

# Forschungsvorhaben der LfL Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung Abschlussbericht



Zum LMS L/a-7606-1/11 vom 12.05.2015

|   |  |
|---|--|
| Forschungsvorhaben<br>Kapitel 08 03 TG 95 | BioRegio 2020 – Landesprogramm Ökologischer Landbau; Forschungs-<br>vorhaben „Braugerste für den ökologischen Landbau mit verbesserter Re-<br>sistenz gegen samenübertragbare Krankheiten“<br><b>A/15/27</b> |
| Berichtszeitraum                          | 01.04.2015 – 31.12.2018  |
| Arbeitsbereich                            | IPZ 2b   |
| Projektleiter                             | Hr. Dr. Markus Herz  |
| Projektbearbeiter                         | B. Sc. Johannes Homeier  |
| Laufzeit                                  | 01.04.2015 – 31.12.2018  |



## Braugerste für den ökologischen Landbau mit verbesserter Resistenz gegen samenübertragbare Krankheiten

### **Auftraggeber**

Bayerisches Staatsministerium für  
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten  
Ludwigstraße 2  
81925 München

### **Projektnehmer**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
Dr. Markus Herz  
Am Gereuth 6  
85354 Freising  
Tel.: 08161/71-3629; Fax: 08161/71-4085  
E-Mail: markus.herz@lfl.bayern.de

### **Projektbearbeiter**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
B. Sc. Johannes Homeier  
Am Gereuth 6  
85354 Freising  
Tel.: 08161/71-4099  
E-Mail: johannes.homeier@lfl.bayern.de

### **Berichtszeitraum:**

1. April 2015 bis 31. Dezember 2018

# Inhaltsverzeichnis

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1.      | Kurzzusammenfassung.....  | 6  |
| 2.      | Einführung.....   | 9  |
| 3.      | Zielsetzung.....  | 11 |
| 3.1     | Arbeitspaket 1: Feldversuche an verschiedenen Standorten innerhalb Deutschlands ..... | 11 |
| 3.2     | Arbeitspaket 2: Entwicklung eines Flugbrandmarkers <i>Un6</i> .....                   | 11 |
| 3.3     | Arbeitspaket 3: Validierung molekularer Marker.....                                   | 11 |
| 4.      | Ergebnisse und Diskussionen .....   | 12 |
| 4.1     | Feldversuche an verschiedenen Standorten innerhalb Deutschlands .....                 | 12 |
| 4.1.1   | Aufbau der Feldversuche.....  | 13 |
| 4.1.2   | Auswertung der Feldversuche 2018 .....  | 15 |
| 4.1.2.1 | Ertrag .....  | 16 |
| 4.1.2.2 | Malzqualität.....   | 17 |
| 4.1.3   | Auswertung der Feldversuche über die Jahre 2015 - 2018.....                           | 19 |
| 4.1.4   | Malzqualität .....  | 19 |
| 4.1.5   | Auswertung kernphysikalischer Merkmale .....  | 27 |
| 4.1.6   | Korrelation verschiedener Qualitätsparameter.....                                     | 29 |
| 4.2     | Entwicklung eines Flugbrandmarkers <i>Un6</i> .....                                   | 31 |
| 4.2.1   | Krankheitsverlauf von <i>Ustilago nuda</i> .....                                      | 32 |
| 4.2.2   | Etablierung des Flugbrand - Infektionsversuchs im Gewächshaus.....                    | 33 |
| 4.2.3   | Künstliche Flugbrandinfektion nach POEHLMANN (1945).....                              | 35 |
| 4.2.4   | Boniturergebnis der Flugbrandinfektion im Gewächshaus 2018.....                       | 37 |
| 4.2.5   | Verrechnung der phänotypischen- und genotypischen Daten .....                         | 38 |
| 4.3     | Validierung molekularer Marker .....  | 41 |
| 5       | Vernetzungen.....   | 43 |
| 6       | Zusammenfassung.....  | 44 |
|         | Abkürzungsverzeichnis.....  | 46 |

## **Tabellenverzeichnis**

|   |    |
|---|----|
| <u>Tabelle 1:</u> Übersicht über die im Projekt durchgeführten Feldversuche .....                     | 13 |
| <u>Tabelle 2:</u> Adjustierte Mittelwerte von Malzqualitätsparametern über die Jahre 2015–2018 .....  | 20 |
| <u>Tabelle 3:</u> Adjustierte Mittelwerte von kernphysikalischen Merkmalen über die Jahre 2015–2018.. | 27 |
| <u>Tabelle 4:</u> Korrelation zwischen ausgewählten Brauqualitätsparametern .....                     | 28 |
| <u>Tabelle 5:</u> Korrelation zwischen agronomischen Merkmalen und Brauqualitätsparametern.....       | 30 |

