52	52
Teigtemp. [℃]	27	27	27	27	27	27
Teigruhe [min]	30	20	20	30	15	15
Teigeinlage [kg]	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Stückgare [min]	45	45	45	45	45	45
Salz [%]	2	2	2	2	2	2
Hefe [%]	1,8	1,4	1,4	1,8	1,2	1,2

Durchführung der Hauptversuche

Anhand der Ergebnisse aus den Vorversuchen wurden folgende Anpassungen vorgenommen. Die Ofentemperatur im ersten Herd wurde auf 290℃, die im zweiten Herd auf 220℃ angehoben. Zusätzlich wurden die Brote 5 min länger angebacken. Die Versäuerung der 3F Brote setzte man auf 45% herab und die TA aller Brote wurden von 170 auf 172 erhöht.

So ergaben sich für die Hauptversuche folgende Rezepturen und Führungsbedingungen.

Tabelle 2 Rezepturen und Führungsbedingungen der Hauptversuche

Rezeptur						
	Brotferm. 1	**DEF-manuell**	**DEF-Anlage**	**Brotferm. 2**	**3F Anlage**	**3F manuell**
WM 550 [kg]	4,32	4,07	4,07	4,32	4,02	4,02
RM 1150 [kg]	7,45	6,07	6,07	7,45	5,16	5,16
Sauerteig [kg]	5,24	7,51	7,51	5,24	9,3	9,3
Hefe [kg]	0,26	0,19	0,19	0,26	0,16	0,16
Salz [kg]	0,29	0,27	0,27	0,29	0,27	0,27
Wasser [kg]	7,66	5,67	5,67	7,66	4,59	4,59
Teig [kg]	25,22	23,78	23,78	25,22	23,5	23,5
Führungsbedingungen						
TA	172	172	172	172	172	172
Versäuerung [%]	26	36	36	26	45	45
Teigtemp. [℃]r	27	27	27	27	27	27
Teigruhe [min]	30	20	20	30	15	15
Teigeinlage [kg]	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Stückgare [min]	45	45	45	45	45	45
Salz [%]	2	2	2	2	2	2
Hefe [%]	1,8	1,4	1,4	1,8	1,2	1,2

3 Geräte

Für alle Herstellungsprozesse wurden handelsübliche Maschinen verwendet.

3.1 Sauerteiganlagen

BioMat 300 Ecoline zur Herstellung der DEF:

- Ankerrührwerk mit Wand- und Bodenabstreifern
- 1,5 kW Antriebsleistung des Rührwerkmotors
- Zahnradpumpe BT2, trockenlaufsicher mit 0,37 kW Antriebsleistung
- Speicherprogrammierbare Steuerung (Mitsubishi-Compact-SPS)

Abbildung 3 BioMat 300 Ecoline

- geeignet für die 1-stufige Roggensauerteigführungen mit einer TA von 220 – 250
- Arbeitsvolumen: min 108 kg; max. 180 kg

Multifermenter zur Herstellung der 3F

- zu diesem Gerät standen keine genaueren Angaben zu Verfügung

Abbildung 4 Multifermenter

B 200 Ecoline zur Herstellung der Brotfermentation

- Messerrührwerk mit Rotor-Stator-System und 1,5 kW Antriebsleistung
- Zahnradpumpe BT2, trockenlaufsicher mit 0,37 kW Antriebsleistung
- Speicherprogrammierbare Steuerung (Mitsubishi-Compact-SPS)
- geeignet für die Herstellung der Isernhäger Brotfermentation mit TA 200
- Arbeitsvolumen: min 120 kg; max. 200 kg

Abbildung 5 B 200 Ecoline

Isofermenter zur Lagerung der manuellen 3F und DEF

- doppelwandiger Reifebehälter für die manuelle Herstellung von Vorteigen
- temperaturbeständig von -25℃ bis +70℃
- Fassungsvermögen von 70L

Abbildung 6 Isofermenter

3.2 Geräte zur Herstellung der Brote

Spiralkneter (Diosna)

- fahrbar, mit fest installiertem Bottich
- Fassungsvermögen 80kg
- 2 Gänge
- programmierbarer Zeitablauf
- Laufprogrammspeicher
- Folientastaturausführung

Abbildung 7 Spiralkneter

Backofen und Gärvollautomat (MIWE)

- Thermoöl – Umlaufheizung
- Steinplatte
- digitale Computersteuerung
- Mehrkreiser mit voneinander getrennt beheizbaren Backkammern
- 6 Programmabschnitte
- Temperaturen von -25℃ bis +45℃
- Luftfeuchten von 60% bis 98%

Abbildung 8 Ofen und Gärschrank

3.3 Messgeräte

- TitroLine easy (Schott) zur Messung von pH-Wert und Säuregrad und Testo 110 zur manuellen Temperaturbestimmung

Abbildung 9 TitroLine easy

Abbildung 10 Testo 110

- Volumenbestimmung mittels Neumann-Methode

Abbildung 11 Volumenmessgerät

3.4 Material

Verwendet wurde Weizenmehl 550 (Roland Mehl) mit folgenden Spezifikationen.

Tabelle 3 Weizenmehlspezifikationen

Parameter	Methode ICC	Min	Max.
Mehlfeuchtigkeit (%)	ICC 110/1	13,0	15,0
Mineralstoffgehalt (% i.T.)	ICC 104	0,510	0,610
Feuchtkleber (%)	ICC 155	27,0	31,0
Glutenindex Mehl	ICC 155	70	99
Sedimentationswert (ml)	ICC 116/1	38	44
Fallzahl (s)	ICC 107	300	400
Proteingehalt (% i.T.)	ICC 167	11,8	12,8
Wasseraufnahme (%)	ICC 115/1	57,0	61,0
Energie (cm²)	ICC 114/1	100	150
Verhältniszahl	ICC 114/1	3,5	5,0

Nährwertangaben/100g:

Brennwert [kj]	1412	Monosaccharide [mg]	142
Brennwert [kcal]	337	Disaccharide [mg]	283
Fett [mg]	1130	Protein i. Tr. [%]	s. Prot.
gesättigte Fettsäuren [mg]	165	Ballaststoffe [mg]	4100
Kohlenhydrate []mg	70760	Natrium [mg]	3
		Broteinheiten [BE]	5,9

Das verwendete Roggenmehl 1150 (Roland Mehl) hatte folgenden Spezifikationen.

Tabelle 4 Roggenmehlspezifikationen

Parameter	Methode ICC	Min	Max.
Mehlfeuchtigkeit (%)	ICC 110/1	12,0	14,5
Mineralstoffgehalt (% i.T.)	ICC 104	1,110	1,300
Fallzahl (s)	ICC 107	150	250
Verkleisterungstemperatur (℃)	ICC 126/1	65,0	70,0
Verkleisterungsmaximum (AE)	ICC 126/1	350	800

Nährwertangaben/100g:

Brennwert [kj]	1332	Monosaccharide [mg]	1680
Brennwert [kcal]	318	Disaccharide [mg]	5041
Fett [mg]	1300	Protein i. Tr. [%]	8310
gesättigte Fettsäuren [mg]	183	Ballaststoffe [mg]	8600
Kohlenhydrate []mg	67210	Natrium [mg]	1
		Broteinheiten [BE]	5,6

Weitere Zutaten waren Stein-Speisesalz der Firma ESCO und Back-Hefe von Uniferm.

3.5 Methoden

Säuregrad und pH-Wert Bestimmung

Das Prinzip der Säuregradbestimmung ist eine Säure-Base-Titration. Das Ende der Titration ist erreicht, wenn der pH-Wert 8,5 beträgt. Dieser wird mittels eines pH-Meters kontinuierlich gemessen. Die Menge an verbrauchter Natronlauge in ml ergibt den Säuregrad der Probelösung.

Die Säuregrad und pH-Wert Bestimmung wurde mittels einer Titroline durchgeführt, die nach der Probenvorbereitung automatisch die Titration durchführt.

Zur Vorbereitung wurde eine definierte Menge Teig (die Einwaagen sind von der TA abhängig und einer Tabelle zu entnehmen) oder 10 g Gebäck in einem Becherglas mit 75 ml Wasser feinst zerkleinert. Anschließend wird der Inhalt des Becherglases rückstandsfrei in das Titrationsgefäß überführt. Während der Titration muss mittels eines Magnetrührers kontinuierlich gerührt werden.

PH-Wert und Säuregrad können von einer digitalen Anzeige abgelesen werden.

4 Ergebnisse Vorversuche

Die Vorversuche fanden in der ersten Woche statt und dienten dazu, geeignete Führungsparameter für die Hauptversuche zu finden.

