

Enzyme - gute Freunde des Mehls

Kleine Helfer des Müllers

Dr. Lutz Popper, Mühlenchemie GmbH & Co. KG, Ahrensburg

Lange Zeit hatte man angenommen, α - und β -Amylasen seien die einzigen Enzyme, die in der Mühlenindustrie verwendet werden könnten. Mit der Einführung der Hemicellulasen vor etwa 20 Jahren hat sich diese Einstellung bereits teilweise geändert und seit dem Erfolg der lipolytischen Enzyme erst recht. Es gibt noch viel mehr Enzyme, die bei gewissen Anwendungen eine Nebenrolle übernehmen (Tabelle 1), aber vielleicht eines Tages ebenso vielseitig eingesetzt werden können, wie die bereits erwähnten. Dieser Vortrag befasst sich mit den weniger bekannten Eigenschaften herkömmlicher Enzyme und einigen weniger bekannten Anwendungen bekannter Enzyme.

Tabelle 1: Enzyme, die der Verbesserung von Brot und Mehl dienen können¹

Enzyme	Wirkung
Pilz- α -Amylase	Energielieferant für Hefe
Bakterielle α -Amylase	Verflüssigung
α -Amylase, mittlere Hitzestabilität	Verhindert Altbackenwerden
Amyloglucosidase (Glucoamylase)	Energielieferant, bessere Farbe, besseres Aroma
Glucotransferase (Verzweigungsenzym)	Wasserbindevermögen
Cellulase	Wasserbindevermögen
Furanosidase, Arabinofuranosidase	Teigstruktur, Wasserbindevermögen
Ferulsäure- und Cumarsäureesterase	Teigstruktur, Wasserbindevermögen
Glutathionoxidase	Stärkung des Proteins
Glycolipase, Galactolipase	Teigstabilität und Volumenausbeute
β -Glucanase	Struktur, Verflüssigung
Glucoseoxidase, Galactoseoxidase, Hexoseoxidase	Stärkung des Proteins
Hemicellulase, Xylanase, Pentosanase	Teigstruktur, Wasserbindevermögen, Volumenausbeute
Laccase, Polyphenoloxidase	Teigstabilität
Lipase	Aroma, <i>in-situ</i> Emulgierung, Teigstabilität, Volumenausbeute
Lipoxygenase, Lipoxidase	Teigstruktur, Entfärbung
exo-Peptidase	Farbe, Aroma
Peroxidase	Stärkung des Proteins
Phospholipase	Porenstruktur und Volumenausbeute
Protease, Proteinase	Proteinlockerung, Verflüssigung
Pullulanase	Struktur, Wasserbindevermögen
Sulphhydroxidase	Stärkung des Proteins
Sulphydryltransferase	Stärkung des Proteins
Transglutaminase	Vernetzung des Proteins, Stabilisierung des Glutens

¹ Tabelle ohne Anspruch auf Vollständigkeit

Der Begriff „Hemicellulase“ bezeichnet eine Familie von Enzymen. Alle Mitglieder dieser Familie, die in Abbildung 1 aufgeführt sind, können Pentosane abbauen. Allerdings wirken diese Enzyme sehr unterschiedlich auf Teig und Backeigenschaften.

Es wird angenommen, dass Pentosane mit Gluten ein Netzwerk ausbilden, Je mehr Pentosane hierbei involviert sind, desto fester wird dieses Netz. Daher haben dunklere Weizenmehle und Mischungen mit Roggenmehl eine geringere Volumenausbeute als weiße Mehle. Durch Zusatz von Hemicellulasen kann die Volumenausbeute bei allen Mehlen erheblich verbessert werden.

Die meisten dieser Enzyme werden aus *Aspergillus*-Stämmen gewonnen, die speziell für die Produktion von Hemicellulasen selektiert wurden bzw. darin spezialisiert sind.

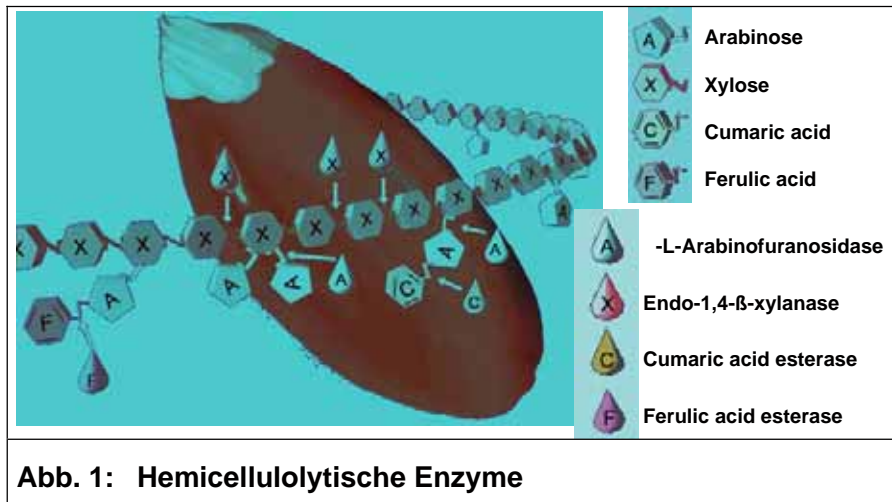
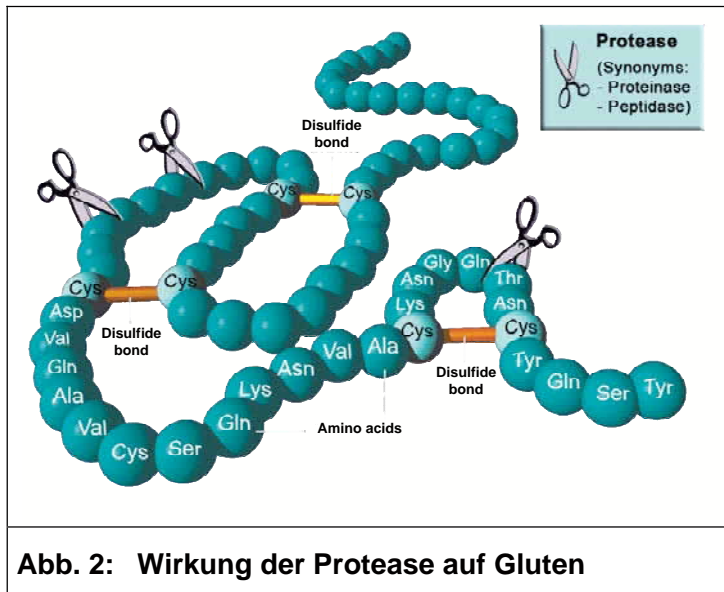


