

# **Asparagin in verschiedenen Weizenarten – Einfluss von Genetik, Umwelt und Müllerei auf die wichtige Acrylamidvorstufe**

M. Sc Matthias Rapp und PD Dr. Friedrich Longin, Landessaatzuchtanstalt der Universität Hohenheim, Dr. Klaus Schwadorf, Core Facility der Universität Hohenheim, Dr. Andreas Baitinger, Gewerbliche Schule Im Hoppenlau; Kontakt: [friedrich.longin@uni-hohenheim.de](mailto:friedrich.longin@uni-hohenheim.de)

## **Abstract**

Acrylamide is a potentially carcinogenic substance that is formed in baked wheat products via the maillard reaction from carbonyl sources and asparagine. Recently, the EU commission has introduced a new limit of acrylamide in wheat bread of 50 µg/kg. Our objective was to investigate whether the acrylamide risk can be reduced by a targeted choice of raw material. We therefore investigated numerous varieties of the wheat species bread wheat, durum, spelt, emmer and einkorn for their asparagine content in field trials at three locations. Einkorn had about twice the amount of asparagine compared to the other wheat species, which had similar asparagine contents. The varieties of each species largely differed in their asparagine content and a reduction of 50% of asparagine seems possible via the choice of the variety. Asparagine content of the varieties did not correlate with protein content nor with other quality traits like sedimentation volume or falling number. Breeding for reduced asparagine content in wheat seems feasible, but response to selection will be slow due to a complex genetic architecture of the trait. We could further confirm older studies highlighting that milling has a large influence on the acrylamide of the flours. In particular, highly refined flour has a by far lower asparagine content than whole grain flour.

## **Zusammenfassung**

Acrylamid ist ein als krebserregend eingestuftes Stoff, der bei starker Hitzeeinwirkung in der Verarbeitung stärkehaltiger Produkte aus Getreide über die Maillardreaktion von reduzierenden Zuckern und Asparagin entstehen kann. Die EU Kommission hat unlängst den Richtwert für Acrylamid in Weizenbrot auf 50 µg/kg gesenkt. Unser Ziel war es deshalb zu untersuchen, ob man durch gezielte Rohwarenauswahl bereits früh in der Wertschöpfungskette das Acrylamidrisiko senken kann. Dazu haben wir zahlreiche Sorten der Arten Weizen, Durum, Dinkel, Emmer, und Einkorn an drei Standorten angebaut und den Gehalt der wichtigen Acrylamidvorstufe Asparagin bestimmt. Einkorn hatte etwa doppelt so viel Asparagin wie die anderen Weizenarten, die jeweils ähnliche Asparagingehalte hatten. In jeder Weizenart unterschieden sich die Sorten erheblich, mehr als eine Halbierung des Asparagingehaltes scheint durch Sortenwahl möglich. Die Asparagingehalte der Sorten korrelierten weder mit dem Proteingehalt noch mit anderen Qualitätseigenschaften wie Sedimentationswert, Korngröße und Fallzahl. Eine Züchtung auf niedrige Asparagingehalte ist möglich, wegen einer komplexen Vererbung des Asparagingehaltes sind allerdings nur langsame Fortschritte zu erwarten. Es konnten zudem Erkenntnisse belegt werden, nach denen der Ausmahlungsgrad einen großen Einfluss auf den Asparagingehalt von Mehl hat.

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, insbesondere wenn Weizenprodukte als Vollkornvariante verzehrt werden (cf. Huang et al. 2015). Acrylamid ist ein als krebserregend eingestuftes Stoff, der bei starker Hitzeeinwirkung in der Verarbeitung stärkehaltiger Produkte wie Kartoffeln und Getreide entstehen kann (Claus et al. 2008). 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 (Becalski et al. 2003, Svensson et al. 2003, Sadd and Hamlet 2005). In Brot findet man über 95% des Acrylamids in der Kruste und somit fast kein Acrylamid in der Krume. Die EU Kommission hat den Richtwert für Acrylamid in Weizenbrot unlängst auf 50 µg/kg gesenkt für andere Brote liegt er bei 100 µg/kg.

