Mikrobiologie der Brotteigherstellung. Teil II, Mikrobiologische Untersuchungen an unterschiedlich hergestellten Spontansauerteigen aus Weizenmehl = Microbiology of dough preparation. Part II, Microbiological examination of spontaneously fermented wheat...

Autor(en): **Hochstrasser, R.E. / Ehret, A. / Geiges, O.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène**

Band (Jahr): **84 (1993)**

Heft 3

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-982141

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **84**, 356–381 (1993)
Eingegangen 7. April 1993. Angenommen 15. April 1993

Mikrobiologie der Brotteigherstellung

II. Mikrobiologische Untersuchungen an unterschiedlich hergestellten Spontansauerteigen aus Weizenmehl

Microbiology of Dough Preparation

II. Microbiological Examination of Spontaneously Fermented Wheat Doughs

R.E. Hochstrasser[1], *A. Ehret*[2], *O. Geiges*[3] und *W. Schmidt-Lorenz*[4]

Einleitung und Problemstellung

Das spontane «Gärenlassen» eines mit Mehl und Wasser angesetzten Teiges ist das von altersher angewandte Verfahren zur Vorbereitung eines Teiges, der zu Brot verbacken werden kann. Vor dem gezielten Zusatz von Hefen aus der Brauerei bis zur heutigen Anwendung von Presshefen war dies die einzige Möglichkeit der Teiglockerung. Allerdings herrscht im Bäckereigewerbe die Meinung vor, dass durch alleinigen Zusatz von Presshefe bei kurzer direkter Teigführung keine optimale Brotqualität erreicht werden kann. Besser geeignet sei das Hebelverfahren, bei dem ein spontan gärender oder mit wenig Hefe hergestellter Vorteig über Nacht angestellt wird. Obwohl dieses Herstellungsverfahren seit langem bekannt und angewendet wird, liegen für Weizenmehlteige bisher nur wenige Untersuchungen über die mikrobiologischen Teigreifungsvorgänge vor. *Spicher* untersuchte beispielsweise gesüsste Weizenmehlsauerteige, wie sie für die Panettone-Herstellung angesetzt werden. Ziel der Untersuchungen war die qualitative und quantitative Bestimmung der Mikroflora von nach praxisnahen Rezepten hergestellten Weizenmehl-Spontansauerteigen.

[1] Obi AG, 9220 Bischofszell
[2] Agrano AG, 4123 Allschwil
[3] Ingenieurschule, 8820 Wädenswil
[4] ETH-Zentrum, 8092 Zürich

Material und Methoden

Teigherstellung

Rohstoffe

Die verwendeten Ruch- und Weissmehle wurden direkt von der Coop-Mühle in Zürich bezogen. Die vom Lieferanten angegebenen Qualitätsmerkmale dieser Mehle sind in Tabelle 1 aufgeführt. Das Vollkornmehl aus biologisch angebautem Weizen (Fa. Schnitzer, Schönriet, Schweiz) wurde auf einer kleinen Steinmühle durch die Bäckerei J jeweils frisch gemahlen. Weitere Angaben zur Qualität standen für dieses Mehl nicht zur Verfügung.

Tabelle 1. Qualitätsmerkmale des verwendeten Ruch- und Weissmehls

Merkmale	Ruchmehl	Weissmehl
Mehltype	1050	405
Wassergehalt %	14,2	14,9
Asche % i. Tr.	1,01	0,40
Protein % i. Tr.	13,6	11,3
Fallzahl s	315	335
Amylogramm		
Viskosität	270	680
Maximumtemperatur °C	82,0	87,1

Rezepturen

Die Herstellung der Ruch- und Weissmehlteige erfolgte nach Rezepturen der guten Herstellungspraxis, wobei prozentuale Teigausbeuten von 160 und 200 und Gärtemperaturen von 22 und 35 °C angewandt wurden. Die Gärzeiten betrugen jeweils 24 h.

Die Herstellung der Vollkornmehlteige erfolgte nach den Rezepturen der Bäkkerei J (Tabelle 2). Die Gärdauer wurde in Abhängigkeit des Teigtriebes gewählt. Alle Teige wurden von erfahrenem Personal ausschliesslich in der Bäckerei J innerhalb eines Zeitraumes von acht Wochen hergestellt.

Sowohl für die Ruch- und Weissmehlteige wie auch für die Vollkornmehlteige wurde stets Mehl der gleichen Lieferanten-Charge verwendet. Bedingt durch die Versuchsdauer von jeweils ca. acht Wochen unterschied sich das Mehl lediglich in seinem Alter. Die Berechnung der Teigausbeuten erfolgte ohne Berücksichtigung von Salz- und Hefezusätzen nach der Formel:

$$\text{TA } \% = \frac{\text{Teig (g) (Mehl und Wasser) x 100}}{\text{Mehl (g)}}$$

Tabelle 2. Teigrezepturen und Technologieparameter für die Herstellung der Spontansauer aus Weizenmehlen

Mehltype	Ruchmehl (Type 1050)				Weissmehl (Type 405)				Vollkornmehl (Type 1700)	
Teigausbeute	160		200		160		200		180	
Gärtemp. (°C)	22	35	22	35	22	35	22	35	25	25
Salz auf Mehlmenge	1,3%								0,5%	
Wasserqualität	ab Leitung								CO_2 freies Mineralwasser	
Teiggewicht (g)	500								800	
Kneter	Spiralkneter Petrin-Hobart								Langsamkneter Dirks und S.	
Knetdauer (min.)	10								15	
Auffrischung Anteil reifer Sauer	60%								35%	
Gärzeiten (h)	24								abhängig von Triebdauer	
Anz. Auffrischungen	3								Führung über 5–8 Wochen	

Bestimmung von pH-Wert, Säuregrad und Triebkraft

pH-Wert und Säuregrad (18)

- Homogenisation von 10 g Teig mit 90 ml dest. Wasser während 1 bis 2 Minuten im Stomacher
- Bestimmung der pH-Werte mit Einstabelektrode im Homogenisat
- Nach Zugabe weiterer 100 ml dest. Wasser zum Homogenisat potentiometrische Titration mit 0,1 n NaOH auf pH 8,5
- Nach Wartezeit von 5 Minuten Nachtitration auf den pH-Wert von pH 8,5 bis zur Konstanz von +/- 0,1 Einheiten für eine Minute
- Der Verbrauch an 0,1 n NaOH in ml entspricht dem Säuregrad (Sr°).

Triebkraft

Bei Ruch- und Weissmehlteigen: Messung des Triebes des gesamten Teiglings (500 g) im graduierten Becherglas als Volumenzunahme in ml während der 24 h Gärzeit bei den Gärtemperaturen von 22 und 35 °C.

Bei Vollkornmehlteigen: Messung des Triebes von 100 g Teig in einem 500-ml-Messzylinder mit 5 cm Innendurchmesser bei 30 °C. Messung der Volumenzunahme in ml in Intervallen von 30 Minuten, bis das Triebende durch Abflachen der Teigkuppe erkennbar war.

Koloniezählungen und Identifikationen der Milchsäurebakterien und Hefen

Koloniezählungen

- Probenahme: am Ende der jeweiligen Gärphase, 5 Minuten vor dem Auffrischungsprozess
- Homogenisation von 10 g aus dem Innern des Teiglings mit 90 ml Verdünnungslösung (0,1% Pepton, 0,85% NaCl) während 2 Minuten im Stomacher
- Herstellung von dezimalen Verdünnungsreihen
- Koloniezählungen: Ausstrich auf viergeteilten Agarplatten im Doppel pro Sektor jeweils 0,02 ml der dezimalen Verdünnungsstufen
- Angewandte Kulturmedien wie in Teil I angegeben: M.R.S.-Agar, M.R.S.-Agar modifiziert, Roggenkleie-Agar, Roggenkleie-Agar modifiziert (Sorbinsäure-Agar).
- Zusätzlich wurden angewandt: Malzextrakt-Agar: Malzextrakt 30 g (Merck 5391), Agar 15 g (Oxoid L 11), dest. Wasser 1000 ml. Nach dem Autoklavieren sterile Zugabe von Chlortetrazyklin (Sigma C-4881) 50 mg, Chloramphenicol (Sigma C-0378) 50 mg gelöst in einigen ml Aceton
  Violet Red Bile Dextrose Agar (VRBG) (BBL 11807): mit Dextrose 10 g l^{-1}.
- Aerobe Bebrütung bei 30 °C, beim Violet Red Bile Dextrose Agar bei 37 °C während 1 bis 3 Tagen
- Nach Auszählung der Kolonien Berechnung und Angabe des gewogenen arithmetischen Mittels (x_{gew}) der Koloniezahlen.

Isolierung und Grobidentifikation

- Auswahl der zu identifizierenden Kolonien nach eingehender Musterung aller eingesetzten Milchsäurebakterien-Kulturmedien. Berücksichtigung aller angewandten Kulturmedien und Kolonien aller Farben, Grössen und Formen entsprechend deren relativer Häufigkeit
- Reinzüchtung der ausgewählten Kolonien auf M.R.S.-Agar
- Mikroskopische Bestimmung von Zellform- und -länge, Gramfärbung und Katalasereaktion
- Überimpfungen auf M.R.S.-Schrägagar als Stammkultur oder/und in M.R.S.-Bouillon zur weiteren Identifikation (Tabelle 3).

Identifikation der Milchsäurebakterien

Identifikation der Lactobazillen nach *Kandler* und *Weiss* (6), der Streptokokken nach *Hardie* (4), der Pediokokken und Leuconostoc-Arten nach *Garvie* (2) aufgrund folgender Merkmale: Zellform, Milchsäurekonfiguration, Wachstum bei 15, 45 und 50 °C, End-pH-Wert in M.R.S.-Bouillon, Gasbildung, Ammoniakbildung aus Arginin, Diaminopimelinsäure-Bildung und dem Zuckervergärungsspektrum (siehe Teil I).

Identifikation der Hefen

Nach *Kreger-van Rij* (7).

