

Enzymatisches Weizenstärke-Gluten-Trennverfahren: Einfluss von Arabinoxylan abbauenden Enzymen auf die Separation und Eigenschaften von Gluten

Nina Schrögel-Truxius^a

Der Einsatz von Xylanase und Endoglucanase führt zu einer verbesserten Trennung von Weizenstärke und Gluten und wird im industriellen Maßstab seit vielen Jahrzehnten eingesetzt. Hierbei können durch den Enzymeinsatz nicht nur die Trennung der Stärke- und Glutenphase verbessert, sondern auch die Eigenschaften des Glutens verändert werden.

In dieser anwendungsorientierten Arbeit wird beschrieben, wie der Einsatz von Enzymen den Weizenstärke-Gluten-Trennprozess beeinflusst. Diesbezüglich werden die rheologischen sowie die Backeigenschaften von Gluten analysiert und beschrieben.

Einleitung

Die Trennung von Weizenmehl in Stärke und Gluten ist seit mehr als 250 Jahren bekannt. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts führte die Einführung von Enzympräparaten, die Xylanasen und Endoglucanasen enthielten, zu einer Verbesserung des Weizenstärke-Gluten-Trennverfahrens. Die Zugabe einer Enzympräparation, die Xylanase- oder Endoglucanase-Aktivität enthält, baut die Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) ab. Arabinoxylane (AX) sind die am häufigsten vorkommenden Nicht-Stärke-Polysaccharide im Weizenkorn, wo sie sich durch eine hohe Wasserhaltekapazität auszeichnen. Der Abbau von AX mit

hilfe eines Enzyms reduziert die Viskosität und setzt Wasser frei, was zu einer verbesserten Trennleistung von Stärke und Glutenphase führt. Ein NSP-Protein-Netzwerk hat eine komplexe Struktur: Das Rückgrat besteht aus Polysaccharid-Xylose-Ketten, die als Xylane bekannt sind. Auf diesen Xylan-Ketten sind kurze Arabinose-Seitenketten, die als Arabinoxylketten bezeichnet werden, vorhanden. Mehrere Arabinoxylseitenketten sind häufig durch Diferulasäure über Esterbindungen und über Ferulasäure durch SH-Seitenketten von Cystein-Einheiten verbunden, die von Gluten-Proteinen stammen. In einer anwendungsorientierten Studie wurde im Labormaßstab der Effekt von Arabinoxylan abbauenden Enzymen und ihre Wirkung auf den Weizen-Separationsprozess untersucht. Hierzu wurde ein besonderes Augenmerk auf die Eigenschaften des Glutens gelegt, wobei Methoden entwickelt wurden, um die Auswirkung auf die Gluten-Qualität und das spätere Verhalten beim Backen zu untersuchen [1–4].

Enzyme

Xylanasen, welche auch als Endo-1,4-Xylanasen bekannt sind, sind Glycosidasen, die die Hydrolyse von β -1,4-xyloisidischen Bindungen in Xylan katalysieren, was zu kleineren Oligosacchariden führt. Die Glykosidhydrolase-Familie 10 (GH 10) besteht aus β -1,4- und β -1,3-Xylanasen sowie Cellobiohydrolasen. Es wird angenommen, dass GH-10-Xylanasen typischerweise vier bis fünf Substratbindungsstellen aufweisen. Im Vergleich zur Xylanase der Familie 10 ist die Xylanase von GH

11 als eine monospezifische Enzymfamilie charakterisiert, die ausschließlich Xylanasen enthält. Zusätzlich werden diese Xylanasen als echte Xylanasen bezeichnet, weil sie nur auf D-Xylose enthaltenden Substraten aktiv sind. Im Allgemeinen bevorzugen Xylanasen der Familie 10 den Abbau von WEAX (wasserextrahierbares Arabinoxylan), während GH 11 eher bereit ist, WUAX (wasserunextrahierbares Arabinoxylan) zu hydrolysieren. Die für die Versuche verwendete Xylanase 1 gehört zu GH 11, wobei Xylanase 2 zu GH 10 gehört.

Eine Endoglucanase (β -1,4-Endoglucanase) ermöglicht die Hydrolyse von Cellulose. Es ist eine weit verbreitete Hypothese, dass Endoglucanasen den amorphen und ungeordneten Cellulosebereich spalten können. Endoglucanasen gehören zur Gruppe der unspezifischen Enzyme, da sie nicht nur Cellulose, sondern auch Xylane hydrolysieren können [5–9].