4.1 Sauerteige

Detmolder-Einstufenführung

Sauerteige, die nach dem Verfahren der DEF hergestellt werden, sollten nach Beendigung der Reifezeit zwischen 16 und 20 Säuregraden aufweisen und einen pH-Wert von 3,7 – 3,8 haben. Da beide Teige noch unter diesen Werten lagen, wurde die Reifezeit um 3h verlängert.

Die niedrigen Werte der Anlagensauerteige konnten darauf zurückgeführt werden, dass die Temperaturen des eingebauten Thermometers 1,5 – 2℃ über den manuell gemessenen Werten lagen. Da die Anlage ein automatisches Kühlsystem besitzt, wurde der Teig zu kühl geführt. Für die Hauptversuche wurde der Biomat daher so umprogrammiert, dass die Temperatur den Vorgaben entsprach und der Sauerteig innerhalb der Reifezeit die erwünschten Säuregrade erhielt.

Zu Beginn des Reifeprozesses in der Anlage war es nicht möglich eine Probe zu entnehmen, da sich durch die Intervallrührung noch keine homogene Masse gebildet hatte.

Tabelle 5 pH-Wert und S° der DEF

Probe / Messzeitpunkt /Temp.	pH-Wert	Säuregrad
Sauerteige		
DEF-manuell / 0h / 26,1℃	5,98	3,88
DEF-manuell / 15,5h / 27,7℃	3,9	14,54
DEF-manuell / 18,5h / 29,1℃	3,74	18,55
DEF-Anlage / 0h / 26,2℃	Teig noch nicht homogen	
DEF-Anlage / 15,5h / 27,1℃	4,02	12,64
DEF-Anlage / 18,5h / 24,8℃	3,74	16,47

Drei-Stufen-Führung

Die Drei-Stufen-Führung soll zwischen 12 – 16 Säuregrade im reifen Sauerteig besitzen.

Da die Starttemperaturen bei der manuellen 3F teilweise etwas zu hoch lagen, grenzte der Säuregrad im reifen Sauerteig an den Maximalwert.

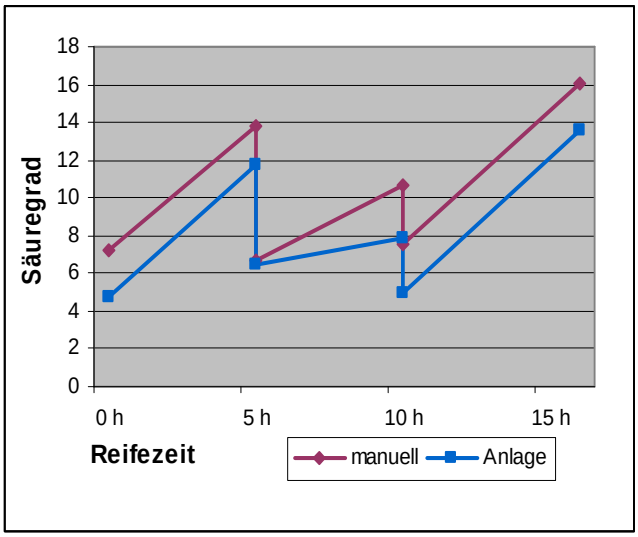


Abbildung 12 Säuregrade 3-Stufenführung

Für die Hauptversuche wurde daher die Temperatur der Schüttflüssigkeit geändert und der Sauerteig lagerte in einem kühleren Raum. Bei der Herstellung des maschinell gerührten 3F traten bei der automatischen Dosierung der Zutaten Probleme auf. Es wurden falsche Mehl- und Wassermengen zugeführt, so dass die TA des Sauerteiges in den einzelnen Stufen nicht exakt eingehalten wurde. Der sensorische Eindruck war, ein zu fester Teig. In Woche zwei wurde der Fehler behoben, so dass die Führungsparameter exakt eingehalten werden konnten.

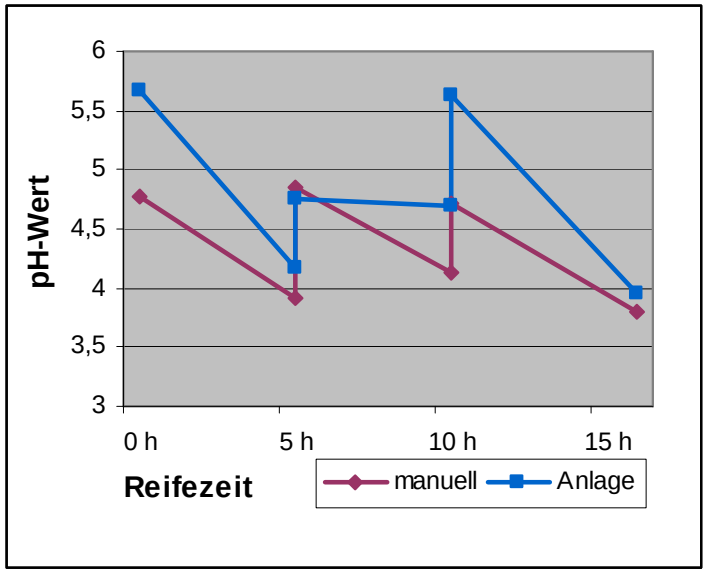


Abbildung 13 pH-Werte 3-Stufenführung

Brotfermentation

Bei der Brotfermentation sollen Säuregrade von 28 – 32 erreicht werden. Die Abnahme der Proben erfolgte jeweils kurz vor der Verarbeitung. Im Gegensatz zu den übrigen Proben, wurde die Brotfermentation mit dem NIT gemessen. Die Werte der ersten Woche sahen wie folgt aus.

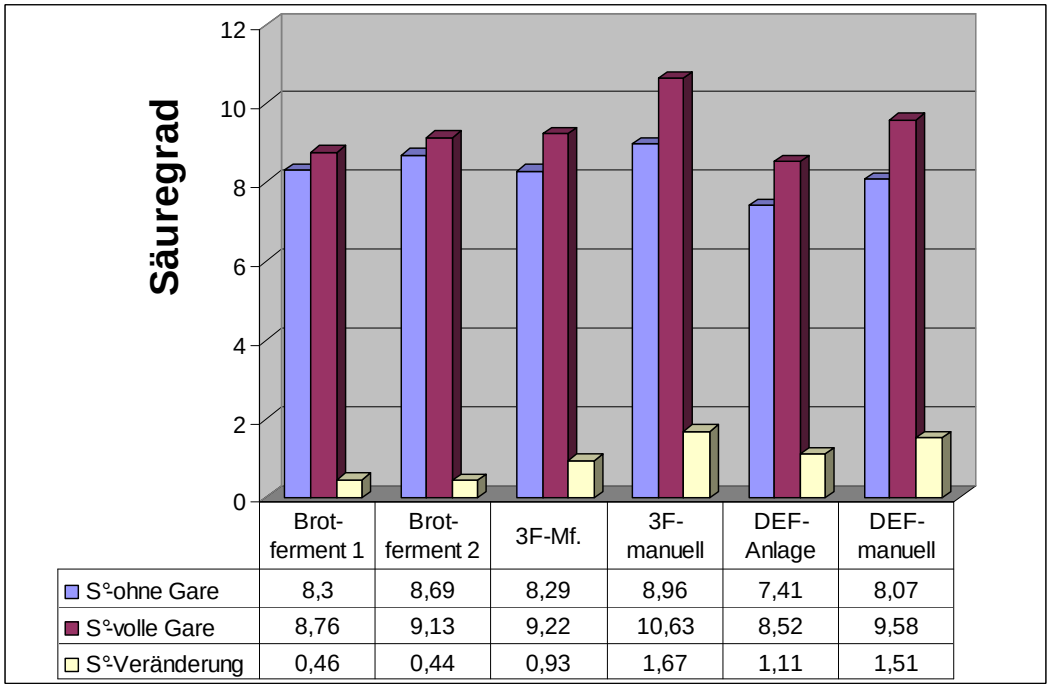
Tabelle 6 pH-Wert und S° der Brotfermentation

Probe	pH-Wert	Säuregrad
Brotfermentation 1	3,6	27,2
Brotfermentation 2	3,55	27,9

4.2 Brotteige

Die Probenentnahme der Brotteige erfolgte jeweils vor der Teigruhe und nach dem Gärschrank, sprich kurz bevor die Brote in den Ofen eingeschossen wurden.

