

Mineralstoffe und deren Verfügbarkeit in Mehlen und Broten verschiedener Weizenarten

Prof. Dr. Friedrich Longin, Landessaatzuchtanstalt der Universität Hohenheim, Dr. Jens Pfannstiel, Dr. Ute Bertsche, Dr. Tanja Melzer und Andrea Ruf, Core Facility der Universität Hohenheim, Christoph Heger, Backproduktionsberater, Bäckermeister und Brotsommelier, Tobias Pfaff, Schulleiter der Akademie Deutsches Bäckerhandwerk Südwest e.V., Prof. Dr. Markus Rodehutschord, Dr. M. Schollenberger, Institut für Nutztierwissenschaften, Universität Hohenheim

Zusammenfassung

Weizen ist von sehr wichtiger Bedeutung für eine gesunde und nachhaltige Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung, was u.a. an den hohen Mineralstoffgehalten liegt. Diese sind aber zumindest teilweise in einem Phytatkomplex im Getreide gebunden und somit nicht für den Menschen verfügbar. Wir haben deswegen mehrere Versuchsserien unternommen, um einerseits die Gehalte an Mineralstoffen, Phytinsäure und die Phytaseaktivität in verschiedenen Sorten der Arten Weizen, Dinkel, Emmer und Einkorn zu messen, und andererseits das Potential verschiedener Brotteigführungen zu untersuchen, die Phytinsäurekonzentration zu senken und somit die Mineralstoffverfügbarkeit zu erhöhen. Für alle untersuchten Inhaltsstoffe haben wir eine Varianz sowohl zwischen den Sorten innerhalb einer Art als auch zwischen den Weizenarten festgestellt. So scheinen Vollkornmehle insbesondere aus Emmer und Einkorn noch mehr Mineralstoffe als Weizen zu haben, allerdings auch eine deutlich höhere Phytinsäurekonzentration bei ähnlicher Phytaseaktivität. Lediglich Einkorn hatte eine erhöhte Phytaseaktivität im Vergleich zu den anderen Arten, aber noch deutlich geringer als die von Roggenvollkornmehl. Die Teigführung hatte einen deutlich größeren Einfluss auf die Phytinsäurekonzentration im Brot als die Wahl der Sorte für die Herstellung des Vollkornmehls. Lange Hefe- oder Sauerteigführungen und die Verwendung von Vollkornroggenmehl im Weizenmischbrot minimieren die Phytinsäurekonzentration im Brot. Die verschiedenen Teigführungen haben zudem das Potential, weitere Inhaltsstoffe wie FODMAPs oder Acrylamid sowie die Backqualität und Aromen der Brote positiv zu beeinflussen.

Weizen (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*) ist weltweit eines der wichtigsten Grundnahrungsmittel und dessen täglicher Konsum gehört laut führenden Weltgesundheitsorganisationen wie der WHO, FAO und der EFSA zu einer gesunden und ausgewogenen Ernährung. Allerdings sollten dabei vor allem Vollkornprodukte verzehrt werden, weil die Ballast- und Mineralstoffe in den Randschichten und Keimlingen der Körner hochkonzentriert vorkommen (z.B. Gupta et al 2021, Huang et al 2015). Laut der WHO leiden weltweit aber über zwei Milliarden Menschen unter einem Mangel an Mikronährstoffen wie Folat, Eisen (Fe), Zink (Zn) und Selen (Se), dem sog. Hidden Hunger. Dies ist besonders dort ausgeprägt, wo für eine ausgewogene Ernährung neben Getreide nicht ausreichend Obst, Gemüse und tierische Produkte zur Verfügung steht, also in Teilen Asiens und besonders in afrikanischen Ländern südlich der Sahara. In diesen Ländern ist beispielsweise auch das große Weizenforschungszentrum CIMMYT mit einem speziellen Weizenzuchtprogramm aktiv, in dem neben guter agronomischer Leistung auch auf höhere Gehalte an Mineralstoffen wie Fe, Zn und Se gezüchtet wird (Gupta et al. 2021). Aber auch in Europa sind schätzungsweise bis zu 20% der Bevölkerung mit Mineralstoffen unterversorgt (z.B. Rippin et al. 2020).

Phytinsäure ist die Hauptspeicherform von Phosphat im Getreide und ist in der vorkommenden Form nicht verfügbar für den Menschen. Zudem sind Mineralstoffe wie Fe, Zn, Magnesium und Se durch Phytinsäure in einem Komplex teilweise gebunden und somit auch nicht aufnehmbar für uns Menschen (z.B. Zimmermann et al 2002, Brinch-Pedersen et al 2013). Diese Mineralstoffe werden größtenteils unverdaut wieder ausgeschieden was im Falle von Phosphat auch besondere Bedeutsamkeit für die Umwelt besitzt.

Somit ist die Verfügbarmachung von Mineralstoffen ein Ernährungsthema für Mensch und Tier sowie ein Thema des Umwelt- und Ressourcenschutzes und schon lange Gegenstand wissenschaftlicher Forschung. Idealerweise hat ein Getreide viele Mineralstoffe, wenig Phytinsäure und eine hohe Aktivität der getreideeigenen Phytase (für einen Übersichtsartikel: Brinch-Pedersen et al 2013). Während in der Tierernährung die Verfügbarmachung von Mineralstoffen vor allem durch Zusatz von mikrobiellen Phytasen im Tierfutter als erhöht wird, erscheint bei der menschlichen Ernährung die Rezeptur bzw. die Teigführung beim Backen von besonderer Bedeutung zu sein. So ist bekannt, dass beispielsweise Roggen eine deutlich höhere Phytaseaktivität als Weizen hat (Brinch-Pedersen et al 2013), während Dinkel eine ähnlich hohe Phytaseaktivität wie Weizen aufweist (Zimmermann et al. 2002). Dahingegen haben Gerste, Mais und Reis eine erheblich geringere Phytaseaktivität (Zimmermann et al 2002, Brinch-Pedersen 2013). Auch scheinen verlängerte Teigführungen insbesondere unter Nutzen von Sauerteig die Phytinsäurekonzentrationen in Brot stark zu reduzieren (Brinch-Pedersen et al 2013, Fretzdorff und Brümmer 1992, Lopez et al 2001), was auch die Aufnahme von Mineralstoffen zumindest in Rattenversuchen deutlich verbesserte (Lopez et al 2003). Auch aus Untersuchungen mit Schweinen ist gut bekannt, dass eine Reduzierung der Phytinsäurekonzentration in der Nahrung zu einer erhöhten Mineralstoffaufnahme führt.

Bisher ist allerdings wenig bekannt zu Mineralstoff- und Phytatgehalten sowie Phytaseaktivitäten bei alternativen Weizenarten wie Dinkel (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) und insbesondere Emmer (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccum*) und Einkorn (*Triticum monococcum*), zumal bei solchen Studien eine repräsentative Anzahl an Sorten je Art an vergleichbaren Anbauumwelten betrachtet werden sollte. Das o.g. Weizenforschungsprogramm des CIMMYT zur Steigerung der Mineralstoffaufnahme in Entwicklungsländern setzt neben Erhöhung der Mineralstoffgehalte auch auf eine Erhöhung der Phytaseaktivität in Weizen. Inwiefern solch ein schwieriges Unterfangen gerechtfertigt ist, wird maßgeblich davon beeinflusst, ob die Unterschiede der Phytinsäurekonzentrationen und Phytaseaktivitäten zwischen den Sorten einer Art groß sind und wie groß diese Unterschiede im Vergleich zu den Reduktionsmöglichkeiten durch Teigführung bei der Brotherstellung sind. Dies wurde bisher aber in den genannten Weizenarten nicht ausreichend untersucht.

