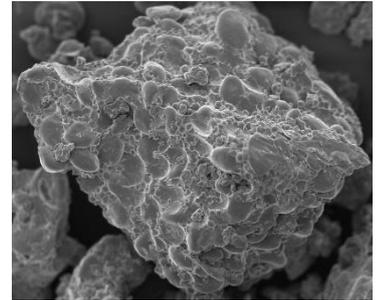


Proteinverschiebung während der Vermahlung von Weizen mittels triboelektrischer Trennung



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	Technische Universität München School of Life Sciences Forschungsdepartment Life Science Engineering Lehrstuhl für Systemverfahrenstechnik Prof. Dr. Heiko Briesen/Prof. Dr. Petra Först Technische Universität München School of Life Sciences Forschungsdepartment Life Science Engineering Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie Prof. Dr. Thomas Becker/M.Sc. Thekla Alpers
Industriegruppe(n):	Weihenstephaner Förderverein für Brau-, Getränke- und Getreideforschung e. V., Freising Verband der Getreide-, Mühlen- und Stärkewirtschaft e. V. (VGMS), Berlin Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. (AGF), Detmold Bayerischer Müllerbund e.V., München
Projektkoordinator:	Dr. Josef Rampl Bayerischer Müllerbund e.V., München
Laufzeit:	2021 – 2024
Zuwendungssumme:	€ 518.513,--

Ausgangssituation

Wie alle kultivierten organischen Rohstoffe weist auch Weizen Schwankungen in seiner Zusammensetzung auf. Die Schwankungen ergeben sich aus kaum beeinflussbaren Umweltfaktoren beim Anbau, wie Klima und Bodenzusammensetzung, sowie Sortenauswahl und Düngung. Trotz dieser natürlichen Schwankungen benötigt die getreideverarbeitende Industrie standardisierte Mehlzusammensetzungen, um eine gleichbleibend hohe Qualität ihrer Produkte, insbesondere bei Backwaren, gewährleisten zu können. Dabei beeinflussen die natürlichen Schwankungen v.a. die Proteinquantität und die Proteinqualität, die direkt für die Backqualität entscheidend sind. Besonders die Proteinqualität ist schwer in einzelne Kenndaten zu fassen und kann daher hauptsächlich über deren Funktionalität erfasst werden. Um die Proteinquantität und Proteinqualität bei der Mehlherstellung einzustellen und zu standardisieren, hat die Mühlenwirtschaft bisher nur die Möglichkeit, Chargen mit unterschiedlicher Zusammensetzung miteinander zu mischen. Eine zielgerichtete Proteinverschiebung während des Zerkleinerungsprozesses ist bisher nur sehr eingeschränkt und nur prozessnachgeschaltet und energieaufwändig möglich (sog. Windsichtung). Diese limitierte Einflussmöglichkeit auf den Proteingehalt bzw.

die Proteienzusammensetzung während der Vermahlung erschwert es Mühlen bisher, standardisierte oder maßgeschneiderte Mehle mit definiertem Proteingehalt und -zusammensetzung unabhängig vom Rohstoff anzubieten.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Erarbeitung einer Methode zur Verschiebung des Proteingehalts und der Proteinzusammensetzung von Weizenmehlen während und nach dem Mahlvorgang mittels triboelektrischer Trennung. Dem Vorhaben lag die Hypothese zugrunde, dass Weizenmehle als partikuläres System in einer Rohrströmung durch Partikel-Partikel-Interaktion elektrostatisch geladen werden und anschließend im elektrischen Feld getrennt werden können. Die generierte Ladung der Partikel hängt dabei von der chemischen Zusammensetzung der Oberfläche ab. Durch das zu erarbeitende Verfahren sollte neben einer In-line-Methode zur Verschiebung des Proteingehaltes während der Vermahlung auch das Verhältnis der Proteinuntereinheiten Gliadin und Glutenin verändert werden. Zudem sollten mittels vorheriger Kleinstvermahlung Hoch- und Niederproteinmehle erzeugt und somit die derzeit praktizierte Windsichtung ersetzen werden.

Forschungsergebnis

Der Schwerpunkt der Forschungseinrichtung 1 (Lehrstuhl für Systemverfahrenstechnik) lag auf der Untersuchung der apparativen und produktspezifischen Einflussfaktoren auf das Ergebnis der triboelektrischen Trennung.

