

Reduzierung von Acrylamid in Keksen bei gleichzeitiger Erhaltung der Produktqualität

Shpresa Musa^{1,2}, Laura Becker³, Claudia Oellig³, Katharina A. Scherf^{1,4,5}

Acrylamid kann in bestimmten Lebensmitteln bei hohen Temperaturen gebildet werden, z.B. beim Braten, Backen, Rösten und Toasten. Es wird von der Internationalen Agentur für Krebsforschung als wahrscheinlich krebserregend für den Menschen eingestuft. Acrylamid entsteht hauptsächlich durch die Maillard-Reaktion, die zwischen Aminosäuren und reduzierenden Zuckern abläuft, wenn Lebensmittel auf über 120 °C erhitzt werden. Diese Reaktion ist jedoch auch erwünscht, da sie für die Bräunung und Geschmacksentwicklung in erhitzten Lebensmitteln verantwortlich ist. Die Europäische Union hat für verschiedene Lebensmittel Richtwerte für Acrylamid festgelegt (Verordnung 2017/2158), wobei für Kekse ein Richtwert von 350 µg kg⁻¹ gilt. Aus diesem Grund sind innovative Lösungen wie der Einsatz von Asparaginasen, die Asparagin in Asparaginsäure umwandeln und damit die Acrylamidbildung im Endprodukt verringern, notwendig. Gleichzeitig stellt die Erhaltung der Produktqualität eine große Herausforderung dar.

Bislang gibt es nur wenige Studien, die den Einsatz von Asparaginasen in Getreide- und anderen Produkten untersuchen. Die Hauptfrage ist somit, wie sich die Enzyme in verschiedenen Lebensmittelmatrixen verhalten, z.B. bei der Verwendung verschiedener Mehlsorten, und wie die Teiginkubations- und Backbedingungen die Acrylamidbildung be-

einflussen. Diese Fragen wurden im Rahmen des über den Forschungsbereich der Ernährungsindustrie e. V. von der IGF geförderten Projekts (01IF21798N) eingehend untersucht.

Welchen Einfluss haben die Inkubationstemperatur, die Backbedingungen und die Asparaginasen auf Acrylamid?

Zur Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Backbedingungen auf die Acrylamidbildung, wurden Kekse aus Weizenvollkornmehl bei unterschiedlichen Temperaturen und Zeiten ohne den Zusatz von Asparaginasen gebacken und analysiert (Abb. 1) [1]. Höhere Backtemperaturen erhöhten den Acrylamidgehalt trotz geringerer Backzeiten. Die Inkubationszeit zeigte keinen Einfluss auf die Acrylamidbildung (Abb. 1a). Andererseits spielten die Inkubationstemperaturen des Teigs eine Rolle, wobei höhere Temperaturen (90 °C) zu einem deutlichen Anstieg des Acrylamidgehalts führten, insbesondere bei einer Backtemperatur von 180 °C und 240 °C (Abb. 1b). Folglich konzentrierten sich die späteren Tests auf eine einzige Backbedingung (220 °C für 11 Minuten) und Inkubationstemperaturen von 60 °C und 70 °C.

Durch die Verwendung von Asparaginasen wurde der Acrylamidgehalt sowohl in Weizen- als auch in Roggenkekse deutlich gesenkt (Abb. 2) [1]. Bei einer Inkubationstemperatur von 60 °C verringerte die Behandlung A2 den Acrylamidgehalt um bis zu 70%, während die Behandlung X2 bei 70 °C eine Verringerung um 80% in Weizenkekse bewirkte (Abb. 2b). Ähnliche Tendenzen wurden bei Roggenkekse beobachtet, wobei die Behandlung X2 eine Reduktion von bis zu 85% bewirkte. Wichtig ist, dass der Acrylamidgehalt bei allen mit Asparaginase behandelten Proben unter dem von der EU festgelegten Richtwert von 350 µg kg⁻¹ lag, außer bei A2 (Abb. 2b). Diese Ergebnisse stimmen mit früheren Untersuchungen überein, die

gezeigt haben, dass Asparaginasen die Acrylamidbildung in Getreideprodukten wirksam reduzieren können. Faktoren wie die Enzymdosierung, die Teigzusammensetzung und die Inkubationsbedingungen beeinflussen das Ausmaß der Acrylamidreduktion, was die Komplexität dieser Strategie unterstreicht. Es ist zu beachten, dass je nach Acrylamidbildung und gewünschter Reduktion die Asparaginasekonzentration angepasst werden muss. Bei Verwendung von höheren Mengen sollten jedoch mögliche Auswirkungen auf die Qualität der Produkte untersucht werden. Trotz dieser Herausforderungen bietet die Asparaginase-Behandlung eine zuverlässige Methode zur Verringerung des Acrylamidgehalts in Backwaren, um die Richtwerte einzuhalten.