Material und Methoden

Versuchsdurchführung

Bestimmung des Glutenkoagulationsindex durch Siebversuche:

In einem Hobart-Mixer wurden 250 g Weizenmehl mit 150 g Wasser mit einem Flachrührer für 4 Minuten gemischt. Der Teig wurde für 8 Minuten ruhen gelassen, wonach zusätzliche 250 ml Wasser zugegeben und die Suspension 25 Minuten weiter gerührt wurde. Schließlich wurden 1000 ml Wasser zugegeben und die Suspension wurde weitere 35 Minuten gemischt. Die Mischgeschwindigkeit

^a M. Sc. Nina Schrögel-Truxius, AB Enzymes GmbH, Darmstadt

keit während der gesamten Versuchsdauer wurde auf Stufe 1 des Hobart-Mixers eingestellt. Die Suspension wurde über eine Retsch-Siebmaschine gegossen, die vier Schwingsiebe mit Porengrößen von 400 μm , 250 μm , 125 μm und 100 μm umfasste. Das auf den Sieben zurückgehaltene Gluten wurde weiter mit 1000 ml frischem Wasser gewaschen. Die Gluten-Fractionen wurden aus den vier Sieben gewonnen, gewogen und in einem Trockenschrank bei 100 °C bis zur Massenkonstanz getrocknet. Für jede Glutenfraktion wurde der Massenanteil, der Proteingehalt und die Menge an Arabinoxylanen bestimmt. Der Glutenkoagulationsindex ist das berechnete Verhältnis von agglomeriertem Gluten auf dem 400- μm -Sieb über die Gesamtmenge an Gluten, die aus allen vier Sieben gewonnen wurde. Um valide Ergebnisse zu erhalten, wurden die Versuche als Dreifach-Bestimmung durchgeführt und der Mittelwert mit der jeweiligen Standardabweichung graphisch aufgetragen. Die Durchführung der Laborversuche beruht auf den Beschreibungen von *Frederix et al.* [10, 11].

Gluten-Auswaschmethode für Back- und Texture-Analyser-Versuche:

Im Folgenden ist das Laborverfahren zur Herstellung von Nassgluten für die Verwendung von Dehnbarkeitsversuchen am Texture Analyser sowie für die Backversuche beschrieben. Weizenmehl wurde mit Wasser in einem Verhältnis von 1,67 : 1 in einem Hobart-Mixer mit einem Flachrührer für 5 Minuten bei niedrigster Geschwindigkeit gemischt. Der Teig wurde für 10 Minuten ruhen gelassen, was eine Gesamtreaktionszeit von 15 Minuten ergab. Zweimal hintereinander wurden drei Liter Wasser in die Rührschüssel gegeben und der Teig wurde mit der Hand ausgewaschen, um den größten Teil der Stärkephase zu entfernen. Die Wasser-Stärke-Lösung wurde über ein Sieb gegossen und die Glutenphase in die Rührschüssel zurück übertragen. Das gewaschene Gluten wurde in einem Hobart-Mixer mit einem Flachrührer für drei Minuten bei höchster Geschwindigkeit gerührt, um die Bildung eines homogenen Glutens sicherzustel-

len. Dieses handgewaschene Gluten (Nassgluten) war das Ausgangsmaterial für die weitere Prüfung der Eigenschaften der Glutenphase.

Bestimmung der Glutendehnbarkeit mithilfe des Texture Analysers:

152 g Roggenmehl wurden mit 120 g Nassgluten, 72 g Wasser und 4 g Salz gemischt. Die Bestandteile wurden mit einem Flachrührer 3 Minuten in einem Hobart-Mixer mit der niedrigsten Geschwindigkeit gemischt. Der Teig wurde 10 Minuten lang unter einem Baumwolltuch ruhen gelassen, bevor er mit einer Walzmaschine zu einem Teig mit einer Dicke von 3 mm ausgerollt wurde. Der Teig wurde mit einem Kieffer-Rig-Teigschneider ausgestanzt und auf ein Teflon-Rig platziert. Erneut wurde der Teig 10 Minuten lang unter einem Baumwolltuch ruhen gelassen. Ein Teflon-Rig mit Aussparungen wurde auf den ausgestanzten Teig gelegt und in ein Kieffer-Rig-System platziert, wobei Teigstränge durch Zusammenpressen der Rigs erzeugt wurden. Die Teigstränge wurden für 30 Minuten in einen Gärschrank zur Teigentwicklung gegeben, wonach die Stränge mit dem Texture Analyser auf ihre Dehnbarkeit analysiert wurden. Der Texture Analyser von stable micro systems verfügt über einen Messarm, der eine Wägezelle mit einer Kapazität von 5 kg und eine konstante Prüfgeschwindigkeit von 3,3 mm/s beim Ziehen des Teigstranges aufweist. Der Teigstrang wurde bis zum Bruch gezogen, während die Kraft in Gramm über den Weg in Millimeter aufgezeichnet wird. Um valide Ergebnisse zu erhalten, wurden die Versuche als Fünffach-Bestimmung durchgeführt und der Mittelwert graphisch aufgetragen.