Tabelle 3. Gattungsbestimmung der Milchsäurebakterien

Gattung	Zellformen und -länge	Milchsäure-konfiguration	Gasbildung	End-pH-Wert
Lactobacillus	Stäbchen versch. Länge, einzeln bis Ketten	D/DL/L	+ und –	
Leuconostoc	Kokken bis Kurzstäbchen	D	+	4,4–5,0
Pediococcus	Kokken, in Tetraden auch zu Paaren	DL/L	–	< 3,9
Streptococcus	Kokken in Ketten	L	–	

Resultate

Ruch- und Weissmehl-Spontansauerteige

Koloniezahlen nach 24 h Gärzeit im Ausgangsteig und nach dreimaliger Auffrischung

In Abbildung 1 sind die Koloniezahlen gegenübergestellt, wie sie in vier Ruchmehl-Spontansauerteigen mit Teigausbeuten (TA) von 160 und 200 in den Ausgangsteigen nach jeweils 24 Stunden Gärzeit bei 22 und 35 °C und nach weiteren drei Auffrischungen bestimmt wurden. Abbildung 2 zeigt die entsprechenden Werte für Weissmehl-Spontansauerteige. Insgesamt lagen die Koloniezahlen bei den jeweils vier verschiedenen Teigarten bei beiden Mehltypen ohne signifikante Unterschiede in annähernd gleicher Grössenordnung.

Die Gesamtkoloniezahlen lagen bei den frisch angesetzten Teigen zwischen 10^4 und 10^6 KBE g^{-1}, im Mittel bei 7,3 10^4 KBE g^{-1}. Bei der niedrigen Gärtemperatur von 22 °C waren sie nach 24 h auf ca. 10^8 und nach erster Auffrischung nach weiteren 24 h auf 10^9 KBE g^{-1} angestiegen. Bei 35 °C waren bereits nach den ersten 24 h Koloniezahlen von 10^9 KBE g^{-1} erreicht. Nur beim Ruchmehlteig mit der Teigausbeute von 200 und der Gärtemperatur von 22 °C waren bereits nach 24 h Koloniezahlen von 10^9 KBE g^{-1} gegeben. Demgegenüber waren bei einer Gärtemperatur von 35 °C 24 h nach dem Anteigen erst knapp 10^8 KBE g^{-1} nachweisbar. Nach den zwei weiteren Auffrischungen von jeweils 24 h waren die Koloniezahlen konstant bei 10^9 KBE g^{-1} geblieben.

Für die Erfassung der Milchsäurebakterien wurden gleichzeitig Roggenkleie-Agar, M.R.S.-Agar modifiziert und Sorbinsäure-Agar angewandt. Auf Roggenkleie-Agar und M.R.S.-Agar wurden überwiegend sehr ähnliche Koloniezahlen bestimmt. Auf dem Sorbinsäure-Agar lagen die Koloniezahlen bei der Gärtemperatur von 22 °C niedriger, bei der Gärtemperatur von 35 °C dagegen in weitgehend gleicher Grössenordnung wie bei den beiden anderen Medien. Spätestens 24 h nach

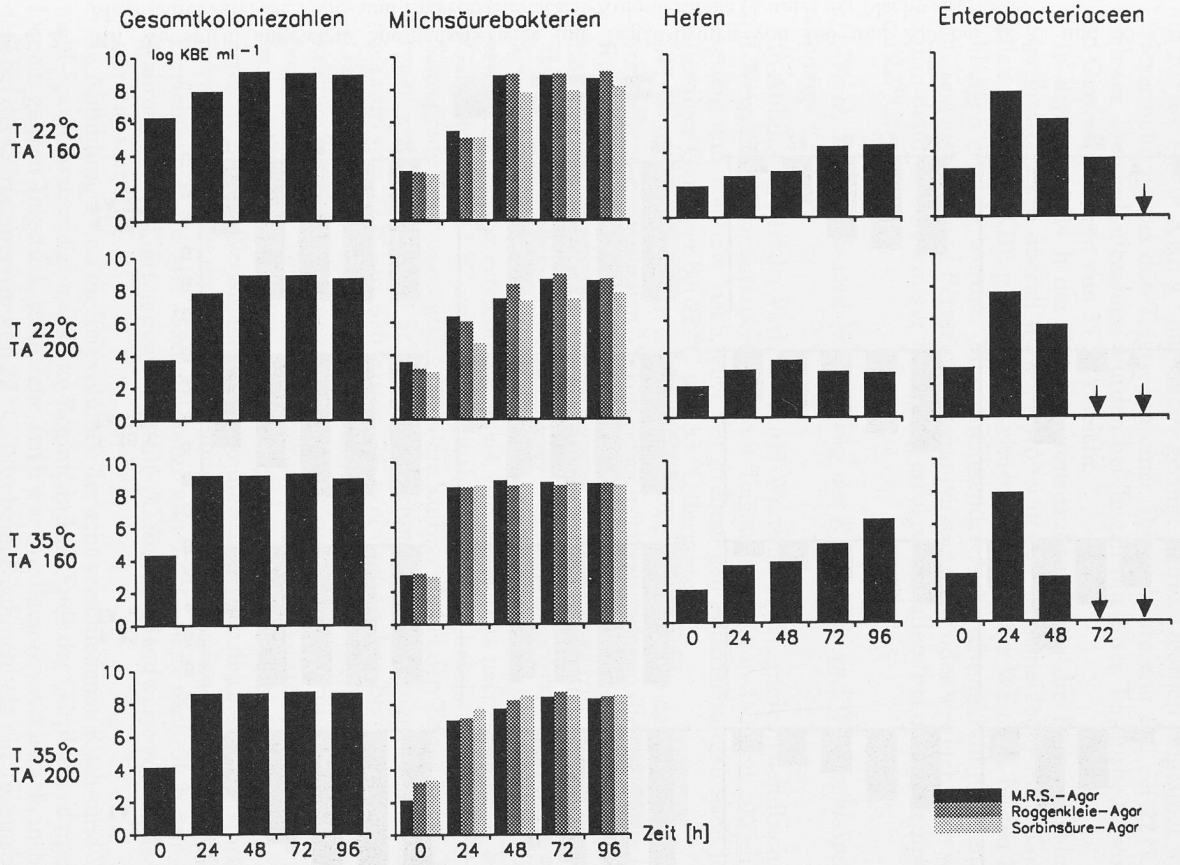

Abb. 1. Mit Weissmehl angesetzte Spontansauerteige mit Teigausbeuten von 160 und 200 bei 20 °C und 35 °C: Gesamt-, Milchsäurebakterien, Hefe- und Enterobacteriaceen-Koloniezahlen (↓ unter der Nachweisgrenze)

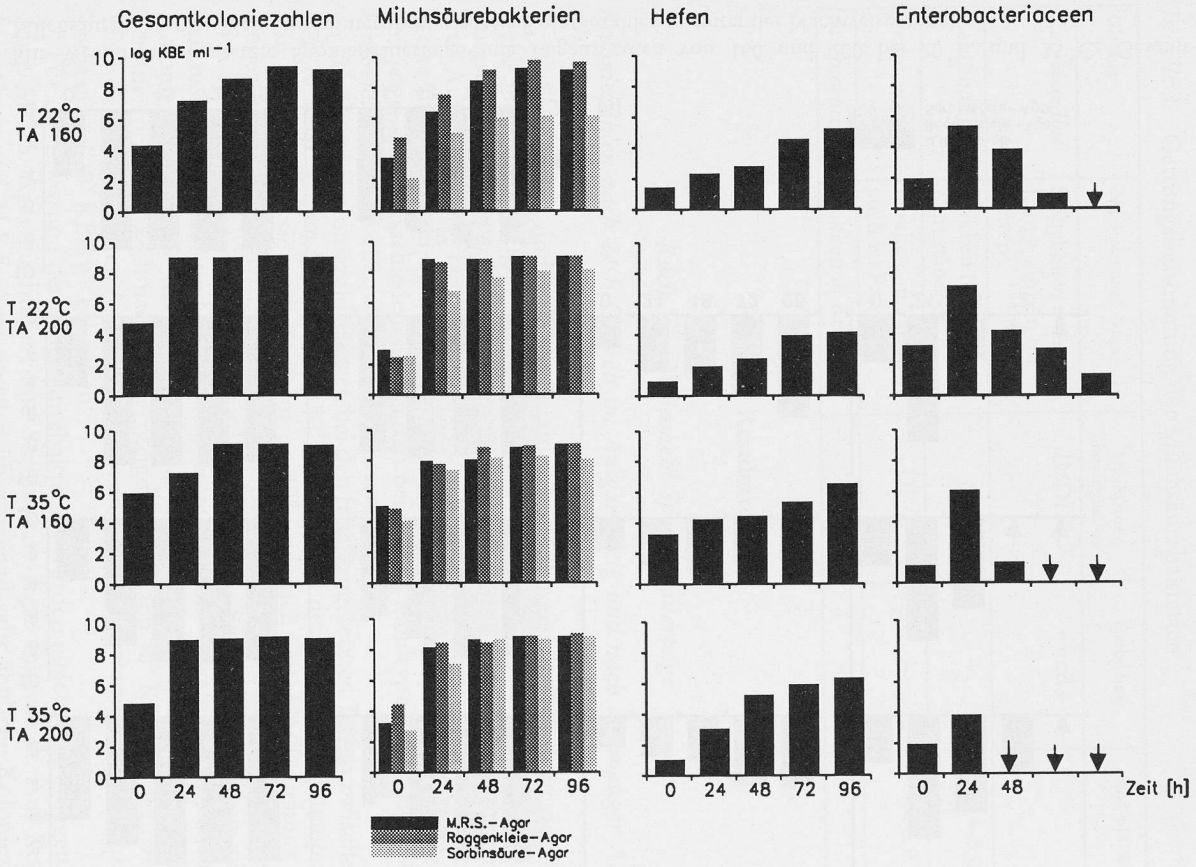

Abb. 2. Mit Weissmehl angesetzte Spontansauerteige mit Teigausbeuten von 160 und 200 bei 22 °C und 35 °C: Gesamt-, Milchsäurebakterien, Hefe- und Enterobacteriaceen-Koloniezahlen (↓ unter der Nachweisgrenze)

der 1. Auffrischung entsprachen die Koloniezahlen der Milchsäurebakterien denjenigen der Gesamtkoloniezahlen.

Die Hefekoloniezahlen nahmen insgesamt kontinuierlich zu, erreichten aber mit 10^4 bis 5 x 10^6 KBE g^{-1} nur relativ geringe Werte. Deutlich langsamer war die Hefevermehrung bei den Teigen mit einer Teigausbeute von 200 bei 22 °C. Die höchsten Hefekoloniezahlen wurden bei Teigen mit einer Teigausbeute von 160 und Gärtemperaturen von 35 °C erreicht.

