

VERBORGENE

SCHÄTZE

FÜR MEHR

ERNÄHRUNGSQUALITÄT

## Genetische Ressourcen des Hafers

Matthias Herrmann, Christoph Germeier (Quedlinburg)

Hafer zeichnet sich durch einen hohen Gehalt an löslichen Ballaststoffen ( $\beta$ -Glucan), essenziellen Fettsäuren und antioxidativen Vitaminen sowie einer günstigen Aminosäurekomposition seiner Eiweiße aus. Er ist daher aus ernährungsphysiologischer Sicht unser wertvollstes Getreide. Für die Züchtung verbesserter Sorten stellen pflanzengenetische Ressourcen wertvolles Ausgangsmaterial dar. Im Julius Kühn-Institut (JKI) werden derzeit im Rahmen eines Forschungsprojekts genetische Ressourcen des Hafers charakterisiert. An mehreren, über Europa verteilten Standorten werden dafür die Qualitätsmerkmale alter Landsorten und Sammlungsherkünfte bis hin zu modernen Sorten untersucht. In einem weiteren Forschungsprojekt steht die genetische Kartierung von Genomregionen, die an der Ausprägung agronomischer und qualitätsrelevanter Eigenschaften beteiligt sind, im Mittelpunkt. Die Vorhaben sollen dazu beitragen, der vernachlässigten Kulturpflanze Hafer auch künftig ihren Platz in den landwirtschaftlichen Fruchtfolgen zu sichern.

### Hafer – eine Fruchtart mit Tradition

Hafer (Gattung *Avena*) wird wie Roggen als sekundäre Kulturpflanze bezeichnet, die mit der Ausbreitung der Landwirtschaft vor ca. 4500 Jahren als Fremdbesatz im Erntegut von Weizen und Gerste ihren Weg nach Nordeuropa fand. In der Folgezeit wurden diploide (Sandhafer, *A. strigosa*), tetraploide (abyssinischer Hafer, *A. abyssinica*) und hexaploide Formen (Saathafer, *A. sativa*) domestiziert.

Die Römer bezeichneten die Germanen verächtlich als Haferfresser. Im Mittelalter war Haferbrei in Mittel- und Nordeuropa noch das wichtigste Grundnahrungsmittel der ärmeren Bevölkerungsschichten. Erst ab dem 13. Jahrhundert setzten sich Brotgetreidearten als Grund-

nahrungsmittel zunehmend durch. In Deutschland war Hafer noch bis zum Ende des 2. Weltkrieges nach Roggen die zweitwichtigste Getreideart. Im Zuge der Verdrängung von landwirtschaftlichen Arbeitspferden durch Landmaschinen, einer zunehmenden Nahrungsmittelvielfalt und höheren Kaufkraft der Bevölkerung sank die Nachfrage nach Hafer als Nahrungs- und Futtermittel. Heutzutage wird Hafer in der Bundesrepublik noch auf rund 170.000 ha pro Jahr angebaut.

Um den speziellen Sortenanforderungen der Hafer verarbeitenden Industrie gerecht zu werden, wird verstärkt an der Entwicklung von Spezialsorten mit Eigenschaften gearbeitet, die besonders für die menschliche Ernährung und die müllereitechnische Verarbeitung optimiert sind.



Abb. 1: Früchte (Karyopsen) von Formen des Hafers unter dem Einfluss von Domestikation und Züchtung: obere Reihe Wildarten (*A. fatua*, *A. sterilis*, *A. magna*, *A. clauda*, *A. barbata*, *A. hirtula*) – mittlere Reihe primitive Kulturarten (*A. abyssinica*, *A. strigosa*, *A. strigosa* ssp. *brevis*, *A. strigosa* ssp. *nudibrevis*), untere Reihe *A. sativa* (alte Formen: Gelb-, Rot-, Braun-, und Schwarzhafers – moderne Spelzhafersorte, moderne Nackthafersorte)

## Biologische Vielfalt des Hafers

Ähnlich wie bei anderen Getreidearten gibt es auch beim Hafer eine enorme Diversität, die sich in einer eindrucksvollen Formenvielfalt widerspiegelt – Winter- und Sommerformen, Riesen und Zwerge sowie unterschiedliche Wuchstypen und Rispenformen. An den in Form und Farbe sehr variantenreichen Früchten lassen sich einige Arten unterscheiden und die Domestikation erkennen (Abb. 1).