Diese Erkenntnisse zu Acrylamid sind nicht neu und so wurden die letzten Jahre zahlreiche Methoden getestet, wie man den Acrylamidgehalt in Endprodukten senken kann. Acrylamid entsteht unter Hitzeeinwirkung in der sogenannten Maillard-Reaktion wenn genügend reduzierende Zucker und die Aminosäure Asparagin vorhanden sind. Eine der wichtigsten Maßnahmen zur Reduktion von Acrylamid ist somit eine Verringerung der Hitzeeinwirkung und somit Vermeidung der Maillard-Reaktion. Allerdings muss man bedenken, dass gerade bei Brot diese Maillard-Reaktion zu der Bildung der knusprigen und aromatischen Kruste führt. Somit gilt es Kompromisse zu finden, zwischen einer Minimierung der Hitzeeinwirkung und der ausreichenden Gare und Geschmacksentwicklung. Es konnte weiter gezeigt werden, dass eine verlängerte Teigführung (> 1 Stunde) und die Zugabe von Enzymen wie Cystein oder Asparaginase die Acrylamidbildung auch deutlich senken können (Claus et al. 2008).

Ein anderer Ansatz ist die Reduktion der Vorstufen des Acrylamids bereits im Rohmaterial, also im Getreide. Da bei der Herstellung von Getreideprodukten reduzierende Zucker im Überfluss vorhanden sind, kommt es auf die Beeinflussung des Asparagingehaltes an (Surdyk et al. 2004). In mehreren experimentellen Feldstudien konnte für Weizen gezeigt werden, dass die Schwefelversorgung des Bodens einen maßgeblichen Einfluss auf die Asparaginmenge im Korn hat (Shewry et al. 1983, Claus et al. 2006, Curtis et al. 2009, Corol et al. 2016). So führt eine starke Schwefelunterversorgung zu stark gesteigerten Asparaginwerten, während die Asparaginwerte auf deutlich niedrigerem Niveau bei normal mit Schwefel versorgten Böden lagen, was bei guter landwirtschaftlicher Praxis durch die empfohlenen Schwefeldüngergaben erreicht wird.

Wenig Untersuchungen gibt es bisher zu der Frage, ob sich Sorten bezüglich des Asparagingehaltes unterscheiden und wenn ja, wie groß dieser Faktor im Vergleich zum Umwelteinfluss des Anbauortes ist. Das wiederum zeigt die Möglichkeit bzw. Grenzen, ob denn auf einen reduzierten Asparagingehalt in Weizen gezüchtet werden könnte.

### **Versuchsaufbau**

Wir haben deshalb mehrere Versuche gestartet, in denen zahlreiche Sorten der Arten Weizen, Durum, Dinkel, Emmer und Einkorn an drei Standorten angebaut wurden und dann im Labor auf deren Asparagingehalte im Vollkornmehl untersucht wurden. Darüber hinaus wurden im Labor zahlreiche Qualitätseigenschaften bestimmt, um deren mögliche Korrelation zum Asparagingehalt zu untersuchen. Beim Einkorn, Emmer und Dinkel wurden jeweils 10 Sorten an den Orten St. Johann (Deutschland), Catillon und Prunay (beides Frankreich) im Jahr 2017 angebaut. Beim Durum wurden 25 Sorten an den Orten Stuttgart-Hohenheim, Rastatt sowie Aschersleben im Jahr 2017 angebaut. Beim Weizen wurden 149 Sorten an den Orten Stuttgart-Hohenheim, St. Johann und Eckartsweier bei Straßbourg im Jahr 2016 angebaut.

