

Steuerung der technologischen Funktionalitäten von mechanisch modifizierten Mehlen

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I:	Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie Prof. Dr. Thomas Becker/Dr. Mario Jekle
Forschungsstelle II: (bis 29.02.2016)	Hans-Dieter-Belitz-Institut für Mehl- und Eiweißforschung e.V. (hdbi), Freising Prof. Dr. Dr. Peter Schieberle/Prof. Dr. Peter Köhler
Forschungsstelle III: (ab 01.03.2016)	Leibniz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie an der Technischen Universität München, Freising Prof. Dr. Thomas Hofmann/Dr. Katharina Scherf
Industriegruppe(n):	Verband der Getreide-, Mühlen- und Stärkewirtschaft e.V. (VGMS), Berlin Weihenstephaner Institut für Getreideforschung (WIG) e.V., Freising Verein der Förderer des Hans-Dieter-Belitz-Instituts für Mehl- und Eiweißforschung e.V., Freising Projektkoordinator: Stefanie Hardtmann Bühler AG, Uzwil (Schweiz)
Laufzeit:	2015 - 2018
Zuwendungssumme:	€ 498.680,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Durch die Zerkleinerung während der Vermahlung werden die Struktur- und Funktionseigenschaften eines Weizenmehles über eine Modifikation der Stärke und der Proteine im Mehl maßgeblich beeinflusst. Die während der Zerkleinerung eintretende Stärkemodifikation beinhaltet eine Vielzahl von Effekten auf verschiedenen Strukturebenen der Weizenstärke, von der molekularen Ebene bis hin zur Stärkegranulaebene, die im Einzelnen bisher noch nicht näher untersucht wurden.

Neben der Stärkemodifikation gibt es Hinweise in der Literatur, dass die mechanische Beanspruchung beim Zerkleinern darüber hinaus auch zu einer Proteinmodifikation führt. Allerdings liegen bisher nur wenige Informationen über die Auswirkungen der

Zerkleinerung auf die Proteineigenschaften vor. Besonders der weitgehend unbekannte Faktor Proteinmodifikation (in Kombination mit der Stärkemodifikation) erschwerte bisher eine umfassende Aufklärung der Ursachen für die unterschiedliche Funktionalität von Mehlen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, die prozessbedingt auftretenden Stärke- und Proteinmodifikationen bei Weizenmehlen objektiv zu erfassen und deren Auswirkungen auf die Mehlqualität bzw. -funktionalität aufzuklären. Dazu sollte eine Methode zur Charakterisierung des Proteinmodifikationsgrades entwickelt werden; ferner sollten bereits existierende Methoden zur Bestimmung des Stärkemodifikationsgrades miteinander verglichen werden.

Forschungsergebnis:

Für das Vorhaben wurden zwei Weichweizen (*Triticum aestivum* L.) der Sorten „Akteur“ (Backqualitätsklasse E) und „Julius“ (Backqualitätsklasse A) per Walzenstuhl vermahlen (Basismehl). Die darauf folgende Modifikation der Basismehle erfolgte mittels Ultra-Zentrifugalmühle (ZM) ZM 200, Cryo-Mill (CM) bzw. Planeten-Kugelmühle (KM) PM 100 (Fa. Retsch) unter Variation entsprechender Zerkleinerungsparameter, wie Mahldauer, Drehzahl, Anzahl und Größe der Kugeln sowie Siebporengröße.

Bei der Nachvermahlung der Weizensorte „Akteur“ mittels ZM konnte der Stärkebeschädigungsgrad von 5,52 auf 7,88 g/100 g Trockensubstanz (TS) erhöht werden (max. 18.000 rpm, Sieblochgröße 80 µm). Die Weizensorte „Julius“ hatte bereits im Referenzmehl einen höheren Grad an Stärkebeschädigung (5,96 g/100 g TS). Dieser konnte auf 6,67 g/100 g TS bei der Vermahlung bei 18.000 rpm (Sieblochgröße 250 µm) erhöht werden. Die Vermahlung bei hohen Drehzahlen und gleichzeitiger Verwendung kleiner Sieblochgrößen führte zu einem deutlichen Temperaturanstieg bis auf 70°C und einer haptisch und optisch feststellbaren Veränderung des Mehles: es wurde klebriger und pergamentähnlicher.