Versuchsaufbau

Wir haben deshalb mehrere Versuchsserien durchgeführt, in denen zahlreiche Getreidesorten der Arten Weizen, Dinkel, Emmer und Einkorn an mehreren Standorten angebaut wurden. Im Labor wurden dann deren Vollkornmehle untersucht und bei einem Teil noch Brote gebacken und auch diese untersucht.

In der **Versuchsserie 1** wurden je 13 Sorten der Arten Weizen, Dinkel, Emmer und Einkorn an drei unterschiedlichen Standorten angebaut und an deren Vollkornmehl die Mineralstoffe in mg/kg mittels ICP-OES nach einem mikrowellenunterstützten Aufschluss bestimmt. In der **Versuchsserie 2** wurden je acht Sorten der Arten Weizen, Dinkel, Emmer und Einkorn an drei unterschiedlichen Standorten angebaut. Aus den Erntemustern der drei Standorte wurden dann repräsentative Mischproben je Sorte erstellt. Am Vollkornmehl dieser Mischmuster wurde folgende Kennzahlen erfasst: Ballaststoffmenge in g/100g mittels AOAC 991.43, Phytinsäuremenge (IP6) in $\mu\text{mol/g}$ TS mittels Chromatographie nach Zeller et al. (2015) sowie die Phytaseaktivität in mU/g TS mittels direkter Inkubation nach Greiner und Egli (2003).

Aus den 8 Weizensortenmischmustern dieser Versuchsserie wurde darauf noch Brot anhand dreier Teigführungen durch einen erfahrenen Bäckermeister gebacken und die Phytinsäurekonzentration bestimmt. Folgende Teigführungen wurden dabei verwendet: 1. direkte Hefeteigführung mit 500g Vollkornmehl, 450g Wasser, 10g Salz sowie 15g Hefe. Dabei waren die Teige vom Ansetzen bis zum Schieben des fertig geformten Brotes drei Stunden bei Raumtemperatur; 2. lange Hefeteigführung mit 500g Vollkornmehl, 450g Wasser, 10g Salz sowie 5g Hefe. Dabei wurden die Teige am Vortag angesetzt, 18 Stunden bei 4°C gekühlt und dann vom Herausnehmen aus der Kühlung bis zum Schieben des fertig geformten Brotes drei weitere Stunden bei Raumtemperatur gelassen; 3. Sauerteig mit Roggenansatz nach der Detmolder 1 Stufenmethode bei Versäuerung von 25% der Mehlmenge, wobei diese 25% ein Standardroggenvollkornmehl mit einer ermittelten Phytaseaktivität von 7800 mU/g TS und Phytinsäurekonzentration von 9,5 $\mu\text{mol/g}$ TS war. Konkret wurden 125g Roggenvollkornmehl, 100g Wasser, 7g Anstellgut Roggen angesetzt und 18 Stunden bei Raumtemperatur gehen gelassen. Darauf wurde 225g Sauerteig, 375g Weizenvollkornmehl, 350g Wasser, 10g Salz und 10g Hefe verknetet und bis zum Schieben der geformten Brote vergingen drei Stunden bei Raumtemperatur.

In der **Versuchsserie 3** wurden drei Dinkelsorten an drei Standorten angebaut. Aus den Erntemustern der drei Standorte wurden dann repräsentative Mischproben je Sorte erstellt. Am Vollkornmehl dieser Mischmuster wurden folgende Kennzahlen erfasst: Mineralstoff- und Phytinsäuregehalte, sowie Zuckeralkohole, Mono-, Di- und Oligosaccharide in mg/100g mittels Anionenaustauschchromatographie mit gepulster amperometrischer Detektion (Zuckeralkohole, Mono- und Disaccharide angelehnt an Thermo Fisher Scientific Technical Note 72225; Oligosaccharide nach Thermo Fisher Scientific Application Note 1149) nach wässriger Extraktion (Menge-Hartman et al 2009). Aus den Vollkornmehlen wurde zudem von einem erfahrenen Bäckermeister Brot in fünf Teigführungen gebacken und die Mineralstoff-, die Phytinsäurekonzentration sowie Zuckeralkohole, Mono-, Di- und Oligosaccharide der Brote bestimmt. Zudem wurde noch die Acrylamidmenge in $\mu\text{g/kg}$ in der Kruste der Versuchsbrote nach Rosen und Hellenäs (2002) analysiert. Folgende Teigführungen wurden durchgeführt: 1. direkte Hefeteigführung mit 500g Vollkornmehl, 350g Wasser, 10g Salz sowie 15g Hefe. Dabei waren die Teige vom Ansetzen bis zum Schieben des fertig geformten Brotes drei Stunden bei Raumtemperatur; 2. lange Hefeteigführung mit 500g Vollkornmehl, 350g Wasser, 10g Salz sowie 5g Hefe. Dabei wurden die Teige am Vortag angesetzt, 18 Stunden bei 8°C gekühlt und dann vom Herausnehmen aus der Kühlung bis zum Schieben des fertig geformten Brotes drei weitere Stunden bei Raumtemperatur gelassen; 3. Detmolder 1 Stufensauerteig bei Versäuerung von 15% der Mehlmenge. Hierzu wurden 75g Dinkelvollkornmehl, 75g Wasser, 7,5g Anstellgut Dinkel angesetzt und 18 Stunden bei Raumtemperatur gehen gelassen. Darauf wurde 150g Sauerteig, 425g Dinkelvollkornmehl, 275g Wasser, 10g Salz und 10g Hefe verknetet und bis zum Schieben der geformten Brote vergingen drei Stunden bei Raumtemperatur; 4. Monheimer Salzsauerteig bei

Versäuerung von 15% der Mehlmenge. Hierzu wurden 75g Dinkelvollkornmehl, 75g Wasser, 15g Anstellgut Dinkel, 1,5g Salz angesetzt und 18 Stunden bei von 35°C auf 25°C fallender Temperatur gehen gelassen. Darauf wurde 150g Sauerteig, 425g Dinkelvollkornmehl, 275g Wasser, 8,5g Salz und 10g Hefe verknetet und bis zum Schieben der geformten Brote vergingen drei Stunden bei Raumtemperatur; 5. Berliner Kurzsauerteig bei Versäuerung von 15% der Mehlmenge. Hierzu wurden 75g Dinkelvollkornmehl, 75g Wasser, 15g Anstellgut Dinkel angesetzt und vier Stunden bei 35°C gehen gelassen. Darauf wurde 150g Sauerteig, 425g Dinkelvollkornmehl, 275g Wasser, 10g Salz und 10g Hefe verknetet und bis zum Schieben der geformten Brote vergingen drei Stunden bei Raumtemperatur.

Die Mineralstoffgehalte von Mehlen unterscheiden sich erheblich

Bei allen neun gemessenen Mineralstoffen konnten wir sowohl innerhalb der Art als auch zwischen den Arten große Konzentrationsunterschiede feststellen (Fig. 1). So schwankte beispielsweise die Menge an Zn zwischen den Weizenarten von 17,4 bis 27,9 mg/kg bei einem Mittelwert von 20,7 mg/kg Vollkornmehl in den 12 getesteten Weizensorten der Versuchsserie 1. Somit hatte die Sorte mit höchstem Zn-Gehalt 60% mehr Zn als die Sorte mit geringstem Gehalt. Wenn man die Mittelwerte der Arten miteinander vergleicht, wies Weizen den geringsten Zinkgehalt auf, während Einkorn mit 35,1 mg/kg Vollkornmehl den höchsten Zinkgehalt besaß, was einem Unterschied von 170% entspricht. Ähnliche Tendenzen wurden bei den anderen Mineralstoffen beobachtet. Betrachtet man alle Mineralstoffe zusammen, hatten Dinkel und insbesondere Emmer und Einkorn erheblich mehr Mineralstoffe im Vollkornmehl als Vollkornweizen, der bereits als wichtige Quelle für Mineralstoffe in der menschlichen Ernährung gilt.