In den ersten 24 h der Fermentationsdauer nahmen die Koloniezahlen der Enterobacteriaceen überall stark zu, wobei in den Weissmehlteigen mit Koloniezahlen bis zu 10^8 KBE g^{-1} um eine Zehnerpotenz höhere Werte als in den Ruchmehlteigen erreicht wurden. Mit zunehmender Auffrischungszahl nahmen sie je nach Teigausbeute und Fermentationstemperatur mehr oder weniger rasch wieder ab. Ein deutlich langsamerer Rückgang erfolgte vor allem bei der Gärtemperatur von 22 °C.

pH-Werte, Säuregrade und Triebleistung der Ruchmehl- und Weissmehl-Spontansauerteige

In Abbildung 3 ist der Verlauf der pH-Werte und Säuregrade in den Ruchmehl- und Weissmehl-Spontansauerteigen mit Teigausbeuten von 160 und 200 im Ausgangsteig und vor bzw. nach jeder der dreimaligen Auffrischungen nach jeweils 24stündiger Gärdauer bei 22 °C und 35 °C dargestellt.

- pH-Werte: In den Teigen aus Ruch- und Weissmehl zeigte der Abfall der Werte weitgehend einheitlichen Verlauf. Im Ausgangsteig lagen die pH-Werte in den Ruchmehlteigen bei 6,5, in den Weissmehlteigen zwischen 5,9 und 6,8. Der End-pH-Wert nach 96 h Gärdauer und dreimaliger Auffrischung lag bei allen Teigen um 4. Im Ruchmehlteig war der Abfall des pH-Wertes bei der jeweiligen Teigausbeute-Temperatur-Kombination im Vergleich zu den Weissmehlteigen etwas rascher und erreichte für alle 4 Ansätze bereits nach 48 h pH 4, bei der Gärtemperatur 35 °C und der Teigausbeute von 200 bereits nach 24 h.
- Säuregrade: Im Ausgangsteig lagen die Säuregrade bei den Teigen beider Mehltypen zwischen 2 und 3 Sr°. Bei den Ruchmehlteigen erfolgte bei der Gärtemperatur von 22 °C in den ersten 24 h ein schwacher bis mässiger, bei der Gärtemperatur von 35 °C ein stärkerer Anstieg auf Werte bis ca. 13 Sr°. Die kräftige Säuerung ging bis zur dritten Auffrischung weiter und nahm erst in den letzten 24 h der Versuchsdauer etwas ab. Bei der Gärtemperatur von 22 °C wurden Werte von 16 Sr°, bei 35 °C und einer Teigausbeute von 200 bis zu 23 Sr° erreicht. Bei den Weissmehlteigen war die Säuerung in den ersten 24 h durchweg schwach. Nach der ersten Auffrischung nahm die Säuerungsintensität etwas zu, erreichte aber bei der Gärtemperatur von 22 °C auch nach 96 h nur 8 Sr°, während bei der Gärtemperatur von 35 °C Säuregradendwerte von 10 bis 12 Sr° erreicht wurden.

In Abbildung 4 sind die Teigvolumen der acht verschiedenen Ruch- und Weissmehl-Spontansauerteige jeweils zu Beginn und am Ende der Gärphasen dargestellt. Der am ganzen Teigstück gemessene Trieb war im allgemeinen schwach, insbesondere bei der Gärtemperatur von 22 °C. Nur beim Ruchmehlteig mit Teigausbeuten

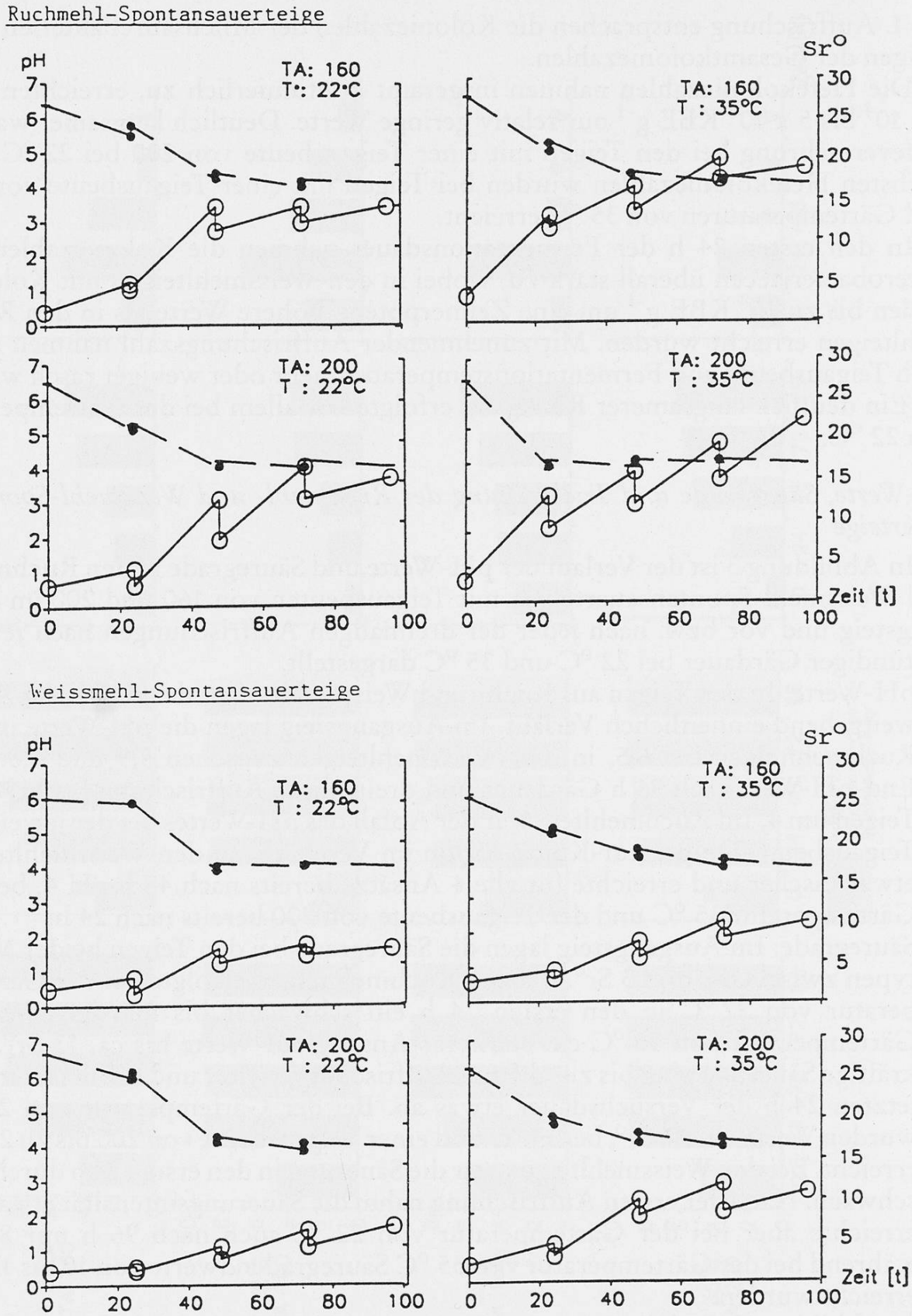

Abb. 3. Ruch- und Weissmehl-Spontansauerteige mit Teigausbeuten von 160 und 200: pH-Werte (–•– –•–) und Säuregrad (O——O) im Ausgangsteig, nach Gärzeiten von 24 h bei 22 °C und 35 °C jeweils vor und nach dreimaliger Auffrischung

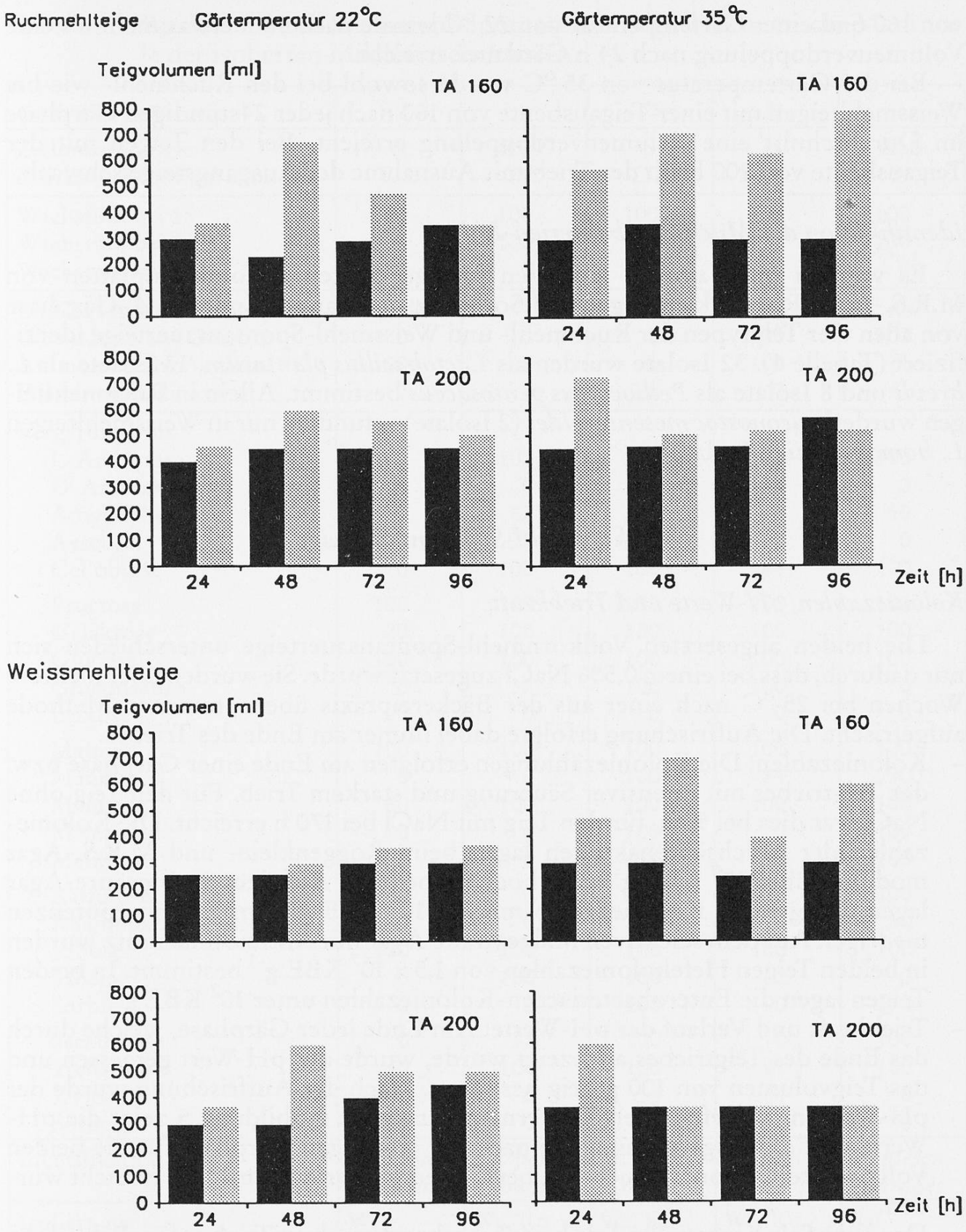

Abb. 4. Ruchmehl- und Weissmehl-Spontansauerteige mit Teigausbeuten von 160 und 200: Teigvolumen im Ausgangsteig und nach Gärzeiten von 24 h bei 22 °C und 35 °C jeweils zu Beginn ■ und am Ende ▒ der Gärphasen (TA = Teigausbeuten)

von 160 und einer Gärtemperatur von 22 °C wurde nach 48 h etwas mehr als eine Volumenverdoppelung nach 24 h Gärdauer erreicht.

