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

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 86 (1995)

Heft: 3

Artikel: Mikrobiologie der Brotteigherstellung. Teil VII, Herstellung und Einsatz von Flüssighebeln bei der Produktion von Weizenmehlbroten = Microbiology of dough preparation. Part VII, Production and use of preferments to produce wheat-bread

Autor: Merseburger, Tobias / Ehret, Aloise / Geiges, Otto

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-983637

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **86**, 304–324 (1995)
Eingegangen 24. November 1994. Angenommen 18. Januar 1995

Mikrobiologie der Brotteigherstellung

VII. Herstellung und Einsatz von Flüssighebeln bei der Produktion von Weizenmehlbroten

Microbiology of Dough Preparation
VII. Production and Use of Preferments to Produce Wheat-Bread

Key words: Bred, Yeast, Lactic acid bacteria

Tobias Merseburger[1], *Aloise Ehret*[2], *Otto Geiges*[3], *Barbara Baumann* und *Wilhelm Schmidt-Lorenz*

Einführung

Als Triebmittel zur Herstellung von Weizenmehlteigen wird heute meist Press- oder Trockenhefe angewendet. Damit lassen sich mit Gärzeiten von zwei Stunden und kürzer Brote mit gleichmässiger Qualität und grossen Volumen erzeugen. Die traditionellen Arten der Teigbereitung mit Hebeln und langen Gärzeiten, wie sie von *Hochstrasser* et al. (1) untersucht wurden, ergeben jedoch geschmacklich bessere Brote.

In den vorausgegangenen Untersuchungen wurde über die Entwicklung einer flüssigen Backhefe auf Basis von amylolytisch und proteolytisch aufgeschlossenem Weizenmehl, mit welcher sensorisch bessere Brote hergestellt werden konnten, berichtet (2). In einer weiteren Untersuchung wurde die Herstellung von Milchsäurebakterienkulturen zum Einsatz in der Brotbereitung beschrieben (3).

In der vorliegenden Arbeit wurden zuerst die Eigenschaften von kommerziell erhältlicher Press- und Trockenhefe und der neu entwickelten Backhefe bei der Teigherstellung miteinander verglichen.

Um die sensorische Qualität von Broten, die mit traditionellen Hebeln hergestellt wurden, zu erreichen, wurde der Einsatz von Flüssighebeln als Ersatz für die Presshefe untersucht. *Schulz* und *Stephan* (4) schlugen für die Herstellung von

[1] Givaudan-Roure Aromen AG, 8600 Dübendorf
[2] Agrano AG, 4123 Allschwil
[3] Ingenieurschule, 8820 Wädenswil

Weizenmehlbroten den Einsatz von Milchsäurebakterien vor. Es sind deshalb neben den Flüssighebeln mit Hefereinkulturen auch solche untersucht worden, die aus einer Mischkultur von Hefen und Milchsäurebakterien bestehen.

Dazu musste zunächst die Herstellung von Flüssighebeln als Rein- und Mischkultur von Hefen und Milchsäurebakterien untersucht werden. Danach wurden die Eigenschaften dieser Flüssighebel bei der Brotherstellung mit denjenigen der konventionellen Presshefe verglichen. Die dabei hergestellten Brote wurden anschliessend sensorisch charakterisiert und bezüglich ihrer Qualität bewertet.

Material und Methoden

Mikroorganismen

Die nachfolgend aufgeführten Backhefen wurden zur Teigbereitung oder zum Ansatz von Flüssighebeln eingesetzt. Sie lagerten nach dem Kauf oder der Herstellung während höchstens drei Wochen bei 4 °C im Kühlraum.

Flüssighefe

Als Hefestamm wurde *Saccharomyces cerevisiae steineri* 250 verwendet, der aus traditionell bereitetem Hebelbrot mit Spontangärung isoliert worden war. Die Flüssighefe wurde in einem 15 l fassenden Fermenter nach dem Zulaufverfahren aerob hergestellt (2). Als Medium diente proteolytisch und amylolytisch aufgeschlossenes Weizenmehl mit Weizenkeimen. Die Flüssighefe konnte mit folgenden Durchschnittswerten charakterisiert werden: Zellzahl $1{,}5 \cdot 10^9$, Ethanolgehalt 0,7%, Glucosegehalt < 0,1%, pH-Wert 4,5.

Presshefe

Es wurde mit einer kommerziell erhältlichen Presshefe der Presshefefabrik Stettfurt (Schweiz) mit einer durchschnittlichen Zellzahl von $1 \cdot 10^{10}$ gearbeitet.

Trockenhefe

Als Trockenhefe diente das kommerziell erhältliche Präparat der Dr. Oetker AG (Winznau, Deutschland).

Milchsäurebakterien

Die folgenden fünf Stämme wurden verwendet: *Leuconostoc mesenteroides* m2, *Pediococcus pentosaceus* t1, *Lactobacillus brevis* b1, *Lactobacillus plantarum* p3 und *Lactobacillus sanfrancisco* s2.

Alle Stämme waren von *Hochstrasser* et al. (1, 5) aus verschiedenen Weizenmehlbrotteigen der gewerblichen Praxis isoliert und identifiziert worden.

Analytik

Die *Koloniezahlbestimmung* der Hefen erfolgte auf Malzextraktagar (Malzextrakt Merck 5391, verfestigt mit Agar technical Oxoid L13, welcher der Bouillon vor dem Sterilisieren zugegeben wurde). Die Koloniezahl der Milchsäurebakterien wurde mit dem MRS-Agar (MRS-Bouillon Oxoid CM 359, verfestigt mit Agar technical Oxoid L13, welcher der Bouillon vor dem Sterilisieren zugegeben wurde) bestimmt. Für die Bestimmung der Koloniezahl von *L. sanfrancisco* wurde dem MRS-Agar nach der Hitzesterilisation und vor dem Giessen der Platten 2 g l^{-1} sterilfiltrierter Hefeextrakt (BBL 11929) zugegeben. Die Verdünnung, das Ausstreichen und die Auswertung wurde mit der Viertelplattenmethode durchgeführt, wobei jeweils 0,02 ml Verdünnungslösung aus vier aufeinanderfolgenden dezimalen Verdünnungsstufen auf einen Viertel der Agarplatte ausgestrichen wurde (3).

Zur Bestimmung der Koloniezahlen in Mischkulturen von Hefen und Milchsäurebakterien wurde dem MRS-Agar nach dem Sterilisieren 0,1 g l^{-1} Polymyxin-β-Sulfat (Sigma P-1004) und 40 mg l^{-1} Natamycin (Delvocid, Gist-Brocades) und dem Malzextraktagar 50 mg l^{-1} Chlortetracyclin (Sigma C-4881) und 50 mg l^{-1} Chloramphenicol (Sigma C-0378) zugesetzt.

Die Methoden für die Bestimmungen der Konzentration von *Glucose, Ethanol, Lactat* und *Acetat* sowie die Messung des *pH-Wertes* finden sich bei *Merseburger* et al. (3) beschrieben. Der *Säuregrad* wurde bestimmt, indem 10 g des Flüssighebels um einen Faktor 10 mit Wasser verdünnt wurde und anschliessend mit c (NaOH) = 0,1 mol/l auf einen pH-Wert von 8,5 titriert wurde. Die zudosierte Menge an Lauge in ml entsprach dem Säuregrad.

Herstellung von Flüssighebeln

Als Substrat zur Herstellung der Flüssighebel und zur Vermehrung der Hefen und Milchsäurebakterien wurde das Weizenmehlmedium verwendet, welches 200 g in einem Durchgang gemahlener Vollkornweizen pro Liter enthielt. Diese Suspension wurde amylolytisch und proteolytisch aufgeschlossen (2).

Die *Hefeflüssighebel* setzten sich aus 400 ml Flüssighefe und 200 ml Weizenmehlmedium zusammen. Die Herstellung erfolgte in 1-l-Erlenmeyerkolben, welche während acht Stunden bei 30 ± 1 °C im Klimaschüttelschrank (Clim-O-Shake, System Kühner, Basel, Schweiz) bei 80 U min^{-1} kultiviert wurden. Abweichende Bedingungen sind bei den Ergebnissen beschrieben.

Die Bakterienkulturen für die *Milchsäurebakterien-Flüssighebel* wurden nach zwei unterschiedlichen Verfahren hergestellt:

A) Im Fermenter bei 30 °C mit amylolytisch und proteolytisch aufgeschlossenem Weizenvollkornmehl und Weizenkeimen mit pH-Einstellung durch c (NaOH) = 4 mol/l (3).