Der pH-Wert spielt eine entscheidende Rolle bei der Aktivierung von Asparaginasen, wobei der optimale Bereich bei pH 6–9 liegt. Niedrigere oder höhere pH-Werte verringern die Enzymaktivität, so dass mehr freies Asparagin im Teig verbleibt, was zu einer erhöhten Acrylamidbildung führen kann. In dieser Studie lag der pH-Wert der Weizen- und Roggenteige zwischen 5,96 und 6,26, was innerhalb des empfohlenen Bereichs für die optimale Asparaginaseaktivität liegt. Die geringe Menge an Backpulver (0,33 g), die in der Rezeptur verwendet wurde, hatte keinen signifikanten Einfluss auf den pH-Wert. Da sich der pH-Wert auch auf die Maillard-Reaktion auswirkt, wird die Verwendung von Natriumhydrogencarbonat anstelle von Ammoniumhydrogencarbonat empfohlen, um die Acrylamidbildung zu verringern.

Roggenmehl wies einen signifikant höheren Gehalt an freiem Asparagin auf (700 ± 8 mg kg⁻¹) als Weizenmehl (290 ± 6 mg kg⁻¹), was zu einer höheren Acrylamidbildung in Roggenkekse im Vergleich zu Weizenkekse führte. Die Ergebnisse bestätigen eine Korrelation zwischen dem Gehalt an freiem Asparagin im Mehl und der Acrylamidbildung in

¹ Abteilung für Bioaktive und Funktionelle Lebensmittelinhaltsstoffe, Institut für Angewandte Biowissenschaften, Karlsruher Institute für Technologie (KIT), Karlsruhe

² Technische Universität München, TUM School of Life Sciences, Freising

³ Fachgebiet Lebensmittelchemie und analytische Chemie, Universität Hohenheim, Stuttgart

⁴ Leibniz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie an der Technischen Universität München, München

⁵ Technische Universität München, TUM School of Life Sciences, Professur für Food Biopolymer Systems, Freising

