

FODMAP-Gehalte im Brot sind gering und können durch Rohstoffauswahl und Teigführung weiter reduziert werden

apl. Prof. Dr. Friedrich Longin, Landessaatzuchtanstalt, Universität Hohenheim, 70599 Stuttgart

Heiner Beck, BeckaBeck, 72587 Römerstein;

Anna und Hermann Güttler, Stelzenmühle, 88410 Bad Wurzach;

Wendelin Heilig, Kreislandwirtschaftsamt, 72525 Münsingen;

Prof. Dr. Stephan Bischoff und Julia Zimmermann, Institut für Ernährungsmedizin, Universität Hohenheim

Zusammenfassung

Weizen gehört zu den am meisten angebauten Kulturpflanzen der Welt und ist Grundlage unser täglichen Brotes. Personen mit Reizdarmsyndrom wird teilweise geraten, den Brotkonsum zu begrenzen, weil Brot sogenannte FODMAPs (fermentierbare Oligo-, Di- und Monosachcharide und Polyole) enthält. Verlängerte Teigführungszeiten und gesteigerte Hefemengen können die FODMAP-Gehalte von Brot erheblich reduzieren, allerdings wurden diese Ergebnisse an für den Bäckeralltag unrealistischen Rezepten erarbeitet. Wir haben deswegen eine für Bäcker typische lange sowie eine kurze Teigführung verwendet und zusätzlich diese an 21 verschiedenen Weizensorten getestet. Die Gehalte an Fruktan, Glucose, Fructose und „Excess Fructose“, das ist der Überschuss Fructose im Vergleich zu Glucose, wurden sowohl an den Vollkornmehlen wie an den Broten mittels der jeweiligen Kits von Megazyme gemessen. Im Durchschnitt hatten die Brote der kurzen und langen Teigführung einen FODMAP-Gehalt von unter 0,22gr/100gr Frischgewicht, was je nach Brot 2-3 Scheiben entspricht. Somit ist die Aufnahme von FODMAPs über Brote als relativ gering einzuschätzen, wenn nicht sehr kurze Teigführungen verwendet werden. Theoretisch kann der FODMAP-Gehalt in einer noch längeren Teigführung weiter reduziert werden, allerdings muss man hier genau den Herstellungsprozess betrachten und nicht einfach von Zeitangaben auf FODMAP-Reduktionen rückschließen. Im Gegensatz zu direkt geführten Broten wird in der langen Teigführung häufig mit stark reduzierter Hefemenge unter Kühle und manchmal auch nur mit Teigteilmengen gearbeitet, was die Aktivität der Hefe und somit den FODMAP-Abbau bremst. Die verwendete Rohware hat zudem einen großen Einfluss auf den FODMAP-Gehalt im Brot, so schwankten die FODMAP-Gehalte der 21 Weizensorten um den Faktor vier. Somit können die FODMAP-Gehalte im Brot über die Teigführung und die Sortenwahl erheblich beeinflusst werden. Die Fruktane gehören allerdings auch zu den für das Mikrobiom verfügbaren Kohlenhydraten, die zumindest bei gesunden Personen erhöht aufgenommen werden sollten. Dies zeigt, wie komplex die Herstellung gesunder Lebensmittel ist und erfordert beim Erstellen des Sortiments Gespür für mögliche Märkte.

Einleitung

Weizen (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*) gehört zu den drei weltweit am meisten angebauten Kulturpflanzen und ist die Basis für unser täglich Brot und somit unersetzlich in der Ernährung einer immer weiterwachsenden Weltbevölkerung. Allerdings leiden etwa 7% der Bevölkerung unter einem Reizdarmsyndrom (Sperber et al. 2017) und diejenigen, die unter dem Bläh/Schmerztyp leiden, könnten eventuell von einer Diät mit reduziertem Brotkonsum profitieren. Dies liegt daran, dass Brot sogenannte FODMAPs (fermentierbare Oligo-, Di- und Monosachcharide und Polyole) enthält und diese Stoffe bei diesen Patienten zur Verschlimmerung der Symptome führen können. Zwar enthält

Brot weniger an FODMAP als manches Obst und Gemüse, aber es wird im Durchschnitt mehr konsumiert.

Die Menge an eingesetzter Hefe sowie die Zeit, die die Hefe während der Teigführung bekommt, beeinflussen die FODMAP-Gehalte im Brot erheblich (u.a. Ziegler et al. 2016, Verspreet et al. 2013, Struyf et al. 2018, Menezes et al. 2019). In der Tendenz je mehr Hefe und je länger diese Zeit hat im Teig zu arbeiten, desto weniger FODMAP sind im Brot, was nicht weiter verwundert, da FODMAP Zuckerbestandteile sind, die als Nährsubstrat für die Hefen dienen. Auch eine Verwendung von Sauerteig und sogar eine spezielle Auswahl der Sauerteighefen kann den FODMAP-Gehalt weiter reduzieren (Fraberger et al. 2018, Menezes et al. 2019, Pejcz et al. 2019).