Bei der Gärtemperatur von 35 °C wurde sowohl bei den Ruchmehl- wie bei Weissmehlteigen mit einer Teigausbeute von 160 nach jeder 24stündigen Gärphase im Durchschnitt eine Volumenverdoppelung erreicht. Bei den Teigen mit der Teigausbeute von 200 blieb der Trieb mit Ausnahme der Ausgangsteige schwach.

Identifikation der Milchsäurebakterien-Isolate

Es wurden insgesamt 60 Kolonien von geeigneten Koloniezählplatten von M.R.S.-Agar, Roggenkleie-Agar und Sorbinsäure-Agar am Ende der 4. Gärphase von allen vier Teigtypen der Ruchmehl- und Weissmehl-Spontansauerteige identifiziert (Tabelle 4). 32 Isolate wurden als *Lactobacillus plantarum*, 13 Isolate als *L. brevis* und 8 Isolate als *Pediococcus pentosaceus* bestimmt. Allein in Ruchmehlteigen wurde *Leuconostoc mesenteroides* (2 Isolate) gefunden, nur in Weissmehlteigen *L. homohiochii* (5 Isolate).

Vollkornmehl-Spontansauerteige

Koloniezahlen, pH-Werte und Triebkraft

Die beiden angesetzten Vollkornmehl-Spontansauerteige unterschieden sich nur dadurch, dass bei einem 0,5% NaCl zugesetzt wurde. Sie wurden über mehrere Wochen bei 25 °C nach einer aus der Bäckereipraxis übernommenen Methode aufgefrischt. Die Auffrischung erfolgte dabei immer am Ende des Triebes.

- Koloniezahlen: Die Koloniezählungen erfolgten am Ende einer Gärphase bzw. des Teigtriebes mit intensiver Säuerung und starkem Trieb. Für den Teig ohne NaCl war dies bei 90 h, für den Teig mit NaCl bei 170 h erreicht. Die Koloniezahlen der Milchsäurebakterien lagen beim Roggenkleie- und M.R.S.-Agar mod. mit über 10^9 KBE g^{-1} sehr hoch (Tabelle 5). Auf dem Sorbinsäure-Agar lagen dagegen die Koloniezahlen mit 2 x 10^6 KBE g^{-1} um 3 Zehnerpotenzen niedriger. Auf dem selektiven Malzextrakt-Agar mit Antibiotikazusatz wurden in beiden Teigen Hefekoloniezahlen von 1,5 x 10^7 KBE g^{-1} bestimmt. In beiden Teigen lagen die Enterobacteriaceen-Koloniezahlen unter 10^2 KBE g^{-1}.
- Triebkraft und Verlauf der pH-Werte: Am Ende jeder Gärphase, welche durch das Ende des Teigtriebes angezeigt wurde, wurde der pH-Wert gemessen und das Teigvolumen von 100 g Teig bestimmt. Nach der Auffrischung wurde der pH-Wert im aufgefrischten Teig erneut gemessen. Abbildung 5 zeigt die pH-Werte und die Teigvolumina, die nach der jeweiligen Gärphase für die beiden Vollkornmehl-Spontansauerteige bei Gärtemperaturen von 25 °C erreicht wurden.

Der ohne Salz hergestellte Teig hatte bei sehr schwachem Trieb anfänglich relativ lange Gärphasen von ca. 24 h Dauer. Nach der dritten Auffrischung nach 72 h erfolgte eine starke Verkürzung der Gärphase auf vier bis acht Stunden bei gleichzeitig starker Triebentwicklung, der zu einer Verdreifachung des Anfangsvolumens

Tabelle 4. Ruchmehl- und Weissmehl-Spontansauerteige: biochemische Merkmale der isolierten Milchsäurebakterien

Anzahl geprüfte Kolonien	5	8	32	13	2
Zellmorphologie	S	K, T	S	S	K, S
Milchsäurekonfiguration	DL	DL	DL	DL	D
Wachstum bei 15 °C	100	100	100	100	100
Wachstum bei 45 °C	100	100	0	100	100
Wachstum bei 50 °C	0	0	0	0	0
End-pH in M.R.S.-Bouillon	4,2	4,0	3,8	4,3	nb
Gasbildung aus Glucose	0	0	0	100	100
Ammoniak aus Arginin	100	67	nb	100	nb
Diaminopimelinsäure	0	0	nb	0	nb
Vergärung von					
L-Arabinose	0	100	100	100	100
D-Arabinose	0	0	0	0	0
Amygdalin	0	62	100	0	50
Aesculin	0	75	100	0	0
Cellobiose	0	100	100	84	100
Fructose	100	100	100	100	100
Galaktose	20	100	100	100	100
Glucose	100	100	100	100	100
Gluconsäure	0	37	100	100	0
Lactose	0	0	0	0	0
Maltose	100	100	100	100	100
Mannit	0	0	100	84	50
Mannose	60	100	100	100	100
Melezitose	0	0	100	0	100
Melibiose	0	0	68	76	100
Raffinose	0	0	0	0	100
Rhamnose	0	0	0	0	50
Ribose	100	100	100	100	100
Salicin	0	100	100	42	0
Sorbit	0	0	100	0	0
Saccharose	0	37	100	0	100
Trehalose	40	100	100	21	100
Xylose	0	0	34	84	0
Sorbose	0	0	0	0	0
Identifikation als	*L. homohiochii*	*P. pentosaceus*	*L. plantarum*	*L. brevis*	*L. mesenteroides*
Isoliert aus	We	We, Ru	We, Ru	We, Ru	Ru

Legende: K = Kokken, S = Stäbchen, T = in Tetraden
nb = nicht bestimmt, We = Weissmehlsauerteig, Ru = Ruchmehlsauerteig
Zahlenangaben: % positiv reagierende Isolate

Tabelle 5. Koloniezahlen der Milchsäurebakterien, Hefen und Enterobacteriaceen aus mit Vollkornmehl hergestellten Spontansauerteigen auf verschiedenen Milchsäurebakterien-, Malzextrakt- und Violet Red Bile Dextrose Medien

Mikroorganismen	Medien	Koloniezahlen im Teig	
		ohne NaCl	mit 0,5% NaCl
Milchsäurebakterien	Roggenkleie-Agar	$4{,}3 \times 10^9$	3×10^9
	M.R.S.-Agar mod.	$3{,}8 \times 10^9$	3×10^9
	Sorbinsäure-Agar	$2{,}5 \times 10^6$	2×10^6
Hefen	Malzextrakt-Agar	$1{,}5 \times 10^7$	$1{,}5 \times 10^7$
Enterobacteriaceen	Violet Red Bile	$< 10^2$	$< 10^2$

führte. Nach 100 h und insgesamt acht Auffrischungen verlängerten sich die Gärphasen wieder auf über 20 h, während der Teigtrieb nur noch das zwei- bis zweieinhalbfache Volumen des Ausgangsteiges erreichte. Die pH-Werte nahmen nach jeder Auffrischung um annähernd eine Einheit zu und gingen am Ende der Gärphase auf 4,5 bis 4,0 zurück.

Der mit Salz hergestellte Spontansauerteig zeigte diese Periodizität wesentlich weniger ausgeprägt. Die pH-Werte gingen aber auch hier am Ende der Gärphasen gegen vier zurück. Die Triebkraft nahm langsamer zu. Die Teigvolumina erreichten erst nach der 11. Auffrischung mit dem Dreieinhalbfachen des Ausgangvolumens ihren höchsten Wert.

Identifikation der isolierten Milchsäurebakterien und Hefen

Vollkornmehl-Spontansauerteig: Insgesamt wurden 18 Isolate geprüft. Alle 14 Isolate von Kolonien auf Roggenkleie-Agar wurden als *Pediococcus pentosaceus* identifiziert. Ihre Koloniezahl lag bei $4{,}3 \times 10^9$ KBE g^{-1}. Die vier Isolate vom Sorbinsäure-Agar wurden als *L. homohiochii* bestimmt. Ihre Koloniezahl lag bei $2{,}3 \times 10^6$ KBE g^{-1} (Tabelle 6). Die Selektivität des Sorbinsäure-Agars ermöglichte die getrennte Koloniezählung dieser Lactobacillus-Art, da *P. pentosaceus* sich auf diesem Medium nicht vermehren konnte. Die biochemischen Merkmale sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Die 20 Hefe-Isolate wurden alle als *Saccharomyces cerevisiae steineri* identifiziert (Tabelle 8).

Vollkornmehl-Spontansauerteig mit 0,5% NaCl: Insgesamt wurden 20 Isolate von den Milchsäurebakterien-Kulturmedien geprüft. Auf M.R.S.-Agar und Roggenkleie-Agar wurden mit einer Koloniezahl von 3×10^9 KBE g^{-1} *P. pentosaceus* nachgewiesen. Ebenfalls auf diesen beiden Kulturmedien wurde Leuconostoc mesenteroides mit einer Koloniezahl von 6×10^8 KBE g^{-1} identifiziert. Diese Art bildete deutlich kleinere Kolonien, so dass eine separate Auszählung gegenüber *P. pentosaceus* möglich war (Tabelle 6).