Zusätzlich zu diesen beobachteten Unterschieden hängen Inhaltsstoffe von Weizenkörnern immer auch von der Anbauumwelt ab. So hatten die 12 getesteten Weizensorten im Durchschnitt am Anbauort Hoh 15 mg Zn pro kg Vollkornmehl, während dies am Anbauort EKW fast 25 mg/kg Vollkornmehl waren (Fig. 4), und dies obwohl die Anbaupraxis an allen Standorten gleich war. Allerdings führen Bodenunterschiede und klimatische Bedingungen wie Temperatur und Regenmenge zu sehr unterschiedlichen Verfügbarkeiten von Nährstoffen für die Pflanzen, also Phänomene die eine LandwirtIn nur sehr begrenzt beeinflussen kann. Umgekehrt hatten die einzelnen Sorten an jedem Ort eine ähnliche Rangierung der Gehalte an Mineralstoffen. Somit kann man durch die Wahl einer Sorte innerhalb einer Art oder über die Wahl einer anderen Art (Einkorn anstelle Weizen) die Mineralstoffgehalte in der Wertschöpfungskette steigern, auch wenn die Absolutwerte abhängig von den jeweilig speziellen Anbaubedingungen vor Ort sind.

Verfügbarkeit von Mineralstoffen: die BäckerIn machts

Bei der Verfügbarkeit von Mineralstoffen betrachten wir vereinfacht die Menge Phytinsäure im Vollkornmehl verschiedener Sorten und Weizenarten und den durch verschiedene Teigführungen daraus gebackenen Broten. In den Mehlen haben wir wie für die Mineralstoffe auch eine Varianz innerhalb und zwischen den Arten bei der Phytinsäurekonzentration festgestellt (Fig. 2A). Während die Phytinsäurekonzentration zwischen den Sorten einer Art nur um ca. 2 $\mu\text{mol/g TS}$ schwankte, waren die Unterschiede zwischen den Arten größer und statistisch signifikant voneinander verschieden. Wie beim Mineralstoffgehalt auch hatten insbesondere Emmer und Einkorn deutlich höhere Konzentrationen an Phytinsäure. Das bedeutet, dass diese Arten zwar mehr Mineralstoffe haben, aber eben auch mehr davon gebunden im Phytinsäurekomplex und somit nur teilweise verfügbar für uns Menschen.

Aus der Literatur ist bereits bekannt, dass Phytinsäure in der Teigführung zu Brot teilweise abgebaut wird und dass dies u.a. von der Aktivität des Enzyms Phytase abhängt (z.B. Brinch-Pedersen et al 2013). Deswegen haben wir neben der Phytinsäurekonzentration auch die Phytaseaktivität in den Mehlen der Versuchsserie 2 bestimmt. Auch bei der Phytaseaktivität wurde eine Varianz zwischen den Sorten

innerhalb einer Art und über die Arten festgestellt mit etwa ähnlicher Größenordnung. Lediglich Einkorn hatte im Durchschnitt mit 3300 mU/g TS eine deutlich höhere, statistisch signifikante Phytaseaktivität als Weizen mit einem Durchschnitt von 2295 mU/g TS. Inwiefern diese gesteigerte Phytaseaktivität aber die höhere Phytinsäurekonzentration im Einkornmehl kompensieren kann müssen weitere Untersuchungen zeigen. Allerdings haben alle Weizenarten eine geringere Phytaseaktivität als von Roggen berichtet (Zimmermann et al 2002, Brinch-Pedersen et al 2013), was zumindest für das in Versuchsserie 2 verwendete Roggenvollkornmehl (7800 mU/g TS) auch in dieser Studie experimentell belegt werden konnte.

Um den Einfluss der Sortenwahl innerhalb einer Art auf die Phytinsäurekonzentration mit dem Einfluss verschiedener Teigführungen zu vergleichen, haben wir zwei Versuchsserien mit Brotbacken unternommen. Zunächst haben wir drei verschiedene Dinkelsorten in fünf verschiedenen Teigführungen verbacken (Versuchsserie 3). Dabei wurden zwei unter Bäckern populäre Hefeteigführungen und drei populäre Sauerteigführungen angewendet. Alle Teigführungen haben die Phytinsäurekonzentration deutlich reduziert (Fig. 3 A). Dabei war der Abbau der Phytinsäure in der langen Hefeteigführung in allen drei Dinkelsorten am größten, dicht gefolgt von den drei Sauerteigführungen. Die Unterschiede zwischen den Dinkelsorten in den Phytinsäurekonzentration im Mehl und in den Broten waren geringer als der Unterschied zwischen den einzelnen Teigführungsvarianten.

Um den Sorteneinfluss nochmals genauer zu untersuchen, haben wir in einer weiteren Versuchsserie dann acht Weizensorten allerdings nur in drei Teigführungen miteinander verglichen. Dabei haben wir die beiden Hefeteigführungen aus Versuchsserie 3 verwendet, allerdings nur eine Sauerteigführung. Es bestätigte sich, dass die Wahl der Teigführung den Phytinsäureabbau beim Brotbacken deutlich mehr beeinflusst als die Wahl einer Sorte mit evtl. niedrigerer Phytinsäurekonzentration oder höherer Phytaseaktivität (Fig. 3B). Wir haben erneut zeigen können, dass die lange Hefeteigführung sehr gut Phytinsäure abbaut, was bisher so nicht in der Literatur beschrieben war. Final haben wir eine optimierte Sauerteigführung im Vergleich zur Dinkelstudie designt. Es wurde zwar wieder die Detmolder 1 Stufensauerteig-Methode verwendet, aber es wurden anstelle 15% des Mehls 25% des Mehls versäuert und das Mehl im Sauerteig war nicht das sortenspezifische Weizenmehl, sondern ein Standardvollkornroggenmehl. Die Idee dahinter war, dass Roggen durch seine deutlich höhere Phytaseaktivität im Vergleich zu Weizen dazu beiträgt, dass der Phytinsäureabbau schneller bzw. höher ausfällt. Und tatsächlich war die Phytinsäure bei allen acht Weizenvollkornbroten in dieser optimierten Sauerteigführung am stärksten abgebaut, die Phytinsäurekonzentration war unter 10% im Vergleich zum Vollkornmehl. Das untermauert, dass die Rezeptur und die Teigführung der BäckerIn die wichtigsten Stellschrauben sind, um Mineralstoffe wie Fe und Zn aus Getreide für uns Menschen verfügbar zu machen.

Abschließend haben wir noch die Mineralstoffkonzentrationen im Mehl mit denen im Brot verglichen bei der Dinkelstudie mit fünf Teigführungen (Tab. 1). Im Brot waren mindestens gleich viele Mineralstoffe wie im Mehl enthalten. Auch haben wir keine Unterschiede in den Mineralstoffkonzentrationen zwischen den Hefeteig- und Sauerteigführungen feststellen können. Dahingegen waren Unterschiede zwischen den Ausgangsmehlen (drei verschiedene Dinkelsorten) und den daraus gebackenen Broten feststellbar. Dies belegt, dass die Auswahl an Sorten mit höherem Mineralstoffkonzentration durchaus zu Brot mit höherem Mineralstoffkonzentration führen kann, die durch eine entsprechende Teigführung dann auch für uns Menschen verfügbar sind.