Tabelle 7 Säuregradveränderung während der Gare



	Brot-ferment 1	Brot-ferment 2	3F-Mf.	3F-manuell	DEF-Anlage	DEF-manuell
S°ohne Gare	8,3	8,69	8,29	8,96	7,41	8,07
S°volle Gare	8,76	9,13	9,22	10,63	8,52	9,58
S°Veränderung	0,46	0,44	0,93	1,67	1,11	1,51

Es zeigte sich, dass die Mikroorganismen in den manuell hergestellten Teigen mehr Säure während der Gare produzierten, als die maschinell hergestellten Teige. Vor allem die Mikroorganismen der Brotfermentation waren nur noch gering aktiv.

Die Führungsbedingungen für die Herstellung der Teige wurden, wie in Tabelle 1 dargestellt, eingehalten. Nur die Stückgare orientierte sich am „Ist-Zustand“ der Teige. So kam es zu folgenden Ergebnissen.

Tabelle 8 Messwerte der Teigherstellung

	Brotferm. 1	DEF-manuell	DEF-Anlage	Brotferm. 2	3St. MF	3St.-manuell
Temperatur [℃]	27,6	28,8	28,2	28,6	28,1	28,7
Beschaffenheit der Teige	etw. fest	normal	etw. klebrig	normal	etw. weich	etw. fest
Teigruhe [min]	30	20	20	30	15	15
Stückgare	40+10	35+10	45+10	40+10	45+10	45+10

4.3 Gebäcke

In Roggenmischbroten 70:30 sollen Säuregrade von 7 – 9 S° erzielt werden. Durch die hohe prozentuale Versäuerung der 3F-Brote lagen die Säuregrade deutlich über den angestrebten Werten (siehe Tabelle 11). Deshalb wurde die Versäuerung für die Hauptversuche um 7% von anfänglich 52% auf 45% verringert.

Tabelle 9 pH-Wert und S° der Gebäcke

Probe	pH-Wert	Säuregrad
Brotfermentation 1	4,07	9,04
DEF-manuell	4,17	9,5
DEF-Anlage	4,25	9,03
Brotfermentation 2	4,08	9,2
3-Stufenführung Manuell	4,01	11,05
3-Stufenführung Anlage	4,17	10,22

Brotvolumen

Das Volumen der Gebäcke wurde nach dem Neumann-Verfahren gemessen. Diese Methode beruht auf dem Verdrängungsprinzip. Da zum Teil große Abweichungen zwischen 2 Messungen desselben Gebäcks auftraten, wurden Doppelbestimmungen durchgeführt und anschließend der Mittelwert berechnet. Trotz der Doppelbestimmungen war das Brotvolumen von so vielen Faktoren, wie z.B. dem Zeitpunkt des

Schiebens oder der Auswahl des Gebäcks abhängig, dass sich nur tendenzielle Aussagen treffen ließen.

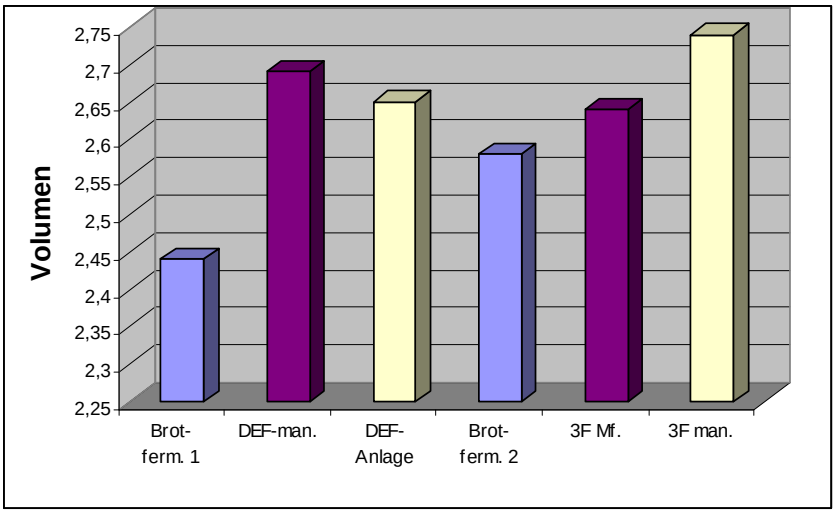


Abbildung 14 Brotvolumen der Vorversuche

Der Wert der ersten Brotfermentation war deshalb so extrem niedrig, da die Brote zu voll geschoben wurden und daher etwas breit liefen.

Zum Schluss wurde die Volumenausbeute die angibt, wie viel cm^3 Gebäck aus 100 g Getreide erhalten werden, berechnet.

Tabelle 10 Brotvolumen und Volumenausbeute der Vorversuche

		Hälfte 1	Hälfte 2	Summe	Durchschnitt	VA
Brot 1 (Brotferm.)	1. Bestimmung	1290 ml	1190 ml	2480 ml	2,44 l	287
	2. Bestimmung	1310 ml	1080 ml	2390 ml		
Brot 2 (DEF-m)	1. Bestimmung	1310 ml	1455 ml	2765 ml	2,69 l	316
	2. Bestimmung	1250 ml	1360 ml	2610 ml		
Brot 3 (DEF-A)	1. Bestimmung	1390 ml	1270 ml	2660 ml	2,65 l	312
	2. Bestimmung	1420 ml	1210 ml	2630 ml		
Brot 4 (Brotferm.)	1. Bestimmung	1280 ml	1270 ml	2550 ml	2,58 l	304
	2. Bestimmung	1310 ml	1290 ml	2600 ml		
Brot 5 (3F MF)	1. Bestimmung	1240 ml	1420 ml	2660 ml	2,64 l	311
	2. Bestimmung	1260 ml	1365 ml	2625 ml		
Brot 6 (3F manuell)	1. Bestimmung	1400 ml	1330 ml	2730 ml	2,74 l	322
	2. Bestimmung	1460 ml	1290 ml	2750 ml		

Brotprüfung

An den Brotprüfungen der 1. Woche nahmen drei DLG-Prüfer (alle Angestellte der Firma IsernHäger), ein Techniker der Firma IsernHäger und ein Laie teil. Die Brote wurden auf Aussehen (Form und Bräunung), Porung, Elastizität, Geruch und Geschmack getestet. Falls es möglich war versuchten sich die Prüfer, nach Abgabe ihrer einzelnen Bewertungen, auf ein Gesamturteil zu einigen. Dies führte zu folgenden Ergebnissen.

Tabelle 11 Ergebnisse der Brotprüfung

	Brotferm. 1	**DEF-manuell**	**DEF-Anlage**	**Brotferm. 2**	**3F MF**	**3F manuell**
Form/Aussehen						
Form	etw. flach	i.O.	etw. flach	i.O.	i.O.	i.O.
Porung	etw. dicht	i.O.	etw. dicht	i.O.	i.O.	i.O.
Elastizität	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
Bräunung	etw. hell	etw. hell	etw. hell	i.O.	i.O.	i.O.
Geruch/Geschmack						
Geruch	abgerundet	säuerlich	säuerlich	i.O.	i.O.	i.O.
Geschmack	aromatisch abgerundet	säuerlich	etw. säuerlich	abgerundet aromatisch	säuerlich	säuerlich

5 Ergebnisse Hauptversuche

Aufgrund der Ergebnisse der Vorversuche wurden kleinere Veränderungen der Rezepturen und Führungsparametern vorgenommen, so dass die Ergebnisse der Hauptversuche Vergleiche ermöglichten.

5.1 Sauerteige

Detmolder Einstufenführung

Bei der Herstellung der DEF in der zweiten Woche wurde mit den Schütttemperaturen aus den Vorversuchen gearbeitet. Durch steigende Außentemperatur hatte die manuelle Führung eine Starttemperatur von 28℃, die zum Ende der Reifezeit auf 32℃ anstieg. Die maschinelle Führung war davon nicht betroffen, da sie den Sauerteig, dank der automatischen Kühlung, auf den eingestellten Temperaturen hielt. Hierdurch war ein Vergleich der beiden Führungen nicht mehr möglich, weil die Temperatur entscheidenden Einfluss auf die Aktivität der Mikroorganismen im Sauerteig hat. Dies zeigte sich auch in den Messwerten, wie folgende Tabelle verdeutlicht.

Tabelle 12 pH-Wert und S°der DEF

Probe	pH-Wert	Säuregrad
DEF-manuell (0h)	6,13	3,7
DEF-manuell (15h)	3,7	19,16
DEF-Anlage (0h)	Teig noch nicht homogen	
DEF-Anlage (19,5h)	3,96	15,07

Aus diesem Grund wurde die Versuchsreihe nochmals wiederholt. Diesmal konnten die Führungsbedingungen sehr genau eingehalten werden, indem die manuelle Führung an einem kühleren Ort lagerte und kühleres Schüttwasser verwendetet wurde. Das Ergebnis war, dass die Messwerte deutlich dichter beieinander lagen und eine bessere Vergleichsmöglichkeit gegeben war, wie folgende Tabelle verdeutlicht.

