



# Tagungsband

## 61. Tagung

23. - 25. November 2010

ERTRAG VS. QUALITÄT BEI GETREIDE,  
ÖL- UND EIWEISSPFLANZEN

WHEAT STRESS

Vereinigung der Pflanzzüchter  
und Saatgutkaufleute Österreichs

# 61. Tagung

**23.-25. November 2010**

Ertrag vs. Qualität bei Getreide,  
Öl und Eiweißpflanzen

Wheat stress

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt  
für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein

## **Impressum**

**Tagungsband der 61. Jahrestagung der Vereinigung  
der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs  
23.-25. November 2010, Raumberg-Gumpenstein**

### *Herausgeber*

Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs  
Wiener Straße 64, A-3100 St. Pölten  
Tel: (+43)02742/259-9021, Fax: (+43)02742/259-2009  
email: office@saatgut-oesterreich.at; www.saatgut-oesterreich.at  
Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt  
für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein  
Direktor Prof. Dr. Albert Sonnleitner und Dr. Anton Hausleitner

*Für den Inhalt verantwortlich*  
die Autoren

### *Redaktion*

Dr. Anton Brandstetter, Manuela Geppner  
Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs  
a.o.Univ.Prof. Dr. Heinrich Grausgruber  
Universität für Bodenkultur Wien  
Univ.Doiz. Dr. Karl Buchgraber  
Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (LFZ)

### *Layout*

Brunhilde Egger  
Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft  
Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (LFZ)

### *Druck, Verlag und © 2011*

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein  
(Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein)  
Raumberg 38, A-8952 Irdning  
Tel: (+43)03682/22451-0, Fax: (+43)03682/22451-210  
email: office@raumberg-gumpenstein.at

ISBN-13:978-3-902559-53-1  
ISSN: 2072-9596

# Inhaltsverzeichnis

<b>Immer leistungsfähigere Sorten (höhere Erträge, bessere Qualität), aber immer geringerer Saatgutwechsel. Getreidezüchtung - Saatgutwirtschaft - Quo vadis? .....</b>	<b>1</b>
Reinhard Kendlbacher	
<b>Qualitative Anforderungen an Getreide aus Sicht eines Verarbeiters .....</b>	<b>3</b>
Josef Dietrich	
<b>How to increase yield and quality of wheat? .....</b>	<b>5</b>
Peter Stamp	
<b>Inverse und nicht inverse Beziehungen von Kornertrag und Qualität im österreichischen Sortenspektrum von Weizen, Gerste und Roggen .....</b>	<b>9</b>
Michael Oberforster und Manfred Werteker	
<b>Entwicklung der Weizenträge in Deutschland - Welchen Anteil hat der Zuchtfortschritt? .....</b>	<b>19</b>
Jutta Ahlemeyer und Wolfgang Friedt	
<b>Backqualität und Ertrag im deutschen Weizensortiment. I. Historische Entwicklung .....</b>	<b>25</b>
Lorenz Hartl, Volker Mohler und Günter Henkelmann	
<b>Backqualität und Ertrag im deutschen Weizensortiment. II. Marker-Merkmalsassoziation .....</b>	<b>29</b>
Volker Mohler, Günther Schweizer und Lorenz Hartl	
<b>Züchtungspraxis - die Suche nach Korrelationsbrechern .....</b>	<b>33</b>
Franziska Löschenberger	
<b>Some aspects of wheat quality testing and breeding .....</b>	<b>39</b>
Pavel Horčíčka	
<b>Durum - zwischen Ertrag und Qualität? .....</b>	<b>41</b>
Julia Lafferty	
<b>Qualitätsansprüche für unterschiedliche Verwendungszwecke bei Hybridroggen .....</b>	<b>45</b>
Thomas Miedaner und Marlen Hübner	
<b>Züchtungsfortschritt in der Malzqualität von Winterbraugerste .....</b>	<b>51</b>
Markus Herz	
<b>Züchtung auf Ertrag und Qualität bei Hafer (<i>Avena sativa</i> L.) - Entwicklung und Perspektiven .....</b>	<b>57</b>
Steffen Beuch	
<b>Breeding of triticale in DANKO .....</b>	<b>65</b>
Zofia Banaszak	
<b>Verbesserung des Ertrags, der Standfestigkeit und des spezifischen Gewichts bei Triticale .....</b>	<b>69</b>
Arnold Schori, Fabio Mascher und Dario Fossati	
<b>Ertrag versus Qualität - hat die Ethanolgetreidezüchtung Zukunft? .....</b>	<b>73</b>
Elisabeth Zechner, Sabine Hammerl und Michael Oberforster	
<b>Ertrags- und Qualitätsentwicklung bei Öl- und Eiweißfrüchten in der Sortenwertprüfung .....</b>	<b>79</b>
Klemens Mechtler und Martin Hendler	
<b>Ertrags- und Anbauentwicklung bei Eiweißpflanzen in Bayern und Deutschland .....</b>	<b>87</b>
Alois Aigner	
<b>Strategien zur Entwicklung von Sojabohnen für den Lebensmittelbereich .....</b>	<b>91</b>
Johann Vollmann, Pia Euteneuer, Takashi Sato, Viola Zahlner, Emmerich Berghofer und Helmut Wagentristl	
<b>Pea breeding programmes in the Czech Republic .....</b>	<b>95</b>
Miroslav Hochman and Radmila Dostálová	
<b>Einfluss von Temperaturstress auf Ertrag und spezifische Qualitäten von <i>Lupinus angustifolius</i> L. ....</b>	<b>97</b>
Gisela Jansen, Hans-Ulrich Jürgens und Sylvia Seddig	
<b>Genotyp-Umwelt-Wechselwirkung bei der Blauen Süßblupine am Beispiel ausgewählter Ertragsparameter .....</b>	<b>101</b>
Anne-Kathrin Klamroth und Regine Dieterich	

<b>Blattrandkäferbefall an Lupinen - Ertragsbeeinflussung und Wirtspräferenzen der Lupinenblattrandkäfer <i>Sitona gressorius</i> und <i>S. griseus</i></b> .....	105
Kathleen Kaufmann, Kathrin Ströcker, Shirley Wendt, Dennis Bellmann, Christine Struck, Wolfgang Kirchner and Bernd Schachler	
<b>Qualität und Ertrag bei Winterraps</b> .....	109
Martin Frauen	
<b>Qualitäts- und ertragsrelevante Auswirkungen thermischer Einflüsse bei Ölfrüchten</b> .....	115
Manfred Werteker, Klemens Mechtler und Martin Hendler	
<b>Breeding of high oleic sunflower hybrids and high linolenic linseed varieties in the Cereal Research Non-Profit Ltd. Co.</b> .....	119
Zoltán Áy, Melinda Tar, Rozália Nagyné Kutni, Zoltán Medovarszky and József Frank	
<b>Biogas-Sonnenblumen: Züchtung auf Ertrag und Qualität</b> .....	123
Volker Hahn	
<b>Results of linseed breeding in the Czech Republic</b> .....	127
Martin Pavelek, Eva Tejklová and Marie Bjelková	
<b>Neueste Entwicklungen in der Resistenzbestimmung von Getreide und Mais: Nachweis der DNA als Schlüssel zur präzisen Messung von <i>Fusarium</i>-Befall</b> .....	131
Kurt Brunner, Viktoria Preiser, Andreas Farnleitner und Robert L. Mach	
<b>Wheat under environmental stress: experiments with 25 elite genotypes within the CORNET network</b> .....	135
János Pauk, Robert Mihály, Csaba Lantos, Clemens Flamm, Barbara Teizer, Elisabeth Zechner, Maren Livaja, Michael Schmolke, László Cseuz and Szabolcs Ruthner	
<b>Comparison of different approaches for the evaluation of response of winter wheat to drought</b> .....	141
Pavlna Hrstková, Ludmila Holková, Marie Hronková, Eva Vlasáková and Oldřich Chloupek	
<b>Field-screening of durum wheat (<i>Triticum durum</i> Desf.) for drought tolerance</b> .....	147
Doris Schuhwerk, Alireza Nakhforoosh, Stefan Kutschka, Gernot Bodner and Heinrich Grausgruber	
<b>Einfluss von Trockenstress auf die Bestandestemperatur und den Ertrag bei Weizen (<i>Triticum aestivum</i>)</b> .....	155
Regina Friedlhuber, Urs Schmidhalter und Lorenz Hartl	
<b>Connection of characters relevant for drought stress on the quality of 25 European winter wheat genotypes</b> .....	159
Clemens Flamm, Barbara Teizer, Elisabeth Zechner, Franziska Löschenberger, Maren Livaja, Michael Schmolke and János Pauk	
<b>Wurzelsystemgröße von Winterweizensorten in Beziehung zum Ertrag</b> .....	163
Tomáš Středa, Vítězslav Dostál, Vladimíra Horáková and Oldřich Chloupek	
<b>Yield and quality of spring barley in relation to root system size</b> .....	167
Tomáš Středa, Vítězslav Dostál, Martin Hajzler and Oldřich Chloupek	
<b>Yield of spring barley in dependence of soil moisture balance</b> .....	171
Tomáš Středa, Hana Středová, Mojmír Kohut and Jaroslav Rožnovský	
<b>Indirect evaluation of drought tolerance of barley</b> .....	175
Lucie Melišová, Ludmila Holková, Kamila Ullmannová, Pavlna Hrstková, Marie Hronková	
<b>Yield, protein content, bread making quality and market requirements of wheat</b> .....	179
Dario Fossati, Cécile Brabant and Geert Kleijer	
<b>Ährenfusariosen bei Weizen in der Tschechischen Republik und Vorhersage der Risiken eines Befalls</b> .....	183
Jana Chrpová, Václav Šíp, Šárka Bártová und Lenka Štočková	
<b>Survey of spring barley for leaf diseases in Hungary in 2010</b> .....	187
Klára Manninger József Fodor and István Murányi	

## Vorwort

### Sehr geehrte Damen und Herren, sehr geschätzte Tagungsteilnehmer!

Es ist mir eine Freude und besondere Ehre, Sie als neu gewählter Obmann der Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute hier in Gumpenstein begrüßen zu können. Es ist mir insbesondere eine Ehre, dieser Vereinigung vorstehen zu dürfen, da ich kein studierter Agronom bin. Ich bin seit 11 Jahren Geschäftsführer der Probstdorfer Saatzucht, und somit in meiner Tätigkeit ein Saatgutkaufmann, habe aber auch eine naturwissenschaftliche Ausbildung. Für jene die mich nicht kennen, stelle ich mich kurz vor: ich habe an der Universität Wien Chemie studiert, und meine Dissertation am Institut für theoretische Chemie und Strahlenchemie mangels geeigneter Ausrüstung im benachbarten Ausland, einerseits am Max Planck Institut für Kohleforschung in Mülheim/Ruhr, andererseits im Dänischen Forschungszentrum RISØ in Roskilde durchgeführt. Danach war ich 11 Jahre bei der OMV in der Kraftstoffforschung tätig, bevor ich zur Firmengruppe Mauthner gewechselt habe.

Ich bedanke mich an dieser Stelle beim Direktor Dr. Sonnleitner, der uns in gewohnter Weise wieder ein Heimstatt für diese Tagung zur Verfügung stellt, beim Prof. Dr. Grausgruber, der die wissenschaftliche Leitung ganz hervorragend in Händen hält und bei Dr. Brandstetter, Frau Geppner und dem Team der Saatgutvereinigung für die Arbeit an der Organisation dieser Tagung. Bei Dr. Buchgraber bedanke ich mich für das Rahmenprogramm hier in Raumberg-Gumpenstein im Verlaufe der Tagung.

Das Motto dieser heurigen Tagung haben wir unter „Ertrag gegen Qualität“ gestellt, ein Dauerthema der Züchtung bei unseren Kulturarten. Der Landwirt benötigt Ertrag um auf seine Kosten zu kommen, und setzt Qualität voraus. Nur ist Qualität sehr vielschichtig, es umfasst die Backeigenschaften oder allgemein die Verarbeitungseigenschaften, aber auch im Zuge der Vegetation die Resistenzen gegen Krankheitserreger und gegen den Unbill der Natur. Das Thema ist also sehr weit gesteckt, ist aber offensichtlich von allgemeinem Interesse, denn wir haben viele Teilnehmer und auch ein sehr dichtes Vortragsprogramm, insbesondere an diesem heutigen Eröffnungstag.

Ich wünsche Ihnen allen einen angenehmen Aufenthalt bei dieser Tagung und möchte die 61. Tagung in diesem Sinne gleich eröffnen.

Dr. Michael GOHN, Obmann der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs

### Meine sehr geehrten Damen und Herren, liebe Tagungsteilnehmer,

ich freue mich sehr, Sie als Leiter des Arbeitsgebiets Öl- und Eiweißpflanzen der Gesellschaft für Pflanzenzüchtung (GPZ) heute in Raumberg-Gumpenstein begrüßen zu dürfen. Als Herr Prof. Grausgruber mich angefragt hat, ob es möglich ist, auf der diesjährigen Arbeitstagung der Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute einen Tag den Öl- und Eiweißpflanzen zu widmen, habe ich freudig meine Unterstützung zugesagt. Eröffnete mir dies doch die Möglichkeit, endlich einmal wieder an dieser legendären Pflanzenzüchertagung teilnehmen zu können und ich bin sicher, dass auch einige der Kollegen und Kolleginnen aus dem Gebiet der Öl- und Eiweißzüchtung und -forschung erfreut waren, diese Kulturen auf der Themenliste der Tagung zu finden.

Auch fachlich ist es richtig, diesen Kulturen eine Möglichkeit zu geben, sich zu präsentieren. So haben die Ölpflanzen, und hierbei insbesondere der Raps, eine wahre Erfolgsgeschichte aufzuweisen. Es wird spannend sein zu hören, wie die Züchtung das Problem *Ertrag versus Qualität* gelöst hat. Bei den Eiweißpflanzen war dagegen in den letzten Jahren ein deutlicher Einbruch der Anbauzahlen zu erkennen. Allerdings ist hier inzwischen ein Licht am Ende des Tunnels zu entdecken. Es wurde EU-weit erkannt, dass man sich nicht allein auf Importe verlassen kann und so sind Diskussionen über eine Eiweißstrategie der EU in vollem Gange. Wie es scheint, hat Österreich die Zeichen der Zeit frühzeitig erkannt und den Sojaanbau kontinuierlich ausgebaut. Die Tagung wird uns aufzeigen, wie es gelang, die Sojabohne züchterisch so zu bearbeiten, dass sie sowohl als wertvolles Viehfutter, als auch, mit stark steigender Tendenz, direkt in der menschlichen Ernährung eingesetzt wird. Aber selbstverständlich ist genügend Zeit eingeplant, sich auch über die neuesten Erkenntnisse weiterer Öl- und Eiweißpflanzen zu informieren und auszutauschen.

Ich wünsche uns eine interessante Veranstaltung bei der wir viel Neues und Interessantes erfahren und freue mich auch auf die Möglichkeit zu weiteren Gesprächen und Kontakten im Verlauf der gesamten Tagung.

Dr. Volker HAHN, Leiter AG Öl- und Eiweißpflanzen der GPZ



## Immer leistungsfähigere Sorten (höhere Erträge, bessere Qualität), aber immer geringerer Saatgutwechsel. Getreidezüchtung - Saatgutwirtschaft - Quo vadis?

Reinhard Kendlbacher<sup>1\*</sup>

### Zusammenfassung

Obwohl die Züchtung dank ihrer hohen Innovationskraft (FuE-Quote: 16%) jedes Jahr den Landwirten zahlreiche neue, noch leistungsfähigere Sorten zur Verfügung stellt, nimmt der Saatgutwechsel kontinuierlich ab, nimmt offensichtlich die Landwirtschaft das attraktive Sortenangebot der Züchter nur bedingt an! Hat bei dieser absolut unbefriedigenden Situation die Getreidezüchtung, ja die gesamte Saatgutwirtschaft, noch Zukunft? Bei einer genaueren Betrachtung und Analyse der derzeitigen, sehr heterogenen Struktur der deutschen Saatgutwirtschaft, insbesondere ihrer sehr einfalllosen Absatzaktivitäten, zeigt sich sehr schlüssig, dass die Saatgutwirtschaft als reine Vertragswirtschaft viel zu passiv agiert! Von der Anlage der Saatgutproduktion über die Ernte bis zur Aussaatperiode, muss dem Landwirt die Schlüsselstellung des Z-Saatgutes sowie Leistungsfähigkeit und Innovationskraft der Pflanzenzüchter permanent bewusst gemacht werden. Das Image der Züchter muss als Voraussetzung der Nachfrage nach Z-Saatgut grundlegend verbessert werden.

Die Chancen, dass diese Botschaften ihr Ziel erreichen, stehen gut, denn die Entwicklung auf dem Weltmarkt lässt erwarten, dass Getreide, insbesondere Weizen, in den nächsten Jahren zunehmend ein gefragter Artikel werden wird, möglicherweise wird diese Entwicklung auch durch die Diskussion Biomasse noch weiter angeheizt. Der Getreideanbau in Deutschland spielt somit weiter eine übergeordnete Rolle, insbesondere die Kulturart Winterweizen. In diesem Zusammenhang

übernimmt das Z-Saatgut und damit letztlich auch die Saatgetreidewirtschaft in den nächsten Jahren eine absolute Schlüsselposition!

Der Strukturwandel in der deutschen Landwirtschaft wird dazu führen, dass immer weniger Betriebe, die immer größer werden, immer frühzeitiger ihr Saatgut einfordern. Hier liegt auch die Chance für die Saatgetreidewirtschaft, in dem nicht nur über das Angebot besonders sicherer, garantierter Qualität, sondern auch über Logistik und Service wieder die notwendige Kundenbindung erreicht wird. Dazu ist sicher notwendig, dass sich der Strukturwandel, der derzeit in der Landwirtschaft so dramatisch fortschreitet, auch in der Saatgetreidewirtschaft bei allen Marktpartnern fortentwickelt, sich günstigere Kostenstrukturen entwickeln, das Preis-Leistungsverhältnis den Verbraucherwünschen angepasst werden kann, der Verdrängungswettbewerb nachlässt. Der Saatgutmarkt 2020 wird von deutlich weniger Marktpartnern bedient, die international flächendeckend vernetzt sind!

Ob wir wollen oder nicht: Wir werden weniger - aber dafür größer! Hoffentlich auch beweglicher, schneller, schlagkräftiger! Fakt ist: Wir müssen permanent aktiv sein, um den Z-Saatgutabsatz zu steigern (70%!). Unabhängig davon muss endlich eine gerechte und flächendeckend wirksame Nachbauregelung sowohl in Deutschland, aber auch in allen EU-Ländern Einzug finden.

Auskunftspflicht - ohne Vorlage von Anhaltspunkten!  
Geistiges Eigentum schützen - Zukunft sichern - Z-Saatgut kaufen!

<sup>1</sup> I.G. Pflanzenzucht GmbH, Nußbaumstraße 14, D-80336 MÜNCHEN

\* Ansprechpartner: Reinhard KENDLBACHER, e.neumann@ig-pflanzenzucht.de





## Qualitative Anforderungen an Getreide aus Sicht eines Verarbeiters

### Cereal quality from a processor's point of view

Josef Dietrich<sup>1\*</sup>

#### Abstract

LLI Euromills GmbH was founded in 2007/08 and is today the market leader in the European flour and mill segment. The LLI group is active in Austria, Germany, Poland, Hungary, Czech Republic, Romania and Bulgaria. Slovakia and Slovenia are supplied through intensified export activities and a minority interest is held in Greece. In Austria LLI Euromills operates Austria's largest mill, *Erste Wiener Walzmühle Vonwiller* based in Schwechat. It has a daily processing capacity of 450 t wheat, 110 t rye and 130 t durum. A broad range of general and specific quality traits, e.g. moisture content, test weight, falling number, impurities, protein- and gluten content, GMO contamination, ash content, sedimentation value, amylo-, extenso- and farinograph are determined during acquisition and processing of cereals in order to ensure an immaculate flour quality. Moreover, external labs are accessed concerning the determination of mycotoxins (deoxynivalenol, zearalenone, nivalenole, aflatoxins, ochratoxin A), heavy metals (Cd, Pb), radioactivity, residues of pesticides and microbial count.

#### Keywords

Baking, durum, quality, rye, *Secale cereale*, *Triticum aestivum*, wheat

#### Einleitung

Die LLI Euromills GmbH, eine 100% Tochter der Leipnik-Lundenburger Invest Beteiligungs AG (LLI), ist europaweit Marktführer und zählt weltweit zu den Top vier der Mühlenbranche. Sie ist in den Ländern Österreich, Ungarn, Deutschland, Polen, Tschechien, Rumänien und Bulgarien am Mühlenmarkt vertreten. Zu den zur LLI Euromills gehörenden Mühlen zählen: Die Erste Wiener Walzmühle Vonwiller GmbH (AT), die Farina Mühlen GmbH (AT), die Pannonmill Malomipari Zrt. (HU), die Unimills a.s. (CZ), die Titan S.A. (RO), die Sofia Mel AD (BG) sowie die VK Mühlen AG (DE). Insgesamt besteht die LLI Euromills derzeit aus 28 Mühlen mit einer Mühlenleistung von etwa 3 Mio t Vermahlung, einem Umsatz von 1 Milliarde € und einem Mitarbeiterstand von ca. 2700.

#### Qualitätsanforderungen

Die von der Vonwiller GesmbH gestellten Qualitätsanforderungen an Getreide lassen sich in Allgemeine Qualitätsan-

forderungen, den Getreidesilo, das Mühlenlabor und Externe Labors unterteilen. Allgemeine Qualitätsanforderungen betreffen die Einhaltung aller kontraktlich festgelegten Kriterien, die Homogenität der Partien und eine sachgerechte Lagerung bzw. Transport. Gegenstand der Kontrakte ist feldfallendes, gereinigtes Getreide.

Am Getreidesilo werden folgende Qualitätsmerkmale bestimmt: Feuchtigkeit, Hektolitergewicht, Fallzahl, Besatz, Protein- und Klebergehalt. Die Messung des Proteingehaltes erfolgt kontinuierlich im Warenfluss. Die Ware muss gesund und handelsüblich sein (Geruch, keine Schädlinge, verfärbte Körner oder Mutterkorn (Sortierung der Ware durch Farbsortierer Bühler Sortex Z+); keine GMO Verunreinigung bei Mais).

Im Mühlenlabor wird das Getreide folgenden Untersuchungen unterzogen: Aschegehalt, Klebergehalt, Sedimentationswert, Fallzahl, Amylogramm, Extensogramm und Farinogramm. Externe Labors analysieren das Getreide auf Mykotoxine, Schwermetalle, Radioaktivität, Rückstände (v.a. Pestizide), Keimzahlen (zunehmend von Bedeutung durch die Zunahme von Teiglingen in der Backbranche), GMO Verunreinigungen. Seit 1999 wird ein Monitoring organisiert in dem über 200 Betriebe der Mühlenwirtschaft und des Landhandels aus Deutschland, Österreich und Polen teilnehmen. Die Analysen werden von der SGS-Germany Laboratory Service durchgeführt. In der Saison 2009/2010 wurden 1017 Proben untersucht auf Pflanzenschutzmittelrückstände (über 160 Substanzen), Schwermetalle (Cd, Pb), Fusarientoxine (DON, ZEA, Nivalenol etc.), weitere Mykotoxine (Aflatoxine, Ochratoxin A), sowie deren Mikrobiologie (Hefen, Schimmelpilze, Enterobacteriaceae, Escherichia coli, etc.).

#### Österreichisches Getreide

Weizen aus Österreich ist qualitativ im Verhältnis zu Nachbarländern hervorragend. Er besitzt gute Hektolitergewichte, Fallzahlen, Klebergehalte und Kleberqualitäten. In letzter Zeit konnte allerdings eine „Unterwanderung“ durch Industrieweizen mit teilweisen guten Proteinwerten festgestellt werden. Es zeigte sich auch, dass der Markt gravierend im Umbruch ist (Importe, Energie, Wettbewerb zu Mais). Österreichischer Weizen ist überwiegend fachlich richtig gelagert und gilt als „gesund“ (z.B. hinsichtlich DON).

<sup>1</sup> Erste Wiener Walzmühle Vonwiller Ges.m.b.H., Schmidgasse 3-7, A-2320 SCHWECHAT

\* Ansprechpartner: Josef DIETRICH, s.weinwurm@vonwiller.at

Österreichischer Roggen ist qualitativ vergleichbar mit Importroggen; er ist etwas großkörniger und ist ein gefragtes Produkt, auch in qualitativ guten Jahren. In Österreich selbst wird nur ein geringfügiger Überschuss produziert. Ideale Roggenqualitäten liegen bei einem Amylogramm von 500-600 AE. Die Fallzahlen sind immer stärker schwankend und zeigen keine Relation zum Amylogramm. Bei Roggen gibt es keine ausgeprägte regionale Streuung, die Hauptmenge wird im Waldviertel produziert.

Österreichischer Durum ist qualitativ sehr gut bis hervorragend. Für die Mühlenindustrie positiv zu sehen ist die Streuung in Winter- und Sommerdurum. Größere Schwankungen können bei der Glasigkeit, dem DON-Gehalt und den Fallzahlen auftreten. Die österreichische Durumproduktion steht im unmittelbaren Wettbewerb mit den Nachbarländern.

### Spezifische und allgemeine Qualitäten

Von Seiten der Kunden gibt es vielfach spezifische Qualitätsanforderungen, z.B. hinsichtlich der Klebermenge (25% bei 54% Wasseraufnahme vs 32% bei 63% Wasseraufnahme), Kleberqualität, des Fallzahl/Amylogrammverhältnisses bei Roggen, der Teigstabilität (Farinogramm), Wasseraufnahme, Herkunftsgarantien/Anbauprogramme oder die Gewährleistung gleichbleibender Qualität über 12 Monate. Zu den besonderen Qualitätsanforderungen von Kunden zählen auch Ansprüche an die Korn- bzw. Mehlkörperform (Purpurweizen, Schneeweizen, Gelbpigmentweizen) oder an bestimmte Inhaltsstoffe (hoher Gehalt an Beta-Glucanen oder Folsäure; reduzierter Gehalt an Bitterstoffen). Innerhalb der Mühle liegt das Hauptaugenmerk auf die Ausbeute  $\text{hl}^{-1}$ , die Korngröße und -form, die Kornhärte, den Anteil an Ganzkornasche, Schale, Keime und Stärke.

# How to increase yield and quality of wheat?

Peter Stamp<sup>1\*</sup>

## Abstract

Wheat, one of the three major food crops, has been tremendously neglected in breeding research at least in comparison to maize. This must change immediately at a strong pace. It is intolerable that breeding targets defined already decades ago have to be reactivated just now, when gains in genetic yield potential have to become twice higher to secure global food resources. Alarming, yield increases in major production areas seem to have flattened off instead during the last decades. But genetic gains may be hidden by climatic or socioeconomic changes. From the 1960s to the late 1980s intensive research has been carried out in many parts of the world on the physiology of wheat development and the physiology of all processes determining final grain growth and yield. This research, however, was never efficiently translated into breeding action. As growth rates of potential yield have declined globally mostly below 1% per year, some old propositions for breeding targets have been taken up again. Yield progress is still associated closely with an increased number of grains per area on a global level. The critical phase for grain number is just before flowering and there exists underutilized photosynthetic capacity during grain filling, suggesting unnecessary floret abortion. Recent progress seems to be related to increased photosynthesis before and around anthesis, although no direct measurements were carried out. But accurate and easy methods for phenotyping are still missing to implement radiation use efficiency directly in breeding. Although marker assisted selection is gaining in pace, it is still most used just for the selection of simple traits. Can annual increase of potential yield be boosted again from 1% to more than 2.5%, needed to master the future, by implementing old and new strategies? There is no choice, it must be done!

## Keywords

Genetic gain, *Triticum aestivum*, wheat breeding, yield progress

We have experienced a century of yield increase in wheat, based on breeding Mendelian laws, though at different paces in world regions. In the aftermath of the so called food crisis of 2007 several reviews by leading wheat experts have appeared. Therefore, here no new screening of the multitude of research based wheat publication will be attempted. Instead the recent reviews from 2009 to 2011 will be scrutinized for an appraisal of the present situation, of what has been realized from former proposals in the 'golden age' of wheat physiology, and of what is proposed for the near and distant future.

## *Are genetic gains flattening off?*

Some recent reviews deal with the actual situation of yield increase in wheat by breeding. They all bear the disturbing message that these increases have flattened off in the last two decades. What are the indicators for a missing increase in wheat yield potential? According to PELTONEN-SAINO et al. (2009) there might be several genetic reasons, the two major ones exploitation of physiological traits like the harvest index (HI) and the increase in grain number per area. It had been a certain frustration for crop physiologists in the 1960s to realize that the shoot biomass potential had remained unchanged over 100 years, just the distribution between vegetative and generative mass had gone up in favor of the grains up and above 0.5 with a concomitant shortening of the culm (c.f. STAMP and HERZOG 1984). That this is close to physiological maximum for a healthy vigorous plant seems to be realized now worldwide. A second reason believed by PELTONEN-SAINO et al. (2009) is an already maximum increase of grain number per area. This trait has been regarded by crop physiologists and plant breeders since several decades as the new driving force for potential yield increase, and it still is (EVANS 1998, REYNOLDS et al. 2010). Further non-genetic reasons can be regarded as distortions, e.g. wheat has replaced more adapted cereals in less favorable production areas or arable areas were extended to less suitable land (PELTONEN-SAINO et al. 2009). Furthermore, it is difficult to separate the yield levels attained in certain regions from hot and dry spell as well as devastating short spell events like storm, hail and severe frost without previous hardening, as they are believed to be the companions of climatic change. Fully manmade or demanded by society, the socioeconomic policies especially in Europe demand a reduction in management tools for cereal production, with an impact almost impossible to disentangle from interacting forces mentioned above. Herein PELTONEN-SAINO et al. (2009) are fully corroborated by BRISSON et al. (2010) in their France based study, who

## *Our mission: Doubling the yield potential of all crops within four decades!*

*Mankind needs tremendous increases in the yield potential for all three major food crops, wheat, rice and maize as these cover more than half of all arable land in a time when we are faced with the task to double production within 40 years.*

<sup>1</sup> Institut für Agrarwissenschaften, ETH Zürich, Universitätsstraße 2, CH-8092 ZÜRICH

\* Ansprechpartner: Peter STAMP, peter.stamp@ipw.agrl.ethz.ch

claim that besides agronomic changes related to policy and economy since 2000, heat stress during grain filling and drought during stem elongation have confounded the visibility of a genetic progress, which according to them has not yet stopped in their region.

Just recently GRAYBOSCH and PETERSON (2010) published a similar story that there have been little genetic gains in the USA since two decades. Their chosen region for an analysis, the Midwest is subject to a continental climate with a much lower realizable yield ceiling than the aforementioned European regions. Therefore, the exact time phase coincidence must not be based on causal facts though this cannot be excluded. Anyhow, their publication was called by CSSA News somewhat dramatically an 'A wake-up call'. The authors agreed with the European experts that breeders must look for new avenues to open up a seeming bottleneck for the increase of yield potential, though the use of synthetic hexaploids makes just sense with a clear breeding goal in mind and stay-greens for stress adaptation is already in the limelight of CIMMYT breeders (REYNOLDS et al. 2010).

### *What messages have come down to us from the 'golden age' of crop physiology?*

From the 1960s to the late 1980s intensive research has been carried out in many parts of the world on the physiology of wheat (and barley) development and the physiology of all processes determining final grain growth and yield. A review that never achieved much notice was published by STAMP and HERZOG (1984) on the driving forces for the growth and development of the wheat grain. Based on their own results and supported by a wide array of available literature then they made the following statements: (i) sink and source are balanced by maximum numbers of grains shortly before and of endosperm cells shortly after flowering; (ii) this contrasts the low assimilate needs of young grains at that early stage; (iii) water, light and nitrogen impact number and potential size of grains just a week before and after flowering; (iv) but moderate losses of source have little impact when two weeks have passed since flowering.

In 1998 the probably most important wheat physiologist of his time, Lloyd T. Evans, published his famous book '*Feeding the ten billions - plants and population growth*' (EVANS 1998). There he made similar statements, providing major insights in an intelligent context, i.e. that the shape of the plant is less important than a high number of grains per area set synchronously; that the single leaf photosynthesis is lower in modern than in wild genotypes but that the green leaf area duration immensely increased, in direction of stay-green. Retrospectively, it almost seems tragic that these insights in wheat physiology were achieved by sophisticated laborious methods that were never successfully translated into breeding action. Maybe the time gap to molecular driven breeding strategies was just too long.

### *How about the situation today?*

Tony Fischer and Greg Edmeades, the two well-known former experts for scientifically based wheat and maize breeding from CIMMYT, delivered one of the most com-

prehensive studies on the situation of cereal yield potentials on a global level, inspired by their common engagement for global food security (FISCHER and EDMEADES 2010). In this analysis they made a clear discrimination and definition of the potential yield (PY), to be achieved with the best variety and management in the absence of manageable abiotic and biotic stresses, and the farm yield (FY), the actual production per area in a country or region. Although this concept is not really new, by following strictly these definitions they provided a good basis to judge on the PY for a region and the realized FY, regarding their difference, the yield gap, as an indicator for the agricultural technology applied. According to them, the economic optimum seems to be at about 80% of the PY, a level attained just in some countries like the UK. Of course, these processes are inter-linked, without an adaptation of agricultural technology, breeding progress cannot be translated, and a PY increase is essential for progress in FY. At the moment PY growth rates have declined globally mostly below 1% per year. This is alarming and corroborates the studies on flattening off in breeding progress cited above as yields must be doubled until 2050, demanding a linear progress 2.5 times the current rates (FISCHER and EDMEADES 2010). They contradict PELTONEN-SAINIO et al. (2009) insofar, that yield progress is still associated closely with an increased number of grains per area on a global level. Similar conclusions are drawn by REYNOLDS et al. (2010) from actual CIMMYT experiences, confirming that the critical phase for grain number is just before flowering and there exists underutilized photosynthetic capacity during grain filling, suggesting unnecessary floret abortion. This was already known almost three decades ago - see above the 'golden age' of wheat physiology - it sheds light on a comparative neglect of this self-pollinating crop despite its immense present and future role for global food security. The authors plead for a holistic plant view, as some resources will still be needed for deeper roots, improved root anchorage and stem strength to support increased grain numbers per area.

FISCHER and EDMEADES (2010) conclude from present data that recent progress in wheat yield is related to increased photosynthesis before and around anthesis, although no direct measurements were carried out. Retrospectively this is motivating for all researchers who tried in vain to increase wheat yield potential by increased photosynthesis in bygone decades. High yielding varieties seemingly are able to achieve greater crop growth rate and radiation use efficiency (RUE) in the period leading up to flowering, a critical phase for grain set and grain growth potential as outlined above. These views are shared by REYNOLDS et al. (2010) who see here a new avenue for breeding progress especially under situations of high temperature and drought, i.e. when photorespiration is high. Global change in the shape of CO<sub>2</sub> enrichment will increase, of course, RUE continuously, this will have to be discriminated from genetic gains. Unluckily, one thing has not changed: due to missing accurate and easy methods for phenotyping it is still difficult to implement RUE directly in breeding.

Plant physiologists have resumed their interest in photosynthesis and wheat yield after some decades (ZHU et al. 2010), albeit targeting with their analyses possibilities that

will not be translated into field-proven varieties in the near future. They draw from recent evidence that inefficient energy transduction from light interception to carbohydrate synthesis limits yield. Optimized single steps in the chain might double the yield potential of our major crops. But this requires fundamental changes in the photosynthetic system that can only be achieved by advanced molecular devices in the long-term. Of course it is promising that the genome of Chinese Spring is known since 2009. But according to personal views of Matthew Reynolds from CIMMYT it will take further five years to have it fully sequenced, only then the breeders work can start. In other words, a real impact will be seen not before at least two more decades have passed. Therefore, investment in conventional breeding and agronomic research must go on strong in parallel. According to GUPTA et al. (2010) marker assisted selection (MAS) in wheat is gaining in pace. At the moment the most promising solution may be provided by simple traits. Although it is not the focus here, yield consistency demands the genetically most effective low energy protection of plants against pest and diseases, the rapidly improved understanding of the mode of action for major resistance genes, their known sequences paving the way for a targeted gene mining of genetic resources up to now untapped. This may ease the work of breeders in this important domain. At the moment the most efficient use of MAS lies in backcrossing and F2 enrichment. An important statement by GUPTA et al. (2010) can just be underlined: Breeders must be involved in defining targets and key germplasm for efficient MAS!

### *How about yield and quality*

The composition of storage proteins is well known to be complex in wheat, they are encoded by about 100 genes for HMW and LMW glutenins, as well as gliadins (GOBAA 2007). These proteins mainly accumulate during linear grain growth. Unluckily, the gene expression can be modified by the environment, seemingly reacting mostly to N availability. But no causal relationship is known yet between high quality and low yield at the physiological level. Therefore, it is a challenge to allocate functions to single gliadins and glutenins, to understand the expression strength of their underlying genes, and much more tricky, their interactions and exchangeabilities. Maybe this will allow wheat breeders in the future to judge more accurately the costs of a high protein quality and quantity in the grain (GOBAA et al. 2008).

### **Outlook**

Wheat - one of the major global food crops - has been tremendously neglected in breeding research at least in comparison to maize. This must change immediately at a strong pace as it is scarcely tolerable that breeding targets defined decades ago are just now reactivated, when gains in genetic yield potential have to become twice higher to secure global food resources in forty years from now. A shift in harvest index bolstered wheat yield increases throughout most of the last century, a way gone now. What remains

from former breeding targets is a grain set optimization and a linked higher single grain potential as options to boost yield. But finally an increase in RUE seems feasible; an increase in sink needs more than ever to be balanced by a high and long photosynthesis around and after anthesis. Hopefully present bottlenecks in this fundamental chain can be opened up by molecular approaches in the more distant future. Already now MAS offers hope for a more efficient and eventually more durable protection against pests and diseases, providing free capacity for physiological yield increase. Furthermore, genes coding quality storage proteins are becoming amenable for MAS. Their composition must be at optimum to buffer nitrogen dilution at high yield.

But this quality complex has been maybe too deeply fixed in our western minds. If wheat will keep its strong place in global agriculture, why not attempt to improve the protein content of hexaploid wheat to much higher level as existing for example in *Triticum dicoccoides* in combination with a much better biological protein value. This would allow converting photosynthetic capacity into more product value per area without changing the weight levels to be borne by a culm: An advantage to all monogastrics, including humans who deny eating toast bread.

### **References**

- BRISSON N, GATE P, GOUACHE D, CHARMET G, OURY FX, HUARD F, 2010: Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crop Res.* 119, 201-212.
- EVANS LT, 1998: Feeding the ten billion. Plants and population growth. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- FISCHER RA, EDMEADES G, 2010: Breeding and cereal yield progress. *Crop Sci.* 50 (Suppl.), S85-S98.
- GOBAA S, 2007: Impact of prolamin variation and 1BL.1RS translocation on bread-making quality parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.). Dissertation, ETH-Nr. 17101, ETH Zürich, Switzerland.
- GOBAA S, BANCEL E, BRANLARD G, KLEIJER G, STAMP P, 2008: Proteomic analysis of wheat recombinant inbred lines: Variations in prolamin and dough rheology. *J. Cereal Sci.* 47, 610-619.
- GRAYBOSCH RA, PETERSON CJ, 2010: Genetic improvement in winter wheat yields in the Great Plains of North America, 1959-2008. *Crop Sci.* 50, 1882-1890.
- GUPTA PK, LANGRIDGE P, MIR RR, 2010: Marker-assisted wheat breeding: present status and future possibilities. *Mol. Breed.* 26, 145-161.
- PELTONEN-SAINIO P, JAUHAINEN L, LAURILA IP, 2009: Cereal yield trends in Northern European conditions: changes in yield potential and its realisation. *Field Crop Res.* 110, 85-90.
- REYNOLDS M, FOULKES MJ, SLAFER G, BERRY P, PARRY MAJ, SNAPE JW, ANGUS WJ, 2010: Raising yield potential in wheat. *J. Exp. Bot.* 60, 1899-1918.
- STAMP P, HERZOG H, 1984: Einflüsse auf Wachstum und Entwicklung des Weizenkorns. *Kali-Briefe* 17, 261-277.
- ZHU XG, LONG SP, ORT DR, 2010: Improving photosynthetic efficiency for greater yield, *Ann. Rev. Plant Biol.* 61, 235-261.



# Inverse und nicht inverse Beziehungen von Kornertrag und Qualität im österreichischen Sortenspektrum von Weizen, Gerste und Roggen

## Inverse and non-inverse relations between grain yield and quality in the Austrian cultivars of wheat, barley and rye

Michael Oberforster<sup>1\*</sup> und Manfred Werteker

### Abstract

Relations between grain yield and quality parameters of winter wheat, winter barley, winter rye and spring barley were analysed. The results are based on the official Austrian VCU trials from 1979/80 to 2009/10 and on trials performed for the Descriptive List of Varieties. With respect to the species the number of trials was between 319 and 514, with a total of 39 (winter rye) to 139 (spring barley) cultivars. Adjusted means were calculated and correlated intervarietally. In some cases inverse (statistically negative) relations between yield and quality, e.g. protein content, extract yield difference and color of wort of malting barley, fiber content of feed barley, are desired, whereas the significant intervarietal inverse relation of grain yield and protein content of quality wheat ( $r = -0.48^{**}$  in the Pannonian region;  $-0.53^{*}$  in humid areas) and normal bread wheat ( $r = -0.73^{**}$  in the Pannonian region;  $-0.83^{**}$  in humid areas) represents a challenge for breeders. Protein quality, expressed as sedimentation value and swelling number, as well as kneading and stretching properties of doughs, baking volume and milling properties were less or not at all influenced. In winter and spring barley the breeding progress is accompanied by an increase in thousand kernel weight and better results of the sieving analysis ( $r = 0.42^{**}$  to  $0.86^{**}$ ). In rye, especially in hybrid rye, a higher grain yield may be combined with a more favourable falling number and viscosity (amylogram).

### Keywords

Breeding progress, correlation, crop improvement, *Hordeum vulgare*, protein, *Secale cereale*, *Triticum aestivum*

### Einleitung

Von Backweizen-, Braugerste- und Mahlroggensorten werden agronomisch günstige Eigenschaften, Krankheitsresistenzen, eine hohe Ertragsleistung sowie eine adäquate Verarbeitungseignung verlangt. Bei Futtergerste sind die qualitativen Anforderungen zwar geringer, aber züchterisch dennoch nicht vernachlässigbar. Die Kombinierbarkeit von Ertrag und Qualität beschäftigt Züchter wie Pflanzenbauer

seit langem. Aus biometrischen Gründen ist der Ertragsfortschritt umso geringer, je mehr Merkmale berücksichtigt werden müssen. Zudem sind die gewünschten Eigenschaften mitunter nur in mangelhaft adaptiertem Ausgangsmaterial vorhanden (BECKER 1993). Eine Hauptschwierigkeit bei der Züchtung von Qualitätsweizen ist die negative Korrelation zwischen Kornertrag und Klebergehalt. Sie tritt auf, wenn verschiedene Genotypen unter jeweils gleichen Bedingungen geprüft werden (HÄNSEL 1963). Der Grund dafür ist, dass zur Proteinbildung mehr Photosyntheseenergie benötigt wird, als für dieselbe Quantität an Stärke (PENNING DE VRIES et al. 1974). Nach HOLZ (2009) sind die Weizenzüchter für die ungenügenden Ertragsfortschritte und den geringeren Saatgutwechsel wegen der Schwerpunktsetzung auf höhere Qualität und Krankheitsresistenz zum Teil mitverantwortlich.

### Material und Methoden

#### *Standorte, Feldversuche*

Die Daten entstammen der österreichischen Sortenwertprüfung von 1980 bis 2010 sowie Landessortenversuchen, welche in die Beschreibende Sortenliste (AGES 2011) Eingang fanden (*Tabelle 1*). Bei Winterweizen waren es 419 (Serie Trockengebiet) bzw. 514 (Serie Feuchtgebiet) Umwelten. Bei Wintergerste wurden 498, bei Sommergerste 510 und bei Winterroggen 319 ertraglich ausgewertete Versuche einbezogen. Sie waren auf klimatisch und pedologisch vielfältigen Standorten im Burgenland, in Niederösterreich, in Oberösterreich, in Salzburg, der Steiermark und in Kärnten lokalisiert (*Abbildung 1*). Je nach Getreideart handelt es sich um 18 bis 26 Orte, von denen allerdings kaum die Hälfte während der gesamten Zeit zur Verfügung stand. Die Versuche waren als randomisierte Blockanlagen, lateinisches Rechteck, Zwei- und Dreisatzgitter konzipiert. Die Prüfglieder waren drei- bis sechsfach wiederholt, die Parzellenfläche variierte von 8-18 m<sup>2</sup>. Zuletzt wurden 230-400 keimfähige Körner · m<sup>2</sup> gesät, in den 1980er Jahren waren es zumeist 350-450 Körner · m<sup>2</sup>. Die Vorfrüchte und Düngergaben waren höchst verschieden, Wachstumsregler zur Halmstabilisierung kamen selten zur Anwendung. Weiters erfolgten die Prüfungen mehrheitlich ohne Fungizide, seit 2002 werden solche bei einzelnen Wintergerste-, Winterweizen-

<sup>1</sup> Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Spargelfeldstraße 191, A-1220 WIEN

\* Ansprechpartner: Michael OBERFORSTER, michael.oberforster@ages.at



**Tabelle 1: Übersicht der ausgewerteten Versuche und Sorten**  
**Table 1: Overview of the evaluated trials and cultivars**

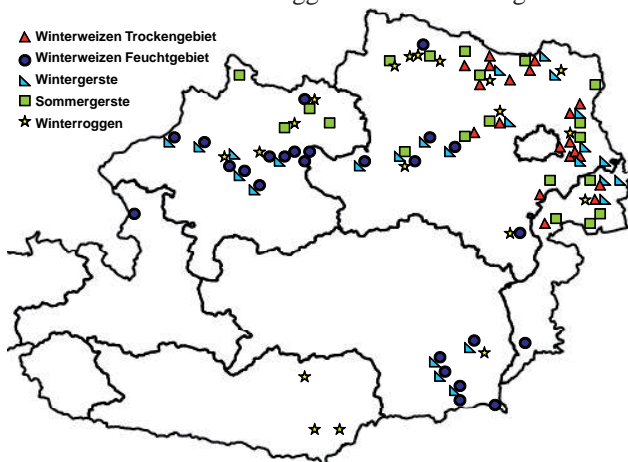
Getreideart (Anbauregion)	Versuche (n) Kornertrag	Parzellenfläche (m <sup>2</sup> )	Wiederholungen	Saatstärke (keimf. Körner · m <sup>2</sup> )	Sorten (n)
Winterweizen (Trockengebiet)	419	8,1-18	3-6	280-450	49 Qualitätsweizen 18 Mahlweizen
Winterweizen (Feuchtgebiet)	514	8,1-15	3-6	280-450	13 Qualitätsweizen 51 Mahlweizen
Wintergerste (Gesamtgebiet)	498	8,0-18	3-6	270-450	53 Zweizeilige 54 Mehrzeilige
Sommergerste (Gesamtgebiet)	510	8,3-18	3-6	300-430	65 Braugersten 69 Futtergersten
Winterroggen (Gesamtgebiet)	319	8,3-18	3-6	230-450	18 Populationsroggen 21 Hybridroggen

und Sommergersterversuchen eingesetzt. Bei Winterweizen (Serie Trockengebiet) und Winterroggen wurden auch die auf Biobetrieben platzierten Versuche verwertet.

aus sämtlichen Jahren vor, Elect stand von 1990-2010 in den Versuchen. Insgesamt wurden 18 Populations- und 21 Hybridsorten verrechnet.

### Sorten und Prüfperiode

Es wurden aktuelle und bereits gelöschte Sorten, sofern ausreichend Ergebnisse vorlagen, einbezogen. Für die gebietsweise getrennten Sortimente von Winterweizen erfolgte eine separate Verrechnung. Im pannonischen Klimagebiet dominierten die Qualitätsweizen (49 Sorten, Backqualitätsgruppe 7-9), in den Übergangs- und Feuchtlagen gab es mehr Mahlweizen (51 Sorten, Gruppe 3-6); die Futterweizen blieben unberücksichtigt. Der Qualitätsweizen Capo wird seit 1987 im Pannonikum durchgehend getestet. Aus dem Feuchtgebiet liegen die meisten Ergebnisse von den Sorten Adam (1980-1992), Ikarus (1981-1995), Capo und Ludwig (jeweils 1994-2010) vor. Von den 107 Wintergersten sind Igri (1980-1993), Judith (1980-1995), Prima (1984-1996), Dido (1986-1999), Montana (1992-2004) und Reni (1999-2010) am umfassendsten geprüft. Von den 65 Sommerbrau- und 69 Sommerfuttergersten waren Adora (1980-1990), Atem (1980-1991), Apex (1982-1994), Serva (1981-1991), Barke (1994-2005) und Bodega (1998-2009) am längsten im Anbau. Vom Winterroggen EHO-Kurz liegen Daten



**Abbildung 1: Standorte der Versuche von Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste und Winterroggen**

**Figure 1: Locations of trials of winter wheat, winter barley, spring barley and winter rye**

### Kornertrag und Qualitätsmerkmale

Der Kornertrag ist auf einen Feuchtigkeitsgehalt von 14% normiert. Die Qualitätsmerkmale wurden nach folgenden Methoden bestimmt: Tausendkorngewicht nach EBC (Zählung von 2x500 Körnern), Hektolitergewicht nach Methode 7971-2 (ISO 1995), bis 2003 Proteingehalt nach Kjeldahl (ICC-Standard Nr. 105/2), ab 2004 Proteingehalt nach Dumas (ICC-Standard Nr. 167), Feuchtkleber nach ICC-Standard Nr. 137/1, Quellzahl nach BERLINER und KOOPMANN (1929), Sedimentationswert nach Zeleny (ICC-Standard Nr. 116/1), Fallzahl nach ICC-Standard Nr. 107/1, Farinogramm nach ICC-Standard Nr. 115/1, Extensogramm nach ICC-Standard Nr. 114/1 und Amylogramm nach ICC-Standard Nr. 126/1 (ICC 2001). Der Semmelbackversuch mit Rapid-Mix-Teigbereitung erfolgte gemäß Standardmethode, seit dem Jahr 2002 werden dem Mehl jedoch 0,002% Ascorbinsäure zugesetzt (WERTEKER 2005). Die Mehlausbeute wurde gemäß ARBEITSGEMEINSCHAFT GETREIDEFORSCHUNG (1978) ermittelt. Marktwarenteil, Vollgerstenanteil und Parameter der Malzqualität erfolgten gemäß MEBAK (2002) bzw. EBC (2005), die Rohfaser wurde nach NAUMANN und BASSLER (1993) erhoben.

### Biometrische Auswertung

Innerhalb eines Jahres war ein Teil der Sorten in sämtlichen Versuchen vertreten. Über einen längeren Zeitraum wird der orthogonale Kern immer kleiner. Die Datenstruktur schränkt die Möglichkeiten der statistischen Auswertung ein. Wir berechneten für Sorten und sämtliche Parameter adjustierte Mittelwerte. Hiefür wurde das FTAB-Programm von Schwarzbach eingesetzt; es kalkuliert die Werte mittels eines iterativen Algorithmus (SCHWARZBACH and ATSMON 2004). Diese sind von Jahres- und Ortseffekten sowie den Einflüssen geänderter pflanzenbaulicher Maßnahmen weitgehend bereinigt und dadurch vergleichbar. Die adjustierten Erträge wurden mittels des Statistikpakets SPSS Vers. 16.0 (SPSS Inc., Chicago) mit den Qualitätsdaten korreliert (JANSSEN und LAATZ 2007). Einer intervarieten Korre-

**Tabelle 2: Winterweizen im pannonischen Trockengebiet: nicht orthogonale Versuchsserie, 1980-2010, Berechnung adjustierter Mittelwerte**

**Table 2: Winter wheat in the Pannonian region: non orthogonal trial series, 1980-2010, calculation of adjusted means**

Sorte	Zulassung	Prüfjahre	Versuche (n)	Arithm. Mittel	Kornertrag (dt ha <sup>-1</sup> )	
					Adj. Mittel	Differenz
Amadeus	1985-1998	1982-1995	82	66,72	63,85	-2,87
Brutus	1993-	1991-2001	66	66,00	64,22	-1,78
Capo	1989-	1987-2010	323	69,24	69,61	+0,37
Estevan	2005-	2003-2010	90	71,08	70,68	-0,40
Extrem	1967-2001	1980-2000	119	59,98	60,35	+0,37
Georg	1992-2003	1989-2001	105	70,74	67,48	-3,26
Ludwig	1997-	1996-2010	194	70,69	72,15	+1,46
Pannonikus	2008-	2005-2010	39	73,92	73,22	-0,70
Perlo	1978-2001	1980-2000	190	64,05	62,33	-1,72
SW Maxi	2003-	2001-2010	78	73,97	71,40	-2,57

lation oder Regression liegen die Ergebnisse unterschiedlicher Genotypen bei identischen bzw. durch Rechenschritte vergleichbar gemachten Bedingungen zugrunde. Sie sind vor allem für züchterische Fragestellungen relevant.

## Ergebnisse und Diskussion

### Qualitätsweizen im Trockengebiet

Die in Österreich mit dem Begriff „Qualitätsweizen“ zusammengefassten Sorten sind hinsichtlich der Backfähigkeit den deutschen „Eliteweizen, E-Weizen“ (BUNDESSORTEN-AMT 2010) ähnlich. Eine völlige Deckung ist aufgrund unterschiedlicher Schemata zur Qualitätsbeurteilung (OBERFORSTER et al. 1994, STEINBERGER et al. 1995) nicht herzustellen. Die Regressionsrechnung zeigt einen jährlichen züchtungsbedingten Ertragsanstieg von 0,35 dt ha<sup>-1</sup>. Er ist nur halb so groß wie bei dem im Feuchtgebiet angebauten Mahlweizensortiment. Der Proteingehalt verhält sich zum Kornertrag signifikant negativ ( $r = -0,48^{**}$ ), jedoch keineswegs straff (Tabelle 3). Lediglich 23% der Sortenvariation

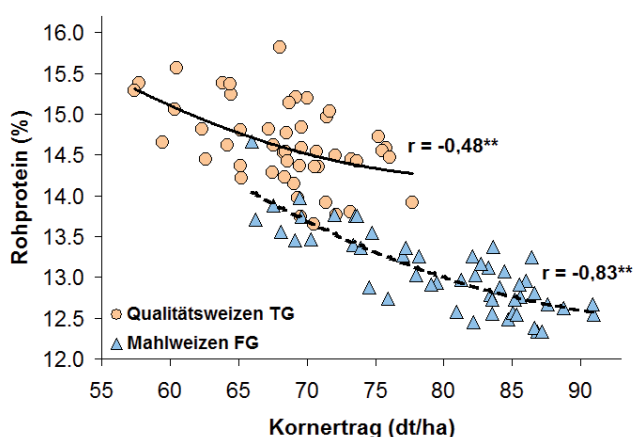
des Proteingehalts sind durch die Ertragsleistung bestimmt. Die Genotypen am oberen Ende des „Korrelationsrandes“ erwecken bei Züchtern ein besonderes Interesse (HÄNSEL 1963). Solche Sorten sind beispielsweise Antonius, Arnold, Astardo, Energo, Fulvio, Impulsiv, Lukullus, Pireneo und Vulcanus (Abbildung 2).

MONAGHAN et al. (2001) schlagen die Residuen der Regression von Kornertrag und Kornproteinkonzentration als effizientes Selektionskriterium vor.

Mit zunehmendem Ertrag ist der Trend zu reduzierten Proteinwerten abgeschwächt. Hintergrund dürfte sein, dass der Erfassungshandel den Preiszuschlag erst nach Erreichen von 14% Protein gewährt. Qualitätsweizen mit durchschnittlicher oder mäßiger Ausprägung des Proteingehalts (Ausprägungsstufe 5 oder 6 in der Beschreibenden Sortenliste) haben am Markt einen Nachteil. Solange Weizenpartien ab 14 bzw. 15% Protein nennenswerte Aufpreise erzielen, wird das Merkmal bei den heimischen Weizenzüchtern und Landwirten entsprechend gewichtet. Der zumeist geringe Ertragsnachteil gegenüber Mahlweizen wird in Kauf genommen. Die pannonische Region eignet sich aufgrund von in der Vegetationsperiode oft knappen Niederschlägen und dadurch begrenzter Ertragsfähigkeit der Standorte gut zur Erzeugung von Qualitätsweizen. Im Übrigen beweisen die in den Jahren 2008 und 2009 registrierten Sorten Energo, Fulvio, Lukullus und Vulcanus, dass eine gleichzeitige Anhebung von Ertrag und Proteingehalt gelingen kann.

Der Feuchtkleber nahm mit steigendem Ertragspotenzial erwartungsgemäß ab ( $r = -0,53^{**}$ ). Die durch Quellzahl und Sedimentationswert repräsentierte Protein- und Kleberqualität blieb dagegen unbeeinflusst. Eine mittlere bis höhere Wasseraufnahme der Mehle ist für die Frischhaltung von Brot und Gebäck vorteilhaft. Die Auswertung zeigt einen kaum relevanten Zusammenhang von Ertrag und Wasserbindung ( $r = -0,23$  n.s. bzw.  $-0,26^*$ ).

Wegen des größeren Dehnwiderstandes hat die Teigenergie geringfügig zugenommen ( $r = 0,35^{**}$ ). Die von den Verarbeitern gewünschte hohe bis mittelhohe Knetstabilität und Dehnbarkeit der Teige, ein entsprechendes Gebäckvolumen und ein gutes Ertragspotenzial schließen sich nicht aus. Mehr noch gilt dies für das Hektolitergewicht und die Mehlausbeute; ihre genotypische Ausprägung ist weitgehend vom Kornertrag unabhängig.



**Abbildung 2: Qualitätsweizen im pannonischen Trockengebiet (49 Sorten), Mahlweizen im Feuchtgebiet (51 Sorten); Inter-varietale Beziehung zwischen Kornertrag und Proteingehalt (Versuche 1980-2010, adjustierte Mittelwerte der Sorten)**

**Figure 2: Quality wheat in the Pannonian region (49 cultivars), bread wheat in the humid region (51 cultivars); intervarietal relationship between grain yield and protein content (trials 1980-2010, adjusted means of cultivars)**

**Tabelle 3: Spannweite und intervarietale Korrelationen (r) zwischen Kornertrag und Qualitätsmerkmalen bei Winterweizen (Versuche 1980-2010, adjustierte Mittelwerte der Sorten)**

**Table 3: Range and intervarietal correlations (r) between grain yield and quality parameters of winter wheat (trials 1980-2010, adjusted means of cultivars)**

Qualitätsmerkmal	Qualitätsweizen Trockengebiet (n=49)		Mahlweizen Feuchtgebiet (n=51)	
	Min-Max	r	Min-Max	r
Kornertrag (dtha <sup>-1</sup> )	57,4-77,7	-	66,0-90,9	-
Tausendkorngewicht (g TS)	32,8-44,2	0,01	29,3-43,7	0,31 *
Hektolitergewicht (kg)	76,9-83,8	-0,02	75,1-81,5	0,21
Rohprotein (Nx5,7; %)	13,7-15,8	-0,48 **	12,3-14,7	-0,83 **
Feuchtkleber (%)	29,6-37,2	-0,53 **	25,1-33,1	-0,36 **
Quellzahl (ml)	15,1-24,1	0,11	10,0-24,2	-0,34 **
Sedimentationswert (ml)	52,1-68,3	0,02	29,8-55,1	-0,03
Fallzahl (s)	248-394	0,30 *	177-341	0,16
<b>Farinogramm</b>				
Wasseraufnahme (%)	59,6-66,2	-0,23	54,6-66,5	0,37 **
Teigentwicklung (min)	2,7-6,7	-0,33 *	2,6-5,0	-0,09
Teigstabilität (min)	5,4-11,5	0,07	1,7-10,4	-0,40 **
Qualitätszahl (mm)	72-137	-0,05	38-109	-0,35 **
Teigerweichung 12 min (FE)	52-89	-0,15	59-118	0,22
<b>Extensogramm</b>				
Wasseraufnahme (%)	55,9-61,8	-0,26 *	53,5-61,9	0,22
Teigdehnlänge 135 min (mm)	155-214	-0,08	137-204	-0,21
Dehnwiderstand 5 cm, 135 min (EE)	266-501	0,36 **	253-505	0,09
Dehnwiderstand max., 135 min (EE)	432-674	0,39 **	333-735	-0,03
Teigenergie 135 min (cm <sup>2</sup> )	105-168	0,35 **	65-163	-0,01
Backvolumen (ml 100 g <sup>-1</sup> Mehl)	538-636	0,05	472-597	0,06
Mehlausbeute Type W550 (%)	67,4-77,5	0,15	65,8-75,6	-0,16

\*,\*\* signifikant für  $p < 0,05$  bzw.  $p < 0,01$

### Mahlweizen im Feuchtgebiet

Die als „Mahlweizen“ bezeichneten Sorten entsprechen hinsichtlich ihrer Backfähigkeit etwa den deutschen „Qualitätsweizen, A-Weizen“ sowie einem Teil der „Brotweizen, B-Weizen“ (BUNDESSORTENAMT 2010). Die Verrechnung der langjährig in Feuchtlagen durchgeführten Prüfungen weist einen Zuchtfortschritt von 0,70 dt pro Hektar und Jahr nach. Für den Erfolg gibt es zwei Hauptgründe: In vielen Zuchtprogrammen werden geeignete Genotypen für diese Anbauregion entwickelt. Weiters ermöglicht die geringere Anforderung des Handels an den Proteingehalt (mindestens 12,5%, mitunter genügen bereits 12%) eine stärkere Ausrichtung der Selektion auf den Kornertrag. Allerdings resultiert daraus eine mit  $r = -0,83^{**}$  deutlich inverse Beziehung zum Proteingehalt (Tabelle 3). Im Mahlweizensortiment werden etwa 69% der genotypischen Ausprägung des Proteingehalts von der Variation des Kornertrags bestimmt. Die Mehrzahl der neueren Sorten ist durch niedrige Proteinwerte charakterisiert (Abbildung 2). Der Klebergehalt ist mit dem Ertrag ebenfalls negativ assoziiert, hat jedoch nicht im selben Maße abgenommen ( $r = -0,36^{**}$ ). Seit 2002 wurden mit Augustus, Ennsio, Megas, Mulan, Pedro und Sailor Mahlweizen mit unterdurchschnittlichen Quellzahlen von 10-14 ml zugelassen. Der Sedimentationswert reagierte nicht auf das gestiegene Ertragspotenzial. Die Knettoleranz (Teigstabilität, Qualitätszahl) wird auch von der Menge und Qualität des Proteins beeinflusst und ist bei den ertragsstarken Sorten tendenziell geringer ( $r = -0,40^{**}$  bzw.  $-0,35^{**}$ ). Die in dieser Sortengruppe zumeist mittlere bis mäßige Dehnbarkeit hat trotz des knappen Proteinge-

halts nicht weiter abgenommen. Das Backvolumen steht, sofern die Mahlweizen für sich betrachtet werden, nicht in Zusammenhang mit dem Ertragspotenzial. Im Wesentlichen trifft dies auch für das Hektolitergewicht und die Ausbeute an aschearmen Mehlen zu.

### Intervarietale Beziehung von Kornertrag und Proteingehalt bei Winterweizen

Zahlreiche Untersuchungen haben die intervarietal negative Beziehung von Ertrag und Proteingehalt thematisiert, unter anderem BERG (1941), SIMMONDS (1995), FEIL (1997, 1998) sowie OURY und GODIN (2007). Das inverse Verhältnis von Ertrag und Proteingehalt bei Qualitätsweizen ( $r = -0,48^{**}$  im Trockengebiet,  $-0,53^{*}$  in Feuchtlagen) und Mahlweizen ( $r = -0,73^{**}$  im Trockengebiet,  $-0,83^{**}$  in Feuchtlagen) fordert Züchter und Landwirte heraus. Pro 10 dtha<sup>-1</sup> Ertragsgewinn haben die Sorten durchschnittlich 0,6% Protein eingebüßt (Abbildung 2). Die Selektion auf Backqualität kostet Ertrag, insbesondere wenn der Maßstab für die Backqualität der Proteingehalt ist (KAZMAN 2010). Sofern es gelingt, die Proteinqualität zu erhalten oder zu verbessern, wird es möglich sein, auch mit vergleichsweise niedrigem Proteingehalt wertvolle Verarbeitungseigenschaften zu gewährleisten (SPANAKAKIS 2001). FEIL (1998) spricht sich dafür aus, die Selektion auf Protein aufzugeben und die vom Markt verlangten Proteinwerte mittels Stickstoffdüngung zu sichern. Jedoch steigt damit die Gefahr umweltschädlicher N-Verluste. Aufgrund dieser Problematik wird die Bedeutung des Proteingehalts für die

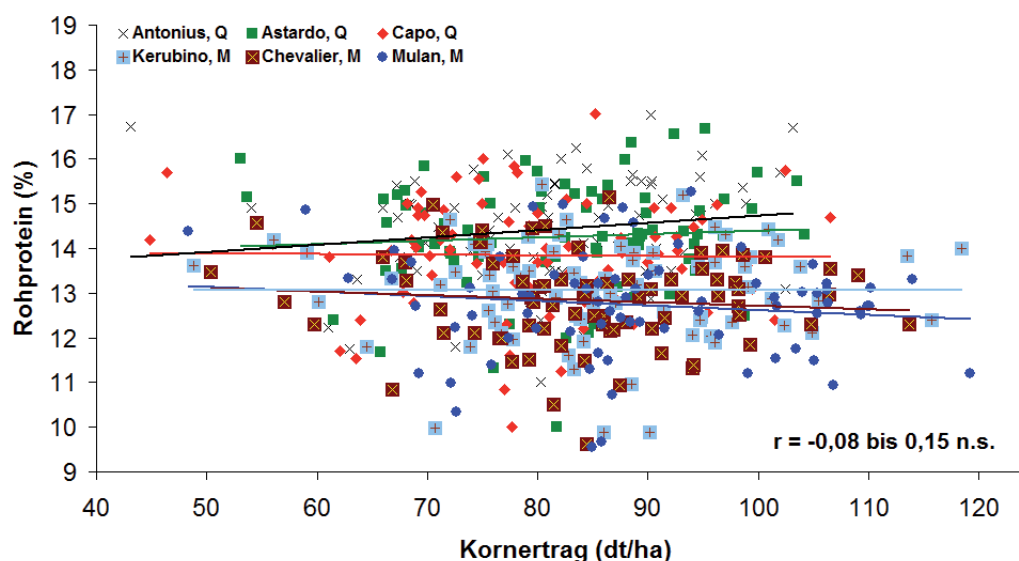


Abbildung 3: Intravarietale Beziehung zwischen Kornertrag und Proteingehalt bei Qualitäts- (Q) und Mahlweizen (M) im Feuchtgebiet (77 Versuche, 2005-2010)

Figure 3: Intravarietal relationship between grain yield and protein content of quality wheat (Q) and bread wheat (M) in the humid region (77 trials, 2005-2010)

Backqualität zunehmend hinterfragt (OBENAUF 2009). Tatsächlich kombinieren Sorten wie Altos, Belmondo, Chevalier, Dekan, Eurojet, Kerubino, Levendis, Pegassos, Pedro, Plutos, Sailor oder Xenos ein unterdurchschnittliches Proteinniveau mit einem befriedigenden bis guten Backpotenzial. In den österreichischen Prüfungen hatte der sortenspezifische Proteingehalt nur einen schwach positiven (Qualitätsweizen im Trockengebiet  $r=0,27^*$ ) bzw. keinen Zusammenhang (Mahlweizen in Feuchtlagen) zum Backvolumen. Sorten, die sich im Proteingehalt um 1,0 bis 1,5% unterscheiden, können durchaus ähnlich verbacken. Bei dem für die Sortenregistrierung angewandten Qualitätsschema kommt dem Proteingehalt deshalb nur ein begrenztes Gewicht zu. Von derzeit 67 registrierten Winterweizen wurden lediglich Altos, Eurojet, Jenga, Levendis, Pedro, Sailor und Yello wegen zu niedrigem Proteingehalt oder anderer nicht gänzlich kompensierbarer Qualitätsmängel abgestuft (AGES 2011).

### Intravarietale Beziehungen zum Proteingehalt bei Winterweizen

Die intravarietalen Koeffizienten basieren auf Ergebnissen je eines Genotyps in unterschiedlichen Umwelten; aus ihnen sind pflanzenbauliche Möglichkeiten zur Einflussnahme ableitbar. Intervarietale Zusammenhänge gelten nicht in gleicher Weise für die Merkmalsbeziehungen innerhalb der Sorten (HÄNSEL und EHRENDORFER 1973). Kornertrag und Proteingehalt von acht im Pannonikum angebauten Qualitätsweizen korrelierten mit  $r= -0,03$  bis  $-0,38^{**}$  (38 Versuche, 2005-2010). In Feuchtlagen variierten Ertrag und Proteingehalt bei Antonius, Astaro, Capo, Kerubino, Chevalier und Mulan ( $r= -0,08$  bis  $0,15$  n.s.) voneinander unabhängig (Abbildung 3). Auf fruchtbaren Böden und bei entsprechender N-Versorgung ist ein hoher Weizenenertrag mit guter Qualität am ehesten vereinbar. Nach deutschen Ergebnissen steigt das Backvolumen in den Qualitätsgrup-

Tabelle 4: Spannweite und intervarietales Korrelationen ( $r$ ) zwischen Kornertrag und Qualitätsmerkmalen bei Wintergerste (Versuche 1980-2010, adjustierte Mittelwerte der Sorten)

Table 4: Range and intervarietales correlations ( $r$ ) between grain yield and quality parameters of winter barley (trials 1980-2010, adjusted means of cultivars)

Qualitätsmerkmal	Wintergerste zweizeilig ( $n=53$ )		Wintergerste mehrzeilig ( $n=54$ )	
	Min-Max	$r$	Min-Max	$r$
Kornertrag ( $\text{dt ha}^{-1}$ )	61,7-84,4	-	58,4-89,9	-
Tausendkorngewicht (g TS)	36,5-48,0	0,52 **	30,4-42,2	0,77 **
Hektolitergewicht (kg)	67,1-71,8	0,30 *	63,4-71,2	0,43 **
Marktwarenteil (Sortierung $>2,2$ mm) (%)	91,9-99,8	0,52 **	80,3-99,6	0,75 **
Vollgerstenanteil (Sortierung $>2,5$ mm) (%)	74,4-98,0	0,42 **	53,0-96,2	0,73 **
Rohprotein ( $\text{Nx}6,25$ ; %)	11,7-13,9	-0,62 **	11,7-13,2	-0,49 **
Rohfaser (%)	3,7-5,4	-0,39 **	4,5-6,3	-0,33 **

\*,\*\* signifikant für  $p<0,05$  bzw.  $p<0,01$

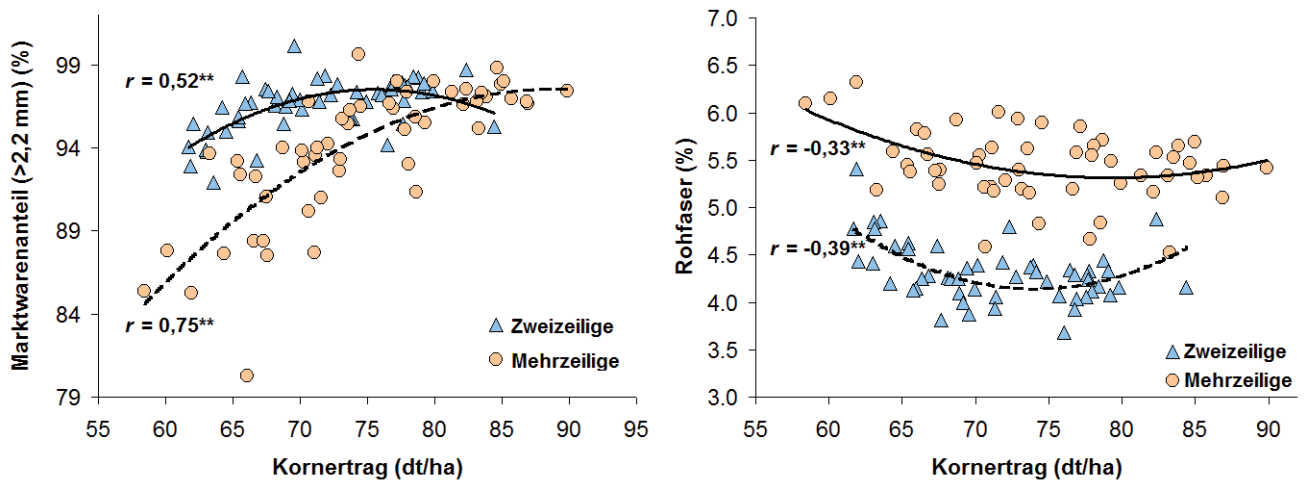


Abbildung 4: Intervarietale Beziehung zwischen Kornertrag und Marktwarenanteil bzw. Rohfasergehalt bei Wintergerste (53 Zweizeilige, 54 Mehrzeilige; Versuche 1980-2010, adjustierte Mittelwerte der Sorten)

Figure 4: Intervarietal relationship between grain yield and grain fraction >2.2 mm and crude fiber content, respectively, of winter barley (53 two-rowed, 54 six-rowed barleys; trials 1980-2010, adjusted means of cultivars)

pen mit jedem Prozent Protein um 25 bis 40 ml 100 g<sup>-1</sup> Mehl an. Bei der Weizenvermarktung kann auf dieses Kriterium nicht verzichtet werden. Dennoch sollte man darüber nachdenken, ob der geforderte Proteingehalt im jetzigen Ausmaß notwendig ist (SELING 2010).

### Wintergerste

Durch Züchtung stiegen die Versuchserträge der zweizeiligen Wintergersten im Mittel um 0,66 dt ha<sup>-1</sup> und jene der mehrzeiligen Sorten um 0,64 dt ha<sup>-1</sup> und Jahr an. Bei den Mehrzeiligen beruht dies neben der Kornzahl pro Ähre wesentlich auf der Anhebung des Tausendkorngewichts ( $r=0,77^{**}$ ). Dementsprechend ist die Ertragspotenz auch mit dem Marktwaren- und Vollgerstenanteil ( $r=0,75^{**}$  bzw.  $0,73^{**}$ ) intervarietal positiv verknüpft (Tabelle 4). Bei den Zweizeiligen konnte die Kornausbildung nur wenig verbessert werden. Denn bereits Sorten mit einem

geringeren Ertragspotenzial von 60 bis 65 dt ha<sup>-1</sup> wie Astrid, Igri, Interbell, Sonate, Sonja, Trixi oder Viola wiesen einen Marktwarenanteil von 92 bis 96% auf (Abbildung 4). Die zuletzt registrierten zweizeiligen Gersten KWS Cassia, Veturia und Yatzy kombinieren Ertragsstärke mit knapper Sortierung. Das Hektolitergewicht ist schwach positiv mit dem Ertrag verbunden ( $r=0,30^{*}$  bzw.  $0,43^{*}$ ). Die Beziehung von Kornertrag und Proteingehalt ist negativ ( $r=-0,62^{**}$  bzw.  $-0,49^{**}$ ). Ein für die Verfütterung erwünschter höherer Eiweißanteil ist mittels angepasster Düngestrategie zu erreichen. Die Selektion auf bessere Kornausbildung senkte den Rohfaseranteil geringfügig ab (Abbildung 4). Im hohen Ertragsbereich setzt sich dieser Trend allerdings nicht fort. Obwohl manche mehrzeilige Gersten ähnlich hoch sortieren wie Zweizeilige, sind sie nach wie vor spelzenreicher. Mehrzeilige Gersten haben im Mittel um 0,8 bis 1,3% mehr Rohfaser, daraus resultiert eine geringere Energiedichte.

Tabelle 5: Spannweite und intervarietale Korrelationen ( $r$ ) zwischen Kornertrag und Qualitätsmerkmalen bei Sommergerste (Versuche 1980-2010, adjustierte Mittelwerte der Sorten)

Table 5: Range and intervarietal correlations ( $r$ ) between grain yield and quality parameters of spring barley (trials 1980-2010, adjusted means of cultivars)

Qualitätsmerkmal	Brauchergerste (n=65)		Futtergerste (n=69)	
	Min-Max	$r$	Min-Max	$r$
Kornertrag (dt ha <sup>-1</sup> )	49,5-77,3	-	50,5-73,4	-
Tausendkorngewicht (g TS)	34,5-45,3	0,75 **	33,2-46,2	0,55 **
Hektolitergewicht (kg)	69,0-72,8	0,12	68,1-73,1	0,00
Marktwarenanteil (Sortierung >2,2 mm) (%)	92,3-99,4	0,86 **	91,1-99,4	0,63 **
Vollgerstenanteil (Sortierung >2,5 mm) (%)	75,3-96,3	0,81 **	72,1-95,7	0,58 **
Rohprotein (N×6,25; %)	10,9-12,4	-0,67 **	11,0-13,0	-0,48 **
Rohfaser (%)	3,6-4,6	-0,29 *	3,6-5,3	-0,02
Feinschrot-Malzextrakt (%)	79,5-83,1	0,63 **		
Mehl-Schrot-Differenz (%)	0,6-2,4	-0,76 **		
Löslicher Stickstoff (mg 100 g <sup>-1</sup> Malz-TS)	644-888	0,25 *		
Eiweißlösungsgrad (Kolbachzahl) (%)	36,5-48,8	0,56 **		
Diastatische Kraft (°WK)	219-463	0,46 **		
Würzefarbe (EBC-Einheiten)	2,2-4,6	-0,48 **		

\*,\*\* signifikant für  $p<0,05$  bzw.  $p<0,01$

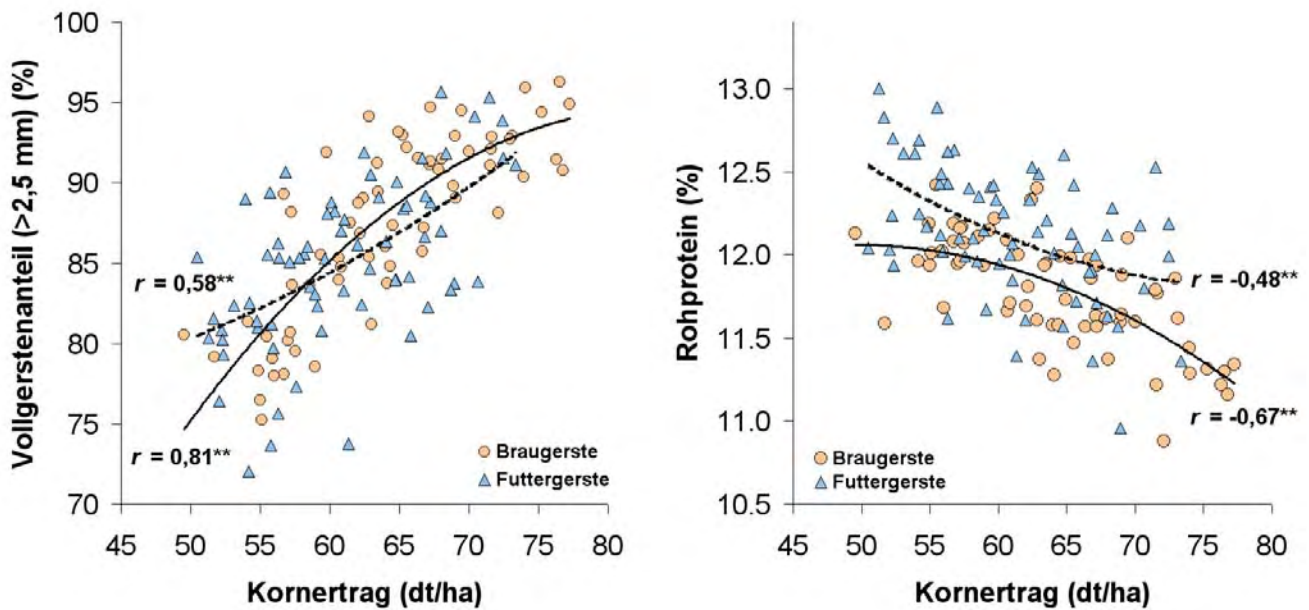


Abbildung 5: Intervarietale Beziehung zwischen Kornertrag und Vollgerstenanteil bzw. Rohproteingehalt bei Sommergerste (65 Braugersten, 69 Futtergersten; Versuche 1980-2010, adjustierte Mittelwerte der Sorten)

Figure 5: Intervarietal relationship between grain yield and grain fraction >2.5 mm and protein content, respectively, of spring barley (65 malting barleys, 69 feed barleys; trials 1980–2010, adjusted means of cultivars)

### Sommerbraugerste

In den Versuchen beträgt der genetische Ertragsanstieg der Braugersten durchschnittlich 0,68 dt pro ha und Jahr. Ähnlich wie bei der Wintergerste wurde die Kornqualität markant gesteigert. Zwischen Ertrag und Korngröße, Marktwaren- und Vollgerstenanteil besteht eine intervarietale Beziehung von  $r=0,75^{**}$  bis  $0,86^{**}$  (Tabelle 5, Abbildung 5). Kornertrag und Proteingehalt verhalten sich invers zueinander ( $r=-0,67^{**}$ ). Pro 10 dtha<sup>-1</sup> Mehrertrag reduzierte sich der Proteingehalt im Mittel um 0,3% (Abbildung 5). Auf die Extraktausbeute wirkt sich dies positiv aus ( $r=0,63^{**}$ ). Eine weitere Steigerung der Extraktleistung ist mit bespelzten Gersten nicht mehr möglich (BAUMER et al. 2004). Die züchterisch verbesserte Mürbigkeit des Malzes (Friabilimeter) verringerte die Extrakt Differenz zwischen Fein- und Grobschrotwürze. Eine optimierte Ausstattung mit proteolytischen und amylolytischen Enzymen hat den Eiweißlösungsgrad (Kolbachzahl) und die diastatische Kraft

angehoben. Auch die tendenziell helleren Malz- und Würzefarben kommen den heutigen Vorstellungen der meisten Brauer entgegen. Bei Sommerbraugerste treten intervarietal keine ungünstigen Beziehungen zwischen Kornertrag und den wesentlichsten Qualitätsmerkmalen auf.

### Sommerfuttergerste

Wegen der geringeren Anzahl zu berücksichtigender Kriterien könnte man einen im Vergleich zu Braugerste höheren Ertragszuwachs annehmen. Mit durchschnittlich 0,61 dtha<sup>-1</sup> und Jahr liegt er allerdings knapp darunter. Ökonomische Gründe sind dafür ausschlaggebend: Die Züchtung von Sommerfuttergerste rechtfertigt keinen ähnlich hohen finanziellen Aufwand. In nicht wenigen Fällen handelt es sich bei registrierten Futtergersten um Nebenprodukte der Zuchtprogramme von Braugersten. Tausendkorngewicht und Sortierfraktionen sind positiv ( $r=0,55^{**}$  bis  $0,63^{**}$ ) mit dem Kornertrag assoziiert. Der Vollgerstenanteil ist kein

Tabelle 6: Spannweite und intervarietale Korrelationen (r) zwischen Kornertrag und Qualitätsmerkmalen bei Winterroggen (Versuche 1980-2010, adjustierte Mittelwerte der Sorten)

Table 6: Range and intervarietal correlations (r) between grain yield and quality parameters winter rye (trials 1980-2010, adjusted means of cultivars)

Qualitätsmerkmal	Populationsroggen (n=18)		Hybridroggen (n=21)	
	Min-Max	r	Min-Max	r
Kornertrag (dtha <sup>-1</sup> )	46,1-66,7	-	62,4-77,9	-
Tausendkorngewicht (g TS)	24,1-28,6	0,49 *	23,3-29,6	0,54 **
Hektolitergewicht (kg)	70,2-74,9	0,64 **	71,0-75,0	0,50 *
Rohprotein (Nx5,7; %)	9,3-11,9	-0,75 **	8,6-9,7	-0,58 **
Fallzahl (s)	150-248	0,35	163-232	0,71 **
Amylogramm				
Viskositätsmaximum (AE)	412-983	0,24	519-1173	0,76 **
Verkleisterungstemperatur (°C)	65,9-75,0	0,45 *	67,5-72,4	0,71 **

\*, \*\* signifikant für  $p<0,05$  bzw.  $p<0,01$

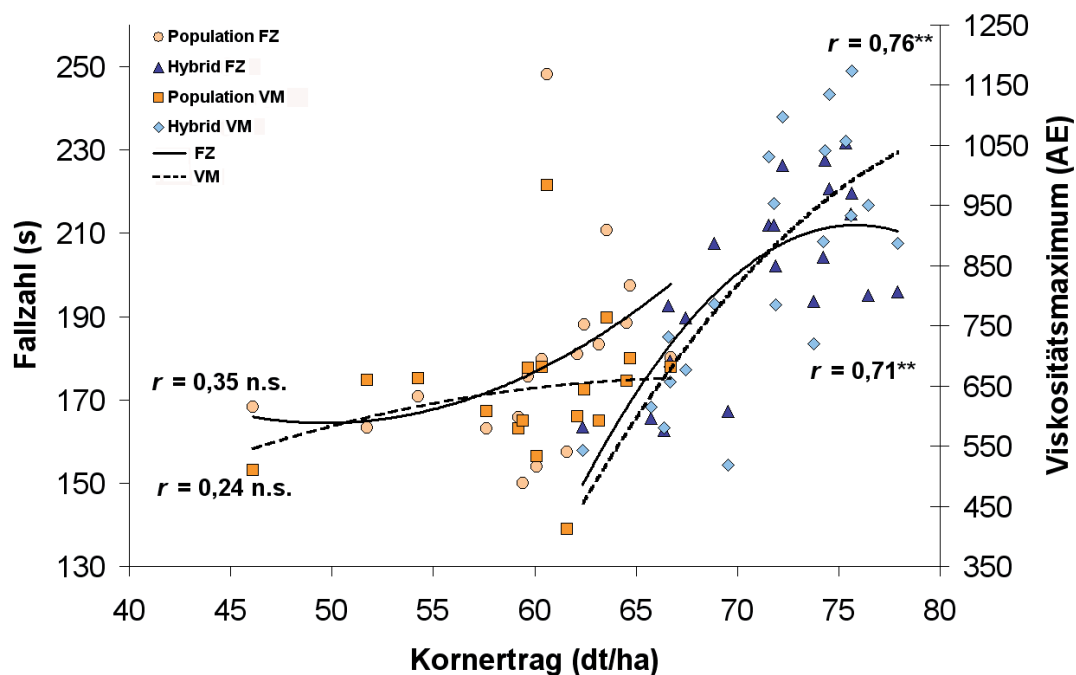


Abbildung 6: Intervarietale Beziehung zwischen Kornertrag und Fallzahl (FZ) bzw. Verkleisterungsmaximum (VM) im Amylogramm bei Winterroggen (18 Populationsorten, 21 Hybriden; Versuche 1980-2010, adjustierte Mittelwerte der Sorten)

Figure 6: Intervarietal relationship between grain yield and falling number (FZ) and amylogram peak viscosity (VM), respectively, of winter rye (18 open-pollinated cultivars, 21 hybrids; trials 1980-2010, adjusted means of cultivars)

preisrelevantes Merkmal, demnach ist die Beziehung zum Ertrag loser als bei den Braugersten (Tabelle 5, Abbildung 5). Die Zulassung einiger leistungsfähiger, jedoch etwas grob-spelziger Sorten wie Althea, Felicitas und Kontiki verhindert eine inverse Beziehung zwischen Ertrag und Rohfaseranteil. Bei gleichem Ertragspotenzial sind Futtergersten im Mittel um einige Zehntelprozent proteinreicher als Braugersten. Aber auch hier hat das gestiegene Ertragspotenzial zur Proteinverdünnung beigetragen.

### Winterroggen

Bei den Populationsroggen erreicht der züchterische Ertragseffekt weniger als die Hälfte (in den Versuchen  $0,21 \text{ dt ha}^{-1}$  und Jahr) des im Hybridsortiment erzielten Wertes (durchschnittlich  $0,55 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Die Kleinkörnigkeit der ersten Hybridroggen wurde weitgehend beseitigt (Tabelle 6). Auch das Hektolitergewicht ist mit dem Ertrag positiv korreliert ( $r = 0,64^{**}$  bzw.  $0,50^*$ ). Die Hybridzüchtung brachte neben einem Ertragsplus von 10 bis  $15 \text{ dt ha}^{-1}$  eine deutlich verbesserte Auswuchsfestigkeit. Dies kommt in den höheren Fallzahlen zur Geltung (Abbildung 6). Bei den Populationsroggen ist eine schwache Tendenz gegeben; lediglich die Sorte Amilo stellt darin eine Ausnahme dar. Ähnlich verhält es sich bei den Kenngrößen des Amylogramms. Hybridroggen wie Bellami, Gonello, Guttino oder Palazzo weisen gegenüber den zwischen 1984 und 1990 registrierten Sorten Akkord, Marder und Rapid um 300 bis 600 AE höhere Viskositätsmaxima auf. Vom Backgewerbe und der bäckerischen Wissenschaft wird dies teilweise kritisch beurteilt. Denn bei trockener und heißer Abreifewitterung ist die Enzymaktivität solcher Sorten zu gering. Damit geht ein Verlust an Brotaroma und Saftigkeit der Krume einher

(BRÜMMER 2005). Der ohnehin sehr niedrige Proteingehalt des Roggens ist mit dem Ertragspotenzial negativ assoziiert ( $r = -0,75^{**}$  bzw.  $-0,58^{**}$ ). Auf die Backeignung hat dies keinen Einfluss, bei der Nutzung als Futterroggen wären mehr als 11% Protein günstig.

### Zusammenfassung

Bei Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste und Winterroggen wurden Zusammenhänge von Kornertrag und Qualitätsparametern analysiert. Die Ergebnisse basieren auf den zwischen 1979/80 und 2009/10 im Rahmen der österreichischen Sortenwertprüfung bzw. für die Beschreibende Sortenliste angelegten Versuchen. In Abhängigkeit von der Getreideart waren es je 319 bis 514 Versuche mit insgesamt 39 (Winterroggen) bis 139 (Sommergerste) Sorten. Es wurden adjustierte Mittelwerte berechnet und diese intervarietal korreliert. In einigen Fällen sind inverse (statistisch negative) Beziehungen zwischen Ertrag und Qualitätsmerkmalen erwünscht. Als Beispiele seien der Proteingehalt, die Mehl-Schrot-Differenz und Würzefarbe von Braugerste sowie die Rohfaser von Futtergerste erwähnt. Die intervarietal signifikant negative Beziehung von Ertrag und Proteingehalt bei Qualitätsweizen ( $r = -0,48^{**}$  im Trockengebiet,  $-0,53^*$  in Feuchtlagen) und Mahlweizen ( $r = -0,73^{**}$  im Trockengebiet,  $-0,83^{**}$  in Feuchtlagen) stellt für die Züchter eine Herausforderung dar. Zweifellos bremst die Selektion auf höhere Backqualität den Ertragsfortschritt, sie stoppt ihn aber nicht. Die Proteinqualität, gemessen als Sedimentationswert und Quellzahl, sowie Knet- und Dehnungseigenschaften der Teige, Backvolumen und Mahlfähigkeit wurden weniger oder nicht beeinflusst. Bei Winter- und Sommergerste ging die züchterische Ertragszu-

nahme mit einer Anhebung des Tausendkorngewichts, des Marktwaren- und Vollgerstenanteils einher ( $r=0,42^{**}$  bis  $0,86^{**}$ ). Auch bei Roggen, insbesondere den Hybridsorten, lassen sich ein höherer Ertrag mit günstigen Ausprägungen der Fallzahl und Viskosität (Amylogramm) kombinieren.

## Literatur

- AGES, 2011: Österreichische Beschreibende Sortenliste 2011 Landwirtschaftliche Pflanzenarten. Schriftenreihe 21/2011. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Wien.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT GETREIDEFORSCHUNG, 1978: Standard-Methoden für Getreide, Mehl und Brot, 6. erweiterte Auflage, Verlag Moritz Schäfer, Detmold.
- BAUMER M, HARTL L, CAIS R, 2004: Züchtungsfortschritt bei Braugerste. Getreide Magazin 9 (3), 158-163.
- BECKER H, 1993: Pflanzenzüchtung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- BERG SO, 1941: Über die Beziehungen zwischen Körnerertrag, Rohproteingehalt und Rohproteinertag verschiedener Weizensorten sowie ihre züchterische Bedeutung. Z. Pflanzenzüchtg. 33, 542-561.
- BERLINER E, KOOPMANN J, 1929: Kolloidchemische Studien am Weizenkleber nebst Beschreibung einer Kleberprüfung. Zeitschrift für das gesamte Mühlenwesen 6, 57-63.
- BRÜMMER JM, 2005: Roggen und sein Backverhalten heute. Getreide, Mehl und Brot 59, 95-106.
- BUNDESSORTENAMT, 2010: Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte.
- EBC, 2005: Analytica-EBC. European Brewery Convention, Brussels. Fachverlag Hans Carl, Nürnberg.
- FEIL B, 1997: The inverse yield-protein relationship in cereals: possibilities and limitations for genetically improving the grain protein yield. Trends Agron. 1, 103-119.
- FEIL B, 1998: Physiologische und pflanzenbauliche Aspekte der inversen Beziehung zwischen Ertrag und Proteinkonzentration bei Getreidesorten: Eine Übersicht. Pflanzenbauwissenschaften 2, 37-46.
- HÄNSEL H, 1963: Grenzbereiche der Kombination von Ertrag und „Qualität“ und anderer Merkmale in der Winterweizenzüchtung Österreichs, insbesondere im pannonischen Gebiet. Bericht 14. Arbeitstagung der Arbeitsgemeinschaft der Saatzuchtler, 4.-6. Dez., pp. 58-82. BAL Gumpenstein, Irnding.
- HÄNSEL H, EHRENDORFER K, 1973: Intervarietale Korrelation zwischen Ertrags-, Entwicklungs- und Qualitätsmerkmalen bei Winterweizen, das Verhältnis von Klebergehalt zu Rohproteingehalt als Sortenmerkmal, und Fortschritte der Qualitätsweizenzüchtung im Pannonischen Gebiet Österreichs. Z. Pflanzenzüchtg. 69, 169-209.
- HOLZ J, 2009: Zuchtziele neu bewerten. DLG-Mitteilungen 7, Saatgut-Magazin Beilage, pp. 14-17.
- ICC, 2001: Standardmethoden. Internationale Gesellschaft für Getreidewissenschaft und -technologie, Wien.
- ISO, 1995: ISO 7971-2: Cereals - Determination of bulk density, called „mass per hectolitre“. Part 2: Routine method. International Standards for Business, Government and Society, Geneva.
- JANSSSEN J, LAATZ W, 2007: Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows, 6. Aufl. Springer, Heidelberg.
- KAZMAN E, 2010: Die Bedeutung des Proteingehaltes von Backweizen aus der Sicht der Pflanzenzüchtung. Getreidetechnologie 64, 115-118.
- MEBAK, 2002: Brautechnische Analysenmethoden. Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission, Freising-Weihenstephan.
- MONAGHAN JM, SNAPE JW, CHOJECKI AJS, KETTLEWELL PS, 2001: The use of grain protein deviation for identifying wheat cultivars with high grain protein concentration and yield. Euphytica 122, 309-317.
- NAUMANN C, BASSLER R, 1993: VDLUFA Methodenbuch, Band III - Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Ergänzungslieferung, 3. Aufl. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- OBENAUF U, 2009: Qualität neu bewerten! DLG-Mitteilungen 6, 22-24.
- OBERFORSTER M, SCHMIDT L, WERTEKER M, 1994: Bewertungsschema '94 der technologischen Qualität von Weizensorten (Weichweizen). Jahrbuch 1993, pp. 257-280. Bundesanstalt für Pflanzenbau, Wien.
- OURY FX, GODIN C, 2007: Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes? Euphytica 157, 45-57.
- PENNING DE VRIES FWT, BRUNSTING AHM, VAN LAAR HH, 1974: Products, requirements and efficiency of biosynthesis: a quantitative approach. J. Theor. Biol. 45, 339-377.
- SCHWARZBACH E, ATSMON SJ, 2004: Breeding progress and performance of wheat cultivars in different environments in Israel from 1970 to 2002. Czech J Genet. Plant Breed. 40, 1-10.
- SELING S, 2010: Bedeutung des Proteingehaltes von Backweizen aus der Sicht der Wissenschaft. Getreidetechnologie 64, 103-110.
- SIMMONDS NW, 1995: The relation between yield and protein in cereal grain. J. Sci. Food Agric. 67, 309-315.
- SPANAKAKIS A, 2001: Nutzung des Züchtungsfortschrittes in der Weizenproduktion. Getreide, Mehl und Brot 55, 195-203.
- STEINBERGER J, MEYER D, ZIMMERMANN G, ZELLER FJ, 1995: Neue Qualitätsgruppen bei Winterweizensorten. Getreide, Mehl und Brot 49, 324-329.
- WERTEKER M, 2005: Auswirkungen erhöhter Ascorbinsäuregaben zu Teigen für Semmelbackversuche. Bodenkultur 56, 83-88.





# Entwicklung der Weizenerträge in Deutschland - Welchen Anteil hat der Zuchtfortschritt?

## Progress in winter wheat yield in Germany - What's the share of the genetic gain?

Jutta Ahlemeyer<sup>1\*</sup> und Wolfgang Friedt<sup>1</sup>

### Abstract

For the current stagnation of winter wheat yields in Germany several reasons are discussed, like e.g. the increase of temperatures during the grain filling period, the expansion of winter wheat growing areas and changes in crop rotation. In order to determine the influence of the genetic gain, a set of 90 winter wheat cultivars, which were registered in Germany between 1966 and 2007 is currently analysed in field trials at five sites over three years at two treatment levels. On basis of results of the first two years the genetic improvement in grain yield

is calculated at 34 kg·ha<sup>-1</sup>·yr<sup>-1</sup> in the fully treated variant and at 37.5 kg·ha<sup>-1</sup>·yr<sup>-1</sup> for the variant without fungicide and with reduced fertilizer treatment. The increase in grain yield is attended by a better resistance to diseases like powdery mildew, leaf rust and Septoria leaf blotch. Altogether our results give no hints that the stagnation in yield on farmers field is due to stagnation in the genetic improvement of cultivars.

### Keywords

Breeding, disease resistance, genetic improvement, grain yield, *Triticum aestivum*

### Einleitung

In den vergangenen fünf Jahrzehnten sind die Winterweizenerträge in Deutschland im Mittel um fast eine Dezitonne pro Hektar und Jahr gestiegen (Besondere Erntermittlung; *Abbildung 1*). Betrachtet man den Verlauf dieses Anstiegs detaillierter, indem man die jährliche Veränderung der Erträge anhand einer entsprechenden Regression über einen Zeitraum von 15 Jahren berechnet, so wird deutlich, dass der durchschnittliche jährliche Ertragszuwachs in den 1960er und 1970er Jahren bei etwa 0,9 dt·ha<sup>-1</sup> lag. Ende der 1970er Jahre stiegen die Ertragszuwächse sogar noch an, so dass Anfang der 1980er Jahre maximale jährliche Zuwächse von fast 1,7 dt·ha<sup>-1</sup> erreicht wurden. Seit Mitte der 1980er Jahre ist diese Entwicklung rückläufig bis hin zur Stagnation. In ähnlicher Weise entwickelten sich auch die Erträge für Wintergerste und Roggen im gleichen Zeitraum.

Als mögliche Ursachen für eine Stagnation der Erträge werden u.a. die zunehmenden Wetterextreme diskutiert. Die Jahresdurchschnittstemperatur hat sich in den vergangenen 60 Jahren in Deutschland um durchschnittlich 0,7°C erhöht (DWD). Gerade in der für die Ertragsentwicklung wichtigen Kornfüllungsphase im Mai hat die Monatsdurchschnittstemperatur im gleichen Zeitraum sogar um 1,9°C zugenommen. Diese Temperaturerhöhung geht einher mit starken sowohl zeitlichen als auch räumlichen Schwankungen in der Niederschlagsverteilung mit einer entsprechenden Zunahme von Starkregen-Ereignissen und Frühlommer-Trockenheit (TRÖMEL und SCHÖNWIESE 2008).

Ein weiterer Faktor mit potenziell negativem Einfluss auf den Durchschnittsertrag von Winterweizen ist die

Ausweitung der Anbaufläche in Deutschland (*Abbildung 2*). Während die Winterweizen-Anbaufläche Anfang der 1960er Jahre bei rund 1,8 Mio. Hektar lag, werden inzwischen mehr als 3 Mio. Hektar mit Winterweizen bestellt. Damit wird auf etwa einem Viertel der bundesdeutschen Ackerflächen Winterweizen angebaut. Ein guter Teil dieser Flächen war früher weniger anspruchsvollen Getreidearten wie Wintergerste oder Roggen vorbehalten. Gleichzeitig haben sich auch die Fruchtfolgen verschoben. Anfang der 1960er Jahre wurden zu etwa ähnlichen Anteilen Roggen, Winterweizen und Wintergerste aber auch Kartoffeln angebaut. Auf Rang fünf rangierte Hafer mit immerhin noch gut 1 Mio. Hektar. Heute ist Winterweizen die dominierende Feldfrucht, gefolgt von Wintergerste, Mais und Raps. Sowohl der Hafer- als auch der Hackfrucht-Anbau sind inzwischen relativ gering. Insgesamt kommen als mögliche Ursache für die Ertrags-Stagnation bei Winterweizen eine Vielzahl von möglichen Einflussfaktoren und deren komplexe Interaktionen in Frage. Die Sorte als ein wesentlicher Einflussfaktor auf den Ertrag soll im Folgenden anhand von Ergebnissen zweijähriger Exakt-Versuche mit insgesamt 90 Winterweizen-Sorten, die in den letzten 40 Jahren zugelassen wurden, näher untersucht werden.

### Material und Methoden

Das Untersuchungssortiment besteht aus 90 Winterweizen-Sorten, die zwischen 1966 und 2007 zugelassen wurden. Die Auswahl erfolgte anhand der für die Feldbesichtigung angemeldeten Vermehrungsflächen der Sorten und aufgrund ihrer Qualitätseinstufung (*Abbildung 3*).

<sup>1</sup> Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Heinrich-Buff-Ring 26-32, D-35392 GIESSEN

\* Ansprechpartner: Jutta AHLEMEYER, jutta.ahlemeyer@agr.uni-giessen.de

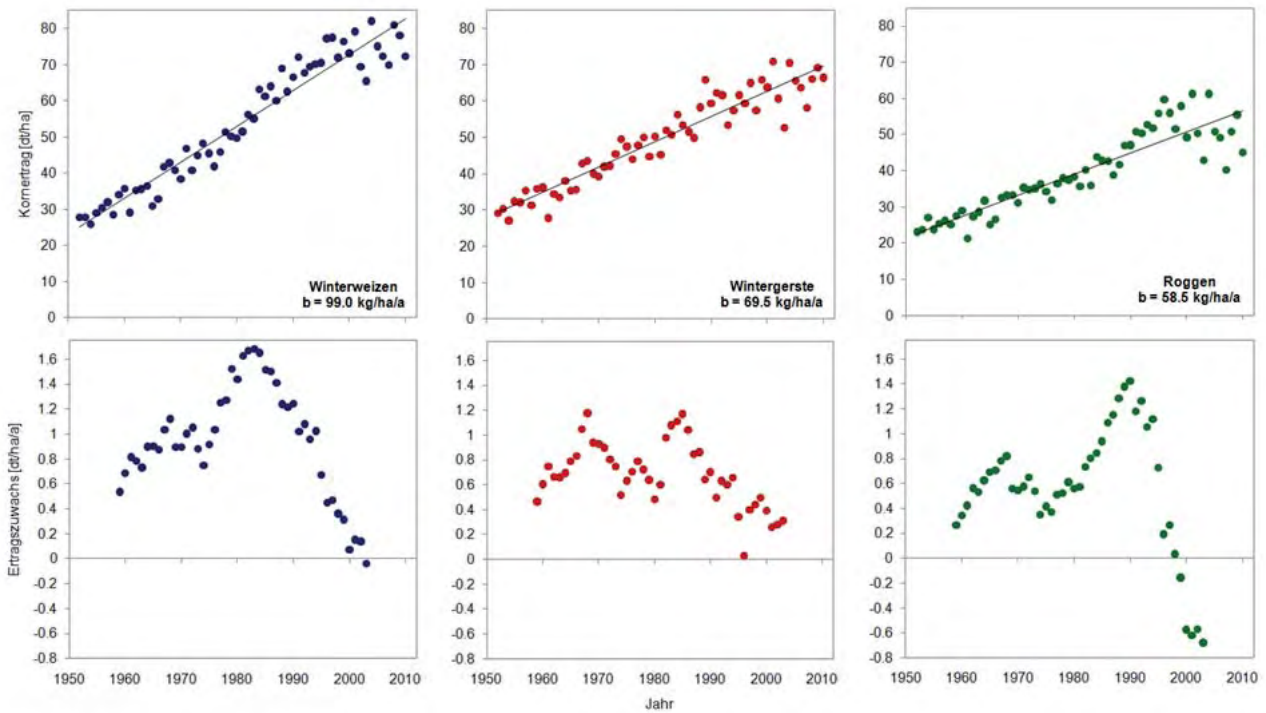


Abbildung 1: Erträge von Winterweizen, Wintergerste und Roggen im Zeitraum 1952 bis 2010 in Deutschland (oben) und der mittlere jährliche Ertragszuwachs (unten) (Quelle: Besondere Ernteermittlung, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, <http://www.bmelv-statistik.de/de/fachstatistiken/besondere-ernteermittlung>)

Figure 1: Yields of winter wheat, winter barley and rye (from left to right) between 1952 and 2010 in Germany (top) and the average annual increase in yield (bottom)

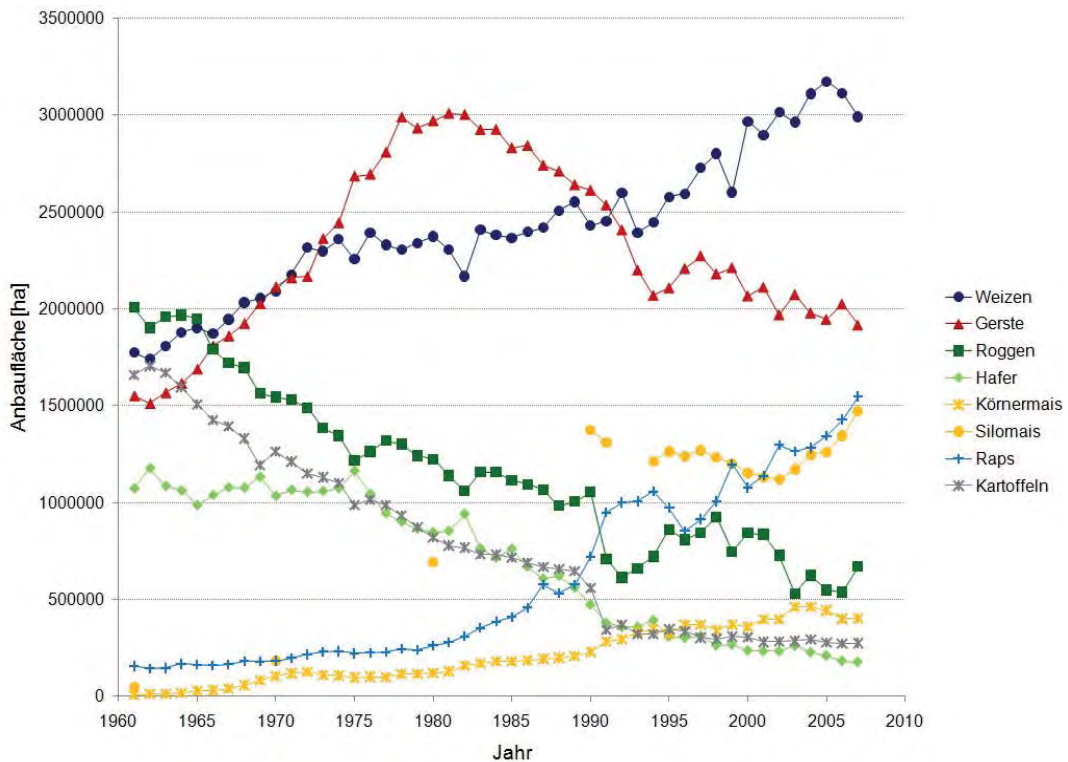


Abbildung 2: Anbauflächen der wichtigsten Feldfrüchte in Deutschland zwischen 1961 und 2007 (Quelle: FAOStat; <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>)

Figure 2: Production areas of wheat, barley, oilseed rape, forage maize, rye, corn, potato and oat (order corresponds to order of the curves from top to bottom in 2007) in Germany between 1961 and 2007 (Source: FAOStat)

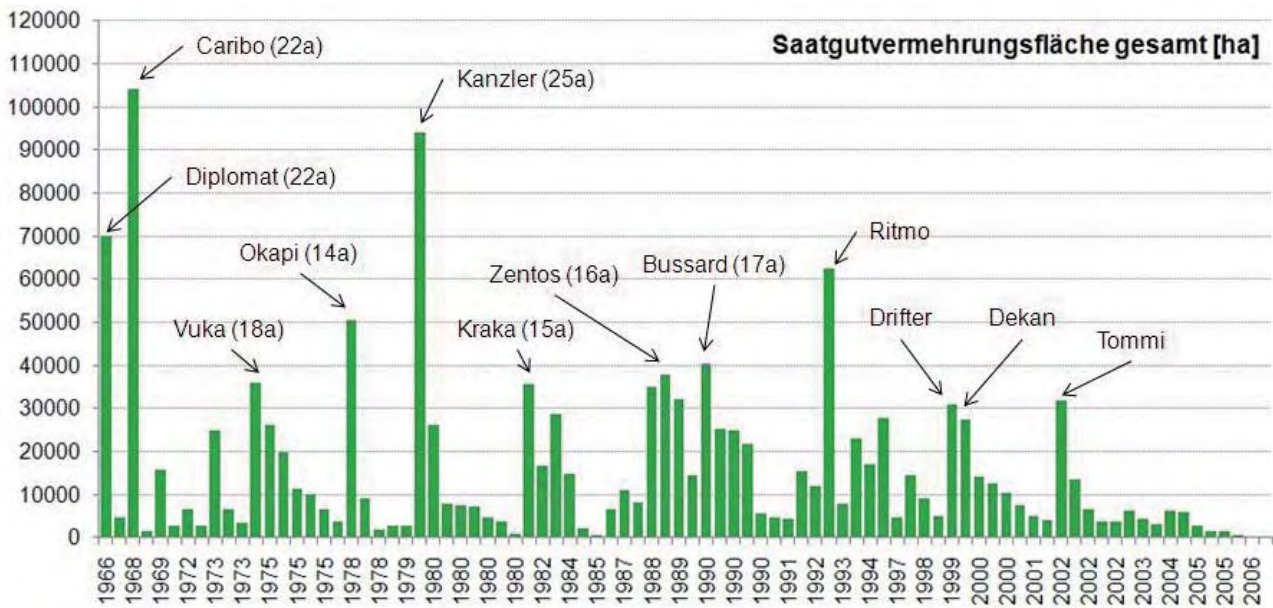


Abbildung 3: Vermehrungsflächen der Sorten des Untersuchungssortiments. In Klammern angegeben ist der Zeitraum, über den die Sorte vermarktet wurde.

Figure 3: Seed production areas of the cultivar set under investigation and their years on the market (given in brackets)

Das Sortiment wird zurzeit über einen Zeitraum von 3 Jahren (Erntejahre 2009 bis 2011) an fünf Orten in Deutschland in Leistungsprüfungen angebaut. An drei der fünf Standorte (Gießen, Rauschholzhausen, Groß Gerau) wurden die Versuche in den Erntejahren 2009 und 2010 in drei Wiederholungen angelegt, wobei je eine Wiederholung bei leicht reduzierter Düngung unbehandelt blieb und zwei Wiederholungen ortsüblich gedüngt und mit Fungizid behandelt wurden. An den zwei übrigen Standorten (Seligstadt und Nienstädt in 2009 bzw. Moosburg in 2010) wurden zwei Wiederholungen angebaut und ortsüblich gedüngt und behandelt.

Die Anlage der Versuche erfolgte in Form von Alpha-Gittern mit 10er Teilblöcken. Zur Abschätzung der Versuchsfehler der einzelnen Versuche wurden zunächst die Umwelten getrennt gemäß des Versuchsdesigns ausgewertet.

Anschließend wurden für alle Sorten die geschätzten Randmittel getrennt nach Behandlungsstufe mit Hilfe eines gemischten Modells über alle Umwelten berechnet. Der Zuchtfortschritt wurde als der Regressionskoeffizient der Regression der Sortenerträge auf dem Zulassungsjahr geschätzt.