Zusammenfassend konnten wir zeigen, dass die Mineralstoffkonzentrationen je nach gewählter Getreideart und sogar in der Art je nach gewählter Sorte stark variieren und dass die Verfügbarkeit von Mineralstoffen, die im Phytinsäurekomplex gebunden sind, insbesondere durch die Rezeptur und Teigführung der BäckerIn beeinflusst wird. Unsere Forschung entlang der Wertschöpfungskette hat erneut aufgezeigt, dass für eine gesündere Ernährung der Weltbevölkerung, um beispielsweise den Hidden Hunger zu reduzieren oder die sog. personalisierte Ernährung überhaupt einzuführen,

ganzheitlicher gedacht und agiert werden muss. Zur Illustration haben wir in Fig. 4 die Wertschöpfungskette von Brot skizziert, die anfängt mit der Züchtung einer neuen Weizensorte, die eine LandwirtIn anbaut, die MüllerIn prozessiert und die BäckerIn in das finale Produkt verwandelt, welches wir Menschen dann konsumieren. Alle Partner der Wertschöpfungskette haben einen Einfluss auf die letztendlich im Brot für uns verfügbare Menge an Mineralstoffen wie Zn. Zunächst muss in der Rohware, also z.B. einer Partie Weizenkörner, möglichst viel Zn enthalten sein, was durch die Sortenwahl beeinflussbar ist. Bei der Müllerin kommen trotz der Sortenwahl je nach Anbauort Getreidekörner mit unterschiedlichen Mineralstoffgehalten an. Dies lässt sich kaum beeinflussen, der Mineralstoffgehalt sollte aber mit Hilfe von noch zu etablierenden Schnelltests nachgemessen werden. Zudem sollten die Mineralstoffe auch nicht „weggemahlen“ werden, im hellen Auszugsmehl sind eben nur Bruchteile der Mineralstoffmenge im Vergleich zum Vollkornmehl vorhanden. Schließlich muss die BäckerIn auch geeignete Rezepte wählen, wie beispielsweise eine lange Hefeteigführung oder einen Sauerteigansatz mit Roggenvollkornmehl, damit Mineralstoffe wie Zn und Fe aus Vollkorngetreide überhaupt für uns Menschen im Brot verfügbar sind, Bisher wird das wenigste davon überhaupt beachtet, im Weizen konzentriert sich die Bestimmung der Qualität lediglich auf das Maximieren des Brotvolumens mit hellen Mehlen.

Teigführung als Mittel zur Optimierung der Brotqualität?

Frühere Studien haben bereits gezeigt, dass die Teigführung einen erheblichen Einfluss auf verschiedenste Inhaltsstoffe und Broteigenschaften hat. So bewirkt eine lange im Vergleich zur direkten Hefeteigführung, dass mehr Frischhaltung und Geschmack ins Brot kommt bei teilweise leicht reduzierter Backvolumen (Rapp et al 2017, Longin et al 2019). Auch sind mindestens 20% aller heute im Brot messbaren Proteine durch die Teigführung beeinflusst (Zimmermann et al 2021). Die Gehalte an FODMAPs (fermentierbare Oligo-, Di- und Monosachcharide und Polyole) von Broten werden ebenfalls stark von der Teigführung beeinflusst (Ziegler et al 2016, Longin et al 2020).

In unserer Dinkelbackstudie (Versuchsserie 3) haben wir die Zuckeralkohole, Mono-, Di- und Oligosaccharid-Gehalte in den Mehlen und Broten der verschiedenen Teigführungen gemessen (Tab. 2). Dabei konnte bestätigt werden, dass die Teigführung ein wichtiger Faktor ist, um die Zuckerkomponenten im Brot zu beeinflussen. Die FODMAP-Gehalte, die im Brot überwiegend durch die Menge der Oligosaccharide (u.a. Fruktane) und Excess Fructose bestimmt sind, wurden durch Sauerteigführungen am stärksten reduziert, was andere Studien auch schon berichtet haben (z.B. Grausgruber et al 2020). Dabei lohnt es sich genauer hinzuschauen. Während die Gehalte der Oligosaccharide, Excess Fructose aber auch der Maltose in den Sauerteigbroten geringer waren, war beispielsweise der Mannitolgehalt erhöht im Vergleich zu den Hefebrotten. Inwiefern diese Zuckerkomponenten einen Einfluss auf die Bekömmlichkeit von Brot haben, ist in der medizinischen Forschung immer noch umstritten. In einer aktuellen Humanstudie zur Bekömmlichkeit verschiedener Brote bei Patienten mit möglicher Weizensensitivität/Reizdarm wurde ein Gluten-freies Brot mit einer sehr hohen Zusatzmenge von Oligosacchariden am besten vertragen (Zimmermann et al 2022). Ebenso gilt es zu bedenken, dass Oligosaccharide wie die Fruktane bereits zu den Ballaststoffen gerechnet werden und wir Menschen davon ja eher mehr essen sollten. Zudem ist die Bestimmung der Oligosaccharide im Getreide schwierig. So beinhaltet der Gesamtgehalt an Oligosacchariden nicht nur unverdauliche sondern auch verdauliche Typen, wie Maltodextrine. Somit kann man zur Bekömmlichkeit von Brot allein aufgrund der Zuckergehalte zwar nur bedingt etwas aussagen, aber diese Zucker haben auch noch andere Wirkungen z.B. im Teig, wo sie Fermentationsprozesse beeinflussen, oder bei der Aromabildung im finalen Brot.

Acrylamid ist ein als krebserregend eingestufte Stoff, der bei starker Hitzeeinwirkung in der Verarbeitung stärkehaltiger Produkte wie Kartoffeln und Getreide entstehen kann (Claus et al 2008, Huang et al 2015). Vor allem frittierte Kartoffelprodukte wie Chips und Pommes Frites zeigen hohe Acrylamidkonzentrationen, aber auch in den meisten Getreideprodukten kann Acrylamid

nachgewiesen werden, in höheren Konzentrationen allerdings vor allem in Keksen, Lebkuchen und Knäckebrot. In Brot findet man über 95% des Acrylamids in der Kruste und somit kaum Acrylamid in der Krume (Claus et al. 2008). Wir haben die Acrylamidgehalte in den Brotkrusten des Dinkelbackversuchs (Versuchserie 3) gemessen (Tab. 1). Diese wurden durch die Teigführung sowie die Sortenwahl beeinflusst. Wenn man die drei Dinkelsorten miteinander vergleicht, waren die Acrylamidgehalte der Brotkrusten stabil über alle Teigführungen am geringsten in der Dinkelsorte 2 und am höchsten in der Dinkelsorte 3. Dies bestätigt frühere Studien und zeigt auf, dass man über die Sortenwahl in Weizen oder Dinkel durchaus die potentiellen Acrylamidmengen im Endprodukt beeinflussen kann, was man dann am besten über die Menge an freiem Asparagin in den Sortenmehlen selektieren könnte (Rapp et al 2018). Der Einfluss der Teigführung war stabil über alle drei Dinkelsorten messbar, insbesondere die lange Hefeteigführung scheint dabei das Risiko einer erhöhten Acrylamidmenge stark zu reduzieren. Es sei aber betont, dass in normalen Broten die Acrylamidmenge eher gering ist, da Acrylamid hauptsächlich auf der Brotkruste gebildet wird und diese einen geringen Gewichtsanteil am Brot hat.