Neben klassischen Bestimmungen zu Rohproteingehalt (NIRS, ICC Standardmethode 159), Sedimentationswert (bei Weizen ICC Standardmethode 116/1, bei den anderen Arten ICC

Standardmethode 151), und Fallzahl (ICC Standardmethode 107/1) wurde der Asparagingehalt an Vollkornmehl bestimmt (EC No 152/2009, Annex III, Method F, mehr Details unter Rapp et al. 2018). Zudem wurden die Kornmuster von fünf Weizensorten zweier Anbauorte in der gewerblichen Schule Im Hoppenlau durch erfahrene Müller zu standardisierten Mehlen verarbeitet und der Asparagingehalt separat für Kleie, Vollkornmehl und die Auszugsmehle der Type 1050 und 550 bestimmt. Als Basisvermahlungsmaschine wurde der Promylograph T verwendet. Die groben Schalenanteile wurden auf einer Labormühle nachzerkleinert. Die Type 1050 wurde aus einzelnen Fraktionen ermischt. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikpaket R unter Nutzung des Paketes ASREML .

### **Sorten unterscheiden sich deutlich in Asparagingehalt**

Bei allen Weizenarten konnten wir sehr unterschiedliche Asparagingehalte der einzelnen Sorten feststellen (Fig. 1 und 2, Tab. 1). So schwankten beispielsweise beim Brotweizen die Asparagingehalte der untersuchten 149 Sorten von 143,25 mg/kg bis 453,34 mg/kg im Vollkornmehl. Dies zeigte sich auch durch statistisch signifikante genetische Varianzen für Asparagingehalt bei allen Weizenarten. Insofern besteht theoretisch die Möglichkeit durch eine Sortenwahl die Asparaginmenge im Rohmaterial zu senken. Allerdings stellten wir auch fest, dass sich die Asparagingehalte einer Sorte je nach Anbauort erheblich unterschieden, obwohl die Düngung und Anbauverfahren an jedem Ort gleich waren (Fig. 3). Dies spiegelt sich in der sogenannten Heritabilität ( $H^2$ ) wieder, die den Einfluss der Genetik im Vergleich zur Umwelt quantifiziert. Die Heritabilität kann theoretisch zwischen 0 (100% Einfluss der Umwelt) und 1 (100% Einfluss der Genetik) schwanken. Beim Weizen haben wir eine Heritabilität von  $H^2 = 0,65$  gemessen (Tab. 1), beim Durum und Einkorn ähnlich und beim Dinkel und Emmer leicht höher. Das Merkmal Asparagingehalt in Weizen wird also von der Genetik wie von der Umwelt stark beeinflusst. Dabei ist diese Größenordnung mit der vom Proteingehalt vergleichbar, der genetisch beeinflusst werden kann, genauso aber durch die Stickstoffverfügbarkeit im Boden. Anbauorte, von denen Müller ihre Weizenlieferungen bekommen, unterscheiden sich jedes Jahr und das Klima am jeweiligen Ort noch viel mehr, was alles die Aufnahme von Nährstoffen und somit die Zusammensetzung des Getreidekorns beeinflusst. Insofern ist eine gezielte Beeinflussung der Anbauumwelt mit dem Ziel einer Reduktion des Asparagingehaltes in Getreide eigentlich unmöglich. Unbedingt sichergestellt werden sollte jedoch die bereits oben erwähnte Vermeidung eines Schwefelmangels der Weizenbestände, was in unseren Versuchen beachtet wurde.

### **Züchtung auf niedrigem Asparagingehalt möglich, aber nötig?**

Somit sind wir wieder bei der Möglichkeit der Sortenwahl. Sorten mit niedrigem Asparagingehalt werden natürlich nur akzeptiert, wenn diese in den anderen Merkmalen wie Backqualität gut sind. Aus diesem Grund haben wir den Zusammenhang zwischen Asparagingehalt und mehreren Qualitätskriterien bei Weizen untersucht. Unsere Hypothese war, dass insbesondere der Proteingehalt mit dem Asparagingehalt zusammenhängen könnte. Dies war aber nicht der Fall, weder bei Weizen, Durum, Emmer und Einkorn wurden höhere Korrelationskoeffizienten zwischen Protein- und Asparagingehalt festgestellt (Fig. 2, Tab. 1). Bei Dinkel schon, aber da wir hier nur 10 Sorten untersucht haben sollte dies nochmals mit mehr Sorten verifiziert werden. Ob sich die Asparagingehalte einzelner Sorten unter unterschiedlicher Stickstoffversorgung ändern, können wir anhand dieser Daten allerdings nicht sagen. Dies erfordert weitere Untersuchung in gezielten Düngungsversuchen.