## Ergebnisse und Diskussion

### Ertragsermittlung in den Feldversuchen

In der behandelten Stufe wurden in den einzelnen Umwelten im Versuchsmittel zwischen 67 und 98

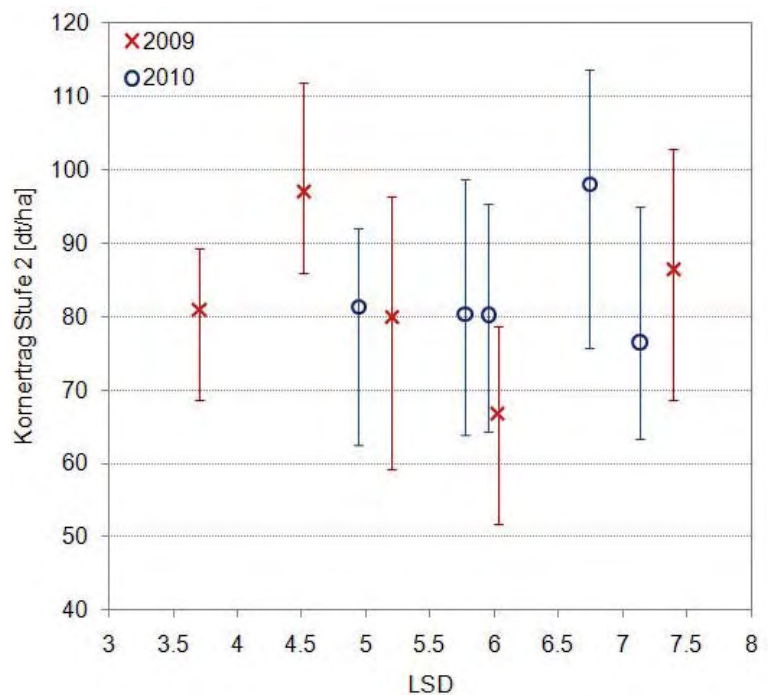


Abbildung 4: Mittlere Kornträge und LSDs der Versuche für die ortsüblich behandelte Variante (Fehlerbalken entsprechen der Variationsbreite)

Figure 4: Grain yields and LSDs for the fully treated variant of the field trials (error bars correspond to range)

dt $\cdot$ ha $^{-1}$  geerntet (Abbildung 4). Der Sorteneffekt ist in allen Umwelten signifikant. Die LSDs (least significant differences) liegen zwischen 3,7 und 7,4 dt $\cdot$ ha $^{-1}$ . Die Sortenerträge in den einzelnen Umwelten sind mit den aus der einstufigen Analyse geschätzten Randmitteln zwischen 34,1 und 77,1% korreliert. In der Behandlungsstufe 1 wurden in den einzelnen Umwelten zwischen 53,2 und 87,7 dt $\cdot$ ha $^{-1}$  geerntet. Die Korrelationen

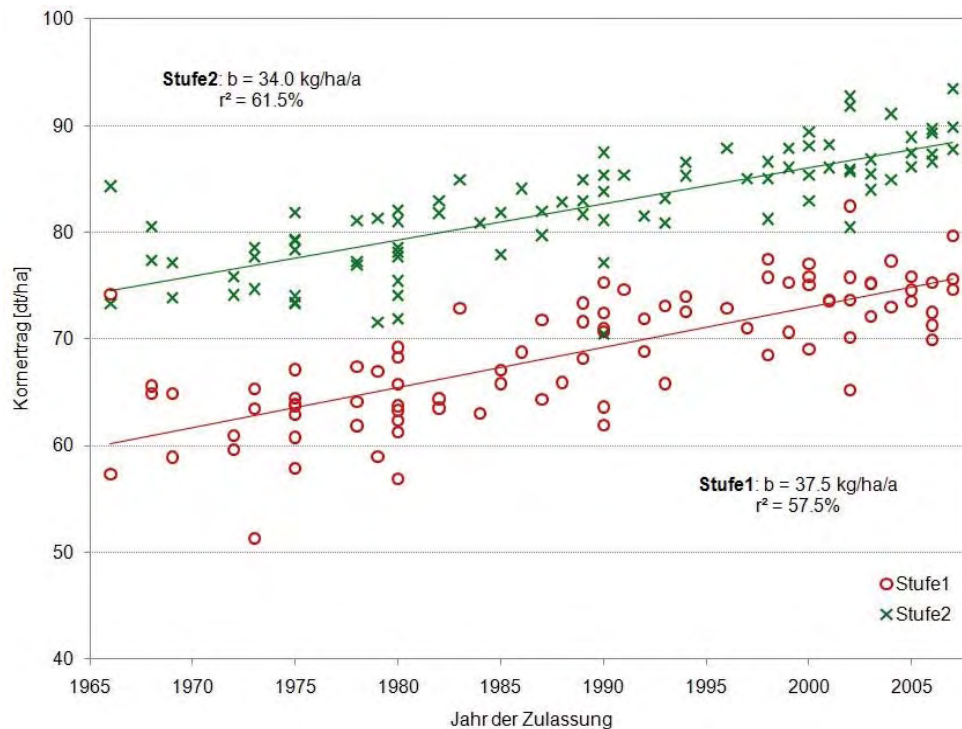


Abbildung 5: Mittlere Kornträge der Sorten in Relation zum Jahr ihrer Zulassung. Der Regressionskoeffizient (b) entspricht der mittleren jährlichen Ertragszunahme aufgrund verbesserter Sortenleistung

Figure 5: Grain yield of varieties in relation to their year of release. The regression coefficient (b) corresponds to the average annual increase in yield due to genetic improvement

zwischen den Sortenleistungen in den Einzelumwelten und den geschätzten Randmitteln aus der Verrechnung über alle Umwelten liegen in dieser unwiederholt angebauten Behandlungsstufe zwischen 34,0 und 75,3%.

### Schätzung des Zuchtfortschritts

Der im Mittel in den vergangenen 40 Jahren in Deutschland allein aufgrund verbesserter Sortenleistung erreichte Ertragsfortschritt schätzt sich aus der Regression der Sortenmittel über die Jahre ihrer Zulassung mit 34,0 kg pro Hektar und Jahr in der behandelten und 37,5 kg pro Hektar und Jahr in der unbehandelten Variante. Die Erträge der vor 40 Jahren

zugelassenen Sorten liegen im Mittel in der unbehandelten Variante 15 dt ha<sup>-1</sup> (entsprechend 25%) unter den Erträgen der aktuellen Sorten. In der behandelten Variante wurden bei den alten Sorten im Mittel 14 dt ha<sup>-1</sup> (entsprechend 19%) weniger geerntet als bei den aktuellen.

Der aus unseren Versuchen für den Zeitraum 1966 bis 2007 geschätzte Zuchtfortschritt liegt damit mehr als doppelt so hoch wie der Ertragsfortschritt, den KARPENSTEIN-MACHAN und SCHEFFER (1989) für den Zeitraum zwischen 1921 und 1978 aus Exaktversuchen mit 10 Sorten in zwei Behandlungsstufen schätzten (15,8 bzw. 12,8 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Im Gegensatz zu den Praxiserträgen ist die allein aufgrund

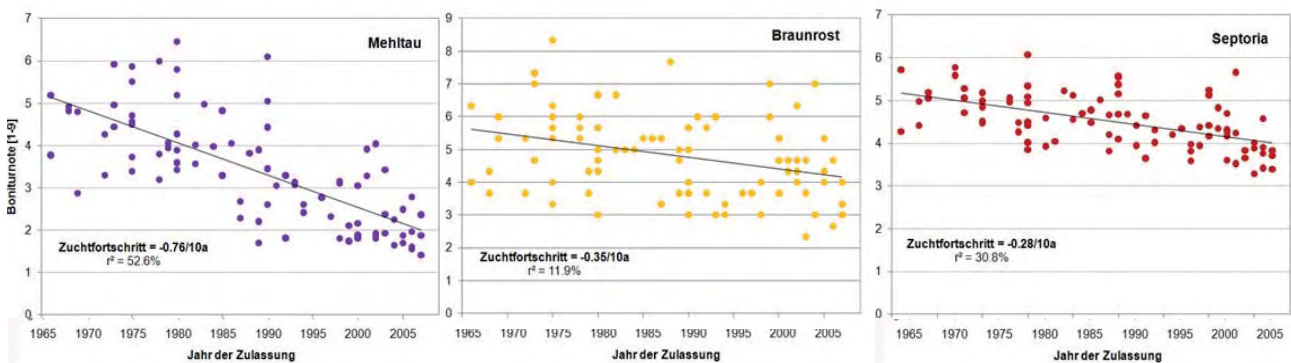


Abbildung 6: Anfälligkeit der Winterweizensorten gegenüber Mehltau, Blattseptoria und Braunrost in Relation zum Jahr ihrer Zulassung

Figure 6: Susceptibility to powdery mildew, Septoria leaf blotch and leaf rust (from top to bottom) of winter wheat varieties in relation to their year of release

des Zuchtfortschritts erzielte Ertragszunahme auch in den letzten Jahren ungebrochen (vgl. *Abbildung 1* und *Abbildung 5*).

Neben dem Ertrag ist auch die Krankheitsresistenz der aktuellen Sorten gegenüber denen früherer Zulassungszeiträume deutlich verbessert. Die Anfälligkeit gegenüber Mehltau hat im Mittel alle 10 Zulassungsjahre um 0,76 Boniturnoten abgenommen (*Abbildung 6*). Während einige der älteren Sorten mit Noten über 5 bonitert wurden, wurde die Anfälligkeit der aktuellen Sorten im Mittel mit zwei eingestuft. Auch für Braunrost und Blattseptoria nimmt die Anfälligkeit der Sorten mit jüngerem Zulassungsjahr deutlich ab. Gleichzeitig zeigt die geringe Differenz im Ertragsfortschritt zwischen beiden Behandlungsstufen, dass die erfolgreiche Resistenzzüchtung der vergangenen Jahrzehnte nicht zu Ertragseinbußen geführt hat.

### Schlussfolgerung

Insgesamt ergeben sich aus den Versuchsergebnissen keine Hinweis darauf, dass die Stagnation der Winterweizen-

Erträge in der landwirtschaftlichen Praxis auf das Erreichen eines genetisch bedingten Limits zurückzuführen wäre. Vielmehr scheint die züchterische Verbesserung der Sorten hinsichtlich ihres Ertrags ungebrochen.

### Danksagung

Für die gewissenhafte Durchführung von Feldversuchen danken wir der KWS Lochow GmbH, der Nordsaat Saatzuchtgesellschaft mbH, der Dieckmann GmbH & Co. KG und der SAATEN-UNION Versuchsstation Moosburg.

### Literatur

- KARPENSTEIN-MACHAN M, SCHEFFER MK, 1989: Der Werdegang unserer Weizensorten - dargestellt anhand der Erträge und Ertragsaufbaus von Sorten ab 1921 bis zu den heutigen modernen Sorten. *Angew. Bot.* 63, 417-427.
- TRÖMEL S, SCHÖNWIESE CD, 2008: Robust trend estimation of observed German precipitation. *Theor. Appl. Climatol.* 93, 107-115.



## Backqualität und Ertrag im deutschen Weizensortiment. I. Historische Entwicklung

### Bread-making quality and grain yield in German winter wheat. I. History

Lorenz Hartl<sup>1\*</sup>, Volker Mohler<sup>1</sup> und Günter Henkelmann<sup>1</sup>

#### Abstract

Winter wheat cultivars released since 1961 were tested in a common trial at seven environments over two years. The produced grain was analysed for milling and baking quality. Over this period a clear increase of yield, protein yield, sedimentation volume and loaf volume could be corroborated. Protein content was increased only in magnitudes obligatory for reaching the criteria for high baking quality wheat. For widely used cultivars an increase of one fifth for grain yield together with an

increase of loaf volume of about 50 ml could be attested. Additionally, during this period improvement of lodging and disease resistance was observed. In contrast to 1950s and 1960s a wide range of cultivars with superb baking quality is nowadays available to farmers and the supply chain.

#### Key words

Bread-making quality, breeding progress, genetic improvement, grain protein content, grain yield, *Triticum aestivum*

#### Einleitung

Die beginnende Kombinationszüchtung Anfang des 20. Jahrhunderts nutzte die Vielfalt der vorhandenen Typen im einheimischen aber auch ausländischen Material. Heine VII war eine erfolgreiche, zum Zulassungszeitpunkt sehr kurze Futterweizensorte. Parallel dazu waren v.a. im Sü-

den Deutschlands Sorten mit mittlerer Backqualität wie Tassilo, Taca und Schernauer im Anbau. Aber auch Werla aus norddeutscher Herkunft besaß eine hohe Verbreitung. Hervorzuheben sind die späten 1960er Jahre, in denen Jubilar, Diplomat und Caribo fast die gesamte Weizenvermehrungsfläche besaßen (*Abbildung 1*). In den folgenden Jahrzehnten nahm die Sortenvielfalt stetig zu. Nur mehr

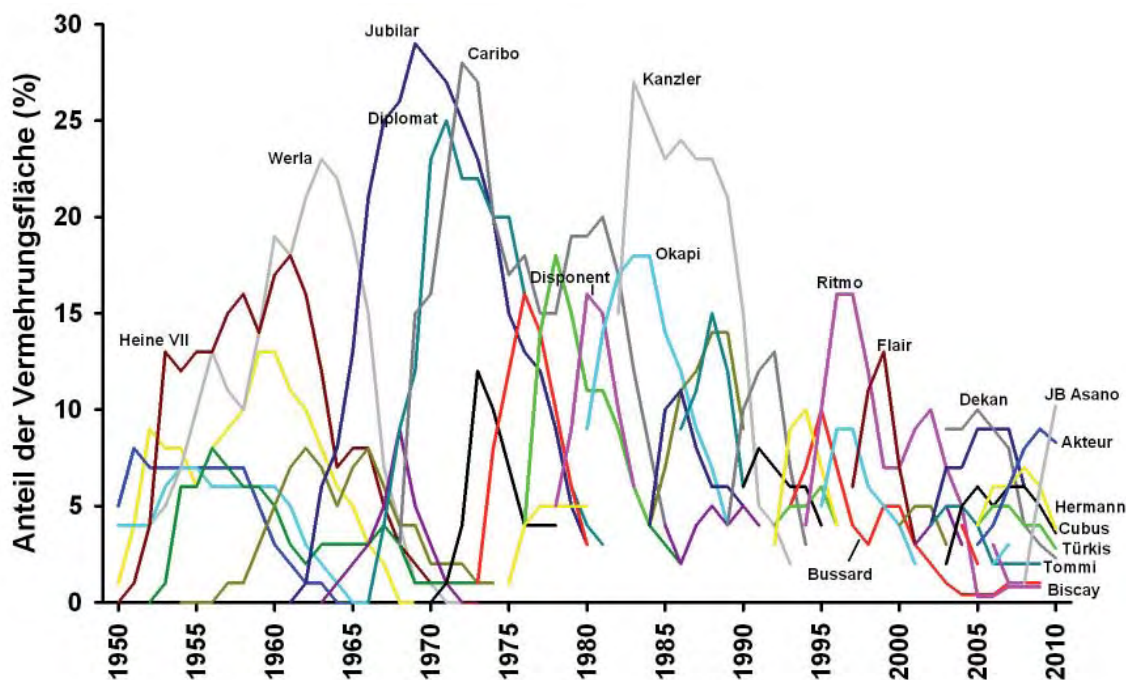


Abbildung 1: Vermehrungsanteile wichtiger Sorten in Deutschland (Auswahl)

Figure 1: Proportion of multiplication area of important German winter wheat cultivars

<sup>1</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 8, D-85354 FREISING

\* Ansprechpartner: Lorenz HARTL, lorenz.hartl@lfl.bayern.de



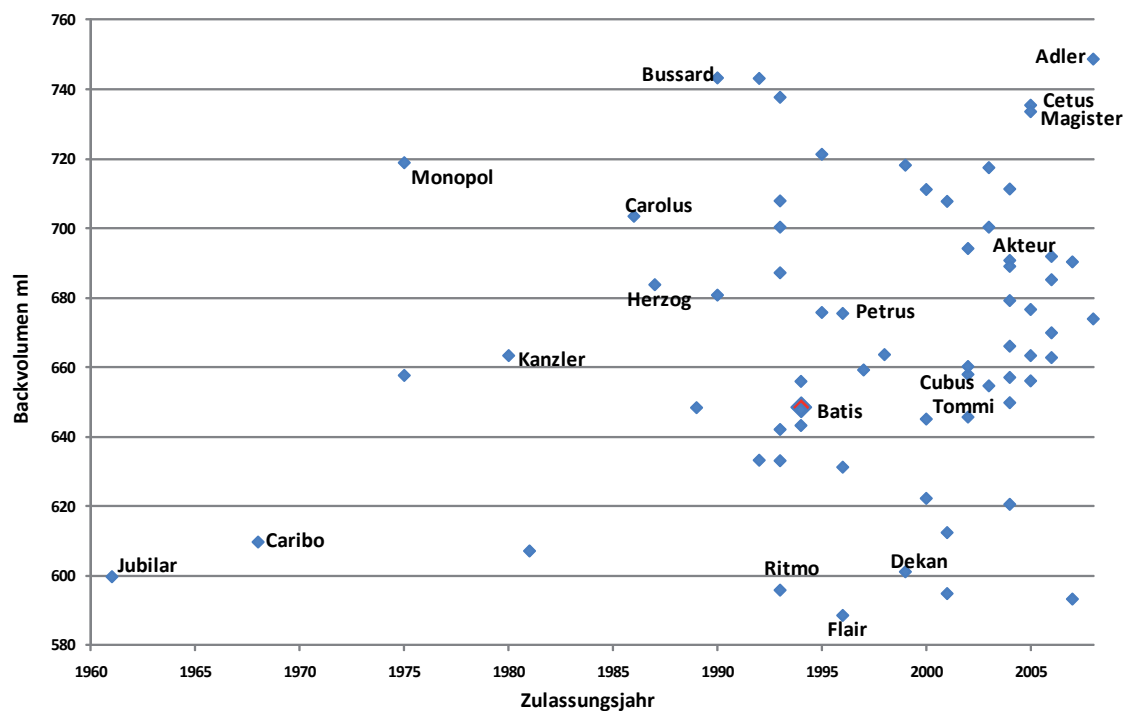


Abbildung 2: Durchschnittliches Backvolumen der geprüften Sorten in Abhängigkeit vom Zulassungsjahr

Figure 2: Mean loaf volume of analysed cultivars according to the year of release

wenige Sorten erreichten größere Anteile an der deutschen Vermehrungsfläche. Disponent, Kanzler, Ritmo, Flair, Tommi, Dekan und Akteur waren einige der bedeutendsten Sorten. Aufgrund des regional und bezüglich der Qualitäten wesentlich differenzierteren Marktes erreicht heute keine Sorte mehr Anteile an der Anbaufläche wie in den 1960er Jahren.

Die Vielfalt und Anzahl der Neuzulassungen hat sich stark erhöht und damit auch die Auswahlmöglichkeiten für die Landwirtschaft. Ausgehend von Versuchsdaten eines Sortimentes von fast hundert Sorten, das in den Vegetationsperioden 2007/2008 und 2008/2009 geprüft wurde, kann die Entwicklung der Winterweizensorten bezüglich des Ertrages und der Backqualität beschrieben werden.

## Material und Methoden

Der Anbau der 94 Sorten erfolgte an fünf Standorten als Gitteranlage mit 2 Wiederholungen. Die Bestandesführung (Düngung und Pflanzenschutz) war ortsüblich und an eine Backweizenproduktion angelehnt. Fungizide und Wachstumsregler wurden eingesetzt. Die statistische Verrechnung und Ermittlung der adjustierten Mittelwerte für den Kornertrag wurde mit Plabstat (UTZ 2001) durchgeführt. Mischproben der jeweiligen Wiederholungen von sieben Umwelten (Aspachhof 2008, Mittelhof 2008, Morgenrot 2008 und 2009, Söllingen 2008 und 2009, Sülbeck 2009) wurden im Hinblick auf ihre Vermahlungseigenschaften und Backqualität analysiert. Die Qualitätsparameter wurden nach Methoden der International Association for Cereal Science and Technology (ICC) durchgeführt: ICC159 (Rohproteingehalt durch Nahinfrarot-Spektroskopie), ICC116 (Sedimentationsvolumen). Der Backversuch

(Rapid-Mix-Test) wurde entsprechend dem Standardprotokoll der Arbeitsgemeinschaft für Getreideforschung e.V. durchgeführt.

## Ergebnisse

Der Zulassungszeitraum für die geprüften Sorten reichte von Jubilar (1961) bis zu Adler und Pamier (2008). In diesem Zeitraum vermehrte sich die Anzahl der Weizensorten mit guter bis sehr guter Backqualität, die Akzeptanz im Markt fanden, enorm. Die Korrelationen zwischen Qualitätsparametern und genetischen Komponenten sind in MOHLER et al. (2011) beschrieben.

Abgesehen von den Futterweizen, die von der Auswertung ausgeschlossen wurden, übertreffen die meisten Sorten das Backvolumen der ältesten geprüften Sorten Jubilar und Caribo sehr deutlich (Abbildung 2).

Batis ist als Vergleichsorte für die Einstufung der Backqualität ebenfalls im Sortiment enthalten, und weist eine mittlere bis hohe Volumenausbeute auf. Sorten mit einer Volumenausbeute unter 97,9% relativ zu Batis werden nicht mehr als Qualitätsweizen klassifiziert. Obwohl vor 1998 Herzog, Caribo und ältere Sorten als Vergleichssorten herangezogen wurden, hatte dies - wie beabsichtigt - kaum Auswirkung auf die Eingruppierung der Sorten. So befinden sich die jüngeren B-Weizen Ritmo, Flair und Dekan auf einem Niveau ähnlich dem der älteren B-Weizen Jubilar und Caribo.

In der Weizenzüchtung wurde aufgrund der großen Probenmenge und der hohen Kosten für den kompletten Backversuch besonders in jungem Zuchtmaterial sehr intensiv mittels des Sedimentationswertes selektiert, der eine hohe

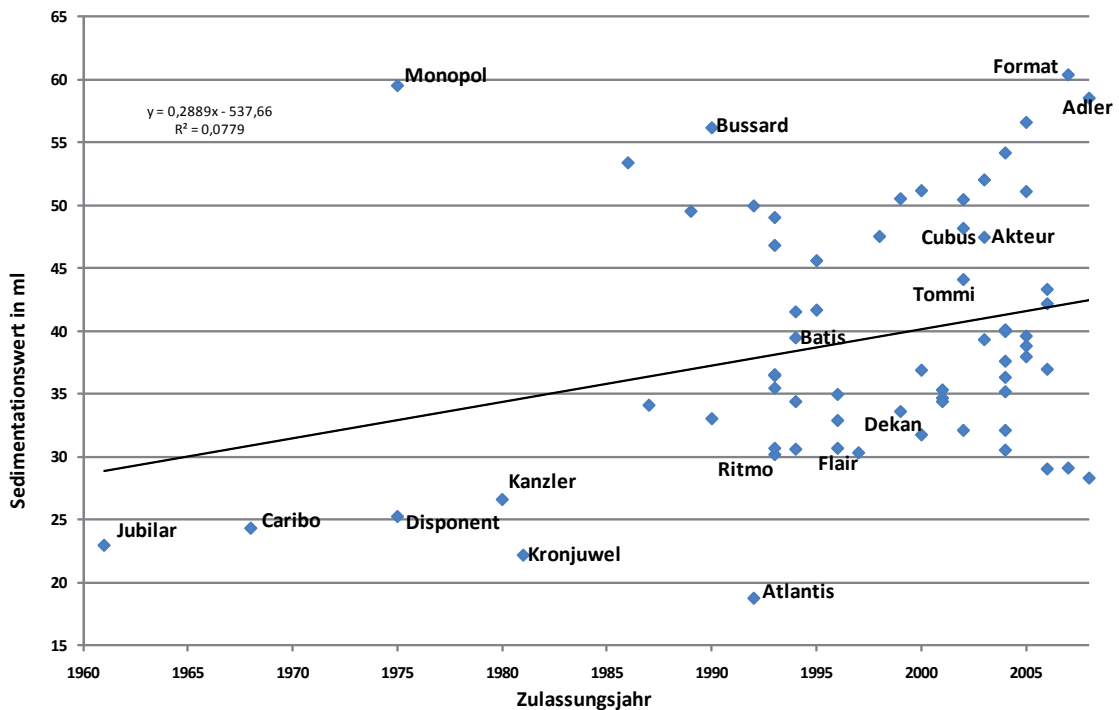


Abbildung 3: Durchschnittlicher Sedimentationswert der geprüften Sorten in Abhängigkeit vom Zulassungsjahr

Figure 3: Mean sedimentation volume of analysed cultivars according to the year of release

Korrelation zum erzielbaren Backvolumen aufweist. Diese hohe Selektionsintensität spiegelt sich dann auch bei den zugelassenen Sorten wieder. Bezogen auf sehr bedeutende ältere Sorten wie Jubilar und Caribo und die jüngeren Cubus, Tommi und Akteur hat sich der Sedimentationswert in den letzten vierzig Jahren fast verdoppelt (Abbildung

3). Zu einem sicherlich nicht unerheblichen Maß hat diese intensive Selektion zur Verbesserung der Volumenausbeute beigetragen. Gleichzeitig führte dies im Lauf der Zeit zum vermehrten Auftreten von Korrelationsbrechern, d.h. Linien und Sorten, die trotz eines hohen Sedimentationswertes nur mittlere Backvolumen erzielten.

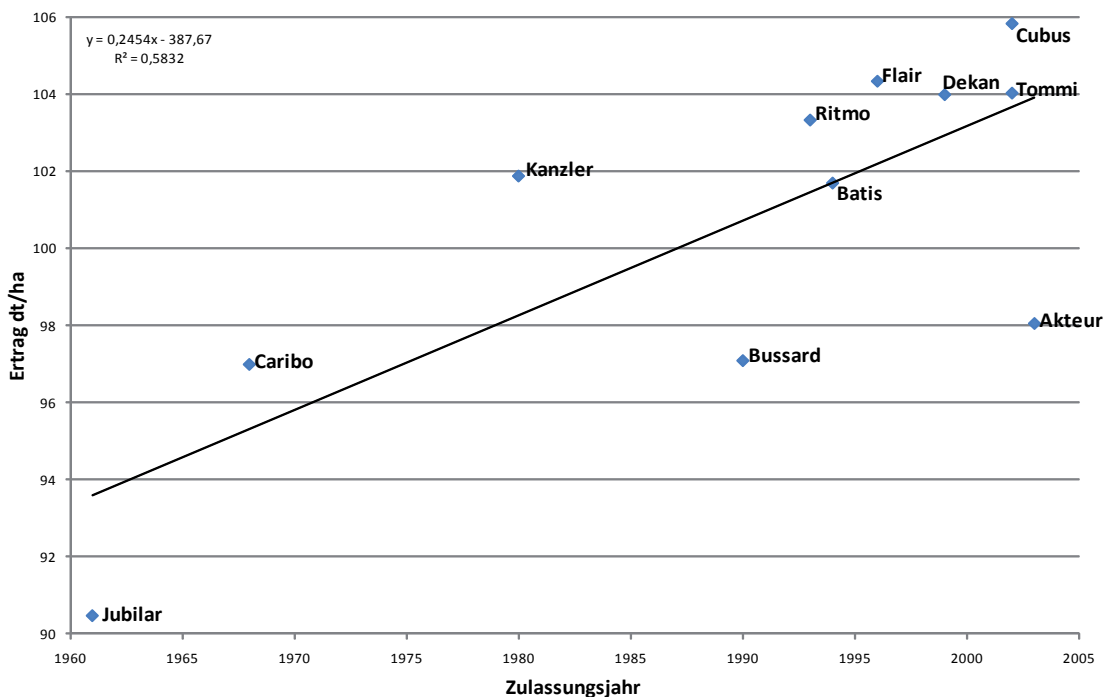


Abbildung 4: Durchschnittlicher Kornertrag ausgewählter Sorten in Abhängigkeit vom Zulassungsjahr

Figure 4: Mean grain yield of selected winter wheat cultivars according to their year of release

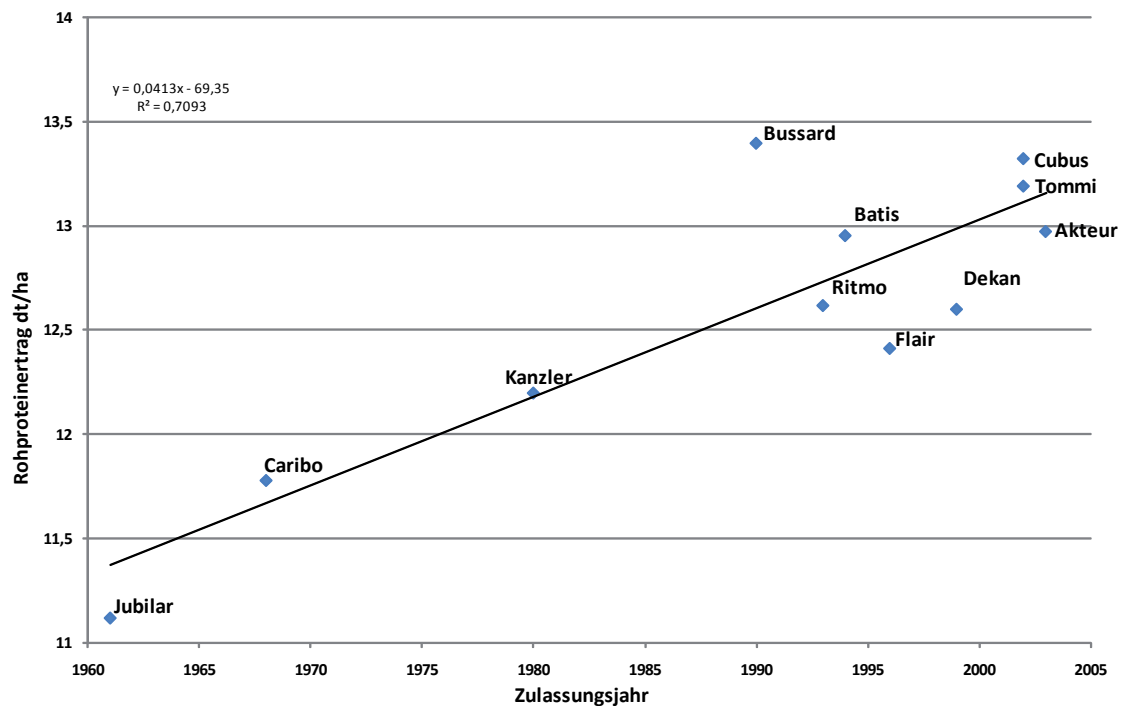


Abbildung 5: Durchschnittlicher Rohproteintrag ausgewählter Sorten in Abhängigkeit vom Zulassungsjahr

Figure 5: Mean protein yield of analysed winter wheat cultivars according to their year of release

Der Rohproteingehalt hat sich bezogen auf die jeweiligen Qualitätsgruppen kaum verändert. Da grundsätzlich eine negative Korrelation zwischen Kornertrag und Rohproteingehalt vorhanden ist, bedingt der geforderte Zuchtfortschritt beim Kornertrag und das feste Schema der Qualitätsgruppen in Bezug auf den Rohproteingehalt bei der Sortenzulassung eine Orientierung an den jeweilig festgesetzten unteren Grenzen der Qualitätsgruppen.

Um den Fortschritt im Kornertrag besser abschätzen zu können, wurden nur Sorten ausgewählt, die am Markt eine hohe Bedeutung hatten. Von Jubilar bis zu Tommi und Cubus konnte so unter den für alle Sorten gleichen Bedingungen ein Ertragsfortschritt von relativ 15% in vierzig Jahren verzeichnet werden (Abbildung 4). Wird der Rohproteintrag - als Kombination von Kornertrag und Qualität - betrachtet, kann ein Fortschritt von 19% in diesem Zeitraum ermittelt werden (Abbildung 5). Somit lag der jährliche Zuchtfortschritt für Kornertrag und Rohproteintrag bei 0,4% bzw. 0,5%. Die Entwicklung des auf den Rohproteingehalt bezogenen spezifischen Backvolumens verläuft über die Zulassungsjahrgänge hinweg positiv nach oben. Eine wachsende Zahl von Linien und Sorten erreicht bei mittleren Proteingehalten hohe bis sehr hohe Backvolumen bei ansprechenden Kornerträgen. Die Verbesserung der Proteinqualität in Ergänzung zur Proteinquantität muss dabei weiter vorangetrieben werden, um weiteren Zuchtfortschritt zu generieren. Neben der Ertrags- und Qualitätssteigerung sollte aber auch die verbesserte Standfestigkeit und Krankheitsresistenz gewürdigt werden, die in diesem Zeitraum erreicht wurde.

## Danksagung

Wir danken den folgenden Züchterhäusern für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung des Projekts: SW Seed Hadmersleben, Fr. Strube Saatzeit, Saatzeit Streng, Saatzeit Josef Breun und Saatzeit Dieckmann. Weiterhin gilt unser Dank allen beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Arbeitsgruppen IPZ 2c (Züchtungsforschung Weizen und Hafer) und der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft.

Für die Förderung des Projekts bedanken wir uns bei der Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e.V. (GPZ, Projektnummer, G 116/07a) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW, Projektnummer 16IN0577).

## Literatur

- MOHLER V, SCHWEIZER G, HARTL L, 2011: Backqualität und Ertrag im deutschen Weizensortiment. II. Marker-Merkmalssoziation. Bericht über die 61. Tagung 2010 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 29-31. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning.
- UTZ HF, 2001: Plabstat, ein Computerprogramm zur statistischen Analyse pflanzenzüchterischer Experimente. Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik der Universität Hohenheim, Deutschland.

## Backqualität und Ertrag im deutschen Weizensortiment II. Marker-Merkmalsassoziation

### Bread-making quality and grain yield in German winter wheat II. Marker-trait associations

Volker Mohler<sup>1\*</sup>, Günther Schweizer<sup>1</sup> und Lorenz Hartl<sup>1</sup>

#### Abstract

Grain yield and bread-making quality are priority traits for each commercial wheat breeding programme. Association mapping of grain yield, grain protein content, sedimentation volume, gluten index and loaf volume was carried out in 94 elite soft winter wheat lines. Population structure was inferred with the software package STRUCTURE using 37 microsatellite markers. Descriptions of that relatedness of individuals were incorporated into the statistical model using TASSEL software package. Genotyping the set of diverse wheat samples with Diversity Arrays Technology and microsatellite markers provided 502 unique segregation signatures showing allele frequencies >5%. Grain yield and grain protein content were associated ( $P < 0.01$ ) with 19 and 18 marker loci, respectively. Of these marker-trait associations, 11 were common to both traits. Comparing trait differences between lines carrying alternative marker alleles at these 11 marker loci allowed the detection of significant marker effects. Except for *XwPt-1403-1B*, relative effects of marker alleles on grain yield and grain protein content were more or less similar, but opposite indicating a genetic basis for the inverse relationship between the traits. Consequently, only marker *XwPt-1403-1B* was associated with grain protein yield:

presence of the allele that was positively associated with grain yield resulted in a relative mean increase of grain protein yield by 4%. Since the glutenins are major determinants of bread-making quality, the underlying loci and the T1BL.1RS wheat-rye translocation were subjected to marker-trait association analysis. For *Glu-D3*, the closely linked marker *XwPt-7946-1D* was used to estimate trait associations. Except *Glu-A3*, all glutenin loci were associated with gluten index and sedimentation volume. The strongest association with gluten index was found for *Glu-D1*, whereas allelic variation at *Glu-B3* was most significant for sedimentation volume. Loaf volume was equally associated with glutenin loci from B and D genomes, no association was observed with *Glu-A1* and *Glu-A3*. The T1BL.1RS wheat-rye translocation showed similar marker-trait associations as *Glu-B3*, but with opposite effects. For grain yield and grain protein content, an association was only found with *Glu-D3* (*XwPt-7946-1D*).

#### Key words

Association mapping, bread-making quality, grain protein content, grain yield, population structure, *Triticum aestivum*

#### Einleitung

Kornertrag und Backqualität sind vorrangige Zuchtziele in der Weizenzüchtung. Diese beiden Merkmale gleichermaßen zu realisieren, fordert die Pflanzzüchter immer wieder aufs Neue heraus. Ein wesentlicher Grund hierfür besteht in der inversen Beziehung zwischen dem Kornertrag und dem Rohproteingehalt; letzterer ist auch maßgebend für die Abschätzung der Backqualität bei der Vermarktung von Weizen. Die Identifizierung von QTL (*quantitative trait loci*) für Kornertrag, Rohproteingehalt und andere Backqualitätsparameter gestattet Einblicke in die genetische Basis der inversen Beziehung zwischen den Eigenschaften. Für eine solche Fragestellung sind Assoziationsstudien mit molekularen Markern durch die Nutzung der Alleldiversität eines Sortiments verschiedener Weizensorten bezüglich der genannten Merkmale sehr gut geeignet.

#### Material und Methoden

Der Anbau von 94 Sorten erfolgte an fünf Züchterstandorten in jeweils 2 Wiederholungen. Mischproben der jeweiligen Wiederholungen von sieben Umwelten (Aspachhof 2008, Mittelhof 2008, Morgenrot 2008 und 2009, Söllingen 2008 und 2009, Sülbeck 2009) wurden bezüglich der in *Tabelle 1* aufgeführten Merkmale analysiert. Qualitätsparameter wurden nach folgenden Methoden der International Association for Cereal Science and Technology (ICC) durchgeführt: ICC159 (Rohproteingehalt durch Nahinfrarot-Spektroskopie), ICC116 (Sedimentationsvolumen) und ICC155 (Glutenindex). Der Backversuch (Rapid-Mix-Test) wurde entsprechend dem Standardprotokoll der Arbeitsgemeinschaft für Getreideforschung e.V. durchgeführt. Die Genotypisierung des Weizensortiments mit Mikrosatelliten- und DArT- (Diversity Arrays Technology; AKBARI

<sup>1</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 8, D-85354 FREISING

\* Ansprechpartner: Volker Mohler, volker.mohler@lfl.bayern.de

**Tabelle 1: Heritabilität ( $h^2$ ) der Merkmale nach FEHR (1987)**  
**Table 1: Trait broad-sense heritabilities ( $h^2$ ) according to FEHR (1987)**

Merkmal	$h^2$	Konfidenzintervall 95%
Kornertrag (YLD)	0,86	0,80 - 0,89
Rohproteingehalt (RPG)	0,94	0,92 - 0,96
Sedimentationsvolumen (SEDI)	0,97	0,95 - 0,98
Glutenindex (GLI)	0,93	0,90 - 0,95
Backvolumen (VOLRMT)	0,96	0,94 - 0,97

et al. 2006) Markern lieferte 502 einzigartige Signaturen mit Allelfrequenzen >5%. Durch die Verwendung von 37 Mikrosatelliten-Markern und dem Computerprogramm STRUCTURE (PRITCHARD et al. 2000) ließ sich das Sortiment in zwei Subpopulationen (Sorten ohne und mit englischem Genmaterial) unterteilen. Die Identifizierung der mit den Merkmalen assoziierten Markerloci wurde mit dem Computerprogramm TASSEL (BRADBURY et al. 2007) unter Berücksichtigung der Populationsstruktur durchgeführt.

## Ergebnisse

Für alle Merkmale konnten sehr hohe Heritabilitäten gefunden werden (Tabelle 1). Folglich war die Korrelation der Linienmittel, die in den unabhängigen Feldversuchen geschätzt wurden, sehr hoch.

Die Korrelationskoeffizienten zwischen den Merkmalen sind in Tabelle 2 dargestellt. Während Rohproteingehalt, Sedimentationsvolumen und Backvolumen positiv miteinander korreliert waren, zeigte der Kornertrag eine negative Korrelation mit diesen Merkmalen. Der Glutenindex, der ein Maß für die Proteinqualität darstellt, war positiv mit dem Sedimentations- und Backvolumen korreliert. Dieser Parameter zeigte aber lediglich eine schwache Korrelation mit dem Rohproteingehalt, und keine mit dem Kornertrag.

In der Marker-Merkmalassoziationsanalyse konnten für die Merkmale Kornertrag und Rohproteingehalt 19 bzw. 18 Markerloci identifiziert werden ( $P < 0,01$ ), wobei 11 Markerloci mit beiden Merkmalen assoziiert waren. Für jeden dieser 11 Loci wurden Markerallelklassen gebildet und bezüglich ihrer Merkmalsausprägung miteinander verglichen. Tabelle 3 zeigt die Mittelwerte der Allelklassen für Ertrag

**Tabelle 2: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen den Merkmalen**

**Table 2: Pearson correlation coefficients among traits**

	YLD	RPG	GLI	SEDI
RPG <sup>1</sup>	-0,76 ***			
GLI	-0,16 n.s.	0,28 **		
SEDI	-0,60 ***	0,85 ***	0,62 ***	
VOLRMT	-0,56 ***	0,74 ***	0,60 ***	0,81 ***

<sup>1</sup> Abkürzungen siehe Tabelle 1

\*,  $p < 0,05$ ; \*\*,  $p < 0,01$ ; \*\*\*,  $p < 0,001$ ; n.s., nicht signifikant

und Rohproteingehalt sowie den absoluten und relativen Effekt der Markerloci, immer bezogen auf das Markerallel, das den Ertrag erhöht. So zeigten z.B. Weizenlinien mit dem Allel 1 am Markerlocus *XwPt-5313-3D* im Mittel höhere Kornerträge bzw. niedrigere Rohproteingehalte als solche mit dem Allel 2. Dieser inverse Effekt der Markerallele auf Kornertrag und Rohproteingehalt konnte für alle 11 Markerloci beobachtet werden. Bei Betrachtung der relativen Effekte zeigte sich zudem, dass sich diese im Großen und Ganzen in der gleichen Größenordnung bewegten. Eine Ausnahme hiervon stellte Markerlocus *XwPt-1403-1B* dar. In diesem Falle war der positive Effekt des ertragserhöhenden Allels mehr als doppelt so hoch wie sein negativer Effekt auf den Rohproteingehalt. Dies konnte in der Assoziationskartierung für das Merkmal Rohproteinertrag bestätigt werden. Die Anwesenheit des den Kornertrag begünstigenden Markerallels führte gleichzeitig zu einer im Mittel relativen Erhöhung des Rohproteinertrags um 4% (Daten nicht gezeigt).

Die Glutenine sind eine für die Backqualität wichtige Komponente des Kornproteins, weshalb auch eine Assoziationsanalyse der fünf Merkmale mit den hoch- und niedermolekularen Gluteninloci durchgeführt wurde. Da für *Glu-D3* keine funktionalen Marker zur Verfügung standen, wurden Assoziationen indirekt über den gekoppelten DAR-T-Marker *XwPt-7946-1D* abgeschätzt. Bis auf *Glu-A3* waren alle Glutenin-Loci mit den Eigenschaften Glutenindex und Sedimentationsvolumen assoziiert ( $P < 0,01$ , Tabelle 4). Die stärkste Assoziation mit dem Glutenindex wurde für *Glu-D1* beobachtet, das Sedimentationsvolumen war am stärksten mit *Glu-B1* assoziiert. Das Backvolumen war gleichermaßen mit den hoch- und niedermolekularen Glutenin-Loci des B- und D-Genoms assoziiert, während mit *Glu-A1*

**Tabelle 3: Effekte der ertragserhöhenden Markerallele auf Kornertrag und Rohproteingehalt**

**Table 3: Effects of yield-increasing marker alleles on grain yield and grain protein content**

Markerlocus	Ertrag dt/ha				Rohproteingehalt %			
	Allel 1 <sup>1</sup>	Allel 2	Abs.	Rel.	Allel 1	Allel 2	Abs.	Rel.
<i>XwPt-9592-1A</i>	99,6	103,9	4,3	4,3%	12,9	12,4	-0,5	-3,9%
<i>XwPt-1403-1B</i>	103,3	95,7	7,6	7,9%	12,6	13,1	-0,5	-3,8%
<i>XwPt-7946-1D</i>	100,3	103,3	3,0	3,0%	12,9	12,5	-0,4	-3,1%
<i>XwPt-7225-3B</i>	97,7	102,5	4,8	4,9%	13,3	12,6	-0,7	-5,3%
<i>XwPt-5313-3D</i>	103,2	97,0	6,2	6,4%	12,5	13,3	-0,8	-6,0%
<i>XwPt-0817-4A</i>	93,8	102,2	8,4	9,0%	13,5	12,6	-0,9	-6,7%
<i>XwPt-1046-4B</i>	104,7	101,1	3,6	3,6%	12,3	12,8	-0,5	-3,9%
<i>XwPt-7906-6A</i>	103,0	101,3	1,7	1,7%	12,5	12,8	-0,3	-2,3%
<i>XwPt-2175-6B</i>	100,3	102,8	2,5	2,5%	12,8	12,6	-0,2	-1,6%
<i>XwPt-4748-7A</i>	100,0	104,1	4,1	4,1%	12,9	12,4	-0,5	-3,9%
<i>XwPt-1066-7B</i>	102,6	97,9	4,7	4,8%	12,6	13,1	-0,5	-3,8%

<sup>1</sup> Mittelwerte der Genotypklassen, absoluter und relativer Effekt des ertragserhöhenden Markerallels; alle Mittelwerte waren signifikant unterschiedlich (Scheffé-Test,  $p < 0,05$ )

**Tabelle 4: Assoziation der Gluteninloci mit den Merkmalen (P<0,01)****Table 4: Association of glutenin loci with traits (P<0.01)**

Hochmolekulare Glutenine			Niedermolekulare Glutenine		
Locus	Merkmal	P <sub>Marker</sub>	Locus	Merkmal	P <sub>Marker</sub>
<i>Glu-A1</i>	YLD	n.s.	<i>Glu-A3</i>	YLD	n.s.
	RPG	n.s.		RPG	n.s.
	GLI	<0,01		GLI	n.s.
	SEDI	<0,01		SEDI	n.s.
	VOLRMT	n.s.		VOLRMT	n.s.
<i>Glu-B1</i>	YLD	n.s.	<i>Glu-B3</i>	YLD	n.s.
	RPG	n.s.		RPG	n.s.
	GLI	<0,001		GLI	<0,0001
	SEDI	<0,01		SEDI	<0,0001
	VOLRMT	<0,01		VOLRMT	<0,01
			T1BL.1RS	YLD	n.s.
				RPG	n.s.
				GLI	<0,0001
				SEDI	<0,0001
				VOLRMT	<0,01
<i>Glu-D1</i>	YLD	n.s.	<i>XwPt-7946-1D</i>	YLD	<0,01
	RPG	n.s.		RPG	<0,01
	GLI	<10 <sup>-8</sup>		GLI	<0,01
	SEDI	<0,001		SEDI	<0,001
	VOLRMT	<0,01		VOLRMT	<0,01

und *Glu-A3* keine Assoziation bestand. Die T1BL.1RS Weizen-Roggen-Translokation, die im Weizensortiment spaltete, zeigte die gleichen Merkmalsassoziationen wie *Glu-B3*, jedoch mit negativen Effekten auf die Merkmale (Daten nicht gezeigt). Für die Merkmale Kornertrag und Rohproteingehalt konnte nur eine Beziehung mit *Glu-D3* (*XwPt-7946-1D*) hergestellt werden.

## Zusammenfassung

Diese Studie lieferte einen klaren Hinweis für eine genetische Basis - d.h. Kopplung, höchstwahrscheinlich in der Repulsionsphase - der inversen Beziehung zwischen Kornertrag und Rohproteingehalt. Zum besseren Verständnis dieser Beziehung sind jedoch hochauflösende Kartierungsstrategien notwendig. Es konnten aber auch

Markerloci identifiziert werden, deren Effekte ausschließlich den Kornertrag oder den Rohproteingehalt betrafen. Desweiteren konnte gezeigt werden, dass Glutenine von grundlegender Bedeutung für die Backqualität sind, ohne aber wesentlich den Ertrag zu beeinflussen.

## Danksagung

Wir danken den folgenden Züchterhäusern für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung des Projekts: SW Seed Hadmersleben, Fr. Strube Saatzucht, Saatzucht Streng, Saatzucht Josef Breun, Saatzucht Dieckmann und KWS LOCHOW. Weiterhin gilt unser Dank allen beteiligten Mitarbeitern der Arbeitsgruppen IPZ 2c (Züchtungsforschung Weizen und Hafer), IPZ 1b (Genomanalysen) des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung sowie der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Letztlich möchten wir uns bei der Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e.V. (GPZ, Projektnummer, G116/07a) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi, Projektnummer 16IN0577) für die Förderung des Projekts bedanken.

## Literatur

- AKBARI M, WENZL P, CAIG V, CARLING J, XIA L, YANG S, USZYSKI G, MOHLER V, LEHMENSIEK A, KUCHEL H, HAYDEN MJ, HOWES N, SHARP P, VAUGHAN P, RATHMELL B, HUTTNER E, KILIAN A, 2006: Diversity arrays technology (DArT) for high-throughput profiling of the hexaploid wheat genome. *Theor. Appl. Genet.* 113, 1409-1420.
- BRADBURY PJ, ZHANG Z, KROON DE, CASSTEVENS RM, RAMDOSS Y, BUCKLER ES, 2007: TASSEL: software for association mapping of complex traits in diverse samples. *Bioinformatics* 23, 2633-2635.
- FEHR WR (1987) Heritability. In: Fehr WR (Ed.), *Principles of cultivar development: theory and technique*, 95-105. MacMillan, New York.
- PRITCHARD JK, STEPHENS M, DONNELLY P, 2000: Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155, 945-959.



## Züchtungspraxis - die Suche nach Korrelationsbrechern

## Breeding practice - the search for outliers of correlation

Franziska Löschenberger<sup>1\*</sup>

### Abstract

Correlation analysis can be useful in several ways for practical breeding: scatter plots of important traits like grain yield and protein content in wheat can serve for finding appropriate parental lines for crossing; lines that are situated at the border zones of correlation fields can be regarded as 'outliers', the reason for their position is worth to be further analyzed. Regression residuals can be utilized for that purpose. Regression residuals of national list scores are a simple means of identifying outstanding germplasm. In the Austrian Descriptive National Variety List, scores for yield and protein content are negatively correlated ( $R^2=0.42$ ), the correlation for yield and baking volume is weaker ( $R^2=0.23$ ). Baking volume and protein content have a pronounced positive relationship ( $R^2=0.62$ ). Varieties with the highest positive regression residual of protein content on baking value are often cultivated in organic farming in Austria. Protein yield per ha is one of the most important breeding goals in Austria. Apart from this criterion, regression residuals can be used in breeding trial series to find outstanding germplasm. In breeding experiments of Saatzucht Donau grain yield, protein content and protein yield were compared for closely located conventional and organic sites in the Pannonian growing region. In 10 out of 14 cases, grain yield and also protein yield per ha was higher on the organic than on the conventional field, but protein content was higher on the conventional site in 9 out of 14 cases. Quality discussion should not be restricted to the importance of protein content and baking volume. In the Austrian National List, wheat quality is well described by scores for 19 quality parameters.

### Keywords

Breeding, correlation, organic farming, quality, *Triticum aestivum*, wheat, yield

### Einleitung

Prof. Hermann Hänsel ist vor fünf Jahren, am 28. Dezember 2005, 87jährig von uns gegangen. Die Züchtung in Probstdorf stand bis dahin mit ihm in Kontakt, seine Ideen fließen immer noch ein, werden weitergeführt und dienen hier als Ausgangspunkt meiner Darstellungen. Korrelationen und Regressionen wurden gemeinsam oftmals thematisiert, sie sind sehr einfach zu berechnen und vielfältig einsetzbar. Hänsel hat gerne Berechnungen anhand von Wertprüfungs-

daten angestellt (HÄNSEL und FLECK 1990; HÄNSEL und FISCHER 1992) oder die Ausprägungsstufen (APS) aus der Österreichischen Beschreibenden Sortenliste analysiert.

### Methodik

#### *Streudiagramm von Ausprägungsstufen (APS) der Beschreibenden Sortenliste für die Kreuzungsplanung*

Kreuzungsplanung ist der Wichtigkeit nach eine Hauptarbeit in der Züchtung. Eine wesentliche Grundlage dafür bilden Einstufungen aus der Beschreibenden Sortenliste. Die APS von zwei Elternsorten können als XY-Diagramm aufgetragen werden. Es wird optisch ersichtlich, auf welche Merkmale das Augenmerk bei der Selektion gerichtet werden muss. Die an den Korrelationsrändern gelegenen Merkmale verdienen besondere Beachtung, wie in *Abbildung 1* anhand der Kreuzung Altos x Astaro ersichtlich ist. Betreffend Backvolumen, Sedimentationswert und Energie im Extensogramm sind beide Sorten mit Note 2 ident eingestuft, auch Reife und Ertrag sind mit Note 5 jeweils ident. Altos ist schwächer in der Braunrostresistenz, in der Mehlausbeute, im Protein- und Klebergehalt sowie in der Dehnlänge im Extensogramm. In allen diesen Merkmalen zeigt Astaro Stärken, er ist hingegen bei Auswinterung, Neigung zu Auswuchs und großer Wuchshöhe deutlich ungünstiger eingestuft. In diesen Merkmalen kann Altos den Ausgleich bringen. Mehrere Linien aus dieser Kreuzung sind in Wertprüfung, es wird soeben mehrjährig überprüft, ob eine optimale Kombination zum Ausgleich sämtlicher Schwächen beider Sorten - womöglich mit gleichzeitiger Steigerung des Ertrages - gelungen ist.

#### *Anwendungen der Regressions-Residuen-Methode (RRM)*

In seiner in Gumpenstein vorgetragenen Arbeit hat HÄNSEL (1976) die Randzonen intervarietaler Korrelationsfelder zwischen Teil- und Komplexeigenschaften interpretiert. Später wurde dieser Ansatz zur Regressions-Residuen-Methode weiterentwickelt, welche beispielsweise zur Schätzung des Ertragspotentials bereinigt vom Einfluss des Krankheitsbefalles dienen kann (HÄNSEL 2001). HÄNSEL und HUSS (2007) berechneten damit *Ramularia*-Boniturwerte aus dem Zusammenhang mit der Zeitigkeit des Ährenschiebens. Voraussetzungen für die Anwendung der RRM sind eine signifikante intervarietale Regression, der Nachweis des

<sup>1</sup> Saatzucht Donau GmbH&CoKG, Saatzuchtstraße 11, A-2301 PROBSTDORF

\* Ansprechpartner: Franziska LÖSCHENBERGER, franziska.loeschenberger@saatzucht-donau.at



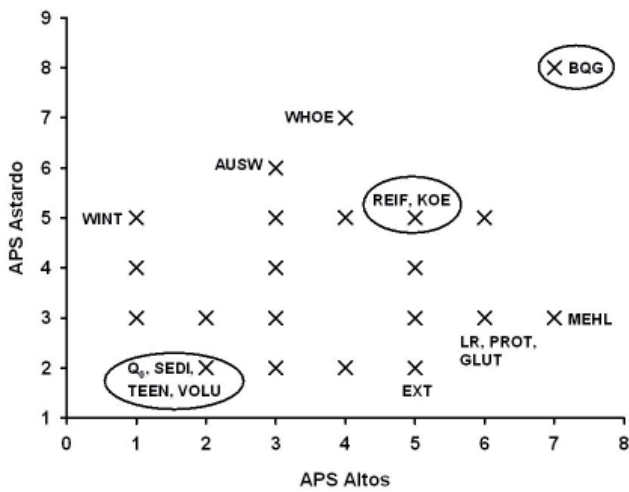


Abbildung 1: Kreuzungsplanung mit Ausprägungsstufen der Beschreibenden Sortenliste am Beispiel Altos x Astaro (AUSW, Auswuchs; BQG, Backqualitätsgruppe; EXT, Teigdehnlänge Extensograph, GLUT, Feuchtklebergehalt; KOE, Kornertrag; LR, Braunrost; MEHL, Mehlausbeute; PROT, Proteingehalt; Q<sub>0</sub>, Quellzahl; REIF, Gelbreife; SEDI, Sedimentationswert; TEEN, Teigenergie Extensograph; VOLU, Backvolumen; WHOE, Wuchshöhe; WINT, Auswinterung)

Figure 1: Planning of crosses using a scatter plot of trait scores from the Austrian National Descriptive Variety List for two parental varieties, e.g. Altos x Astaro (AUSW, pre-harvest sprouting; BQG, baking quality; EXT, dough extensibility extensograph, GLUT, wet gluten content; KOE, grain yield; LR, leaf rust; MEHL, flour yield; PROT, protein content; Q<sub>0</sub>, gluten swelling number; REIF, yellow ripening; SEDI, sedimentation value; TEEN, dough energy extensograph; VOLU, baking volume; WHOE, plant height; WINT, winter hardiness)

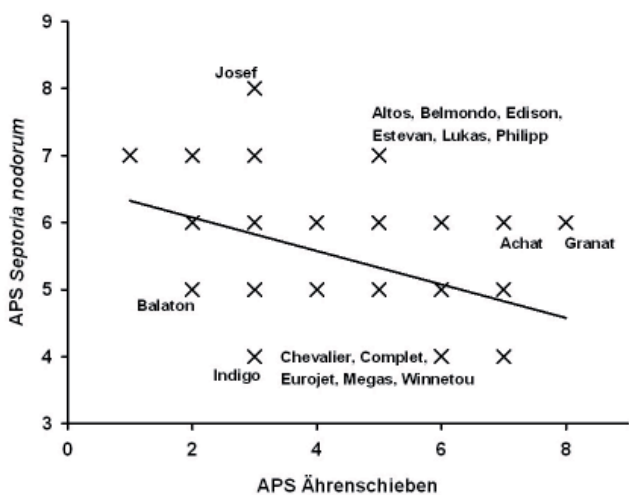


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Ährenschieben und Septoria nodorum APS entsprechend der Österr. Beschreibenden Sortenliste ( $r = -0,44^{**}$ ;  $n = 72$ )

Figure 2: Relationship between heading date and Septoria nodorum score according to the Austrian National Descriptive Variety List ( $r = 0.44^{**}$ ;  $n = 72$ )

grundsätzlichen Vorhandenseins dieses Zusammenhanges auch innerhalb der Sorten, sowie ein kausaler Einfluss.

Die RRM wurde hier in simplifizierender Weise mit den APS der österreichischen Sortenliste für den Befall mit *Septoria nodorum* in Abhängigkeit vom Ährenschieben angewandt. Mit  $r = -0,44^{**}$  ist die Regression signifikant, wenn auch nicht sehr stark ausgeprägt. Je später die Sorten, umso weniger wurden sie mit *S. nodorum* befallen (Abbildung 2). Ein intervarietaler und kausaler Zusammenhang dieser beiden Merkmale ist darin begründet, dass *S. nodorum* in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium zunimmt, die Bonituren jedoch für alle Sorten zugleich zu definierten Zeitpunkten erfolgen. Die Sorten Balaton und Indigo werden trotz frühen Ährenschiebens relativ weniger mit *S. nodorum* befallen, während die Bonitur von Josef deutlich über der Regressionsgeraden liegt. Werden die österreichischen Qualitätsweizen alleine betrachtet, so konnte keine intervarietale Korrelation zwischen Ährenschieben und Anfälligkeit für *S. nodorum* beobachtet werden ( $n = 37$ ,  $r = 0,13$  n.s.). Der Zusammenhang zwischen Ährenschieben und Septoriabefall ist wesentlich vom genetischen Hintergrund der Sorten beeinflusst und der Großteil der österreichischen Qualitätsweizen weist einen hohen Verwandtschaftsgrad auf. Für alle Sorten, welche für das Merkmal Ertrag im Trockengebiet eine Einstufung besitzen, wurde diese Ertragsnote (APS) zum Mittel aus den Noten (APS) für Lagerneigung, Mehltau-, Braunrost-, *Septoria nodorum* und Ährenfusariosebefall in Beziehung gesetzt (Abbildung 3). Auch hier sind die gesunden Schwestersorten Antonius, Pireneo und Astaro im gleichen Bereich des Korrelationsfeldes angesiedelt. Die Sorten Lukullus, Toras, Fulvio, Fidelius und Midas bilden das Segment mit dem höchstem Ertrag und gleichzeitig guten Resistenzeinstufungen in den genannten Merkmalen. Ähnliche grafische Darstellungen werden jährlich von Oberforster in der Österreichischen Beschreibenden Sortenliste publiziert (AGES 2010).

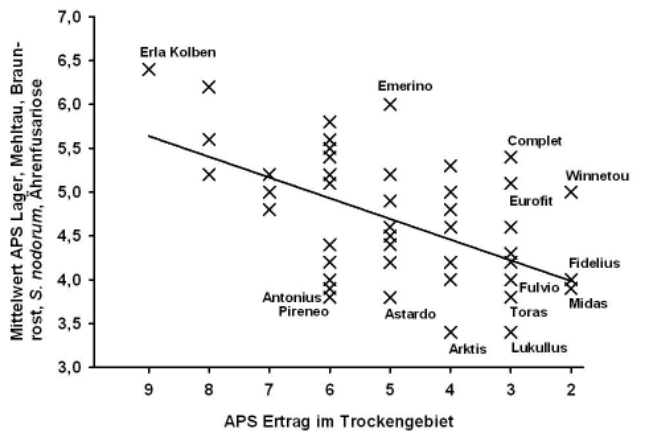


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Kornertrag im Trockengebiet (1= hoch) und der mittleren Anfälligkeit gegenüber Lagerung, Mehltau, Braunrost, Septoria nodorum und Ährenfusariose (1= niedrig) ( $r = -0,56^{***}$ ;  $n = 56$ )

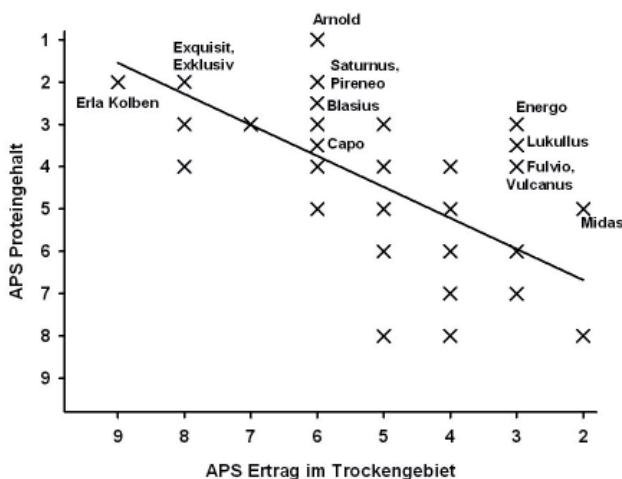
Figure 3: Relationship between grain yield in Austrian dry areas (1= high yield) and mean score of susceptibility to lodging, powdery mildew, leaf rust, *Septoria nodorum* and Fusarium head blight (1= resistant) according to the Austrian National Descriptive Variety List ( $r = -0.56^{***}$ ;  $n = 56$ )

### Ertrag - Proteingehalt - Backvolumen

Eine negative Beziehung zwischen Ertrag und Proteingehalt gilt als allgemein bekannt, hier soll zusätzlich das Backvolumen betrachtet werden. *Abbildung 4* stellt die Beziehung zwischen Kornertrag und Proteingehalt in den APS der Österreichischen Sortenliste dar. Dabei fällt auf, dass nun eine Reihe von Sorten vorliegen, welche bei einer APS 6 wie Capo einen deutlich höheren Proteingehalt zeigen, besonders hervorzuheben ist hier Arnold, die einzige Sorte mit der APS 1 im Proteingehalt. Wie Arnold sind auch Saturnus und Pireneo neben Capo im europäischen Ausland als Bioweizen im Anbau. Weiter rechts am Korrelationsrand befinden sich die Sorten Energo, Lukullus, Fulvio, Vulcanus und Midas. Sie alle weisen trotz hoher Ertragsfähigkeit mit Noten drei oder zwei einen über der Regressionsgeraden liegenden Proteingehalt auf. In absteigender Reihenfolge haben Energo, Arnold, Lukullus, Fulvio, Vulcanus, Pireneo und Saturnus gefolgt von Midas die größten Residuen während Capo nahe der Regressionsgeraden liegt (Daten nicht gezeigt). Die Sorten Jenga, Papageno, Manhattan und Balaton zeigten die größten negativen Abweichungen im Proteingehalt, allesamt Sorten, welche als Ethanolweizen diskutiert werden.

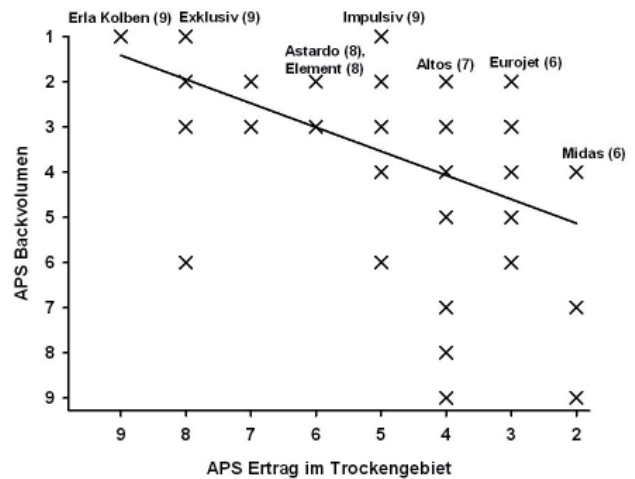
Während die Einstufungen für Kornertrag im Trockengebiet und Proteingehalt mit  $r = -0,64^{***}$  deutlich negativ korreliert sind, ist diese Beziehung im Fall des Backvolumens mit  $r = -0,48^{***}$  etwas weniger klar ausgeprägt. Die Sorten mit den größten Residuen des Backvolumens gegenüber der Regressionsgerade zum Kornertrag waren absteigend sortiert die Sorten Eurojet, Impulsiv, Altos, Energo, Fulvio, Lukullus, Vulcanus, Astaro, Element und Midas. Die Sorte Capo liegt exakt auf der Regressionsgeraden (nicht beschriftet).

*Abbildung 5* zeigt, dass der Züchtung sowohl die Verbesserung des Ertrages bei Halten der Backqualität, als auch eine Erhöhung des Backvolumens bei gleichbleibend ho-



*Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Kornertrag im Trockengebiet (1= hoch) und Proteingehalt (1= hoch) ( $R^2 = 0,42$ ;  $n = 56$ )*

*Figure 4: Relationship between grain yield in Austrian dry areas (1= high yield) and protein content (1= high) according to the Austrian National Descriptive Variety List scores ( $r = -0,64^{***}$ ;  $n = 56$ )*



*Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Kornertrag im Trockengebiet (1= hoch) und Backvolumen (1= hoch) ( $R^2 = 0,23$ ;  $n = 56$ )*

*Figure 5: Relationship between grain yield in Austrian dry areas (1= high yield) and baking volume (1= high) according to the Austrian National Descriptive Variety List ( $r = -0,48^{***}$ ;  $n = 56$ )*

hem Ertrag gelungen ist. Als die Sorte Capo im Jahr 1989 zugelassen wurde, war Capo unter den Qualitätsweizen ein alleine am Korrelationsrand liegender Ausreißer oder Korrelationsbrecher. Dies wird in der ÖSL (AGES 2010) in einer Grafik zum Zuchtfortschritt im Kornertrag nach Zulassungsjahren eindrucksvoll dargestellt. Erst beinahe zehn Jahre später kam mit Ludwig wiederum eine Ausnahmesorte. Zwanzig Jahre nach Capo sind mit den Sorten Fulvio, Vulcanus und Lukullus neue Korrelationsbrecher als Qualitätsweizen in die Sortenliste aufgenommen worden.

Unter den österreichischen Sorten mit einer Ertragseinstufung im Trockengebiet herrscht mit  $r = 0,79^{***}$  eine starke Beziehung zwischen Backvolumen und Proteingehalt. Auch für diesen Zusammenhang erscheint es lohnenswert, die Ausreißersorten näher zu betrachten (*Abbildung 6*). Wiederum liegt eine Reihe von Sorten im Proteingehalt weit oberhalb der Regressionsgeraden, dies sind Sorten mit besonderem Potential im Biolandbau, die Proteingehalte sind häufig der limitierende Faktor für den Erfolg des Bioweizenanbaus. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass Weizen aus biologischem Anbau bei gleichem Proteingehalt oftmals ein höheres Backvolumen aufweist als Weizen aus konventionellem Anbau (eigene Untersuchungen, Daten nicht gezeigt). LU et al. (2005) fanden eine deutlich unterschiedliche Genexpression zwischen organischem und anorganisch gedüngtem Weizen. Aus der Art und auch aus der zeitlichen Dynamik der N-Versorgung resultiert ein Einfluss auf die Proteinqualität.

Die Sorte Midas liegt in *Abbildung 6* in der Mitte und nahe an der Regressionsgeraden. Wenn diese Sorte nun durch die richtige Stellung in der Fruchtfolge und durch Düngung im Proteingehalt erhöht wird, so kann auch eine deutliche Steigerung des Backvolumens erwartet werden, womit er den Qualitätsweizen Fulvio und Vulcanus in der Qualität ebenbürtig wird, welche etwas weiter oben auf der Regressionsgeraden zu finden sind. Im Hinblick auf eine

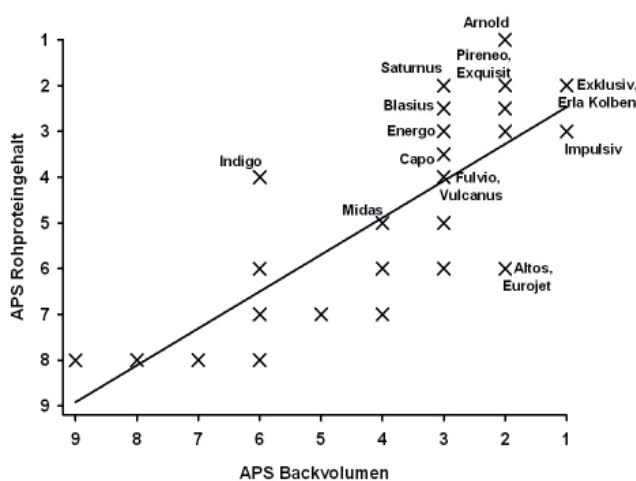


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Rohproteingehalt (1= hoch) und Backvolumen (1= hoch) ( $R^2 = 0,62$ ;  $n = 56$ )

Figure 6: Relationship between baking volume and protein content (1= high) in Austrian dry areas according to the Austrian National Descriptive Variety List ( $r = 0,79^{***}$ ;  $n = 56$ )

weitere Ertragserhöhung kommen außer auf die Züchtung auch auf den Pflanzenbau große Herausforderungen zu. Gerade im Bereich von Fruchtfolge und Bodenverbesserung, zum Beispiel im Hinblick auf das Wasserhaltevermögen

Tabelle 1: Ertrag ( $\text{dt ha}^{-1}$ ), Proteingehalt (% TS) und Proteinерtrag ( $\text{dt ha}^{-1}$ ) von drei ausgewählten Sorten an den Standorten Weikendorf (WEI, konventionell) und Dörfles (DOE, biologisch)

Table 1: Grain yield ( $\text{dt ha}^{-1}$ ), protein content (% dm) and protein yield ( $\text{dt ha}^{-1}$ ) of three check varieties on the nearby locations Weikendorf (WEI, conventional) and Dörfles (DOE, organic)

Jahr	Sorte	Ertrag		Proteingehalt		Proteinерtrag	
		WEI	DOE	WEI	DOE	WEI	DOE
2010	Astardo	65,3	56,1	13,3	12,6	8,68	7,07
	Midas	73,0	63,7	12,4	11,6	9,05	7,39
	Bitop	58,8	54,5	14,8	13,2	8,70	7,19
2009	Astardo	64,3	72,2	15,3	15,6	9,84	11,26
	Midas	72,7	81,0	14,8	14,1	10,76	11,42
	Bitop	64,7	76,9	15,3	14,4	9,90	11,07
2008	Astardo	64,4	71,6	12,6	13,9	8,11	9,95
	Midas	70,4	76,9	11,9	12,9	8,38	9,92
	Bitop	65,2	71,6	14,9	14,2	9,71	10,17
2007	Astardo	50,0	59,7	14,4	15,0	7,20	8,96
	Midas	46,8	60,5	12,3	13,2	5,76	7,99
	Bitop	41,3	55,4	15,9	14,0	6,57	7,76
2006	Astardo	58,8	55,6	16,7	15,1	9,82	8,40
	Bitop	52,8	58,1	16,0	15,1	8,45	8,77
Mittelwert		60,6	65,3	14,3	13,9	8,6	9,1
Standardabweichung		9,7	9,4	1,6	1,1	1,4	1,5

Tabelle 2: Korrelationsanalyse zwischen Merkmalen in einem Bioversuch (Dörfles 2007,  $n = 18$ ) welcher deutlich im Proteingehalt differenzierte

Table 2: Correlation analysis in an organic trial (Dörfles 2007,  $n = 18$ ) showing a good differentiation in protein content

	Ertrag	Proteingehalt	Sedimentationswert	Proteinерtrag	Residuen Proteinерtrag
Proteingehalt	-0,70***				
Sedimentationswert	-0,55*	0,57*			
Proteinерtrag	n.s.	0,39	n.s.		
Residuen Proteinерtrag	n.s.	0,75***	n.s.	0,90***	
Non-Proteinерtrag	0,99***	-0,77***	-0,57*	n.s.	n.s.

und damit auf Ertragsstabilität, kann der Biolandbau als Vorreiter dienen.

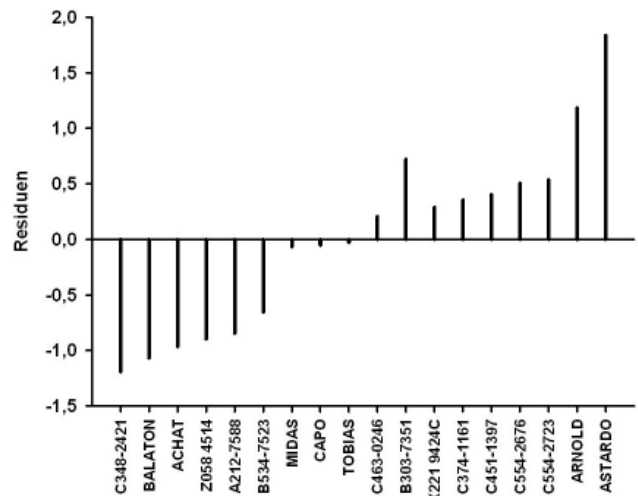
### Vergleiche Bio vs. konventionell

In Experimenten der Saatzucht Donau wurden Kornertrag, Proteingehalt und Proteinерtrag für 3 Standardsorten von 2006-2010 für die nahe gelegenen Standorte Weikendorf (konventionell) und Dörfles (Bio) im Trockengebiet Ostösterreichs verglichen (Tabelle 1). In 10 von 14 Vergleichen waren der Kornertrag und auch der Proteinерtrag auf der biologisch bewirtschafteten Versuchsfläche höher als auf der konventionellen, der Proteingehalt jedoch war am konventionellen Standort in neun von 14 Fällen höher.

In Tabelle 2 werden Korrelationen zwischen Ertrag und Qualitätsparametern in einem Bioversuch aus Dörfles 2007 gezeigt, welcher besonders gut im Proteingehalt differenzierte. Eine bessere Differenzierung von Qualität unter Bio-Bedingungen wurde mehrfach beobachtet (LÖSCHENBERGER 2009) und wird für die Züchtung genutzt. Der Ertrag könnte zwecks genauere Analyse in den Proteinерtrag und in den Non-Proteinерtrag unterteilt werden (Hänsel, pers. Mitt.), was in unserem Beispiel jedoch keine zusätzliche Aussage bringt, da dieser hier maßgeblich mit dem Kornertrag einhergeht. Interessant ist die Korrelation von  $r=0,90^{***}$  zwischen den Residuen der Korrelation von Protein und Ertrag und dem errechneten Proteinерtrag, welcher sich aus der einfachen Multiplikation von Ertrag und

Proteingehalt ergibt und damit noch einfacher zu ermitteln ist als die Residuen der Regression. Für die züchterische Praxis genügt es, zur Selektion den Proteinertrag zu rechnen. Mithilfe einer grafischen Darstellung und mit der Ermittlung von Residuen können herausragende Genotypen sicher angesprochen werden.

In *Abbildung 7* sind die Residuen für den Versuch von *Tabelle 2* dargestellt. Hier wie auch in den oben angeführten Analysen aufgrund der APS haben Midas und auch Capo geringe Residuen, sie liegen nahe der Regressionsgerade. Astaro und Arnold sowie ein Zuchstamm zeigen ihre herausragende Position hinsichtlich hoher Proteingehalt und guter Ertrag. Balaton hingegen zeigt einen deutlich unter der Regressionsgeraden liegenden Proteingehalt, die spätreife Sorte Achat war an den ostösterreichischen Standort nicht optimal angepasst und dürfte daher nicht genügend Zeit für die finale Proteineinlagerung gehabt haben. Nach DUPONT und ALTENBACH (2003) beginnt die Kornfüllungsphase zuerst mit einer Proteineinlagerung, gefolgt von der Stärke. Die Stärkeeinlagerung endet jedoch früher vor der physiologischen Reife, während die Proteineinlagerung noch weitergeht.

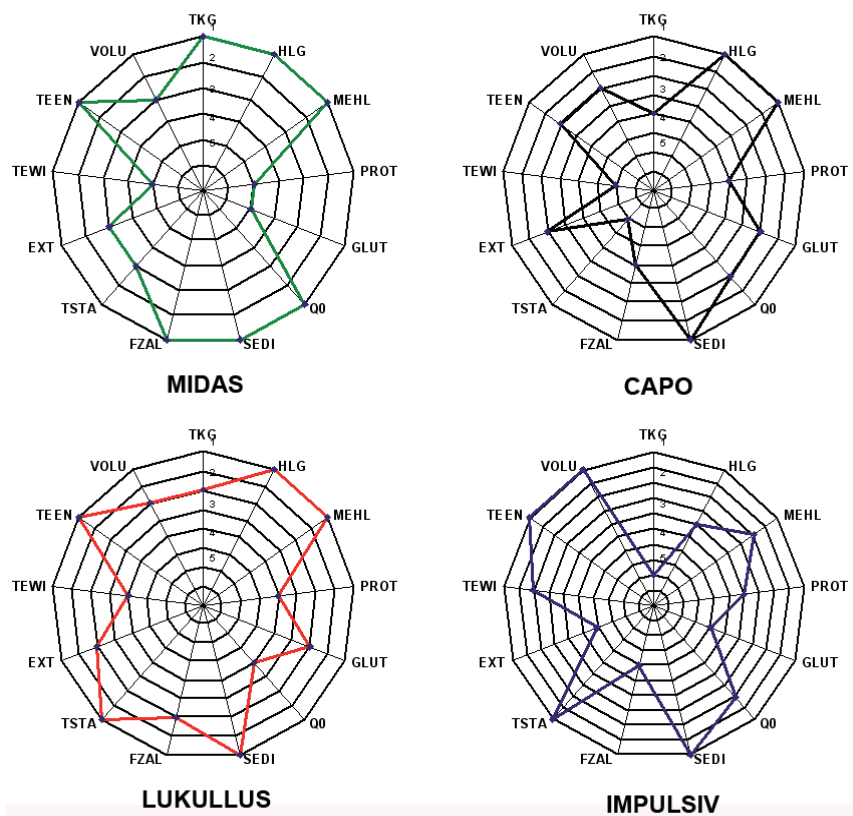


*Abbildung 7: Residuen der Regression Kornertrag zu Proteingehalt, Dörfles 2007, Bioversuch*

*Figure 7: Residuals of the regression grain yield and protein content, Dörfles 2007, organic trial*

### Diskussion

In der österreichischen Sortenliste sind insgesamt 19 Qualitätsmerkmale mit Ausprägungsstufen bedacht. Das erlaubt eine gute Differenzierung der Qualitätseigenschaften im Hinblick auf vielfältige Marktansprüche. In *Abbildung 8* ist Midas mit seinen beiden Geschwistersorten Impulsiv und Lukullus, sowie mit der Standardsorte Capo hinsichtlich 13 Qualitätseinstufungen aus der Österreichischen Beschreibenden Sortenliste grafisch verglichen. Midas hat einen geringeren Rohprotein- und Klebergehalt sowie Sedimentationswert als Capo, ist diesem jedoch in der Teibstabilität und Fallzahl sogar überlegen. Teigenergie und Dehnwiderstand sind für beide Sorten gleich bewertet. In denselben teigrheologischen Eigenschaften wird ein Unterschied zwischen den Geschwistersorten Midas, Lukullus und Impulsiv mit den Backqualitätgruppen 6, 7 und 9 deutlich. Impulsiv ist eine Sorte der höchsten Qualitätsgruppe 9, welche im Kornertrag über Capo eingestuft wurde. In der Gegenüberstellung von Ertrag und Backvolumen (*Abbildung 5*) wurde Impulsiv als Korrelationsbrecher am Rand des Korrelationsfeldes geortet. Die Qualitätsdiskussion sollte nicht auf die Bedeutung von Proteingehalt und Backvolumen reduziert werden. Vielmehr ist der realisierbare Mehlertrag pro Hektar eine ebenso wichtige



*Abbildung 8: APS von 13 Qualitätsmerkmalen (FZAL, Fallzahl; HLG, Hektolitergewicht; TEWI, Teigwiderstand Extensograph; TKG, 1000 Korngewicht; TSTA, Teigstabilität Farinograph; weitere Abkürzungen siehe *Abbildung 1*) der Geschwistersorten Impulsiv (BGQ 9), Lukullus (7) und Midas (6), sowie von Capo (7) (Quelle: AGES 2010)*

*Figure 8: Star plot of 13 quality traits (FZAL, falling number; HLG, hectolitre weight; TEWI, dough resistance extensograph; TKG, 1000 grain mass; TSTA, dough stability farinograph; other abbreviations see *Figure 1*) for the sister varieties Impulsiv, Lukullus and Midas (quality group 9, 7 and 6, respectively), and Capo (quality group 7) (Data source: AGES 2010)*

Größe für die Wirtschaftlichkeit, in dieser Hinsicht sind Capo, Lukullus und Impulsiv mit der sehr guten Note 2 für Mehlausbau gleich bewertet.

Von den Verarbeitern werden besondere Spezifikationen hinsichtlich Farinogramm, Extensogramm und Alveogramm verlangt, auch in diesen Merkmalen gibt es erhebliche Sortenunterschiede. Der Rapid-Mix Test ist langjährig in die Backqualitätsbeurteilung eingeführt, doch zeigt dieser auch Schwächen hinsichtlich seiner Übertragbarkeit auf die praktische Bäckerei. Wie der Name sagt, wird der Teig in einem schnellen, mechanisch beanspruchenden Mix-Verfahren hergestellt, was im Widerspruch zu praxisüblichen Spiralknettern steht. Diese Aspekte sind methodisch kurzfristig nicht umfassend bearbeitbar. Der Rapid-Mix-Test erlaubt zwar einen langjährigen standardisierten Vergleich, welcher andererseits jedoch auf bestimmte Sortentypen zugeschnitten sein könnte. Eine Wechselwirkung zwischen Mehl- und damit Sorteneigenschaften und optimaler Teigführung ist jedem Bäcker bekannt. Daher ist die Bewertung und der Vergleich einer ganzen Reihe von Korn-, Mehl- und Teigeigenschaften zusätzlich zum Backvolumen unerlässlich für eine umfassende Qualitätsbewertung.

Die Diskussion zur Bedeutung des Proteingehaltes für Backweizen wird in Deutschland sehr kontroversiell geführt. SELING (2010) zeigte auf, dass sich im deutschen Sortiment die Steigung der Regressionsgeraden mit abnehmender Backfähigkeit verflacht. Elite- (E) und Brotweizen (A) zeigen die deutlichste Beziehung. Sorten mit hoher Backfähigkeit trotz niedrigen Proteingehaltes können ebenso als Korrelationsbrecher bezeichnet werden. Es sollte physiologisch leichter möglich sein, den Ertrag zu erhöhen, wenn auf Proteingehalt verzichtet wird (OBERFORSTER 2011). Backweizen mit niedrigem Proteingehalt könnten bei regionaler Vermarktung in Europa eine Bedeutung haben, unter dem Aspekt eines internationalen Marktes ist dieser Ansatz jedoch sehr kritisch zu hinterfragen. Ein Fünftel der Nahrungskalorien des Menschen wird durch Weizen bereitgestellt, welcher nach Reis an zweiter Stelle kommt. Weizen steht als Quelle von Protein für den Menschen sogar an erster Stelle (BRAUN et al. 2010). Daher muss dem Proteingehalt in der Weizenzüchtung auch langfristig ein hoher Stellenwert beigemessen werden.

## Danksagung

Gerhard Hof aus Dörfles sei für die guten Bioversuche gedankt, welche seine langjährig exzellent biologisch bewirtschafteten Flächen ermöglichen.

## Literatur

- AGES, 2010: Österreichische Beschreibende Sortenliste 2010, Landwirtschaftliche Pflanzenarten. Schriftenreihe 21/2010.
- BRAUN HJ, ATLIN G, PAYNE T, 2010: Multilocation testing as a tool to identify plant response to global climate change. In: Reynolds CRP (Ed.), Climate change and crop production, pp. 115-138. CABI, London, UK.
- DUPONT FM, ALTENBACH SB, 2003: Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *J. Cereal Sci.* 38, 133-146.
- HÄNSEL H, 1976: Zur Interpretation spezifischer Randzonen intervartialer Korrelationsfelder zwischen Teil- und Komplexeigenschaften. I. Zur Verwendung von Teileigenschaften in der Züchtung auf Komplexeigenschaften. Bericht 27. Arbeitstagung der Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter, 23.-25. Nov., pp. 169-182. BAL Gumpenstein, Irndning.
- HÄNSEL H, 2001: Yield potential of barley corrected for disease infection by regression residuals. *Plant Breeding* 120, 223-226.
- HÄNSEL H, FISCHER H, 1992: Ertragsdifferenzen zum Sortenmittel und bei paarweisen Sortenvergleichen, innerhalb und zwischen 1- bis 4-jährigen und im Vergleich zu 9-jährigen Wertprüfungsergebnissen von Winterweizen. Bericht 43. Arbeitstagung der Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter, 24.-26. Nov., pp. 21-28. BAL Gumpenstein, Irndning.
- HÄNSEL H, FLECK A, 1990: Reaktion verschiedener Winterweizen bezüglich Kornertrag, Proteingehalt und Proteintrag auf das Produktivitätsniveau in Versuchen ohne Fungizid- und CCC-Behandlung im Trockengebiet (Ein Beitrag zur Low-input Diskussion). Bericht 41. Arbeitstagung der Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter, 20.-22. Nov., pp. 145-154. BAL Gumpenstein, Irndning.
- HÄNSEL H, HUSS H, 2007: Ergänzende Untersuchungen zur Abhängigkeit der Symptome der Sprenkelkrankheit (*Ramularia leaf blight*) von der Entwicklung bei Wintergerste (*Hordeum vulgare* L.). Bericht 57. Tagung 2006 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, pp. 83-86. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irndning.
- LÖSCHENBERGER F, 2009: Winterweizen für den Biolandbau - Vergleich der Effizienz von Selektionsparametern - inwieweit können konventionelle Versuche für die Bio-Selektion in frühen Generationen herangezogen werden. In: Hartl W, Schweiger P, Hofer M, Petrasek R, Diethart I (Hrsg.), Österreichisches Saatgut-/Sortenprojekt für den Biolandbau 2004-2009, pp. 172-219. Bio Forschung Austria, Wien.
- LU C, HAWKESFORD MJ, BARRACLOUGH PB, POULTON PR, WILSON ID, BARKER G, EDWARDS KJ, 2005: Markedly different gene expression in wheat grown with organic or inorganic fertilizer. *Proc. Roy. Soc. B Biol. Sci.* 272, 1901-1908.
- OBERFORSTER M, 2011: Inverse und nicht inverse Beziehungen von Kornertrag und Qualität im österreichischen Sortenspektrum von Weizen, Gerste und Roggen. Bericht über die 61. Tagung 2010 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 9-17. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irndning.
- SELING S, 2010: Bedeutung des Proteingehaltes von Weizenmalerzeugnissen aus Sicht einer Bäckerei. *Getreidetechnologie* 2, 103-110.

## Some aspects of wheat quality testing and breeding

Pavel Horčíčka<sup>1\*</sup>

### Abstract

Wheat breeding at Selgen started in 1903. Since then more than 50 varieties of winter wheat and more than 20 varieties of spring wheat were released. Wheat acreage in the Czech Republic is about 830000 ha with an average yield of approximately 50 dt.ha<sup>-1</sup>. Wheat is classified into five quality groups, i.e. E (elite), A (quality bread), B (standard bread), C (nonsuitable breed) and K (biscuit). During selection the following quality traits are considered: specific weight, grain vitreousness, kernel size and color, gluten content, gluten index, protein content, SDS and Zeleny sedimentation value, grain hardness, falling number, alveograph (W, P/L, G), mixograph (14 parameters), farinograph, amylograph, starch content,

ash content and fibre content. High rainfall in the second half of July and at the beginning of August caused a significant influence of harvest date on quality traits in 2010. While protein content remained more or less stable, specific weight and falling number showed a significant decrease with later harvest dates. Experiments on the feeding value of wheat revealed a genotypic effect on the live weight of poultry, however, also large growing season and growing site effects were observed. Up to now no reliable rapid tests are available for the selection for feeding value.

### Key words

Baking, feeding, quality, *Triticum aestivum*

<sup>1</sup> SELGEN a.s., Jankovcova 18, CZ-170 37 PRAHA 7

\* Correspondence: Pavel HORČIČKA, horcicka@selgen.cz



## Durum - zwischen Ertrag und Qualität?

### Durum - between yield and quality?

Julia Lafferty<sup>1\*</sup>

#### Abstract

Durum wheat is the tetraploid relative of bread wheat. It is almost exclusively cultivated for food use, making quality a very important aspect. There are three systems of cultivation, fall sowing of spring types, fall sowing of winter types and spring sowing of spring types. Fall sowing makes better use of winter precipitation; spring sowing is the option for climates with a very cold winter but spring droughts can make yields very variable. Quality requirements are determined by those along the production chain, i.e. breeder, farmer, miller, pasta producer and consumer. Protein content, test weight and colour are the most important quality characteristics, besides there are ash, black point, falling number, vitrousness as well as health related parameters such as content of deoxynivalenol and cadmium. Goals in Austrian durum breeding are the improvement of stress tolerance in spring durum and the combination of winter hardiness with high yield and high quality in winter durum.

#### Keywords

*Triticum durum*, winter hardiness, yellow pigmentation

#### Einleitung

Durum (*Triticum durum* Desf.) gehört zur Gruppe der tetraploiden Weizen und teilt das BA Genom mit dem Brotweizen (*T. aestivum* L.). Die Produktion dient nahezu ausschließlich der menschlichen Ernährung. Traditionell wird Durum im Mittelmeerraum, im Nahen Osten und bis nach Indien angebaut, das bedeutet in Gebieten, die sich durch eine trocken-heiße Witterung auszeichnen. An diese Klimabedingungen ist er angepasst und erbringt dort den gleichen Ertrag wie Brotweizen. Die heutigen Anbauggebiete liegen in Europa, Asien, Amerika und Australien.

#### Ertrag

In Europa gibt es drei verschiedene Anbausysteme für Durum (Abbildung 1). Der weitaus größte Teil des Durum wird im Herbst angebaut, wobei es sich bei den verwendeten Sorten in den meisten Fällen um Sommertypen handelt. Diese besitzen kaum oder nur in geringem Ausmaß Winterhärte und Vernalisationsbedarf. Der Vorteil liegt im Ausnutzen der Winterfeuchte und der längeren Vegetationsperiode. Das ist die am weitesten verbreitete Methode und wird,



Abbildung 1: Durumanbau in Europa

Figure 1: Durum production in Europe (dark grey: fall sowing of spring types; grey: fall sowing of winter types; hatched: spring sowing of spring types)

mit Ausnahme von Nordamerika, auch außerhalb Europas praktiziert. In Europa sind das die Mittelmeerländer, mit den größten Anbaugebieten in Spanien, Italien, Frankreich und Griechenland. Je weiter man sich nach Norden und Osten bewegt, desto riskanter wird diese Methode aufgrund der kälteren Winter. Die Alternative ist ein Anbau im Frühjahr, so wie der Großteil des Durum in Österreich und Deutschland angebaut wird (und auch in Kanada und im Norden der USA). Weiter nach Osten wird das Klima immer kontinentaler und damit verbunden kommt es häufiger zu ausgeprägten Trockenperioden im Frühjahr. Die Folge sind von Jahr zu Jahr enorm schwankende Erträge. Die Lösung ist ein Anbau im Herbst, aber dafür bedarf es echter Wintertypen mit ausreichender Winterhärte. In Osteuropa wird nahezu ausschließlich Winterdurum angebaut, in Österreich macht der Winterdurum ca. 25% des Durumanbaus aus. Die Übergänge sind zum Teil fließend, so gibt es durchaus Anbau von Winterdurum in Nordgriechenland oder Herbstanbau von Sommerdurum in Bulgarien und Kroatien. Im Pariser Becken sind alle drei Anbauformen nebeneinander vertreten.

#### Ertragspotential

Das Ertragspotential in Europa zeigt eine große Variabilität, sowohl zwischen den Ländern als auch zwischen den Jahren (Abbildung 2). Im als Beispiel ausgewählten Jahr 2005 gab es in Spanien und Portugal extreme Trockenheit und damit verbunden extrem niedrige Erträge. Am größten ist das Ertragspotential in Frankreich, in guten Jahren vereinzelt bis zu 100 dt.ha<sup>-1</sup>.

<sup>1</sup> Saatzeit Donau, Saatzeitstraße 11, A-2301 PROBSTDORF

\* Ansprechpartner: Julia LAFFERTY, julia.lafferty@saatzeit-donau.at



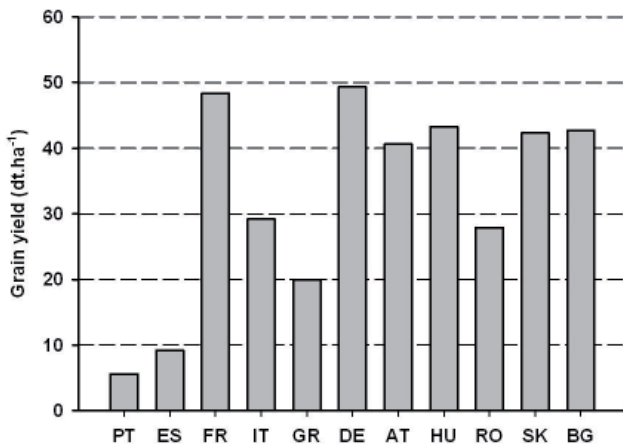


Abbildung 2: Durumerträge in Europa 2005

Figure 2: Mean durum wheat yields in Europe 2005 (AT, Austria; BG, Bulgaria; DE, Germany; ES, Spain; FR, France; GR, Greece; HU, Hungary; IT, Italy; PT, Portugal; RO, Romania; SK, Slovakia)

In Österreich wird sowohl Sommer- als auch Winterdurum angebaut. Als Beispiel für das jeweilige Ertragspotential wurde der Versuchsstandort Weikendorf gewählt, die Versuche für Winter- und Sommerdurum sind nahe beieinander und werden nicht bewässert (Abbildung 3). Man erkennt deutlich die größeren Ertragsschwankungen im Sommerdurum und bis auf das Jahr 2010 liegen die Winterdurumerträge immer höher. 2003 war ein sehr kalter Winter und der Winterdurumversuch wurde nicht geerntet, lieferte aber sehr gut differenzierende Bonituren für Winterhärte.

Da Frankreich ein interessanter Markt für österreichische Durumsorten ist, begann die Saatzucht Donau (SZD) 2006/2007 mit dem Herbstanbau von Sommerdurum. Das Ziel ist eine bessere Einschätzung der Eignung der SZD-Sorten, die alle für den Frühjahrsanbau gezüchtet wurden, für den Herbstanbau. Dabei zeigte sich, dass bei den Parametern Ährenschieben und Wuchshöhe zum Teil erhebliche Unterschiede in der Ausprägung zwischen Herbst- und Frühjahrsanbau auftraten. Mögliche Gründe dafür sind der

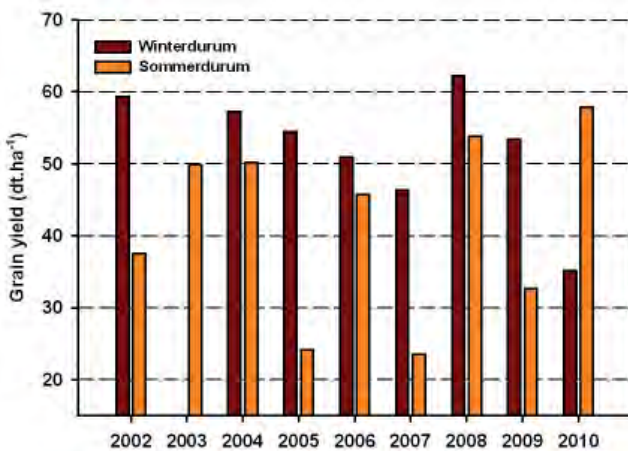


Abbildung 3: Erträge von Winterdurum und Sommerdurum am Standort Weikendorf (unbewässert)

Figure 3: Yield (dt.ha<sup>-1</sup>) of winter durum and spring durum at Weikendorf, Austria (without irrigation)

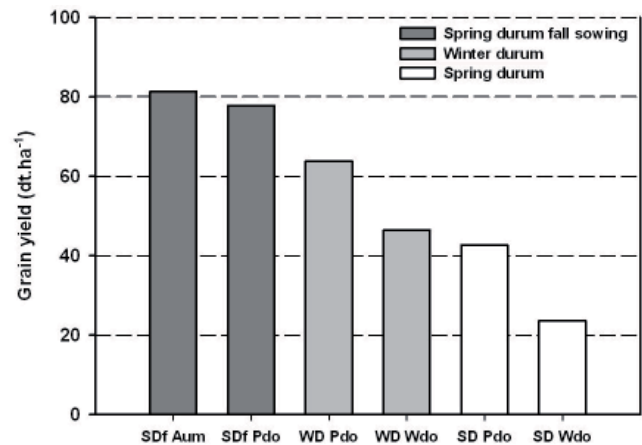


Abbildung 4: Erträge unterschiedlicher Anbausysteme (SDF, Sommerdurum im Herbstanbau; WD, Winterdurum; SD, Sommerdurum) an den Standorten Aumühle (Aum), Probstdorf (Pdo) und Weikendorf (Wdo) im Jahr 2007

Figure 4: Yield of different durum growing systems at the locations Aumühle (Aum), Probstdorf (Pdo) and Weikendorf (Wdo) in 2007

Einfluss von Vernalisationsbedarf und Photoperiode. Die Ergebnisse der Durumversuche 2006/2007 sind in Abbildung 4 dargestellt. Am geringsten war der Sommerdurumertrag am unbewässerten Standort Weikendorf (Wdo), am höchsten der Sommerdurum/Herbstanbau am Standort Aumühle (Aum). In Probstdorf (Pdo) standen Frühjahrs- und Herbstanbau nebeneinander auf demselben Feld, der Frühjahrsanbau wurde einmal bewässert, der Herbstanbau nicht.

Was auffällt ist der deutliche Ertragsvorsprung der Sommertypen im Herbstanbau gegenüber echtem Winterdurum. Dies hat sich auch in den folgenden Jahren bestätigt, sogar wenn der Sommerdurum einen leichten Frostschaden hatte. Ein Grund dafür ist sicher die größere Wüchsigkeit der Sommertypen, die in Herbst und Frühjahr deutlich sichtbar war. Andererseits profitiert der Sommerdurum auch vom züchterischen Vorsprung. Sommerdurum wird schon wesentlich länger und intensiver (mehr Züchter) bearbeitet als Winterdurum. Winterdurum ist eine relativ junge Kultur, die ersten Einkreuzungen von Winterweizen in Durum zur Erhöhung der Winterhärte wurden Mitte des vergangenen Jahrhunderts gemacht. Das Anbauggebiet ist vergleichsweise klein, weltweit gibt es ca. 6 bis 7 Züchter und eine entsprechend kleine genetische Basis. Der wesentlich höhere Ertrag der Sommertypen ist zwar bestechend, dennoch ist das Risiko beim Herbstanbau groß. In der Mehrheit der Jahre muss man in Österreich mit mehr oder minder starker Auswinterung rechnen, in Deutschland hingegen kommt diese Variante öfters zur Anwendung in Form eines extrem späten Anbaus nach Zuckerrüben (aber auch dort kommt es immer wieder zu Auswinterung).

### Qualität

Die Qualitätsanforderungen an Durum werden von den Beteiligten in der Produktionskette bestimmt (Tabelle 1). Eine neue Sorte muss ihren landeskulturellen Wert in der Wertprüfung beweisen, für den Landwirt sind Merkmale wichtig, die schnell bei der Übernahme erfasst werden können, den

Tabelle 1: Bedeutung bzw. Grenzwerte von Qualitätsparametern bei Durum

Table 1: Importance and/or threshold values of durum quality parameters

Merkmal (Trait)	Züchter (Breeder)	Landwirt (Farmer)	Müller (Miller)	Produzent (Processor)	Konsument (Consumer)
Hektolitergewicht ( <i>Test weight</i> )	+	80%	++	-	-
Tausendkorngewicht ( <i>1000 kernel weight</i> )	+	-	+	-	-
Proteingehalt ( <i>Protein content</i> )	+	13-13,5%	+	++	-/0
Proteinqualität ( <i>Protein quality</i> )	+	-	0	+	-
Glasigkeit ( <i>Vitreousness</i> )	+	80%	++	-	-
Dunkelfleckigkeit ( <i>Grain discolouration</i> )	+	5%	+	+	0
Aschegehalt ( <i>Ash content</i> )	0	-	+	+	-
Farbe ( <i>Colour</i> )	+	-	0	+	++
Fallzahl ( <i>Falling number</i> )	+	220/280 s	0	+	-
Wasseraufnahme ( <i>Water absorption</i> )	0	-	0	++	-
Cd-Gehalt ( <i>Cd content</i> )	0	-	0	+	+
Mycotoxine/DON ( <i>Mycotoxins, DON</i> )	0	1750 µg.kg <sup>-1</sup>	0	750 µg.kg <sup>-1</sup>	+
Geschmack ( <i>Taste</i> )	-	-	-	-/0	+

Müller interessieren Parameter die mit der Grießausbeute korrelieren und andererseits hat er die Vorgaben des Teigwarenproduzenten. Diesem wiederum sind Verarbeitungseigenschaften sowie die Kundenerwartungen wichtig. Der Kunde letztendlich erwartet ein geschmackvolles, gesundes, optisch ansprechendes Produkt mit gutem Kochverhalten. Die Optik der Teigware wird weitgehend durch Gelbpigment- und Aschegehalt sowie Dunkelfleckigkeit, in Grieß und Teigwaren als Stippe sichtbar, bestimmt. Die Fallzahl ist als Maß für den Stärkeabbau wichtig, zu niedrige Werte (<175 s) wirken sich negativ auf die Teigwarefestigkeit aus. Beim Gehalt an Cd und Mycotoxinen müssen die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden, wobei vor allem die wasserlöslichen Mycotoxine mit dem Kochwasser weitgehend herausgeschwemmt werden. Dem Proteingehalt kommt in der Qualität eine zentrale Stellung zu, da er andere Eigenschaften wie Glasigkeit, Grießausbeute, Wasseraufnahme und Kochfestigkeit beeinflusst. In einem glasigen, proteinreichen Korn sind die Stärkekörner in eine Proteinmatrix eingebettet und ähnlich verhält es sich in der fertigen Teigware. Wenn die Stärkekörner gut von Protein umhüllt sind, wird die Stärke weniger leicht herausgewaschen - die Teigwaren sind kochfester und behalten ihre Bissfestigkeit auch über die optimale Kochzeit hinaus.

### Ertrag und/oder Qualität?

Für Züchtung und Produktion ist nun die Überlegung, wie viel ist machbar, wie viel ist notwendig? Selbstverständlich ist das Ziel ein möglichst hoher Ertrag und möglichst hohe Qualität. Betrachtet man das Angebot von Kanada und Frankreich, größter Exporteur der Welt bzw. der EU, so fragt man sich, wie weit ist hoher Ertrag mit hoher Qualität vereinbar? Kanada hat einen Weltmarktanteil von 55% und liefert mit Durum vom Typ CWAD1 (*Canadian Western Amber Durum*) Ware der besten Qualität (Proteingehalt 15%, sehr gute Werte bei Hektolitergewicht, Farbe und Glasigkeit). Das Produktionsniveau liegt in Kanada bei 20-30 dt.ha<sup>-1</sup>, in Frankreich hingegen bei 45-50 dt.ha<sup>-1</sup> mit Spitzenerträgen bis zu 100 dt.ha<sup>-1</sup>. Die französische Durumqualität ist schwankend und liegt allgemein unter der des kanadischen Materials. Beide finden ihre Abnehmer: Kanada dort, wo der verlangte Preis gezahlt wird; Frankreich dort, wo die Qualität

von geringerer Bedeutung ist, sei es aus Preisgründen (z.B. Noradafrika) oder weil mit besserer Qualität verschnitten wird (Italien). Auf niedrigem Ertragsniveau Qualität zu erzeugen ist einfacher da es bei hohem Ertrag durchaus zu einem Verdünnungseffekt kommt (KLING et al. 2006). Das betrifft insbesondere die Merkmale Proteingehalt, Gelbpigmentgehalt und Asche, wobei bei Asche der Effekt positiv ist. Allerdings kann in modernen Teigwarenanlagen mit Hochtemperaturtrocknung auch aus einem mittelmäßigen Rohstoff (was Proteingehalt und -qualität betrifft) ein gutes Produkt hergestellt werden. Farbe ist ein Merkmal, das im Produktionsprozess nur beeinflusst werden kann, ein Ausgleich nicht vorhandenen Gelbpigments ist aber nicht möglich. So können mittels Farbausleser in der Mühle die dunkelfleckigen Körner entfernt und damit der Anteil schwarzer Stippen reduziert werden. Bei niedrigem Ausmahlungsgrad ist der Aschegehalt geringer und damit weniger Grauton in Grieß und Teigware. Beim Trocknungsprozess können Bissfestigkeit und Farbton beeinflusst werden, da mit zunehmender Dauer und Temperatur der Trocknung die Bissfestigkeit der Teigware sich verbessert, allerdings durch Maillard-Reaktion der Farbton rötlicher wird.

### Züchtung auf Qualität

Qualität hat bei Durum immer Priorität, das gilt sowohl für die Produktion als auch für die Züchtung. In Österreich züchten wir für ein Klimagebiet wo Durum ein relativ junger Einwanderer ist aus Gebieten die für die Qualitätsproduktion günstiger sind. Auf niedrigem Ertragsniveau mit regelmäßig heißer und trockener Abreife wird eine Sorte mit mittlerem Qualitätspotential beste Qualität liefern. Die klimatischen Schwankungen von Jahr zu Jahr, die mit der Klimaerwärmung vermutlich häufiger und extremer werden, bringen hierorts immer wieder für die Qualität ungünstige Bedingungen. Eine Sorte, die die genetischen Voraussetzungen für hohen Proteingehalt, hohes Hektolitergewicht mit guter Kornausbildung und hohem Gelbpigmentgehalt hat, bringt eine Versicherung mit für nicht so ganz passende Jahre und kann auf hohem Ertragsniveau Qualität liefern. In Österreich ist die Entscheidung zwischen Ertrag und Qualität oft auch eine zwischen Sommer- und Winterdurum. Durch die zunehmenden Wetterextreme ist vor allem im Sommerdurum

vermehrt Stesstoleranz gefordert. Wir brauchen Sorten, die in einem Jahr wie 2010 die Niederschläge voll ausnützen können, aber auch in einem Jahr, wo es den ganzen Mai nicht regnet, trotzdem ein gutes Ergebnis hinsichtlich Ertrag und Qualität bringen. Kommt es häufiger zu Frühjahrstrockenheit, wird der Winteranbau attraktiver. Der Trend geht schon dorthin und dafür brauchen wir entsprechende Sorten.

Winterdurum ist eine junge Kultur und vor allem in Richtung Ertrag ist noch viel Weiterentwicklung möglich. Allerdings gibt es nur wenige Züchter, das bedeutet es wird langsam gehen. Der Verbesserung der Winterhärte in Kombination mit guter Qualität bleibt eine Herausforderung. Das Ziel ist ausgewogene Qualität zum Beispiel auf dem Niveau der Sommerdurumsorte Rosadur mit der Winterfestigkeit eines mittleren Weizens und dem Ertragniveau eines guten Sommerdurum im Herbstanbau.

## Zusammenfassung

Der Durumanbau in Mitteleuropa kann sehr gute Qualität auf hohem Ertragsniveau produzieren. Dafür geeignete Sorten sollten ein hohes Potential für den Gehalt an Protein und Gelbpigment besitzen um auch bei hohem Ertrag die gewünschte Qualität zu liefern. Die genetischen Voraussetzungen für hohe Werte beim Komplex Hektolitergewicht/Kornausbildung/Auswuchsfestigkeit/Fallzahl dienen als Versicherung für Jahre mit ungünstiger Abreifewitterung. Der Herbstanbau ist die ertragreichere Variante, für Osteuropa liegt die Herausforderung für die Züchtung in der Kombination von Winterhärte, Ertrag und Qualität.

## Literatur

KLING CI, UTZ HF, MÜNZING K, 2006: Herbstanbau von Durumweizen - Auswirkungen auf Qualität und Ertrag. Getreidetechnologie 60, 141-147.

## Qualitätsansprüche für unterschiedliche Verwendungszwecke bei Hybridroggen

### Quality demands for different uses of hybrid rye

Thomas Miedaner<sup>1\*</sup> und Marlen Hübner<sup>1</sup>

#### Abstract

Winter rye is an important crop in Middle and Eastern Europe. In Germany about three million tons were harvested in 2010. About 24% of the harvest is used for baking, 57% for feeding and 14% for bioenergy production, i.e. bioethanol and biogas. Grain yields of hybrid varieties can be very high even on light and sandy soils when an adequate intensity is applied. Increased water-use efficiency is one of the most important future breeding goals. The use of rye for baking, feeding and ethanol production relies basically on the same ingredients of the grain, they should, however, perform in different directions. For baking, falling number should be >120 s, pentosan content and thus viscosity should be high, protein content plays no important role. In contrast, for feeding viscosity should be low and protein content as high as possible. For ethanol production, both high pentosan and protein contents are counterproductive, because they reduce ethanol exploitation. For all three usages, ergot and Fusarium contamination should be below the EU limits. Quality demands are of less importance for the use of rye for biogas production. Here, maximum dry matter yield at late milk ripening is the most important breeding goal. Biogas production is an economically important option in regions with less productive soils and low rainfall.

#### Keywords

Baking, biogas, ethanol, feeding, hybrid rye, *Secale cereale*

#### Einleitung

Winterroggen (*Secale cereale* L.) ist in Mittel- und Osteuropa weiterhin eine bedeutende Fruchtart. Sie wird in Russland, Polen, Weißrussland und der Ukraine auf insgesamt 4,4 Mio ha angebaut (FAOSTAT 2010). In Deutschland wurden 2010 auf 630.500 ha knapp 3 Mio Tonnen Roggen produziert; der durchschnittliche Kornertrag war aufgrund der Trockenheit in Teilen Niedersachsens und Brandenburgs stark rückläufig (46,0 dt.ha<sup>-1</sup> gegenüber 57,0 dt.ha<sup>-1</sup> im Vorjahr; DESTATIS 2010). Ähnlich wie bei Weizen (AHLEMEYER und FRIEDT 2011) scheint auch bei Roggen der jährliche Ertragszuwachs im Zeitraum von 1990 bis 2010 zu stagnieren (0,31 dt.ha<sup>-1</sup>

gegenüber 0,69 dt.ha<sup>-1</sup> für 1961-2010). Nimmt man jedoch bei dem Trend der letzten 20 Jahre die drei Trockenjahre 2003, 2007 und 2010 heraus, dann erreichte der jährliche Ertragsfortschritt nahezu das langjährige Niveau (0,65 dt.ha<sup>-1</sup>). Auch an den Ergebnissen der Wertprüfungen lässt sich derzeit keine Verringerung des Zuchtfortschrittes nachweisen. Bei den Kornerträgen ist zu berücksichtigen, dass Roggen vor allem in Niedersachsen und in Ostdeutschland, wo rund 60% des deutschen Roggenanbaus stattfinden, bevorzugt auf mittleren und leichten Böden angebaut wird. Mit den entsprechenden pflanzenbaulichen Voraussetzungen können auch dort Spitzenerträge erzielt werden (Tabelle 1), die nur etwa 10% unter den Erträgen auf Lehmböden liegen. Die Bestände sind auf den Sandböden jedoch anfällig gegenüber Trockenheit im Frühjahr bzw. Frühsommer. So lagen die Kornerträge der vier westlichen und nördlichen Sandstandorte Niedersachsens in den Jahren 2008 und 2009 auf vergleichbar hohem Niveau, während die Erträge im Jahr 2010 auf den nördlichen Sandstandorten um 24 dt.ha<sup>-1</sup> geringer waren. Berücksichtigt man nur die zwei besonders von Trockenheit betroffenen nördlichen Sandstandorte, betrug die Ertragsdifferenz sogar 34 dt.ha<sup>-1</sup>. Dies zeigt, wie wichtig schon heute die Selektion von Winterroggen auf hohe Wassernutzungseffizienz ist.

Derzeit machen Hybridsorten die Hälfte der deutschen Vermehrungsfläche bei Roggen aus (BSL 2010). Die Hybridzüchtung führte gegenüber den Populationssorten nicht nur zu 15-20% höheren Kornerträgen, sondern hat weitere Vorteile (MIEDANER 2007). Es ist erstmals in der

**Tabelle 1: Durchschnittliche Kornerträge (dt/ha) bei Winterroggen in den Landessortenversuchen Niedersachsen 2008 bis 2010, aufgeteilt nach Bodenart und gemittelt über 7 bzw. 8 Hybridsorten**

**Table 1: Mean grain yields (dt.ha<sup>-1</sup>) of winter rye from the regional state trials (Landessortenversuche) of Lower Saxony 2008 to 2010, grouped according to soil type and averaged across 7 and 8 hybrid varieties, respectively**

Bodenart	Orte (n)	Jahr		
		2008	2009	2010
Lehm	6	106,0	105,5	91,4
Sand-West	4	95,9	92,1	90,2
Sand-Nord	4	92,6	93,3	66,0

<sup>1</sup> Landessaatzuchtanstalt, Universität Hohenheim, D-70593 STUTTGART

\* Ansprechpartner: apl. Prof. Dr. Thomas MIEDANER, miedaner@uni-hohenheim.de

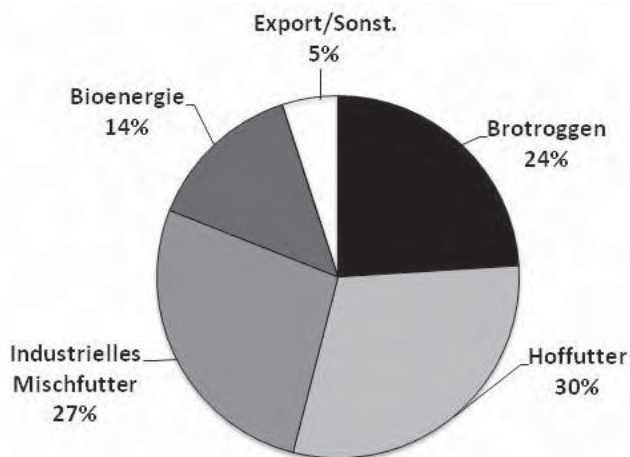


Abbildung 1: Prozentuale Verteilung der Roggenernte 2008/2009 von insgesamt 3,7 Millionen Tonnen (RYE BELT 2010)

Figure 1: Partitioning of the rye harvest from 2008/2009 totaling 3.7 million tons for its uses (RYE BELT 2010)

Roggenzüchtung möglich, einzelne Genotypen durch fortgesetzte Selbstbefruchtung zu fixieren und monogenische Eigenschaften durch Rückkreuzung effektiv in Sorten zu übertragen. Außerdem können durch die Auswahl vorgeprüfter Inzuchtlinien Sorten mit speziellen Eigenschaften entwickelt werden, was gerade für die Qualitätszüchtung eine große Bedeutung hat.

Die Verwendung von Winterroggen hat sich gegenüber Ende der 1990er Jahre durch die Aufhebung der EU-Intervention grundlegend gewandelt (Abbildung 1). Nach wie vor wird ein Viertel der Roggenernte für Backzwecke verwendet, der Anteil des Futterroggens stieg aber von 30% auf heute fast 60%. Früher wirkten Freigaben aus Interventionsbeständen den Preisänderungen am Markt entgegen. Heute sind die Preise und indirekt die Anbauflächen wesentlich volatiler. Für die Verwendung als Bioenergie, also Bioethanol und Biogas, wurden 2009 14% der Roggenernte eingesetzt. Diese Zahlen belegen, dass bei Roggen keine nennenswerte Konkurrenz zwischen dem Einsatz als Lebensmittel und seiner Verwendung zur Energiegewinnung besteht. Bei der Biogasgewinnung verzeichnen viele Anlagen beim Einsatz von Roggen-Maissilage-Mischungen eine Verbesserung der Methanausbeute. Der Anteil des Roggens an der Ethanolgewinnung ist stark vom Marktpreis abhängig, zeitweise wurde aufgrund der hohen Marktpreise die Produktion ganz

Tabelle 2: Die wichtigsten Zuchtziele für die Qualität von Roggen zum Backen, zur Fütterung bzw. zur Ethanolproduktion  
Table 2: Important breeding goals for rye quality concerning baking, feeding and ethanol production

Zuchtziel	Backen	Fütterung	Ethanol
TKM/Hektolitergewicht	++	++	++
Fallzahl	++	+	+/-
$\alpha$ -Amylase	--	+/-	++
Viskosität/Pentosengehalt	++	--	--
Rohproteingehalt	+/-	++	--
Stärkegehalt	+	++	++
Stärkeertrag	+/-	+	++

++ sehr positiver, + positiver, +/- neutraler, -- extrem negativer Einfluss

eingestellt. Durch die Vielfalt der Verwendungszwecke spielt die Erfüllung bestimmter Qualitätsansprüche eine größere Rolle und kann die Abnahmekancen erhöhen. Im Folgenden sollen kurz die notwendigen Qualitäten für die Bereiche Backen, Fütterung, Bioethanol- und Biogasgewinnung im Hinblick auf das züchterisch Erreichte und Mögliche dargestellt werden.