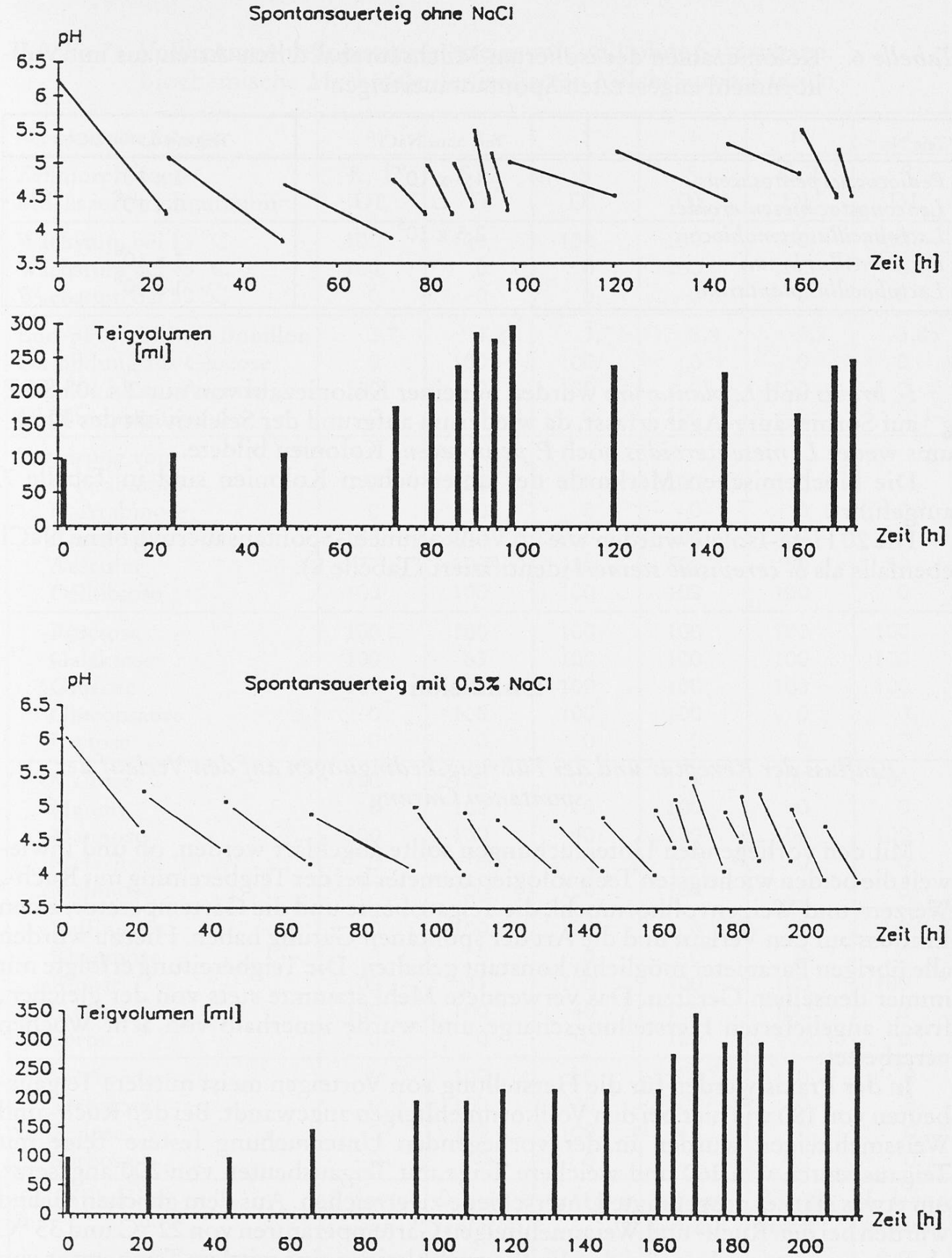

Abb. 5. pH-Werte und Triebkraft während der ersten 8 bzw. 10 Tage eines über Wochen fortgeführten nach einem Verfahren aus der Praxis, vielfach aufgefrischten Vollkornmehl-Spontansauerteiges mit und ohne Kochsalzzugabe

Tabelle 6. Koloniezahlen der isolierten Milchsäurebakterien-Arten aus mit Vollkornmehl angesetzten Spontansauerteigen

Teig Nr.	Teig ohne NaCl	Teig mit 0,5% NaCl
Pediococcus pentosaceus	$4{,}3 \times 10^9$	3×10^9
Leuconostoc mesenteroides	–	6×10^8
Lactobacillus homohiochii	$2{,}5 \times 10^6$	–
Lactobacillus brevis	–	1×10^6
Lactobacillus plantarum	–	1×10^6

L. brevis und *L. plantarum* wurden mit einer Koloniezahl von nur 2×10^6 KBE g^{-1} auf Sorbinsäure-Agar erfasst, da wiederum aufgrund der Selektivität des Mediums weder *L. mesenteroides* noch *P. pentosaceus* Kolonien bildete.

Die biochemischen Merkmale der untersuchten Kolonien sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Die 20 Hefe-Isolate wurden wie im Vollkornmehl-Spontansauerteig ohne NaCl ebenfalls als *S. cerevisiae steineri* identifiziert (Tabelle 8).

Diskussion

Einfluss der Rezeptur und der Führungsbedingungen auf den Verlauf der spontanen Gärung

Mit den vorliegenden Untersuchungen sollte abgeklärt werden, ob und inwieweit die beiden wichtigsten Technologieparameter bei der Teigbereitung mit Ruch-, Weizen- und Weizenvollkornmehl, die Teigausbeute und die Gärtemperatur, einen Einfluss auf den Verlauf und die Art der spontanen Gärung haben. Hierzu wurden alle übrigen Parameter möglichst konstant gehalten. Die Teigbereitung erfolgte mit immer denselben Geräten. Das verwendete Mehl stammte stets von der gleichen, frisch angelieferten Herstellungscharge und wurde innerhalb von acht Wochen verarbeitet.

In der Praxis werden für die Herstellung von Vorteigen meist mittlere Teigausbeuten von 180 wie hier bei den Vollkornmehlteigen angewandt. Bei den Ruch- und Weissmehlteigen wurden in der vorliegenden Untersuchung festere Teige mit Teigausbeuten von 160 und weichere Teige mit Teigausbeuten von 200 angesetzt, um etwas stärker ausgeprägte Unterschiede zu erreichen. Aus dem gleichen Grund wurden bei den Ruch- und Weissmehlteigen Gärtemperaturen von 22 °C und 35 °C als Extremwerte und nur bei den Vollkornmehlteigen eine mittlere Temperatur von 25 °C gewählt.

In Tabelle 9 sind die Führungsparameter der zehn untersuchten Weizenmehl-Spontansauerteige und ihre charakteristischen Merkmale wie pH-Werte, Säuregra-

Tabelle 7. Vollkornmehl-Spontansauerteige mit und ohne Salzzugabe: biochemische Merkmale der isolierten Milchsäurebakterien

Anzahl geprüfte Kolonien	9	3	5	3	14	4
Zellmorphologie Milchsäurekonfiguration	K, T DL	S K D	S DL	S DL	K, T DL	S DL
Wachstum bei 15 °C	100	100	100	100	100	100
Wachstum bei 45 °C	100	0	0	100	100	0
Wachstum bei 50 °C	0	0	0	0	0	0
End-pH in M.R.S.-Bouillon	3,7	4,2	3,7	3,8	3,7	3,85
Gasbildung aus Glucose	0	100	100	0	0	0
Ammoniak aus Arginin	100	0	100	0	100	0
Diaminopimelinsäure	0	0	0	100	0	0
Vergärung von						
L-Arabinose	0	100	100	100	0	0
D-Arabinose	0	0	0	0	0	0
Amygdalin	50	100	0	100	50	0
Aesculin	77	100	20	100	50	50
Cellobiose	100	100	100	100	100	0
Fructose	100	100	100	100	100	100
Galaktose	100	63	100	100	100	100
Glucose	100	100	100	100	100	100
Gluconsäure	0	100	100	100	0	0
Lactose	0	0	0	0	0	0
Maltose	100	100	100	100	100	100
Mannit	0	100	0	100	0	0
Mannose	100	100	40	100	100	100
Melezitose	0	0	0	100	0	0
Melibiose	77	100	100	100	50	0
Raffinose	0	100	20	0	0	0
Rhamnose	0	0	0	0	0	0
Ribose	100	33	100	100	100	100
Salicin	100	100	40	100	100	0
Sorbit	0	0	0	100	0	0
Saccharose	0	100	20	100	0	0
Trehalose	0	100	20	100	0	0
Xylose	0	100	100	0	0	0
Sorbose	0	0	0	0	0	0
Identifikation	*P. pentosaceus*	*L. mesenteroides*	*L. brevis*	*L. plantarum*	*P. pentosaceus*	*L. homohoichii*
Isoliert aus	Teigrezeptur mit Salz				Teig ohne Salz	

Zeichenerklärung siehe Tabelle 4

Tabelle 8. Vollkornmehl-Spontansauerteige: morphologische und biochemische Merkmale der isolierten Hefen

Yeast Morphology Agar Kolonieform: glatt, glänzend, ganzrandig, weiss		
Malz-Bouillon Zellform: oval, multipolar sprossend Grösse 2–4 x 4–7 µm		
Cornmeal-Agar Kein Pseudomycel		
Malz-Agar, V8-Agar Asci-Bildung: 2–4 Ascosporen pro Ascus, Ascosporen rund und glatt, Ascusbildung direkt aus der vegetativen Zelle		
Assimilation und Fermentation (% positiv reagierende Isolate)		
Substrate	Fermentation	Assimilation
Glucose	100	100
Galactose	100	100
Saccharose	100	100
Maltose	100	100
Lactose	0	0
Raffinose	0	100
Stärke	0	0
Melibiose	0	0
Nitrat		0
Anzahl geprüfte Stämme: 40		
Identifikation – Art – physiologische Rasse	: *Saccharomyces cerevisiae* : *steineri*	

de, Triebstärke sowie die Koloniezahlen der Milchsäurebakterien und Hefen nach vierstufiger Führung bei einer Führungsdauer von 4mal 24 h bei den Ruch- und Weissmehl-Sauerteigen und nach zahlreichen Stufen und mehrtägiger Führungsdauer bei Vollkornsauerteigen zusammenfassend dargestellt. Die verschiedenen Führungsbedingungen hatten dabei unterschiedlichen Einfluss auf den Verlauf der spontanen Gärung.