B) Ausgehend von den Stammkulturen auf MRS-Schrägagar wurden die Milchsäurebakterienstämme mit einer Öse auf einer MRS-Agar-Platte ausgestrichen und drei Tage bei 30 °C bebrütet. Anschliessend wurden 100 ml MRS-Bouillon mit einer

Einzelkolonie beimpft und während 24 Stunden bei 30 ± 1 °C im Klimaschüttelschrank bei 80 U min^{-1} inkubiert. 50 ml dieser Kultur wurden mit 200 ml sterilem Leitungswasser und 250 ml Weizenmehlmedium in einem 1-l-Erlenmeyerkolben angesetzt und während 24 Stunden bei 30 °C kultiviert.

Die für die Flüssighebel eingesetzte Menge der Milchsäurebakterienkultur wurde während 20 Minuten bei 9000 g und 0–5 °C abzentrifugiert. Der Überstand wurde verworfen, dem Sediment wurden 400 ml Wasser zugegeben und anschliessend mittels einem Ultraturaxgerät homogenisiert. Der resultierenden Suspension wurde anschliessend 200 ml Weizenmehlmedium zugegeben. Für die *Mischkulturflüssighebel* wurden die 400 ml Wasser durch 400 ml Flüssighefe ersetzt. Die Kultur erfolgte bei 30 ± 1 °C im Klimaschüttelschrank bei 80 U min^{-1} während acht Stunden.

Nach der Inkubation wurden die Flüssighebel auf 4 °C gekühlt und während höchstens 24 Stunden bis zum Verbacken gelagert.

Herstellung von Weizenmehlteigen und Broten

Die Herstellung der Teige, mit welchen Brote gebacken wurden, erfolgte gemäss *Merseburger* et al. (2) und wurde in einer Versuchsbäckerei durchgeführt. Die im Laboratorium hergestellten Teige setzten sich aus 167 g Weizenmehl des Typs 405 (5), 2 g Kochsalz und 102,5 g einer Hefesuspension zusammen und wurden während fünf Minuten von Hand geknetet. Die verwendete Hefesuspension bestand aus Wasser und unterschiedlich grossen Mengen von Flüssighefe, Presshefe oder Trockenhefe.

Jeweils am Anfang und am Ende der Teigbereitung wurden die Koloniezahl und die Ethanolkonzentration sowie am Ende der dreistündigen Teiggare der Trieb bestimmt. Die Teiggare wurde bei Raumtemperatur (17–20 °C) in einem mit einem feuchten Tuch bedeckten Becherglas durchgeführt. Die Koloniezahl und der Ethanolgehalt im Teig sowie das spezifische Gewicht der Brote wurden nach vorgängig beschriebenen Methoden bestimmt (3). Zum Messen des Triebes wurden 10 ml des Teiges unmittelbar nach dem Kneten in einen 100-ml-Messzylinder eingefüllt und dieser anschliessend während 90 Minuten in einen 30 °C-Wärmeschrank gestellt. Als Trieb wird jener Faktor bezeichnet, um welchen das Volumen des eingefüllten Teiges in dieser Zeit zugenommen hat.

Sensorische Beurteilung der hergestellten Brote

Intensitätstests

Die Brote wurden 20 bis 24 Stunden nach ihrer Herstellung degustiert und erst unmittelbar vor der sensorischen Prüfung aufgeschnitten. Die Degustationen erfolgten jeweils am Vormittag zwischen 11 und 12 Uhr.

Die Intensitätstests wurden mit durchschnittlich 13 Panelisten durchgeführt. Sie prüften pro Degustation drei Brote und bewerteten diese anhand zweier Linien-

skalen von 100 mm Länge mit den Begriffspaaren «nicht säuerlich» – «säuerlich» und «nicht hefig» – «hefig». Das mit Presshefe hergestellte Brot wurde jeweils mit «S», die beiden anderen Brote mit einer dreistelligen Zufallszahl bezeichnet. Die Panelisten kannten die Brotrezepturen nicht.

Die Markierungen auf der Linienskala wurden mit einer Genauigkeit von einem Millimeter ausgemessen. Anschliessend wurde der Median dieser Messwerte bestimmt. Die Signifikanz des Unterschieds der Medianwerte wurde mit dem Vorzeichentest nach *Dixon* und *Mood* (6) jeweils zwischen den mit Presshefe und Flüssighebeln hergestellten Broten bestimmt.

Qualitätsbeurteilung

Ein bis zwei Stunden nach dem Backen wurden die Brote von fünf Bäckern degustiert. Sie klassierten die Qualität der Krume als Gesamteindruck von Geruch und Geschmack mit einer Notenskala von 1 bis 5. Die schlechteste Wertung war 1, die beste 5. Die Intervalle der Skala betrugen 0,25 Einheiten. Als Resultat wurde jeweils der Median der von den fünf Bäckern gegebenen Wertungen für ein untersuchtes Brot angegeben.

Ergebnisse

Vergleich dreier unterschiedlich hergestellter Backhefen im Weizenmehlteig

Für die folgenden Untersuchungen wurden Teige mit Press- und Trockenhefe sowie mit Flüssighebeln hergestellt. Die Teigrezeptur war jeweils gleich und die Dosierung der Hefepräparate wurde in einem weiten Bereich variiert, damit der Einfluss unterschiedlich hoher Hefekoloniezahlen im Teig auf den Trieb verglichen werden konnte. Die gemessenen Koloniezahlen lagen in einem Bereich von $1 \cdot 10^6$ bis $3 \cdot 10^8$ (Tabelle 1).

Mit einer Ausnahme verminderten sich die Koloniezahlen in allen Teigversuchen während der drei Stunden dauernden Gare.

Der Faktor, um welchen sich die durchschnittliche Koloniezahl im Laufe der Teiggare verminderte, war je nach eingesetztem Backhefepräparat unterschiedlich. Mit Flüssighefe war er mit 1,7 am geringsten, bei Presshefe betrug er 2,6 und bei Trockenhefe war er mit 4,2 am höchsten.

Der Ethanolgehalt erhöhte sich in allen Versuchen. Dabei wurden Konzentrationen über 10 g Ethanol pro kg Teig erreicht. Der maximale Trieb von 3,1 wurde mit Einsatz von 43 g Presshefe pro kg Mehl erreicht.

Weder eine möglichst hohe Koloniezahl noch das Ausmass der Verminderung der Koloniezahl während der Teiggare waren aber für den Trieb entscheidend. Für alle drei Hefepräparate ergab sich eine optimale Dosierung bezüglich grösstmöglichen Triebes. Die dafür eingesetzten Koloniezahlen waren mit $1{,}0 \cdot 10^8$ bis $1{,}3 \cdot 10^8$ für alle Backhefen etwa gleich. Der damit erreichte Trieb war unterschiedlich und

Tabelle 1. Koloniezahlen und Ethanolgehalt zu Beginn und am Ende der Gare eines Weizenmehlteiges, sowie Trieb der daraus hergestellten Brote bei steigendem Zusatz von Backhefe

Flüssighefe							
Dosierung (g Flüssighefe pro 100 g Mehl)		6,2	15,3	21,5	30,7	46,1	61,4
Koloniezahl (KBE g^{-1} Teig)	Anfang	$2,4 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^7$	$5,8 \cdot 10^7$	$9,7 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^8$
	Ende	$9,7 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^7$	$5,3 \cdot 10^7$	$5,0 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^8$	$6,5 \cdot 10^7$
Ethanol (g kg^{-1} Teig)	Anfang	0,3	0,8	1,1	1,6	2,4	3,2
	Ende	1,5	2,0	3,1	4,4	5,6	5,6
Trieb (Faktor)		1,2	1,6	1,7	2,2	2,3	2,1
Presshefe							
Dosierung (g Presshefe pro 100 g Mehl)		1,7	2,6	4,3	8,6	12,9	17,2
Koloniezahl (KBE g^{-1} Teig)	Anfang	$4,5 \cdot 10^7$	$6,4 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^8$	$2,6 \cdot 10^8$	$3,3 \cdot 10^8$
	Ende	$1,7 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^7$	$5,6 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^8$	$9,8 \cdot 10^7$
Ethanol (g kg^{-1} Teig)	Anfang	0,2	0,3	0,4	0,9	1,3	1,7
	Ende	2,2	3,1	4,8	6,9	10,9	10,5
Trieb (Faktor)		1,9	2,3	3,1	2,9	2,5	2,4
Trockenhefe							
Dosierung (g Trockenhefe pro 100 g Mehl)		0,3	0,4	0,7	1,4	2,2	2,9
Koloniezahl (KBE g^{-1} Teig)	Anfang	$1,2 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$	$4,2 \cdot 10^7$	$9,4 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^8$
	Ende	$4,9 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^7$	$5,9 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^7$
Ethanol (g kg^{-1} Teig)	Anfang	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7
	Ende	0,9	1,3	2,2	5,6	6,5	7,1
Trieb (Faktor)		1,1	1,3	1,6	2,6	2,8	2,8

lag nach 90 Minuten mit 2,3 für die Flüssighefe am tiefsten, für die Presshefe mit 3,1 am höchsten.