### Unterschiedliche Zuchtziele für unterschiedliche Zwecke

Backen, Füttern und Ethanolproduktion beruhen im Wesentlichen auf denselben Inhaltsstoffen, die allerdings in unterschiedlicher Zusammensetzung und Ausprägung vorliegen sollten (Tabelle 2). Jahrzehntlang stand die Mahl- und Backqualität im Mittelpunkt der züchterischen Aktivitäten. Dabei sollte die Tausendkornmasse (TKM) vergrößert werden, um bessere Ausmahlungsgrade zu erreichen. und die ausgesprochen hohe Auswuchsneigung des Roggens verbessert werden. Bei feuchter Sommerwitterung vor der Ernte beginnen die korneigenen Enzyme, darunter die  $\alpha$ -Amylasen, die Reservestoffe Stärke, Protein und Pentosan wieder zu spalten und teilweise wasserlöslich zu machen, was die Backfähigkeit vermindert. Für die Backfähigkeit des Roggens ist aber ein ausgewogenes Verhältnis von Stärke, Pentosan und stärkeabbauenden Enzyme entscheidend (WEIPERT 1983). Der Rohproteingehalt spielt bei weitem nicht so eine große Rolle wie beim Winterweizen, da die Quelleigenschaften im wesentlichen durch die Pentosane bestimmt werden. Für Backzwecke sollten sie einen möglichst hohen Anteil im Korn ausmachen, was zu einer hohen Viskosität führt. Bei enzymarmen Roggenpartien, etwa bei genetisch bedingt sehr hohen Fallzahlen und/oder trockenen Erntebedingungen, können Fremdenzyme zugesetzt werden, um ein optimales Backergebnis zu erzielen (WEIPERT und BRÜMMER 1988).

Im Gegensatz zum Backroggen ist für die Fütterung ein möglichst hoher Rohproteingehalt wünschenswert. Der Pentosangehalt sollte dagegen so niedrig wie möglich sein, um eine geringe Viskosität der wasserlöslichen Zellwandbestandteile zu erreichen und Probleme bei der Tierfütterung zu vermeiden (BOROS 2007). Der Stärkegehalt sollte ebenfalls möglichst hoch sein, wobei der Auswuchs hier sekundär ist. Allerdings ist ein schlechter Backroggen auch nicht optimal für die Fütterung geeignet. Bekanntermaßen kann Roggen in seiner derzeitigen Qualität nur in bestimmten Anteilen verfüttert werden, die von Tierart und Tieralter abhängen und maximal 50% ausmachen sollten.

Futter- und Ethanolroggen haben, mit Ausnahme von  $\alpha$ -Amylasen und Rohproteingehalt, weitgehend dieselben Zuchtziele. Die Ethanolausbeute wird primär durch den Stärkegehalt bestimmt, die Korrelation liegt zwischen  $r=0,6$  und  $0,8$  (RODE 2008). Ein Stärkegehalt von mehr als 55% ist Voraussetzung für die Annahme. Der Stärkegehalt ist mit dem Proteingehalt negativ korreliert (ROSENBERGER et al. 2000). Mit jedem Prozent weniger Protein können 5 Liter Ethanol je Tonne Trockenmasse mehr gewonnen werden. In geringerem Maße beeinflusst auch die Stärkebeschaffenheit, vor allem der Anteil vergärbare Stärke, die Ethanolausbeute. Das Erntegut sollte möglichst enzymreich sein, um rasch die Vergärung in Gang zu setzen, es sollte aber kein sichtbarer

Auswuchs vorliegen. Bei sehr enzymarmem Roggen müssen Fremdenzyme zugesetzt werden. Auch beim Ethanolgetreide haben hohe Pentosangehalte einen ungünstigen Einfluss. Sie bewirken eine dickflüssige Maische und vergären nur unvollständig. Genotypische Unterschiede in der Alkoholausbeute konnten bisher nicht gefunden werden (RODE 2008).

Völlig andere Zuchtziele erfordert die Verwendung von Roggen als Substrat für die Biogasgewinnung. Bei einer frühen Ernte Ende April/Anfang Mai als Grünroggen ist vor allem die Frühwüchsigkeit nach dem Winter gefragt und damit verbunden eine hohe Trockenmasseproduktion. Beides kann kurzfristig durch das Einkreuzen genetischer Ressourcen forciert werden (MIEDANER et al. 2010). Dazu können in einem ersten Ansatz Populationshybriden mit einem leistungsfähigen, standfesten, selbstfertilen Tester verwendet werden, der die agronomischen Nachteile der genetischen Ressourcen weitgehend ausgleicht. Etwas anspruchsvoller sind die Zuchtziele bei einer Hauptnutzung von Roggen als Ganzpflanzensilage (GPS) mit einer Ernte zur späten Milchreife (Ende Juni/Anfang Juli). Hier spielt neben der maximalen Trockenmasseproduktion auch die Standfestigkeit eine zentrale Rolle. Bisher wurden keine genotypischen Unterschiede im spezifischen Methanertrag ( $\text{Nm}^3 \text{ dt}^{-1}$  organischer Trockenmasse) gefunden, die wesentliche Komponente ist eine maximale Trockenmasseproduktion (HÜBNER et al. 2011). Die Methanerträge können bei Hybridroggen bis zu  $5000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  erreichen. Dies entspricht den unteren Silomaisergebnissen ( $4600$  bis  $8500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ; AMON et al. 2004), allerdings können die Methanerträge von Roggen auch unter trockeneren Bedingungen auf schlechteren Böden produziert werden als dies bei Mais möglich ist.

Zur Erzeugung von qualitativ hochwertigem Back- und Futterroggen sind Kontaminationen mit Mutterkorn und Fusarium-Mykotoxinen unbedingt zu vermeiden. Beide pilzlichen Produkte unterliegen, je nach Verwendungszweck, strengen Grenz- bzw. Richtwerten, da sie schädlich für Mensch und Tier sind. Beim Ethanolroggen reichern sie sich in der als proteinreichem Futter verkauften Schlempe an, deshalb darf der Besatz (einschließlich Mutterkorn) nicht über 1% und die DON-Werte müssen unter  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  liegen. Bei der Biogasnutzung stellen die Mykotoxine keine Probleme dar.

### Zuchtmethodische Komponenten der Qualität

Züchterische Verbesserungen der Qualität können nur bei Vorliegen von Zielmerkmalen erreicht werden, die sich

rasch und kostengünstig an großen Populationen zwischen Ernte und Aussaat feststellen lassen, so dass eine hohe Selektionsintensität gewährleistet ist. Außerdem müssen eine möglichst große genetische Variation und eine hohe Heritabilität ( $h^2$ ) in den Zuchtpopulationen vorliegen (Tabelle 3). Paradebeispiele für hohe Selektionsintensität sind alle mit Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) zu erfassenden Merkmale. Der erwartete Selektionsgewinn lässt sich anhand der in Tabelle 3 gegebenen Parameter schätzen. Er ist sehr hoch für die Fallzahl als wichtigstes Maß der Backqualität, weil es in den Zuchtpopulationen bereits eine große genetische Differenzierung gibt, die Heritabilität der Merkmalerfassung auf Linienbasis hoch ist ( $h^2=0,8-0,9$ ; WEHMANN et al. 1991) und eine hohe Selektionsintensität zu realisieren ist. Die Fallzahl kann bereits an S1-Linien selektiert werden, die Korrelation zur Hybridleistung ist ausreichend hoch. Das einzige Problem kann eine mangelnde genotypische Differenzierung an einzelnen Orten aufgrund sehr starken Auswuchsdruckes (Fallzahl 62-100) bzw. sehr günstiger Witterung (Fallzahl  $>280$ ) sein. Beim Selektionsgewinn für den Zuchtzielkomplex sollen neben dem Zielmerkmal für die Qualität auch die anderen Merkmale gewertet werden. Bei Backroggen sind dies beispielsweise Kornertrag, Standfestigkeit, TKM, Krankheitsresistenzen.

Das entscheidende Zuchtziel für die Fütterung ist eine geringe Viskosität. Für deren Messung gibt es nur wenige, aufwändige Standardverfahren. Nach polnischen Studien ist die genetische Variation im Zuchtmaterial hoch (BOROS 2007, MADEJ et al. 1990), die Heritabilität liegt bei 0,73, die Selektionsintensität ist aber nur gering, über die Korrelation Linien-/Hybridleistung liegen keine Daten vor. Ähnliches gilt für den Proteingehalt, der allerdings über NIRS in sehr hoher Selektionsintensität zu erfassen ist. Da die Zuchtziele für Futterroggen denen für Backqualität widersprechen, gibt es derzeit in Deutschland keine eigenen Zuchtprogramme für Futterqualität, obwohl rund 60% der jährlichen Roggenernte in den Futtertrog gehen. Wenn in Zukunft eine Kalibration für Viskosität bzw. wasserlöslichem Pentosangehalt vorliegt, könnte eine NIRS-Messung zu einem Umdenken führen.

Die Bestimmung des Stärkegehalts für Ethanolroggen ist einfach und schnell mit NIRS anhand von gemahlten Ernteproben möglich. Voraussetzung ist natürlich das Vorliegen einer ausreichend fundierten Kalibration. Der Stärkegehalt hat eine signifikante genotypische Komponente, die Spannweite bei Experimentalhybriden ist mit rund 3% aber eingeschränkt, die Heritabilität ist hoch ( $h^2=0,81-0,90$ ; RODE 2008). Da auch TKM bzw. Hektolitergewicht einfach mit

**Tabelle 3: Parameter des erwarteten Selektionsgewinns für die wichtigsten Zielmerkmale des jeweiligen Verwendungszweckes**  
**Table 3: Parameters of the expected gain from selection for the most important target traits for baking, feeding, ethanol, and biogas production**

Parameter	Backen	Fütterung	Ethanol	Biogas
Zielmerkmal(e)	Fallzahl	Viskosität/Proteingehalt	Stärkegehalt	Trockenmasse/ha
Genetische Variation	sehr hoch	hoch/gering	mäßig	hoch
Heritabilität	hoch	mäßig-hoch	hoch	mäßig
Selektionsintensität	hoch	gering/sehr hoch	sehr hoch	mäßig
Korrelation Linien/Hybride	hoch	?	?	keine
Erwarteter Selektionsgewinn				
- Zielmerkmal	sehr hoch	mäßig	hoch	mäßig
- Zuchtzielkomplex	mäßig	gering	hoch	sehr hoch

hohen Heritabilitäten zu bestimmen sind, sollte der erwartete Selektionsgewinn für den gesamten Zuchtzielkomplex von Ethanolroggen hoch sein.

Der erwartete Selektionsgewinn für die Züchtung von GPS-Roggen zur Biogasverwertung lässt für die Trockenmasse je Hektar auf den ersten Blick keine gute Prognose erwarten. Dies liegt vor allem an der mäßigen Heritabilität der Merkmalerfassung, die oft noch unter der des Kornertrages liegt, und der geringen Selektionsintensität, da zusätzliche mehrortige Leistungsprüfungen zu einem früheren Termin als bei der Kornernte erforderlich sind. Anhand der Linieneigenleistung ist eine Vorselektion nicht möglich. Betrachtet man jedoch den gesamten Zuchtzielkomplex, so sind bei der Züchtung von Roggen als Substrat zur Biogasproduktion im Vergleich zum Backroggen höhere Selektionsgewinne zu erwarten, was sich im wesentlichen aus der vergleichsweise geringen Anzahl von zu bearbeitenden Merkmalen ergibt. Wegen des frühen Schnitzeitpunktes spielen Krankheiten kaum eine Rolle und die Standfestigkeit wird weniger stark gefordert als dies bei der Körnernutzung der Fall ist. Da durch die lange Verweildauer im Biogasreaktor alle Pflanzenbestandteile einschließlich der schwerverdaulichen Ligninanteile (ca. 4,5%) umgesetzt werden, ist bei einer Ernte zur späten Milchreife eine spezielle Selektion auf Methanausbeute nicht erforderlich (HÜBNER et al. 2011). Die genotypischen Trockenmasseunterschiede von sieben Hybriden betragen bei der GPS-Prüfung 2009 und 2010 des Bundessortenamtes über 21 Umwelten 16,1 dt.ha<sup>-1</sup>. Die

beste Hybride war in diesem Versuch der besten Population um 8% und der besten Triticalesorte um 5% überlegen.

### Qualität und Sorten

Obwohl bisher die züchterische Selektion ausschließlich auf Backqualität erfolgte, findet sich in der Beschreibenden Sortenliste (BSL 2010) für alle qualitätsrelevanten Merkmale eine große Variation (Abbildung 2). Die Spannweite ist bei Hybridsorten in der Regel größer als bei Populationssorten. Deutliche Vorteile der Hybridsorten zeigen sich beim Kornertrag und in geringerem Umfang beim Trockenmasseertrag sowie bei der Tausendkornmasse (TKM). Beim Proteingehalt und bei der Anfälligkeit für Mutterkorn zeigen Populationssorten im Durchschnitt eine bessere Leistung. Dank der Einkreuzung eines exotischen Restorergens gibt es inzwischen aber auch mehrere Hybridsorten, die bezüglich Mutterkorn eine genauso geringe Ausprägungsstufe aufweisen wie die besten Populationssorten.

### Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Roggen hat klare Ertragsvorteile gegenüber Triticale und Weizen auf nährstoffarmen, grundwasserfernen Böden mit schlechter Niederschlagsversorgung. Etwa 60% des Roggenanbaus findet auf solchen Gebieten in Ostdeutschland und Niedersachsen statt und die Landwirte haben dort kaum Alternativen. Andererseits ist der Roggenmarkt begrenzt und unterliegt den Marktverhältnissen, die durch Weizen und Gerste maßgeblich bestimmt werden. In der Konsequenz kommt es daher je nach Angebot zu starken Preisschwankungen, hohe Lagerbestände drücken die Preise. Hier können Qualitätsansprüche einen Vorteil bieten, wenn sie optimal erfüllt werden.

Wegen der höheren Preise strebt der Landwirt in der Regel die Produktion von Backroggen an. Dabei kommt es in erster Linie darauf an, hohe TKM bzw. Hektolitergewichte und Fallzahlen über 120 Sekunden zu liefern. Der Verbrauch an Backroggen stagniert seit Jahrzehnten, es werden in Deutschland rund 900000 Tonnen benötigt. In Jahren mit starker Auswuchsneigung sind entsprechend enzymarme Qualitäten gefragt und führen zu höheren Preisen, Partien mit hoher Auswuchsneigung können dann nur noch im eigenen Betrieb verfüttert oder als Ethanolgetreide verwendet werden.

Der Proteingehalt, der bei Roggen insgesamt recht niedrig liegt, sollte für Ethanolgetreide möglichst gering und für Futtergetreide möglichst hoch sein. Für beide Einsatzgebiete wird eine niedrige Viskosität, und damit ein niedriger Pentosengehalt, gefordert. Dies widerspricht dem Einsatz als Backroggen. Für keines dieser drei Einsatzgebiete darf der angelieferte Roggen Mutterkorn oder Fusariumtoxine über den Grenz- bzw. Richtwert hinaus enthalten.

Die Verwendung als Substrat für die Biogasgewinnung unterliegt weniger stringenten Qualitätskriterien. Zielmerkmal für den Landwirt ist der Methanertrag je Flächeneinheit. Nach heutigem Stand der Kenntnis gibt es keine nutzbaren genotypischen Unterschiede zwischen Elitematerial für spezifischen Methanertrag, die

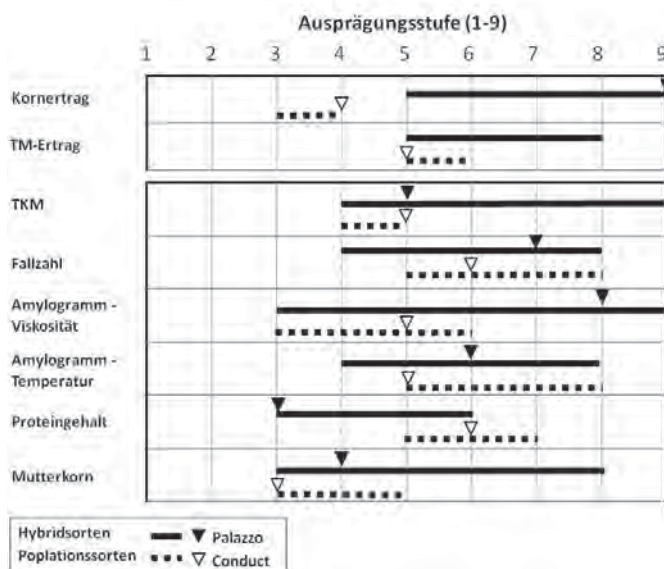


Abbildung 2: Spannweite wichtiger Qualitätsmerkmale von 19 Hybrid- und 9 Populationssorten (ohne Synthetische Sorten) und Leistung der Hybrid- (Palazzo) bzw. Populationssorte (Conduct) mit der größten Vermehrungsfläche (BSL 2010)

Figure 2: Range of important quality traits (grain yield, dry matter yield, 1000 grain mass, falling number, amylograph viscosity and temperature, protein content, ergot) of 19 hybrid and 9 population cultivars (without synthetic cultivars) and performance of the hybrid (Palazzo) or population cultivar (Conduct) with the largest multiplication area (BSL 2010)

Unterschiede im Methanertrag je Flächeneinheit beruhen auf dem Trockenmasseertrag. Mutterkornalkaloide und Fusariumtoxine unterliegen ebenfalls dem Abbau im Fermenter, sie sind in den Reststoffen nicht mehr nachweisbar. Die energetische Verwertung ist eine wichtige Alternative in Regionen, die aufgrund ihrer leichten Böden auf Roggenanbau angewiesen sind.

## Literatur

- AHLEMEYER J, FRIEDT W, 2011: Entwicklung der Weizenträge in Deutschland - Welchen Anteil hat der Zuchtfortschritt? Bericht über die 61. Tagung 2010 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 19-23. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding.
- AMON T, KRYVORUCHKO V, AMON B, ZOLLITSCH W, MAYER K, BUGA S, AMID A, 2004: Biogaserzeugung aus Mais - Einfluss der Inhaltsstoffe auf das spezifische Methanbildungsvermögen von früh- bis spätreifen Maissorten. Bericht über die 54. Tagung 2003 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 1-10. BAL Gumpenstein, Irnding.
- BOROS D, 2007: Quality aspects of rye for feed purposes. Vorträge für Pflanzenzüchtung 71, 80-85.
- BSL, 2010: Beschreibende Sortenliste - Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. Bundessortenamt, Hannover.
- DESTATIS, 2010: Bodennutzung und Ernte. Feldfrüchte - Anbauflächen, Hektarerträge und Erntemengen. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. [Available online: <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/LandForstwirtschaft/Ernte/Tabellen/Content75/FeldfruechteAnbauflaechenErntemengen,templateId=renderPrint.psm1>; accessed 13 Dec 2010]
- FAOSTAT, 2010: Production. Crops. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome. [Available online: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>; accessed 13 Dec 2010]
- HÜBNER M, OECHSNER H, KOCH S, SEGGL A, HRENN H, SCHMIEDCHEN B, WILDE P, MIEDANER T, 2011: Impact of genotype, harvest time and chemical composition on the methane yield of winter rye used for biogas production, Biomass and Bioenergy, in review.
- MADEJ L, RACZYNSKA-BOJANOWSKA K, RYBKA K, 1990: Variability of the content of soluble non-digestible polysaccharides in rye inbred lines. Plant Breeding 104, 334-339.
- MIEDANER T, 2007: Roggenzüchtung. In: Roggenforum e.V. (Hrsg.), Roggen - Getreide mit Zukunft!, 27-51. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- MIEDANER T, HÜBNER M, KOCH S, SEGGL A, WILDE P, 2010: Biomass yield of self-incompatible germplasm resources and their testcrosses in winter rye. Plant Breeding 129, 369-75.
- RODE J, 2008: Züchtung von Industrieroggen zur Bioethanolgewinnung. Dissertation, Universität Halle-Wittenberg.
- ROSENBERGER A, KAUL HP, SENN T, AUFHAMMER W, 2000: Optimierung der Produktion von Wintergetreide zur Bioethanolherstellung durch unterschiedlich intensive Anbauverfahren. J. Agron. Crop Sci. 185, 55-65.
- RYE BELT, 2010: Der Roggenmarkt. KWS Lochow, Bergen. [Available online: <http://www.ryebelt.de/de/startseite/roggen/markt.html>; accessed 13 Dec 2010]
- WEHMANN F, GEIGER HH, LOOCK A, 1991: Quantitative-genetic basis of sprouting resistance in rye. Plant Breeding 106, 196-203.
- WEIPERT D, 1983: Brotroggen - Qualität und Beurteilung. Mühle+ Mischfuttertechnik 39, 517-521.
- WEIPERT D, BRÜMMER JM, 1988: Untersuchung von Roggen und Roggenmahlerzeugnissen. In: Seibel W, Steller W (Hrsg.), Roggen. Anbau Verarbeitung Markt, 85-118. Behr's Verlag, Hamburg.





# Züchtungsfortschritt in der Malzqualität von Winterbraugerste

## Progress in the malting quality of winter barley caused by breeding

Markus Herz<sup>1\*</sup>

### Abstract

To assess the progress in malting quality of winter barley results of field trials from the last 20 (two rowed barley) and 10 years (six rowed barley), respectively, were analysed. The trials were performed by German plant breeders, coordinated by the Bavarian State Research Centre for Agriculture (LfL). Every year at ten locations about 10-12 varieties and breeding lines were grown, the grains were subjected to micromalting and malt analysis at the laboratory of the LfL. The results show a clear progress in the proteolytic parameters as well as in cytolytic characters of winter barley. Recent varieties have a quality level very close to modern spring barley varieties. The only parameter which still is below the requirements for good malting barley is the malt extract content. In the six rowed types the cytolytic parameters have still to be improved because they do not reach the level which is necessary for the acceptance by the processing industry. The strong improvement of quality during a short range of time shows that further improvement of quality in winter barley will be possible, especially using the innovations which have been made to select for good malting quality on the molecular level.

### Key words

Breeding progress, *Hordeum vulgare*, malt quality, quality improvement

### Einleitung

Seit den Anfängen der Wintergerstenzüchtung stellten sich die Züchter immer wieder die Frage, ob Wintergerste die Malzqualität der Sommergerste erreichen kann und ebenfalls in größerem Umfang für die Malzherstellung genutzt werden könnte. Aufgrund der besseren Kornqualität wurde in Deutschland bevorzugt die zweizeilige Wintergerste als Braugerste entwickelt. Erste analytische Beurteilungen von Winterbraugerste seitens der Brauer und Mälzer lagen im Jahr 1932 vor (AUFHAMMER und REINER 1965). Zu dieser Zeit lag die Malzqualität der Wintergerste noch deutlich unter dem Niveau der Sommergerste. Die Anstrengungen der Züchter mit Unterstützung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) bzw. deren Vorgängerinstitutionen Landesamt für Landwirtschaft und Pflanzenbau führten jedoch zu einigen

interessanten Zuchtstämmen, die als Eltern zum Erfolg von bekannten Winterbraugerstensorten wie Kaskade, Pamir, Astrid, Angora, Labea und Trasco beitrugen. Einige dieser Sorten finden sich auch in den Stammbäumen der aktuellen Winterbraugerstensorten Malwinta und Wintmalt. Innerhalb relativ kurzer Zeit ist es gelungen, die Malzqualität von zweizeiliger Wintergerste annähernd auf das Niveau der Sommergerste anzuheben.

In Landessortenversuchen wird die Malzqualität der Wintergerste nicht untersucht, in der Regel werden diese Versuche ertragsbetont gedüngt, so dass keine optimale Malzqualität erzielt werden würde. Seit wenigen Jahren gibt es als Anhang zu Landessortenversuchen einzelne Feldversuche zur Beurteilung der Malzqualität und auch das deutsche Bundessortenamt prüft seit Kurzem neue Wintergerstensorten auf ihre Braueignung. Langjährige Versuchsergebnisse, die eine Beurteilung der Qualitätsentwicklung und des Züchtungsfortschritts bei Winterbraugerste erlauben stehen jedoch nur sehr wenige zur Verfügung. In Zusammenarbeit mit Pflanzenzüchtern koordiniert die LfL seit ca. 30 Jahren einen Versuch für die Qualitätsbeurteilung von Wintergerste an mehreren Standorten in Deutschland. Anhand dieser Versuche soll der Züchtungsfortschritt in der Malzqualität von Wintergerste beschrieben werden.

### Material und Methoden

#### *Pflanzenmaterial*

In den Versuchen werden aktuelle Sorten als Standards sowie fortgeschrittenes Zuchtmaterial der beteiligten Pflanzenzuchtunternehmen geprüft. In der Regel stehen 10 bis 12 Sorten bzw. Zuchtstämmen im Versuch. Die Ergebnisse dieser Braueignungsprüfung werden jährlich im Braugerstenjahrbuch veröffentlicht (HERZ et al. 2010)

#### *Feldversuche*

Diejenigen Züchter, die Zuchtmaterial im Versuch prüfen, stellen einen Prüfstandort zur Verfügung. In jedem Jahr werden die Versuche an ca. 10 Standorten durchgeführt. Nach der Untersuchung des Rohproteingehaltes von Referenzsorten werden die Standorte ausgewählt, von denen am Erntegut die Qualitätsuntersuchungen durchgeführt werden. Die Sorten werden in 5,5-10 m<sup>2</sup> Parzellen in zwei Wiederholungen angebaut. Pflanzenschutz wird entsprechend

<sup>1</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Arbeitsgruppe Züchtungsforschung Winter- und Sommergerste, Am Gereuth 6, D-85354 FREISING

\* Ansprechpartner: Markus HERZ, markus.herz@LfL.bayern.de

ortsüblicher Gegebenheiten durchgeführt, die N-Düngung wird reduziert um den Ansprüchen an die Malzqualität Rechnung zu tragen.

### Qualitätsanalysen

Kleinvermahlung und Malzanalysen wurden in der Kleinmälzungsanlage der LfL, Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen durchgeführt. Es wurden Mischproben aus beiden Wiederholungen untersucht. Die Untersuchungen erfolgten Gemäß den Einheitsvorgaben der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission (MEBAK 2006).

### Auswertung und Datenanalyse

Da sich im Laufe der Zeit die Methoden zur Malzanalyse leicht geändert haben, erschien es sinnvoll bezüglich des Zuchtfortschrittes nur die Ergebnisse aus den letzten 20

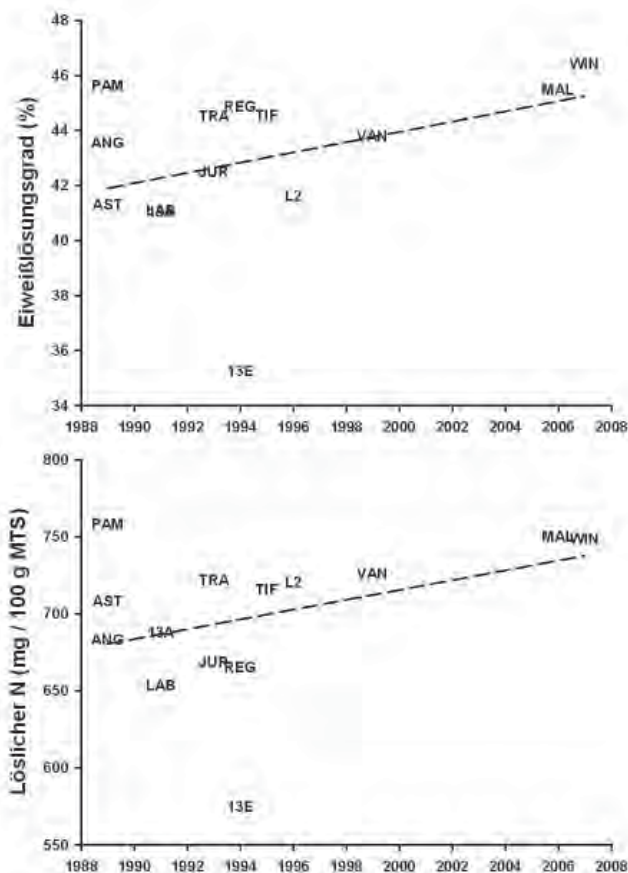


Abbildung 1: Entwicklung des Eiweißlösungsgrades und des Gehaltes an löslichem N in zweizeiliger Wintergerste. Sorten und Zuchtstämme sind nach dem Jahr der ersten Prüfung datiert: 13A, 15423/1493/13A; 13E, 15423/1493/13E; ANG, Angora; AST, Astrid; JUR, BR1752/A63 (Jura); L2, 18646/2039/2; LAB, Labea; MAL, Malwinta; PAM, Pamir; REG, BR1752/D7 (Regina); TIF, Tiffany; TRA, Trasco; VAN, Vanessa; WIN, Wintmalt (Quelle: LfL, IPZ 2b, AQU 4: BEP 2zlg 1989-2009;164 Versuche)

Figure 1: Development of the Kolbachindex (top) and the content of soluble N (bottom) in two rowed winter barley. Varieties and breeding lines by their first occurrence in the trials

## Ergebnisse

### Proteolytische Parameter der zweizeiligen Winterbraugerste

Die proteolytischen Parameter beschreiben den Abbau und den Umsatz der Eiweißstoffe im Gerstenkorn. Neben dem Rohproteingehalt sind der Eiweißlösungsgrad und der Gehalt an löslichem Stickstoff die wichtigsten Merkmale. Der lösliche Stickstoff beeinflusst die Bierqualität und den technischen Ablauf im Brauprozess. Der Eiweißlösungsgrad liegt im optimalen Fall bei 42%, und erbringt eine Menge zwischen 600-700 mg lösl. N:100 g<sup>-1</sup> MTS. *Abbildung 1* zeigt die Tendenz einer Zunahme des Eiweißlösungsgrades durch den Zuchtfortschritt in den letzten 20 Jahren. Bereits 1988 zeigen einzelne Sorten (z. B. Pamir) sehr hohe Eiweißlösungsgrade, jedoch weisen diese Sorten meist in anderen Qualitätsparametern Mängel auf, was ihre Nutzung als Braugerste einschränkt. Auch für den löslichen Stickstoff zeigt sich eine Zunahme im Zeitraum von 1988 bis 2009. Durch die Abhängigkeit des Gehaltes an löslichem Stickstoff vom Rohproteingehalt und Eiweißlösung liegen die selben älteren Sorten auf höherem Niveau wie beim Eiweißlösungsgrad.

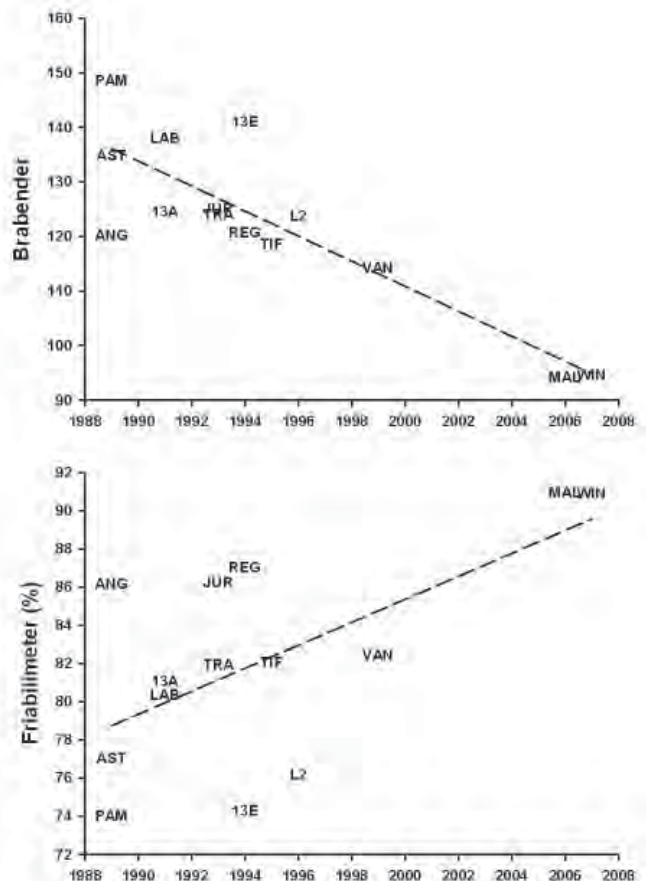


Abbildung 2: Entwicklung des Brabenderwertes und des Friabilimeterwertes zweizeiliger Wintergerste. Abkürzungen der Sorten und Zuchtstämme siehe *Abbildung 1*.

Figure 2: Development of Brabender (top) and friabilimeter (bottom) values of two rowed winter barley. Abbreviations of genotypes see *Figure 1*.

### Cytolytische Parameter der zweizeiligen Winterbraugerste

Die cytolytischen Parameter beschreiben den Abbau der Zellen und die Umsetzung von Stärke in Zucker. Die wichtigsten Parameter des Zellwandabbaus sind Brabender, Friabilimeter, Viskosität und Extraktgehalt. Aus der Vielfalt der Methoden zur Darstellung der cytolytischen Abbauvorgänge im Korn wird der Brabender-Härteprüfer eingesetzt. Der Brabender-Härteprüfer misst die Energie, die zum Zerkleinern von Grobschrot erforderlich ist. Dieser Wert ist auch gut mit dem Extraktgehalt korreliert. Werte unter 120 kennzeichnen eine gute Braugerste. Das Friabilimeter bewertet ebenfalls die Malzmürbigkeit. Der ermittelte Wert lässt Rückschlüsse auf die Läuterarbeit im Sudhaus und die Filtrierbarkeit des Bieres zu. Vor allem weist diese Analyse, im Gegensatz zum Brabender, auch auf die Homogenität einer Malzprobe hin. Bei guten Braugersten sollte dieser Wert über 90% liegen.

Die Viskosität der Kongresswürze deutet ebenfalls auf die enzymatische Lösung des Malzes hin und kennzeichnet vorrangig die cytolytische Lösung. Die Aussage umfasst den Abbau der Hemicellulosen und Gummikörper zu niedermolekularen Verbindungen. Werte unter 1,53mPa\*s kennzeichnen eine gute Cytolyse.

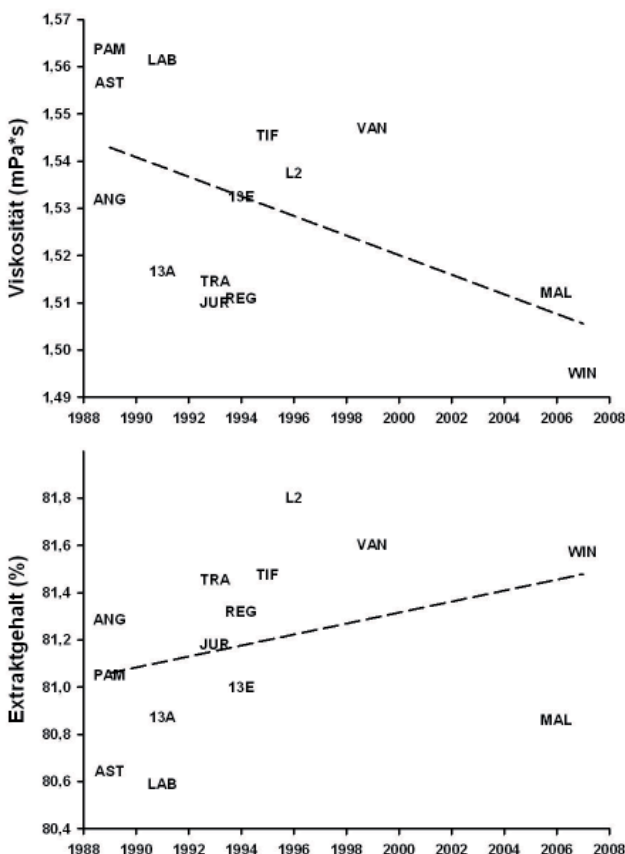


Abbildung 3: Entwicklung der Viskosität und des Extraktgehaltes zweizeiliger Wintergerste. Abkürzungen der Sorten und Zuchtstämme siehe Abbildung 1.

Figure 3: Development of viscosity (top) and malt extract (bottom) in two rowed winter barley. Abbreviations of genotypes see Figure 1.

Die Extraktergiebigkeit des Malzes, ist eines der wichtigsten Untersuchungsmerkmale. Sie umfasst die Summe aller Bestandteile, die beim Maischen in Lösung gegangen sind. Eine gute Braugerste sollte einen Extraktgehalt von mindestens 82% haben. Die Abbildungen 2 und 3 illustrieren die deutliche Verbesserung der Cytolyse in der zweizeiligen Wintergerste durch die Züchtung. Es fällt auf, dass die älteren Sorten, welche in der Cytolyse schlechter abschneiden diejenigen sind, die bei den proteolytischen Merkmalen deutlich nach oben vom Trend abweichen. Allein beim Extraktgehalt liegen auch die modernen Sorten noch unter dem erwünschten Niveau von 82%.

### Proteolytische Parameter der sechszeiligen Winterbraugerste

Sechszeilige Wintergerste mit Malzqualität wird insbesondere in Frankreich angebaut und verarbeitet. Aufgrund der geringen Anzahl von Sorten und Zuchtstämmen kann hier nur die Betrachtung der letzten zehn Jahre einen Eindruck

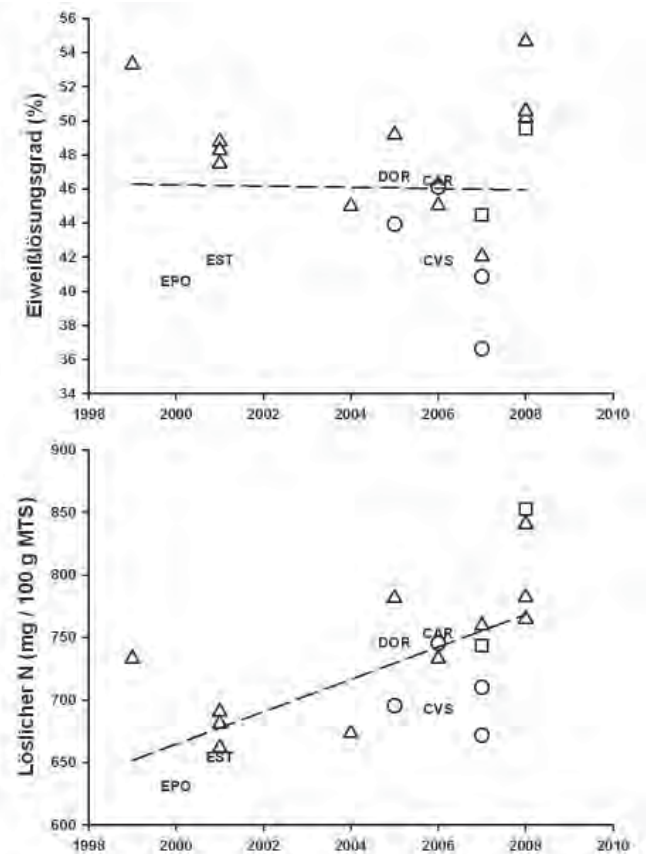


Abbildung 4: Entwicklung des Eiweißlösungsgrades und des Gehaltes an löslichem N in sechszeiliger Wintergerste. Sorten (CAR, Cartel; CVS, Cervoise; DOR, Dorothea; EPO, Epona; EST, Esterel) und Zuchtstämme (Dreiecke: IPZ Stämme; Quadrate: Secobra Stämme; Kreise: andere Stämme) sind nach dem Jahr der ersten Prüfung datiert (Quelle: LfL, IPZ 2b, AQU 4: BEP 6zlg 1998-2009;59 Versuche)

Figure 4: Development of the Kolbachindex (top) and the content of soluble N (bottom) in six rowed winter barley. Varieties (abbreviations see above) and breeding lines (triangles, squares and crosses) by their first occurrence in the trials

von der züchterischen Verbesserung geben. In den Jahren 1998 bis 2009 zeichnet sich keine Tendenz einer Verbesserung der Eiweißlösungsgrades bei der sechszeiligen Wintergerste ab (Abbildung 4). Unter den geprüften Zuchtstämmen und Sorten halten sich solche mit hohen Werten die Waage mit Genotypen mit niedrigen Eiweißlösungsgraden. Insgesamt liegen die Werte jedoch auf hohem bis sehr hohem Niveau. Etablierte französische Sorten ordnen sich in dem erwünschten Bereich zwischen 40 und 45% ein. Der Gehalt an löslichen Stickstoff verzeichnet einen deutlichen Anstieg während des zehnjährigen Betrachtungszeitraumes. Dieser Parameter hat sich durch den Zuchtfortschritt deutlich verbessert. Die bekannten französischen Sorten liegen in dem für Braugerste angestrebten Bereich, aber auch neuere Zuchtstämmen zeigen verbesserte Gehalte an löslichem Stickstoff.

### Cytolytische Parameter der sechszeiligen Winterbraugerste

Wie auch bei der zweizeiligen Wintergerste zeigt sich in den cytolytischen Merkmalen insgesamt eine deutliche Verbesserung durch den Zuchtfortschritt (Abbildungen 5 und 6). In der kurzen Zeit von nur zehn Jahren erreichte die Mehrzahl

der Sorten bzw. Zuchtstämmen einen Brabenderwert, der bereits im Bereich der Sommerbraugerste liegt. Auch der Friabilimeter konnte in der sechszeiligen Wintergerste verbessert werden, erreicht jedoch noch nicht die guten Werte der zweizeiligen Wintergerste. Auch beim Friabilimeter zeigen einzelne Genotypen immer wieder starke Abweichungen von der Trendgeraden nach oben oder unten. Die Viskosität als Merkmal für den Zellwandabbau hat sich bei der sechszeiligen Wintergerste ebenfalls deutlich nach unten verbessert, dennoch kann kein Genotyp die 1,50 mPa\*s unterschreiten, wie es bei der zweizeiligen Wintergerste bereits der Fall ist. Der Extraktgehalt als Summenparameter für die Malzqualität verzeichnet ebenfalls eine züchtungsbedingt Zunahme. Die Schwankungen zwischen den Genotypen sind jedoch hier ebenfalls besonders groß. Auch die etablierten neueren Sorten erreichen noch nicht die für gute Braugerste angestrebten 82%, aktuelle Zuchtstämmen überschreiten jedoch bereits 81% Extraktgehalt.

### Ertragsfortschritt

Betrachtet man den Züchtungsfortschritt im Ertrag der zweizeiligen Wintergerste seit 1970 (Abbildung 7) fällt auf, dass die Winterbraugerstensorten zwar dem Trend der Ertragsver-

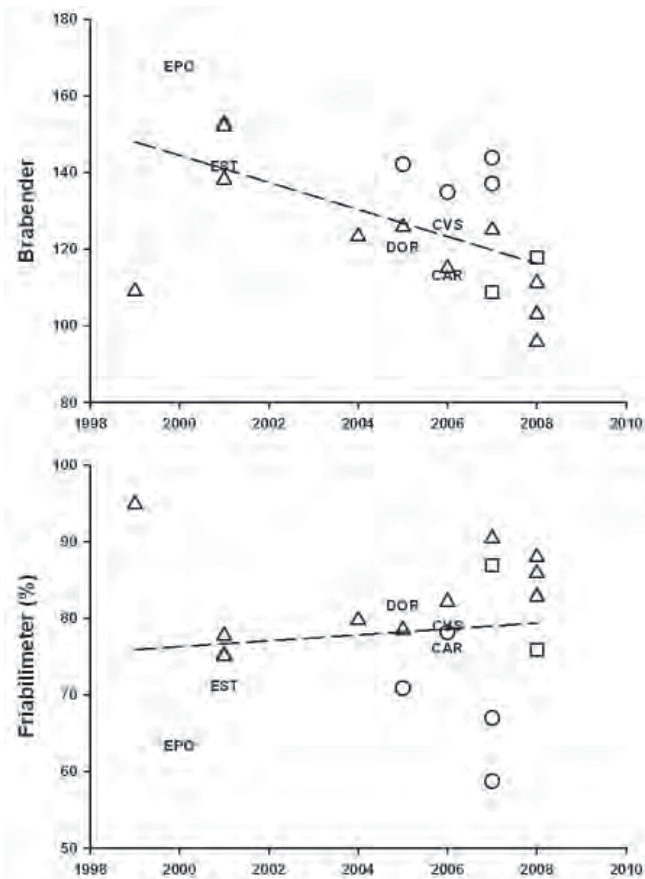


Abbildung 5: Entwicklung des Brabenderwertes und des Friabilimeterwertes sechszeiliger Wintergerste. Abkürzungen der Sorten und Zuchtstämmen siehe Abbildung 4.

Figure 5: Development of Brabender (top) and friabilimeter (bottom) values of six rowed winter barley. Abbreviations of genotypes see Figure 4.

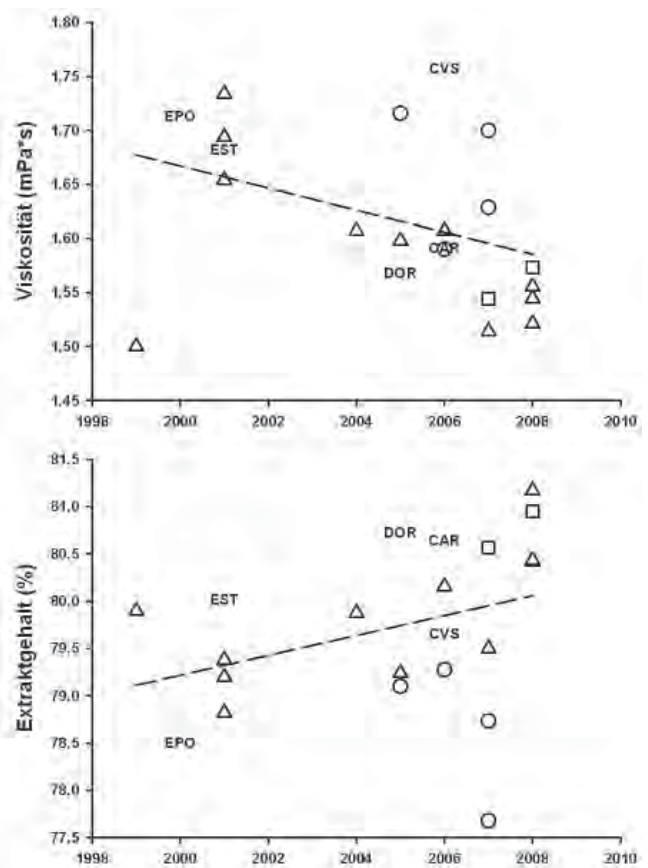


Abbildung 6: Entwicklung der Viskosität und des Extraktgehaltes sechszeiliger Wintergerste. Abkürzungen der Sorten und Zuchtstämmen siehe Abbildung 4.

Figure 6: Development of viscosity (top) and malt extract (bottom) in six rowed winter barley. Abbreviations of genotypes see Figure 4.

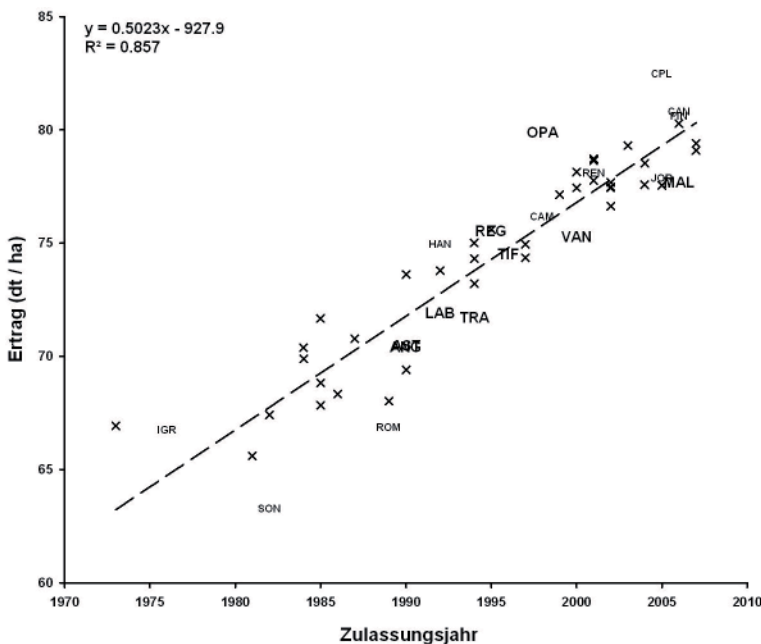


Abbildung 7: Ertragsfortschritt der zweizeiligen Wintergerste. Braugersten (groß gedruckt): ANG, Angora; AST, Astrid; LAB, Labea; MAL, Malwinta; OPA, Opal; REG, Regina; TIF, Tiffany; TRA, Trasco; VAN, Vanessa; Futtergersten (Kreuze bzw. klein gedruckt): CAM, Camera; CAN, Cantare; CPL, Campanile; FIN, Finesse; HAN, Hanna; IGR, Igri; JOR, Jorinde; REN, Reni; ROM, Romanze; SON, Sonate (Quelle: LSV Bayern, L. Hartl, LfL, IPZ 2c)

Figure 7: Development of yield in two rowed winter barley. Malting barley varieties are printed in bigger font, feeding barley varieties are indicated by crosses or printed in small font (abbreviations see above) (Source: Bavarian official trials, L. Hartl, LfL, IPZ 2c)

besserung folgen, jedoch zumeist im Ertragsniveau hinter den Futtergerstensorten zurückbleiben. Dies deutet an, dass auch bei der Winterbraugerste das Zuchtziel Malzqualität nur auf Kosten des Ertrages verfolgt werden kann.

## Diskussion

Die Untersuchungen der Versuche aus den letzten 20 bzw. zehn Jahren zeigen, dass insbesondere die zweizeilige Wintergerste bereits ein sehr hohes Qualitätsniveau erreicht hat. Schwächen bestehen noch im Malzextraktgehalt, der hinter dem der Sommerbraugerste zurückbleibt.

Trotz aller Anstrengungen ist es bislang nicht gelungen eine breite Akzeptanz der Wintergerste als Braugerste bei den Verarbeitern zu schaffen. Das Interesse an der Verwendung von Winterbraugerste nimmt regelmäßig dann zu, wenn die Versorgung mit Sommergerste knapp wird.

Der große Zuchtfortschritt bei der Verbesserung der Malzqualität von Wintergerste belegt, dass in Zukunft eine weitere enge Annäherung an das Qualitätsniveau guter

Sommergersten möglich sein wird. Durch die geringe Nachfrage nach Winterbraugerste halten sich allerdings die Anstrengungen der privaten Pflanzzüchtung zur Entwicklung von Winterbraugerste in Grenzen. Die Abstammungen der Winterbraugersten zeigen, dass die Qualität im Wesentlichen durch die Einkreuzung von Sommergerste in die Wintergerste übertragen wurde. Eine strenge Selektion auf Qualität hat ebenfalls zur Verbesserung der Malzqualität beigetragen. Eine weitere Verbesserung der Qualität könnte durch die Einkreuzung von aktuellen Sommergerstensorten und gezielter Nutzung einzelner positiver Eigenschaften aus Sommergerste in Verbindung mit gezielter Qualitätsselektion erreicht werden. Durch die zunehmende Verfügbarkeit von molekularen Markern für Malzqualität (z.B. MATHIES et al. 2009) kann in solchen Kreuzungen gezielt auf die positiven Allele der Sommergerste selektiert werden.

## Danksagung

Der Autor bedankt sich bei allen Pflanzzüchtunternehmen, die sich an der Versuchsdurchführung der Braueignungsprüfung beteiligen, bei den Mitarbeitern der Arbeitsgruppen Züchtungsforschung Winter- und Sommergerste sowie Produktionstechnik Getreide am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der LfL und dem Sachgebiet Rohstoffqualität pflanzlicher Produkte der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen der LfL für die Bereitstellung von Ergebnissen.

## Literatur

- AUFHAMMER G, REINER L, 1965: Geheimrat Prof. Dr. Carl Kraus der Begründer der bayerischen Braugerstenzüchtung. Brauwissenschaft 18, 378-381.
- HERZ M, NICKL U, HUBER L, HENKELMANN G, 2010: Ertragsleistung, Korn- und Malzqualität der 2-zeiligen Wintergerste 2008. Braugerstenjahrbuch 2010. Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Qualitätsgerstenbaues im Bundesgebiet e.V. (Braugersten-Gemeinschaft), München.
- HERZ M, NICKL U, HUBER L, HENKELMANN G, 2010: Ertragsleistung, Korn- und Malzqualität der 6-zeiligen Wintergerste 2008. Braugerstenjahrbuch 2010; Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Qualitätsgerstenbaues im Bundesgebiet e.V. (Braugersten-Gemeinschaft), München.
- MATTHIES IE, WEISE S, RÖDER MS, 2009: Association of haplotype diversity in the  $\alpha$ -amylase gene amy1 with malting quality parameters in barley. Mol. Breed. 23, 139-152.
- MEBAK, 2006: Methodensammlung, Bd 1: Rohstoffe. Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission MEBAK e.V., Freising-Weihenstephan.



## Züchtung auf Ertrag und Qualität bei Hafer (*Avena sativa* L.) - Entwicklung und Perspektiven

### Breeding for yield and quality in oats (*Avena sativa* L.) - development and perspectives

Steffen Beuch<sup>1\*</sup>

#### Abstract

Oats have been decreased dramatically in cultivation world-wide over the last 50 years. The grain yield of oats often has been increased during the same period but there were remarkable differences country by country and region by region. Presently in Europe oat cropping is dominated by elder varieties. Furthermore, regional preferences of the growers widen the necessary range of varieties. There is clear scientific evidence that in spring oats location and year have the highest impact for yield beneath all cereals. Consequently, extensive well-balanced official national trial systems are required to release the best adapted oat varieties. In Germany the grain yield of spring oats in the VCU trials over the last 25 years have been increased annually by 0.56 dt.ha<sup>-1</sup> but only by 0.14 dt.ha<sup>-1</sup> in farming. In spite of stagnating grain yields in the German VCU trials and a strong decreased number of oat breeders since the mid 1990s a genetic increase of the grain yield of 0.8 % per year still has been reached between 1995 and 2009. Parallel a lot of oat grain quality traits have been influenced positively. Today oat breeding at Nordsaat is focussed to the whole area of Europe. Bulking for day length insensitivity is an important instrument in this concept but requires local adaptation. The prognosticated climate change will cause further pressure on oat cropping. It can be a chance too if in the future a longer growing season is used for creating higher and more stable yields and better grain quality.

#### Keywords

*Avena sativa*, breeding progress, climate change, cultivation, variety testing

#### Einleitung

Hafer (*Avena sativa* L.) gehörte ursprünglich zu den bedeutendsten Kulturen in der landwirtschaftlichen Anbaupraxis Europas. So war Hafer mit über 4 Mio. ha um 1900 im Deutschen Reich im Anbau nach Roggen das am weitesten verbreitete Getreide. Die zunehmende Mechanisierung der Landwirtschaft und die damit verbundene starke Reduzierung des Bedarfs an Leistungsfutter für Zugpferde sorgten

jedoch neben aufkommenden ökonomisch attraktiveren Anbaualternativen wie Winterraps und verstärktem chemischen Pflanzenschutz für eine Verdrängung des Hafers aus den Fruchtfolgen (FUNKE 2008). Auch weltweit gesehen haben sich die Anbauflächen meist mehr oder weniger verringert, obwohl seit 1961 ein Teil des Flächenrückgangs durch gestiegene Kornerträge kompensiert oder sogar überkompensiert wurde (*Tabelle 1*). Mit einem weniger starken Anbaurückgang war dabei in exportorientierten Ländern wie Kanada, Finnland und Australien häufig ein vergleichsweise stärkerer Ertragsanstieg zu beobachten. In Hafer importierenden Ländern wie den USA und Deutschland verringerten sich dagegen die Anbauflächen sehr deutlich, ohne dass eine volle Kompensation über Ertragsanstiege erfolgte.

Die besten Bedingungen für die Haferproduktion scheinen bei Winteranbau in Westeuropa vorzuliegen, dort war der Ertragsanstieg in den letzten Jahren auch am größten. Die weltweit höchsten Hafererträge werden in Irland und Großbritannien erzielt, und obwohl der Anbaurückgang in dieser Region am ausgeprägtesten ist, wird dort heute per Saldo mehr Hafer erzeugt als vor 50 Jahren. Bedenklich ist aber, dass in vielen europäischen Ländern vereinzelt schon seit Mitte der 1980er Jahre der Haferertrag stagniert (Schweden, Norwegen, Frankreich, Großbritannien, Rumänien, Italien) oder in der Tendenz sogar rückläufig ist (Polen, Finnland, Deutschland, Tschechische Republik, Slowakei). Einen wesentlichen Einfluss darauf dürfte der in vielen europäischen Regionen dominierende Anbau älterer Hafersorten haben (*Abbildung 1*). Haferanbauer in Europa sind häufig konservativ, und der Sortenwechsel erfolgt langsamer als bei anderen Kulturen. So kommt es, dass mit Shakun (Russland, Ukraine), Prevision (Spanien, Italien), Barra (Irland), Gerald (Großbritannien) und Belinda (Schweden, Finnland, Norwegen) in wichtigen Haferanbauländern gegenwärtig Sorten führend sind, die zum überwiegenden Teil schon vor 15-20 Jahren oder sogar noch früher gezüchtet wurden.

Hinzu kommt, dass die Anforderungen an Hafersorten in den einzelnen europäischen Regionen sehr unterschiedlich sind. Dazu gehören u.a. Trockentoleranz, die Anpassung an Tageslängen, Winteranbaueignung, der Anbau ohne Wachstumsregler oder die Bevorzugung bestimmter Spelzenfarben, obwohl diese keinen Einfluss auf sonstige innere

<sup>1</sup> Nordsaat Saatzeit GmbH, Zuchtstation Granskevit, Granskevit 3, D-18569 GRANSKEVITZ

\* Ansprechpartner: Steffen BEUCH, nord.granskevit@t-online.de



Tabelle 1: Anbau- und Ertragsentwicklung von Hafer (1961-1963 = 100, Quelle: FAOStat)

Table 1: Cultivation and yield development of oats (1961-1963 = 100, Source: FAOStat)

Region/Country	Cultivation (2006-2008, %)	Yield (2006-2008; %)	Difference yield/cultivation (2006-2008, %)	
Outside Europe	Canada	42	165	+7
	United States of America	6	141	-53
	Australia	71	116	-13
Western Europe	United Kingdom	21	208	+29
	France	8	216	+24
	Ireland	15	272	+87
	Germany	16	156	-28
Northern Europe	Sweden	42	148	-10
	Finland	77	190	+67
	Norway	141	152	+93
Eastern Europe	Czech Republic and Slovakia	17	131	-52
	Poland	34	128	-38
	Romania	111	160	+71
Southern Europe	Spain	93	247	+140
	Italy	37	172	+9
	Turkey	23	185	-2



Abbildung 1: Meistangebaute Hafersorten in Europa 2010 (Jahr der Erstzulassung in Klammern, Quellen: CPVO, Saaten-Union Datenbank SU Scala)

Figure 1: Mostly cropped oat varieties in Europe 2010 (year of 1<sup>st</sup> release in brackets; -Sources: CPVO, Saaten-Union data base SU Scala)

und äußere Parameter der Kornqualität hat. Das erschwert erheblich die Züchtung breit angepasster Hafersorten, zumal die für eine rein privatwirtschaftlich ausgerichtete Hafer-

züchtung in Europa zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel durch starken Nachbau und niedrigere Lizenzen äußerst begrenzt sind (BEUCH 2010).

## Ertrag, GenotypxUmwelt Interaktion und Zulassungsverfahren

Der Kornertrag von Hafer hängt in deutlich stärkerem Maße als bei anderen Getreidearten von Umweltfaktoren wie Ort und Jahr ab (PANAYOTOVA 2004), während der Genotyp im Vergleich dazu weniger von Bedeutung ist. LAIDIG et al. (2008) geben für die amtlichen Zulassungsversuche verschiedener Ackerfrüchte in Deutschland im Zeitraum 1991 bis 2006 Variationskoeffizienten von verschiedenen Parametern und deren Wechselwirkungen an, die Einfluss auf den Kornertrag haben können. Dabei wurde für Hafer die Variabilität der Erträge an den Einzelorten unter allen getesteten Getreidearten am höchsten bewertet. Auch der Jahreseinfluss auf die Kornerträge war bei Hafer zusammen mit Wintergerste am höchsten, wobei aber einschränkend hinzu gefügt wird, dass bei Wintergerste das Ergebnis durch Auswinterungsjahre verzerrt wird. Darauf weist auch der sehr niedrige Variationskoeffizient beim Jahreseinfluss für Winterroggen hin. Auch die Interaktion OrtxJahr war in diesen Berechnungen für Sommergetreide (Sommerweizen, Sommergerste, Hafer) am größten. Hingegen verzeichnete der Genotyp bei Hafer die geringste Variabilität im Kornertrag unter allen getesteten Getreidearten.

Ein weiteres Beispiel für die vergleichsweise starke Umweltabhängigkeit der Hafererträge liegt von YAN et al. (2010) für Haferzüchtung in Ostkanada vor. Hier gab es in den Jahren 2006 und 2007 eine starke Clusterbildung für die Kornerträge verschiedener Sorten bei Anbauversuchen in den ostkanadischen Provinzen Ontario, Quebec und Atlantic Canada. In Ontario gezüchtete Hafersorten erwiesen sich als nicht geeignet für den Anbau in den weiter nördlich und östlich von Ontario gelegenen kanadischen Provinzen. YAN et al. (2010) führen diese Effekte in der Sortenvariation zum einen auf den Einfluss des Befalls mit Kronenrost (*Puccinia coronata*) zurück, der in Ontario eine Sortenresistenz zwingend erfordert, weiter nördlich und östlich von Ontario aber nicht von Bedeutung ist. Zum anderen spielt die Anpassung an Langtagsbedingungen in Quebec und Atlantic Canada eine deutlich größere Rolle als im südlicher gelegenen Ontario. Eine erfolgreiche Züchtung adaptierter Hafersorten muss diese Effekte berücksichtigen. Im Zulassungsverfahren für neue Sorten stellt somit die Qualität des jeweiligen amtlichen Prüfsystems eine entscheidende Größe dar. Die möglichst breite Auswahl repräsentativer Orte ist dabei sehr wichtig, um die Kornertragsleistung einschätzen

zu können, während aufgrund der höheren Heritabilität für die Merkmale der Kornqualität deren Stichprobenanzahl niedriger sein darf (FRÉGEAU-REID et al. 2008).

Die für den Kornertrag in den Zulassungsverfahren verschiedener europäischer Länder gewonnene Anzahl Datenpunkte unterscheidet sich in Abhängigkeit von der einbezogenen Anzahl der Standorte, Prüffahre und Behandlungsstufen jedoch z.T. erheblich. Größeren Ländern mit einer hohen Anzahl gewonnener Ertragswerte (vor allem Deutschland, auch Frankreich und Polen) stehen kleinere Länder (z.B. im Baltikum) gegenüber, die Hafer weniger umfangreich prüfen. Unter zusätzlicher Berücksichtigung des Umfangs der Haferanbaufläche in den einzelnen Ländern wird eine vergleichsweise intensive amtliche Zulassungsprüfung z.B. in Irland, Österreich, Deutschland und der Tschechischen Republik durchgeführt, während bedeutende Haferanbauländer wie Finnland und Polen in einer derartigen Bewertung abfallen. Im Ergebnis haben in Deutschland gezüchtete Sommerhafersorten mit einem Anbauanteil von etwa 30% gegenwärtig die größte Verbreitung in Europa, während in Polen und Finnland erstmalig zugelassene Hafersorten nahezu ausschließlich auf nationaler Ebene kultiviert werden.

## Zuchtfortschritt

Aufgrund der Bedeutung der in Deutschland gezüchteten Hafersorten für den europäischen Haferanbau lohnt es sich, den nationalen Zuchtfortschritt hier näher zu betrachten. Die Entwicklung der Kornerträge in den vergangenen 25 Jahren bei Hafer zeigt für Deutschland im Vergleich der amtlichen Zulassungsversuche und der Praxiserträge ein unterschiedliches Bild (*Abbildung 2*). Der Kornertrag stieg in den Zulassungsversuchen jährlich um 0,56 dt.ha<sup>-1</sup> an. In der Praxis erreichte der Anstieg der Kornerträge im gleichen Zeitraum jedoch nur 0,14 dt.ha<sup>-1</sup> - das entspricht lediglich 24% des in den amtlichen Versuchen ermittelten Ertragsanstieges. Hauptgründe für diese Diskrepanz dürften neben einem vergleichsweise langsamen Sortenwechsel die Verdrängung des Hafers auf weniger für den Anbau geeignete Standorte sowie der zunehmende Verlust an Wissen und Engagement für den Haferanbau in der landwirtschaftlichen Praxis sein.

In der *Abbildung 2* ist jedoch auch zu erkennen, dass die Kornerträge bei Hafer in Deutschland seit Mitte der 1990er Jahre stagnieren (Zulassungsversuche) oder rückläufig sind (Praxis). Da parallel ein starker Rückgang in der Intensität

**Tabelle 2: Hafer in Deutschland - Zuchtfortschritt 1995-2009 (Stichprobe: 42 Spelzhafersorten im Vergleich mit der Sorte Jumbo, \* = ohne zwei Extremwerte)**

**Table 2: Oats in Germany - breeding progress 1995-2009 (sample size: 42 hulled spring oat varieties in comparison with Jumbo, \* = without two extreme values)**

Score	Annual breeding progress (relative)	Annual breeding progress (absolute)	Breeding progress (over 15 years)
Grain yield (untreated)	+0.8%	+0.53 dt.ha <sup>-1</sup>	+8.0 dt.ha <sup>-1</sup>
Hull content	-0.22%	-0.06%	-0.9%
De-hullability (Content of non-dehulled grains)	+2.6% (-0.6%)*	+0.15 % (-0.04%)*	-0.6%*
Grading (Sieving >2.0 mm)	+0.05%	+0.05%	+0.75%
1000 grain weight	+0.65%	+0.24 g	+3.6 g
Plant length	+0.005%	+0.005 cm	+0.08 cm
Yellow ripening	-0.02%	-0.04 days	-0.6 days

der Haferzüchtung zu beobachten ist (Abbildung 3), kann nicht ausgeschlossen werden, dass in gleichem Ausmaß auch der Zuchtfortschritt in neuen Sorten rückläufig war.

Eine Überprüfung dieser These zeigt jedoch, dass der genetisch bedingte Ertragsanstieg auch in diesem Zeitraum deutlich war und etwa 0,8% jährlich erreichte (Tabelle 2). Neben dem Kornertrag wurden auch verschiedene Parameter der Haferkornqualität im gleichen Zeitraum züchterisch weiter verbessert (Tabelle 2). Dazu gehört die Tausendkornmasse, deren starke Erhöhung im Zusammenhang mit den gestiegenen Kornerträgen gesehen werden muss. Auch Entspelzbarkeit und Spelzenghalt entwickelten sich positiv, wobei die Schälmillerei in Deutschland im Vergleich mit 1995 heute allein durch den genetisch bedingt gesunkenen Spelzenghalt jährlich einen finanziellen Vorteil von etwa 2 Mio. € hat. Selbst in der Sortierung >2,0 mm, die in modernen deutschen Hafersorten mittlerweile ein sehr hohes Niveau erreicht hat, ist immer noch Zuchtfortschritt zu beobachten.

Agronomische Parameter wie die Pflanzenlänge und die Reifezeit wurden im gleichen Zeitraum weniger stark züchterisch verändert. In der deutschen Nationalen Sortenliste gibt es jedoch heute eine stärkere Diversität in der Pflanzenlänge, da neben mittel bis langstrohigen Hafersorten mittlerweile auch Zwerghafersorten gelistet sind (Beschreibende Sortenliste, BSA 2010). Zudem summiert sich der Zuchtfortschritt in der Vorverlegung des Reifetermins über 15 Jahre. Hafersorten in Deutschland weisen somit heute neben einem um etwa 8,0 dt.ha<sup>-1</sup> gestiegenen Ertragspotenzial eine um mehr als einen halben Tag frühere Reifezeit auf.

### Zuchtkonzept

Wesentlich stärker als bei Hafer entwickelte sich der Zuchtfortschritt im Kornertrag in Deutschland im gleichen Zeitraum auch bei anderen Getreidearten wie Winterweizen nicht (SCHACHSCHNEIDER, pers. Mitt.). SLAFER und PELTONEN-SAINIO (2001) geben für den Zuchtfortschritt im Kornertrag finnischer Hafersorten einen deutlich niedrigeren Wert von 0,3% jährlich an. NEDOMOVA (2008) verglich von 2003 bis 2006 den Zuchtfortschritt im Kornertrag bei 115 Hafersorten (78 Landrassen, 37 moderne Liniensorten) im Anbauraum der früheren Tschechoslowakei und teilte dabei die Sorten in zwei Gruppen (vor 1945, nach 1945). Vergleichsweise starke Anstiege im Vergleich dieser beiden

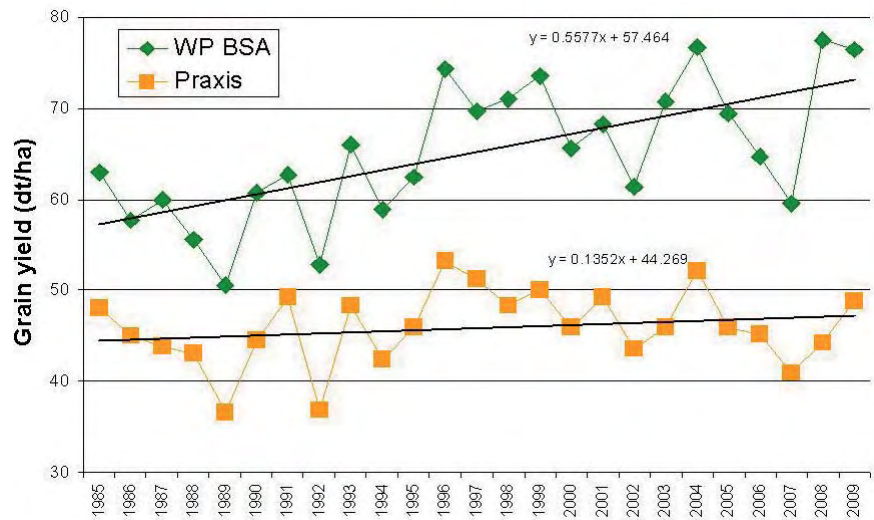


Abbildung 2: Hafer in Deutschland - Entwicklungen im Kornertrag seit 1985 (Quelle: Bundessortenamt)

Figure 2: Oats in Germany - developments in grain yield since 1985 (diamonds: VCU trials; squares: practice) (Source: German National Plant Variety Office)

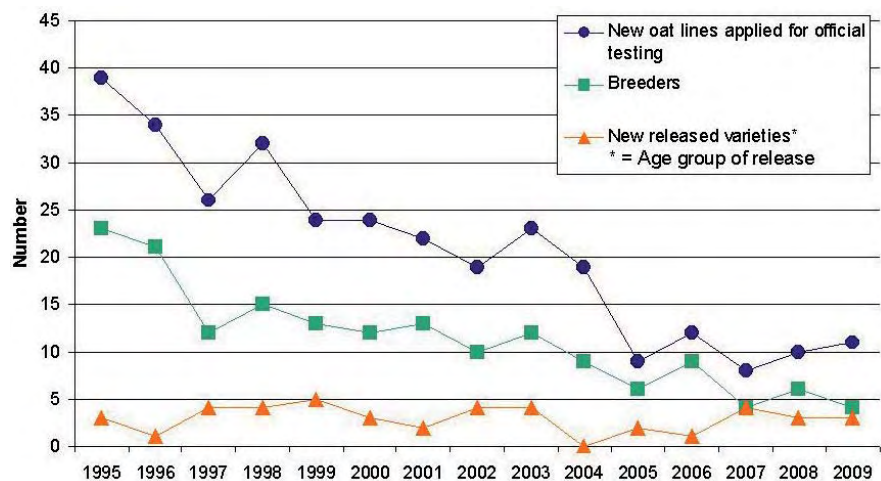


Abbildung 3: Haferzüchtung in Deutschland

Figure 3: Oat breeding in Germany

Gruppen wurden dabei ebenfalls im Kornertrag (+21,3%), der Tausendkornmasse (+7,4%), der Sortierung >2,0 mm (+28,0%) und dem Spelzenghalt (-2,9%) beobachtet. Die Pflanzenlänge verringerte sich deutlich (-17,5%), und auch die Reifezeit wurde um einen Tag vorverlegt.

Aufgrund des zunehmend begrenzten nationalen Saatgutmarktes für Hafer ist die Haferzüchtung der Nordsaat heute auf den gesamten europäischen Anbauraum ausgerichtet. Um jedoch dabei den Problemen der starken GenotypxUmwelt-Interaktion im Kornertrag und der äußerst diversen Anforderungen an Hafersorten in Europa begegnen zu können, musste ein spezielles Züchtungskonzept entwickelt werden, das in der Lage ist, regionale Aspekte des Haferanbaus mit einer möglichst breiten ökologischen Anpassungsfähigkeit der gezüchteten Sorten zu kombinieren (Abbildung 4).

Das Konzept berücksichtigt daher neben der Herausbildung verschiedener Genpools den schon von BURROWS (1986) gemachten Vorschlag, in der Haferzüchtung wie bei Weizen

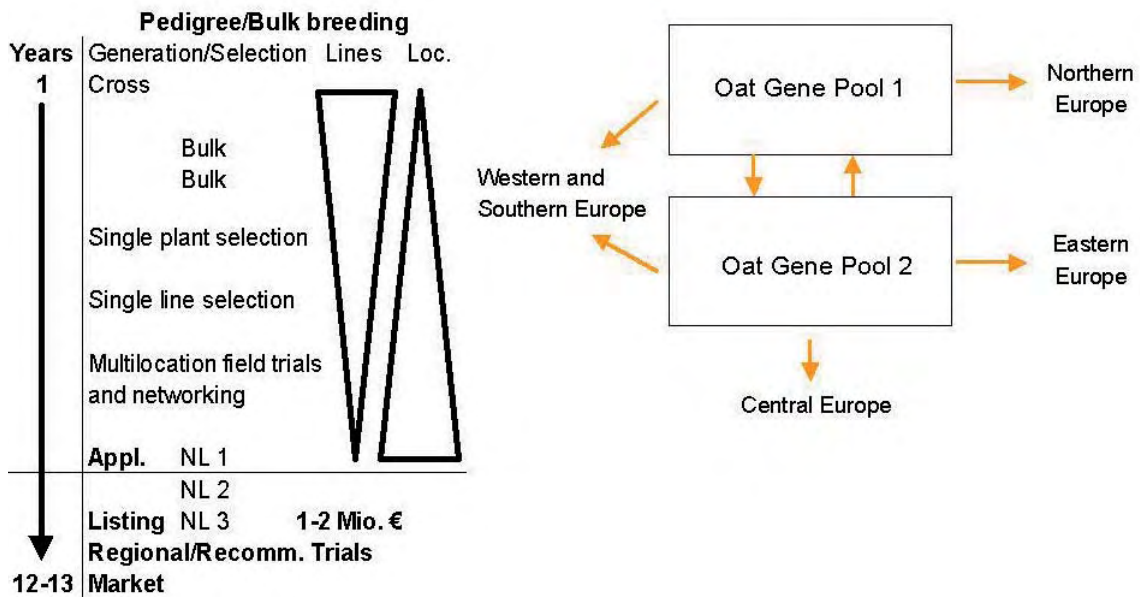
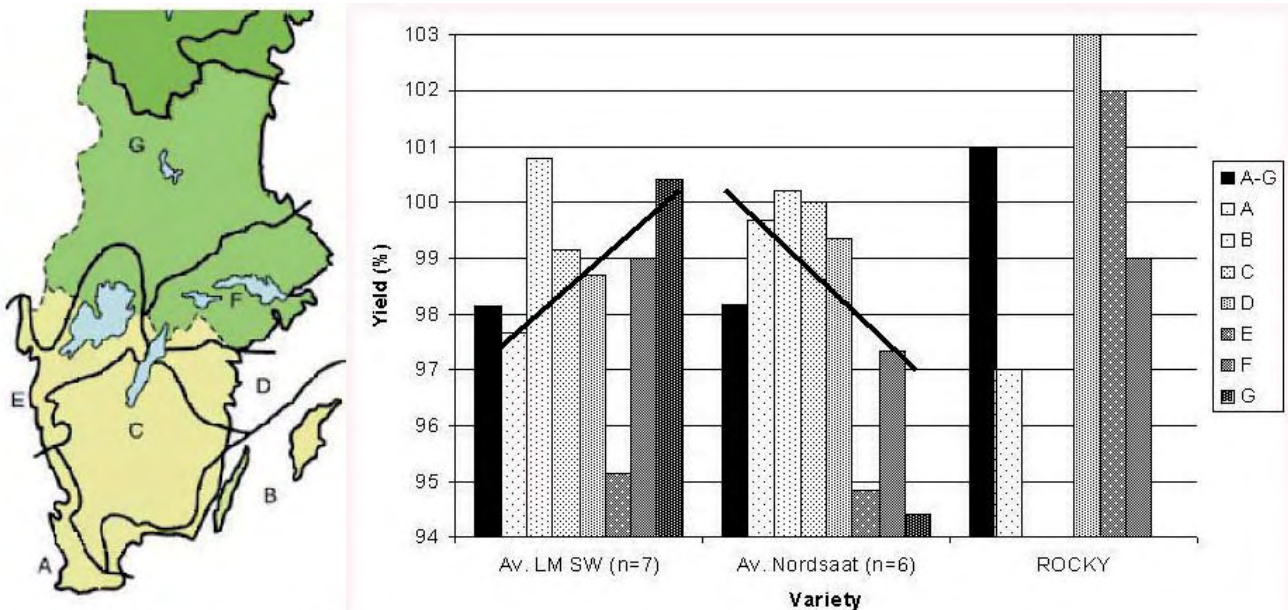


Abbildung 4: Haferzuchtconcept der Nordsaat

Figure 4: Oat breeding concept at Nordsaat

und Reis verstärkt auf eine neutrale Tageslängenreaktion zu selektieren, um eine breitere Adaptation an sehr unterschiedliche Anbaubedingungen zu erreichen. Im Ergebnis gelang es der Nordsaat-Haferzüchtung, mit Ivory eine frühreife, qualitativ äußerst hochwertige und agronomisch ausgewogene Weißhafersorte zu entwickeln, die heute im weltweiten Maßstab die am weitesten verbreitete Hafersorte ist. Ihr Anbau Raum erreicht gegenwärtig vor allem die nördlichen, zentralen und östlichen Haferanbauländer in Europa. Auf der anderen Seite ist allerdings trotzdem eine stärker

regional ausgerichtete Züchtung nach wie vor notwendig, um z.B. der starken Abhängigkeit der Hafersortenreaktion von Langtagsbedingungen in sehr weit nördlich gelegenen Anbauregionen begegnen zu können (BURROWS 1986). In den offiziellen Hafersortenversuchen in Schweden kann bisher langjährig in den nördlicheren Prüfregionen E, F und G eine Ertragsüberlegenheit der lokalen Züchtung beobachtet werden, während in Süd- und Mittelschweden (Prüfregionen A, B, C und D) das von der Nordsaat verfolgte Zuchtconcept durchaus erfolgreich ist. Über



Varieties LM SW: Gunhild, Cilla, SW Kerstin, SW Ingeborg, Aveny, SW Circle, Galant

Varieties Nordsaat: Freddy, Ivory, Scorpion, Buggy, Rocky, Galaxy

Abbildung 5: Kornertag (ohne Fungizid) in den amtlichen schwedischen Haferversuchen 2005-2009 (Quelle: LARSSON 2010)

Figure 5: Oat yield (without fungicide) in Swedish official variety trials 2005-2009 (Source: LARSSON 2010)

Tabelle 3: Anbau- und Züchtungszonen von Hafer in Europa (ohne Russland)

Table 3: Zones of oat cropping and oat breeding in Europe (without Russia)

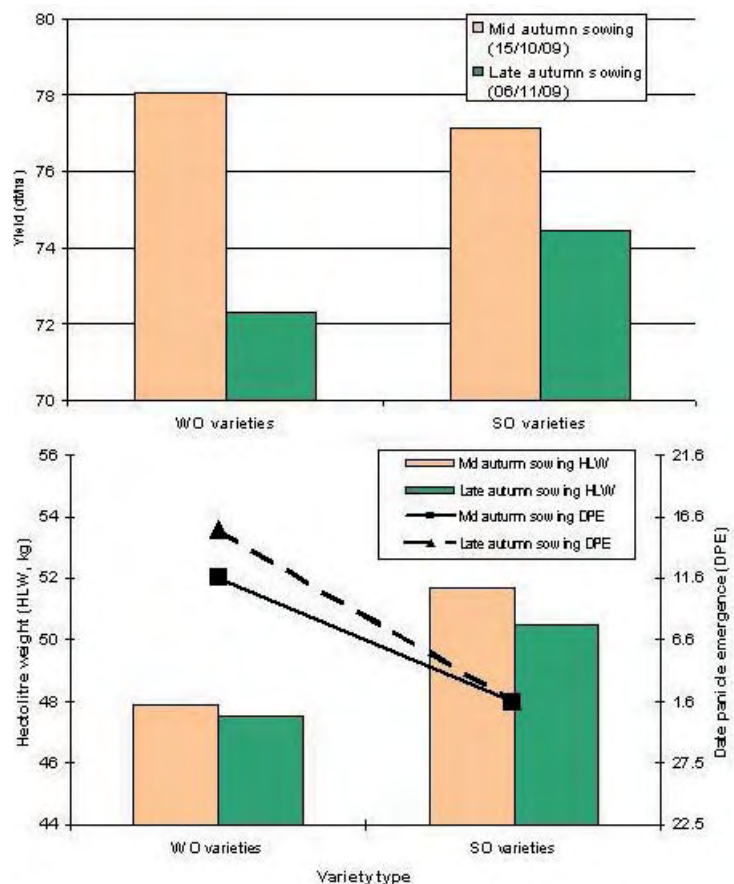
Zone	Region	Description
1. Far North	Northern Scandinavia	very strong dependency from day-length reaction; very early varieties; cropping without plant growth regulators (PGR); white oats
2. Central North	Southern Scandinavia, Northern Baltic countries	less dependency from day-length reaction; medium to late varieties; cropping without PGRs; white oats
3. North East	Continental North Eastern Europe	impact of continental climate; low input cropping; early to medium ripening varieties; yellow oats
4. South East	Continental South Eastern Europe	strong impact of continental climate; low input cropping; early varieties; yellow and white oats
5. Central	Central Europe	continental and maritime climate; higher intensity of cropping; early to medium ripening varieties; yellow oats; few white and naked oats
6. South West	Western Mediterranean countries	winter cropping of spring oats; inclusion of <i>A. byzantina</i> ; fast grain filling; early varieties
7. North West I	Southern UK, Northern France and Benelux	true winter oats; very high grain yields; very high intensity of cropping; late varieties; white, black (France) and naked (UK) oats
8. North West II	Scotland, Ireland	spring oats - partly under autumn sowing (Ireland); very high grain yields; very high intensity of cropping; early and late varieties; white oats

alle schwedischen Prüfregionen (A-G) sind die Kornerträge allerdings im Durchschnitt nahezu identisch. Die Einbeziehung lokal angepasster Genetik verspricht hier für die Zukunft eine weiter verbesserte Anpassung der Sortenleistung der Nordsaat-Hafersorten, die sich z.B. schon sehr klar in den Kornerträgen der Nordsaat-Sorte Rocky manifestiert (Abbildung 5).

Für den europäischen Haferanbau und die Haferzüchtung lassen sich daher acht einzelne Regionen definieren, die im Ergebnis der spezifischen Anbaubedingungen ohne Berücksichtigung nationaler Grenzen eine etwa ähnliche Sortenreaktion erwarten lassen (Tabelle 3).

Eine ähnliche Einteilung nahmen auch YAN et al. (2007) für einige nordamerikanische Anbauregionen von Sommerhafer vor. Sie unterschieden dabei zwei Hauptregionen. Die Nordregion umfasste die kanadischen Prärien, Nord Dakota und Idaho, während die Südregion auf Minnesota, Süd Dakota und Ontario ausgedehnt wurde.

Die in der Tabelle 3 für Europa beschriebenen Anbaubedingungen der Großregionen werden aber sehr wahrscheinlich in Zukunft von vergleichsweise starken Änderungen betroffen sein, die aus dem prognostizierten Klimawandel herrühren. Möglicherweise ist ein Teil der in Europa beobachteten Ertragsrückgänge oder -stagnationen bei Hafer schon auf diese Auswirkungen zurückzuführen. SEELEY (2008) sieht negative Effekte für den zukünftigen Haferanbau in mittleren Breitengraden vor allem aufgrund stärkerer Temperaturschwankungen, mehr Hitzetagen, höherem Wasserstress (sowohl als Trockenheit als auch als Überstau) und verstärktem Auftreten verschiedener Krankheiten, die höhere Kosten im Anbau verursachen können. Auch die Bevorzugung von C4-Pflanzen (wie Mais) durch



**Winter oat (WO) varieties: Gerald, SW Dalguise, Balado**  
**Spring oat (SO) varieties: Husky, Canyon, Melody**

Abbildung 6: Spätsaatversuch Hafer Großbritannien 2010 (Quelle: Saaten-Union UK Ltd., Versuchsstation Cowlinge, Newmarket, Suffolk, Ostengland)

Figure 6: Late drilled oats in the UK 2010 (Source: Saaten-Union UK Ltd., trial site Cowlinge, Newmarket, Suffolk, East England)

klimatische Änderungen könnte das Verdrängen von Hafer aus den europäischen Fruchtfolgen weiter beschleunigen. Auf der anderen Seite könnten eine verlängerte Vegetationsperiode durch höhere Minimumtemperaturen im Winter und CO<sub>2</sub>-Düngung auch zu einer größeren Biomassebildung von Hafer beitragen.

Verschiedene Szenarien zur Verbesserung der Wettbewerbskraft des Haferanbaus favorisieren daher aufgrund höherer und stabilerer Erträge sowie häufig besserer Kornqualität nicht zu unrecht einen Winterhaferanbau in Regionen, in denen dessen Anbau heute noch aufgrund starker Auswinterungsgefahr zu riskant ist (FISCHER und DÖHLER 2010). Die rückläufigen Anbauflächen von Hafer und das für Winterhafer erschließbare Potenzial in der Winterhärte (VEISZ et al. 2000, ONUR OZBAS und CAGIRGAN 2004) verhindern aus Sicht einer rein privatwirtschaftlich ausgerichteten Haferzüchtung allerdings die Etablierung umfangreicher Winterhaferzuchtprogramme in Europa, wenn keine Co-Finanzierung durch staatliche oder private Interessengruppen erfolgt (BEUCH 2010).

Eine Lösung dieses Problems könnte in Zukunft der heute schon in einigen Regionen West- und Südeuropas praktizierte Anbau leistungsstarker Sommerhafersorten im Winteranbau (*Tabelle 3*) sein, wenn es gelingt, in Sommerhafer Gene für eine deutlich bessere Überwinterung zu identifizieren. Aktuelle Anbauvergleiche von Sommer- und Winterhafersorten zeigten in Ostengland selbst unter moderatem Auswinterungsdruck eine Ertragsüberlegenheit von Sommerhafersorten gegenüber lokal gezüchteten Winterhafersorten bei später Herbstaussaat, die mit deutlich früherer Reife und besserer Kornqualität gekoppelt war (*Abbildung 6*).

Die ökonomische Wettbewerbsfähigkeit des zukünftigen Haferanbaus in Europa ist aber unklar. Wahrscheinlich werden Landwirte Weizen, Mais und Ölfrüchte im Anbau bevorzugen. Limitierte Ressourcen für Forschung und Entwicklung in der Haferzüchtung müssen daher sehr gezielt und nutzbringend verwendet werden.

## Literatur

- BEUCH S, 2010: Oat breeding for Europe - Impossibility or Challenge? Proc. 5<sup>th</sup> Europ. Oat Conf., 1-3 September, Ystad, Sweden, p. 29.
- BURROWS V, 1986: Breeding oats for food and feed: conventional and new techniques and materials. In: Webster FH (Ed.), Oats: Chemistry and technology, pp. 13-46. Am. Ass. Cereal Chem., St. Paul.
- FISCHER T, DÖHLER T, 2010: Untersuchungen zur Verbesserung der Wettbewerbsstellung der Haferproduktion auf Lößstandorten. Hochschule Anhalt, Bernburg.
- FRÉGEAU-REID J, YAN W, MITCHELL-FETCH J, PAGEAU D, MARTIN R, LAJEUNESSE J, SIBBITT D, DE HAAN B, CUMMISKEY A, ROWSELL J, SCOTT P, ETIENNE M, SPARRY E, DURAND J, TÉTREAULT C, 2008: Number of locations and replications for determining oat yield and quality traits in Canada. Proc. 8<sup>th</sup> Int. Oat Conf., 28 June-2 July, Minneapolis, Poster IV-4. [Available online: <http://wheat.pw.usda.gov/GG2/Avena/event/IOC2008/>; accessed 10 Jan 2011]
- FUNKE C, 2008: Hafer, *Avena sativa* L. - Bemühungen um das ehemals wichtigste Futtergetreide. In: Röbbelen G (Hrsg.), Die Entwicklung der Pflanzenzüchtung in Deutschland (1908-2008), 100 Jahre GFP e.V. - eine Dokumentation. Vorträge für Pflanzenzüchtung 75, 312-320.
- LAIDIG F, DROBEK T, MEYER U, 2008: Genotypic and environmental variability of yield for cultivars from 30 different crops in German official variety trials. Plant Breeding 127, 541-547.
- LARSSON S, 2010: Sortvalstabeller 2010. Resultat från sortförsök 2005-2009. Sortprovingen SLU, Sveriges lantbruksuniversitet.
- NEDOMOVA L, 2008: Breeding progress in oat cultivars of the Czech and Czechoslovak origin, assessment of their similarity. Proc. 8<sup>th</sup> Int. Oat Conf., 28 June-2 July, Minneapolis, Poster II-9. [Available online: <http://wheat.pw.usda.gov/GG2/Avena/event/IOC2008/>; accessed 10 Jan 2011]
- ONUR OZBAS M, CAGIRGAN M, 2004: Evaluation of winter-tolerant oat lines for yield and yield components. In: Peltonen-Sainio P, Topi-Hulmi M (Eds.), Proc. 7<sup>th</sup> Int. Oat Conf., MTT Agrifood Res. Finland, Jokioinen. Agrifood Research Reports 51, 161.
- PANAYOTOVA G, 2004: Evaluation of grain yield potential of oat germplasm in Bulgaria. In: Peltonen-Sainio P, Topi-Hulmi M (Eds.), Proc. 7<sup>th</sup> Int. Oat Conf., MTT Agrifood Res. Finland, Jokioinen. Agrifood Research Reports 51, 159.
- SEELEY M, 2008: Oat performance under future environmental scenarios. Proc. 8<sup>th</sup> Int. Oat Conf., 28 June-2 July, Minneapolis. [Available online: <http://wheat.pw.usda.gov/GG2/Avena/event/IOC2008/>; accessed 10 Jan 2011]
- SLAFER G, PELTONEN-SAINIO P, 2001: Yield trends of temperate cereals in high latitude countries from 1940 to 1998. Agric. Food Sci. Finland 10, 121-131.
- VEISZ O, LÁNG L, BEDŐ Z, 2000: Studies on the winter hardiness and frost resistance of winter oat varieties. In: Cross RJ (Ed.), Proc. 6<sup>th</sup> Int. Oat Conf., 13-19 Nov, Lincoln, New Zealand, pp. 321-325. NZ Inst. Crop Food Res., Christchurch.
- YAN W, MOLNAR S, FRÉGEAU-REID J, MC ELROY A, TINKER N, 2007: Associations among oat traits and their responses to the environment. J. Crop Improvement 20, 1-30.
- YAN W, FRÉGEAU-REID J, PAGEAU D, MARTIN R, MITCHELL-FETCH J, ETIENNE M, ROWSELL J, SCOTT P, PRICE M, DE HAAN B, CUMMISKEY A, LAJEUNESSE J, DURAND J, SPARRY E, 2010: Identifying essential test locations for oat breeding in Eastern Canada. Crop Sci. 50, 504-515.



## Breeding of triticale in DANKO

Zofia Banaszak<sup>1\*</sup>

### Abstract

At DANKO triticale program ear selection is made in early generations. Starting from F5 the trials are unreplicated in one location and the next years multilocation trials with three to four replications are conducted. The most important aims of breeding apart yield are resistances against diseases, lodging and sprouting, winter hardiness, grain characters and feed quality traits. About 1000 three- or two-way crosses are made every year. In the first steps of breeding there is no strong selection of combinations. Frost resistance is tested in cold chambers; sprouting is estimated via specific artificial tests. Lodging resistance is covered by the creation of semi dwarf triticale based on the *Ddw1* gene from rye. Anther culture is done for a part of F1 combinations. The efficiency counted as green plants per 100 anthers ranges from 2,8 to 6,6% depending on year. As a result of the DANKO breeding activities 23 winter and 3 spring triticale varieties were released on the Polish or foreign market until 2010.

### Key words

Anther culture, disease resistance, double haploid, pre-harvest sprouting, *Triticosecale*, winter hardiness

### Introduction

The first triticale breeding lines of the DANKO programme were tested in official VCU trials in Poland in 1979. However, yield was not satisfactory due to some sterility of ears and seed shriveling (WOLSKI and TYMIENIECKA 1978, TARKOWSKI 1989). In 1983 the average yield of tested triticale varieties was higher than that of rye and barley in the official trials. From time to time, depending on weather conditions, new triticale varieties even outyielded wheat varieties, e.g. in 1995, 1999, 2003, 2005 and 2009 (Figure 1). New varieties showed improved grain quality, number of grain per spike and tillering capacity (WINKEL 1988).

The triticale yield is mainly determined by tillering capacity, number of grain per spike and thousand kernel weight (OETTLER et al.

1991, CALDERINI et al. 1995, WEGRZYN et al. 1995, ROZBICKI and MAJDRY 1998).

Although the VCU trial results can not be directly compared since not all trials were planted at the same fields they indicate the tendency of triticale's good adaptation to Polish soil and weather conditions. Since 1982, when the first variety Lasko was released the acreage of triticale has been increased up to 1.4 Mio ha in 2009 (Figure 2).

Triticale is bred as self pollinating crop although there are some tendencies to outcrossing. According to MAKSIMOW and SHULYNDIN (1976) 0.7-60% outcrossing is possible depending on weather conditions. In triticale some meiotic irregularities occur due to different meiotic duration, what could be influenced by environmental factors like temperature (BENNETT et al. 1971, 1972).

### Materials and methods

At the DANKO triticale programme ear selection is carried out in early generations, starting from F2 until F4. This selection is based only on visual observations in the field. In F5 first yield assessment is done in unreplicated field trials at one location with check varieties. Plot size is 5 m<sup>2</sup>. In the following year the trials are planted at 3 to 4 locations with replications. The best lines continue in multilocation trials with 4 replications. One year before official VCU trial there is a common trial of all Polish breeders located at 6 to 7 locations, 3 replications and 10 m<sup>2</sup> plot size. The results of that trial are the basis for the submission to the

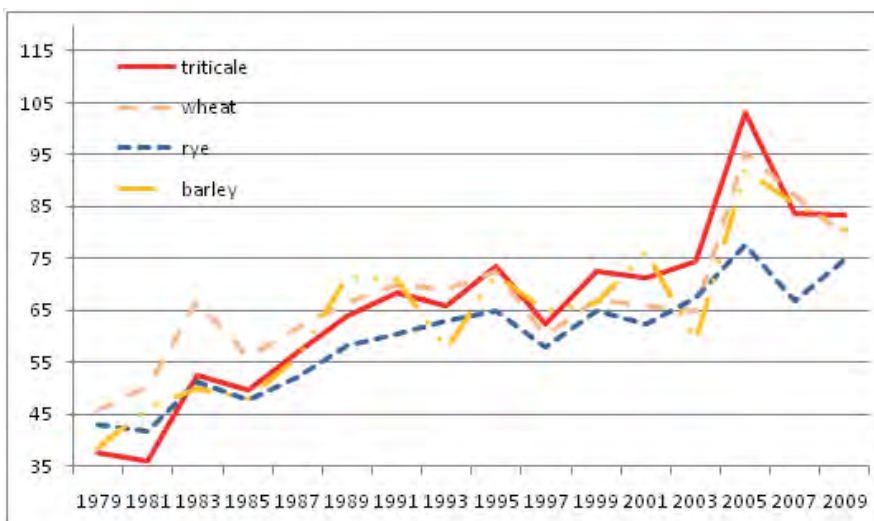


Figure 1: Mean grain yield of triticale varieties in the official VCU trials in Poland compared to wheat, rye and barley

<sup>1</sup> DANKO Hodowla Roślin sp o.o., Choryń 27, PL-64-000 KOŚCIAN

\* Correspondence: Zofia BANASZAK, zofia.banaszak@danko.pl



official VCU trials which last for 2 to 3 years. Maintenance breeding is also based on ear selection, starting at F5. Some crossing combinations are processed by *in vitro* anther culture to speed up the process of breeding by the production of doubled haploid lines. Frost resistance is tested in cold chambers according to KOCH and LEHMAN (1969) with some modifications, e.g. hardening made outside. In January the wooden boxes with plants are taken into cold chambers and frozen slowly down to -16 to -18°C depending on the year. After 2 to 3 weeks the alived and damaged plants are counted.

Sprouting tolerance is estimated in special tests. During harvest 10 spikes are cut from every plot in the trials. The spikes are placed into plastic boxes with water which are covered by plastic. Every 3 hrs spikes are sprayed by water. Sprouting is estimated 3, 5 and 7 days after cutting in the field.

The suitability of triticale for feed is indirectly tested by the estimation of protein content, digestible protein, fibre, fat and starch content and viscosity.

## Results

The most important aims of breeding in triticale are yield, disease resistance, winter hardiness, sprouting resistance and grain quality.

## Crosses

The first step of breeding is crossing. About one thousand two- or three-way crosses per year are made at DANKO company (Figure 3). In these years 52% of the crosses are of (AxB)xC type, whereas 48% are of AxB type. From 1999-2008 about 63% of the pedigrees contained at least one released variety, 23% contained advanced breeding lines. In other crosses rye, wheat, tetraploid or octoploid triticale forms, wild species like *Triticum monococcum* or translocation's from wheat genome D for better bread making quality are included.

Selection of combinations from 2002 to 2009 at Choryń in F1-F4 was only light because of the lack of diseases. The only criteria were general performance of plants, tillering capacity and number of tillers and ear shape. A significant decrease in the number of combinations was noted from F5 onwards when the progenies entered yield trials. Finally in F8 only eight combinations were tested (Table 1).

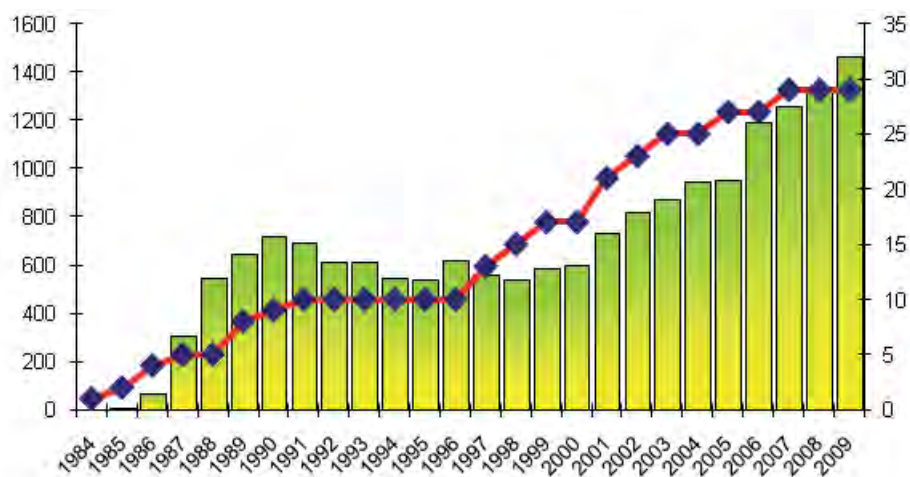


Figure 2: Number of triticale varieties (dots) and triticale acreage (bars) in Poland

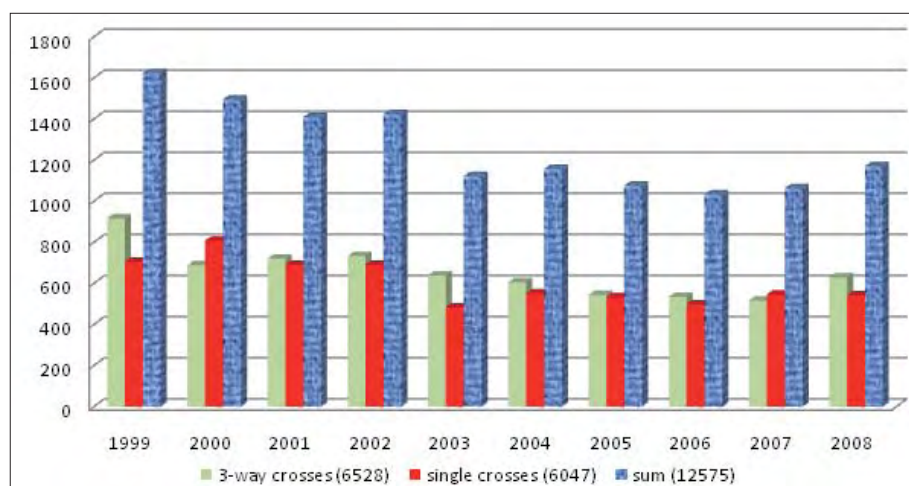


Figure 3: Types of triticale crosses employed at DANKO from 1999-2009

## Frost resistance

Not every year a good differentiation of breeding lines is received from the frost resistance tests. At least it should be possible to negatively select the worst lines. In the 2008 and 2009 trials some lines were identified which combined high grain yield and frost resistance (Figures 4 and 5).

## Lodging resistance

Lodging resistance is realized by the introduction of dwarf forms into triticale. They are based on the dominant HL

Table 1: Selection intensity of triticale combinations (Choryń 1999-2009)

Generation	Combinations (n)	Plots (n)
F1	497	497
F2	488	488
F3	486	9431
F4	401	9642
F5	145	529
F6	53	92
F7	16	19
F8	8	18

**Table 2: Results of the anther culture method in triticale at DANKO**

Year	Number of green plants			
	Total	Mean (%)	Min	Max
2006	4048	6.6	0.3	22.8
2007	4400	4.9	0.7	12.8
2008	3581	3.6	1.0	15.7
2009	3312	3.9	0.8	9.9
2010	1723	2.8	0.0	11.8

(*Ddw1*) gene from rye. This gene was introduced via octoploid triticale. Among 23 listed DANKO varieties there are 10 of semidwarf type, i.e. Alekto, Atletico, Baltiko, Dinaro, Fidelio, Grenado, Gringo, Gniewko, Magnat and Woltario.

### Sprouting resistance

289 lines were tested in the preofficial trials in 2008 and 2009 year. The majority of them, i.e. 55%, showed a sprouting score <3.9 on a 1 to 9 scale, where 9 stands for the best performance. 31% of the lines were quite good and 13% showed very good results with sprouting scores >6.

### Disease resistance

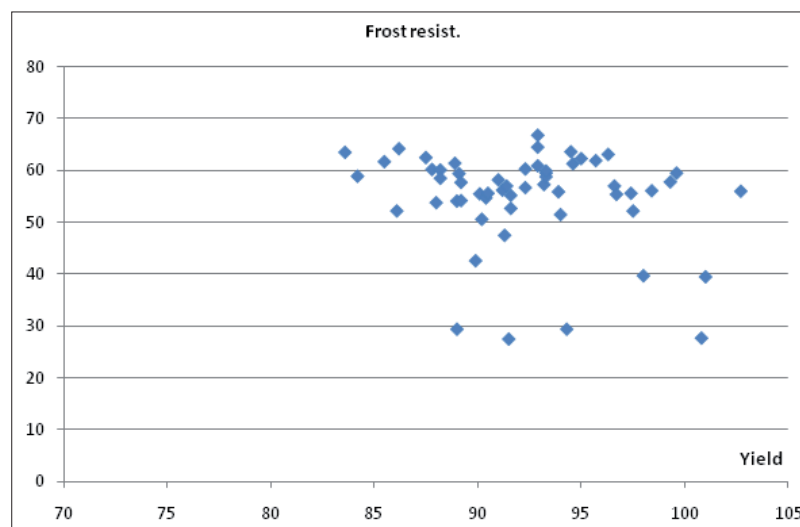
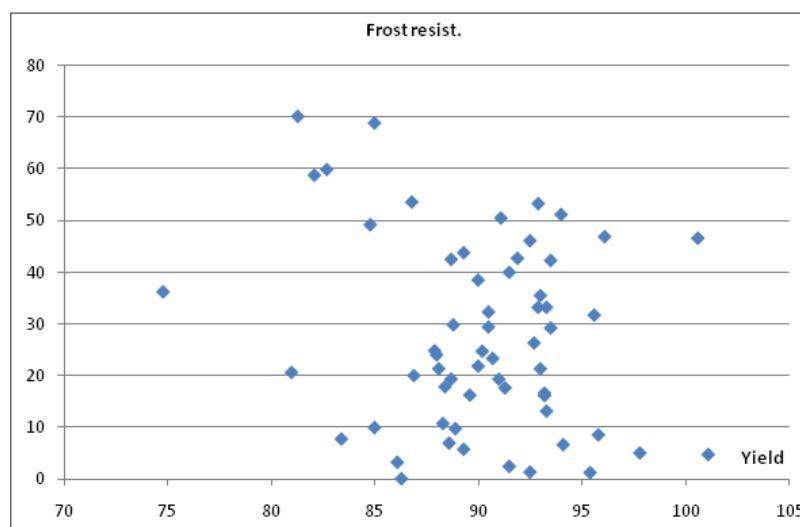
Nowadays the resistance to diseases is much more important than at the beginning of triticale breeding. More symptoms of powdery mildew, brown rust and foot diseases are observed. Moreover, yellow rust caused extremely high damages on Polish fields during the last 2 years. In the preofficial trials 2010 among 60 tested lines 14 were without any symptoms of yellow rust, 15 lines were scored between 3.1 and 6.9.

### In vitro culture

Every year a part of the combinations are processed by anther culture in the laboratory. The efficiency is quite good. On average 2.8 to 6.6% of green plants were received the last 5 years (Table 2). The spring triticale variety Dublet was the first released doubled haploid variety from the DANKO anther culture project. The next candidates are CHD 645/02-17 and CHD 03153-11, which are at the moment in the official trials. Using anther culture for the production of doubled haploid lines two years of breeding time could be saved.

### Feeding value

Four DANKO varieties were analysed for various nutritional parameters (Table 3). Grenado was very interesting, because of

**Figure 4: Frost resistance vs. yield in preofficial trials in DANKO 2008****Figure 5: Frost resistance vs. yield in preofficial trials in DANKO 2009****Table 3: The parameters of triticale related with feeding value**

Variety	Dry matter (%)	Ash (%)	Protein (%)	Digest. protein (%)	Fibre (%)	Fat (%)	Viscosity	Starch (%)
Alekto	86.2	1.67	12.0	11.8	2.34	1.07	2.98	60.3
Algozo	86.5	1.62	9.2	8.8	2.87	1.05	2.50	62.1
Grenado	86.6	1.67	10.1	9.7	2.44	0.96	1.75	63.0
Leontino	86.2	1.52	10.7	10.4	2.75	1.00	2.39	62.3

relatively high protein and starch contents together with low content of fibre and medium viscosity.

### Discussion

In every breeding programme it is essential to have good sources of new genes (ROGALSKA 1998). In many breeding programmes a tendency to genetic erosion (genetic narrowing of the germplasm) can be observed. According to KOCIUBA (1992) a higher genetic diversity can be observed in older triticale lines than in new ones. In the DANKO triticale programme apart from hexaploid advanced triticale some octoploid or tetraploid triticale and wild species like *Triticum monococcum* are used to broaden the gene pool. The crosses with octoploid forms and wild species could play

an important role in triticale breeding (GRUSZECKA and MARCINIAK 1995, APOLINARSKA and SODKIEWICZ 2002, ŁAPIŃSKI 2002).

Research done in wheat showed that type of crossing and the method of selection has only a minimal influence on yield potential and other agronomical traits, whereas the most important factor is the selection of crossing partners (SINGH et al. 1997). BRAUN et al. (1998) analyzed 75 wheat programmes and concluded that 48% of the combinations were made with own lines. In the DANKO triticale programme 63% of combinations include released varieties (among them the majority are DANKO varieties) and 23% advanced breeding lines of the own programme. The progress of triticale breeding is related to agronomical traits such as yield potential, earliness, plant height, resistance to lodging, diseases and pre-harvest sprouting, winter hardiness and grain quality.

In the DANKO triticale programme there are many advanced breeding lines which have high grain yield and good or medium winter hardiness. SOWA (1988) showed that breeding progress in triticale was achieved by increasing yield potential and winter hardiness which allowed triticale cultivation to move to the eastern part of Poland. Lodging resistance was improved by breeding semidwarf types of triticale. The introduction of the *Ddw1* gene from rye was a crucial improvement (WOLSKI and GRYKA 1998, WOLSKI et al. 1998). Pre-harvest sprouting is still very important in breeding of triticale. The level of sprouting tolerance is still not satisfactory and requires some improvement (BANASZAK and MARCINIAK 2002). In the beginning of triticale breeding no symptoms of diseases were observed. Later on powdery mildew and brown rust appeared. In 2009 and 2010 many breeding lines were susceptible to powdery mildew, brown and yellow rust. Triticale lost its resistances and, therefore, efforts in special resistance programmes should be increased.

Traditional selection of triticale breeding in DANKO takes ca. 8 years until the application to official VCU trials. Using doubled haploid lines via anther culture method the process can be shortened by two years. The shortening of the selection process can be even higher in crosses which are difficult to purify (BANASZAK et al. 2006). Triticale may be used as the only cereal in feeding diets for chicken (BOROS 2002). High contents of protein and starch, low fibre content and viscosity are preferred traits for suitability in animal feeding.

## References

- APOLINARSKA B, SODKIEWICZ W, 2002: Substitution of B-genome chromosomes into tetraploid triticale with a complete A-genome. In: Arseniuk E (Ed.), Proc. 5<sup>th</sup> Int. Triticale Symp., 30 June - 5 July, Radzików, Vol. 2, 27-31. Plant Breeding and Acclimatization Institute, Radzików, Blonie, Poland.
- BANASZAK Z, MARCINIAK K, 2002: Wide adaptation of DANKO triticale varieties. In: Arseniuk E (Ed.), Proc. 5<sup>th</sup> Int. Triticale Symp., 30 June - 5 July, Radzików, Vol. 2, 217-222. Plant Breeding and Acclimatization Institute, Radzików, Blonie, Poland.
- BANASZAK Z, MARCINIAK K, BANASZAK K, ADAMSKI T, SURMAM, 2006: Wykorzystanie linii DH pszenżyta w DANKO Hodowla Roślin sp. z o.o. Haploidy i linie podwojonych haploidów w genetyce i hodowli roślin. IGR PAN Poznań, 99-107.
- BENETT MD, CHAPMAN V, RILEY R, 1971: The duration of meiosis pollen mother cells of wheat, rye and triticale. Proc. Roy. Soc. London B 178, 259-275.
- BENETT MD, SMITH JB, KEMBLE R, 1972: The effect of temperature on meiosis and pollen development in wheat and rye. Can. J. Genet. Cytol. 14, 615-624.
- BOROS D, 2002: Physico-chemical quality indicators suitable in selection of triticale for high nutritive value. In: Arseniuk E (Ed.), Proc. 5<sup>th</sup> Int. Triticale Symp., 30 June - 5 July, Radzików, Vol. 2, 239-244. Plant Breeding and Acclimatization Institute, Radzików, Blonie, Poland.
- BRAUN HJ, EKIZ H, ESER V, KESER M, KETATA H, MARCUCCI G, MORGOUNOV A, ZENCIRCIN, 1998: Breeding priorities of winter wheat programs. In: Braun HJ, Altay F, Kronstad WE, Beniwal SPS, McNab A (Eds.), Wheat: Prospects for Global Improvement, Proc. 5<sup>th</sup> Int. Wheat Conf., 10-14 June 1996, Ankara, Turkey, 553-560. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- CALDERINI DF, DRECCER MF, SLAFER GA, 1995: Genetic improvement in wheat yield and associated traits. A re-examination of previous results and the latest trends. Plant Breeding 114, 108-112.
- GRUSZECKA D, MARCINIAK K, 1995: Mieszance F1 pszenżyta z pszenperzem - otrzymanie i charakterystyka. Biuletyn IHAR 195/196, 85-93.
- KOCH MD, LEHMANN EO, 1969. Resistenzigenschaften im Gersten- und Weizensortiment Gatersleben. 7. Prüfung der Frostresistenz von Wintergersten im künstlichen Gefrierversuch. Kulturpflanze 14, 263-282.
- KOCIUBA W, 1992: Assessment of agricultural important features of winter and spring triticale collections (*Triticosecale* Wittmack). Hereditas 116, 323-328.
- ŁAPIŃSKI B, 2002: A new source of earliness in tetraploid *Secalotriticum*. In: Arseniuk E (Ed.), Proc. 5<sup>th</sup> Int. Triticale Symp., 30 June - 5 July, Radzików, Vol. 2, 50-53. Plant Breeding and Acclimatization Institute, Radzików, Blonie, Poland.
- MAKSIMOW VJ, SHULYNDIN AF, 1976: Pollination and self compatibility in triticale. Sb. Nauch. Robot. N II s. kh. (13), 1. Trit. Ab. 1979. 5.1
- OETTLER G, WEHMANN F, UTZ HF, 1991: Influence of wheat and rye components on agronomic characters in primary hexaploid and octoploid triticale. Theor. Appl. Genet 81, 401-405.
- ROGALSKA S, 1998: Metody i techniki otrzymywania pierwotnych form pszenżyta (*xTriticosecale* Wittmack). Biuletyn IHAR 205/206, 143-149.
- ROZBICKI J, MĄDRY W, 1998: Uwarunkowanie plonu ziarna pszenżyta ozimego przez jego składowe i wybrane cechy botaniczno-rolnicze łanu w zmiennych warunkach uprawowych i pogodowych. Biuletyn IHAR 205/206, 198-204.
- SINGH RP, RAJARAM S, MIRANDA A, HUERTA-ESPINO J, AUTRIQUE E, 1997: Comparison of two crossing and four selection schemes for yield, yield traits, and slow rusting resistance to leaf rust in wheat. In: Braun HJ, Altay F, Kronstad WE, Beniwal SPS, McNab A (Eds.), Wheat: Prospects for Global Improvement, Proc. 5<sup>th</sup> Int. Wheat Conf., 10-14 June 1996, Ankara, Turkey, 93-101. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- SOWA W, 1988: Pszenżyto. Historia hodowli i ważniejsze problemy hodowlano-genetyczne. Biuletyn IHAR 166, 112-119.
- TARKOWSKI C, 1989: Biologia pszenżyta. PWN, Warszawa.
- WĘGRZYŃ S, GÓRAL H, SPISS L, 1995: Wpływ bezpośredni i pośredni komponentów plonu na plon ziarna pszenżyta ozimego. Biuletyn IHAR 195/196, 95-98.
- WINKEL A, 1988: Foreword, Proceedings of the 4th EUCARPIA Cereal Section Meeting on Triticale, 22-26 June 2007, Schwerin. Tag.-Ber. Akad. Landwirtschaft.-Wiss. 266.
- WOLSKIT, TYMIENIECKAE, 1978: Możliwości wprowadzenia pszenżyta ozimego do uprawy w Polsce. Nowe Rolnictwo 1 (561), 8-11.
- WOLSKI T, GRYKA J, 1998: Further progress in semidwarf winter triticale breeding. In: Juskiw P (Ed.), Proc. 4<sup>th</sup> Int. Triticale Symp., 26-31 July, Red Deer, Alberta, Canada, Vol. 2, 354-356.
- WOLSKI T, GRYKA J, JARZĄBEK B, CZERWIŃSKA E, 1998: Hodowla pszenżyta półkarłowego w DANKO. Biuletyn IHAR 205/206, 299-302.

