

## Einsatz moderner Züchtungsstrategien zur Verbesserung der Eigenschaften von Sommerbraugerste für den ökologischen Landbau

Application of innovative breeding strategies to improve malting barley for organic farming

**FKZ: 10OE072**

**Projektnehmer:**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
Am Gereuth 8, 85354 Freising  
Tel.: +49 8161 71-3629  
Fax: +49 8161 71-4085  
E-Mail: markus.herz@lfl.bayern.de  
Internet: www.lfl.bayern.de

**Autoren:**

Herz, Markus; Aschenbach, Birte; Müller, Karl-Josef

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

# **Abschlussbericht:**

**Einsatz moderner Züchtungsstrategien zur Verbesserung der Eigenschaften von Sommerbraugerste für den ökologischen Landbau**

**Förderkennzeichen: 2810OE072**

## **Ausführende Stelle:**

**Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung**

## **Projektkoordination**

*Dr. Markus Herz, Tel.: ++49-(0) 8161 71-3629, (Fax: -4085)*

*E-Mail: markus.herz@lfl.bayern.de*

Arbeitsgruppe Züchtungsforschung Winter- und Sommergerste, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (**LfL**), Am Gereuth 8, 85354 Freising

## **Partner/Unterauftragnehmer:**

**A) Getreidezüchtungsforschung Darzau:** Betreuung eines Öko-Teststandortes in Ostniedersachsen, Resistenzprüfungen unter natürlichen Befallsbedingungen und mittels Inokulation bei Flugbrand. Flugbrand. Entwicklung von Sortenprototypen.

**B) Verbund Ökologische Praxisforschung (V.Ö.P.):**Federführung: Bioland Beratung, Jan Plagge, Markus Weller Auf dem Kreuz 58, 86152 Augsburg: Projektbegleitung und Beratung, Veranstaltung einer Abschlusstagung

**Laufzeit: 01.04.2011 – 31.12.2014**

# Kurzfassung

## Einsatz moderner Züchtungsstrategien zur Verbesserung der Eigenschaften von Sommerbraugerste für den ökologischen Landbau

Dr. Markus Herz<sup>1</sup>, Birte Aschenbach<sup>1</sup>, Dr. Karl-Josef Müller<sup>2</sup>

- 1) Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
Am Gereuth 6  
85354 Freising  
Tel.: 08161 71 3629  
Email: [Markus.Herz@lfl.bayern.de](mailto:Markus.Herz@lfl.bayern.de)
  
- 2) Getreidezüchtungsforschung Darzau  
Hof Darzau 1  
29490 Neu Darchau  
Tel.: 05853-98098-11  
Email: [k-j.mueller@darzau.de](mailto:k-j.mueller@darzau.de)

Sommergerste ist im ökologischen Landbau nach Weizen, Hafer und Dinkel die Getreideart mit der höchsten Bedeutung für die verarbeitende Industrie. Der Markt für Öko-Braugerste ist in den letzten Jahren rasch gewachsen. Der gestiegenen Nachfrage steht ein knappes Angebot aus deutscher Erzeugung gegenüber, so dass viele Mälzereien zu Importen gezwungen sind. Voraussetzung für eine stärkere Verbreitung des Sommergerstenanbaus im ökologischen Landbau ist die Bereitstellung geeigneter Sorten. Für die Sommergerste sehen Vertreter der Ökolandbau-Beratung einen hohen Bedarf an Züchtung und Züchtungsforschung. Resistente Sorten haben im Ökolandbau besonders große Bedeutung.

Im Rahmen des Projektes konnten unter konsequenter Anwendung von Strategien der Präzisionszüchtung Sortenprototypen entwickelt werden, die von der kooperierenden Saatzuchtwirtschaft zu erfolgreichen Sorten weiterentwickelt werden können. Aus 300 Ursprungslinien einer F5 Generation der Getreidezüchtungsforschung Darzau wurden durch konsequente Selektion auf Resistenz, agronomischen Eigenschaften und Malzqualität in mehrortigen Feldversuchen vier Zuchtstämme selektiert, die den Ansprüchen vom Erzeugern und Verarbeitern von Braugerste, die nach den Vorgaben des ökologischen Landbaus erzeugt wird, entsprechen. Molekulare Marker, die im Zusammenhang mit Malzqualität stehen, wurden unmittelbar im Zuchtmaterial evaluiert und ihre Eignung für die Selektion auf qualitativ vorteilhafte Sorten belegt. Eine Kartierungspopulation für die molekulargenetische Kartierung von Flugbrandresistenz aus der Sorte Steffi wurde im Hinblick auf die Resistenz und mit molekularen Markern charakterisiert. Zwei Bereiche des Gerstengenoms wurden identifiziert, die eine Rolle in der Ausprägung der Resistenz spielen.

Jährliche Projekttreffen mit Beteiligten aus der gesamten Erzeugungskette trugen dazu bei, dass die Informationen über agronomische Eigenschaften und Qualität der neuen Zuchtstämme unmittelbar und zeitnah an die interessierten Kreise weitergegeben wurde.

**Abstract:**

Among the cereals, spring barely is one of the most important species for the processing industry like mills, maltsters and brewers. During the last decade the market for organically produced malting barley increased due to the increase of the demand for organic beer and other drinks based on fermented organic barely. Nevertheless the domestic production of organic barley is not sufficient for the demand of the processing industry. For this reason a large part of the organic spring barley processed in Germany is imported. To increase the growth area of organic spring barley in Germany it is necessary to provide varieties which fulfil the special requirements of the growers regarding resistance, agronomic performance, malt quality and regional adaptation. Since the development of current varieties for conventional purposes aims to select intensive barley types with short straw and low protection against weed it was necessary to develop novel varieties especially for the utilization in organic farming

In the completed research project it was possible to develop promising variety prototypes by consequent application of selection criteria for resistance, agronomic traits and malt quality during three years of multi location field trials. Starting from a set of 300 breeding lines from a F5 generation, finally four lines were selected which fulfill the requirements of a successful variety for organic farming and can be developed to varieties by the cooperating breeding organizations. Using molecular genetic markers supplementing the selection process it was possible to prove that these markers are able to identify lines with superior malting quality and improved agronomic performance. A population for genetic mapping, segregating for tolerance against loose smut derived from the established variety *Steffi* was characterized for its phenotypic reaction under artificial inoculation with loose smut and with a set of molecular markers. Two genetic regions of the barely genome could be identified which have influence on the tolerance of the variety *Steffi* to loose smut.

Information about the breeding material and the scientific output was disseminated to growers and companies in annual project meetings which were attended by a large number of interested persons from the entire processing chain.

## Abkürzungsverzeichnis

ÖL:	Ökologischer Landbau
DNS/DNA:	Desoxyribonukleinsäure
PCR:	Polymerase Kettenreaktion
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

## Inhalt

1	Einführung.....	6
1.1	Gegenstand des Vorhabens .....	6
1.2	Beitrag zur Unterstützung der Ziele des Bundesprogramms.....	6
1.3	Arbeitsplan, Arbeitsteilung.....	7
2	Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde .....	10
3	Material und Methoden: .....	10
4	Ergebnisse .....	13
4.1	Erarbeitung von Zuchtzielen für Braugerste für den ökologischen Landbau .....	13
4.2	Phänotypisierung des Zuchtmaterials .....	13
4.3	Ertragsprüfungen in Feldversuchen.....	14
4.4	Markeruntersuchungen .....	15
4.5	Selektion von Sortenprototypen .....	18
4.6	Entwicklung von Markern für die Flugbrandresistenz aus der Sorte Steffi: .....	20
5	Diskussion der Ergebnisse .....	22
5.1	Erfolg der Marker-gestützten Selektion auf Qualität .....	22
5.2	Erfolg der Entwicklung von Sortenprototypen: .....	22
5.3	Entwicklung für molekulare Marker zur Selektion auf Toleranz gegen Flugbrand: ..	23
6	Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse in der Praxis .....	23
7	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen .....	24
8	Zusammenfassung .....	25
9	Literaturverzeichnis.....	26
10	Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt.....	27
11	Anhang .....	28

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Agronomische Merkmale der Zuchtstämme, die im Jahr 2011 in Zuchtgarten am Standort Darzau geprüft wurden. ....	13
Abbildung 2: Ausgewählte Malzqualitätsparameter der Zuchtstämme, die 2011 im Zuchtgarten in Darzau geprüft wurden. ....	14
Abbildung 3: Einfluss der Selektion mit Hilfe des Markers Bmac213 auf den Friabilimeterwert .....	16
Abbildung 4: Einfluss der Selektion mit Markern auf Qualitätsmerkmale.....	17
Abbildung 5: Ergebnisse der Markeranalyse im Zusammenhang mit dem festgestellten Krankheitsbefall .....	18
Abbildung 6: Einfluss der Selektion mit Hilfe des Markers GBS_208 auf den Befall mit Flugbrand .....	18
Abbildung 7: : Boniturergebnisse der künstlichen Flugbrandinfektion im Glashaus.....	21

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die im Projekt durchgeführten Versuche im Feld und Zuchtgarten. ....	11
Tabelle 2: Übersicht über die im Projekt genutzten molekulargenetischen Marker für Malzqualität und Resistenzen.....	12
Tabelle 3: Zusammenfassung der Ergebnisse der Feldversuche an 40 Zuchtstämmen in den Jahren 2012 bis 2014.....	15
Tabelle 4: Durch die molekularen Marker erklärte phänotypische Varianz von Qualitätsmerkmalen und agronomischen Eigenschaften. ....	16
Tabelle 5: Zusammenfassung der Qualitätsdaten über alle Orte und Jahre für die aussichtsreichsten Stämme.....	19
Tabelle 6: Zusammenfassung der Qualitätsdaten des Versuchsjahre 2014 für die aussichtsreichsten Stämme.....	20
Tabelle 7: Übersicht der neunzehn Marker mit welchen die Kartierungspopulation untersucht wurde .....	21

# 1 Einführung

## 1.1 Gegenstand des Vorhabens

Ziel des geplanten Vorhabens war es, für die Bedingungen des ökologischen Landbaus besonders geeignete Sommer-Braugerstensorten zu züchten, da bislang keine Braugerstensorten verfügbar sind, welche den besonderen Anforderungen des ökologischen Landbaus entsprechen. Spezielle Zuchtziele für den ökologischen Landbau sind Ertragsstabilität und gute Brau-Qualitäten unter low-input Bedingungen, Langstrohigkeit, gute Beikrautunterdrückung, hohe Toleranz gegenüber Gerstenflugbrand, Hartbrand und Streifenkrankheit. Fortgeschrittenes Zuchtmaterial wird an interessierte Pflanzenzüchter abgegeben, mit dem Ziel der Weiterentwicklung bis zur fertigen Sorte. Diese Weiterentwicklung war jedoch nicht Teil des Projektes. Die Entwicklung der Zuchtziele erfolgte in enger Zusammenarbeit mit Beratungseinrichtungen des ökologischen Landbaus.