Herstellung von Flüssighebeln mit Hefen und fünf Milchsäurebakterienarten

Im folgenden sind die Resultate von Untersuchungen während der achtstündigen Kultur von Flüssighebeln dargestellt. Diese wurden

a) als Mischkultur von jeweils einem der fünf Milchsäurebakterienstämme mit der Flüssighefe oder
b) als Reinkultur der Flüssighefe oder
c) als Reinkultur der fünf Bakterienstämme hergestellt.

Zu Beginn und am Ende der Kulturen wurden die Koloniezahlen und Säuregrade, am Ende zusätzlich die Ethanol-, Acetat- und Lactatkonzentrationen bestimmt. Der pH-Wert und die Glucosekonzentration wurden stündlich gemessen, sind aber nur am Beispiel von *L. brevis* dargestellt.

Koloniezahlen

Tabelle 2 zeigt die am Anfang und Ende der achtstündigen Herstellung bestimmten Koloniezahlen. In den Mischkulturen mit der Hefe vermehrten sich die Milchsäurebakterien durchschnittlich um einen Faktor von 1,6. In den Reinkulturen erhöhten sich die Koloniezahlen der Bakterien um einem Faktor von durchschnittlich 2,5, also um einen deutlich höheren Faktor als in Mischkultur. Die Koloniezahlen der Hefereinkulturen blieben konstant.

Tabelle 2. Koloniezahlen am Anfang und Ende der achtstündigen Herstellung von Flüssighebeln bei 30 °C im Weizenmehlmedium

Stamm	Mischkultur mit *S. cerevisiae* 250		Reinkultur	
	Anfang	Ende	Anfang	Ende
L. plantarum p3	$6{,}3 \cdot 10^{8*}$	$1{,}3 \cdot 10^{9}$	$6{,}8 \cdot 10^{8}$	$2{,}1 \cdot 10^{9}$
L. brevis b1	$6{,}1 \cdot 10^{8}$	$9{,}5 \cdot 10^{8}$	$5{,}9 \cdot 10^{8}$	$1{,}8 \cdot 10^{9}$
L. sanfrancisco s2	$3{,}3 \cdot 10^{7}$	$4{,}4 \cdot 10^{7}$	$3{,}4 \cdot 10^{7}$	$6{,}5 \cdot 10^{7}$
L. mesenteroides m2	$3{,}5 \cdot 10^{8}$	$3{,}4 \cdot 10^{8}$	$4{,}2 \cdot 10^{8}$	$8{,}1 \cdot 10^{8}$
P. pentosaceus t1	$3{,}0 \cdot 10^{8}$	$4{,}3 \cdot 10^{8}$	$2{,}8 \cdot 10^{8}$	$5{,}7 \cdot 10^{8}$
S. cerevisiae 250			$5{,}0 \cdot 10^{8}$	$5{,}0 \cdot 10^{8}$

* $KBE \cdot g^{-1}$

Säuregrade

In Tabelle 3 sind die Säuregrade am Anfang und Ende der Herstellung der Flüssighebel aufgeführt. In den Mischkulturen wurden am Anfang und Ende der achtstündigen Kultur innerhalb einer Bandbreite von einer Einheit gleich hohe Werte gemessen. Bei den Bakterienreinkulturen nahmen die Säuregrade um 2,0 bis 3,7 ml c (naOH) = 0,1 mol/l zu, dagegen fielen sie bei den Hefereinkulturen um 2 ml.

pH-Werte

Im Gegensatz zum Säuregrad nahmen die pH-Werte im Lauf der achtstündigen Exposition bei 30 °C ab. Abbildung 1 zeigt stellvertretend für alle übrigen Bakterienstämme die Resultate mit *L. brevis* als typischem Stamm. Bei der Hefereinkultur und bei der Mischkultur mit *L. brevis* sanken die Werte in den ersten zwei Stunden auf 4,2 ab und blieben anschliessend konstant. In der Bakterienreinkultur nahm der pH-Wert in den ersten zwei Versuchsstunden nicht so rasch ab. Er fiel

Tabelle 3. Säuregrade am Anfang und Ende der achtstündigen Herstellung von Flüssighebeln bei 30 °C im Weizenmehlmedium

Stamm	Mischkultur mit *S. cerevisiae* 250		Reinkultur	
	Anfang	Ende	Anfang	Ende
L. plantarum p3	5,1*	6,0	0,3	3,7
L. brevis b1	5,2	5,2	0,4	3,6
L. sanfrancisco s2	4,9	5,1	0,1	2,0
L. mesenteroides m2	5,1	5,1	0,3	3,1
P. pentosaceus t1	5,0	5,0	0,2	3,0
S. cerevisiae 250			4,8	2,8

* ml 0,1 mol/l NaOH

dagegen noch in der letzten Versuchsstunde weiter ab. Die pH-Werte am Ende aller Bakterienreinkulturen lagen in einem Bereich von 3,3 bis 4,0.

Glucosekonzentration

Der Verlauf der Glucosekonzentrationen ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Glucosekonzentrationen nahmen bei Kultur von *L. brevis* um 6 g l^{-1} ab. In Mischkultur mit Hefe und in der Hefereinkultur war der Glucoseverbrauch mit 35 g l^{-1} jeweils gleich hoch. Der Verlauf der Glucosekonzentrationen während der achtstündigen Inkubation war bei allen Misch- und Hefereinkulturen ebenfalls gleich, und nach vier Stunden war keine Glucose mehr nachweisbar.

Metabolitenkonzentrationen

Die Konzentrationen von Lactat, Acetat und Ethanol am Ende der Herstellung der Flüssighebel zeigt Tabelle 4. Im allgemeinen wurden in den Bakterienreinkul-

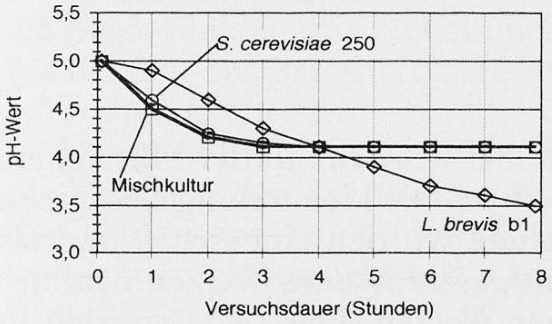

Abb. 1. Verlauf des pH-Wertes während der achtstündigen Inkubation der Reinkulturen von *L. brevis* b1 und *S. cerevisiae* 250, sowie von deren Mischkultur im Weizenmehlmedium bei 30 °C

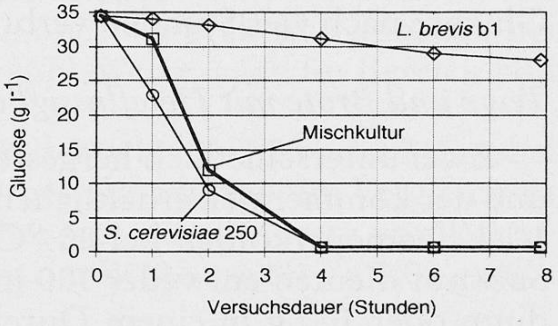

Abb. 2. Glucoseabbau während der achtstündigen Inkubation der Reinkulturen von *L. brevis* b1 und *S. cerevisiae* 250, sowie von deren Mischkultur im Weizenmehlmedium bei 30 °C

Tabelle 4. Endkonzentrationen von Acetat, Lactat und Ethanol nach achtstündiger Inkubation separater Kulturen von Milchsäurebakterien und von Hefen, sowie von deren Mischkultur im Weizenmehlmedium bei 30 °C