# Verbesserung des Ertrags, der Standfestigkeit und des spezifischen Gewichts bei Triticale

## Improvement of grain yield, lodging tolerance and specific grain weight of triticale

Arnold Schori<sup>1\*</sup>, Fabio Mascher<sup>1</sup> und Dario Fossati<sup>1</sup>

### Abstract

The Swiss triticale breeding program started in 1976. The first variety Brio was released in 1992. The paper gives an overview of the genetic improvement according to yield trials of advanced breeding lines carried out between 1988 and 2006. At the beginning of the program seed fertility and plumpness, lodging tolerance and plant height were the main traits which needed major improvement. Meanwhile, a reduction of plant height and an increase of hectolitre weight was achieved and released varieties show a satisfying yield level of grain yield. Particularly the simultaneous improvement of grain protein content and grain yield is noteworthy for the Swiss triticale program. Although the progress in grain yield is somewhat lower than in other triticale programs a significant improvement can be observed for grain protein yield. New challenges for breeding are the occurrence of powdery mildew and the problem of mycotoxins.

### Keywords

Breeding, cereals, genetic progress, protein, *Triticosecale*, Switzerland, yield

### Einleitung

Triticale (*x Triticosecale* Witt.), eine Kreuzung zwischen Weizen und Roggen, wird erst seit etwa 50 Jahren züchterisch bearbeitet. Die Pioniere der Triticalezüchtung beabsichtigten die Widerstandsfähigkeit des Roggens mit den qualitativen Eigenschaften des Weizens zu verbinden (OETTLER 2005). Nachdem die Strategie der oktoploiden Triticale, nämlich Brotweizen mit Roggen zu kreuzen, nicht erfolgreich war, wurde vermehrt die Eignung hexaploider Triticale, Kreuzungen von tetraploidem Hartweizen mit diploidem Roggen, untersucht. Es stellte sich heraus, dass hexaploider Triticale einen deutlich geringeren Anteil von aneuploiden Pflanzen in der Nachkommenschaft und auch sonst eine höhere Stabilität aufwies. Die ersten Triticale zeichneten sich durch eine ausgezeichnete Krankheitsresistenz, ein gutes Ertragspotential und einen hohen Anteil

von Lysin im Körnerweiß aus (HULSE und LAING 1974, MYER et al. 1990). Die Langwüchsigkeit und die geringe Standfestigkeit, die schlechte Kornausbildung und die ungleichmäßige Fruchtbarkeit der Blüten machten eine sofortige landwirtschaftliche Verwendung unmöglich und mussten mit züchterischen Mitteln behoben werden (RUSKIN 1989). Die erste landwirtschaftlich nutzbare Sorte Lasko wurde 1982 in Europa in Verkehr gebracht (FOSSATI et al. 1987). In der Schweiz begannen die Arbeiten mit hexaploiden Triticale im Jahr 1976 und die ersten Linien konnten im Jahr 1988 in den Leistungsprüfungen auf Ertrag getestet werden (SCHORI et al. 2007). Im Jahr 1992 wurde die erste Sorte, Brio, in der Schweiz zugelassen (FOSSATI et al. 1992). Viele Mängel der ersten Triticalelinien konnten in diesen Sorten behoben werden, allerdings waren sie immer noch sehr lang, der Ertrag und die Qualität der Körner, im Besonderen das Hektolitergewicht, lagen noch unterhalb der Leistungen vergleichbarer Getreide (SCHORI et al. 2007).

Der vorliegende Artikel dokumentiert den Zuchtfortschritt im schweizerischen Triticalezüchtprogramm von 1988 bis 2006 an Hand der Daten der Zuchtstämme, die in die erste Phase der Leistungsprüfung (etwa Generation F8) weitergeführt wurden. Bis Generation F7 werden die Zuchtstämme hauptsächlich auf Bestandesdichte, Krankheitsresistenz, Stabilität des Genotypen, Kornbildung, und Länge bewertet und ausgewählt. In den Leistungsprüfungen werden die Stämme dann zusätzlich auf Ertrag, Hektolitergewicht und Proteingehalt geprüft.

### Material und Methoden

Diese Studie beruht auf der Auswertung der agronomischen Leistungen von 2281 Zuchtstämmen in der ersten Phase der Leistungsprüfungen (mehrheitlich Generation F8) in den Jahren von 1988 bis 2006. Jeder Stamm wurde nur ein Jahr lang geprüft jedoch an verschiedenen Standorten. Neben dem Standort Changins und Goumoëns gab es mindestens noch einen weiteren, jedes Jahr wechselnden, Prüfort. Die Prüflinge wurden in Standardparzellen angebaut und gemäß den offiziellen Empfehlungen des landwirtschaftlichen Beratungsdienstes des Kantons Waadtland bewirtschaftet. Es

<sup>1</sup> Forschungsbereich Pflanzenzüchtung und Genetische Ressourcen, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Postfach 1012, Route de Duillier, CH-1260 NYON

\* Ansprechpartner: Arnold SCHORI, arnold.schori@acw.admin.ch

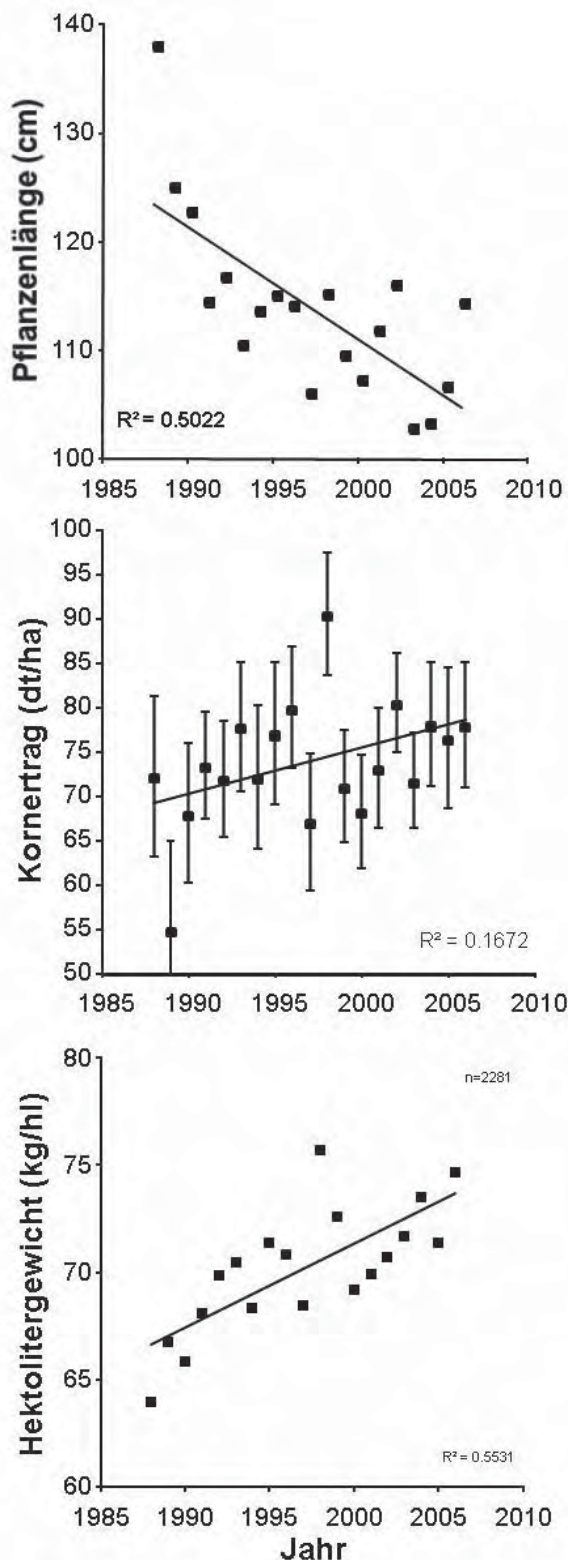


Abbildung 1: Entwicklung der mittleren Pflanzenhöhe, des durchschnittlichen Kornertrages und des durchschnittlichen Hektolitergewichtes der Zuchtstämme in der ersten Generation Leistungsprüfung zwischen 1988 und 2006

Figure 1: Improvement of plant height (top), grain yield (center) and hectolitre weight (bottom) of advanced Swiss triticale breeding lines

wurden weder Halmverkürzer noch Fungizide verwendet. Zur Stickstoffversorgung der Pflanzen wurde, nach Abzug des N-min Wertes, Stickstoff eingetragen um auf 130 Einheiten Stickstoff zu gelangen.

Die Ernte erfolgte bei Vollreife des Kornes. Neben der Ermittlung des Ertrages ( $\text{dtha}^{-1}$ ) wurde auch das Tausendkorngewicht, das Hektolitergewicht, sowie der Proteingehalt des Korn ermittelt. Der Proteingehalt im Korn wurde 1988 und 1989 mit Hilfe der Kjeldahl Methode gemessen. Danach wurde der Proteingehalt mittels NIRS ermittelt. Datensicherung und -verarbeitung sowie die statistischen Analysen wurden mit den Modulen Varianzanalyse und Regression des Programmes WIDAS (MSI AG, Buchs) durchgeführt.

## Ergebnisse

Das Ziel dieser Studie ist es den Zuchtfortschritt von der ersten Leistungsprüfung im Jahr 1988 bis 2006 darzustellen. Dazu wurden Daten der Zuchtstämme aus der ersten Generation Leistungsprüfung (etwa F8) von jedem Jahr verwendet. Kein Zuchtstamm wurde 2 Mal geprüft. Die Stämme in der ersten Leistungsprüfungen (1988) waren im Durchschnitt etwa 1,38 m lang, im Jahr danach waren sie mit durchschnittlich 1,25 bereits deutlich kürzer (Abbildung 1). Ab 1999 sind die Pflanzen noch zwischen 1,1 und 1,2 m lang. Trotz der starken Schwankungen zwischen den Jahren, kann insgesamt eine klare Verkürzung der Pflanzenlänge verzeichnet werden, wie die Korrelationskoeffizient von  $r^2=0.5$  unterstreicht. Der durchschnittliche Kornertrag der Stämme ist im Beobachtungszeitraum von 69,3 auf 78,6  $\text{dtha}^{-1}$  angestiegen. Der Korrelationskoeffizient  $r^2=0.16$

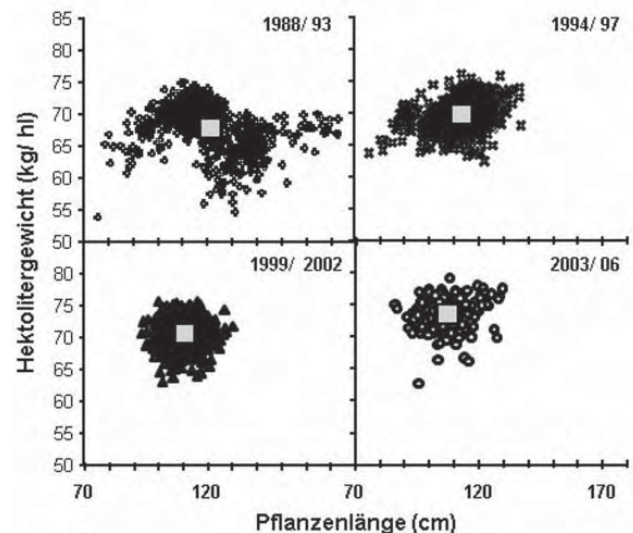


Abbildung 2: Entwicklung der Pflanzenhöhe und des Hektolitergewichtes der Zuchtstämme in den Zeiträumen 1988-1993, 1994-1997, 1999-2002 und 2003-2006. Die großen Symbole zeigen den Mittelwert für beide Merkmale für die entsprechenden Zeiträume.

Figure 2: Development of plant height and hectolitre weight in the advanced triticale lines in the time periods 1988-1993, 1994-1997, 1999-2002 and 2003-2006. Grey square symbols indicate the mean value of both traits in the respective time periods.

deutet auf sehr große Unterschiede zwischen den Jahren hin. Das Hektolitergewicht des Kornes lag bei den Zuchtstämmen von 1988 bei durchschnittlich unter  $65 \text{ kg}\cdot\text{hL}^{-1}$  und wurde mit den Jahren stetig verbessert. Die Werte ab dem Jahre 2000 entsprechen mit durchschnittlich über  $70 \text{ kg}\cdot\text{hL}^{-1}$  den Werten, die auch im Weizen anzutreffen sind.

Das Spektrum der Beobachtungen für Pflanzenlänge und Hektolitergewicht ist in *Abbildung 2* dargestellt. Jeder Punkt bezeichnet die Pflanzenlänge und das Hektolitergewicht eines Zuchtstammes im genannten Zeitraum. Die Streuung der Werte in den getesteten Populationen ist sehr groß im Zeitraum 1988-1992 mit sehr langen (bis zu 1,8 m Länge) und sehr kurzen Typen. In den folgenden Perioden wird die Streuung zunehmend geringer und die Genotypen werden kürzer und weisen gleichzeitig ein größeres Hektolitergewicht auf.

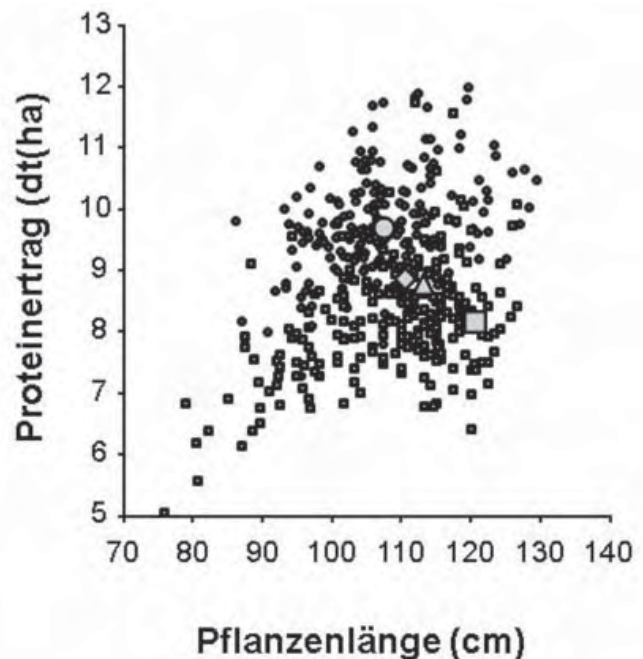
Die Analysen des Proteinertrags pro Hektar werden in *Abbildung 3* festgehalten. Die Entwicklung des Proteinertrags pro Hektar wird ebenfalls gemeinsam mit der Entwicklung der Pflanzenlänge dargestellt. Der durchschnittlichen Proteinertrag von  $8 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  im ersten Zeitraum (1988-1992) wurde stetig verbessert und befindet sich in der Periode 2002-2006 bereits bei etwa  $10 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Die Streuung der beobachteten Werte ist im ersten Zeitraum ebenfalls sehr breit, wird aber schmaler mit deutlich höheren Werten im letzten Beobachtungszeitraum.

## Diskussion

Im Triticalezuchtprogramm in Changins wird seit 1976 mit hexaploiden Triticale gearbeitet (SCHORI et al. 2007). Ab 1988 wurden vielversprechende Zuchtstämme ab etwa Generation F8 auf Ertrag und Qualitätsparameter in Leistungsprüfungen getestet (FOSSATI und BRABANT 2003). Die Daten über Pflanzenlänge, Hektolitergewicht und Proteinertrag zeugen von einer kontinuierlichen Verbesserung der agronomischen Merkmale über die ersten 15 Jahre. Die Vielfalt der Sorten, im Besonderen die Pflanzenlänge, nimmt sehr stark ab, vor allem in den ersten Jahren. Dies zusammen mit dem steigenden Hektolitergewicht der Stämme resultieren von der rigorosen Selektion. Kürzere Sorten und ein akzeptables Hektolitergewicht waren die Bedingungen für die Zulassung von Triticale auf dem schweizerischen Markt und die Übernahme der ersten Sorten durch die Produzenten (FOSSATI et al. 1992).

Die Verbesserung des Hektolitergewichts ging einher mit einer allgemeinen Verbesserung der Qualität, der Form und des Gesundheitszustandes der Körner. Wahrscheinlich können sich Krankheitserreger schlechter in einem runden Korn als in einem geschrumpelten Korn ansiedeln. Für Triticale wurde noch nie eine Korrelation zwischen Hektolitergewicht und Nährwert untersucht, wie dies bei Hafer und Gerste der Fall ist (EGGER 1989, EGGER und MOREL 1989). Swiss granum, die schweizerische Branchenorganisation, gibt auch keinerlei Prämie für Chargen mit einem Hektolitergewicht oberhalb  $66 \text{ kg}\cdot\text{hL}^{-1}$  (SWISS-GRANUM 2010). Die Wichtigkeit dieses Merkmales wird daher abnehmen.

Kürzere Halme verringern das Risiko der Lagerung und vereinfachen die Ernte, insofern das Stroh nicht weiter-



**Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Pflanzenhöhe und Proteinertrag.** Große Symbole zeigen die Mittelwerte für die Zeiträume 1988-93 (■); 1994-1997 (◇), 1999-2002 (△) und 2003-2006 (○). Kleine Symbole zeigen die Streuung der Daten der Zeiträume 1988-1992 (■) und 2003-2006 (○).

*Figure 3: Relationship between plant height and protein yield of Swiss triticale lines.* Great grey symbols indicate mean values for the time periods 1988-93 (■); 1994-1997 (◇), 1999-2002 (△) and 2003-2006 (○). Small symbols show the trait variation in the time periods 1988-1992 (■) and 2003-2006 (○).

verwendet wird. Es besteht jedoch ein direktes Verhältnis zwischen Ertrag und Pflanzenlänge, das wir auch in unseren Zuchtgärten beobachtet haben (SCHORI et al. 2007). Allgemein gilt daher: so lang wie möglich, ohne die Lagerung zu fördern. Wir schlagen daher eine angepasste Züchtungsstrategie für verschiedene Verwendungen vor:

- (1) kurze Typen für die Kornproduktion unter intensivem Anbau
- (2) lange Typen für den extensiven Anbau, Hoffütterung, Strohertrag (FOSSATI 1997).

Was den Kornertrag angeht, konnte eine Verbesserung von 0.43 bis 0.71% in den Leistungsprüfungen pro Jahr festgestellt werden. Die eingeschriebenen Sorten zeigen eine sehr ähnliche Steigerung des Ertragspotential (HILTBRUNNER et al. 2010). Dieser Ertragszuwachs ist jedoch geringer als die 1.5% Zuwachs die bei CIMMYT in den 1990er Jahren erzielt werden konnten (HEDE 2001). Wie wird dieser Ertragszuwachs erreicht und warum liegt dieser im Schweizer Programm unterhalb jener vergleichbarer Züchter? Die stetige Erhöhung des Ertrags wird auf die höhere Anzahl Körner pro Flächeneinheit zurückgeführt (SCHORI et al. 2007). Der Erfolg einer solchen Strategie wurde bereits von FOSSATI et al. (1993) postuliert. Die Erhöhung des Ertrags wurde jedoch durch die Erhöhung des Eiweißgehaltes verlangsamt. Der durchschnittliche Eiweißgehalt nahm zwischen 1988 bis 2006 von 10,9 auf

12,9% zu (SCHORI et al. 2007). Die spezielle Züchtung auf einen hohen Eiweißgehalt ist offensichtlich eine Spezifität zu anderen Zuchtprogrammen (BOMBIK et al. 2001, OETTLER 2005).

Triticale ist heute eine gut im Markt eingeführte Art mit großem Potential, die auch in marginalen Anbauregionen und unter widrigsten Bedingungen sichere und wirtschaftlich interessante Resultate erbringt. Die Verbesserung des Ertrags und des Eiweißgehaltes bleiben die wichtigsten Zuchtziele des Programmes. Die Pflanzenhöhe und das Hektolitergewicht sind keine Zuchtziele per se. Sie sollen vielmehr die Stabilität der Linien und die Anbausicherheit garantieren. Das Aufkommen von Krankheiten wie z.B. der echte Mehltau oder die Mykotoxinproblematik durch Infektionen mit *Fusarium* und Mutterkorn sind neue Herausforderungen an die Züchtung (MASCHER et al. 2006).

Die Geschichte der landwirtschaftlichen Nutzung des Triticale ist relativ kurz. Die Züchtung dieser Spezies ist sehr gut dokumentiert und kann als Beispiel dienen wenn neue Pflanzenarten gezüchtet und nutzbar gemacht werden sollen.

## Literatur

- BOMBIK A, STANKEWICZ C, STARCZEWISKI J, 2001: Correlation between some qualitative traits determining yield of selected triticale varieties. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roslin* 216, 131-136.
- EGGER I, 1989: Caractéristiques du triticale en tant que matière première pour l'alimentation animale. *Revue Suisse d'Agriculture* 21, 177-181.
- EGGER I, MOREL J, 1989: Poids à l'hectolitre et valeur nutritive de l'orge, de l'avoine et du blé. 2<sup>ème</sup> partie: Interaction entre le poids à l'hectolitre et la valeur nutritive. *Revue Suisse d'Agriculture* 21, 125-131.
- FOSSATI D, 1997: Définition d'idéotypes pour le triticale. *Revue Suisse d'Agriculture* 29, 291-296.
- FOSSATI D, BRABANT C, 2003: La sélection du blé en Suisse. *Revue Suisse d'Agriculture* 35, 169-180.
- FOSSATI D, FOSSATI A, FEIL B, 1993: Relationship between grain yield and grain nitrogen concentration in winter triticale. *Euphytica* 71, 115-123.
- FOSSATI A, PACCAUD FX, COLLAUD J, WEILENMANN F, GERIGHER W, WINIGER FA, 1987: Fiche technique d'une nouvelle variété de triticale: Lasko. *Revue Suisse d'Agriculture* 19, 83-84.
- FOSSATI A, FOSSATI D, WEILENMANN F, SAURER W, WINZELER M, WINZELER H, JAQUIÉRY R, 1992: Brio, une variété suisse de triticale d'automne. *Revue Suisse d'Agriculture* 24, 13-15.
- HEDE AR, 2001: A new approach to triticale improvement. In: Research highlights of the CIMMYT wheat program, 1999-2000, pp. 21-26. CIMMYT, Mexico, DF.
- HILTBRUNNER J, ANDERS M, LEVYL, COLLAUD JF, SCHWÄRZEL R, BERTOSSA M, STOLL P, PETER D, ZÜRCHER J, CHASSOT A, 2010: Empfohlene Getreidesorten für die Ernte 2011. *Agrarforschung Schweiz* 1 (7-8), Beilage. [Available online: [http://www.agrarforschungschweiz.admin.ch/archiv\\_11de.php?id\\_artikel=1591](http://www.agrarforschungschweiz.admin.ch/archiv_11de.php?id_artikel=1591); accessed 25 Jan 2011]
- HULSE JH, LAING EM, 1974: Nutritive value of triticale protein (and the proteins of wheat and rye). International Development Research Centre, Ottawa. [Available online: <http://hdl.handle.net/10625/1473>; accessed 21 December 2010]
- MASCHER F, REICHMANN P, SCHORIA, 2006: Impact de l'oïdium sur la culture du triticale. *Revue Suisse d'Agriculture* 38, 103-196.
- MYER RO, COMBS GE, BARNETT RD, 1990: Evaluation of three triticale cultivars as potential feed grains for swine. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 49, 155-158.
- OETTLER G, 2005: The fortune of a botanical curiosity - Triticale: Past, present and future. *J. Agric. Sci.* 143, 329-246.
- RUSKIN FR, 1989: Triticale: A promising addition to the world's cereal grains. National Academy Press, Washington, DC.
- SCHORIA, FOSSATI D, MASCHER F, FOSSATI A, 2007: Fortschritte im Triticalezüchtprogramm in Changins. *Agrarforschung* 14, 424-429.
- SWISSGRANUM, 2010: Übernahmbedingungen für inländisches und importiertes Futtergetreide und Eiweißpflanzen - Ernte 2010. [Available online: [http://www.swissgranum.ch/pdf/3bf1\\_D\\_uebernahmebedingungen\\_FG2010.pdf](http://www.swissgranum.ch/pdf/3bf1_D_uebernahmebedingungen_FG2010.pdf); accessed 21 December 2010]

# Ertrag versus Qualität - hat die Ethanolgetreidezüchtung Zukunft? Yield against quality - is there a future for breeding cereals for ethanol?

Elisabeth Zechner<sup>1\*</sup>, Sabine Hammerl<sup>1</sup> und Michael Oberforster<sup>2</sup>

## Abstract

Since 1903 cereal breeding takes place at Edelhof near Zwettl, Lower Austria. The main focus lies on the breeding of top-quality wheat for Europe, high-yielding wheat with medium quality, two-rowed winter barley, spring barley with a high percentage of plump seeds, early maturing quality oats, open-pollinating rye and varieties for organic farming. With the directive 2009/28/EG and the installation of a bio-ethanol plant in Austria, breeders interest in selecting cereals for ethanol production awaked.

This means in particular field selection, investments in quality analyses and targeted projects, and furthermore the implementation of a new breeding programme (parallel to bread cereal breeding). From crossing to variety release several years pass by. Meanwhile, cereal breeders had to realize that from the bio-ethanol market there is no special interest in varieties specific for this purpose.

## Keywords

Bio-ethanol, breeding, cereals, quality, *Triticum aestivum*, wheat, yield

## Einleitung

Seit 1903 wird an der Saatzucht Edelhof bei Zwettl, Niederösterreich, Getreidezüchtung betrieben: waren es ursprünglich Roggen und Hafer, so sind es heute neben diesen traditionellen Waldviertler Getreidearten Weizen und Gerste, die züchterisch intensiv bearbeitet werden. Züchtung ist so alt wie die Menschheit - immer mit dem Ziel, die Pflanzen an die Bedürfnisse der Menschen anzupassen. Seien es nun Verbesserungen in Ertrag und/oder Qualität, arbeitswirtschaftliche Vorteile, die Produktion von gesunden Nahrungs-, Futtermitteln, industriellen Rohstoffen und in den letzten Jahrzehnten immer stärker dem Ruf nach Energiepflanzen folgend. Und immer ist und war es „Ertrag versus Qualität!“

Die Richtlinie 2003/30/EG zur „Förderung der Verwendung von Biotreibstoffen“ brachte einen enormen Aufschwung in der Produktion von biogenen Kraftstoffen, nicht nur in Österreich. Seit Oktober 2007 wird zu Benzin etwa 5% Ethanol zugesetzt und seit Februar 2009 enthält Diesel, der an Österreichs Tankstellen gezapft wird, etwa 7% Biodiesel. Intensiviert werden die europäischen Vorgaben

weilers durch die Richtlinie 2009/28/EG, die sogenannte „Erneuerbaren-Richtlinie“ (LK ÖSTERREICH 2010).

Grundsätzlich kann Bioethanol als Biotreibstoff der 1. Generation aus allen stärke- bzw. zuckerhaltigen Rohstoffen hergestellt werden. Aufgrund klimatischer Gunstgebiete für bestimmte Rohstoffe haben sich regionale Präferenzen bei der Rohstoffverwendung zur Herstellung von Bioethanol entwickelt. In Europa sind die wichtigsten Rohstoffe zur Erzeugung von Bioethanol stärkehaltige Getreidearten sowie Zuckerrübensaft. In den USA wird Bioethanol hauptsächlich aus Mais hergestellt, in den tropischen Regionen, insbesondere Brasilien, wird als Rohstoff derzeit ausschließlich Zuckerrohr verwendet (AGRANA 2009). Ethanol wird neben der Hauptverwendung im Kraftstoffsektor auch von der Nahrungsmittelindustrie und vom chemisch-technischen Sektor als Lösungs- und Reinigungsmittel nachgefragt.

Um Bioethanol in Österreich herzustellen, wird aus Weizen und Triticale, Mais und Zuckerrübensaft eine Maische hergestellt, die durch Zugabe von Enzymen vergoren wird. Das so entstehende Produkt mit etwa 18% Alkoholgehalt wird durch Wasserentzug auf einen Alkoholgehalt von mindestens 99% gebracht und ist de facto wasserfrei.

## Woher kommen wir?

Zu Beginn der Züchtung von Ethanolgetreide macht der Züchter eine Standortbestimmung. Die Schwerpunkte in der Edelhofer Züchtung lagen bisher bei

- Top-Qualitätsweizen
- ertragreichen Weizen mittlerer Qualität
- zweizeiligen Wintergersten
- großkörnigen Sommergersten
- frühreifen Qualitätshafern
- traditionellen Populationsroggen
- Sorten für die Bio-Landwirtschaft

Getreide ist ein lebendiger Rohstoff mit allen natürlichen Schwankungen. Alle beteiligten Branchen unternehmen große Anstrengungen, damit daraus ein homogener, qualitativ hochwertiger Rohstoff entsteht. Qualität bezieht sich herkömmlich auf den Einsatz als Nahrungs- und Futtermittel. Wo sind nun die Möglichkeiten und die Grenzen der Qualitätsgetreidezüchtung? Haben wir bisher die Qualität des „Ethanolweizens“ weggeworfen? Einerseits strapazieren wir Züchter gerne Sprüche wie „Pflanzzüchtung ist die

<sup>1</sup> Verein zur Förderung der Mohn- und Getreidezüchtung, Edelhof 4, A-3910 ZWETTTL

<sup>2</sup> Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES), Spargelfeldstraße 121, A-1220 WIEN

\* Ansprechpartner: Elisabeth ZECHNER, elisabeth.zechner@edelhof.at



Kunst des Wegwerfens“, andererseits gilt auch „Wer zu spät kommt, den bestraft das Leben“ (Michail Gorbatschow). Findet man so Ethanolweizen?

### Wo stehen wir?

War die Verwertung von Getreide für Nutzungen außerhalb der Nahrungs- und Futtermittelindustrie einige Jahre zuvor noch verpönt, sprachen sich im Jahr 2010 Menschen in der gesamten EU deutlich für den Einsatz von Biokraftstoffen aus. 72% der Befragten unterstützten die Gewinnung von Treibstoffen aus Nutzpflanzen (Österreich 76%), und 83% sprachen sich für die Erzeugung von Biokraftstoffen aus nicht essbaren Rohstoffen aus (Österreich 82%) (AIZ-Mailservice, 11. November 2010). Die Richtlinie 2009/28/EG gibt als verbindliches Mindestziel vor, dass 20% weniger Treibhausgasemissionen bis 2010 zu erreichen sind; Österreich verfehlte dieses Ziel. Die Kraftstoffverordnung in Österreich gilt seit 1. Oktober 2008 mit der Verpflichtung einer 5,75% Beimischung zu Kraftstoffen. Das Ziel sind 10% Biokraftstoffanteil am Benzin- und Dieserverbrauch bis 2020.

Das Ethanolwerk in Pischelsdorf bei Tulln ist seit Juni 2008 in Betrieb. Hier kommen jährlich bis zu 620000 t Getreide (Weizen und Triticale bzw. Mais im Verhältnis 3:1) zur Verarbeitung. Es werden etwa 240000 m<sup>3</sup> Ethanol (bzw. 190000 t) und bis zu 190000 t Trockenschlempe gewonnen. Diese wird als gentechnikfreies Eiweißfuttermittel mit circa 346 g Protein pro kg Trockenmasse als DDGS (*Distiller's Dried Grain with Solubles*) unter dem Markennamen Actiprot® als Futtermittel angeboten. Dadurch werden bis zu einem Viertel der österreichischen Sojaimporte aus Übersee ersetzt. Die Ziele der industriellen Herstellung von Bioethanol liegen in der Maximierung der Ethanolsausbeute pro Hektar und in der Verwertung der Schlempe als Futter. Weiters ist bekannt, dass eine Produktionsweise zur Maximierung des Stärke-/Bioethanolertrages nicht dem Anbauverfahren von Getreide zur Herstellung von Nahrungsmitteln entspricht (FARACK 2007).

Daher ist verständlich, dass die Getreidezüchter mit der Erbauung von Pischelsdorf ein großes Interesse an der Thematik Ethanolgetreide - zusätzlich zur Zuchtichtung Qualitätsgetreide für die Nahrungsmittelherstellung - entwickelten. Konkret bedeutet das für den Züchter Selektionen am Feld, Investitionen in Analysen und zielführende Projekte, weiters die Einführung eines eigenen Zuchtprogramms (parallel zur Brotgetreidezüchtung), angefangen bei Kreuzungen bis hin zur Einreichung von Prüfstämmen in die österreichische Wertprüfung. Eine Entscheidung, die ein Züchtungsunternehmen für viele Jahre im Voraus trifft.

Das Projekt GEMBEOL, eine Kooperation der AGES und des Vereins zur Förderung der Mohn- und Getreidezüchtung, machte sich auf die Suche nach den passenden Getreidearten und -sorten bzw. Maissorten.

### Material und Methoden

Der Endbericht des Projektes GEMBEOL umfasst Ergebnisse der Anbausaisonen 2004/05 bis 2008/09. Bearbeitet wurden die Winterformen von Weizen, Triticale, Gerste,

Roggen und die Kulturart Mais. Die Prüfstandorte befanden sich im Trocken- bzw. Feuchtgebiet Nieder- und Oberösterreichs bzw. für Mais zusätzlich am Standort Gleisdorf in der Steiermark. Bei Winterweizen wurden zugelassene Sorten sowie Zuchtstämme geprüft. Um die Variabilität auszuloten, wurden neben Genotypen, die eine Eignung als Ethanolweizen erwarten ließen, auch einige Sorten der Backqualitätsgruppen 7 und 8 mitgeprüft. Bei zwei- und mehrzeiligen Wintergersten, Populations- und Hybridrogen wurden ausschließlich registrierte Sorten geprüft. Bei Wintertriticale wurden sowohl zugelassene Sorten als auch Zuchtstämme einbezogen. Die registrierten Maissorten umfassten in der Reifegruppe 2 mittelfrühe Sorten der Reifezahlen 260 bis 290, die Reifegruppe 3 beinhaltete mittelfrühe bis mittel-späte Sorten mit Reifezahlen von 280 bis 350.

Neben den Feldbeobachtungen und Bonituren der agronomischen Merkmale wie Jugendentwicklung, Ährenschieben, Krankheiten, Wuchshöhe, Lager etc. wurden die üblichen Qualitätsanalysen wie Feuchtigkeitsbestimmung (%), Tausendkorngewicht (g), Hektolitergewicht (kg hl<sup>-1</sup>), Fallzahl (s), Siebung (%), optische Bonitur der Kornbeschaffenheit (Kornbonitur 1-9) durchgeführt. Für die Bestimmung der Eignung als Ethanolgetreide wurden Stärke (%) polarimetrisch nach Ewers, Protein (%) nach Dumas und die Ethanolausbeuten (l dt<sup>-1</sup>) bzw. Ethanolerträge (l ha<sup>-1</sup>) analysiert. Da für die Züchtung eine Schnellbestimmung auf Stärke von wirtschaftlicher Bedeutung ist, wurde eine Eichkurve zur Stärke-Kalibrierung für NIR (Nahinfrarot-Transmitter) erstellt.

### Ergebnisse und Diskussion

Die gärungstechnische Qualität definiert sich über die Ethanolausbeute pro kg Rohstoff: dies erfordert einen hohen Stärkegehalt. Aufgrund der wirtschaftlichen Notwendigkeit zur Verwertung des Koppelproduktes Schlempe als Futtermittel sind niedrige Mykotoxingehalte im Rohstoff Voraussetzung. Es gelten die Grenzwerte des Lebensmittelbereiches, da sich Fusariumtoxine bei der Verarbeitung im Nebenprodukt Schlempe auf das 2,5 bis 4fache anreichern. Der Gehalt an Deoxynivalenol (DON) muss unter 1250 µg kg<sup>-1</sup> und der Gehalt an Zearalenon (ZEA) unter 100 µg kg<sup>-1</sup> unverarbeitetes Getreide liegen. Bei der Übernahme gilt die Toleranzgrenze von 1% sichtbar mit *Fusarium* befallenen Körnern.

Die für die Backqualität bzw. den Einsatz als Futtermittel wichtigen Parameter Rohprotein, Sedimentationswert etc. sind für Ethanolgetreide von geringerer Bedeutung. Sie haben keinen Einfluss auf die Bezahlung, wünschenswert sind jedoch Proteinwerte von 9-12%. Jedes zusätzliche Prozent Protein reduziert jedoch den Gehalt an Stärke. Somit ist die Produktion von Getreide mit niedrigen Proteingehalten anzustreben und die Düngestrategie dahingehend auszurichten. Besonders zu beachten ist dies bei Weizen, wo in den traditionellen Brotweizengebieten die bisherige Düngestrategie in Richtung hoher Proteingehalte von über 14% im Korn abzielte.

Mais ist mit Abstand am stärkereichsten sowohl in den prozentuellen Stärkegehalten als auch in den Stärkeerträgen pro Hektar (*Tabelle 1*). Als wichtigster indirekter Parame-

**Tabelle 1: Mittelwert und Spannweite von Proteingehalt, Stärkegehalt und Stärkeertrag bei Weizen, Gerste, Roggen, Triticale und Mais (OBERFORSTER et al. 2010)****Table 1: Mean and range of protein content, starch content and starch yield of wheat, barley, rye, triticale and maize (OBERFORSTER et al. 2010)**

Kulturart		Rohprotein (%)	Stärkegehalt (%)	Stärkeertrag (dt ha <sup>-1</sup> )
Winterweizen	Trockengebiet	13,9 (11,1-18,1)	67,6 (62,8-72,6)	48,3 (28,7-67,1)
	Feuchtgebiet	12,9 (8,4-18,0)	68,4 (63,4-74,6)	51,9 (25,5-73,9)
Wintergerste		12,9 (11,1-16,2)	59,2 (56,1-64,1)	41,2 (29,7-55,3)
Winterroggen		10,1 (7,2-12,6)	62,7 (60,0-65,1)	38,4 (27,6-48,9)
Wintertriticale		11,1 (7,5-16,0)	69,1 (62,3-75,3)	51,9 (35,5-68,5)
Mais	Reifegruppe 2	8,9 (7,3-11,1)	72,4 (68,5-75,9)	78,9 (56,3-98,3)
	Reifegruppe 3	8,7 (6,9-11,5)	73,3 (69,6-77,0)	76,5 (53,2-101,9)

**Tabelle 2: Mittelwert und Spannweite von Ethanolausbeute, Ethanolertrag, Gärgeschwindigkeit und Verzögerungszeit bei Weizen, Gerste, Roggen, Triticale und Mais (OBERFORSTER et al. 2010)****Table 2: Mean and range of ethanol gain, ethanol yield, fermentation speed and delay time of wheat, barley, rye, triticale and maize (OBERFORSTER et al. 2010)**

Kulturart		Ethanolausbeute (l dt <sup>-1</sup> TM Korn)	Ethanolausbeute (l dt <sup>-1</sup> TM Stärke)	Ethanolertrag (l ha <sup>-1</sup> )	Gärgeschwindigkeit (g CO <sub>2</sub> h <sup>-1</sup> )	Verzögerungszeit (h 16 g <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> )
Winterweizen	Trockengebiet	42,2 (39,5-45,4)	62,4 (59,0-67,3)	3.03 (1.80-4.10)	0,76 (0,63-0,86)	18,8 (14,8-22,0)
	Feuchtgebiet	42,6 (38,4-45,9)	62,3 (57,5-68,2)	3.24 (1.57-4.77)	0,74 (0,56-0,93)	19,8 (13,8-28,5)
Wintergerste		37,7 (35,2-41,1)	63,7 (59,8-70,3)	2.62 (1.80-3.40)	0,86 (0,60-0,92)	15,4 (11,2-19,0)
Winterroggen		39,5 (37,0-42,9)	62,9 (57,8-70,0)	2.42 (1.85-2.97)	0,86 (0,74-0,95)	13,8 (8,1-19,7)
Wintertriticale		42,8 (39,4-46,2)	62,2 (56,8-66,7)	3.21 (2.19-4.29)	0,76 (0,63-0,91)	18,8 (12,4-27,6)
Mais	Reifegruppe 2	45,9 (42,7-48,1)	62,6 (59,2-65,7)	4.97 (3.41-6.11)	0,78 (0,68-0,90)	18,8 (15,1-23,9)
	Reifegruppe 3	45,9 (42,3-48,1)	62,5 (58,8-65,9)	4.93 (3.36-6.43)	0,79 (0,64-0,89)	18,9 (16,0-24,8)

ter der Ethanolergiebigkeit wurde der Gesamtstärkegehalt bestimmt. Aus Sicht des Landwirtes ist der Kornertrag besonders bedeutsam für die Wirtschaftlichkeit, sind doch die Stärkeerträge bei Weizen, Triticale und Mais mit über 79% vom Kornertrag bestimmt. Die höchsten Kornerträge erbringt Mais.

Mais erbringt bei niedrigen Proteinwerten die höchsten Ethanolausbeuten in Liter pro Dezitonne Rohstoff auf Trockenmasse bezogen (Tabelle 2). Gerste und Roggen liegen wiederum am unteren Ende dieser Skala. Bezieht man die Ethanolausbeute in Liter auf Dezitonne Stärke korrigiert auf Trockenmasse reduziert sich die Schwankungsbreite der untersuchten Pflanzenarten stark.

Die Verwertung des Koppelproduktes als Futtermittel begründet die begrenzte Einsetzbarkeit von Mais in der Ethanolherstellung, denn Actiprot® hat mindestens 30% Protein in der Frischmasse. Dieser Wert ist mit Mais allein nicht erreichbar.

Hohe Gärgeschwindigkeiten und kurze Verzögerungszeiten bewirken eine bessere Ausnutzung der Anlage, damit eine bessere Wirtschaftlichkeit. Bei Gärgeschwindigkeit von 0,74-0,79 g CO<sub>2</sub> h<sup>-1</sup> unterscheiden sich Weizen, Triticale, Mais nur wenig (Tabelle 2). Für Gerste ergibt sich hier ein weiterer Hinweis auf die Unwirtschaftlichkeit.

## Schlussfolgerungen

In der Weizen- und Triticalezüchtung für die Nutzung als Ethanolgetreide ist die Selektion auf hohen Stärkeertrag (bzw. geringen Proteinertrag) am effizientesten (Tabelle 3). Die NIR-Kalibrierung auf Stärkegehalte unterstützt eine rasche und effektive Auswahl der richtigen Kandidaten. Gut ausgebildete Körner sind sowohl bei Brot- als auch Etha-

**Tabelle 3: Abhängigkeit der Ethanolausbeute vom Stärkegehalt bei Weizen, Gerste, Roggen, Triticale und Mais (OBERFORSTER et al. 2010)****Table 3: Relationship between ethanol gain and starch content of wheat, barley, rye, triticale and maize (OBERFORSTER et al. 2010)**

Kulturart		Korrelationskoeffizient (r) Ethanolausbeute-Stärkegehalt
Winterweizen	Trockengebiet	0,96**
	Feuchtgebiet	0,97**
Wintergerste		0,87**
Winterroggen		-0,28 n.s.
Wintertriticale		0,91**
Mais	Reifegruppe 2	0,84**
	Reifegruppe 3	0,80*

anolgetreide ein wichtiges Qualitätsmerkmal und optische Kornbonituren sind rasch durchzuführen. Aufgrund der Projektergebnisse ist es wenig zielführend, auf ein hohes Tausendkorn- oder Hektolitergewicht zu selektieren. Da es heißt „Perlen liegen nicht am Strand, wenn du eine willst, musst du nach ihr tauchen“ (orientalischer Spruch), sind die Ethanolgetreide-Perlen, nach denen der Züchter taucht

- ertragreiche,
- auswuchsfeste,
- stärkereiche/proteinarme und
- korngesunde Sorten!

## Wohin gehen wir?

Zur Zeit werden nach wie vor keine Stärkeanalysen bei der Übernahme durch die Aufkäufer gemacht; wünschenswert

sind jedoch Stärkegehalte zwischen 69 und 73%. Die in Österreich zum Einsatz kommenden Getreidearten Weizen und Triticale zeigen in den zusammenfassenden Ergebnissen des Projektes GEMBEOL eine Spannweite von etwa 62 bis 75%. Die Ethanolausbeuten schwanken zwischen 39 und 46 l dt<sup>-1</sup> Korn trockenmasse (Tabelle 1). Zur Ernte 2010 gab es keine stärkeabhängige Qualitätsbezahlung. Agrana Pischelsdorf bietet auch zur Ernte 2011 Verträge für Ethanolweizen und Ethanoltriticale an. Wie im Vorjahresmodell setzt sich der Preis aus der Akontozahlung auf Mahlweizenniveau sowie einer marktabhängigen Nachzahlung zwischen Mahl- und Futterweizenpreis im Frühjahr 2012 zusammen. Somit ist der Preis für Ethanolgetreide auf jeden Fall über dem vom Futtergetreide, es liegen auch die Qualitätsanforderungen über denen von Futter- und unter denen von Mahlweizen. Ethanoltriticale liegt um €10 pro Tonne unter dem Preis des Ethanolweizens. Verträge sind bis zum 17. Jänner 2011 abzuschließen. Die gesamte Kontraktmenge für Ethanolweizen und Ethanoltriticale ist mit max. 60000 t limitiert (zur Ernte 2010 waren dies noch 100000 t und 60000 t zusätzliche Kontraktmenge für die Rübenbauern, die Miteigentümer an der Ethanolanlage Pischelsdorf sind). Die Anforderungen der Industrie an Weizen und Triticale sind von Seiten der Landwirte in der Produktionstechnik erfüllbar (Tabelle 4). Im Vergleich zu Qualitätsweizen besteht ein geringeres Erzeugungsrisiko.

In der Zwischenzeit musste man feststellen, dass es seitens des Ethanolgetreidemarktes kein spezielles Sorten-Interesse gibt. Ist das das Schicksal eines Züchters, dessen Aufgabe es immer ist, zehn Jahre in die Zukunft zu blicken und seine Kreuzungen und Selektionen dahingehend auszurichten?

Es gibt also in Österreich für Ethanolgetreide keine in Anbauverträgen festgeschriebenen Sorten. Daher ist für den Landwirt jene Sorte die beste, welche den höchsten Ertrag bringt und dabei die Anforderungen des Aufkäufers erfüllt. Züchtung dauert von der Kreuzung bis zur Sortenzulassung und damit Marktreife über 10 Jahre. Daher erfordert eine nachhaltig erfolgreiche Züchtung eine langfristige Planung in Bezug auf Zuchtziele, Personalentwicklung und Investitionen. In die mittelfristige Planung gehören Zuchtziele, maschinelle Ausstattung, Versuchsflächen und die Anlage von Vermehrungen. Die kurzfristige Planung betrifft das Tagesgeschäft. Doch auch die Getreidemärkte werden immer volatil und erfordern insofern eine „flexible“ Stabilität in den Züchtungszielen, die entsprechende Weiterbildung aller Mitarbeiter, aber auch die Einführung

**Tabelle 4: Anforderungen an Ethanolgetreide in Österreich**

**Table 4: Requirements for cereals for ethanol production in Austria**

Parameter	Weizen	Triticale
Hektolitergewicht	76 kg hl <sup>-1</sup> (≥ 73 kg hl <sup>-1</sup> )	70 kg hl <sup>-1</sup> (≥ 67 kg hl <sup>-1</sup> )
Sichtbarer Auswuchs	<2,5%	<5%
Fallzahl	>180 s	
Sichtbarer Fusariumbefall	<1%	<1%
DON	≤1250	≤1250/
ZEA	≤100 µg kg <sup>-1</sup>	≤100 µg kg <sup>-1</sup>
Schmacht- bzw. Bruchkorn	<10%	
Besatz	<2,5%	

neuer, erprobter Methoden. Zur Finanzierbarkeit zählen eine Stabilität in der Personalpolitik und vor allem auch eine kontinuierliche Steigerung der Vermehrungsflächen. Welche Konsequenzen haben nun die Projektergebnisse, das Verhalten der Industrie bzw. der aufkaufenden Hand für den Edelhofer Zuchtbetrieb?

### Weizenzüchtung

Am Beginn des Zuchtprozesses steht die Kreuzung. Die Auswahl geeigneter Eltern legt den Grundstein für später mögliche Auswahlverfahren auf Backfähigkeit bzw. die Ethanolnutzung. Ein Qualitätsweizenzüchter, der auch Ethanolweizen selektieren will, wird sein Kreuzungsprogramm erweitern, die Beobachtungen am Feld in gleicher Weise wie bisher durchführen, jedoch bei den Qualitätsmerkmalen ergänzende Feststellungen vornehmen. Bei der Züchtung von Ethanolweizen kommt dem Kornertragspotenzial in Hinblick auf die Flächenleistung um Ethanol eine große Bedeutung zu. Bei Qualitätsweizen schlägt die erzielte Qualität (insbesondere der Proteingehalt) stärker auf den Roherlös des Landwirts durch. Eine vergleichbare qualitätsbezogene Bezahlung für Ethanolweizen ist derzeit nicht beabsichtigt.

Die Erweiterung des bestehenden NIR-Einsatzes um das Merkmal Stärkegehalt erleichtert die Auswahl von Ethanolweizen bereits in jungen Generationen, da das NIR-Gerät eine zerstörungsfreie Analyse erlaubt. Weitere chemische Untersuchungen wie z.B. die Ethanolausbeute werden diese Auswahl im Anschluss bestätigen müssen. Die Bevorzugung auswuchstoleranter Sorten hat ihre Bedeutung auch für Ethanolweizen, wobei sich dies nicht in Problemen der Ethanolherzeugung begründen lässt, sondern in Problemen längerer Lagerung. Nicht außer Acht zu lassen sind Tests hinsichtlich der Anfälligkeit für Ährenfusarium sowie Untersuchungen des Erntegutes hinsichtlich der Kontamination mit Mykotoxinen (insbesondere Deoxynivalenol). Künftig ist ein teilweiser Anbau von Ethanolweizen mit verringerter Saatstärke (beispielsweise 230 keimfähige Körner pro m<sup>2</sup>) möglich. Bestockungsfreudige Typen werden hier bevorzugt, es kann eine gesündere Abreife durch bessere Durchlüftung und damit ein wertvoller Rohstoff für die Erzeugung von Ethanol und Trockenschlempe erzielt werden.

Die wichtigsten Zuchtziele bei Ethanolweizen sind neben agronomischen Eigenschaften wie Kornertrag, Krankheitsresistenz (hier insbesondere die Widerstandskraft gegen Ährenfusarium) und Standfestigkeit weiters Stärkegehalt und Stärkelöslichkeit in Form von Ethanolausbeute und leichte Vergärbarkeit. Die so selektierten Genotypen durchlaufen die offizielle Wertprüfung bis zur Sortenzulassung und dienen als zukünftige Kreuzungspartner. Wie intensiv sich die Züchter mit dem Thema Ethanolgetreide beschäftigen, wird von der Sortennachfrage der Landwirte und der Verarbeitungsindustrie abhängen. Vom Stärkegehalt abhängige Qualitätszuschläge könnten der Züchtung Impulse verleihen.

### Roggenzüchtung

Neben den bisherigen Zuchtaktivitäten bei Populationsrogen gibt es derzeit keine Aktivitäten in Richtung spezielle

Selektion für Ethanolverwertung. Es gibt auch kein Interesse seitens der verarbeitenden Industrie. Roggen besitzt etwas geringere Stärkegehalte und zeigt in der Alkoholausbeute geringe Sortenunterschiede als Weizen und Triticale. Verfahrenstechnisch kann es bei Roggen Probleme aufgrund von Verschleimung durch Pentosane geben, deshalb kann Roggen nicht gemeinsam mit Weizen und Triticale verarbeitet werden. Die rogenverarbeitenden Anlagen müssen mit einem Vorerhitzer ausgestattet sein. Weiterhin zu beobachten ist die Verwertung von Ganzpflanzen als BTL (*biomass to liquid*) im Zuge der Biotreibstoffe der 2. Generation.

### Gersten- und Haferzüchtung

Für beide Kulturen gibt es keine weiteren Aktivitäten mit der Nutzungsrichtung Ethanolgetreide; bespelzte Arten eignen sich weniger für diese Produktionsrichtung.

### Triticalezüchtung

Allgemein sehr interessant, eignet sich Triticale auch zur Ethanolverzeugung aufgrund seiner hohen Stärkegehalte. Triticale hat im Vergleich zu Weizen eine höhere Aktivität der stärkeabbauenden Enzyme im Korn, dadurch wird eine geringere Beigabe von Fremdenzymen im Verarbeitungsprozess ermöglicht. Bei der Saatzucht Edelhof wird Triticale züchterisch nicht behandelt.

Die Edelhofer Züchtung betreibt Aktivitäten mit vermindertem Aufwand im Vergleich zu den ursprünglichen Intentionen in Zeiten der Euphorie, da die aufkaufende Hand bzw. die Ethanolindustrie keine sortenspezifischen Verträge ausgibt. Sehr wohl jedoch gibt es Sortenempfehlungen des österreichischen Sortenamtes bzw. der saatzgut anbietenden Firmen. Dazu ist eine grundsätzliche Ethanoltauglichkeit der Sorte erforderlich, eine Kombination aus hohem Kornertrag und niedrigem Proteingehalt. Neben der bedeutenden Fusariumtoleranz sind Standfestigkeit und Auswuchsfestigkeit,

aber auch die regional geprüfte Anpassung der Sorten hierzu Voraussetzung.

### Danksagung

Das Projekt GEMBEOL (*Eignung von Getreide- und Maisarten sowie optimierte Anbaustrategien zur Erzeugung von Rohstoffen für Bioethanol und verwertbare Nebenprodukte*; Projekt-Nr. 100197) wurde 2006-2010 in Kooperation von AGES und dem Verein zur Förderung der Mohn- und Getreidezüchtung durchgeführt und vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und dem Amt der Niederösterreichischen Landesregierung finanziell unterstützt.

### Literatur

- AGES, 2010: Österreichische Beschreibende Sortenliste 2010, Landwirtschaftliche Pflanzenarten. Schriftenreihe 2/2010. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Wien.
- AGRANA, 2009: AGRANA Bioethanol. Jetzt tankt die Umwelt auf. AGRANA Beteiligungs-AG, Wien [Available online: <http://www.agrana.com/pr/downloads/>; accessed 14 Feb 2011].
- FARACK M, 2007: Ethanolgetreide - eine neue Qualitätsschiene für die Landwirtschaft. 9. Jahrestagung Thüringer Landwirtschaft, Thüringer Landwirtschaft 2020 - hoch spezialisiert und/oder vielseitig, 15. Februar, Erfurt. [Available online: [http://www.tll.de/ainfo/pdf/jata/jt07\\_22f.pdf](http://www.tll.de/ainfo/pdf/jata/jt07_22f.pdf); accessed 14 Feb 2011].
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH, 2010: Brennpunkt Biotreibstoffe [Available online: <http://www.agrarnet.info/?id=2500%2C1567484%2C%2C>; accessed 14 Feb 2011]
- OBERFORSTER M, FLAMM C, PRIELER W, FELDER H, LIPP M, HAMMERL S, KINASTBERGER A, SCHULMEISTER K, ZECHNER E, 2010: Eignung von Getreide- und Maissorten sowie optimierte Anbaustrategien zur Erzeugung von Rohstoffen für Bioethanol und verwertbare Nebenprodukte (Akronym: GEMBEOL). Endbericht des Forschungsprojektes 100197 im Auftrag des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, und des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung, St. Pölten.



# Ertrags- und Qualitätsentwicklung bei Öl- und Eiweißfrüchten in der Sortenwertprüfung

## Yield and quality development of oil- and protein crops in national VCU trials

Klemens Mechtler<sup>1\*</sup> und Martin Hendler

### Abstract

An increase in acreage of oil and protein crops is recorded for Austria since the early 1980's. Meanwhile about 150000 ha are annually cultivated with winter rapeseed, sunflower, hull-less oil seed pumpkin, soybean and field peas as the most important crops. The number of listed varieties for grain use in these plant species has increased steadily summing up to about 170 registrations in November 2010. The breeding progress in these crops is evaluated based on the results of official VCU trials from 1981 to 2010 and assessed by regression analysis between variety means and year of registration. The annual increase in yield varied between 0.25 dt ha<sup>-1</sup> for hull-less oil seed pumpkin and 0.75 dt ha<sup>-1</sup> for hybrid varieties of winter rapeseed. Early maturing sunflower varieties showed a lower yield progress, i.e. 0.42 dt ha<sup>-1</sup> compared to varieties of the medium and late maturity class (0.61 dt ha<sup>-1</sup>). Oil-, protein- and glucosinolate contents remained more or less unchanged, with the exception of winter rapeseed (0.10% oil content in line varieties and 0.11% in hybrid varieties). Regression coefficients were lower for oil- and protein yield according to the crop specific content levels for these substances. For hull-less oil seed pumpkin and 000-soybeans remarkable progress could be found for thousand kernel weight.

### Keywords

*Brassica napus*, breeding progress, *Cucurbita pepo*, *Glycine max*, *Helianthus annuus*, *Pisum sativum*

### Einleitung

Der Anbau von Öl- und Eiweißfrüchten wurde in Österreich ab Anfang der 1980er Jahre stark ausgeweitet, um der Überschussproduktion bei Getreide und Mais zu begegnen. Von anfänglich ca. 10000 ha - hauptsächlich Raps und Ölkürbis - werden diese „Alternativkulturen“ bereits während der letzten 15 Jahre auf etwa 150000 ha angebaut, was ungefähr 11% des österreichischen Ackerlandes entspricht (STATISTIK AUSTRIA 2010). Mit der Flächenausweitung nahm ebenso die Sortenentwicklung und -listung seit 1980 einen geradezu fulminanten Verlauf. Ausgehend von einem sehr bescheidenen Sortimentsumfang in dieser Kulturart

tengruppe mit seit langem gelisteten Ackerbohnsorten wie z.B. Kornberger Kleinkörnige (Zulassung 1956) und Wieselburger Kleinkörnige (1956), dem Gleisdorfer Ölkürbis (1969) oder Wies 371 (1976) und vier 0-Sorten bei Winterkörnerraps stieg die Sortenzahl bis zu einem ersten Höhepunkt Ende der 1990er Jahre rasch an und liegt nun bei nahezu 170 Sorten (Abbildung 1, AGES 2011) mit steigender Tendenz.

Nach nahezu drei Jahrzehnten einer beeindruckenden Sortenentwicklung soll nun versucht werden, den Zuchtfortschritt in diesen Artengruppen für ausgewählte Merkmale an Hand von Versuchsergebnissen aus den österreichischen Produktionslagen zu quantifizieren. Die umfangreichsten Sortimente und größeren Anbauflächen sind aktuell bei Winterkörnerraps (2010: 53670 ha); Sonnenblume (25400 ha) und Sojabohne (34380 ha) gegeben. Bei Raps wird die Winterform betrachtet, da Sommerraps in Österreich nur untergeordnete Bedeutung erlangt hat. Bei Sommerkörnerraps gab es auch kaum Sortenanmeldungen. Für Körnererbse wurden ebenso zahlreiche Sorten registriert, auch wenn diese Kulturart zuletzt im praktischen Anbau (13560 ha) stark an Bedeutung verloren hat. Ferner hat sich Ölkürbis in Österreich zu einer wichtigen Ölfrucht (26460 ha) entwickelt (STATISTIK AUSTRIA 2010). Es war daher naheliegend, die Datenauswertungen für diese Kulturarten vorzunehmen.

### Material und Methoden

#### Sorten und Datengrundlage

Einbezogen wurden alle in Österreich eingetragenen (Stand November 2010) und bereits wieder gelöschten Sorten. Datengrundlage bildeten die Versuchsergebnisse aus den österreichischen Sortenwertprüfungen seit 1981 (Tabelle 1). Die stets einfaktoriellen Versuche waren vierfach, teilweise auch sechsfach wiederholt und je nach Sortimentsumfang als ungeordnete Block- oder Gitteranlage konzipiert.

#### Parameter und Versuchsmethodik

Untersucht wurden Kornertrag, Fettgehalt, Fettertrag, Glucosinolatgehalt, Proteingehalt, Proteinertrag und Tausendkornmasse, soweit eben für die jeweilige Kulturart relevant.

<sup>1</sup> Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Spargelfeldstraße 191, A-1220 WIEN

\* Ansprechpartner: Klemens MECHTLER, klemens.mechtler@ages.at

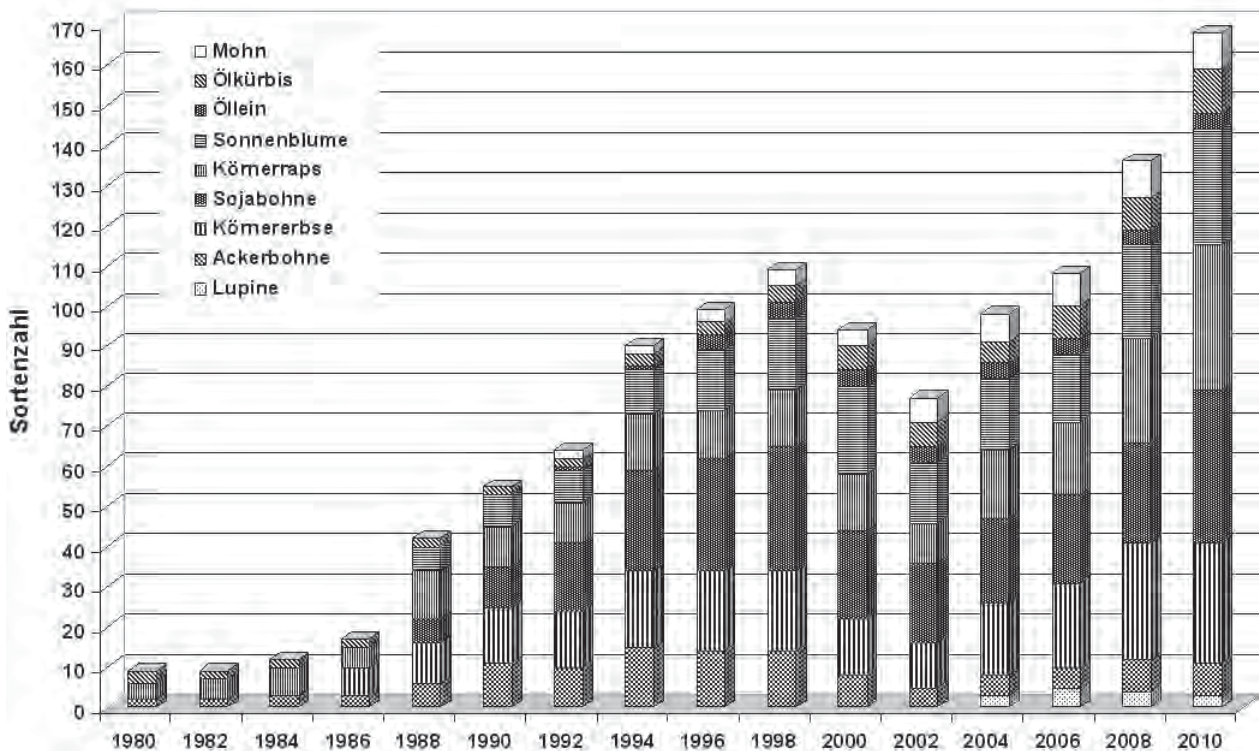


Abbildung 1: In Österreich zugelassene Sorten bei Öl- und Eiweißfrüchten zur Körnernutzung seit 1980

Figure 1: Registered varieties of oil- and protein crops in Austria for grain production since 1980

Tabelle 1: Übersicht der einbezogenen Versuche

Kulturart	Sortengruppen	Sortenanzahl	Prüfzeitraum	Umwelten
Winterraps	Freiablühende Sorten	53	1981-2010	225
	Hybridsorten	19	1993-2010	160
	Glucosinolatgehalt	30/19	1994-2010	93
Sonnenblume	Frühreifende Sorten	16	1984-2010	125
	Mittlere bis späte Sorten	37	1984-2010	125
Ölkürbis		10	1997-2010	43
Sojabohne	Reifegruppe 000	32	1988-2010	122
	Reifegruppe 00	32	1984-2010	130
Körnererbse	Blatttypen	20	1982-1998	
			2006-2010	174
	Rankentypen	39	1985-2010	269

Sojabohne wurde dabei als Proteinf Frucht betrachtet. Bei Sojabohne und Ölkürbis kam noch die Korngröße wegen ihrer Bedeutung für die aktuellen Verwertungsmöglichkeiten hinzu. Die Methodik der Versuchsdatenerhebung ist in den Richtlinien für die Sortenprüfung beschrieben (BFL 2002): (i) Kornertag ( $\text{dt ha}^{-1}$ ): bezogen auf die artspezifische Erntefeuchte (8% Sonnenblumen, 9% Winterraps, 13% Sojabohne, 14% Körnererbse, lufttrockene Körner bei Ölkürbis); (ii) Ölgehalt (% TS): Soxhlet und ab 2007 Kernresonanzspektroskopie; (iii) Proteingehalt (% TS): Kjeldahl ( $\text{Nx6,25}$ ); (iv) Inhaltsstoffertag ( $\text{dt ha}^{-1}$ ): auf Trockensubstanzbasis, Kornertag  $\times$  Gehalt; (v) Glucosinolatgehalt ( $\mu\text{mol g}^{-1}$  lufttrockener Saat): HPLC; (vi) Tausendkornmasse (g): Wiegung von 2x je 500 Körner bei Raps, sonst 2x je 100 Körner.

### Abschätzung des Zuchtfortschrittes

Die Sortenmittelwerte in den einzelnen Umwelten bildeten die Ausgangsbasis. Die Berechnung der mittleren Sortenleistung erfolgte aus allen in den Wertprüfungsversuchen zu einer Sorte verfügbaren Ergebnissen in SPSS mit der Prozedur des linearen gemischten Modells. Die Faktoren Jahre und Standorte wurden als zufällig, der Faktor Sorte als fix angenommen. Der Zuchtfortschritt wurde mittels Regression und Korrelation zwischen der mittleren Sortenleistung und dem Jahr der Zulassung beurteilt, ein methodischer Ansatz, wie er häufig für derartige Fragestellungen angewandt wurde (SCHUSTER et al. 1982, STELLING et al. 1994, OBERFORSTER 2000). Sortimenten mit starken Unterschieden im Abreifeverhalten wurden wegen der zu erwartenden Ertragsbeeinflussung nach Reifegruppen geteilt. Bei Sonnenblume wurde eine frühe Gruppe mit Ausprägungsstufen (APS) für die Reife von 3 bis 4 und eine mittlere bis späte Gruppe mit APS 5 bis 7 gebildet. Bei Sojabohne war eine vergleichbare Teilung mit der Zugehörigkeit zu den Reifegruppen 000 und 00 bereits gegeben. Ferner blieben bei Sojabohne Sorten mit sehr hohem Proteingehalt von der Berechnung des Zuchtfortschrittes ausgeschlossen.

### Ergebnisse

#### Winterkörneraps

Die unterschiedlichen Prüfperioden und der Vergleich der jeweiligen Leistungsentwicklung bedingten eine getrennte

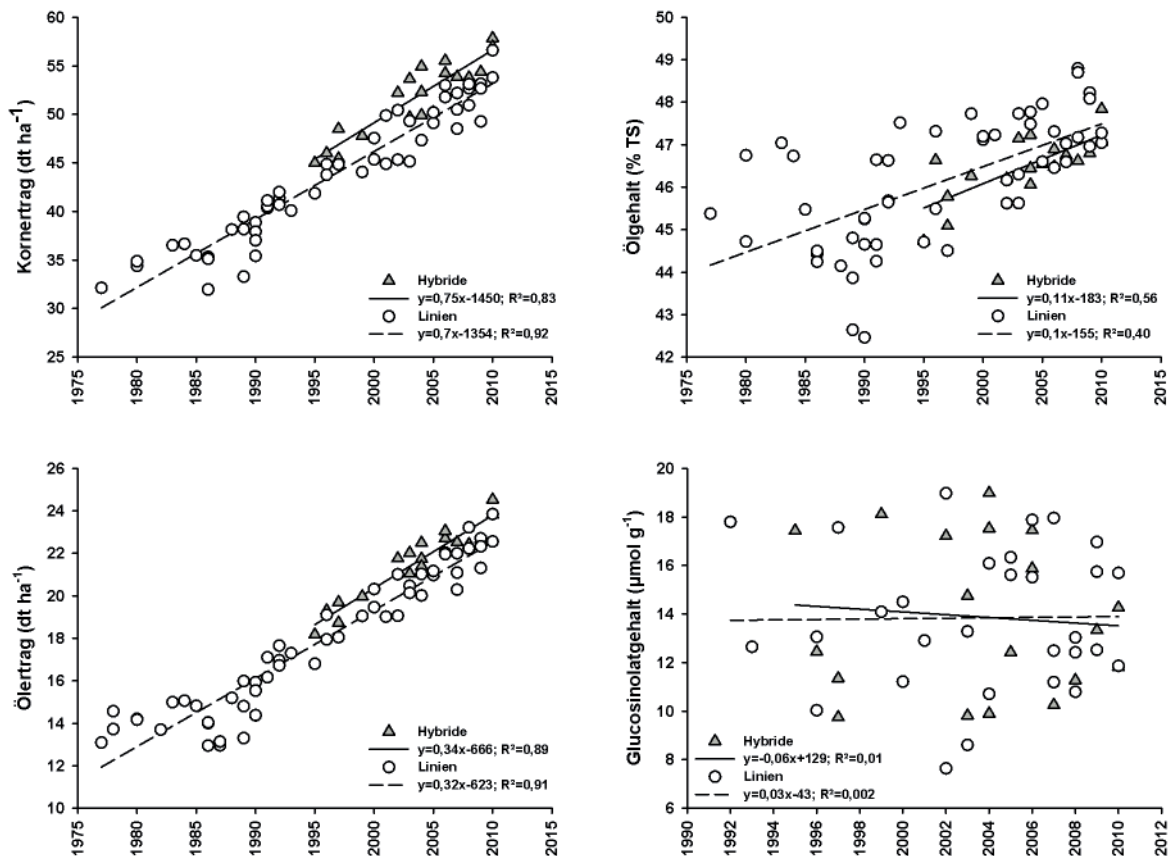


Abbildung 2: Zuchtfortschritt in Winterkörnerraps bei Kornertag, Ölgehalt, Ölertrag und Glucosinolatgehalt  
 Figure 2: Breeding progress in winter oilseed rape: grain yield, oil content, oil yield and glucosinolate content

Betrachtung von Linien- und Hybridsorten. Bei den Liniensorten stieg das Ertragsniveau von knapp 33 dt ha<sup>-1</sup> in 1980 auf etwa 58 dt ha<sup>-1</sup> in 2010 an, was einem jährlichen Ertragszuwachs von 0,70 dt ha<sup>-1</sup> oder 1,3% bezogen auf das aktuelle Ertragsniveau entspricht (Abbildung 2). Hybridsorten finden sich erst ab Anfang der 1990er Jahre in den Wertprüfungen. Den Hybriden wurden auch Verbundsorten zugerechnet, wovon es zwei Registrierungen Cannon VA75 (1995) und Synergy (1996) gab. 1997 wurden mit Artus und Pronto die ersten restaurierten Hybridsorten gelistet. Die Trendlinie für den Kornertag der Hybridsorten verläuft mit 0,75 dt ha<sup>-1</sup> geringfügig steiler als jene der Liniensorten und liegt insgesamt auch um etwa 3 dt ha<sup>-1</sup> höher. Es gab und gibt aber auch Liniensorten, die das durchschnittlich höhere Ertragsniveau der Hybriden erreichten, so etwa Caracas (2001), Spirit (2002), Casoar (2006) oder Sherlock (2010). Im Ölgehalt bleiben die Hybriden im Trend um etwa 0,5% unter den Liniensorten. Die jährliche Steigerung beträgt für Linien 0,10% über den gesamten Betrachtungszeitraum. Wohl gab es bereits in den 1980er Jahren Sorten mit hohem Ölgehalt. Aber auch in der letzten Zeit wurden einige sehr ölhaltige Liniensorten (Komando, Adriana) registriert. Zieht man nun die letzten 15 Jahre in Betracht, so zeigt das Liniensortiment demnach mit etwa 0,13% (nicht abgebildet) eine höhere jährliche Steigerungsrate als die Hybridsorten (0,11%) (Abbildung 2). Im Liniensortiment wurde der Ölgehalt in dieser Zeitspanne um 2%, bei den Hybridsorten um 1,5% angehoben. Mit Baldur (2003) und

Tenno (2004) waren auch schon bei den Hybridsorten seit längerem höhere Ölgehalte realisiert, die höchsten Ölgehalte werden aber nach wie vor von Liniensorten erreicht. Der jährliche Züchtungserfolg im Ölertrag ist für beide Sortentypen mit 0,32 bzw. 0,34 dt ha<sup>-1</sup> sehr ähnlich. Die Mehrleistung der Hybriden gegenüber Linien betrug im Mittel etwa 1 dt Öl ha<sup>-1</sup>. Der Ölertrag wurde somit seit 1980 um nahezu 10 dt ha<sup>-1</sup> erhöht, bei den Hybriden seit 1995 um etwa 5 dt ha<sup>-1</sup>. Der Glucosinolatgehalt erlangte mit der Einführung der 00-Qualität große Bedeutung. Durchgängige Erhebungen liegen ab 1994 vor, jedoch wurde immer nur ein Teil der Versuchsstandorte eines Jahres analysiert. Für beide Sortentypen gab es keine wesentlichen Veränderungen im Glucosinolatgehalt. Im Hybridsortiment wird wohl eine leichte Gehaltsabsenkung ausgewiesen, die aber statistisch nicht abgesichert ist. Insgesamt liegen die Sortenmittelwerte kaum über der 18 µmol Marke (Abbildung 2). Viele Sorten zeigen deutlich niedrigere Gehalte, wobei auch manche frühere Zulassungen schon sehr tiefe Glucosinolatgehalte aufweisen.

### Sonnenblume

In den letzten 24 Jahren konnte der Kornertag bei Ölsonnenblumen mittlerer und später Reife durch Pflanzenzüchtung um etwa 14 dt ha<sup>-1</sup> auf knapp 45 dt ha<sup>-1</sup> angehoben werden (0,61 dt ha<sup>-1</sup> pro Jahr) (Abbildung 3). Im frühen Sortiment, wo es bereits Mitte der 1980er Jahre Sorten mit relativ guten Ertragsleistungen gab, blieb der Ertragsanstieg mit



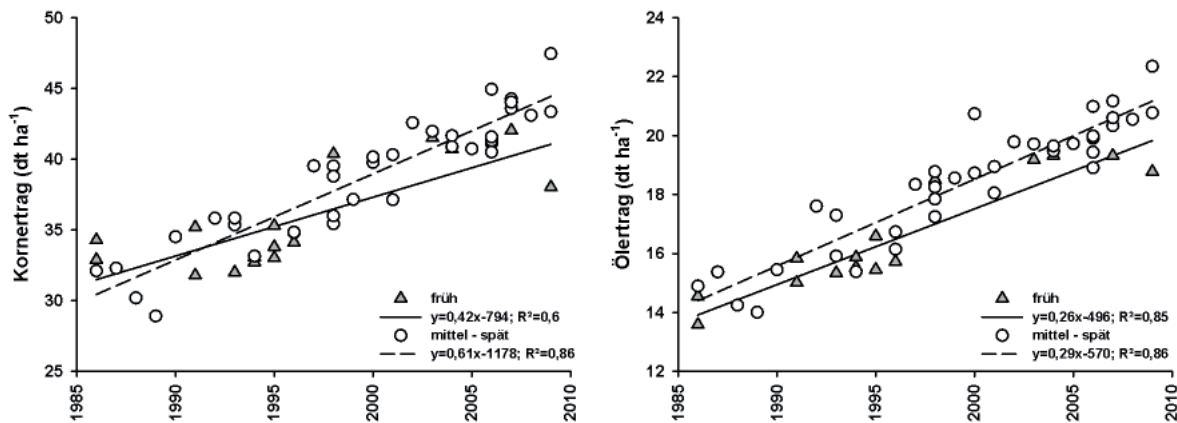


Abbildung 3: Zuchtfortschritt in Sonnenblume bei Kornertrag und Ölertrag (frühe und mittel bis späte Reifegruppe)

Figure 3: Breeding progress in grain yield and oil yield of sunflower (early and medium to late maturing variety group)

durchschnittlich  $0,42 \text{ dt ha}^{-1}$  und Jahr etwas verhaltener. Frühreife ist in der Regel mit einem geringeren Leistungsvermögen dieser Genotypen verbunden. Für den Ölgehalt wurde eine statistisch nicht abgesicherte Steigerung von  $0,2\%$  pro Jahr bei den frühen Sorten berechnet. Bei den mittleren bis späten Sorten blieb der Ölgehalt mit  $0,04\%$  pro Jahr nahezu unverändert. Für den Ölertrag verlaufen die Trendlinien nahezu parallel, wobei die mittleren bis späten Sorten Mitte der 1980er Jahre durchschnittlich um  $0,5 \text{ dt ha}^{-1}$  und gegen 2010 hin um ca.  $1,0 \text{ dt ha}^{-1}$  höher liegen als die früh reifenden Sorten. Der Ölertrag konnte somit für frühe und mittlere bis späte Sorten in diesem Zeitraum um jeweils ca.  $6 \text{ dt ha}^{-1}$  auf 20 bzw.  $21 \text{ dt ha}^{-1}$  erhöht werden (Abbildung 3).

### Ölkürbis

Nach der Registrierung des langtriebigen Gleisdorfer Ölkürbis (1969) verstrichen über 20 Jahre, bevor Sepp, ein spätereifender Buschtyp mit hohem Ölgehalt, 1992 als nächste Sorte eingetragen wurde. Der gebietsweise sehr starke Befall mit Zucchini gelbmosaik gegen Ende dieser Dekade bewirkte eine Intensivierung der züchterischen Bearbeitung dieser bislang nur regional bedeutsamen Ölfrucht. Schwerpunkte waren die Steigerung des Korn- und Ölertra-

ges, was mit der Einführung von Hybridsorten durchwegs gelungen ist, sowie die Verringerung der Anfälligkeit gegenüber Virose und Fruchtfäule sowie eine gute Kornausbildung. Für die Abschätzung des Zuchtfortschrittes in Relation zum Zulassungsjahr wurden wegen der zeitlich langen Zulassungspause nur die Sorteneintragen ab 1992 berücksichtigt. Die jährlichen Leistungssteigerungen lassen sich mit  $0,25 \text{ dt ha}^{-1}$  im Kornertrag,  $0,10 \text{ dt ha}^{-1}$  im Ölertrag und mit  $2,6 \text{ g}$  Zugewinn bei der Tausendkornmasse quantifizieren (Abbildung 4). Der Ölgehalt blieb dagegen im Durchschnitt annähernd konstant ( $-0,03\%$  pro Jahr). Die bisher in der Praxis verbreiteten freiabblühenden Sorten Gleisdorfer Ölkürbis und Retzer Gold (1999) werden in der Ertragsleistung von den Hybridsorten deutlich übertroffen. Ausgehend vom Leistungsniveau des Gleisdorfer Ölkürbis konnte der Kornertrag innerhalb der letzten Dekade um ca.  $3 \text{ dt ha}^{-1}$  und der Ölertrag um  $1 \text{ dt ha}^{-1}$  gesteigert werden. Neuere Sorten haben auch eine um etwa  $15\text{-}20 \text{ g}$  höhere Tausendkornmasse als der Gleisdorfer Ölkürbis.

### Sojabohne

Zu Beginn der Ausdehnung des Sojaanbaues standen nur mittel bis spät reifende Sorten zur Verfügung. Daher reichen auch die Versuchsergebnisse für die 00-Reifegruppe

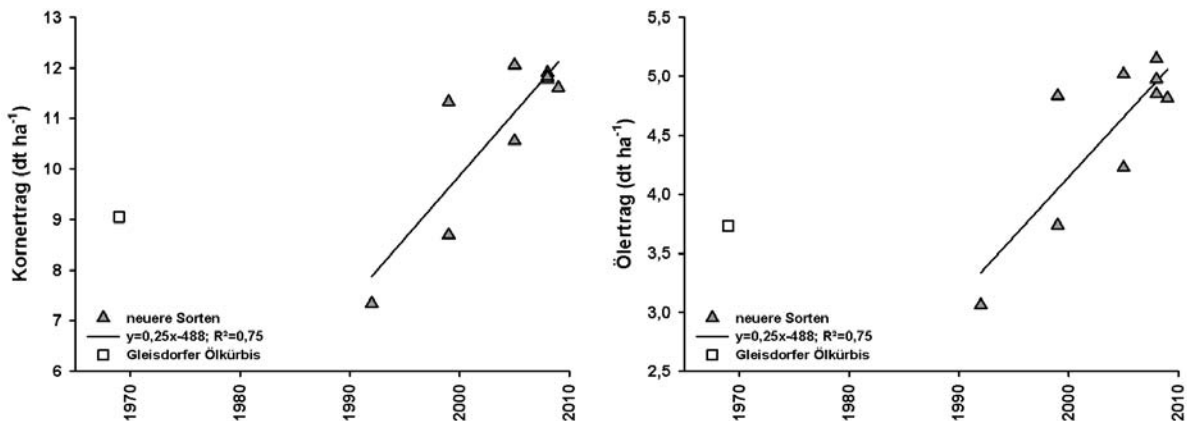


Abbildung 4: Zuchtfortschritt bei Kornertrag und Ölertrag von Ölkürbis

Figure 4: Breeding progress in grain yield and oil yield of hull-less oil seed pumpkin

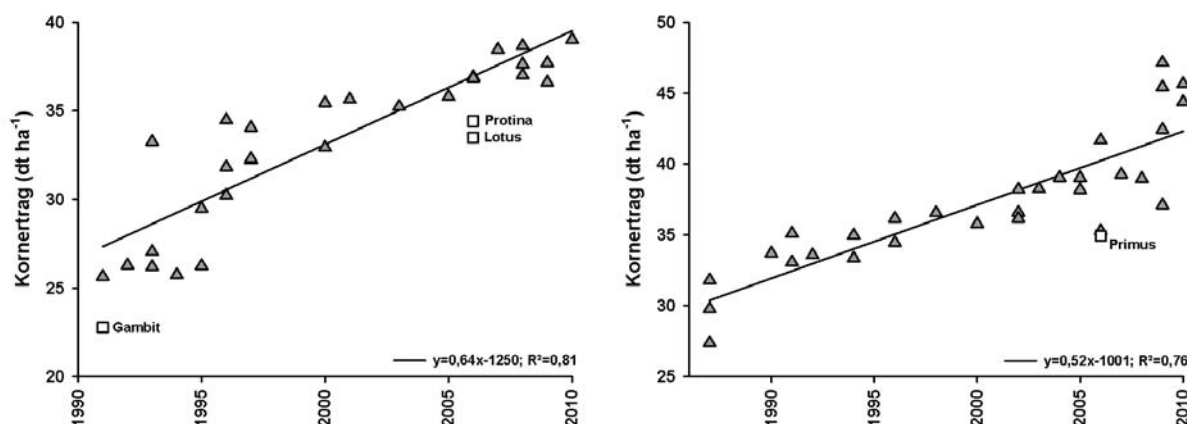


Abbildung 5: Zuchtfortschritt bei Kornertrag von 000-Sorten (links) und 00-Sorten (rechts) von Sojabohne

Figure 5: Breeding progress in grain yield of 000-varieties (left) and 00-varieties (right) of soybean

weiter zurück. Der risikofreie Sojaanbau in den westlichen Anbauregionen wurde aber erst mit den früher reifenden 000-Sorten möglich, welche auch bald folgen sollten. Gambit als sehr frühe 000-Sorte und die sehr proteinreichen Züchtungen Protina und Lotus sowie Primus wurden in die Regressionsrechnung für den Kornertrag nicht miteinbezogen. Für beide Reifegruppen ergab sich ein hoher jährlicher Ertragsfortschritt von 0,62 bzw. 0,50 dt ha<sup>-1</sup> oder 1,6% bzw. 1,2% (Abbildung 5). Das genetische Leistungsniveau der 000-Sorten erhöhte sich seit Beginn der 1990er Jahre um etwa 11 dt ha<sup>-1</sup> auf 39 dt ha<sup>-1</sup> und in der 00-Gruppe um 12 dt ha<sup>-1</sup> auf 42 dt ha<sup>-1</sup>. Kanadische Untersuchungen berichten von 0,5 bis 0,7% jährlicher Ertragssteigerung bei Sorten der Reifegruppen 0 bis 000 (VOLDENG et al. 1997). Für Proteingehalt, Proteinertrag und Tausendkornmasse zeigte sich für beide Reifegruppen ein sehr ähnlicher Verlauf des Zuchtfortschrittes. In Abbildung 6 ist daher die Entwicklung in diesen Merkmalen nur für die frühe Reifegruppe dargestellt. Im Proteingehalt zeigte sich im Untersuchungszeitraum abgesehen von den wenigen Hochproteinsorten in beiden Sortimenten keine maßgebliche Veränderung. Der Zuchtfortschritt im Proteinertrag liegt mit 0,25 dt ha<sup>-1</sup> bei den 000-Sorten etwas höher als bei den 00-Sorten (0,19 dt ha<sup>-1</sup>). Die Verbesserungen in der Tausendkornmasse wurden bei allerdings deutlich größerer Streuung um die Trendlinie mit jährlich 1,82 g (000) und 0,72 g (00) quantifiziert. Angesichts der aktuellen, vielfältigeren Verwertungsmöglichkeiten sind die Sorten beider Reifegruppen in ihren Eigenschaften (ertragsbetonte und Hochprote-

insorten, helle bzw. dunkle Nabelfarbe, unterschiedliche Korngrößen) ebenfalls differenzierter geworden. Auf Basis der Merkmalskombination z.B. Hellnabeligkeit, Großkörnigkeit und hohem Proteingehalt kann eine zielführende Sortenvorauswahl für die Speisesojaproduktion getroffen werden (MECHTLER 2010). Sehr proteinreiche Sorten eignen sich wegen ihres gleichzeitig niedrigen Rohfettgehaltes (VOLLMANN et al. 2000) auch eher für die Verfütterung als vollfette Sojabohnen. Erste züchterische Erfolge in Richtung einer zumindest niedrigeren Trypsin-Inhibitor Aktivität sind bei der österreichischen Züchtung Josefine (2006) gegeben.

Wenn auch jüngst sehr ertragsstarke 00-Sorten registriert wurden, bleiben für die Nutzung des heimischen Anbaupotenzials dennoch leistungsfähige, früh reifende Züchtungen weiterhin von Bedeutung, da die sichere 00-Abreife nur in Gunstlagen gegeben ist.

### Körnererbse

Bis Mitte der 1980er Jahre waren nur Sorten mit voll ausgebildeten Fiederblättern (Blatttyp) verfügbar. Formen mit reduzierten Fiederblättern (Rankentypen) wurden erst seit 1987 zunehmend entwickelt und registriert, um die Standfestigkeit und Erntbarkeit zu verbessern. Ab 1998 gab es nur noch Neuzüchtungen mit diesem Wuchstyp. Blatttypen erlangten erst wieder in jüngerer Zeit wegen ihrer besseren Bodenbedeckung für biologisch bewirtschaftete Flächen eine gewisse Bedeutung.

Tabelle 2: Zuchtfortschritt bei Öl- und Eiweißpflanzen: Jährliche Veränderung der Ertrags- und Qualitätsparameter

Merkmal	Kulturart		Sonnenblume		Ölkürbis	Sojabohne		Körnererbse	
	Linien	Hybride <sup>2</sup>	frühreif	mittel-spätreif		000-Sorten	00-Sorten	Blatttyp <sup>2</sup>	Rankentyp
Kornertrag <sup>1</sup> <i>b</i> (dt ha <sup>-1</sup> )	0,70 (1,3)	0,75 (1,3)	0,42 (1,0)	0,61 (1,4)	0,25 (2,1)	0,64 (1,6)	0,52 (1,2)	0,80 (1,7)	0,65 (1,2)
Ölgehalt <i>b</i> (%)	0,10	0,11	0,20	0,04	0,03				
Ölertag <sup>1</sup> <i>b</i> (dt ha <sup>-1</sup> )	0,32 (1,4)	0,34 (1,4)	0,26 (1,3)	0,29 (1,4)	0,10 (2,0)				
Glucosinolate <i>b</i> (µmol g <sup>-1</sup> )	0,028	0,007							
Tausendkornmasse <i>b</i> (g)					2,56	1,81	0,72		
Proteingehalt <i>b</i> (%)						0,04	0,02	0,02	-0,02
Proteinertrag <sup>1</sup> <i>b</i> (dt ha <sup>-1</sup> )						0,25 (1,7)	0,19 (1,3)	0,12 (1,1)	0,11 (1,0)

<sup>1</sup> relativer prozentueller Zuwachs in Klammer<sup>2</sup> Hybridsorten bei Raps ab 1995; Blatttypen bei Körnererbse bis 1997

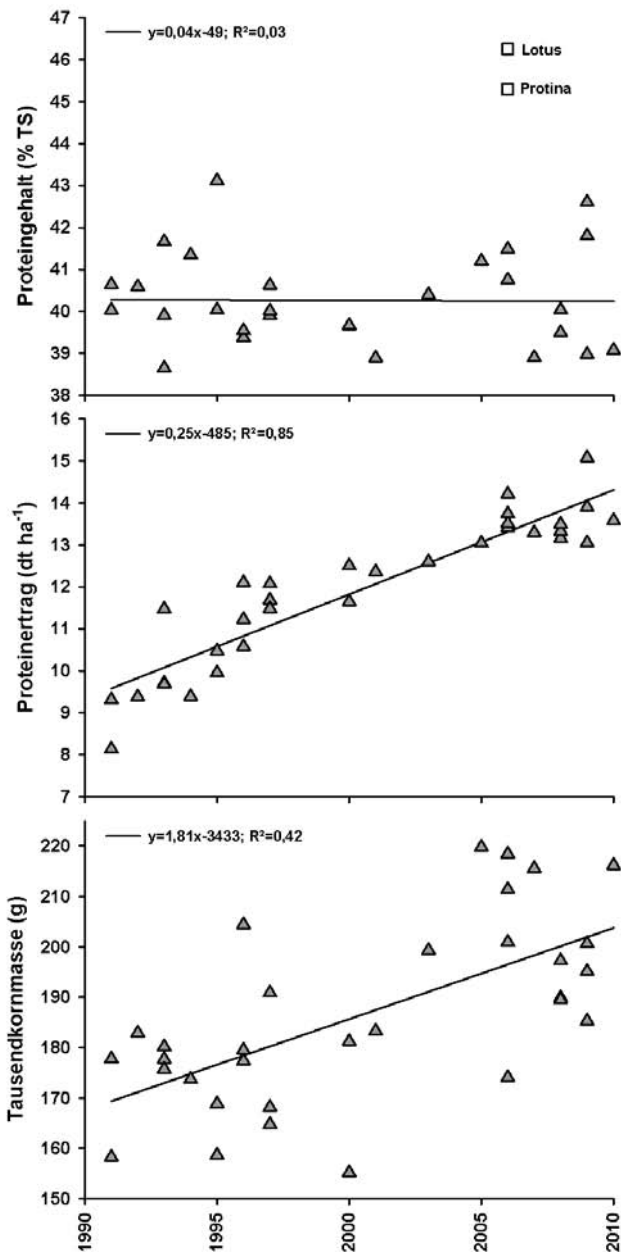


Abbildung 6: Zuchtfortschritt bei im Proteingehalt, Protein-ertrag und der Tausendkornmasse von 000-Sorten bei Soja-bohne

Figure 6: Breeding progress in protein content, protein yield and thousand kernel weight of 000-varieties of soybean

Das genotypische Ertragsniveau konnte bei den Blatttypen bis 1997 um etwa  $10 \text{ dt ha}^{-1}$  auf nahezu  $50 \text{ dt ha}^{-1}$  angehoben werden. Die jährliche Mehrleistung betrug dabei ca.  $0,80 \text{ dt ha}^{-1}$ . Die späteren Züchtungen dieses Wuchstyps zeigten hierin keine maßgeblichen Verbesserungen. Für die Rankentypen wurde seit 1987 ein jährlicher Ertragsfortschritt von  $0,65 \text{ dt ha}^{-1}$  berechnet. Das genetische Ertragspotential liegt nunmehr bei  $52$  bis  $53 \text{ dt ha}^{-1}$  und ist im Betrachtungszeitraum um ca.  $15 \text{ dt ha}^{-1}$  angestiegen (Abbildung 7). Für den Proteingehalt war kein Zusammenhang mit dem Jahr der Zulassung erkennbar. Damit ergab sich für den Proteinertrag

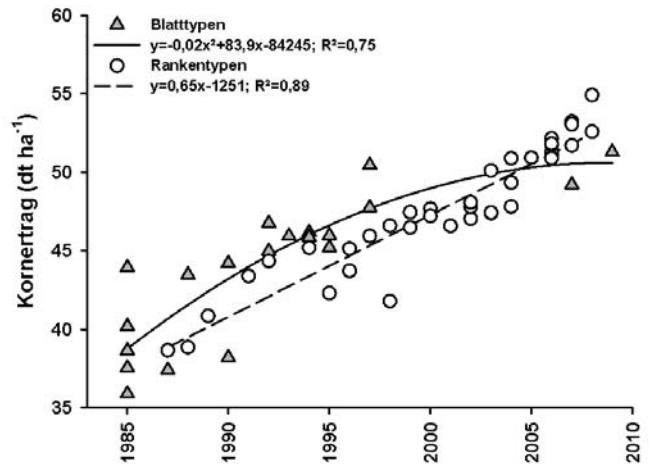


Abbildung 7: Zuchtfortschritt bei Körnererbsen im Kornertrag  
Figure 7: Breeding progress in grain yield of field pea

ein ähnliches Bild wie für den Kornertrag, mit entsprechend geringeren, jährlichen Steigerungsraten (Blatttypen:  $0,12 \text{ dt ha}^{-1}$  bis 1997, Rankentypen:  $0,11 \text{ dt ha}^{-1}$ ).

Tabelle 2 gibt einen Überblick zum Züchtungserfolg bei den untersuchten Öl- und Eiweißfrüchten. Demnach liegen die durchwegs signifikanten jährlichen Zuwächse bezogen auf das Jahr der Zulassung sowohl beim Kornertrag als auch beim Öl- und Proteinertrag in der Größenordnung von  $1,0$  bis  $1,5\%$  des aktuellen Leistungsniveaus, lediglich für Ölkürbis wurden mit  $2\%$  etwas höhere Werte ermittelt. Hier bestand aber auch eine 20-jährige Pause in der Sortenzüchtung, des Weiteren wurden in der Zwischenzeit Hybridsorten eingeführt. Bei den Inhaltsstoffen gab es vergleichsweise keine Veränderungen oder nur geringfügige Erhöhungen im Ausmaß von etwa einem Zehntelprozent absolut. Zum Einen bestanden zumindest für den Ölgehalt auch schon früher Genotypen mit höheren Gehaltswerten, sodass maßgebliche Steigerungen nicht so ohne weiteres erzielt werden können. Zum Anderen bedeutet es keine geringe züchterische Herausforderung, bei Proteinpflanzen das Gehaltsniveau an wertvollen Inhaltsstoffen bei relevanten Ertragssteigerungen nicht zu verlieren. Für die im Herbst zu erntenden Kulturarten Sonnenblume, Sojabohne und Ölkürbis bleibt der Bedarf an rechtzeitig abreifenden Sorten mit dennoch gutem Leistungsniveau im Hinblick auf eine mögliche Anbauausdehnung außerhalb der Gunstlagen aufrecht.

## Zusammenfassung

Seit Anfang der 1980er Jahre Öl- und Eiweißfrüchte verstärkt in Österreich angebaut wurden, hat sich deren Anbaufläche mittlerweile bei etwa  $150000 \text{ ha}$  stabilisiert. Die Anzahl der registrierten Sorten für diese beiden Kulturartengruppen ist bis 2010 auf etwa  $170$  angestiegen. Im bis zu 30-jährigen Untersuchungszeitraum wurde der jährliche Zuchtfortschritt mittels Regression der mittleren Sortenleistungen in den Wertprüfungsversuchen auf das Zulassungsjahr bestimmt. Bei Winterkörnererbsen, Sonnenblume, Ölkürbis, Sojabohne und Körnererbsen bewegt sich der jährliche Züchtungserfolg je nach Kulturart und Sortentyp

zwischen 0,25 dt ha<sup>-1</sup> (Ölkürbis) und 0,75 dt ha<sup>-1</sup> (Hybride bei Winterkörnerraps). Für die frühen Sonnenblumen liegt der Ertragsfortschritt mit 0,42 dt ha<sup>-1</sup> niedriger als für die Sorten mit mittlerer bis später Reife (0,61 dt ha<sup>-1</sup>). Im Öl-, Protein- und Glucosinolatgehalt zeigten sich dagegen bis auf Winterraps (0,10% bei Linien- und 0,11% bei Hybridsorten) keine relevanten Veränderungen. Die genetisch bedingten Steigerungen im Öl- und Proteinertrag waren entsprechend dem für die einzelnen Kulturarten typischen Gehaltsniveaus (0,10 dt ha<sup>-1</sup> bei Ölkürbis bis 0,34 dt ha<sup>-1</sup> bei Raps hybrid) niedriger aber signifikant. Bei Ölkürbis und bei Sojabohne in der 000-Gruppe zeigte sich ein signifikanter Trend zu höheren Tausendkornmassen.

## Literatur

- AGES, 2011: Österreichische Sortenliste 2011. Schriftenreihe 3/2011, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Wien.
- BFL, 2002: Methoden für Saatgut und Sorten - Richtlinien für die Sortenprüfung. Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Wien.
- MECHTLER K, 2010: Sorteneignung für die Speisesojaproduktion. Bericht 65. ALVA-Jahrestagung 2010, Vom Lebensmittel zum Genussmittel - was essen wir morgen?, 31. Mai - 1. Juni, Schloss Puchberg, pp. 130-131. Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel- Veterinär- und Agrarwesen, Wien.
- OBERFORSTER M, 2000: Ergebnisse und Perspektiven der Züchtung auf Standfestigkeit, Krankheitsresistenz und Ertrag bei Gerste und Weizen im Spiegel der österreichischen Wertprüfung 1960-1999. Bericht über die 50. Arbeitstagung der Vereinigung österr. Pflanzenzüchter, 22.-25. Nov. 1999, pp. 33-43. BAL Gumpenstein, Irnding.
- SCHUSTER W, SCHREINER W, LEONHÄUSER H, ZSCHOCHE KH, 1982: Über die Ertragssteigerung bei einigen Kulturpflanzen in den letzten 30 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland. Z. Acker- u. Pflanzenbau 15, 368-387.
- STATISTIK AUSTRIA, 2010: Feldfruchternte 2010, Endgültige Ergebnisse, Schnellbericht 1.12, Statistik Austria – Bundesanstalt Statistik Österreich, Wien [Available online: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/land\\_und\\_forstwirtschaft/agrarstruktur\\_flaechen\\_ertraege/feldfruechte/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html); accessed 15 Feb 2011].
- STELLING D, VON KITTLITZ E, EBMAYER E, SASS O, JAISER H, LINK W, 1994: Erfolge und Perspektiven der züchterischen Verbesserung von Körnererbsen und Ackerbohnen in der EU. Bericht über die 45. Arbeitstagung der Vereinigung österr. Pflanzenzüchter, 22.-24. Nov., pp. 131- 147. BAL Gumpenstein, Irnding.
- VOLDENG HD, COBER ER, HUME DJ, GILLARD C, MORRISON MJ, 1997: Fifty-eight years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. Crop Sci. 37, 428-431.
- VOLLMANN J, CSANÁDI G, STIFT G, LELLEY T, RUCKENBAUER P, 2000: Verbesserung von Qualitätseigenschaften der Sojabohne unter Einsatz molekularer Marker. Bericht über die 50. Arbeitstagung der Vereinigung österr. Pflanzenzüchter, 22.-25. Nov. 1999, pp. 49-53. BAL Gumpenstein, Irnding.



## Ertrags- und Anbauentwicklung bei Eiweißpflanzen in Bayern und Deutschland

### Trends in yield and acreage of protein crops in Bavaria and Germany

Alois Aigner<sup>1\*</sup>

#### Abstract

Cultivation of faba bean and field pea was heavily fluctuating in the last 20 years with significant decreases in recent years. Low yield stability and missing economic efficiency are the major constraints for cultivation. Although official cultivar trials revealed a breeding progress of 0.5 dt per hectare and year for field pea this yield improvement was not observed in practice. More often appearing weather extremes could be a reason for unstable yield performance. It is supposed that decreasing activities in field pea and faba bean breeding will not give rise to high and stable yields in the future.

#### Key words

Breeding progress, *Pisum sativum*, protein, *Vicia faba*, yield improvement

#### Einleitung

Das Charakteristische der Eiweißpflanzen ist, dass sie mittels Knöllchenbakterien in der Lage sind, Luftstickstoff zu binden und auf keine mineralische N-Düngung angewiesen sind. Darüberhinaus ist Eiweiß für die Ernährung von Mensch und Tier unentbehrlich. Unter unseren westeuropäischen Produktionsbedingungen ist in der Futterration eine bestimmte Menge und Qualität an Eiweiß notwendig, um profitabel Fleisch produzieren zu können. Da wir in Europa seit Jahrzehnten das dafür benötigte Eiweiß weder in entsprechender Menge noch in ausreichender Qualität selbst erzeugen, ist die Europäische Union (EU) auf die Importe von Eiweißfuttermitteln angewiesen. Dieser Zustand wird mit dem Schlagwort „Eiweißlücke“ umschrieben. Im Mittel der Jahre 2006 - 2008 betrug dieses Defizit in Deutschland 1,8 Mio t Rohprotein, das wie hinlänglich bekannt, zu beinahe 100% mit Sojaprodukten aus Süd- und Nordamerika gedeckt wird.

#### Entwicklung der Anbauflächen von Körnererbsen und Ackerbohnen in Bayern und Deutschland seit 1982

Mit Einführung der Flächenprämien schnellten die Anbauflächen von Erbsen in Deutschland innerhalb von 6 Jahren von knapp 30000 ha auf fast 170000 ha hoch, um dann ab

2002 wieder rasant auf knapp 50000 ha abzustürzen. In Bayern schwankt die Fläche nach einem ebenfalls rasanten Anstieg ab 1998 relativ stabil um die 14000 ha. Dagegen stiegen vor allem in den Neuen Bundesländern die Großbetriebe mit Einführung der einheitlichen Flächenprämien wieder massiv aus dem Körnererbsenanbau aus. Bei den Ackerbohnen ist bereits seit 1995 bundesweit ein Flächenrückgang zu verzeichnen, wobei die Neuen Bundesländer nie den hohen Flächenanteil wie bei den Körnererbsen hatten. Hier waren die Anbauswerpunkte eher in den Niederschlagsreicheren Mittelgebirgslagen zu finden. Generell muss man bei den Ackerbohnen festhalten, dass der Anbau im wesentlichem vom Ökolandbau getragen wird, der auf die Fähigkeit der Stickstoffsammlung der Leguminosen angewiesen ist. Mittels verschiedener Förderprogramme, die in der Regel vielfältige Fruchtfolgen mit einem bestimmten Leguminosenanteil erfordern, versuchen die einzelnen Bundesländer dieser Entwicklung gegenzusteuern. Der geringe Flächenanstieg zur Ernte 2010 ist zum Großteil auf diese Programme zurückzuführen.

#### Entwicklung der Erträge von Körnererbsen und Ackerbohnen in Bayern und Deutschland

Nach den offiziell festgestellten Erträgen geht in Deutschland im Zeitraum von 1992 bis heute bei Ackerbohnen der Ertragstrend sogar nach unten; wobei in 6 Jahren Praxiserträge von unter 30 dt.ha<sup>-1</sup> ausgewiesen wurden. Bei den Erbsen ist zwar ein leichter Ertragsfortschritt erkennbar; Erträge um die 35 dt.ha<sup>-1</sup> sind aber auch alles andere als befriedigend. In Bayern weichen die offiziellen Zahlen kaum vom deutschen Mittel ab. Nach der amtlichen Erntestatistik schwanken die Erträge seit 30 Jahren um die 35 dt. Neben den Erträgen ist auch die Vermarktung ein zentrales Problem des Leguminosenanbaues. Wenn man die Anbauverhältnisse in den Betrieben in Bayern nach den InVeKos-Angaben der letzten 10 Jahre analysiert, wird deutlich, dass bei Anbauflächen von 3 bis 4 ha pro Betrieb nur sehr kleine Partien dem Handel angeboten werden können, und es somit schwierig ist, die Forderung der Futtermittelhersteller nach großen, einheitlichen Partien zu erfüllen.

Schwer nachvollziehbar ist die Diskrepanz zwischen den Praxiserträgen und den LSV Ergebnissen. In der Praxis stagnieren seit 30 Jahren die Erträge, während in den Ver-

<sup>1</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 2, D-85354 FREISING

\* Ansprechpartner: Alois AIGNER, alois.aigner@lfl.bayern.de

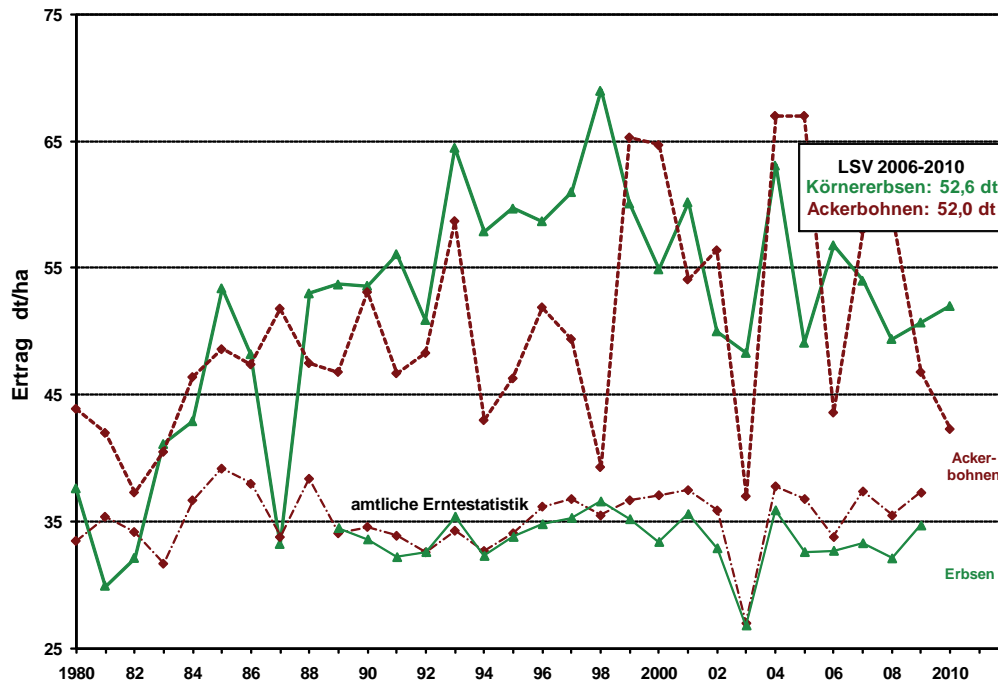


Abbildung 1: Vergleich der Erträge in der Praxis und den bayerischen Landessortenversuchen

Figure 1: Comparison of yields in practice and in the official Bavarian variety trials (LSV) of faba bean (dashed lines with diamonds) and field pea (solid lines with triangles)

suchen sehr wohl ein Ertragszuwachs festzustellen ist. An Hand der Vermehrungsflächen kann nachweisen gewiesen werden, dass die neuen, leistungsfähigeren Sorten in den praktischen Anbau gelangt sind. Eine Erklärung kann sein, dass es bei Leguminosen keine exakte Ertragsfeststellung in der Besonderen Ernteterminierung gibt, sondern ehrenamtliche

Schätzer den Ertrag schätzen. Analysiert man die Situation in den LSV bei den Körnererbsen, so könnte man, wenn die letzten zwei Jahrzehnte in zwei Dekaden aufteilt werden, zu dem Ergebnis kommen, dass von 1990 bis 2000 noch ein durchschnittlicher Ertragszuwachs von 1 dt pro Jahr festzustellen war, während im neuen Jahrtausend hingegen ein

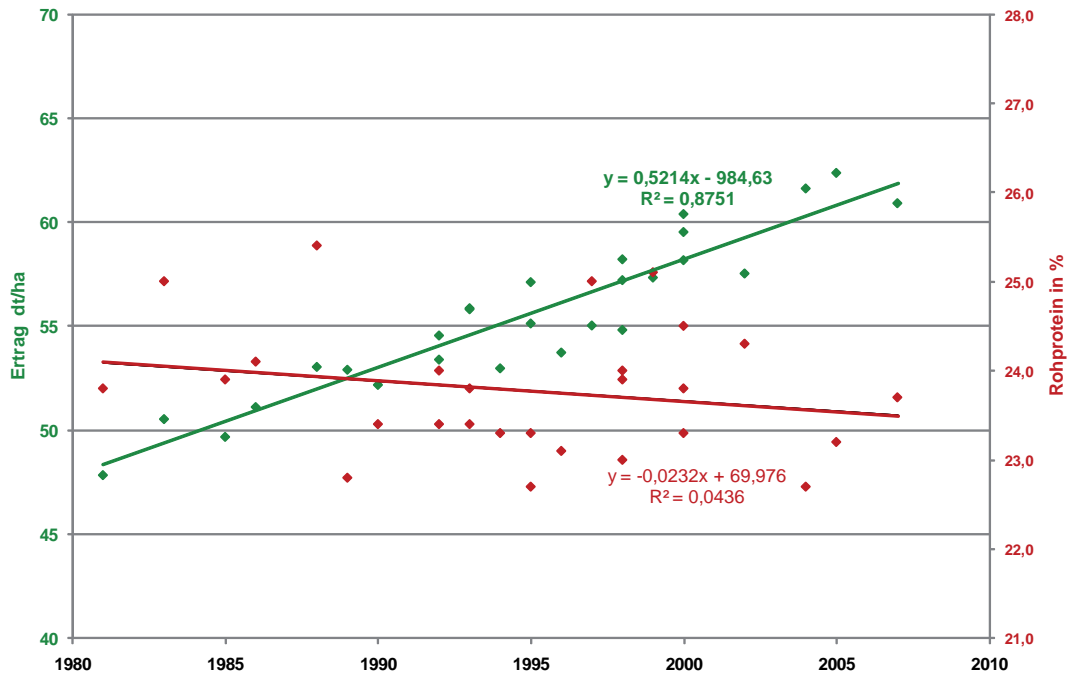


Abbildung 2: Züchtungsfortschritt durch neue Körnererbsen-Sorten die mindestens 4 Jahre im LSV standen

Figure 2: Improvement in yield and protein content of field pea cultivars which were included at least four years in the official Bavarian variety trials (LSV)

Ertragsrückgang von 0,5 dt pro Jahr hingenommen werden musste. Bei Ackerbohnen hingegen sind die Ertragsschwankungen in den Sortenversuchen der letzten 20 Jahren so groß, dass keinerlei Tendenz erkennbar ist. Werden diese offiziellen Zahlen in eine Deckungsbeitragsrechnung eingesetzt, errechnen sich im mehrjährigen Mittel bei Ackerbohnen und Körnererbsen negative Deckungsbeiträge.

*Gründe für den Rückgang der Körnerleguminosen sind:*

- (1) die mangelnde Wettbewerbskraft innerhalb der konkurrierenden Ackerkulturen, die mit der einheitlichen Flächenprämie noch ausgeprägter wurde,
- (2) mangelnde Ertragshöhe und Ertragssicherheit; wahrscheinlich schlagen hier auch die häufigeren Wetterextreme der letzten Jahre stärker zu Buche,
- (3) mangelnde Wertschätzung in der Futtermittelindustrie, die auch auf zu kleinen Marktchancen begründet ist,
- (4) Vereinfachung der Fruchtfolgen allgemein und nur geringe Wertschätzung des Vorfruchtwertes.

Bei Körnererbsen haben wir den Sonderfall, dass mit Santana eine Sorte 10 Jahre durchgehend in den Landessortenversuchen stand. Wenn man die Erträge dieser Sorte in diesem Zeitraum betrachtet, stellt man fest, dass auch bei dieser Sorte analog zum Sortimentsmittel die Erträge seit 2001 tendenziell abgenommen haben. Da sich die Genetik nicht verschlechtern kann, ist bei Betrachtung der enormen Ertragsschwankungen die einzige logische Erklärung, dass die Wetterextreme im letzten Jahrzehnt hauptverantwortlich für den Ertragsrückgang bei Körnererbsen waren.

Werden die Wetterkapriolen der letzten Jahre ausgeblendet, und die Ertragsentwicklung der Neuzulassungen seit 1982 die mindestens vier Jahre im LSV standen betrachtet, ist festzustellen, dass durch neue Sorten sehr wohl ein Züchtungsfortschritt von 0,5 dt pro Hektar und Jahr gegeben ist, andererseits in der Tendenz der Eiweißgehalt der Neuzüchtungen abgenommen hat. Als Fazit aus diesen Zahlen kann gefolgert werden, dass die Ertragszüchtung anfangs Qualität gekostet hat.

Anfang dieses Jahrtausends hatte man die Hoffnung mit der weißen Lupine die „Sojabohne Europas“ gefunden zu haben. Durch das plötzliche Auftreten der Anthracnosepilzkrankheit sind diese Hoffnungen abrupt zerstört worden. Der neueste Hoffnungsschimmer sich von der „Eiweißabhängigkeit“ der Sojaimporte etwas lösen zu können, wäre der eigene Anbau von Sojabohnen. In Österreich ist dies schon vor Eintritt in die EU erfolgt, während in Bayern die Sojaanbaufläche in den 1990er Jahren weit unter 1000 ha lag. In den letzten zwei Jahren schnellte die Fläche auf 900 beziehungsweise auf 2400 ha in 2010 hoch. Mit Interesse wird die weitere Entwicklung des Sojabohnenanbaues in Bayern verfolgt werden.