Die meisten dieser Studien haben aber nur wenige verschiedene Weizensorten betrachtet, obwohl alleine in der EU zahlreiche Dutzend verschiedener Weizensorten angebaut und somit auch verbacken werden. Zudem waren die verwendeten Teigrezepte in vielen Fällen eher theoretischer Natur als für den Bäckeralltag zu gebrauchen. Bei Hefemengen weit über 2% und Teigruhezeiten im Gärschrank von zahlreichen Stunden sind sicherlich die FODMAP-Gehalte reduziert, aber das Herstellen von schönem Brot und Brötchen kaum noch möglich. Deswegen haben wir eine kurze und lange Teigführung aus dem Bäckeralltag verwendet und an 21 verschiedenen Weizensorten getestet.

Versuchsbeschreibung

Diese Sorten waren jeweils Mischproben aus mehrortigem Anbau, wobei wir auf zwei Versuchsserien zurückgegriffen haben. Sorten 1-10 & 21 stammen aus einem ökologisch angebautem Versuch in Karlsruhe, Kleinhohenheim (Stuttgart) und Maßhalderbuch (Schwäbische Alb). Sorten 11-20 stammen aus einem Anbauversuch am Julius-Kühn-Institut in Braunschweig. Die Erntemuster der verschiedenen Orte wurden je Sorte zu gleichen Teilen in einer Mischprobe vereint. Diese 21 Mischproben wurden dann zu feinem Vollkornmehl in der Stelzenmühle in Bad Wurzach sortenrein vermahlen (Treffler Mühlomat, Sieblochung = 500µm). Aus den Mehlen wurden an einem Tag die verschiedenen Testbrote immer mit dem gleichen Rezept gemacht jeweils einmal für eine kurze und lange Teigführung. Die Rezepte für die lange und kurze Teigführung waren gleich bis auf die Menge zugesetzter Hefe und Wasser. Wir haben uns für diesen Unterschied aus mehreren Gründen entschieden. Die Zugabe der gleichen Menge Hefe in der langen Teigführung hätte zu einer zu hohen Hefeaktivität und somit einer Schädigung der Teigstruktur geführt. Die Reduktion der Hefemenge bei langer Teigführung entspricht deswegen auch der gängigen Bäckerpraxis. Umgekehrt bewirkt eine lange Teigführung, dass mehr Wasser vom Teig gebunden werden kann. Deswegen haben wir, wie in der Bäckerpraxis üblich, die kurzgeführten Brote mit einer Teigausbeute von 165 und die langgeführten Brote mit einer Teigausbeute von 175 hergestellt.

Bei der kurzen Teigführung wurde folgendes Rezept verwendet: 2 kg Vollkornmehl, 40 g Salz, 50 g Hefe, 1,3 L Wasser (Teigausbeute 165). Die Zutaten wurden zusammengeschüttet, vier Minuten auf kleiner Stufe gemixt und dann eine Minute auf hoher Stufe geknetet (Diosna-Knetter). Der Teig hatte dann eine Teigruhe von 30 Minuten, wurde einmal aufgezogen, hatte dann nochmals eine Teigruhe von 60 Minuten und wurde dann zu Broten à 850 g Einwaage zusammengefaltet, nochmals für 20 Minuten ruhen gelassen und frei geschoben. Die gesamte Teigführungszeit betrug somit 110 Minuten. Die Brote wurden konstant bei 250°C in 50 Minuten in einem Thermo-Ölofen auf Steinplatten gebacken.

Bei der langen Teigführung wurde folgendes Rezept verwendet: 2 kg Vollkornmehl, 40 g Salz, 20 g Hefe, 1,5 L Wasser (Teigausbeute 175). Die Zutaten wurden zusammengeschüttet, vier Minuten auf kleiner

Stufe gemixt und dann eine Minute auf hoher Stufe geknetet. Der Teig hatte dann eine Teigruhe von 60 Minuten, wurde einmal aufgezogen, und kam für 17 Stunden in die Kühlung bei 7 ° C. Nach der Kühlung wurden die Teige bei Raumtemperatur für sechs Stunden akklimatisiert bevor diese zu Broten à 850 g Einwaage zusammengefaltet wurden und nach einer weiteren Teigruhe von 20 Minuten freigeschoben wurden. Die gesamte Teigführungszeit waren somit gute 25 Stunden. Die Brote wurden konstant bei 250°C in 50 Minuten in einem Thermo-Ölofen auf Steinplatten gebacken.

Beide Teigführungen waren so aufeinander abgestimmt, dass die Brote zur gleichen Zeit gebacken wurden. Nach dem Abkühlen wurden repräsentative Proben von jedem Brot (Krumme + Kruste) bei -20°C eingefroren bis zur Analyse der FODMAPs. Da laut Ziegler et al. (2016) die wichtigsten Komponenten der FODMAPs bei Brot Fruktan und Excess Fruktose sind, haben wir uns auf deren Messung beschränkt. Fruktan wurde mit dem Megazyme Fruktan Kit (Megazyme, Bray, Irland) bestimmt anhand des vom Hersteller mitgelieferten Extraktionsprotokolls (AOAC method 999.03). Fructose- und Glucose-Gehalte der Brote wurden mit dem D-Fructose/D-Glucose Assay Kit von Megazyme (Bray, Irland) bestimmt und Excess Fruktose als Differenz der Menge Fructose – Glucose bestimmt (Ziegler et al. 2016). Zusätzlich haben wir diese Gehalte auch an den Vollkornmehlen der 21 verwendeten Weizensorten bestimmt.