Stamm	Acetat		Lactat		Ethanol	
	Reinkultur	Mischkultur*	Reinkultur	Mischkultur*	Reinkultur	Mischkultur*
L. plantarum p3	0,3**	0,2	3,6	3,1	< 0,1	15,2
L. brevis b1	0,5	0,5	1,5	1,9	1,2	17,4
L. sanfrancisco s2	< 0,1	0,3	0,4	0,6	0,5	15,1
L. mesenteroides m2	0,4	0,3	2,0	0,6	0,6	13,3
P. pentosaceus t1	0,2	0,2	2,7	0,7	< 0,1	17,4
S. cerevisiae 250					17,4	

* Mischkultur der Milchsäurebakterienstämme mit *S. cerevisiae* 250
** Konzentration in g l^{-1}

turen höhere Säurekonzentrationen als in den Mischkulturen gemessen. Eine Ausnahme bildete *L. sanfrancisco,* der in Mischkultur mit der Flüssighefe sowohl mehr Lactat als auch Acetat bildete. In den Bakterienkulturen wurden höchstens 1,2 g l^{-1} Ethanol gebildet, in den Flüssighebeln mit Hefezusatz lag der Ethanolgehalt am Ende immer über 15 g l^{-1}. Die höchsten Ethanolkonzentrationen wurden in der Hefereinkultur und in den Mischkulturen mit *L. brevis* und *P. pentosaceus* mit 17,4 g l^{-1} gemessen.

Vergleich der Eigenschaften der mit verschiedenen Flüssighebeln hergestellten Teige und Brote

Die Herstellung der Flüssighebel wurde auf vier Stunden verkürzt, da alle *S. cerevisiae* enthielten und sich gezeigt hatte, dass bei Anwesenheit dieser Hefe die Glucose nach vier Stunden verbraucht war.

Teige und Brote mit Hefeflüssighebeln

Zwei unterschiedlich hergestellte Hefeflüssighebel wurden mit der Flüssighefe und der kommerziell erhältlichen Presshefe verglichen. Die Herstellung erfolgte in 1-l-Erlenmeyerkolben bei 20 °C. 500 ml Flüssighefe wurden eingesetzt, und als Substrat dienten entweder 100 ml enzymatisch aufgeschlossenes Weizenmehlmedium oder 100 g in einem Durchgang gemahlener Weizen. Die Teige wurden in jeder Serie mit dem gleichen Mehl hergestellt. Die flüssigen Hefepräparate wurden zur Herstellung der Teige zehnmal höher dosiert als die Presshefe (Tabelle 5). Der Trieb der mit den flüssigen Präparaten hergestellten Teige war geringer als der mit Presshefe hergestellten. Trotzdem wurde mit allen Hefestarterkulturen das gleiche spezifische Gewicht der Brote erreicht.

Tabelle 5. Vergleich von mit Flüssighefe, Flüssighebel und Presshefe hergestellten Teige und Broten (Dosierung: Presshefe 15 g pro kg Mehl, Flüssighefe und Flüssighebel 150 ml pro kg Mehl; Dauer der Stückgare: 60 min)

Starterkultur	Flüssighefe	Flüssighebel		Presshefe
Zusammensetzung der Hebel		500 ml Flüssighefe 100 ml Weizenmehlmedium	500 ml Flüssighefe 100 g Weizenmehl	
Teig Trieb (Faktor)	2,5	3,1	2,6	3,5
Brot Spez. Gewicht (g ml^{-1})	0,25	0,25	0,25	0,25

Teige und Brote mit Hefe-Milchsäurebakterien-Flüssighebeln

Die Eigenschaften von Mischkulturflüssighebeln und der daraus hergestellten Teige und Brote wurden in drei separaten Serien untersucht, um Teige aus jeweils gleicher Mehlqualität herzustellen. In jeder Serie wurden Flüssighebel mit Milchsäurebakterienstämmen, ein Hefeflüssighebel und die Presshefe zur Teig- und Brotbereitung eingesetzt.

In den zur Teigherstellung eingesetzten Hebeln wurden Bakterienkoloniezahlen von 1,2 bis 2,9 · 10^9 KBE ml^{-1} bestimmt. Bei Verwendung von *L. sanfrancisco* lagen die Werte mit 1,7 · 10^8 tiefer (Tabelle 6). Die Zellzahlen der Hefen waren mit 2,7 · 10^8 bis 5,5 · 10^8 KBE ml^{-1} in den meisten Flüssighebeln etwa fünfmal tiefer als diejenigen der darin enthaltenen Milchsäurebakterien.

Der in den Teigen gemessene höchste pH-Wert wurde mit Presshefe, der niedrigste mit einem Flüssighebel, welcher *P. pentosaceus* enthielt, erreicht. Die pH-Werte in den Flüssighebeln lagen um etwa eine Einheit tiefer als in den Teigen.

Die Dosierung der Flüssighebel war immer gleich hoch und lag fast zehnmal höher als diejenige der Presshefe. Der Teigtrieb variierte in einem Bereich von 2,6 bis 3,4 in den mit Hebeln hergestellten Teigen und war praktisch konstant bei 3,2 bei den mit Presshefe hergestellten. Alle Teig-pH-Werte lagen im Bereich von 5,5 bis 6,0 Einheiten.

Das spezifische Gewicht der Brote lag in einem Bereich von 0,23 bis 0,31, wobei die Brote mit den Extremwerten mit Presshefe hergestellt wurden. Im Vergleich zu den Broten mit reinen Hefestarterkulturen erhöhte sich durch Zusatz von Bakterien zu den Flüssighebeln das spezifische Gewicht der Brote um bis zu 0,04 g ml^{-1}.

Sensorische Beurteilung der Brote

Beschreibung der degustierten Brote

In den fünf in Tabelle 7 dargestellten Ergebnissen von Degustationen wurden jeweils drei Brote sensorisch beurteilt, wovon das mit Presshefe hergestellte Brot

Tabelle 6. Spezifisches Gewicht der Brote und Teigeigenschaften beim Einsatz von Flüssighebeln mit Milchsäurebakterien im Vergleich zum Einsatz von reinen Hefe-Flüssighebeln und kommerzieller Presshefe (Dosierung: Presshefe 20 g pro kg Mehl, Flüssighebel 180 ml pro kg Mehl; Dauer der Stückgare: 60 min)

	Flüssighebel		Flüssighefe	Presshefe
Serie A				
Starterkultur:				
L. plantarum p3 (KBE ml^{-1})	$1,2 \cdot 10^9$			
Zellzahl Hefen (Zellen ml^{-1})	$2,8 \cdot 10^8$		$5,0 \cdot 10^8$	
pH	4,5		4,7	
Teig: Trieb	2,6		3,0	3,1
pH	5,8		5,8	5,8
Brot: spez. Gewicht (g ml^{-1})	0,25		0,23	0,23
Serie B				
Starterkultur:				
P. pentosaceus t1 (KBE ml^{-1})	$2,9 \cdot 10^9$			
L. brevis b1 (KBE ml^{-1})		$2,5 \cdot 10^9$		
Zellzahl Hefen (Zellen ml^{-1})	$5,5 \cdot 10^8$	$3,0 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^8$	
pH	4,4	4,3	4,8	
Teig: Trieb	2,7	2,9	3,2	3,2
pH	5,5	5,6	5,7	5,7
Brot: spez. Gewicht (g ml^{-1})	0,26	0,28	0,26	0,31
Serie C				
Starterkultur:				
L. sanfrancisco s2 (KBE ml^{-1})	$1,7 \cdot 10^8$			
L. mesenteroides m2 (KBE ml^{-1})		$2,0 \cdot 10^9$		
Zellzahl Hefen (Zellen ml^{-1})	$3,5 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^8$	
pH	4,6	4,5	4,7	
Teig: Trieb	3,1	2,9	3,4	3,2
pH	5,8	5,6	5,6	6,0
Brot: spez. Gewicht (g ml^{-1})	0,27	0,24	0,23	0,23

als Standard verwendet wurde. Die übrigen beiden Brote wurden mit Flüssighebeln hergestellt. In den ersten zwei Sitzungen wurden Brote verglichen, welche einerseits mit einem Hefehebel und andererseits mit einem Hefe-Milchsäurebakterien-Hebel, der das Zentrifugat von 250 ml Milchsäurebakterienkultur enthielt, hergestellt wurden. In der dritten und vierten Degustation wurden zwei Brote verglichen, die mit Mischkulturflüssighebel hergestellt wurden, welche einerseits das Zentrifugat von 250 ml Bakterienfermenterkultur und andererseits von 500 ml Fermenterkultur von *L. plantarum* und *L. brevis* enthielten. In der letzten Degu-