Die einzelnen Teigführungen hatten auch einen großen Einfluss auf die Brotqualität. Das Aroma von Brot wird durch längere Teigführungen intensiver und aromatischer (Rapp et al 2017, Longin et al 2019), was durch den Einsatz von Sauerteig natürlich noch erheblich verstärkt wird. Auch werden die Backvolumen, Brotkrumen- und Brotkrustenqualität erheblich durch die verschiedenen Teigführungen beeinflusst (Fig. 5). Während zwischen den einzelnen Dinkelsorten (Versuchserie 3) innerhalb der gleichen Teigführung nur geringe Brotvolumenunterschiede sichtbar wurden, konnte durch die verschiedenen Sauerteigführungen eine deutliche Volumensteigerung erzielt werden. Natürlich dürfen diese Backversuche wegen der geringen Anzahl an Sorten nicht überbewertet werden. Allerdings denken wir schon, dass die Versuche klar aufzeigen, welches Potential in der Backqualität durch BäckerInnen herausgeholt werden kann, was zumindest in vielen Diskussionen zur Backqualität von Weizen- oder Dinkelsorten völlig vernachlässigt wird. Während die Züchtung einer neuen Sorte mit verbesserten Backeigenschaften mindestens 10 Jahre dauert, sollte eine Rezepturanpassung die effektivere Variante sein, um die Brotqualität zu optimieren. Auch wird viel an Backqualität über hohe Proteingehalte der Weizensorten und somit hohen Stickstoffdüngerbedarf in der Landwirtschaft erreicht. Auch wenn die Wertschöpfungskette Brot im Vergleich zu anderen Wertschöpfungsketten wie Fleisch und Obst bereits sehr nachhaltig ist, zeigen Nachhaltigkeitsanalysen auf, dass eine Reduktion der Stickstoffdüngung im Weizenanbau die Nachhaltigkeit des Brotes am meisten weiter verbessern würde (z.B. Goucher et al. 2017). Insofern wollen wir die BäckerInnen motivieren, zukünftig wieder mehr das Potential der Rezepturanpassung zu nutzen und somit Anpassungen der Qualitätsanforderungen im Sinne der Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit an die global gesehen knappe Rohware Weizen zu ermöglichen.

Fazit

Alle Partner der Wertschöpfungskette beeinflussen die finale Produktqualität. So konnten wir beispielhaft zeigen, dass die Mineralstoffkonzentration in Brot durch die Wahl der Getreideart, aber auch der Sorte innerhalb einer Getreideart beeinflussbar ist. Da ein Großteil der Mineralstoffe in den äußeren Randschichten der Körner eingelagert ist, ist in der Verwendung von Vollkornmehl anstelle heller Mehle ein erster wichtiger Baustein zu einer verbesserten Mineralstoffversorgung der Bevölkerung zu sehen. Zudem sind wichtige Mineralstoffe wie Fe und Zn im Getreide im Phytinsäurekomplex gebunden und werden hauptsächlich durch die Wahl einer geeigneten Teigführung verfügbar. Dabei zeichnet sich grob folgende Tendenz ab: je länger und mehr die Gesamtmehlmenge durch Hefe oder Sauerteig fermentiert wird, umso mehr Phytinsäure wird abgebaut und dadurch Mineralstoffe verfügbar. Auch kann der Einsatz von Rohstoffen mit hoher Phytaseaktivität, wie z.B. Roggenvollkornmehl, die Verfügbarkeit der Mineralstoffe deutlich

verbessern. Diese Bedeutung aller Partner der Wertschöpfungskette konnten wir auch für weitere Inhaltsstoffe sowie Backqualitätseigenschaften aufzeigen.

Danksagung

Dieses Projekt wurde maßgeblich aus Finanzmitteln der Universität Hohenheim finanziert.

Literatur

- Brinch-Pedersen H, Mades CK, Holme IB, Dionisio G (2013) Increased understanding of the cereal phytase complement for better mineral bio-availability and resource management. *Journal of Cereal Science* 59: 373-381
- Claus A, Carle R, Schieber A (2008) Acrylamide in cereal products: A review. *J Cereal Sci* 47:118–133
- Fretzdorff B, Brümmer JM (1992) Reduction of phytic acid during breadmaking of whole meal breads. *Cereal Chemistry* 69: 266-270
- Greiner R, Egli I (2003) Determination of the activity of acidic phytate-degrading enzymes in cereal seeds. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51: 847-850
- Goucher L et al (2017) The environmental impact of fertilizer embodied in a wheat-to-bread supply chain. *Nature Plants* 3: 17012
- Grausgruber H, Lovegrove A, Shewry P, Bekes F (2020) FODMAPs in wheat. In: Igrejas G et al (eds.) *Wheat quality for improving processing and human health*. Springer Nature, Switzerland, pp 517 - 534
- Gupta PK, Balyan HS, Sharma S, Kumar R (2021) Biofortification and bioavailability of Zn, Fe and Se in wheat: present status and future prospects. *Theoretical and Applied Genetics* 134: 1-35
- Huang T, Xu M, Lee A, Cho S, Qi L (2015) Consumption of whole grains and cereal fiber and total and cause-specific mortality: Prospective analysis of 367,442 individuals. *BMC Med* 13:1–9
- Longin CFH et al (2020). Influence of wheat variety and dough preparation on FODMAP content in yeast-leavened wheat breads. *Journal of Cereal Science*, doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103021
- Longin CFH et al (2019) Aroma and quality of breads baked from old and modern wheat varieties and their prediction from genomic and flour-based metabolite profiles. *Food Research International*, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108748>
- Lopez HW, Krespine V, Guy C, messenger A, Demigne C, Remesy C (2001) Prolonged fermentation of whole wheat sourdough reduces phytate level and increases soluble magnesium. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49: 2657-2662
- Rapp M et al (2017) Spelt: agronomy, quality and flavor of its breads from 30 varieties tested across multiple environments. *Crop Science*, 57:739-747
- Rapp M, Schwadorf K, Leiser WL, Würschum T, Longin CFH (2018) Assessing the variation and genetic architecture of asparagine content in wheat: What can plant breeding contribute to a reduction in the acrylamide precursor? *Theoretical Applied Genetics*, 131: 2427-2437
- Rippin et al (2020) Inequalities in education and national income are associated with poorer diet: pooled analyses of individual participant data across 12 European countries. *PLOS ONE*, doi.org/10.1371/journal.pone.0232447
- Rosén J, Hellenäs KE (2002) Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Analyst*, 127:880-882
- Steffen WL, et al (2015) Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science* 347: 1259855-1259855-10

- Zeller E, Schollenberger M, Kühn I, Rodehutschord M (2015) Hydrolysis of phytate and formation of inositol phosphate isomers without or with supplemented phytases in different segments of the digestive tract of broilers. *Journal of Nutritional Science*, doi: 10.1017/jns.2014.62
- Ziegler JU, Steiner D, Longin CFH, Würschum T, Schweiggert R, Carle R (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.
- Zimmermann B, Lantzsch HJ, Lanbein U, Drochner W (2002) Determination of phytase activity in cereal grains by direct incubation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 86: 347-352
- Zimmermann J et al (2021) Comprehensive proteome analysis of bread deciphering the allergenic potential of bread wheat, spelt and rye. *Journal of Proteomics* 247: 104318; doi.org/10.1016/j.jprot.2021.104318
- Zimmermann J et al (2022) No difference in tolerance between wheat and spelt bread in patients with suspected non-celiac wheat sensitivity. *Nutrients* 14: 2800, doi.org/10.3390/nu14142800

WICHTIG: alle Bildrechte verbleiben beim Autor!

Fig. 1: Mineralstoffkonzentrationen in Vollkornmehlen von 13 verschiedenen Sorten jeweils in den Arten Weizen, Dinkel, Emmer und Einkorn. Die Sortenwerte sind Mittelwerte aus drei verschiedenen Anbaumumwelten (Versuchsserie 1).