Abb. 1: Hemicellulolytische Enzyme

Hemicellulasen werden meistens in Verbindung mit Amylasen angeboten. Eine allgemeine Empfehlung zur Dosierung kann nicht gegeben werden, denn es gibt kein Standardverfahren zur Bestimmung der Aktivität von Hemicellulasen. Die verfügbaren Verfahren basieren in der Regel auf der Bestimmung entweder der Freisetzung reduzierender Zucker, der Verringerung der Viskosität oder des Abbaus synthetischer oder Farbmoleküle und lassen sich nur schwer miteinander vergleichen. Darüber hinaus würde auch ein Standardverfahren für die verschiedenen Hemicellulasen nicht unbedingt Rückschlüsse auf die Backeigenschaften zulassen, denn es gibt zu viele Möglichkeiten, an welchen Stellen Hemicellulasen verschiedener Herkunft die Pentosanmoleküle angreifen.

Protease

Proteasen (auch als Proteinasen oder Peptidasen bekannt) spalten den Proteinstrang des Glutenmoleküls (Abb. 2) und verursachen daher zunächst ein Erweichen und dann einen vollständigen Zusammenbruch der Struktur. Nur eine reine und hochspezifische Protease ist in der Lage, einige wenige Peptidbindungen aufzuspalten und damit eine nur begrenzte Erweichung bewirken.



Bei kürzeren Glutenstrukturen könne eine geringe Erweichung wünschenswert sein. In diesem Fall ist die Bedeutung ähnlich wie der Einsatz von Cystein. Die proteolytische Wirkung ist zeitabhängiger als die Wirkung des Cysteins. Sie nimmt mit der Gärzeit des Teiges zu. Daher stammt die ausdrückliche Nachfrage nach Enzympräparaten, die nicht einmal Spuren von Protease enthalten.

Der Einsatz von Protease in Mehlen, die viel Gluten enthalten, ist weniger kritisch. Bei der Herstellung von amerikanischem Toastbrot ist er sogar üblich, denn hier wird ein weicher Teig verlangt, der die Form gut ausfüllt. Proteasen sind auch bei der Herstellung von Mehlen für Cracker, Kekse oder Waffeln hilfreich, weil dort die Elastizität des Glutens nicht erwünscht ist.

Enzyme für Kekse, Cracker, Waffeln

Während für die Herstellung von Broten ein hoher Proteingehalt und ein starkes Gluten erwünscht sind, bevorzugt man für Dauerbackwaren Mehle mit wenig und schwachem Gluten. Die Gründe hierfür liegen in der Tendenz des Teigs, sich nach dem Ausrollen wieder zusammenzuziehen, und in der unerwünschten Bildung von Glutenklümpchen im Waffelteig. Egal, ob ein Mehl mit geringem Proteingehalt oder schwachem Protein verfügbar ist oder nicht, der Einsatz von elastizitätsverringernenden Mitteln ist auf allen Stufen des Herstellungsverfahrens von Vorteil. Das Tourieren gelingt viel einheitlicher, das Ausrollen auf die gewünschte Teigdicke kann schneller und reproduzierbarer geschehen, die Ruhezeiten des Teigbandes können verkürzt oder gar ausgelassen werden, die Teiglinge behalten nach dem Ausstechen ihre Form bei, der Teig wird im Ofen weder schrumpfen noch sich verformen und auch keine Haarrisse entwickeln. Mit geeigneten Amylasen benötigt man keine kostspieligen Rezepturbestandteile wie Milchkomponenten für die Bräunung mehr. Das gesamte Verfahren wird weniger von der Mehlqualität abhängig.