Die Versuchsauswertung wurde mit dem Statistikprogramm R durchgeführt. Ob es statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Broten der langen und kurzen Teigführung gab, wurde mittels student'schem T-Test untersucht.

Brotzubereitung reduziert den FODMAP-Gehalt erheblich

Der durchschnittliche FODMAP-Gehalt der 21 verschiedenen Weizenmehle lag bei 1,21gr/100gr Trockenmasse (TM; Fig. 1). Dahingegen war der FODMAP-Gehalt bei den Broten der langen wie kurzen Teigführung im Durchschnitt unter 0,4gr/100gr TM, was einer Reduktion von > 65% entspricht. Rechnet man dies auf Frischgewicht um, ist der FODMAP-Gehalt bei den Broten der langen und kurzen Teigführung bei etwa 0,22gr/100gr frischem Brot, was etwa 2-3 Scheiben Brot entspricht. Somit ist der FODMAP-Gehalt von Brot niedrig, solange keine sehr kurzen Teigführungen verwendet werden (Ziegler et al. 2016, Ispiryan et al. 2020). Unsere Ergebnisse liegen deutlich unter den Werten aus einer umfangreichen australischen Studie (Biesiekierski et al. 2011), die anhand australischer Produkte ohne Angabe der Rezepte erarbeitet wurden. Dahingegen liegen unsere Messwerte im Bereich von aktuelleren Studien mit europäischen Weizen (z.B. Ziegler et al. 2016, Ispiryan et al. 2020). Das zeigt, dass trotz des teilweise hohen Konsums von Brot in unserer Gesellschaft die öfters postulierten Auswirkungen von Brot auf Patienten mit Reizdarmsyndrom hinterfragt werden müssen zumindest aber, dass keine generellen Schlussfolgerungen ohne genauere Betrachtung der jeweiligen Brote und Patienten getroffen werden können.

In der Literatur wird ausführlich beschrieben, dass eine längere Teigführung die FODMAP-Gehalte im Brot reduziert (u.a. Ziegler et al. 2016, Verspreet et al. 2013, Struyf et al. 2018, Menezes et al. 2019). Im Gegensatz dazu, finden wir nur leicht reduzierte FODMAP-Gehalte in der langen verglichen zur kurzen Teigführung obwohl die Gesamtgärzeiten der Teige sich immerhin um 22 Stunden unterschieden (Fig. 1 und 2). Das könnte durch folgende Gründe erklärt werden. Zunächst ist unsere kurze Teigführung mit 110 Minuten vom Teigansetzen bis zum Ofenschub relativ lang im Vergleich zu anderen Studien. So bewegen sich beispielsweise unsere FODMAP-Gehalte für die kurze Teigführung in einem sehr ähnlichen Bereich wie die FODMAP-Gehalte bei 2,5 Stunden Teigführung in der Studie von Ziegler et al. (2016). Diese Studie hatte ja gezeigt, dass bei einer sehr kurzen Teigführungszeit von

einer Stunde noch fast keine FODMAPs abgebaut waren. Zum anderen denken wir, dass ein Großteil der publizierten Studien zu FODMAP bei Brot wichtige theoretische Ergebnisse erarbeitet haben, aber aus Sicht der praktischen Bäckerei doch mit eher unrealistischen Teigführungszeiten und Hefemengen gearbeitet haben. Insbesondere Hefemengen weit über 2% und Teigführungszeiten über 2 Stunden unter Raumtemperatur oder sogar im Gärschrank würden die Teigstruktur so angreifen, dass daraus keine qualitativ hochwertigen Backwaren mehr gebacken werden könnten, die der Bäckerkunde noch kaufen würde. Deswegen haben wir unsere Rezepte an die Bäckerpraxis angepasst mit 2,5% Hefe und warmem Schüttwasser von 25°C in der kurzen und 1% Hefe, kaltem Schüttwasser (16°C) und 17 Stunden Teiggare im Kühlschrank bei der langen Teigführung. Somit haben die Hefen bei den Teigen mit der langen Teigführung zwar erheblich länger Zeit zu arbeiten, sie sind aber erstmal in deutlich geringerer Konzentration deutlich schwierigeren Bedingungen zur Hefevermehrung ausgesetzt. Es dauert so auch erheblich länger in dieser Art der langen Teigführung, bis die FODMAPs durch die Hefen abgebaut werden. Nach der 25 stündigen Teigführung waren die FODMAP-Gehalte aber schon leicht unter der kurzen Teigführung. Dies zeigt, dass einerseits eine lange Teigführung durchaus das Potential hat die FODMAPs erheblich zu reduzieren, dies sollte aber nicht einfach pauschal beworben werden ohne dass der genaue Herstellungsprozess betrachtet wird. Andererseits wird auch gezeigt, dass es keine enorm langen Teigführungszeiten benötigt, um den FODMAP-Gehalt des Brotes erheblich zu senken. Mit 2,5 % Hefe und 2 Stunden Teigführungszeit unter Raumtemperatur sind die Reduktionen bereits erheblich, und viele Backwaren in Deutschland erreichen diese Mindestvorgaben.