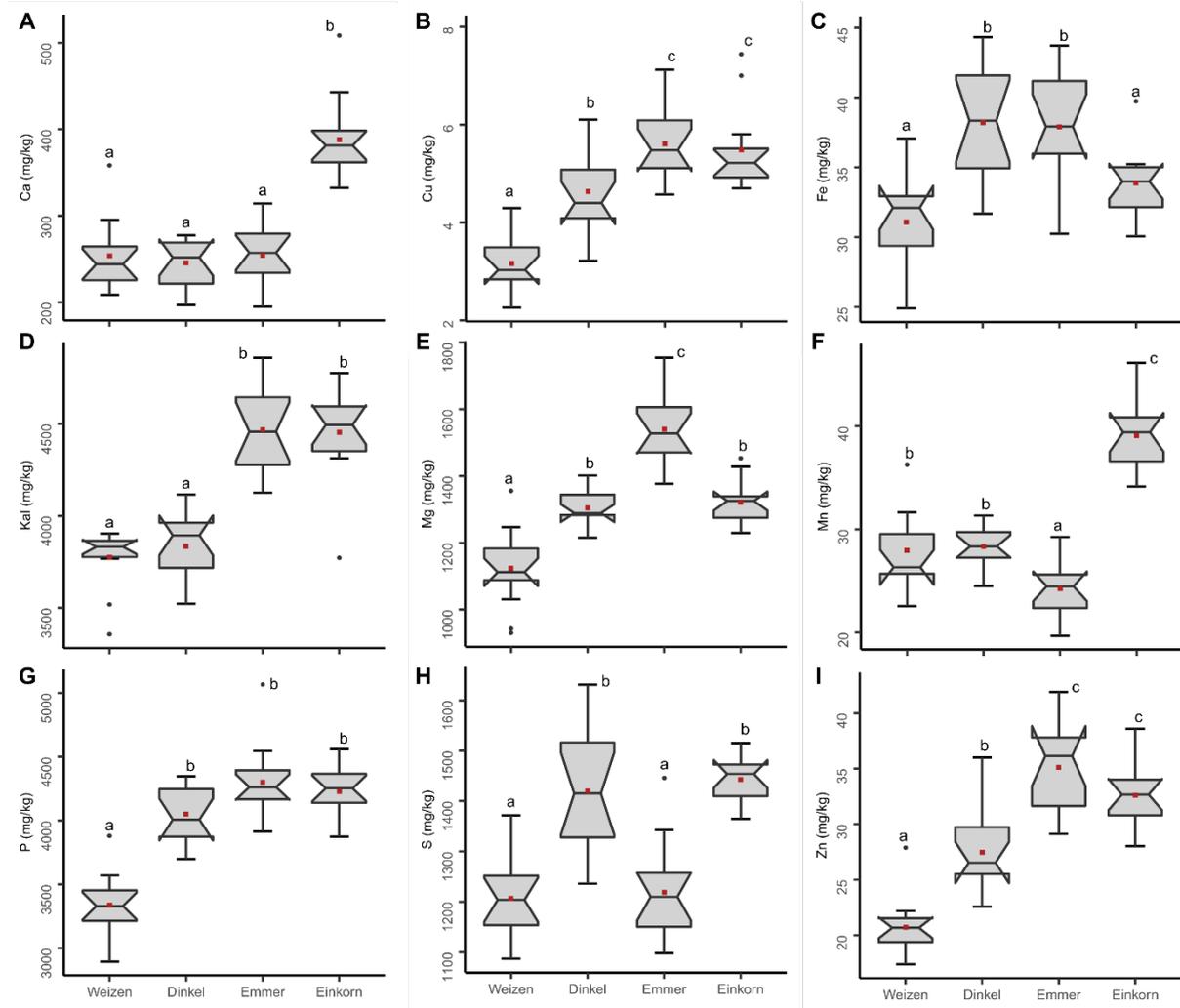


Fig. 2: Phytinsäurekonzentration (A), Phytaseaktivität (B) und Ballaststoffgehalt (C) von acht Sorten jeweils in den Arten Weizen, Dinkel, Emmer und Einkorn (Versuchsserie 2).

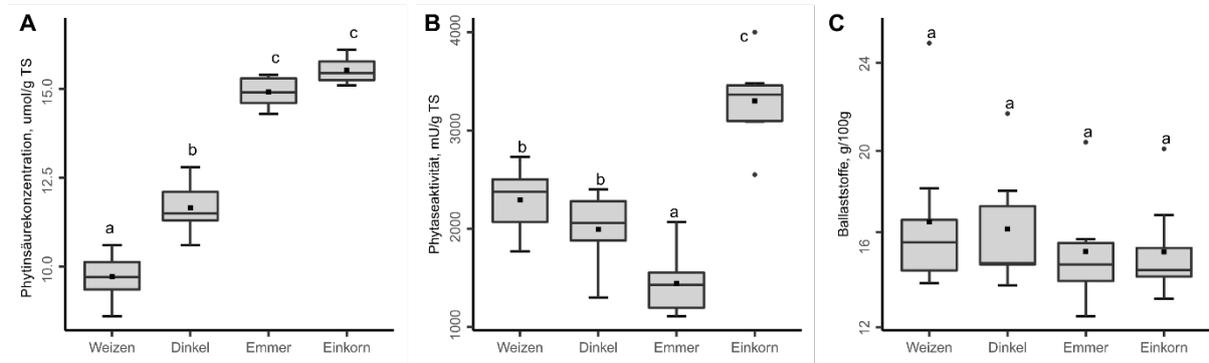


Fig. 3: Phytinsäurekonzentrationen in Vollkornbrotten aus drei Dinkelsorten, die in 5 Teigführungen gebacken wurden (A, Versuchsserie 3) und acht Weizensorten, die in drei Teigführungen gebacken wurden (B, Versuchsserie 2). ST-Det1Stufe = Detmolder 1 Stufensauerteig, ST-Salz = Monheimer

Salzsauerartig, ST-Berliner = Berliner Kurzsauerartig, ST + Roggen = Detmolder 1 Stufensauerartig mit Standardroggenmehl