Das vorgelegte Konzept sollte einen Beitrag zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des ökologischen Landbaus leisten. Durch den gezielten Einsatz molekularer Marker von der Auswahl der Kreuzungspartner bis hin zu Selektion von Zuchtmaterial untersuchte das Projekt auch die Effizienz der Markerselektion unter wissenschaftlicher Begleitung.

Das Projekt stellt einen Beitrag zur Überwindung der folgenden in den Zielen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau aufgeführten Probleme dar:

- Das aktuelle Sortenspektrum ist eng begrenzt und nicht optimiert hinsichtlich der Ziele und Anforderungen des Öko-Landbaus
- Krankheiten, die bei der Erzeugung von Saatgut auftreten können. Bei Getreide gilt es vor allem, Konzepte zur Bekämpfung von Hart- und Flugbrand zu entwickeln.
- Wissens- und Erfahrungslücken erschweren zudem die Optimierung der Saatgutauswahl.

## 1.2 Beitrag zur Unterstützung der Ziele des Bundesprogramms

Das abgeschlossene Vorhaben trägt in diesem Zusammenhang zur Überwindung produktionstechnischer Hemmnisse bei.

Zu den folgenden Zielen des Bundesprogramms leistet das abgeschlossene Projekt einen wesentlichen Beitrag:

- Züchterische Weiterentwicklung von Getreide für die Bedingungen des ökologischen Landbaus.
- Entwicklung von Züchtungszielen und –konzepten für den ökologischen Landbau.
- Optimierung von Züchtungsstrategien mit molekulargenetischen Markern.

- Verbesserung der Eigenschaften ökologisch erzeugter Braugerste insbesondere im Hinblick auf Krankheitsresistenz, Unkrautunterdrückung, Stresstoleranz und Malzqualität
- Verbesserung der Qualität ökologisch erzeugter Produkte.

### 1.3 Arbeitsplan, Arbeitsteilung

#### **Arbeitspaket 1 Definition von Zuchtzielen** (LfL, Darzau, V.Ö.P.)

Gemeinsam mit den Beteiligten der Erzeugungskette wurden Zuchtziele und Selektionsmethoden festgelegt, die gezielt Merkmale ansprechen, welche für den ökologischen Landbau wichtig sind. Das Projekt wurde begleitet durch die Beteiligung von zwei Vertretern der V.Ö.P. an einem Projektbegleitenden Gremium, welches in jedem Projektjahr einmal Tagt. Die Ergebnisse sollten in einer Abschlusstagung des V.Ö.P. der Öffentlichkeit vorgestellt werden.

#### **Arbeitspaket 2 Prebreeding** (LfL)

Aus dem Zuchtmaterial der LfL und der Getreidezüchtungsforschung Darzau wurden zu Projektbeginn Linientypen ausgewählt, die den Anforderungen des ÖL entsprechen. Diese Linien wurden zur weiteren Selektion und Phänotypisierung in Darzau genutzt.

Jährlich wurden für die Kreuzungsplanung Sorten und Zuchtmaterial der LfL und der Beteiligten Züchter gesichtet und auf ihre Eignung als Kreuzungspartner überprüft. Hierfür wurden Daten für Qualität, agronomische Eigenschaften und Resistenz aus den umfangreichen Erhebungen insbesondere der Getreidezüchtungsforschung Darzau und der LfL genutzt. Ein Sortiment von Sorten und Zuchtstämmen, die als Kreuzungseltern in Frage kommen wurde mit molekularen Markern untersucht um die genetische Diversität optimal auszunutzen und gezielt bestimmte Merkmale zu kombinieren. Durch die gezielte Auswahl der Kreuzungspartner lässt sich der Umfang von Neukreuzungen auf eine Anzahl begrenzen, die im Rahmen des Projektes noch gut bearbeitet werden kann. Die Nachkommenschaften der Kreuzungen werden in den ersten Generationen mit besonderem Augenmerk auf die in AP 1 festgelegten Kriterien selektiert. Zum Ende der Projektphase wird das fortgeschrittene Material von interessierten Züchtern gemeinnütziger Einrichtungen zur weiteren Bearbeitung und zur Sortenentwicklung genutzt.

#### **Arbeitspaket 3 Phänotypisierung** (LfL, Darzau, Unterauftragnehmer, insgesamt 4 Versuchsorte)

Aufgabenstellung für die Vegetation 2011:

Bei den von der Getreidezüchtungsforschung Darzau eingebrachten Linien handelt es sich um Zuchtstämmen, die mit Unterstützung aus dem Saatgutfonds der Zukunftsstiftung Landwirtschaft bis zum aktuellen Stadium entwickelt wurden. Das Material der LfL wurde im

Rahmen des Zuchtprogrammes der Landesanstalt in Zusammenarbeit mit der BPZ mit Mitteln des Freistaates Bayern erstellt.

300 Linien in F5 und darüber mit einem flugbrandresistenten Elter im Stammbaum wurden von der Getreidezüchtungsforschung Darzau auf jeweils 1m<sup>2</sup> mit je 6 Einzelährennachkommenschaften unter Flugbrandbefall angebaut. Sie wurden auf Wuchshöhe in der Jugendentwicklung und nach dem Ährenschieben, Standfestigkeit, Mehltau und sonstige Blattkrankheiten in Abhängigkeit von deren Auftreten bonitiert und vorselektiert. Nicht von Flugbrand befallene Linien wurden an zwei Ähren künstlich mit Flugbrand in die Blüte infiziert. Aus flugbrandfreien Linien wurden aus jeweils 2 Einzelährennachkommenschaften 8 Ähren von Hand geerntet. Die Parzelle wurde gedroschen. 148 Linien aus dem Parzellendrusch wurden als Saatgut für eine Ertragsprüfung mit zwei Wiederholungen aufbereitet. Die dazugehörigen Einzelährennachkommenschaften werden mit dem Ährendrescher aufbereitet und magaziniert.

Aus der Ernte in der Vegetation 2011 wurde eine Ertragsprüfung mit zwei Wiederholungen am Standort Darzau durchgeführt.

Aufgabenstellung für die Vegetation 2012:

148 Linien plus 2 Verrechnungssorten wurden mit jeweils 2 Wiederholungen in einer Ertragsprüfung der Getreidezüchtungsforschung Darzau angebaut. Parallel dazu erfolgte der Anbau der zu diesen Linien gehörenden Einzelährennachkommenschaften auf Zuchtgartenparzellen auf jeweils 1m<sup>2</sup> mit je 5 Einzelährennachkommenschaften unter Flug- und Hartbrandbefall plus 1 Einzelährennachkommenschaft aus künstlicher Flugbrandinfektion. Die Linien wurden auf Wuchshöhe und Bedeckungsvermögen in der Jugendentwicklung und Wuchshöhe nach dem Ährenschieben, Datum des Ährenschiebens, Standfestigkeit, Flugbrand, Hartbrand, Mehltau und sonstige Blattkrankheiten in Abhängigkeit von deren Auftreten bonitiert. Aus flugbrandfreien Linien wurden aus 2 Einzelährennachkommenschaften pro Linie jeweils 8 Ähren von Hand geerntet. Aus der Ernte in der Vegetation 2012 wurden Ertragsprüfungen an bis zu maximal vier Standorten bestückt.

Aufgabenstellung für die Vegetation 2013:

Aufgrund der Kleinvermälzungsergebnisse wurden die 38 besten Zuchtstämme plus 2 Verrechnungssorten in Ertragsprüfungen an vier Standorten in Deutschland (LfL, und Unterauftragnehmer Darzau, Dresden, Dottenfelderhof) mit jeweils drei Wiederholungen unter ökologischen Bedingungen getestet (entspricht 400 Parzellen). An allen Standorten wurden die Krankheiten in Abhängigkeit von deren Auftreten erfasst. Die Ernte aus den Ertragsprüfun-

gen wurde für Kleinvermälzungen aufbereitet und an die LfL Freising-Weihenstephan übermittelt.

Nach Vorliegen der Kleinvermälzungsergebnisse in Verbindung mit den Ergebnissen aus den Ertragsprüfungen wurden drei Kandidatensorten benannt. Bis auf diese drei werden die Einzelährenernte und der Zuchtgartendrusch im Anschluss verworfen. Die drei Kandidatensorten sollten als Einzelähren und aufbereitetes Saatgut der Zuchtgartenparzellen dem Saatgutfonds der Zukunftsstiftung Landwirtschaft zur Verfügung gestellt werden, damit von dessen Geschäftsführung ein Erhaltungszüchter und Inverkehrbringer dafür gefunden werden kann, der zumindest mit einer Kandidatensorte den Versuch der Sortenzulassung unternehmen möchte. Sollte sich kein Interessent mit dem Status der Gemeinnützigkeit für eine Sortenzulassung finden, wird allen Sommergerstenzüchtern mit Hauptsitz in Deutschland je eine Probe von 50g aller drei Kandidatensorten zur Verwendung als Kreuzungselter unentgeltlich angeboten.

#### **Arbeitspaket 4 Markeranalyse: (LfL)**

Die umfangreiche Datenbasis der Getreidezüchtungsforschung Darzau zur Reaktion von Sommergerste auf Hartbrand, Flugbrand und Streifenkrankheit sollte in eine Assoziationsstudie einfließen. Hierfür wurden Kreuzungseltern und Nachkommenschaften mit molekularen Marken analysiert. Aus dem gesamten untersuchten Zuchtmaterial wurden unter Berücksichtigung der Abstammung 141 Linien mit Markern untersucht. Es sollte eine gleichmäßige Markerabdeckung aller Chromosomen erreicht werden. Dafür stehen neben gut eingeführten Mikrosatellitenmarkern eine große Zahl bereits an der LfL etablierte SNP-Marker zur Verfügung, die unmittelbar auf DNA-Sequenzen einzelner Gene zurückgeführt werden können. Ferner wurden Marker eingesetzt, die an der LfL in früheren Forschungsprojekten selbst entwickelt worden sind und im Zusammenhang mit Malzqualität stehen. Für spezielle Merkmale wie Flugbrandresistenz oder Malzqualität kamen auch bereits publizierte Marker zum Einsatz. Die Marker sollten genutzt werden, um von Beginn an gezielt Merkmale zu kombinieren, die für eine Sommerbraugerste für den ökologischen Landbau vorteilhaft sind. Durch die Assoziationsstudie sollten zudem neue molekulare Marker auch für agronomische Merkmale identifiziert werden, die für den ökologischen Landbau von Bedeutung sind.

Aus einer Kreuzung von genetisch diversen Sorten, die sich in der Resistenz gegen Flugbrand unterscheiden und eine Spaltung bezüglich agronomischer Merkmale erwarten lassen, die im ÖL von Bedeutung sind, wurde an der LfL eine DH Population erstellt, mit dem Ziel Gene für Resistenz, agronomische Eigenschaften und Qualität bestimmten Genombereichen zuordnen zu können. DH –Populationen haben für wissenschaftliche Fragestellungen den Vorteil, dass gerade für komplexe Merkmale eine Prüfung des identischen Materials an meh-

renen Orten möglich ist. Dadurch können die Ergebnisse effizienter auf andere Zuchtprogramme übertragen werden.