# 1. Kurzzusammenfassung

## **Braugerste für den ökologischen Landbau mit verbesserter Resistenz gegen samenübertragbare Krankheiten**

Dr. Markus Herz <sup>1</sup>, B. Sc. Johannes Homeier <sup>1</sup>, Dr. Karl-Josef Müller <sup>2</sup>, Neumarkter Lammsbräu Gebr. Ehrnsperger KG <sup>3</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)
  
- 3) Neumarkter Lammsbräu Gebr. Ehrnsperger KG  
Ambergerstraße 1  
92318 Neumarkt i.d.OPf.  
Tel.: 09181/404-14  
Email: [info@lammsbraeu.de](mailto:info@lammsbraeu.de)

In den Jahren 2015, 2016, 2017 und 2018 wurde das ökologische Braugerstensortiment, bestehend aus jährlich rund 40 verschiedenen Stämmen, inklusive Referenzsorten zum einen von Herrn Dr. Müller aus Darzau und zum anderen von Herrn Dr. Herz (LfL) zusammengestellt. Das Portfolio wurde an mehrtägigen Feldversuchen innerhalb Deutschlands im Parzellenmaßstab angebaut, um eine Ergänzung des Genpools für Sommerbraugerste, insbesondere mit dem Zuchtziel Eignung für den ökologischen Landbau, bereitstellen zu können. Erfasst wurden phänotypische Merkmale im Feld sowie Ertragskomponenten und Brauqualitätsparameter. Die Feldversuche verliefen in allen Jahren sehr zufriedenstellend und führten zu verwertbaren Ergebnissen bis hin zur Erstellung von Pflanzenmaterial im ökologischen Landbau für die Pflanzenzüchtung, da es bislang für den ökologischen Landbau keine eigene Sorte gibt. Mit Hilfe von Mittelwerten über mehrere Standorte innerhalb ganz Deutschlands war es möglich, Umweltfaktoren gering zu halten und relativ sichere Ergebnisse bezüglich eines Merkmals zu bekommen. Im Rahmen des Projekts konnten unter konsequenter Anwendung von Strategien der Präzisionszüchtung Sortenprototypen entwickelt werden, die von der kooperierenden Saatzuchtwirtschaft zu erfolgreichen Sorten weiterentwickelt werden können. Aus einer Vielzahl von Ursprungslinien einer F5 Generation der Getreidezüchtungsforschung Darzau wurden durch konsequente Selektion auf Resistenz, agronomische Eigenschaften und Malzqualität mehrere Zuchtstämme selektiert, die den Ansprüchen von Erzeugern und Verarbeitern von Brau-

gerste, die nach den Vorgaben des ökologischen Landbaus erzeugt wird, entsprechen. Erfreulich ist die Zulassung der ersten ökologisch gezüchteten Sommerbraugerste „Odilia“ durch das Bundessortenamt in Hannover im Dezember 2017. Die Anmeldung zur Zulassung erfolgte durch Herrn Dr. Müller.

Auch der Befall mit Fusarien spielt gerade für die Sommerbraugerste eine große Rolle. An der LfL in Freising wurden ausgewählte Zuchtstämme entsprechend den Feldversuchen in zwei Wiederholungen in Doppelreihen angebaut, -zum Zeitpunkt der Blüte mit Fusariumsporen (*Fusarium sporotrichioides*) infiziert und im hauseigenen Labor der Landesanstalt für Landwirtschaft untersucht. Dabei ist es gelungen, sortenspezifische Unterschiede im Befall festzustellen.

Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Erstellung von Selektionsmarkern, um gezielt und effizient auf eine bessere Toleranz gegenüber den samenbürtigen Krankheiten, insbesondere Flugbrand (*Ustilago nuda*) bei Sommergerste, selektieren zu können. Dabei müssen sowohl der Phänotyp als auch der Genotyp einer Linie untersucht werden, um anschließend eine genetische Karte, die zur Lokalisierung von Flugbrandresistenz im Gerstengenom dient, zu erstellen.

Die Phänotypisierung wurde wie schon im Jahr zuvor im Gewächshaus an der LfL durchgeführt. Die Durchführung des Versuchs orientierte sich an der von POEHLMAN (1945) beschriebenen Methode der Einzelähreninfektion. Der Resistenztest erfolgt in zwei Schritten. Zuerst werden Ähren der Pflanzen infiziert. In der nächsten Generation werden die infizierten Körner nochmals ausgesät und nach befallenen Pflanzen bonitiert.