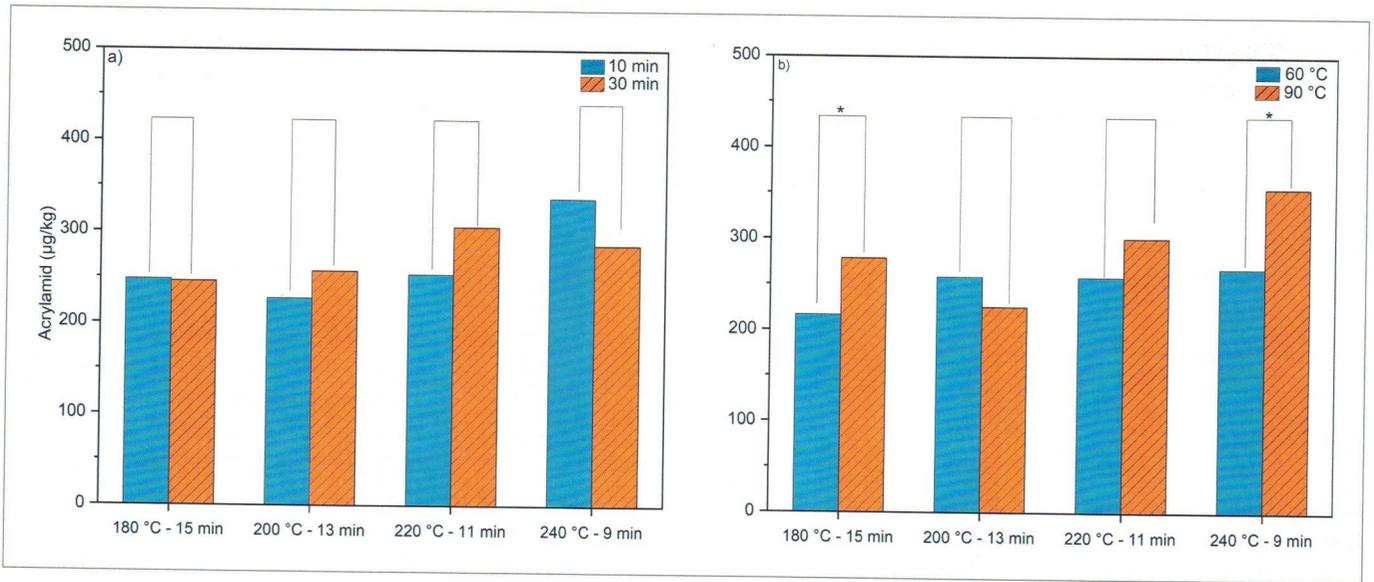


Abb. 1: Auswirkung der Teiginkubationszeit (a) und der Temperatur (b) auf die Acrylamidbildung in Weizenkeksen, die bei 180 °C, 200 °C, 220 °C und 240 °C für 15 min, 13 min, 11 min bzw. 9 min gebacken wurden. Die Daten sind als Mittelwerte (n = 3) angegeben, und der Vergleich der Mittelwerte erfolgte mittels t-Test bei p≤0,05, wobei Sternchen signifikante Unterschiede kennzeichnen. Quelle: Musa et al. (2024) [1], lizenziert unter CC BY 4.0.

Backwaren [2]. Es ist bekannt, dass Vollkornmehle einen höheren Gehalt an freiem Asparagin aufweisen als Weißmehle, was den Acrylamidgehalt weiter beeinflusst. Daher ist die Bestimmung des Gehalts an freiem Asparagin in Mehl von entscheidender Bedeutung für Minimierungsstrategien.

Beeinflussen Asparaginase die Backqualität?

Beim Backen von Keksen geht es nicht nur um den Geschmack, sondern auch um die

Farbe und die Beschaffenheit. Beides sind entscheidende Parameter für die Akzeptanz durch Verbraucherinnen und Verbraucher. In unserer Studie wurde untersucht, wie Asparaginase-Behandlungen, die zu einer wirksamen Reduzierung von Acrylamid führen, diese Faktoren in Weizen- und Roggenkeksen beeinflussen. Mit Hilfe von CCell wurde die Farbe der Kekse in Form von Helligkeit (L*), Rotanteil (a*) und Gelbanteil (b*) erfasst. Höhere Backtemperaturen führten zu einer dunkleren Farbe der Kekse (niedrigere L*-Werte), während die Auswirkungen auf den

Rotanteil und den Gelbanteil unterschiedlich waren. Der b*-Wert zeigte die höchste Korrelation (r = -0,75) zwischen Farbe und Acrylamidbildung. Interessanterweise wiesen die mit Asparaginase behandelten Weizenkekse im Vergleich zu den Kontrollproben nur minimale Farbveränderungen auf (Tabelle 1). Roggenkekse wiesen leicht verringerte L*-Werte auf, behielten aber trotz der Behandlungen insgesamt eine gleichbleibende Farbe bei. Die in Tabelle 1 dargestellte Textur, die anhand der Härte und der Bruchfestigkeit der Kekse bestimmt wurde, zeigte, dass die