Bei allen Weizenarten korrelierten die Asparagingehalte auch nicht mit dem Sedimentationswert, der Fallzahl, der Korngröße sowie beim Durum auch nicht mit b-Wert und Glasigkeit. Das bedeutet einerseits, dass man den Asparaginwert nicht einfach anhand eines anderen Merkmales vorhersagen kann, sondern dieser muss selbst gemessen werden. Andererseits bedeutet es aber auch, dass man auf Sorten mit niedrigem Asparagingehalt züchten könnte, ohne dass man negative Konsequenzen auf andere Qualitätseigenschaften erwarten muss. Die Züchtung ist aber ein langwieriger Prozess und die Analytik zur Bestimmung von Asparagin ist aufwendig. Zudem konnten wir durch die genetische

Analyse der 149 Weizensorten zeigen, dass der Asparagingehalt im Weizen nicht durch einzelne wenige Gene, sondern durch viele Gene, die dann aber nur einen kleinen Effekt haben, vererbt wird. Das ist wie beim Proteingehalt und Ertrag und macht die Züchtung nicht unmöglich, aber langsam mit nur kleinen Verbesserungen je Jahr. Insofern stellt sich die Frage, inwieweit die aufgezeigten Sortenunterschiede wirklich für die Getreidebranche von Bedeutung sind und sich eine aufwendige Züchtung dafür lohnt. Wir gehen davon aus, dass Züchter nur dieses Merkmal bearbeiten, wenn Sorten mit niedrigem Asparagingehalt im Handel deutliche Vorteile haben.

### **Asparagin ist vor allem in Mehlen mit höherem Ausmahlungsgrad**

Inwiefern die Züchtung beim Thema Acrylamid gefordert ist, hängt auch stark davon ab, ob nicht andere Partner in der Wertschöpfungskette einfacher das Asparagin bzw. Acrylamid reduzieren können. Zusammen mit der gewerblichen Schule Im Hoppenlau haben wir deshalb die Asparagingehalte an sortenreinen Mehlen untersucht und dabei unterschieden zwischen Vollkornmehl, den Auszugsmehlen der Type 1050 und 550 und der Kleie. Bei allen Sorten und unabhängig vom Anbauort war mit Abstand am meisten Asparagin in der Kleie ( $\geq 400$  mg/kg, Fig. 3). Etwa halb so viel Asparagin wurde dahingegen im Vollkornmehl gemessen. Interessanterweise hatte das Auszugsmehl der Type 1050 fast genauso viel Asparagin wie das Vollkornmehl. Das Auszugsmehl der Type 550 hatte dahingegen nur eine sehr geringe Menge Asparagin ( $< 75$  mg/kg), was ältere Studien bestätigt (Claus et al. 2006). Insofern kann durch die Wahl der Mehltypen und sicher auch der Vermahlung viel getan werden, den Asparagingehalt zu senken. Aus dieser Sicht ist ein Mehl mit niedrigem Aschegehalt am besten, was ja auch mit Abstand am meisten in der Bäckerei eingesetzt wird. Interessanterweise sah man aber auch bei den verschiedenen Mehltypen die Abhängigkeit der Asparagingehalte vom Anbauort aber auch von der Sorte. So viel beispielsweise die Sorte Patras sowohl in diesem Mahlversuch als auch in dem großen Weizensortenscreening (Tab. 2) positiv auf, Tobak eher schlechter. Das bedeutet, dass man den Asparagingehalt in den verschiedenen Mehlfraktionen zumindest grob über eine einzelne Messung am Vollkornmehl abschätzen kann. Feines Auszugsmehl zu nehmen, um der Acrylamidproblematik aus dem Weg zu gehen, wollen wir aber hier auf keinen Fall als Empfehlung geben. Der Verbraucher isst es zwar mit Abstand am liebsten, aber es ist unzweifelhaft bewiesen, dass für eine gesunde Ernährung unser täglich Brot dazugehört, allerdings in der Vollkornvariante. Insofern müssen für das Vollkornbacken andere Methoden gefunden werden, falls Acrylamidreduktionen nötig sind.