## **2 Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde**

Im Rahmen des Bundesprogramms wurden bereits eine Reihe von Forschungen zur Gerste durchgeführt. Von Spieß (IBDF) wird seit 2004 eine Sortenevaluierung auf Flug- und Hartbrandanfälligkeit der Wintergerste und die Prüfung flug- und hartbrandresistenter Sorten auf Anbaueignung bei ökologischer Bewirtschaftung durchgeführt. Von Wilbois (FiBL) wird seit 2008 ein Netzwerk zur Pflanzenzüchtung für den Öko-Landbau organisiert. Dieses hat zum Ziel, zusammen mit den hier aktiven Institutionen, Organisationen und Personen wichtige Fragestellungen zu bearbeiten sowie Impulse für die Weiterentwicklung der Pflanzenzüchtung im ökologischen Landbau zu liefern. Müller (Getreidezüchtungsforschung Darzau) bearbeitet seit 2004 ein Projekt zur Anfälligkeit gegenüber der Streifenkrankheit (*Pyrenophora graminea*) im deutschen Sommergerstensortiment unter natürlichen Befallsbedingungen im ökologischen Landbau. Steinberger (BSA) führte 2004-2007 Wertprüfungen für Sommergerste unter Bedingungen des ökologischen Landbaus durch. Fuchs (n.p.) stellt anhand des Vergleichs der Ergebnisse des Landessortenversuchs Bayern 2007 am Standort Brunn von ökologischer Landbau zu konventionell fest, dass sich in der Rangfolge der Sorten nach dem Malzqualitätsindex zwischen öko und konventionell erhebliche Unterschiede ergeben. Hinweise aus der Beratung ökologischer Landbau (Wiggert/Bioland & Vogt-Kaute/Naturland, mdl. Mittg.) unterstreichen die Notwendigkeit einer speziell auf die agronomischen und marktseitigen Ansprüche des ökologischen Landbaus abgestimmten Züchtungsforschung. In der konventionellen Pflanzenzüchtung werden molekulargenetische Marker eingesetzt um gezielt einzelne Merkmale wie Resistenz oder Qualität zu verbessern. Auch für die Resistenz gegen Flugbrand wurden bereits Gene identifiziert und molekulare Marker entwickelt (z.B. Eckstein et al., 2002). Da diese Methoden ein diagnostisches Instrument darstellen, welches das Erbgut der Pflanzen nicht verändert, gibt es seitens der ökologischen Landwirtschaft keine grundsätzlichen Vorbehalte gegen den Einsatz von Markern in der Züchtung.

## **3 Material und Methoden:**

### **Feldversuche**

Alle Feldversuche wurden auf öko- Zertifizierten Flächen der LfL, der Getreidezüchtungsforschung Darzau sowie verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt. Es wurden nach Möglichkeit Betriebe in Regionen ausgewählt, in denen typischerweise Braugerste im ökologischen Landbau angebaut wird. Der Anbau und Bestandesführung erfolgte nach ortsüblich optimaler Praxis.

Einen Überblick über die Feldversuche gibt Tab. 1.

**Tabelle 1:** Übersicht über die im Projekt durchgeführten Versuche im Feld und Zuchtgarten.

	Mungenhofen	Darzac	Sundhagen	Crailsheim	Dottenfelderhof	Dresden	Kleinhohenheim
2012		Zuchtmaterial F5					
2013	Ertragsprüfung; Qualität, agronom. Merkmale	Ertragsprüfung; Qualität, agronom. Merkmale	Ertragsprüfung; Qualität, agronom. Merkmale			Ertragsprüfung nicht wertbar	Ertragsprüfung nicht wertbar
2014	Ertragsprüfung; Qualität, agronom. Merkmale; nicht wertbar	Ertragsprüfung; Qualität, agronom. Merkmale	Ertragsprüfung; Qualität, agronom. Merkmale	Ertragsprüfung; Qualität, agronom. Merkmale	Ertragsprüfung; Qualität, agronom. Merkmale		

### Malzqualität:

Die Untersuchung der Malzqualität wurde im Labor der Abteilung Qualitätssicherung der LfL durchgeführt. Vermälzung und Malzanalyse erfolgte nach den Vorgaben der MEBAK (2006).

### Markeranalyse:

Für die Markeranalyse zur Selektion auf Malzqualität wurden die in Tab. 2 dargestellten molekulargenetischen Marker eingesetzt. Diese Marker sind im Genomanalyselabor der LfL etabliert und wurden dort bereits für verschiedene Forschungsprojekte eingesetzt.

Die DNS Extraktion erfolgte wie in Hofmann et al. (2013) beschrieben. Die Untersuchung der Marker erfolgte entsprechend den Vorgaben der angegebenen Literaturstellen. Die Marker, die in der Kartierungspopulation für Flugbrand eingesetzt wurden stammen aus der Veröffentlichung von Varshey et al. (2007)

**Tabelle 2:** Übersicht über die im Projekt genutzten molekulargenetischen Marker für Malzqualität und Resistenzen.

Marker	Herkunft	Merkmal	Qualität
<b>β-Amylase (3 SNPs)</b>	<b>Japanische Publikation (Kaneko et al. 2000)</b>	<b>Gen für β-Amylase</b>	<b>Extraktgehalt</b>
α-Amylase 1	GABI-IPK (Matthies et al. 2009)	Gen für α-Amylase	Extraktgehalt, Endvergärung
<b>β-Glucanase</b>	<b>GABI-IPK (Matthies et al. 2009)</b>	<b>Gen für β-Glucanase</b>	<b>β-Glucangehalt, Cytolyse</b>
Grenz-Dextrinase (SSR)	Publikation (Li et al. 1999)	Gen für Grenz-Dextrinase	Stärke-Abbau
<b>LOX</b>	<b>Publikation, Patent (Hirota et al. 2006)</b>	<b>Lipoxygenase I</b>	<b>Geschmacksstabilität</b>
LTPI	GABI, LfL	Gen für Lipid Transfer-Protein	evt. Gushing
<b>Low GN</b>	<b>Publikation TJH1, <a href="http://www.jstor.org/stable/2401401">http://www.jstor.org/stable/2401401</a></b>	<b>Gen für Epiheterodendrin</b>	<b>Gehalt an Glycosilnitril</b>
HSP70	GABI, LfL	Heat Shock-Protein	Malzqualitäts QTLs
C-AFLP-SNP16_MQ-5H	GABI, LfL	unbekanntes Gen	Malzqualitäts QTLs
C-AFLP-CAPS12_MQ-5H	GABI, LfL	unbekanntes Gen	Malzqualitäts QTLs
<b>CAPS-Ex1</b>	<b>Publikation USA (Zhou et al. In Press)</b>	<b>unbekanntes Gen</b>	<b>Korrelation zum Extraktgehalt</b>
CAPS-EX2	Publikation USA (Zhou et al. In Press)	unbekanntes Gen	Korrelation zum Extraktgehalt
<b>uhb</b>	<b>Publikation Israel (Distelfeld et al. 2001)</b>	<b>Transkriptionsfaktor</b>	<b>Rohproteingehalt</b>
Serpin GM057_SNP1	GABI-IPK (Matthies et al. 2009)		Malzqualitäts QTLs
<b>Flav3hydroxyl_GM023+GM178_SNP6 3</b>	<b>GABI-IPK (Matthies et al. 2009)</b>		<b>Malzqualitäts QTLs</b>
Prot-Disulf-Iso_GM200 SNP1 assay	GABI-IPK (Matthies et al. 2009)		Malzqualitäts QTLs
<b>P-lipase_GM370_SNP1</b>	<b>GABI-IPK (Matthies et al. 2009)</b>		<b>Malzqualitäts QTLs</b>
Marker	Herkunft	Merkmal	
mlo 5, 11, 9	Patent, LfL		Mehltauresistenz
UN8	Publikation (Cheng-Dao et al. 2001)		Flugbrandresistenz
RAMQTL	LfL (GBM1054, GBM1253, GBS0419, GBS0089)		Ramularia/NBV Resistenz

### Verrechnung:

Die Dokumentation der Daten wurde mit dem Programm Microsoft Excel 2010 durchgeführt. Für die statistische Auswertung wurde das Softwarepaket SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) eingesetzt.

### Flugbrandtest

Der Flugbrandtest mittels künstlicher Infektion mit Flugbrandsporen wurde in einer Glashauss-Kleinkoje an der LfL durchgeführt. Die Herstellung der Sporensuspension und die Durchführung des Versuchs orientierte sich an der von Poehlman (1945) beschriebenen Methode der Einzelähreninfektion.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Erarbeitung von Zuchtzielen für Braugerste für den ökologischen Landbau

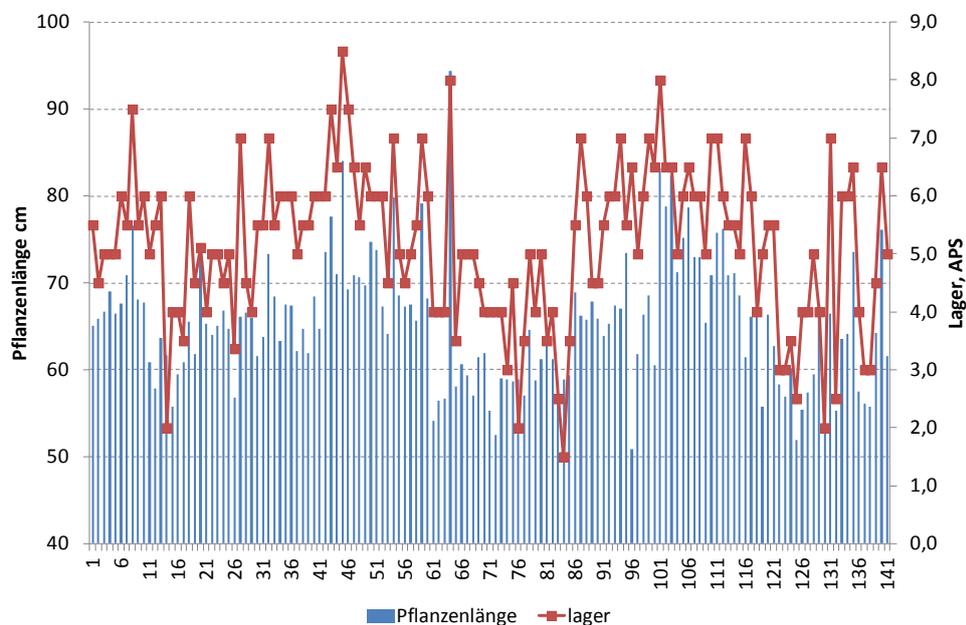
Im Rahmen des ersten Projekttreffens wurden gemeinsam mit Erzeugern, Verbänden und Verarbeitern folgende Zuchtziele speziell für Braugerste für den ökologischen Landbau erarbeitet.