Mehltypen

Vom Mehltyp wurden vor allem die unterschiedlichen Säuregrad-Werte der Ruch- und Weissmehl-Spontansauerteige bestimmt. Diese lagen beim Ruchmehl zwischen 15,1 und 23,4 und beim Weissmehl zwischen 7,5 und 11,8 °Sr. Bei allen Mehltypen wurde in den Teigen nach den Gärphasen einheitlich pH-Werte von 4,0

Tabelle 9. Charakteristische Merkmale der 10 geprüften Weizenmehl-Spontansauerteige am Ende der Führung

Teigführungsparameter					Werte am Ende der Führung				
Mehltype	Anzahl Stufen	Führungs-dauer	Teigausbeute	Temp. (°C)	pH-Wert	Säuregrad (SH°)	Trieb	Milchsäure-bakterien KBE g^{-1}	Hefen KBE g^{-1}
Ruchmehl (1050)	4	4 x 24	160	22	4,1	15,1	mässig	3×10^9	5×10^5
			160	35	4,0	19,2	gut	1×10^9	6×10^5
			200	22	4,0	15,8	schwach	$1,2 \times 10^9$	2×10^4
			200	35	4,0	23,4	schwach	$1,5 \times 10^9$	4×10^6
Weissmehl (405)	4	4 x 24	160	22	4,0	7,5	schwach	1×10^9	4×10^4
			160	35	4,0	10,2	gut	8×10^8	5×10^6
			200	22	4,0	7,5	schwach	9×10^8	1×10^4
			200	35	4,0	11,8	schwach	8×10^8	nb
Vollkornmehl ohne Salz	viele	190	180	25	3,9	nb	sehr gut	$4,3 \times 10^9$	$1,5 \times 10^7$
Vollkornmehl mit Salz	viele	230	180	25	3,9	nb	sehr gut	3×10^9	$1,5 \times 10^7$

nb = Nicht bestimmt

gemessen. *Spicher* et al. (21) hatten bei unterschiedlichen Verfahren zur Herstellung von Spontansauerteigen aus Weizenmehl am Ende der Gärphasen ebenfalls Werte zwischen 3,8 und 4,0 gefunden. pH-Werte in diesem Bereich sind für die meisten Milchsäurebakterien im allgemeinen Grenzwerte der Vermehrung und Säurebildung.

Die Unterschiede in den Säuregraden zwischen Weiss- und Ruchmehl nach einer Säuerung des Teiges bis zu einem End-pH-Wert um 4,0 dürften vor allem im unterschiedlichen Aschegehalt der beiden Mehle begründet sein. Die Milchsäure löst Anionen aus den anorganischen Bestandteilen und es bildet sich ein Milchsäure-Lactat, eventuell auch ein Essigsäure-Acetat-Puffer. Das Ruchmehl mit seinem höheren Ascheanteil ist deshalb besser gepuffert. Zur Pufferung eines Teiges trägt auch sein Eiweissanteil bei. Bis zum Erreichen des pH-Wertes von 4,0 sind demzufolge höhere Säurekonzentrationen notwendig. *Rohrlich* (11) stellt eine praktisch lineare Beziehung zwischen Aschegehalt und Pufferungsvermögen eines Mehles fest. Danach soll bei Roggenmehl eine Zunahme des Aschegehaltes um 0,1% den Endsäuregrad im Teig bei pH 4,0 um rund eine Einheit erhöhen. Es ist davon auszugehen, dass diese lineare Beziehung auch bei Weizenmehlen gegeben ist. Durch seinen höheren Eiweissanteil dürfte das Weizenmehl sogar besser gepuffert sein als das Roggenmehl. Das unterschiedliche Verhalten der Mehltypen bezüglich des Säuregrades und der damit hergestellten Teige dürfte deshalb durch die unterschiedliche Pufferungskapazität der Mehle bedingt sein.

Gärzeiten

Für die Versuche mit Ruch- und Weissmehl wurden die Gärzeiten der damit angesetzten Teige für alle Stufen einheitlich auf 24 h festgesetzt. Diese Gärzeit war unter Berücksichtigung der anderen Parameter wie Sauerteiganteil, Temperatur, Teigausbeute sicherlich nicht optimal. Dies zeigte sich unter anderem auch in der relativ schwachen Triebleistung der Teige. Diese Versuche waren aber in erster Linie auf die Kenntnis der Aktivität und der Zusammensetzung der Mikroorganismenflora in Abhängigkeit von Mehltyp, Teigausbeute und Gärtemperatur angelegt. Weil der Bäcker für die optimale Gestaltung des Betriebsablaufes auf feste Gärzeiten angewiesen ist, wird er versuchen, von einer einheitlichen Gärzeit ausgehend, alle anderen Parameter auf die gewünschte Qualität des Vorteiges auszurichten.

Die in Abhängigkeit vom Teigtrieb gewählten Gärzeiten für die Vollkornmehl-Spontansauerteige lagen zwischen 4 und 24 h. Diese vollständig auf die Triebleistung ausgerichteten Gärzeiten bei Spontansauerteigen aus Vollkornmehl führten deshalb zu wesentlich höheren Teigvolumina.

Versuche mit Auffrischung von Weizenmehlteigen in Abhängigkeit von ihrem Trieb sind in der Literatur bisher nicht beschrieben. Der Teigtrieb war mit und ohne Kochsalz-Zusatz in den ersten 70 h nur sehr schwach und kaum messbar. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass in der Hefeflora des Mehles offenbar nur zu einem sehr geringen Teil triebstarke Saccharomyces-Stämme vertreten sind. So fand *Spicher* (19) unter 133 Hefestämmen, die er aus Roggen und Weizen sowie ihren Mehlen isoliert hatte, einen einzigen Saccharomyces-Stamm. Der von ihm identi-

fizierte *S. heterogenicus* gilt nach heutiger Auffassung (7) als physiologische Rasse von *S. cerevisiae*. Die Phase höchster Hefeaktivität begann beim Spontansauerteig ohne Zusatz von NaCl zwischen der achtzigsten und hundertsten Stunde. In dieser Zeit war der Teig fünfmal aufgefrischt worden. Beim Spontansauerteig mit Zusatz von NaCl verkürzten sich zum gleichen Zeitpunkt die Intervalle bis zum Erreichen des maximalen Triebes auf rund 10 bis 12 h. Die dem salzlosen Teig vergleichbare Phase höchster Hefeaktivität trat erst nach rund 160 h auf. Die Tatsache, dass beide Versuche parallel mit der gleichen Mehlcharge durchgeführt wurden, legt den Schluss nahe, dass die Vermehrung gärstarker Hefen durch den Zusatz von Kochsalz gehemmt wurde. *Schulz* (12) beobachtete, dass bereits eine sehr geringe NaCl-Konzentration von 0,1% des Mehlanteils eine leicht verminderte Gärleistung von *S. cerevisiae* bewirkte. Nach dem gleichen Autor lässt sich die normale Triebleistung durch höhere Hefezusätze ausgleichen. Es ist deshalb nicht auszuschliessen, dass bei Zusatz von Kochsalz eine grössere Zahl von Auffrischungen notwendig war, um eine grössere Hefe-Biomasse zu erreichen.

Teigausbeute

Bei praktisch gleichen End-pH-Werten aller Teigproben zwischen 3,9 und 4,1 wiesen die Teige mit höherer Ausbeute etwas höhere Säuregrade auf. Dabei waren die Unterschiede bei 35 °C im Vergleich zu 22 °C grösser und bei Ruchmehl ausgeprägter als bei Weissmehl. So lagen die Säuregrade bei 22 °C und bei Anwendung von Ruchmehl bei 200 Ausbeute um 5% höher als bei 160 Ausbeute, während bei Weissmehl keine messbare Differenz festgestellt wurde. Die analogen Werte für die Führung bei 35 °C betrugen 22% für die Spontansauerteige aus Ruchmehl und 16% für die Weissmehlteige. Die gleichen Beobachtungen in ähnlicher Grössenordnung haben *Lemmerzahl* (8), *Dörner* und *Stephan* (1) sowie *Opuszynska* und *Kowalczuk* (10) bei der Säuerung von Roggenmehlteigen gemacht. Dagegen sind *Spicher* und *Rabe* (18) bei der Säuerung von Roggenteigen unterschiedlicher Ausbeute durch Reinkulturen von homo- und heterofermentativen *Lactobacillus*-Arten nicht zu solchen Ergebnissen gekommen. Die von den einzelnen *Lactobacillus*-Stämmen gebildete Milchsäure war nach einer Bebrütungsdauer von 18 h weitgehend unabhängig von den Ausbeutewerten der Roggenmehlteige.

Die Gesamtkoloniezahl der Milchsäurebakterien lag am Ende der Führung unabhängig von Mehltyp, Teigausbeute und Führungstemperatur in der Grössenordnung von 10^9 KBE pro g. Dieser Wert scheint die obere, bei Sauerteigen jeder Art erreichbare Grenze zu sein. *Spicher* (22) kam bei der Prüfung von fünf unterschiedlichen Verfahren zur Bereitung von Spontansauern auf praktisch identische Werte, unabhängig davon, ob die Teige aus Weizen- oder Roggenmehl bereitet wurden. Über die Dynamik des Wachstums der Milchsäurebakterien lassen weder die eigenen Versuche noch die von *Spicher* (21) eine Aussage zu. Nach *Opuszynska* und *Kowalczuk* (10) führen steigende Ausbeuten zu einer durchschnittlich deutlichen Verkürzung der Generationszeit der Milchsäurebakterien von 17 Minuten bei 170 und von 49 Minuten bei 200 Ausbeute. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass diese Werte grossen Schwankungen unterlagen.

Die beobachteten Zahlen koloniebildender Einheiten von Hefen lassen keinen Schluss auf einen Einfluss der Teigausbeute zu. Dies steht in Widerspruch zu *Stephan* (23), der Ausbeuten um 200 bis 220 als ideal für die Hefevermehrung hält. Auch *Opuszynska* und *Kowalczuk* (10) haben bei steigender Ausbeute eine Verkürzung der Generationszeit der Hefen festgestellt, die weniger deutlich und mit noch grösseren Schwankungen als bei den Milchsäurebakterien ausgefallen war. Zu beachten ist allerdings, dass diese Versuche bei einer für Hefen optimalen Wachstumstemperatur von 29 °C durchgeführt wurden, während die vorliegenden Ergebnisse bei Gärtemperaturen von 22 °C und 35 °C erhalten wurden. Dies dürfte auch der Grund für die im Vergleich zu *Spicher* (21) relativ geringen Hefe-Koloniezahlen sein.