Backversuche –

Bestimmung des Brotvolumens:

Der Teig wird aus 100% Weizenvollkornmehl, 68% Wasser (einschließlich Glutenwasser), 6% handgewaschenem Gluten (40% Feuchtigkeit), 3% Frischhefe, 2% Salz und 2% Zucker hergestellt. Für jeden Versuch wurden 550 g Teig in Backformen gegeben und im Gärschrank bei 32 °C und einer relativen

Feuchtigkeit von 85% für 70 Minuten zur Teigentwicklung gelagert. Das Brot wurde bei einer Oberhitze von 240 °C und einer Unterhitze von 220 °C für 40 Minuten gebacken. Unter Verwendung der offiziellen AACC-Methode 10.16.01 wurde das Brotvolumen analysiert. Um valide Ergebnisse zu erhalten, wurden alle Versuche als Dreifach-Bestimmung durchgeführt und der Mittelwert mit der jeweiligen Standardabweichung graphisch aufgetragen.

Ergebnisse und Diskussion

Gluten-Siebversuche

In Abb. 1 ist der Koagulationsindex von Gluten aufgezeigt. Dies ist das berechnete Verhältnis von agglomeriertem Gluten auf dem 400- μm -Sieb über die Gesamtmenge an Gluten, die aus allen vier Sieben gewonnen wurde. Es ist deutlich zu erkennen, dass die hohe Enzymdosierung für alle Enzyme zu einem erhöhten Koagulationsindex im Vergleich zur Kontrolle führt. Je mehr Enzym dosiert wird, umso höher ist der Koagulationsindex und umso besser ist die Trennung der Glutenphase. Die Endoglucanase, gefolgt von Xylanase 2, zeigen den höchsten Glutenkoagulationsindex bei einer Dosage von 100 ppm an.

Das Balkendiagramm in Abb. 2 beschreibt die berechnete Proteinmenge in der gesiebten Glutenphase, die auf allen Sieben gewonnen wird. Die Kontrollprobe hat die geringste Proteinkonzentration mit nur 22,78%, während alle enzymbehandelten Proben deutlich höhere Mengen bis zu 54,7% an Protein aufweisen. Für die Endoglucanase und Xylanase 1 zeigt sich, dass eine höhere Dosierung zu einer geringeren Proteingewinnung führt. Xylanase 2 zeigt aufgrund der Enzymeigenschaften einen unterschiedlichen Trend, wobei eine höhere Enzymdosierung zu einer höheren Proteingewinnung führt. Insgesamt kann mit Xylanase 1, gefolgt von Xylanase 2, der höchste Restproteingehalt im Gluten erzielt werden.

In Abb. 3 wird der Restgehalt an AX im Gluten gezeigt. Die enzymbehandelten

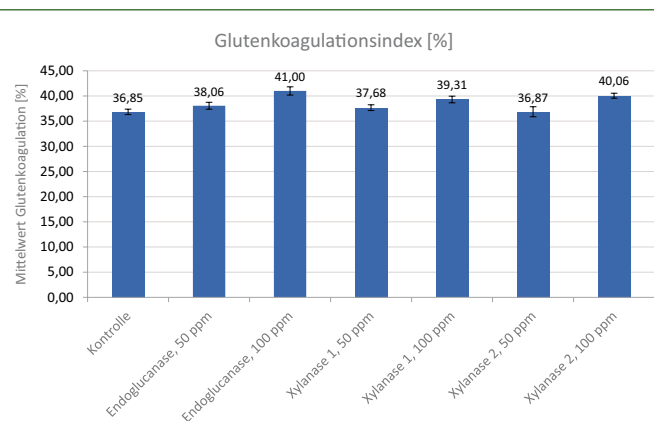


Abb. 1: Glutenkoagulationsindex: Das berechnete Verhältnis von agglomeriertem Gluten auf dem 400- μ m-Sieb über die Gesamtmenge an Gluten, das aus allen vier Sieben gewonnen wurde (n = 3)

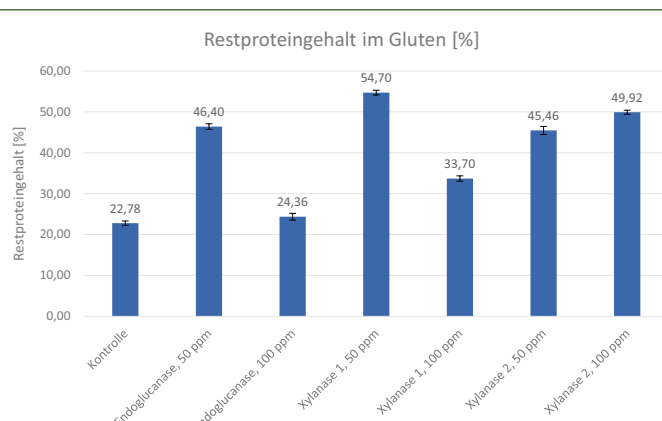


Abb. 2: Prozentualer Restproteingehalt im Gluten: Die berechnete Proteinmenge in der gesiebten Glutenphase, die auf allen Sieben gewonnen wird (n = 3)