- Qualitätsreferenz ist Steffi
- Schwerpunkte bei agronomischen Merkmalen:
  - gute Jungendentwicklung,
  - schneller Bestandesschluss
  - Wurzelwachstum
  - Pflanzenlänge
  - Krankheitsresistenz (Flugbrand, Mehltau, Ramularia)

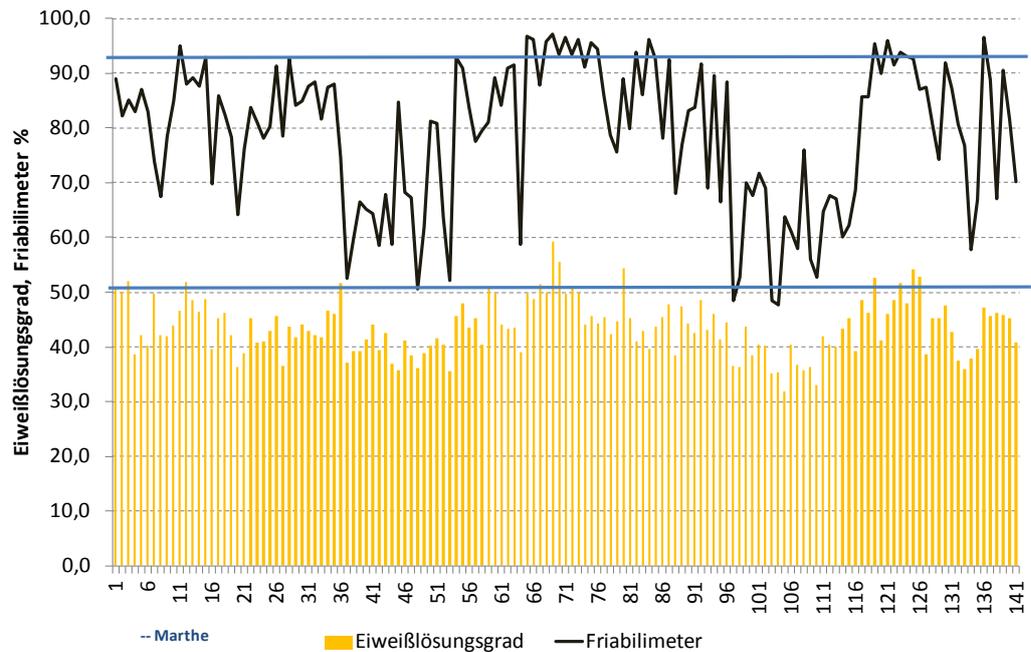
### 4.2 Phänotypisierung des Zuchtmaterials

#### Untersuchung fortgeschrittener Zuchtstämme

Im Jahr 2012 wurden 151 Zuchtstämme der Getreidezüchtungsforschung Darzau im Zuchtgarten auf Resistenz und Ertragsmerkmale geprüft (Abb. 1) Die 141 besten dieser Stämme wurden auf Ihre Kornqualität und im Malzlabor der LfL auf ihre Malzqualität untersucht.



**Abbildung 1:** Agronomische Merkmale der Zuchtstämme, die im Jahr 2011 im Zuchtgarten am Standort Darzau geprüft wurden.



**Abbildung 2:** Ausgewählte Malzqualitätsparameter der Zuchtstämme, die 2011 im Zuchtgarten in Darzau geprüft wurden.

In dem Zuchtmaterial zeigte sich eine große Variabilität bezüglich aller agronomischen Merkmale sowie auch in den wichtigen Merkmalen der Malzqualität (Abb. 2).

#### 4.3 Ertragsprüfungen in Feldversuchen

Aufgrund der Ergebnisse der Prüfungen im Zuchtgarten, der Qualitätsdaten und der Untersuchungen mit molekularen Markern wurden in enger Abstimmung mit der Getreidezüchtungsforschung Darzau aussichtsreiche Zuchtstämme ausgewählt und in den Jahren 2013 und 2014 in mehrortigen Feldversuchen auf Resistenz, Ertrag und Malzqualität untersucht. Die Daten wurden verrechnet um die besten Zuchtstämme zu identifizieren, die möglicherweise zu einer Sorte weiterentwickelt werden könnten. Tabelle 3 fasst die Ergebnisse der drei Versuchsjahre zusammen.



In Abb. 4 ist Dargestellt, welchen Effekt die simultane Selektion mit allen eingesetzten molekularen Markern hätte. Dargestellt ist die relative Abweichung der einzelnen Merkmale vom Mittel aller Zuchtstämme, wenn jeweils der Mittelwert aus den Zuchtstämmen mit der größtem Anzahl positiver Allele mit dem Mittelwert der Zuchtstämme mit den meisten negativen Allelen verglichen wird.

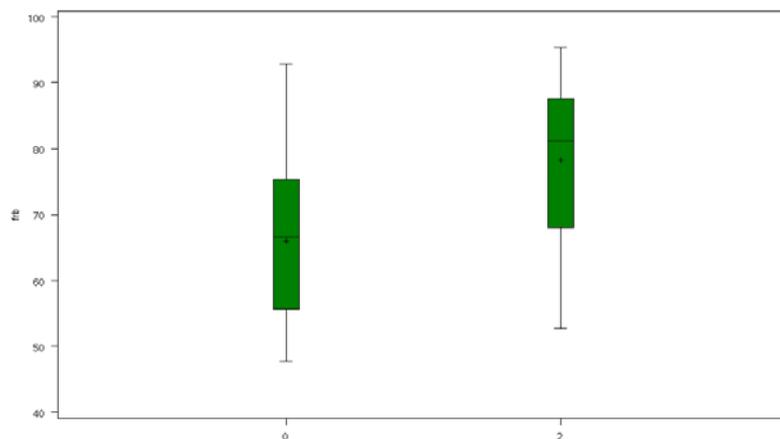
**Tabelle 4:** Durch die molekularen Marker erklärte phänotypische Varianz von Qualitätsmerkmalen und agronomischen Eigenschaften. Vis: Viskosität, elg: Eiweißlösungsgrad, frb: Friabilimeter, bra: Brabender, evg: Endvergärung; vis65: Viskosität der 65°C Maische, In: Löslicher Stickstoff, rpm: Rohproteingehalt Malz, tkg: Tausendkorngewicht, vga: Vollgerstenanteil, kab: Kornausbildung, spf: Spelzenfeinheit, bed: Bedeckungsgrad, plh2: Pflanzenlänge, mt: Mehлтаubefall, stk: Streifenkrankheit, blb: Flugbrand, hrb: Hartbrand, lgr: Lager, aeh: Ährenscheiben, yld: Ertrag.

Marker	vis	elg	frb	bra	ext	bra	evg	vis65	In	rpm	tkg	vga	kab	spf	bed	plh2	mt	stk	blb	hrb	lgr	aeh	yld		
amy_SNP2																									
bamy_SNP1																									
bamy_SNP2_a																									
bamy_SNP2b																									
lox																									
ser_SNP1																									
flav_SNP6																									
dislf_SNP1																									
lip_SNP1																									
gluc_SNP3																									
gluc_SNP4																									
tdf_SNP16																									
LDSSR																									
hsp_SNP1																									
ext_CAPS1																									
Bmac 213																									
Bmag 211																									
GBM 1042																									
eph_SNP3																									
eph_SNP4																									

Erklärte Phänotypische Varianz: 0,1-0,25  
 Erklärte Phänotypische Varianz: 0,25-0,5  
 Erklärte Phänotypische Varianz: > 0,5

Quelle: LfL, IPZ 2b, IPZ 1b, Getreidezüchtungsforschung Darzau, Einzelmarker-Regression mit SAS 9.2

### Einfluss der Markerselektion Bmac213 auf Friabilimeter



**Abbildung 3:** Einfluss der Selektion mit Hilfe des Markers Bmac213 auf den Friabilimeterwert (in %). Die zwei Allele des Markers markieren geringe Werte (Allel 0) und hohe Werte (Allel 2).



**Abbildung 4:** Einfluss der Selektion mit Markern auf Qualitätsmerkmale; Malzqualität der Ernte 2012; Untersuchung mit 37 Markern. Dargestellt ist die relative Abweichung des Mittelwertes der Linien mit den besten (grün) bzw. schlechtesten (rot) Markerallelen von Mittelwert der Gesamtpopulation.

Zur Identifizierung von molekularen Markern für die Selektion auf Flugbrandresistenz wurde ein Sortiment von 61 Sommergerstensorten mit 12 molekularen Markern analysiert (Abb. 5). Das Sortiment wurde bereits auf die Reaktion gegen Flugbrand untersucht (Müller et al., 2004) untersucht. Diese phänotypischen Daten wurden mit den Markerdaten verrechnet. Es stellte sich heraus, dass der publizierte Marker für UN8 (Eckstein et al., 2002) Sorten mit diesem Resistenzgen identifizieren konnte. Andererseits zeigt Abb. 5, dass die resistente Sorte Steffi nicht das resistente Allel dieses Markers trägt und daher nicht UN8 besitzt. Weiterhin wurden SSR Marker gefunden, die sich als vielversprechend für die Selektion auf Flugbrandtoleranz erwiesen (Abb. 6). Für die Resistenz der Sorte Steffi wurden keine eindeutigen Marker identifiziert, weshalb eine Kartierungspopulation von 70 DH-Linien im Gewächshaustest auf Flugbrandtoleranz untersucht wurde und parallel mit molekularen Markern analysiert wurde (Tab. 7).



wurde wieder aus der Auswahl ausgeschlossen, weil die Toleranz gegenüber Flugbrand nicht ausreichend war. Gemeinsam mit Erzeugern, Mälzern und Brauern wurde zum Abschluss des Projektes ein Zuchtstamm ausgewählt (MM31) der 2015 von der Getreidezuchtungs-forschung Darzau für die Öko-Wertprüfung des Bundessortenamtes angemeldet wurde. Für die beiden anderen Stämme wird noch nach einer Verwertungsmöglichkeit gesucht.

Netzdiagramme zur Beschreibung der Malzqualität der Zuchtstämme sind im Anhang zu finden.