## Zusammenfassung

Der Anbau von Ackerbohnen und Körnererbsen hat in den letzten 20 Jahren große Schwankungen erlebt, mit zuletzt drastischem Rückgang. Große Ertragsschwankungen und fehlende Wirtschaftlichkeit sind nach wie vor ein Hemmnis für den praktischen Anbau. Ob angesichts der geringen Züchtungsaktivitäten von dieser Seite eine Verbesserung der Anbauwürdigkeit zu erwarten ist, erscheint fraglich.





# Strategien zur Entwicklung von Sojabohnen für den Lebensmittelbereich

## Strategies for breeding of food-grade soybeans

Johann Vollmann<sup>1\*</sup>, Pia Euteneuer<sup>1</sup>, Takashi Sato<sup>1</sup>,  
Viola Zahlner<sup>2</sup>, Emmerich Berghofer<sup>2</sup> und Helmut Wagentristl<sup>3</sup>

### Abstract

A steadily increasing acreage of soybean has been grown in Austria over the previous seasons. As most soybeans harvested at present are used for food rather than feed, there is a growing interest in food-grade soybeans with desirable quality features both for processing and consumer acceptance. Apart from yellow hilum, large seed size and high protein content, enhanced sucrose content has a positive effect on the taste of products. As plant breeding for early maturity soybean development has rarely focused on sucrose concentration of seed, a number of experiments has been evaluated for determining genetic and environmental variation in sucrose content in order to improve food-grade soybean germplasm. A near-infrared reflectance spectroscopy method was established for measuring sucrose content simultaneously to oil and protein content. In different single-row plot screening experiments grown over 4-5 seasons, significant genetic and environmental variation was found in sucrose content with an overall variation from 4-8.5 g 100 g<sup>-1</sup>. In one particular population, heritability of sucrose content was low due to an obvious lack of genetic variation, whereas in two other populations heritability estimates for sucrose were much higher and on the same level as for oil and protein content. Sucrose was negatively correlated to seed protein content, whereas correlations to oil content and seed size were positive or not significant. The results suggest that sucrose content could be utilized as an additional quality feature in developing food-grade soybean genotypes.

### Keywords

*Glycine max*, near-infrared reflectance spectroscopy, NIRS, seed protein content, sucrose content

### Einleitung

Sojabohnen (*Glycine max* [L.] Merr.) werden weltweit primär als Ölpflanzen betrachtet und der globale Sojaanbau hat in der Periode 2009/2010 erstmals 100 Mio ha überschritten. In Europa hingegen wird die Sojabohne vor allem wegen ihres hohen Proteingehaltes von über 40% (bez. auf Tro-

ckenmasse) produziert und in Lebensmitteltechnologie und Fütterung breit eingesetzt. In Österreich hat der Sojaanbau in den vergangenen Jahren stetig zugenommen und 2010 mehr als 34000 ha eingenommen (AGRAR MARKT AUSTRIA 2010). Ein großer Teil der in Österreich geernteten Sojabohnen wird zu Lebensmitteln verarbeitet, v.a. zu Sojadrinks, Sojadeserts, Tofu, Aufstrichen, Snacks u.ä. Produkten. Dabei gelten spezifische Qualitätsanforderungen für das Erntegut, die sich von jenen für die Futtermittelherstellung unterscheiden, wodurch die einzelnen Sorten unterschiedlich gut für eine derartige Verarbeitung geeignet sind.

Speisesojabohnen zur Produktion von Sojadrinks und Tofu zeichnen sich durch eine helle Hilum- und Samenschalenfarbe, ein größeres Korn (TKG 180-220 g), höheren Proteingehalt (44%) und angenehmen Geschmack aus. Der Geschmack von Sojaprodukten wird durch den Zuckergehalt (Saccharose) der Sojabohne positiv beeinflusst, während unerwünschte Geschmackskomponenten durch Lipoxigenaseaktivität (*grassy-beany flavor*) oder Isoflavone/Saponine (adstringierender Geschmack) bedingt sind (CUI et al. 2004). Glycinin (11S, 320-380 kDa Molekulargewicht) und  $\beta$ -Conglycinin (7S, 180 kDa) sind die wesentlichen Speicherproteinfraktionen, die zusammen etwa 70-90% des Soja-Proteingehaltes ausmachen (NIELSEN 1996). Durch ein höheres 11S-7S-Verhältnis werden bessere Konsistenz der Sojadrinks bzw. Textur von Tofu erzielt (KIM und WICKER 2005), und einzelne Untereinheiten der beiden Proteinfraktionen wurden identifiziert, welche die Festigkeit des Tofus beeinflussen (POYSA et al. 2006). Für das in Österreich gelistete Soja-Sortiment hat MECHTLER (2010) eine Einteilung der 00- und 000-Sorten nach Hilumfarbe sowie nach den Ausprägungsstufen der Korngröße und des Proteingehaltes vorgenommen, um die Auswahl von Speisesojabohnen zu erleichtern.

Eine züchterische Selektion auf Hilumfarbe und Korngröße ist in entsprechenden Populationen vergleichsweise einfach zu bewältigen. Der Proteingehalt, dessen Genetik und Beeinflussbarkeit durch Umweltbedingungen und biologische Stickstofffixierung wurden bereits wiederholt beschrieben (siehe z.B. VOLLMANN et al. 2000; 2006). Für den Zuckergehalt der Sojabohnen, der den Geschmack von Produkten beeinflusst, liegen dagegen nur wenige pflanzenzüchterisch

<sup>1</sup> Universität für Bodenkultur Wien, Dept. f. Nutzpflanzenwissenschaften, Abt. Pflanzenzüchtung, Gregor Mendel Straße 33, A-1180 WIEN

<sup>2</sup> Universität für Bodenkultur Wien, Dept. f. Lebensmittelwissenschaften u. Lebensmitteltechnologie, Inst. f. Lebensmitteltechnologie, Muthgasse 18, A-1190 WIEN

<sup>3</sup> Universität für Bodenkultur Wien, Dept. f. Nutzpflanzenwissenschaften, Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf, Schlosshofer Straße 31, A-2301 GROSS-ENZERSDORF

\* Ansprechpartner: Johann VOLLMANN, johann.vollmann@boku.ac.at

verwertbare Befunde vor. HOU et al. (2009) untersuchten die Variabilität in den Gehalten löslicher Kohlenhydrate in einem Sortiment von 241 Genotypen der Reifegruppen III, IV und V. Während die Konzentrationen von Glukose, Fruktose und Raffinose im Mittelwert zumeist unter 1% lagen, erreichten Stachyose 3% und die geschmacksrelevante Saccharose je nach Reifegruppe etwa 4-5%. Einzelne der von HOU et al. (2009) untersuchten Genotypen wiesen Saccharosegehalte im Bereich von 0.2 bis 9.5% auf, was eine sehr breite genetische Variation darstellt, die für Selektionszwecke nutzbar erscheint.

Züchterisch relevante Informationen über den Saccharosegehalt von Sojasorten früher Reifegruppen mit einer Anbaueignung unter mitteleuropäischen Bedingungen liegen bislang kaum vor. In der vorliegenden Untersuchung wird daher zunächst die Entwicklung einer NIRS-Kalibration zur raschen Messung von Saccharose vorgestellt, und sodann diese Kalibration zur Analyse von Saccharose-Konzentrationen in verschiedenen Versuchsserien angewandt.

## Material und Methoden

Von 135 Sojabproben aus den Anbaujahren 2006 bis 2010 wurden mittels einer enzymatisch-photometrischen Referenzmethode (Megazyme-Kit K-SUFRG; Megazyme Int., Wicklow, Irland) die Saccharosegehalte bestimmt. Vermahlene Referenzproben wurden mittels eines FT-NIR-Spektrometers (Bruker Matrix I; Bruker, Ettlingen, Deutschland) gescannt, einzelne Proben wurden darüber hinaus mit unterschiedlichen Mengen an Saccharose (Staubzucker; Agrana, Wien, Österreich) gemischt ('artificial reference samples') und ebenfalls gescannt, sodass insgesamt über 200 Referenzproben für die NIRS-Kalibrationsentwicklung mittels PLS-Regression (Software OPUS) zur Verfügung standen.

Vier verschiedene Feldversuchsserien an den Standorten Raasdorf bzw. Groß-Enzersdorf wurden über die Jahre 2006 bis 2010 in Einzelreihen-Parzellen zumeist als generalisierte Gitteranlagen in zwei Wiederholungen angelegt und das Erntegut mittels NIRS auf Qualitätsmerkmale analysiert:

- GG3X\_epi (n=30 F<sub>2:7</sub>-Linien der Kreuzung Ma. Belle/Proto; 4 Umwelten)
- LO (n=36 auf verringerten Ölgehalt vorselektierte Linien; 5 Umwelten)
- PS\_2\_screening (n=50 Linien, vorselektiert auf hohen Proteingehalt oder hohen Hülsenansatz; 5 Umwelten)
- GPX\_screening (n=2030 F<sub>3:4</sub>-Linien aus vier versch. high-protein-Kreuzungen in 1 Wh., augmented design)

Die Angabe des Öl, Protein- und Saccharosegehaltes erfolgte in allen Versuchen auf der rechnerischen Basis der Trockenmasse. Einzelversuche und Versuchsserien wurden mittels PLABSTAT (UTZ 2005) dem jeweiligen Versuchsdesign entsprechend statistisch analysiert.

## Ergebnisse

Die Entwicklung von NIRS-Kalibrationen für die Saccharose-Bestimmung ist in *Tabelle 1* wiedergegeben. Nach Elimination von Ausreißern in den Kalibrations-Sets konnten v.a. mit dem kombinierten Set aus Referenzproben und 'artificial reference samples' stabile und für Selektionszwecke hinreichend genaue Kalibrationen erreicht werden, welche in den nachfolgend beschriebenen Experimenten zur NIRS-basierten Vorhersage des Zuckergehaltes Verwendung fanden.

Die Ergebnisse der Varianzanalysen der drei über jeweils mehrere Umwelten durchgeführten Versuchsserien in *Tabelle 2* zeigen, dass ähnlich wie Protein- und Ölgehalt auch

**Tabelle 1: Kennzahlen von drei NIRS-Kalibrations-Sets zur Vorhersage des Saccharosegehaltes von Sojabproben**

**Table 1: Characteristics of different NIRS-calibrations for predicting sucrose in soybean samples**

Kalibrationsparameter	Kalibrations-Sets		
	Set 2006-2010	artificial samples set	kombiniertes Set
Anzahl an Proben (n)	115	93	204
PLSR-Variablen	8	8	10
R <sup>2</sup> der Kalibration	84.34	98.97	99.09
Fehler Kalibr. (RMSE-E)	0.41	0.40	0.27
R <sup>2</sup> der Validierung	81.51	98.47	97.98
Fehler Valid. (RMSE-CV)	0.43	0.48	0.39

**Tabelle 2: Signifikanzniveaus unterschiedlicher Varianzursachen in drei Versuchsserien für die Speisesoja-Qualitätsmerkmale Ölgehalt, Proteingehalt, Saccharosegehalt und TKG sowie die operative Heritabilität dieser Merkmale**

**Table 2: ANOVA significance levels and heritability estimates of oil content, protein content, saccharose content and 1000 grain weight in three different experimental series**

Varianzanalyse	GG3X_epi				LO				PS_2_screening			
	Öl	Prot.	Sac.	TKG	Öl	Prot.	Sac.	TKG	Öl	Prot.	Sac.	TKG
Block (in U)	+	ns	ns	ns	ns	*	**	**	ns	*	**	ns
Umwelt (U)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Genotyp (G)	**	**	n.s.	**	**	**	**	**	**	**	**	**
GxU	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Heritab. (op.)	77.5	72.2	9.4	91.4	89.9	89.9	87.9	83.1	90.2	85.2	85.8	83.1

ns, nicht signifikant; +, \*, \*\*, signifikant bei  $p=0.1, 0.05, 0.01$

der Saccharosegehalt durch Genotyp, Umwelt sowie Genotyp x Umwelt-Interaktionen beeinflusst wurde. Lediglich in der Versuchsserie GG3X\_epi, deren Linien allesamt aus einer einzigen Kreuzung stammten, war eine genetische Variabilität im Saccharosegehalt nicht nachweisbar und daher auch die operative Heritabilität des Merkmals sehr gering (9.4%), während diese in den anderen Serien jener von Öl- und Proteingehalt sowie der des TKGs vergleichbar war. *Abbildung 1* zeigt die Variation im Saccharosegehalt für einzelne Genotypen und deren Verlauf über verschiedene Umwelten. In der Serie GG3X\_epi (keine statistisch signifikanten Genotyp-Unterschiede) lagen die Saccharosegehalte in der Regel zwischen 5 und 7 g 100 g<sup>-1</sup>, in den beiden anderen Serien variierten sie über einen deutlich weiteren Bereich. Für alle drei in *Abbildung 1* dargestellten Versuchsserien zeigte der Saccharosegehalt über die Umwelten (i.e. Vegetationsperioden) einen ähnlichen Verlauf: In den Umwelten 3 und 4 (Jahre 2008 und 2009) wurden die höchsten, in den Umwelten 2 und 5 (2007 und 2010) die niedrigsten Gehalte festgestellt, was auf einen starken Einfluss von Witterungsbedingungen hinweist.

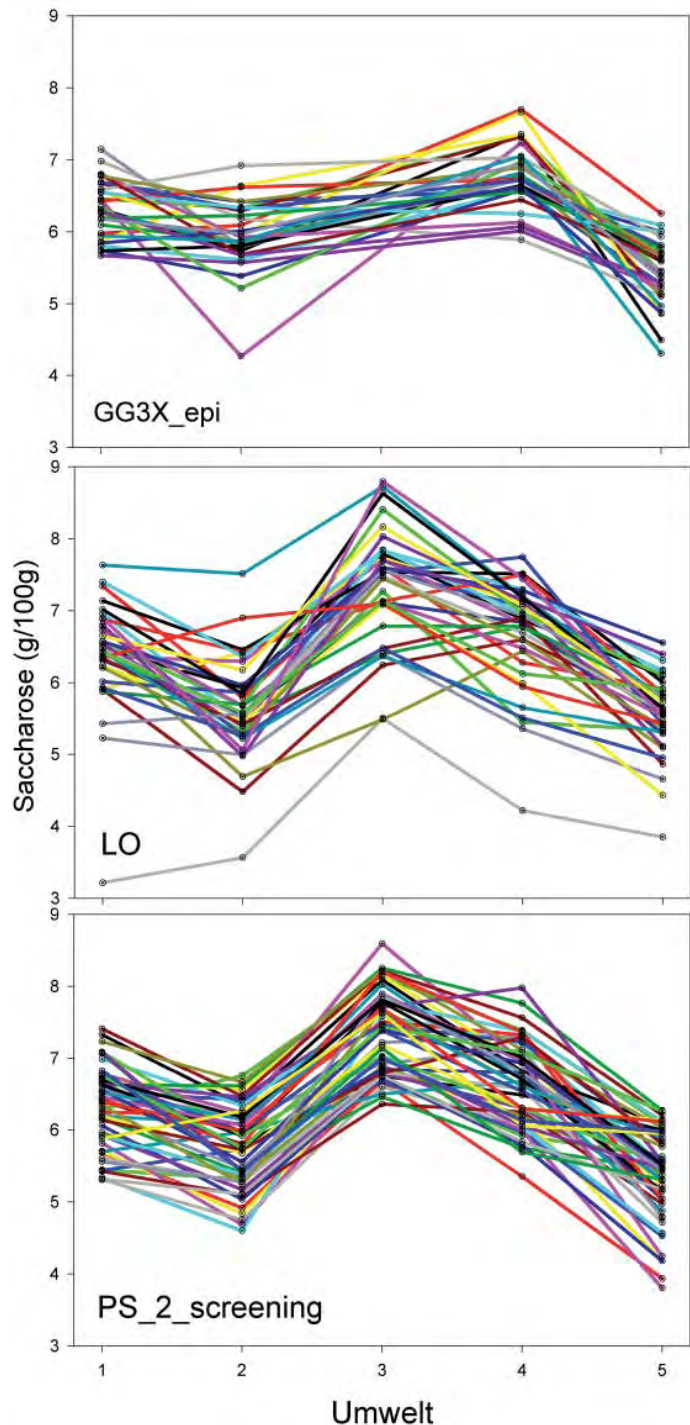
Das Ergebnis des einjährig (2009) durchgeführten Screenings GPX (*Abbildung 2*) zeigt deutlich die große Variation des Saccharosegehaltes innerhalb einzelner Kreuzungen, aber auch den Effekt bestimmter Eltern. Der Kreuzungselter GF4X-21-5-2 (high protein-Linie, jedoch keine Speisesoja-Qualität) führte in den Populationen GP2X und GP3X zu niedrigeren Saccharosewerten als der Elter Vinton 81 (Tofu-Sorte) in GP4X bzw. GP7X.

In allen vier Versuchsserien war der Saccharosegehalt signifikant negativ mit dem Proteingehalt korreliert (Korrelationskoeffizienten  $r = -0.4$  bis  $-0.7$ ; Details nicht wiedergegeben), die phänotypische Korrelation zum Ölgehalt hingegen war je nach Population und spezifischer Umwelt nicht signifikant oder positiv ausgeprägt.

## Diskussion

Die präsentierten Ergebnisse zeigen zunächst, dass durch Kombination von Referenzproben und sog. 'artificial reference samples' brauchbare NIRS-Kalibrationen für die Bestimmung des Saccharosegehaltes der Sojabohne erhalten werden können, wodurch dieses Merkmal parallel zu den standardmäßig erfassten Öl- und Proteingehalten (vgl. z.B. POYSA et al. 2008) vorhergesagt werden kann. Dies ist im Hinblick auf die Selektion von Speisesojabohnen von besonderem Interesse, da hier die geschmacksbeeinflussenden Zuckergehalte eine wichtigere Rolle spielen als im Futtermittelbereich.

Der Zuckergehalt stellt ein quantitativ vererbtes Merkmal vergleichbar dem Ölgehalt dar, in QTL-Analysen wurden bislang vier bis sieben Regionen identifiziert, die für Zuckergehalt kodieren (MAUGHAN et al. 2000, KIM et al. 2005). Auch in den vorliegenden Ergebnissen ist daher die festgestellte Variation im Zuckergehalt sowohl von genetischen Einflüssen als auch von Umwelteffekten abhängig. In der Versuchsserie GG3X\_epi (*Tabelle 2*, *Abbildung 1*) dürften die beiden Eltern sehr ähnliche Zu-



**Abbildung 1: Verlauf der Saccharosegehalte einzelner Sojabohnen-Genotypen über verschiedene Umweltbedingungen (Anbaujahre 2006-2010) für drei unterschiedliche Versuchsserien**

*Figure 1: Sucrose content of individual soybean genotypes across environments in three different experimental series*

ckergehalte aufweisen, sodass davon abgeleitete Linien keine genetische Variation erkennen ließen. In den anderen Versuchsserien war eine deutlich höhere genetische Variabilität feststellbar, die eine Selektion auf Zuckergehalt für Speisesojazwecke zulassen sollte. Kreuzungen mit etablierten Speisesojasorten wie Vinton 81

erscheinen ebenfalls angezeigt, da diese offenbar leichter zu Linien mit erhöhten Zuckergehalten führen (Abbildung 2). Auch wenn die negative Korrelation zwischen Protein- und Zuckergehalt die Selektion erschwert, erscheint das Auffinden brauchbarer Genotypen möglich, da für Speisesojazwecke zu meist Proteingehalte von 43-44% ausreichend sind. Ähnliche Korrelationen wie oben berichtet wurden auch von OPENSHAW und HADLEY (1981) gefunden, die auch nicht signifikante bzw. positive Korrelationen zwischen Zuckergehalt und Kornertrag feststellten; letzteres sollte die Selektion von Sortenkandidaten mit Speisesojaqualität und gleichzeitig akzeptablem Ertragsniveau ermöglichen.

Die meisten der in Österreich gegenwärtig produzierten Sojabohnen werden zu Lebensmitteln verarbeitet, wodurch ein erhöhter Bedarf an Sorten mit Speisesoja-Qualität entstanden ist. Neben heller Hilumfarbe, großem Korn und hohem Proteingehalt stellt der Zuckergehalt ein weiteres Qualitätsmerkmal dar, das - wie die vorliegenden Ergebnisse zeigen - in entsprechenden Populationen vergleichsweise leicht selektierbar erscheint. Wegen seiner geschmacksbildenden Eigenschaften und als Teil einer Gesamtstrategie zur Entwicklung qualitativ hochwertiger Speisesojabohnen mit besserer Akzeptanz der daraus hergestellten Lebensmittel sollte der Zuckergehalt daher züchterisch stärker Berücksichtigung finden.

## Literatur

- AGRAR MARKT AUSTRIA, 2010: Getreide und Ölsaaten – Anbauflächen, Erträge, Marktleistung Österreich 1997 bis 2010 (Stand: November 2010). [Available online: <http://www.ama.at>; accessed 7 Dec 2010]
- CUI Z, JAMES AT, MIYAZAKI S, WILSON RF, CARTER Jr TE, 2004: Breeding specialty soybeans for traditional and new soyfoods. In: Liu K (Ed.), Soybeans as functional foods and ingredients, pp. 264-322. AOCS Press, Champaign, IL.
- HOU A, CHEN P, ALLOATTI J, LI D, MOZZONI L, ZHANG B, SHI A, 2009: Genetic variability of seed sugar content in worldwide soybean germplasm collections. *Crop Sci.* 49, 903-912.
- KIM Y, WICKER L, 2005: Soybean cultivars impact quality and function of soymilk and tofu. *J. Sci. Food Agric.* 85, 2514-2518.
- KIM HK, KANG ST, CHO JH, CHOUNG MG, SUH DY, 2005: Quantitative trait loci associated with oligosaccharide and sucrose contents in soybean (*Glycine max* L.). *J. Plant Biol.* 48, 106-112.
- MAUGHAN PJ, SAGHAI MAROOF MA, BUSS GR, 2000: Identification of quantitative trait loci controlling sucrose content in soybean (*Glycine max* L.). *Mol. Breed.* 6, 105-111.

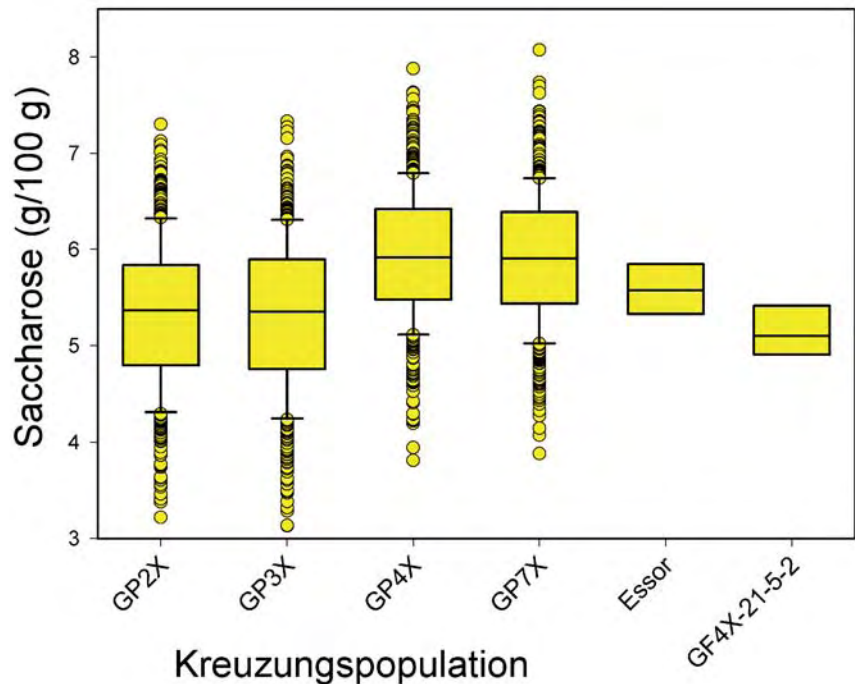


Abbildung 2: Verteilung des Saccharosegehaltes in  $F_{3,4}$ -Linien der Kreuzungen GP2X (Gallec/GF4X-21-5-2, n=500), GP3X (Essor/GF4X-21-5-2, n=494), GP4X (Essor/Vinton 81, n=491) und GP7X (GL601/Vinton 81, n=520) sowie zweier Standardgenotypen an einer Umwelt (Groß Enzersdorf 2009)

Figure 2: Variation of sucrose content in  $F_{3,4}$ -lines from four different segregating populations and two standard genotypes grown in a single environment

- MECHTLER K, 2010: Sorteneignung für die Speisesojaproduktion. Bericht ALVA-Jahrestagung 2010, Vom Lebensmittel zum Genussmittel - was essen wir morgen?, 31. Mai-1. Juni, Schloss Puchberg, Wels, pp. 141-142. Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel- Veterinär- und Agrarwesen, Wien.
- NIELSEN NC, 1996: Soybean seed composition. In: Verma DPS, Shoemaker RC (Eds.), Soybean: Genetics, molecular biology and biotechnology, pp. 127-163. CAB International, Wallingford, UK.
- OPENSHAW SJ, HADLEY HH, 1981: Selection to modify sugar content of soybean seeds. *Crop Sci.* 21, 805-808.
- POYSA V, WOODROW L, YU K, 2006: Effect of soy protein subunit composition on tofu quality. *Food Res. Int.* 39, 309-317.
- POYSA V, WOODROW J, YU K, 2008: Nature soybean. *Can. J. Plant Sci.* 88, 929-931.
- UTZ HF, 2005: PLABSTAT - Plant Breeding Statistical Program. Version 3A. Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik, Universität Hohenheim, Stuttgart.
- VOLLMANN J, FRITZ CN, WAGENTRISTL H, RUCKENBAUER P, 2000: Environmental and genetic variation of soybean seed protein content under Central European growing conditions. *J. Sci. Food Agric.* 80, 1300-1306.
- VOLLMANN J, WAGENTRISTL H, POKEPRASERT A, SCHALLY H, GRAUSGRUBER H, 2006: Anpassung der Sojabohne an besondere Qualitätsansprüche. Bericht 56. Tagung 2005 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, pp. 47-51. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding.

# Pea breeding programmes in the Czech Republic

Miroslav Hochman<sup>1\*</sup> and Radmila Dostálová

## Abstract

In 2010 the Czech acreage cultivated with grain legumes was 31318 ha. The most important grain legumes were peas, followed by soybeans, lupins and faba bean. While peas showed a dramatic decrease in acreage over recent years soybeans significantly increased in their acreage. An important share of the Czech pea production is exported, either as feed or as seed. Breeding of peas has a long history in the Czech Republic. Today three companies are engaged in pea breeding, i.e. Semo s.r.o., Selgen a.s. and Agritec Ltd. Breeding activities of the three companies are outlined.

## Keywords

Field pea, grain legumes, *Pisum sativum*, vegetable

## Introduction

In 2010 the Czech acreage cultivated with grain legumes was 31318 ha which represents 1.3% of the arable land. The most important grain legumes were peas (24400 ha; 23 dt ha<sup>-1</sup> average yield), soybeans (9472 ha), lupins (2097 ha) and faba bean (800 ha). While peas showed a dramatic decrease in acreage over recent years soybeans significantly increased in their acreage. An important part of the Czech pea production is exported, either as feed (14777 t to Poland and Germany) or as seed (2900 t to Austria, Germany and Poland). Breeding of peas has a long history in the Czech Republic.

## Pea breeding

Semo s.r.o. (www.semo.cz) Smržice u Prostějova, was founded in 1994 but has more than 50 years of breeding tradition as follow-up company of the former Vegetable Breeding Station. Semo is breeding varieties for European conditions and their varieties are popular not only in the Czech Republic, but also in Slovakia, Poland and Hungary. Besides green peas breeding is also carried out for pepper, tomato, cucumber, root vegetables and lettuce. The most popular green pea variety is Oskar which is characterised by very early maturity, long pods, large seeds and high yield. Oskar is suitable for mechanized harvest and hand harvest, and it is resistant to *Fusarium oxysporum* race 1.

Breeding activities of Selgen a.s. (www.selgen.cz), Praha, started in 1903 and since then hundreds of varieties of field crops were released. Concerning field peas 35 varieties were released since 1978 in various European countries and

in Canada. Among them was the popular variety Bohatýr (1980) which is still registered and cultivated in some European countries.

Agritec Research, Breeding & Services Ltd., Šumperk, is the follow-up of the former Research and Breeding Institute for Technical Crops and Grain Legumes (1945-1977) and the OSEVA Seed and Breeding Enterprise (1977-1994). Agritec's main activities are the maintenance of genetic resources of grain legumes, flax/linseed and hemp; genetics, breeding methods and biotechnology of grain legumes, flax and winter rape; agrotechnology of pea, faba bean, lupin, flax, hemp and caraway; integrated plant protection of grain legumes and flax; services (testing of pesticides, germplasm etc.) and the trading of pesticides, seeds, linseed, etc. The breeding aims in field peas are: resistance to lodging (*afila* type), high protein content (>23%), green or yellow colour, round seed shape, low content of trypsin inhibitor activity (TIA) (<9 TIU, trypsin inhibitor units).

The breeding goals in green peas are: optimal green colour, size and shape of seeds, high content of resistance starch (DOSTÁLOVÁ et al. 2009), high content of vitamins and carotenoids (luteins, β-carotene) (HOLASOVÁ et al. 2009). For both field peas and green peas resistances against fungal (*Erysiphe pisi*, *Fusarium* ssp., *Ascochyta*, *Uromyces*) and viral pathogens (PEMV, PSbMV) are important. Agritec holds a collection of pea genetic resources (1280 accessions) and a core collection of peas which was established by both morphological evaluation and DNA analysis (SMÝKAL et al. 2008). Genetic resources are routinely used in e.g. the resistance breeding to powdery mildew (*Erysiphe pisi*) which is a serious disease and can cause yield losses of 10-65% by significantly reducing the seed weight (ONDŘEJ et al. 2003). Resistance is controlled by the recessive genes *er1* and *er2*. Sources of resistance are hybridized with susceptible varieties and selection of resistant plants in the progenies is carried out under artificial inoculation in the greenhouse. In the last decade breeding for horizontal resistance to *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* race 1 and 2 was the main aim of Czech breeding programmes (ONDŘEJ et al. 2008). Selection for *Fusarium* resistance was done under artificial inoculation by growing plants in agroperlite, cutting off one-third of the roots and submerging the plants into a mixed inoculum of race 1 and 2. Moreover, screening methods were developed for *Ascochyta* blight (*Ascochyta pisi*) and virus diseases (Pea Enation Mosaic Virus, PEMV, and Pea Seedborne Mosaic Virus, PSbMV). Molecular markers were established for the *sbm-1* and *sbm-2* locus (resistance against PSbMV) (SMÝKAL et al. 2010).

<sup>1</sup> Agritec Plant Research Ltd., Zemedelská 16, CZ- 78701 ŠUMPERK

\* Correspondence: Radmila DOSTÁLOVÁ, dostalova@agritec.cz

Breeding work on a molecular level is also carried out by genetic transformation in regard to virus resistance, and the resistance against insect and fungal pathogens.

Peas are tested in field trials at 12 locations and in lab and greenhouse conditions. Criteria for registration are: grain yield, resistance to lodging, resistance to complex root rot, content of nitrogen (protein) and content of TIA. At the moment 39 cultivars are registered in the National List 2010 (ÚKZÚZ 2010), but only 11 pea varieties are on the Czech Recommended List of Varieties 2010.

## Literature

- DOSTÁLOVÁ R, HORÁČEK J, HASALOVÁ I, TROJAN R, 2009: Study of resistant starch (RS) content in peas during maturation. *Czech J. Food Sci.* 27, S120-S124.
- HOLASOVÁ M, DOSTÁLOVÁ R, FIEDLEROVÁ V, HORÁČEK J, 2009: Variability of lutein content in peas (*Pisum sativum* L.) in relation to the variety, season and chlorophyll content. *Czech J. Food Sci.* 27, S188-S191.
- ONDŘEJ M, DOSTÁLOVÁ R, TROJAN R, 2008: Evaluation of virulence of *Fusarium solani* isolates on pea. *Plant Prot. Sci.* 44, 9-18.
- ONDŘEJ M, DOSTÁLOVÁ R, HÝBL M, ODSTRČILOVÁ L, TYLLER R, TROJAN R, 2003: Utilization of afila types of pea (*Pisum sativum* L.) resistant to powdery mildew (*Erysiphe pisi* DC.) in the breeding programs. *Plant Soil Env.* 49, 481-485.
- SMÝKAL P, HORÁČEK J, DOSTÁLOVÁ R, HÝBL M, 2008: Variety discrimination in pea (*Pisum sativum* L.) by molecular, biochemical and morphological markers. *J. Appl. Genet.* 49, 155-166.
- SMÝKAL P, ŠAFÁŘOVÁ D, NAVRÁTIL M, DOSTÁLOVÁ R, 2010: Marker assisted pea breeding: *eIF4E* allele specific markers to pea-seedborne mosaic virus (PSbMV) resistance. *Mol. Breed.* 26, 425-438.
- ÚKZÚZ, 2010: National list of varieties. Bulletin of the Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture, Series: National Plant Variety Office. Czech Gazette for Plant Breeders Rights and National List of Plant Varieties IX/S, 15 June. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno. [Available online: <http://www.ukzuz.cz/Articles/33504-2-Bulletins-of-UKZUZ.aspx>; accessed 1 Mar 2011].

## Einfluss von Temperaturstress auf Ertrag und spezifische Qualitäten von *Lupinus angustifolius* L.

### Influence of temperature stress on yield and specific qualities of *Lupinus angustifolius* L.

Gisela Jansen<sup>1\*</sup>, Hans-Ulrich Jürgens<sup>1</sup> und Sylvia Seddig<sup>1</sup>

#### Abstract

Yield and seed composition of *Lupinus angustifolius* cultivars is influenced by the environment. One of the most important environmental factors is the temperature during the time period between the initiation of flowering and pod ripening. As a consequence of global warming, higher temperatures can limit the productivity of *L. angustifolius* by reducing yield and increasing the content of antinutritive substances. Temperature stress experiments have shown that the alkaloid content of seeds is increasing with rising temperature. At a higher temperature the alkaloid content of some lupin cultivars was above the threshold for animal and human consumption, but the cv. Vitabor maintained a low alkaloid content even under higher temperatures. Higher temperatures did

not only lead to a decrease in yield, but also to a small increase in the protein content. Despite the lower protein content at lower temperatures, the protein yield was higher due to higher seed yield at lower temperatures. For feeding of animals and for a possible use in human nutrition a high yield, a high protein content and a low alkaloid content under varying temperature is desirable in breeding programs of *L. angustifolius*. The influence of temperature on these traits has to be taken into account during selection.

#### Keywords

Alkaloids, global warming, lupin, protein, temperature stress, yield

#### Einleitung

Der Anbau und die Züchtung von Körnerleguminosen sind in Deutschland seit Jahren rückläufig und der Ertragsfortschritt ist im Vergleich zu anderen Fruchtarten gering. Es fehlen für eine Vermarktung große einheitliche Partien mit definierter Qualität (SPECHT 2009). Dies gilt auch für die Süßlupinen als Vertreter der heimischen Körnerleguminosen mit dem höchsten Proteingehalt. Hohe und stabile Erträge sowie sichere Qualität gehören heute zu den Herausforderungen in der Züchtung von *Lupinus angustifolius* L., wobei der Proteingehalt und der Alkaloidgehalt maßgeblich die Körnerqualität bestimmen (EICKMEYER 2009).

Immer wieder wird eine starke Witterungsabhängigkeit bei Körnerleguminosen bezüglich Ertrags- und Qualitätsmerkmalen beobachtet. So kam es auch auf guten Böden in den Jahren 2003 und 2006, die durch Hitze und Trockenheit gekennzeichnet waren, zu Ertragseinbußen (GUDDAT 2009).

Zur Sicherung des Ertragspotentials gilt es bei Blauen Süßlupinen zum einen noch vorhandene Wildpflanzenmerkmale wie Hülsenplatzen, Kalkchlorosen, vorzeitigen Blüten- bzw. Hülsenabwurf und ungleichmäßige Abreife züchterisch zu verbessern (EICKMEYER 2009). Zum anderen muss die Toleranz gegenüber biotischen und abio-

tischen Faktoren (u.a. Krankheiten, tierische Schaderreger sowie Temperatur- und Trockenstress) verbessert werden. Zusätzlich wird auf Grund einer unbefriedigenden Herbizid-Zulassungssituation (HEIDEL 2009) zur Bekämpfung von Unkräutern eine rasche Jugendentwicklung angestrebt. Ein weiterer Faktor, der den Ertrag und die Qualität beeinflusst, ist die Bodenqualität, wobei es auf ungünstigen Standorten mit hohen pH-Werten zu erheblichen Ertragsreduzierungen und geringeren Proteingehalten kommen kann (JANSEN et al. 2005, 2010).

Im folgenden Beitrag wird der Einfluss der Umwelt während der Wachstumsperiode auf den Ertrag und die Qualität von Blauen Süßlupinen diskutiert.

#### Einfluss der Anbauweise auf den Ertrag

Trotz der aufgezählten negativen Einflussgrößen auf den Ertrag von Lupinen konnten auf guten Böden auch unter ökologischen Bedingungen über einen Zeitraum von sieben Jahren zufrieden stellende Ertragsleistungen erzielt werden. In *Abbildung 1* werden die mittleren Erträge von 7 Sorten (Boregine, Borlu, Bora, Azuro, Boruta, Sonet, Vitabor) auf einem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld in Groß Lüsewitz gezeigt. Es handelt sich hierbei um einen Standort mit einem pH-Wert von 5,8, einer Bodenwertzahl von 47 und

<sup>1</sup> Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz, OT Groß Lüsewitz, Rudolf-Schick-Platz 3, D-18190 SANITZ

\* Ansprechpartner: Gisela JANSEN, gisela.jansen@jki.bund.de



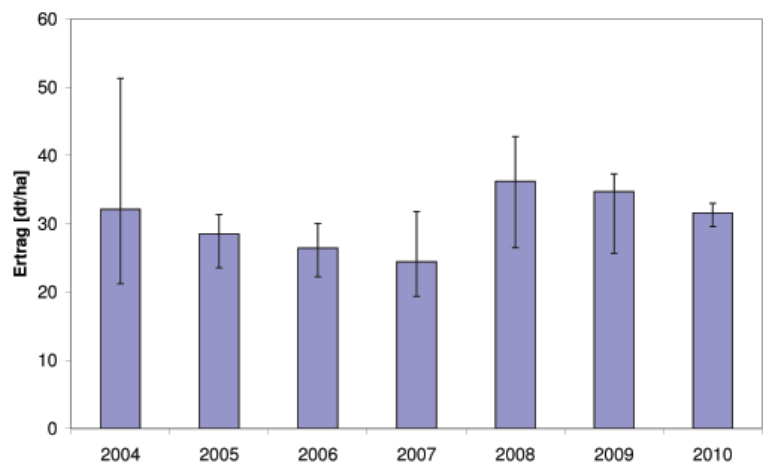
einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von etwa 620 mm. Dieser Boden ist auf Grund seines pH-Wertes für einen Lupinenanbau sehr gut geeignet und verfügt darüber hinaus mit der relativ hohen Bodenwertzahl über ein deutlich höheres Ertragspotential gegenüber leichten Sandstandorten. Im Jahr 2007 wurden die geringsten Erträge erzielt. Dies verdeutlicht auch *Abbildung 2*, in der der mittlere Samenertrag von Boregine im ökologischen und konventionellen Anbau dargestellt ist. Die Ursache für den geringen Ertrag im Jahr 2007 ist in einem erschwerten Auflaufen und einer schlechten Jugendentwicklung durch starke Trockenheit zu sehen. Der Bestand wurde zusätzlich, insbesondere im konventionellen Anbau, durch Hasenfraß geschädigt. Bereits im Anbaujahr 2006 konnten in einem Sortiment von 14 Blauen Lupinen Unterschiede im Ertrag zwischen den Anbausystemen ökologisch und konventionell festgestellt werden (JANSEN und SEDDIG 2007). Im ökologischen Anbau wurden trotz der Eigenversorgung mit Stickstoff aus der Luft etwas niedrigere Erträge als im konventionellen Anbau erzielt. Der Unterschied betrug im Jahr 2006 im Durchschnitt etwa 3 dt.ha<sup>-1</sup> und war hoch signifikant. Eine signifikante Differenz konnte in den Anbaujahren 2008 bis 2010 bestätigt werden (*Abbildung 2*).

In Feldversuchen wirken komplexe Einflussgrößen auf den Ertrag. Soll nur eine Einflussgröße wie z.B. die Temperatur während der Blühphase und Hülsenbildung betrachtet werden, ist es notwendig, alle anderen Faktoren konstant zu halten. Dazu werden in den folgenden Kapiteln Ergebnisse von Klimakammerversuchen zum Einfluss von unterschiedlichen Anzucht-Temperaturen auf den Ertrag und auf die Qualität von Blauen Lupinen vorgestellt.

### Temperatureinfluss auf den Ertrag

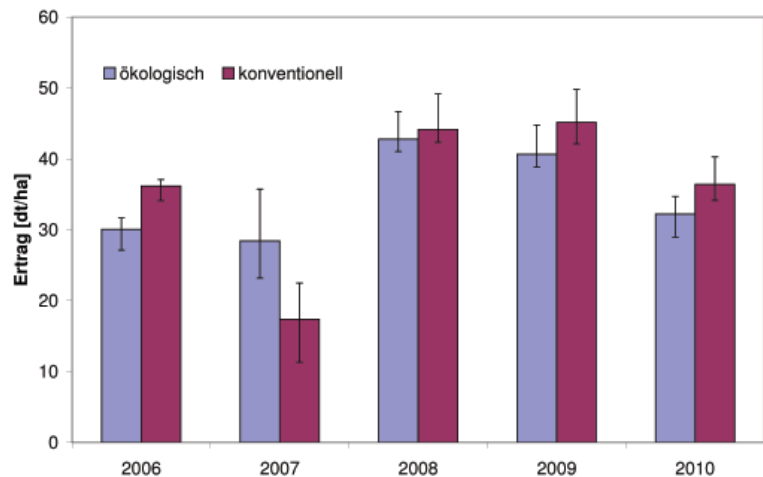
Hohe Temperaturen können die Produktivität von Lupinen sowohl in mediterranen als auch in gemäßigten Klimazonen negativ beeinflussen (DRACUP et al. 1998). Insbesondere während der Blühphase und Hülsenentwicklung führen diese zu Ertragseinbußen. Das stellten bereits DOWNES und GLADSTONE (1984) fest. Dabei reagieren Lupinen wesentlich empfindlicher auf hohe Temperaturen als z. B. Erbsen (JANSEN, unveröffentlicht).

In einem Klimaschrankversuch wurden Lupinen unter Langtagbedingungen mit Tag/Nacht-Temperaturen von 30/16°C (mittlere Temperatur 25°C) und 20/16°C (mittlere Temperatur 19°C) im Vergleich zu einer Kontrolle mit einer mittleren Temperatur von 16°C angebaut. Eine Erhöhung der mittleren Temperatur von 19 auf 25°C führte bei den Sorten Haags Blaue, Boruta und Probor zu einem extrem



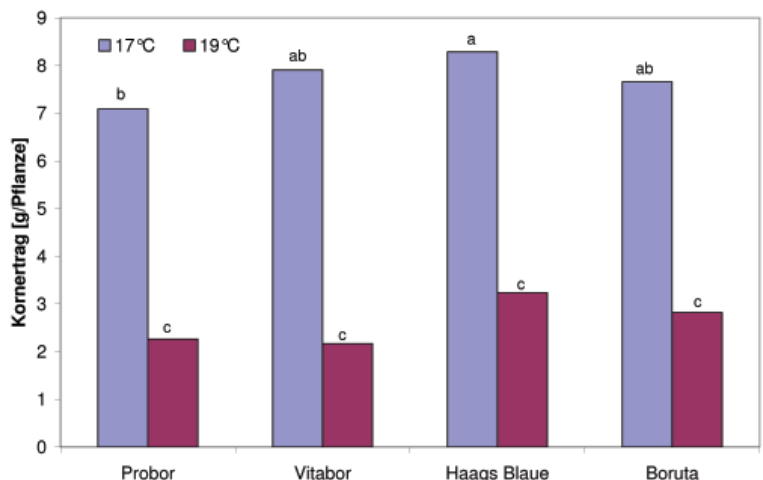
**Abbildung 1: Mittlerer Ertrag von sieben Sorten Blaue Lupinen über einen Zeitraum von sieben Jahren auf einem ökologisch bewirtschafteten Standort in Groß Lüsewitz**

*Figure 1: Mean yield of seven blue lupin varieties over a period of seven years at an organic managed site in Groß Lüsewitz*



**Abbildung 2: Ertrag von Boregine im ökologischen und konventionellen Anbau**

*Figure 2: Yield of Boregine in organic and conventional farming*



**Abbildung 3: Einfluss der mittleren Temperatur vom Blühbeginn bis zur Abreife auf den Samenertrag von Blauen Lupinen (verschiedene Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede bei  $\alpha = 0,05$ )**

*Figure 3: Effect of temperature on yield of seeds during flowering up to ripening period (different letters indicate significant differences at  $\alpha = 0,05$ )*

niedrigen Hülsenansatz, wobei für die Sorten entsprechend bei 19°C Kornerträge von 2,3, 3,0 und 2,7 g pro Pflanze und bei 25°C nur 0,1, 0,2 und 0,6 g pro Pflanze ermittelt wurden (JANSEN 2008). In einem weiteren Versuch in klimatisierten Gewächshauskabinen, bei dem die Temperaturdifferenzen deutlich verringert wurden (ab Blühbeginn eine mittlere Temperatur von 17°C (18/13 °C) und 19°C (20/16°C), kam es noch zu deutlichen Ertragsunterschieden (Abbildung 3).

### Temperatureinfluss auf den Bitterstoffgehalt

Der Bitterstoffgehalt (Alkaloidgehalt) im Samen von Blauen Lupinen wird ebenfalls stark durch die Temperatur vom Blühbeginn bis zur Abreife der Hülsen beeinflusst (JANSEN et al. 2009). Das konnte sowohl im Freiland, als auch in Versuchen in Klimaschränken und Gewächshauskabinen bestätigt werden. Mit höheren Temperaturen kommt es zu einem Anstieg im Alkaloidgehalt. In Süßlupinen, die ein etwas höheres Niveau im Alkaloidgehalt aufweisen, wie Borlu, Boregine, Boruta und Bora, können die allgemein geltenden Richtwerte für die Tierfütterung (0,05% Alkaloide) und für die menschliche Ernährung (0,02% Alkaloide) überschritten werden. Das könnte in sehr warmen Jahren auch zu Problemen bei der Sortenerkennung von Süßlupinen führen.

In *Abbildung 4* sind als Beispiel die Ergebnisse eines Feldversuchs dargestellt. Im Jahr 2006 mit überdurchschnittlich warmen Temperaturen zwischen Blühbeginn und Abreife kam es bei der Sorte Boruta zu einer Überschreitung der Schwellenwerte. Dagegen blieb die extrem alkaloidarme Sorte Vitabor in diesem Versuch und in weiteren Versuchen in Klimaschränken unter den Richtwerten (JANSEN et al. 2009). Um Blaue Süßlupinen in Zukunft uneingeschränkt in der Tier- und Humanernährung einsetzen zu können, besteht insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels die Herausforderung für die Züchtung, Sorten mit sehr geringen Alkaloidgehalten zur Verfügung zu stellen.

### Temperatureinfluss auf den Proteingehalt

Ein weiteres Zuchtziel bei Blauen Lupinen sind neben einem geringen Gehalt an Alkaloiden hohe Proteingehalte. Niedrige Temperaturen (16°C) während der Kornfüllungsphase reduzieren den Proteingehalt Blauer Süßlupinen signifikant (JANSEN 2008). NAYYER et al. (2007) beschreiben bei Kichererbsen ebenfalls eine geringe Proteinakkumulation bei geringen Temperaturen während der Kornfüllungsphase. Eine Erhöhung der Temperatur auf 19 bzw. 25°C

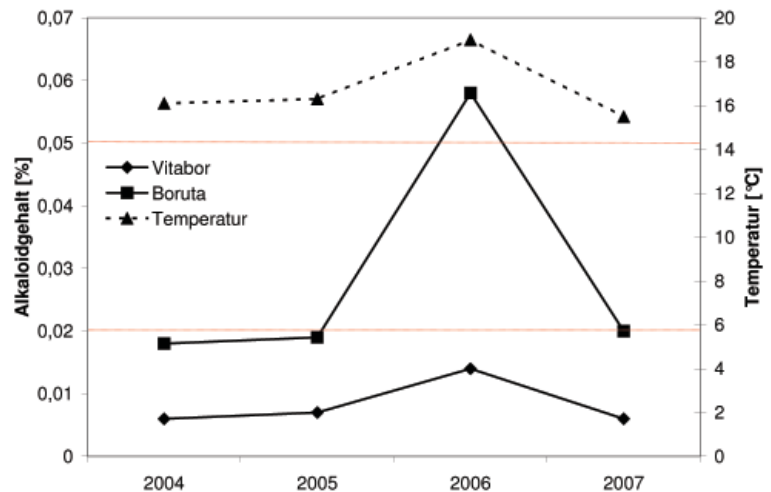


Abbildung 4: Einfluss der Anbautemperatur auf den Alkaloidgehalt verschiedener Blauer Süßlupinen in Feldversuchen

Figure 4: Influence of cultivation temperature on the alkaloid content of different sweet blue lupin cultivars under field conditions

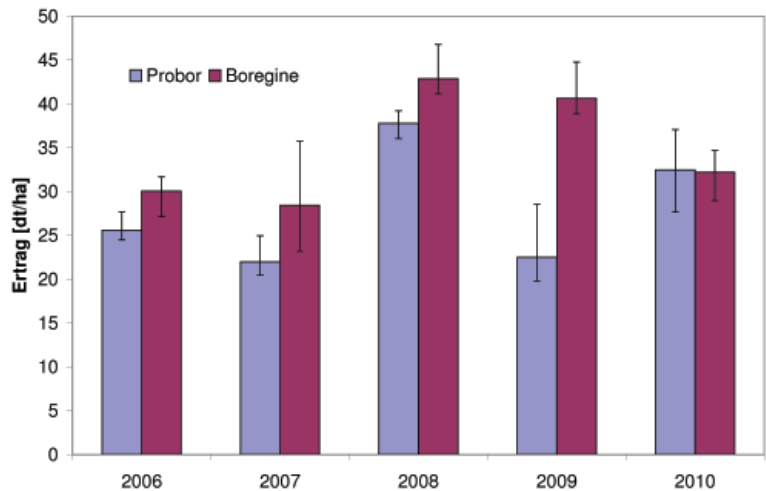


Abbildung 5: Kornertrag von Boregine und Probor im fünfjährigen ökologischen Anbau Figure 5: Grain yield of Boregine and Probor during five-year organic cultivation

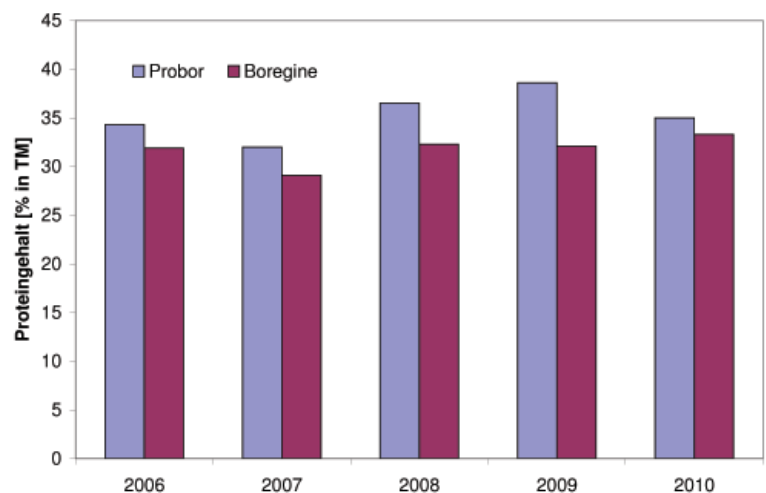


Abbildung 6: Proteingehalt von Boregine und Probor im fünfjährigen ökologischen Anbau Figure 6: Protein content of Boregine and Probor during five-year organic cultivation

führt zu einer Erhöhung des Proteingehaltes gegenüber einer Kultivierung bei 16°C (JANSEN 2008). Dieser Effekt war jedoch in unseren Experimenten gering, verglichen mit den Ertragsverlusten, die bei hohen Temperaturen zum Tragen kommen, so dass bei niedrigen Temperaturen trotzdem höhere Proteinerträge erzielt werden.

### *Ertrags- und Qualitätsfortschritt am Beispiel von Boregine und Probor*

Die Sorte Boregine zählt seit Jahren zu den ertragsstarken Blauen Lupinensorten (BUNDESSORTENAMT 2009). Im Jahr 2004 konnten Erträge von über 40 bzw. 50 dt.ha<sup>-1</sup> auf ökologischen Standorten in Mecklenburg-Vorpommern mit Bodenwertzahlen von 29 bzw. 47 erzielt werden. Leider verfügt diese Sorte über etwas geringere Proteingehalte als andere Sorten (JANSEN et al. 2005). Mit der im Jahr 2005 zugelassenen Sorte Probor steht erstmals eine Sorte mit hohem Proteingehalt zur Verfügung, die außerdem eine relativ hohe Ertragsleistung aufweist (BUNDESSORTENAMT 2009). Im ökologischen Anbau schwankte der Kornertrag von Boregine im Anbauzeitraum 2006 - 2010 zwischen 28 und 43 dt.ha<sup>-1</sup> und bei Probor zwischen 22 und 38 dt.ha<sup>-1</sup> (Abbildung 5). Den höchsten Proteingehalt erzielte Probor 2009 mit 38% in der Trockensubstanz und Boregine 2010 mit 33% in der Trockensubstanz (Abbildung 6). Die Unterschiede im Kornertrag und im Proteingehalt zwischen den Sorten Boregine und Probor waren auch unter ökologischen Bedingungen signifikant ( $P < 0,05$ ). Der etwas höhere mittlere Proteinertrag der Sorte Boregine (11 dt.ha<sup>-1</sup>) war jedoch im Vergleich zur Sorte Probor (10 dt.ha<sup>-1</sup>) nicht signifikant ( $P > 0,05$ ).

Da die Blaue Stüßlupine aus züchterischer Sicht ein relativ junges Objekt ist, wird ein Zuchtfortschritt sowohl in Bezug auf den Kornertrag als auch auf den Proteingehalt erwartet. Auf Grund der starken Beeinflussung beider Parameter durch die Umwelt und insbesondere durch die Temperatur während der Wachstumsperiode, sollten stressbedingte Veränderungen in diesen Parametern stärkere Beachtung finden.

### Danksagung

Die Autoren danken Frau Regine Dieterich und Herrn Dr. Bernhard Saal von der Saatzucht Steinach GmbH & Co KG für die Diskussion der Ergebnisse.

Für die Bereitstellung des Lupinenmaterials danken wir ebenfalls der Saatzucht Steinach GmbH & Co KG.

### Literatur

- BUNDESSORTENAMT, 2009: Beschreibende Sortenliste: Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte (außer Kartoffeln). Deutscher Landwirtschaftsverlag, Hannover.
- DOWNES RW, GLADSTONES JS, 1984: Physiology of growth and seed production in *Lupinus angustifolius* L. I. Effects on pod and seed set of controlled short duration high temperatures at flowering. Aust. J. Agric. Res. 35, 493-499.
- DRACUP M, TURNER NC, TANG C, READER M, PALTA J, 1998: Responses to abiotic stresses. In: Gladstones JS, Atkins CA, Hamblin J (Eds.), *Lupinus as Crop Plants: Biology, Production and Utilization*, pp. 227-262. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- EICKMEYER F, 2009: Alte und neue Herausforderungen in der Züchtung von Leguminosen. *Journal für Kulturpflanzen* 61, 352-358.
- GUDDAT C, 2009: Landessortenversuche zu Körnerleguminosen in den ostdeutschen Bundesländern - Ergebnisse aus der Arbeit der Landerdienststellen Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. *Journal für Kulturpflanzen* 61, 318-323.
- HEIDEL W, 2009: Zulassungen/Genehmigungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Leguminosen in Deutschland. *Journal für Kulturpflanzen* 61, 332-340.
- JANSEN G, 2008: Effects of temperature on the yield and protein content of cultivars of *Lupinus angustifolius*. In: Palta JA, Berger JB (Eds.), *Lupins for Health and Wealth, Proc. 12<sup>th</sup> Int. Lupin Conf.*, 14-18 Sept., Fremantle, Western Australia, 342-345. Int. Lupin Ass., Canterbury, New Zealand.
- JANSEN G, SEDDIG S, 2007: Ökologisch und konventionell erzeugte Leguminosen - Erträge und ausgewählte Qualitätsparameter im Vergleich. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 314, 41-51.
- JANSEN G, EICKMEYER F, MICHEL V, 2010: Einfluss von Kalkung und pH-Wert im Boden auf Kornertrag und Eiweißgehalt von *Lupinus angustifolius* L. *Journal für Kulturpflanzen* 62, 367-375.
- JANSEN G, JÜRGENS HU, FLAMME W, 2005: Einfluss von Standort und Sorte auf ausgewählte Qualitätsparameter ökologisch erzeugter Lupinen für die Nutztierfütterung. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 290, 1-9.
- JANSEN G, JÜRGENS HU, ORDON F, 2009: Effects of temperature on the alkaloid content of seeds of *Lupinus angustifolius* cultivars. *J. Agron. Crop Sci.* 195, 172-177.
- NAYYAR H, KAUR G, KUMAR S, UPADHYAYA HD, 2007: Low temperature effects during seed filling on chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.): Probing mechanisms affecting seed reserves and yield. *J. Agron. Crop Sci.* 193, 336-344.
- SPECHT M, 2009: Anbau von Körnerleguminosen in Deutschland - Situation, limitierende Faktoren und Chancen. *Journal für Kulturpflanzen* 61, 302-305.

# Genotyp-Umwelt-Wechselwirkung bei der Blauen Süßlupine am Beispiel ausgewählter Ertragsparameter

## Genotype-environment interaction in narrow-leafed lupin for selected yield parameters

Anne-Kathrin Klamroth<sup>1\*</sup> und Regine Dieterich<sup>1</sup>

### Abstract

Genotype-environment interaction in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* L.) has been investigated in field trials. The experiments were at six sites in Mecklenburg-Western Pomerania and Bavaria with eight restricted branching varieties. The trials demonstrate, that sites have a greater influence on yield parameters than genotypes. Within sites significant differences were found in yield, crude protein yield and crude protein content. Yield and crude protein yield were more influenced than the crude protein content, because crude protein content is mainly affected by temperature and maturation. The differences in crude protein yield reflect the differences in yield. The new breeding material is comparable or even better than registered varieties. Across all sites the breeding line 09VM0857 performed better than the other varieties.

### Key words

Breeding, genotype by environment interaction, *Lupinus angustifolius*, quality, yield trials

### Einleitung

Körnerleguminosen spielen im ökologischen und konventionellen Anbau, in der Tierernährung als auch in der Humanernährung eine wichtige Rolle, zum Beispiel durch ihren Einsatz als Stickstoff- und Eiweißlieferant. Eine besondere Stellung nimmt die blaue Süßlupine (*Lupinus angustifolius* L.) unter den Körnerleguminosen durch ihre ideale Proteinzusammensetzung (RÖMER 2007) ein. Durch das Fütterungsverbot für Tiermehle, das Verbot von Einsatz genetisch veränderter Futtermittel im ökologischen Landbau und die Forderung nach weitgehend importunabhängiger Futterproduktion werten die Körnerleguminosen als Proteinfuttermittel für Wiederkäuer und Monogaster auf. Durch die Züchtung von bitterstoffarmen Sorten (VON SENGBUSCH 1939) und die hohen Rohproteinerträge stellt die Lupine unter den Körnerleguminosen eine besondere Rolle dar. Nicht nur in der Tierernährung kann die Blaue Lupine eingesetzt werden, sondern auch in der Humanernährung. Durch ihren niedrigen glykämischen Index und ihre Proteinzusammensetzung ist sie für Menschen mit Laktoseintoleranz, Zöliakie, Gichtkrankung, Diabetiker,

Rheumaerkrankungen und Empfindlichkeit gegenüber Gliadeneiweiße bedeutsam. Des Weiteren stellt sie durch ihr hohes Wasserbindungsvermögen und als Emulgator einen wichtigen Bestandteil für die vegetarische Ernährung dar. Voraussetzung ist eine stabile Qualität für eine breite Nutzung. Eine umfassende Charakterisierung des Zuchtmaterials ist daher notwendig geworden.

Die Lupinen werden in Weiße (*L. albus* L.), Gelbe (*L. luteus* L.) und Blaue Lupine unterschieden, wobei die Blaue Süßlupine eine geringere Anthraknoseanfälligkeit (FRICK et al. 2002) besitzt. Des Weiteren zeichnet sich die Blaue Lupine durch geringere Standortansprüche aus, ist aber mit circa 30 dt ha<sup>-1</sup> ertragsschwächer als Weiße Lupinensorten, aber auf Grund der Anthraknosetoleranz wird die Blaue Lupine für den Anbau empfohlen. Prüfungen von Sortenmaterial verschiedener Lupinenarten bestätigten die allgemeine gute Disposition der Blauen Lupine (FEILER und NIRENBERG 2004). Hingegen weist die Gelbe Lupine einen höheren Rohproteingehalt (ca. 40%) im Vergleich zur Blauen Lupine (ca. 35%) auf, welcher im Zuchtmaterial bearbeitet und verbessert werden soll. Bei Untersuchungen an Blauen Lupinen wurde von einem Standorteinfluss auf den Proteintrag ausgegangen (BHARDWAJ et al. 1998). Ob Standortunterschiede Einfluss auf die Ertragsparameter haben, wurde in mehrortigen Versuchen an Zuchtmaterial des determinierten Wuchstypen untersucht.

### Material und Methoden

Es wurden 8 eingetragene Sorten und Zuchtmaterial der Blauen Lupine vom determinierten Wuchstyp (Boruta, Haags Blaue, 09VM0853, 09VM0855, 09VM0857, 09EX0574, 09EX0577, 09EX0578) geprüft. Der Anbau erfolgte in vierfacher Wiederholung an Standorten in Mecklenburg-Vorpommern und Bayern. Angelegt wurden die Versuche in einer randomisierten Blockanlage mit einer Parzellengröße von 10,5 m<sup>2</sup>. Die klimatischen und edaphischen Merkmale der Standorte sind in *Tabelle 1* aufgeführt.

Die Erträge wurden in dt ha<sup>-1</sup> berechnet. Die Bestimmung des Rohproteingehaltes erfolgte mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIR) mit einem Corona 45VISNIR (Carl Zeiss Jena GmbH, Jena). Aus dem Rohproteingehalt und dem Ertrag wurde der Rohproteinertag (dt ha<sup>-1</sup>) berechnet. Die

<sup>1</sup> Saat-zucht Steinach GmbH & Co KG, Klockower Straße 11, D-17219 BOCKSEE

\* Ansprechpartner: Anne-Kathrin KLAMROTH, anne-kathrin.klamroth@saatzucht.de

Tabelle 1: Beschreibung der Versuchsstandorte

Table 1: Characteristics of experimental sites

State	Mecklenburg - Western Pomerania				Bavaria	
	Groß Lüsewitz	Gülzow	Groß Dratow	Bornhof	Steinach	Gründl
Land value number	47	29	30	20	55-80	65
Soil type <sup>1</sup>	IS	sL	sL	S	L, sL	sL
pH number	5.8	5.8	6.0	5.3	5.3-7.5	6.7
Long-term rainfall (mm)	688	559	558	558	897	822
Mean annual temperature (°C)	8.3	8.5	8.2	8.2	7.7	8.6

<sup>1</sup> IS, loamy sand; sL, sandy clay; S, sand; L, clay

statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS Statistics 15 (IBM Corp., Somers, NY).

## Ergebnisse

Der Ertrag der Blauen Lupine (Abbildung 1) über alle 6 Standorte schwankt im Mittel zwischen 10,89 und 40,26 dt ha<sup>-1</sup>. Es ist eindeutig zu erkennen, dass die Standortunterschiede im Ertrag wesentlich größer sind als die Genotyp-Ort-Interaktion (Tabelle 2).

Auf dem leichten Standorten Bornhof und Dratow sind Erträge mit 10,89 und 19,21 dt ha<sup>-1</sup> zu finden. Auf den besseren Standorten in Steinach, Gülzow Gründl und Groß Lüsewitz liegt der Ertrag mit 24,94 bis 40,26 dt ha<sup>-1</sup> deutlich höher, wobei die Ertragsentwicklung durch die höheren Niederschläge positiv beeinflusst wurde. Die in Mecklenburg-Vorpommern liegenden Standorte zeichnen sich durch leichte Böden und saure pH-Werte aus und sind für den Anbau der Blauen

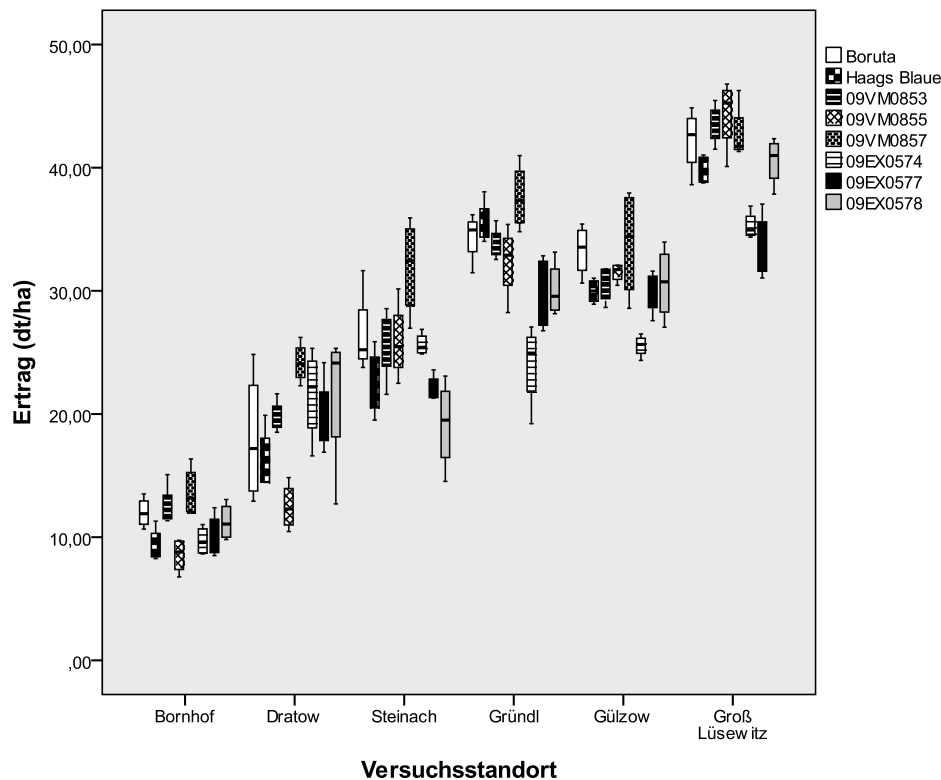


Abbildung 1: Variabilität der Blauen Lupine Genotypen im Kornertrag

Figure 1: Variability in grain yield of narrow-leaved lupine genotypes tested on six German locations

Tabelle 2: Varianzkomponenten für Kornertrag (dt ha<sup>-1</sup>), Rohproteingehalt (%) und Rohproteintrag (dt ha<sup>-1</sup>)Table 2: Variance components for grain yield (dt ha<sup>-1</sup>), crude protein content (%) and crude protein yield (dt ha<sup>-1</sup>)

Component	Grain yield	Crude protein content	Crude protein yield
Site	106.748	2.417	9.724
SiteXVariety	6.235	0.101	0.612
Error	6.685	0.812	0.660

Lupine besser geeignet als Standorte mit einem hohen pH-Wert. Über alle Standorte zeigt sich, dass der Stamm 09VM0857 im Vergleich zu den eingetragenen Sorten Boruta und Haags Blaue einen Mehrertrag im Mittel von 3 dt ha<sup>-1</sup> aufweist. Hingegen zeigt der Stamm 09EX0574 im Mittel einen Minderertrag von 3 dt ha<sup>-1</sup>. Im Weiteren wurden die Rohproteingehalte untersucht. Der Rohproteingehalt ist nicht von der Bodenqualität abhängig, sondern vielmehr von Temperatur und Abreifeverhalten. Die Spanne zwischen Gülzow mit 24,9% und Bornhof mit 34,7% kommt durch die Standort- und Jahresunterschiede zustande (Abbildung 2). Die mittleren Rohproteinträge (Abbildung 3) stellen ein Spiegelbild der Kornerträge dar. Unterschiede konnten bei den Korn- und Rohproteinträgen nicht gefunden werden. Die geringen Rohproteinträge in Bornhof und Dratow von 3,76 dt ha<sup>-1</sup> und 5,97 dt ha<sup>-1</sup> sind der geringen Wasserversorgung und Bodengüte geschuldet.

Von allen geprüften Sorten und Stämmen weist der Stamm 09VM0857, wie auch beim Ertrag, die besten Werte auf (Abbildung 2). Mit einem mittleren Rohproteingehalt von 31,06% liegt der Stamm 09EX0577 auf dem gleichen Niveau wie der vorherige Stamm (09VM0857). Haags Blaue und 09EX0574 weisen mit einem mittleren Rohproteingehalt von 29,77% bzw. 30,27% die geringsten Rohproteingehalte auf.

Die Varianzkomponentenschätzung ergab bei dem Rohproteingehalt ebenfalls, dass die Versuchsstandorte mit ihren unterschiedlichen Charakteristika einen höheren Einfluss als die Genotyp-Standort-Wechselwirkungen haben (Tabelle 2).

Der Stamm 09VM0857 zeigt auch bei den Rohproteinerträgen einen Mehrertrag (1-2 dt $ha^{-1}$ ) im Vergleich zu Haags Blaue und Boruta (Abbildung 3). Dieser Mehrertrag ist über alle Standorte gleichbleibend hoch und ausgeglichen. Einen höheren Ertrag als die Sorten weisen auch 09VM0853 und 09EX0578 auf. Daher ist mit Verbesserung des Zuchtmaterials zu rechnen. Des Weiteren zeigt sich eine erhebliche Schwankung des Rohproteinertrages zwischen 3,75 und 12,71 dt $ha^{-1}$  über die Orte. Daraus ist zu schließen, dass wie beim Ertrag, die Standortunterschiede einen größeren Einfluss besitzen, als die Sortenunterschiede. Die Varianzkomponentenschätzungen ergaben beim Rohproteinertrag die gleiche Tendenz wie zuvor. Die Standortunterschiede haben einen größeren Einfluss als die Sortenunterschiede (Tabelle 2).

## Diskussion

Alle untersuchten Sorten und Zuchtstämme des determinierten Wuchstypes zeigen einen höheren Standorteinfluss als Sorteneinfluss auf Ertrag, Rohproteingehalt und Rohproteinertrag, jedoch in unterschiedlichem Ausmaß. Bei Untersuchungen von Blauen Lupinen für den ökologischen Landbau wurde diese Tendenz ebenfalls bestätigt (JANSEN und KUHLMANN 2007). Während der Ertrag stärker von der Umwelt beeinflusst wird, reagiert der Rohproteingehalt weniger stark auf die Umwelt. Grund dafür kann die Abhängigkeit des Rohproteingehalts vom Abreifeverhalten und Temperatur sein.

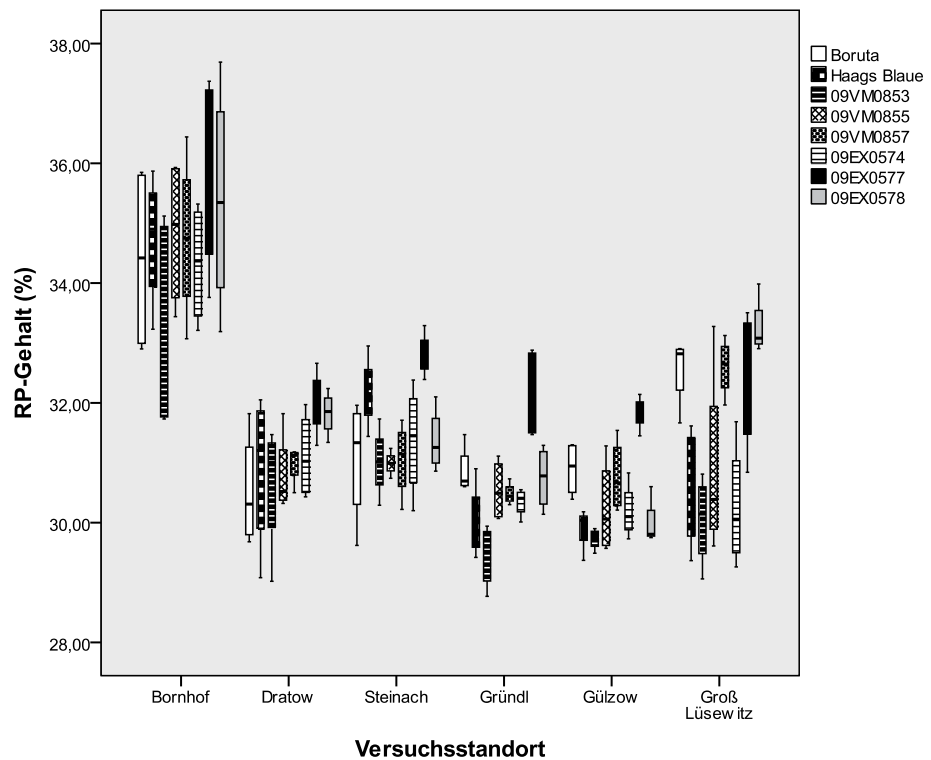


Abbildung 2: Variabilität der Blauen Lupine Genotypen im Rohproteingehalt  
Figure 2: Variability in crude protein content of narrow-leafed lupin genotypes tested on six German locations

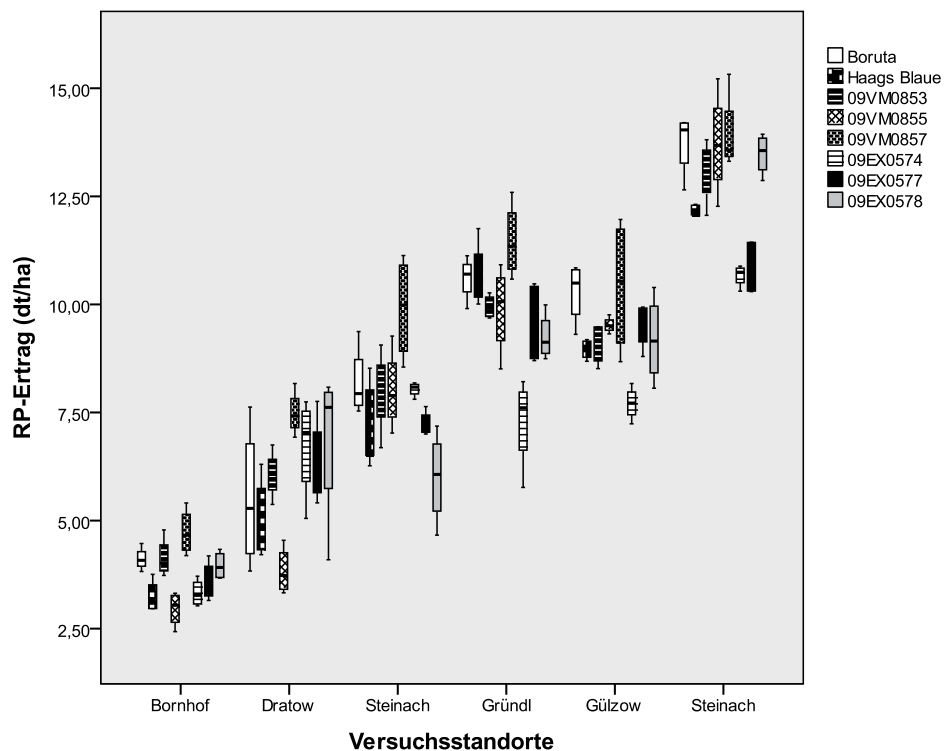


Abbildung 3: Variabilität der Blauen Lupine Genotypen im Rohproteinertrag  
Figure 3: Variability in crude protein yield of narrow-leafed lupin genotypes tested on six German locations

Der Standort Bornhof weist einen höheren Rohproteingehalt im Vergleich zu den anderen Standorten trotz schlechterer Bodenverhältnisse auf. Dieses könnte an der negativen Korrelation zwischen Ertrag und Rohproteingehalt liegen. Eine Überprüfung der Tausendkornmasse bestätigt dies, da am Standort Bornhof die Tausendkornmasse im Vergleich zu den anderen Standorten am geringsten war. Die wenigen Körner bzw. kleinen Körner bekommen durch die Source-Sink-Umlagerung daher mehr Stickstoff aus den Blättern und weisen somit einen höheren Rohproteingehalt auf. Auf den Standorten in Mecklenburg-Vorpommern und Bayern traten Unterschiede in den Ertragsparametern auf, welche den Bodenverhältnissen, insbesondere den pH-Wert geschuldet sein könnten. Im Forschungsvorhaben *Züchterische Bearbeitung von Süßlupinen für den ökologischen Landbau - Qualitätsuntersuchungen in Hinblick auf Futtereignung* (FZK03OE355) wurde ein geringer Rohproteingehalt auf den Standorten in Bayern im Vergleich zu den Standorten in Mecklenburg-Vorpommern festgestellt. Dies konnte nicht bestätigt werden. Die Rohproteingehalte auf den Standorten, außer Bornhof, waren vergleichbar bzw. annähernd gleich. Ebenfalls konnte nicht bestätigt werden, dass die Erträge auf den Standorten in Bayern geringer waren als in Mecklenburg Vorpommern. Dieses ist den unterschiedlichen pH-Werten geschuldet. In dem vorherigen Projekt wurde eine Versuchsfläche mit einem wesentlich höheren pH-Wert genutzt als in dem zuletzt geprüften Versuch. Es konnte festgestellt werden, dass mit zunehmender Bodenqualität der Ertrag und der Rohproteintrag stieg. Signifikante Unterschiede sind aber bei beiden Ertragsparametern über die Orte zu finden. Die höchsten Erträge sind im Mittel auf dem Standort Groß Lüsewitz mit circa 40 dt $ha^{-1}$  zu finden, die geringsten Erträge auf dem Standort Bornhof mit 10,89 dt $ha^{-1}$ . Über alle Orte lässt sich weiterhin feststellen, dass fortgeschrittenes Zuchtmaterial vergleichbar bzw. teilweise besser war als die aktuelle eingetragenen Sorten. Besonders der Stamm 09VM0857 weist in allen Parametern die besten Gehalte und Erträge auf.

## Zusammenfassung

Auf allen sechs Standorten in Mecklenburg-Vorpommern und Bayern wurden in 4-facher Wiederholung acht Lupinensorten und Zuchtmaterial hinsichtlich Ertrag, Rohproteingehalt, Tausendkornmasse und Rohproteintrag untersucht. Auf den verschiedenen Standorten wurden nicht nur Ertragsunterschiede sondern auch Unterschiede in den

Inhaltsstoffen festgestellt. Die Standortunterschiede in den einzelnen Parametern waren so hoch, dass im Vergleich dazu die Sortenunterschiede vernachlässigbar waren. Die aus den Standorten resultierenden Unterschiede zwischen Mecklenburg-Vorpommern und Bayern gehen wahrscheinlich auf die unterschiedlichen Bodenverhältnisse, insbesondere dem pH-Wert an den Standorten in Bayern und die geringe Niederschlagsmenge in Bornhof bzw. Dratow zurück. Die hohen Rohproteingehalte am Standort Bornhof gehen auf die geringe Tausendkornmasse zurück, da es sich hier um eine negative Korrelation zwischen Ertrag und Rohproteingehalt handelt. Die mittleren Erträge der neuen Zuchtstämme waren vergleichbar bzw. teilweise besser als die aktuellen Sorten. Der Stamm 09VM0857 zeigte über alle Orte einen höheren Ertrag, Rohproteingehalt und Rohproteintrag als das zugelassene Sortenmaterial.

## Danksagung

Die Arbeiten wurden durch das Forschungsvorhaben FZK03OE355 (Züchterische Bearbeitung von Süßlupinen für den ökologischen Landbau - Qualitätsuntersuchungen in Hinblick auf Futtereignung) finanziell unterstützt.

## Literatur

- BHARDWAJ HL, HAMAMA AA, MERRICK LC, 1998: Genotypic and environmental effects on lupin seed composition. *Plant Food Hum. Nutr.* 53, 1-13.
- FEILER U, NIRENBERG HI, 2004: Anthraknose an Lupine. Teil 2: Befallsverlauf, Erregerausbreitung und Überlebensfähigkeit verschiedener Sorten von *Lupinus albus*, *L. angustifolius* und *L. luteus* bei Infektion mit *Colletotrichum lupini* var. *setosum*. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 57, 273-280.
- FRICK C, MEDIAVILLA V, HEBEISEN T, 2002: Lupinen - eine alternative Eiweißkultur. *Agrar Forschung* 9, 80-83.
- JANSEN G, KUHLMANN J, 2007: Proteinuntersuchungen in Einzelsamen zur züchterischen Erhöhung des Eiweißgehaltes. In: Zikeli S, Claupein W, Dabbert S, Kaufmann B, Müller T, Valle Zárate A (Hrsg.), *Zwischen Tradition und Globalisierung, Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, 20.-23. März, Universität Hohenheim, pp. 263-266. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- RÖMER P, 2007: Lupinen - Verwertung und Anbau. 5. Aufl., Gesellschaft zur Förderung der Lupine e.V., Rastatt. [Available online: [http://www.lupinenverein.de/Informationen/5\\_Auflage-1.pdf](http://www.lupinenverein.de/Informationen/5_Auflage-1.pdf); accessed 17 Jan 2011]
- VON SENGBUSCH R, 1939: *Theorie und Praxis der Pflanzenzüchtung*, Societäts-Verlag, Frankfurt/M.

# Blattrandkäferbefall an Lupinen - Ertragsbeeinflussung und Wirtspräferenzen der Lupinenblattrandkäfer *Sitona gressorius* und *S. griseus*

## Lupin weevils - Influence on yield and host preference of *Sitona gressorius* and *S. griseus*

Kathleen Kaufmann<sup>1\*</sup>, Kathrin Ströcker<sup>2</sup>, Shirley Wendt<sup>3</sup>, Dennis Bellmann<sup>3</sup>,  
Christine Struck<sup>2</sup>, Wolfgang Kirchner<sup>2</sup> and Bernd Schachler<sup>1</sup>

### Abstract

The leaf weevils *Sitona gressorius* and *S. griseus* are specific herbivores on lupins (*Lupinus L.*). The adult weevils feed on the leaves, the larvae on the roots of the plant. Loss of biomass and subsequent pathogen infections of injured tissues cause severe damage in lupin cultures. More exact knowledge on the relevance of weevil infestation and the host selection process of the weevils can help to develop cultivars with lesser attractiveness for weevils. In the present study field experiments showed that grain yield is strongly reduced by weevil infestation compared to insecticide treated plots. A total of 126 lupin genotypes were examined on the feeding damage by *Sitona gressorius* and *S. griseus*. Differences in infestation between *Lupinus* species and between genotypes within species could be observed. Generally, varieties of *Lupinus angustifolius* were more affected than *L. luteus* and *L. albus*, bitter genotypes were equally or more affected than non-bitter ones.

### Keywords

Host preference, leaf weevils, *Lupinus*, yield

### Einleitung

Die Blattrandkäfer *Sitona gressorius* F. und *S. griseus* F. (Coleoptera: Curculionidae) sind spezifische Schädlinge der Lupine (Gattung *Lupinus*). Die adulten Käfer fressen an den Blättern, die Larven an den Wurzeln der Pflanzen (ANDERSEN 1936). Negative Auswirkungen auf die Pflanze sind nicht nur durch den Verlust an Blatt- und Wurzelmasse zu erwarten, sondern auch durch den sekundär auftretenden Befall mit bodenbürtigen Schadpilzen (*Pythium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Thielaviopsis*, *Sclerotinia*) (KAUFMANN et al. 2009), für die die Fraßstellen der Käferlarven an der Wurzel Eintrittspforten darstellen. Im konventionellen Lupinenanbau ist der Einsatz von Insektiziden stark eingeschränkt, im Ökolandbau besteht diese Möglichkeit nicht. Bei der Entwicklung neuer Lupinensorten für die landwirtschaftliche Nutzung sollte daher auch eine verringerte Attraktivität

gegenüber Lupinenblattrandkäfern im Focus stehen. In einem Forschungsprojekt sollen mit freilandökologischen, verhaltensbiologischen und biochemischen Methoden nun erstmals Erkenntnisse über das Ausmaß des Käferbefalls an zahlreichen Lupinengenotypen sowie den Einfluss auf den Ertrag gewonnen werden. Zusätzlich finden Laboruntersuchungen zum Wirtswahlverhalten der Tiere und zu den möglicherweise für die Attraktivität der Wirtspflanze relevanten Inhaltsstoffen (z.B. Lupinenalkaloide) statt. Im Zentrum der Untersuchungen steht die Blaue Lupine (*Lupinus angustifolius L.*), jedoch werden auch weitere Lupinenarten berücksichtigt. Hier sollen Ergebnisse zu Feldversuchen zur Ertragsrelevanz sowie zum Käferbefall an verschiedenen Genotypen vorgestellt werden.

### Material und Methoden

#### Ertragsversuch

Um den Einfluss des Insektenbefalls auf den Ertrag von *L. angustifolius* zu untersuchen wurden in den Jahren 2009 und 2010 Freilandversuche mit 30 bzw. 29 Sorten und Wildtypakzessionen der Blauen Lupine angelegt. Der Versuch wurde in 2 Varianten zu je 4 Wiederholungen (WH) durchgeführt, wobei jeweils eine Variante durch Insektizid-beizung und -spritzung (Beizung: Smaragd® forte (Bayer) 150 ml.dt<sup>-1</sup>; wöchentliche Insektizidapplikationen bis BBCH 50: Karate® Zeon (Syngenta) 0,75 l.ha<sup>-1</sup>) befallsfrei gehalten wurde, während die andere Variante unbehandelt blieb. Nach der Ernte wurden die Erträge der einzelnen Genotypen erfasst.

#### Screening auf Blattrandkäferbefall

In den Jahren 2008 bis 2010 wurden insgesamt 113 verschiedene Genotypen von *L. angustifolius*, 10 Genotypen von *L. luteus L.* sowie je ein Genotyp von *L. albus L.*, *L. mutabilis Sweet* und *L. paniculatus Desr.* auf den Befall von *S. gressorius* und *S. griseus* untersucht. Hierzu wurden Feldversuche in zweifacher (2008, 2009) bzw. vierfacher (2010) Wiederholung angelegt. Die Gesamtzahl an ge-

<sup>1</sup> Saatwucht Steinach GmbH & Co KG, Klockower Straße 11, D-17219 BOCKSEE

<sup>2</sup> Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Phytomedizin, D-18051 ROSTOCK

<sup>3</sup> Universität Bochum, Fakultät für Biologie und Biotechnologie, D-44780 BOCHUM

\* Ansprechpartner: Kathleen KAUFMANN, kaufmann.kathleen@saatwucht.de



**Tabelle 1: Boniturschema und Fraßindex**  
**Table 1: Scoring scheme and feeding index**

An allen Blättern ( <i>on all leaves</i> )	An der gesamten Wurzel ( <i>on whole plant roots</i> )
0 kein Blattfraß ( <i>no leaf damage</i> )	0 kein Wurzelfraß ( <i>no root damage</i> )
1 leichter Blattfraß (1-3 Fraßstellen) ( <i>low damage, 1-3 feeding marks</i> )	1 rund 25% der Knöllchen beschädigt ( <i>approx. 25% damaged nodules</i> )
2 mittlerer Blattfraß (4-7 Fraßstellen) ( <i>intermediate damage, 4-7 feeding marks</i> )	2 rund 50% der Knöllchen beschädigt ( <i>approx. 50% damaged nodules</i> )
3 mittelstarker Blattfraß (8-12 Fraßstellen) ( <i>medium strong damage, 8-12 feeding marks</i> )	3 rund 75% der Knöllchen beschädigt ( <i>approx. 75% damaged nodules</i> )
4 starker Blattfraß (>12 Fraßstellen) ( <i>heavy damage, &gt;12 feeding marks</i> )	4 rund 100% der Knöllchen beschädigt ( <i>approx. 100% damaged nodules</i> )

BFI bzw. WFI =  $(n_0 + n_1 \times 1 + n_2 \times 2 + n_3 \times 3 + n_4 \times 4) \times 100 / (N \times 4)$

$n_0, n_1, n_2, n_3, n_4$  = Anzahl der Pflanzen in den jeweiligen Befallsklassen 0 bis 4 (*number of plants in the respective damage class*); N = Gesamtzahl der untersuchten Pflanzen (*total number of investigated plants*)

prüften Genotypen betrug 2008 110 und 2009 120. Im Jahr 2010 wurde die Zahl auf 29 in den Vorjahren im Käferbefall auffällige Genotypen reduziert. In allen Versuchsjahren wurden im Zeitraum von Ende April bis Anfang Juni an vier (2008 drei) Zeitpunkten Bonituren auf Fraßschäden durch Blattrandkäfer und ihre Larven durchgeführt. Pro Termin und Wiederholung wurden 5 Pflanzen aus dem Feldversuch entnommen und der Fraßschaden an Blättern und Wurzel erfasst. Hierzu wurde ein fünfstufiger Boniturschlüssel verwendet, anschließend wurde aus den Boniturnoten ein Blattfraßindex (BFI) bzw. Wurzelfraßindex (WFI) für die einzelnen Genotypen berechnet (abgewandelt nach FEILER 1998; Boniturschlüssel und Indexberechnung siehe *Tabelle 1*). Bei einem Index von 0 liegt keine Schädigung vor, ein Index von 100 indiziert eine sehr starke Schädigung.

### Statistische Auswertung

Die Versuche wurden mit dem Statistikprogramm Plabstat Version 2009.1 (UTZ 2009) verrechnet. Die Ergebnisse der

**Tabelle 2: Durchschnittlicher Ertrag (dt.ha<sup>-1</sup>) und Standardabweichung von Blauen Lupinen in Abhängigkeit von Jahr und Insektizidbehandlung**

**Table 2: Mean yield (dt.ha<sup>-1</sup>) and standard deviation of blue lupin according to year and treatment**

Variante ( <i>Treatment</i> )	2009	2010
Unbehandelt ( <i>Control</i> )	27.6 ± 5,5	6,6 ± 1,5
Behandelt ( <i>Insecticide</i> )	34.9 ± 6,9	13,6 ± 2,9
LSD <sub>0,05</sub>	1,6	0,8

**Tabelle 3: Mittlerer Blatt- und Wurzelbefallsindex in Abhängigkeit von Spezies und Jahr. Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (LSD 5%)**

**Table 3: Mean weevil infestation according to species, year and organ damage (BFI, leaf damage index; WFI, root damage index; number below index indicates calendar week of evaluation). Values with similar letter are not significantly different (LSD 5%)**

Jahr	2008		2009		2010	
	BFI	WFI	BFI	WFI	BFI	WFI
Kalenderwoche	19	21	18	20	20	22
<i>L. angustifolius</i>	28.5±8.4 a	47.3±15.4 a	33.2±9.2 a	38.0±12.7 a	30.7±7.0 a	34.9±9.2 a
<i>L. luteus</i>	13.8±11.8 b	21.3±11.1 b	20.8±4.8 ab	7.8±7.1 b	3.8±5.3 b	0.0 b
<i>L. albus</i>	-	-	12.5 b	25.0 ab	-	-
<i>L. mutabilis</i>	-	-	-	-	71.3 c	23.8 ab
<i>L. paniculatus</i>	-	-	-	-	45 a	0.0 b

Ertrags- und Screeningversuche wurde durch Varianzanalysen (ANOVA) und post-hoc-Test (Fisher's LSD,  $\alpha=0.05$ ) bzw. mit dem Pearson Rangkorrelationstest geprüft.

## Ergebnisse

### Ertragsversuch

In beiden Versuchsjahren konnte in der insektizidbehandelten Variante bei allen untersuchten Genotypen ein Mehrertrag gegenüber der unbehandelten Variante erzielt werden (*Abbildung 1*). Bei 23 (2009) bzw. 12 (2010) Genotypen bestehen signifikante Unterschiede in den Erträgen der beiden Varianten. Im Jahr 2009 betrug der durchschnittliche Mehrertrag über alle Genotypen 7,3 dt.ha<sup>-1</sup> bzw. 26,4%, im Jahr 2010 5,0 dt.ha<sup>-1</sup> bzw. 58,1% (*Tabelle 2*). Insgesamt lag das Ertragsniveau im Jahr 2010 unter dem von 2009.

### Screening auf Blattrandkäferbefall

Zur Auswertung wurden in allen drei Jahren Untersuchungszeitpunkte ausgewählt an denen die Pflanzen einen vergleichbaren Entwicklungsstand hatten (*Tabelle 3*). In allen drei Versuchsjahren waren die geprüften Genotypen der Blauen Lupine an Blättern und Wurzeln durch Blattrandkäfer deutlich geschädigt. Mit Ausnahme des Blattfraßes im Jahr 2009 waren Genotypen der Gelben Lupine (*L. luteus*) stets signifikant weniger betroffen. Die im Jahr 2009 geprüfte Sorte von *L. albus* zeigte ebenfalls signifikant geringeren Fraßschaden. *L. paniculatus* und *L. mutabilis* (Versuchsjahr 2010) wiesen hohe Fraßschäden am Blatt und keine bis

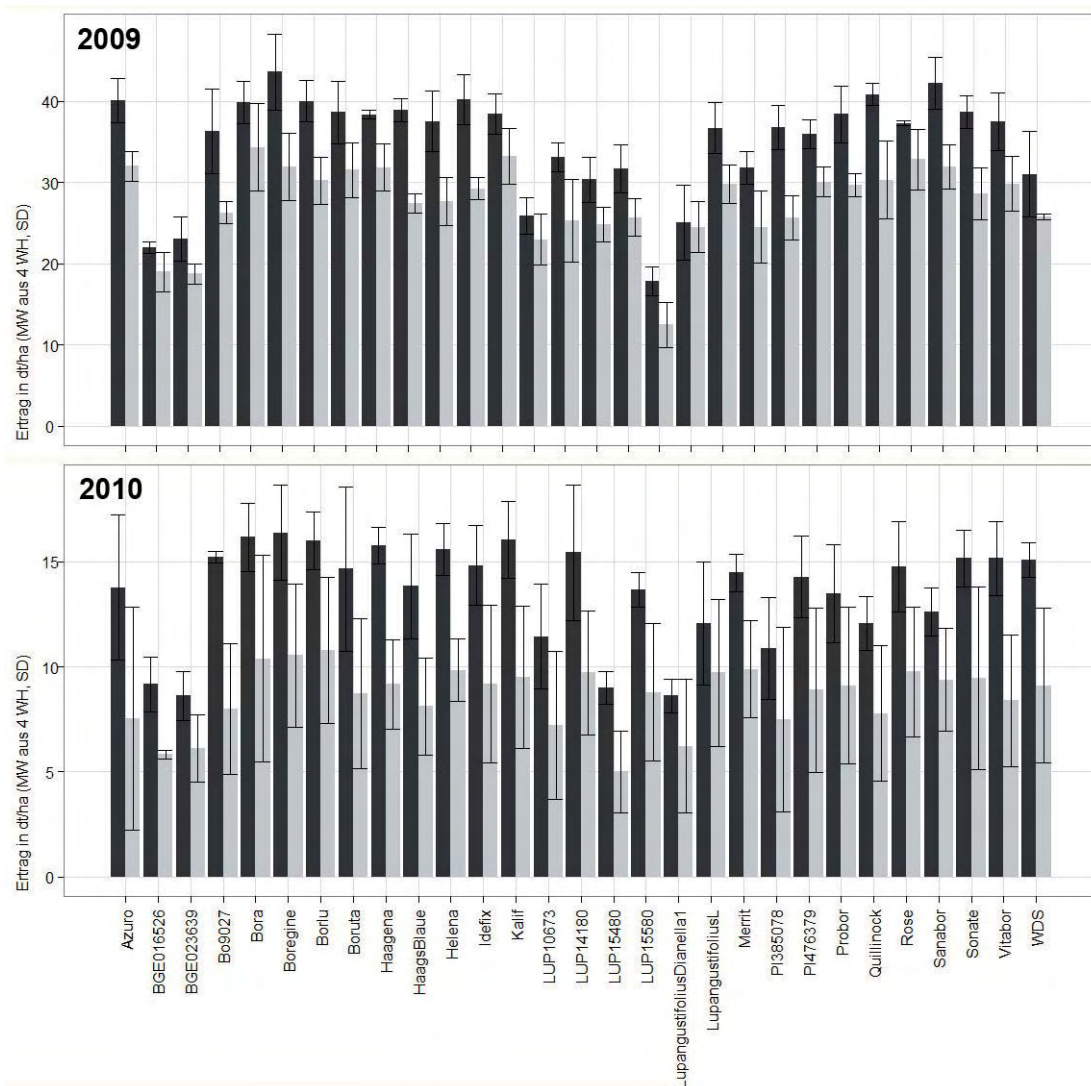


Abbildung 1: Ertrag verschiedener Genotypen von Blauer Lupine in der unbehandelten Kontrolle (grau) und bei Insektizidbehandlung (schwarz)

Figure 1: Yield ( $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) of different genotypes of blue lupin in the control treatment (grey bars) and in the insecticide treatment (black bars)

mittlere Schäden an der Wurzel auf. Es ist ein schwacher bis mittlerer positiver Zusammenhang zwischen der Höhe von Blatt- und Wurzelfraß erkennbar ( $R^2=0.50$  (2008),  $0.26$  (2009),  $0.40$  (2010), Pearsons Rangkorrelationstest). Einzelne Genotypen von *L. angustifolius* fallen in allen Jahren durch eher hohe bzw. Schäden auf (Abbildung 2). Dies sind die Sorten Azuro, Bo9027 und Vitabor (hoher Schaden) bzw. Merrit (niedriger Schaden).

## Diskussion

Die Ertragsversuche der Jahre 2009 und 2010 zeigen einen deutlichen negativen Einfluss des Käferbefalls auf den Kornertrag bei Blauen Lupinen. Durch die Insektizidbehandlung konnte eine Ertragssteigerung von  $26,5$  (2009) bzw.  $58,1\%$  (2010) erzielt werden. Die hier angewendete Insektenbekämpfung ist in der Praxis nicht durchführbar, da in Lupinen maximal eine Insektizidapplikation und keine Beizung zugelassen ist.

Der Vergleich verschiedener Lupinen zeigt eine deutliche Präferenz der Blattrandkäfer für Genotypen der Blauen Lupine. Dort waren die Fraßschäden an Blatt und Wurzel in allen Versuchsjahren höher als an *L. luteus* und an *L. albus*. Innerhalb der Art *L. angustifolius* sind große Unterschiede im Käferbefall zu sehen. So finden sich dort Genotypen mit Fraßindices von 20 genauso wie mit Indices von 80 und mehr. Innerhalb der genetischen Variabilität der Blauen Lupine besteht demnach durchaus Potenzial für die Züchtung von Sorten mit verringerter Attraktivität für Blattrandkäfer. Zudem müssen die Ursachen für eine geringere bzw. höhere Attraktivität einzelner Sorten untersucht werden. Weitere Arbeiten im Rahmen des Projekts konnten zeigen, dass bei der Orientierung der Blattrandkäfer zur Wirtspflanze olfaktorische Reize von großer Bedeutung sind (WENDT 2010). Im verhaltensbiologischen Laborversuch (Olfaktometer) zeigten Käfer von *S. gressorius* eine deutliche Präferenz für die Sorten Azuro, Bo9027 und Vitabor (*L. angustifolius*) gegenüber Sorten von *L. albus* und *L. luteus*.

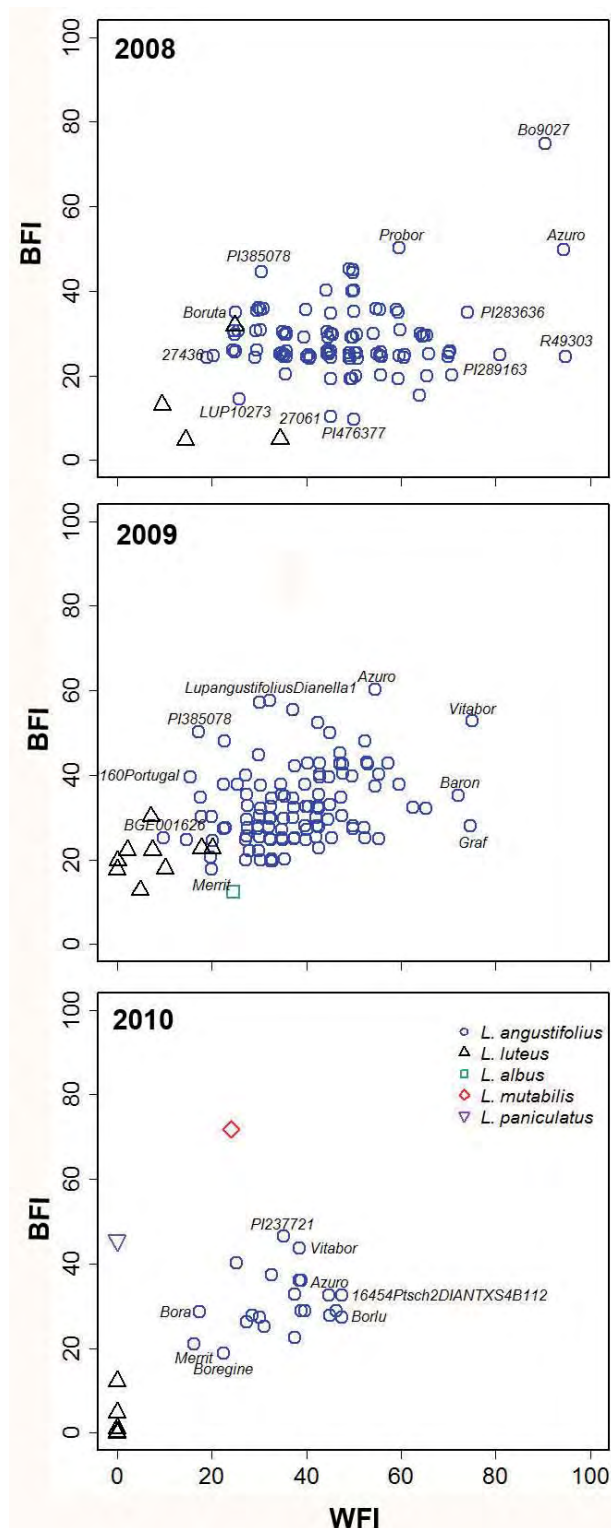


Abbildung 2: Käferbefall (BFI, Blattfraßindex; WFI, Wurzelfraßindex) an verschiedenen Lupinengenotypen und -arten in den Jahren 2008 bis 2010

Figure 2: Leaf damage index (BFI) and root damage index (WFI) resulting from weevil infestation of different lupin genotypes and species in the years 2008 to 2010

Viele Herbivore meiden Lupinen mit hohem Gehalt an Alkaloiden („Bitterlupinen“, im Gegensatz zu „Süßlupinen“ mit geringem Alkaloidgehalt) aufgrund ihrer toxischen Wirkung (WINK 1992). Bei spezialisierten herbivoren Insekten haben sich jedoch häufig Toleranzen gegenüber den Toxinen der Wirtspflanze entwickelt, so bei der Lupinenblattlaus *Macrosiphum albifrons* Essig, die Lupinenalkaloide nicht nur toleriert, sondern auch in großer Menge in ihrem Körper einlagert und eine Präferenz für alkaloidreiche Pflanzen zeigt (WINK und WITTE 1991). Von den im Freilandversuch besonders stark vom Lupinenblattrandläufer geschädigten *L. angustifolius*-Genotypen werden die Sorten Azuro und Bo9027 aufgrund eines hoher Alkaloidgehalts im Korn als bitter eingestuft. Laboranalysen (GC/MS) haben gezeigt, dass bei der Bitterlupine Azuro auch im Blatt ein hoher Alkaloidgehalt vorliegt, während Süßlupinen im Blatt nur geringe Mengen Alkaloide aufweisen (STRÖCKER, unveröffentlicht). Alkaloidreiche Lupinengenotypen werden demnach von den Lupinenblattrandkäferarten *S. gressorius* und *S. griseus* nicht gemieden, die Bitterlupinen Azuro und Bo9027 scheinen eher bevorzugt zu werden. Weitergehende Untersuchungen müssen sich nun mit der Rolle der volatiler Pflanzenstoffe befassen, die bei der Wirtswahl von entscheidender Bedeutung sind.

## Danksagung

Wir danken dem deutschen Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz für die Förderung des Forschungsprojekts.

## Literatur

- ANDERSEN KT, 1936: Die Blattrandkäfer *Sitona griseus* F. und *Sitona gressorius* F. als Lupinenschädlinge. Anzeiger für Schädlingskunde 13, 81-84.
- FEILER U, 1998: Auftreten und pathologische Bedeutung wurzel- und stängelbesiedelnder Pilze bei *Lupinus luteus* unter verschiedenen Standortbedingungen. Verlag für Wissenschaft und Forschung, Berlin.
- KAUFMANN K, SCHACHLER B, THALMANN R, STRUCK C, 2009: Pilzkrankheiten und Schädlinge bei Süßlupinenarten. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP), Berlin.
- WENDT S, 2010: Verhaltensbiologische und rasterelektronenmikroskopische Studien zur olfaktorischen und gustatorischen Wahrnehmung des Lupinenblattrandkäfers *Sitona gressorius*. Diplomarbeit, Fakultät für Biologie und Biotechnologie, Ruhr-Universität Bochum.
- WINK M, 1992: Die chemische Verteidigung der Pflanzen und die Anpassungen der Pflanzenfresser. In: Wink M (Hrsg.), Lupinen 1991- Forschung, Anbau und Verwertung, 130-156. Universität Heidelberg.
- WINK M, WITTE L, 1991: Storage of quinolizidine alkaloids in *Macrosiphum albifrons* and *Aphis genistae* (Homoptera: Aphididae). Entomologia Generalis 15, 237-254.
- UTZ HF, 2009: Plabstat, ein Computerprogramm zur statistischen Analyse von pflanzenzüchterischen Experimenten. Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik, Universität Hohenheim, Stuttgart.

# Qualität und Ertrag bei Winterraps

## Quality and yield in winter oilseed rape

Martin Frauen<sup>1\*</sup>

### Abstract

Fixing the double low quality is a must criterion in winter oilseed rape breeding. Within this quality platform selection is focussed primarily on seed yield and oil content and additionally on further reduction of glucosinolate content and protein improvement. The quality analysis within the current germplasm of DH-lines and F<sub>1</sub>-hybrids reveals no significant correlation between oil content and seed yield resp. glucosinolate content and yield. Nevertheless the selection for high oil content is reducing the protein content in the seed as well as in the defatted meal. It is recommended to take care for the protein content as an additional quality character.

### Keywords

*Brassica napus*, glucosinolate, oil content, quality, rape seed, yield

### Einleitung

Nur durch die konsequente Qualitätszüchtung konnte Winterraps die Anbauausdehnung in Europa auf heute ca. 8 Mio ha (2010/11: EU27: 6,2 Mio ha; GUS: 1,8 Mio ha) erreichen. Die Doppelnull-Qualität (00) ist definiert zum einen durch Erucasäurefreiheit im Rapsöl, codiert von zwei rezessiven Genen und zum anderen durch Glucosinolatarmut (GSL) im Rapsschrot ( $\leq 18 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  Saat), codiert von mindestens drei rezessiven Genen. Nur innerhalb dieser 00-Qualität erfolgt die Ertragsselektion, wobei auch Anbau- und Resistenz-Eigenschaften zu berücksichtigen sind, was im Folgenden ausgeblendet bleibt. Die einzelnen Qualitätsziele sind in *Tabelle 1* dargestellt. Neben der gängigen 00-Qualität sind zwei weitere Qualitätsgruppen als Spezialitäten ausge-

wiesen, zum einen der HOLL-Typ mit hoch Ölsäure- und niedrig Linolensäure (*High Oleic Low Linolenic*) im Samenöl und zum anderen der traditionelle Eruca-Typ mit hohem Erucasäuregehalt. Diese beiden Sonderqualitäten werden in Europa nur in Nischenmärkten angebaut und sollen im Folgenden nicht weiter betrachtet werden.

Deutlich stärker qualitätsorientiert ist der Markt in Kanada, hier gelten für den Sommerraps wesentlich schärfere Qualitätsanforderungen. Für die dortige 00-Qualität, Canola genannt, werden niedrigere Glucosinolatgehalte von  $< 12 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  Saat gefordert, für den Proteingehalt im Schrot ist ein Mindestwert festgelegt und für den Gehalt an gesättigten Fettsäuren gilt ein Höchstwert.

### Zuchtfortschritt

Ein historischer Rückblick zeigt, dass vor ca. 25 Jahren zu Beginn der 00-Qualitätszüchtung ein erheblicher Leistungsunterschied festzustellen war zwischen einer Selektionsrichtung Qualität und einer (experimentellen) Selektionsrichtung Ertrag. Ein Vergleich dieser beider Selektionsrichtungen zeigte im Mittel von drei geprüften F<sub>2</sub>-Populationen einen Ertragsvorteil bei den geprüften F<sub>4</sub>-Linien von 8,1% für die konsequente Ertragsselektion (SAUERMAN 1988). Trotz dieses anfänglichen *yield drag* konnte die qualitätsorientierte Rapszüchtung eine erhebliche Leistungssteigerung im Kornertrag und im Ölgehalt erreichen (*Abbildung 1*), und gleichzeitig eine effizientere Stickstoffausnutzung, basierend auf den N-Düngungsdaten des Bundessortenamtes.

Die Glucosinolatgehalte der deutschen Rapsernte sind im Mittel zufriedenstellend, allerdings zeigen einige Ausreißerpartien erhöhte Glucosinolatgehalte (SCHUMANN 2003). In *Abbildung 2* sind beispielhaft die Glucosinolatgehalte

*Tabelle 1: Bewertung der Zuchtziele in Raps bzw. Canola*

*Table 1: Definition and importance of quality traits in oilseed rape and/or canola breeding*

Merkmal	Gewichtung	Definition, Verwendung
Erucasäure $< 0,2\%$	++++	Rapsöl, 00-Qualität
Glucosinolate $< 18 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$	++++	Rapsschrot, 00-Qualität in Europa
Glucosinolate $< 12 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$	++	Rapsschrot, Canola-Qualität in Kanada
Ölgehalt %	+++	Rapsöl
Fettsäure-Spezialität 1	++	HOLL $> 75\%$ Ölsäure, $< 3\%$ Linolensäure (hitzestabiles Speiseöl)
Fettsäure-Spezialität 2	+	HEAR $> 50\%$ Erucasäure (Oleochemie)
Gesättigte Fettsäuren $< 7\%$	(+)	Rapsöl, Canola-Qualität in Kanada
Proteingehalt im Schrot %	+	Rapsschrot, Canola-Qualität in Kanada (Mindestwert)
Gelbsamigkeit	(+)	Reduzierter Rohfasergehalt für Rapsschrot

<sup>1</sup> Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG, Hohenlieth, D-24363 HOLTSEE

\* Ansprechpartner: Martin FRAUEN, m.frauen@npz.de

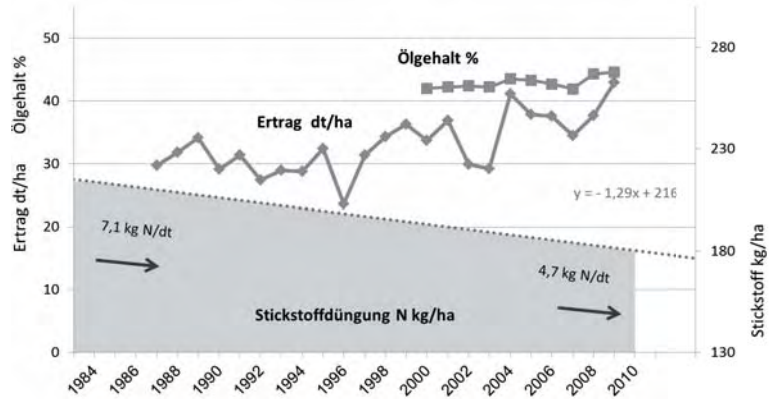
von Rapsextraktionsschroten aus 3 Erntejahren aufgeführt, wobei anzumerken ist, dass während des Ölmühlenprozesses ein partieller Abbau der Glucosinolate durch eine thermische Nachbehandlung erfolgt.

**Züchtung**

Heute wird in der Winterrapszüchtung nahezu ausschließlich innerhalb der bestehenden 00-Qualität gekreuzt und selektiert, so dass zwar weiterhin die genetisch fixierte Sicherstellung von Erucasäurefreiheit und von Glucosinolatarmut erfolgen muss, aber der Anteil der zu verwendenden Nachkommenschaften ist vergleichsweise gering im Vergleich zum Beginn der Qualitätszüchtung. Daher wird in den aktuellen Rapszüchtungsprogrammen wesentlich konsequenter auf die wirtschaftlich bedeutende Kenngröße Ölgehalt bzw. Marktleistung selektiert. Der Ölgehalt wird bei der Vergütung des Konsumrapses nach folgender Formel berücksichtigt: (Ölgehalt - Standardölgehalt 40%) x 1,5 x Marktpreis (€<sup>-1</sup>) (FUNK und MOHR 2010). Auf Basis dieser Ölmühlenkonditionen erhält jede Rapspartie einen Zuschlag für einen Ölgehalt >40%, was in aller Regel der Fall ist. Das Zuchtziel bei Raps lautet somit Marktleistung pro Hektar und nicht Kornertrag pro Hektar.