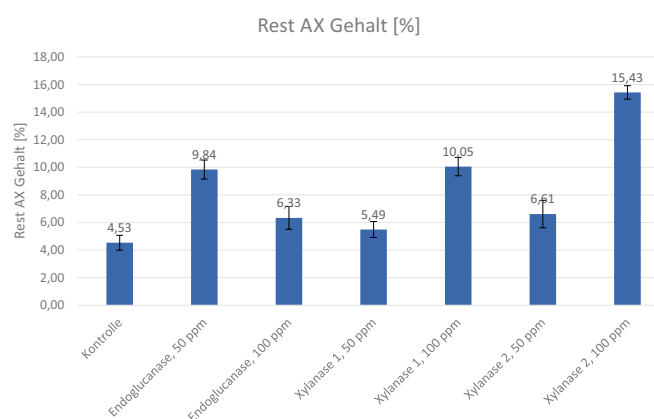


Abb. 3: Prozentualer Restgehalt an Arabinoxylanen im Gluten: Der berechnete Arabinoxylangehalt in der gesamten Glutenphase (n = 3)

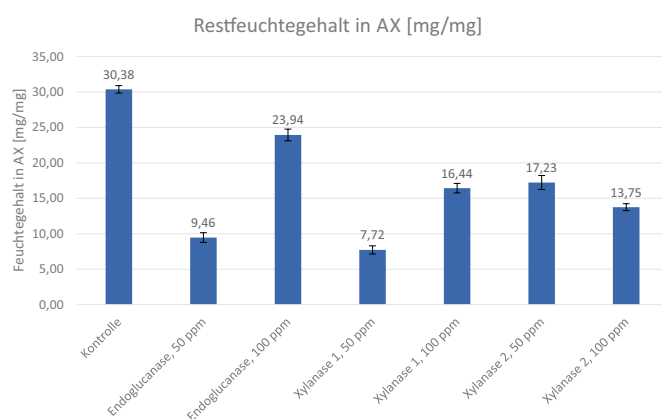


Abb. 4: Prozentualer Restfeuchtegehalt der AX im Gluten: Berechnete Menge an Feuchtigkeit, die von einem Milligramm AX gehalten wird (n = 3)

Proben zeigen eine höhere AX-Konzentration als die Kontrollprobe. Es scheint, dass Arabinoxylane, die zuvor während der Teigverarbeitung durch Enzyme abgebaut wurden, an die Glutenfraktion gebunden sind und daher nicht freigesetzt werden können. *Frederix et al.* haben festgestellt, dass die Zugabe von AX zu einer Erhöhung des Xylosegehalts der 400- μ m-Glutenfraktion führt. Dies kann darauf hinweisen, dass ein Teil der zusätzlichen AX im Gluten-Netzwerk verbleiben [12]. Die Endoglucanase zeigt ein niedrigeres AX-Niveau mit einer erhöhten Dosierung, während die beiden Xylanasen zu mehr AX-Gewinnung führen, wenn 100 ppm Enzym in den Teig gegeben wurden.

Das Balkendiagramm in Abb. 4 beschreibt die Menge an Feuchtigkeit, die von einem Milligramm AX gehalten wird und unterstreicht die erwähnten

Ergebnisse. Für die Kontrollprobe wird die höchste Feuchtigkeitsmenge in AX gezeigt. Für die Endoglucanase und Xylanase 1 steigt die Feuchtigkeitsmenge mit der höheren Dosierung. Bei Xylanase 2 ist der Effekt umgekehrt: Bei höherer Enzymdosierung zeigt sich weniger Feuchtigkeit in den AX.

Van der Borgh et al. haben festgestellt, dass NSP und insbesondere AX die Gluten-Protein-Agglomeration während der Stärke-Gluten-Separation negativ beeinflussen. Aufgrund ihrer hohen Wasserbindungskapazität kann AX indirekt die Glutenbildung beeinflussen, indem es um Wasser konkurriert und damit die Bedingungen für die Glutenprotein-Agglomeration verändert [13]. Zusätzlich muss zwischen dem Einfluss von WEAX und WUAX unterschieden werden. Nach *Redgwell et al.* wird die Viskosität eines Weizenteiges vorwiegend

der Menge an WEAX oder den nicht-kovalenten Wechselwirkungen zwischen AX selbst oder AX und anderen Makromolekülen wie Glutenproteinen zugeschrieben [14]. *Wang et al.* beschreiben die Bindungskapazität von WEAX- und Ferulasäuregruppen in der Weise, dass zuerst eine Vernetzung von WEAX stattfindet, was zu einer hohen Viskosität im Weizenteig führt. Des Weiteren sind WEAX-Quervernetzungen mit Glutenproteinen möglich [15].

Dieser Aspekt unterstreicht die Ergebnisse der Siebstests, bei denen Xylanase 1 hohe AX-Mengen aufweist, die aufgrund der geringen Aktivität gegenüber WEAX in der Glutenfraktion eingeschlossen waren. In Bezug auf *Frederix et al.* kann WUAX die Agglomeration von Gluten stören, indem es eine physikalische Barriere gegen Gluten-Protein-Wechselwirkungen bildet [16].