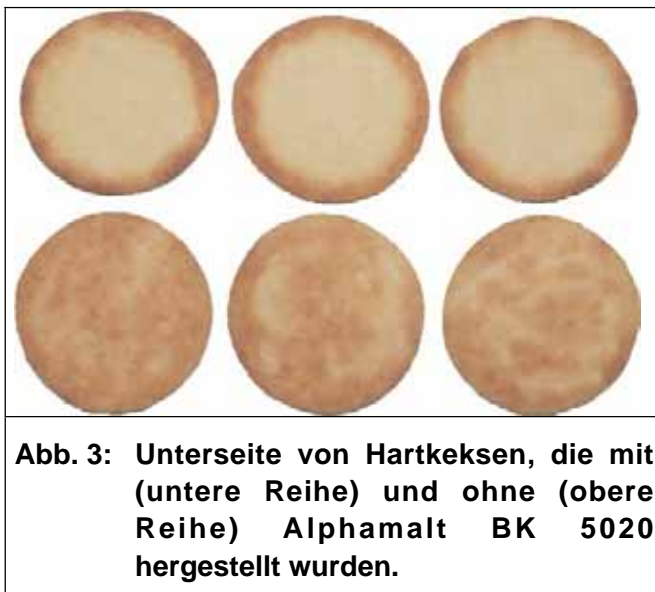
Anwendungsbereiche Kekse und Cracker

Tabelle 2 zeigt Rezepturen für einfache Hartkekse, die mit (Alphamalt BK 5020) und ohne Protease hergestellt wurden. In der letzten Zeile werden die Maße der Kekse verglichen. Wie das Verhältnis Länge zu Breite (Durchschnitt von 25 Keksen) zeigt, gibt es fast keine Unterschiede in der Länge und Breite der Kekse mit Enzymzusatz, während die Kekse ohne Enzyme in einer Richtung schrumpfen.

Tabelle 2: Kekse hergestellt mit und ohne bakterielle Protease

Zutat (kg)	ohne Protease	mit Protease
Mehl	100	100
Fett	50	50
Zucker	50	50
Salz	0,2	0,2
Wasser	10	10
Alphamalt BK 5020	-	0,05
<hr/>		
Länge/Breite (mm)	62,3 / 59,6	63,6 / 63,3

Da die Protease einen großen Teil der inneren Spannung abbaut, neigen die Produkte auch beim Backen weniger dazu, sich zu verformen. In der oberen Reihe der Abbildung 3 wird die Unterseite von Keksen gezeigt, die ohne Protease gebacken wurden. Die Kekse sind fast nur am Rand gebräunt, nämlich dort, wo sie Kontakt mit der Backfläche hatten. Diese Kekse verformten sich während des Backens konvex, da das Protein während der thermischen Denaturierung asymmetrisch schrumpfte. Dieses Problem kann man bei vielen im Markt befindlichen Produkten beobachten. Die mit Protease hergestellten Kekse (untere Reihe) bleiben flach und haben daher eine einheitlich gebräunte Unterseite.



Anwendungsbereich Waffeln

Massen für die Herstellung von Waffeln enthalten eine große Menge Wasser. Um gleichmäßige Waffeln mit einer homogenen Struktur herstellen zu können, ist eine geringe Viskosität und eine gleichmäßige Dispersion der Zutaten wichtig. Die Bildung von Glutenklümpchen kann zum Maschinenstillstand durch blockierte Leitungen und Siebe führen. Außerdem kann es sein, dass die gebackenen Waffeln uneinheitlich braun werden und weniger haltbar sind. Daher ist die Verwendung von proteinarmem Mehl wünschenswert, mag aber nicht unbedingt auch ausreichend sein. Verflüssigende hydrolytische Enzymkomplexe bauen jegliches Gluten in der flüssigen Masse ab. Man erhält eine einheitliche Mischung mit optimalen Fließeigenschaften.

Da zudem noch die Viskosität verringert wird, braucht auch nur weniger Wasser zugesetzt werden. Beim Backen wird dadurch weniger Energie benötigt und der Ofen durch kürzere Backzeiten besser ausgelastet. Solche Enzyme eignen sich meist für semi-kontinuierliche Verfahren mit Haltezeiten von mindestens 10 Minuten, da die enzymatische Reaktion einige Zeit benötigt.

Mit einem Brabender Amylograph haben wir bei konstanter Temperatur in einer einfachen Untersuchungsreihe die Wirkung eines „Waffelenzyms“ auf die rheologischen Eigenschaften eines flüssigen Teiges festgestellt (Abbildung 4). Für die Tests wurde ein Standardweizenmehl für Brote eingesetzt. In einem Braun-Mixer wurden 250 g Mehl mit 330 ml Wasser für 1 Minute 45 Sekunden gemischt und dann in ein Reaktionsgefäß überführt. Einer Probe wurde vor Beginn des Mixens das Waffelenzym Alphamalt LQ 4020 in einer Dosierung von umgerechnet 20 g auf 100 kg Mehl zugesetzt. Die Referenzprobe behielt ihre Viskosität für etwa 40 Minuten annähernd bei, während das Enzym einen sofortigen Viskositätsabfall bewirkte. Weiterhin - so kann man an der Kurve ablesen - wurden alle Glutenstränge komplett zerstört. Im Gegensatz dazu zeigte die Referenzprobe starke Schwankungen, die von Glutenklümpchen oder -Strängen stammen, die an dem Mixwerkzeug des Amylographen anhafteten.