Die verwendete Weizensorte beeinflusst den FODMAP-Gehalt im Brot sehr

Wir haben 21 verschiedene Weizensorten verwendet, um daraus jeweils ein Brot mit langer und kurzer Teigführung zu backen. Wir kennen keine weitere Studie, die eine solch große Vielfalt an Weizensorten auf FODMAP-Gehalte untersucht hat. Umso bedeutender sind die Ergebnisse, die FODMAP-Gehalte der Brote der verschiedenen Weizensorten unterschieden sich nämlich deutlich. So schwankten die FODMAP-Gehalte der Brote der langen Teigführung zwischen 0,14 – 0,67gr/100gr TM und die der kurzen Teigführung zwischen 0,23 – 0,57gr/100gr TM (Fig. 2E). Wenn man die einzelnen gemessenen Zucker, also Fruktan (Fig. 2A), Glucose (Fig. 2B) und Fructose (Fig. 2 C) betrachtet, waren diese Schwankungen sogar noch bedeutender. Das untermauert, wie wichtig es in der Forschung ist, verschiedene Sorten einer Art zu betrachten.

Der Fructose-Gehalt der Mehle war minimal und bei allen 21 Weizensorten deutlich geringer als der Glucose-Gehalt (Fig. 2C). Somit gibt es keinen Excess Fructose in den verwendeten 21 Weizenmehlen. Im Gegenteil hierzu war der Fructose-Gehalt im Brot deutlich höher und bei allen Weizensorten höher als der Glucose-Gehalt, was zu Gehalten an Excess Fructose zwischen 0,03 – 0,39gr/100 gr TM führte (Fig. 2D). Dabei waren diese Werte bei der langen Teigführung signifikant geringer als bei der kurzen Teigführung. Es sollte aber bedacht werden, dass die durchschnittlichen Gehalte an Fructose und Excess Fructose auch bei der kurzen Teigführung schon mit 0,2 und 0,13 gr/100gr frischem Brot sehr gering im Vergleich zu Fruchtsäften und Früchten wie Birnen und Pfirsichen sind. Im Gegensatz zum Fructose-Gehalt war der Fruktan-Gehalt der Brote der kurzen Teigführung bei nahezu allen Weizensorten geringer als der bei der langen Teigführung.

Der Gehalt an Fruktanen im Mehl korrelierte mäßig gut mit dem Gehalt an Fruktanen, Glucose, Fructose und Excess Fructose im Brot (Tab. 1), in der Tendenz etwas höher bei der langen als bei der kurzen Teigführung. Der Glucose-Gehalt der Mehle hing mit keinem Messwert in den Broten zusammen und der Fructose-Gehalt der Mehle war nahezu 0. Während der Gehalt an Fruktanen in den

Broten der kurzen und langen Teigführung mit 0,53 korrelierte, korrelierten die anderen Zuckerkomponenten nicht zwischen den verschiedenen Teigführungen. Das bedeutet strenggenommen, dass man je nach geplanter Teigführung eine andere Weizensorte verwenden muss, um eine maximale Reduktion an FODMAPs zu erzielen. Dies könnte maximal durch eine spezielle Produktlinie beim Bäcker realisiert werden, was aber bei den meisten Bäckern im Alltag schwierig umzusetzen ist. Deswegen haben wir uns auch die Durchschnittswerte der Gehalte an FODMAPs und Excess Fructose beider Teigführungen genauer betrachtet (Fig. 3). So korrelierte der Fruktan-Gehalt der Mehle mit 0,75 (Fig. 3A) mit den durchschnittlichem FODMAP-Gehalten und mit 0,70 (Fig. 3B) mit den durchschnittlichem Gehalten an Excess Fructose beider Teigführungen. Man könnte so den durchschnittlich zu erwartenden FODMAP- bzw. Excess Fructose-Gehalt einer Backware also grob am Fruktan-Gehalt des Mehles abschätzen, je weniger Fruktan im Mehl, desto weniger FODMAPs und Excess Fructose im Brot.