Wird eine Xylanase in einem Separationsverfahren zugegeben, nimmt die Proteingewinnung und der Glutenagglomerationsindex bemerkenswert zu. Eine zu GH 10 gehörende Xylanase, wie Xylanase 2, weist – wie von *Christophersen et al.* beschrieben – eine Verbesserung der Glutenagglomeration auf, ohne die Qualität des Glutens negativ zu beeinflussen. Darüber hinaus kann der Schluss gezogen werden, dass die Xylanase im Allgemeinen eine hohe Aktivität gegenüber WEAX und eine geringere Aktivität gegenüber WUAX haben sollte, um positive Effekte auf die Agglomeration und Qualität von Gluten zu haben [17].

Zusammenfassend spiegeln die Siebversuche, die im Labormaßstab durchgeführt wurden, die Erkenntnisse aus der Literatur wider. Es ist deutlich zu sehen, dass die Zugabe eines Enzyms im Weizen-Separationsverfahren die Gluteneigenschaften als solche verändert. Basierend auf den zwei Xylanasen, die angewendet wurden, führt Xylanase 2, welche zu GH 10 gehört und daher eine höhere Aktivität gegenüber WEAX zeigt, zu einer besseren Glutenagglomeration. Xylanase 1, zu GH 11 gehörend, mit einer größeren Aktivität gegenüber WUAX, zeigt vor allem bei der hohen Dosierung den niedrigsten Agglomerationsindex, jedoch einen hohen Restproteingehalt.

Glutendehnbarkeit Texture Analyser

Die rheologischen Eigenschaften der Teige aus handgewaschenem Gluten wurden in uniaxialer Ausdehnung unter Verwendung des Kieffer Extensibility Rig und des Texture-Analyser-Messsystems bestimmt. Zwei Parameter wurden verwendet, um die Diagramme zu charakterisieren: die gesamte durchschnittliche Dehnbarkeit, ausgedrückt in Millimeter, und die maximale durchschnittliche Kraft, die der maximalen Dehnbarkeit am Bruchpunkt entspricht, ausgedrückt in Gramm. Dies bedeutet, je größer die Dehnbarkeit, desto mehr kann der Teig verlängert werden, bevor er reißt.

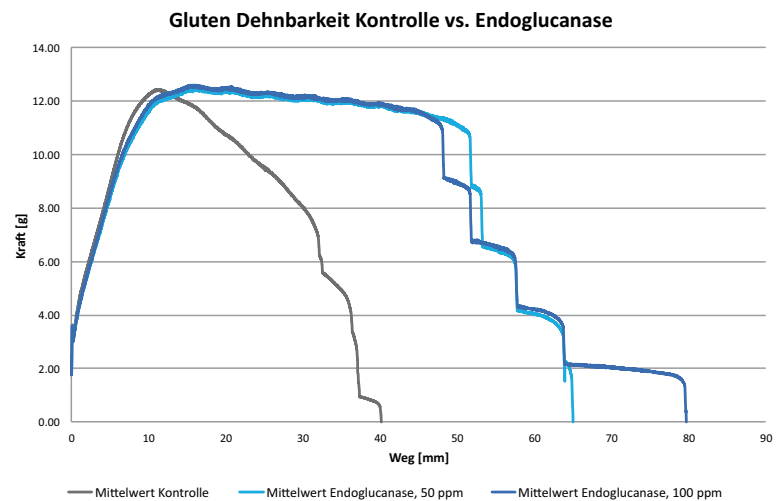


Abb. 5: Am Texture Analyser gemessene Glutendehnbarkeit einer Kontrollprobe vs. einer Probe, die mit Endoglucanase enzymiert wurde (n = 5)

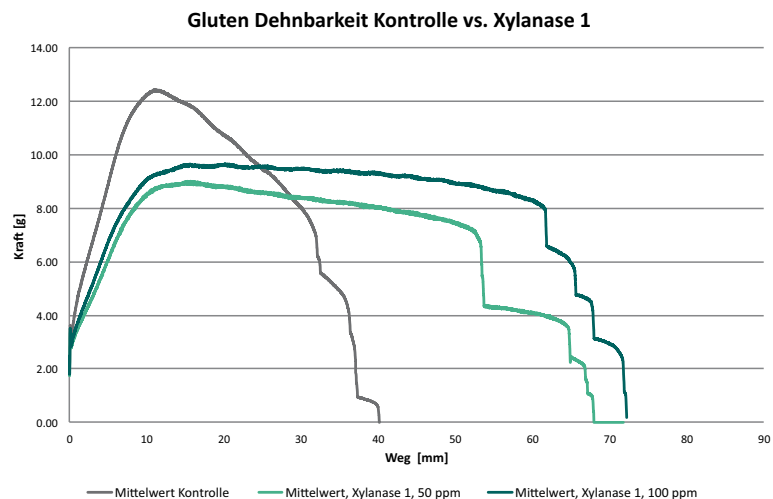


Abb. 6: Am Texture Analyser gemessene Glutendehnbarkeit einer Kontrollprobe vs. einer Probe, die mit Xylanase 1 enzymiert wurde (n = 5)