### **Vergleich verschiedener Weizenarten**

Hierfür haben wir den Asparagingehalt an zahlreichen Sorten der Arten Weizen, Durum, Dinkel, Emmer und Einkorn bestimmt. Der Vergleich zwischen den Arten ist bei unseren Versuchen nicht gänzlich losgelöst von umweltbedingter Variation, da sich für die einzelnen Arten z.T. der Anbauort und das Anbaujahr unterschieden. Allerdings sind die Ergebnisse so eindeutig, dass man folgendes ableiten kann. Die Sorten von Weizen, Durum, Dinkel und Emmer scheinen in etwa den gleichen Schwankungsbereich bei Asparagingehalten zu haben, während Einkorn etwa doppelt so viel hat. Eine Erklärungsmöglichkeit ist, dass Einkorn im Vergleich zu den anderen untersuchten Weizenarten ein deutlich kleineres Korn hat und somit beim Vollkornmehl relativ gesehen mehr Schale und weniger Endosperm auftritt. Da laut unserer Mehlstudie aber das Asparagin vor allem in den Randschichten sitzt, ist die geringere Menge Asparagin bei den anderen Weizenarten lediglich ein Verdünnungseffekt des Endosperms. Dies ist ja auch die Begründung warum Einkorn bei positiven Inhaltsstoffen wie Mineralstoffen und Vitaminen deutlich mehr als die anderen Weizenarten hat. Insofern sind mögliche Acrylamidreduktionen bei Einkorn von größerer Bedeutung als bei den anderen Arten. Auch hier gilt, dass die vielen positiven Inhaltsstoffe des Einkorns so interessant sind, dass man nicht wegen Acrylamid von vorneherein auf Einkorn und insbesondere Einkornvollkorn verzichten sollte.

## **Fazit**

Inwiefern Aktivitäten zur Reduktion des Acrylamids bei Weizenprodukten entlang der Wertschöpfungskette überhaupt notwendig sind, können und wollen wir mit dieser Studie nicht beantworten. Die wenigsten Backprodukte erreichen Acrylamidwerte wie Pommes Frites oder Chips und die Diskussion über Acrylamid in Backprodukten sollte auch immer bedenken, dass die modernste Analytik bereits weitaus kleinere Dinge detektieren kann als die berühmte Nadel im Heuhaufen. Unser Anliegen war zu untersuchen, ob durch Rohwareauswahl der Asparagingehalt und somit vermutlich auch der Acrylamidgehalt des Endproduktes reduziert werden kann. Wir konnten klar aufzeigen, dass es im Weizen, Durum, Dinkel, Emmer und Einkorn große Unterschiede des Asparagingehaltes einzelner Sorten gibt. Durch geschickte Sortenwahl (Tab. 2) könnte somit der Asparagingehalt von vorneherein fast halbiert werden. Es wäre sogar möglich über gezielte Selektion, die Asparagingehalte bei Weizen langfristig weiter zu senken. Ob sich allerdings der enorme Aufwand der Pflanzenzüchtung lohnt, muss die Getreidebranche beantworten, da die Züchter sicherlich nur darauf einsteigen, wenn der Getreidehandel und die Mühlen gezielt Sorten mit niedrigem Asparagingehalt bevorzugen. Wichtigste Faktoren zur Acrylamidreduktion sind sicherlich die Sicherstellung einer ausreichenden Schwefelversorgung der Weizenbestände im Anbau und beim Backen so weit wie möglich extreme Hitzeeinwirkungen zu vermeiden. Auch ist die Herstellung von Backwaren aus hellen Auszugsmehlen deutlich weniger betroffen als die Vollkornbäckerei.

## **Danksagung**

Dieses Projekt wurde maßgeblich von der Universität Hohenheim im Rahmen eines von der DFG geförderten Projektes finanziert (DFG LO 1816/4-1). Wir danken zudem der Firma H. & J. Brüggem KG für die Finanzierung zur Untersuchung der Hartweizenmuster auf Asparagin.