Tabelle 7. Sensorische Untersuchung der Brote, welche mit unterschiedlichen Starterkulturen hergestellt wurden. Die kursiv gesetzten Medianwerte unterscheiden sich im Vorzeichentest nach *Dixon* und *Mood* (1946) signifikant ($p < 0{,}05$) von mit kommerzieller Presshefe hergestelltem Brot (Dosierung: Presshefe 20 g pro kg Mehl; Flüssighebel 180 ml pro kg Mehl)

		Presshefe	Flüssighebel	
1. Degustation				
Flüssighebel:	*S. cerevisiae* 250 (KBE ml^{-1})		$5{,}0 \cdot 10^8$	$5{,}0 \cdot 10^8$
	L. mesenteroides m2 (KBE ml^{-1})			$1{,}9 \cdot 10^9$
Brot:	«säuerlich» (mm, Median, $n = 13$)	26	*54*	*40*
	«hefig» (mm, Median, $n = 13$)	43	36	42
	Qualitätsstufe (Median, $n = 5$)	3,0	3,75	4,25
2. Degustation				
Flüssighebel:	*S. cerevisiae* 250 (KBE ml^{-1})		$2{,}3 \cdot 10^8$	$3{,}5 \cdot 10^8$
	L. sanfrancisco s2 (KBE ml^{-1})			$1{,}7 \cdot 10^8$
Brot:	«säuerlich» (mm, Median, $n = 13$)	41	*59*	*52*
	«hefig» (mm, Median, $n = 13$)	52	43	40
	Qualitätsstufe (Median, $n = 5$)	3,0	4,0	4,25
3. Degustation				
Flüssighebel:	*S. cerevisiae* 250 (KBE ml^{-1})		$2{,}3 \cdot 10^8$	$2{,}3 \cdot 10^8$
	L. plantarum p3 (KBE ml^{-1})		$1{,}2 \cdot 10^9$	$2{,}8 \cdot 10^9$
Brot:	«säuerlich» (mm, Median, $n = 12$)	30	*36*	*51*
	«hefig» (mm, Median, $n = 12$)	48	*33*	34
	Qualitätsstufe (Median, $n = 5$)	3,0	4,5	4,5
4. Degustation				
Flüssighebel:	*S. cerevisiae* 250 (KBE ml^{-1})		$2{,}8 \cdot 10^8$	$3{,}5 \cdot 10^8$
	L. brevis b1 (KBE ml^{-1})		$2{,}5 \cdot 10^9$	$6{,}2 \cdot 10^9$
Brot:	«säuerlich» (mm, Median, $n = 13$)	38	59	*52*
	«hefig» (mm, Median, $n = 13$)	43	29	30
	Qualitätsstufe (Median, $n = 5$)	3,0	4,25	4,25
5. Degustation				
Flüssighebel:	*S. cerevisiae* 250 (KBE ml^{-1})		$5{,}5 \cdot 10^8$	$5{,}0 \cdot 10^8$
	P. pentosaceus t1 (KBE ml^{-1})		$2{,}9 \cdot 10^9$	
	L. sanfrancisco s2 (KBE ml^{-1})			$3{,}5 \cdot 10^8$
Brot:	«säuerlich» (mm, Median, $n = 13$)	33	41	*63*
	«hefig» (mm, Median, $n = 13$)	49	34	36
	Qualitätsstufe (Median, $n = 5$)	3,0	3,75	4,0

station wurden zwei Brote verglichen, die auf Mischkulturhebeln basierten, von welchen der eine das Zentrifugat von 250 ml *P. pentosaceus* und der andere von 500 ml *L. sanfrancisco* enthielt.

Bei den zur Brotherstellung verwendeten Flüssighebeln lagen die Koloniezahlen der Hefen und Milchsäurebakterien bei gleicher Dosierung in engen Bereichen. Einzig bei Verwendung von *L. sanfrancisco* lagen die Zahlen um eine Zehnerpotenz tiefer.

Die Koloniezahlen der Hebel mit dem doppelt so hohen Zusatz von Bakterienzentrifugat war jeweils zweimal höher als mit dem geringeren Bakterienzusatz. Bei gleicher Menge an zugegebener Kultur im Flüssighebel waren die Koloniezahlen für *L. sanfrancisco* zehnmal geringer als diejenigen der Flüssighebel, welche mit den übrigen Bakterienstämmen hergestellt wurden.

Intensitätstests

Die Panelisten für die Intensitätstests wurden zunächst in fünf vorausgehenden Degustationen geschult. Die dabei erhaltenen Resultate wurden nicht berücksichtigt. Die Medianwerte der mit Flüssighebeln hergestellten Brote für den Begriff «säuerlich» waren immer höher als die der Brote, welche mit Presshefe hergestellt wurden. Signifikant unterscheidbar waren aber nur die Brote mit Zusatz von *L. plantarum, L. mesenteroides, L. sanfrancisco* sowie das Brot mit der grösseren Menge von *L. brevis.* Bezüglich des Begriffs «hefig» waren die Medianwerte für die mit Flüssighebeln hergestellten Brote tiefer, doch unterschieden sich diese Werte ausser in einem Fall nicht signifikant von den Beurteilungen der mit Presshefe hergestellten Brote.

Qualitätsbeurteilung

Die fünf Bäcker, welche die Qualitätsbeurteilungen durchführten, hatten mehrjährige Erfahrung mit Brotdegustationen. Ihre Beurteilungen schwankten in einem Bereich von höchstens 1,5 Einheiten für ein untersuchtes Brot. Sie klassierten die mit Presshefe hergestellten Brote immer schlechter als die mit Hebel hergestellten.

Diskussion

Vergleich dreier unterschiedlich hergestellter Backhefen im Weizenmehlteig

Bei Verwendung der gleichen Teigrezeptur und steigender Hefezugabe sinkt die Teigausbeute, wenn die Hefetrockenmasse zur Mehlmenge addiert wird. *Opuszynska* und *Kowalczuk* (7) stellten fest, dass bei sinkender Teigausbeute die Generationszeit der Hefen verkürzt und mehr CO_2 pro Zeiteinheit gebildet wurde. Die dabei eingestellten Temperaturen waren aber mit 34 °C höher als die bei den eigenen Versuchen herrschende Raumtemperatur.

Die in früheren Untersuchungen bestimmten Koloniezahlen für Weizenmehlteige lagen zwischen 10^6 und 10^7 KBE ml^{-1} (1, 5). In den eigenen Versuchen wurde die Menge des zugesetzten Präparates in einem weiteren Bereich variiert als in der Praxis üblich. Die höchsten Koloniezahlen wurden mit der bis zu zehnmal höheren Hefedosierung verglichen mit den Angaben von *Hochstrasser* et al. (5) erreicht.

Während der Teiggare verminderte sich die Zahl der vermehrungsfähigen Hefen. In den von *Hochstrasser* et al. (1) untersuchten Teigen mit Spontangärung wurden Koloniezahlen von höchstens $1{,}5 \cdot 10^7$ erreicht. Deshalb wurde vermutet, dass im Medium Teig höchstens etwa 10^7 Zellen vermehrungsfähig bleiben.

Obwohl der Trieb mit steigender Zugabe von Hefe nicht beliebig gesteigert werden konnte, wurde immer mehr Ethanol gebildet. Die Hefe produziert mit jedem Mol Ethanol auch ein Mol CO_2. Deshalb muss angenommen werden, dass der Trieb nicht nur durch die Gäraktivität der Hefen, sondern auch durch das Gashaltevermögen der Teige limitiert wurde.

Inwieweit ein optimaler Teigtrieb das Brotvolumen beeinflusst, muss offen bleiben, da die Volumenvergrösserung beim Backen (Ofentrieb) unterschiedlich sein kann.

Herstellung von Flüssighebeln mit Hefen und fünf Milchsäurebakterienarten

Koloniezahlen

Die hemmende Wirkung von *S. cerevisiae* auf die Vermehrung von Milchsäurebakterien wurde bereits mehrere Male beobachtet (8, 9, 10).