Gärtemperatur

Die Temperatur beeinflusste den Verlauf der spontanen Gärung in mehrfacher Hinsicht. Die Säuerung und damit verbunden der Abfall des pH-Wertes war bei erhöhten Gärtemperaturen deutlich beschleunigt. Die am Ende der Versuchsserie gemessenen Säuregrade lagen für die bei 35 °C geführten Teige in allen Fällen deutlich über den bei 22 °C gehaltenen Spontansauerteigen. Die Säuregrade der Teige mit 160 Ausbeute lagen bei Anwendung von Ruchmehl 27% und bei Anwendung von Weissmehl 36% höher als die Säuregrade der bei 22 °C analog geführten Teige. Die vergleichbaren Werte für die Ausbeute von 200 betrugen 48% für Ruch- und 57% für Weissmehlteige. Höhere Temperaturen scheinen interessanterweise bei Spontansauerteigen aus Weizenmehlen geringeren Ausmahlungsgrades zu einer relativ stärkeren Zunahme der Säuregrade zu führen als bei Teigen aus Mehlen mit höherem Ausmahlungsgrad.

Das Erreichen höherer Säuregradwerte nach Teigführung bei erhöhten Temperaturen wird in zahlreicher Literatur bestätigt. *Spicher* et al. (22) haben für spontan gegorene Teige aus Weizenmehl des Typs 1050 14,7 Sr° nach Führung bei 23 °C bis 25 °C, 16,3 Sr° bei 26 °C bis 28 °C und 20,2 Sr° bei 32 °C bis 34 °C angegeben. Der Vergleich der relativen Zunahme der Säuregrade bei den Extremtemperaturen ergab mit 37% einen Wert, der in Anbetracht der geringeren Temperaturdifferenz bei *Spicher* et al. (22) dem vergleichbaren Wert der vorliegenden Untersuchung sehr ähnlich ist.

In ihren Untersuchungen mit Reinkulturen von heterofermentativen *Lactobacillus*-Stämmen stellten *Spicher* und *Rabe* (17) bei 35 °C eine erhöhte Bildung von Milchsäure im Vergleich zur Bebrütung bei 25 °C fest. Das Ausmass der erhöhten Milchsäurebildung war stamm- bzw. artspezifisch. Zu gleichen Ergebnissen gelangten *Spicher* und *Rabe* (18) mit sieben verschiedenen Stämmen homo- und heterofermentativer *Lactobacillus*-Arten. Auch hier nahmen die Mengen gebildeter Milchsäure zwischen 20 °C und 35 °C zu. Allerdings unterlag die Zunahme artabhängig grossen Schwankungen. *Spicher* (14, 15) stellt bei *Lactobacillus*-Arten im Temperaturbereich von 30 °C bis 35 °C in der Mehrzahl der Fälle die kürzesten Generationszeiten, die beste Zellvermehrung, die schnellste Säureproduktion und die grösste Menge produzierter Säure fest. Im Vergleich zu 30 °C bis 35 °C waren nach dem gleichen Autor die Generationszeiten bei diesen Organismen bei 20 °C

um das doppelte bis dreifache, in Extremfällen um bis das zehnfache verlängert. Die vorliegende Arbeit bestätigt diese Aussagen. Auch wenn nach 96 h und drei Auffrischungen die koloniebildenden Einheiten von Milchsäurebakterien für alle Versuchsvarianten praktisch gleich waren, wurden die Höchstwerte dieser Bakterien bei 35 °C früher erreicht als bei 22 °C. Auch die Enterobacteriaceen, die sich in jedem frisch angesetzten Spontansauerteig in einer ersten Phase vermehren, waren bei der höheren Temperatur zu einem früheren Zeitpunkt zahlenmässig nicht mehr nachweisbar.

Die Vermehrung der Hefen erfolgte im Vergleich zu den Milchsäurebakterien wesentlich langsamer. Die höchsten Koloniezahlen wurden meist am Ende der Führung nach 96 h ermittelt. Dieser Befund deckt sich mit der Feststellung von *Spicher* et al. (22), wonach Hefen erst nach 72 bis 96 h ihre maximale Keimzahl erreichten. Im Vergleich zu den Werten von *Spicher* et al. (22) waren die eigenen Hefe-Koloniezahlen um 1 bis 4 Zehnerpotenzen tiefer. Es ist aber darauf hinzuweisen, dass die hier angewandten Temperaturen der Sauerteigführung deutlich unter- und oberhalb der von *Spicher* et al. (17) verwendeten optimalen Temperatur von 26 °C bis 28 °C lagen. Die in dieser Arbeit ermittelten Koloniezahlen von Hefen waren je nach Versuchsansatz sehr unterschiedlich und lassen keine Schlüsse zum Einfluss der Temperatur zu.

Durch die Änderung der Führungsbedingungen lässt sich der Verlauf der spontanen Sauerteiggärung also in weitem Masse beeinflussen (21, 22). Die Folgen der Änderung eines Parameters können allerdings durch entsprechende Veränderung eines anderen Parameters kompensiert oder verstärkt werden. Neben gezielt beabsichtigten Effekten können gegebenenfalls weitere Veränderungen ausgelöst werden. So kann beispielsweise die Erhöhung der Gärtemperatur nicht nur eine intensivere Säuerung bewirken, sondern auch andere Arten der Mikroflora fördern, was je nach Stoffwechseltätigkeit der betreffenden Mikroorganismen andere Milchsäure-/Essigsäure-Verhältnisse oder weitere synergistische oder antagonistische Effekte für das Hefewachstum zur Folge haben kann. Diese wechselseitige Beeinflussung der verschiedenen Führungsparameter führt zu einer schwierig zu überblickenden Vernetzung. Aufgrund intensiver Untersuchungen (21) werden heute zur Herstellung von Spontansauerteigen aus Weizenmehl Verfahren angewandt, die zu einem Vorteig führen sollen, der einerseits als Teiglockerungsmittel und andererseits als Säuerungsmittel geeignet ist. Allerdings lässt sich eine spontane Sauerteigführung nicht durch Beeinflussung eines einzigen Parameters, sondern nur durch die Summe von aufeinander abgestimmten Parametern in eine erwünschte Richtung lenken. Dabei gilt zu berücksichtigen, dass ausserdem auch wechselnde Mehlqualitäten, die Art des verwendeten Kneters und andere Faktoren den Verlauf der Teigreifung ebenfalls beeinflussen können.

Die Milchsäurebakterien und Hefen in Spontansauerteigen aus Weizenmehlen

In den Spontansauerteigen aus Weizenmehlen wurden in der vorliegenden Untersuchung sowohl kokkenförmige Milchsäurebakterien der Gattung *Pediococ-*

cus als auch stäbchenförmige Vertreter der Gattungen *Lactobacillus* und *Leuconostoc* nachgewiesen. In den über vier Tage fortgeführten Spontansauerteigen aus Ruch- bzw. Weissmehl wurden die Anteile der einzelnen Gattungen nicht näher untersucht. In den mit Vollkornmehl hergestellten Teigen gehörten über 97% der Milchsäurebakterien der Gattung *Pediococcus* an. *Spicher* et al. (21) fanden in 68 h alten Spontansauerteigen aus Roggenmehl bis zu 95% *Pediococcus*-Arten und vermuten, dass der Anteil der *Lactobacillus*-Arten erst nach langdauernder Fortführung des Sauerteiges zunimmt. Dieser Beobachtung steht die Aussage von *Schulz* (12) entgegen, wonach *Pediococcus*-Arten vorwiegend in übersäuerten Teigen vorkommen. *Galli* et al. (3) fanden in drei von zwanzig Sauerteigen *Pediococcus*- neben *Leuconostoc*- und *Lactobacillus*-Arten. Angaben über den zahlenmässigen Anteil dieser Organismen an der gesamten Bakterienflora fehlen. *Leuconostoc*-Arten konnten auch aus schwedischen Roggenmehl-Spontansauerteigen isoliert werden (9). Von *Wolffin* (24) wurden 24 h alte Mehl-Wasser-Gemische untersucht und coliähnliche Bakterien als Erreger der Sauerteiggärung identifiziert, während *Heinz* und *Klaushofer* (5) in reifen Spontansauerteigen *Streptococcus lactis* nachgewiesen haben.

Bei den hier nachgewiesenen *Lactobacillus*-Arten handelt es sich um *L. plantarum* und *L. brevis* als typische Vertreter der Sauerteigflora. Der Nachweis von *L. homohiochii* schien zunächst ungewöhnlich, doch konnte diese Art kürzlich auch von *Spicher* (16) isoliert werden.

Insgesamt wurde bis heute eine Vielzahl von Milchsäurebakterien-Arten aus Spontansauerteigen isoliert. Voraussetzung für ihr Auftreten ist das Vorkommen einer minimalen Zahl vermehrungsfähiger Organismen im Mehl.

Welche der vorhandenen Arten sich im Einzelfalle zur Hauptflora des reifen Spontansauerteiges entwickelt, hängt von den Führungsbedingungen ab. Trotz verschiedener Arbeiten auf diesem Gebiet (3, 9, 21, 22) herrscht auch heute noch wenig Klarheit, welche Milchsäurebakterien sich unter bestimmten Führungsbedingungen bevorzugt vermehren.

Die 40 aus Vollkorn-Spontansauerteigen isolierten Hefen wurden ausnahmslos als *Saccharomyces cerevisiae* identifiziert. Nach *Spicher* und *Mellenthin* (19) ist die Hefeflora von Roggen und Weizen und ihren Mehlen sehr vielfältig und umfasst vor allem nicht oder nur schwach gärfähige Hefearten. Von 133 isolierten und identifizierten Hefestämmen gehörte nur ein einziger der Gattung *Saccharomyces* an. Durch die Sauerteigführung werden *Saccharomyces*-Arten als gärkräftige und sich vergleichsweise rasch vermehrende Hefen in ihrer Entwicklung gefördert. *Spicher* et al. (20) wiesen in zwei Reinzuchtsauern neben *S. cerevisiae* auch Stämme von *Pichia saitoi*, *Candida krusei* und *C. holmii* als imperfekte Form von *S. exiguus* nach. In 22 Weizensauerteigen aus Italien und der Schweiz bestand nach *Spicher* (16) die Hefeflora zum überwiegenden Teil aus *S. cerevisiae*. Daneben traten *S. servazzii* und *C. milleri* auf. Die letztgenannte Art, die ursprünglich aus San-Francisco-Sauerteig isoliert worden war, ist in ihren physiologischen Merkmalen mit *C. holmii* und damit mit *S. exiguus* identisch. *Galli* et al. (3) erwähnen neben *S. cerevisiae* als der am häufigsten isolierten Hefe die Arten *S. exiguus*, *C. stellata*, *Torulopsis (Candida) holmii* und *C. milleri*. Es ist aber zu beachten, dass *C. stellata*

als die am zweithäufigsten isolierte Art von nichtsporenbildenden Stämmen von *S. cerevisiae* oder *Torulaspora delbrueckii* nicht immer leicht zu unterscheiden ist, und selbst G+C-Analysen nicht endgültige Klärung bringen können.