Insofern ist die Auswahl einer Rohware mit geringem Fruktan-Gehalt für Brote mit wenig FODMAP durchaus interessant. Die Variation der Fruktan-Gehalte der Mehle der 21 verwendeten Weizensorten lag zwischen 0,85 – 2gr/100gr TM (Fig. 1A), was eine breitere Streuung aufzeigt als die Studie von Ziegler et al. (2016). Erste Studien zur Vererbung des Fruktan-Gehaltes bei Weizen deuten darauf hin (Ziegler et al. 2016, Brandolini et al. 2011), dass der Fruktan-Gehalt bei Weizen durch eine gezielte Pflanzenzüchtung verändert werden könnte, wenn dies denn notwendig ist. Ziegler et al. (2016) zeigten zudem auf, dass Emmer geringere FODMAP-Konzentrationen als Weizen hat. Allerdings hat diese Studie nur sehr wenige Sorten je Art verglichen. Wir haben deswegen zusätzlich zur obigen Studie noch die Fruktan-Gehalte der Mehle von jeweils 9 Sorten der Arten Dinkel, Emmer und Einkorn bestimmt, die jeweils an drei Anbauorten gewachsen waren (Fig. 1A). Dabei erscheint Emmer in etwa auf dem Niveau wie Weichweizen, Dinkel und insbesondere Einkorn aber darüber. Somit wären Strategien zur Reduktion der FODMAP-Gehalte eher bei Dinkel und Einkorn von Bedeutung. Zudem wirft es die Frage auf, ob die FODMAPs wirklich noch als Erklärungsversuch herangenommen werden sollten für das Phänomen, dass es Personen gibt, die Weizenprodukte wohl nicht vertragen aber Dinkelprodukte.

Strategien zur Minimierung der FODMAP-Gehalte im Brot

Die Sortenwahl auf einen niedrigen Fruktan-Gehalt im Mehl stellt somit eine Möglichkeit dar, den FODMAP-Gehalt im Brot zu reduzieren. Eine weitere wichtige Möglichkeit ist, ganz kurze Teigführungszeiten zu vermeiden (Ziegler et al. 2016, Ispiryan et al. 2020). Theoretisch ist eine möglichst lange Teigführung am besten, allerdings muss man dann wirklich an realen Bäckerrezepten messen, die bei langer Teigführung häufig sehr reduzierte Hefemengen und Teigtemperaturen fahren. Die Verwendung von Sauerteig und Hefe scheint die FODMAPs auch weiter zu reduzieren. Dabei könnte man sogar bei der Auswahl der Hefestämme noch die Reduktion der FODMAP-Gehalte in Brot maximieren (Fraberger et al. 2019). Dies alles gibt dem Bäcker zahlreiche Möglichkeiten an die Hand, Backwaren mit reduzierten FODMAP-Gehalten zu produzieren. Allerdings variieren FODMAP-Gehalte stark je nach verwendeter Weizensorte und Teigführung, insofern sollte mit pauschalisierten Bewerbungen ohne regelmäßige Kontrollmessung aufgepasst werden. Man sollte die lange Teigführung aber nicht nur auf die Reduktion der FODMAPs beschränken, es wurde bereits mehrfach gezeigt, dass dadurch auch die Acrylamidmenge reduziert und Geschmack, Frischhaltung und Verfügbarkeit von Mineralstoffen erhöht werden kann. Auch gehören die Fruktane zu den Kohlenhydraten, die wichtig für unser Mikrobiom im Darm sind. Dabei wäre sogar eine Erhöhung

dieser Stoffe begrüßenswert. Das zeigt den Spagat, den Lebensmittelhersteller heute eingehen müssen.

Die Patienten mit Reizdarmsyndrom sind in der Minderheit, und auch bei diesen Patienten sind von FODMAPs vermutlich nur diejenigen vom Bläh/Schmerztyp betroffen. Zudem waren alle unsere Studien-Brote, wie übrigens auch ein Großteil der in der Literatur beschriebenen Weizen- und Dinkelbrote, unter dem von Varney et al. 2017 eingeführten Grenzwert für low-FODMAP Produkte von 0,3 gr Fruktan und 0,15 Excess Fructose pro Nahrungsmittel-Portion und gehören somit eigentlich zu einer low-FODMAP Diät. Nur zur Verdeutlichung, manches Gemüse wie Zwiebel und Artischocke, manches Obst wie Apfel, Birne und Melone, sowie Fruchtsäfte und gesüßte Getränke (Cola, Fanta,...) haben FODMAP-Gehalte weit über 5 gr je 100 gr. Insofern denken wir, dass Bäcker die größere Menge der Backwaren auf gesteigerte Gehalte an verfügbaren Nährstoffen ausrichten sollten über v.a. die Auswahl an geeigneten Rohstoffen (u.a. mehr Vollkorn, Nutzung von β -Glucan Gerste, Rohfaser, mehr Fruktan). Die FODMAP-Reduktion, wenn denn überhaupt notwendig, kann dann eventuell für ein begrenztes Sortiment mit speziell dafür ausgesuchten Rohstoffen und Teigführungen erreicht werden.

Danksagung

Die Probemuster der Sorten 11-20 wurden dankenswerter Weise von Dr. Doreen Gabriel, JKI Braunschweig, bereitgestellt. Dieses Projekt wurde in Teilen finanziell gefördert durch AiF 20763 und DFG LO-1816/4-1.