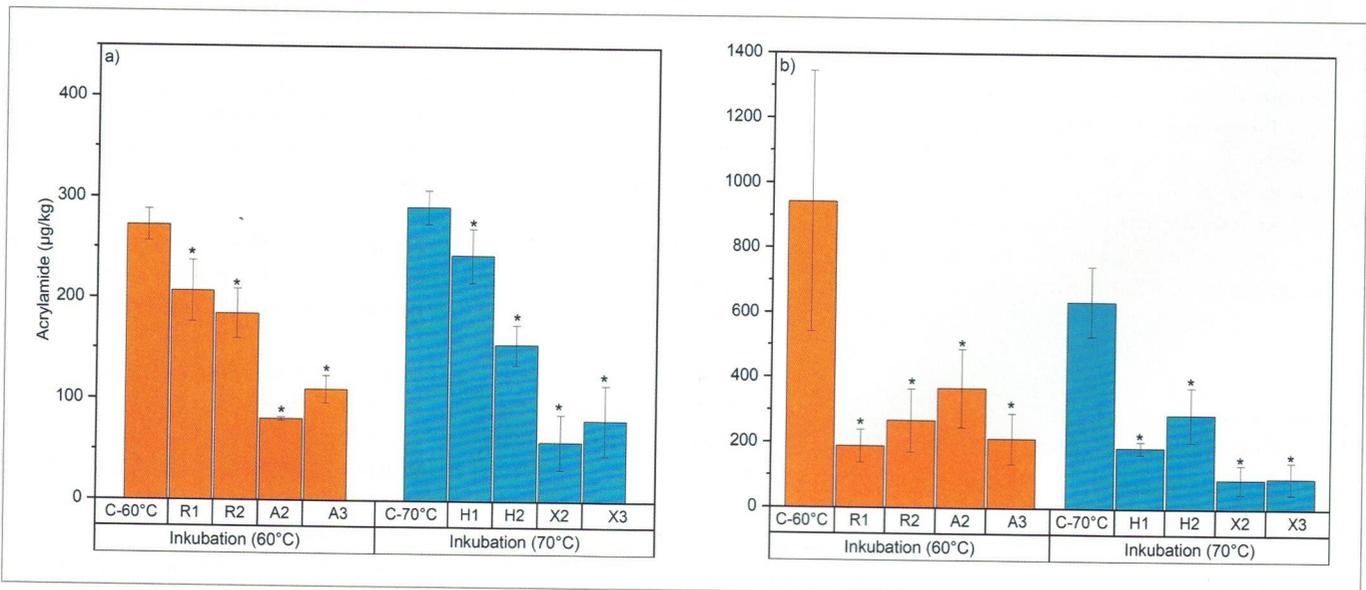


Abb. 2: Acrylamidgehalt unter Verwendung von Asparaginase in Weizen- (a) und Roggenkeksen (b), die bei 220 °C für 11 min gebacken wurden. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an und die Sternchen weisen auf einen signifikanten Unterschied im Vergleich zur jeweiligen Kontrolle hin (ANOVA mit Dunnett's t-test bei p≤0,05, n = 6). Proben ID: C (Kontrollprobe ohne Asparaginase), R (Acrylaway L), A (PreventASe L), H (Acrylaway HighT), X (PreventASe XR), 1 = 100 mg kg⁻¹, 2 = 200 mg kg⁻¹, 3 = 300 mg kg⁻¹. Quelle: Musa et al. (2024) [1], lizenziert unter CC BY 4.0.

Tabelle 1. Farbbewertung mit CCell, dargestellt als L*a*b*-Werte, und Textureigenschaften von Weizen- und Roggenkekse, die bei 220 °C für 11 Minuten gebacken wurden. Sternchen zeigen einen signifikanten Unterschied im Vergleich zur jeweiligen Kontrolle an (ANOVA mit Dunnett's t-test $p \leq 0,05$, $n = 6$). Tabelle modifiziert aus Musa et al. (2024) [1].

| Proben ID ¹ | Weizenkekse | | | Roggenkekse | | | Weizenkekse | Roggenkekse |
|------------------------|-------------|------|-------|-------------|------|-------|-------------|-------------|
| | L* | a* | b* | L* | a* | b* | Härte (N) | Härte (N) |
| C-60°C | 21,0 | 9,6 | 19,1 | 27,2 | 5,4 | 14,7 | 44,1 | 62,1 |
| C-70°C | 23,3 | 10,2 | 21,4 | 27,0 | 5,0 | 14,5 | 45,8 | 62,3 |
| R1 | 20,6 | 9,0 | 18,8 | 19,8 | 6,9 | 17,8 | 44,5 | 62,4 |
| R2 | 22,7 | 9,5 | 19,4 | 21,0 | 7,1 | 18,5 | 49,0 | 58,6 |
| H1 | 21,7 | 9,8 | 19,6 | 17,9* | 5,3 | 13,8 | 46,8 | 57,9 |
| H2 | 24,0 | 8,8 | 18,6* | 22,2 | 6,9 | 18,3 | 33,4* | 61,9 |
| A2 | 23,4 | 6,0* | 15,0* | 31,0 | 3,1* | 10,6* | 48,7 | 55,6 |
| A3 | 25,8 | 6,0* | 16,1* | 31,6 | 3,3* | 10,7* | 49,9 | 58,7 |
| X2 | 23,1* | 8,0* | 18,9* | 22,5 | 5,8 | 15,0 | 31,6* | 61,4 |
| X3 | 25,2* | 7,5* | 17,3* | 30,6 | 3,6 | 9,9* | 37,3 | 34,3* |