Mehr als 30.000 Muster von Kulturformen und verwandter Wildarten im Besitz europäischer Sammlungen listet die Europäische *Avena*-Datenbank (EADB). Sie sind Teil unseres kulturellen Erbes und ein Fundament künftiger Haferzüchtung. Europa hat eine spezielle Verantwortung für diese Pflanzengattung, da Teile Europas, vor allem Spanien und Portugal, als primäre Diversitätszentren für *Avena*-Arten angesehen werden. Als Vorfahre des heute kultivierten Saathafers gilt *A. sterilis*, eine im südlichen Mittelmeerraum beheimatete hexaploide Wildhaferart (Abb. 2).

## Europäische Zusammenarbeit – die *Avena*-Arbeitsgruppe des ECPGR

Das Europäische Kooperationsprogramm für pflanzengenetische Ressourcen (ECPGR; [www.ecpgr.cgiar.org/](http://www.ecpgr.cgiar.org/)) führt Sammlungen und Forschungsinstitute auf europäischer Ebene zusammen. Das Julius Kühn-Institut (JKI) ist dort unter anderem in der Hafer-Arbeitsgruppe vertreten und koordiniert gegenwärtig das Kooperationsprojekt



Abb. 2: Haferart *A. sterilis*, Vorfahre des heutigen Saathafers (*A. sativa*)

„Avena Genetic Resources for Quality in Human Consumption (AVEQ)“ mit 14 Partnern aus neun EU-Ländern (Abb. 3). Im Rahmen dieses Vorhabens werden rund 600 Sammlungsmuster untersucht, vor allem historisches Material. In verschiedenen Labors werden die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Qualitätseigenschaften untersucht (Abb. 4).

## Eiweiß und Fett aus Hafer – Garantien für hohe Verträglichkeit

Haferkerne haben einen hohen Proteingehalt (bis zu 24 %). Der hohe Anteil der essenziellen Aminosäure Lysin macht das Eiweiß besonders hochwertig. Die Speicherproteine des Hafers enthalten kein Gluten, sodass er auch von Menschen mit Zöliakie (einer chronischen Erkrankung der Dünndarmschleimhaut) in der Regel vertragen wird.

Der Fettgehalt ist vergleichsweise hoch (bis 8 % TS). Haferfett enthält einen hohen Anteil ungesättigter Fettsäuren und übt damit einen günstigen Einfluss auf das Fettsäuremuster der Lipide im Blutplasma aus. Der Fettgehalt wirkt sich positiv auf das Aroma von Hafererzeugnissen aus, verkürzt aber auch deren Haltbarkeit. In der Sortenzüchtung wird auf geringeren Fettgehalt bei Sorten für die Schälmühlen selektiert.



Abb. 3: Projektgruppe des europäischen Projekts AVEQ beim Koordinierungstreffen am JKI in Quedlinburg

## β-Glucan – ein hochwirksamer Ballaststoff

Das wasserlösliche β-Glucan gehört zu den Polysacchariden. Unterschiede in der Molekülgröße und Feinstruktur des β-Glucans innerhalb und zwischen den Getreidearten sind von Bedeutung für die physiologischen Effekte. Nachgewiesen ist, dass sich durch eine regelmäßige β-glucanreiche Kost ein erhöhter Serumcholesterinspiegel absenken lässt, wodurch wiederum das Risiko von Herz-Kreislauferkrankungen sinkt. Des Weiteren konnten in zahlreichen Studien eine Absenkung der Blutzuckerwerte und des Insulinbedarfs durch ballaststoffreiche Produkte wie Haferkleie nachgewiesen werden. Bei Bluthochdruckpatienten kann durch ballaststoffreiche Nahrung der Bluthochdruck gesenkt werden.