Tabelle 13 pH-Wert und S° der zweiten DEF-Versuchsr eihe

Probe / Messzeitpunkt / Temp.	pH-Wert	Säuregrad
DEF-manuell 2 / 0h / 24,2℃	6,06	3,56
DEF-manuell 2 / 15h / 28,1℃	3,88	14,99
DEF-Anlage 2 / 0h / 24,5℃	Teig noch nicht homogen	
DEF-Anlage 2 / 15h / 29,8℃	3,82	16,49

Da die manuelle Führung etwas niedrigere Säuregrade hatte, wurde zunächst der maschinelle Sauerteig verarbeitet, wodurch der manuellen DEF weitere 30 min zur Säurebildung zu Verfügung standen.

Nach 9h Stehzeit wurde eine weitere Säuregrad und pH-Wert Messung durchgeführt, um zu betrachten, ob es Unterschiede in der Verarbeitungstoleranz der beiden Verfahren gab. Sowohl pH-Werte als auch Säuregrade der Sauerteige waren nahezu identisch (pH-Wert: DEF-Anlage 3,76, DEF-manuell 3,7; S°: DEF-Anlage 20,34, DEF-manuell 20,76).

Arbeitsaufwand

Der Arbeitsaufwand zur Herstellung der beiden Führungen war sehr ähnlich. Die Programmierung des Biomats erfolgt einmalig und ist mit einem sehr geringen Zeitaufwand verbunden. Ansonsten mussten beide Teige abgewogen und in den Biomat bzw. den Spiralkneter überführt werden. Zudem ließ die hohe Verarbeitungstoleranz des DEF-Sauerteiges von 9h, einen Spielraum für den Zeitpunkt der Herstellung und der Verarbeitung offen, so dass kein Zeitdruck entstand.

Triebkraftvergleich

Um zu überprüfen, ob die verschiedenen Führungen Unterschiede in der Triebkraft hervorriefen, wurde jeweils 1L Sauerteig in ein Becherglas überführt und beobachtet, wie sich das Volumen in Abhängigkeit von der Zeit veränderte.

Im linken Becherglas befindet sich die manuelle DEF und im rechten Becherglas die (maschinell) gerührte DEF. Es zeigte sich, dass der manuell geführte Sauerteig mehr als doppelt soviel Triebkraft besaß, wie der gerührte Sauerteig.

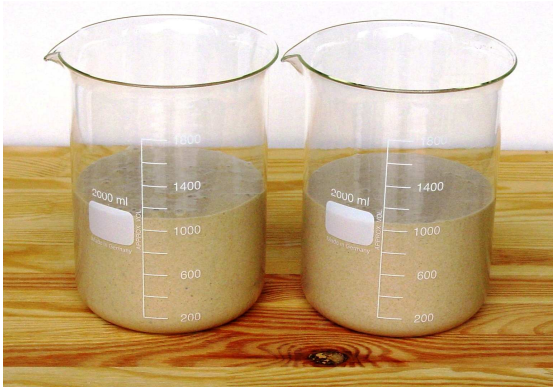


Abbildung 15 Triebkraft 0h

Abbildung 16 Triebkraft 0,5h

Abbildung 17 Triebkraft 1h

Abbildung 18 Triebkraft 1,5h

Drei-Stufen-Führung

Nach den Verbesserungen der ersten Woche lieferten sowohl die manuelle 3F, als auch die gerührte 3F sehr gute Ergebnisse. Temperaturen, pH-Werte und Säuregrade lagen während der einzelnen Stufen sehr dicht beieinander.

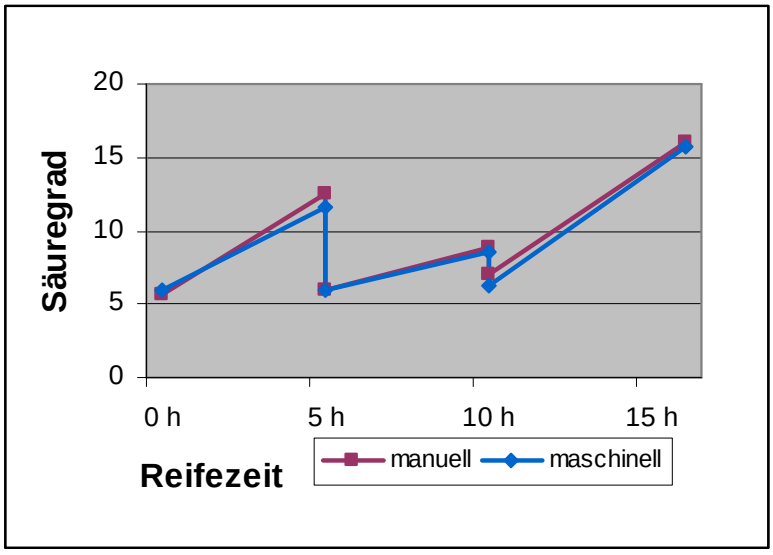


Abbildung 19 Säuregrade der 3-Stufenführung

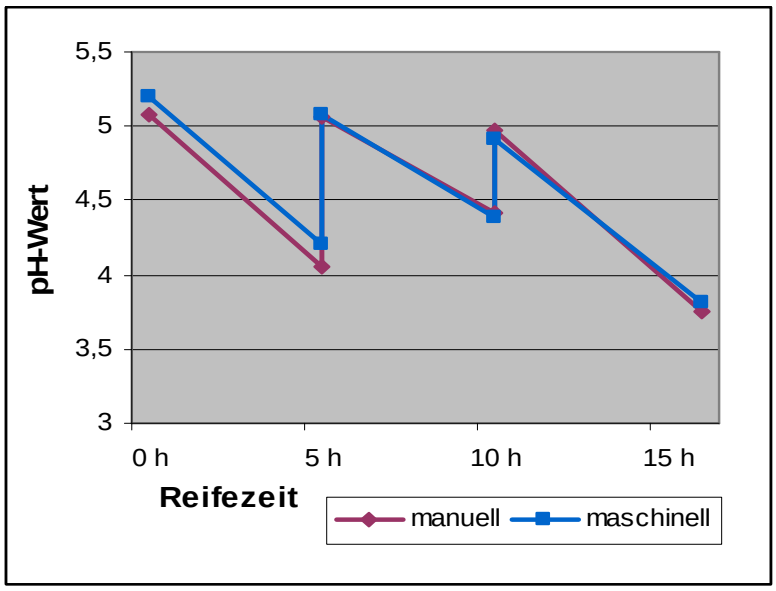


Abbildung 20 pH-Werte der 3-Stufenführung

Arbeitsaufwand

Die größten Unterschiede zwischen den beiden Verfahren lagen im Herstellungsprozess. Hier war die manuelle Führung wesentlich zeitraubender als die maschinelle. Dies lag daran, dass der Ansatz jeder Stufe des manuellen 3F's von Hand produziert werden musste, während der Multifermenter, nach einmaliger Programmierung und Befüllung des Mehltanks, vollautomatisch den Sauerteig produzierte. Zudem schränkte die niedrige Verarbeitungstoleranz von 3h den Zeitrahmen stark ein.

Triebkraftversuche

Die Triebkraftversuche mit den 3-Stufenführungen zeigten nicht so deutliche Unterschiede wie die Detmolder Einstufenführungen.

Auf den Abbildungen sind links die gerührte 3F und rechts die manuelle 3F zu sehen. Die Triebkraft der beiden Sauerteige war nahezu identisch, jedoch im Vergleich zur DEF etwas stärker.

Nach etwas mehr als 60 min quollen beide Sauerteige über den Rand der Bechergläser, weshalb sich weitere Fotos erübrigten.