McLaren (8) sah die Ursache für diese Hemmung in der hohen von den Hefen produzierten Ethanolkonzentration. Diese Meinung wurde aber von anderen Autoren widerlegt (9). Sie setzten ihren Flüssighebeln 8 Vol.-% Ethanol zu und beobachteten keine Verringerung der erreichbaren Koloniezahl. In den eigenen Versuchen wurden mit 17,4 g l^{-1} Ethanol eine etwa dreimal geringere Konzentration gemessen. Damit kann Ethanol als hemmende Substanz ausgeschlossen werden. Auch *Lemaresquier* (10) konnte keine hemmende Wirkung von Ethanol und SO_2 nachweisen.

Die tieferen Koloniezahlen am Ende der Mischkulturen sind wahrscheinlich auf die Konkurrenz um Nährstoffe zurückzuführen. So wurde in den reinen Hefeflüssighebeln und in den Mischkulturen der Hefe mit jeweils einem Milchsäurebakterienstamm die Glucose bereits in den ersten vier Stunden durch die Hefe verbraucht, während in den Bakterienreinkulturen bis zur achten Versuchsstunde Glucose vorhanden war und als Substrat zur Vermehrung zur Verfügung stand.

pH-Wert und Säuregrad

Der höchste Säuregrad am Ende der Herstellung von Flüssighebeln wurde in der *L. plantarum*-Reinkultur gemessen. Bei der mit *L. sanfrancisco* hergestellten Kultur war die geringste Veränderung des Säuregrades zu beobachten.

Kulp (11) führte Versuche mit Hefeflüssighebeln durch. Dabei fiel der pH-Wert ebenfalls in den ersten Versuchsstunden auf den Endwert ab. Die Höhe dieses Endwertes konnte durch Pufferung des Mediums eingestellt werden und lag nie tiefer als 3,9.

In den Mischkulturen blieb der Säuregrad während der achtstündigen Inkubation bei 30 °C konstant. In den Untersuchungen von *Spicher* et al. (12) wurde dagegen bei Mischkultur von Hefen und Milchsäurebakterien in Roggenmehlteigen meist eine Erhöhung der Säuregrade beobachtet. Erst bei einem Zusatz von 10^7 KBE ml^{-1} von Hefen konnte bei gemeinsamer Kultur mit *L. plantarum* eine Verringerung des Säuregrades festgestellt werden. Da in den eigenen Versuchen fünfzigmal mehr Hefen eingesetzt wurden, kann der geringere Endsäuregrad in den Mischkulturen damit erklärt werden. Um trotz Zusatz von Hefen einen höheren Säuregrad zu erhalten, müssten entweder mehr Milchsäurebakterien eingesetzt werden oder weniger Hefe, falls der Trieb der Teige nicht darunter leiden würde.

Lönner und *Preve-Åkesson* (13) stellten in ihren Untersuchungen über den Einfluss unterschiedlicher Milchsäurebakterien in Roggensauerteigen fest, dass mit den heterofermentativen Lactobazillen höhere Säuregrade und tiefere pH-Werte als mit homofermentativen erreicht wurden. Dies konnte in den vorliegenden Versuchen mit Flüssighebeln nicht beobachtet werden. Mit dem eingesetzten heterofermentativen *L. brevis*-Stamm wurden zwar hohe Säuregrade erreicht. Mit dem homofermentativen *L. plantarum*-Stamm wurden aber noch höhere Werte erreicht.

Glucoseabbau und Zunahme der Metabolitenkonzentration

Der Verlauf der pH-Werte war mit der Glucosekonzentration korreliert. Solange noch Glucose im Medium vorhanden war, nahm der pH-Wert ab. Deshalb sank er während der Herstellung der reinen Bakterienflüssighebeln bis zur achten und in den mit Hefe angesetzten Flüssighebeln nur bis zur vierten Stunde ab. Für die weiteren Untersuchungen wurde deshalb die Dauer der Herstellung der Flüssighebel von Misch- und Hefekulturen auf vier Stunden beschränkt.

Mit Ausnahme von *L. sanfrancisco* wurden von allen Bakterien in Mischkultur weniger Lactat und Acetat produziert als in Reinkultur. Aber nicht nur die Bakterien, sondern auch die Hefen wurden in ihrem Stoffwechsel gehemmt, denn der höchste Ethanolgehalt wurde in der Hefereinkultur gemessen. Die bakteriell gebildete Ethanolmenge war etwa zehnmal kleiner als die von den Hefen gebildete und spielte deshalb in den Mischkulturflüssighebeln keine Rolle.

Die in den Bakterienreinkulturen gebildeten auf 100 g verbrauchte Glucose berechneten Metabolitenmengen sind in Tabelle 8 dargestellt. Daraus geht hervor, dass die heterofermentativen Lactobazillen wesentlich weniger Lactat pro Gramm verwerteter Glucose bildeten als die übrigen Stämme. Die früheren Ergebnisse bezüglich der geringen Ethanol- und Acetatproduktion durch *L. plantarum* und *P. pentosaceus* wurden auch durch diese Versuche bestätigt und sind typisch für homofermentative Milchsäurebakterien (3).

Die Bildung von Acetat und Lactat ist in der Sauerteigbereitung wichtig, weil sich dadurch eine typische Sauerteigflora bildet, die gegenüber unerwünschten, die

Tabelle 8. Bildung von Ethanol, Acetat und Lactat in reinen Bakterienflüssighebeln im Weizenmehlmedium nach acht Stunden Inkubation bei 30 °C

Stamm	Ethanol	Acetat	Lactat
L. plantarum p3	0,4*	5,3	72,0
L. brevis b1	18,8	8,5	24,8
L. sanfrancisco s2	20,1	1,6	33,3
L. mesenteroides m2	21,8	13,2	64,2
P. pentosaceus t1	< 0,1	4,0	58,8

* g pro 100 g Glucoseverbrauch

Gärung störenden Mikroorganismen kompetitiv wirkt (14). Zudem können im Weizenmehlteig die viskoelastischen Eigenschaften des Klebers durch organische Säuren verbessert werden (15). Die Essigsäure ist zudem für den erwünschten sauren Geschmack der Roggenmehlbrote verantwortlich (13), und das Verhältnis von Lactat zu Acetat soll dem Brot seinen geschmacklichen Charakter geben (16). Auch bei Weizenmehlbroten ist zur Verbesserung der geschmacklichen Eigenschaften der Zusatz von organischen Säuren oder Bakterien vorgeschlagen worden (4).

Die am Ende der Herstellung der Flüssighebel aus Bakterienreinkulturen und Bakterienmischkulturen mit Hefen resultierenden Verhältnisse von Lactat zu Acetat zeigt Tabelle 9. Erwartungsgemäss ist dieser Quotient für die homofermentativen Bakterien höher als für die heterofermentativen. Es ergaben sich für *L. sanfrancisco* und *P. pentosaceus* grosse Unterschiede zwischen der Rein- und Mischkultur mit den Hefen, die unterschiedliche Ursachen hatten: Bei *P. pentosaceus* fand eine Hemmung der Lactatbildung und bei *L. sanfrancisco* eine Verstärkung der Acetatbildung statt.

Tabelle 9. Verhältnis von Lactat zu Acetat in Flüssighebeln bestehend aus Bakterien-Reinkulturen und Mischkulturen mit *S. cerevisiae* 250 im Weizenmehlmedium nach acht Stunden Inkubation bei 30 °C

Stamm	Bakterienreinkultur	Mischkultur mit *S. cerevisiae*
L. plantarum p3	13,8*	13,0
L. brevis b1	2,9	3,9
L. sanfrancisco s2	20,8	1,8
L. mesenteroides m2	5,3	2,3
P. pentosaceus t1	14,7	4,9

* g Lactat pro g Acetat

Vergleich von Backhefen und Flüssighebeln bei der Brotherstellung

Da der Trieb und das spezifische Gewicht nicht nur von der eingesetzten Starterkultur, sondern auch vom Alter des Mehls abhängt, wurden die mit Flüssig-

hebeln hergestellten Brote mit solchen verglichen, die mit Presshefe und der gleichen Mehlcharge produziert wurden. Obwohl jedesmal dieselbe kommerziell erhältliche Presshefe eingesetzt wurde, schwankte das spezifische Gewicht der daraus hergestellten Brote in einem grossen Bereich zwischen 0,23 und 0,31 g ml^{-1}. Deshalb wurde für jede Versuchsserie ein Brot mit Presshefe als Standard hergestellt. Als akzeptabler Höchstwert setzten *Brümmer* und *Lengerich* (17) ein spezifisches Gewicht von 0,25 g ml^{-1} fest.