¹ C (Kontrollprobe ohne Asparaginase), R (Acrylaway L), A (PreventASe L), H (Acrylaway HighT), X (PreventASe XR), 1 = 100 mg kg⁻¹, 2 = 200 mg kg⁻¹, 3 = 300 mg kg⁻¹

Asparaginase-Behandlungen leichte Veränderungen verursachten. Bei Weizenkekse nahm die Härte bei einigen Behandlungen ab, während bei anderen die Bruchfestigkeit zunahm. Roggenkekse wiesen mit Ausnahme einer Behandlung keine signifikanten Veränderungen in der Härte auf. Variationen in der Textur wurden teilweise auf ungleiche Backbedingungen und inhomogene Feuchtigkeitsverteilung zwischen den einzelnen Replikaten zurückgeführt, die aufgrund des manuell

durchgeführten Backprozesses auftreten können.

Während technische Hilfsmittel wie Farb-scanner und Texturanalysegeräte wertvolle Erkenntnisse liefern, bleibt die sensorische Bewertung für die Beurteilung des Geschmacks und der allgemeinen Verbraucherakzeptanz unerlässlich. Die Weizen- und Roggenkekse, die mit Asparaginase behandelt worden waren, wurden jeweils mit einer

Kontrollprobe ohne Asparaginase verglichen, wobei der Schwerpunkt auf sensorischen Eigenschaften wie Farbe, Textur, Geschmack, Aroma und allgemeiner Akzeptanz lag. Bei Weizenkekse fanden die Panelisten keine signifikanten Unterschiede bei den sensorischen Parametern im Vergleich zu den Kontrollproben (Abb. 3, nur Daten für Weizenkekse sind dargestellt) mit Ausnahme der Behandlung (X3), die eine erhöhte Härte und Knusprigkeit aufwies. Im Gegensatz dazu zeigten Roggenkekse keine sensorischen Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Proben, obwohl in einigen wenigen Fällen eine ungleichmäßige Bräunung aufgrund der Backbedingungen festgestellt wurde. Insgesamt wurden Weizenkekse den Roggenkekse vorgezogen, was wahrscheinlich auf die natürlich höhere Härte der Roggenkekse zurückzuführen ist. Bemerkenswert ist, dass die Behandlungen zwar die Härte der Roggenkekse leicht verringerten, die Veränderung jedoch statistisch nicht signifikant war. Wichtig ist, dass die Asparaginase-Behandlungen keinen negativen Einfluss auf die sensorische Qualität hatten, was mit den Ergebnissen anderer Studien übereinstimmt.

Unsere Studie bestätigt, dass Asparaginase-Behandlungen unter kontrollierten Bedingungen nur minimale Auswirkungen auf die Farbe und Textur von Keksen haben, was sie zu einem wertvollen Ansatz zur Acrylamidreduzierung macht, ohne die Produktqualität zu beeinträchtigen. Diese Ergebnisse unterstützen die Entwicklung von sicheren, qualitativ hochwertigen Backwaren, die sowohl den gesundheitlichen Nutzen als auch die Attraktivität für den Verbraucher erhalten.