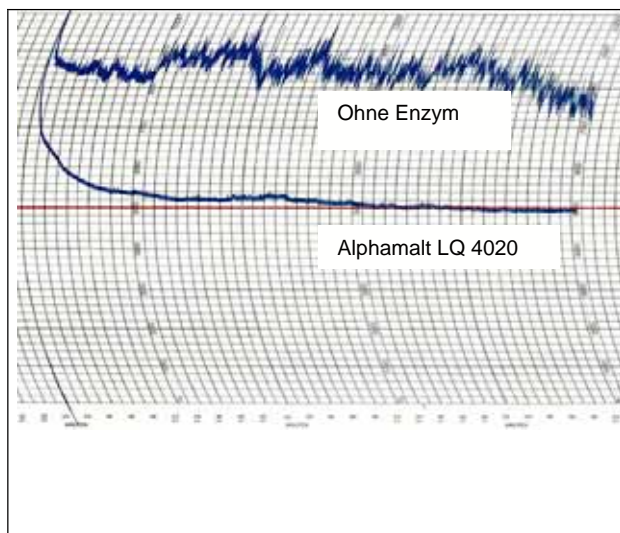


Abb. 4: Wirkung von Alphasymalt LQ 4020 auf die Viskosität von Weizenmehlteig für Waffeln

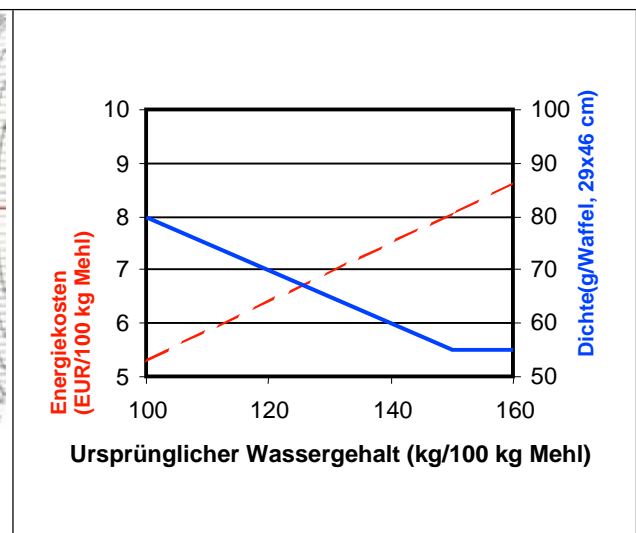


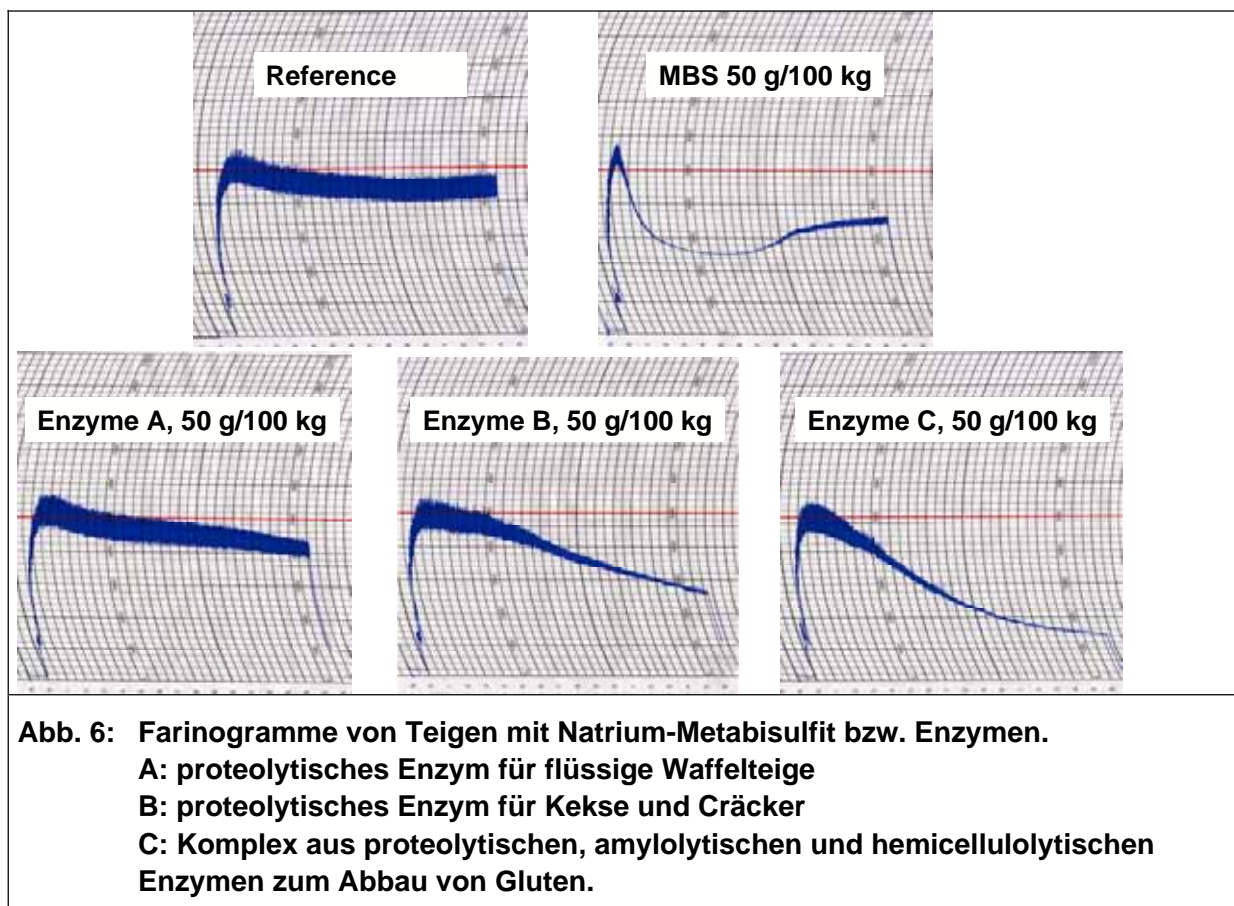
Abb. 5: Auswirkungen des Wasserzusatzes auf die Verdampfungskosten

Bei Backversuchen im Pilotmaßstab gelang es, die Wasserzugabe mit Hilfe von Enzymen zu steuern und damit auf Gewicht und Dichte der Waffeln Einfluss zu nehmen. Das bietet große wirtschaftliche Vorteile (geringerer Energiebedarf, höherer Durchsatz) und mehr Freiheiten bei der Produktentwicklung (Abb. 5). Waffeln mit größerer Dichte sind knuspriger und bleiben wegen der geringeren Wasseraufnahme auch länger knusprig.