Die Flüssighebel waren gegenüber der Flüssighefe durch Zugabe des Substrates um fast 20% verdünnt. Trotzdem wurden im fertigen Brot mit allen Hefestarterkulturen dasselbe spezifische Gewicht erreicht. Die Triebkraft der Hefen wurde also während der Herstellung der Flüssighebel nicht verschlechtert, obwohl in einer anderen Studie gezeigt werden konnte, dass die sich langsam vermehrenden Hefen zuwenig Trieb im Brotteig entwickelten und sich die Hefen während der Dauer der Herstellung der Flüssighebel nicht vermehrten (2). Die Resultate zeigen auch, dass die Flüssighebel gewichtsmässig etwa zehnmal höher zu dosieren sind als die konventionelle Presshefe, um ein vergleichbares spezifisches Gewicht der Brote zu erhalten.

Die mit Milchsäurebakterien angesetzten Flüssighebel enthielten höhere Bakterienkoloniezahlen, als sie in den Versuchen über die Herstellung von Flüssighebeln erreicht wurden, weil die Stämme im Fermenter mit einer pH-Regelung auf höhere Koloniezahlen vermehrt werden konnten. So resultierten am Ende der Herstellung der Flüssighebel für die Bakterien 5- bis 10mal höhere Koloniezahlen als für die Hefen.

Sensorische Beurteilung der hergestellten Brote

Intensitätstests

Sensorische Profilanalysen und Evaluationen von geschmacklichen und geruchlichen Teilqualitäten wurden von *Rothe* et al. (18) unter anderem für Roggenmehlbrote durchgeführt. Die Autoren verwendeten zwölf Begriffe als Bewertungsgrundlage, welche neben zehn beschreibenden auch die zwei wertenden Begriffe «Gesamteindruck» und «Off-flavour» enthielt. Aus diesem Begriffskatalog wurden nur zwei ausgewählt, um das nur wenig geschulte Panel nicht zu überfordern. Nicht alle Panelisten hätten unter Wörtern wie «kuchenbrotartig» oder «gärig» ohne intensive Schulung immer dasselbe verstanden. Zudem sollte sich das Kriterienspektrum auf eine rein beschreibende Sensorik konzentrieren und die Brotqualität nicht werten. Die Begriffe «hefig» und «säuerlich» wurden gewählt, weil beide Geschmack und Geruch beinhalten, eindeutig sind und die Aromaeigenschaften von Brot zwar nicht vollständig aber doch zu einem grossen Teil beschreiben.

Die Panelisten mussten ihre Wertungen für die Intensitätstests auf einer begrenzten Linienskala eintragen, wie sie ebenfalls von *Stone* und *Seidel* (19) beschrieben wurde. Ähnlich gingen auch *Weiss* und *Zenz* (20) bei ihren Untersuchungen zur Reduktion von Varianzen bei sensorischen Tests vor. Neben der mathematischen Aufarbeitung der Resultate und der intensiven Schulung der Panelisten

wurde auch der Einsatz von nichtparametrischen statistischen Methoden vorgeschlagen. In der Folge wurde der einfach durchführbare und nichtparametrische Signifikanztest nach *Dixon* und *Mood* (6) eingesetzt.

Die degustierten Brote waren bezüglich des Begriffs «hefig» nur in einem von 10 Fällen bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% signifikant unterscheidbar. Bei einer so hohen Irrtumswahrscheinlichkeit und der grossen Zahl der Degustationen ist es durchaus möglich, dass in einem Test nur zufällig Signifikanz resultierte. Die mit Flüssighebeln hergestellten Brote wurden tendenziell als weniger hefig beurteilt als die Standardbrote.

Wesentlich deutlicher waren die Resultate bezüglich der Intensität des Aromaeindrucks «säuerlich». Für die mit Flüssighebeln hergestellten Brote waren sämtliche Medianwerte höher als für die Standardbrote. Dabei konnten acht der zehn Medianwerte bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% signifikant unterschieden werden. Es fiel auf, dass der Median der Degustationen von mit reinen Hefeflüssighebeln hergestellten Broten mit 57 mm sogar leicht höher als der von mit Mischkulturflüssighebeln hergestellten Brote (Median = 52 mm) war. Ein höherer Zusatz von Milchsäurebakterien im Flüssighebel hat in der Degustation des daraus hergestellten Brotes sowohl bei *L. plantarum* als auch bei *L. sanfrancisco* eine Erhöhung des Medianwertes für «säuerlich» bewirkt. In den Untersuchungen von *Lönner* und *Preve-Åkesson* (13) hatte sich gezeigt, dass vor allem die Essigsäure den sauren Geschmack im Roggenmehlbrot bewirkt. Dies erklärt, weshalb das mit *P. pentosaceus* hergestellte Brot nicht als signifikant saurer als das Standardbrot beurteilt wurde. Erstaunlich ist jedoch, dass die mit dem heterofermentativen *L. brevis* hergestellten Brote nicht immer sicher unterschieden werden konnten.

Eine Zusammenfassung und Rangierung der Resultate der Intensitätstests der mit Presshefe, Hefehebel und Mischkulturhebel hergestellten und degustierten Brote zeigt Abbildung 3.

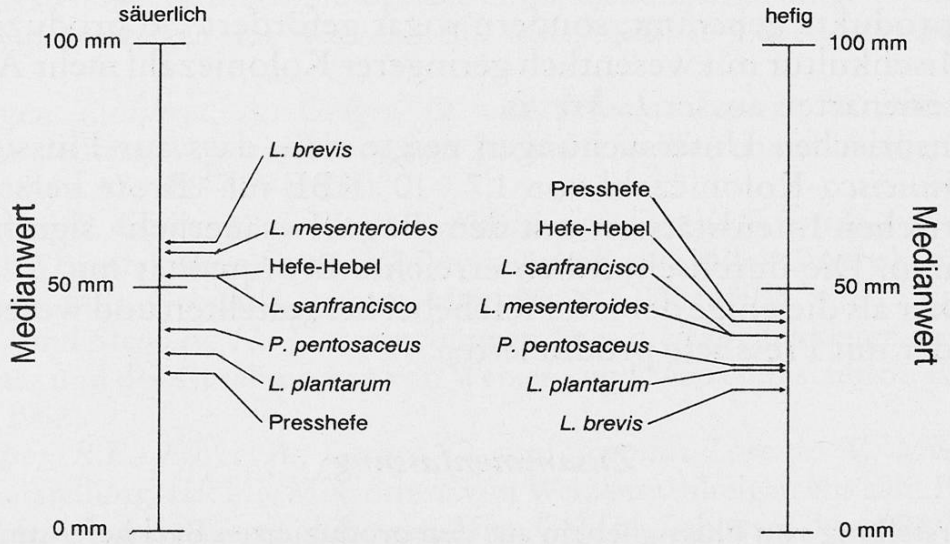

Abb. 3. Statistische Auswertung der von 13 Panelisten vorgenommenen sensorischen Intensitätstests von Broten, die mit mikrobiell unterschiedlich zusammengesetzten Hebeln hergestellt wurden.

Qualitätsbeurteilung

Die sensorische Qualität wurde von fünf Bäckern, die solche Untersuchungen routinemässig auch mit anderen Broten durchführen, geprüft. Damit lässt sich die geringe Streuung der Einstufungen für ein untersuchtes Brot erklären. Diese Qualitätsbeurteilung dürfte nicht repräsentativ für alle Brotkonsumenten der Schweiz sein, weil die Auswahl von fünf Bäckern zu spezifisch war. Deutliche Qualitätsunterschiede wurden von den Bäckern auch bei Broten gefunden, die von den Panelisten in der beschreibenden Prüfung nicht sicher unterschieden werden konnten. Die Flüssighebelbrote wurden um durchschnittlich mehr als eine Einheit besser beurteilt, als die mit der konventionellen Presshefe hergestellten. Die mit reinen Hefeflüssighebeln hergestellten Brote besassen die Qualität 4,0 (Median), die Qualität der mit Milchsäurebakterien hergestellten Brote eine leicht höhere Qualität von 4,25 (Median). Die mit *L. sanfrancisco, L. brevis, L. plantarum* und *L. mesenteroides* hergestellten Brote erreichten mit 4,25 und mehr Punkten die höchsten Qualitäten, obwohl vor allem bei den letzten beiden Stämmen das spezifische Gewicht der Brote unter 0,26 g l^{-1} und damit nach den Angaben von *Brümmer* und *Lengerich* (17) genügend war.