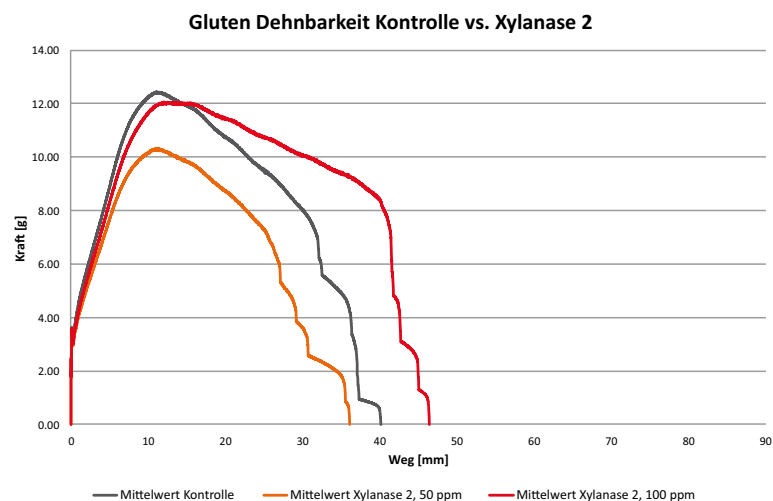


Abb. 7: Am Texture Analyser gemessene Glutendehnbarkeit einer Kontrollprobe vs. einer Probe, die mit Xylanase 2 enzymiert wurde (n = 5)

Die Ergebnisse in Abb. 5 bis Abb. 7 zeigen, dass eine erhöhte Enzymdosierung für alle Enzyme zu einer erhöhten Dehnbarkeit führt. Darüber hinaus ist zu sehen, dass Endoglucanase und Xylanase 1 für beide Enzymdosierungen zu einer größeren Dehnbarkeit führen als die Kontrollprobe. Die Endoglucanase ergibt bei einer Dosage von 100 ppm die größte Dehnbarkeit mit 80 mm, gefolgt von Xylanase 1 bei 50 und 100 ppm mit 68 mm bzw. 73 mm. Für Xylanase 2 zeigt nur die 100-ppm-Dosierung eine erhöhte Dehnbarkeit im Vergleich zur Kontrolle, während die niedrige Dosierung eine etwas geringere Dehnbarkeit zeigt. Im Vergleich zu den beiden anderen Enzymen zeigt Xylanase 2 die geringste Dehnbarkeit mit nur 47 mm bei 50 ppm und 36 mm bei 100 ppm Dosierung.

Song et al. beschreiben, dass der Zusatz von WEAX das Gluten elastischer macht [18]. Nach Wang et al. führt der Zusatz von WUAX zu einer bestimmten Proteinkonzentration und somit wird das Gluten elastischer und steifer. Darüber hinaus kann die Enzymbehandlung auch die Wechselwirkung zwischen Pentosan- und Glutenfraktionen beeinflussen [19, 20]. Dreese et al. fanden heraus, dass eine Verringerung der WEAX-Menge um 1,3% durch Enzymwirkung zu einem elastischeren Gluten führt, als Gluten ohne vorherigen Enzymeinsatz [21].

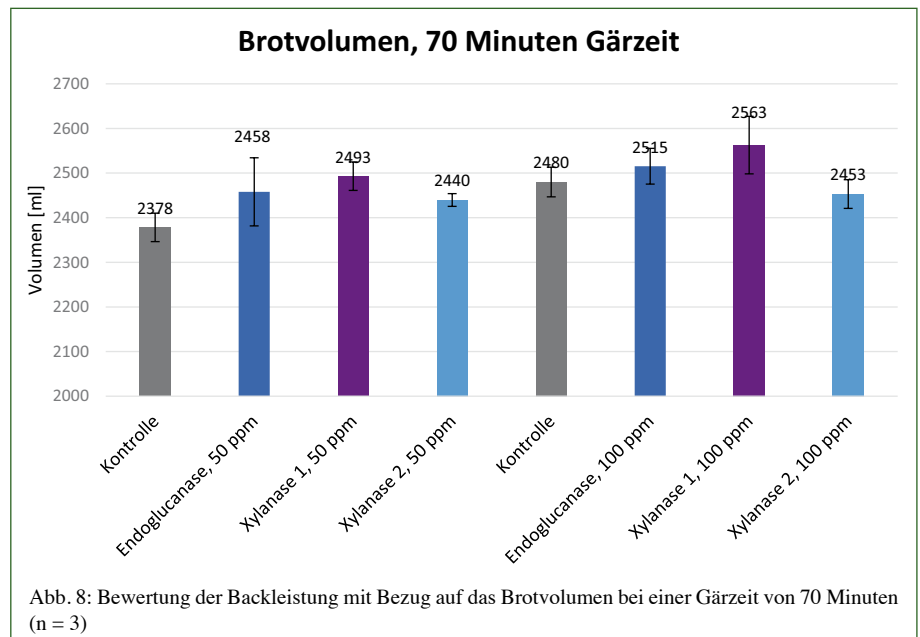
Basierend auf den oben genannten wissenschaftlichen Erkenntnissen gibt