Beim enzymatischen Nachweis der Stärkemodifikation wurden insbesondere bei den CM-modifizierten Mehlen deutlich höhere Stärkemodifikationsgrade gemessen als beim amperometrischen Nachweis mittels SDmatic. Dies kann auf die starke Fragmentierung der Amylose zurückgeführt werden. Der Vergleich der CM- und ZM-Modifikation zeigte, dass die Partikelzerkleinerung während des Mahlvorgangs nicht ausschließlich für den Anstieg der Wasserbindung modifizierter Mehle verantwortlich war, sondern dass weitere Veränderungen der Oberfläche Einfluss auf die Hydratationseigenschaften haben.

Mittels SDS-PAGE-Elektrophorese der sehr intensiv modifizierten Mehle (KM, 600 rpm, 15/20 min) wurden stark veränderte Bandenintensitäten bzw. -strukturen im Vergleich zum unbehandelten Mehl ermittelt. Wesentlich geringere Auswirkungen waren hingegen bei den ZM-modifizierten Mehlen sichtbar. Die OSBORNE-Fraktionierung zeigte Verände-

rungen der Proteintypen bzw. ihrer -verteilung bei KM- und ZM-Modifikationen in unterschiedlicher Intensität. Albumine/Globuline (ALGL) und Gliadine (GLIA) nahmen nach 20-minütiger KM-Behandlung bei 600 rpm auf ca. 10 % des ursprünglichen Gehaltes ab. Allgemein sank mit steigendem Grad der Behandlung die Menge an extrahierbarem Protein. Bei erhöhter Temperatur wurden die cysteinhaltigen α - und γ -Gliadine durch Thiol-Disulfidaustausch an die Glutenine (GLUT) gebunden und nicht mehr mit den monomeren Gliadinen (GLIA) extrahiert. Dies führte zu einer erheblichen Abnahme des Gliadin/Glutenin-Verhältnisses. Die Gehalte der cysteinfreien ω 5- und ω 1,2- Gliadintypen blieben nahezu konstant. Bei der SDSL-GMP-Fraktionierung waren keine Veränderungen bei ZM-Modifikationen sichtbar. Mit zunehmender Behandlungsintensität erfolgte in der KM eine kontinuierliche Abnahme des SDS-löslichen Anteils bzw. eine Zunahme des Gluteninmakropolymer (GMP)-Gehaltes. Bei geringer Wärmebelastung wurden keine signifikanten Unterschiede in der Proteinverteilung zwischen den einzelnen Vermahlungsmodi festgestellt. Die Partikelgrößenverteilung veränderte sich durch ZM- und KM-Modifikationen signifikant.

Um die Auswirkungen der mechanischen Modifikation auf die Teigeigenschaften zu bestimmen, wurde die Klebnetzwerkbildung mittels Proteinnetzwerkanalyse (PNA) durchgeführt. Teige, die aus Mehl mit hohem Stärkemodifikationsgrad (8,15 %) hergestellt wurden, zeigten beim Kneten bis zum Teigoptimum (1. Peak DoughLab) eine niedrigere Verzweigungsrate, eine höhere Endpunktrate und eine höhere Lakunarität. Die durchschnittliche Proteinelänge in einem Teig, der aus stark modifiziertem Mehl hergestellt wurde, war 50 % niedriger als die des Referenzteiges mit niedrigem Stärkemodifikationsgrad. Damit wiesen diese Teige häufig Netzwerkunterbrechungen und damit schlechte Gashaltigkeiten auf. Teige, die aus mechanisch modifiziertem Mehl hergestellt wurden, wiesen jedoch beim Kneten im DoughLab einen zweiten Peak auf. Längeres Kneten der Teige bis zu diesem zweiten Peak (bis zu 16 min) führte zu einer deutlich verbesserten Klebnetzwerkbildung, die eine mit dem Standardteig vergleichbare Proteinnetzwerkanalyse (PNA)-Charakteristik aufwies.

Durch mechanische Modifizierung mittels Kugelmühle kam es bei hoher Modifikationsintensität (hohe Drehzahl, lange Mahldauer) zu einer Verfestigung der Teige. Dies wurde in Mikro-Backtests und Texturanalysen der Krume bestätigt. Eine intensive Modifikation erzielte generell einen negativen Effekt auf die funktionellen Eigenschaften, während eine geringe Modifikation zu einer Qualitätsverbesserung führte. Mit zunehmender Drehzahl und längerer Mahldauer kam es u.a. zu einer Zunahme der Wasserabsorption und der Teigentwicklungszeit sowie zu einer Abnahme der Teigstabilität und des spezifischen Volumens.