L. sanfrancisco

L. sanfrancisco wurde ursprünglich aus einem Weizenmehlsauerteig in San Francisco isoliert (21). Daraus könnte man schliessen, dass diese Art besonders gut an die Bedingungen in Weizenmehlmedien und der Mischkultur mit Hefen angepasst ist.

In den Untersuchungen der Milchsäurebakterienhebel wurden aber im Vergleich zu anderen Bakterienarten nur zehnmal geringere Koloniezahlen erreicht. Im Gegensatz zu den übrigen Stämmen wurde aber *L. sanfrancisco* durch Mischkultur mit Hefen weder in der Vermehrung noch in der Menge der produzierten Stoffwechselprodukte gehemmt, sondern sogar gefördert. So produzierte *L. sanfrancisco* in Mischkultur mit wesentlich geringerer Koloniezahl mehr Acetat als alle anderen Bakterienarten ausser *L. brevis.*

In den sensorischen Untersuchungen zeigte sich, dass aus Flüssighebeln mit einer *L. sanfrancisco*-Koloniezahl von $1{,}7 \cdot 10^8$ KBE ml^{-1} Brote herstellen lassen, die im sensorischen Intensitätstest mit dem Begriff «säuerlich» signifikant unterscheidbar waren. Die durchschnittlich erreichte Brotqualität mit *L. sanfrancisco* war etwas höher als diejenige der mit Hefehebel hergestellten und wesentlich höher als diejenige der mit Presshefe produzierten.

Zusammenfassung

Bei der Herstellung von Flüssighebeln aus den produzierten Backhefe- und Milchsäurebakterienkulturen vermehrten sich die Milchsäurebakterien in Reinkultur um einen grösseren Faktor als in Mischkultur mit Hefen. Die Zellzahl der Hefen blieb konstant. Mit Ausnahme von *L. sanfrancisco* bildeten die Bakterien in Mischkultur weniger Lactat als in

Reinkultur. Die sensorische Qualität der mit Hebeln hergestellten Brote wurde von fünf Bäckern höher bewertet als die der Presshefebrote. Von einem durchschnittlich 13 Personen umfassenden Panel wurden die Hebelbrote in Intensitätstests signifikant säuerlicher und etwas weniger hefig beurteilt.

Résumé

Pendant la production d'un levain liquide à base de levures et de cultures de bactéries lactiques, les bactéries se reproduisaient plus vite en culture séparée qu'en culture mixte avec des levures. Le nombre cellulaire des levures restait constant. A l'exception de *L. sanfrancisco,* toutes les bactéries donnaient des quantités d'acide lactique plus petites en culture mixte qu'en culture séparée. Cinq boulangers préféraient le pain de levain au pain de levure de boulanger. 13 personnes ont jugés le pain de levain plus acide et ayant moins le goût de levure.

Summary

During the production of liquid preferments from pregrown cultures of baker's yeast and lactic acid bacteria, the bacteria multiplied in pure cultures by a higher factor than in mixed culture. The yeast number stayed constant. With the exception of *L. sanfrancisco,* all bacteria in mixed culture made lower amounts of lactic acid than in pure culture. A panel consisting of five bakers preferred the sensory quality of bread produced with preferments to bread produced with pressed baker's yeast. A panel consisting of 13 persons judged the bread produced with preferments significantly more sour and less yeasty than the bread produced with pressed baker's yeast.

Literatur

1. *Hochstrasser, R.E., Ehret, A., Geiges, O.* und *Schmidt-Lorenz, W.:* Mikrobiologie der Brotteigherstellung. II. Mikrobiologische Untersuchungen an unterschiedlich hergestellten Spontansauerteigen aus Weizenmehl. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **84,** 356–381 (1993).
2. *Merseburger, T., Ehret, A., Geiges, O.* und *Schmidt-Lorenz, W.:* Mikrobiologie der Brotteigherstellung. V. Vermehrung von Backhefe in Weizenmehlmedien. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **85,** 608–629 (1994).
3. *Merseburger, T., Ehret, A., Geiges, O., Kammerer, D.* und *Schmidt-Lorenz, W.:* Mikrobiologie der Brotteigherstellung. VI. Vermehrung von Milchsäurebakterien in Weizenmehlmedien. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **86,** 000–000 (1995).
4. *Schulz, A.* und *Stephan, H.:* Untersuchungen über die Möglichkeiten zur Verbesserung der Qualität und des Geschmackes von Weizen- und Weizenmischbrot. Brot, Gebäck **11,** 203–209 (1962).
5. *Hochstrasser, R.E., Ehret, A., Geiges, O.* und *Schmidt-Lorenz, W.:* Mikrobiologie der Brotteigherstellung. III. Die Mikroflora von Weizenmehlteigen aus acht Bäckereien nach direkter, Hebel- und Sauerteigführung. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **84,** 581–621 (1993).
6. *Dixon, W. J.* and *Mood, A. M.:* The statistical sign test. J. Amer. Statist. Assoc. **41,** 557–566 (1946) in Sachs, L.: Angewandte Statistik, 4. Auflage. Springer Verlag, Berlin 1946.

7. *Opuszynska, H.* und *Kowalczuk, M.:* Einfluss der Konsistenz auf die Dynamik der Entwicklung der Mikroflora in Roggenteigen und auf die Qualität des Gebäckes. Brot, Gebäck **21,** 7–13 (1967).
8. *McLaren, L. H.:* The practical aspects of the stable ferment baking process. Baker's Digest **28,** 41 (1954).
9. *Robinson, R. J., Lord, T. H., Johnson, A. J.* and *Miller, B. S.:* Studies on the decrease of the bacterial population in preferments. Cereal. Chem. **35,** 306–317 (1958).
10. *Lemaresquier, H.:* Inter-relationship between strains of *Saccharomyces cerevisiae* from the Champagne area and lactic acid bacteria. Letters Appl. Microbiol. **4,** 91–94 (1987).
11. *Kulp, K., Chung, H., Martinez-Anaya, M. A.* and *Doerry, W.:* Fermentation of water ferments and bread quality. Cereal Chem. **62,** 55–59 (1985).
12. *Spicher, G., Rabe, E., Sommer, R.* und *Stephan, H.:* Die Mikroflora des Sauerteiges, XIV. Mitteilung: Über das Verhalten homofermentativer Sauerteigbakterien und Hefen bei gemeinsamer Kultur. Z. Lebensm.-Unters.-Forsch. **173,** 291–296 (1981).
13. *Lönner, C.* and *Preve-Åkesson, K.:* Effects of lactic acid bacteria on the properties of sour dough bread. Food Microbiol. **6,** 19–35 (1989).
14. *Spicher, G.* und *Mastik, G.:* Über die Wechselwirkungen zwischen den Lactobacillen des Sauerteiges und der Mikroflora des Mehles. Getreide, Mehl, Brot **11,** 338–342 (1988).
15. *Richard-Molard, D.* und *Cahagnier, B.:* Bildung von Essigsäure und Milchsäure im Verlauf der Teigführung: Auswirkungen auf den Brotgeschmack. Getreide, Mehl, Brot **6,** 147–149 (1980).
16. *Spicher, G.:* Einige neue Aspekte der Biologie der Sauerteiggärung. Getreide, Mehl, Brot **1,** 12–17 (1982).
17. *Brümmer, J. M.* und *Lengerich, B. V.:* Über das Tiefgefrieren von Weizenbrotteigen. Lebensm. Technol. **3,** 18–21 (1980).
18. *Rothe, M., Engst, W.* und *Specht, M.:* Beispiele für die Lösung von Aromaproblemen mittels sensorischer Profilmethoden. Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm. **7,** 1–8 (1981).
19. *Stone, H.* and *Seidel, J. L.:* Sensory evaluation practices. Academic Press, Orlando 1985.
20. *Weiss, J.* and *Zenz, H.:* Reduction of panel variances by a simple two-step normalization procedure for graphical line scale. Acta Alim. **18,** 313–323 (1989).
21. *Sneath, P. H. D., Mair, N. S., Sharpe, M. E.* and *Holt, J. G.:* Bergey's manual of systematic bacteriology, Vol. 2. Williams and Wilkins, Baltimore 1986.

Dr. T. Merseburger
Givaudan-Roure Aromen AG
CH-8600 Dübendorf