**Tabelle 5:** Zusammenfassung der Qualitätsdaten über alle Orte und Jahre für die aussichtsreichsten Stämme und Auswahl der vier Besten. Zum besseren Vergleich sind die Qualitätsstandards grün eingefärbt

Brander Nm	Eiweißlösung %		Endvergärung %		Viskosität mPas		Extrakt %		Friabilitätmeter %		Ganzgläserige %		Lösl. N mg/100g	
	Std.abweich	Mittelwert	Std.abweich	Mittelwert	Std.abweich	Mittelwert	Std.abweich	Mittelwert	Std.abweich	Mittelwert	Std.abweich	Mittelwert	Std.abweich	Mittelwert
88.50	12.02	47.40	0.14	80.75	0.92	1.63	0.01	82.00	1.13	83.70	7.07	1.10	0.85	790.50
89.00	19.80	47.70	3.68	82.10	1.70	1.60	0.03	82.05	2.90	84.15	15.34	1.40	0.71	762.00
92.00		49.60		78.20		1.69		82.60		86.20		1.30		639.00
109.00	16.97	41.25	2.47	79.95	0.64	1.86	0.03	81.15	0.92	73.65	10.82	0.70	0.28	590.50
108.50	10.61	39.45	1.91	80.20	1.70	1.86	0.03	81.10	1.56	75.35	10.39	1.85	0.78	594.00
104.50	47.38	45.45	7.00	81.25	1.06	1.70	0.19	81.45	2.62	79.45	21.00	1.55	0.49	698.00
101.00	11.31	43.60	3.39	79.85	1.34	1.79	0.08	82.10	0.71	77.65	7.00	1.05	0.21	654.50
104.00	7.07	43.25	0.07	80.25	0.35	1.82	0.12	82.20	1.13	74.65	5.44	3.95	0.21	645.50
79.00	12.73	49.85	4.17	80.60	0.00	1.59	0.03	83.10	1.27	93.80	3.96	0.25	0.35	726.50
86.00	8.49	49.20	6.79	79.70	1.13	1.63	0.05	83.05	2.05	88.65	7.85	0.95	0.35	747.00
91.00	14.14	47.80	6.22	80.90	0.42	1.69	0.00	82.05	1.91	83.40	5.94	1.45	0.35	724.00
95.00	1.41	46.25	2.90	80.60	0.71	1.73	0.01	80.80	1.27	85.20	4.10	1.00	0.42	667.50
97.50	7.78	45.85	0.49	78.25	3.89	1.78	0.02	80.60	0.99	86.25	0.64	0.55	0.07	682.50
92.50	0.71	48.85	2.90	79.70	3.96	1.68	0.04	81.80	2.40	88.65	1.63	1.75	1.20	703.00
110.00	0.00	46.15	1.63	79.50	0.57	1.77	0.03	81.05	0.64	80.20	0.71	0.80	0.28	663.50
102.50	2.12	44.55	1.91	81.00	1.27	1.75	0.04	81.05	0.21	84.35	1.91	0.50	0.71	641.50
110.00	5.66	43.20	0.57	76.40	1.27	1.77	0.02	80.95	0.35	76.25	0.07	1.80	1.41	639.50
103.00	0.00	51.35	5.30	79.45	0.92	1.60	0.03	80.30	0.99	78.00	4.24	0.65	0.49	730.50
97.33	12.50	37.03	2.68	80.03	2.08	1.63	0.03	80.23	1.89	93.47	1.95	0.43	0.51	529.67
92.00	10.79	45.08	5.05	81.28	2.43	1.58	0.04	81.34	1.69	89.88	6.13	1.34	0.84	656.80
97.67	19.55	36.20	3.37	81.97	1.89	1.64	0.05	80.30	1.40	88.37	7.06	1.97	2.97	527.67
98.40	14.62	41.04	4.26	82.06	2.19	1.61	0.03	81.36	1.36	86.88	7.18	1.48	1.42	630.00
92.00	14.63	41.96	4.33	81.26	2.74	1.58	0.06	81.08	1.67	88.16	6.64	1.56	0.46	629.40
94.60	17.74	41.36	5.69	80.48	2.61	1.60	0.07	81.16	2.05	87.86	7.11	1.64	2.03	611.80
91.60	9.61	41.90	5.63	82.86	1.55	1.58	0.05	82.22	1.69	88.76	6.77	1.34	1.26	602.40
88.33	14.57	38.63	1.50	83.57	1.72	1.55	0.03	82.00	1.23	93.30	4.52	0.90	0.44	534.67
89.20	9.26	44.68	6.50	82.46	2.91	1.56	0.06	81.70	1.75	89.92	6.37	2.04	1.15	604.00
102.00	14.73	38.20	2.00	83.03	3.93	1.54	0.04	80.60	1.13	92.53	6.01	1.47	2.11	521.33
99.00	14.11	37.07	2.47	84.37	1.63	1.55	0.03	81.60	0.96	87.77	6.79	1.23	1.11	568.67
99.33	11.24	41.63	3.68	81.40	3.64	1.53	0.03	81.03	0.97	92.17	3.52	1.40	1.93	614.67
99.60	16.26	40.74	9.38	79.64	5.32	1.60	0.13	80.58	2.76	85.54	9.24	2.32	4.91	593.00
106.33	15.31	38.10	6.00	81.50	2.43	1.62	0.10	79.77	1.44	83.73	7.67	2.43	2.50	585.00
100.80	25.49	38.12	6.71	77.26	3.08	1.71	0.11	79.32	2.05	82.20	8.41	1.60	2.17	593.00
103.50	17.14	39.88	7.10	81.35	2.00	1.59	0.05	80.45	2.59	86.63	9.59	2.10	3.35	570.75
101.80	17.94	41.74	4.56	78.34	2.03	1.74	0.08	80.80	1.12	83.78	9.33	0.76	0.34	603.20
104.80	17.43	36.88	5.65	80.06	1.41	1.77	0.10	81.14	1.56	83.18	8.43	1.04	0.98	517.40
101.00	10.84	39.14	4.10	81.28	1.34	1.66	0.05	80.12	1.53	87.60	6.55	0.98	0.69	567.20
93.40	15.71	44.94	6.69	83.06	1.71	1.56	0.04	81.86	2.34	89.06	7.22	1.42	0.87	645.20
99.67	17.21	37.47	1.01	82.50	1.55	1.69	0.02	80.63	0.81	84.67	13.40	0.60	0.36	527.67
108.67	23.35	35.10	2.74	82.17	0.90	1.65	0.07	79.33	1.83	83.20	10.11	0.80	0.26	517.67
97.67	17.16	37.37	3.19	82.40	1.73	1.65	0.07	80.57	1.10	88.57	6.64	3.00	0.87	546.33
103.67	24.01	41.27	4.17	80.23	1.27	1.55	0.02	79.13	4.22	87.67	11.84	0.20	0.26	607.00
101.60	12.58	43.08	4.59	81.82	1.40	1.66	0.07	81.32	1.28	82.76	7.68	1.20	0.79	616.60
106.40	16.38	39.08	6.39	82.78	1.37	1.68	0.05	80.74	2.48	82.32	10.95	1.24	1.38	580.80
102.80	17.77	41.40	7.08	81.82	1.79	1.65	0.08	80.16	2.34	84.10	10.75	0.78	0.43	617.20
100.00	14.53	41.27	4.23	80.37	3.30	1.55	0.03	80.30	2.75	91.87	3.42	0.30	0.30	590.67
102.60	14.05	42.78	5.16	80.62	3.35	1.73	0.16	81.20	1.41	84.56	8.24	0.74	0.46	622.40
102.33	26.03	35.27	6.15	80.73	1.02	1.68	0.20	79.93	1.55	87.07	9.61	0.83	1.44	507.67
101.00	25.15	33.60	4.75	81.53	2.12	1.82	0.14	78.67	2.00	77.77	12.53	1.37	2.03	497.00
113.00	19.52	37.93	4.12	79.73	2.81	1.75	0.09	79.10	1.82	83.50	8.68	0.77	1.08	580.33
96.33	20.52	35.23	2.62	81.57	0.76	1.73	0.04	80.67	1.78	88.30	6.01	0.40	0.40	497.67
104.00	20.52	33.60	3.40	81.30	0.17	1.69	0.08	80.13	1.89	85.90	8.78	0.43	0.67	509.00

**Tabelle 6:** Zusammenfassung der Qualitätsdaten des Versuchsjahres 2014 für die aussichtsreichsten Stämme und Auswahl der vier Besten. Zum besseren Vergleich sind die Qualitätsstandards grün eingefärbt.

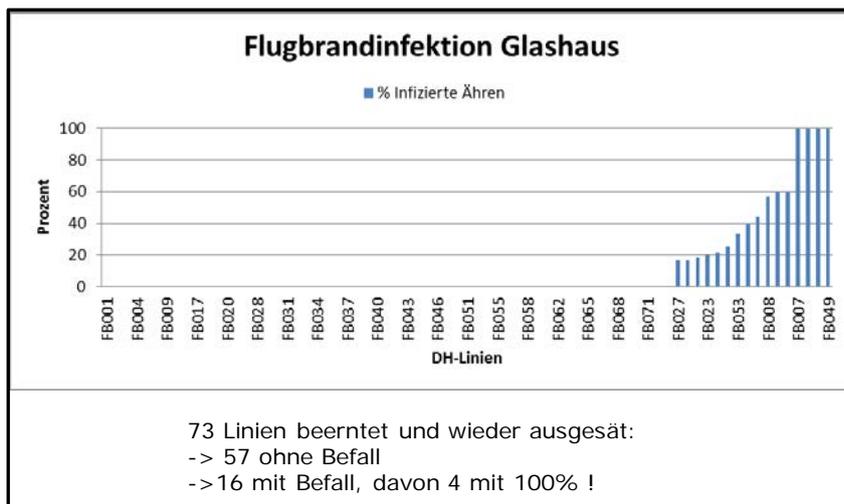
Stamm	N	pH Wert	FAN	β-Glucan	Braben-	Roh-	Lösl. N	β-Glucan	Eiweiß-	Friabili-	Endver-	Ganz-	Viskosität	Extrakt-
			mg/100g	mg/100g	der	protein	mg/100g	%	lösung	meter	gärung	glasige		
					Nm	%		%	%	%	%	%	mPas	%
DerStfMarMadB	4	5,83	190,50	426,50	99,50	10,99	802,25	0,39	46,13	80,95	80,48	1,60	1,67	81,83
DerStfMarMadL	4	5,88	181,25	420,25	105,25	11,20	707,00	0,38	40,18	75,88	81,45	1,98	1,65	80,75
DerStfMarMadM	4	5,88	173,75	435,00	99,00	10,98	769,00	0,39	44,10	79,75	80,53	1,85	1,66	81,28
DerStfMarMadQ	4	5,86	169,00	454,00	96,75	10,88	737,75	0,41	43,08	82,15	81,43	1,95	1,67	81,73
IPZ 32841/1222	4	5,79	180,00	367,00	91,25	9,94	739,00	0,33	46,70	87,23	81,78	1,88	1,62	82,95
MM31	4	5,88	179,50	268,75	87,50	9,43	750,00	0,24	49,95	86,10	82,58	3,18	1,61	82,73
MMRub12	4	5,78	182,00	232,25	96,00	10,29	760,25	0,21	46,55	79,28	76,68	2,03	1,57	81,10
MadBRub33	4	5,90	158,75	679,50	105,50	10,66	701,00	0,61	41,45	73,00	78,05	1,33	1,91	79,63
MadBRub62	3	5,83	171,00	524,33	109,67	10,61	724,33	0,47	43,60	76,33	80,40	1,80	1,68	81,07
MadBStf10	4	5,90	176,50	661,00	112,25	11,02	742,25	0,60	42,73	70,78	78,15	1,88	1,84	80,00
MadBStf53	4	5,90	149,75	693,50	112,50	10,50	661,25	0,63	39,83	74,00	80,18	1,98	1,84	81,13
MadBStf60	4	5,93	169,00	463,00	107,75	10,74	700,25	0,42	41,15	76,65	79,95	1,13	1,74	80,25
Marthe	4	5,85	177,00	426,25	101,00	10,55	760,75	0,39	45,90	79,18	82,05	1,70	1,67	81,85
PrMalFinG	4	5,85	179,75	504,50	109,25	11,53	767,50	0,46	42,45	69,78	81,50	2,83	1,67	80,23
PrMalFinH	4	5,86	166,25	404,75	105,75	10,86	728,75	0,37	42,20	76,83	82,45	1,73	1,67	81,15
PrMalFinL	4	5,85	176,75	424,00	104,00	11,03	781,25	0,39	44,58	78,80	81,73	0,98	1,64	80,20
PrMalFinQ	4	5,89	174,25	580,75	110,00	10,73	742,75	0,53	43,58	72,83	80,63	1,58	1,80	80,58
RicUniMikM	4	5,91	165,50	552,25	108,00	11,12	716,75	0,50	49,50	75,25	81,28	1,90	1,76	80,98
RicUniMikY	4	5,94	152,25	700,75	112,25	10,66	679,25	0,64	40,30	71,85	81,45	1,63	1,93	80,38
RubBrIsaS	4	5,85	180,75	628,00	115,50	11,45	771,25	0,57	42,78	71,58	79,35	1,30	1,76	80,28
RubRicUniB	4	5,90	160,50	809,25	130,50	10,96	698,50	0,73	40,03	63,60	80,18	1,18	1,96	79,63
Steffi	4	5,90	173,75	726,00	124,25	11,66	738,50	0,66	40,70	64,30	81,10	1,15	1,78	79,75