Literatur

Biesiekierski, J.R., O. Rosella,, R. Rose, K. Liels, J.S. Barrett, S.J. Shepherd, P.R. Gibson, and J.G. Muir. 2011. Quantification of fructans, galacto-oligosaccharides and other short-chain carbohydrates in processed grains and cereals. *Journal of Human Nutrition and Dietetics* 24: 154-176

Brandolini, A., A. Hidalgo, L. Plizzari und D. Erba. 2011. Impact of genetic and environmental factors on einkorn wheat (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*) polysaccharides. *Journal of Cereal Science* 53: 65–72.

Brouns, F, G. van Rooy, P. Shewry, S. Rustgi, and D. Jonkers. 2019. Adverse reactions to wheat or wheat components. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 18: 1437 – 1452

Fraberger, V., L.-M. Call, K.J. Domig und S. D'Amico. 2018. Applicability of yeast fermentation to reduce fructans and other FODMAPs. *Nutrients* 10:1247

Ispiryan, L., E. Zannini, and E.K. Arendt. 2020. Characterization of the FODMAP-profile in cereal-product ingredients. *Journal of Cereal Science*, doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102916

Menezes, L.A.A., L. Molognoni, L.A. de Sa Ploencio, F.B.M. Costa, H. Daguer and J. De Dea Lindner. 2019. Use of sourdough fermentation to reducing FODMAPs in breads. *European Food Research and Technology* 245: 1183-1195

Pejcz, E., R. Spychaj, and Z. Gil. 2019. Technological methods for reducing the content of fructan in wheat bread. *Foods* 8: 663

Sperber, A.D., D. Dumitrascu, S. Fukudo, C. Gerson, U.C. Ghosal, K.A. Gwee, A.P.S. Hungin, J.Y. Kang, C. Minhu, M. Schmulson,. A. Bolotin, M. Friger, T. Freud, and W. Whitehead. 2017. The global

prevalence of IBS in adults remains elusive due to the heterogeneity of studies: a Rome Foundation working team literature review. *Gut* 66: 1075-1082

Struyf, N., J. Verspreet and C.M. Courtin. 2018. FODMAP reduction in yeast leavened whole wheat bread. *Cereal Foods World* 63: 152 – 154

Varney, J., J. Barrett, K. Scarlata, P. Catsos, P.R. Gibson and J. G. Muir. 2017. FODMAPs: food composition, defining cutoff values and international application. *Journal of Gastroenterology and Hepatology* 32: 53 – 61

Verspreet, J., S. Hemdane, E. Dornez, S. Cuyvers, J.A. Delcour and C.M. Courtin 2013. Maximizing the concentrations of wheat grain fructans in bread by exploring strategies to prevent their yeast (*Saccharomyces cerevisiae*)-mediated degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61: 1397–1404

Ziegler, J.U., D. Steiner, C.F.H. Longin, T. Würschum, R. Schweiggert, and R. Carle. 2016. Wheat and the irritable bowel syndrome – FODMAP levels of modern and ancient species and their retention during bread baking. *Journal of Functional Foods* 25: 257-266

WICHTIG: alle Bildrechte verbleiben beim Autor!

Fig 1: (A) Fruktan-Gehalt in Vollkornmehlen verschiedener Weizenarten (n = Anzahl an Sorten) und (B) FODMAP-Gehalt im Mehl und Broten von 21 verschiedenen Weizensorten, die jeweils in einer kurzen (Brot_kurz) oder langen Teigführung (Brot_lang) zubereitet wurden (FODMAP stellt hier die Summe Fruktan und Excess Fructose dar; TM = Trockenmasse).

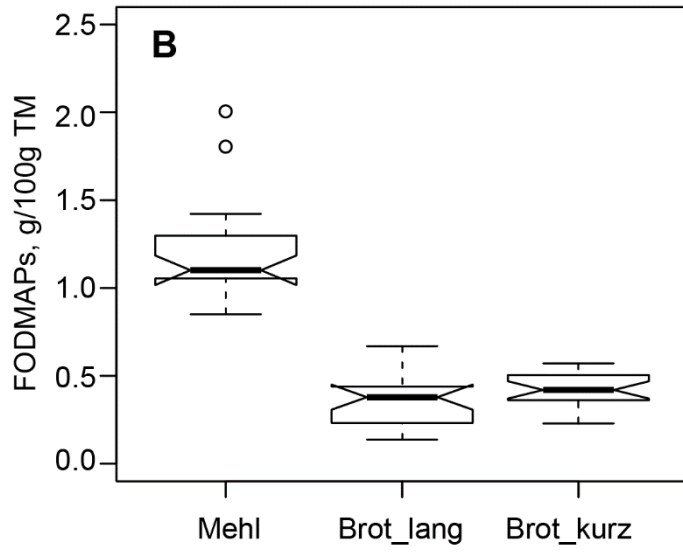
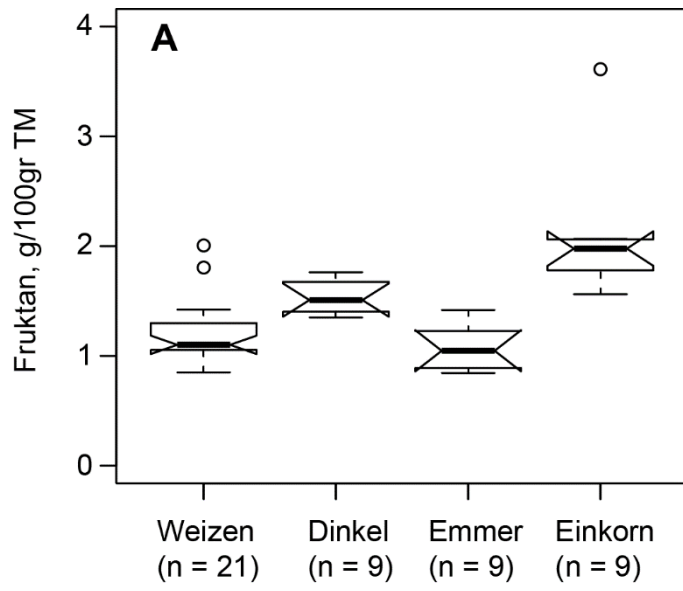