Die Variationsbreite des β-Glucangehalts liegt in der Gattung *Avena* zwischen 2,3 und 11,3 % der Trockenmasse. Zum Vergleich: Weizen, Roggen, Triticale und Reis enthalten ca. 0,1–2,9 % β-Glucan.

## Antioxidantien und Vitamine

Neben dem antioxidativ wirkenden Vitamin E enthält Hafer eine einzigartige Klasse antioxidativer Substanzen, die Avenanthramide. Es besteht eine strukturelle Ähnlichkeit mit dem entzündungshemmenden und antifibrotisch wirksamen Pharmakon Tranilast. Für Avenanthramide werden daher Wirkungen gegen Entzündungen, Arteriosklerose und sogar Krebs vermutet. Im AVEQ-Projekt arbeiten italienische und schwedische Partner an der Quantifizierung von Avenanthramiden, Tocopherolen und Tocotrienolen im AVEQ-Sammlungsmaterial.

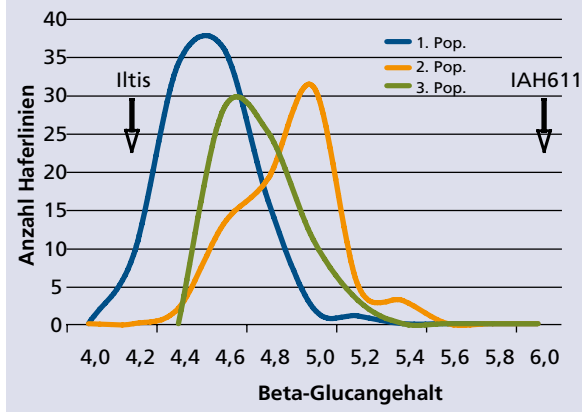
## Mykotoxine – auch bei Hafer ein Thema

Auch wenn Hafer in der landwirtschaftlichen Praxis als „Gesundfrucht“ gilt, wird er von pflanzenpathogenen Pilzen befallen, die in einigen Fällen zur Anreicherung von Pilzgiften (Mykotoxinen) im Korn und im Stroh in der Lage sind. Hierbei spielen mehrere Arten



Abb. 4: Versuchsstandorte im AVEQ-Projekt: Feldversuchsstandorte sind grün markiert, solche mit künstlicher *Fusarium*-Inokulation rot, reine Laborstandorte gelb. Die Koordination des Projekts erfolgt durch das JKI (blau)

**Abb. 5: Häufigkeitsverteilungen der  $\beta$ -Glucangehalte der drei BC<sub>2</sub>F<sub>2-6</sub> Populationen**



der Gattung *Fusarium* eine besondere Rolle. Bisherige europaweite Kontrolluntersuchungen ergaben ein vergleichsweise geringes Kontaminationsniveau von Haferprodukten mit dem „Leit-Toxin“ Deoxynivalenol (DON), das häufiger in Hartweizen und Mais und deren Verarbeitungsprodukten gefunden wird. Hafer und Hafernährmittel enthalten dagegen häufiger T-2 und HT-2, zwei Mykotoxine, die von nur wenigen *Fusarium*-Arten gebildet werden. Für T-2/HT-2 - Toxine existieren bislang keine EU-Regelungen. Ihr Auftreten wird aber, gerade bei Haferprodukten, aufmerksam verfolgt. In einem Teilprojekt des AVEQ-Programms wird das Resistenzniveau des Sortimentes gegenüber *Fusarium* geprüft.

Der überwiegende Teil der Mykotoxine befindet sich in den Spelzen, weshalb Hafernährmittel im Gegensatz zur Rohware deutlich seltener kontaminiert sind.

## Züchtungsforschung zur Erschließung wertvoller genetischer Ressourcen

Pflanzengenetische Ressourcen sind oft wertvolle Quellen für neue Erbvarianten. Meistens treten die seltenen, aber wertvollen Merkmale in Wildarten jedoch mit anderen, unerwünschten Wildmerkmalen gemeinsam auf. Solche Wildmerkmale sind ein erhebliches Risiko für den Sortenzüchter und begrenzen die Verwendung pflanzengenetischer Ressourcen.