Zur Charakterisierung des Genotyps wurde ebenfalls die DNA isoliert und in einzelne Amplifikate zerlegt. Da die Lokalisierung von *Un6* im Genom der Gerste unbekannt ist, wurden im ersten Schritt SSR-Marker, verteilt über alle sieben Chromosomen, auf Polymorphie zwischen den beiden Eltern Steffi und Grace getestet. Die polymorphen Marker wurden dann in 114 Nachkommen der DH Steffi x Grace untersucht. Erste Analysen zeigten eine Kopplung der Resistenz mit Markern auf Chromosom 3H und 6H, daher wurden im Weiteren gezielt Marker auf diesen beiden Chromosomen getestet. Insgesamt wurden 80 SSR-Marker auf Polymorphie getestet, je 26 auf 3H und 6H. Davon konnten 29 Marker -je 7 auf 3H und 6H - auf der Population getestet werden und 24 Marker plus der Phänotyp mit JoinMap zu einer Karte verrechnet werden. Der engste Marker zur Resistenz ist Ebmac0541 auf Chromosomenabschnitt 3HL .

Im nächsten Schritt wird über die Projektzeit hinaus das Intervall um den Marker Ebmac0541 mit weiteren SSR-Markern angereichert. Sobald das Intervall kleiner ist, kann auf SNP-Marker in der Region zurückgegriffen werden.

Desweiteren wurden innerhalb des Projektzeitraums verschiedene Marker, die im Zusammenhang mit verschiedenen Brauqualitätseigenschaften und phänotypischen Merkmalen der Sommergerste stehen, validiert. Es konnten einige Marker mit bedeutenden Effekten für verschiedene Merkmale anhand ausgewählter Zuchtstämme entsprechend den Feldversuchen bestätigt werden. Dabei gab

es Marker, die lediglich auf ein einzelnes Merkmal einen Effekt hatten und solche, die gleichzeitig mehrere Merkmale in die gewünschte Richtung beeinflussten.

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 wurden.



## 2. Einführung

Sommerbraugerste im ökologischen Landbau spielt vor allem auf leichteren, mageren Standorten im Osten bzw. Nordosten von Bayern eine größere Rolle. Gründe dafür sind sehr weitreichend. Zum Beispiel setzt ein relativ schwaches und vor allem empfindliches Wurzelsystem der Gerstpflanzen (*Hordeum vulgare*) hohe Ansprüche an das Saatbett voraus. Das Gerstenkorn reagiert empfindlich auf Staunässe, schlechte Durchlüftung und Verdichtungen der Ackerböden.

Sandig, leichtere Böden sind dabei im Vorteil.

Sommergerste ist im ökologischen Landbau neben Weizen, Hafer und Dinkel die Getreideart mit der größten Bedeutung für die verarbeitende Industrie sowie ein ökonomisch wichtiges Produktionsverfahren für die ökologisch wirtschaftenden Betriebe. Angesichts steigender Nachfrage für ökologisch erzeugte Produkte aus der Landwirtschaft, insbesondere Öko-Braugerste, sind viele Mälzereien gezwungen, den Rohstoff für die Bereitstellung innerhalb der Wertschöpfungskette „Ökologisches Bier“ aus den umliegenden Ländern zu importieren. Daher ist eine Verbreitung des Sommergerstenanbaus im ökologischen Landbau innerhalb Bayerns bzw. Deutschlands eine notwendige Maßnahme zur Sicherung dieser Rohstoffnachfrage. Voraussetzung dafür ist die Bereitstellung geeigneter Sorten, da es bislang für den ökologischen Landbau keine eigene Sorte gibt. Der Grund hierfür ist, dass das Produktionsverfahren „Ökologische Braugerste“ von verschiedenen Restriktionen geprägt ist wie neben Nährstoffeffizienz und Beikrautregulierung die Ertragsstabilität unter Low-Input-Bedingungen, Langstrohigkeit und die Resistenz gegen Krankheiten unter Beibehaltung der Brauqualitätseigenschaften. Daher werden die konventionell gezüchteten Sommergerstensorten die Ansprüche des ökologischen Landbaus an agronomische Eigenschaften oder verschiedene Krankheitsresistenzen nicht gerecht.

