

Qualitätsansprüche für unterschiedliche Verwendungszwecke bei Hybridroggen

Quality demands for different uses of hybrid rye

Thomas Miedaner^{1*} und Marlen Hübner¹

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⁻¹ gegenüber 57,0 dt.ha⁻¹ 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⁻¹

gegenüber 0,69 dt.ha⁻¹ 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⁻¹). 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⁻¹ geringer waren. Berücksichtigt man nur die zwei besonders von Trockenheit betroffenen nördlichen Sandstandorte, betrug die Ertragsdifferenz sogar 34 dt.ha⁻¹. 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⁻¹) 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

¹ Landessaatzuchtanstalt, Universität Hohenheim, D-70593 STUTTGART

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

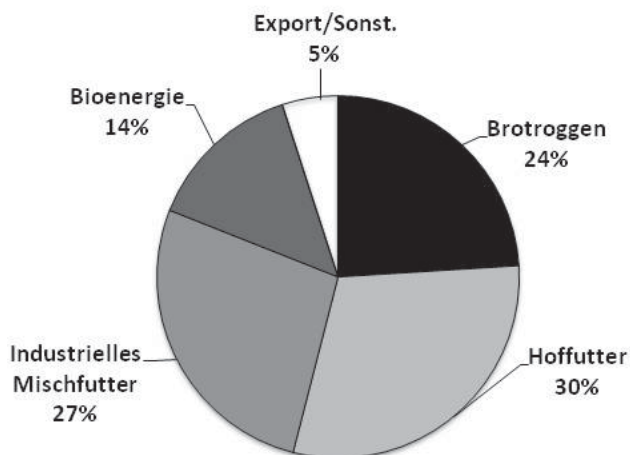


Abbildung 1: Prozentuale Verteilung der Roggenernte 2008/2009 von insgesamt 3,7 Millionen Tonnen (RYE BELT 2010)

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	++	+	+/-
α -Amylase	--	+/-	++
Viskosität/Pentosangehalt	++	--	--
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 Abnahmechancen 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 α -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 α -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 Pentosengehalte 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 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 Pentosengehalt 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⁻¹. 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, Parteien 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 Pentosangehalt, 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 stringenter 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

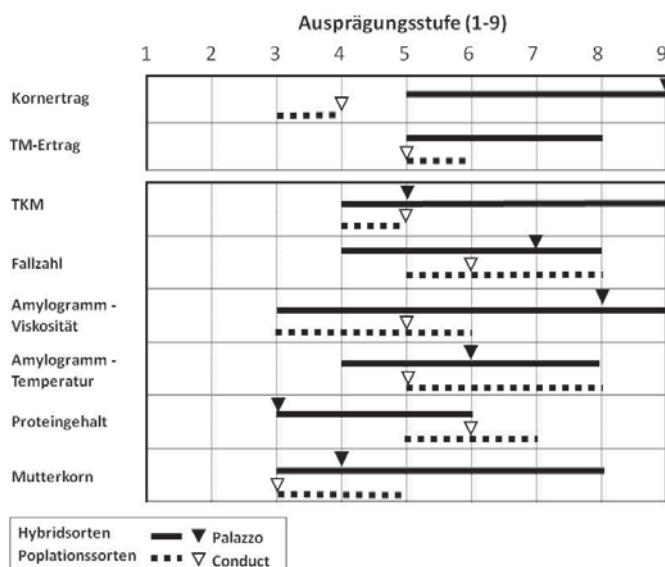


Abbildung 2: Spannweite wichtiger Qualitätsmerkmale von 19 Hybrid- und 9 Populationssorten (ohne Synthetische Sorten) und Leistung der Hybrid- (Palazzo) bzw. Populationssorte (Conduct) mit der größten Vermehrungsfläche (BSL 2010)

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 Weizenerträge 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, Irdning.
- 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, Irdning.
- 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.