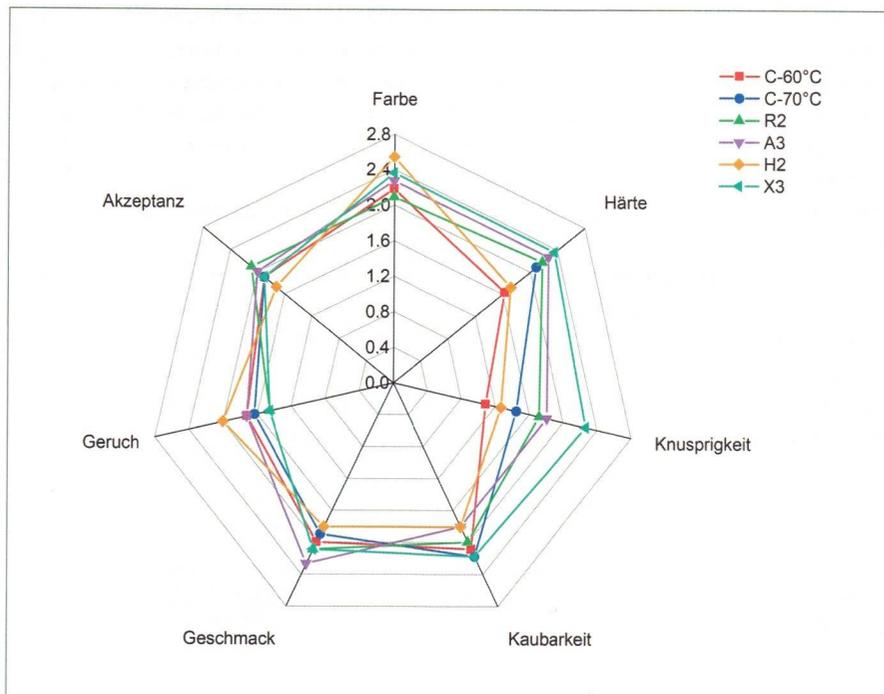


Abb. 3. Sensorische Bewertung einschließlich Farbe, Textur, Geschmack, Aroma und Akzeptanz von Keksen aus Weizenvollkornmehl. Die Ergebnisse sind als Mittelwerte dargestellt ($n = 11$). Die Stichproben wurden mit dem nichtparametrischen Kruskal-Wallis-Test ($p < 0,05$) analysiert, und der Dunn-Test wurde als Post-hoc-Methode für paarweise Vergleiche mit Kontroll- und Mehrfachbehandlungsgruppen verwendet. Proben ID: C (Kontrollprobe ohne Asparaginase), R (Acrylaway L), A (PreventASe L), H (Acrylaway HighT), X (PreventASe XR), 1 = 100 mg kg⁻¹, 2 = 200 mg kg⁻¹, 3 = 300 mg kg⁻¹.

Künftiger Bedarf an weiterer Forschung

Diese Studie bestätigt zwar die Wirksamkeit von Asparaginase bei der Verringerung des Acrylamidgehalts in Backwaren ohne Beeinträchtigung der Produktqualität. Allerdings sind weitere Untersuchungen in verschiedenen Bereichen erforderlich. Zukünftige Forschung sollte Folgendes untersuchen:

1. Optimierung der Asparaginase-Behandlungen mit Bestimmung der effektivsten Enzymdosierungen und Inkubationsbedingungen für verschiedene Mehltypen und Rezepturen, um die Acrylamidreduktion zu maximieren und gleichzeitig die sensorischen Eigenschaften zu erhalten.
2. Bewertung der Langzeitstabilität und der möglichen Lagereffekte, um zu beurteilen, wie sich mit Asparaginase behandelte Produkte über längere Lagerungszeiträume in Bezug auf Textur und Produktqualität verhalten.
3. Skalierung für industrielle Anwendungen und Durchführung von Versuchen in Großbäckereien, um zu bewerten, wie die Prozessparameter Mischzeit, Teighydratisierung und thermische Profile die Enzymaktivität und Acrylamidbildung unter realen Herstellungsbedingungen beeinflussen.
4. Breitere Produktanwendungen mit möglicher Untersuchung der Wirksamkeit von Asparaginase in einer breiteren Palette von Getreide- und Stärkeprodukten, einschließlich Crackern, Frühstückscerealien und Snacks, um umfassendere Vermeidungsstrategien zu entwickeln.
5. Verbraucherwahrnehmung und regulatorische Überlegungen im Hinblick auf die Bewertung der Verbraucherakzeptanz von mit Enzymen behandelten Backwaren und Sicherstellung der Übereinstimmung mit regulatorischen Richtlinien in verschiedenen Märkten, um die Akzeptanz in der Industrie zu erleichtern.