Insbesondere Resistenzen gegen samenübertragbare Krankheiten wie der Gerstenflugbrand (*Ustilago nuda*), Streifenkrankheit (*Drechslera avenae*) und auch der zunehmend häufiger auftretende Befall mit Fusarien (*Fusarium sporotrichioides/culmorum*) werden bei der Züchtung für konventionell genutzte Braugerste kaum berücksichtigt. Vor allem samenbürtige Krankheiten wie der Gerstenflugbrand sind schwer kontrollierbar. Dies ergibt sich einerseits aus der fehlenden Möglichkeit von Behandlungen wie der chemisch-synthetischen Beizung. Andererseits ist die gesamte Pathologie des Erregers *Ustilago nuda* im Hinblick auf die Befallsverteilung in der Pflanze noch nicht ausreichend erforscht. Eine besondere Schwierigkeit stellt die Saatgutvermehrung der anfälligen Sorten unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus dar. Der Vermehrungsbestand wird ab 3 Ähren auf 150 m<sup>2</sup> im Basissaatgut beziehungsweise 5 Ähren pro 150 m<sup>2</sup> bei zertifiziertem Saatgut aberkannt und kann somit zu hohen Verlusten führen.

Die Selektion auf Zuchtstämme mit Resistenz gegenüber Flugbrand ist mit großem Aufwand verbunden. Für eine Selektion im Feld sind Versuche auf belasteten Flächen mit hohem Befallsdruck notwendig, um eine sichere Aussage treffen zu können. Im Zuchtmaterial der konventionellen Züch-

ter ist Resistenz gegen Flugbrand genauso wenig vertreten wie im Zuchtmaterial der LfL. Auch im europäischen Sortenspektrum existieren nur wenige Sommergerstensorten mit guter Toleranz und gleichzeitig guter Malzqualität, die den Ansprüchen der Erzeuger und Verarbeiter im Öko-Bereich gerecht werden.

Die bekannte Resistenz gegen Flugbrand bei Gerste beruht auf einem genetischen Faktor, der bereits bei der Entwicklung des Embryos zum Tragen kommt. Gut charakterisiert ist das Resistenzgen *Un8*, für das auch molekulare Marker publiziert sind, die bereits im Genomanalyselabor der LfL etabliert wurden. Das Resistenzgen *Un6*, das z. B. in der verbreiteten Sommergerstensorte Steffi wirksam ist, wurde bislang noch nicht genetisch erfasst.

In diesem Projekt wurde versucht, aufgrund der genannten Gründe Pflanzenmaterial und Selektionsmarker für die Pflanzenzüchtung bereitzustellen, um gezielt und effizient auf eine bessere Toleranz gegenüber samenbürtigen Krankheiten, insbesondere Flugbrand und Fusarium, bei Sommergerste selektieren zu können. Molekulargenetische Marker stellen das effizienteste Werkzeug dar, um parallel auf mehrere Merkmale selektieren zu können. Daher sollen im Projekt bewährte Marker für die Selektion auf Qualität eingesetzt werden und neue Marker für die wichtigsten samenübertragenen Krankheiten entwickelt werden. Eine Ergänzung des Bayerischen Genpools für Sommerbraugerste, insbesondere mit dem Zuchtziel „Eignung für den ökologischen Landbau“ ist notwendig, um eine wettbewerbsfähige Genetik für angepasste Sorten bereitstellen zu können.

## **3. Zielsetzung**

### **3.1 Arbeitspaket 1: Feldversuche an verschiedenen Standorten innerhalb Deutschlands**

In den Jahren 2015, 2016, 2017 und 2018 wurde das Ökobraugerstensortiment an verschiedenen Standorten innerhalb Deutschlands angebaut. Die Feldversuche wurden im Parzellenmaßstab (8 – 12 m<sup>2</sup>) gesät, um den Ertrag sowie agronomische Merkmale (Wuchshöhe, Ährenschieben und Halmknicken/ Lager etc.) der Genotypen und Aussagen über die Anfälligkeit gegenüber Pflanzenkrankheiten der Genotypen abschätzen zu können. Alle Feldversuche wurden 2-fach wiederholt und randomisiert angelegt. Das Probenmaterial wurde nach Freising transportiert, wo Ertragskomponenten in Form von TKG, Sortierung und Hektolitergewicht bestimmt wurden. Weitere Parameter der Malzqualität wurden im Labor der LfL (AQU 2) untersucht.

### **3.2 Arbeitspaket 2: Entwicklung eines Flugbrandmarkers *Un6***

Zur Identifikation von molekularen Markern für die Selektion auf Flugbrandresistenz müssen sowohl der Phänotyp als auch der Genotyp einer Linie untersucht werden, um anschließend eine genetische Karte zu erstellen, die zur Lokalisierung von Flugbrandresistenz und wichtiger agronomischer Eigenschaften im Gerstengenom dient.