Ersatz von Natrium-Metabisulfit bei der Herstellung von Cräckern und Waffeln

Natrium-Metabisulfit ist ein starkes Reduktionsmittel, das die Bindungen innerhalb und zwischen den Glutenmolekülen aufspaltet. Dadurch tritt eine sofortige Verringerung des Teigwiderstandes bzw. der Teigviskosität ein. Natrium-Metabisulfit ist sehr preiswert und einfach in der Anwendung.

In vielen Ländern wird Natrium-Metabisulfit daher noch zur Herstellung von Waffeln und Cräckern eingesetzt. Leider zerstört dieses Mittel Vitamin B1 und kann bei empfindlichen Menschen gesundheitliche Probleme verursachen. Außerdem hemmt es die Bräunungsreaktion und verursacht einen schwefelartigen Nachgeschmack. Enzyme sind nicht nur eine gesunde Alternative zu Natrium-Metabisulfit, sie haben auch bestimmte technische Vorzüge. Sie bewirken konstante Teigeigenschaften, sobald die Reaktion abgeschlossen ist. Dazu gehört auch eine vergleichbare Textur von Alteig und frischem Teig, eine geringere Wasseraufnahme in Waffelteig und die Steuerung der Dichte und Stabilität von Waffeln.



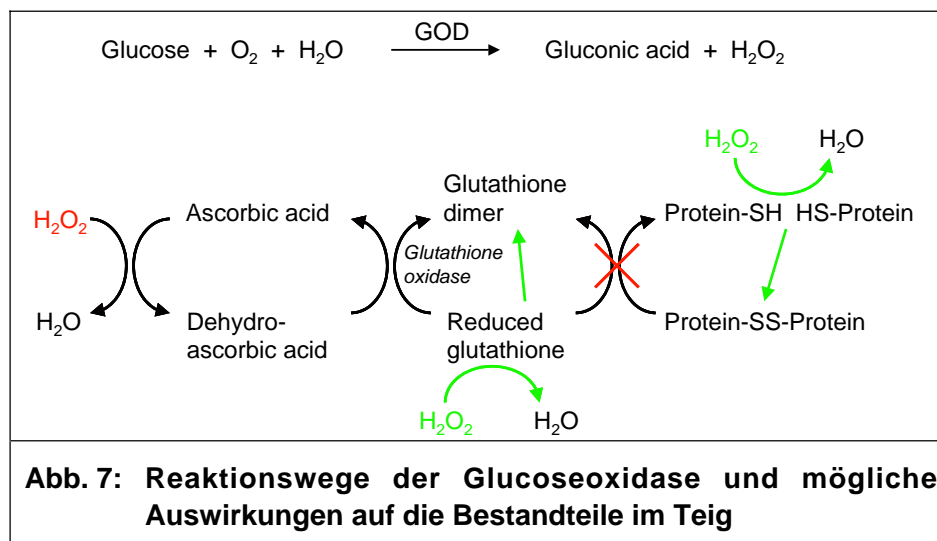
Bei einem Versuch im Farinographen zeigten sowohl Natrium-Metabisulfit als auch Enzyme einen starken Abfall des Knetwiderstandes (Abb. 6). Die Reaktion von Natrium-Metabisulfit ist schneller. Wahrscheinlich bedingt durch die Anwesenheit von Luftsauerstoff wird ein Teil der Widerstandskraft beim kontinuierlichen Mischen wieder aufgebaut, wenn sich die durch Natrium-Metabisulfit aufgebrochenen Disulphitbrückenbindungen erneut bilden (oben rechts).

Die langsamere, nichtsdestotrotz jedoch andauernde Reaktion der Enzyme mündet in einen minimalen Widerstandswert, nachdem das gesamte Substrat der Enzyme aufgeschlossen wurde.

Glucoseoxidase

Das Enzym Glucoseoxidase wird im Allgemeinen aus dem Schimmelpilz *Aspergillus* gewonnen, manchmal auch aus Stämmen von *Penicillium*. Honig enthält ebenfalls viel Glucoseoxidase. Das Enzym stammt aus den Rachendrüsen der Bienen. Seine Eignung ist wegen des Geschmacks des Trägerstoffs eingeschränkt.

Eine Wirkung der Glucoseoxidase im Teig besteht in der Oxidation der Glucose mit daraus resultierender Bildung von Gluconsäure unter Mithilfe von Luftsauerstoff. Die leichte Säuerung, die während dieses Prozesses auftritt, kann vernachlässigt werden. Eine weitere Wirkung ist die Transformation von Wasser in Wasserstoffperoxid (Abb. 7). Dieses Oxidationsmittel wirkt auf die Thiolgruppen im Gluten, und zwar entweder direkt oder über mehrere Stoffwechselwege. Es bilden sich Disulfidbrücken, die eine Stärkung des Proteins bewirken. Der einschränkende Parameter in diesem Verfahren ist die Verfügbarkeit von Sauerstoff. Neben anderen chemischen Reaktionen, die Sauerstoff verbrauchen, benötigt auch die Hefe vor der eigentlichen Fermentation Sauerstoff, denn zu Beginn atmet sie eher als dass sie fermentiert. Das bedeutet, dass die Bedingungen für Glucoseoxidase nur auf der Oberfläche des Teiges gut sind, weil dort ausreichend Sauerstoff verfügbar ist. Dieser Einschränkung kann mit Hilfe technischer Maßnahmen während der Teigzubereitung begegnet werden, beispielsweise durch Überdruck oder die Einbringung von Sauerstoff durch das Mischwerkzeug.