Abbildung 21 Triebkraft 0,5h

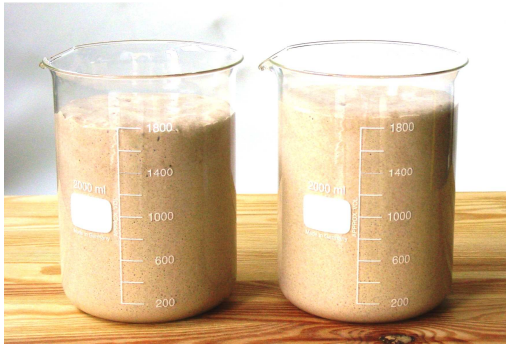
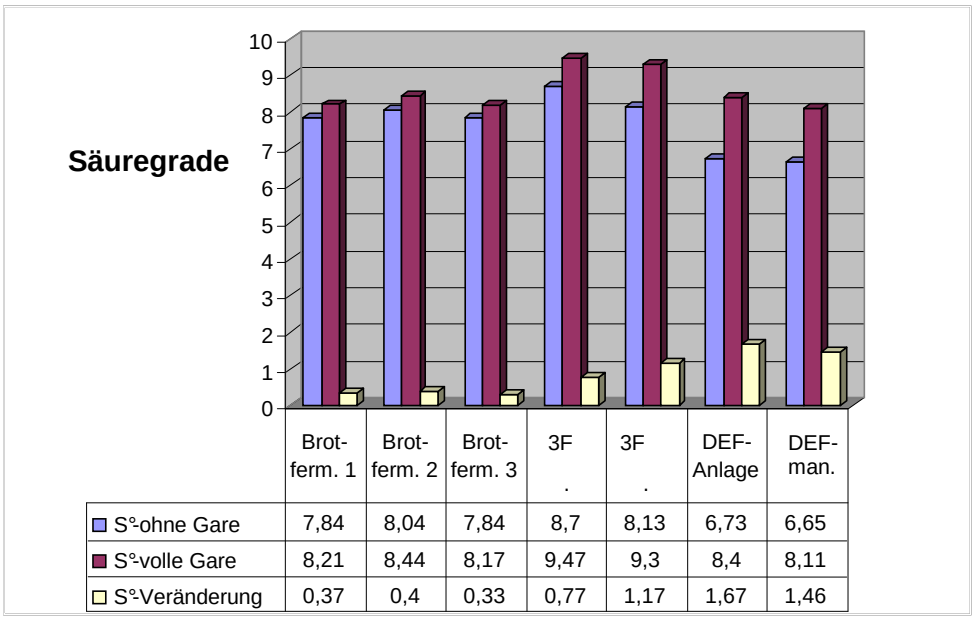


Abbildung 22 Triebkraft 1h

5.2 Brotteige

Im Gegensatz zur ersten Woche wurde ein drittes Brot mit der Brotfermentation gebacken um zu sehen, ob es qualitative Unterschiede gab, wenn die Brotfermentation das Ende der Haltbarkeit erreicht hat. In der folgenden Abbildung werden die ermittelten Säuregrade der Brotteige vor der Gare und nach der Gare, sowie die Differenz davon dargestellt. Die Veränderung ist ein Zeichen für die Aktivität der Lactobacillen.



	Brot-ferm. 1	Brot-ferm. 2	Brot-ferm. 3	3F .	3F .	DEF-Anlage	DEF-man.
S°-ohne Gare	7,84	8,04	7,84	8,7	8,13	6,73	6,65
S°-volle Gare	8,21	8,44	8,17	9,47	9,3	8,4	8,11
S°-Veränderung	0,37	0,4	0,33	0,77	1,17	1,67	1,46

Abbildung 23 Säuregradveränderung während der Gare

Bis auf die DEF Anlage zeigte sich wieder, dass die Teige mit manuell hergestelltem Sauerteig mehr Säure während der Garzeit produzieren, als die Teige mit (maschinell) gerührtem Sauerteig.

Tabelle 14 Messwerte während der Teigverarbeitung

	Brotferm. 1	DEF-manuell	DEF-Anlage	Brotferm. 2	3St. MF	3St.-manuell
Temperatur [℃]	28,2	27,8	28,1	27,2℃	28,4℃	28℃
Beschaffenheit	normal	normal	normal	etw. weich	normal	normal
Teigruhe [min]	27	20	20	28	15	15
Stückgare	35+10	35+10	30+10	30+5	40+10	45+10

5.3 Gebäck

Die Säuregrade der 3F-Brote lagen auch in den Hauptversuchen noch etwas zu hoch. Aus zeitlichen Gründen konnten jedoch keine Versuche mit noch geringeren Versäuerungen durchgeführt werden. Außerdem lagen die Werte nur noch knapp über den angestrebten Werten.

Tabelle 15 pH-Wert und S°der Gebäcke

Probe	pH-Wert	Säuregrad
Brotfermentation 1	4,16	8,13
Brotfermentation 2	4,22	8,21
Brotfermentation 3	4,14	7,96
DEF-manuell	4,25	8,61
DEF-Anlage	4,33	8,67
3F-manuell	4,22	9,83
3F-Anlage	4,2	9,87

Brotvolumen

Die Brotvolumina der 2. Woche zeigten ähnliche Tendenzen wie die aus den Vorversuchen. Die manuellen Führungen erzielten etwas mehr Volumen, als die gerührten Führungen und die Brotfermentation führte zu leichten Volumeneinbußen. Das Brot der 3F im Multifermenter war scheinbar ein Ausreißer der auf die Auswahl des Brotes zurück zu führen ist, da nicht alle Brote einer Charge gleiche Volumina haben.

Die folgende Abbildung stellt die ermittelten Brotvolumina grafisch dar.

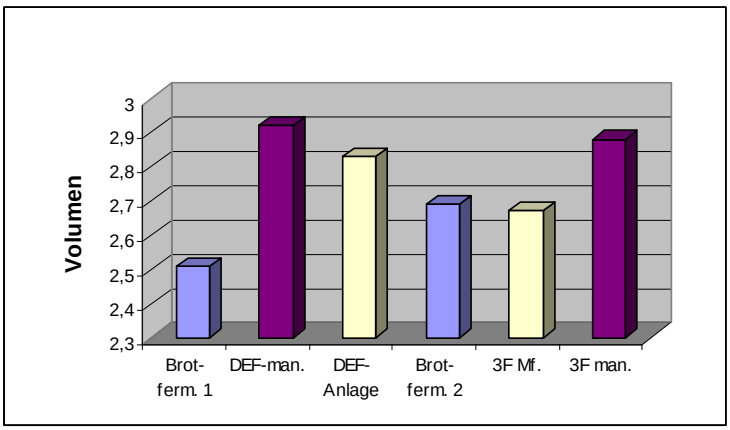


Abbildung 24 Brotvolumina der Hauptversuche

Die Tatsache, dass die Volumina und die Volumenausbeuten der Hauptversuche etwas höher als die aus den Vorversuchen waren, lag zum einen an der Erhöhung der TA und zum anderen an besser gewählten Stückgaren.

In der Tabelle werden die Ergebnisse der Neumann Untersuchungen und die mit diesen Werten ermittelten Volumenausbeuten (VA) dargestellt.

Tabelle 16 Brotvolumina und Volumenausbeuten der Hauptversuche

		Hälfte 1	Hälfte 2	Summe	Durchschnitt	VA
Brot 1 (Brotferm.)	1. Bestimmung	1160 ml	1300 ml	2460 ml	2,51 l	298,8
	2. Bestimmung	1280 ml	1280 ml	2560 ml		
Brot 2 (DEF-man.)	1. Bestimmung	1490 ml	1380 ml	2870 ml	2,92 l	347,6
	2. Bestimmung	1490 ml	1480 ml	2970 ml		
Brot 3 (DEF-Anl.)	1. Bestimmung	1350 ml	1440 ml	2790 ml	2,83 l	336,3
	2. Bestimmung	1470 ml	1390 ml	2860 ml		
Brot 4 (Brotferm.)	1. Bestimmung	1310 ml	1450 ml	2760 ml	2,69 l	319,6
	2. Bestimmung	1240 ml	1370 ml	2610 ml		
Brot 5 (3F MF)	1. Bestimmung	1250 ml	1390 ml	2640 ml	2,67 l	317,9
	2. Bestimmung	1250 ml	1450 ml	2700 ml		
Brot 6 (3F man.)	1. Bestimmung	1410 ml	1520 ml	2930 ml	2,88 l	342,3
	2. Bestimmung	1340 ml	1480 ml	2820 ml		

Um sich ein grobes Bild von den Volumen der Brote machen zu können, wurde jeweils eine Hälfte fotografiert.

Abbildung 25 DEF manuell

Abbildung 26 DEF Anlage

Abbildung 27 Brotferment. 2

Abbildung 28 3F Multifermenter

Abbildung 29 3F manuell

Brotprüfung

Bei den Brotprüfungen der 2. Woche fehlten ein DLG-Prüfer und der Laie.