Zur Untersuchung der Einflussfaktoren wurde prozesseitig der Einfluss des Massenstroms, der Turbulenz sowie der Ladestreckenlänge auf die Effizienz der triboelektrischen Trennung ermittelt. Bei der Variation des Zufuhrmassenstromes ($\dot{m} = 40, 80, 160, 320 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$) zeigte sich eine verstärkte Proteinanreicherung in den Becherfraktionen mit zunehmendem Massenstrom. Während bei $\dot{m} = 40$ und $80 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ eine Proteinanreicherung an der negativen Elektrode beobachtet wurde, konnte bei den beiden hohen Massenströmen keine Anreicherung in den beiden Elektrodenfraktionen mehr erzielt werden. Da eine Erhöhung des Massenstroms mit einer Steigerung der Kontaktwahrscheinlichkeit der Partikel einhergeht, wird vermutet, dass es ab einem $\dot{m} = 80 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ durch die höhere Kollisionswahrscheinlichkeit verstärkt zu Agglomeration gegensätzlich geladener Partikel kommt. Zur Erhöhung der turbulenten Strömungsbedingungen in der Ladestrecke (zylinderförmige PVC-Röhre) wurden der Durchmesser des Rohrs sowie der Gasvolumenstrom variiert. Es zeigte sich, dass durch die Verringerung des Innendurchmessers der Ladestrecke und einer Erhöhung der Turbulenz, eine betragsmäßig stärkere Aufladung der Partikel erreicht wurde. Dadurch konnte eine stärkere Proteinanreicherung in den Elektrodenfraktionen erzielt werden. Durch die Variation der Ladestreckenlänge ($l = 0, 105, 210 \text{ mm}$) und somit der Verweilzeit der Partikel, der Variation des Gasvolumenstromes ($\dot{V}_{\text{Gas}} = 1,5; 2,5; 3 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$) und durch zusätzliche Eindüsung von Luft in die Ladestrecke sollte die Anzahl an Partikel-Partikel- und Partikel-Wandstößen variiert werden. Durch die verbundene Steigerung der Kontaktzahlen bei höheren Turbulenzen beziehungsweise Verweilzeiten konnte keine Verbesserung der Proteinanreicherung erreicht werden. Die Ergebnisse deuten auf einen Umschlagpunkt in der Kontaktanzahl, ab welchem es aufgrund der Partikelladungen nicht zu weiterer Aufladung, sondern vermehrt zu Agglomeration gegensätzlich geladener Partikel kommt, hin.

Rohstoffseitig zeigte sich, dass eine Vermahlung der ganzen Körner beziehungsweise eine Nachvermahlung des Weizenmehles in Prallmühlen neben feineren Ausmahlgraden auch gesteigerte Proteinanreicherungen an der geerdeten Elektrode (ER-) bewirkte. Aufgrund der beschriebenen Ergebnisse konnte der Aufbau der Separationseinheit optimiert werden, sodass eine möglichst hohe Proteinanreicherung erzielt werden konnte.

In Forschungseinrichtung 2 (Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie) wurde eine physikochemische Analyse der Mehlinhaltsstoffe durchgeführt sowie die Teig- und Backeigenschaften der triboelektrisch getrennten Mehle untersucht.

Es hat sich gezeigt, dass sich die Verteilung der Mehlinhaltsstoffe über den Trennfraktionen durch die Trennung beeinflussen lassen. So konnte eine Proteinanreicherung von 0,53% absolut bei dem Mehl Asory und eine Anreicherung von 0,70% absolut bei dem Reform-Mehl (beides sortenreine A-Weizen) erreicht werden. Die Versuche zeigten auch, dass es zu einer Veränderung der Proteinzusammensetzung kam. So konnte bei der Analyse der Osborne-Fractionen mittels RP-HPLC festgestellt werden, dass sich das Gliadin/Glutenin-Verhältnis durch die triboelektrische Trennung verändern lässt. Ebenfalls konnte eine Verschiebung des Gehaltes an

beschädigter Stärke festgestellt werden, wodurch wiederum die Wasserrückhaltefähigkeit der Proben beeinflusst wurde. Dadurch kam es in den weiteren Untersuchungen zur Teig- und Backeigenschaften ebenfalls zu Unterschieden in der Funktionalität der einzelnen Trennfraktionen. So konnte eine feinere Porung und ein höheres spezifisches Volumen für die Mehle der Bechertrennfraktionen festgestellt werden. Über den Verlauf des Projektes konnten vielseitige Einflussfaktoren auf den Trennungsverlauf und die Trenneffizienz identifiziert werden. Die Trenneffizienz stieg dabei mit abnehmender Partikelgröße und abnehmenden Anteil von Mineralstoffen und Pentosanen. Unter Verwendung einer PVC-Ladestrecke konnte eine tendenzielle Proteinabreicherung an der negativen Elektrode erzielt werden. Ursächlich hierfür wurde anhand der Bestimmung der Einzelpartikelladung der isoliert vorliegenden Mehlhauptbestandteile eine mittlere negative Ladung von Weizenstärke und mittlere positive Partikelladung von Vitalkleber gezeigt. Der Vergleich unterschiedlicher Mehle zeigte zudem eine höhere Trenneffizienz mit steigendem Anteil von Partikeln mit Größen zwischen 10 µm und 40 µm. Eine abschließende Eruierung der in-line Fähigkeit der triboelektrischen Trennung bestätigte das Potential zur in-line Anwendung und zeigte eine ausgeprägtere Proteinverschiebung bei späteren Mehlpassagen, wodurch die Ergebnisse dieses Arbeitspakets zeigten, dass der Einsatzort des triboelektrischen Trennapparats entscheidend für die Beeinflussung der Mehlzusammensetzung ist.