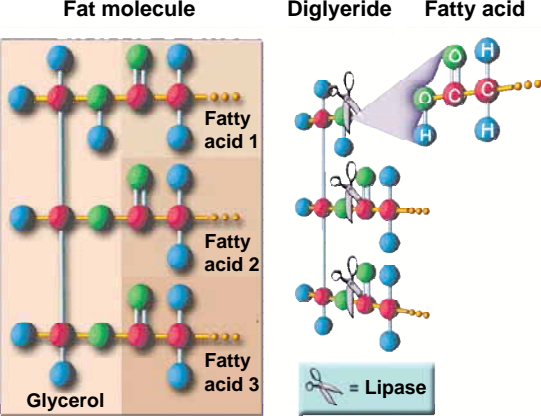


Lipolytische Enzyme

Lipase ist ein weiteres Wunderenzym, das lange unterschätzt wurde. Das Enzym verwandelt nicht-polare Lipide in Diglyceride und Monoglyceride, d.h. in Emulgatoren (Abb. 8). In Weizenmehl sind auch polare Lipide anwesend, insbesondere Phospholipide und Glycolipide (Abb. 9), die durch spezielle Lipasen oder Phospholipasen in ihre eher hydrophilen Lysoformen umgewandelt werden können.

Diese *in situ*-Bildung von Emulgatoren bewirkt eine Festigung des Teiges und eine höhere Volumenausbeute, aber keine längere Haltbarkeit. Das steht im Gegensatz zur Wirkung der Mono- und Diglyceride, die Brotrezepturen zugesetzt werden. Durch Wechselwirkung mit Stärke sind diese in der Lage, das Altbackenwerden zu verringern. Andererseits ist die Auswirkung auf die Volumenausbeute nur sehr gering. Wahrscheinlich ist die Wirkung der enzymatisch gebildeten Emulgatoren auf die Volumenausbeute deswegen so ausgeprägt, weil diese Emulgatoren sich bereits im Teig an der für die Verbesserung der Teigeigenschaften richtigen Stelle befinden. Für eine Verzögerung des Altbackenwerdens reicht jedoch die Menge des gebildeten Emulgators nicht aus, um die Retrogradation der Stärke zu behindern. Interessant ist noch die Diskussion der Frage, ob Teige zusätzlichen Fett enthalten sollten, und falls ja, welches, damit die Lipasen zufrieden stellend arbeiten können. Gemäß unserer Erkenntnisse verringert Fett die Wirksamkeit der Lipase, da es das Enzym vom „richtigen Ziel“, nämlich den Lipiden im Mehl „ablenkt“.

Es gibt auch das Problem der möglichen Beeinträchtigung des Geschmacks aufgrund der Freisetzung geschmacksaktiver Fettsäuren, insbesondere wenn Butter im Teig enthalten ist. Für bestimmte Anwendungsbereiche ist jedoch der Einsatz von Lipasen sehr hilfreich.

 <p>Fat molecule Diglyceride Fatty acid</p> <p>Fatty acid 1 Fatty acid 2 Fatty acid 3</p> <p>Glycerol</p> <p>= Lipase</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Total lipids</td><td>1,280</td></tr> <tr><td>Non-polar lipids</td><td>457</td></tr> <tr><td>Polar lipids</td><td>823</td></tr> <tr><td>Phosphatides</td><td>250</td></tr> <tr><td>Phosphatidyl acid</td><td>30</td></tr> <tr><td>Phosphatidylglycerol</td><td>51</td></tr> <tr><td>Phosphatidylcholine</td><td>27</td></tr> <tr><td>Phosphatidylethanolamine</td><td>traces</td></tr> <tr><td>Phosphatidylserine</td><td>15</td></tr> <tr><td>Lyso-phosphatidylcholine</td><td>117</td></tr> <tr><td>Lyso-phosphatidylethanolamine</td><td>10</td></tr> <tr><td>Total galactolipids</td><td>249</td></tr> <tr><td>Other polar lipids</td><td>320</td></tr> </tbody> </table>	Total lipids	1,280	Non-polar lipids	457	Polar lipids	823	Phosphatides	250	Phosphatidyl acid	30	Phosphatidylglycerol	51	Phosphatidylcholine	27	Phosphatidylethanolamine	traces	Phosphatidylserine	15	Lyso-phosphatidylcholine	117	Lyso-phosphatidylethanolamine	10	Total galactolipids	249	Other polar lipids	320
Total lipids	1,280																										
Non-polar lipids	457																										
Polar lipids	823																										
Phosphatides	250																										
Phosphatidyl acid	30																										
Phosphatidylglycerol	51																										
Phosphatidylcholine	27																										
Phosphatidylethanolamine	traces																										
Phosphatidylserine	15																										
Lyso-phosphatidylcholine	117																										
Lyso-phosphatidylethanolamine	10																										
Total galactolipids	249																										
Other polar lipids	320																										
<p>Abb. 8: Wirkung von Lipase auf Fettmoleküle</p>	<p>Abb. 9: Durchschnittliche Zusammensetzung der Lipidfraktion (mg/100 g) in Mehl (0,405 % Asche)</p>																										