Tabelle 17 Ergebnisse der Brotprüfung

	Brotferm. 1	DEF-manuell	DEF-Anlage	Brotferm. 2	3F Anlage	3F-manuell
Form/Aussehen						
Form	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
Farbe	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
Porung	etw. dicht	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
Elastizität	etw. straff	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
Geruch/Geschmack						
Geruch	aromatisch	säuerlich - kräftig säuerlich	säuerlich - kräftig säuerlich	aromatisch	säuerlich	etw. säuerlich
Geschmack	aromatisch abgerundet	säuerlich - kräftig säuerlich	säuerlich - kräftig säuerlich	aromatisch abgerundet	sehr säuerlich	etw. säuerlich

Die Übereinstimmungen in Form und Farbe lassen sich auf den Abbildungen 26 – 30 gut erkennen. Um die Porung besser beurteilen zu können, wurde eine Scheibe von jedem Brot abgeschnitten und gescannt.

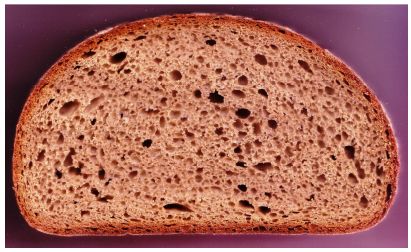


Abbildung 30 DEF man

Abbildung 31 DEF Anlage

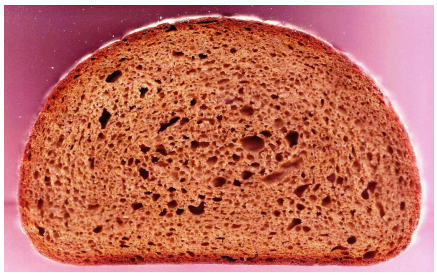


Abbildung 32 Brotferment. 2

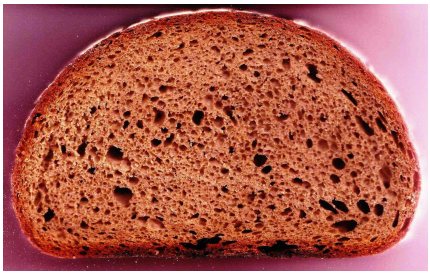


Abbildung 33 3F Anlage

Abbildung 34 3F man

6 Auswertung

6.1 Detmolder Einstufenführung

PH-Wert und Säuregrad

Viele Lactobacillen und deren bevorzugte Lebensbedingungen im Sauerteig sind gut erforscht. Dies führt dazu, dass man beispielsweise den pH-Wert und den Säuregrad eines Sauerteiges in bestimmten Grenzen beliebig einstellen kann. Aufgrund der langen Reifezeiten einer DEF wird die mittlere Sauerteigtemperatur niedrig gehalten, um eine zu hohe Säuerungsgeschwindigkeit zu vermeiden. Die unterschiedlichen Säuregrade der ersten DEF Reihe in Woche zwei verdeutlichen diese Abhängigkeit der Säuerungsgeschwindigkeit von der Temperatur.

Da in den Versuchsreihen mit identischem Anstellgut und gleichen Führungsbedingungen gearbeitet wurde, lagen die Werte für Säuregrad und pH-Wert unabhängig von manueller oder maschineller Führung dicht beieinander. Daraus lässt sich schließen, dass die maschinelle Rührung der Sauerteige keinen Einfluss auf die Säurebildungsaktivitäten der Lactobacillen nimmt.

Triebkraft

Die Mikroflora von Sauerteigen besteht nicht nur aus Lactobacillen, sondern auch aus Hefen. Diese Backhefen gelten als fakultativ anaerob, das bedeutet, die Energiegewinnung kann sowohl durch Sauerstoff-Atmung, als auch durch Gärung erfolgen (http://de.wikipedia.org/wiki/Backhefe#Stoffwechsel). Bei beiden Stoffwechseln entsteht als Abbauprodukt Kohlenstoffdioxid, das als wesentliches Lockerungsmittel für Brote benötigt wird.

Abbildung 35 Triebkraft nach 1,5 h

Die Triebkraftversuche zeigten, dass die manuelle Führung mehr als doppelt soviel Triebkraft besaß wie die (maschinell)e Führung. Dies führt zu der Annahme, dass entweder weniger Hefen produziert wurden oder die Aktivität der Hefen durch die (maschinell)e Rührung gestört wurde. Die Tatsache, dass die Garzeit der aus den Sauerteigen hergestellten Roggenbrote keine Unterschiede aufzeigte lässt vermuten, dass den Hefen zum Ende der Reife hin nicht mehr genügend vergärbare Substanzen zu Verfügung standen, so dass die Stoffwechselaktivitäten verlangsamt oder eingestellt wurden. Durch die Mehlzugabe bei der Teigherstellung wurde neue Nahrung bereitgestellt. Die Hefen konnten erneut Lockerungsgase produzieren und das Volumen der Gebäcke vergrößerte.

Da Hefen nicht nur für die Lockerung der Gebäcke verantwortlich sind, sondern durch die Bildung von Ethanol auch den Geschmack von Roggenbroten positiv beeinflussen, könnten eventuelle Verminderungen der natürlichen Sauerteighefen nicht einfach durch den Zusatz von Backhefen ausgeglichen werden.

Volumen der Gebäcke

Es zeigte sich, dass das Volumen der gerührten Teige stets etwas niedriger war als das der manuell geführten Teige. Dies führte zu der Annahme, dass durch die maschinelle Bearbeitung der Sauerteige die oxidative Gelierung, die zur Bildung einer Teigmatrix führt gestört wurde.

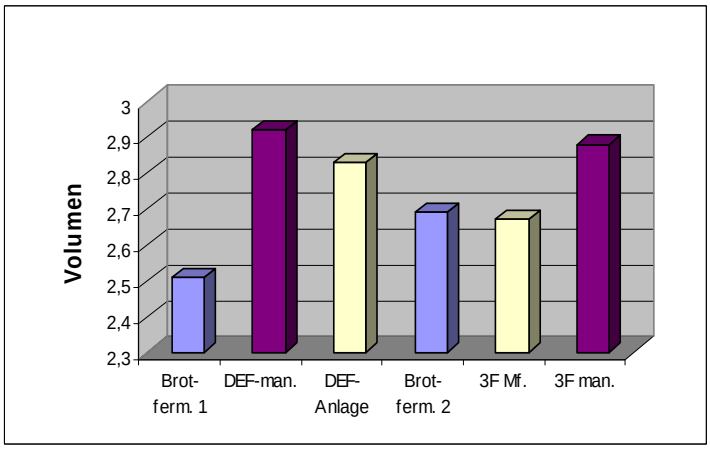


Abbildung 36 Volumen der Gebäcke

Durch die oxidative Vernetzung bilden sich Diferulasäurebrücken, so dass aus löslichen Pentosanen unlösliche entstehen, die bis zu 100 g Wasser/g Substanz binden. Die oxidative Gelierung der löslichen

Pentosane verbessert die Teig- und Backeigenschaften (R. W. Klingler (1995): Grundlagen der Getreidetechnologie).

Das Resultat dieses Prozesses ist eine Art Teiggel, in dem die Lockerungsgase gehalten werden. Wird die Bildung dieses Gels gestört, kann ein Teil des Kohlenstoffdioxids aus dem Teig entweichen und das Volumen der Gebäcke wird reduziert.

Sensorische Auswertung

Die sensorische Auswertung der DEF Brote ergab bei beiden Führungen den für DEF Brote typischen, kräftig säuerlichen Geruch und Geschmack.

Für diesen charakteristischen Geschmack sind die obligat- und fakultativ heterofermentativen Milchsäurebakterien zuständig, die in den ersten 4 – 6 Stunden einer DEF optimale aerobe Bedingungen vorfinden. Diese Lactobacillen produzieren neben Milchsäure verstärkt Essigsäure, die aufgrund einer niedrigeren Dissoziationskonstante vom Verbraucher stärker wahrgenommen wird als Milchsäure und daher für einen kräftig säuerlichen Brotgeschmack verantwortlich ist. Fakultativ heterofermentative Lactobacillen wie *Lb. plantarum* oder obligat heterofermentative Lactobacillen wie *Lb. brevis* sind im Gegensatz zu den meisten obligat homofermentativen Lactobacillen auch bei niedrigeren Temperaturen, bis zu 15 °C, zu Wachstums- und Stoff wechselaktivitäten fähig.

Die DEF stellt daher zu Beginn der Reifung mit ihren niedrigen Temperaturen und dem hohen Sauerstoffgehalt gute Bedingungen für diese Mikroorganismen dar. Mit sinkendem pH-Wert und zunehmend anaeroberen Milieu lässt die Aktivität dieser Lactobacillen nach.

Fazit

In der Herstellung der Sauerteige waren die beiden Verfahren kaum zu unterscheiden. Nur das Kühlsystem der Anlage vereinfachte die Produktion, da die Führungsbedingungen nicht mehr von der Außentemperatur beeinflusst wurden.