Fig 2: Gehalt an verschiedenen Zuckern im Vollkornmehl von 21 verschiedenen Weizensorten (gepunktete Linie) und deren Brote, die einmal mit kurzer (gestrichelte Linie) und einmal mit langer Teigführung (durchgezogene Linie) zubereitet wurden. FODMAP stellt hier die Summe aus Fruktan und Excess Fructose dar (μ_{BL} = Mittelwerte aller Brote der langen Teigführung, μ_{BS} = Mittelwert aller Brote der kurzen Teigführung, p_{ttest} = p-Wert des Student'schen T-Tests zwischen den Broten der kurzen und langen Teigführung, TM = Trockenmasse).

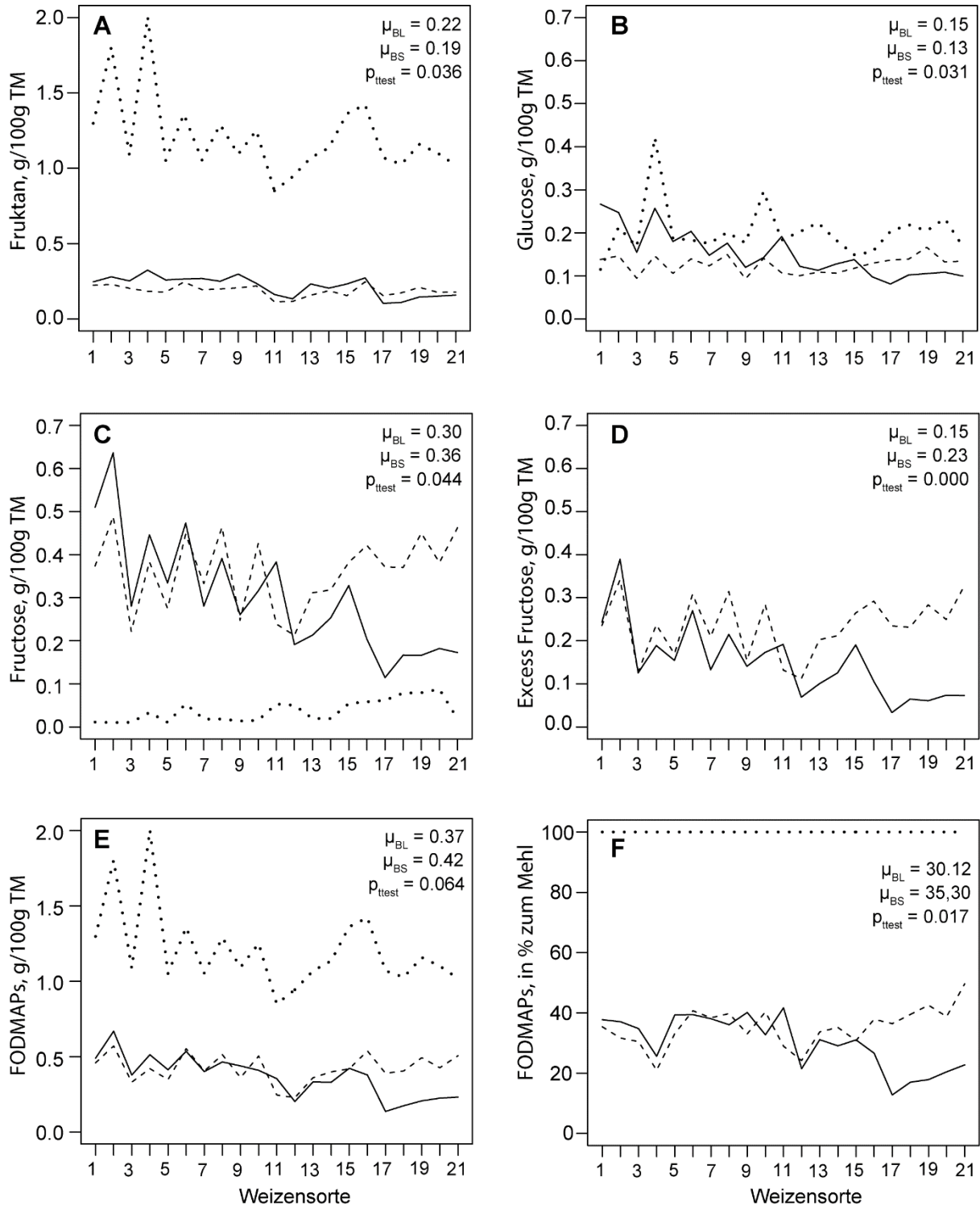


Fig 3: Durchschnittlicher (A) FODMAP-Gehalt und (B) Gehalt an Excess Fructose der Brote beider Teigführungen in Abhängigkeit vom Fruktan-Gehalt der Mehle der 21 verschiedenen Weizensorten (ρ = Pearson's Korrelationskoeffizient, signifikant am 0,01 Wahrscheinlichkeitsniveau; TM = Trockenmasse)