## **Literatur**

Becalski A, Lau BPY, Lewis D, Seaman SW (2003) Acrylamide in foods: Occurrence, sources, and modeling. *J Agric Food Chem* 51:802–808

Claus A, Carle R, Schieber A (2008) Acrylamide in cereal products: A review. *J Cereal Sci* 47:118–133

Claus A, Schreiter P, Weber A, Graeff S, Herrmann W, Claupein W, et al (2006) Influence of agronomic factors and extraction rate on the acrylamide contents in yeast-leavened breads. *J Agric Food Chem* 54:8968–8976

Curtis TY, Muttucumaru N, Shewry PR, Parry MAJ, Powers SJ, Elmore JS, et al (2009) Effects of genotype and environment on free amino acid levels in wheat grain: implications for acrylamide formation during processing. *J Agric Food Chem* 57:1013–1021

Corol DI, Ravel C, Rakszegi M, Charmet G, Bedo Z, Beale MH, et al (2016) 1H-NMR screening for the high-throughput determination of genotype and environmental effects on the content of asparagine in wheat grain. *Plant Biotechnol J* 14:128–139

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

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*, doi: 10.1007/s00122-018-3136-x

Sadd P, Hamlet C (2005) The Formation of Acrylamide in UK Cereal Products. In: Friedman M, Mottram D (eds) *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer, Boston, MA, pp 415–429

Shewry PR, Franklin J, Parmar S, Smith SJ, Mifflin BJ (1983) The effects of sulphur starvation on the amino acid and protein compositions of barley grain. *J Cereal Sci* 1:21–31

Surdyk N, Rosén J, Andersson R, Åman P (2004) Effects of Asparagine, Fructose, and Baking Conditions on Acrylamide Content in Yeast-Leavened Wheat Bread. *J Agric Food Chem* 52:2047–2051

Svensson K, Abramsson L, Becker W, Glynn A, Hellenäs KE, Lind Y, Rosén J (2003) Dietary intake of acrylamide in Sweden. *Food Chem Toxicol* 41:1581–1586

WICHTIG: alle Bildrechte verbleiben beim Autor!

Fig. 1: Verteilung der Asparagingehalte im Vollkornmehl der verschiedenen Sorten je Art; jeder Sortenwert ist ein Mittelwert aus drei Anbauorten