Auch die Messwerte der Sauerteige zeigten nur gering Unterschiede, die auf kleine Temperaturschwankungen während der Reifezeit zurück zu führen waren. Nach dem Ablauf der Verarbeitungstoleranz lagen die Säuregrade beider Sauerteige etwas über dem maximalen Wert, jedoch nicht so stark, dass man sie nicht mehr hätte verwenden können. Die Teige ließen sich mit beiden Sauerteigen gut verarbeiten. Erstaunlicher Weise spiegelten sich die enormen Unterschiede in den Triebkraftversuchen nicht in der Stückgare wieder. So hatte die gerührte Führung sogar eine um 5 min kürzere Garzeit, als die manuelle Führung. Dies legte die Vermutung nahe, dass sich die Führungen nicht in der Aktivität der Mikroorganismen unterscheiden, sondern physikalische Unterschiede, wie beispielsweise die unterschiedliche Konsistenz der Sauerteige, für das Ergebnis der Triebkraftversuche in Frage kommen.

In den Punkten Form, Farbe, Porung, Geruch und Elastizität waren die Gebäcke nicht voneinander zu unterscheiden. Auch die geringen Volumenunterschiede und somit auch die Differenz der Volumenausbeuten waren mit bloßem Auge nicht zu erkennen. Die geschmacklichen Unterschiede bewegten sich im Bereich von Nuancen, wodurch selbst erfahrene DLG-Prüfer erst nach „zurückkosten“ ein Urteil abgaben.

6.2 Drei-Stufenführung

PH-Wert und Säuregrad

Die für die Säuerung ausschlaggebenden Lactobacillen der Drei-Stufen-Führung und deren Stoffwechsel in Abhängigkeit von den jeweiligen Führungsbedingungen sind gut erforscht, so dass sich nach den Vorversuchen nahezu identische Säuerungs- und pH-Wert Verläufe einstellen ließen. Auch hier zeigte sich, dass die automatische Rührung und somit die mechanischen Einwirkungen auf den Sauerteig während der Reife, keine Auswirkungen auf die entscheidenden Parameter der Sauerteige hatten.

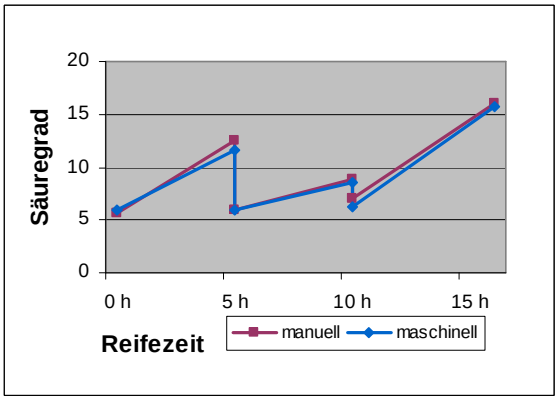


Abbildung 37 Säuregrade 3 F

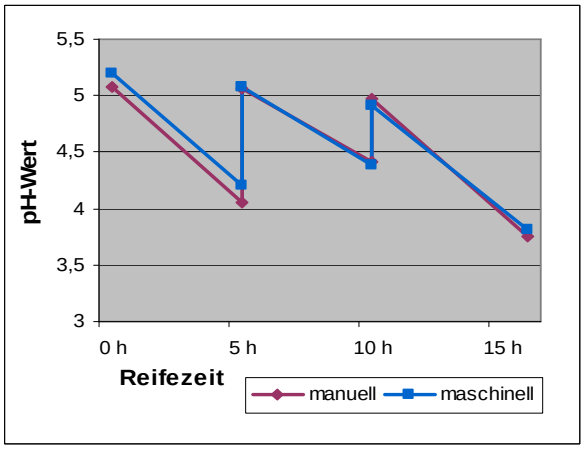


Abbildung 38 pH-Werte 3 F

Triebkraft

Die Triebkraftversuche der Drei-Stufen-Führung zeigten nur geringe Unterschiede mit leichten Vorteilen für die manuelle Führung. Dieser Unterschied im Vergleich zur DEF könnte damit zusammen hängen, dass die letzte Anfrischung nur 6 Stunden vor der Vollreife

Abbildung 39 Triebkraft nach 1h

vorgenommen wurde. Die Hefen haben dementsprechend noch ausreichende Mengen an Nährstoffen, um Stoffwechsel zu betreiben und CO_2 zu bilden.

Volumen der Gebäcke

Die Erklärungen zum Zustande kommen der Volumina der Drei-Stufenführungen werden bereits bei den Einstufenführungen erläutert und werden daher nicht nochmals wiederholt.

Sensorische Auswertung

In den Punkten Form, Farbe, Porung und Elastizität stellten die Gebäcke alle einwandfreie Roggenbrote vom Typ Berliner Landbrot dar.

Abbildung 40 Berliner Landbrot

Die dreistufige Führung berücksichtigt die unterschiedlichen Anforderungen der Mikroorganismen an die Temperatur. Dies soll im Anfrischsauer die Hefevermehrung optimieren, im Grundsauer die Säure- und Aromabildung unterstützen und im Vollsauer zu einer Optimierung der Gärleistung und der Säurebildung führen (H. Neumann, H. Stephan und J.-M. Brümmer (2005): Handbuch Sauerteig, 6. Auflage).

Kritiker der automatischen, kontinuierlichen Rührung behaupten, dass durch die mechanischen Einwirkungen flüchtige Aromastoffe aus dem Sauerteig gerührt werden.

Die Ergebnisse der sensorischen Untersuchungen konnten dies nicht bestätigen. Die Gebäcke waren sich in Geruch und Geschmack sehr ähnlich. Der typische säuerliche Geschmack einer 3 Stufen Führung wurde in beiden Gebäcken wahrgenommen.

Fazit

Die manuelle 3F war in der Herstellung wesentlich zeitraubender. Außerdem war sie, ebenso wie die manuelle DEF, anfälliger für Temperaturschwankungen der Umgebung, so dass die

Führungsparameter nicht immer exakt eingehalten werden konnten. Die Messwerte hingegen waren sich in allen Stufen, sowie auch im Teig und im Gebäck sehr ähnlich. Erneut zeigte sich, dass die geringen Vorteile der manuellen Führung bei den Triebkraftversuchen, sich nicht auf die Stückgare auswirkten. Die Brotprüfung ergab ähnliche Ergebnisse wie bei den DEF. Form, Farbe, Elastizität und Porung waren bei beiden Gebäcken nahezu identisch. In Geruch und Geschmack wurde die 3F des Multifermenters etwas säuerlicher wahrgenommen als die manuelle Führung.

6.3 Brotfermentation

Die Brotfermentation ist ein von der Firma IsernHäger entwickeltes Fermentationsverfahren mit der Besonderheit das bis zu 50% des Mehl- und Schrotanteils des Sauerteiges durch Brot ersetzt werden kann. Das Brot wird unter den verfahrensspezifischen Bedingungen soweit aufgelöst und umgewandelt, dass eine homogene Masse entsteht, aus der gut gelockerte, aromatisch schmeckende Brote gebacken werden können, die eine verlängerte Frischhaltung besitzen.

Das abgerundete Aroma der mit Brotfermentation hergestellten Gebäcke rührt daher, dass sowohl die mehleigenen, als auch die aus dem Brot stammenden, löslichen Kohlenhydrate überwiegend zu Milchsäure fermentiert werden (F. Meuser, P. Suckow und G. Fischer (1987): Einfluss der Fermentation auf Zusätze von Brot zu Isernhäger Sauerteigen).

Da sich die Brotfermentation durch eine Haltbarkeit von 144h auszeichnet, in denen sich die Kennzahlen des Sauerteiges nur noch geringfügig verändern, konnten Gebäcke mit sehr geringen Schwankungen hergestellt werden. Somit eignete sich die Brotfermentation ideal als Vergleichsbrot für die übrigen Sauerteigführungen.

6.4 Vergleich aller fünf Verfahren

Bei der Herstellung der Sauerteige stach die manuelle 3F, wie bereits erwähnt, durch hohen Arbeitsaufwand negativ heraus, während die

IsernHäger Brotfermentation, aufgrund der hohen Verarbeitungstoleranz, und der schnellen und einfachen Herstellung am wenigsten Zeitaufwand benötigte.

Die Beschaffenheit aller Teige war typisch für Roggenmischbrote 70:30, was das Aufarbeiten unproblematisch gestaltete. Die Mikroorganismen der Brotfermentation waren nur noch gering aktiv, was durch eine erhöhte Hefezugabe ausgeglichen wurde.

Porung und Elastizität der Gebäcke mit Brotfermentation ließen sich nicht von den übrigen Gebäcken unterscheiden, obwohl Volumen und Volumenausbeute geringer waren.