es eine Korrelation zwischen Arabinoxylanen und der Gluten-Netzwerkbildung. In Bezug auf die Laborergebnisse scheint es, dass eine Reduktion von WUAX zu einer größeren Dehnbarkeit, jedoch zu einer niedrigeren maximalen Kraft führt. Wenn eine Endoglucanase hinzugefügt wird, ist zu erkennen, dass die maximale Kraft etwas zunimmt und die Dehnbarkeit sogar stark zunimmt. Wenn ein Enzym, welches hauptsächlich auf WEAX wirkt, zugegeben wird, können eine leichte Zunahme der maximalen durchschnittlichen Kraft, aber eine geringere Dehnbarkeit beobachtet werden. Bis heute ist nicht vollständig geklärt, wie sich die Elastizität von Gluten durch die Zugabe von Enzymen wie

Xylanasen oder Endoglucanasen verändert. Es ist jedoch eindeutig, dass es eine direkte Korrelation zwischen dem AX-Abbau durch Enzymwirkung und dem Gluten-Netzwerk gibt, was die Dehnbarkeit und die Festigkeit von Gluten beeinflusst.

Backversuche – Bestimmung des Brotvolumens

Die Ergebnisse zur Bewertung der Backleistung mit Bezug auf das Brotvolumen, bei denen handgewaschenes Gluten zugegeben wurde, sind in Abb. 8 zu sehen. Für jede Serie von 50 ppm oder 100 ppm wurde separat ein Brot gebacken, bei dem das Gluten unbehandelt



POWER
BEERE
ARONIA



www.backaldrin.com

backaldrin

OATS
DE-002-026

HAFERBROT

Glutenfrei
von Böcker

laktosefrei

vegan

ohne
Zusatz
von Ei

Jetzt bestellen!

- Mindesthaltbarkeit von bis zu 28 Tagen ab Produktion
- Mit glutenfreiem Sauerteig – für intensives, brottypisches Aroma
- Sicher verpackt – idealer Schutz vor Kontamination
- Gerne beraten und unterstützen wir Sie!

info@sauerteig.de

BÖCKER
Ihr Sauerteig-Spezialist

www.sauerteig.de

war, um einen direkten Vergleich innerhalb der Backserie zu erhalten. Es ist deutlich zu sehen, dass alle enzymbehandelten Proben, mit Ausnahme von Xylanase 2, bei 100 ppm ein größeres Volumen als das Kontrollbrot zeigen, bei dem kein enzymbehandeltes Gluten zugegeben wurde. Bei einer Dosierung von 50 ppm ergibt Xylanase 1 den höchsten Brotvolumenanstieg mit 5%. Endoglucanase und Xylanase 2 zeigen beide ein um 3% erhöhtes Brotvolumen. Bei 100 ppm ist die Zunahme des Brotvolumens im Vergleich zur niedrigeren Dosierung geringer. Xylanase 1 zeigt mit 3% den höchsten Anstieg des Volumens, gefolgt von der Endoglucanase mit 1% Erhöhung. Xylanase 2 erreicht 1% weniger Brotvolumen als das Kontrollbrot. Die beschriebenen Ergebnisse unterstreichen, dass die Brotbackqualität von Weizenmehl weitgehend durch seine Proteine und damit die Zusammensetzung des Glutennetzwerks bestimmt wird. Dies ist besonders von Bedeutung, wenn im Backprozess Gluten dem Weizenmehl zugegeben wird und sich hierdurch die Backeigenschaften ändern können.

Veraverbeke et al. beschreiben, dass Gluten-Proteine die Hauptqualitätsdeterminanten der Brotherstellung sind [22]. Das Gluten-Netzwerk spielt bei der Fermentation des Teiges eine wichtige Rolle, um das Kohlendioxid, welches bei der Gärung im Gärschrank und in der Anfangsphase des Backens entsteht, beizubehalten [23]. Für das Backen von Brot ist ein angemessenes Gleichgewicht zwischen Viskosität, Elastizität und maximaler Kraft erforderlich. Bis zu einer gewissen Grenze erhöht die maximale Teigkraft das Brotvolumen. Zu fester Teig behindert jedoch den Anstieg des Brotvolumens [22]. Die rheologischen Eigenschaften, die mit dem Texture Analyser analysiert wurden, unterstreichen die Ergebnisse während der Backversuche und tragen als solche zu den Gasrückhalteigenschaften des fermentierenden Teiges bei. Xylanase 1 und die Endoglucanase zeigen die größte Dehnbarkeit, die ebenfalls bei den Backversuchen zu größeren Brotvolumina führten. Xylanase 2

führte zu einer geringeren Dehnbarkeit und somit ist auch das Brotvolumen kleiner.