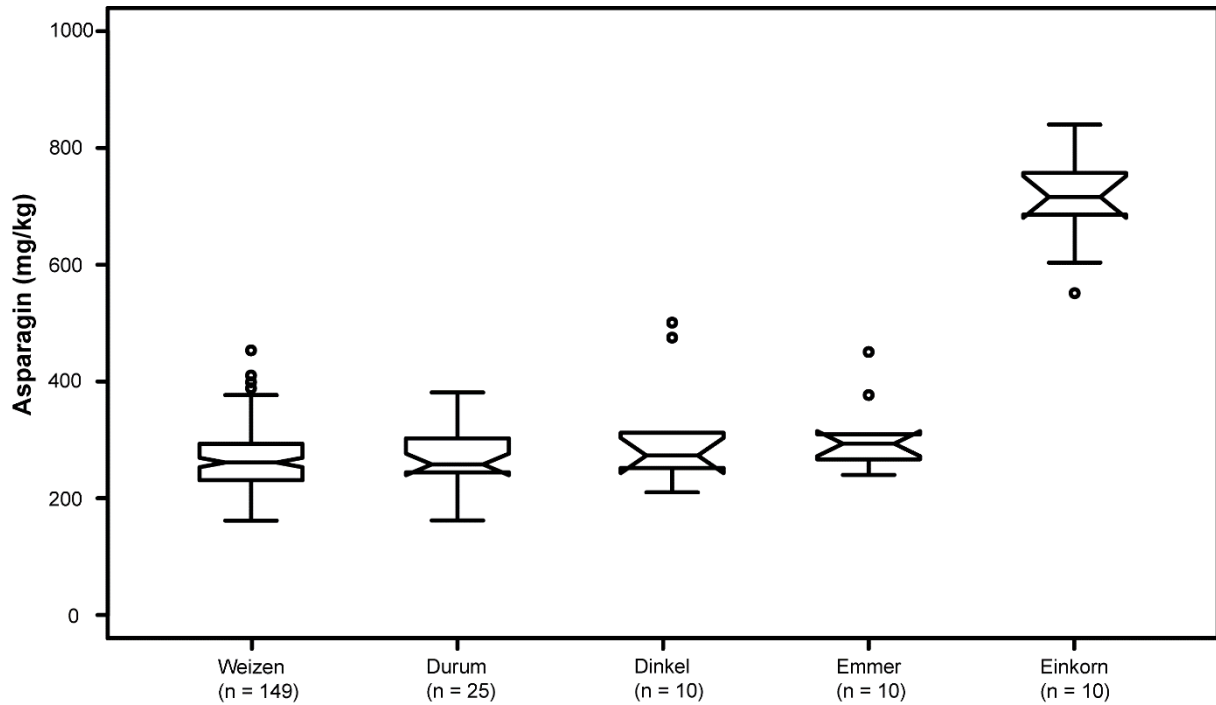


Fig. 2: Korrelation zwischen dem Protein- und Asparagingehalt bei 149 Weizensorten; jeder Sortenwert stellt den Mittelwert von drei Anbauorten dar.

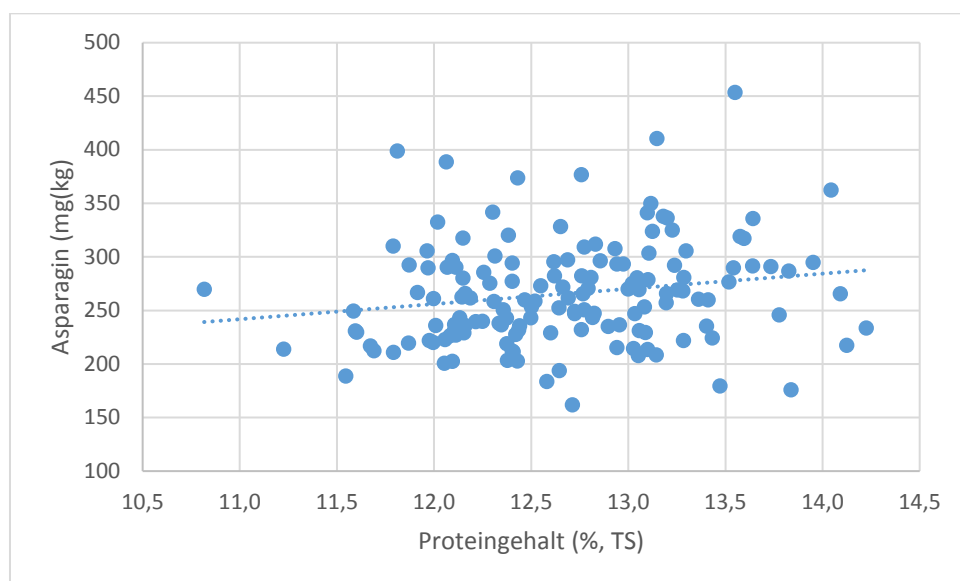
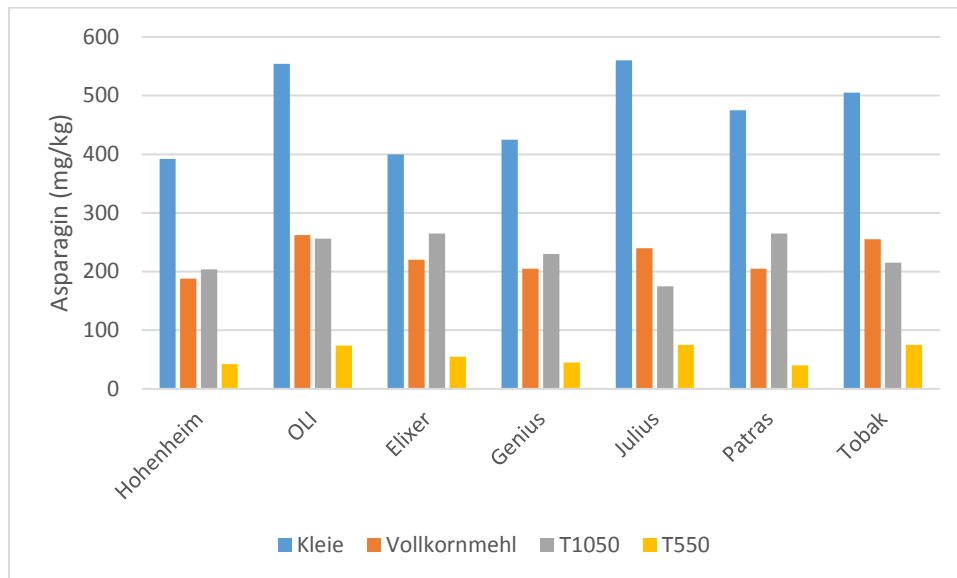