Form und Farbe waren ebenfalls bei allen Gebäcken nahezu identisch. Große Unterschiede hingegen gab es beim Geruch und vor allem beim Geschmack. Die Brotfermentation überzeugte durch einen weniger säuerlichen und dafür aromatischen Geruch. Während die restlichen Gebäcke zum Teil kräftige Säurespitzen im Verlauf der Kauzeit bewirkten, wurde die Brotfermentation über die gesamte Kauzeit als weniger säuerlich und aromatisch abgerundet wahrgenommen.

Insgesamt lieferten sowohl die manuellen, als auch die (maschinell) gerührten Verfahren Gebäcke von einwandfreier Qualität, die der „normale“ Verbraucher wahrscheinlich kaum voneinander Unterscheiden könnte. Allein die Brotfermentation sticht im direkten Vergleich, durch ihren aromatischen Geschmack und den geringen Arbeitsaufwand etwas hervor.

7 Zusammenfassung

Die Vielfalt der heute eingesetzten Roggensauerteige und deren Herstellungsverfahren sind breit gefächert. Hinzu kommt, dass inzwischen auch Maschinen voll- oder teilautomatisch die Produktion übernehmen können. Um die Frage zu klären, ob es eine Methode gibt, die sowohl objektiv messbar, als auch subjektiv, d.h. sensorisch wahrnehmbar, bessere und qualitativ hochwertigere Produkte liefert, wurde eine Versuchsreihe durchgeführt, bei der 3 verschiedene Sauerteigverfahren (Detmolder 1-Stufen-Führung, 3-Stufen-Führung und Isernhäger Brotfermentation) manuell (bis auf Brotfermentation) und (maschinell) (gerührt) hergestellt und in einem Roggenmischbrot 70:30 verbacken wurden. Die wichtigsten Beurteilungskriterien waren der Säuregrad, der pH-Wert und die sensorische Brotprüfung. Es wurden jedoch auch Triebkraftversuche und volumetrische Messungen durchgeführt und der Arbeitsaufwand zur Herstellung der Roggensauerteige beurteilt.

Nachdem die 1. Woche für Vorversuche genutzt wurde, die dazu dienten Säuregrade und pH-Werte eines Verfahrens anzugleichen, konnten in der 2. Woche Sauerteige mit so ähnlichen Messwerten hergestellt werden, dass eine Vergleichbarkeit ermöglicht wurde.

Das Ergebnis der Untersuchungen ergab, dass sich die Detmolder 1-Stufen-Führung und die 3-Stufen-Führung, egal ob manuell oder (maschinell) hergestellt, kaum voneinander unterscheiden ließen. Lediglich der etwas höhere Arbeitsaufwand bei der manuellen 3-Stufen-Führung fiel negativ im direkten Vergleich auf. Die Isernhäger Brotfermentation hingegen hatte geschmackliche Vorteile, da sie durchgehend als aromatisch abgerundet wahrgenommen wurde und konnte auch durch den geringen Arbeitsaufwand, der durch die hohe Verarbeitunstoleranz bedingt wurde, überzeugen.

8 Summary

Nowadays we have a variety of rye sourdoughs and can fall back to many production procedures. Moreover machines can take over the production full-automatically or partial-automatically. To clear the question whether there is a method, which is objectively measurably, as well as subjectively, i.e. sensory perceptible, better and which delivers higher-quality products, we made a series of experiments with 3 different sourdough procedures (Detmolder 1 stage-, 3 stage sourdough and the Isernhäger bread fermentation). These sourdoughs were produced by hand (up to bread fermentation) and by machine, which means agitated and baked in a rye mix bread 70:30. The most important judgement criteria were the acid level, the pH-value and the sensory bread check. Further more we analyzed driving force of the sourdoughs, determined the volume of the pastries and took the effort for producing the sourdough into consideration.

The first week was used to harmonize the recipes and the parameter of the procedures, so that pH-value and acid level of were similar enough to afford a comparison.

The result of the investigations proved, that there were no striking differences between the Detmolder 1-stage- and the Detmolder 3-stage sourdoughs. Merely the higher amount of work which incurred with the manual 3-stage sourdough negatively noticed in the direct comparison. However the Isernhäger bread fermentation, continuously perceived as aromatic rounded, had flavourful advantages and could also convince by the low amount of work which was caused in the long endurance.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Rezepturen und Führungsbedingungen der Vorversuche 10

Tabelle 2 Rezepturen und Führungsbedingungen der Hauptversuche 11

Tabelle 3 Weizenmehlspezifikationen 16

Tabelle 4 Roggenmehlspezifikationen 16

Tabelle 5 pH-Wert und S° der DEF 18

Tabelle 6 pH-Wert und S° der Brotfermentation 20

Tabelle 7 Säuregradveränderung während der Gare 20

Tabelle 8 Messwerte der Teigherstellung 21

Tabelle 9 pH-Wert und S° der Gebäcke 21

Tabelle 10 Brotvolumen und Volumenausbeute der Vorversuche 22

Tabelle 11 Ergebnisse der Brotprüfung 23

Tabelle 12 pH-Wert und S° der DEF 24

Tabelle 13 pH-Wert und S° der zweiten DEF-Versuchsr eihe 25

Tabelle 14 Messwerte während der Teigverarbeitung 29

Tabelle 15 pH-Wert und S° der Gebäcke 29

Tabelle 16 Brotvolumina und Volumenausbeuten der Hauptversuche 30

Tabelle 17 Ergebnisse der Brotprüfung 32

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 manuelle DEF im Isofermenter 8
Abbildung 2 (maschinell)e DEF im BioMat 8
Abbildung 3 BioMat 300 Ecoline 12
Abbildung 4 Multifermenter 12
Abbildung 5 B 200 Ecoline 13
Abbildung 6 Isofermenter 13
Abbildung 7 Spiralkneter 14
Abbildung 8 Ofen und Gärschrank 14
Abbildung 9 TitroLine easy 15
Abbildung 10 Testo 110 15
Abbildung 11 Volumenmessgerät 15
Abbildung 12 Säuregrade 3-Stufenführung 19
Abbildung 13 pH-Werte 3-Stufenführung 19
Abbildung 14 Brotvolumen der Vorversuche 22
Abbildung 15 Triebkraft 0h 26
Abbildung 16 Triebkraft 0,5h 26
Abbildung 17 Triebkraft 1h 26
Abbildung 18 Triebkraft 1,5h 26
Abbildung 19 Säuregrade der 3-Stufenführung 26
Abbildung 20 pH-Werte der 3-Stufenführung 27
Abbildung 21 Triebkraft 0,5h 28
Abbildung 22 Triebkraft 1h 28
Abbildung 23 Säuregradveränderung während der Gare 28
Abbildung 24 Brotvolumina der Hauptversuche 30
Abbildung 25 DEF manuell 31
Abbildung 26 DEF Anlage 31

Abbildung 27 Brotferment. 2 31
Abbildung 28 3F Multifermenter 31
Abbildung 29 3F manuell 31
Abbildung 30 DEF man 32
Abbildung 31 DEF Anlage 32
Abbildung 32 Brotferment. 2 32
Abbildung 33 3F Anlage 32
Abbildung 34 3F man 32
Abbildung 35 Triebkraft nach 1,5 h 33
Abbildung 36 Volumen der Gebäcke 34
Abbildung 37 Säuregrade 3 F 37
Abbildung 38 pH-Werte 3 F 37
Abbildung 39 Triebkraft nach 1h 37
Abbildung 40 Berliner Landbrot 38

Quellenangabe

http://de.wikipedia.org/wiki/Backhefe#Stoffwechsel

F. Meuser, P. Suckow und G. Fischer (1987): Einfluss der Fermentation auf Zusätze von Brot zu Isernhäger Sauerteigen; Getreide, Mehl und Brot

H. Neumann, H. Stephan und J.-M. Brümmer (2005): Handbuch Sauerteig, 6. Auflage

M. G. Gänzle; (2005): Handbuch Sauerteig

Prof. Dr. Brümmer (2008): Vortrag Roggen

R. W. Klingler (1995): Grundlagen der Getreidetechnologie

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Tom Rötz, versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit („Unterschiede zwischen von Hand hergestellten und maschinell gerührten Sauerteigen“) selbständig verfasst, bisher weder ganz noch in Teilen als Prüfungsmittel vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Sämtliche Stellen der Arbeit, die den benutzten Werken oder Quellen aus dem Internet im ganzen oder im Wortlaut entnommen sind, habe ich durch Quellenangaben kenntlich gemacht.

Berlin, den 14.04.2009 _____