Korrelationsanalysen zeigten, dass die Dehnungsenergie im Teigzugversuch, die OSBORNE- und die SDSL/GMP-Fraktionen mit dem spezifischen Brotvolumen hoch korreliert waren, so dass sich der Mikrozugversuch mit Teig sowie die Proteinfractionen zur Vorhersage von Backergebnissen bei mechanisch behandelten Weizenmehlen als geeignet erwiesen.

Bei den separaten Protein- und Stärkemoifikationen dienten natives Gluten und native Weizenstärke im Verhältnis 1:7 (1+6) als Modellmedium. Die Modifikationen des Glutens fanden in der ZM (200 µm-Sieb, 12.000-18.000 rpm) und der KM (500 rpm, 5-25 min) statt. Auswirkungen auf die technologische Funktionalität wurden nur punktuell analysiert. Wenige bzw. keine Veränderungen innerhalb der einzelnen Modifikationsstufen (KM und ZM) wurden bei den Stärke-Gluten-Rekombinaten in der Bandenintensität bzw. -struktur in der SDS-PAGE und den Gehalten der OSBORNE-Fraktion bzw. der Elutionsmuster in den HPLC/UV-Chromatogrammen beobachtet. Die Feuchtkleber-Dehnbarkeit bzw. -Dehnenergie sowie der Gluten-Index nahmen mit zunehmender KM-Modifikation ab, das Verhältnis von Dehnbarkeit zu Dehnwiderstand hingegen stieg an. Beim spezifischen Brotvolumen konnte ebenfalls eine geringe Abnahme beobachtet werden. Bei Mehlmischungen aus nativem Mehl und bei Zusatz von schwach modifiziertem Mehl (5-20 %, KM 300 rpm) wurde eine deutliche Verbesserung der backtechnologischen Eigenschaften festgestellt, u.a. eine Zunahme des spezifischen Brotvolumens. Die optimale Zusammensetzung bestand aus 92,5 %

Basismehl und 7,5 % schwach modifiziertem Mehl (300 rpm, 5 min).

Die Untersuchungen zeigten, dass sich physikalisch modifizierte Mehle durch eine intensive Fragmentierung von Stärke-Gluten-Agglomeraten auszeichnen, die zu einer verstärkten Quellung und folglich zu einer vorzeitigen Verkleisterung bei der Verarbeitung von Teigen sowie zu einer reduzierten Viskosität beim Backen führt. Die veränderte Kleberausbildung, in Kombination mit frühzeitiger Verkleisterung und niedriger Viskosität, führen zu einer verminderten Gashaltbarkeit der Teige.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Für die Mühlenwirtschaft ist es aus wirtschaftlichen und betrieblichen Gesichtspunkten von großer Bedeutung, Mehle mit spezifischen Eigenschaften herstellen zu können, die von der Backwarenindustrie genutzt werden können, um gezielt spezifische Produkte herzustellen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte die mechanisch bedingte Stärke- bzw. Proteinmodifikation während des Zerkleinerungsprozesses aufgeklärt und in technologischer Hinsicht definiert werden.