Fig. 3: Asparaginwerte verschiedener Mehlfraktionen; die Mittelwerte je Ort wurden über die fünf getesteten Weizensorten (Elixer, Genius, Julius, Patras, Tobak) berechnet; die Sortenmittelwerte wurden aus den beiden Anbauorten (Hohenheim, Oberer Lindenhof (OLI)) berechnet.



Tab.1: Varianzkomponenten für Asparagin an Vollkornmehlen in mg/kg ( $\sigma^2_G$  = genetische Varianz,  $\sigma^2_{G \times L}$  = Varianz der Genotyp x Ortsinteraktion,  $\sigma^2_e$  = Fehlervarianz), Heritabilität ( $H^2$ ), least significant difference am 5% Wahrscheinlichkeitsniveau (LSD), Schwankungsbreite (Minimal-, Mittel-, Maximalwert) sowie die Korrelation zwischen Protein- und Asparagingehalt ( $r$  (PC, Asp)) der Sorten gemittelt über jeweils drei Anbauorte je Art.

	Weizen	Durum	Dinkel	Emmer	Einkorn
<b>Min</b>	143,25	161,96	210,06	239,97	551,28
<b>Mean</b>	241,69	270,25	307,67	308,2	711,13
<b>Max</b>	453,34	381,26	500,80	450,54	839,95
<b>LSD5%</b>		93,94	100,00	70,00	100,00
$\sigma^2_G$	0,004***	0,002***	0,0001	0,00003	0,00004
$\sigma^2_{G \times L}$	0,004***	0,002***			
$\sigma^2_e$	0,003	0,002	0,00005	0,00002	0,00007
$H^2$	0,65	0,68	0,85	0,78	0,67
<b><math>r</math> (PC, Asp)</b>	0,23**	-0,05	0,86***	0,4	-0,38



Tab. 2: Asparaginwerte (mg/kg) beispielhafter Sorten gemittelt über jeweils drei Anbauorte.

<b>Sorten</b>	<b>Kulturart</b>	<b>Asparagin</b>
Oberkulmer Rotkorn	Dinkel	245,75
Franckenkorn	Dinkel	249,05
Badensonne	Dinkel	255,68
Badenkrone	Dinkel	298,1
Zollernspelz	Dinkel	506,75
Bauländer Spelz	Dinkel	546,64
Wintergold	Durum	194,9
Tempodur	Durum	230,72
Miradoux	Durum	286,93
Diadur	Durum	302,58
Sambadur	Durum	338,64
Terzino	Einkorn	693,02
Ramses	Emmer	266,62
Späth's Albjuwel	Emmer	283,63
Farvento	Emmer	347,13
Butaro	Weizen	179,41
Patras	Weizen	183,67
Discus	Weizen	203,16
JBAsano	Weizen	216,65
Bussard	Weizen	222,79
Colonia	Weizen	234,64
Akteur	Weizen	235,14
Apache	Weizen	235,93
Genius	Weizen	260,23
Julius	Weizen	280,17
Pionier	Weizen	280,43
Tobak	Weizen	341,76