Wirtschaftliche Bedeutung

Sowohl die Mühlen- als auch die Backbranche sind in Deutschland stark mittelständisch geprägt: So gibt es unter den etwa 176 Mühlen (Stand 2023) hauptsächlich kleine und mittelständische Unternehmen, die sich im Familienbesitz befinden (Gesamtumsatz 2,75 Mrd. €, Stand 2019/20). Die Backbranche erzielte im Jahr 2022 einen Gesamtumsatz von 16,27 Mrd. € und ist mit einem durchschnittlichen Jahresumsatz von 1,69 Mio. € pro Betrieb ebenfalls stark mittelständisch geprägt.

Die in diesem Projekt erzielten Ergebnisse zeigen das Potenzial der triboelektrischen Trennung für die Proteinverschiebung in Mehlen. Durch die Durchführung der Versuche mit verschiedenen Mehlen konnte gezeigt werden, dass eine Proteinanreicherung bzw. -abreicherung von 0.70% absolut möglich ist. Dadurch ist die triboelektrische Trennung ein direktes und einfaches Verfahren, um schnell auf die natürlichen Schwankungen der Mehlqualitäten zu reagieren. Das Projekt zeigte weiterhin, dass durch diese Methode die Proteinzusammensetzung beeinflusst werden kann, was es den Mühlen ermöglicht, auf die spezifischen Produkthanforderungen der Backbranche einzugehen. Bisher ist das Verfahren aufgrund des geringen Durchsatzes aber nur limitiert einsetzbar. Aufgrund dieses Umstandes sind Mühlenhersteller und Anlagenbauer gefordert, das Verfahren weiterzuentwickeln und Anlagen mit einem höheren Durchsatz zu entwickeln. Ein geringer Durchsatz kann aber für kleine und mittelständische Mühlen auch von Vorteil sein. Diese können zusammen mit ebenfalls kleinen und mittelständischen Bäckereien für deren Produkte individuelle Mehle mit einzigartiger Zusammensetzung entwickeln, die die Anforderungen an deren Produkte perfekt erfüllen. Dadurch kann für KMU-Mühlen ein neuer Absatzmarkt mit Spezialmehlen entstehen, die abseits von den großen Mühlen mit ihren standardisierten Mehlen ein Alleinstellungsmerkmal darstellen könnten.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2024.
2. Heckl, M., Greiner, J., Alpers, T., Först, P., Becker T.: Proteinverschiebung während der Vermahlung von Weizen mittels triboelektrischer Trennung. *Mühlen + Mischfutter*, 17, 34-37 (2024).
3. Miller, X., Schugmann, M., Foerst, P.: Impact of Process and Machine Parameters in the Charging Section on the Triboelectric Separation of Wheat Flour in a Vertical Separator. *Processes*, 12, 2721. <https://doi.org/10.3390/pr12122721> (2024)
4. Ozcelik, M., Foerst, P.: Triboelectric Separation for Protein Enrichment of Wheat Flour Compared with Gluten–Starch Mixtures as a Benchmark. *Foods*, 13, 4075. <https://doi.org/10.3390/foods13244075> (2024)

Weiteres Informationsmaterial

Technische Universität München
School of Life Sciences
Forschungsdepartment Life Science Engineering
Lehrstuhl für Systemverfahrenstechnik
Gregor-Mendel-Straße 4, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 71-3272
Fax: +49 8161 71-4510
E-Mail: briesen@wzw.tum.de

Technische Universität München
School of Life Sciences
Forschungsdepartment Life Science Engineering
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Weihenstephaner Steig 20, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 71-3669
Fax: +49 8161 71-3883
E-Mail: tb@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

Förderhinweis

... ein Projekt der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



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

Bildnachweis - Seite 1: @TUM (IGF-Projekt 18679 N)

Stand: 5. März 2025