Dampfbrot

Chinesisches Dampfbrot wird häufig aus Weizenmehl hergestellt, das wenig oder nur moderate Mengen an Protein enthält. Das Herstellungsverfahren ist häufig dem von westlichem Kastenbrot sehr ähnlich, aber der Teig wird in einer Dampfkammer oder einem Korb gedämpft und nicht in einem Ofen gebacken. Daher sieht dieses Brot anders aus. Dampfbrot ist weiß und hat eine weiche, glänzende Oberfläche. Am ehesten ist Dampfbrot mit Dampfnudeln oder Germknödeln zu vergleichen, auch wenn die Rezeptur etwas abweicht. Normal sind Brotgewichte zwischen 30 und 120 g. Die Brote sind entweder kissenförmig oder rund (Abb. 10 und 11).



Abb. 10: Gedämpftes Brot in Kissenform



Abb. 11: Rundes gedämpftes Brot

Enzyme wie Amylasen oder Hemicellulasen verbessern allgemein das Aussehen von Dampfbrot. Für einige Arten der Dampfbrote scheinen Lipasen sehr interessant zu sein. Insbesondere nach langem Kneten oder einer Langzeitführung können erhebliche Auswirkungen auf die Teigstabilität und Volumenausbeute beobachtet werden. Wie in Abb. 12 gezeigt, lag die Zunahme des Volumens bei 70 %. Diese Wirkung ist hochgradig verfahrensabhängig und kann daher nicht auf alle Methoden der Teigzubereitung übertragen werden.

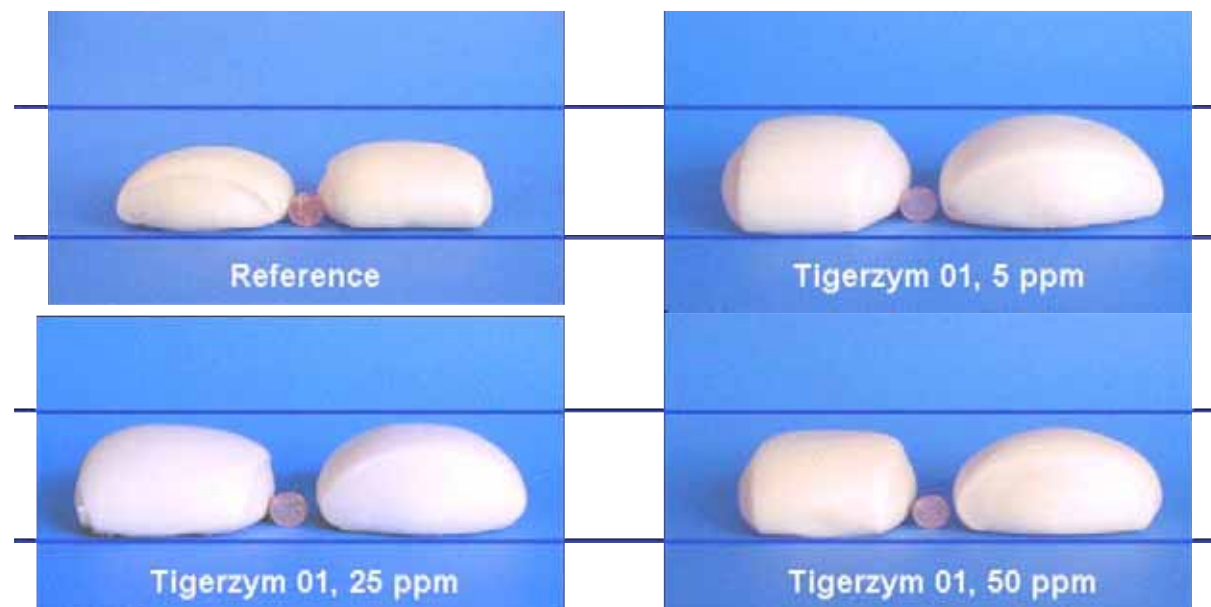


Abb. 12: Wirkung eines Enzympräparates mit Lipase (Tigerzym 01) auf die Größe von Dampfbrot. Die Volumenausbeute pro 100 g Mehl betrug 300, 447, 477 bzw. 512 ml (von links oben nach rechts unten)

Das Wirken des Teiges unterstützt die vorteilhafte Wirkung der Lipase. Das liegt wahrscheinlich an der größeren Oberfläche, die mit dem Luftsauerstoff in Berührung kommt. Bei der Lipolyse entstehen durch die Wirkung der Lipoxygenase aus dem Weizen und bei Anwesenheit von ausreichend Sauerstoff aus den Fettsäuren Hydroperoxide. Diese wiederum reagieren mit Bestandteilen des Mehls. Neben einer Verfestigung des Teiges tritt eine Bleichwirkung ein, da die Carotinoide aus dem Mehl oxidiert werden.

Da Lipasen gezielt auf die im Triglycerid enthaltene Fettsäure wirkt, eignen sich nicht alle Lipasen für die Verbesserung von Dampfbrot.