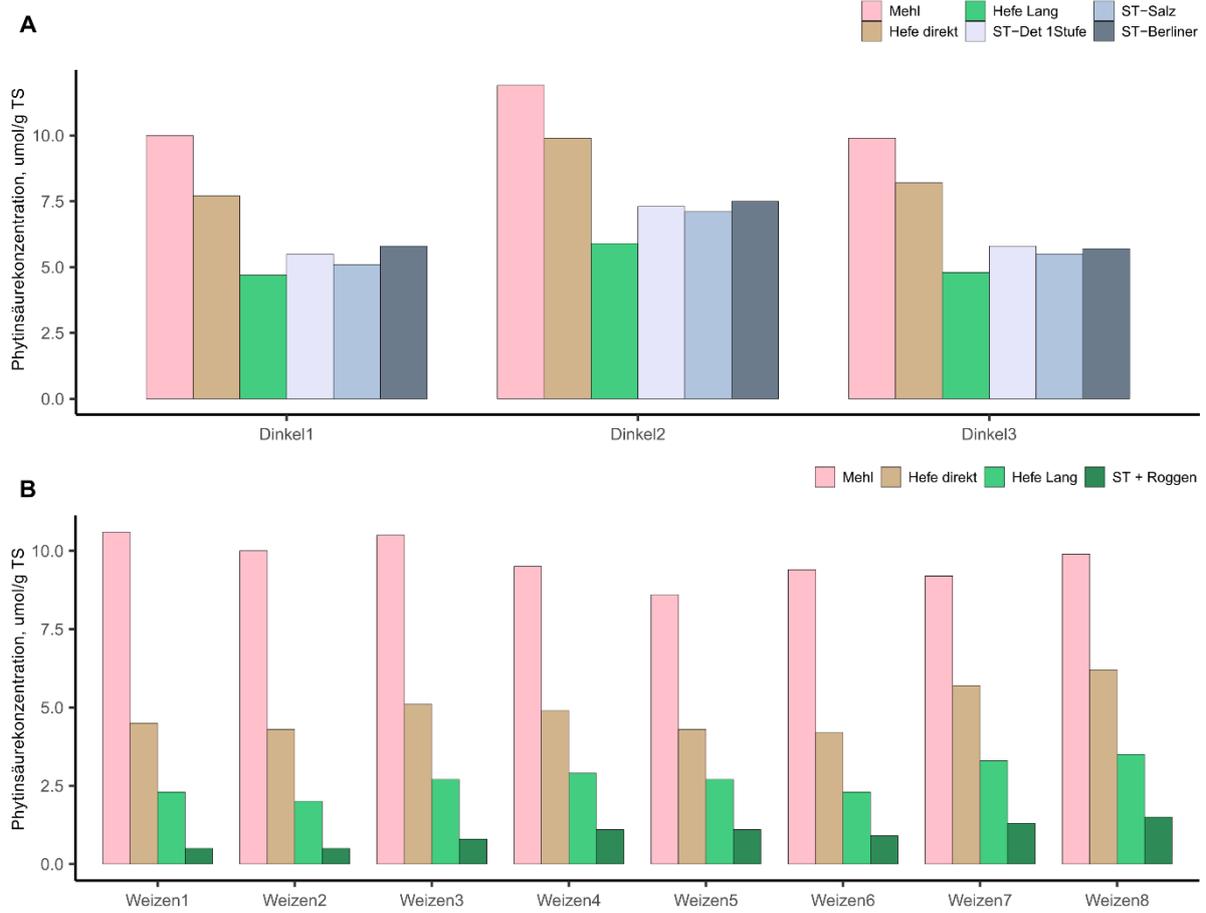


Fig. 4: Mineralstoffkonzentration und -verfügbarkeit in unserer Ernährung hängt von allen Partnern der Wertschöpfungskette ab

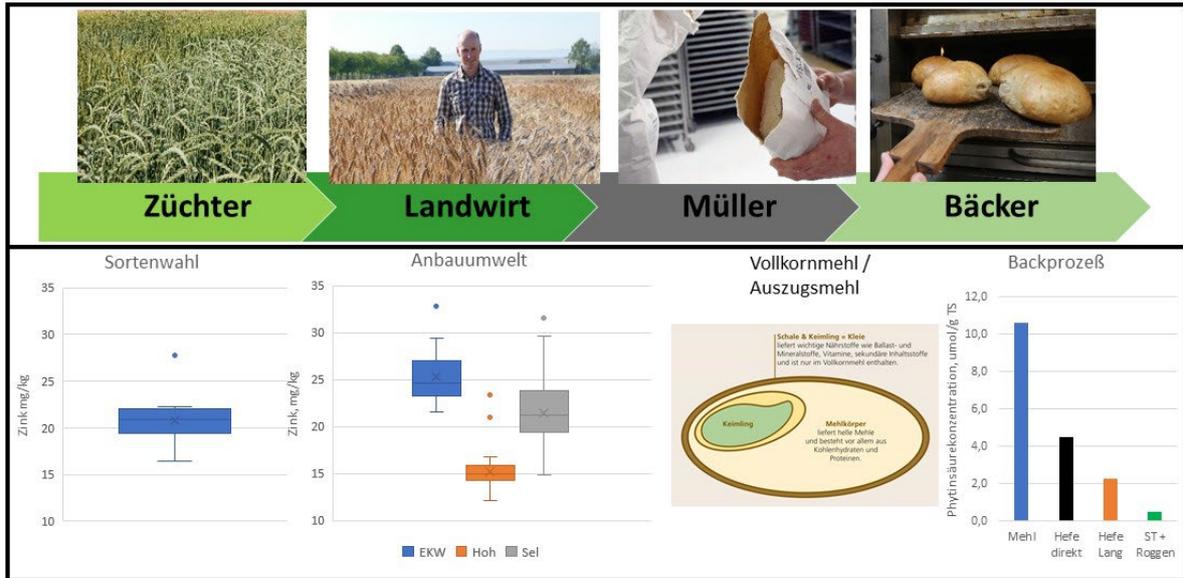
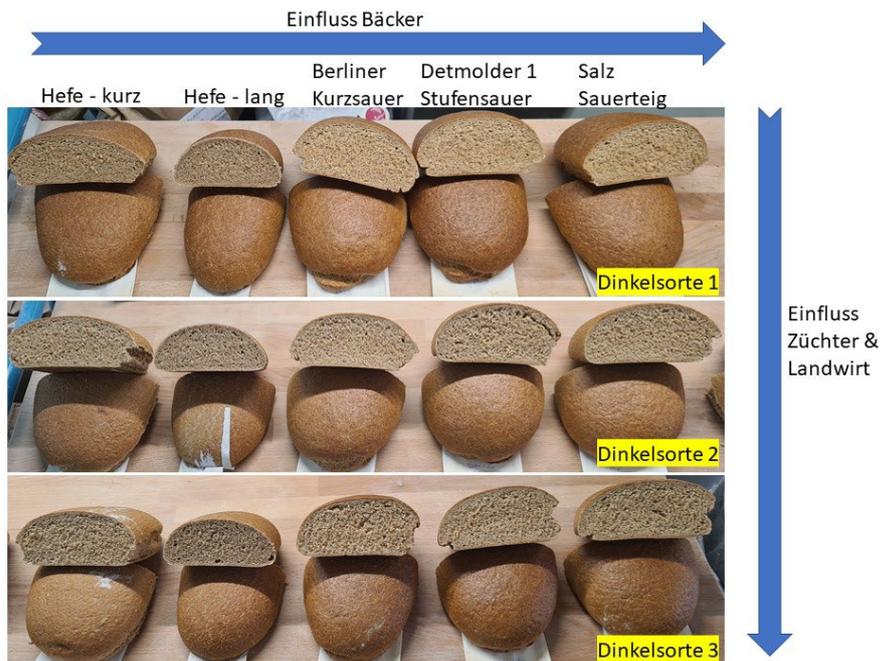


Fig. 5: Die Brote der Versuchsserie 3 unterschieden sich teilweise erheblich in Form, Volumen und Höhe/Breite-Verhältnis in Abhängigkeit von der Teigführung



Tab.1: Konzentrationen von Acrylamid (ug/kg), Phytinsäure (umol/g) sowie Mineralstoffen (mg/kg) in Mehlen und Broten von drei Dinkelsorten (Versuchsserie 3; ST-Det1Stufe = Detmolder 1 Stufensauerteig, ST-Salz = Monheimer Salzsauerteig, ST-Berliner = Berliner Kurzsauerteig)