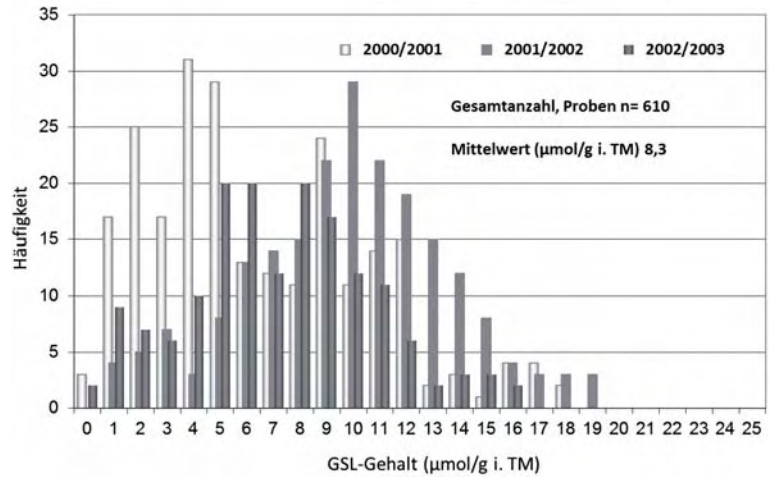
Nachfolgend werden die Zusammenhänge im aktuellen Zuchtmaterial zwischen Kornertrag, Ölgehalt und Glucosinolatgehalt am Beispiel der Restorerlinien- und Hybridsorten-Entwicklung über die DH-Technik dargestellt. *Abbildung 3* zeigt einen nicht signifikanten Zusammenhang von Ölgehalt und Glucosinolatgehalt von visuell vorselektierten DH-Linien der A1-Generation, den scharfen Selektionsprozess auf niedrige Glucosinolatgehalte <18 µmol und den vergleichsweise milden Selektionsprozess auf höhere Ölgehalte. *Abbildung 4* zeigt die stark negative Beziehung (R<sup>2</sup>=0,51) zwischen Öl- und Proteingehalt im Samen bei diesem Material. Relevanter ist allerdings der relativ schwache Zusammenhang (R<sup>2</sup>=0,14) von Öl- und Proteingehalt im Schrot (*Abbildung 5*).

Die Zusammenhänge von Ertrag und Qualität der DH-Linien der A2-Generation sind in *Abbildung 6* und *Abbildung 7* dargestellt, für beide Merkmale Glucosinolatgehalt bzw. Ölgehalt zeigen sich keine signifikanten Korrelationen zum Kornertrag. Testhybriden, erstellt auf Basis von MSL-Mutterlinien (Männliche Sterilität Lembke, FRAUEN et al. 2003), weisen keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Glucosinolatgehalt bzw. Ölgehalt und der Ertragsleistung auf (*Abbildungen 8* und *9*). Auch die Rohdaten des ersten Wertprüfungsjahres des Bundessortenamtes lassen keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Glucosinolatgehalt bzw. Ölgehalt und Kornertrag erkennen (*Abbildungen 10* und *11*).



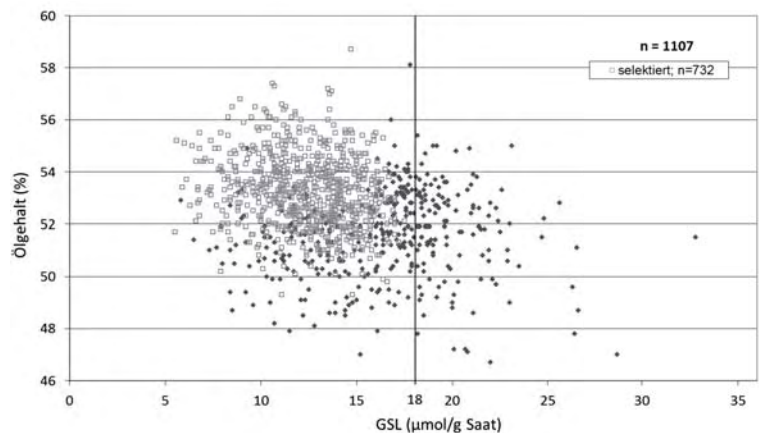
*Abbildung 1: Leistungssteigerung von Kornertrag, Ölgehalt und N-Effizienz bei Winterraps, Deutschland 1987-2009 (Quelle: Statistisches Bundesamt (Ertrag), LSV (Ölgehalt), BSA (N-Düngung))*

*Figure 1: Improvement of seed yield, oil content and N efficiency in winter oilseed rape, Germany 1987-2009 (Source: Statistisches Bundesamt (seed yield), LSV (oil content), BSA (N efficiency))*



*Abbildung 2: Glucosinolatgehalt (GSL) von Rapsextraktionsschrot aus Ölmühlen in Deutschland, 2001-2003 (SCHUMANN 2003)*

*Figure 2: Glucosinolate content (GSL) of rapeseed expeller meal of oil crushing mills in Germany, 2001-2003 (SCHUMANN 2003)*



*Abbildung 3: Öl- und Glucosinolatgehalt (GSL) von DH-Linien, Ernte 2010, 1 Ort*

*Figure 3: Oil and glucosinolate content (GSL) of double-haploid lines, harvest 2010, 1 location*

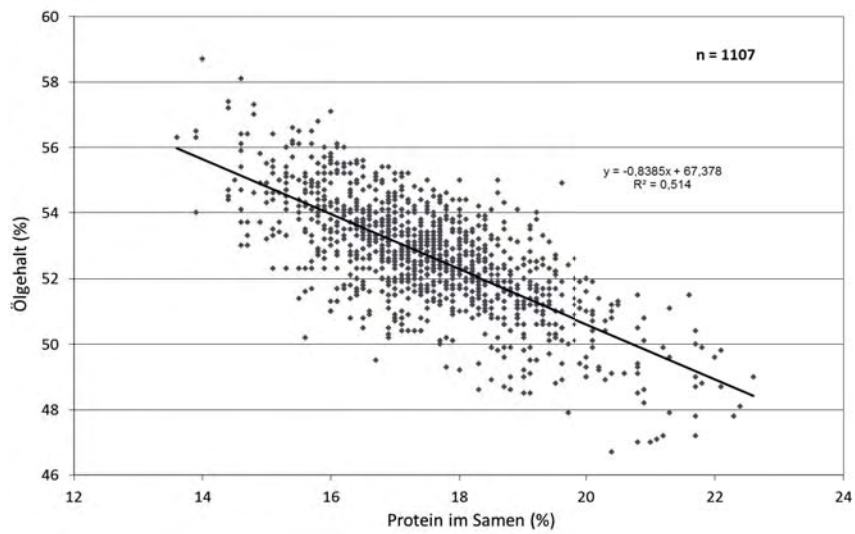


Abbildung 4: Öl- und Proteingehalt im Samen von DH-Linien, Ernte 2010, 1 Ort

Figure 4: Oil and protein content of double-haploid lines, harvest 2010, 1 location

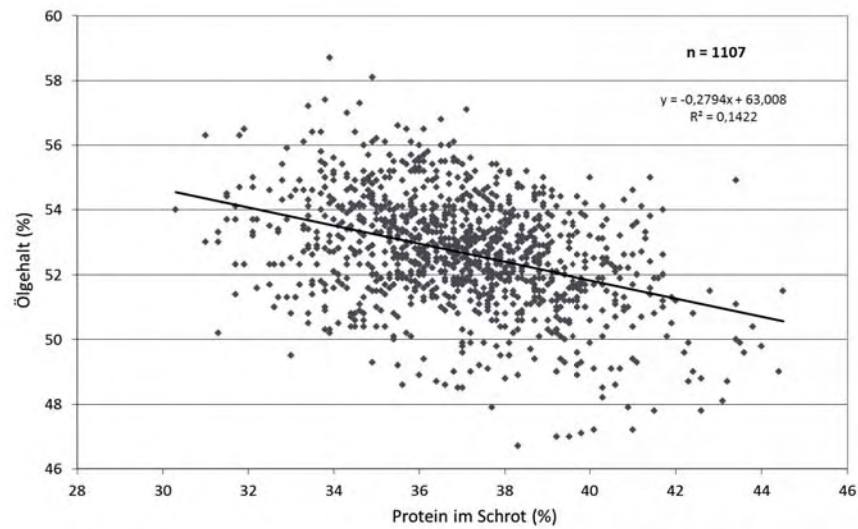


Abbildung 5: Öl- und Proteingehalt im Schrot von DH-Linien, Ernte 2010, 1 Ort

Figure 5: Oil and protein content in the defatted meal of double-haploid lines, harvest 2010, 1 location

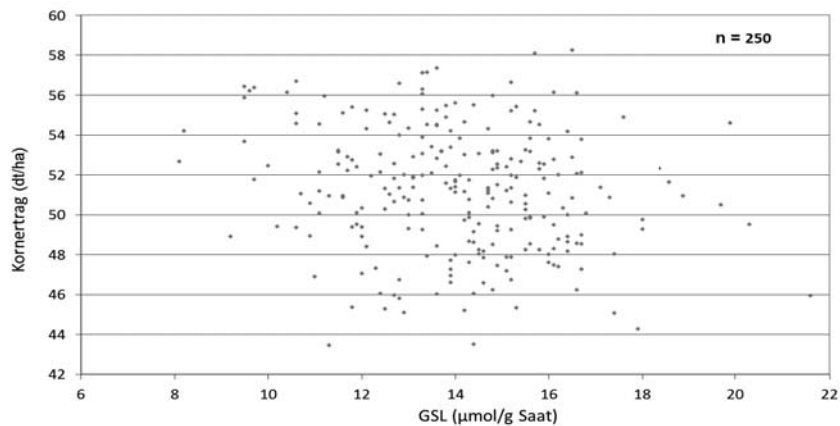


Abbildung 6: Kornertrag und GSL-Gehalt von DH-Linien aus Leistungsprüfung, Ernte 2010, 3 Orte

Figure 6: Seed yield and glucosinolate content of double-haploid lines in yield trial, harvest 2010, 3 locations

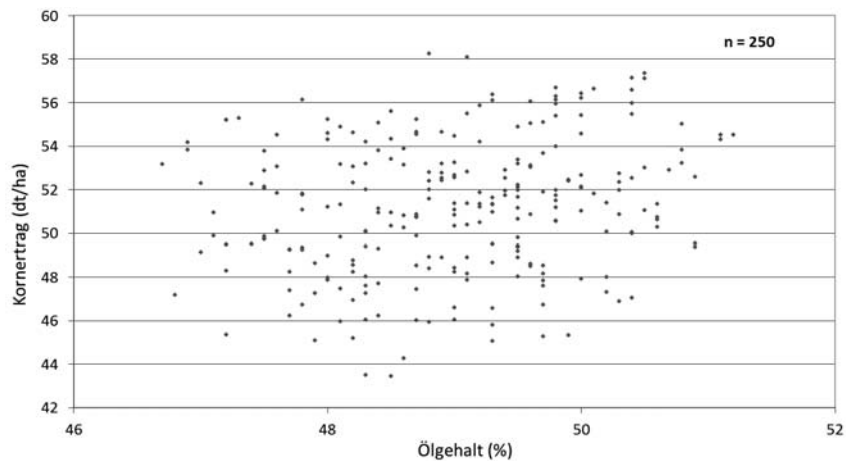


Abbildung 7: Kornertrag und Ölgehalt von DH-Linien aus Leistungsprüfung, Ernte 2010, 3 Orte

Figure 7: Seed yield and oil content of double-haploid lines in yield trial, harvest 2010, 3 locations

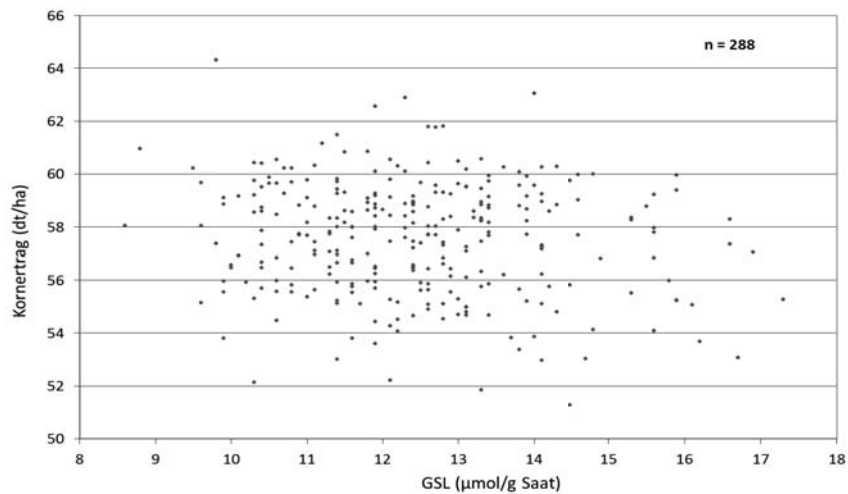


Abbildung 8: Kornertrag und GSL-Gehalt von Testhybriden im MSL-System, Ernte 2010, 3 Orte

Abbildung 8: Seed yield and glucosinolate content of MSL test hybrids, harvest 2010, 3 locations

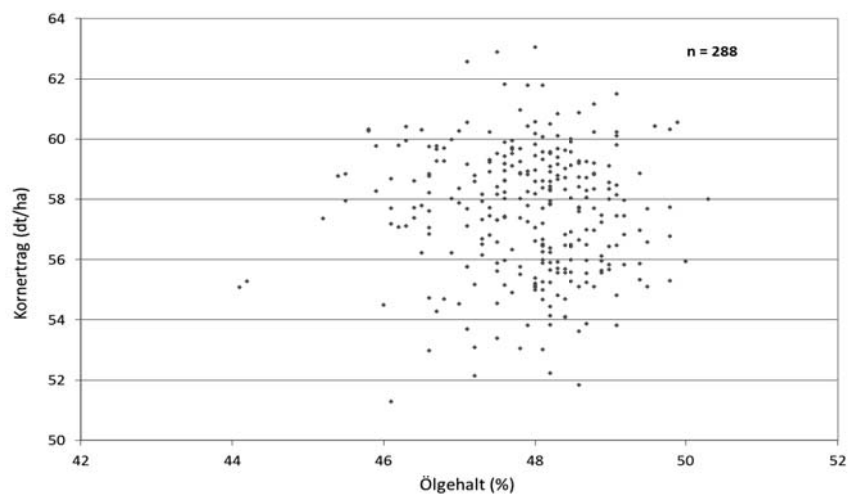


Abbildung 9: Kornertrag und Ölgehalt von Testhybriden im MSL-System, Ernte 2010, 3 Orte

Figure 9: Seed yield and oil content of MSL test hybrids, harvest 2010, 3 locations

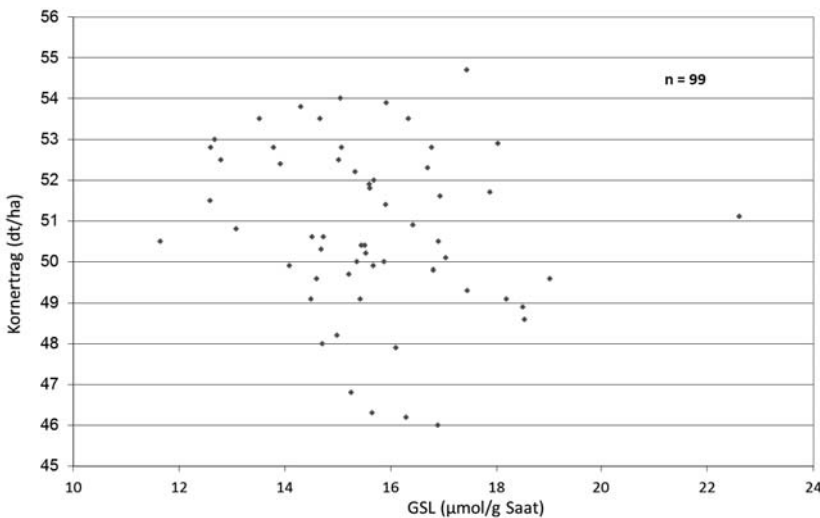


Abbildung 10: Kornertrag und GSL-Gehalt von WP1-Kandidaten in Deutschland, Ernte 2010 (Quelle: BSA, SFG Rohdaten)

Abbildung 10: Seed yield and glucosinolate content of NL1 candidates (VCU trial, 1<sup>st</sup> year) in Germany, harvest 2010 (Source: BSA, SFG Rohdaten)

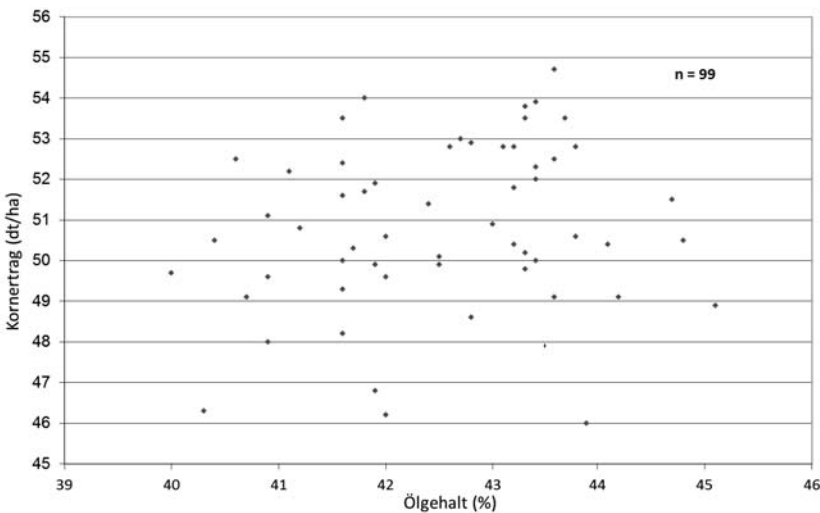


Abbildung 11: Kornertrag und Ölgehalt von WP1-Kandidaten in Deutschland, Ernte 2010 (Quelle: BSA, SFG Rohdaten)

Figure 11: Seed yield and oil content of NL1 candidates (VCU trial, 1<sup>st</sup> year) in Germany, harvest 2010 (Source: BSA, SFG Rohdaten)

## Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass innerhalb des hier dargestellten aktuellen 00-Zuchtmaterials offensichtlich keine negative Beziehung zwischen

Kornertrag und Glucosinolatgehalt bzw. Kornertrag und Ölgehalt vorliegt. Eine aus züchterischer Sicht sehr günstige Situation. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass eine weitere Absenkung des Glucosinolatgehaltes auf  $<12 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  Saat, wie in Kanada für den Canola-Standard gefordert wird, bei Winterraps eine Herausforderung darstellt, welche mit einer Ertragsminderung einhergehen dürfte. Entsprechendes Zuchtmaterial liegt vor (siehe Abbildungen 3, 6 und 8) und könnte rasch zu leistungsfähigen Sorten entwickelt werden, falls diese Qualitätsverbesserung im Markt honoriert wird. Eine weitere Steigerung des Ölgehaltes im Rapskorn ist möglich und zu erwarten. Jedoch sollte die Qualität des Rapsschrotes in Bezug auf den Proteingehalt beachtet werden, entweder durch eine strikte Vorgabe wie in Kanada oder durch Berücksichtigung bei der Sortenzulassung wie z.B. bei der Index-basierten Sortenzulassung von Raps in Frankreich.

## Literatur

FUNK H, MOHR R, 2010: Die Rapsabrechnung. UFOP-Praxisinformation, Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., Berlin [Available online: [http://www.ufop.de/downloads/PI\\_Rapsabrechnung\\_Internet.pdf](http://www.ufop.de/downloads/PI_Rapsabrechnung_Internet.pdf); accessed 22 Feb 2011]

FRAUEN M, NOACK J, PAULMANN W, GROSSE F, 2003: Development and perspectives of MSL-hybrids in winter oilseed rape in Europe. In: Sorensen H, Sorensen JC, Sorensen S, Bellostas Muguerza N, Bjerregaard C (Eds.), Proc. 11<sup>th</sup> Int. Rapeseed Congr., 6-10 July, Copenhagen, Denmark, Vol. 1, pp. 316-318. The Royal Veterinary and Agricultural University, Frederiksberg.

SAUERMANN W, 1988: Einfluss der Auslese auf Qualitätsmerkmale für den Selektionsgewinn im Kornertrag bei Winterraps. Dissertation, Fachbereich Agrarwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen.

SCHUMANN W, 2003: GSL-Gehalt von Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen aus Ölmühlen und von Wareneingängen deutscher Mischfutterwerke. UFOP Statusseminar Glucosinolate in Raps und Rapsfuttermitteln, 27. Mai, Berlin. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., Berlin.





## Qualitäts- und ertragsrelevante Auswirkungen thermischer Einflüsse bei Ölfrüchten

### Effects of temperature on quality and yield of oil crops

Manfred Werteker<sup>1\*</sup>, Klemens Mechtler<sup>1</sup> und Martin Hendler<sup>1</sup>

#### Abstract

The influence of temperature on fatty acid spectra of microorganisms and higher plants is well documented in literature. Also about the induction of desaturation mechanisms by low temperatures a lot of evidence is existing. Most of the published results are produced in model trials under controlled climatic conditions. The presented study investigated the influence of average temperature during the grain filling stage on the fatty acid spectra of rapeseed, soybean and sunflower under conditions of practical agriculture. The results were set in relation to crop yield. In all species the share of the highest unsaturated fatty acid declined with increasing temperature. Yields of sunflowers decreased, whereas those of rapeseed and soybean increased with increasing temperature. The results allow an interpretation of different behaviour of crop species concerning yield by different extent and mechanisms of fatty acid desaturation. The influence of temperature on the fatty acid spectra in some cases was of similar magnitude as the influence of variety.

#### Key words

*Brassica napus*, fatty acids, *Glycine max*, *Helianthus annuus*, rapeseed, soybean, sunflower

#### Einleitung

Ungesättigten Fettsäuren kommt aufgrund ihrer positiven Einflüsse auf die menschliche Gesundheit zunehmende Bedeutung in der Ernährung zu. Während unter gesundheitlichen Aspekten vor allem die positive Beeinflussung des Cholesterinspiegels zu erwähnen ist, hat im pflanzlichen Stoffwechsel insbesondere die Beteiligung der Fettsäuren an der Bildung von intrazellulären Membranen Auswirkungen auf den zellulären Stoffwechsel. Vor allem wird die Bindung von Lipoproteinen an die Membran entscheidend von deren Fettsäurezusammensetzung bestimmt. Damit stehen u.a. enzymatische Aktivitäten, die Leistung von Transferproteinen sowie - im Falle von tierischen Zellen - die Funktion von Rezeptoren an der Zelloberfläche in direktem Zusammenhang mit dem Fettsäurespektrum (SEO et al. 2006, CHAPKIN et

al. 2008). Durch den niedrigeren Schmelzpunkt von Fetten mit höherem Anteil an ungesättigten Fettsäuren werden aber darüber hinaus die physikalischen Eigenschaften der Membranen verändert. Insbesondere wird die Mikrofluidität - eine Eigenschaft welche vor allem Diffusionsvorgänge, aber auch die Bindung lipophiler Proteine an der Membran beeinflusst - erhöht (THOMPSON 1980, SAITO et al. 2005). Dem pflanzlichen oder tierischen Organismus steht somit ein Mittel zur Verfügung, durch Erhöhung des Anteils an ungesättigten Fettsäuren bzw. höhere Entsättigung tiefen Temperaturen entgegen zu wirken.

Sowohl bei Mikroorganismen als auch bei höheren Pflanzen ist die Förderung der Entstehung ungesättigter Fettsäuren unter dem Einfluss niedrigerer Temperaturen bekannt. Auch an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen wie Raps und Sonnenblumen wurde eine erhöhte Synthese der jeweils für die Kulturart typischen am höchsten ungesättigten Fettsäure festgestellt (TRÉMOLIÈRES et al. 1982). Ähnliche Effekte wurden auch bei Sojabohnen beobachtet (LANNAL et al. 2005). Bei Raps wird über vermehrte Transkription der für die Entsättigung von Stearin- bzw. Linolsäure verantwortlichen Desaturasen bei niedrigeren Temperaturen berichtet (GAO et al. 2002). Neuere Arbeiten bestätigen den negativen Einfluss höherer Temperaturen auf den Linolensäureanteil bei Raps unter Freilandbedingungen (PRITCHARD et al. 2000, BAUX et al. 2008). Bei Raps, Sojabohnen und Sonnenblumen konnte der Temperatureinfluss auf die Entsättigung von Fettsäuren im Rahmen von Sortenversuchen beobachtet werden (WERTEKER et al. 2010). Die verringerte Entstehung höher ungesättigter Fettsäuren, insbesondere von Linolensäure, in Sojabohnen wird auf eine Destabilisierung der Enzyme bei höheren Temperaturen zurückgeführt (TANG et al. 2005). Die Entsättigung der Fettsäuren in Sonnenblumenkernen ist weitgehend vom im Zytoplasma gelösten Sauerstoff und somit auf indirektem Wege von der Temperatur abhängig (ROLLETSCHEK et al. 2007).

Die präsentierte Studie zielt, basierend auf den Ergebnissen der oben zitierten Arbeiten über Fettsäureentsättigung in Raps, Sojabohnen und Sonnenblumen, darauf ab, die Wirksamkeit der verschiedenen Regulierungsmechanismen zu vergleichen und in Beziehung zum Ertrag zu setzen.

<sup>1</sup> Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), Spargelfeldstraße 191, A-1220 WIEN

\* Ansprechpartner: Manfred WERTEKER, manfred.werteker@ages.at

## Material und Methoden

Folgende Sortenversuche der Ernte 2006 wurden zu den Untersuchungen herangezogen: Winterkörnerraps: Schönfeld, Freistadt, Grabenegg, Ritzlhof, Hohenau, Großnondorf und Schattendorf; Sojabohnen: Hörzendorf, Gleisdorf, Lambach, Melk, Grabenegg, Ritzlhof, Oberwart und Völkermarkt; Sonnenblumen: Hohenau, Großnondorf, Tulln, Unterwaltersdorf und Albrechtsfeld. Die Standorte sind bei jeder Kulturart in ansteigender Reihenfolge der während der letzten 30 Tage vor der Ernte gemessenen Durchschnittstemperatur angeführt. Bei Raps und Sojabohnen wurden jeweils zwei Versuchsreihen mit unterschiedlichen Sortenspektren durchgeführt. Die Standortauswahl bei den Versuchsreihen war unterschiedlich.

Die Fettsäurespektren wurden nach Umesterung der Fette zu Fettsäuremethylestern gaschromatographisch bestimmt und in Prozent der Gesamtfettsäuren ausgedrückt.

Der Sorteneinfluss bei Fettsäurespektrum und Ertrag wurde minimiert, indem bei beiden Größen mit den Abweichungen vom Sortenmittel gerechnet wurde.

## Ergebnisse

Nach rechnerischem Ausschluss des Sorteneinflusses konnten die in *Tabelle 1* angeführten Regressionen des Anteils der jeweils kulturartspezifisch am höchsten ungesättigten Fettsäure mit der Temperatur festgestellt werden. Bei Raps und Sojabohnen konnte eine deutliche Abnahme des Anteils der Linolensäure am Gesamtfettsäurespektrum der Samen mit steigender Temperatur während der Kornfüllungsphase festgestellt werden. Bei Sonnenblumen betraf diese Abnahme den Linolsäureanteil. Unterschiedlich war vor allem das Ausmaß in welchem die verschiedenen Kulturarten auf Temperaturänderungen reagierten. Wie den Werten für den Regressionskoeffizienten  $b$  zu entnehmen ist, kam es bei Raps durchschnittlich zu einem Rückgang des Linolensäureanteiles von etwa  $0,5\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Bei Sojabohne lag der entsprechende Wert mit einer Abnahme von  $0,21\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  etwa bei der Hälfte des für Raps gefundenen Wertes. Die Ergebnisse aus den beiden Versuchsreihen bei Raps und Soja weisen nur geringe Unterschiede innerhalb der Kulturart auf. Mit einer Abnahme von beinahe  $1,7\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  scheint bei Sonnenblume der Linolsäuregehalt mit Abstand am empfindlichsten auf Temperatursteigerungen zu reagieren.

**Tabelle 1: Regression des Anteils der mehrfach ungesättigter Fettsäuren mit der Durchschnittstemperatur 30 Tage vor der Ernte**

**Table 1: Regression of the share of polyunsaturated fatty acids with the average temperature 30 days before harvest**

Fatty acid / Crop trial	Regression analysis	
	$b$	$R^2$
Linolenic acid		
Rapeseed I	-0.514	0.737
Rapeseed II	-0.448	0.277
Soybean I	-0.208	0.429
Soybean II	-0.210	0.146
Linol acid		
Sunflower	-1.669	0.339

**Tabelle 2: Regression des Ertrages mit der Durchschnittstemperatur 30 Tage vor der Ernte**

**Table 2: Regression of crop yield with average temperature 30 days before harvest**

Crop trial	Regression analysis	
	$b$	$R^2$
Rapeseed I	5.258	0.743
Rapeseed II	3.930	0.495
Soybean I	4.146	0.334
Soybean II	4.230	0.286
Sunflower	-3.011	0.337

Die Erträge von Raps und Sojabohnen zeigten einen Anstieg von durchschnittlich etwa 4 bis 5 dt ha<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup> (*Tabelle 2*). Auch in diesem Falle kommt es zu einer guten Übereinstimmung der beiden Versuchsserien. Im Gegensatz dazu waren bei Sonnenblumen die höchsten Erträge an den Standorten mit den niedrigsten Temperaturen während der letzten 30 Tage vor der Ernte feststellbar. Auf Grund der großen Anzahl an untersuchten Proben waren alle angeführten Regressionen hoch signifikant ( $P < 0,01$ ).

## Diskussion

Alle untersuchten Kulturarten reagierten auf den Einfluss niedrigerer Temperaturen zwar mit der Synthese von höheren Anteilen an höher ungesättigten Fettsäuren, jedoch in sehr unterschiedlichem Ausmaß. Wie bereits eingangs erwähnt kann die vermehrte Synthese ungesättigter Fettsäuren als Kompensation der durch Kälte hervorgerufenen Erhöhung der Mikroviskosität von biologischen Membranen betrachtet werden (THOMPSON 1980, SAITO et al. 2005). Daraus kann abgeleitet werden, dass Organismen, welche empfindlicher auf Kälte mit Desaturierung von Fettsäuren reagieren, Vorteile gegenüber solchen haben, deren Reaktion weniger deutlich ausgeprägt ist. Diese Theorie scheint durch die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen gestützt zu werden, wenn auch für den Ertrag wesentliche Umweltfaktoren, insbesondere der Niederschlag, nicht erhoben wurden. Es zeigte sich jedoch, dass jene Kulturarten (Raps und Sojabohne), bei welchen es offenbar zu einem vergleichsweise geringeren Anstieg der höher ungesättigten Fettsäuren unter dem Einfluss niedrigerer Temperaturen kam, der positive Einfluss steigender Temperaturen auf die Ertragsbildung überwog, während bei Sonnenblumen - der Kulturart mit der bei weitem stärksten Steigerung der Entsättigung von Fettsäuren unter Kälteeinfluss - die Anpassung des Fettsäurespektrums niedrigere Temperaturen während der Kornfüllungsphase mehr als kompensieren konnte.

Es ist aber auch anzumerken, dass der Zusammenhang zwischen steigenden Temperaturen und sinkenden Anteilen an mehrfach ungesättigten Fettsäuren nur bei gemäßigttem Witterungsverlauf - wie dies im Jahr 2006 der Fall war - zu beobachten ist, da auch Hitzestress zu einer vermehrten Entsättigung von Fettsäuren führt, wie dies etwa am Beispiel von Raps in Freilandversuchen gezeigt werden konnte (BAUX et al. 2008). Dass Omega-3-Fettsäuren nicht nur Kälte- sondern auch Hitzeresistenz erhöhen, wurde im Modellversuch an Tabakpflanzen bestätigt. So konnte die

Hitzeresistenz von Tabakpflanzen etwa durch die Ausschaltung eines Desaturase-Gens im Vergleich zur unveränderten Kontrollgruppe erheblich gesenkt werden (MURAKAMI et al. 2000).

## Zusammenfassung

Die Samenfette von Raps, Sojabohne und Sonnenblume zeigten unter der Einwirkung niedrigerer Temperaturen während der Kornfüllungsphase höhere Anteile an mehrfach ungesättigten Fettsäuren am Fettsäurespektrum, wobei Sonnenblume am stärksten auf die Temperatureinflüsse reagierte. Bei Sonnenblume waren auch die höchsten Erträge bei niedrigeren Temperaturen zu beobachten, während es bei Raps und Sojabohnen zu einem Anstieg der Erträge mit steigender Temperatur kam. Das Ertragsverhalten der Sonnenblume kann als Folge der im Vergleich zu den anderen beiden untersuchten Kulturarten höheren Bildung mehrfach ungesättigter Fettsäuren interpretiert werden.

## Literatur

- BAUX A, HEBEISEN T, PELLET D, 2008: Effects of minimal temperatures on lowlinolenic rapeseed on fattyacid composition. *Eur. J. Agron.* 29, 102-107.
- CHAPKIN RS, SEO J, McMURRAY DN, LUPTON JR, 2008: Mechanisms by which docosahexaenoic acid and related fatty acids reduce colon cancer risk and inflammatory disorders of the intestine. *Chem. Phys. Lipids* 153, 14-23.
- GAO MJ, ALLARD G, BYASS L, FLANAGAN AM, SINGH J, 2002: Regulation and characterization of four CBF transcription factors from *Brassica napus*. *Plant Mol. Biol.* 49, 459-471.
- LANNAL AC, JOSÈ IC, OLIVEIRA MGA, BARROS EG, MOREIRA MA, 2005: Effect of temperature on polyunsaturated fatty acid accumulation in soybean seeds. *Braz. J. Plant Physiol.* 17, 213-222.
- MURAKAMI Y, TSUYAMA M, KOBAYASHI Y, KODAMA H, IBA K, 2000: Trienoic fatty acids and plant tolerance of high temperature. *Science* 287, 476-479.
- PRITCHARD FM, EAGLES HA, NORTON RM, SALISBURY PA, NICOLAS M, 2000: Environmental effects on seed composition of Victorian canola. *Aust. J. Exp. Agric.* 40, 679-685.
- ROLLETSCHKEK H, BORISJUK L, SÁNCHEZ GARCÍA A, GOTOR C, ROMERO LC, MARTÍNEZ RIVAS JM, MANCHA M, 2007: Temperature-dependent endogenous oxygen concentration regulates microsomal oleate desaturase in developing sunflower seeds. *J. Exp. Bot.* 58, 3171-3181.
- SEO J, BARHOUMI R, JOHNSON AE, LUPTON JR, CHAPKIN RS, 2006: Docosahexaenoic acid selectively inhibits plasma membrane targeting of lipidated proteins. *FASEB J.* 20, 770-772.
- SAITO T, KATO A, OCHIAI H, MORITA N, 2005: Temperature adaptation in *Dictyostelium*: role of 5 fatty acid desaturase. *Microbiology* 151, 113-119.
- TANG GQ, NOVITZKY WP, GRIFFIN HC, HUBER SC, DEWEY RE, 2005: Oleate desaturase enzymes of soybean: evidence of regulation through differential stability and phosphorylation. *Plant J.* 44, 433-446.
- THOMPSON AG, 1980: *The Regulation of Membrane Lipid Metabolism*. CRC-Press, Boca Raton, FL.
- TRÉMOLIÉRES A, DUBACQ J P, DRAPIER D, 1982: Unsaturated fatty acids in maturing seeds of sunflower and rape : Regulation by temperature and light intensity. *Phytochemistry* 21, 41-45.
- WERTEKER M, LORENZA A, HOFRICHTER J, BERGHOFER E, FINDLAY CS, 2010: Environmental and varietal influences on the fatty acid composition of rapeseed, soybeans and sunflowers. *J. Agron. Crop Sci.* 196, 20-27.



## Breeding of high oleic sunflower hybrids and high linolenic linseed varieties in the Cereal Research Non-Profit Ltd. Co.

Zoltán Áy<sup>1\*</sup>, Melinda Tar<sup>1</sup>, Rozália Nagyné Kutni<sup>1</sup>, Zoltán Medovarszky<sup>1</sup> and József Frank<sup>1</sup>

### Abstract

Sunflower and linseed are traditionally bred in Szeged, Hungary. Originally, breeder's main aim was to increase the productivity of these species but the quality of the vegetable oils came into the limelight during the last two decades. Analytical examinations prove that the quality of sunflower oil is represented by the oleic acid content while in case of linseed the linolenic acid plays the key role. Improving the linolenic acid level did not cause yield depression in linseed but higher oleic acid contents resulted in significantly lower yields in sunflower. Improving resistance to diseases and selecting for earlier maturity we managed to decrease the yield loss from 10% to 3-5%.

### Keywords

Cold pressing, *Helianthus annuus*, linolenic acid, *Linum usitatissimum*, oleic acid, tocopherol

### Breeding and release of varieties

The Cereal Research Non-Profit Ltd. Co. was founded in 1924 and is one of the Hungarian public institutes engaged in oil crop breeding. The institute has its centre in Szeged, South Hungary, where sunflower (*Helianthus annuus* L.) and linseed (*Linum usitatissimum* L.) nurseries are located. Breeding of sunflower started in Szeged in the 1960s with maintaining Russian varieties and developing own varieties. In 1974 the first hybrid breeding program began with the development of own maintainer, male sterile and restorer lines. Thanks to international relations a very valuable genebank was established at that time. During the 1980s and 1990s, 61 Szeged sunflower hybrids were successfully registered in Hungary and abroad and they were successfully grown in 17 countries (Table 1). This success was acknowledged with the International Export Trophy and the Hungarian Innovation Grand Prize. However, the growing area of Szeged varieties decreased significantly by the expansion of multinational seed companies by the early 2000s. In 2010, Hungarian farmers grew our hybrids on less than 15000 ha.

Linseed breeding in Szeged is almost as old as the institute itself. First programs began in 1929 when the Hungarian aircraft production was the main customer of linseed oil. Since then, more than dozen of Szeged linseed varieties were successfully registered in Hungary, Austria, Denmark,

Table 1: Szeged sunflower hybrids on the market (FR, France; HU, Hungary; RO, Romania)

Hybrid	Registration	
	Year	Country
Viki	1988	FR, HU
Bambó	1990	HU
Marica 2	1994	HU
Sonrisa	1996	HU
Magóg	1999	HU
Masaï	1999	HU
Manitou	2003	HU
Superflor	2007	RO
Supersol	2007	RO
Larissa	2008	RO
Mandala	2010	RO

Table 2: Szeged linseed varieties on the market (AT, Austria; DK, Denmark; HU, Hungary; UK, United Kingdom)

Variety	Registration	
	Year	Country
Sandra	1987	HU
	1991	AT
Crystal	1990	UK
Barbara	1989	UK
	1992	HU, DK
Hungarian Gold	1993	FR
	1994	AT
	1995	AT
	1993	UK
Zoltán	1996	HU
	1999	UK
Juliet	2001	HU
	2006	HU
Nikol	2006	HU
	2009	UK

France and the United Kingdom (Table 2). Until today the Cereal Research Non-Profit Ltd. Co. is the only base of linseed breeding in Hungary. Although linseed is a well known crop in Hungary its growing area is only about 2500 ha. On the other hand, Szeged linseed varieties are popular with British and New Zealand farmers because of their excellent yield potential and high oil content.

### Sunflower and linseed oil quality

The best way to increase growing area and popularity of sunflower and linseed is breeding for oil quality. Previous-

<sup>1</sup> Cereal Research Non-Profit Limited Company, Also kikötő sor 9, H-6726 SZEGED

\* Correspondence: Zoltán ÁY, ayz@gabonakutato.hu

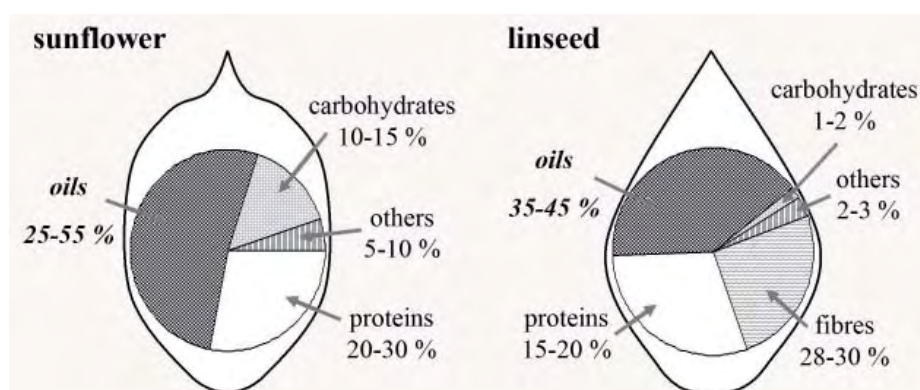


Figure 1: Chemical composition of the seed of sunflower and linseed

ly, breeders considered only so called quantity traits (high yield and marketable product at low costs) represented by profit oriented farmers. Nowadays, scientists are interested in quality traits too since modern costumers consciously buy healthy and tasty food products. They look for nice smelling and nice tasting cooking, frying and dressing oils. Oils which do not smoke during heating and rancidity is not typical to them. If the breeder is able to satisfy quantity and quality requirements new varieties and hybrids can be created which lead to premium oils and consequently to a healthier life.

The chemical composition of sunflower and linseed seeds are similar (Figure 1) but the fatty acid profile and the tocopherol components are different (Table 3 and Table 4). In case of sunflower the oil quality is represented by the oleic acid content while in case of linseed the main value of the oil is the linolenic acid content. These fatty acids have diverse positive effects on the human body, e.g. reduction of the LDL-cholesterol level, strengthening of the immune system, protection against stroke, heart and circulatory diseases, improvement of fitness, stimulation of the brain and healing of arthritis and liver troubles. The minor compound tocopherols play also an essential role since they prevent fatty acid oxidation and development of cancer. The health beneficiary effects are the reason why breeding for oil quality became necessary. Soldatov, a Russian researcher was the first who managed to change the fatty acid profile of sunflower via mutagenesis (SOLDATOV 1976). He used the so called Pervenets population and selected individuals with increased oleic acid content. His population served as a genetic source for breeders during the last decades. It is generally admitted

Table 3: Fatty acid profile of sunflower and linseed oils

Fatty acids (%)	Stearic	Oleic	Linoleic (Omega-6)	Linolenic (Omega-3)
Saturation	C <sub>18:0</sub>	C <sub>18:1</sub>	C <sub>18:2</sub>	C <sub>18:3</sub>
Sunflower	1-5	25-65	25-65	<1
Linseed	3-7	15-25	10-15	30-50

Table 4: Tocopherol content of sunflower and linseed oils

Tocopherols (mg.l <sup>-1</sup> )	α	β+γ	δ	Total
Sunflower	150-950	10-80	<1	200-1000
Linseed	<1	400-500	<1	400-500

that his scientific activity was the key to the high oleic (HO) hybrids. Criteria for official registration of HO varieties depend on national VCU rules. In Hungary, only hybrids with >85% oleic acid can be registered as HO varieties.

Modification of the fatty acid profile of linseed was done at first time in Canada in 1990. Using the McGregor variety and the mutagenesis method, Rowland found plants with increased linolenic acid content (ROWLAND et al. 1995). However, high linolenic

(HLNA) linseed varieties did not come into general use. There is no limit for the linolenic acid content in the Hungarian official variety registration system but 55% is an expected value.

### High oleic sunflower and high linolenic linseed breeding

Breeding of HO sunflowers began in Szeged in the 1990s with changing lines, development of HO genebank and production of maintainer, male sterile and restorer lines. During the 2000s, the first test crossings were done and the combining ability of the new lines was studied. As a result, four female lines (H305, H309, MO1, MO3) and two restorer lines (PHC1707, R4) were successfully registered. The application of the first HO hybrids into official trials is planned for the 2010s. The development of HLNA linseed genebank started also in the 1990s and was followed by crossings and breeding of lines A, B, C and D. By the 2000s, a content of 50% linolenic acid was reached and two quality varieties, i.e. Nikol (52%) and GK Emma (54%), were successfully registered.

Field trials with HLNA linseeds and HO sunflowers provided interesting data. We sow three traditional and three HLNA varieties in four locations (two in Szeged, two in Cambridge, UK) in three seasons and measured their yield and linolenic acid content. Figure 2 shows the average values of the results. It is clearly visible that HLNA varieties did not produce lower yield than traditional varieties. Hence, in case of linseed breeding for quality is not detrimental to grain quantity. This is not the case in sunflower. A field trial with 4 traditional and 4 HO hybrids was carried out in Szeged in four seasons and their yield and oleic acid content was determined. Figure 3 shows the average values of the results. It is obvious that genotypes with 90% oleic acid content produce lower yields than traditional varieties. The yield difference was about 10%. Therefore, if we want to breed for oil quality we must consider the negative correlation between quality and quantity.

For the breeder it is important to know the factors which are responsible for the yield loss of HO varieties. Basically, our HO population proved to be sensitive to different pathogens, e.g. *Erwinia carotovora*, *Plasmopara halstedii*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Diaporthe helianthi*, *Bothritia cinerea*, *Alternaria helianthi*, *Phoma macdonaldi*, *Macrophomina*

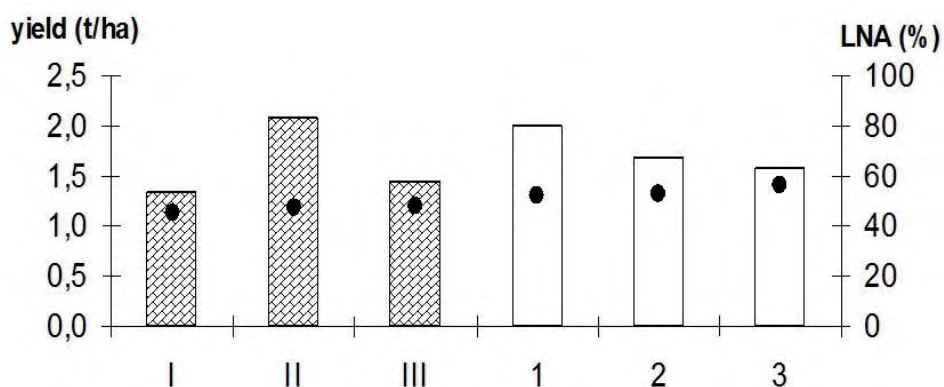


Figure 2: Mean seed yield and oil quality in linseed. Dots indicate the linolenic acid (LNA) content, white bars represent HLNA varieties, hatched bars represent traditional varieties

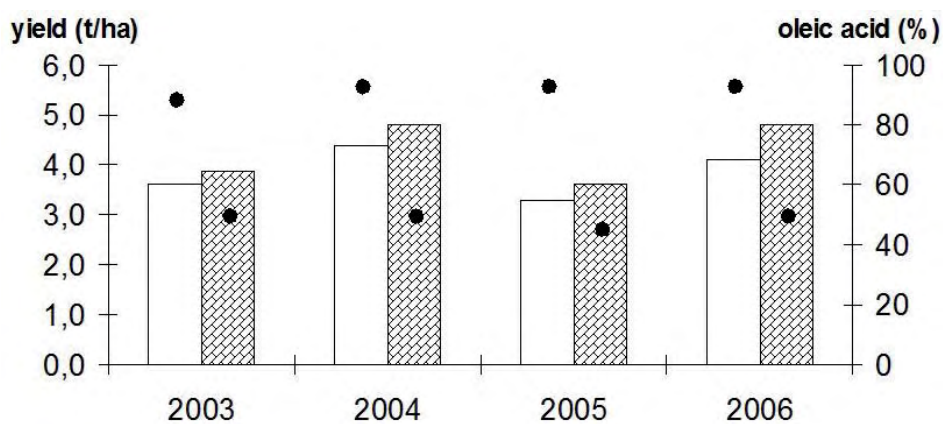


Figure 3: Mean seed yield and oil quality in sunflower. Dots indicate the oleic acid content, white bars represent high oleic (HO) varieties, hatched bars represent traditional varieties

140 to 120 days). Thereby, we decreased the yield deficit of our HO material compared to traditional hybrids. Of course this does not mean the end of our work. We continue with selection until any yield loss of HO hybrids is eliminated.

Realization of oil quality of HO sunflowers and HLNA linseeds is possible only with the cold pressing technology. Compared to chemical extraction, this is not a mass production method and does not use chemical solvents for extraction of vegetable oils. Natural tocopherols remain in cold pressed oils since the temperature during processing does not reach their decomposition point. In this way, oleic and linolenic acids susceptible to oxidation can be protected by tocopherols. By the expansion of the cold pressing technology a new trait, the so called cold extractable oil content, became important. Today this content is between 30 and 40% and depends on the skin/kernel ratio which can be influenced by breeders.

*phaseolina*, *Rhizopus stolonifer* and *Orobanche cumana*. Additionally, HO hybrids exhibited late maturity. In order to improve resistance we screened our plant material in three steps. Using molecular markers *HaP3* and *ORS1036* we established a marker assisted selection for the *Pl6* and *OR5* resistance genes against *P. halstedii* and *O. cumana*, respectively. Moreover we used artificial infection methods, e.g. in vitro germination on water contaminated with *P. helianthii* spores and sowing in *O. cumana* infected soil in the greenhouse. A third step of selection was done in so called pathological nurseries where sunflower is grown in monoculture over years and, therefore, the soil is full with spores of pathogens to provoke a high pressure of diseases. As a result of this three step selection we managed to improve resistance and to shorten the vegetation period (from

## Acknowledgements

The research was supported by the Hungarian National Office for Research and Technology (REG\_DA\_KFI\_GKO-LAJ09).

## References

- ROWLAND GG, MCHUGHEN A, GUSTALV, BHATTY RS, MACKENZIE SL, TAYLOR DC, 1995: The application of chemical mutagenesis and biotechnology to the modification of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Euphytica* 85, 317-321.
- SOLDATOV KI, 1976: Chemical mutagenesis in sunflower breeding. Proc. 7<sup>th</sup> Int. Sunflower Conf., Krasnodar, Russia, 352-357. Int. Sunflower Ass., Vlaardingen, The Netherlands.





# Biogas-Sonnenblumen: Züchtung auf Ertrag und Qualität

## Sunflowers for biogas - Breeding for yield and quality

Volker Hahn<sup>1\*</sup>

### Abstract

In Germany biogas is starting to become a major source of energy and the acreage of plants used for biogas production is increasing. Sunflowers can be used to broaden corn based energy crop rotations if they achieve high methane yields. The methane yield per hectare depends on the biomass yield, the amount of biogas per kg organic dry matter and the methane content in the biogas.

We investigated the biomass yield of sunflowers used for oil production across four environments in 2007 and found a total biomass yield of 108.4 dt.ha<sup>-1</sup>. The mean yield of biomass types was 139.3 dt.ha<sup>-1</sup>. Hybrids derived from descendants of genetic resources were tested in 2009 in two environments and showed higher biomass yields and comparable oil yields than the biomass types used in 2007. To investigate the stem quality of sunflower lines two sets (early and late material) with 75 lines were planted in 2008 and 2009 at two locations. The stems were harvested and sugar contents, lignin contents, and ash contents were estimated using near infrared spectroscopy. Significant differences of quality traits of the lines were found. Stem quality investigations of hybrids showed associations between biomass yield and stem quality. High yielding hybrids had higher sugar contents, and lower ash and lignin contents.

### Keywords

Biomass, *Helianthus annuus*, methane yield, NIRS, stem quality

### Einleitung

Biomasse wird zukünftig eine größere Bedeutung im Energiemix aufweisen. Hierbei wird die Gewinnung von Biomethan zumindest in Deutschland eine wichtige Rolle einnehmen. Grundlage für die Nutzung der Biomasse ist der Energieertrag, der je Flächeneinheit erzielt werden kann. Für die Nutzung von Biomasse in Biogasanlagen ist nicht nur der Trockenmasseertrag von Bedeutung, auch die Zusammensetzung des Gärsubstrates spielt eine wichtige Rolle um eine hohe Wirtschaftlichkeit der Anlage und damit einen konkurrenzfähigen Preis am Markt zu erzielen. Sonnenblumen könnten die stark maisbetonten Energiefruchtfolgen auflockern. Hierzu werden Hybriden benötigt, die neben einem hohen Biomasseertrag eine hohe Methanausbeute

je Gewichtseinheit Substrat erzielen. Zuchtziele von Biogassonnenblumen sind daher neben hohen Biomasse- und Fetterträgen geringe Gehalte an Lignin und Asche.

### Biomasseertrag von Sonnenblumen

Um herauszufinden, welche Biomasseerträge Körnersonnenblumen erreichen, wurden im Jahr 2007 22 Hybriden an den vier Orten Hohenheim, Eckartsweier, Bonn und Rostock vierreihig mit jeweils zwei Wiederholungen angebaut. Mit einem Maishäcksler wurden die mittleren beiden Reihen geerntet und der Frischmasseertrag bestimmt. Anhand einer Probe, die zwei Tage bei 110°C getrocknet wurde, wurde der Trockensubstanzgehalt (TS) ermittelt. Die Körnersorten erzielten über alle Umwelten einen mittleren Ertrag von 108,4 dt.ha<sup>-1</sup> bei einem mittleren TS-Gehalt von 29,9%. Die Spannweite lag dabei zwischen 73,6 dt.ha<sup>-1</sup> und 137,7 dt.ha<sup>-1</sup> bei TS-Werten zwischen 25,9% und 35,8%. Vergleichend dazu wurden sechs Sonnenblumenhybriden bzw. Populationen angebaut, die in vorausgehenden Untersuchungen ein starkes Massenwachstum aufwiesen. Diese Biomassetypen zeigten einen mittleren Ertrag von 139,3 dt.ha<sup>-1</sup> bei einem TS-Gehalt von 25,1%. Die Spannweite der Biomassetypen lag zwischen 116,2 dt.ha<sup>-1</sup> und 152,8 dt.ha<sup>-1</sup> bei TS-Werten zwischen 23,8% und 25,7%. Die ertragreichste Biomassehybride wurde in Wertprüfungen geprüft und ist inzwischen unter dem Namen Metharoc in Österreich und Deutschland zugelassen.

Um eine weitere Ertragssteigerung zu erzielen, wurden aus der Genbank stammende Genetische Ressourcen in das Zuchtprogramm integriert. Zahlreiche Genetische Ressourcen zeigten zwar ein starkes Längenwachstum, wiesen aber gleichzeitig ein hohes Lagerisiko auf. Daher wurden die Genetischen Ressourcen mit standfesten Sonnenblumen-Elitelinien rekombiniert und die Nachkommen wurden auf ihre Standfestigkeit geprüft. Die selektierten Linien wurden mit Testern gekreuzt und 2009 an den beiden Orten Eckartsweier und Hohenheim auf ihren Biomasseertrag geprüft. Als Standard wurde die Sorte Metharoc verwendet. Der Standard erzielte in Eckartsweier einen Trockenmasseertrag von 109 dt.ha<sup>-1</sup> bei einem TS-Gehalt von 48,8%. Zwei Testhybriden erzielten mit 146 dt.ha<sup>-1</sup> bzw. 137 dt.ha<sup>-1</sup> signifikant ( $P < 0,01$ ) höhere Trockenmasseerträge bei TS-Gehalten zwischen 37,5% bzw. 42,3%. In Hohenheim erzielte Metharoc einen Ertrag von 147 dt.ha<sup>-1</sup> bei allerdings nur 21,3% TS. An diesem Standort waren sechs Testhyb-

<sup>1</sup> Universität Hohenheim, Landessaatzuchtanstalt, Versuchsstation, Waldhof 2, D-77731 WILLSTÄTT

\* Ansprechpartner: Volker HAHN, volker.hahn@uni-hohenheim.de

riden dem Standard signifikant ( $P < 0,01$ ) überlegen. Diese Testhybriden wiesen Erträge zwischen  $180 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$  und  $212 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$  bei TS-Werten zwischen 19,7% und 23,1% auf. Unter diesen Testhybriden waren auch die beiden ertragreichsten Hybriden aus Eckartsweier zu finden. Die Fetterträge lagen in der Größenordnung des Standards.

### Stängelqualität - Linien

Da die Steigerung des Biomasseertrags bei Sonnenblumen zu einem großen Teil auf eine größere Pflanzenlänge zurückzuführen ist, spielt die Stängelqualität eine große Rolle, um den Einsatz von Sonnenblumen in Biogasanlagen ökonomisch durchführen zu können. Bislang liegen nur wenige Untersuchungen zur Zusammensetzung der Inhaltsstoffe von Sonnenblumenstängeln vor. Daher wurden in den Jahren 2008 und 2009 in Hohenheim und Eckartsweier jeweils zwei Prüfungen mit 75 Linien als  $15 \times 5$  Alpha-Design mit zwei Wiederholungen angelegt. Die Leistungsprüfung, die die frühen Linien enthielt, wurde ca. drei Wochen nach der Saat des späten Sets ausgesät, um eine gemeinsame Ernte der frühen und späten Linien zu ermöglichen. Drei Linien wurden als Standard in beiden Prüfungen eingesetzt. Zur Ernte wurden von fünf Pflanzen je Parzelle die Blätter und Körbe abgeschnitten. Die Stängel wurden mit einem Standhächsler zerkleinert, gewogen und bei  $60^\circ\text{C}$  vier Tage getrocknet. Die Proben wurden zurückgewogen, mit einer Schneidmühle gemahlen und gemischt. Die spektrale Zusammensetzung dieser Proben und der weiter unten dargestellten Proben der Hybridzeiternten wurde mit einem Polytec-NIRS-System (Polytec, Waldbronn, Deutschland) aufgenommen. Mit Hilfe des Software-Pakets Utilities (Sensologic, Norderstedt, Deutschland) wurden die 200 informativsten Spektren ermittelt, nachdem zuvor 25 zufällig ausgewählte Proben als Validierset entnommen wurden. Die 225 Proben wurden von der Firma Agrolab Laborgruppe (Bruckberg, Deutschland) auf die Inhaltsstoffe Rohasche, Zuckergehalt und ADL-Gehalt (Lignin) untersucht. Basierend auf diesen Referenzwerten wurden NIRS-Kalibrationen erstellt. Hierfür wurde das Software-Paket SLCalibration Wizard (Sensologic, Norderstedt, Deutschland) verwendet. Mit einem voreingestellten Satz von 60 Spektrenvorbehandlungen bzw. Transformationen wurden mit der Partial Least Square (PLS) Methode Kalibrationen erstellt. Für die Schätzung der Werte der Inhaltsstoffe aller Proben wurde

für die untersuchten Merkmale jeweils die Kalibration verwendet, die anhand des Validiersets den höchsten RPD-Wert (ratio performance deviation) aufwies. Die RPD Werte der Validationen betragen dabei 2,5 für das Merkmal Rohasche, 9,5 für den Zuckergehalt und 2,8 für den ADL-Gehalt. Mit Hilfe des Software Pakets PLABSTAT (UTZ 2004) wurden an den einzelnen Umwelten Varianzanalysen (ANOVA) mit den mittels NIRS geschätzten Werten durchgeführt. Mit den angepassten Prüfgliedmittelwerten wurden anschließend die Varianzkomponenten über alle Umwelten geschätzt. Alle Effekte im Modell wurden als zufällig betrachtet. Mittelwerte, Spannbreiten, Varianzkomponenten und Heritabilitäten der untersuchten Inhaltsstoffe sind in *Tabelle 1* angegeben.

Für beide Sets und alle Merkmale wurden hochsignifikante genotypische Unterschiede ermittelt. Im Vergleich zum späten Set wurden für das frühe Set geringere Heritabilitäten und genotypische Varianzen geschätzt. Der Grund dafür lag in einer deutlich stärkeren Interaktion zwischen Genotyp und Umwelt des frühen Sets (Daten nicht gezeigt). Zusammenfassend zeigen die Untersuchungen, dass eine züchterische Verbesserung der Inhaltsstoffe hinsichtlich einer besseren Vergärbarkeit von Sonnenblumenstängeln aussichtsreich erscheint. Erwünscht sind hohe Zuckergehalte und niedrige ADL- und Rohaschegehalte.

### Zeiterntversuche - Hybriden

Um herauszufinden, wie sich die Stängelqualität von Sonnenblumenhybriden im Verlauf der Abreife ändert, wurden in den Jahren 2008 und 2009 Zeiterntversuche durchgeführt. Untersucht wurden 16 Hybriden (14 Körnertypen und die beiden Biomassetypen Metharoc und KW7504). Der Versuch wurde als  $4 \times 4$  Gitter mit 2 Wiederholungen angelegt. Beginnend zwei Wochen nach der Blüte wurden im wöchentlichen Abstand von jeder Parzelle 5 Sonnenblumenstängel geerntet und wie oben dargestellt untersucht. In *Abbildung 1* sind die jeweiligen Mittelwerte, sowie die Werte der beiden Biomassetypen und beispielhaft zweier Körnertypen gezeigt. Der Rohaschegehalt stieg bei der Abreife geringfügig an, die massereichen Biomassetypen zeigten unter dem Mittelwert liegende Aschegehalte von 5 bis 6,5%. Die mittleren ADL-Gehalte stiegen von 8,3% in der ersten Ernte auf 11,4% in der letzten Ernte. Die Biomassetypen wiesen wiederum unter dem Mittelwert liegende Werte auf. Die mittleren Zuckergehalte der Stängel fielen

**Tabelle 1: Mittelwerte, Spannweiten, genotypische Varianzen und Heritabilitäten der angegebenen Merkmale für das frühe und das späte Set mit jeweils 75 Genotypen über vier Umwelten**

**Table 1: Means, ranges, genotypic variance component estimates and heritabilities of the given traits for the late and early set of 75 genotypes across four locations**

Merkmal (trait)	Reifezeit (maturity)	Mittel (mean)	Spannweite (range)	Genotyp. Varianz (genotypic variance)	Heritabilität (heritability)
Zuckergehalt (%)	Spät (late)	9,0	1,0 - 24,2	15,780**	0,77
(sugar content)	Früh (early)	8,3	2,7 - 19,3	8,066**	0,63
ADL (%)	Spät (late)	9,0	8,3 - 13,1	0,726**	0,69
(lignin content)	Früh (early)	8,3	8,7 - 12,1	0,253**	0,43
Rohasche (%)	Spät (late)	9,2	5,6 - 11,8	1,282**	0,75
(ash content)	Früh (early)	10,1	6,4 - 12,9	1,104**	0,68

\*\* signifikant mit  $P < 0,01$ ; significant at  $P < 0,01$

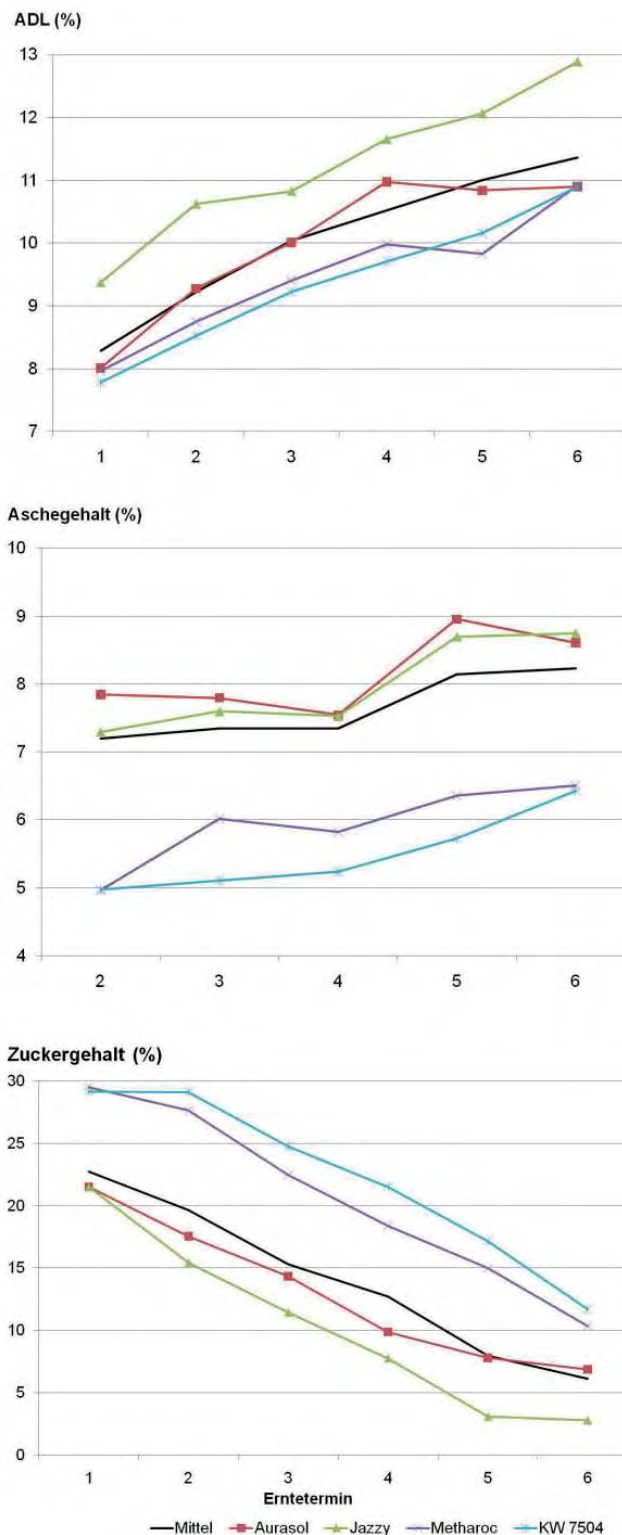


Abbildung 1: ADL-, Rohasche- und Zuckergehalte von Sonnenblumenstängeln zu verschiedenen Erntezeitpunkten

Figure 1: Lignin, crude ash and sugar content of sunflower stems of different harvest times

von 22,7% auf 6,1% ab. Die Biomassetypen wiesen über dem Durchschnitt liegende Werte auf. Basierend auf diesen Ergebnissen sieht es so aus, als ob eine Steigerung der Biomasse gleichzeitig die Stängelqualität von Sonnenblumen verbessert, da hohe Zuckeranteile und niedrige Asche- und Ligninanteile erwünscht sind, um eine hohe Biogasausbeute zu erhalten.

## Zusammenfassung

Für die Verwendung als Biogassubstrat müssen Sonnenblumen einen hohen Methanertrag pro Hektar erzielen. Dieser wird erreicht durch hohe Biomasserträge und eine hohe Methanausbeute des Substrats. Die Untersuchungen zeigen, dass durch den Einsatz genetischer Ressourcen der Biomassertrag von Sonnenblumen gesteigert werden kann. Ein Hauptaugenmerk muss dabei auf der Selektion von standfestem Material liegen. Untersuchungen zur Zusammensetzung der Inhaltsstoffe von Sonnenblumenstängeln ergaben signifikante genotypische Unterschiede. Daher ist es möglich, diese Zusammensetzung züchterisch zu beeinflussen. Erwünscht sind hierbei hohe Zuckeranteile bei niedrigen Lignin- und Aschegehalten. Eine Steigerung der Biomasse verändert die Inhaltsstoffe der Sonnenblumenstängel in der gewünschten Richtung.

## Danksagung

Ich danke der KWS Saat AG, Einbeck und insbesondere Herrn Dr. Martin Ganßmann für die Unterstützung und die zahlreichen Diskussionen. Die Untersuchungen wurden unterstützt mit Mitteln der Baden-Württemberg-Stiftung und dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz über den Projektträger Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.

## Literatur

UTZ HF, 2004: PLABSTAT. A computer program for the statistical analysis of plant breeding experiments. Institute of Plant Breeding, Seed Science and Population Genetics, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany. [Available online: [https://www.uni-hohenheim.de/plantbreeding/software/plabstat/plabstat\\_manual\\_eng.pdf](https://www.uni-hohenheim.de/plantbreeding/software/plabstat/plabstat_manual_eng.pdf); verified November 11, 2010]



# Results of linseed breeding in the Czech Republic

Martin Pavelek<sup>1\*</sup>, Eva Tejklová<sup>1</sup> and Marie Bjelková<sup>1</sup>

## Abstract

Flax and linseed breeding in the Czech Republic has an old tradition going back to the beginning of the last century. A lot of flax and linseed varieties have been bred during this period and registered for growing in the Czech Republic. Since the beginning of the 21<sup>st</sup> century, however, the crisis in flax growing and production resulted in the termination of all breeding activities and variety development. At present all breeding work is focused on the creation of linseed varieties with various possibilities of end use. Two companies, i.e. AGRITEC, Šumperk, and SEMPra, Praha, work at the moment on linseed cultivar development. Linseed varieties with the following characters are selected: traditional brown and yellow seeded varieties with high (55-65%) linolenic acid content, low linolenic (<3%) brown and yellow seeded varieties, brown and yellow seeded varieties with higher oleic fatty acid content, traditional brown and yellow seeded varieties with higher SECO (secoisolariciresinol) content, low linolenic brown and yellow seeded varieties with higher SECO content, traditional as well as low linolenic brown and yellow seeded varieties with lower CG (cyanogenic glycosides) content.

## Keywords

Fatty acid composition, *Linum usitatissimum*, oil

## Introduction

*Linum usitatissimum* L., grown in two types of use, i.e. flax for fibre production and linseed for seed production, is known as a traditional source for the paint manufacturing industry. Seeds contain 35-45% of oil rich in unsaturated fatty acids (FA). Standard FA composition in commercial flax and linseed cultivars is about 6% palmitic (16:0), 2% stearic (18:0), 16-20% oleic (18:1), 13-18% linoleic (18:2) and 52-60%  $\alpha$ -linolenic (18:3) acids. Induced mutagenesis via ethylmethanesulphonat (EMS) was used to change the traditional FA composition, i.e. decrease the linolenic and increase the oleic acid content (TEJKLOVÁ 1995). The induced changes, especially the decrease of linolenic acid content were detected with the thiobarbituric acid test (TBA) (BHATTY and ROWLAND 1990). The presence of double bonds in unsaturated FA provides with TBA a colour complex, thus the intensity of coloration depends on the number of double bonds. The most intensive red colour is associated with high levels of linolenic acid content. Low linolenic seeds are detected by very light coloured or colourless

spots. After rapid detection of high or low linolenic linseed types by the TBA test the results are usually confirmed by gas-liquid chromatography.

## Material and methods

The main breeding aims of linseed in the Czech Republic are: (i) fat yield (seed yield x fat content in the seed), (ii) resistance to diseases (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lini*, *Alternaria linicola*, *Colletotrichum lini*, *Rhizoctonia linicola*, *Oidium lini*), (iii) resistance to lodging, and (iv) fatty acid content.

In order to increase the utilization of linseed for different end uses we focus on alterations in the fatty acid composition, e.g. high linolenic (HLN), low linolenic (LLN), and intermediate oleic (IOL), to offer varieties with the following characters:

- HLN (55-65% C18:3), brown and yellow seeds
- LLN (<3% C18:3), brown and yellow seeds
- IOL (25-40% C18:1) and LLN (<10% C18:3), brown and yellow seeds
- HLN, brown and yellow seeds, increased content of secoisolariciresinol (SECO)
- LLN, brown and yellow seeds, increased SECO content
- HLN and LLN, brown and yellow seeds, decreased content of cyanogenic glycosides (CG)

## Results

### Fatty acids

Alterations in fatty acid composition have been achieved at Agritec, Šumperk, by induced mutagenesis since 1995. Mutants with reduced activity of *FAD2* and *FAD3* enzymes for desaturation of oleic acid to linoleic and linoleic to linolenic acid, respectively, were found. Genotypes with different levels of C18:1, C18:2 and C18:3 were detected. Non segregating LLN genotypes with 3% C18:3, and with about 70% C18:2 were obtained after crossing of different mutants with lower levels of C18:3. Intermediate linolenic genotypes with about 30-40% of both C18:2 and C18:3 were received after crossing of LLN genotypes with standard varieties. Genotypes with higher levels of C18:1 were obtained via induced mutagenesis or they were selected as spontaneous mutants from flax and linseed genetic resources. Genotypes with 1-2% C18:3 and up to 35% C18:1 were obtained. Recently, genotypes with even higher C18:1 levels, i.e. up

<sup>1</sup> AGRITEC, Research, Breeding and Services Ltd, Zemedelska Str. 16, CZ-787 01 ŠUMPERK

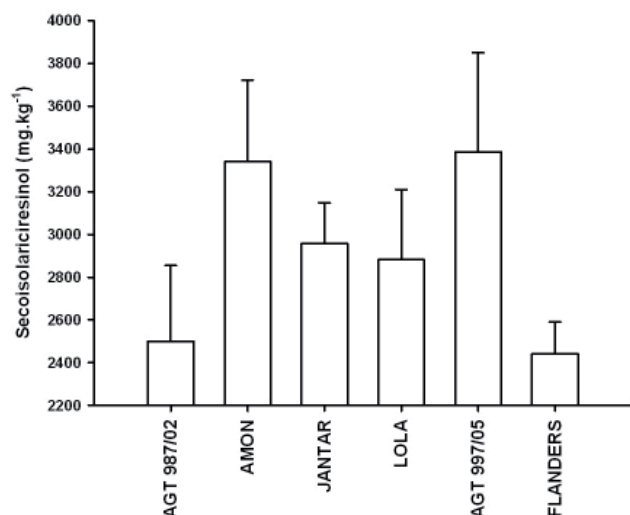
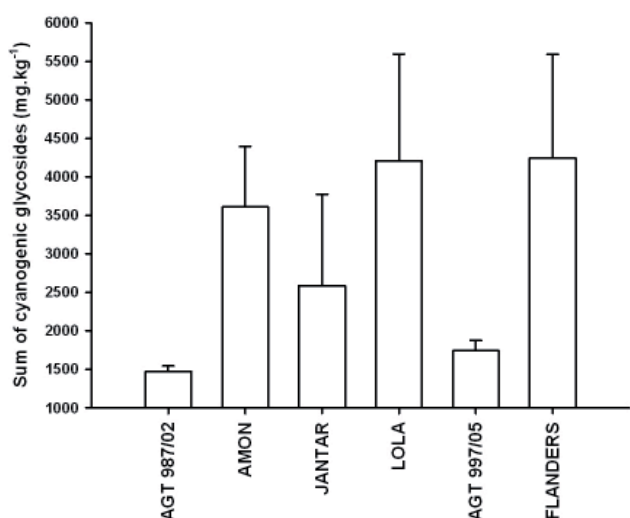
\* Ansprechpartner: Martin PAVELEK, pavelek@agritec.cz

**Table 1: Characterization of linseed varieties registered in the Czech Republic and new breeding lines in the official registration trials 2009**

Genotype	YLD <sup>1</sup>	FAT	FYD	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	MAT
Lola	2.64	43.2	999.8	6.46	2.63	14.20	71.54	3.69	131
Flanders	2.53	45.9	1016.8	4.71	3.66	17.62	15.29	56.73	129
Amon	2.48	45.0	971.6	6.20	3.66	15.51	71.26	1.86	132
Jantar	2.32	44.3	901.4	5.88	3.94	16.63	70.23	1.82	133
AGT 997/05	2.47	42.8	931.4	5.80	3.79	16.71	40.09	32.08	131
AGT 981/05	2.46	44.4	958.6	6.21	3.59	17.58	69.22	1.97	129
AGT 987/02	2.45	41.5	868.8	6.16	3.84	18.21	64.43	5.87	130
LSD <sub>0.05</sub>	0.32	3.0	132.0	0.10	0.19	1.05	1.39	1.23	2

<sup>1</sup> YLD, seed yield (t ha<sup>-1</sup>); FAT, fat content (%); FYD, fat yield (kg ha<sup>-1</sup>); MAT, vegetation period from sowing to maturity (d); content of fatty acids (%): C16:0, palmitic acid; C18:0, stearic acid; C18:1, oleic acid; C18:2, linoleic acid; C18:3, linolenic acid

to 46%, were detected, however, their C18:3 level reaches 33%. This breeding effort was positively influenced by a shift in the cultivation area from flax to linseed. The first two linseed varieties of Czech origin, Jantar (Sempra) and Amon (Agritec), were released in 2006 and 2007, respectively. Before linseed cultivation was dominated by the Dutch varieties Flanders and Lola (Limagrain Advanta).

**Figure 1: Content of SECO in linseed varieties and breeding lines****Figure 2: Content of cyanogenic glycosides in linseed varieties and breeding lines**

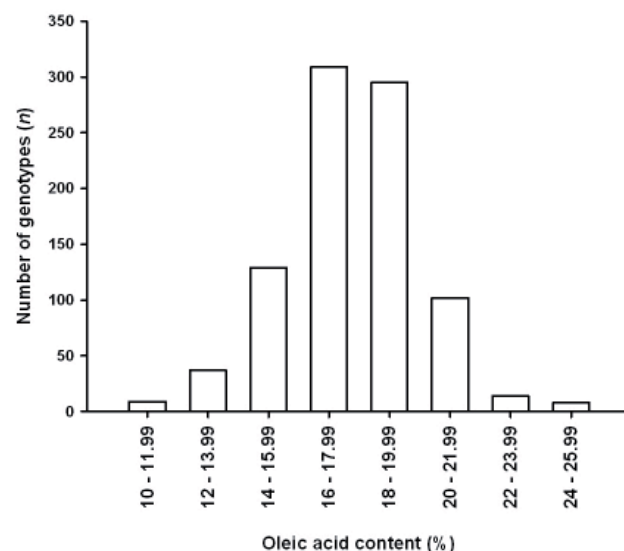
In 2010 the LLN, yellow seeded Agritec line Allan received plant variety protection. The characteristics of check varieties, recently released varieties and new LLN breeding lines (AGT 997/05, AGT 987/02) are presented in *Table 1*. Linolenic acid is beneficial in human diet, however, it is unstable and reduces oil durability. Hence, a decreased amount is necessary in linseed genotypes bred for edible (cooking) oil production.

### Phytoestrogens

In the Czech linseed breeding programme attention is also turned on the increase of phytoestrogens and a decrease of cyanogenic glycosides (CG). The most known phytoestrogen is secoisolaricresinol (SECO). During its enzymatic disintegration lignans are created which can have positive antioxidant influence in human organisms (TOURÉ and XU 2010). Therefore, the increase of phytoestrogens in linseed is highly desirable for the food use of linseed. In the Czech breeding programme the new breeding line AGT 997/05 demonstrated an increased SECO content comparable to variety Amon (*Figure 1*).

### Cyanogenic glycosides

High content of CG (linustatin, neolinustatin and linamarin) is undesirable due to their metabolic disintegration to

**Figure 3: Variation in oleic acid content among accessions of the Czech flax and linseed collection**

**Table 2: Fatty acid composition of 15 selected genotypes from the Czech flax and linseed collection with higher oleic acid content (location Šumperk)**

Accession number	Accession name	C16:0	C18:0	Fatty acid content (%)		
				C18:1	C18:2	C18:3
2-583	Sziciliai olajlen	6.5	3.9	21.5	16.8	51.3
2-538	I-9	5.8	3.0	21.6	15.1	54.6
2-580	Madéfalvai kékvirágu	5.4	2.6	21.6	14.8	55.6
2-399	CI 1235	6.1	3.9	21.7	12.3	56.0
2-535	Vajžgantas	4.8	2.8	21.7	20.9	49.7
2-438	Rabat 0196-20	6.0	4.1	21.8	15.7	52.5
2-568	Omega	6.1	3.1	21.9	15.3	53.5
2-470	La Prevision	6.2	4.2	22.1	14.8	52.7
2-595	V-1-530	6.2	3.8	22.1	15.5	52.4
2-437	Rabat 01-1	5.7	3.6	22.2	14.5	53.9
2-567	Masličnyj	5.6	2.6	22.3	14.6	54.9
2-617	O/228	5.6	3.1	23.0	16.3	52.1
2-449	Rabat 03-2	6.2	3.8	23.6	16.1	50.2
2-424	CI 1235	5.9	4.3	24.0	12.7	53.1
2-380	LCSD-210	4.7	2.2	25.7	14.7	52.8

**Table 3: Fatty acid composition of 14 selected genotypes from the Czech flax and linseed collection with higher oleic acid content (location Vykrovice)**

Accession number	Accession name	C16:0	C18:0	Fatty acid content (%)		
				C18:1	C18:2	C18:3
2-601	Madarsky olejny	5.5	2.7	26.3	12.6	52.8
2-610	Minuano	6.0	4.6	26.3	13.4	49.6
	Liflora	4.7	3.5	26.2	13.9	51.6
2-605	Attana ZZOB	5.4	2.8	26.4	16.2	49.3
2-540	Udzan	6.3	4.1	26.6	15.7	47.3
2-617	O/228	5.9	3.2	26.6	15.8	48.5
2-399	CI 1235	6.7	5.6	27.0	12.4	48.4
2-670	P-255	5.4	3.0	27.1	14.0	50.5
2-657	Barradas Benafin	6.7	4.6	27.4	13.3	48.0
2-616	O/226	5.3	2.9	27.7	15.0	49.1
2-676	VNII-6	5.4	4.7	28.3	16.5	45.1
2-471	Royal	6.8	4.8	28.9	14.4	45.0
2-474	Liral Crown	6.6	5.0	28.9	14.0	45.6
2-470	La Prevision	6.3	5.5	30.0	13.9	44.3

hydrogen cyanide which is toxic for organisms. Therefore, linseed varieties with lower levels of CG are more useful for the feeding industry. *Figure 2* demonstrates the content of CG (sum of all three above mentioned CG) in registered varieties and new Agritec (AGT) breeding lines.

### Oleic acid

In 2007 a screening of the Czech flax and linseed collection was started in order to find genotypes with higher contents of oleic fatty acid (C18:1). The study revealed a broad genotypic variation in the C18:1 content (*Figure 3*). Genotypes with higher contents of oleic acid were identified (*Table 2* and *3*).

### Conclusion

The recently released Czech linseed varieties Jantar and Amon are comparable to the LLN standard variety Lola and, therefore, their primarily end use is in food industry. The new Agritec breeding line AGT 997/05 represents a completely new quality type given by the medium con-

tent of both linoleic and linolenic fatty acid. Based on the 2008-2010 results in the national VCU trials this line was registered for growing in 2011 in the Czech Republic under the name Raciol.

### Acknowledgement

This research was financially supported by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic (ME CR, grants No. MSM 2678424601 and No.2B06087).

### References

- BHATTY RS, ROWLAND GG, 1990: Measurement of  $\alpha$ -linolenic acid in the development of edible oil flax. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 67, 364-367.
- TEJKLOVÁ E, 1995: Induced mutagenesis in flax (*Linum usitatissimum* L.). In: Breeding for fibre and oil quality, Proc. 3<sup>rd</sup> Meeting of the International Flax Breeding Research Group, 7-8 Nov., St. Valéry en Caux, France, 42-50.
- TOURÉ A, XU XM, 2010: Flaxseed lignans: source, biosynthesis, metabolism, antioxidant activity, bio-active components, and health benefits. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 9, 261-269.





## Neueste Entwicklungen in der Resistenzbestimmung von Getreide und Mais: Nachweis der DNA als Schlüssel zur präzisen Messung von *Fusarium*-Befall

### Latest developments for the determination of cereal and maize resistance to fungal infection: Quantification of DNA as the key for precise measurement of *Fusarium* infection

Kurt Brunner<sup>1\*</sup>, Viktoria Preiser<sup>1</sup>, Andreas Farnleitner<sup>2</sup> und Robert L. Mach<sup>2</sup>

#### Abstract

The fungal plant pathogen *Fusarium* infects worldwide cereals and maize and causes severe damages. Infected grain is of reduced kernel weight and frequently contains toxic compounds produced by the fungus. Resistance breeding is considered as the most promising approach to fight this pathogen. However, the determination of resistance of new lines to *Fusarium* might not always be simple, often disease symptoms are not obvious. The quantification of *Fusarium* DNA by real-time PCR allows a precise determination of the grade of infection. This method measures the fungal biomass based on the specific fingerprint of only toxin producing *Fusarium* species whereas atoxigenic strains do not influence the measurement. Due to a co-determination of plant DNA the results can be given as simple infection-percent. The quantification of infection by PCR is an inexpensive and highly sensitive method to monitor *Fusarium* infection scenarios.

#### Keywords

*Fusarium*, mycotoxin, quantitative PCR, real-time PCR, tritiale, *Triticum*, *Zea mays*

#### Einleitung

Der pflanzenpathogene Pilz *Fusarium* befällt Getreide und Mais und verursacht dadurch erhebliche Ertragseinbußen. Vermindertes Korngewicht, und vor allem die Belastung des Korns mit toxischen Substanzen (Mycotoxinen) reduzieren die Qualität des Ernteguts drastisch. Die Infektionen durch *Fusarium* werden durch feuchte Witterung, reduzierte Bodenbearbeitung und durch ungünstige Fruchtfolgen noch verstärkt. Obwohl die Resistenzzüchtung von Weizen und Mais im Laufe des letzten Jahrzehntes bedeutende Fort-

schritte gemacht hat, sind hochresistente Sorten immer noch kaum am Markt erhältlich. Die Bewertung der *Fusarium* Resistenz von neuen Züchtungen erfolgt meist durch künstliche Infektion mittels Sprayinokulation oder über den natürlichen Infektionsweg unter erhöhtem Infektionsdruck durch das Ausbringen von Maisstopplern oder befallenen Maiskörnern. Die Bestimmung des Befallsgrades wird meist durch visuelle Bonitur nachgewiesen und oft wird zusätzlich der Mycotoxingehalt im geernteten Korn analysiert. Die visuelle Bestimmung des Infektionsgrades gestaltet sich oft schwierig, da Symptome nicht immer deutlich sichtbar sind und eine umfassende Analyse des Mycotoxingehalt im Korn ist mit hohen Kosten verbunden.

Einen neuen Weg zur Bestimmung des Befallsgrades in einer Pflanze oder in geerntetem Korn beschreitet die quantitative PCR (auch real-time PCR) von *Fusarium* (REISCHER et al. 2004, WAALWIJK et al. 2004, YLI-MATTILA et al. 2008, BRUNNER et al. 2009). Mit dieser Methode können toxinbildende *Fusarium*-Stämme eindeutig anhand ihres genetischen Fingerabdrucks nachgewiesen und auch quantitativ erfasst werden. Diese Art der Bestimmung ist einerseits sehr selektiv, d.h. sie wird durch die Anwesenheit anderer Pilze nicht beeinflusst und andererseits zeigt die quantitative PCR eine überaus hohe Sensitivität. Selbst kleinste Pilzmengen können so zuverlässig gemessen werden. Diese Technik erlaubt einen sehr hohen Probendurchsatz und ist daher sehr kostengünstig. Damit die Aussagen über den *Fusarium*-Befall jedoch ausreichend zuverlässig werden, ist eine aufwändige Optimierung der gesamten Analyseprozedur unerlässlich. An der Technischen Universität Wien wurde eine Methode entwickelt, die künftig schnelle und kostengünstige PCR basierte Analytik der *Fusarium*-Menge in Proben mit hoher Genauigkeit erlaubt und diese Methode wurde bereits für Weizen, Durum, Triticale und Mais in zahlreichen praxisnahen Tests eingesetzt und die Resultate anhand visueller Bonitur und Toxinmessungen evaluiert.

<sup>1</sup> Technische Universität Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften am IFA-Tulln, Analytikzentrum, Konrad-Lorenz Straße 20, A-3430 TULLN

<sup>2</sup> Technische Universität Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, Gumpendorfer Straße 1a, A-1060 WIEN

\* Ansprechpartner: Kurt BRUNNER, kurt.brunner@tuwien.ac.at

## Material und Methoden

### Probenvorbereitung

Zur Bestimmung der Pilzmenge in einer Probe - meist geerntetes Korn, seltener grüne Pflanzenteile - muss die gesamte DNA möglichst vollständig und rein isoliert werden. Der Vergleich verschiedener DNA Extraktionsmethoden zeigte, dass ein validiertes Protokoll der Europäischen Referenzlaboratorien optimale Resultate liefert (EUROPEAN COMMISSION 2007). Diese Methode isoliert einerseits sehr große Mengen an DNA, sodass für alle Messungen verdünnt werden musste, und erreicht andererseits einen so hohen Reinheitsgrad, sodass keine weitere Aufreinigung nötig ist.

### Referenzsystem zur Erhöhung der Analysegenauigkeit

In frühen Publikationen zur quantitativen PCR von *Fusarium* wurde die DNA Menge bestimmt und auf die eingesetzte Probenmenge bezogen. Diese Auswertemethode führt aber dazu, dass Ergebnisse verschiedener Studien kaum miteinander vergleichbar sind, da das Resultat wesentlich von der Effizienz der eingesetzten DNA Extraktionsmethode abhängt. Um diese Effekte zu kompensieren wurde an der TU Wien ein Referenzsystem entwickelt. Zusätzlich zur *Fusarium*-DNA wird auch die Menge der extrahierten Pflanzen-DNA mitgemessen. Durch den Bezug der Pilz-DNA auf die gesamte isolierte DNA kann somit ein zuverlässiger Wert für die Infektion in Prozent angegeben werden. Ein Prozent Infektion bedeutet dabei, dass ein Prozent der gesamten DNA in einer Probe von *Fusarium* stammt. Die Berechnung des Infektionsgrades in Prozent erfolgt durch die Doppelbestimmung von Pilz-DNA und Pflanzen-DNA entsprechend

$$\text{Infektion in \%} = \frac{\text{Fusarium DNA}}{\text{gesamte extrahierte DNA}} \times 100$$

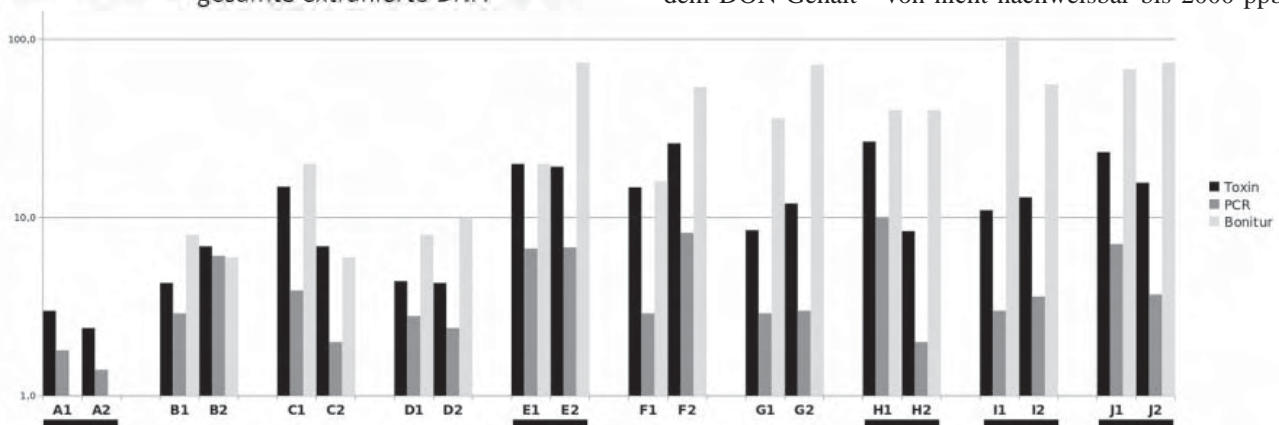


Abbildung 1: Mykotoxingehalt (ppm), Infektionsprozent für die PCR bzw. visuelle Bonitur (area under disease progress curve) von 10 Weizenlinien (A-J) nach Inokulation mit *F. graminearum*. Nachgestellte Zahlen 1 und 2 repräsentieren zwei Feldwiederholungen; schwarz unterstrichene Proben zeigen starke Abweichungen der visuellen Bonitur vom Trend der PCR Ergebnisse und der Toxinmessung

Figure 1: Mycotoxin content (ppm), infection level (%) determined by PCR, and scores for repeated visual evaluation of symptoms (AUDPC, area under disease progress curve) of 10 wheat genotypes (A-J) after inoculation with *F. graminearum*. Appended 1 and 2 represent two field trial replications; black underlined samples showed significant differences between visual symptom evaluation and results from PCR and toxin measurements

wobei die gesamte extrahierte DNA die Summe aus *Fusarium* DNA und Weizen bzw. Mais DNA ist.

## Ergebnisse

### Anwendungen in der Praxis

Die PCR Methode zur Messung der *Fusarium*-Infektion von Erntegut hat ein breites Einsatzspektrum. An der TU Wien wurde diese Technologie bereits zur Bestimmung der Effizienz von Fungiziden angewendet, zur Untersuchung der Auswirkungen von verschiedenen Fruchtfolgen auf den *Fusarium*-Befall und zur Evaluierung unterschiedlicher Bodenbearbeitungsmethoden. Das zentrale Einsatzgebiet dieser Technologie liegt jedoch in der Resistenzbestimmung von neuen Getreide- und Maisszüchtungen. Durch die Quantifizierung der Pilz-DNA ist es erstmals möglich, die Menge an *Fusarium* zu erfassen, die sich während der Infektion bildet und zum Abbau des Pflanzenmaterials führt sowie zur Produktion von Mykotoxinen. In zwei Versuchen über jeweils zwei Jahre wurden die Zusammenhänge zwischen visueller Bonitur, Mykotoxingehalt und PCR Resultat bei Weizen sowie der Zusammenhang zwischen Toxinmenge und PCR Ergebnis bei Mais untersucht. Dabei zeigte sich, dass eine grundsätzlich gute Korrelation zwischen den Mykotoxinen und der PCR-bestimmten Pilzmenge gibt, jedoch einzelne Proben oft stark abweichen können. Bei sehr resistenten Weizenlinien war die visuelle Bonitur besonders fehleranfällig und wich von den beiden anderen Methoden teils wesentlich ab (Abbildung 1). Für alle der hier untersuchten Proben korreliert die PCR bestimmte Infektion mit der Toxinmessung für die Feldwiederholungen nahezu perfekt, die visuelle Bonitur zeigt jedoch für die Hälfte der Proben deutlich andere Resultate.

Eine weitere Studie an Mais zeigte wiederum die erwartete gute Korrelation zwischen Toxinwerten und der Infektion (Abbildung 2). Die einzelnen Proben sind nach ansteigendem DON-Gehalt - von nicht nachweisbar bis 2000 ppb

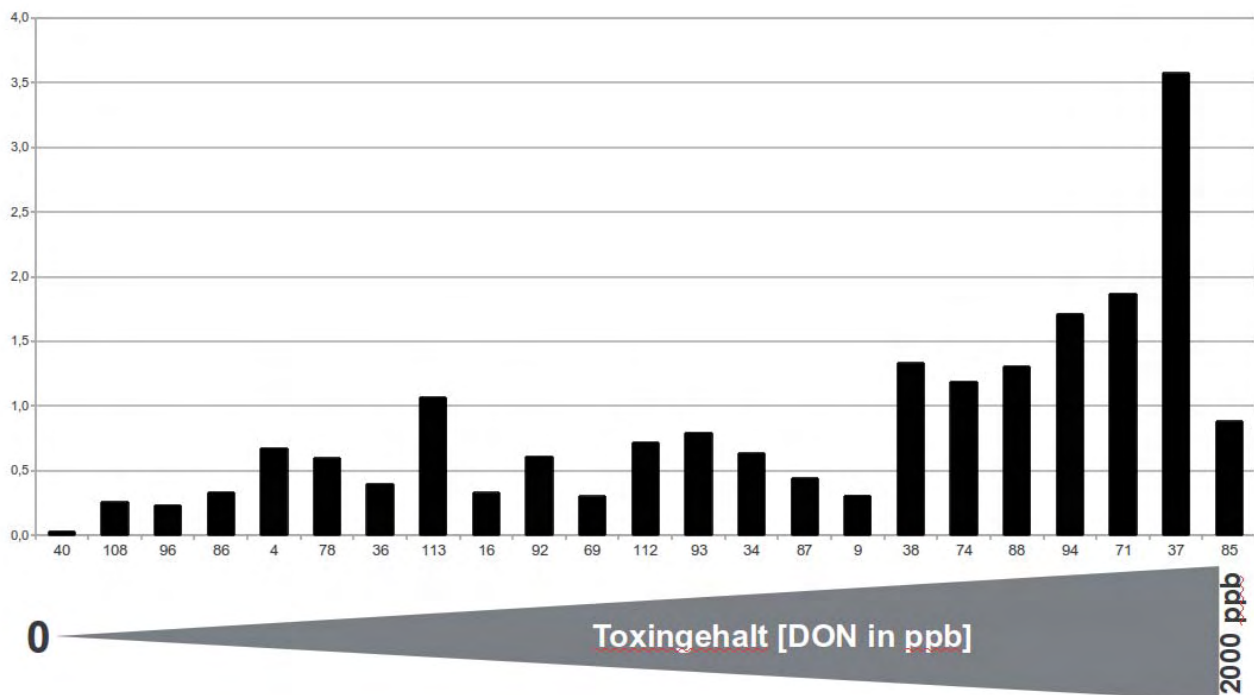


Abbildung 2: Infektionsprozent für die PCR von Maisproben (angeordnet nach steigendem DON-Gehalt). Einige Proben (113, 37) zeigen wesentlich mehr *Fusarium* Biomasse als aufgrund des Toxingehaltes zu erwarten wäre, andere wiederum sind weniger stark infiziert, bilden aber unverhältnismäßig große Mengen an Toxin (9, 85)

Figure 2: Infection level (%) determined by PCR of maize samples (arranged by ascending mycotoxin (DON) content). Some samples, e.g. 113 and 37, show significant more *Fusarium* biomass than expected due to their mycotoxin content, whereas other samples are less infected but exhibited relatively high mycotoxin contents, e.g. 9 and 85

- angeordnet. Da es sich bei diesen Proben um natürlich infizierten Mais handelt, kann der Unterschied zwischen der festgestellten Infektion und dem Toxinwert deutlicher ausfallen als in den oben präsentierten Weizenproben mit künstlicher Inokulation. Besonders toxische *Fusarium*-Isolate können zu sehr hohem Toxingehalt bei nur mäßiger Infektion führen.

## Zusammenfassung

Die Bestimmung der Infektion mittels quantitativer PCR ist die genaueste Methode zur Messung des *Fusarium*-Infektionsgrades. Etablierte Methoden wie die visuelle Bonitur oder die Bestimmung der Mykotoxine stellen nur indirekte Verfahren dar, um die Resistenz einer neuen Züchtung zu evaluieren. Zu oft weicht das beobachtete Schadbild oder auch die gemessenen Toxine von der tatsächlichen Menge an Pilz in einer Probe ab.

Die Technische Universität Wien hat im Laufe der letzten Jahre zahlreiche Testsysteme für *Fusarium* entwickelt, die sowohl speziesspezifisch (nur *F. graminearum*) oder toxinspezifisch (Trichothecebildner oder Fumonisinbildner) die Pilze in unterschiedlichen Proben wie Weizen, Durum, Triticale oder Mais nachweisen können. Weitere Details zu den bestehenden Messmethoden und Anwendungsgebieten sind online abrufbar (<http://www.biotrac.at>).

## Literatur

- BRUNNER K, KOVALSKY-PARIS MP, PAOLINO G, BÜRSTMAYR H, LEMMENS M, BERTHILLER F, SCHUHMACHER R, KRŠKA R, MACH RL, 2009: A reference-gene-based quantitative PCR method as a tool to determine *Fusarium* resistance in wheat. *Anal. Bioanal. Chem.* 395, 1385-1394.
- EUROPEAN COMMISSION, 2007: Maize seeds sampling and DNA extraction. Report on the validation of a DNA extraction method from maize seeds. EC Directorate-General Joint Research Centre, Community Reference Laboratory for GM Food and Feed, Ispra, Italy. [Available online: [http://gmo-crl.jrc.ec.europa.eu/summaries/MIR604\\_DNAExtr.pdf](http://gmo-crl.jrc.ec.europa.eu/summaries/MIR604_DNAExtr.pdf); accessed 13 Jan 2011]
- REISCHER GH, LEMMENS M, FARNLEITNER AH, ADLER A, MACH RL, 2004: Quantification of *Fusarium graminearum* in infected wheat by species specific real-time PCR applying a TaqMan probe. *J. Microbiol. Meth.* 59, 141-146.
- WAALWIJK C, VAN DER HEIDE R, DE VRIES I, VAN DER LEE T, SCHOEN C, CORAINVILLE GC, HÄUSLER-HAHN I, KASTLEIN P, KÖHL J, LONNET P, DEMARQUET T, KEMA GHJ, 2004: Quantitative detection of *Fusarium* in wheat using TaqMan. *Eur. J. Plant Pathol.* 110, 481-494.
- YLI-MATTILA T, PAAVANEN-HUHTALA S, JESTOI M, PARIKKA P, HIETANIEMI V, GAGKAEVA T, SARLIN T, HAIKARA A, LAAKSONEN S, RIZZO A, 2008: Real-time PCR detection and quantification of *Fusarium poae*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides* and *F. langsethiae* in cereal grains in Finland and Russia. *Arch. Phytopathol. Plant Prot.* 41, 243-260.



## Wheat under environmental stress: experiments with 25 elite genotypes within the CORNET network

János Pauk<sup>1\*</sup>, Robert Mihály<sup>1</sup>, Csaba Lantos<sup>1</sup>, Clemens Flamm<sup>2</sup>, Barbara Teizer<sup>3</sup>,  
Elisabeth Zechner<sup>3</sup>, Maren Livaja<sup>4</sup>, Michael Schmolke<sup>4</sup>, László Cseuz<sup>1</sup> and Szabolcs Ruthner<sup>5</sup>

### Abstract

German, Austrian and Hungarian wheat breeders and producers established a core set of 25 varieties (incl. 2 hybrid varieties) of winter wheat for testing and evaluation under different environments at 11 locations in the three countries in 2010. Different phenotypic data (heading date, grain yield, Hagberg falling number, wet gluten content, thousand kernel weight) were collected and evaluated. Hybrid variety Hyland showed high grain yield with good adaptability to humid conditions. Smallest changing of thousand kernel weights were observed for GK Petur, Hyland and Tacitus. Concerning quality traits Hyland was inferior to a lot of tested varieties. Hagberg falling number was well balanced when values were collected from 11 locations, but under extra Hungarian condition the differences were bigger. In Hungary highest values of falling number and wet gluten content were recorded for JB Asano, Element, Capo and GK Csongrád, and Exklusiv, Capo, Bitop and GK Békés, respectively. The presented and discussed results will be integrated in wheat improvement and the second year of the CORNET research programme „Wheat Stress“.

### Keywords

Drought, quality, stress, *Triticum aestivum*, yield

### Introduction

Crop plants have developed a number of strategies to survive with periods of moderate to severe drought. These include escape strategies such as early flowering, avoidance such as deep rooting, enhanced water-uptake efficiency or reduced water loss, as well as tolerance mechanisms that include maintenance of root growth under water limitation, the accumulation of osmotically active substances, antioxidants, and proteins that protect other protein (complexes) or membrane systems in root and shoot (BLUM 1996, INGRAM and BARTELS 1996, CHAVES et al. 2003, CONDON et al. 2004, MOLNÁR et al. 2004). There is an ongoing debate whether the exploitation of avoidance or tolerance mechanisms should be in the focus of plant breeding programs. However, it seems that exploitation of tolerance mechanisms

may be more promising for the stabilization of crop yield under severe drought conditions as encountered in Near-East or African countries, as well as in Australia, although the corresponding adapted breeding material might have a lower yield potential (ARAUS et al. 2002).

High temperature and precipitation deficiency are extreme weather conditions that occur the most frequently in the Carpathian Basin and which have maximum influence on crop production. Responses to changes in climatic factors are fundamentally influenced by the genetically determined tolerance of the plants and the extent to which they are hardened against the given stress. The former can be altered by means of breeding, while the latter can be influenced by production technology. Abiotic stress research has a long history. Knowledge has been acquired on various plant defence mechanisms and their physiological background, and on the extent of genetic variability within the species, particularly in the case of drought tolerance. Nevertheless, only limited success has been achieved in incorporating traits associated with drought and heat tolerance into commercial varieties (BLUM 2005, CHAERLE et al. 2005, MARDEH et al. 2005, HU et al. 2006). This can be attributed to various factors. On the one hand, these types of stress may occur either separately or together in the course of the growing period, they may appear in various forms, and they may induce various stress responses in different stages of plant development, thus complicating simultaneous breeding for various types of drought and heat stress tolerance. On the other hand, although genetic, physiological and molecular biological analyses have already revealed many facets of these complex processes, no real breakthrough has yet been achieved in the development of molecular markers that could accelerate breeding or in the elaboration of specific biotechnological techniques.

### Material and methods

#### *Plant material*

In total 25 genotypes were selected to test the adaptability of winter wheat genotypes in three countries at 11 locations (6 Germany, 3 Austria, 2 Hungary). The nursery comprised 2 German hybrid varieties (i.e. Hybred and Hyland) and

<sup>1</sup> Department of Biotechnology, Cereal Research Non-Profit Company, P.O.Box 391, H-6701 SZEGED

<sup>2</sup> Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Institut für Sortenwesen, Spargelfeldstraße 191, A-1220 WIEN

<sup>3</sup> Saatsucht Edelhof, Edelhof 1, A-3910 ZWETTL

<sup>4</sup> Technische Universität München, Center of Life and Food Sciences Weihenstephan, Emil Ramann Str. 4, D-85354 FREISING

<sup>5</sup> Hungarian Seed Association, Ábel Jenő Str. 4/b, H-1113 BUDAPEST

\* Correspondence: János PAUK, janos.pauk@gk-szeged.hu

23 traditional line varieties from Germany (i.e. Brilliant, JB Asano, Pegassos and Tiger), Austria (i.e. Bitop, Capo, Eurofit, Eurojet, Element, Exklusiv, Komárom, Midas and Tacitus), Hungary (i.e. GK Békés, GK Csongrád, GK Hunyad, GK Fény, GK Kalász, GK Petur, GK Rába and GK Szala), United Kingdom (i.e. Robigus) and France (i.e. Premio).

### Experimental conditions

German field trials were conducted at 6 locations in 3 replications with a plot size between 5 and 9 m<sup>2</sup>. Field trials were sown between 6 and 29 October 2009 with a sowing density of 350 grains m<sup>-2</sup>. Pre-crops were spring barley, sugar beet, winter rapeseed, and oats. All 25 varieties developed well after winter but lodging was recorded at Roggenstein, Uffenheim, and Feldkirchen. In Morgenrot, 2 replications were damaged by wild pigs, partially up to 95%. With exception of Morgenrot, fungicide treatment (1-1.25 l ha<sup>-1</sup>) was performed once at each location. Nitrogen was applied in total from 120 to 221 kg N ha<sup>-1</sup> on each location divided into three and four doses, respectively. The field trials were harvested between 8 and 21 August 2010; the harvested plot size varied between 4.5 and 6 m<sup>2</sup>.

In Austria the experiments were carried out at three locations in the Pannonian region (i.e. Breitstetten, Tattendorf and St. Andrä). In Tattendorf and Breitstetten the nursery was established in an irrigated and rainfed trial. The experimental design was a randomized lattice design with three replications. Plot size varied from 8.0 to 13.5 m<sup>2</sup>. Pre-crops were sorghum, rye and potato, respectively. Nitrogen application ranged in total from 129 to 140 kg N ha<sup>-1</sup> on each location divided into two and three doses. The precipitation in the Austrian trials was extremely above average (66% above the long-term precipitation from April until 21 July). The trials were harvested between 15 and 23 July.

In Hungary two parallel (irrigated, natural) experiments were carried out in Szeged and in Kiszombor (25 km east of Szeged). One experiment was carried out to test the most important agronomic parameters (incl. grain yield). All experiments were planted as a lattice design with four replications. Plot size was 6.5 m<sup>2</sup> at both locations. Pre-crop was winter rapeseed. Nitrogen fertilization was 68 kg N ha<sup>-1</sup> applied as 200 kg of NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (34%) at both locations. The weather condition was extraordinary. From January until end of June the precipitation was 458.6 mm which is nearly equal with the previous whole year averages. Harvest was at 10 July.

### Traits

In this contribution the results of only five important agronomic traits, i.e. heading time, grain, yield, thousand kernel weight (TKW), Hagberg falling number and wet gluten content are demonstrated and discussed.

## Results

### Heading time

This is one of the most important information in connection with ecological requirements and maturation time of the genotypes. Based on the data three different groups were separated: (i) early (GK Csongrád, GK Békés, GK Fény, GK Kalász, GK Rába, GK Petur, Tacitus and GK Hunyad), (ii) medium (Element, Hyland, Bitop, GK Szala, Premio, JB Asano, Komárom, Midas, Tiger and Capo) and (iii) late (Pegassos, Eurofit, Eurojet, Hybred, Brilliant, Robigus and Exklusiv). Seven of the Hungarian varieties belong to the early type, while Austrian and German genotypes were predominantly found in the medium and late type group, as well as the French and English varieties. Hence, the Hungarian genotypes are significantly differing from the other genotypes in regard to this trait.

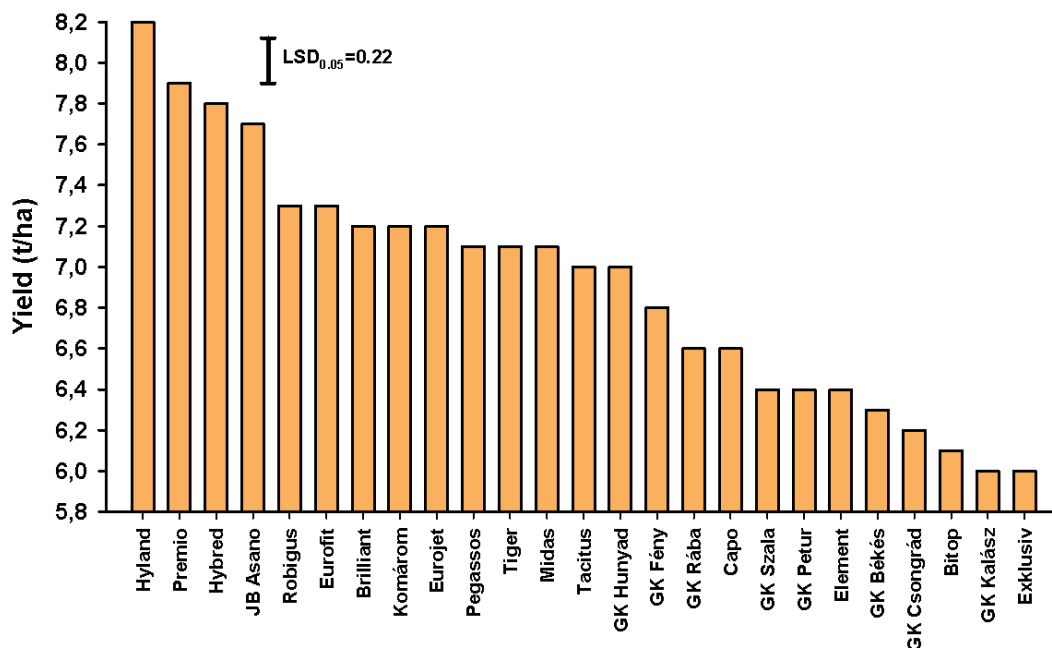


Figure 1: Mean grain yield (t ha<sup>-1</sup>) of the winter wheat core set over all 11 locations

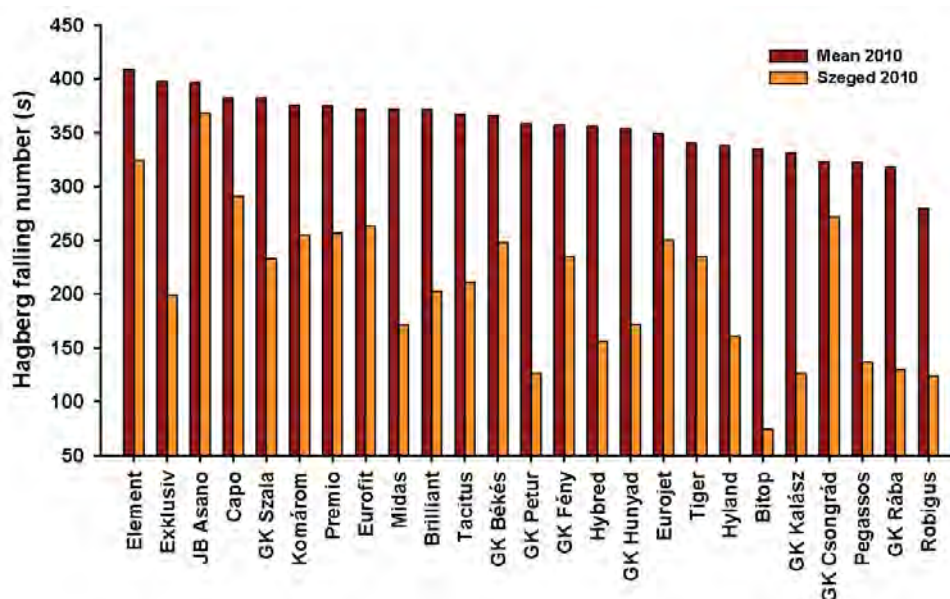


Figure 2: Hagberg falling number of the winter wheat core set in Szeged, Hungary, and overall mean values (11 locations in Austria, Germany and Hungary, respectively)

### Grain yield

Significant differences were obtained for grain yield among locations and genotypes. The total mean yield was  $6.93 \text{ t ha}^{-1}$ . Mean grain yield was highest in Germany with  $7.57 \text{ t ha}^{-1}$ , followed by Austria with  $6.75 \text{ t ha}^{-1}$  and Hungary with  $6.03 \text{ t ha}^{-1}$ . The wide range of yields ( $6$  to  $8.2 \text{ t ha}^{-1}$ ) demonstrates the wide genetic background of the genotypes. Based on the yield data seven significantly different groups were separated (Figure 1). The highest yield was produced by Hyland, one of the two German hybrid varieties. This genotype was the best in regard to grain yield in each country. The other hybrid achieved the third place after Premio.