Auswirkungen durch veränderte Anlagengestaltungen bei der Vermahlung können aufgrund der Ergebnisse des Vorhabens nun kausaler erfasst und hierauf in der Praxis reagiert werden. Mühlen wird es hierdurch möglich, standardisierte Mehle herzustellen, wodurch sich Qualitätsschwankungen bei der Produktion von Backwaren verringern lassen und Ausschuss vermieden werden kann. Die Ergebnisse zeigen, dass Mühlen allein durch verfahrenstechnische Methoden Mehle mit definierten funktionellen Eigenschaften herstellen können. Backzutatenhersteller können durch den Einbezug der mechanisch modifizierten „Clean-Label-Mehle“ spezifische Funktionalitäten erhalten sowie diese durch individuelle Zugaben weiter verändern. Diese funktionellen Inhaltsstoffe können hochpreisiger vermarktet werden und tragen damit zu einer Umsatzsteigerung bei. Die gezielte Herstellung mechanisch modifizierter Mehle ist zwar eine Spezialanwendung und wird nicht in der breiten Masse der Mühlen Anwendung finden, jedoch können die daraus resultierenden Produkte von einer Vielzahl von Backwarenherstellern verwendet werden.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2018.
2. Vogel, C., Scherf, K. und Koehler, P.: Improvement of technological properties of wheat flour due to effects of thermal and mechanical treatments. *Eur. Food Res. Technol.* 245, 167-178 (2019).
3. Paulik, S., Jekle, M. und Becker, T.: Mechanically and thermally induced degradation and modification of cereal biopolymers during grinding. *Polym.* 11 (Spec. Iss. Nat. Comp. Nat. Polymers), 448 (2019).
4. Paulik, S., Wen Yu, W., Flanagan, B., Gilbert, R., Jekle, M. und Becker, T.: Characterizing the impact of starch and gluten- induced alterations on gelatinization behavior of physically modified model dough. *Food Chem.* 301, 125276 (2019).
5. Paulik, S., Jekle, M. und Becker, T.: Reverse approach to analyze the impact of starch modification on the inflation and gas holding properties of wheat-based matrices. *Trends Food Sci. & Technol.* 91, 231-239 (2019).
6. Jakobi, S., Jekle, M. und Becker, T.: Gesteuerte Mehlfunktionalität. *Brot Backw.* 3, 53-57 (2018).
7. Jakobi, S., Jekle, M. und Becker, T.: Direct link between specific structural levels of starch and hydration Properties. *Carb. Polym.* DOI: <http://doi.org/dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.062> (2018).
8. Hackenberg, S., Jekle, M. und Becker, T.: Mechanical wheat flour modification and its effect on protein network structure and dough rheology. *Food Chem.* 248, 296-303, DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.054> (2018).
9. Jakobi, S., Jekle, M. und Becker, T.: High-pressure treatment of non-hydrated flour affects structural characteristics and hydration. *Foods* 7, 1-10 (2018).
10. Vogel, C., Scherf, K. und Koehler, P.: Effects of thermal and mechanical treatments on the physicochemical properties of wheat flour. *Eur. Food Res. Technol.* 244, 1367-1379, DOI: [10.1007/s00217-018-3050-3](https://doi.org/10.1007/s00217-018-3050-3) (2018).
11. Vogel, C., Scherf, K. und Koehler, P.: Improvement of technological properties of wheat flour due to effects of thermal and mechanical treatments. *Eur. Food Res. Technol.* DOI: [10.1007/s00217-018-3149-6](https://doi.org/10.1007/s00217-018-3149-6) (2018).
12. Hackenberg, S., Verheyen, C., Jekle, M. und Becker, T.: Effect of mechanically modified wheat flour on dough fermentation properties and bread quality. *Eur. Food Res. Technol.* 243, 287-296, DOI: <http://doi.org/10.1007/s00217-016-2743-8> (2017).
13. Jakobi, S., Jekle, M. und Becker, T.: Controlled flour functionality. The effect of various kinds of milling and grinding on the structural modifications of starches and consequently on the technological properties of doughs. *Bak. Bisc.*, 62-66 (2017).
14. Vogel, C., Scherf, K. und Köhler, P.: Auswirkungen von thermischen und mechanischen Behandlungen auf die Proteinverteilung und die funktionellen Eigenschaften von Weizenmehl. *Food Lab.* 4, 20-25 (2017).
15. Vogel, C., Lisson, N. und Köhler, P.: Auswirkungen von thermischen und mechanischen Behandlungen auf die funktionellen Eigenschaften von Weizenmehl. *Jahresb. LSB München* 2017, 43-47 (2017).
16. Hackenberg, S., Jekle, M. und Becker, T.: Stärkebeschädigung beim Zerkleinerungsprozess. *Brot Backw.* 59-61 (2015).

Weiteres Informationsmaterial:

Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Weihenstephaner Steig 20, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 71-3261
Fax: +49 8161 71-3883
E-Mail: tb@tum.de

Leibniz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie an der Technischen Universität München
Lise-Meitner-Straße 34, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 71-2927
Fax: +49 8161 71-2970
E-Mail: katharina.scherf@lrz.tum.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Godesberger Allee 125, 53175 Bonn
Tel.: +49 228 3079699-0
Fax: +49 228 3079699-9
E-Mail: fei@fei-bonn.de

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wird/wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.