Förderhinweis

Dieses IGF-Vorhaben des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e. V. (FEI) wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Projekt 011F21798N. Dieses Projekt wurde weiterhin durch den Ausschuss für Getreidefor-

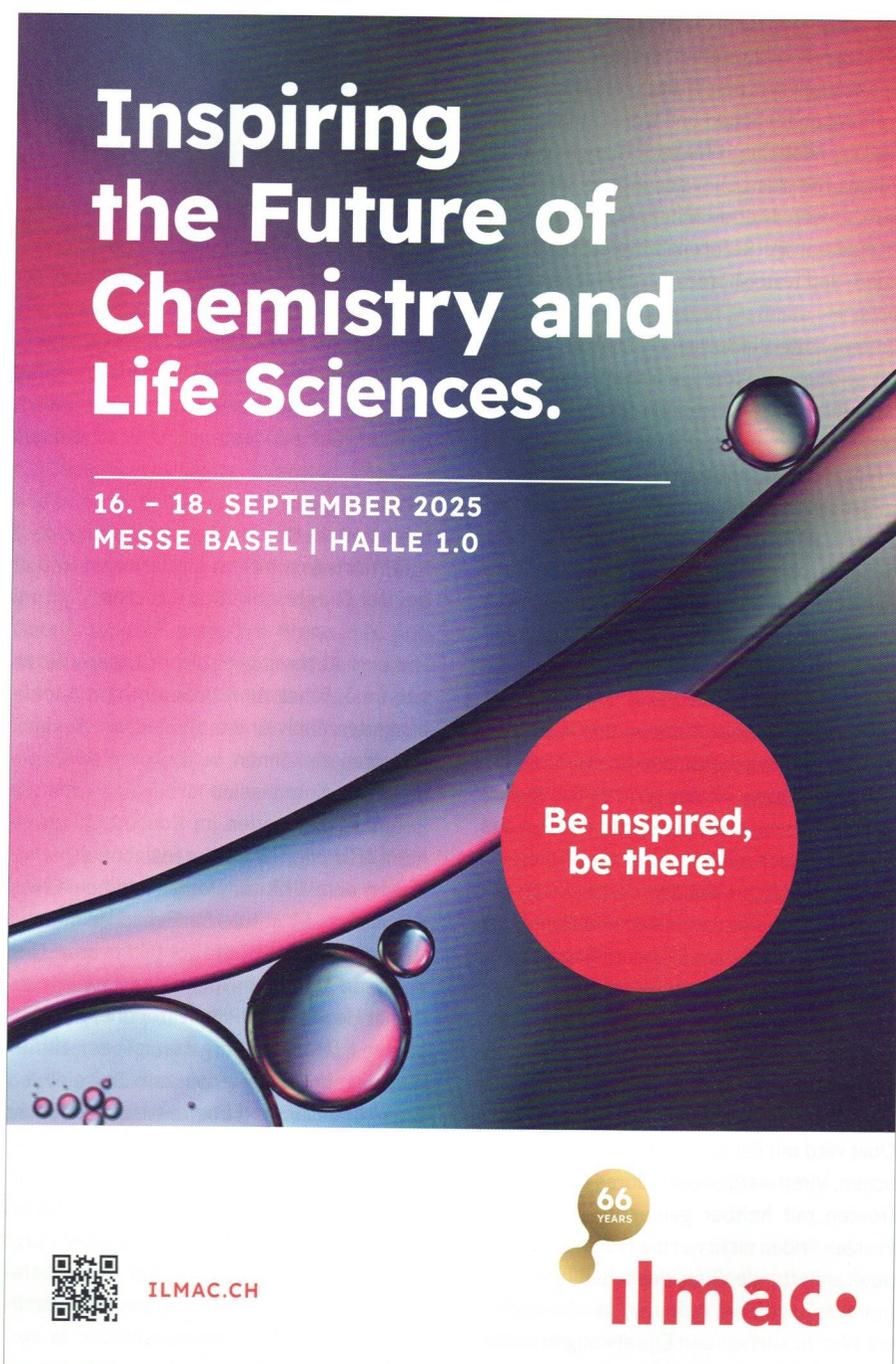
schung der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. (AGF), Detmold, unterstützt.

Literatur

- [1] Musa, S., Becker, L., Oellig, C., & Scherf, K. A. (2024). Asparaginase Treatment to Mitigate Acrylamide Formation in Wheat and Rye Cookies. *LWT - Food Science and*

Technology, 203: 116365. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116365>

- [2] Musa, S., Becker, L., Oellig, C., & Scherf, K. A. (2024). Influence of Asparaginase on Acrylamide Content, Color and Texture in Oat, Corn, and Rice Cookies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72: 22875–22882. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c06175>



**Inspiring
the Future of
Chemistry and
Life Sciences.**

16. – 18. SEPTEMBER 2025
MESSE BASEL | HALLE 1.0

**Be inspired,
be there!**

ILMAC.CH

66 YEARS
ilmac