Nudeln

Die Wirkung der Lipase kann man auch bei Nudeln sehen. Pastazym ist ein Präparat, das Lipasen und eine Auswahl andere Enzyme enthält. Die Lipase ist für den aufhellenden Effekt verantwortlich, der in Abb. 13 gezeigt ist, und für die Verfestigung, die in Abb. 14 dargestellt wird. Beide Wirkungen lassen sich nicht nur mit ausgereiften Geräten im Labor nachweisen, sondern werden auch vom Verbraucher bemerkt (Abb. 15). Allerdings gibt es Einschränkungen. Aus Durum-Weizen hergestellte Pasta kann kaum verbessert werden, und der Einsatz von Ei überdeckt die Wirkung der Enzyme. Die höchste Wirksamkeit erzielt man in Nudeln, die ausschließlich aus Hart- oder Weichweizen hergestellt wurden. Die in den Abbildung 13 und 15 dargestellte Bleichwirkung ist nicht immer erwünscht, da einige Verbraucher gelbliche Nudeln bevorzugen. Trotzdem kann auch der Einsatz von Enzymen hilfreich sein, falls z.B. ein stippiges oder gräuliches Mehl verwendet wird. Das Enzym verringert die Menge der Stippen und hellt die dunklere Farbe auf, so dass für den Einsatz zugelassener gelber Lebensmittelfarbe ein hellerer Hintergrund zur Verfügung steht (Abb. 16).

<table border="1"> <caption>Data for Abb. 13: Color [L*] vs Dosage [g/100 kg flour]</caption> <thead> <tr> <th>Dosage [g/100 kg flour]</th> <th>Color [L*] (1 hour)</th> <th>Color [L*] (24 hours)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>82.5</td><td>72.0</td></tr> <tr><td>2</td><td>82.5</td><td>73.5</td></tr> <tr><td>4</td><td>82.8</td><td>74.5</td></tr> <tr><td>6</td><td>83.0</td><td>75.0</td></tr> <tr><td>8</td><td>83.2</td><td>75.2</td></tr> <tr><td>10</td><td>83.5</td><td>75.5</td></tr> </tbody> </table>	Dosage [g/100 kg flour]	Color [L*] (1 hour)	Color [L*] (24 hours)	0	82.5	72.0	2	82.5	73.5	4	82.8	74.5	6	83.0	75.0	8	83.2	75.2	10	83.5	75.5	<table border="1"> <caption>Data for Abb. 14: Firmness [%] vs Dosage [g/100 kg flour]</caption> <thead> <tr> <th>Dosage [g/100 kg flour]</th> <th>Firmness [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>100</td></tr> <tr><td>1</td><td>115</td></tr> <tr><td>5</td><td>120</td></tr> <tr><td>10</td><td>128</td></tr> <tr><td>15</td><td>125</td></tr> <tr><td>20</td><td>123</td></tr> </tbody> </table>	Dosage [g/100 kg flour]	Firmness [%]	0	100	1	115	5	120	10	128	15	125	20	123
Dosage [g/100 kg flour]	Color [L*] (1 hour)	Color [L*] (24 hours)																																		
0	82.5	72.0																																		
2	82.5	73.5																																		
4	82.8	74.5																																		
6	83.0	75.0																																		
8	83.2	75.2																																		
10	83.5	75.5																																		
Dosage [g/100 kg flour]	Firmness [%]																																			
0	100																																			
1	115																																			
5	120																																			
10	128																																			
15	125																																			
20	123																																			
<p>Abb. 13: Wirkung von Pastazym auf die Farbe frischer, ungekochter Nudeln (Bestimmung mit dem Farbbestimmungssystem von Minolta)</p>	<p>Abb. 14: Festigkeit frischer, ungekochter Nudeln, bewirkt durch Pastazym (Bestimmung mit Texture Analyser TA.XT2)</p>																																			



Abb. 15: Wirkung von Pastazym auf die Farbe frischer, ungekochter Nudeln



Abb. 16: Ungekochte Nudeln, unbehandelt (links), Zusatz von Pastazym und EMCEcolor BC (β -Carotin) (rechts)

Ersatz von Kaliumbromat

Weniger spektakulär, aber aus globaler Sicht vielleicht viel wichtiger ist der Ersatz von Kaliumbromat bei der Brotherstellung. Dieser hochwirksame und preiswerte Mehlerbesserer wird aus gesundheitlichen Gründen in immer mehr Ländern verboten.

Neben alternativen Oxidationsmitteln wurden auch schon frühzeitig oxidierende Enzyme eingesetzt, um Kaliumbromat abzulösen. Erstaunlicherweise erwiesen sich diese Enzyme als nur begrenzt einsatzfähig. Amylase, Xylanasen und heutzutage auch Lipasen sind in Kombination mit gesundheitlich unschädlichen Oxidationsmitteln wie Ascorbinsäure viel wirksamer. Abb. 17 zeigt die Ergebnisse einer früheren Studie zum Ersatz von Kaliumbromat im no-time-Verfahren (Chorleywood) zur Brotherstellung. Abb. 18 zeigt den derzeitigen Stand der Technik, nämlich die Wirkung des marktführenden Enzympräparates Alphamalt BX als Ersatz für Kaliumbromat. Alphamalt BX kann für Kurz- und Langzeit (3-24 Stunden) geführte Teige eingesetzt werden.



Abb. 17: Bromatersatz in no-time Teigen.
Bromco B50 = 50 % Kaliumbromat
Alphamalt VC 5000 = Pilz- α -Amylase mit 5.000 SKB/g
Alphamalt BE = Enzymsystem
ELCO K-100 K = Ascorbinsäure, 100 %
ELCO BE CS = Ascorbinsäure, verkapselt, 70 % Ascorbinsäure



Abb. 18: Bromatersatz für Langzeitführung.
Alphamalt VC 5000 = Pilz- α -Amylase mit 5.000 SKB/g
Alphamalt BX = Enzymsystem mit oxidierenden Bestandteilen