Quelle: LfL IPZ 2b, BÖLN Projekt Sommerbrauergeste 2014

#### 4.6 Entwicklung von Markern für die Flugbrandresistenz aus der Sorte Steffi:

##### Kartierungspopulation

Mit Hilfe einer doppelhaploiden Population (DH-Population) sollte eine genetische Karte erstellt werden, die zur Lokalisierung von Flugbrandresistenz und wichtigen agronomischen Eigenschaften im Gerstengenom dient. Die DH-Pflanzen für die Kartierungspopulation aus der Kreuzung *Steffi* x *Grace* wurde im Winter 2013/2014 im Gewächshaus künstlich inokuliert. Der Resistenztest erfolgt in zwei Schritten. Zuerst werden die Einzelährchen der Pflanzen im Gewächshaus mit einer Sporensuspension infiziert. In der nächsten Generation werden die infizierten Körner im Feld ausgesät und die befallenen Pflanzen ausgezählt. Diese zeitaufwändige Methode brachte erste Ergebnisse im Jahr 2014 (Abb. 7).



**Abbildung 7:** Boniturergebnisse der künstlichen Flugbrandinfektion im Glashaus.

### Markeranalyse:

Die Kartierungspopulation wurde bislang mit 19 molekularen Markern untersucht, die gleichmäßig über die Gerstenchromosomen verteilt sind (Tab. 7). Die genetische Spaltung der Marker entspricht dem erwarteten Verhältnis von 1:1. Die Berechnung einer Einzelmarkerregression ergab, dass auf Chromosom 6H und 3H Regionen mit großem Einfluss auf die Toleranz gegenüber Flugbrand zu finden sind.

**Tabelle 7:** Übersicht der neunzehn Marker mit welchen die Kartierungspopulation untersucht wurde, ihre Lage und der Anteil der durch sie genetisch erklärten Varianz.

Marker	Anteil der genetisch erklärten Varianz		Chromosom
	Anteil resistenter Pflanzen	Anzahl befallener Ähren	
amySNP5	0,1280	0,0069	
AMYSNP6	0,1280	0,0069	
SNP3	0,1401	0,0077	
SNP4	0,1401	0,0077	
HvHSP70	0,5637	0,0552	N.N.
Bmac213	0,2680	0,0171	
Bmag211	0,0159	0,0008	
Bmag382	0,0139	0,0007	
GBMS031	0,0079	0,0004	
GBM1475	0,2686	0,0172	
scssr10559	0,4990	0,0446	3H
HVM62	0,8435	0,1770	3H
scssr02306	0,0007	0,0000	
Bmag223	0,1156	0,0067	
Bmag500	0,2584	0,0168	6H
Bmag173	0,3847	0,0326	6H
GBM1022	0,2455	0,0145	6H
EBmac755	0,0143	0,0007	
HVM049	0,0317	0,0016	

## **Projekttreffen und Öffentlichkeitsarbeit**

Durch den V. Ö. P. wurden Treffen organisiert, um die Öffentlichkeit über den Stand der Arbeiten und zu informieren und diese Informationen an interessierte Teilnehmer der gesamten Kette vom Erzeuger bis zur Brauerei weiter zu geben.

Folgende Veranstaltungen wurden vom V. Ö. P. durchgeführt:

- 27.01.2012 Auftaktworkshop Augsburg
- 27.11.2012 Projekttreffen in Augsburg
- 03.07.2013 Feldtag Mungenhofen mit Vorträgen und Besichtigung der Versuchsfläche
- 03.12.2014 Abschlusstreffen Augsburg mit Vorträgen und Meinungsaustausch

## **5 Diskussion der Ergebnisse**

### **5.1 Erfolg der Marker-gestützten Selektion auf Qualität**

Die Analyse der darzauer Zuchtstämme mit molekularen Markern konnte erstmals im Rahmen einer praktischen Anwendung zeigen, dass diese Marker, die in einem anderen genetischen Hintergrund identifiziert wurden dazu geeignet sind Zuchtstämme mit einem besseren Qualitätspotenzial zu selektieren. Dieses Ergebnis erscheint in einem besonders positiven Licht, da sich die Abstammung des Zuchtmaterials aus Darzau genetisch deutlich von dem Material unterscheidet, aus dem diese Marker ursprünglich entwickelt wurden. Die Auswertung qualitätsrelevanter Marker gemeinsam mit Markern für Resistenz ergab allerdings, dass die Linien mit besserer Qualität und Resistenz zugleich im Ertrag schwächer waren als der Durchschnitt der untersuchten Linien. Dies entspricht langjährigen Beobachtungen aus der züchterischen Praxis nach denen die Sorten mit der besten Malzqualität geringere Erträge zeigen, als reine Futtergersten. Die Marker gestützte Selektion auf den mlo-Locus war erfolgreich. Eine weitere Validierung der verwendeten Marker, könnte dazu beitragen den Grad der Qualitätsverbesserung durch Markerselektion genau zu beziffern. Wenn bereits bei der Auswahl der Kreuzungseltern auf die Polymorphie an wichtigen Markerloci geachtet wird, wird eine noch effizientere Selektion möglich sein.

### **5.2 Erfolg der Entwicklung von Sortenprototypen:**

Im Rahmen des Projektes wurden aus einem Pool von insgesamt 151 F<sub>5</sub> Nachkommen aus verschiedenen Kreuzungspaarungen drei Zuchtstämme selektiert, die als Sortenprototypen in Frage kommen. Davon wurde nach Abschluss des Projektes ein Stamm im Jahr 2015 zur Öko- Wertprüfung angemeldet.

Diese Ergebnisse belegen, dass durch eine intensive Selektion an verschiedenen Versuchsstandorten mit der Auswertung von agronomischen Merkmalen, und Malzqualität in Verbindung mit der Marker-gestützten Selektion auf Qualität und Agronomische Merkmale erfolg-

reiche Prototypen entwickelt werden können. Durch die einzigartige Verbindung von Züchtung, Forschung und Beteiligten der Erzeugungskette konnten schnell interessante Genotypen identifiziert werden, die den Ansprüchen aller Beteiligten zum größten Teil gerecht werden. Durch die Organisation der Projekttreffen durch den V.Ö.P konnte eine große Zahl praktischer Landwirte und auch Verarbeiter angesprochen werden. Dadurch konnte die Sensibilität für die Notwendigkeit der Züchtung auf allen Ebenen verstärkt werden. Zugleich sind alle Beteiligten über die Eigenschaften der Sortenprototypen informiert und besitzen bereits wertvolle Zusatzinformationen noch bevor die Sorte zur Zulassung gelangt.

### 5.3 Entwicklung für molekulare Marker zur Selektion auf Toleranz gegen Flugbrand:

Die Untersuchung des „Flugbrand Sortiments“ hat gezeigt, dass es verschiedene genetische Ursachen für Flugbrand Toleranz existieren und diese auch mit Markern zu erfassen sind. Die gute Resistenz der Sorte Steffi konnte bei der Untersuchung des Sortimentes nicht mit Markern erfasst werden. Daher wurde die Kartierungspopulation erstellt und phänotypisch und genotypisch charakterisiert. Die Etablierung des Gewächshaustests für Flugbrandtoleranz an der LfL wird dazu beitragen, dass in Zukunft gezielt auf dieses Merkmal selektiert werden kann. Hierbei zeigen sich erste Hinweise auf die Lokalisierung der Resistenz auf Chromosom 3H oder 6H. Damit ist klar, dass sich um eine andere Resistenz handelt als das verbreitete Resistenzgen UN8, welches auf dem Chromosom 1H lokalisiert wurde (Li et al., 2001). Möglicherweise spielen bei der Resistenz der Sorte auch mehrere Faktoren eine Rolle. Um diagnostische Marker zu entwickeln, ist daher eine weitere Phänotypisierung sowie eine höhere Absättigung mit molekularen Marken notwendig.

Die im Projekt eingesetzten Methoden werden über die Anwendung in der Züchtung für den ökologischen Landbau hinaus auch in der konventionellen Pflanzenzüchtung zum Einsatz kommen. Dabei werden interessante Marker zunächst im Rahmen der Zuchtprogramme der LfL für Sommer- und Wintergerste sowohl für die Auswahl von Kreuzungspartnern als auch für die spätere Selektion eingesetzt. Eine Umsetzung dieser Marker für die kommerzielle Nutzung in der privaten Pflanzenzüchtung wäre möglich, erfordert allerdings noch weitere Validierung.

## **6 Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse in der Praxis**

Eine unmittelbare Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis stellt die im Anschluss an das Projekt erfolgte Anmeldung eines aufgrund der kombinierten Analyse von molekularen Markern mit agronomischen Merkmalen und Malzqualität selektierten Zuchtstammes zur Öko-Wertprüfung dar. Damit haben die Ergebnisse direkt zu einer wirtschaftlich nutzbaren Verwertung geführt. Zwei weitere interessante Zuchtstämme konnten aus Kostengründen nicht

zur Wertprüfung angemeldet werden. Es besteht jedoch Interesse von Erzeugern und Verarbeitern, auch diese Stämme weiter zu verwerten.

Die Evaluierung von Markern, die im Zusammenhang mit der Selektion auf Malzqualität stehen hat gezeigt, dass diese Marker für die gezielte Züchtung von Braugerste geeignet sind. Sämtliche Informationen zu den Markern werden auf Anfrage durch die LfL zur Verfügung gestellt. Die Umsetzung und Einbindung dieser Informationen in Zuchtprogramme für Braugerste liegt in den Händen interessierter Züchter. Es wurden bereits Anfragen von konventionellen Züchtern an die LfL gestellt.