### Falling number

The Falling number test does not directly measure amylase enzyme activity, but measures changes in the physical properties of the starch portion of the wheat kernel caused by these enzymes during the test. Values  $<250 \text{ s}$  indicate high levels of enzyme activity. In the past, cereal dealers have discounted wheat for falling number values  $<300 \text{ s}$ . Falling number values are also important for the international wheat market, as many buyers from export markets request minimum limits of  $250$  to  $350 \text{ s}$  in their contracts. The extreme wet and rainy year 2010 was responsible for low falling numbers even in Hungary. Altogether, only eight varieties

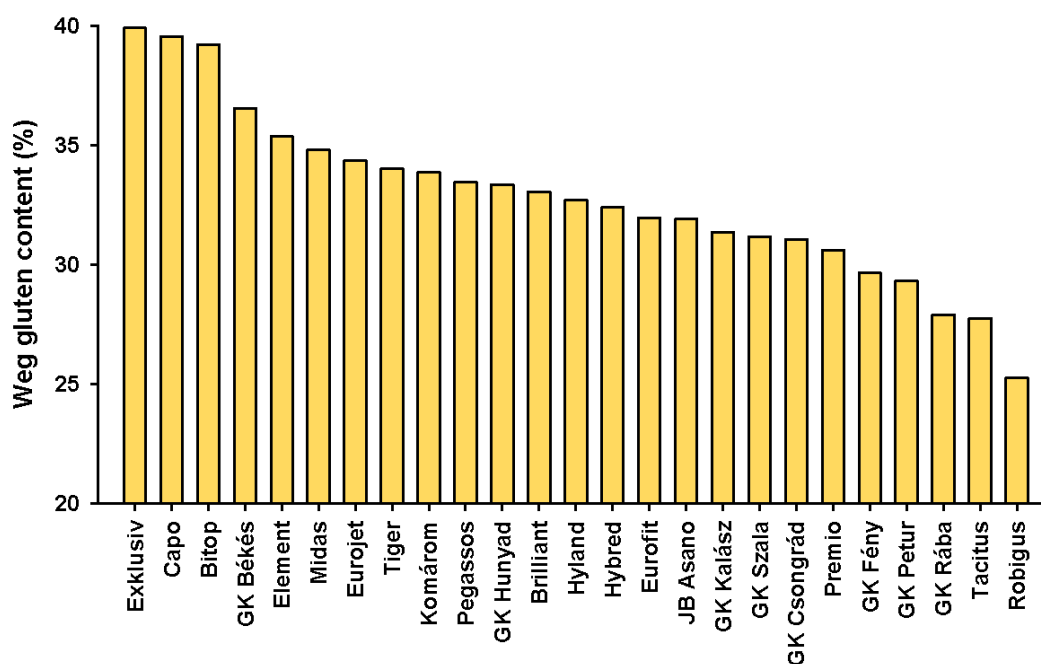


Figure 3: Wet gluten content (%) of the winter wheat core set measured by NIRS (irrigated trial, Szeged, Hungary)



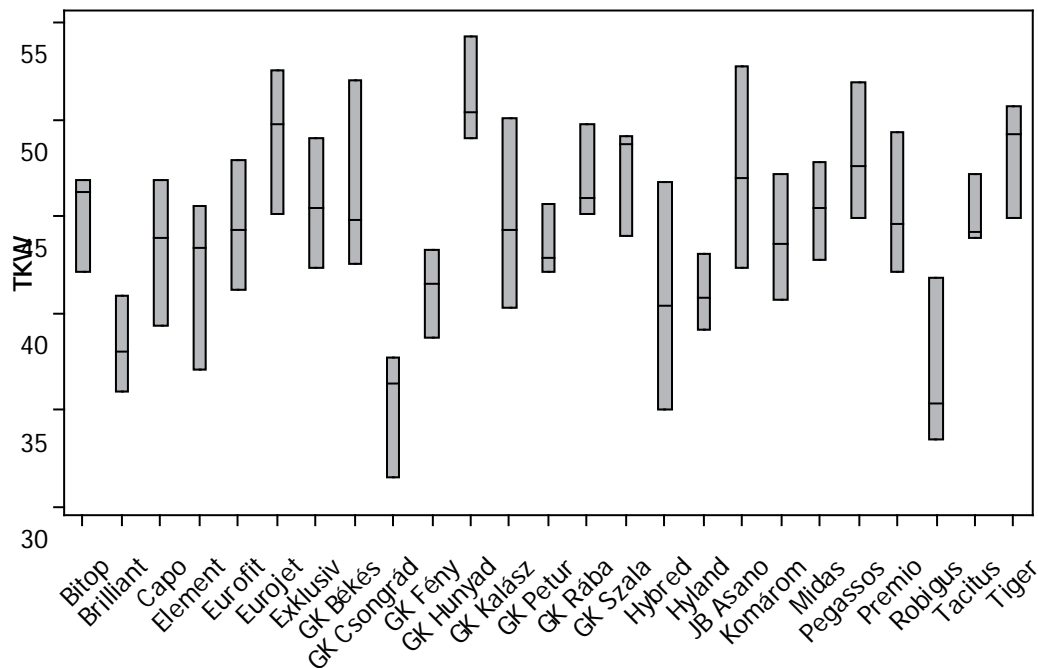


Figure 4: Changing of TKW based on the data of 11 locations. Area of the boxes shows the sensitivity (variance) of the genotypes. The most sensitive genotype has the biggest box, while the most adaptable genotype has the smallest box.

exceeded the value of 250 s in Hungary (Figure 2). Hagberg falling number was well balanced when values were collected from 11 locations, but under extra Hungarian condition the differences were bigger. In Hungary highest values of falling number were recorded for JB Asano, Element, Capo and GK Csongrád.

### Wet gluten content

Wet gluten is a visco-elastic proteinaceous substance obtained after washing out the starch granules from wheat flour dough. The quality of the resulting gluten is a considerable index of the wheat baking potential. The wet gluten content (%) measured by near-infrared spectroscopy (NIRS) from the irrigated experiment in Szeged, Hungary, is shown in Figure 3. The three varieties Exklusiv, Capo and Bitop have the highest rate. Most of the varieties belong to the 30 to 36 % group. Five varieties showed a wet gluten content below 30%.

### Thousand kernel weight

Changes in TKW is a good indicator of the sensitivity of genotypes to biotic and abiotic stresses. The statistical analysis revealed changing TKWs across locations. Small changes suggest adaptation to different field and weather conditions.

The smallest changes in TKW were observed for GK Petur, Hyland and Tacitus (Figure 4).

### Discussion

Drought is one of the most important stress factors. The plants response to drought is a complex mechanism including molecular, physiological changes which influence the morphology and phenology of whole plants (BLUM 1996, CHAVES et al. 2003, MOLNÁR et al. 2004, BLUM 2005,

2005, HU et al. 2006). Field experiment of 25 winter wheat varieties were carried out in Austria, Germany and Hungary at 11 locations. Five agronomic traits (heading time, grain yield, TKW, Hagberg falling number, wet gluten content) were evaluated to reveal the adaptability of the genotypes. Based on heading time the Hungarian genotypes separated from the others. This fact shows the different weather conditions of experimental stations. The Hungarian climate in the Carpathian Basin is favorably for early or medium types of winter wheat.

Grain yield is the most important parameter, farmers require drought tolerant varieties with high yield potential at good and bad production conditions (ARAUS et al. 2002). The experiments revealed Hyland, Premio, Hybred, JB Asano, Robigus, Eurofit, Brilliant, Komárom and Eurojet as genotypes with a high yield potential. In all three countries the highest grain yield was recorded for Hyland. The second hybrid variety, Hybred, was on the third place in regard to grain yield. Yield difference between hybrid and conventional line varieties was not as significant as known for other crop species, e.g. maize. Nevertheless, the results underline the importance of hybrid winter wheat breeding.

Not only high yield potential, but also good baking quality is essential for a variety. In this experiment Hagberg falling number and wet gluten content were measured. In case of falling number, the highest values were measured in Hungarian samples of JB Asano, Element, Capo, GK Csongrád, Eurofit, Premio, Komárom and Eurojet. Exklusiv, Capo, Bitop, GK Békés, Element, Midas, Eurojet, Tiger and Komárom reached the highest values in wet gluten content. The two hybrid varieties took place on the second part of the range concerning the two quality parameters.

Analysis of TKW revealed a presumably good adaption for GK Petur, Hyland and Tacitus. These trait is the key

to assure the competitiveness of a variety across different weather conditions. The data showed that Hyland has a high yield potential and a good adaptability. This combination of traits provided the first place of this genotype in each country. However, its quality was inferior to most of the tested genotypes.

The 2010 experiments represent only one-year results from the CORNET Wheat Stress winter wheat core set. For more correct results and conclusions the experiments of the second year have to be awaited.

## Acknowledgements

This project was framed by CORNET (Collective Research NETWORKing) and financed in Austria by FFG (Austrian Research Promotion Agency) and Saatgut Österreich. Thanks for the monetary support of 'CORNET\_6\_08\_WHEATSTR' project provided by the NKTH (National Office for Research and Technology No. OM-00887/2009).

## References

- ARAUS JL, SLAFER GA, REYNOLDS MP, ROYO C, 2002: Plant breeding and drought in C-3 cereals: What should we breed for? *Ann. Bot.* 89, 925-940.
- BLUM A, 1996: Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regul.* 20, 135-148.
- BLUM A, 2005: Drought resistance, water - use efficiency, and yield potential - are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Aust. J. Agric. Res.* 56, 1159-1168.
- CHAVES MM, MAROCO JP, PEREIRA JS, 2003: Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. *Funct. Plant Biol.* 30, 239-264.
- CHARLE L, SAIBO N, VAN DER STRAETEN D, 2005: Tuning the pores: towards engineering plants for improved water use efficiency. *Trends Biotechnol.* 23, 308-315.
- CONDON AG, RICHARDS RA, REBETZKE GJ, FARQUHAR GD, 2004: Breeding for high water-use efficiency. *J. Exp. Bot.* 55, 2447-2459.
- HU YC, SHAO HB, CHU LY, GANG W, 2006: Relationship between water use efficiency (WUE) and production of different wheat genotypes at soil water deficit. *Colloid Surface B* 53, 271-277.
- INGRAM J, BARTELS D, 1996: The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47, 377-403.
- MARDEH AS, AHMADI A, POUSTINI K, MOHAMMADI V, 2006: Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crop Res.* 98, 222-229.
- MOLNÁR I, GÁSPÁR L, SÁRVÁRI É, DULAI S, HOFFMANN B, MOLNÁR-LÁNG M, GALIBA G, 2004: Physiological and morphological responses to water stress in *Aegilops biuncialis* and *Triticum aestivum* genotypes with differing tolerance to drought. *Funct. Plant Biol.* 31, 1149-1159.



## Comparison of different approaches for the evaluation of response of winter wheat to drought

Pavλίna Hrstková<sup>1\*</sup>, Ludmila Holková<sup>1</sup>, Marie Hronková<sup>2</sup>, Eva Vlasáková<sup>3</sup> and Oldřich Chloupek<sup>1</sup>

### Abstract

Field experiments were carried out from 2006 to 2009 in order to identify winter wheat varieties with different performance under drought stress. A set of commonly grown varieties was tested in field trials at one location on two fields with different soil water availability. Selected genotypes were further studied using physiological and molecular methods. In particular the relative expression of dehydrin genes (*Wdhn13*), the level of endogenous abscisic acid, and carbon isotope discrimination as the indirect estimation of water use efficiency were studied.

### Key words

Abscisic acid, carbon isotope discrimination, dehydrin genes, drought tolerance, *Triticum aestivum*, yield

### Introduction

Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) is the most important crop in the Czech Republic. It covers more than half of the production area of cereals (2009: 793472 ha; mean yield 5.33 t.ha<sup>-1</sup>). In some areas, the productivity of this crop is heavily influenced by abiotic stresses, particularly by the lack of available water. In contrast to other regions, drought periods in Central Europe fluctuate and can induce rather sudden stress in some crucial stages of plant development. HLAVINKA et al. (2009) demonstrated that at least in some areas of the Czech Republic drought is one of the key causes of interannual yield variability and has a quantifiable negative effect even within more humid regions.

Winter wheat breeding programmes are commonly aimed at better performance of new varieties under water deficient conditions (CSEUZ et al. 2009). Selection for yield under stress-alleviated conditions appears to produce superior cultivars not only for optimum environments, but also for those characterised by frequently mild or moderate stress conditions (ARAUS et al. 2002). Selection under severe stress may gain genotypes with a better survival strategy than higher yield potential; the process is also complicated by large genotype by environment interactions. It is likely that selection under both optimal and a drought conditions represents the ideal approach to maintain favourable alleles for drought resistance and at the same time, to maximise

the selection response under favourable conditions (RICHARDS et al. 2007).

Water-use efficiency from an agronomic point of view can be defined as the yield of a harvested product achieved from the water made available to the crop. Therefore, yield depends on the amount of water used by the crop, the proportion of that water actually transpired by the crop, the efficiency with which this water is converted into biomass, and the harvest index (CONDON et al. 2004). All of these processes are genetically controlled (FOULKES et al. 2002). Many selection criteria based on morphological or physiological traits have been proposed to improve yield under drought, and a few of them have been even successfully used in breeding programmes (RICHARDS 1996, REYNOLDS et al. 2009). It was proven that the measuring of carbon isotope discrimination (ratio between <sup>13</sup>C and <sup>12</sup>C isotopes), due to its relation to photosynthetic gas exchange, can provide an indirect estimation of water-use efficiency (CONDON et al. 1993). REBETZKE et al. (2002) suggested this trait for the selection of genotypes with higher water-use efficiency, which should be positively correlated with higher production in dry environments.

A different approach exploits defensive mechanisms in plant cells regulated by *Cor/Lea* genes. A quantitative assessment of a *Cor/Lea* genes expression was proposed for the evaluation of genotypic sensitivity of barley to abiotic stresses (SURPRUNOVA et al. 2004). For wheat, the relationship between the expression of dehydrin genes and a tolerance to frost was found by OHNO et al. (2003), KOBAYASHI et al. (2004) and HOLKOVA et al. (2009). Abscisic acid (ABA) regulates plant growth and development and plays an important role in mediating stress responses including abiotic stresses (KOBAYASHI et al. 2008b). The endogenous ABA level increases rapidly in response to drought stress, which induces stomatal closure and reduces transpiration.

However, ABA accumulation might be at least partly repressed by higher water use and the resultant improvement of plant water status (WESTGATE et al. 1996). IKEGAMI et al. (2008) demonstrated that, as response to drought stress in *Arabidopsis thaliana*, ABA is synthesised mainly in the leaves and transported to the roots and the movement of ABA from leaves to roots is activated by a water deficit in the roots.

<sup>1</sup> Department of Crop Science, Breeding and Plant Medicine, Mendel University, Brno, Zemědělská 1, CZ-613 00 BRNO

<sup>2</sup> Biology Centre ASCR, v.v.i., Institute of Plant Molecular Biology, Branišovská 31/1160, CZ-370 05 ČESKÉ BUDĚJOVICE

<sup>3</sup> Crop Research Institute, Drnovská 507, CZ-161 06 PRAHA

\* Ansprechpartner: Pavλίna HRSTKOVÁ, hrstkova@mendelu.cz

## Materials and methods

### Field experiments

The effects of limited water availability on the grain yield of winter wheat were studied in field experiments in 2005/06, 2006/07, 2007/08 and 2008/09 growing seasons. The experiments were located in Žabčice, at the Field Research Station of the Mendel University, Brno (49°01' N, 16°37' E; 179 m a.s.l.). The selection of varieties was based on the official Czech trials for varietal recommendations. Some varieties listed in the common catalogue of varieties of agricultural plant species were also added, particularly those recommended as suitable for dry conditions by seed producers. The number of varieties varied from 41 to 47 (Table 1). The trials were performed simultaneously on two fields with different soil conditions. Field A was characterized by a heavy loamy soil with good water retention (gleyic fluvisol, 51% of clayey particles). Field B was on a drought prone sandy soil of chernozem type formed on a gravel terrace (20-28% of clayey particles). The long time (1961-1990) average annual temperature in Žabčice is 9.2°C and the average sum of annual precipitation is 480 mm. The chosen fields differed mostly in the water availability during vegetation: field A with high level of sub-soil water provided the plants with sufficient moisture even in the periods without rainfall. The water availability on sandy soil (field B) was restricted mainly from the stage of stem elongation to harvest. The data provided by the continuous monitoring of soil moisture (since 2008) confirmed the occurrence of water deficiency in sandy soils (data not shown).

The trial management followed the rules of experimental practice, fertilizer application and chemical treatments were adjusted according to growing conditions and disease occurrence. An incomplete block design (alpha-design) was used for randomisation within three (field A) or four (field B) replicated blocks. The harvest area per plot was 10.5 m<sup>2</sup>. The following traits were evaluated: number of ears per square meter, grain yield (kg.m<sup>2</sup>), specific grain weight (g.l<sup>-1</sup>) and thousand grain weight (g).

### Pot experiment

Six varieties were selected (Table 2) for a pot experiment with controlled watering. Plants were grown in pots (10 litres of soil, seven plants per pot, three replications) under optimal conditions until April and since then placed under a water-proof transparent shelter to avoid rain. Two regimes of watering were applied: optimal (75% of soil saturation) and dry (30% of soil saturation). Leaf samples for analyses were collected five times at different stages of plant development (stem elongation to ripening) which corresponded to 4, 11, 18, 25 and 39 days of drought treatment. We focused on the relative expression of dehydrin genes (*Wdhn13*), the level of endogenous abscisic acid, and carbon isotope discrimination. After harvest, the yield components such as number of ears, number of grains and the weight of grains were evaluated.

Transcription activity was evaluated as a normalized relative expression calculated with real-time PCR efficiency correlation according to the method of PFAFFL (2001) and RASMUSSEN (2001). The changes in the activity of both genes normalized to ubiquitin and relative to the expression at optimal growth conditions were calculated for each sample. The sample with the highest transcription level was taken as an inner calibrator. The relative expression level reached by this sample was determined as the absolute 1. All other samples were related to this calibrator.

Carbon <sup>13</sup>C isotope discrimination ( $\Delta^{13}\text{C}$ ) in leaves was measured with the isotope ratio mass spectrometer (Delta Plus XL, Thermo Finnigan, Bremen, Germany) and the elemental analyser NC 2100 (Thermoquest, Rodano, Italy). Endogenous ABA levels in leaves were determined by ELISA (ASCH 2000).

### Statistical analysis

The statistical analyses were carried out using Statistica vers. 8.0 software (StatSoft, Inc., Tulsa, USA). Relative performance of twelve varieties over eight environments (two fields in four crop seasons) was analysed by linear regression analysis. Standardised varietal means and  $1 + \beta_1$  values

Table 1: Yield components and specific weight in optimal and dry conditions

Character	Year	Varieties (n)	Field A (optimal)		Field B (dry)		Difference (%)
			Mean	Std.Dev.	Mean	Std.Dev.	
Yield (kg.m <sup>-2</sup> )	2006	41	8.6	0.7	4.8	0.6	-44.2
No ears m <sup>-2</sup>			639	81	572	87	-10.5
1000 seed weight (g)			42.5	2.8	35.7	3.1	-16.0
Specific weight (g.l <sup>-1</sup> )	2007	41	776	25	723	31	-6.8
Yield			8.2	0.5	2.6	0.3	-68.3
No ears m <sup>-2</sup>			695	113			
1000 seed weight	2008	46	42.2	3.1	35.2	2.6	-16.6
Specific weight			794	19	772	19	-2.8
Yield			9.4	0.4	3.1	0.4	-67.0
No ears m <sup>-2</sup>	2009	47	605	70	386	43	-36.2
1000 seed weight			45.2	3.9	36.8	3.1	-18.6
Specific weight			791	21	763	18	-3.5
Yield	2009	47	9.5	0.7	1.8	0.5	-80.7
No ears m <sup>-2</sup>			611	70	364	32	-40.4
1000 seed weight			47.5	3.8	40.3	3.4	-15.0
Specific weight			790	17	783	17	-0.9

were submitted to a biplot analysis as proposed by KEMPTON (1984).

## Results and discussion

### Field experiments

Mean yields on field A reached 8.6, 8.2, 9.4 and 9.5 kg.m<sup>-2</sup> (Table 1). Yields at the dry field B were much lower, i.e. 4.8, 2.6, 3.1 and 1.8 kg.m<sup>-2</sup>, respectively. Hence, yield reduction on field B was from 44 to 81%. Less severe reductions were detected for the number of ears per square meter (10-40%), grain weight (15-19%) and almost none for specific weight (1-7%). The most severe drought was observed in 2007 and 2009 with similar characteristics: almost no precipitation in April (2007: 4.4 mm; 2009: 3.6 mm), a very dry May (2007: 24.8 mm; 2009: 19.7 mm until 30 May).

The biplot (Figure 1) shows that Meritto, Dromos and Biscay were the highest-yielding varieties in all environments, while Ludwig and Venistar were the lowest yielding. Varieties Hedvika, Etela and Akteur seemed to be better adapted to more humid conditions, while Alacris and Arida showed better performance in dry conditions. Six varieties were selected to represent different kinds of behaviour. Their relative yields calculated as percentage of the corresponding trial mean yield are compared in Table 2. Variety Mulan was not tested in 2005/06, but in 2007 and 2008 year showed a similar responsive pattern as Meritto. Therefore, it was included in the pot experiment.

The aim of the variety trials was the detection of genotypes able to cope better with moderate drought stress. The environmental conditions of our field B represent a common situation in South Moravia, i.e. fertile soil which cannot hold water for a longer period of time. Therefore, yield depends on the amount of rainfall and particularly its distribution. Usually no problems with drought occur during autumn and winter time. In reality, early development of winter crops is often much better here than on heavier soils due to higher temperature and soil aeration. In spring, water deficiency caused by uneven distribution of rainfall and enhanced temperatures affects plants rather suddenly and results in severe reduction of fertile tillers, ear sizes, and numbers of grains

or grain weights depending on time of stress. FOULKES et al. (2002) stated that limited water availability mainly after flowering did not affect the number of ears per area, but individual grain weight and number of grains per ear were significantly decreased. More prolonged drought affected all yield components.

### Pot experiment

Results of yield traits of investigated varieties are presented in Table 3. Varieties Etela, Hedvika, Meritto and Mulan were similar in their reaction, i.e. extensive reduction of number of ears and grains followed by a substantial increase of grain size. Alacris showed similar reduction in ears and grains, but without compensation in grain size. Venistar produced the highest number of ears and grains together with a very low grain weight in both variants.

The differences in  $\Delta^{13}\text{C}$  levels in leaf biomass are given in Figure 2. Controls represent average discrimination in the optimum variant for all samples of each variety. In all varieties except Venistar,  $\Delta$  values distinctively decreased after 11 days of limited watering. This variety even under a normal watering regime showed lower  $\Delta^{13}\text{C}$  values in comparison with the others. The correlation coefficient between grain weight and the  $\Delta^{13}\text{C}$  level after 39 days of

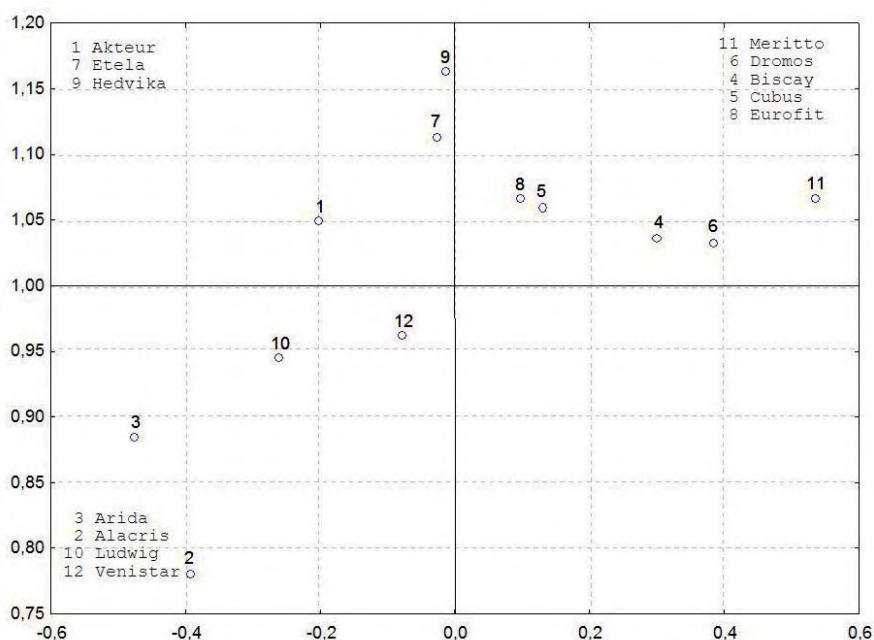


Figure 1: Biplot of wheat varieties tested in all trials (2006-2009)

Table 2: Summary of relative yield of six selected varieties

Variety (Origin)	Field A (normal conditions)					Field B (dry conditions)				
	2006	2007	2008	2009	2006-09	2006	2007	2008	2009	2006-09
Alacris (SK)	78	92	94	90	88	103	114	111	124	113
Etela (CZ)	96	103	107	108	104	91	91	91	80	88
Hedvika (NL)	104	111	105	106	107	83	66	96	85	83
Meritto (CZ)	117	105	102	113	109	103	98	112	147	115
Mulan (DE)	-	107	104	113	108	-	103	112	69	95
Venistar (SK)	92	93	106	98	97	112	117	93	92	103

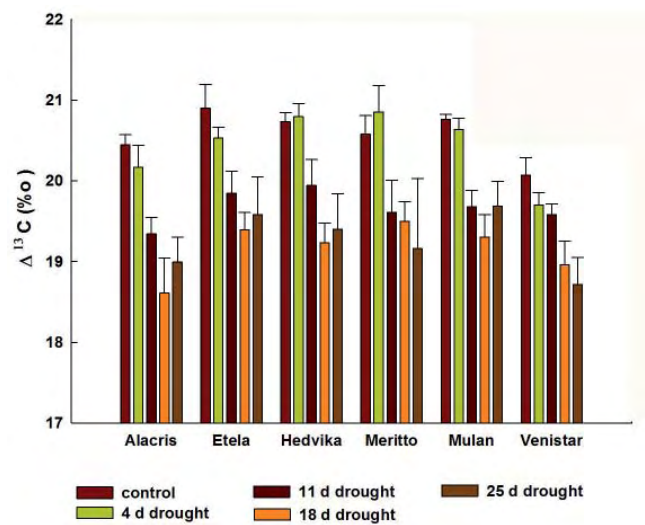
drought treatment was -0.5 for the dry variant and 0.2 for the optimum variant.

The isotope discrimination method is based on higher affinity of the carbon-fixing enzyme Rubisco for the more common  $^{12}\text{C}$  isotope over the less common  $^{13}\text{C}$ .  $\Delta^{13}\text{C}$  is reasonably negatively correlated with transpiration efficiency - the ratio of net photosynthesis to transpired water (HALL et al. 1994). According to Farquhar's model, a lower  $\text{CO}_2$  concentration in leaves, e.g. due to stomatal closure, is associated with a lower discrimination value (FARQUHAR et al. 1982). Since the carbon incorporated in leaves is assimilated over a considerable time and under a range of environmental conditions,  $\Delta$  can serve as a long-term indicator of plant metabolism (CONDON et al. 1990). Although isotope discrimination was proposed as a selection criterion for yield improvement in wheat under water deficient conditions (CONDON et al. 2002), conflicting results were also obtained, i.e. higher yielding genotypes with lower leaf water-use efficiency (higher  $\Delta^{13}\text{C}$ ). It could be explained by a lower stomatal conductance in some genotypes connected with lower transpiration even in conditions of sufficient water supply and consequently lower photosynthesis and biomass production resulting in lower grain yield (BLUM 2009).

The levels of endogenous ABA in leaf samples were determined in the moisture-deficient variant after 25 and 39 days of drought treatment and in control (Table 4). In all varieties except Meritto, the ABA content increased with longer duration of limited watering. The highest values were found in Hedvika, the lowest in Venistar. The ABA levels in controlled plants were much lower and varied between 2 and 21  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  of fresh weight. KURAHASHI et al. (2009) studied natural variation in drought tolerance and its relation

**Table 3: Yield traits in the pot experiment with different soil water saturation**

Variety	Trait	Soil saturation (%)		Difference (%)
		75	30	
Alacris	No ears pot <sup>-1</sup>	20.3	14.0	-31.0
	No grains pot <sup>-1</sup>	707.3	378.3	-46.5
	Grain weight pot <sup>-1</sup> (g)	30.7	16.3	-46.9
	1000 seed weight (g)	43.3	43.1	-0.5
Etela	No ears pot <sup>-1</sup>	18.3	10.7	-41.5
	No grains pot <sup>-1</sup>	754.7	254.7	-66.3
	Grain weight pot <sup>-1</sup> (g)	33.1	14.8	-55.3
	1000 seed weight (g)	43.9	58.1	32.3
Hedvika	No ears pot <sup>-1</sup>	18.7	13.7	-26.7
	No grains pot <sup>-1</sup>	791.7	360.0	-54.5
	Grain weight pot <sup>-1</sup> (g)	33.3	17.2	-48.3
	1000 seed weight (g)	42.1	47.9	13.8
Meritto	No ears pot <sup>-1</sup>	18.7	12.0	-35.8
	No grains pot <sup>-1</sup>	778.7	363.0	-53.4
	Grain weight pot <sup>-1</sup> (g)	35.4	18.1	-48.9
	1000 seed weight (g)	45.5	50.1	10.1
Mulan	No ears pot <sup>-1</sup>	23.3	15.3	-34.3
	No grains pot <sup>-1</sup>	839.0	351.0	-58.2
	Grain weight pot <sup>-1</sup> (g)	33.6	18.8	-44.0
	1000 seed weight (g)	40.0	53.6	34.0
Venistar	No ears pot <sup>-1</sup>	21.0	19.7	-6.2
	No grains pot <sup>-1</sup>	969.7	657.3	-32.2
	Grain weight pot <sup>-1</sup> (g)	33.7	21.2	-37.1
	1000 seed weight (g)	34.7	32.5	-6.3



**Figure 2: Comparison of  $\Delta^{13}\text{C}$  in leaf biomass of wheat varieties in a pot experiment with different drought treatments**

to ABA sensitivity in *Aegilops tauschii*. Drought sensitive accessions exhibited significantly lower ABA sensitivity and vice versa. However, synthetic hexaploid wheat lines showed a weaker association of ABA sensitivity with drought tolerance. Therefore, the D-genome variations in drought tolerance observed in *Ae. tauschii* were not fully transferred into hexaploid synthetic wheat.

The evaluation of the relative expression of the *Wdhn13* gene in plants grown in water deficient conditions is shown in Figure 3. An increased transcription level was already detected after 4 days of drought in Etela, Meritto and Mulan. The genotypes differed in time of reaching the maximum level of expression with the highest values observed for Etela and Meritto, while the activity of the gene was low in Hedvika and Mulan. It is interesting that the low activity in Mulan was observed also in field conditions. Leaf samples of all varieties were collected in both trials at the beginning of May 2009, after a period of more than one month without precipitation (Figure 4). It suggests that this variety has a low sensitivity of stress defence mechanisms based on protective dehydrine genes. Similar results were obtained

**Table 4: Endogenous ABA levels ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  fresh weight) of wheat varieties in a pot experiment**

Variety	Days of drought	Drought treatment		Control treatment	
		Mean	Std.Dev.	Mean	Std.Dev.
Alacris	25	76	5	10	8
	39	863	15	15	68
Etela	25	61	11	3	2
	39	601	16	19	37
Hedvika	25	264	11	6	74
	39	1084	15	21	45
Meritto	25	723	11	7	41
	39	49	12	20	1
Mulan	25	48	5	11	12
	39	*		9	
Venistar	25	173	11	2	31
	39	418	16	27	85

\* above calibration range

with other *Dhn* genes from the *Wcs120* family (data not shown).

An association between the accumulation of *Dhn* proteins and tolerance to stresses involving dehydration has been shown in several species, including wheat (LOPEZ et al. 2003). RAMPINO et al. (2006) studied *Triticum* and *Aegilops* seedlings differing in their response to drought stress and found a relation between the activation of *Dhn* genes and tissue water content. In resistant genotypes the *Dhn* gene expression was initiated even at still high hydration levels in plant tissues. It suggests that these proteins are also involved in water retention. According to SUPRUNOVA et al. (2004) and PARK et al. (2006), *Cor/Lea* genes seem to react more quickly and reach a higher level of expression in genotypes with better stress tolerance. Therefore, it is suggested to use this trait for the evaluation of genotype sensitivity to abiotic stresses (TOMMASINI et al. 2008).

KURAHASHI et al. (2009) found that synthetic hexaploid wheat lines with high ABA sensitivity and drought tolerance also showed a more rapid response in the expression of *Cor/Lea* genes (*Wrab17* and *Wdhn13*) than ABA insensitive and drought sensitive ones. It suggests that these *Cor/Lea* genes are involved in downstream genes functioning in the ABA-dependent signal pathway for the development of drought tolerance. The expression of *Wdhn13* was proven to be suitable for the determination of the frost level tolerance (HOLKOVA et al. 2009). Because the activation of this gene is induced by cold, drought, and ABA (OHNO et al. 2003, KOBAYASHI et al. 2008a) we attempted to use it as an indicator of drought tolerance. It seems that the response to particularly long term drought is much more complex than that of cold/frost and more than one system of protective mechanisms is involved. The next step will be to optimise the conditions of activation of the *Wdhn13* gene and also to study other *Cor/Lea* genes, e.g. *Wrab17*.

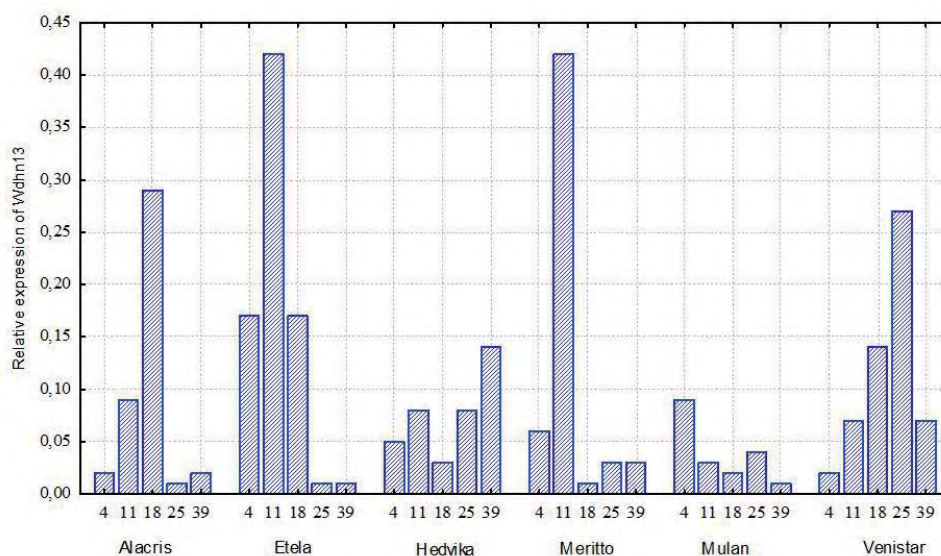


Figure 3: Relative expression of the *Wdhn13* gene of wheat varieties in a pot experiment measured after 4, 11, 18, 25 and 39 days of drought

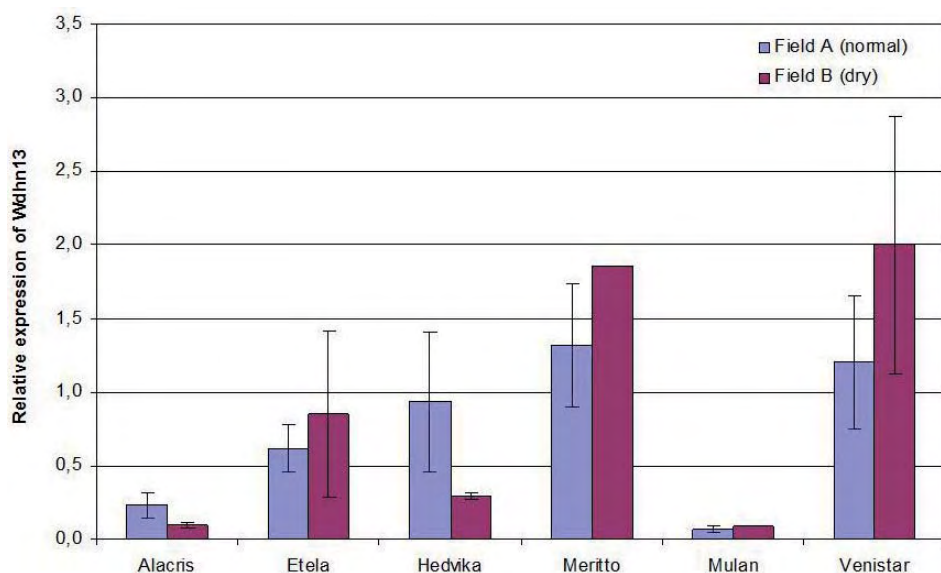


Figure 4: Relative expression of *Wdhn13* in field conditions in 2009

## Conclusions

- (1) The yield of winter wheat varieties was compared on two sites, which differed mainly in water availability in the soil. Varieties with different responses to drought stress were identified.
- (2) Carbon isotope discrimination distinguished varieties Alacris and Venistar as more drought tolerant in comparison with others.
- (3) In all tested varieties, ABA content increased under drought conditions. However, ABA levels fluctuate during long-term stress and therefore, this parameter is not reliable for genotype evaluation.
- (4) Activation of the *Wdhn13* gene was already detected after four days of drought treatment. Tested varieties did not



reach a maximum level of expression at the same time. This trait might potentially be usable for field evaluation.

## Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Grant Agency of the Czech Ministry of Agriculture, project QH 91192, and research plan MSM 6215648905 „Biological and technological aspects of sustainability of controlled ecosystems and their adaptability to climate change”.

## References

- ARAUS JL, SLAFER GA, REYNOLDS MP, ROYO C, 2002: Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? *Ann. Bot.* 89, 925-940.
- ASCH F, 2000: Laboratory manual on determination of abscisic acid by indirect Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay (ELISA). Laboratory for Agrohydrology and Bioclimatology, The Royal Veterinary and Agricultural University, Taastrup, Denmark.
- BLUMA, 2009: Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crop Res.* 112, 119-123.
- CONDON AG, FARQUHAR GD, RICHARDS RA, 1990: Genotypic variation in carbon isotope discrimination and transpiration efficiency in wheat. Leaf gas exchange and whole plant studies. *Aust. J. Plant Physiol.* 17, 9-22.
- CONDON AG, RICHARDS RA, FARQUHAR GD, 1993: Relationships between carbon-isotope discrimination, water-use efficiency and transpiration efficiency for dryland wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 44, 1693-1711.
- CONDON AG, RICHARDS RA, REBETZKE GJ, FARQUHAR GD, 2002: Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. *Crop Sci.* 42, 122-131.
- CONDON AG, RICHARDS RA, REBETZKE GJ, FARQUHAR GD, 2004: Breeding for high water-use efficiency. *J. Exp. Bot.* 55, 2447-2460.
- CSEUZ L, PAUK J, LANTOS C, KOVÁCS I, 2009: Wheat breeding for drought tolerance. (Efforts and results). Proc. VIII. Alps-Adria Scientific Workshop, 27 April-2 May, Neum, Bosnia-Herzegovina. *Cereal Res. Commun.* 37, Suppl. 1, 245-248.
- FARQUHAR GD, O'LEARY MH, BERRY JA, 1982: On the relationship between carbon-isotope discrimination and intercellular carbon dioxide concentration. *Aust. J. Plant Physiol.* 9, 121-137.
- FOULKES MJ, SCOTT RK, SYLVESTER-BRADLEY R, 2002: The ability of wheat cultivars to withstand drought in UK conditions: formation of grain yield. *J. Agric. Sci.* 138, 153-169.
- HALLAE, RICHARDS RA, CONDON AG, WRIGHT GC, FARQUHAR GD, 1994: Carbon isotope discrimination and plant breeding. *Plant Breed. Rev.* 12, 81-113.
- HLAVINKA P, TRNKA M, SEMERÁDOVÁ D, DUBROVSKÝ M, ŽALUD Z, MOŽNÝ M, 2009: Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agric. For. Meteorol.* 149, 431-442.
- HOLKOVÁ L, PRÁŠIL IT, BRADÁČOVÁ M, VÍTÁMVÁS P, CHLOUPEK O, 2009: Screening for frost tolerance in wheat using the expression of dehydrin genes *Wcs120* and *Wdhn13* at 17°C. *Plant Breeding* 128, 420-422.
- IKEGAMI K, OKAMOTO M, SEO M, KOSHIBA T, 2008: Activation of abscisic acid biosynthesis in the leaves of *Arabidopsis thaliana* in response to water deficit. *J. Plant Res.* 122, 235-243.
- KEMPTON RA, 1984: The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *J. Agric. Sci.* 103, 123-135.
- KOBAYASHI F, ISHIBASHI M, TAKUMI S, 2008a: Transcriptional activation of *Cor/Lea* genes and increase in abiotic stress tolerance through expression of a wheat DREB2 homolog in transgenic tobacco. *Transgenic Res.* 17, 755-767.
- KOBAYASHI F, TAKUMI S, NAKAMURA C, 2008b: Increased freezing tolerance in an ABA-hypersensitive mutant of common wheat. *J. Plant Physiol* 165(2): 224-32.
- KOBAYASHI F, TAKUMI S, NAKATA M, OHNO R, NAKAMURA T, NAKAMURA S, 2004: Comparative study of the expression of the *Cor/Lea* gene family in two wheat cultivars with contrasting levels of freezing tolerance. *Physiol. Plant.* 120, 585-594.
- KURAHASHI Y, TERASHIMAA, TAKUMI S, 2009: Variation in dehydration tolerance, ABA sensitivity and related gene expression patterns in D-genome progenitor and synthetic hexaploid wheat lines. *Int. J. Mol. Sci.* 10, 2733-2751.
- LOPEZ CG, BANOWETZ GM, PETERSON CJ, KRONSTAD WE, 2003: Dehydrin expression and drought tolerance in seven wheat cultivars. *Crop Sci.* 43, 577-582.
- OHNO R, TAKUMI S, NAKAMURA C, 2003: Kinetics of transcript and protein accumulation of a low-molecular weight wheat LEA D-11 dehydrin in response to low temperature. *J. Plant Physiol.* 160, 193-200.
- PARK SY, NOH KJ, YOO JH, YU JW, LEE BW, KIM JG, SEO HS, PAEK NC, 2006: Rapid upregulation of dehydrin3 and dehydrin4 in response to dehydration is a characteristic of drought-tolerant genotypes in barley. *J. Plant Biol.* 49, 455-462.
- PFÄFFL MW, 2001: A new mathematical model for relative quantification in real-time RT-PCR. *Nucleic Acids Res.* 29, 2002-2007.
- RAMPINO P, PATALEO S, GERARDI C, MITA G, PERROTTA C, 2006: Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant Cell Environ.* 29, 2143-2152.
- RASMUSSEN R, 2001: Quantification on the LightCycler. In: Meuer S, Wittwer C, Nakagawara K (Eds.), *Rapid Cycle Real-time PCR, Method and Applications*, pp 21-34. Springer Press, Heidelberg.
- REBETZKE GJ, CONDON AG, RICHARDS RA, FARQUHAR GD, 2002: Selection for reduced carbon isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rainfed bread wheat. *Crop Sci.* 42, 739-745.
- REYNOLDS M, FOULKES MJ, SLAFER GA, BERRY P, PARRY MA, SNAPE JW, ANGUS WJ, 2009: Raising yield potential in wheat. *J. Exp. Bot.* 60, 1899-1918.
- RICHARDS RA, 1996: Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regul.* 20, 157-166.
- RICHARDS RA, WATT M, REBETZKE GJ, 2007: Physiological traits and cereal germplasm for sustainable agricultural systems. *Euphytica* 154, 409-425.
- SURPRUNOVA T, KRUGMAN T, FAHIMA T, CHEN G, SHAMS I, KOROLA, NEVO E, 2004: Differential expression of dehydrin genes in wild barley, *Hordeum spontaneum*, associated with resistance to water deficit. *Plant Cell Environ.* 27, 1297-1308.
- TOMMASINI L, SVENSSON JT, RODRIGUEZ EM, WAHIDA, MALATRASI M, KATO K, WANAMAKER S, RESNIK J, CLOSE TJ, 2008: Dehydrin gene expression provides an indicator of low temperature and drought stress: transcriptome-based analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Funct. Integr. Genomics* 8, 387-405.
- WESTGATE ME, PASSIOURA JB, MUNNS R, 1996: Water status and ABA content of floral organs in drought-stressed wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 23, 763-772.

## Field-screening of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) for drought tolerance

Doris Schuhwerk, Alireza Nakhforoosh, Stefan Kutschka,  
Gernot Bodner and Heinrich Grausgruber<sup>1\*</sup>

### Abstract

Due to global warming and its negative effects on crop production, e.g. heat and drought, breeding for drought resistance is of increased interest also for European cereal breeders. In Eastern Austria, the Pannonian hills and plains growing region, especially spring sown cereals like durum wheat can be seriously damaged by recurring water stress. Selection for grain yield can be carried out either directly under drought conditions or by indirect selection for morphophysiological traits associated with drought tolerance. In the present study spring durum germplasm of diverse origin has been investigated in a field trial for a wide range of agronomic and morphophysiological criteria (phenological traits, physiological measurements and yield components) with the aim to roughly characterize the plant material in regard to drought tolerance. The results showed significant genotype effects for every parameter except for electrical capacitance measurements. Positive correlations were observed between grain yield and early ground cover, late stay green area, number of fertile tillers and biomass yield. Selected parameters were used to create a multivariate index based on star plots. Plotting the index against heading date revealed that the best performing genotypes were found within a period of three days difference and that genotypes from all genpools were present in this group. Due to unexpected rainfall throughout the period water stress was observed only for the terminal growth stages of late maturing genotypes. Hence, evaluation of some physiological traits was hampered and did not lead to differentiating results.

### Keywords

Adaptation, global warming, heat, root system, water stress

### Introduction

Worldwide adaptation and mitigation strategies are developed to counter the consequences of climate change, i.e. melting ice and rising sea levels, global warming, extreme weather events and changes in the rainfall patterns. The impact of global warming on crop production can already be seen by increased aridity and warmer temperatures in some regions. In Europe regions of southern Europe and the Mediterranean basin are especially vulnerable to heat and

drought. But also for other European regions like the Atlantic zones or the Continental North and South an increased risk of drought is predicted (IGLESIAS et al. 2007).

Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) is traditionally cultivated in regions with limited rainfall. The main production areas are the Mediterranean Basin and North America. Other countries with a production worth to mention are India, Russia, Mexico and Australia (BOZZINI 1988). In Austria durum breeding and cultivation started after World War II. The first varieties were based on American and Algerian genotypes and exhibited high quality but low yield levels. Therefore, it was necessary to secure the durum production by contract based cultivation and premium payments. With the introgression of the Italian semi-dwarf mutant CpB132 (Castelporziano) the yield level could be increased significantly (HÄNSEL and SEIBERT 1989).

Breeding for grain yield under water stress conditions can be realised by both direct selection for yield and by indirect selection for specific morphophysiological traits which are associated with drought tolerance (ALI DIB et al. 1992). The importance of the durum root system for drought stress tolerance was established by BENLARIBI et al. (1990), however, root characteristics can vary in relation to the type of drought (ALI DIB and MONNEVEUX 1992). Recently, ARAUS et al. (2008) have published an excellent review on physiological traits associated with drought adaptation and the use of secondary traits in practical breeding.

In the present study a durum nursery including international, European and Austrian germplasm was studied for a wide range of agronomic and morphophysiological traits with the aim to roughly characterise the plant material in regard to drought tolerance in order to select genotypes with specific traits for further studies on root system characteristics.

### Material and methods

#### *Plant material*

In total 82 genotypes of spring durum wheat were tested. The majority of the nursery, i.e. 63 genotypes, were varieties and/or breeding lines from the CIMMYT 40<sup>th</sup> ISDN. Furthermore, genotypes of Austrian and other European origin, and a few tetraploid genetic resources (i.e. two old durum varieties, one *T. durum* × *T. dicoccum* line, and *T. turanicum* QK-77) were included in the trial.

<sup>1</sup> Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität für Bodenkultur, Gregor Mendel-Straße 33, A-1180 WIEN

\* Ansprechpartner: Heinrich GRAUSGRUBER, heinrich.grausgruber@boku.ac.at

### Experimental conditions

The field experiment was laid out as a row-column (30x10) design with six blocks. Number of replications per genotype was variable. Three check varieties (i.e. Durobonus, Floradur, Rosadur) were replicated 15 to 33 times throughout the experimental lay-out in order to optimally account for natural and extraneous spatial variation. The field trial was sown on 22<sup>nd</sup> March 2010 in Raasdorf (16°35'E, 48°14'N) in the Pannonian plains growing region. Plot size was 1.25x1.4 m. Mean annual temperature at the experimental site is 9.8°C, the precipitation is around 550 mm. During the last years a drought period in early spring was regularly observed (Figure 1).

### Phenological traits

After plant emergence digital images of the plots were obtained four times (19<sup>th</sup> and 30<sup>th</sup> April, 7<sup>th</sup> May, 30<sup>th</sup> June) with a Canon EOS20D (Canon Inc., Tokyo) digital camera from about 1.5 m height. Digital images were downloaded in the JPEG format to a personal computer and analyzed individually by SigmaScan Pro vers. 5.0 software (Systat Software Inc., Chicago). Thresholds for the hue and saturation range were chosen to selectively identify green leaves. The total number of selected green pixels were counted and then divided by the total number of pixels of the image to give the percentage of green ground cover (RICHARDSON et al. 2001). Data for the first dates in spring indicate

early growth vigour, while data for the summer date give an indication for the stay green effect of leaves. Moreover, heading date (days after 31<sup>st</sup> May) was recorded for each plot if 50% of the spikes were visible.

### Physiological traits

Root surface area was characterised indirectly by electrical capacitance measurements (CHLOUPEK 1977) on 20<sup>th</sup> and 29<sup>th</sup> May, and 15<sup>th</sup> June using an Escort elc-133 lcr-meter (Instruments Techno Test Inc., Laval, Canada). Chlorophyll-concentration was measured on 16<sup>th</sup> June using a SPAD-502Plus meter (Konica Minolta Holdings, Inc., Tokyo). The SPAD results are correlated to the nutrition status of the plant and the leaf photosynthesis (BOTHÁ et al. 2010). Stomatal conductance is a parameter to describe the stomata opening and is measured with the SC1 Steady-State Leaf Porometer (Decagon Devices, Inc., Pullman). Size of the assimilation area (leaf area index, LAI) was measured through hemispherical photography with a LAI-2000 Plant Canopy Analyzer (Li-Cor Environmental, Lincoln) (QARIANI et al. 2000, INOUE et al. 2004) on 24<sup>th</sup> June.

### Yield traits

Whole plants of the two centre rows of each plot, i.e. 0.35 m<sup>2</sup>, were cutted about 1 cm above ground for the determination of number of fertile spikes, total dry matter yield and grain yield per unit area, and 1000 kernel weight. Harvest

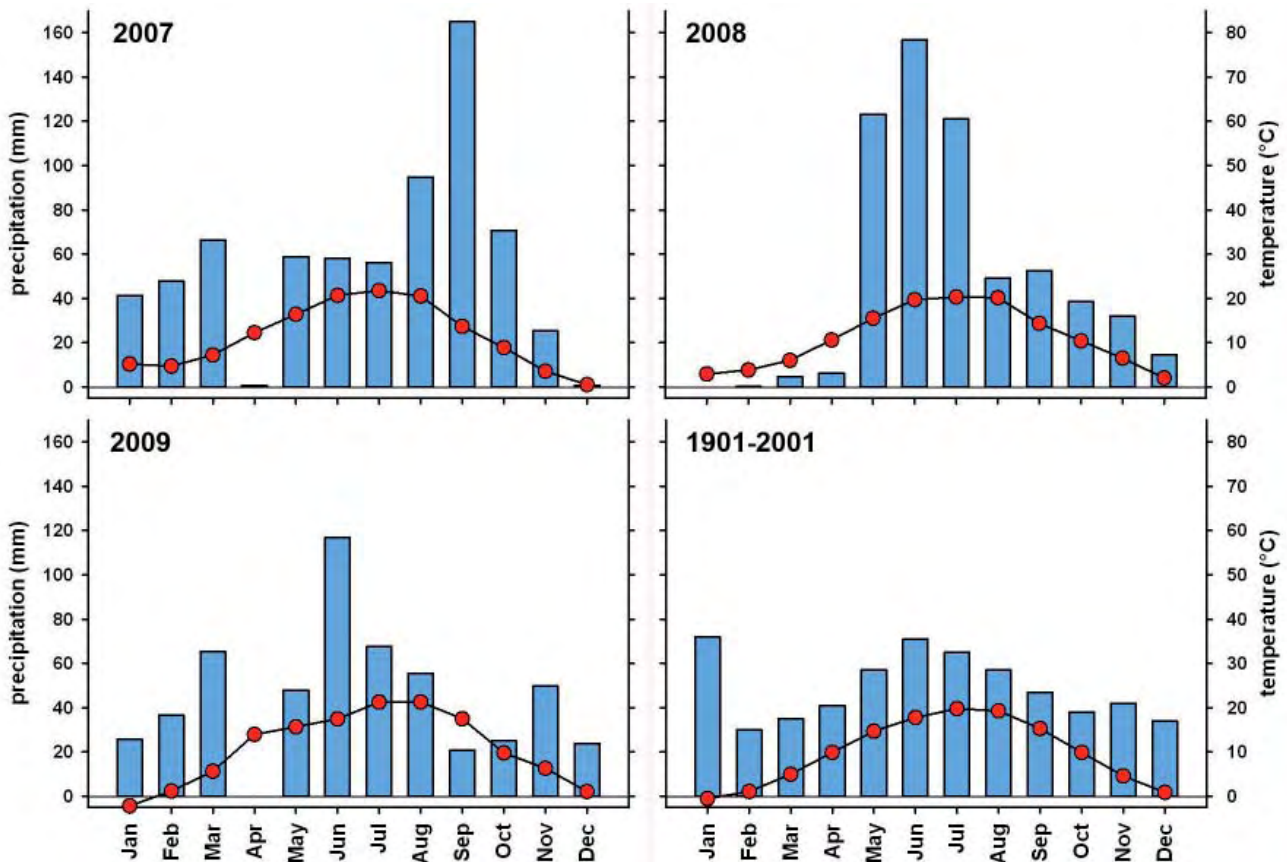


Figure 1: Climate diagram for the experimental site Raasdorf for the years 2007 to 2009, and the longterm trend illustrating the recurrent period of not sufficient precipitation (bars) in early spring in recent years

**Table 1: Optimized spatial models and significance tests for fixed genotype and block effects**

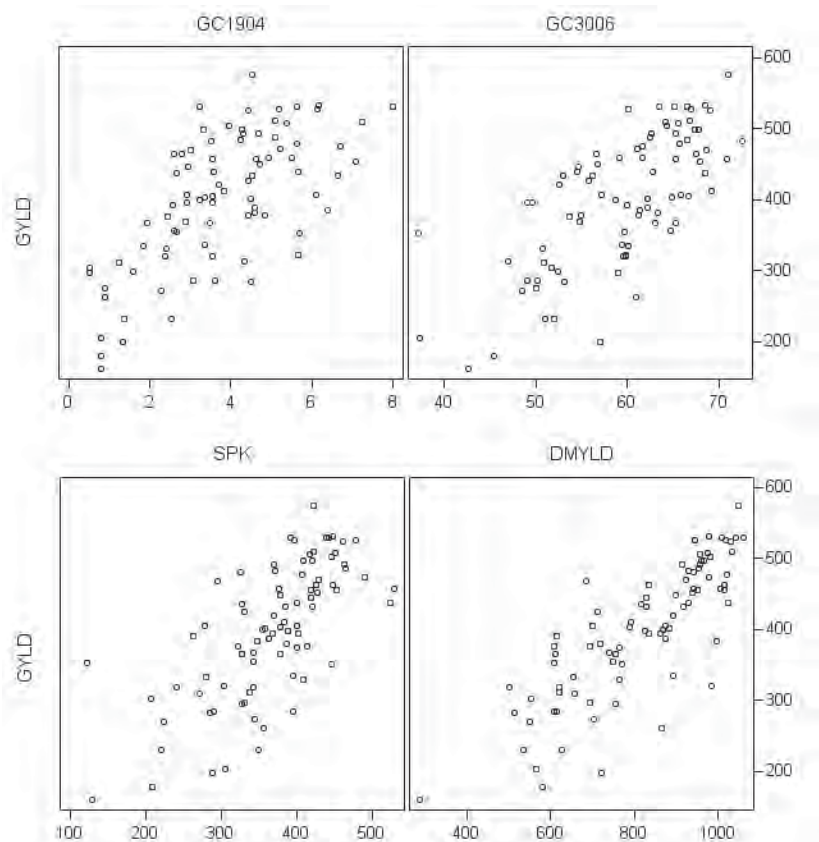
Trait <sup>1</sup>	Linear mixed model		Error variance model	<i>Pr&gt;F</i>	
	Fixed effects: gen + block	Random effects		gen	block
GC1904	+ lin(row) + lin(col)		AR1xAR1	<.001	<.001
GC3004	+ lin(row)		AR1xAR1	<.001	<.001
GC0705	+ lin(row)		AR1xAR1	<.001	0.009
GC3006	+ lin(col)	+ row	IDxAR1	<.001	0.011
EC2005			IDxAR1	0.835	0.670
EC2905		+ row	IDxAR1	0.028	0.029
EC1506			IDxAR1	0.294	0.014
HEAD			IDxAR1	<.001	<.001
SPAD			IDxAR1	<.001	0.004
SC		+ row	IDxAR1	0.004	0.003
LAI	+ lin(col)	+ row	IDxID	<.001	<.001
PH	+ lin(col)	+ row	IDxID	<.001	<.001
DMYLD		+ row	IDxAR1	<.001	<.001
SPK		+ row	AR1xAR1	<.001	<.001
GYLD		+ row	AR1xAR1	<.001	<.001
HI			IDxID	<.001	<.001
TKW		+ row	AR1xID	<.001	0.020
HLW			AR1xAR1	<.001	<.001
KS28			AR1xAR1	<.001	<.001
PROT		+ row	IDxAR1	<.001	0.009

<sup>1</sup> GC, ground cover measured on 19<sup>th</sup> and 30<sup>th</sup> April, 7<sup>th</sup> May, and 30<sup>th</sup> June, respectively (%); EC, electrical capacitance measured on 20<sup>th</sup> and 29<sup>th</sup> May, and 15<sup>th</sup> June, respectively (nF); HEAD, heading date (days after 31<sup>st</sup> May); SPAD, chlorophyll concentration (SPAD values); SC, stomatal conductance (mmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>); LAI, leaf area index; PH, plant height (cm); DMYLD, dry matter yield (g.m<sup>-2</sup>); SPK, number of spikes.m<sup>-2</sup>; GYLD, grain yield (g.m<sup>-2</sup>); HI, harvest index; TKW, thousand kernel weight (g); HLW, hectolitre weight (kg.hl<sup>-1</sup>); KS28, kernel plumpness >2.8 mm (%); PROT, protein content (%)

index was calculated as the grain yield/total dry matter yield ratio. The residual plots were combine harvested and samples were further used for the determination of hectolitre weight, kernel plumpness (2.8x25 and 2.5x25 mm slotted sieves, respectively) and protein content. Total plot grain yield was calculated by adding the data of the manual and combine harvested plot parts. Plant height and lodging scores were recorded before harvest.

### Statistical analysis

Accounting for the randomization scheme, we fitted linear mixed models with fixed genotype and block effects, linear trends along rows and/or columns, random row and/or column effects and spatial covariance confined (nested) within blocks using GenStat 13<sup>th</sup> Ed. (VSN International Ltd, Hemel Hempstead, UK). Among models those with the smallest deviance and/or Akaike Information Criterion (AIC) were preferred as the optimized model of spatial analysis to calculate adjusted genotypic means (GILMOUR et al. 1997, PAYNE 2006, PIEPHO and WILLIAMS 2010). Subsequently the mean values were sorted and transferred into relative values setting the highest performance 100 (JENSEN 1976). The relative values of eight traits (i.e. crop cover 19<sup>th</sup> April, crop cover 30<sup>th</sup> June, SPAD values, number of spikes per square meter, dry matter yield per square meter, grain yield per



**Figure 2: Relationship between grain yield (GYLD) and crop ground cover at early (GC1904) and late (GC3006) growth stage, number of fertile tillers per unit area (SPK) and dry matter yield (DMYLD)**

square meter, harvest index, and 1000 kernel weight) were selected to create star plots. Finally, the area within the star was determined and used as multivariate index to rank the tested germplasm. Correlation analysis was carried out to determine the relationships among traits.

## Results

### Spatial models

Optimized models for the diverse characters are demonstrated in *Table 1*. Genotypic effects were significant for almost all traits with the exception of two dates of electrical capacitance measurements.

### Correlation analysis

Crop ground cover at early and late growth stages showed positive and significant correlations to LAI ( $r=0.43-0.53$ ,  $p<0.01$ ) and several yield related traits: correlation coefficients were highest for the relationships to grain yield and dry matter yield ( $r=0.56-0.71$ ,  $p<0.0001$ ), followed by the number of fertile tillers per unit area ( $r=0.54-0.63$ ,  $p<0.01$ ), while the relationship to thousand kernel weight and kernel plumpness ( $r=0.41-0.48$ ,  $p<0.01$ ) was worth mentioning only for crop ground cover at early growth stages. Within yield related traits grain yield was highly correlated to dry matter yield ( $r=0.87$ ,  $p<0.0001$ ), whereas correlation was lower to the number of fertile tillers per unit area ( $r=0.69$ ,  $p<0.0001$ ) and especially low to thousand kernel weight

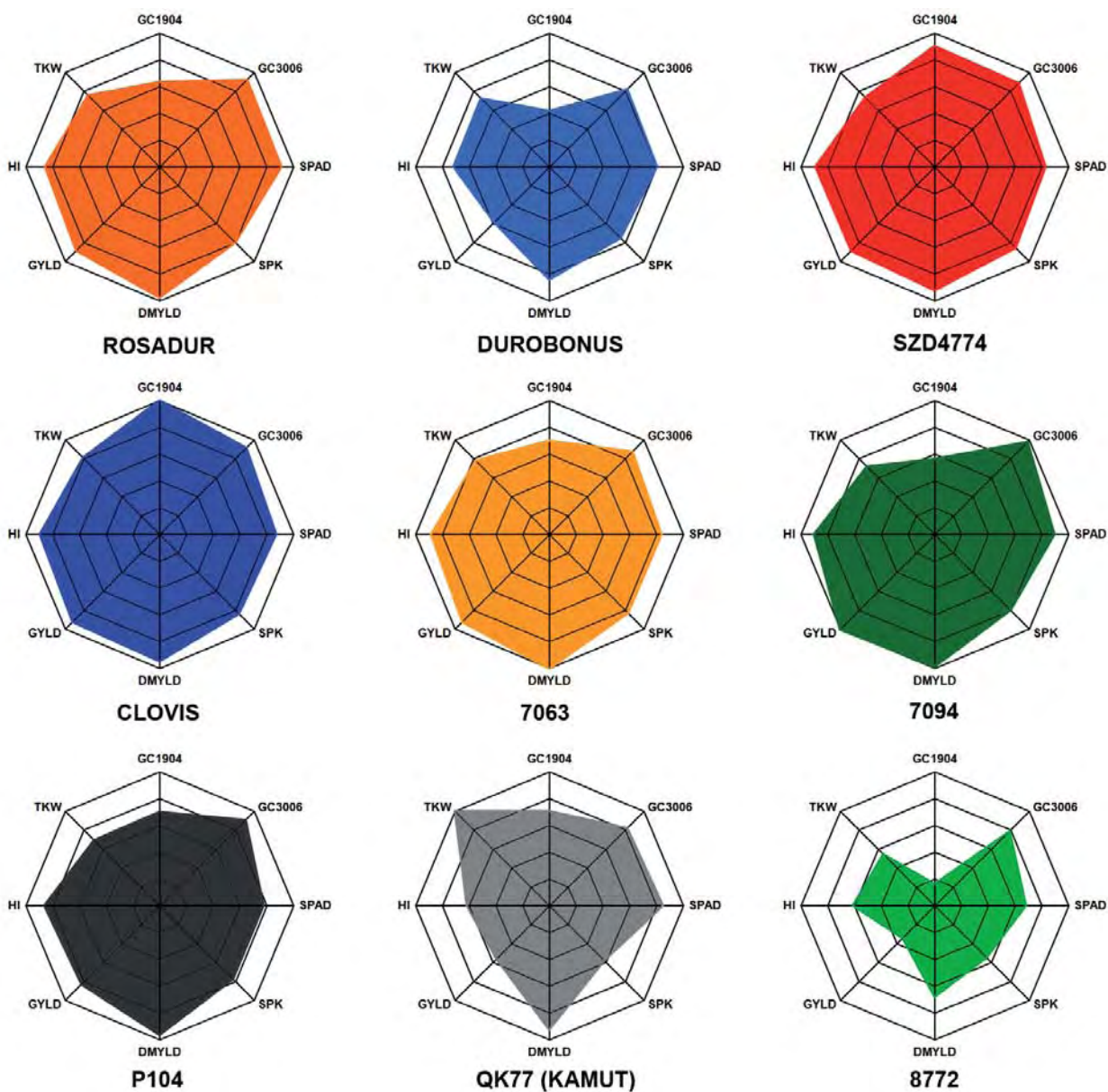


Figure 3: Star plot area of nine selected genotypes: Rosadur, Durobonus, SZD4774 (AT), Clovis (FR), 7063, 7094 (CIMMYT), P104 (PGR), QK77 (*T. turanicum*), 8772 (*T. durum* x *T. dicoccum*). Abbreviations of traits see *Table 1*

**Table 2: Means of selected traits for genotypes which performed above average in regard to the star area (multivariate index)**

Genotype <sup>1</sup>	GC1904 <sup>2</sup>	HEAD	SPAD	GC3006	SPK	DMYLD	GYLD	HI	TKW	HLW	PROT
7005	4.94	7.3	49.3	59.1	529	1004	458.2	0.50	41.4	78.1	13.9
7015	3.95	8.2	47.2	64.4	446	981	502.9	0.50	39.8	80.1	13.0
7016	5.38	7.2	52.4	65.5	417	958	506.6	0.46	38.2	78.8	15.8
7017	4.67	6.2	47.2	65.3	463	957	492.2	0.44	42.4	77.9	15.1
7022	5.19	7.2	48.7	60.2	478	1019	526.8	0.49	37.8	77.6	13.5
7036	5.67	7.0	47.0	54.5	524	930	437.0	0.46	33.9	77.3	13.9
7039	5.10	6.0	50.7	62.5	464	952	486.7	0.47	38.8	76.6	14.1
7046	5.22	4.9	47.9	61.1	429	921	470.0	0.44	41.0	79.9	14.6
7063	5.62	6.5	49.7	63.4	440	1060	529.0	0.46	45.9	78.3	15.7
7065	3.24	9.0	50.9	65.1	392	1041	530.2	0.50	44.0	78.2	13.7
7069	3.31	7.6	51.7	67.8	420	959	496.4	0.45	40.7	76.7	14.6
7094	4.51	8.1	53.1	71.0	422	1048	574.8	0.47	42.3	78.9	13.9
Babylone	4.63	7.9	48.3	65.3	418	1015	456.1	0.43	50.5	75.2	16.4
Clovis	8.00	6.4	51.5	66.6	443	1007	529.2	0.46	47.7	78.5	15.0
D07643	4.44	8.6	48.8	69.0	461	1031	523.4	0.43	37.7	76.1	15.5
Duroflavus	6.12	9.1	50.5	65.9	401	874	404.6	0.40	41.5	75.0	16.1
Floradur	4.26	7.5	53.8	67.4	408	967	497.3	0.44	42.3	79.1	14.6
Malvadur	5.51	7.4	55.7	61.7	376	942	458.4	0.42	47.0	76.9	14.5
Rosadur	5.08	7.9	54.0	66.9	423	1032	509.7	0.44	44.5	79.2	15.2
Topdur	7.08	8.5	52.6	68.0	428	937	452.8	0.40	45.1	76.8	16.0
SZD4774	7.23	7.1	49.0	64.1	450	973	508.6	0.46	43.2	77.1	14.6
SZD4854	6.64	6.9	54.8	56.3	420	918	432.7	0.43	43.0	77.2	15.2
SZD5643	6.16	7.1	46.7	68.6	448	978	532.1	0.45	43.3	77.1	13.3
SZD5658D	6.72	6.6	50.8	61.6	490	976	473.5	0.42	43.4	77.0	15.4
P104	5.63	6.0	46.1	65.7	407	1021	477.5	0.45	40.8	78.7	15.0
Minimum <sup>3</sup>	0.51	4.2	40.0	37.2	122	287	160.2	0.25	31.8	72.8	12.5
Maximum	8.00	13.7	59.3	72.6	529	1060	574.8	0.51	58.6	80.1	17.5
Mean	3.79	7.4	49.2	59.4	368	817	399.0	0.45	40.6	77.2	14.8

<sup>1</sup> Origin of genotypes: 7005-7094: CIMMYT 40<sup>th</sup> ISDN; Babylone, Clovis, D07643: France (FR); Duroflavus, Floradur, Malvadur, Rosadur, Topdur, SZD4774, SZD4854, SZD5643, SZD5658D: Austria (AT); P104, Plant genetic resource

<sup>2</sup> Abbreviations and units of traits see Table 1

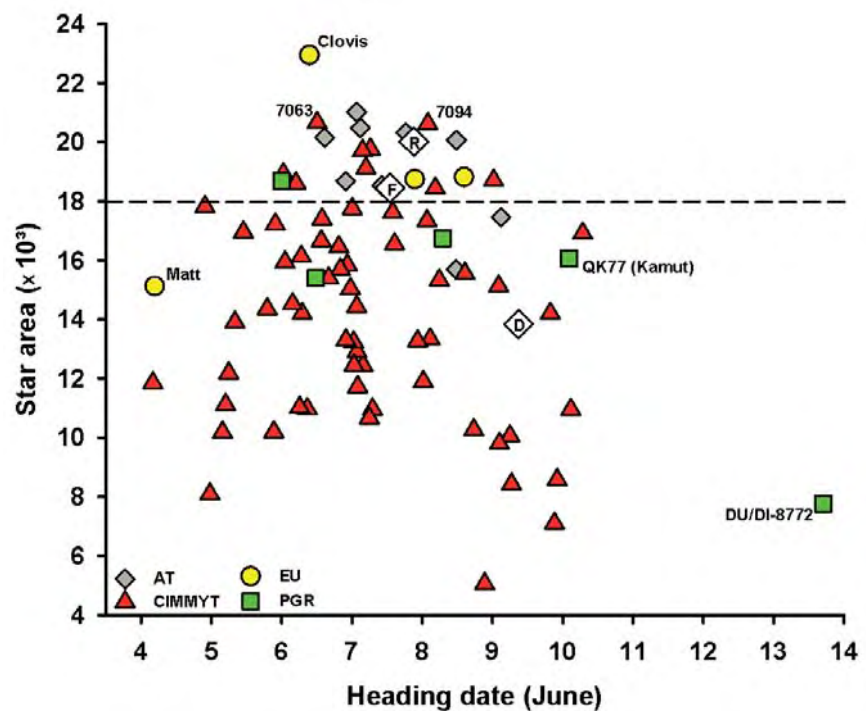
<sup>3</sup> Minimum, maximum and mean values refer to the complete nursery

( $r=0.35$ ,  $p=0.001$ ). Physiological traits showed no remarkable correlations with the exception of the already above mentioned relationships between crop ground cover and LAI, heading date and electrical capacitance EC1506 ( $r =0.55$ ,  $p=0.0002$ ), and LAI and thousand kernel weight ( $r =0.45$ ,  $p=0.003$ ). The most pronounced relationships to grain yield are demonstrated in Figure 2.

### Multivariate index

Relative values of eight traits were used to create a star plot. The area within the star was used as multivariate index. Examples for the star area of selected genotypes are presented in Figure 3. The mean star area of the nursery was  $14.92 \times 10^3$ . Table 2 represents absolute performance values for selected traits of those genotypes which performed above the mean index.

In Figure 4 the multivariate index is plotted against the heading date. It is obvious that the majority of genotypes reached a star area below  $18 \times 10^3$ , the



**Figure 4: Relationship between heading date and star plot area. Genotypes of different genpools are indicated by different symbols; check varieties Durobonus, Floradur and Rosadur are indicated by white diamonds including the initial letter of the variety name**

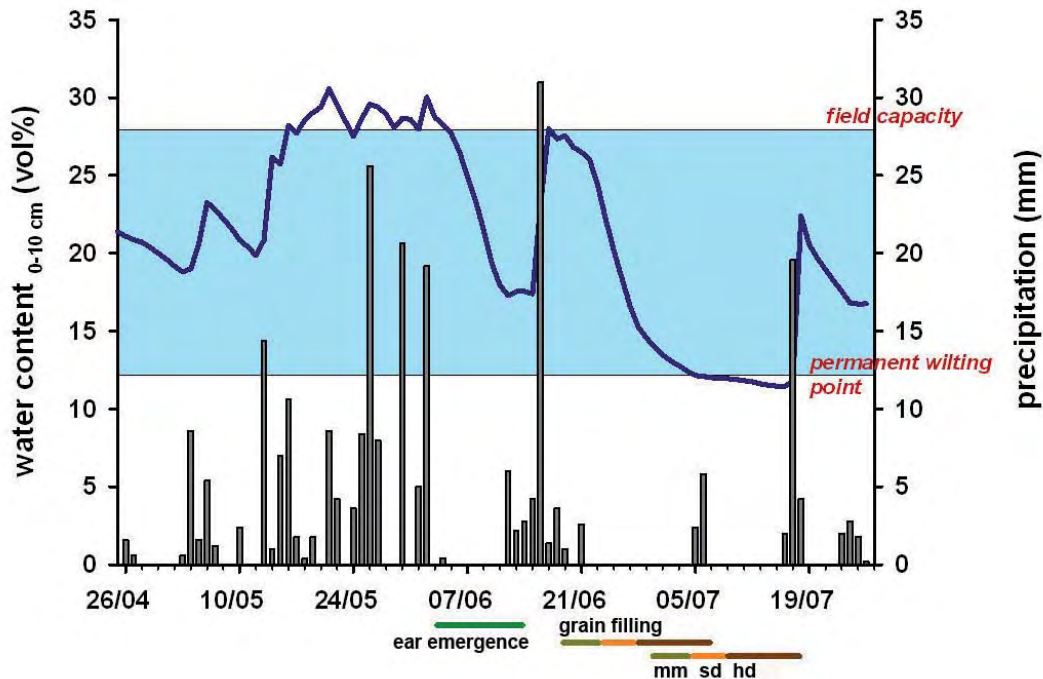


Figure 5: Water dynamics (precipitation and water content in the upper 10 cm soil layer) of the durum trial in Raasdorf 2010. Time span of ear emergence within the nursery is indicated as well as the duration of the grain filling (mm, medium milk; sd, soft dough; hd, hard dough) for early and late maturing genotypes

approximate level of Floradur, which was the most popular durum variety in Austria in recent years. Heading of genotypes with an index above  $18 \times 10^3$ , occurred between 6<sup>th</sup> and 9<sup>th</sup> June 2010 indicating an optimal window of heading date. In the group of best performing genotypes most of the Austrian germplasm was included, but also other genotypes like the French variety Clovis or the CIMMYT line 7063 showed excellent performance with at the same time somewhat earlier heading date.

## Discussion

### *Plant material and experimental conditions*

The tested germplasm showed a broad variation concerning almost all traits. About half of the CIMMYT lines performed inferior than the lowest performing Austrian check Durobonus, whereas the three old durum varieties with tall plant height performed above average (see unlabelled squares in Figure 4). Due to the relatively high amount of rainfall until mid June water stress appeared only at the late grain filling period of the late maturing genotypes (Figure 5). Hence, the nursery most probably did not differentiate appropriately for drought resistance and low grain yields of genotypes resulted from other causes such as fungal diseases since no fungicides were applied. Nevertheless most of the traits determined are constitutive traits which are expressed independently of the degree of stress (BLUM 1996). It has also to be considered that CIMMYT's breeding strategy focused on distributing semi-dwarf wheat material with disease resistance that would perform well in relatively wet (irrigated) environments while not collapsing under dry conditions (REYNOLDS and BORLAUG 2006). Another promising

strategy could be an intensive use of the eco-geographic parameters of collection sites of genetic resources to identify valuable germplasm, e.g. search within durum genetic resources originating from areas with severe drought stress (annual precipitation between 180 and 300 mm; excluding collection sites with known irrigation). This approach is followed by the Focused Identification of Germplasm Strategy (MACKAY and STREET 2004, STREET et al. 2008, ENDRESEN 2010). Some other durum improvement programs are using wild relatives for the introgression of valuable traits, however, in this case intensive backcrossing is necessary (VALKOUN 2001).

### *Phenological and physiological traits*

Digital image analysis for early ground cover and late stay green effect showed a significant correlation to grain yield. The methodology of using conventional digital cameras and subsequently analyse the pictures by appropriate software is an affordable and easy-to-use tool to generate phenotypic data. The methodology seems to be suitable for selection in wheat breeding programs for drought resistance, especially if optimal processing of the color information is applied (CASADESÚS et al. (2007). Early vigour and rapid ground cover have been proposed as important traits in regard to an economic water use and early drought tolerance (REBETZKE and RICHARDS 1999, ROYO et al. 2000), whereas early heading/flowering plays a major role in escape of terminal drought stress in rainfed environments.

The measured physiological traits (stomatal conductance, electric capacitance, chlorophyll concentration, leaf area index) clearly showed their limitation. The methods require dry and/or clear weather conditions for the measurements.

However, due to continuous rainfall until mid June the time frame for measurements of physiological traits at several critical phenological stages was restricted. Physiological traits are prone to variation within a trial and between environments, therefore, having only intermediate heritability (CLARKE and CLARKE 1996, RICHARDS et al. 2001, MARTÍNEZ and GUIAMET 2004). Estimation and consideration of appropriate covariates, e.g. exact phenological stage, climate variables etc., can significantly improve results from such measurements (CLARKE and CLARKE 1996). The fact that physiological traits can work as indicators for drought stress was hitherto demonstrated in several studies (e.g. FISCHER et al. 1998, REBETZKE et al. 2000, OMMEN et al. 1999, CHLOUPEK et al. 2010).

### Yield related traits

In the present study grain yield was highly correlated to biomass yield and number of fertile tillers per area unit. Recent studies of FISCHER and EDMEADES (2010) and REYNOLDS et al. (2010) confirmed that yield progress on a global level is still associated closely with an increased number of grains per area. Thus, increasing grain weight and grain size might be a way worth to be followed to improve grain yields, especially in case of early water stress which affects mainly spikelet and floret initiation and, therefore, limits grain number per area unit, whereas grain weight is affected by terminal drought. Grain weight in durum wheat can be improved by using e.g. genetic resources of *T. polonicum* or *T. turanicum* which are known for their characteristic high thousand kernel weight (SISSONS and HARE 2002, GRAUSGRUBER et al. 2005).

Identifying yield limiting traits and indirect traits and applying them effectively in a breeding program are major challenges because of the different types of drought and seasonal variation in the severity of drought (RICHARDS et al. 2001). A high correlation to grain yield independent of environmental influence and a rapid, easy and cheap determination of such traits are prerequisites for a successful integration in breeding programs.

### Acknowledgements

Seeds were kindly provided by T. Payne, CIMMYT, Mexico and J. Lafferty, Saatzucht Donau, Probstdorf.

### References

- ALI DIB T, MONNEVEUX P, 1992: Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur: I. Caractères morphologique d'enracinement. *Agronomie* 12, 371-379.
- ALI DIB T, MONNEVEUX P, ARAUS JL, 1992: Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur: II. Caractères physiologique d'adaptation. *Agronomie* 12, 381-393.
- ARAUS JL, SLAFER GA, ROYO C, SERRET MD, 2008: Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Crit. Rev. Plant Sci.* 27, 377-412.
- BENLARIBI M, MONNEVEUX P, GRIGNAC P, 1990: Étude de caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). *Agronomie* 10, 305-322.
- BLUM A, 1996: Constitutive traits affecting plant performance under stress. In: Edmeades GO, Bänziger M, Mickelson HR, Peña-Valdivia CB (Eds.), *Developing drought- and low nitrogen-tolerant maize*, pp. 131-135. CIMMYT, Mexico, DF.
- BOTHA EJ, LEBLON B, ZEBARTH BJ, WATMOUGH J, 2010: Non-destructive estimation of wheat leaf chlorophyll content from hyperspectral measurements through analytical model inversion. *Int. J. Remote Sens.* 31, 1679-1697.
- BOZZINI A, 1988: Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. In: Fabriani G, Lintas C (Eds.), *Durum wheat: chemistry and technology*, pp. 1-16. Am. Ass. Cereal Chem., Inc., St. Paul, MN.
- CASADESÚS J, KAYA Y, BORT J, NACHIT MM, ARAUS JL, AMOR S, FERRAZZANO G, MAALOUF F, MACCAFERRI M, MARTOS V, OUABBOU H, VILLEGAS D, 2007: Using vegetation indices derived from conventional digital cameras as selection criteria for wheat breeding in water-limited environments. *Ann. Appl. Biol.* 150, 227-236.
- CHLOUPEK O, 1977: Evaluation of the size of a plant's root system using electrical capacitance. *Plant Soil* 48, 525-535.
- CHLOUPEK O, DOSTÁL V, STŘEDA T, PSOTA V, DVOŘÁČKOVÁ O, 2010: Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. *Plant Breeding* 129, 630-636.
- CLARKE JM, CLARKE FR, 1996: Considerations in design and analysis in experiments to measure stomatal conductance of wheat. *Crop Sci.* 36, 1401-1405.
- ENDRESEN DTF, 2010: Predictive association between trait data and ecogeographic data for Nordic barley landraces. *Crop Sci.* 50, 2418-2430.
- FISCHER RA, EDMEADES G, 2010: Breeding and cereal yield progress. *Crop Sci.* 50 (Suppl.), S85-S98.
- FISCHER RA, REES D, SAYRE KD, LU ZM, CONDON AG, LARQUÉ-SAAVEDRA A, 1998: Wheat yield progress is associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Sci.* 38, 1467-1475.
- GILMOUR AR, CULLIS BR, VERBYLA AP, 1997: Accounting for natural and extraneous variation in the analysis of field experiments. *J. Agric. Biol. Environ. Stat.* 2, 269-293.
- GRAUSGRUBER H, OBERFORSTER M, GHAMBASHIDZE G, RUCKENBAUER P, 2005: Yield and agronomic traits of Khorasan wheat (*Triticum turanicum* Jakubz.). *Field Crop Res.* 91, 319-327.
- HÄNSEL H, SEIBERT L, 1989: Die Züchtung von Hartweizen (*Triticum turgidum*, ssp. *durum*) in Österreich. 40. Arbeitstagung der Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter, 21.-23. Nov., pp. 339-350. BAL Gumpenstein, Irdning.
- IGLESIAS A, AVIS K, BENZIE M, FISHER P, HARLEY M, HODGSON N, HORROCKS L, MONEO M, WEBB J, 2007: Adaptation to climate change in the agricultural sector. Report to European Commission Directorate - General for Agriculture and Rural Development. AEA Energy & Environment, Didcot, UK and Universidad de Politécnica de Madrid.
- INOUE T, INAGMA S, SUGIMOTO Y, AN P, ENEJI AE, 2004: Effect of drought on ear and flag leaf photosynthesis of two wheat cultivars differing in drought resistance. *Photosynthetica* 42, 559-565.
- JENSEN NF, 1976: Floating checks for plant breeding nurseries. *Cereal Res. Commun.* 4, 285-295.
- MACKAY MC, STREET K, 2004: Focused Identification of Germplasm Strategy - FIGS. Cereals. In: Black CK, Panozzo JF, Rebetzke GJ (Eds.), *Proc. 54<sup>th</sup> Aust. Cereal Chem. Conf. & 11<sup>th</sup> Wheat Breeders' Assembly*, 21-24 Sept., Canberra, pp. 138-141. Roy. Aust. Chem. Inst., Melbourne.



- MARTÍNEZ DE, GUIAMET JJ, 2004: Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter readings by changes in irradiance and leaf water status. *Agronomie* 24, 41-46.
- OMMEN OE, DONNELLY A, VANHOUTVIN S, VAN OIJEN M, MANDERSCHIED R, 1999: Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO<sub>2</sub> concentrations and other environmental stresses within the 'ESPACE-whea' project. *Eur. J. Agron.* 10, 197-203.
- PAYNE RW, 2006: New and traditional methods for the analysis of unreplicated experiments. *Crop Sci.* 46, 2476-2481.
- PIEPHO HP, WILLIAMS ER, 2010: Linear variance models for plant breeding trials. *Plant Breeding* 129, 1-8.
- QARIANIL, EL JAAFARI S, DEKKAKI M, ARAUS JL, 2000: Cuticular conductance, water use efficiency and drought tolerance of durum wheat isolines of differing glaucousness. *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: new challenges. Opt. Méditerran. A - Sém. Méditerr.* 40, 315-318.
- REBETZKE GJ, RICHARDS RA, 1999: Genetic improvement of early vigour in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 50, 291-301.
- REBETZKE GJ, READ JJ, BARBOUR MM, CONDON AG, RAWSON HM, 2000: A hand-held porometer for rapid assessment of leaf conductance in wheat. *Crop Sci.* 40, 277-280.
- REYNOLDS MP, BORLAUG NE, 2006: Impacts of breeding on international collaborative wheat improvement. *J. Agric. Sci.* 144, 3-17.
- REYNOLDS M, FOULKES MJ, SLAFER G, BERRY P, PARRY MAJ, SNAPE JW, ANGUS WJ, 2010: Raising yield potential in wheat. *J. Exp. Bot.* 60, 1899-1918.
- RICHARDS RA, CONDON AG, REBETZKE GJ, 2001: Traits to improve yield in dry environments. In: Reynolds MP, Ortiz-Monasterio JI, McNab A (Eds.), *Application of physiology in wheat breeding*, pp. 88-100. CIMMYT, Mexico, DF.
- RICHARDSON MD, KARCHER DE, PURCELL LC, 2001: Quantifying turfgrass cover using digital image analysis. *Crop Sci.* 41, 1884-1888.
- ROYO C, APARICIO N, VILLEGAS D, GARCÍA DEL MORAL LF, CASADESÚS J, ARAUS JL, 2000: Tools for improving the efficiency of durum wheat selection under Mediterranean conditions. In: Royo C, Nachit MM, Di Fonzo N, Araus JL (Eds.), *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Options Méditerranéennes, Série A: Séminaires Méditerranéens* 40, 63-70.
- SISSONS MJ, HARE RA, 2002: Tetraploid wheat - A resource for genetic improvement of durum wheat Quality. *Cereal Chem.* 79, 78-84.
- STREET K, MACKAY M, ZUEV E, KAUL N, EL BOUHSSINI M, KONOPKA J, MITROFANOVA O, 2008: Diving into the genepool: a rational system to access specific traits from large germplasm collections. In: Appels R, Eastwood R, Lagudah E, Langridge P, Mackay M, McIntyre L, Sharp P (Eds.), *Proc. 11<sup>th</sup> Int. Wheat Genet. Symp.*, 24-28 Aug., Brisbane, O13. Sydney Univ. Press.
- VALKOUN JJ, 2001: Wheat pre-breeding using wild progenitors. *Euphytica* 119, 17-23.

## Einfluss von Trockenstress auf die Bestandestemperatur und den Ertrag bei Weizen (*Triticum aestivum*)

### Effects of drought stress on canopy temperature and grain yield of wheat (*Triticum aestivum*)

Regina Friedlhuber<sup>1</sup>, Urs Schmidhalter<sup>2</sup> und Lorenz Hartl<sup>1\*</sup>

#### Abstract

Closure of stomata is one response of plants to drought stress. This avoids transpiration loss, but increases canopy temperature through the minimized cooling effect of transpiration. Tolerant genotypes with a better water uptake under drought conditions show a lower increase of temperature than susceptible genotypes. With the help of an infrared camera it could be shown that under drought stress canopy temperature clearly increased. A correlation between canopy temperature and grain yield was found in field trials consisting of 7 - 10 m<sup>2</sup> plots of winter wheat population Chevalier x Impression. Within the small plot trial in the rain out shelter the test accuracy was probably too low. In the next year further trials and measurements will be carried out.

#### Keywords

Canopy temperature, drought stress, infrared camera, rain out shelter, *Triticum aestivum*



Abbildung 1: Rain out shelter in Freising

Figure 1: Rain out shelter in Freising

#### Einleitung

Aufgrund der globalen Erwärmung ist laut Bundesumweltamt die Durchschnittstemperatur im letzten Jahrhundert um 0,74°C angestiegen. Klimaforscher prognostizieren auch in Deutschland milde, feuchte Winter und trockene, heiße Sommer. Um die Erträge in der Landwirtschaft stabil zu halten, ist es notwendig bestehende Sorten an die veränderten Umweltbedingungen anzupassen.

Unter Trockenstress schließen die Pflanzen ihre Stomata, um Transpirationsverluste zu vermeiden. Durch die verminderte Transpirationskühlung steigt die Temperatur auf der Blattoberfläche an. In dieser Arbeit soll mittels einer Wärmebildkamera (JONES und LEINONEN 2003) die Auswirkung von Trockenstress auf die Bestandestemperatur und den Ertrag bei Weizen untersucht werden.

#### Material und Methoden

In einem Rollgewächshaus (*rain out shelter*, Abbildung 1) wurden 10 Winterweizen-Sorten (1,1 m<sup>2</sup>/Parzelle) in drei-

facher Wiederholung angebaut. Die 10 Sorten wurden unter Stress- und unter kontrolliert bewässerten (Gießwagen) Bedingungen geprüft. Ab Beginn der Hauptwachstumsphase wurde der Regen von den Versuchspflanzen abgehalten, um Trockenstress zu simulieren. Die Trockenstressvariante wurde mit 10 bis 30 mm/m<sup>2</sup> an drei Düngungsterminen bewässert. Somit lag die Beregnungsmenge in der Stressvariante bei 115 mm/m<sup>2</sup> und in der Kontrolle bei 255 mm/m<sup>2</sup>, gerechnet vom 01.01.2010 bis zur Ernte, die Ende Juli stattfand. Mittels Tensiometern wurde die Wasserversorgung des Bodens ständig überwacht. Bei der Bodenart handelt es sich um schluffigen Lehm bzw. mittelschluffigen Ton in den tieferen Schichten, mit einer nutzbaren Feldkapazität von 122 mm bis 60 cm Bodentiefe.

Eine Prüfung unter natürlichen Bedingungen fand sowohl im eher feuchteren Roggenstein (975 mm/Jahr), als auch in Triesdorf (625 mm/Jahr) und am Baumannshof (748 mm/Jahr) statt (Parzellengrößen zwischen 7,5 und 10 m<sup>2</sup>). Die beiden letzteren Standorte haben einen sandigen Boden;

<sup>1</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, IPZ 2c, Am Gereuth 6, D-85354 FREISING

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Technische Universität München, Emil-Ramann-Straße 2, D-85350 FREISING

\* Ansprechpartner: Dr. Lorenz HARTL, lorenz.hartl@lfl.bayern.de

Trockenstress gab es hier erst in der Kornfüllungsphase. Neben dem Sortenversuch fand auch eine Prüfung der Doppelhaploiden-Population Chevalier x Impression (152 Linien, 2 Wiederholungen) an diesen Standorten statt.

Um den Stress der Pflanzen zu charakterisieren, wurde die Bestandestemperatur mit einer hochauflösenden Wärmebildkamera gemessen. Bei den Stress-Bildern im Rollgewächshaus wurde jede Pflanzenreihe markiert, um den durchscheinenden Boden nicht in den Temperaturmittelwert mit einzubeziehen. Die Schwierigkeit beim Messen mit der Wärmebildkamera bestand darin den optimalen Messzeitpunkt zu finden, da die Bestandestemperatur sich im Tagesverlauf ändert. Desweiteren war die Messung nur bei wolkenfreiem Himmel möglich, da ansonsten die Temperaturen extrem schwanken. Nach der Ernte wurden Ertrag und Strohertrag ermittelt.

**Ergebnisse**

Im *rain out shelter* war bereits im April der Boden bis 40 cm Tiefe trocken, während in 60 und 90 cm Tiefe die Austrocknung ihren Höhepunkt zum Ährenschieben erreichte (Abbildung 2). Ab 500 hPa ist mit Trockenstress zu rechnen. Die Aufnahmen der Wärmebildkamera sind in Abbildung 3 anhand der Sorte Kerubino dargestellt. Es konnte gezeigt werden, dass unter sonst identischen Bedingungen, die gestressten Pflanzen eine um ca. 3°C höhere Bestandestemperatur als die kontrolliert bewässerten Pflanzen aufwiesen. Die Temperaturunterschiede zwischen Stress und Kontrolle waren bis auf zwei Sorten signifikant (Abbildung 4). Die Ertragsunterschiede zwischen den Behandlungen waren ebenfalls signifikant.

Eine Korrelation zwischen Bestandestemperatur und Kornertrag war weder im *rain out shelter* noch an den Außenstandorten möglich. Korrelationen gab es dagegen zwischen Bestandestemperatur und Strohertrag, sowie zwischen Strohertrag und Kornertrag (Abbildung 5). An den Standorten Triesdorf und Baumannshof gab es in der DH-Population eine signifikante Korrelation zwischen der

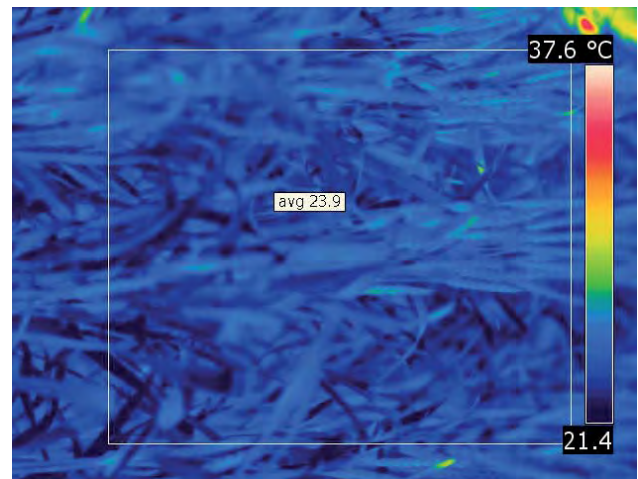
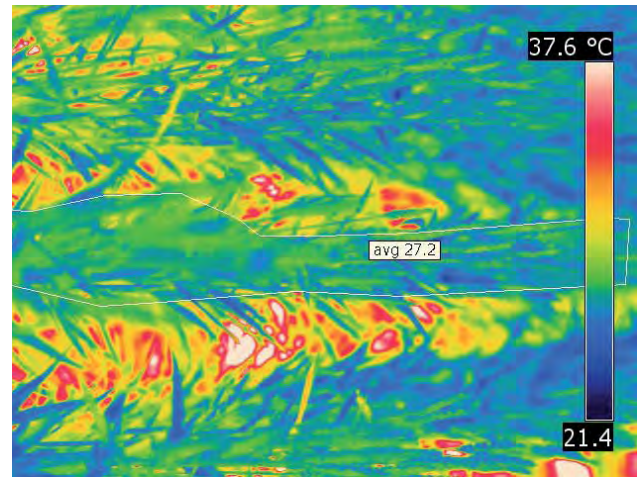


Abbildung 3: Wärmebildkamera-Aufnahme der Sorte Kerubino im *rain out shelter*. Oben: Stress mit 27,2°C; Unten: Kontrolle mit 23,9 °C

Figure 3: Picture of the variety Kerubino of the *rain out shelter*, made with an infrared camera. Top: stress with 27,2°C; Bottom: control with 23,9 °C

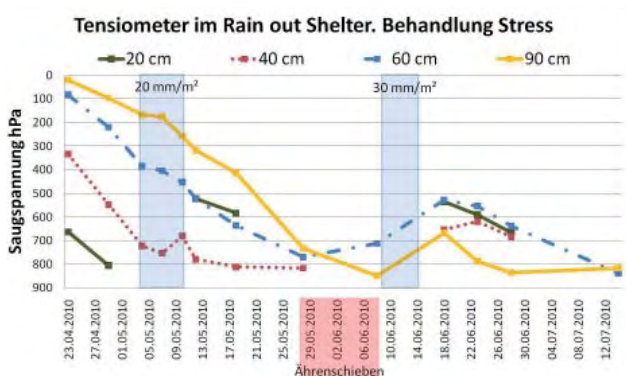


Abbildung 2: Saugspannung der Tensiometer von 20 cm bis 90 cm Bodentiefe. Hinterlegte Bereiche zeigen die Bewässerung an. Tensiometer in 20 und 40 cm Tiefe wurden nach der Bewässerung neu befüllt.

Figure 2: Soil water tension of tensiometer from 20 to 90 cm soil depth. Highlighted areas show the irrigation. Tensiometer in 20 and 40 cm depth were refilled after the irrigation.

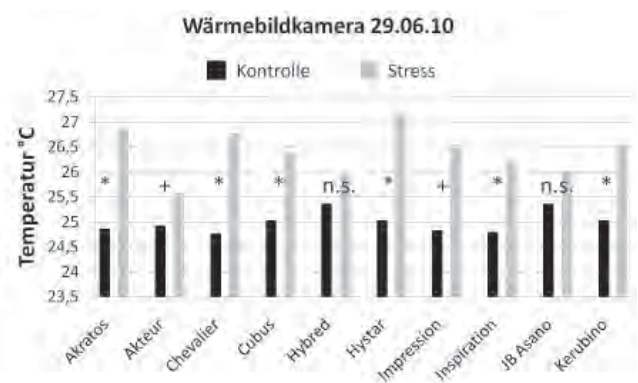


Abbildung 4: Vergleich der Behandlungen (Kontrolle und Stress) im *rain out shelter*. ANOVA für Temperatur (\*, 5%; +, 10% Irrtumswahrscheinlichkeit; n.s., nicht signifikant)

Figure 4: Comparison of treatments (control and stress) in *rain out shelter*. ANOVA for temperature (\*, 5%; +, 10% level of significance; n.s., not significant)

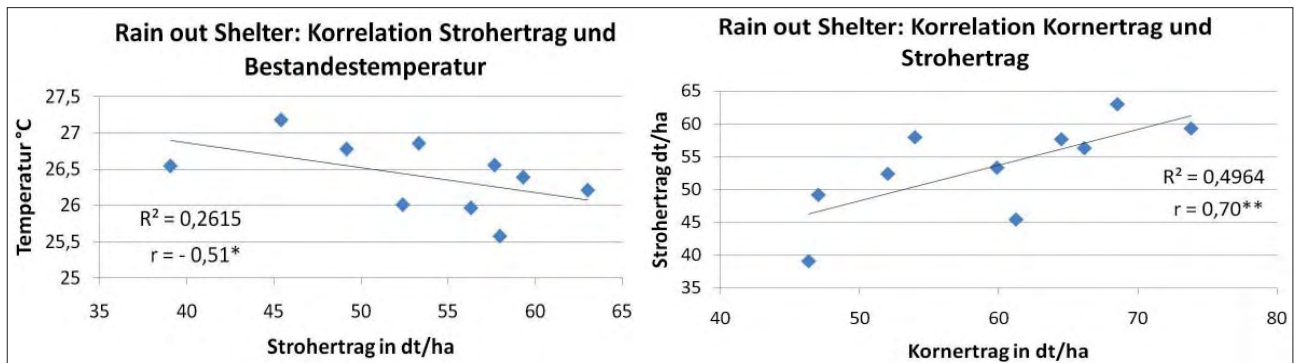


Abbildung 5: Links: Korrelation von Strohertrag und Bestandestemperatur bei 10 Sorten im rain out shelter, Temperatur vom 29.06.2010. Rechts: Korrelation von Stroh- und Kornertrag im rain out shelter

Figure 5: Left: Correlation between straw yield and canopy temperature of 10 varieties in rain out shelter, temperature of 29.06.2010. Right: Correlation between straw- and grain yield in rain out shelter

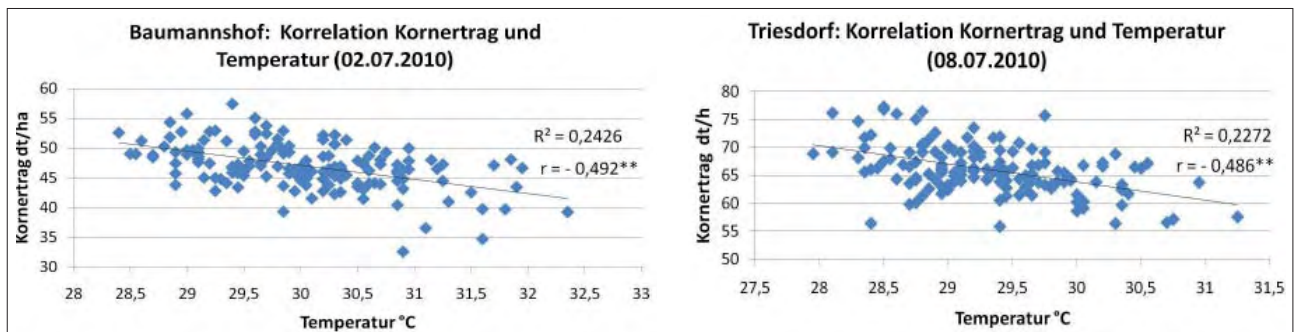


Abbildung 6: Korrelation von Ertrag und Bestandestemperatur in der DH-Population Chevalier x Impression. Messung der Temperatur mit einer Wärmebildkamera. Links: Baumannshof. Rechts: Triesdorf

Figure 6: Correlation between grain yield and canopy temperature in the doubled haploid population Chevalier x Impression. Measurement of temperature with an infrared camera. Left: Baumannshof. Right: Triesdorf

Bestandestemperatur und dem Kornertrag (Abbildung 6). Je niedriger die Bestandestemperatur, desto höher war der Kornertrag. Auch OLIVARES-VILLEGAS et al. (2007) fanden eine negative Korrelation zwischen Bestandestemperatur und Ertrag. Am Standort Roggenstein gab es keinen Trockenstress und auch keine Korrelation zwischen Bestandestemperatur und Kornertrag.

## Ausblick

Im nächsten Jahr werden die Versuche im rain out shelter und an den Außenstandorten fortgesetzt. Neben der Bestandestemperatur werden weitere stressrelevante physiologische Parameter erhoben. In der Population Chevalier x Impression soll eine QTL-Kartierung für Ertrag und die Bestandestemperatur durchgeführt werden. Ziel dieser Ar-

beit ist die Etablierung geeigneter Kriterien zur Selektion von Weizen-Genotypen unter Trockenstress.

## Danksagung

Dieses Projekt wird durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Bay. StMELF) gefördert. Die Autoren danken den fleißigen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Arbeitsgruppe IPZ 2c.

## Literatur

- JONES GH, LEINONEN I, 2003: Thermal imaging for the study of plant water relations. J. Agric. Meteorol. 59, 205-217.  
 OLIVARES-VILLEGAS JJ, REYNOLDS MP, MC DONALD GK, 2007: Drought-adaptive attributes in the Seri/Babax hexaploid wheat population. Funct. Plant Biol. 34, 189-203.



# Connection of characters relevant for drought stress on the quality of 25 European winter wheat genotypes

Clemens Flamm<sup>1\*</sup>, Barbara Teizer<sup>1</sup>, Elisabeth Zechner<sup>2</sup>, Franziska Löschenberger<sup>3</sup>,  
Maren Livaja<sup>4</sup>, Michael Schmolke<sup>4</sup> and János Pauk<sup>5</sup>

## Abstract

In 2010 at three Austrian, two German and one Hungarian location 25 winter wheat genotypes were tested in characters relevant for drought stress and in quality parameters. The results showed that early heading and ripening varieties exhibited a lower protein yield than later ones even if their protein content is higher. Genotypes with a longer period of grain filling obtain a lower protein yield. Taller genotypes reach a higher protein quality and heavier kernels. The quality parameters are negatively influenced by the chlorophyll content. The stomatal conductance does not influence the selected quality parameters. Varieties with later leaf senescence achieve higher protein content, higher protein quality and higher hectolitre weight.

## Keywords

Chlorophyll content, drought stress, leaf senescence, *Triticum aestivum*, wheat quality

## Introduction

The worldwide climate change is influencing the agriculture in Central Europe. As extreme weather events like heat and persistent drought appear more regular especially the Pannonian regions suffer from water insufficiency. Nevertheless other regions in Central Europe have the same problems. Against this background the research project called *Winter wheat cultivars maintaining high yield under environmental stress* was set up in October 2009. One part of this project was the quality aspect of wheat under drought stress which is pointed out below.

## Materials and methods

In 2010 at three Austrian locations in the Pannonian region (Breitstetten, Tattendorf and St. Andrä), at two German locations (Söllingen in Lower Saxony, Seligenstadt in Northern Bavaria) and at one Hungarian location (Szeged) 25 winter wheat varieties were cultivated. At two Austrian sites the trial was laid out in a rainfed and an irrigated variant. The varieties were selected for a wide range of end use quality.

The nursery was made up by eight domestic genotypes from each participating country plus Capo as check variety. The field experiments were arranged in a randomized lattice design with three to four replications. Plot size differed among locations (Austria 8.0-13.5 m<sup>2</sup>; Germany 4.5-5.5 m<sup>2</sup>; Hungary 6.5 m<sup>2</sup>). The nitrogen application ranged in total from 129 to 140 kg N ha<sup>-1</sup> in Austria, 170 to 190 kg N ha<sup>-1</sup> in Germany and 68 kg N ha<sup>-1</sup> in Hungary.

The following agronomic parameters were recorded: Heading date (BBCH 59), date of anthesis (BBCH 65), date of physiological grain maturity (BBCH 87) and plant height (cm) according to BFL (2002). Furthermore physiological parameters were evaluated: flag leaf senescence (BBCH 73-85 in % of discoloured leaf), flag leaf chlorophyll content (10 flag leaves from each plot at BBCH 59-65 using the SPAD-502 chlorophyll meter from Konica Minolta Sensing, Inc.), flag leaf stomatal conductance (three flag leaves of each plot at BBCH 65-71 using the leaf porometer from Decagon Devices, Inc.).

The following quality parameters were determined: thousand kernel weight (TKW, g, 86% d.m.), hectolitre weight (kg, ISO 7971-2), protein content (% d.m., Dumas combustion method, ICC Nr. 167; Nx5.7) and Zeleny sedimentation value (ml, ICC Nr. 116), kernels per ear (calculated from grain yield, TKW and number of ears per m<sup>2</sup>). Statistical analysis, i.e. correlation analysis, were carried out for the whole set of 25 varieties and separately also for two subsets of different baking quality. Therefore the varieties were divided in the three quality groups according to OBERFORSTER et al. (1994), i.e. 10 varieties of high baking quality, 12 varieties of medium baking quality, and 3 feeding wheat varieties. Due to the limited number of feeding wheats this group was not considered in the correlation analysis within quality groups.

## Results and discussion

For all countries similar results were observed. Early heading varieties - with a longer period of grain filling - realised a lower protein yield than later ones. A negative tendency between growth stages (date of heading, anthesis and maturity) and the protein content, sedimentation value

<sup>1</sup> Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Institut für Sortenwesen, Spargelfeldstraße 191, A-1220 WIEN

<sup>2</sup> Saatzeit Edelhof, Edelhof 1, A-3910 ZWETTL

<sup>3</sup> Saatzeit Donau Ges.m.b.H. & CoKG, Saatzeitstraße 11, A-2301 PROBSTDORF

<sup>4</sup> Technische Universität München, Center of Life and Food Sciences Weihenstephan, Emil-Ramann-Str. 4, D-85354 FREISING

<sup>5</sup> Department of Biotechnology, Cereal Research Non-Profit Limited Company, Alsó kikötő sor 9, H-6726 SZEGED

\* Ansprechpartner: Clemens FLAMM, clemens.flamm@ages.at

and hectolitre weight could have been observed (Table 1). However, only the negative correlation between physiological grain maturity and protein content was significant ( $p \leq 0.05$ ). Early maturing genotypes seemed to have a higher hectolitre weight, protein content and protein quality. This corresponded with the found correlation between leaf senescence and hectolitre weight and protein content. Within the Austrian baking quality groups only positive ( $r=0.61^*$  to  $0.70^*$ ) correlations between heading time and time of anthesis with the protein yield were found. The period of grainfilling was significantly negatively correlated with the protein yield ( $r = -0.59^*$  to  $-0.73^*$  within the Austrian baking quality group and the whole set of varieties, respectively; Figure 1). This means that varieties with a longer period of grainfilling reached a lower protein yield within the baking quality group.

Plant height was positively associated ( $p \leq 0.05$  and  $p \leq 0.01$ ) with sedimentation value, hectolitre weight and thousand kernel weight. Taller varieties showed higher protein quality, higher hectolitre weight and higher thousand kernel weight. The present findings are similar to those of KHAN et al. (2010), AKRAM et al. (2008), BELAY et al. (1993), EUNUS et al. (1986) and SANDHU and MANGAT (1985) who observed also a positive relationship between plant height and thousand kernel weight. A possible explanation is that tall cultivars obtain a loose grain arrangement on the ears. Therefore, grains reach a bigger size. Within the group of high baking quality wheat the correlation between plant height and hectolitre weight was positive ( $r=0.63^*$ ).

Kernels per ear were positively correlated ( $p \leq 0.05$ ) with maturing date. Late maturing genotypes showed a higher number of kernels per ears. These results are in accordance

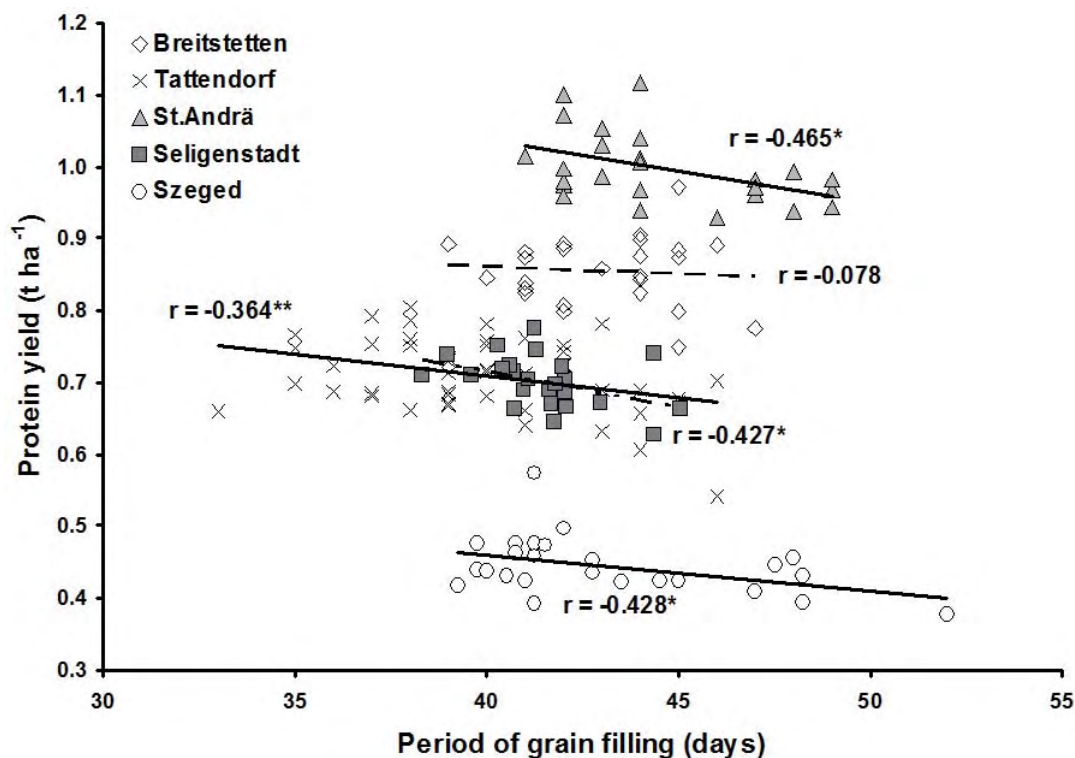
**Table 1: Intervarietal correlations between agronomic parameters, protein yield, protein quality and yield components (2010, 25 varieties)**

Parameter <sup>1</sup>	PRYLD	PROT	SEDI	HLW	TKW	KPE
HEAD	0.63**	-0.38	-0.11	-0.23	0.06	0.38
GRMAT	0.48*	-0.41*	-0.26	-0.36	-0.11	0.45*
GRFILL	-0.67**	0.29	-0.04	0.08	-0.19	-0.26
PH	0.38	0.17	0.49*	0.63**	0.57**	-0.13

<sup>1</sup> GRFILL, period of grain filling (days); GRMAT, physiological grain maturity (days from Jan 1); HEAD, heading date (days from Jan 1); HLW, hectolitre weight (kg); KPE, kernels per ear; PH, plant height (cm); PROT, protein content (% d.m.); PRYLD, protein yield (t ha<sup>-1</sup>); SEDI, sedimentation value (ml); TKW, thousand kernel weight (g, 86% d.m.)

with SUBHANI and CHOWDHRY (2000) but in contrast with KHAN et al. (2010). Due to the fact that these two traits are considered as variety characteristics, different genotypes used in the studies most probably led to the contradictory results.

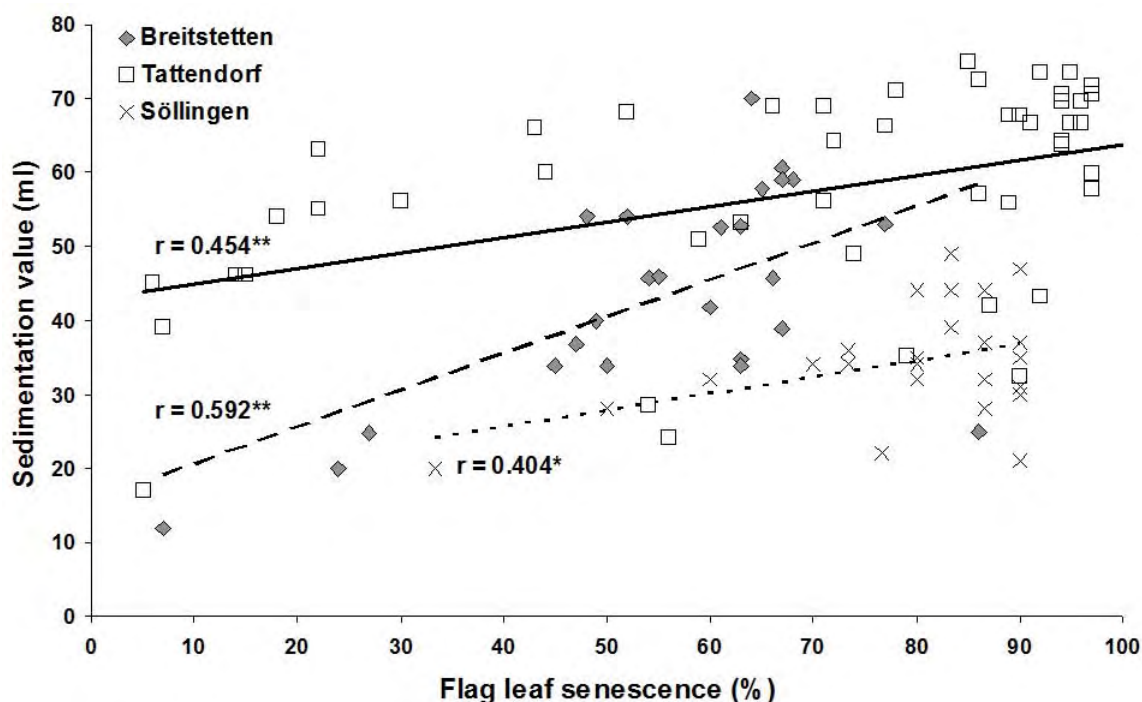
In the core set a negative relationship between stomatal conductance and quality parameters was detected (Table 2). Within the quality wheat the negative correlation between stomatal conductance and hectolitre weight and sedimentation value was significant ( $r = -0.72^*$  and  $-0.63^*$ , respectively). Varieties with a high stomatal conductance showed lower test weights and lower protein quality. These findings are in contrast to the results of PINTO et al. (2008) who reported that genotypes with a high conductance can fill their grains more successfully. These contradictory results might occur through different measuring dates as well as through different environmental conditions (drought or irrigated conditions).



**Figure 1: Intervarietal correlations between period of grain filling and protein yield (2010, 25 varieties, in Tattendorf two water supply systems)**

**Table 2: Intervarietal correlations between physiological parameters, protein yield, protein quality and yield components (2010, 25 varieties)**

Parameter <sup>1</sup>	PRYLD	PROT	SEDI	HLW	TKW	KPE
Chlorophyll content (SPAD values)	-0.09	-0.54**	-0.43*	-0.49*	-0.32	0.37
Stomatal conductance (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	-0.13	-0.21	-0.21	-0.35	-0.04	0.00
Leaf senescence (%)	-0.39	0.64**	0.50*	0.59**	0.36	-0.62**

<sup>1</sup> abbreviations see Table 1**Figure 2: Intervarietal correlations between flag leaf senescence and sedimentation value (2010, 25 varieties, in Tattendorf two water supply systems)**

Leaf senescence was in negative association ( $p \leq 0.01$ ) with kernels per ear. These results are substantiated with those of KANDIĆ et al. (2009). A low senescence rate maintains a higher transpiration efficiency resulting in prolonged assimilation. Leaf senescence was positively correlated ( $p \leq 0.01$ ) to quality parameters (Figure 2). These findings are in disagreement with GELANG et al. (2000), RICHARDS et al. (2002) and SPANO et al. (2003). According to these authors only an extended duration of grain filling (low senescence rate) will result in high quality and larger grains. The positive correlation within this study could be approved by the negative correlation between growth stages and quality parameters. Early maturing genotypes reached a higher quality and these varieties showed a higher leaf senescence rate.