Zusammenfassung

Bei zehn verschiedenen Ruch-, Weiss- und Vollkornweizenmehl-Spontansauerteigen mit Teigausbeuten von 160, 180 und 200 und bei Gärtemperaturen von 22 °C, 24 °C und 35 °C wurden der Verlauf von pH-Wert und Säuregrad, die Triebkraft und die Mikroorganismenflora in frisch angesetzten und in reifen Teigen nach mehrfacher Auffrischung bestimmt.

Die Werte der verschiedenen Parameter variierten je nach Temperatur und Zeit.

End-pH-Wert war 4,0, entsprechend 15 bis 23 °Sr für Ruchmehlteige bzw. 8 bis 12 °Sr für Weissmehlteige. Die Triebkraft wurde durch mehrfaches Auffrischen deutlich verbessert.

Am Ende der Gärzeit lagen die Koloniezahlen für Milchsäurebakterien bei 10^9 KBE g^{-1}, für Hefen abhängig vom Mehltyp zwischen 6 x 10^6 und 1,7 x 10^7 KBE g^{-1}.

In den untersuchten Spontansauerteigen konnten bis zu 97% der Flora der Gattung *Pediococcus* zugeordnet werden. Bei den nachgewiesenen *Lactobacillus*-Arten handelte es sich um *L. plantarum* und *L. brevis* als typische Vertreter der Sauerteigflora. Daneben konnte auch *L. homohiochii* nachgewiesen werden. Die 40 isolierten Hefestämme wurden alle als *S. cerevisiae steineri* identifiziert.

Résumé

Avec dix différentes pâtes de levain à base de farines de blé bises, blanches ou complètes, d'un rendement de 160, 180 et 200, ainsi qu'avec des températures de 22 °C, 24 °C et 35 °C, il a été déterminé la valeur du pH, le degré d'acidité, le développement et les microorganismes de pâtes de conduite directe et plusieurs fois rafraîchies. Les valeurs des différents paramètres varient selon la température et le temps. Le pH de fin était de 4,0 et représente un degré d'acidité de 15 à 23 pour les pâtes lisses et de 8 à 12 pour les pâtes à base de farine blanche. La capacité de développement de la pâte a été nettement améliorée par les rafraîchis successifs. A la fin du temps de fermentation, on a dénombré les colonies de bactéries lactiques à 10^9 UFC g^{-1}, et les levures, dépendantes du type de farine, entre 6 x 10^6 UFC g^{-1} et 1,7 x 10^7 UFC g^{-1}.

Dans les différents levains, la flore constituante atteint 97% de *Pediococcus.* Pour les espèces de *Lactobacillus,* il s'agit de *L. plantarum* et *L. brevis* comme représentants typiques de la flore des levains. Parallèlement, le *L. homohiochii* fut également trouvé. Les souches de levures isolées furent identifiées comme étant le *Saccharomyces cerevisiae steineri.*

Summary

pH value, acidity, rising capacity and microflora of 10 freshly prepared and ripe wheat doughs after repetitive refreshing have been determined, the doughs consisting of white, brown or wholemeal flour with gains of 160, 180 and 200 and fermentation temperatures being 22 °C, 24 °C and 35 °C. The values determined varied depending on temperature and time. Final pH was 4.0 corresponding to 15° to 23° acidity for doughs made from brown flour

and 8° to 12° acidity from white flour respectively. Rising capacity was positively influenced by repeated refreshing. At the end of the fermentation processes, the colony counts were 10^9 CFU g^{-1} for lactic acid bacteria and between 6 x 10^6 CFU g^{-1} and 10^7 CFU g^{-1} for yeasts, the latter depending on the type of flour used.

Up to 97% of the bacterial flora of the spontaneously fermented wheat doughs consisted of *Pediococcus* species. The *Lactobacillus* flora was dominated by *L. plantarum* and *L. brevis. L. homohiochii* was identified to a lesser extent. All of the 40 isolated yeast strains belonged to the species *Saccharomyces cerevisiae steineri.*

Literatur

1. *Dörner, H.* und *Stephan, H.:* Über pH-Untersuchungen an Teigen und Broten. Brot und Gebäck **10,** 171–175 (1956).
2. *Garvie, E.I.:* Section 12. Genus leuconostoc und Genus pediococcus in Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Vol. 2. Holt, J.G. (ed.). Verlag Williams & Wilkins, Baltimore 1986.
3. *Galli, A., Franzetti, L.* and *Fortina, M.G.:* Isolation and identification of sour dough microflora. Microbiologie-Aliments-Nutrition **6,** 345–351 (1988).
4. *Hardie, J.O.:* Section 12. Lactic acid Streptococci in Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Vol. 2. Holt, J.G. (ed.).Verlag Williams & Wilkins, Baltimore 1986.
5. *Heinz, L.* und *Klaushofer, H.:* Studien über die Flora des Sauerteiges. Mitt. Vers. Anstalt Gärungsgewerbe **6,** 1–4 (1952).
6. *Kandler, O.* and *Weiss, N.:* Section 14. Regular nonsporing grampositive rods in Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Vol. 2. Holt, J.G. (ed.). Verlag Williams & Wilkins, Baltimore 1986.
7. *Kreger-van Rij, N.J.W.* (ed.): The yeasts, a taxonomic study. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam 1984.
8. *Lemmerzahl, J.:* Beobachtungen an Sauerteigen aus Auswuchsmehl. Brot und Gebäck **9,** 41–44 (1955).
9. *Lönner, C., Welander, T., Molin, N., Dostalek, M.* and *Blickstad, E.:* The microflora in a sour dough started spontaneously on typical Swedish rye meal. Food Microbiology **3,** 3–12 (1987).
10. *Opuszynska, H.* und *Kowalczuk, M.:* Der Einfluss der Konsistenz auf die Dynamik der Entwicklung der Mikroflora in Roggenteigen und auf die Qualität des Gebäckes. Brot und Gebäck **21,** 11–13 (1967).
11. *Rohrlich, M.:* Phytin als Pufferungssubstanz im Sauerteig. Brot und Gebäck **14,** 127–130 (1960).
12. *Schulz, A.:* Die Beeinflussung der stärkeabbauenden Enzyme des Roggens und Weizens durch Chlorid-Einwirkung. Brot und Gebäck **16,** 141–143 (1962).
13. *Spicher, G.:* Studien zur Physiologie der Entwicklung der Sauerteigbakterien. II. Mitt. Vergleichende Untersuchungen über die Abhängigkeit der Entwicklung der Bakterienflora des Reinzuchtsauers vom Alter und von der Temperatur. Brot und Gebäck **22,** 127–132 (1968).
14. *Spicher, G.:* Studien zur Physiologie der Entwicklung der Sauerteigbakterien. III. Mitt. Die Entwicklung von Mikroorganismen im Tagesvollsauer in Abhängigkeit von seiner Führungsweise. Brot und Gebäck **22,** 146–151 (1968).

15. *Spicher, G.:* Einige neue Aspekte der Biologie der Sauerteiggärung. Getreide, Mehl und Brot **36,** 12–16 (1982).
16. *Spicher, G.:* Die Mikroflora des Sauerteiges. XXII. Mitt. Die in Weizensauerteigen vorkommenden Laktobazillen. Z. Lebensm. Unters. -Forsch. **184,** 300–303 (1987).
17. *Spicher, G.* und *Rabe, E.:* Die Mikroflora des Sauerteiges. XI. Mitt. Der Einfluss der Temperatur auf die Lactat-/Acetatbildung in mit homofermentativen Milchsäurebakterien angestellten Sauerteigen. Z. Lebensm. Unters. -Forsch. **172,** 20–25 (1981).
18. *Spicher, G.* und *Rabe, E.:* Der Einfluss der Parameter der Sauerteigbereitung auf die Bildung von Milch- und Essigsäure durch homo- und heterofermentative Sauerteigbakterien. Alimenta **22,** 67–71 (1983).
19. *Spicher, G.* und *Mellenthin, B.:* Zur Frage der mikrobiologischen Qualität von Getreidevollkornerzeugnissen. 3. Mitt. Die bei Speisegetreide und Mehlen auftretenden Hefen. Deutsche Lebensmittel-Rundschau **79,** 35–38 (1983).
20. *Spicher, G., Schröder, R.* und *Schöllhammer, K.:* Die Mikroflora des Sauerteiges. VIII. Mitt. Untersuchungen über die Art der in «Reinzuchtsauern» auftretenden Hefen. Z. Lebensm. Unters. -Forsch. **169,** 77–81 (1979).
21. *Spicher, G., Rabe, E.* und *Rohschenkel, Ch.:* Untersuchungen zur Charakterisierung und Bewertung verschiedener Verfahren zur Bereitung eines Spontansauers. I. Mitt. Vergleich verschiedener Spontansauerverfahren. Getreide, Mehl und Brot **41,** 118–122 (1987).
22. *Spicher, G., Rabe, E.* und *Rohschenkel, Ch.:* Untersuchungen zur Charakterisierung und Bewertung verschiedener Verfahren zur Bereitung eines Spontansauers. II. Mitt. Einfluss der Führungsbedingungen auf den Verlauf der spontanen Gärung. Getreide, Mehl und Brot **41,** 372–375 (1987).
23. *Stephan, H.:* Merkmale verschiedener Sauerteigführungen und Brotqualität. Getreide, Mehl und Brot **36,** 16–20 (1982).
24. *Wolffin, A.:* Bakteriologische und chemische Studien über die Sauerteiggärung. Diss. Med. Univ. Würzburg 1984.

Dr. O. Geiges
Ingenieurschule
CH-8820 Wädenswil