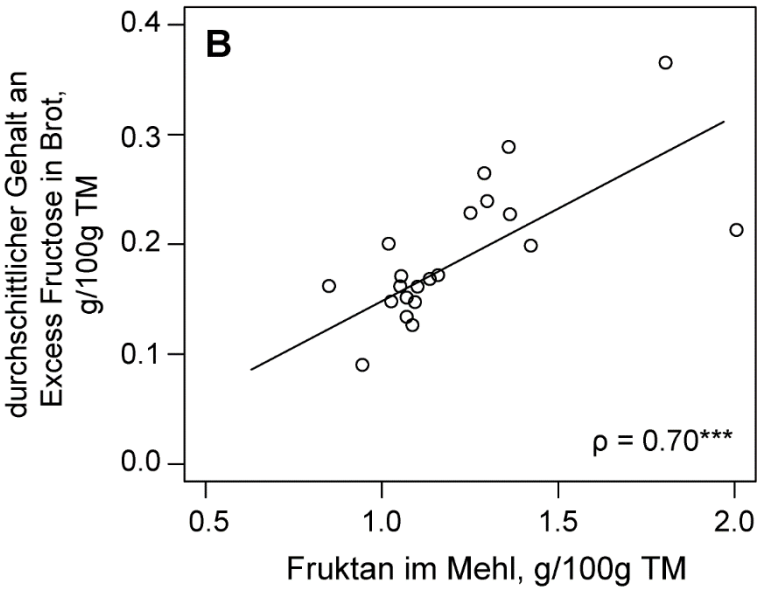
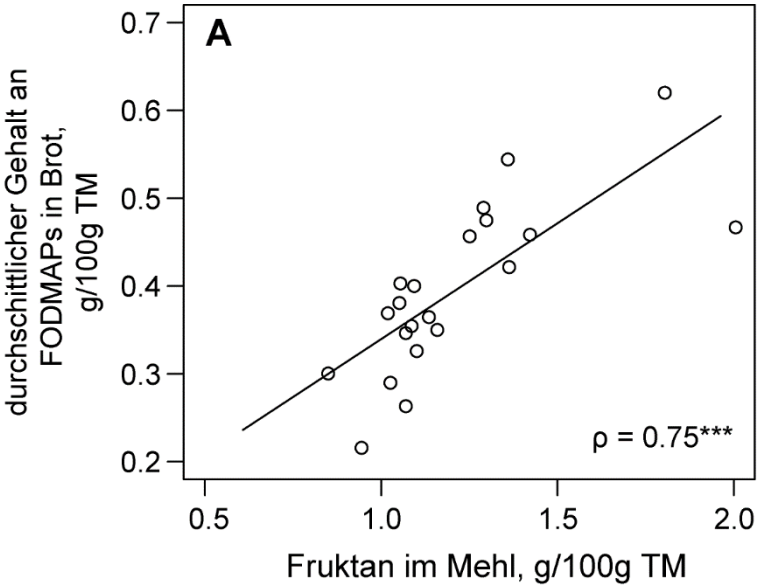


Tabelle 1: Pearson's Korrelationskoeffizient zwischen den verschiedenen Zuckern, die an 21 verschiedenen Weizensorten und den daraus hergestellten Broten der kurzen und langen Teigführung gemessen wurden (*, **, *** signifikant am 0,5, 0,1 und 0,01 Wahrscheinlichkeitsniveau)

		Mehl			Brot – lange Teigführung				
		Fruktan	Glucose	Fructose	Fruktan	Glucose	Fructose	Excess Fructose	FODMAPs
Mehl	Fruktan		0,52*	-0,15	0,62**	0,61**	0,63**	0,63**	0,68***
	Glucose			0,07	0,17	0,21	0,1	0,01	0,09
	Fructose				-0,63**	-0,43	-0,46*	-0,44*	-0,58*
Brot – kurze Teigführung	Fruktan	0,49*	0,07	-0,24	0,53**				
	Glucose	0,49*	0,32	0,31		0,18			
	Fructose	0,53*	0,14	0,14			0,25		
	Excess								
	Fructose	0,52*	0,09	0,08				0,34	
	FODMAPs	0,57**	0,03	-0,03					0,4