## Acknowledgements

This project was framed by CORNET (COLlective REsearch NETworking) and financed in Austria by FFG (Austrian Research Promotion Agency) and Saatgut Österreich. In Germany the project was financed by AiF (German Federation of Industrial Research Associations) and BMWi (Ministry of Economics and Technology) and was supported by the

German Federation of Private Plant Breeders. In Hungary NKTH (National Office for Research and Technology) was the financing partner.

## References

- AKRAM Z, AJMALS, MUNIR M, 2008: Estimation of correlation coefficient among some yield parameters of wheat under rainfed conditions. *Pakistan J. Bot.* 40, 4, 1777-1781.
- BELAY G, TESEMMA T, MITIKU D, 1993: Variability and correlation studies in durum wheat in Alem-Tena, Ethiopia. *Rachis* 12, 38-41.
- BFL, 2002: Methoden für Saatgut und Sorten: Richtlinien für die Sortenprüfung. Schriftenreihe 59/2002. Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Wien.
- EUNUS M, SARKER DC, KHAN ZA, SARKER AU, 1986: Interrelationships among some quantitative characters of wheat. *Bangladesh J. Agric. Res.* 11, 91-94.
- GELANG J, PLEIJEL H, SILD E, DANIELSSON H, YOUNIS S, SELLDÉN G, 2000: Rate and duration of grain filling in relation to flag leaf senescence and grain yield in spring wheat (*Triticum aestivum*) exposed to different concentrations of ozone. *Physiol. Plant.* 110, 366-375.
- KANDIĆ V, DODIG D, JOVIĆ M, NIKOLIĆ B, PRODANOVIĆ S, 2009: The importance of physiological traits in wheat breeding under irrigation and drought stress. *Genetika* 41, 11-20.



- KHAN AJ, AZAM F, ALI A, 2010: Relationship of morphological traits and grain yield in recombinant inbred wheat lines grown under drought conditions. *Pakistan J. Bot.* 42, 259-267.
- OBERFORSTER M, SCHMIDT L, WERTEKER M, 1994: Bewertungsschema `94 der technologischen Qualität von Weizensorten (Weichweizen). *Jahrbuch 1993*, 257-280. Bundesanstalt für Pflanzenbau, Wien.
- PINTO S, CHAPMAN SC, MCINTYRE CL, SHORTER R, REYNOLDS M, 2008: QTL for canopy temperature response related to yield in both heat and drought environments. In: Appels R, Eastwood R, Lagudah E, Langridge P, Mackay M, McIntyre L, Sharp P (Ed.), *Proc. 11th Int. Wheat Genet. Symp.*, 24-28 Aug, Brisbane, Australia. Sydney University Press, Sydney. [Available online: <http://hdl.handle.net/2123/3351>; accessed 4 Feb 2011].
- RICHARDS RA, REBETZKE GJ, CONDON AG, VAN HERWAARDEN AF, 2002: Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.* 42, 111-121.
- SANDHU BS, MANGATNS, 1985: Interrelationships in some quantitative traits in wheat. *Indian J. Agric. Res.* 19, 98-102.
- SPANO G, DI FONZO N, PERROTTA C, PLATANI C, RONGA G, LAWLOR DW, NAPIER JA, SHEWRY PR, 2003: Physiological characterization of 'stay green' mutants in durum wheat. *J. Exp. Bot.* 54, 1415-1420.
- SUBHANI GM, CHOWDHRY MA, 2000: Correlation and path coefficient analysis in bread wheat under drought stress and normal conditions. *Pakistan J. Biol. Sci.* 3, 72-77.

## Wurzelsystemgröße von Winterweizensorten in Beziehung zum Ertrag

### Root system size of winter wheat in relation to grain yield

Tomáš Středa<sup>1\*</sup>, Vítězslav Dostál<sup>1</sup>, Vladimíra Horáková<sup>2</sup> and Oldřich Chloupek<sup>1</sup>

#### Abstract

Twenty winter wheat varieties were evaluated in 2007 and 2009 on two locations, and in 2008 on one site, for root system size (RSS) using electrical capacitance measurements at three dates during vegetation. The measurements were compared with grain yield of official Czech variety trials at 20, 22 and 23 locations including two management systems, i.e. low- and high-input. The effect of varieties was significant in all years, however, the effect of years and locations was more important in the analyses of variance. The results from the three years revealed that in dry years and areas winter wheat varieties with a smaller RSS resulted in lower grain yields. In 2008, however, a great RSS was disadvantageous in the lowest (200–300 m a.s.l.) and driest areas, probably due to a shorter vegetation time.

#### Keywords

Drought, electrical capacitance, root system size, *Triticum aestivum*, yield

#### Einleitung

Die Wurzelsystemgröße (WSG) ist ein Parameter für die Trockentoleranz von Pflanzen. Pflanzen mit einer größeren WSG können tiefer gelegene Bodenschichten wo noch Wasser vorhanden ist erreichen. Die WSG kann indirekt über die elektrische Leitfähigkeit bestimmt werden (CHLOUPEK 1972). Obwohl mit dieser Methode die WSG nur indirekt bewertet werden kann, gibt es keine andere Methode welche die WSG im Boden mehrfach wiederholt und zerstörungsfrei messen kann.

#### Material und Methoden

Zwanzig Winterweizensorten wurden von 2007 bis 2009 mit Hilfe elektrischer Kapazitätsmessungen (CHLOUPEK 1972, BODNER et al. 2008) an drei verschiedenen Terminen hinsichtlich ihrer WSG charakterisiert (2007 und 2009 an zwei Standorten; 2008 an einem Standort). Die Leitfähigkeitswerte wurden mit dem Kornertrag von 20, 22 und 23 Prüfstandorten (low- und high-input Varianten) des Nationalen Sortenamtes verglichen. Die Kornqualität wurde am Erntegut von vier Standorten bewertet.

#### Ergebnisse

Für die WSG konnte in allen drei Jahren ein signifikanter Sorteneffekt (8–10% der gesamten Abweichungsquadratsumme in der ANOVA) festgestellt werden, deutlich größer war der Jahres- und Standorteinfluss. Im sehr trockenen Jahr 2007 (*Abbildung 1*) war die WSG mit dem Korn- (*Tabelle 1*) und Stärkeertrag (Durchschnitt der beiden Produktionsvarianten) mit  $R^2 = 0,285^*$  bzw.  $0,284^*$  korreliert. Sorten mit größerer WSG zeigten einen höheren Stärkeertrag ( $R^2 = 0,248$ ), die Korrelation zwischen WSG und Stärke- bzw. Proteingehalt war nicht signifikant. Die Qualitätsbeurteilung erfolgte an 51 Sorten, d.h. auch an Sorten bei denen nicht die WSG gemessen wurde. Der Stärkegehalt war an den beiden Trockenstandorten niedriger (66,9 und 68,4%) als an den beiden anderen Standorten (71,2 und 69,8%). Trockenheit zeigte somit einen ähnlichen Effekt auf den Stärkegehalt wie kleinere WSG. Selektion auf höhere WSG könnte deshalb indirekt durch Selektion auf einen höheren Stärkeertrag auf Trockenstandorten bzw. -jahren erfolgen.

Die durchschnittliche WSG war 2008 generell nicht signifikant mit dem Ertrag korreliert ( $r = -0,316$ ). Für die tiefsten Lagen (200–300 m über dem Meeresspiegel) mit den höchsten Temperaturen war diese Korrelation allerdings signifikant ( $r = -0,459^*$ ). Je größer die WSG desto kürzer war auch die Vegetationsdauer, was auf Wassermangel auch in tieferen Bodenschichten hinweisen kann. Nach schlechten Vorfrüchten war eine größere WSG während der Bestockung, sowie die Pflanzenlänge negativ mit dem Ertrag korreliert ( $r = -0,508^*$  bzw.  $-0,718^{**}$ ). Scheinbar wurde Trockenheitsstress von kürzeren Pflanzen besser toleriert.

Im Jahr 2009 zeigte sich eine Tendenz zu höheren Erträgen bei Sorten mit größerer WSG in beiden Anbauvarianten ( $R^2 = 0,06$  und  $0,12$ ). Korrelationen für fünf Standorte in mittleren Lagen (260–450 m) waren signifikant, allerdings nur für die high-input Variante ( $R^2 = 0,391^{**}$ ) wo ein Wasser- und Temperaturstress deutlich wurde (*Abbildung 2*), wahrscheinlich durch einen höheren Wasserverbrauch bei höheren Kornerträgen. Durchschnittswerte der WSG und der Kornerträge im Jahr 2009 sind in *Tabelle 2* dargestellt.

Eine große WSG zeigten Akteur, Biscay, Etela, Kodex, Orlando, Pitbull und Rapsodia. Im trockenen Jahr 2007 und in den Trockenlagen 2009 hatten Akteur, Biscay und Etela

<sup>1</sup> Department of Crop Science, Breeding and Plant Medicine, Mendel University Brno, Zemědělská 1, CZ-613 00 BRNO

<sup>2</sup> National Plant Variety Office, Hroznová 2, CZ-656 06 BRNO

\* Correspondence: Tomáš STŘEDA, streda@mendelu.cz

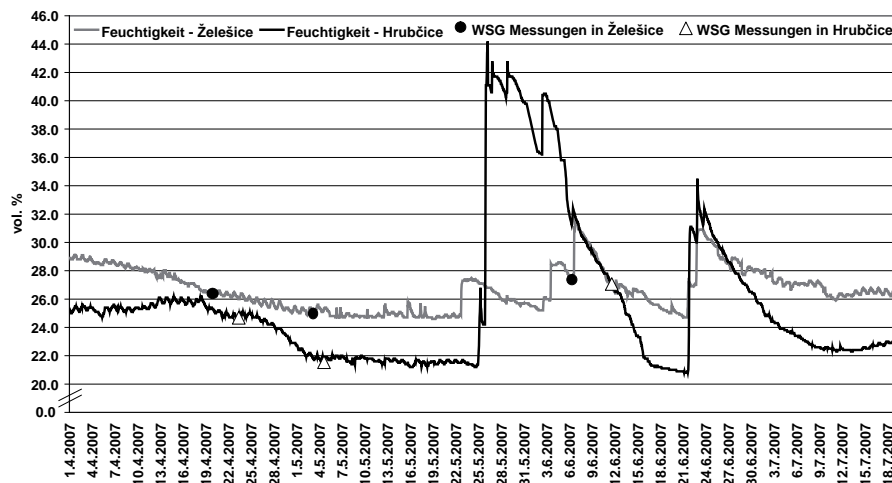


Abbildung 1: Bodenfeuchtigkeit in 20 cm Bodentiefe im Weizenbestand 2007 in dem die Wurzelsystemgröße (WSG) gemessen wurde  
 Figure 1: Soil moisture in 20 cm soil depth where root system size (RSS) was measured at the two sites of Želešice and Hrubčice in 2007

Tabelle 1: Wurzelsystemgröße (WSG) der Weizensorten in Beziehung zum Ertrag im Jahr 2007

Table 1: Root system size (RSS) in relation to grain yield of Czech winter wheat varieties in 2007

WSG/RSS	Sorten/Varieties	Ø WSG/RSS (nF)	Ø Ertrag/Yield (t.ha <sup>-1</sup> )	Sorten/Varieties	WSG/RSS (nF)	Ertrag/Yield (t.ha <sup>-1</sup> )
Klein/small	7	1.37	8.04	Illias	1,22	7,85
				Rheia	1,26	8,16
				Hedvika	1,36	8,51
				Raduza	1,41	8,06
				Sulamit	1,42	8,06
				Banquet	1,44	7,83
				Ludwig	1,46	7,79
Mittel/medium	6	1.51	8.56	Samanta	1,48	7,98
				Simila	1,48	8,38
				Rapsodia	1,50	9,27
				Darwin	1,52	8,70
				Eurofit	1,53	8,42
				Globus	1,56	8,64
Groß/great	7	1.65	8.99	Batis	1,57	8,38
				Meritto	1,57	9,44
				Vlasta	1,62	8,62
				Cubus	1,64	9,04
				Etela	1,68	9,19
				Akteur	1,70	8,44
				Biscay	1,78	9,79

eine große WSG. Nach Spätsaat (nach der Körnermaiserte) zeigten Sorten mit größerer WSG einen höheren Ertrag ( $R^2=0,320^{**}$ ).

Unsere vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass in trockenen Jahren und Lagen Winterweizensorten mit kleinerer WSG einen kleineren Ertrag hatten. Konträr dazu brachten 2008 Sorten mit kleinerer WSG nach Spätsaat einen höheren Ertrag ( $r = -0,459^*$ ), weil sie kürzer waren ( $r = -0,718^{**}$  zwischen WSG und Pflanzenlänge).

## Diskussion

Eine positive Korrelation zwischen WSG und Korntrag wurde auch bei Sommergerste gefunden. Nie wurde jedoch

Tabelle 2: Ertrag von 20 Winterweizensorten mit verschiedener Wurzelsystemgröße (WSG) in 2009 in mittleren Lagen

Table 2: Yield of 20 winter wheat cultivars with different root system size (RSS) in 2009 in middle altitudes

WSG/RSS	n	WSG/RSS (nF)	Ertrag/Yield (t.ha <sup>-1</sup> )
2,38-2,63	7	2,52	6,68
2,69-2,88	6	2,78	6,91
2,94-3,09	7	3,02	7,14

eine negative Korrelation festgestellt (CHLOUPEK et al. 2010). Das könnte durch die niedrigere Trockentoleranz von Sommergerste im Vergleich mit Winterweizen erklärt werden.

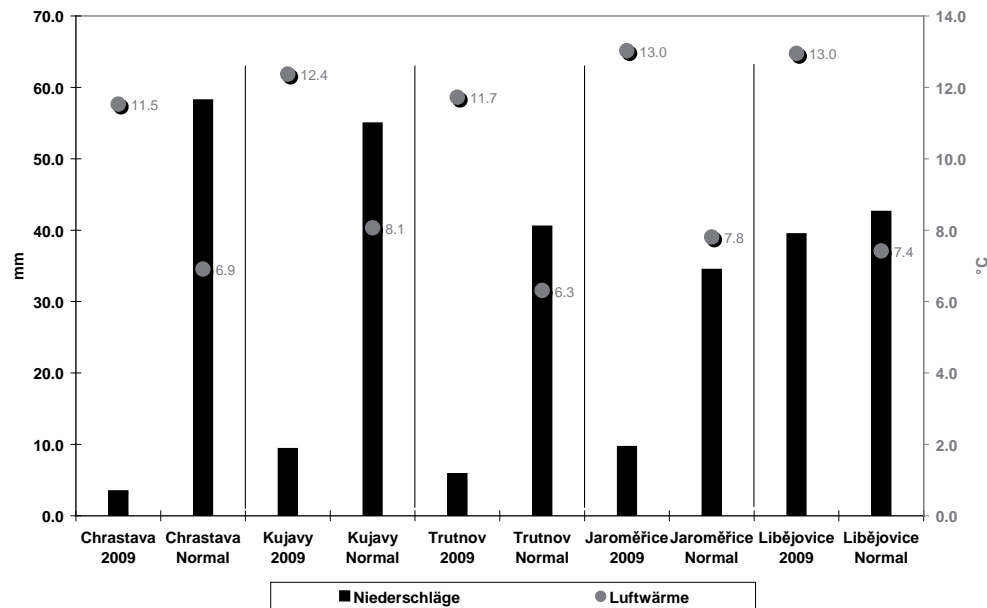


Abbildung 2: Wasser- und Temperaturstress im April 2009 an fünf Standorten für die eine signifikante Korrelation zwischen Wurzelsystemgröße und Ertrag gefunden wurde (Die Entfernung zwischen den Standorten der Ertrags- bzw. Wettermessungen betrug 2 bis 11 km)

Figure 2: Water- (bars) and temperature (dots) stress in April 2009 on 5 Czech location where a significant correlation between root system size and yield was observed (Distance between sites of yield and weather data collection was 2 to 11 km)

## Danksagung

Die Forschung wurde von Forschungsaufträgen MSM 621 564 8905 und NAZV QH 91192 finanziert.

## Literatur

BODNER G, STŘEDA T, DOSTÁL V, CHLOUPEK O, KAUL HP, 2008: Bestimmung der Wurzelsystemgröße von Winterweizen: Anwendung und Interpretation einer elektrischen in-situ Methode. In: ALVA

(Hrsg.), Ernähren uns in der Zukunft Energiepflanzen? Tagungsbericht 2008, 81-83. Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel- Veterinär- und Agrarwesen, Wien.

CHLOUPEK O, 1972: The relationship between electric capacitance and some other parameters of plant roots. *Biologia Plantarum* 14, 227-230.

CHLOUPEK O, DOSTÁL V, STŘEDA T, PSOTA V, DVOŘÁČKOVÁ O, 2010: Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. *Plant Breeding* 129, 630-635.



# Yield and quality of spring barley in relation to root system size

Tomáš Středa<sup>1\*</sup>, Vítězslav Dostál<sup>1</sup>, Martin Hajzler<sup>1</sup> and Oldřich Chloupek<sup>1</sup>

## Abstract

The study introduces the evaluation of root system size (RSS) for the breeding of barley in particular for drought tolerance. From 2007 to 2009 about 20 varieties of spring barley were evaluated at two locations for RSS by its electric capacity. A significant correlation between electric capacity of the root system and its weight, volume and root surface was found. RSS was compared with yield and quality of the varieties in official registration trials. Varieties with greater RSS had significantly higher yields in the dry year 2007. Similar relationships between RSS and yield in the other years were found only for some environments. Malting barley varieties with greater RSS had significantly higher contents of starch, saccharide extracts and malt extracts, as well as higher yields of protein and starch in 2007. It can be concluded that lower RSS is related to lower grain yield and malt quality in dry environments independent of the genetic background of varieties, and higher yields are correlated with greater RSS.

## Keywords

*Hordeum vulgare*, malting quality, protein, root system, starch, yield

## Introduction

Drought is the most significant environmental stress worldwide and improving yield under drought is a main goal of plant breeding. Root growth may increase crop productivity in deep soils especially under drought stress conditions (RUSSELL 1977, ZHENG et al. 2009). Root system is an important factor affecting yield and quality in dry years or areas with inadequate rainfall. Pot experiments with wheat showed significant correlations between RSS measured by its electrical capacity and grain yield under different fertilization treatments. The results indicated that RSS correlates with grain yields in absence of fertilization. A large root system of barley is a prerequisite for rapid initial plant growth and stable yield (CHLOUPEK et al. 2010).

Length of roots, their area, diameter and root hairs are important indicators for ingestion of water and nutrients in the vegetation. Many factors of the soil environment can limit root growth including temperature, nutrient and water availability, pathogens and aeration (ZHENG et al. 2003). Soil physical stress was found to decrease root elongation and soil strength has a major effect on the distribution of plant roots. Drying soils can strongly affect root growth. Tillage

systems may influence rooting depth and root distribution (DWYER et al. 1995).

## Materials and methods

Electrical capacity (nF, nanofarad) of the root system was measured by a 131D LCR Meter device at a frequency of 1 kHz. The measurements were performed in field conditions by connecting the plant to one electrode and inserting the second electrode into the soil surrounding the plant. The circuit under alternating current that passes between the root system and the soil measured parallel capacity (Cp). One panel represents the root surface and the second panel represents the soil where the plant roots grow (CHLOUPEK 1972, DALTON 1995). We measured only the living part of the root which can be determined by the electrical activity of the membrane between the cells. The alternating current causes polarization of living membranes. Young roots and root hairs have the greatest capacity because they do not contain suberin in the cell wall. Older roots with suberinised cell walls have a greater distance between the 'plates', therefore, the value of electric capacity is lower.

Experiments with spring barley varieties were established in 2007-2009 at two sites in Želešice and Hrubčice. We focused on varieties that were tested in official registration trials without fungicide treatment. We evaluated 20 varieties

Table 1: Mean root system size of spring barley (Želešice, 2007)

Variety	Shooting (BBCH 30-33)	Heading (BBCH51-55)	Grain filling (BBCH 73-75)
Aksamit	2.056 cdefg	3.098 fg	<b>0.417<sup>j</sup></b>
Blaník	1.925 bcde	2.545 abcde	0.278 bcdef
Bojos	2.236 defg	2.880 def	0.257 abc
Bolina #	<b>1.550<sup>a</sup></b>	2.142 ab	0.252 abc
Braemar	1.924 bcd	2.596 bcdef	0.292 cdef
Calgary	2.245 defg	3.537 gh	0.376 shij
Diplom	1.815 abc	2.374 abcd	0.334 defghi
Jersey	2.063 cdefg	2.361 abc	0.303 cdef
Malz	2.113 cdefg	2.338 abc	0.270 bcd
Orthege #	2.266 efg	<b>3.822<sup>h</sup></b>	0.396 ij
Poet	<b>2.382<sup>g</sup></b>	<b>3.749<sup>h</sup></b>	0.380 hij
Prestige	1.683 ab	<b>2.070<sup>a</sup></b>	0.345 fghi
Pribina #	2.363 fg	<b>2.080<sup>a</sup></b>	<b>0.200<sup>a</sup></b>
Radegast	2.183 defg	2.910 ef	0.341 efghi
Sebastian	1.943 bcde	2.445 abcde	0.336 defghi
Spilka	2.199 defg	2.613 bcdef	0.310 cdefg
Tocada	2.030 cdef	2.488 abcde	0.272 bcde
Tolar	1.933 bcde	2.100 ab	0.314 cdefgh
Westminster	1.982 bcde	3.068 fg	0.340 efghi
Xanadu	2.098 cdefg	2.703 cdef	0.212 ab

Means with the same letter are not significantly different ( $P \leq 0.05$ ); groups with highest values are printed in bold, groups with lowest values in bold and italics; #, non malting barleys

<sup>1</sup> Department of Crop Science, Breeding and Plant Medicine, Mendel University Brno, Zemědělská 1, CZ-613 00 BRNO

\* Ansprechpartner: Tomáš STŘEDA, streda@mendelu.cz

in 2007, 22 in 2008 and 24 in 2009. Electrical capacity of the root system was measured three times at different growth stages, i.e. shooting (BBCH 30-33), heading (BBCH51-55) and grain filling (BBCH 73-75).

## Results

### Year 2007

In 2007 electrical capacity of the root systems was measured only in Želešice (Table 1). Table 2 shows the comparison of the average RSS and grain yield for all measurement dates. Varieties with small RSS values reached a mean yield of 5.38 t.ha<sup>-1</sup>, varieties with medium RSS reached a mean yield of 6.12 t.ha<sup>-1</sup> and varieties with high RSS achieved a mean yield of 6.07 t.ha<sup>-1</sup>. Table 3 shows the relationships between RSS and selected quality parameters. Statistically significant relationships were found between grain yield and RSS, as

Table 2: Root system size (RSS) and yield of spring barley (Želešice, 2007)

RSS (nF)	Mean yield (t.ha <sup>-1</sup> )	Varieties
1.31-1.57	5.38	Bolina, Diplom, Malz, Prestige, Pribina, Tolar
1.58-1.79	6.12	Blaník, Bojos, Braemar, Jersey, Sebastian, Spilka, Tocada, Xanadu
1.80-2.17	6.07	Aksamit, Calgary, Orthega, Poet, Radegast, Westminster

well as between starch content and RSS, and carbohydrate extract and malt extract.

### Year 2009

Values of RSS measured in 2009 are demonstrated in Table 6. As in 2008 RSS was generally higher in Hrubčice. Table

Table 3: Group means for root system size (RSS), grain yield and quality traits of malting barley varieties in 2007

RSS (nF)	Varieties	Yield	Protein	Starch	Saccharide extract	Malt extract
4.64-5.02	5	5.31	11.72	63.5	76.9	81.7
5.04-5.18	6	5.63	11.38	64.2	77.4	82.2
5.19-5.50	5	5.79	11.34	64.1	77.6	82.5
Correlation with RSS		0.82**	-0.48	0.64**	0.61*	0.50*

Table 4: Mean root system size of spring barley (Želešice & Hrubčice, 2008)

Variety	Želešice			Hrubčice		
	Shooting	Heading	Grain filling	Shooting	Heading	Grain filling
Acrobat	<b>3.803</b> <sup>a</sup>	<b>1.236</b> <sup>a</sup>	0.787 <sup>bc</sup>	6.147 <sup>bcd</sup>	6.286 <sup>abcd</sup>	2.217 <sup>abc</sup>
Aksamit	<b>5.700</b> <sup>#</sup>	2.350 <sup>fg</sup>	1.038 <sup>bcd</sup>	6.514 <sup>fghi</sup>	7.092 <sup>abcde</sup>	2.736 <sup>efgh</sup>
Aktiv	4.659 <sup>abcde</sup>	1.848 <sup>cde</sup>	1.145 <sup>e</sup>	5.609 <sup>abc</sup>	6.194 <sup>abc</sup>	2.362 <sup>abcde</sup>
Azit <sup>#</sup>	4.978 <sup>defg</sup>	1.927 <sup>cdef</sup>	0.981 <sup>bcd</sup>	6.456 <sup>efghi</sup>	7.032 <sup>abcde</sup>	2.462 <sup>abcde</sup>
Blaník	4.090 <sup>abc</sup>	1.383 <sup>ab</sup>	0.753 <sup>ab</sup>	6.408 <sup>defgh</sup>	7.146 <sup>abcde</sup>	2.787 <sup>efgh</sup>
Bojos	4.818 <sup>bcd</sup>	2.256 <sup>efg</sup>	1.132 <sup>de</sup>	7.121 <sup>hi</sup>	<b>8.354</b> <sup>e</sup>	<b>3.325</b> <sup>i</sup>
Bolina <sup>#</sup>	5.643 <sup>fg</sup>	1.880 <sup>cde</sup>	0.782 <sup>bc</sup>	6.743 <sup>ghi</sup>	7.093 <sup>abcde</sup>	2.629 <sup>cdefgh</sup>
Calgary	5.430 <sup>efg</sup>	1.791 <sup>bcd</sup>	1.032 <sup>bcd</sup>	6.708 <sup>ghi</sup>	7.831 <sup>de</sup>	2.997 <sup>ghi</sup>
Diplom	4.209 <sup>abcd</sup>	2.056 <sup>cdefg</sup>	1.099 <sup>de</sup>	5.429 <sup>ab</sup>	6.489 <sup>abcde</sup>	2.526 <sup>abcde</sup>
Jersey	4.183 <sup>abcd</sup>	1.946 <sup>cdef</sup>	1.062 <sup>cde</sup>	6.876 <sup>ghi</sup>	7.678 <sup>cde</sup>	3.002 <sup>hi</sup>
Kangoo	4.603 <sup>abcde</sup>	2.041 <sup>cdefg</sup>	1.105 <sup>de</sup>	5.941 <sup>bcd</sup>	6.773 <sup>abcde</sup>	2.669 <sup>defgh</sup>
Marthe	5.238 <sup>efg</sup>	1.807 <sup>bcd</sup>	1.017 <sup>bcd</sup>	5.878 <sup>ab</sup>	7.447 <sup>bcd</sup>	2.577 <sup>abcde</sup>
Prestige	4.071 <sup>ab</sup>	1.717 <sup>bc</sup>	1.011 <sup>bcd</sup>	<b>5.168</b> <sup>a</sup>	<b>5.677</b> <sup>a</sup>	2.172 <sup>ab</sup>
Pribina <sup>#</sup>	3.998 <sup>ab</sup>	1.745 <sup>bc</sup>	<b>0.475</b> <sup>a</sup>	5.667 <sup>abcd</sup>	6.494 <sup>abcd</sup>	2.281 <sup>abcd</sup>
Publican	4.817 <sup>bcd</sup>	<b>2.389</b> <sup>#</sup>	<b>1.463</b> <sup>f</sup>	5.706 <sup>abcde</sup>	<b>5.676</b> <sup>a</sup>	<b>2.126</b> <sup>a</sup>
Radegast	4.960 <sup>cdefg</sup>	1.886 <sup>cde</sup>	1.077 <sup>cde</sup>	5.628 <sup>abc</sup>	6.689 <sup>abcd</sup>	2.612 <sup>bcd</sup>
Sebastian	5.426 <sup>efg</sup>	1.803 <sup>bcd</sup>	0.963 <sup>bcd</sup>	6.131 <sup>bcd</sup>	7.829 <sup>de</sup>	3.021 <sup>hi</sup>
Spilka	5.043 <sup>defg</sup>	1.963 <sup>cdefg</sup>	1.192 <sup>ef</sup>	7.021 <sup>hi</sup>	7.762 <sup>cde</sup>	2.996 <sup>ghi</sup>
Tocada <sup>#</sup>	5.131 <sup>efg</sup>	2.217 <sup>defg</sup>	0.935 <sup>bcd</sup>	<b>7.211</b> <sup>i</sup>	7.793 <sup>de</sup>	2.547 <sup>abcde</sup>
Tolar	3.974 <sup>ab</sup>	1.701 <sup>bc</sup>	0.845 <sup>bcd</sup>	6.210 <sup>cdefg</sup>	5.921 <sup>ab</sup>	2.438 <sup>abcde</sup>
Westminster	5.282 <sup>efg</sup>	2.207 <sup>defg</sup>	1.016 <sup>bcd</sup>	6.199 <sup>cdefg</sup>	6.399 <sup>abcd</sup>	2.715 <sup>defgh</sup>
Xanadu	4.826 <sup>bcd</sup>	1.734 <sup>bc</sup>	0.952 <sup>bcd</sup>	6.878 <sup>ghi</sup>	6.760 <sup>abcd</sup>	2.909 <sup>fghi</sup>

Means with the same letter are not significantly different (P<0.05); groups with highest values are printed in bold, groups with lowest values in bold and italics; #, non malting barleys

Table 5: Root system size (RSS) and yield of spring barley (2008)

Site	RSS (nF)	Mean yield (t.ha <sup>-1</sup> )	Varieties
Želešice	1.94-2.46	6.74	Acrobat, Blaník, Diplom, Jersey, Prestige, Pribina, Tolar
	2.47-2.73	7.04	Aktiv, Azit, Kangoo, Marthe, Radegast, Sebastian, Spilka, Xanadu
	2.74-3.03	6.99	Aksamit, Bojos, Bolina, Calgary, Publican, Tocada, Westminster
Hrubčice	4.34-4.89	9.27	Acrobat, Aktiv, Diplom, Prestige, Pribina, Publican, Tolar
	4.90-5.49	9.26	Aksamit, Azit, Blaník, Bolina, Kangoo, Marthe, Radegast, Westminster
	5.50-6.27	9.30	Bojos, Calgary, Jersey, Sebastian, Spilka, Tocada, Xanadu

Table 6: Mean root system size of spring barley (Želešice &amp; Hrubčice, 2009)

Variety	Želešice			Hrubčice	
	Shooting	Heading	Grain filling	Shooting	Grain filling
Advent	1.147 <sup>bcde</sup>	1.387 <sup>abcde</sup>	<b>0.294<sup>a</sup></b>	4.464 <sup>bcdefg</sup>	<b>2.976<sup>e</sup></b>
Aksamit	1.061 <sup>abc</sup>	1.382 <sup>abcde</sup>	<b>0.292<sup>a</sup></b>	5.259 <sup>g</sup>	2.588 <sup>abcde</sup>
Aktiv	0.913 <sup>ab</sup>	1.239 <sup>abcd</sup>	<b>0.268<sup>a</sup></b>	3.610 <sup>ab</sup>	2.381 <sup>abcd</sup>
Azit #	1.141 <sup>bcde</sup>	1.258 <sup>abcde</sup>	0.316 <sup>ab</sup>	4.122 <sup>abcde</sup>	2.865 <sup>de</sup>
Blaník	<b>0.886<sup>a</sup></b>	1.147 <sup>ab</sup>	<b>0.299<sup>a</sup></b>	<b>5.293<sup>g</sup></b>	2.734 <sup>cde</sup>
Bojos	1.254 <sup>cdefg</sup>	1.306 <sup>abcde</sup>	<b>0.274<sup>a</sup></b>	5.086 <sup>fg</sup>	2.730 <sup>bcde</sup>
Diplom	1.338 <sup>defgh</sup>	1.279 <sup>abcde</sup>	<b>0.281<sup>a</sup></b>	4.332 <sup>abcdef</sup>	2.430 <sup>abcd</sup>
Henley	1.039 <sup>abc</sup>	1.297 <sup>abcde</sup>	<b>0.279<sup>a</sup></b>	3.708 <sup>abc</sup>	2.243 <sup>ab</sup>
Henrike	1.183 <sup>cdef</sup>	1.294 <sup>abcde</sup>	0.327 <sup>ab</sup>	4.084 <sup>abcde</sup>	<b>2.222<sup>a</sup></b>
Jersey	1.119 <sup>abcd</sup>	1.469 <sup>cdef</sup>	0.329 <sup>ab</sup>	4.191 <sup>abcde</sup>	2.624 <sup>abcde</sup>
Kangoo	1.385 <sup>efgh</sup>	1.704 <sup>fg</sup>	0.378 <sup>bc</sup>	4.866 <sup>efg</sup>	2.756 <sup>cde</sup>
Kontiki	1.337 <sup>defgh</sup>	1.513 <sup>ef</sup>	<b>0.292<sup>a</sup></b>	4.565 <sup>cdefg</sup>	2.461 <sup>abcd</sup>
Marthe	1.140 <sup>bcde</sup>	1.171 <sup>ab</sup>	<b>0.264<sup>a</sup></b>	4.102 <sup>abcde</sup>	2.585 <sup>abcde</sup>
Prestige	1.228 <sup>cdefg</sup>	1.328 <sup>abcde</sup>	<b>0.279<sup>a</sup></b>	3.698 <sup>abc</sup>	2.378 <sup>abcd</sup>
Pribina #	1.210 <sup>cdefg</sup>	<b>1.123<sup>a</sup></b>	<b>0.299<sup>a</sup></b>	4.018 <sup>abcd</sup>	2.626 <sup>abcde</sup>
Publican	1.044 <sup>abc</sup>	<b>1.785<sup>g</sup></b>	<b>0.406<sup>c</sup></b>	4.672 <sup>defg</sup>	2.564 <sup>abcde</sup>
Radegast	1.434 <sup>gh</sup>	1.479 <sup>def</sup>	0.374 <sup>bc</sup>	4.476 <sup>bcdefg</sup>	2.348 <sup>abc</sup>
Sebastian	1.318 <sup>defg</sup>	1.404 <sup>bcde</sup>	0.330 <sup>ab</sup>	4.596 <sup>defg</sup>	2.721 <sup>bcde</sup>
Signora	1.427 <sup>fgh</sup>	1.253 <sup>abcde</sup>	<b>0.271<sup>a</sup></b>	<b>3.584<sup>a</sup></b>	2.353 <sup>abc</sup>
Streif	1.277 <sup>cdefg</sup>	1.326 <sup>abcde</sup>	0.313 <sup>ab</sup>	4.873 <sup>efg</sup>	2.755 <sup>cde</sup>
Tocada #	1.135 <sup>bcd</sup>	1.204 <sup>abc</sup>	<b>0.286<sup>a</sup></b>	5.133 <sup>fg</sup>	2.813 <sup>cde</sup>
Tolar	<b>1.585<sup>h</sup></b>	1.298 <sup>abcde</sup>	<b>0.294<sup>a</sup></b>	4.851 <sup>efg</sup>	2.648 <sup>abcde</sup>
Vista	1.099 <sup>abcd</sup>	1.277 <sup>abcde</sup>	<b>0.290<sup>a</sup></b>	4.477 <sup>bcdefg</sup>	2.492 <sup>abcde</sup>
Xanadu	1.403 <sup>fgh</sup>	1.515 <sup>efg</sup>	0.325 <sup>ab</sup>	3.810 <sup>abc</sup>	2.531 <sup>abcde</sup>

Means with the same letter are not significantly different ( $P \leq 0.05$ ); groups with highest values are printed in bold, groups with lowest values in bold and italics; #, non malting barleys

Table 7: Root system size (RSS) and yield of spring barley (2009)

Site	RSS (nF)	Mean yield (t.ha <sup>-1</sup> )	Varieties
Želešice	0.78-0.90	7.47	Aktiv, Azit, Blaník, Henley, Marthe, Pribina, Tocada, Vista
	0.91-0.97	7.25	Advent, Aksamit, Bojos, Diplom, Henrike, Jersey, Prestige, Streif
	2.74-3.03	6.99	Kangoo, Kontiki, Publican, Radegast, Sebastian, Signora, Tolar, Xanadu
Hrubčice	2.97-3.34	7.61	Aktiv, Henley, Henrike, Marthe, Prestige, Pribina, Signora, Xanadu
	3.38-3.66	7.64	Azit, Diplom, Jersey, Kontiki, Publican, Radegast, Sebastian, Vista
	3.72-4.01	7.77	Advent, Aksamit, Blaník, Bojos, Kangoo, Streif, Tocada, Tolar

7 shows mean values of RSS and yield at both test locations. Mean RSS in Želešice was 0.78-1.16 nF and 2.97 - 4.01 nF in Hrubčice. Varieties with lower RSS in Želešice achieved on average a mean yield of 7.47 t.ha<sup>-1</sup>, whereas varieties with medium and large RSS showed mean yields of 7.25 and 7.32 t.ha<sup>-1</sup>, respectively.

## Conclusions

Our experiments showed that the most appropriate selection criterion for grain yield in dry conditions is the size of the root system measured by its electrical capacity. Varieties with increased RSS provided higher yields in dry conditions and contained more photosynthates and less nitrogenous substances which is typical for irrigation in dry conditions (PAYNTER and YOUNG 2004).

## Acknowledgement

This research was supported by project the Ministry of Education, Youth and Sports MSM 6215648905.

## Literature

CHLOUPEK O, 1972: The relationship between electric capacitance and some other parameters of plant roots. Biol. Plant. 14, 227-230.

CHLOUPEK O, DOSTÁL V, STŘEDA T, PSOTA V, DVOŘÁČKOVÁ O, 2010: Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. Plant Breeding 129, 630-636.

DALTON FN, 1995: In-situ root extent measurement by electrical capacitance methods. Plant Soil 173, 157-165.

DWYER LM, MA BL, STEWART DW, HAYHOE HN, BALCHIN D, CULLEY JLB, MC GOVERN M, 1995: Root mass distribution under conventional and conservation tillage. CLBRR Contribution 95-01, Centre for Land and Biological Resources Research, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa.

PAYNTER BH, YOUNG KJ, 2004: Grain and malting quality in two-row spring barley are influenced by grain filling moisture. Aust. J. Agric. Res. 55, 539-550.

RUSSELL RS, 1977: Plant root systems: their function and interaction with the soil. McGraw-Hill Book Co., London.

ZHENG B, YANG L, ZHANG W, MAO C, WU Y, YI K, LIU F, WU P, 2003: Mapping QTLs and candidate genes for rice root traits under different water supply conditions and comparative analysis across three populations. Theor. Appl. Genet. 107:1505-1515.

ZHENG BS, LE GOUIS J, DANIEL D, BRANCOURT-HULMEL M, 2009: Optimal numbers of environments to assess slopes of point regression for grain yield, grain protein yield and grain protein concentration under nitrogen constraint in winter wheat. Field Crops Res. 113,187-196.





# Yield of spring barley in dependence of soil moisture balance

Tomáš Středa<sup>1\*</sup>, Hana Středová<sup>2</sup>, Mojmír Kohut<sup>2</sup> and Jaroslav Rožnovský<sup>2</sup>

## Abstract

The occurrence of dry periods with a negative impact on field crop production is a significant characteristic of Czech climate. The amount of usable soil water was calculated using the agrometeorological model AVISO at 21 experimental sites for the period 1975 to 2007 (expressed as percentage of available water holding capacity, % AWHC). The mean seasonal % AWHC value during this period varied from 40% (site Žatec) to 77% (sites Pusté Jakartice and Trutnov). A decrease in usable soil water (% AWHC decrease up to 24%) in a growing season was observed at 20 sites in the long-term trend. Statistically significant relationships were found between grain yield of spring barley and % AWHC. The optimum range of amount of usable soil water for the production of spring barley (65-75% AWHC) was defined by long-term calculations of soil water in combination with a series of yield trials. A significant influence of high underground water level with negative effects on yield was found in some sites (even with low precipitation in maize and sugar beet production areas) caused by different moisture regime.

## Keywords

Drought, *Hordeum vulgare*, soil moisture, yield

## Introduction

The occurrence of meteorological drought, as well as the occurrence of hydrological, agronomic, physiological and other kinds of drought is an important feature of Czech climate. Lack of soil moisture is expected in the main growing season (approx. 200 days) when rainfall does not exceed 340 mm. The figure results from claims of moisture of the main crops given by the transpiration coefficient. In connection with stress effects on yield and quality the most important indication for growers is the presence of agronomic drought. It is defined as a state where the amount of moisture in the soil is less than required by the particular plant (BLINKA 2005). Literature often defines agronomic drought as a decline in soil moisture below the permanent wilting point (i.e. approx. -1.5 MPa) which stops water uptake and, subsequently, plants stop growing. The results of moisture conditions of the Czech Republic for the period of 1961-2000 (KOHUT et al. 2010) show that locations with the lowest sea level (about 300 m) are characterized by long-term values below 45% available water holding capacity (AWHC), whereas typical values for central locations

up to 600 m a.s.l. are 60% AWHC (Figure 1). The analysis revealed a decreasing trend of soil water reserves. SPITZ et al. (2007) claims that the proportion of usable water in order not to reduce yields vary according to crop type and stage of development between 45 and 75% AWHC. JAMIESON et al. (1995) use soil moisture in the root zone at 65% AWHC as a limit value for barley before it comes to reduction of transpiration. DOORENBOS and PRUITT (1975) suggest a value of 55% AWHC as a qualitative and not stressful value for all growth phases except beginning of flowering (45%) and maturation. Analysing meteorological data from the period of 1961-2000 in 74 districts of the Czech Republic HLAVINKA et al. (2006) found strong episodes of drought in South Moravia associated with a significant decline in yields of winter wheat and spring barley. Specifically, in the Brno-Venkov district, the correlation coefficient between spring barley yield and the Palmer Z drought index was as high as 0.7.

## Material and methods

Soil moisture represented by % AWHC was calculated the years 1975 to 2007 using the AVISO agro-meteorological model (KOHUT et al. 2008). The model is based on fully combined Penman-Monteith equation. For simplicity a grass stand was used as the evaporating surface. The calculation itself was done in a modified form with information about AWHC in the area of every grid point of a 10×10 km square grid in the vicinity of the areas of interest. Specification of AWHC for each point according to data of the Research Institute for Soil and Water Conservation (RISWC) was carried out using GIS methods (digital map of AWHC Czech soils with a resolution of five AWHC intervals). In order to determine the effect of moisture on spring barley yields we used long-term yield trial data (1975-2007; lack of data in one year) from 21 experimental stations. The stations are located in all production areas defined by NEMEC (2001), i.e. maize (MPR), sugar beet (SPR), cereals (CPR), potato (PPR) and forage production (FPR). Considering the varieties in a given year within the experiments of the National Variety Office (NVO) it is possible to quantify the impact of weather or soil or their combination on grain yield.

## Results and discussion

The AVISO agrometeorological model was used to calculate AWHC for the spring barley growing season (91<sup>st</sup> to 180<sup>th</sup> day of the year) in individual years for experimental stations of NVO. The water supply defined as % AWHC was

<sup>1</sup> Department of Crop Science, Breeding and Plant Medicine, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, CZ-613 00 BRNO

<sup>2</sup> Czech Hydrometeorological Institute, Branch Brno, Kroftova 43, CZ-616 67 BRNO

\* Ansprechpartner: Tomáš STŘEDA, streda@mendelu.cz

calculated for the period 1975-2007 by including a straight trend line into the calculations. For 20 of 21 stations the long-term trend revealed a decrease of % AWHC (Figure 2).

The relationship between soil water reserves and grain yield levels of spring barley is demonstrated in Figure 3. A statistically significant relationship between spring barley grain yield and soil %AWHC was found.

% AWHC data were related to the annual yield per hectare of the particular NVO station for the period 1975-2007. Statistically significant ( $\alpha \leq 0.05$ ) correlations were found at different growth stages (Table 1). This results from different water regimes of individual locations. For several sites, including the less humid ones, a significant negative impact of high groundwater level to yield has been proven.

For the presented analysis the certified and recommended calculation method in combination with the Penman-Monteith's equation was used in a modified form according to MORECS (The Meteorological Office for Rainfall and Evaporation Calculating System) and AVISO (Agrometeorological Calculating and Informative System) models. The calculation of evapotranspiration and water balance of grass growth was realized in the AVISO model for a number of selected climatic stations. Longtime data of the AVISO agrometeorological model have shown significant reductions in soil water supplies during the growing period of spring barley. Optimum range of usable soil water amount for the production of spring barley yield (65-75% AWHC) was defined by evaluation of long-term calculations of soil water in combination with a series of spring barley yield. The average seasonal value of % AWHC for 1975-

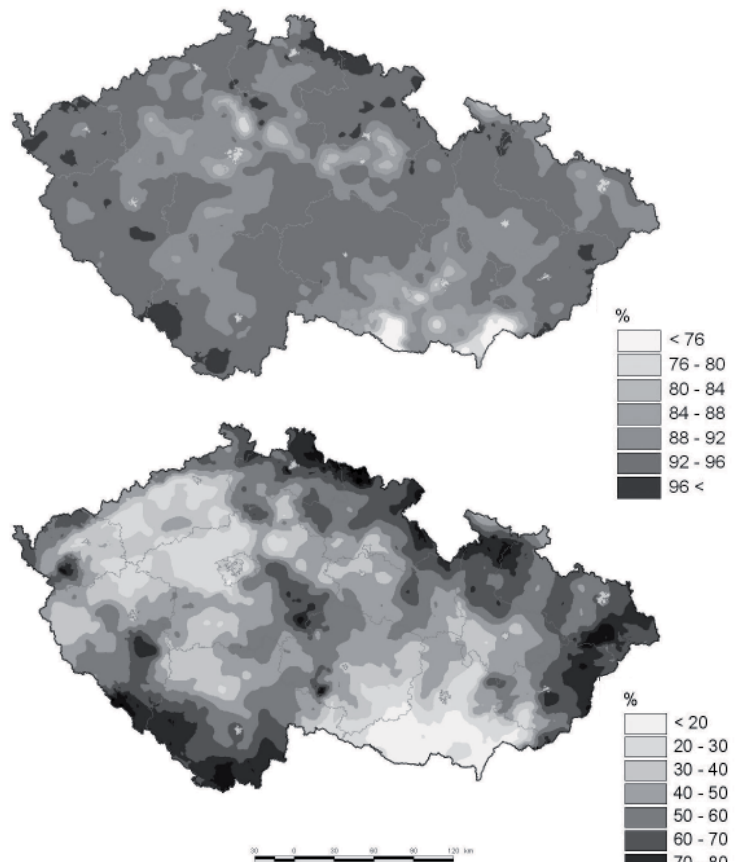


Figure 1: Long-term value of the percentage of available water holding capacity in Czech soils (top: April 1; bottom: August 31)

2007 ranges from 40% (Žatec) to 77% (Pusté Jakartice a Trutnov). Data on soil water supply at each experimental station was related to the annual yield of spring barley. With regard to an uniform ag-

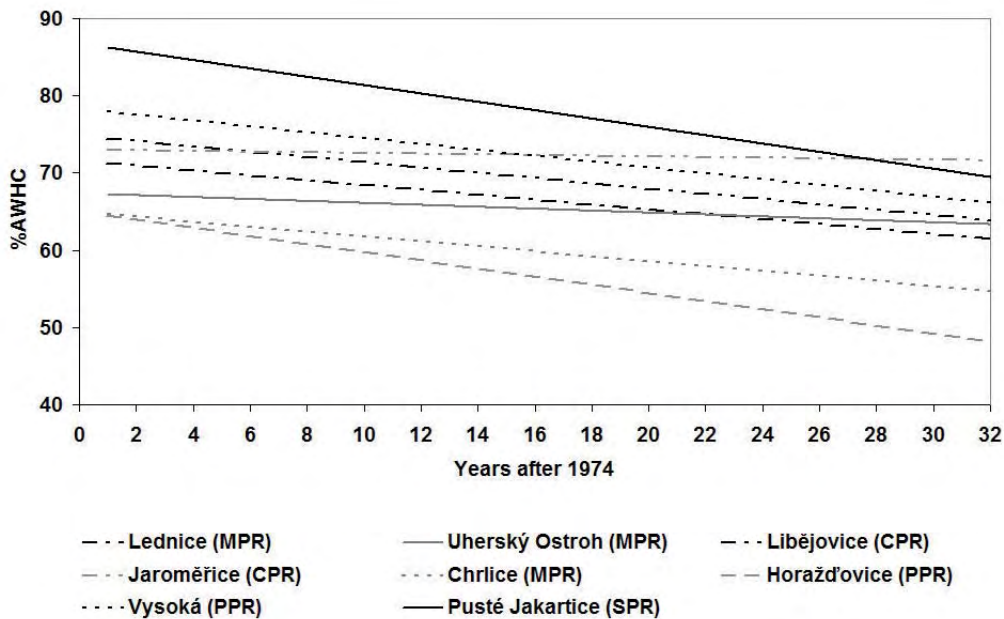


Figure 2: Development of % AWHC in the period 1975-2007 at selected NVO experimental stations (data interspaced by a linear trend)

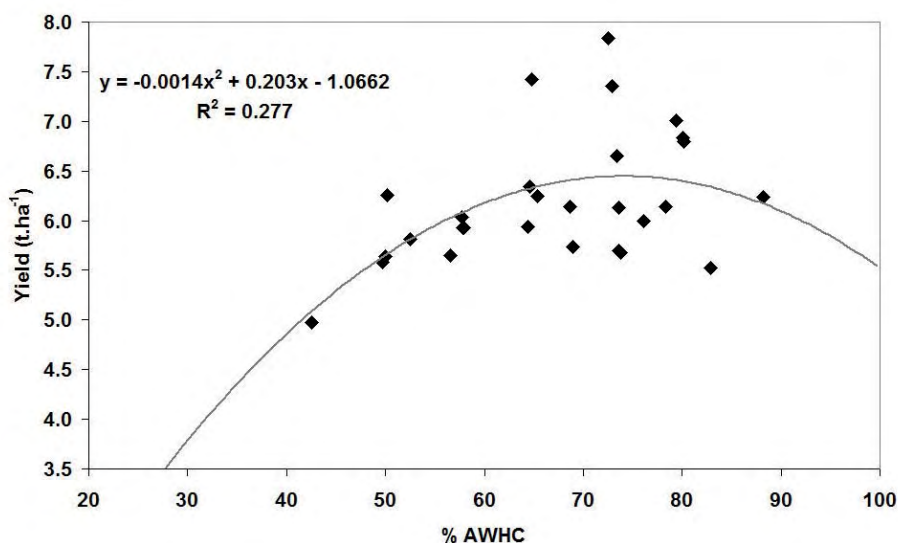


Figure 3: Relationship between the soil water supply (% AWHC) and potential yield of grain

Table 1: Correlation between soil water supply at specific periods of growing days and grain yield of spring barley at selected experimental stations in the period 1975-2007 (\*,  $P \leq 0.05$ ; \*\*,  $P \leq 0.01$ )

Growing days	Lednice (MPR)	Uh. Ostroh (MPR)	Libějovice (CPR)	Jaroměřice (CPR)	Chrlice (MPR)	Vysoká (PPR)	Žatec (SPR)
91-100	-0.120	-0.565*	0.067	0.236	-0.466	0.154	-0.646
101-110	-0.027	-0.539*	0.193	0.421	-0.573*	0.148	-0.617
111-120	0.141	-0.391	0.297	0.534*	-0.256	0.072	-0.502
121-130	0.286	-0.275	0.438*	0.623*	-0.178	0.198	-0.134
131-140	0.425	-0.210	0.598**	0.625*	-0.132	0.371	0.582
141-150	0.449	-0.213	0.699**	0.614*	-0.136	0.514*	0.003
151-160	0.447	0.056	0.619**	0.393	-0.028	0.523*	0.604
161-170	0.527*	0.205	0.377	0.345	-0.026	0.637**	0.968**
171-180	0.470*	0.302	0.330	0.365	0.002	0.679**	0.504

rotechnical practices (precrop, fertilization) and identical varieties it is possible to quantify the influence of weather or soil and their combination on grain yield. Statistically significant correlations between grain yield and soil % AWHC was observed. Coefficients of correlation for selected experimental stations varied from -0.64 to 0.97. Therefore, the AVISO system can be used to model the influence of weather on yield for any location in the Czech Republic, even for models including scenarios of climate change.

It also allows defining an optimal range of soil water supply for yield formation of spring barley in the country. Statistically significant correlations were found for various growth stages. This is due to differences in water regime of various locations. For some locations, including the ones with poor soil fertility in the maize and sugar beet production region (Chrlice-Svratka, Uherský Ostroh-Morava), a significant negative effect of high groundwater levels after considerable rainfall on barley grain yield was observed.

## Acknowledgement

This research was supported by projects of the Ministry of Education, Youth and Sports MSM 6215648905 and IGA SP2100061.

## References

- BLINKA P, 2005: Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území České republiky v letech 1876-2002. Meteorologické Zprávy 58, 10-19.
- DOORENBOS J, PRUITT WO, 1975: Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization, Rome.
- HLAVINKA P, TRNKA M, SEMERÁDOVÁ D, ŽALUD Z, RISCHBECK P, 2006: Vztah mezi meteorologickým suchem a regionálními výnosy vybraných plodin. In: MendelNet'06 Agro - sborník z mezinárodní konference posluchačů postgraduálního doktorského studia. Ediční středisko, MZLU v Brně.
- JAMIESON PD, FRANCIS GS, WILSON DR, MARTIN RJ, 1995: Effects of water deficits on evapotranspiration from barley. Agric. Forest Meteorol. 76, 41-58.
- KOHUT M, ROŽNOVSKÝ J, CHUCHMA F, 2008: Vláhová bilance zemědělské krajiny. In: Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině, 9-11 Sep, Mikulov. ČBKS.
- KOHUT M, ROŽNOVSKÝ J, CHUCHMA F, 2010: Dlouhodobá zásoba využitelné půdní vody a její variabilita na území České republiky. In: Voda v krajině, 31 May-1 Jun, Lednice, Czech Republic, 35-46.
- NĚMEC J, 2001: Bonitace a oceňování zemědělské půdy České republiky. Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky, Praha.
- SPITZ P, ZAVADIL J, HEMERKA I, 2007: Metodika řízení závlahového režimu plodin výpočetním programem ZAPROG 1. VÚMOP, Praha.



## Indirect evaluation of drought tolerance of barley

Lucie Melišová<sup>1\*</sup>, Ludmila Holková<sup>1</sup>, Kamila Ullmannová<sup>1</sup>, Pavlina Hrstková<sup>1</sup>, Marie Hronková<sup>2</sup>

### Abstract

Water availability in the soil is an essential condition for growth and development of plants. The occurrence of longer and more frequent periods of drought, can significantly threaten crop production. It is not easy to evaluate drought tolerance, because sensitivity to drought is a complex trait. Abscisic acid (ABA) is a plant hormone involved in processes including defense mechanisms of plants to abiotic stress. In our work we monitored the response of selected barley genotypes to exogenous application of ABA to assess its impact on the level of tolerance to abiotic stress. Barley genotypes were selected according to their different sensitivity to abiotic stress. Physiological response of plants and plant responses at the molecular level were evaluated. Response to exogenous application of ABA was observed in all genotypes. Higher levels of defense responses to drought conditions were found in tolerant genotypes. Results of *Dhn4* gene expression show different responses of spring and winter barley genotypes.

### Key words

Abiotic stress, abscisic acid, gene expression, *Hordeum vulgare*

### Introduction

One of the most important factors affecting yield of agriculturally important plants is water availability in the environment. Water has a rapid cycling in the ecosystem, complementing its rainfall is irregular and random. Therefore, the possible occurrence of periods of drought can substantially affect reproduction of plants, harvest quantity and quality. Lack of water causes complex changes in metabolic processes, which precedes gene activity leading to changes in the synthesis and activity of structural proteins. Genes that code for these protective proteins are e.g. dehydrins. They belong to a group of so-called *Cor/Lea* proteins (Cold regulated/Late embryogenesis abundant). Their expression is induced both during embryo maturation, but also in response to water shortages in the cells (CLOSE et al. 1996, PARK et al. 2006, TOMMASINI et al. 2008). They can occur in small quantities in plants growing under optimal conditions, but their quantity significantly increases as a stress response excited by dehydration (KOSO VÁ et al. 2007). The *Dhn4* gene is a member of the *LEA2* group, located on chromosome 6H. Its expression is due to stress conditions, e.g. drought and abscisic acid (ABA) treatment

(CHOI et al. 1999). In more tolerant genotypes the expression of these protective genes occurs earlier (ZHANG et al. 2004, PARK et al. 2006). This can be used to assess the sensitivity of genotypes to this type of stress, but also to evaluate the intensity of stress within a single genotype. ABA is a plant hormone that participates significantly in photosynthesis (transpiration, stomata conductance) and at the same time, plays a key role for water sustenance in plants (ACHARYA and ASSMANN 2009). During drought stress ABA is binded on surface of the plasmalemma resulting in activation of stomata closing. Furthermore, during hydration ABA acts as a signal molecule in the regulation of activation of the protein expression path ending with a protective function against dehydration of the cell (ZHANG et al. 2004). The aim of our experiment was to test the possibility to detect different sensitivity of barley genotypes to abiotic stress (drought tolerance, frost tolerance), after application of exogenous ABA.

### Materials and methods

Two varieties of spring barley (*Hordeum vulgare* L.), i.e. Jersey and Malz, and the Syrian landrace Tadmor (*Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*) were chosen in regard to their different degrees of tolerance to drought. Moreover, two varieties of winter barley, i.e. Monaco and Okal, with different tolerance to frost, were included in the study. Plants were grown in perlite, in the nutritive solution of MS salts (MURASHIGE and SKOOG 1962) under controlled cultivation conditions. After 14 days of cultivation, ABA solution ( $2 \cdot 10^{-5}$  mol.l<sup>-1</sup>) was added to the hydroponic solution. Leaf samples for analyses were taken 3 h, 6 h, 12 h, 24 h, 2 days, 3 days, and 7 days after ABA application. Quantification of ABA was carried out radioimmunologically (RIA) according to QUARRIE et al. (1988). Monitoring of the physiological reaction of plants was conducted by scanning the thermal energy emitted from the leaves surface by ThermoCam (FLIR P660, Sweden) (JONES, 1999). Simultaneously, assessment of relative expression (RE) of ABA regulated gene *Dhn4* was carried out by qRT PCR according to PFAFFL (2001). RNA was isolated according to the RNeasy Plant Mini Kit (Qiagen) protocol. cDNA was prepared using the Reverse Transcription (Qiagen) Kit and genes activity was analyzed by the QuantiTect™ SYBR Green PCR (Qiagen) Kit.  $\Delta$ -Tubulin was used as reference gene (SUPRUNOVA et al. 2004). Evaluation of the *Dhn4* gene was carried out according to MIKULKOVÁ et al. (2009). Values of the relative gene expression were normalized to the values of the relative expression of the reference gene.

<sup>1</sup> Department of Crop Science, Breeding and Plant Medicine, Mendel University, Brno, Zemědělská 1/1665, CZ-613 00 BRNO

<sup>2</sup> Biology Centre ASCR, v.v.i., Institute of Plant Molecular Biology, University of South Bohemia, Branišovská 31/1160, CZ-370 05 ČESKÉ BUDĚJOVICE

\* Ansprechtspartner: Lucie MELIŠOVÁ, lucie.melisoa@mendelu.cz

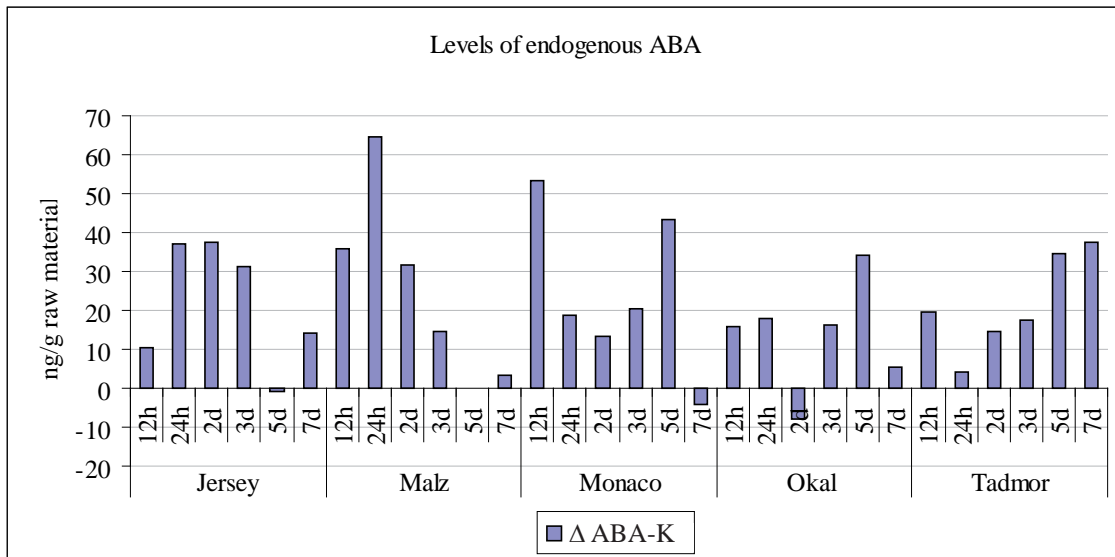


Figure 1: Levels of endogenous ABA in barley varieties at specific times after ABA application

Results and discussion

Measured values of ABA are presented in Figure 1. Mean values of leaf temperature are presented in Figure 2. In all tested genotypes the content of endogenous ABA in leaves was elevated after exogenous phytohormone application, which was reflected by the rise of leaf surface temperature in drought-tolerant genotypes (Tadmor, Malz). This trend prevailed during the whole experiment, while in case of the drought sensitive variety Jersey a drop in leaf surface temperature was observed on the 3<sup>rd</sup> day of measuring. A faster reaction following phytohormone application was observed in Okal, a variety which is more cold-tolerant in comparison to Monaco. Drought results in a significant increase of ABA in the tissues (SCHWARTZ and ZEEVAART 2004).

Results of stomatal conductance measurements are displayed in Figure 3. The biggest difference between the ABA treated and the untreated control variant was observed in the winter cold-tolerant variety Okal which reacted by a very fast closure of stomata. The most closed stomata and lowest transpiration was found in Monaco and Tadmor in both the treated and untreated variant. In Tadmor the difference between the treated and untreated variant was the lowest. This variety had the most closed stomata from the very beginning. A low response to ABA in regard to the change in stomata conductance was observed for Jersey. Only a minimum drop in stomata

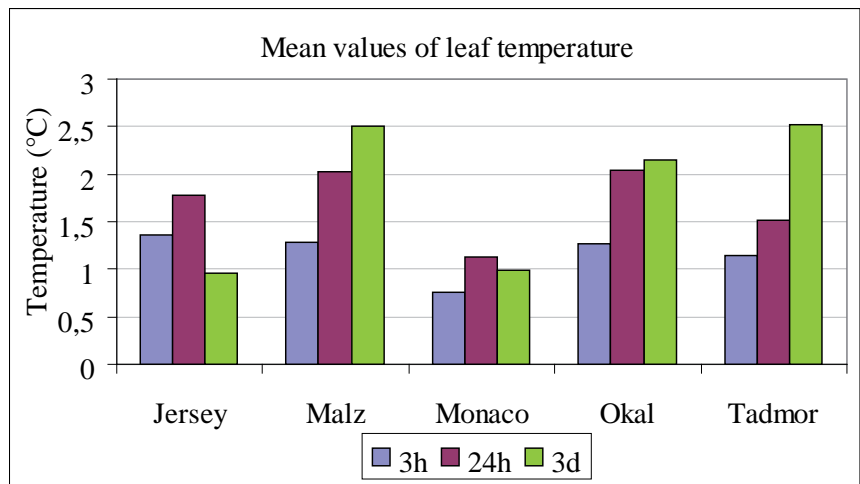


Figure 2: Leaf temperature of barley varieties at specific times after ABA application

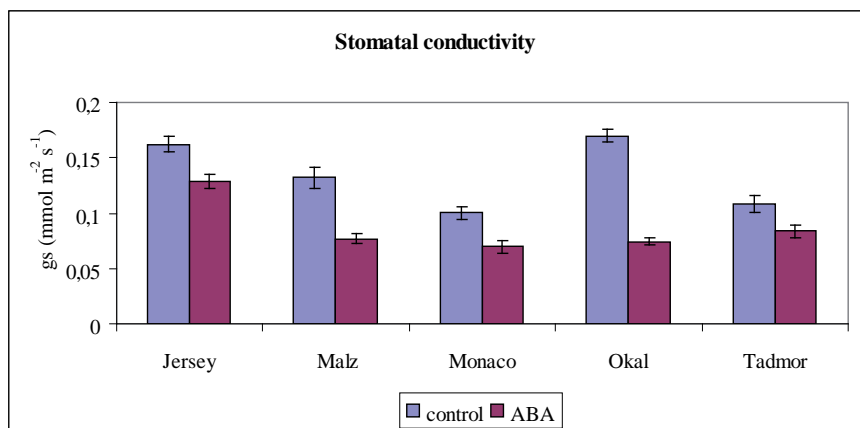


Figure 3: Stomatal conductivity of barley varieties without and with ABA application

conductance was recorded as result of exogenous phytohormone application. Under stress conditions, this variety activates its protective functions late and, therefore, loses water from its tissues.

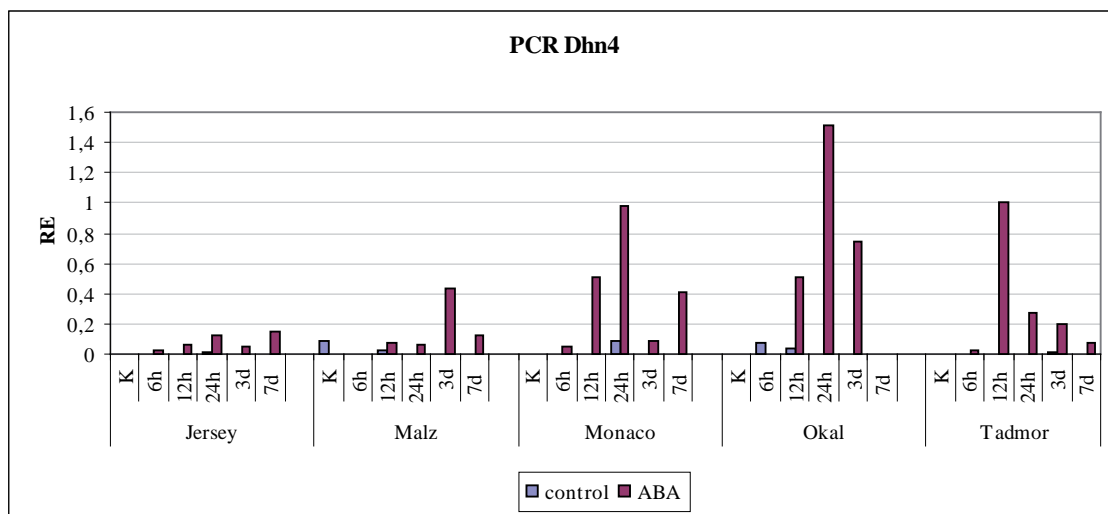


Figure 4: Relative gene expression of *Dhn4* of barley varieties at specific times after ABA application compared to non-treated (control, K) plants

Relative expression of the *Dhn4* gene is displayed in Figure 4. The results show different sensitivity of genotypes to initial concentrations  $2.10^{-5}$  mol.l<sup>-1</sup> of exogenously applied ABA. Comparing varieties with different tolerance to cold, the higher value of the relative expression of was found in the cold tolerant variety Okal in contrast to the more sensitive variety Monaco. A faster reaction (i.e. more sensitive protective reaction) was found in drought tolerant Tadmor in contrast to Malz and Jersey. Jersey showed the lowest gene expression. This variety is generally sensitive to drought (MIKULKOVÁ et al. 2009) but achieves high yields under optimum climatic conditions. KOBAYASHI et al. (2008) studied wheat and also found a higher expression of *Dhn* genes in ABA sensitive mutants under identical stress conditions. Likewise, PARK et al. (2006) presented a faster and higher expression of the *Dhn3* and *Dhn4* genes, and MIKULKOVA et al. (2009) a higher expression of *Dhn4* in drought tolerant barley. The Syrian Tadmor landrace represents genotypes which are adapted to extremely dry conditions. This is caused not only by its physiological parameters such as the high osmotic potential (TEULAT et al. 1997), good water use efficiency (TEULAT 2001, MIKULKOVÁ et al. 2009), but also by its sensitive reaction to a relatively small increase of ABA as we have found in our experiments.

Differences between Tadmor and Jersey and Malz were found also on the DNA level. By evaluating the SSR polymorphism, a whole range of polymorphous areas spread on

the whole genome were found (Table 1). The testing of their relationship to drought tolerance is ongoing.

## Conclusion

Within the scope of this study, we used exogenous ABA application to signal abiotic stress and induce protective reactions to restrict water loss from tissues through transpiration by means of regulation of stomata conductance. In all tested genotypes an increase of endogenous ABA in leaves was detected, however, neither a statistically significant difference was found between genotypes nor the difference did correspond to any generally recognized tolerance. On physiological level an increase of the average leaf surface temperature was observed as result of exogenous ABA application which was manifested by lower stomata conductance. The influence of exogenous ABA was also studied by THOMAS et al. (1997) who presented that exogenous ABA application can induce drought like effects in plants. This finding was confirmed by our results. The evaluation of the relative expression of the *Dhn4* gene showed more sensitive protective reactions in more resistant genotypes. In Okal (cold-tolerant) and Tadmor (drought tolerant) a higher relative expression after ABA application was observed. Differentiation of genotypes according to their ABA sensitivity was possible on basis of relative gene expression. On physiological level (leaf temperature, stomatal conductivity) differences between treated and untreated variant were

Table 1: Polymorphic SSR markers between Tadmor, Malz and Jersey

Barley chromosome					
1H	2H	4H	5H	6H	7H
Bmac0213	Bmag0518	Bmag0740	Bmag0323	Bmac0316	EBmag0794
Bmag0504	Bmag0381	EBmac0775	Bmac0303b	Bmag0500	HVM04
Bmag0345	Bmag0711	Bmag0553	Bmac0113	EBmac0639	EBmac0603
GBM1451	Bmag0125	EBmac0658	Bmag0357	Bmag0613	GBM1464
Bmac032	EBmac0039	EBmac0635	Bmag0223	EBmac0602	Bmag0217
Bmac0154	EBmac0415	EBmac0679	Bmag0812		Bmag0516
			Bmag0222		Bmac0162
					GBM1419



observed after phytohormone application, however, they were not statistically significant.

## Acknowledgement

This study was co-funded by IGA SP2100061 and the Ministry of Education 1M0570 and ZA 270014.

## References

- ACHARYA BR, ASSMANN SR, 2009: Hormone interactions in stomatal function. *Plant Mol. Biol.* 69, 451-462.
- CLOSE TJ, 1997: Dehydrins: A commonality in the response of plants to dehydration and low temperature. *Physiol. Plant.* 100, 291-296.
- CHOI DW, ZHU B, CLOSE TJ, 1999: The barley (*Hordeum vulgare* L.) dehydrin multigene family: sequences, allelic types, chromosome assignments, and expression characteristic of 11 *Dhn* genes of cv Dicktoo. *Theor. Appl. Genet.* 98, 1234-1247.
- JONES HG, 1999: Use of thermography for quantitative studie of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Plant Cell Environ.* 22, 1043-1055.
- KOBAYASHI F, TAKUMI S, NAKAMURA CH, 2008: Increased freezing tolerance in an ABA-hypersensitive mutant of common wheat. *J. Plant Physiol.* 165, 224-232.
- KOSOVÁ K, VÍTÁMVÁS P, PRÁŠIL IT, 2007: The role of dehydrins in plant response to cold. *Biologia Plantarum* 51, 601-617.
- MIKULKOVÁ P, HOLKOVÁ L, HRONKOVÁ M, KLEMŠ M, BRADÁČOVÁ M, 2009: Efficiency of differential laboratory methods for selection od drought tolerance barley genotypes. *Cereal Res. Commun.* 37, Suppl., 277-280.
- MURASHIGE T, SKOOG F, 1962: A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 15, 473-497.
- PARK SY, NOH KJ, YOO JH, YU JW, LEE BW, KIM JG, SEO HS, PEAK JG, 2006: Rapid upregulation of dehydrin3 and dehydrin4 in response to dehydration is a characteristic of drought-tolerant genotypes in barley. *J. Plant Biol.* 49, 455-462.
- PFÄFFL MW, 2001: A new mathematical model for relative quantification in real-time RT PCR. *Nucl. Acid Res.* 29, E45-E45.
- QUARRIE SA, WHITFORD PN, APPLEFORD NEJ, WANG TL, COOK SK, HENSON LE, LOVEYS BR, 1988: A monoclonal antibody to (S)-abscisic acid: its characterization and use in a radioimmunoassay for measuring abscisic in crude extracts of cereal and lupin leaves. *Planta* 183, 330-339.
- SCHWARTZ H, ZEEVART JAD, 2004: Abscisic acid biosynthesis and metabolism. In: Davies PJ (Ed.), *Plant Hormones*, 137-155. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- SUPRUNOVA T, KRUGMAN T, FAHIMA T, CHEN G, SHAMS I, KOROL A, NEVO E, 2004: Differential expression of dehydrin genes in wild barley, (*Hordeum spontaneum*), associated with resistance to water deficit. *Plant Cell Environ.* 27, 1297-1308.
- TEULAT B, MONNEVEUX P, WERY J, BORRIES C, SOUYRISS I, CHARRIER A, THIS D, 1997: Relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study. *New Phytol.* 137, 99-107.
- TEULAT B, MERAH O, THIS D, 2001: Carbon isotope discrimination and productivity in field-grown barley genotypes, *J. Agron. Crop Sci.* 187, 33-39.
- THOMAS TL, CHUNG HJ, NUNBERG AN, 1997: ABA signaling in plant development and growth. In: Aducci P (Ed.), *Signal transtuction in plants*, 23-43. Birkhäuser Verlag, Basel.
- TOMMASINI L, SVENSSON JT, RODRIGUEZ M, WAHIDA, MALAT-RASI M, KATO K, WANAMAKER S, RESNIK J, CLOSE TJ, 2008: Dehydrin gene expression provides an indicator of low temperature and drought stress: transcriptome-based analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Funct. Integr. Genom.* 8, 387-405.
- ZHANG JZ, CREELMAN RA, ZHU JA, 2004: From laboratory to field. Using information from Arabidopsis to engineer salt, cold, and drought tolerance in crops. *Plant Physiol.* 135, 615-621.

# Yield, protein content, bread making quality and market requirements of wheat

Dario Fossati<sup>1\*</sup>, Cécile Brabant<sup>1</sup> and Geert Kleijer<sup>1</sup>

## Abstract

In a breeding program with high bread making quality as main breeding goal, different strategies can be used or combined to create genotypes with good bread making quality and improved yield. As protein and yield are negatively correlated, one breeding strategy is to identify genotypes with a deviation to this relationship. Another is to find genotypes with a higher gluten quality to compensate a moderate protein content. Such cultivars with improved yield and very good bread making quality potential are available. As some new bread making processes required more wet gluten than traditionally, some adjustments in the wheat production and in the market are needed. The high bread making potential of new cultivars should not be lost between the breeder and the baker.

### Keywords

Bread making quality, HMW-GS, protein content, *Triticum aestivum*, yield

not use any fungicides or straw shortener (so called ‘extenso production’). The nitrogen fertilization is relatively moderate, around 140 kg N ha<sup>-1</sup> are considered as usual amount for winter wheat. Combining yield and high bread making quality in a ‘low-input’ production is challenging.

## Yield versus protein content

As many others breeders we observe the classical negative correlation between protein content and yield. For example, if we summarized all breeding lines and cultivars tested in preliminary and official yield trials between 1987 and 2010 under ‘extenso production’, the correlation coefficient between yield and protein content is strong and negative ( $r = -0.60$ ,  $P < 0.01$ ) (Table 1). The plot shows a kind of barrier under a decreasing curve between yield and protein content (Figure 1). Generally, improving yield will lead to a decreased protein content. A breeding strategy could be to identify genotypes with a deviation to the relationship between protein content and yield as proposed by MONAGHAN et al. (2001) or OURY and GRODIN (2007).

## Protein content versus other quality tests

Protein content by itself is not sufficient to determine bread making quality. In fact, some correlation between protein content and some bread making quality tests are relatively poor compared to other measurements as Zeleny sedimentation test (ICC Standard Method 116/1) (Table 1). When protein quality is more important than protein content, Zeleny sedimentation test gives a better information. For

## Introduction

High bread making quality is the main goal of the Swiss wheat breeding program (FOSSATI and BRABANT 2003). The quality requirement by the bread making industry is very high and the cultivars have to obtain good to very good bread making quality even in a relatively extensive wheat production. More than 50% of Swiss wheat production do

**Table 1: Correlation coefficients between protein content or Zeleny sedimentation test and different bread making quality parameters for breeding lines and cultivars tested in preliminary and official yield trials between 1987 and 2010 under ‘extenso’ production**

Quality trait	Protein content (%)	Zeleny sedimentation (ml)	$P >  r $ ; $H_0: r=0$	Observations Protein/Zeleny (n)
Zeleny (ml)	0.44	1.00	<0.01	9580
Yield (dt.ha <sup>-1</sup> )	-0.60	-0.23	<0.01	9580/9629
Wet gluten content (%)	0.71	0.32	<0.01	368
Farinograph water absorption (%)	0.40	0.43	<0.01	2048
Farinograph stability time (min)	0.62	0.47	<0.01	2048
Farinograph mixing tolerance index (FU)	-0.31	-0.60	<0.01	2051
Extensograph DL/AL	0.28	0.45	<0.01	2046
RMT bread volume (ml)	0.54	0.14	<0.01	1900
Bread volume in tins (ml)	0.39	0.46	<0.01	288
„500 g“ baking test volume (ml)	0.69	0.36	<0.01	274
Lab tests „Schema LP90“ (pts)	0.49	0.86	<0.01	317
Baking test „Schema LP90“ (pts)	0.47	0.51	<0.01	280
Final evaluation „Schema LP90“ (pts)	0.53	0.75	<0.01	280

<sup>1</sup> Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Route de Duillier, CP 1012, NYON 1, Switzerland

\* Correspondence: Dario FOSSATI, dario.fossati@acw.admin.ch

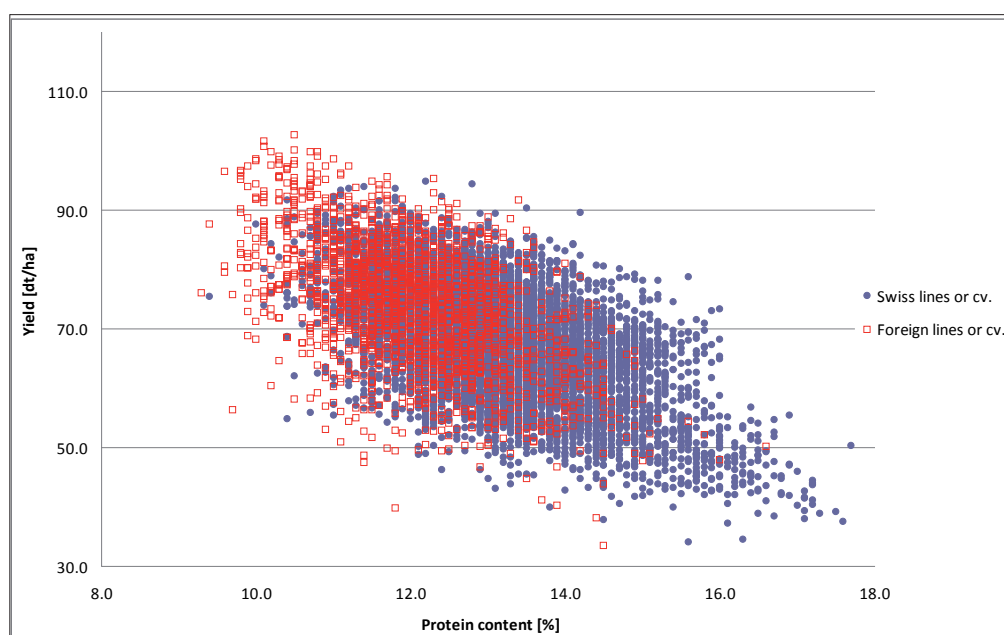


Figure 1: Relationship between yield and protein content of winter wheat breeding lines and cultivars in preliminary and official yield trials (1987-2010)

Table 2: HMW-GS composition of Swiss winter wheat landraces. Quality score (QS) based on quality index according to BRAN-LARD et al. (1992)

Local name	Glu-A1	Glu-B1	Glu-D1	QS	Local name	Glu-A1	Glu-B1	Glu-D1	QS
Ausserberg 7D	1	7+8	2+12	40	Liddes	0	7+8	2+12	22
Birgisch	1	7+8	2+12	40	Montana	1	6+8	2+12	24
Birgisch 80D	0	7+8	2+12	22	Muestertal	1	7+8	3 12	42
Bruson	0	7+8	2+12	22	Mund	1	17 18	2+12	40
Casut	1	13+16	2+12	62	Orsières	1	6+8	2+12	24
Chermignon	1	7+8	2+12	40	Orsières	1	7+8	2+12	40
Chermignon 906D	0	14+15	4 12	52	Orsières	2*	6+8	2+12	39
Chermignon 910A	1	7+8	2+12	40	Plantahof	1	6+8	2+12	24
Chermignon 911A	1	17+18	2+12	40	Rothenbrunnen	0	6+8	2+12	9
Erschmatt	1	7+9	5+10	65	Sarrayer	1	6+8	2+12	24
Frauenkirch	1	7+9	5+10	65	Sarrayer	0	6+8	2+12	9
Genève gros	1	6+8	2+12	14	Sarrayer	1	7+8	2+12	40
Guttet	1	17+18	2+12	40	Savièse	1	7+9	2+12	42
Iserables 1145A	0	7	2+12	15	Savièse 847B	1	7	2+12	30
Iserables 1145G	1	7+8	2+12	40	Savièse 852D	1	14+15	2+12	57
Iserables 1147A	0	7+8	2+12	22	Savièse 853A	0	7+8	5+10	45
Iserables 1147D	1	7+9	5+10	65	Savièse 860C	1	7+8	2+12	40
Iserables 1147I	0	7+9	2+12	27	Schmitten	0	6+8	2+12	9
Iserables 77C	1	14+15	2+12	57	Schmitten	0	6+8	5+10	32
La Punt	0	6+8	2+12	9	Surava	1	7+9	5+10	65
Lens	1	7+9	2+12	42	Törbel	1	18+9	2+12	?
Lens	1	14+15	2+12	57	Unter Engadin	1	6+8	5+10	47
Lens 891F	1	7+8/7+9	2+12	41	Visperminen 639D	1	6+8	2+12	24
Lens 892D	0	7	2+12	15	Visperminen 647BD	1	7+9	2+12	42
Lens 892F	1	6+8	2+12	24	Visperterminen	1	7+8	2+12	40
Lens 896E	1	18+9	2+12	?	Vuitemboeuf	1	6+8	2+12	24
Lens 899C	1	7+8	2+12	40					
Lens 899D	1	13+16	2+12	62					

example the Zeleny test has a more consistent relationship with Farinograph mixing tolerance index (ICC Standard Method 115/1), Extensograph resistance to extensibility ratio (ICC Standard Method 114/1), bread volume in tins, points in the laboratory tests or in the global evaluation following the schema '90' (SAURER et al. 1991). Depending on the

bread making test, the relationship between protein content and bread volume is more or less consistent. The relationship is good or acceptable with the '500 g' bread making test (KLEIJER 2002) and Rapid-Mix-Test (RMT) (PELSHENKE et al. 1970), but low between protein content and volume of bread produced in tins with a longer fermentation time.

**Table 3: HMW-GS composition of Swiss winter wheat cultivars. Quality score (QS) based on quality index according to BRAN-LARD et al. (1992)**

Cultivar	Year of release	Secalin	Glu-A1	Glu-B1	Glu-D1	Score *
MC XXII	1913		0	6+8	2+12	9
MC 245	1926		0	7	2+12	15
MC 268	1926		1	6+8	2+12	24
Probus	1948		1	6+8	2+12	24
Zenith	1969		0	7+9	3+12	29
Zenta	1979		0	7+9	4+12	25
Eiger	1980		2*	7+9	4+12	55
Sardonna	1980		2*	7+9	5+10	80
Arina	1981		0	7+8	2+12	22
Bernina <sup>1</sup>	1983	Sec	0	7+8	5+10	27
Forno	1986		0	7+9	5+10	50
Garmil	1987		0	7+8	2+12	22
Ramosa	1989	Sec	1	7+8	5+10	38
Boval	1990		0	6+8	2+12	9
Tamaro	1992		1	7+9	5+10	65
Camino	1993		2*	7	2+12	45
Arbola <sup>1</sup>	1994	Sec	0	6+8	2+12	5
Runal	1995		1	7+9	5+10	65
Titlis	1996		1	7+9	2+12	42
Terza	1996		1	7+8	2+12	40
Levis	1997		1	7+8	5+10	63
Segor	2003		2 <sup>o</sup>	7+8	5+10	78
Arolla	2003		0	7+8	2+12	22
Muveran <sup>1</sup>	2004		1	7+8	2+12	40
Rigi	2004		0	7+8	5+10	45
Piotta	2004		0	7	5+10	38
Zinal	2004		0	7+8	5+10	45
Siala	2005		1	7+8	5+10	63
Fluela	2006		0	7+8	5+10	45
Orzival	2006		0	7+8	2+12	22
Cimetta	2007		2*	7+8	5+10	78
Muretto	2007		1	7+9	5+10	65
Combin	2007		2*	7+8	5+10	78
Logia	2007		2*	7+8	5+10	78
Forel	2007		1	7+9	5+10	65
Mayen	2007		2*	7+9	2+12	57
CH Camedo	2007		1	7+9	5+10	65
Delloro	2007		0	6+8	2+12	9
CH Nara	2008		1	7	5+10	53
Suretta	2008		0	7+8	2+12	22
Dufour	2008		0	7+9	5+10	50
Cambrena <sup>1</sup>	2009		0	7+8	2+12	22
Molinera	2010		1	7+8	5+10	63
Magno	Schedule 2011		1	6+8	5+10	47
Simano			0	7+8	5+10	45
Lorenzo			1	7+8	2+12	40
Campioni			1	7+9	5+10	65
Tanelin			0	6+8	5+10	32

<sup>1</sup> for biscuit production

As correlations between protein content and bread making quality are relatively weak, another possible strategy is to select the genotype with relatively low protein content but high bread making quality.

### *Using specific HMW-GS for quality improvement*

A cultivar can reach a good bread making quality, even with a moderate protein content, if the protein quality is very good. In fact, in many breeding programs, consciously or not, some high molecular weight glutenin subunits (HMW-GS), in particular the 5+10 (*Glu-D1d* allele) gi-

ving a stronger gluten, was frequently used for increasing quality and allowing a simultaneous progress in yield. In Swiss landraces, HMW-GS 5+10 was at a low frequency, around 10% in a random sampling of landraces conserved by the national gene bank at Agroscope ACW (Table 2). In the Swiss winter wheat cultivars registered from 1900 onwards, the frequency is around 35% and is clearly increasing (Table 3).

### *End users requirements*

Using both strategies, new cultivars have been produced, e.g. Molinera, CH Nara, CH Claro, Siala, Camedo or Loren-

**Table 4: Quality results of recently developed cultivars compared to Runal in the Swissgranum<sup>1</sup> trials network and in the official trials network (2008-2010) (Performance better than Runal is printed in bold)**

Trial network	Cultivar	Wet gluten (%)			Laboratory tests (pts)			Baking tests (pts)			Total (pts)		
		2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Swissgranum	Runal	33.8	31.0	41.2	78	72	79	81	75	66	159	147	145
	Camedo	30.6	30.6	36.1	65	<b>76</b>	<b>81</b>	64	69	<b>80</b>	129	145	<b>161</b>
	CH Claro	28.7	<b>31.9</b>	35.1	61	67	<b>72</b>	<b>84</b>	<b>80</b>	<b>89</b>	145	<b>147</b>	<b>161</b>
	Nara	32.3	<b>31.3</b>	33.8	<b>82</b>	<b>77</b>	<b>82</b>	71	63	<b>82</b>	153	140	<b>164</b>
	Siala	28.5	30.8	37.3	63	<b>74</b>	<b>72</b>	70	<b>77</b>	<b>86</b>	133	<b>151</b>	<b>158</b>
Official yield trials	Runal	31.1	31.1	34.0	83	83		78	55		161	138	
	Lorenzo		<b>33.2</b>	<b>34.9</b>		<b>88</b>			<b>59</b>			<b>147</b>	
	Molinera	30.7	30.2	<b>35.5</b>	77	<b>84</b>		<b>85</b>	<b>77</b>		<b>162</b>	<b>161</b>	
	Siala	27.5	29.7		74	79		75	<b>60</b>		149	<b>139</b>	

<sup>1</sup> Swissgranum is the interprofessional organization for cereals, oilseeds and legumes crops

zo and represent already a significant part of the production. The results of their bread making tests are frequently better than the Top quality standard cultivar Runal (Table 4). Even with a large part (83%) of the Swiss wheat production based on good (47.2%, quality class 1) and very good (35.8%, quality class Top) bread making quality cultivars, some end-users are not completely satisfied with the harvested quality. The wet gluten content was considered as insufficient for some processes. Up to 2% dry gluten needed to be added to the flour for some productions.

Some hypotheses, for each step between the producer and the end-user, can explain this situation. Inside both quality classes Top and 1, some cultivars with high wet gluten content, have been less produced than others with less wet gluten content but higher yield potential. The trend of reducing fertilizers use and some years with unfavorable climatic conditions for protein content could be also partially responsible. After harvest, for the same quality class, different cultivars are frequently mixed into the same silo, without a protein content management. Some new bread making processes especially when using fermentation under cold control or a freezing period, need more protein content to be successful. *Arvalis-Institut du végétal* indicates that, if 9-10% flour protein content is sufficient for a traditionally French bread, 11-13% are needed for a normal bread with crude freeze dough or even more than 15% for a normal bread produced with a fermented freeze dough (cited by SEYSEN-FOUAN 2010). Such processes are now common for the bread making industry.

## Conclusion

New cultivars with improved yield and very good bread making quality potential are available. This quality is mainly

based on very good gluten quality and less frequently on high wet gluten content. Even if some new cultivars have very good results in traditionally bread making tests they can fail to satisfy the requirements of high protein content demanding processes. For such processes, some production and market adjustments are needed to be sure that the potential quality is obtained and reach the end users.

## References

- BRANLARD G, PIERRE J, ROUSSET M, 1992: Selection indices for quality evaluation in wheat breeding. *Theor. Appl. Genet.* 84, 57-64.
- FOSSATI D, BRABANT C, 2003: Die Weizenzüchtung in der Schweiz. Das Programm der Eidgenössischen Forschungsanstalten. *Agrarforschung* 10, 447-458.
- KLEIJER G, 2002: Sélection des variétés de blé pour la qualité boulangère. *Revue Suisse d'Agriculture* 34, 253-259.
- MONAGHAN JM, SNAPE JW, CHOJECKI AJS, KETTLEWELL PS, 2001: The use of grain protein deviation for identifying wheat cultivars with high grain protein concentration and yield. *Euphytica* 122, 309-317.
- OURY FX, GRODIN C, 2007: Yield and grain protein content concentration in bred wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes? *Euphytica* 157, 45-57.
- PELSHENKE PF, SCHULZ A, STEPHAN H, 1970: Der Rapid Mix Test als Standard-Backmethode für Weizen der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e. V., Detmold. *Merkblatt* 62, 1-6.
- SAURER W, ACHERMANN J, TIÈCHE JD, RUDIN PM, MÄNDLI K, 1991: Das Bewertungsschema '90 für die Qualitätsbeurteilung von Weizenzüchtungen. *Landwirtschaft Schweiz* 4, 55-57.
- SEYSEN-FOUAN S, 2010: Protéines: Indispensables pour faire du bon pain? *Cultivar* 635: 48-50.

# Ährenfusariosen bei Weizen in der Tschechischen Republik und Vorhersage der Risiken eines Befalls

Jana Chrprová<sup>1\*</sup>, Václav Šíp<sup>1</sup>, Šárka Bártová<sup>1</sup> und Lenka Štočková<sup>1</sup>

## Abstract

A six year (2004-2009) systematic survey of deoxynivalenol (DON) content in wheat grain samples randomly collected in the Czech Republic indicated substantial threat to wheat yields. The highest contribution (>50%) to the total variation in DON content was observed for year and growing region. Especially susceptible wheat cultivars grown after maize are highly threatened by *Fusarium* head blight. There were also certain regions in the Czech Republic identified with a repeatedly higher incidence of the disease. High contamination of grain with DON was connected with sufficient rainfall 10 days prior anthesis and during anthesis. Accumulation of DON was favoured by relatively lower temperatures 20 days after anthesis.

## Key words

Deoxynivalenol, *Fusarium* head blight, mycotoxin, risk assessment, *Triticum aestivum*, winter wheat

## Einleitung

Ährenfusariosen sind verheerende Getreidekrankheiten, die in der Tschechischen Republik praktisch jedes Jahr auftreten. Der Grad des Befalls und die Kontaminierung des Korns durch Mykotoxine werden durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst, unter denen der Wetterverlauf (Niederschlag, Temperatur), der Resistenzgrad der Sorte, die Vorfrucht und das Bodenbearbeitungssystem eine entscheidende Bedeutung haben. Das am meisten untersuchte Mykotoxin ist Deoxynivalenol (DON), dessen Höchstgehalt im Korn von 1,25 mg kg<sup>-1</sup> durch die Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission festgelegt wird. Ziel dieser Studie ist die Einflüsse verschiedener Faktoren unter tschechischen Bedingungen besser zu bestimmen, die Risiken vorauszusagen und dadurch einen besseren Schutz der Weizenkulturen in der landwirtschaftlichen Praxis zu ermöglichen. Dafür wurden Daten die aus der Analyse des DON-Gehalts von zufällig genommenen Weizenproben gewonnen wurden genutzt.

## Material und Methoden

In den Jahren 2004-2009 wurden 888 Winterweizenproben zufällig genommen und auf ihren DON-Gehalt mittels ELISA unter Verwendung des RIDASCREEN® FAST DON Kits (R-Biopharm, Darmstadt) analysiert. Die zufällige Ent-

nahme der Ährenproben erfolgte in verschiedenen Regionen der Tschechischen Republik durch die staatliche phytosanitäre Verwaltung. Die gewonnenen Daten wurden unter Berücksichtigung von Jahr, Ort, Sorte, Vorfrucht und Bodenbearbeitung verarbeitet. Die meteorologischen Daten (Niederschlagsmenge in mm, durchschnittliche Lufttemperatur in °C) wurden aus den monatlichen Wetterübersichten der meteorologischen Stationen, die den konkreten Beobachtungspunkten am nächsten lagen, entnommen.

## Ergebnisse und Diskussion

Der festgestellte DON-Gehalt bewegte sich von 0 bis 27,2 mg kg<sup>-1</sup>, wobei DON fast in der Hälfte der analysierten Proben festgestellt wurde (427 von 888). Die Anzahl der Proben über dem Grenzwert von 1,25 mg kg<sup>-1</sup> war 82, was 9,23% der Gesamtzahl der Proben darstellt. Ihr größter Anteil war im Jahr 2004 (21 Proben) während der kleinste Anteil (3 Proben) im Jahre 2008 festgestellt wurde. Über die gesamte Beobachtungszeit betrug der durchschnittliche DON-Gehalt 0,501 mg kg<sup>-1</sup>. Statistisch nachweisbare Unterschiede wurden zwischen dem Jahr 2004 und den Jahren 2006, 2007 und 2009 festgestellt. Hoch war der durchschnittliche DON-Gehalt in den Jahren 2004 (0,935 mg kg<sup>-1</sup>) und 2005 (0,747 mg kg<sup>-1</sup>) und verhältnismäßig gering im Jahre 2008 (0,275 mg kg<sup>-1</sup>). Außer dem bedeutenden Einfluss des Jahres auf den DON-Gehalt ist ein erhöhtes Risiko beim Weizenanbau nach der Vorfrucht Mais zu beobachten (*Abbildung 1*). Es wurde eine statistisch bedeutende Differenz im DON-Gehalt zwischen der Vorfrucht Mais und allen anderen Vorfrüchten festgestellt. Der Effekt der Vorfrucht auf den DON-Gehalt betrug 21,5%. In diesen Untersuchungen wurde jedoch kein signifikanter Einfluss der Bodenbearbeitung (konventionell vs. minimiert) auf die Anhäufung des Mykotoxins DON im Weizenkorn beobachtet.

Bezüglich der Regionen war am meisten Ostmähren, einige Kreise in Südwest- und Südböhmen sowie der Nordosten von einer wiederholten DON-Anhäufung betroffen. An der gesamten Variabilität des DON-Gehalts hatte die Sorte einen großen Anteil (24,1%), was im Einklang mit den Untersuchungen von SCHAAFSMA und HOOKER (2007) steht.

Wegen der erwarteten starken Beeinflussung der Akkumulation von DON im Korn durch den Wetterverlauf wurden die durchschnittlichen Temperaturen und Niederschläge während der Blüte und in dem entscheidenden 20-tägigen Zeitabschnitt nach der Blüte detailliert analysiert (*Tabelle 1*). Die Temperaturen in der Zeit 10 bis 20 Tage vor der Blüte (und insgesamt im Monat Mai) waren für die Errei-

<sup>1</sup> Research Institute of Crop Production, Drnovská 507, CZ-161 06 PRAHA - RUZYŇ

\* Ansprechpartner: Jana CHRPOVA, chrpova@vurv.cz

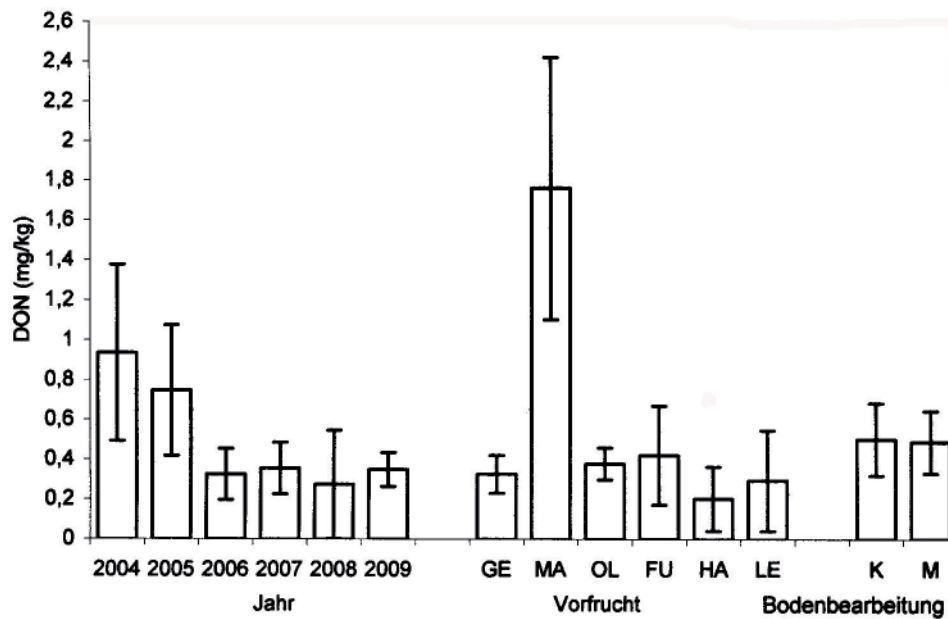


Abbildung 1: Einfluss des Jahres, der Vorfrucht (GE, Getreide; MA, Mais; OL, Ölpflanzen; FU, Futterpflanzen; HA, Hackfrüchte; LE, Leguminosen) und der Bodenbearbeitung (K, konventionell; M, minimiert) auf den DON-Gehalt im Weizenkorn (Durchschnittswerte mit Konfidenzintervall,  $P < 0,01$ )

Figure 1: Influence of year, preceding crop (GE, cereals; MA, maize; OL, oilseed crops; FU, fodder crops; HA, root and tuber crops; LE, legumes) and cultivation practices (K, conventional; M, minimum tillage) on DON content of wheat grains (average means with 90% confidence interval)

chung eines hohen DON-Gehaltes nicht entscheidend. Es ergaben sich keine Unterschiede durch die verhältnismäßig breit schwankenden Durchschnittstemperaturen (10-18°C). Als beschränkt erwiesen sich nur Durchschnittstemperaturen von über 19°C (wo der DON-Gehalt nur 0,211 mg kg<sup>-1</sup> gegenüber einem Gesamtdurchschnitt von 0,501 mg kg<sup>-1</sup> betrug). Bedeutend sind die Gesamtniederschläge im Zeitraum 10 bis 20 Tage vor der Blüte. Wie Tabelle 1 zeigt,

Tabelle 1: Durchschnittstemperaturen (T) und Niederschläge (R) (2004-2009) in den Zeiträumen 20 Tage vor Blüte (1,2,3,4), 10 Tage vor Blüte (3,4), 5 Tage nach Blüte (5) und 20 Tage nach Blüte (5,6,7,8) für die einzelnen Gruppen von Proben, die sich im Gehalt des Mykotoxins DON unterscheiden

Table 1: Mean temperatures (T) and rainfall (R) (2004-2009) in the period 20 days before anthesis (1,2,3,4), 10 days before anthesis (3,4), 5 days after anthesis (5) and 20 days after anthesis (5,6,7,8) for the different groups of samples different in DON content

DON (mg kg <sup>-1</sup> )	Mean temperature (°C)			
	T1,2,3,4	T3,4	T5	T5,6,7,8
>1,25	13.83 a	15.31 a	15.52 a	16.27 a
0,1-1,25	14.13 a	15.51 a	16.05 ab	16.75 ab
<0,1	13.92 a	15.16 a	16.33 b	16.80 b
Mean	13.95	15.24	16.21	16.74
DON (mg kg <sup>-1</sup> )	Rainfall (mm)			
	R1,2,3,4	R3,4	R5	R5,6,7,8
>1,25	56.39 a	32.18 a	16.64 a	50.72 a
0,1-1,25	48.07 b	25.47 b	14.18 ab	50.27 a
<0,10	50.24 b	22.92 b	12.72 b	46.24 a
Mean	50.40	24.26	13.35	47.39

Means with the same letter are not significantly different ( $P > 0.05$ )

war insbesondere der Zeitabschnitt von 10 Tagen vor der Blüte entscheidend, wobei bei Gesamtniederschlägen, die den Gesamtdurchschnitt um 33% überstiegen, ein hoher DON-Gehalt beobachtet wurde. XU (2003) dokumentierte die große Bedeutung von Niederschlägen in der Zeit 8 bis 10 Tage vor der Blüte für eine hohe Produktion von Ascosporen und Konidien, deren Verbreitung und die Infektion mit Ährenfusariose. Weit unter dem gesetzlichen Grenzwert (0,208 mg kg<sup>-1</sup>) war die DON-Kontamination bei Niederschlägen unter 10 mm in der Zeit 10 Tage vor der Blüte. In der Praxis sollten daher die Niederschläge entscheidend berücksichtigt werden, wenn an eine Verwendung von Fungiziden gedacht wird. Offensichtlich können bereits Niederschläge und Durchschnittstemperaturen im Monat April die Kontamination mit DON beeinflussen, was unter tschechischen Bedingungen bereits von VÁŇOVÁ et al. (2009) nachgewiesen wurde. In Beobachtungszeitraum wurde ein DON-Gehalt über dem Grenzwert bei Gesamtniederschlägen im April beobachtet, die den Durchschnitt von 43,4 mm um 23% übersteigen, wobei offensichtlich auch die insgesamt überdurchschnittlichen Temperaturen in diesem Monat (um 2°C höher als der langfristige Durchschnittswert von 7,3°C) positive Auswirkungen hatten. Entscheidender für die Senkung des Risikos eines Befalls ist jedoch ein deutlicher Mangel an Niederschlägen im Mai, in dem die Niederschläge und die Durchschnittstemperaturen langfristig deutlich höher als im April sind (71,1 vs. 43,5 mm; 12,31 vs. 7,3°C). Höhere Niederschläge (+26%) in der Zeit der Blüte und kurz danach (R5) unterstützten die Bildung von DON, die Niederschlagsmenge in den 20 Tagen nach der Blüte (R5,6,7,8) beeinflusste den DON-Gehalt jedoch nicht mehr bedeutend. Eine DON-Anhäufung unmittelbar nach der Infektion (T5) und in der Zeit 20 Tage nach Infektion

wurde eher von niedrigeren Temperaturen (16°C) unterstützt. Wesentlich beschränkt wird die Produktion von DON erst bei Temperaturen über 22°C, wo der durchschnittliche DON-Gehalt nur 0,063 mg kg<sup>-1</sup> betrug. Das Risiko einer Infektion wurde offensichtlich durch eine hohen Anzahl an Tagen mit Temperaturen über 25°C, wie in den Jahren 2006 und 2008, gesenkt. Jahre mit einem hohen DON-Gehalt können durch unterdurchschnittliche Temperaturen und eine überdurchschnittliche bzw. durchschnittliche Niederschlagsmenge in den entscheidenden Entwicklungsstadien der Krankheit charakterisiert werden.

### Zusammenfassung

Den höchsten Anteil an der festgestellten Variabilität im DON-Gehalt hatten Anbaujahr und -ort (54,4%). Ein hohes Risiko stellt ein Weizenanbau nach Mais dar. Der Effekt der Vorfrucht betrug 21,5%). Der DON-Gehalt wird jedoch nicht wesentlich von der Bodenbearbeitung beeinflusst. Der Einfluss des Resistenzgrades der Sorte war ebenfalls hoch (24,1%). Es konnten Risikogebiete in der Tschechischen Republik identifiziert werden in denen ein Auftreten von Ährenfusariosen bzw. einer DON-Kontamination wahrscheinli-

cher ist. Für eine hohe DON-Belastung erwies sich eine hohe Niederschlagsmenge in der Zeit 10 Tage vor der Blüte wie auch unmittelbar nach der Infektion als entscheidend. Die erlangten Ergebnisse dienen als Grundlage für Modelle zur Vorhersage der Mykotoxinkontamination des Weizen und für die Entscheidung über geeignete Schutzmaßnahmen.

### Danksagung

Die durchgeführten Arbeiten sind Teil der Forschungsprojekte MZE 0002700604 und NAZV QG50076, die vom Landwirtschaftsministerium der Tschechischen Republik unterstützt wurden.

### Literatur

- SCHAAFSMA AW, HOOKER DC, 2007: Climatic models to predict occurrence of Fusarium toxins in wheat and maize. *Int. J. Food Microbiol.* 119: 116-125.
- VÁŇOVÁ M, KLEM K, MATUŠINSKÝ P, TRNKA M, 2009: Prediction model for deoxynivalenol in wheat grain based on weather conditions. *Plant Prot. Sci.* 45: 33-S37.
- XU X, 2003: Effects of environmental conditions on the development of Fusarium ear blight. *Eur. J. Plant Pathol.* 109: 683-689.





## Survey of spring barley for leaf diseases in Hungary in 2010

Klára Manninger<sup>1\*</sup> József Fodor<sup>1</sup> and István Murányi<sup>2</sup>

### Abstract

Leaf diseases have the most significant deleterious effect on spring barley. A disease survey was carried out on spring barley in Hungary in 2010. A set of barley genotypes were investigated in East and West Hungary. Disease incidences varied significantly by region and cultivar. Leaf rust, brown leaf spot, Ramularia leaf spot were important in West Hungary, whereas net blotch and barley leaf stripe were predominant in East Hungary. All genotypes were susceptible to both net blotch and barley leaf stripe at Kompolt. One genotype was resistant to brown rust; and another genotype was resistant to both brown leaf spot and Ramularia leaf spot in all surveyed areas.

### Keywords

Barley leaf stripe, brown leaf spot, brown rust, *Hordeum vulgare*, net blotch, Ramularia leaf spot

### Introduction

Barley is an intensively cultivated cereal grown worldwide. Fungal pathogens causing leaf spot on barley such as *Pyrenophora* (*Drechslera*) species, *Rhynchosporium secalis* and *Cochliobolus sativus* (*Bipolaris sorokiniana*) are important pathogens (MERCER and RUDDOCK 2004). Since the early 1990s another leaf spot pathogen, *Ramularia collo-cygni*, has spread on barley, too (OXLEY et al. 2009). *Ramularia* leaf spot was recorded for the first time on winter barley in Hungary in 2007 and its incidence was confirmed in recent years in different areas (MANNINGER et al. 2008, 2009).

The objectives of our research in 2010 were:

- (1) to survey leaf spot diseases of spring barley in different regions of Hungary and
- (2) to determine the level of resistance to these diseases.

### Materials and Methods

Leaf samples with necrotic spot symptoms were collected from the top two leaves (flag leaf and second leaf) of spring barley genotypes in East Hungary at Kompolt and in West Hungary at Röjtökmuzsaj and Szombathely. The incidence of leaf diseases was assessed on 16 barley genotypes. Infected leaves were placed in Petri dishes and incubated at 18-20 °C for 2-3 days. Leaf spots were scrutinised under

stereo and light microscope. The resistance of genotypes was characterised.

The resistance of spring barley genotypes to leaf diseases was characterised.

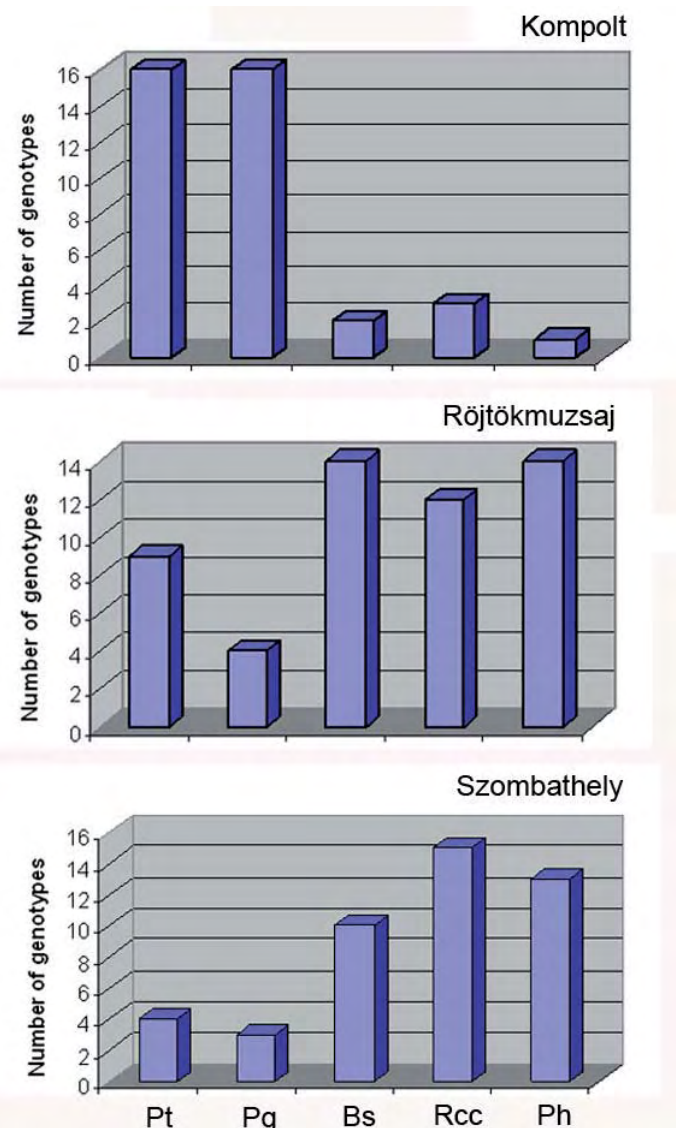


Figure 1: Occurrence of pathogens causing leaf diseases on spring barley at Kompolt (East Hungary), Röjtökmuzsaj and Szombathely (West Hungary). Pt, *Pyrenophora teres*; Pg, *P. graminea*; Bs, *Bipolaris sorokiniana*; Rcc, *Ramularia collo-cygni*; Ph, *Puccinia hordei*

<sup>1</sup> Plant Protection Institute Hungarian Academy of Sciences, BUDAPEST, Hungary

<sup>2</sup> Rudolf Fleischmann Research Institute, Károly Róbert University, KOMPOLT, Hungary

\* Correspondence: Klára MANNINGER, sman@nki.hu

## Results

### *East Hungary*

A progressive increase in the occurrence and spread of leaf spot pathogens was detected. Disease incidence varied by areas and genotypes. Net blotch and barley leaf stripe caused by *Pyrenophora teres* and *P. graminea*, respectively, were severe. Less important diseases were brown leaf spot, Ramularia leaf spot and brown rust. Their pathogens *Bipolaris sorokiniana*, *Ramularia collo-cygni* and *Puccinia hordei* occurred only sporadically (*Figure 1*).

### *West Hungary*

It was expected that *Pyrenophora* species cause severe leaf spots in West Hungary too. However, it was found that the main diseases of spring barley genotypes were leaf rust (*Puccinia hordei*) and brown leaf spot. Pathogens of Ramularia leaf spot, net blotch and barley leaf stripe appeared, but the level of diseases were low (*Figure 1*).

### *Resistance*

All barley genotypes tested were infected by *Pyrenophora teres* and *P. graminea* at Kompolt. Two genotypes were resistant to brown rust; and one genotype was resistant to both brown leaf spot and Ramularia leaf spot in all surveyed areas.

## Conclusions

Occurrence of leaf diseases depends not only on barley genotype but also on environmental factors (precipitation, temperature, solar radiation, agricultural technology) of cultivated areas. Our survey results justify the necessity of a strategy to control the dangerous leaf spot diseases. Common effort is necessary to develop innovative solutions for controlling leaf spot diseases. Especially a close collaboration of scientists from neighbouring countries is required.

## References

- MANNINGER K, VAJNAL, MURÁNYI I, 2008: Occurrence of Ramularia leaf spot on winter barley in Hungary. Bericht über die 58. Tagung 2007 der Vereinigung der Pflanzzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 115. LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning, Austria.
- MANNINGER K, MÁTRAI T, MURÁNYI I, 2009: Occurrence and spread of a new disease, Ramularia leaf spot on winter and spring barley in Hungary. Aspects of Applied Biology 92, 111-116.
- MERCER PC, RUDDOCK A, 2004: Surveys of cereal diseases in Northern Ireland 1976 to 2000. Irish Journal of Agricultural and Food Research 43, 85-101.
- OXLEY S, BROWN J, FOSTER V, HAVIS (Eds.), 2009: The 2<sup>nd</sup> European Ramularia Workshop - A new disease and challenge in barley production. Aspects of Applied Biology 92.