Teigführung	Sorte	Acrylamid	Phytinsäure	Ba	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Zn
Mehl1	Dinkel1		10,00	1,08	223,78	3,96	29,98	4262,88	1007,25	24,26	NA	3590,69	1079,86	17,11
Mehl2	Dinkel2		11,90	0,72	218,21	5,03	39,84	4316,68	1165,46	27,86	NA	3939,73	1249,13	20,32
Mehl3	Dinkel3		9,90	1,04	254,77	4,14	27,69	4241,06	940,78	20,41	NA	3451,34	1078,37	18,41
Hefe direkt	Dinkel1	346	7,70	1,18	331,87	4,06	39,49	4571,29	1082,78	25,07	7446,85	3931,04	1226,53	20,97
Hefe lang	Dinkel1	89	4,70	1,16	316,54	3,94	36,58	4383,47	1047,15	24,61	7521,16	3797,35	1258,87	18,47
ST- Det 1Stufe	Dinkel1	442	5,50	1,19	319,71	4,08	32,88	4511,04	1068,55	25,06	7946,59	3867,23	1226,07	20,37
ST-Salz	Dinkel1	440	5,10	1,17	317,95	4,07	32,30	4557,58	1058,07	24,66	7777,15	3869,86	1232,17	20,41
ST-Berliner	Dinkel1	336	5,80	1,25	323,57	3,94	33,55	4540,08	1063,63	24,96	7317,78	3875,67	1205,74	20,20
Hefe direkt	Dinkel2	290	9,90	0,80	319,88	5,33	41,92	4579,59	1212,09	28,20	7834,64	4232,76	1429,24	24,31
Hefe lang	Dinkel2	39	5,90	0,82	321,56	5,55	41,97	4462,58	1208,64	28,43	7499,25	4171,91	1471,37	22,49
ST- Det 1Stufe	Dinkel2	344	7,30	0,82	315,68	5,33	41,49	4589,32	1221,56	28,46	6958,70	4253,44	1432,23	23,85
ST-Salz	Dinkel2	224	7,10	0,84	319,43	5,31	41,34	4586,17	1217,81	28,18	7183,17	4248,66	1469,38	23,85
ST-Berliner	Dinkel2	274	7,50	0,83	314,43	5,26	40,18	4498,06	1173,99	27,62	7231,20	4127,25	1440,27	23,69
Hefe direkt	Dinkel3	440	8,20	1,21	360,24	4,68	31,09	4700,83	1035,67	21,81	7347,51	3848,66	1243,74	23,08
Hefe lang	Dinkel3	97	4,80	1,23	357,79	4,62	31,99	4551,07	1011,81	21,71	7691,79	3750,48	1304,60	20,35
ST- Det 1Stufe	Dinkel3	524	5,80	1,24	360,28	4,79	31,91	4654,63	1047,16	22,27	7736,70	3852,48	1269,00	23,47
ST-Salz	Dinkel3	594	5,50	1,19	348,62	4,44	29,56	4557,32	996,64	20,95	7246,28	3715,59	1230,49	21,62
ST-Berliner	Dinkel3	752	5,70	1,25	359,62	4,60	31,50	4786,20	1061,45	22,45	7611,23	3933,48	1245,17	22,47
Mittelwert Mehl			10,60	0,95	232,25	4,38	32,50	4273,54	1037,83	24,18	NA	3660,59	1135,79	18,61
Mittelwert Brot			6,43	1,08	332,48	4,67	35,85	4568,62	1100,47	24,96	7490,00	3965,06	1312,32	21,97
ttest			0,01	0,37	0,01	0,48	0,47	0,00	0,45	0,76	NA	0,16	0,07	0,05
Mittelwert Hefe-Brot		216,67	6,33	1,07	334,65	4,70	37,17	4541,47	1099,69	24,97	7556,87	3955,37	1322,39	21,61
Mittelwert ST-Brot		436,67	6,87	1,09	331,03	4,65	34,97	4586,71	1100,98	24,96	7445,42	3971,52	1305,61	22,21
ttest		0,03	0,45	0,85	0,73	0,88	0,40	0,42	0,98	0,99	0,41	0,88	0,77	0,57

Tab.2: Gehalte an Zuckeralkoholen, Mono-, Di- und Oligosacchariden in mg/100g in Mehlen und Broten von drei Dinkelsorten (Versuchsserie 3, ST-Det1Stufe = Detmolder 1 Stufensauerteig, ST-Salz = Monheimer Salzsauerteig, ST-Berliner = Berliner Kurzsauerteig)

Teigführung	Sorte	Ribitol*/Galactitol					Arabinose*/Rhamnose		Glucose*					Gesamt-Oligos	Excess Fructose	FODMAPs
		Erythritol	Xylitol	Arabitol	/ Sorbitol	Mannitol	Galactose	Sucrose	Mannose	Fructose	Lactose	Maltose				
Mehl1	Dinkel1	3,70	0,00	1,47	20,22	1,80	0,62	2,91	108,48	0,00	20,25	4,78	73,23	4178,33	0,00	4210,29
Mehl2	Dinkel2	2,54	0,00	0,71	16,28	2,08	0,31	2,06	81,31	0,00	19,03	2,89	76,58	3335,80	0,00	3360,30
Mehl3	Dinkel3	2,47	0,27	1,80	19,28	2,62	0,39	2,83	99,42	0,00	18,80	4,65	68,41	3661,16	0,00	3692,25
Hefe direkt	Dinkel1	13,61	1,44	0,05	12,16	2,78	2,72	14,09	223,52	8,91	641,06	13,33	1103,59	2791,74	417,54	3252,66
Hefe lang	Dinkel1	39,95	5,01	2,80	4,29	1,50	9,05	30,08	315,36	13,93	714,96	22,45	1323,19	2986,61	399,60	3462,21
ST- Det 1Stufe	Dinkel1	37,70	4,62	2,01	7,96	93,85	6,13	15,99	143,81	6,97	412,49	18,44	335,04	2010,63	268,68	2443,90
ST-Salz	Dinkel1	33,21	4,60	1,94	2,35	99,26	6,10	17,29	130,05	5,83	416,54	14,85	337,02	2109,02	286,49	2551,72
ST-Berliner	Dinkel1	34,06	4,98	2,36	10,98	86,13	4,94	22,18	186,92	9,37	527,00	19,57	472,18	2148,43	340,08	2646,60
Hefe direkt	Dinkel2	18,84	4,28	2,55	19,82	2,22	3,56	18,00	191,85	10,51	586,44	16,54	1054,16	2139,37	394,59	2598,22
Hefe lang	Dinkel2	37,98	5,69	2,94	7,61	2,51	11,75	34,43	254,13	18,32	577,48	31,68	1199,00	2691,61	323,35	3103,36
ST- Det 1Stufe	Dinkel2	47,53	5,20	2,83	2,57	95,57	9,80	21,07	139,52	7,24	413,69	27,07	432,96	1741,61	274,18	2196,56
ST-Salz	Dinkel2	37,51	4,86	2,42	2,62	91,84	8,48	18,82	124,88	7,18	361,27	24,62	370,85	1761,00	236,39	2161,25
ST-Berliner	Dinkel2	24,10	3,28	1,12	2,38	73,63	4,81	20,94	102,31	7,55	318,19	15,56	341,15	1878,17	215,88	2214,12
Hefe direkt	Dinkel3	21,52	4,86	2,82	0,00	2,07	3,58	14,20	262,76	7,73	729,68	29,22	1150,99	2460,32	466,92	2987,73
Hefe lang	Dinkel3	45,81	5,14	2,56	5,32	2,19	9,93	24,26	260,66	10,65	601,88	29,22	1074,78	2667,24	341,22	3098,68
ST- Det 1Stufe	Dinkel3	42,76	4,56	2,40	1,16	93,04	8,91	16,33	196,33	5,73	506,24	27,14	381,32	1758,18	309,91	2239,15
ST-Salz	Dinkel3	44,57	5,68	2,80	2,05	93,16	9,01	17,08	193,68	5,70	536,80	24,15	435,10	1802,65	343,11	2318,18
ST-Berliner	Dinkel3	42,23	5,70	2,76	2,51	93,22	7,36	24,35	193,29	8,30	557,46	22,50	521,26	1886,27	364,16	2419,36
Mittelwert Mehl		2,90	0,27	1,33	18,59	2,17	0,44	2,60	96,40	0,00	19,36	4,11	72,74	3725,09	0,00	3754,28
Mittelwert Brot		34,76	4,66	2,29	5,98	55,53	7,08	20,61	194,61	8,93	526,75	22,42	702,17	2188,86	332,14	2646,25
ttest		0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03
Mittelwert Hefe-Brot		29,62	4,40	2,29	8,20	2,21	6,77	22,51	251,38	11,67	641,92	23,74	1150,95	2622,81	390,54	3083,81
Mittelwert ST-Brot		38,19	4,83	2,29	3,84	91,08	7,28	19,34	156,76	7,10	449,97	21,55	402,99	1899,55	293,21	2354,54
ttest		0,19	0,54	0,99	0,20	0,00	0,77	0,42	0,00	0,03	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00