Die Nutzung dieser Marker für die Selektion in der Züchtung liegt in erster Linie darin, die Kapazitäten im Zuchtgarten effizient zu nutzen. Zuchtstämme mit potenziell schwacher Malzqualität können bereits in frühen Generationen noch bevor ausreichend Material für eine Kleinmälzung vorhanden ist, verworfen werden. Damit lässt sich die Ausnutzung der Zuchtgartenkapazität um mindestens 20% bis 30% steigern.

Der Gewächshaustest für die Toleranz gegen Flugbrand wird zukünftig von der LfL im Rahmen ihres Gerstenzuchtprogrammes eingesetzt werden. Damit kommt dieser Test den mit der LfL kooperierenden Züchtern zugute. Die LfL ist bereit, das Protokoll für den Test interessierten Züchtern zur Verfügung stellen.

## **7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen**

Bezüglich der Entwicklung von Zuchtmaterial bis hin zu Sortenprototypen wurden die Projektziele erreicht. Von beiden beteiligten Züchtungseinrichtungen wurden während der Projektlaufzeit weitere Kreuzungen durchgeführt, die nach entsprechender Selektion innerhalb der nächsten zwei bis drei Jahre interessierten Züchtern zur Verfügung gestellt werden können bzw. in Folgeprojekten genutzt werden können.

Die Anzahl der untersuchten molekulargenetischen Marker fiel etwas geringer aus als ursprünglich geplant. Allerdings konnten gut etablierte Marker eingesetzt werden, die gezielt für die Selektion auf die interessierenden Merkmale eingesetzt werden konnten. Daher resultieren aus dieser Abweichung keine Änderungen in der Erreichung der Projektziele. Die Etablierung des Gewächshaustests für Flugbrandtoleranz nahm mehr Zeit in Anspruch als geplant. Allerdings war die DH-Population trotz leichter Verzögerungen im Labor bei der DH-Erstellung zum passenden Zeitpunkt fertiggestellt, so dass auch hiervon die Erfüllung der Projektziele nicht beeinflusst wurde.

Die Evaluierung von molekulargenetischen Markern im Züchtungsprozess wurde Zeit- und planungsgerecht durchgeführt.

Die Information von Erzeugern und Verarbeitern durch die Veranstaltung von Projekttreffen wurde entsprechend der Planungen durchgeführt und stieß auf reges Interesse.

Durch den verspäteten Projektbeginn wurde eine Kosten-neutrale Verlängerung des Projektes notwendig. Weiterhin gab es durch diverse Personalwechsel an der LfL einen Überhang an Personalmitteln wodurch eine weitere Verlängerung des Projektes bis zum 31.12.2014 möglich wurde. Dadurch konnten die Feldversuche eines weiteren Jahres vollständig ausgewertet werden und die Markeruntersuchung der DH-Population erweitert werden.

## **8 Zusammenfassung**

Der Markt für ökologisch erzeugte Braugerste ist in den letzten Jahren stark gewachsen. Diesem Prozess gegenüber steht ein knappes Angebot an Ökobraugerste aus heimischer Produktion, so dass häufig auf Importe ausgewichen werden muss. Ein Grund hierfür könnte sein, dass es keine speziellen Sorten für den ökologischen Landbau gibt, welche den besonderen Anforderungen entsprechen.

In dem abgeschlossenen Projekt sollten Sortenprototypen entwickelt werden, deren Eigenschaften den besonderen Anforderungen des Ökolandbaus gerecht werden und damit in Bezug auf Resistenzen, Ertrag und Qualität eine Verbesserung gegenüber den bisherigen Sorten darstellen. Gemeinsam mit Erzeugern, Verbänden und Verarbeitern wurden Zuchtziele speziell für Braugerste im ökologischen Landbau erarbeitet. In den folgenden Jahren standen die in Bezug auf die festgelegten Zuchtziele ausgewählten Stämme im Feldanbau und wurden hinsichtlich ihrer agronomischen Merkmale, Resistenzen, Ergebnissen der Markeruntersuchungen und Qualitätsmerkmalen selektiert. Erstmals wurde eine Zuchtgartengeneration gezielt mit einer Auswahl an genetischen Markern mit Relevanz für Malzqualität analysiert. Anhand der Daten konnten vier Stämme identifiziert werden, welche bezüglich ihrer Merkmalskombinationen vielversprechende Kandidaten für eine Anmeldung zur Wertprüfung sind.

Ein weiterer Aufgabenpunkt war neben der Verwendung und Testung bereits etablierter Marker auch die Entwicklung neuer Marker gerade im Hinblick auf Flugbrand. Hierzu wurde ein gut untersuchtes Sortiment an Sorten mit unterschiedlicher Flugbrandanfälligkeit mit den entsprechenden Markern analysiert. Die Untersuchung des „Flugbrand Sortiments“ hat gezeigt, dass verschiedene genetische Ursachen für Flugbrand Toleranz existieren und diese auch mit Markern zu erfassen sind. Ausserdem wurde zur weiteren Eingrenzung der wirksamen Resistenz aus der Sorte Steffi eine Kartierungspopulation erstellt und phänotypisch und genotypisch charakterisiert. Hierbei zeigten sich erste Hinweise auf die Lokalisierung der Resistenz auf Chromosom 3H oder 6H.

Die Ergebnisse belegen in ihrer Gesamtheit, dass durch klassische Züchtungsarbeit in Verbindung mit der Marker-gestützten Selektion erfolgreiche Prototypen entwickelt werden können.

## 9 Literaturverzeichnis

Eckstein, P.E., Krasichynska, N., Voth, D., Duncan, S., Rossnagel, B.G., Scoles, G. J. (2002): Development of PCR-based markers for a gene (Un8) conferring true loose smut resistance in Barley. *Can. J. Plant Pathol.* 24: 46–53.

MEBAK (2006): Brautechnische Analysenmethoden, Band 1 (Ausgabe 2006), MEBAK e.V. D-85354 Freising-Weihenstephan

Hofmann K, Silvar C, Casas AM, Herz M, Büttner B, Gracia MP, Contreras-Moreira B, Wallwork H, Igartua E, Schweizer G. (2013): Fine mapping of the Rrs1 resistance locus against scald in two large populations derived from Spanish barley landraces. *Theor Appl Genet.* 2013 Dec;126 (12):3091-102

Li, C-D., Eckstein, P. E., Lu, M., Rossnagel, B. G., Scoles, G. J. (2001): Targeted development of a microsatellite marker associated with a true loose smut resistance gene in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Molecular Breeding* 8: 235–242, 2001.

Müller, K-J. (2006): Susceptibility of German spring barley cultivars to loose smut populations from different European origins. *European Journal of Plant Pathology* (2006) 116:145–153.

Poehlman, J. M. (1945): A simple method of inoculating barley with loose smut. *Phytopathology* 35, 640-644

Varshney RK, Marcel TC, Ramsay L, Russell J, Röder MS, Stein N, Waugh R, Langridge P, Nix RE, Graner A. (2007): A high density barley microsatellite consensus map with 775 SSR loci. *Theor Appl Genet.* 2007 Apr;114 (6):1091-103

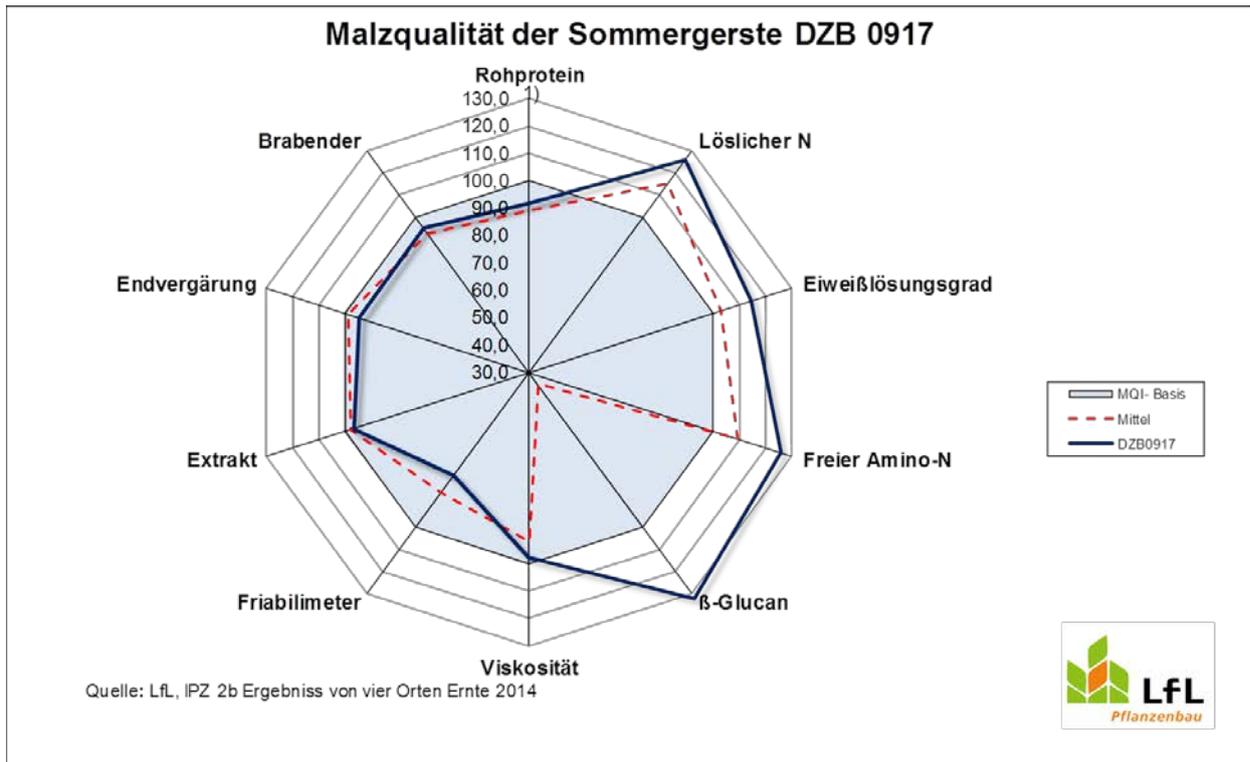
## 10 Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt

- 27.01.2012 Auftaktworkshop Augsburg (Vortrag zum Projekt)
- 29.03.2012 Vortrag Ökolandbautag Freising (LfL-Schriftenreihe 4/2012 Öko-Landbau-Tag 2012: Angewandte Forschung und Beratung für den ökolog. Landbau in Bayern; [http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p\\_43814.pdf](http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_43814.pdf))
- 27.11.2012 Projekttreffen in Augsburg (Präsentation zum Projekt)
- 18.02.2013 Vortrag 10. Rohstoffseminar Freising
- 03.07.2013 Vortrag Feldtag Mungenhofen und Besichtigung der Versuchsfläche
- 26.06. 2013 Posterbeitrag und Teaser für Programm für LfL- Tag der offenen Tür Freising
- 26.02.2014 Vortrag Abteilungsinternes Kolloquium Freising
- 25.03.2014 Vortrag öffentliches LfL-Kolloquium Freising
- 09.04.2014 Posterbeitrag Ökolandbautag in Triesdorf (Tagungsband LfL-Schriftenreihe 2/2014 Öko-Landbau-Tag 2014: Angewandte Forschung und Beratung für den ökolog. Landbau in Bayern  
[http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/oekolandbautag\\_2014\\_067513.pdf](http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/oekolandbautag_2014_067513.pdf))
- 06.05.2014 Vortrag Öko-Fachgespräch Freising
- 03.12.2014 Abschlusstreffen Augsburg (Vortrag zu den aktuellen Ergebnissen)
- <http://www.agrarheute.com/biogerste> (21.04. 2011)
- Bioland, 02/2012: [http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/schwerpunkte/dateien/alt\\_versus\\_neu.pdf](http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/schwerpunkte/dateien/alt_versus_neu.pdf)  
Die Ergebnisse sollen zeitnah noch auf nationalen und internationalen Tagungen vorgestellt werden (z.B. GFP- Getreidetagung, 2015, International Barley Genetics Symposium 2016)

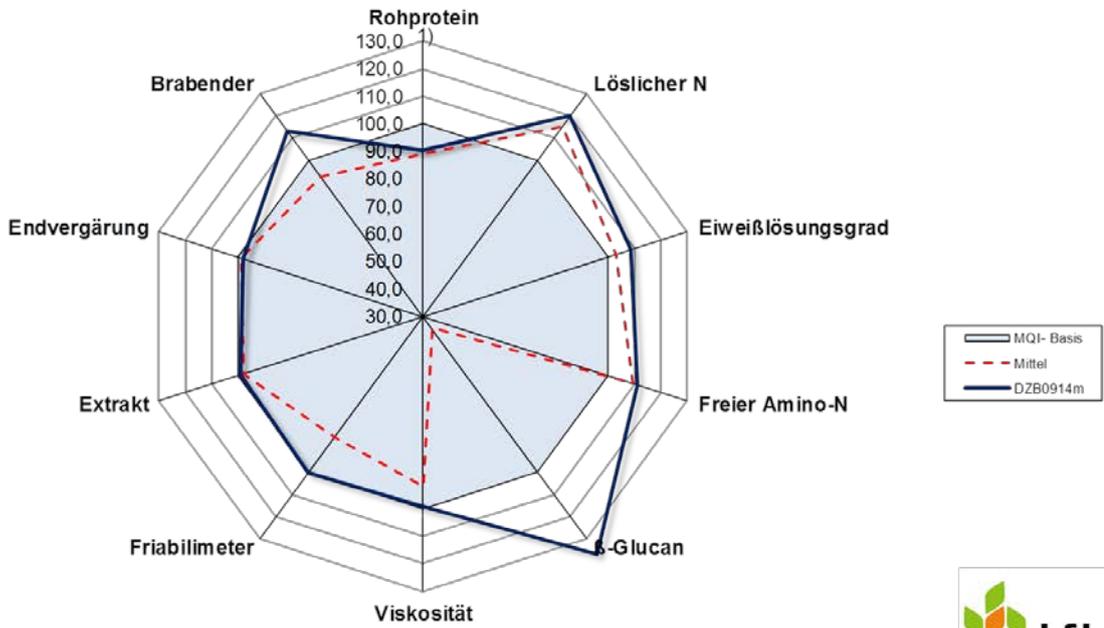
## 11 Anhang

Netzdiagramme zur Illustration der Malzqualität der selektierten Stämme aus dem Anbau 2014.

Dargestellt ist die relative Abweichung der einzelnen Zuchtstämme gegenüber den optimalen Basiswerten der Malzqualität (MQ Basis). Die Werte wurde so ungerechnet, dass bei einer Abweichung der Linie nach aussen der Zuchtstamm besser zu beurteilen ist als die Basis.



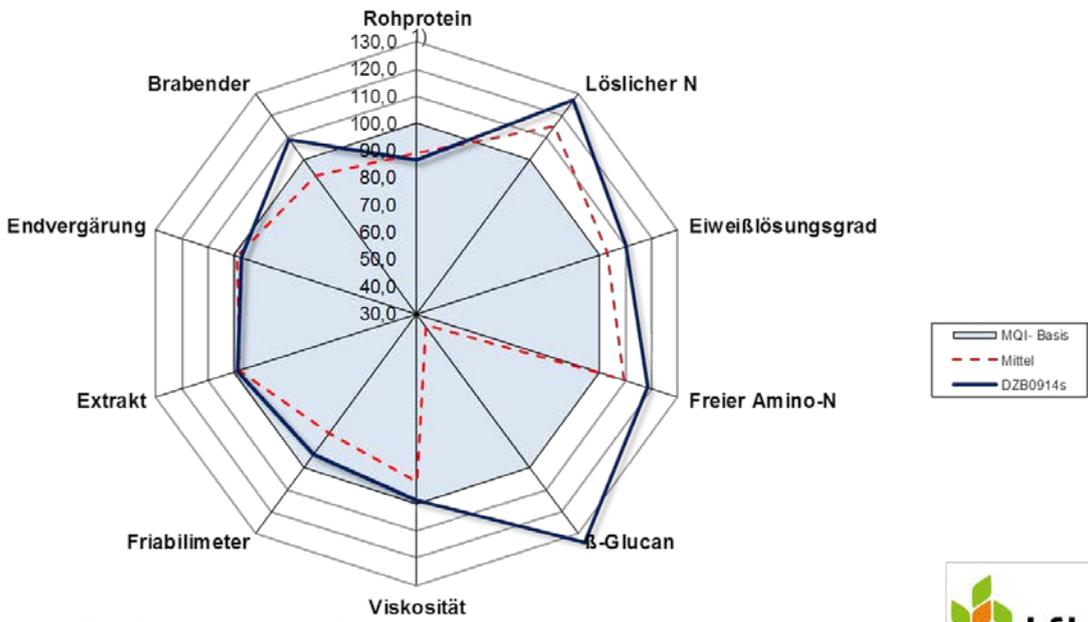
### Malzqualität der Sommergerste DZB 0914



Quelle: LfL, IPZ 2b Ergebnis von vier Orten Ernte 2014



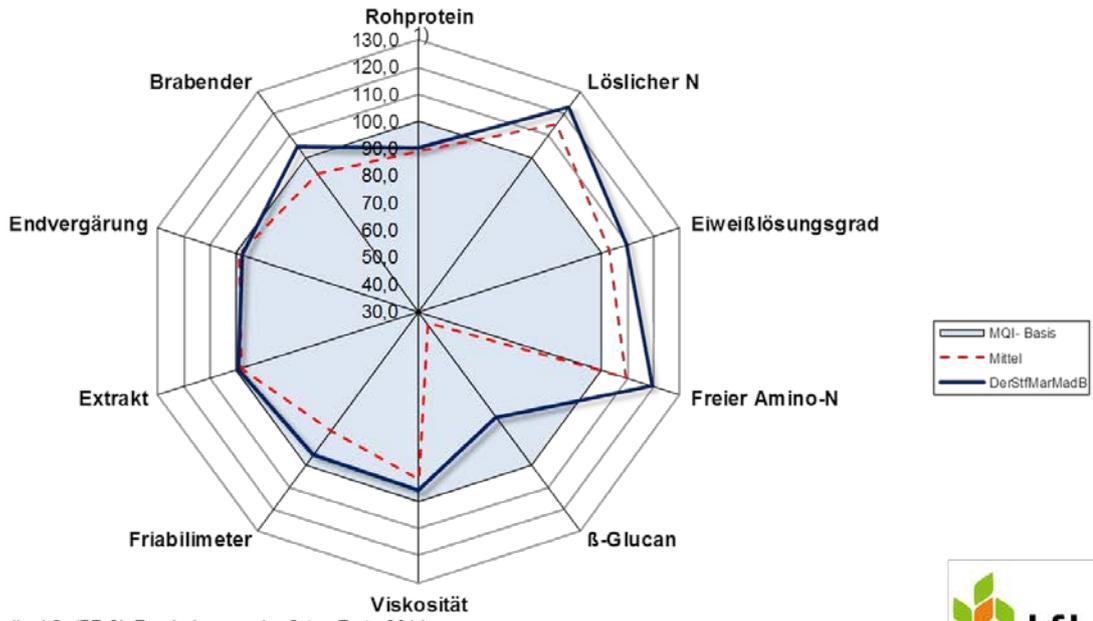
### Malzqualität der Sommergerste DZB 0914s



Quelle: LfL, IPZ 2b Ergebnis von vier Orten Ernte 2014



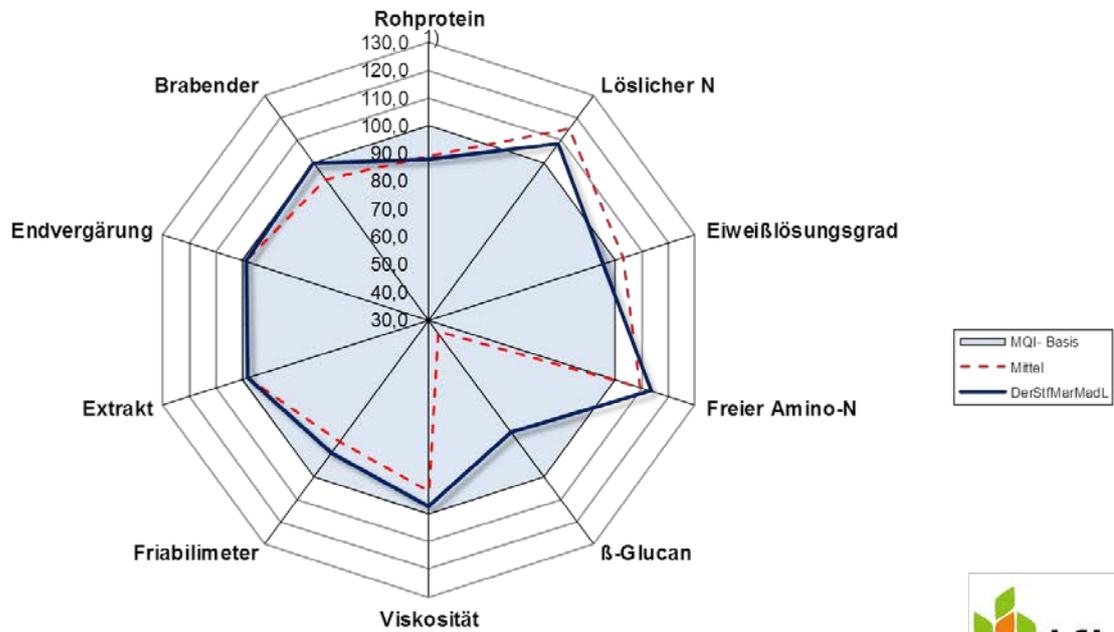
### Malzqualität der Sommergerste DerStMarMadB



Quelle: LfL, IPZ 2b Ergebniss von vier Orten Ernte 2014



### Malzqualität der Sommergerste DerStMarMadL



Quelle: LfL, IPZ 2b Ergebniss von vier Orten Ernte 2014