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass der Einsatz von Enzymen einen Einfluss auf das Gluten hat. Sowohl die rheologischen als auch die Backeigenschaften von Gluten wurden durch den AX-Abbau während des Weizenstärke-Gluten-Trennprozesses beeinflusst. Durch die Selektion des für den Kunden richtigen Enzyms für den Weizenstärke-Gluten-Trennprozess lassen sich die späteren Gluten-Eigenschaften deutlich beeinflussen und anpassen.

Literatur

1. Christophersen, C., E. Andersen, and T. S. J. a. P. Wagner: Xylanases in Wheat Separation. – *Starch/Stärke* 49 (1997), pp. 5–12
2. Polaina, J., and A. P. MacCabe: Xylanases: Molecular Properties and Applications. – *Industrial Enzymes* (2007), pp. 65–82
3. Courtin, C., and J. Delcour: Arabinoxylans and Endoxylanases in Wheat Flour Bread-making. – *Journal of Cereal Science* 35 (2002), pp. 225–243
4. Roth, K.: Unser tägliches Brot. – *Chemie in unserer Zeit* 41 (2007), pp. 400–409
5. Collins, T., C. Gerday, and G. Feller: Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases. – *FEMS Microbiology Reviews* 29 (2005), pp. 3–23
6. Bonnin, E., and S. Daviet: Behaviour of family 10 and 11 xylanases towards arabinoxylans with varying structure. – *Journal of Science of Food and Agriculture* 86 (2006), pp. 1618–1622
7. Moers, K., C. Courtin, K. Brijs, and J. Delcour: A screening method for endo- β -1,4-xylanase substrate selectivity. – *Analytical Biochemistry* 319 (2003), pp. 73–77
8. Kleywegt, G., C. Divne, and G.J. Davies: The Crystal Structure of the Catalytic Core Domain of Endoglucanase I from *Trichoderma reesei* at 3.6Å Resolution, and a Comparison with Related Enzymes. – *Journal of Molecular Biology* 272 (1997), pp. 383–397
9. Biely, P., M. Vrsanska, and M. Claeysens: The endo-1,4- β -glucanase I from *Trichoderma reesei*, Action on β -1,4-oligomers and polymers derived from D-glucose and D-xylose. – *European Journal of Biochemistry* 200 (1991), pp. 157–163
10. Frederix, S., C. Courtin, and J. Delcour: Influence of process parameters on yield and composition of gluten fractions obtained in a laboratory scale dough batter procedure. – *Journal of Cereal Science* 39 (2004), pp. 29–36
11. Frederix, S., C. Courtin, and J. Delcour: Impact of xylanases with different substrate selectivity on gluten-starch separation of wheat flour. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (2003), pp. 7338–7345
12. Frederix, S. A., K. A. V. Hoeymissen, C. M. Courtin, and J. A. Delcour: Water-Extractable and Water-Unextractable Arabinoxylans Affect Gluten Agglomeration Behavior during Wheat Flour Gluten–Starch Separation. – *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 52 (2004), pp. 7950–7956
13. Borgh, A. v. d., H. Goesaert, W. S. Veraverbeke, and J. A. Delcour: Fractionation of wheat flour into starch and gluten: overview of the main processes and the factors involved. – *Journal of Cereal Science* 41 (2005), pp. 221–237
14. Redgwell, R.: Xylanase induced changes to water- and alkaliextractable arabinoxylans in wheat flour: their role in lowering batter viscosity. – *Journal of Cereal Science* (2001), pp. 83–96
15. Wang, M.: Interaction of water extractable pentosans with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. – *Journal of Cereal Science* 36 (2002), pp. 25–37
16. Frederix, S., C. C. and J. Delcour: Impact of xylanases with different substrate selectivity on gluten-starch separation of wheat flour. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (2003), pp. 7338–7345
17. Christophersen, C., E. Andersen, T. Jakobsen, and P. Wagner: Xylanases in Wheat Separation. – *Starch/Stärke* 49 (1997), pp. 5–12
18. Song, Y., and Q. Zheng: Dynamic rheological properties of wheat flour dough and proteins. – *Food Science & Technology* 18 (2007), pp. 132–138
19. Wang, M., T. van Vliet, and R. Hamer: Evidence that pentosans and xylanase affect the reagglomeration of the gluten network. – *Journal of Cereal Science* 39 (2004), pp. 341–349
20. Wang, M., T. van Vliet, and R. Hamer: Interaction of water unextractable solids and xylanase with gluten protein: effect of wheat cultivar. – *Journal of Cereal Science* 41 (2005), pp. 251–258
21. Dreese, P., and R. Hoseney: The effect of water-extracted solubles from gluten on its baking and rheological properties. – *Cereal Chemistry* 67 (1990), pp. 400–404
22. Veraverbeke, W., and J. Delcous: Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. – *Critical reviews in Food Science and Nutrition* 42 (2002), pp. 179–208
23. Goesaert, H., K. Brijs, C. Courtin, K. Gebruers, and J. Delcour: Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. – *Trends in Food Science & Technology* 16 (2005), pp. 12–30