Am JKI wurde in Kooperation mit der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und der Nordsaat-Saatzucht GmbH ein Forschungsvorhaben durchgeführt, um aus einer Genbank-Akzession, die für ihren besonders hohen  $\beta$ -Glucangehalt bekannt ist (Akzession IAH611-447), die betreffenden Erbanlagen in züchterisch bereits adaptiertes Hafermaterial einzuführen, ohne den „wilden“ genetischen Hintergrund mit zu übertragen. Dazu bedienten wir uns der sogenannten AB-QTL-Analyse (*Advanced Backcross QTL Analysis*). Darunter versteht man eine molekulargenetische und phänotypische (= das äußere Erscheinungsbild betreffende) Charakterisierung fortgeschrittener Rückkreuzungspopulationen. Aus der Kreuzung zwischen der Akzession IAH611-447 mit der Sorte ‚Iltis‘

und mehrmalige Rückkreuzung der Nachkommen mit ‚Iltis‘ wurden Rückkreuzungspopulationen erzeugt, die im  $\beta$ -Glucangehalt und anderen Merkmalen phänotypisch aufspalten und die in 13 wichtigen Merkmalen charakterisiert wurden. In der Abbildung 5 sind die Häufigkeitsverteilungen der drei untersuchten BC<sub>2</sub>F<sub>2-6</sub> Populationen im Merkmal  $\beta$ -Glucangehalt dargestellt. Die Haferlinien mit dem höchsten  $\beta$ -Glucangehalt wurden in der zweiten Population gefunden, wobei keine der Kreuzungsnachkommen das Niveau des Donors IAH611 erreicht. In anderen Merkmalen übertrafen einige AB-QTL-Linien den jeweils besseren Elter; in der Summe der Eigenschaften sind jedoch weitere Rückkreuzungen notwendig, bevor sie sich über die Sortenentwicklung wirtschaftlich verwerten lassen.

Zur genetischen Kartierung wurden insgesamt 400 molekulare Marker eingesetzt. In den genetischen Karten von drei fortgeschrittenen Rückkreuzungspopulationen konnten 106, 195 bzw. 111 molekulare Marker kartiert werden. Ähnlich wie in AB-QTL-Studien zu anderen Fruchtarten lagen zahlreiche QTL geclustert vor. Die starke Clusterung der QTL verschiedener Merkmale zeigt, dass für eine markergestützte Selektion eine hohe Auflösung der chromosomalen QTL-Region, die mit Markern angesprochen werden soll, notwendig ist, wenn die markergestützte Selektion auf Merkmale wie  $\beta$ -Glucangehalt effektiv sein soll.

Die beiden hier vorgestellten Forschungsaktivitäten – AVEQ und AB-QTL-Kartierung – liefern ein Beispiel dafür, wie einerseits die Erfassung und Dokumentation von Daten zum potenziellen Wert pflanzengenetischer Ressourcen und andererseits die Züchtungsforschung ineinander greifen, um den Wert der pflanzengenetischen Ressourcen auch realisieren zu können. Im vorgestellten Beispiel konnten pflanzengenetische Ressourcen des Hafers aus Genbanken aktiviert und dazu genutzt werden, mittelfristig verbesserte Hafer-sorten für die menschliche Ernährung zu erhalten und damit zu einer höheren Vielfalt im Getreidebau zu kommen. ■



Dr. Matthias Herrmann, Dr. Christoph Germeier, Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Züchtungsforschung

an landwirtschaftlichen Kulturen, Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg.

E-Mail: [matthias.herrmann@jki.bund.de](mailto:matthias.herrmann@jki.bund.de)

### » Danksagung:

Das Projekt AVEQ (Förderkennzeichen AGRI 2006-0397) wird durch die Europäische Kommission, Generaldirektion Landwirtschaft und ländliche Entwicklung nach der Rats-Verordnung 870/2004, durch die Peter Koelln KGaA, Deutschland, durch Emco spol. s r. o., Tschechische Republik, sowie durch die Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e.V. (GFP) gefördert.

Das Projekt zur AB-QTL-Kartierung (FKZ 03i0619) wurde durch das BMBF gefördert.