Zur Charakterisierung des Genotyps wurde ebenfalls die DNA isoliert und in einzelne Amplifikate zerlegt. Die Markeruntersuchungen wurden in enger Zusammenarbeit mit dem Genomanalyselabor IPZ 1b unter Herrn Dr. Schweitzer und Frau Dr. Büttner durchgeführt. Zusätzlich wurden die Eltern der Population „Steffi“ und „Grace“ im Hinblick auf polymorphe Marker getestet.

Die Phänotypisierung wurde im Gewächshaus an der LfL durchgeführt. Dazu wurden insgesamt 137 Genotypen bestehend aus 114 Nachkommen der DH Steffi x Grace sowie anderen Stämmen und Referenzsorten auf die Anfälligkeit gegenüber *Ustilago nuda* überprüft. Die Herstellung der Sporensuspension zur künstlichen Infektion und die Durchführung des Versuchs orientieren sich an der von POEHLMAN (1945) beschriebenen Methode der Einzelähreninfektion.

### **3.3 Arbeitspaket 3: Validierung molekularer Marker**

Desweiteren wurden im Projektzeitraum verschiedene Marker, die im Zusammenhang mit verschiedenen Brauqualitätseigenschaften und phänotypischen Merkmalen der Sommergerste stehen, validiert. Die Untersuchungen wurden ebenfalls in enger Zusammenarbeit mit dem Genomanalyselabor IPZ 1 durchgeführt.

## 4. Ergebnisse und Diskussionen

### 4.1 Feldversuche an verschiedenen Standorten innerhalb Deutschlands

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. Anbau und Pflegearbeiten erfolgten nach ortsüblich optimaler Praxis.

Einen Überblick über die Feldversuche gibt Abbildung 1 sowie Tabelle 1.



Abbildung 1: Geographische Lage der verwendeten Standorte für die Feldversuche

**Tabelle 1:** Übersicht über die im Projekt durchgeführten Feldversuche

|             | <b>Darzau</b>   | <b>Crailsheim</b>   | <b>Neuhof</b>   | <b>Mungenhofen</b>  | <b>Witzenhausen</b> |
|-------------|---|---|---|---|---------------------|
| <b>2015</b> | Ertrags-,<br>Brauqualitätsprf.,<br>agronomische<br>Merkmale |   | Brauqualitätsprf.   |   | Brauqualitätsprf.   |
| <b>2016</b> | Ertrags-,<br>Brauqualitätsprf.,<br>agronomische<br>Merkmale | Ertrags-,<br>Brauqualitätsprf.,<br>agronomische<br>Merkmale | Ertrags-,<br>Brauqualitätsprf.,<br>agronomische<br>Merkmale |   |                     |
| <b>2017</b> | Ertrags-,<br>Brauqualitätsprf.,<br>agronomische<br>Merkmale | Ertrags-,<br>Brauqualitätsprf.,<br>agronomische<br>Merkmale | Ertrags-,<br>Brauqualitätsprf.,<br>agronomische<br>Merkmale | Ertrags-,<br>Brauqualitätsprf.,<br>agronomische<br>Merkmale |                     |
| <b>2018</b> | Ertrags-,<br>Brauqualitätsprf.,<br>agronomische<br>Merkmale | Ertrags-,<br>Brauqualitätsprf.,<br>agronomische<br>Merkmale | Ertrags-,<br>Brauqualitätsprf.,<br>agronomische<br>Merkmale | Ertrags-,<br>Brauqualitätsprf.,<br>agronomische<br>Merkmale |                     |

#### 4.1.1 Aufbau der Feldversuche

In den Jahren 2015, 2016, 2017 und 2018 wurden rund 40 Zuchtstämme als Parzellen an insgesamt fünf Versuchsstandorten (Darzau, Crailsheim, Neuhof, Mungenhofen und Witzenhausen) angebaut:

**Darzau** ist eine Ortschaft bei Neu Darchau im Landkreis Lüchow-Dannenberg im nord-östlichen Niedersachsen. Der Ort befindet sich auf 17 m über NN. Die Bonität der sandigen bis lehmigen Böden beträgt zwischen 25 und 50 Bodenpunkte. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 9,1 C und der langjährige Jahresniederschlag bei ca. 640mm.

**Crailsheim** ist eine Ortschaft etwa 32 km östlich von Schwäbisch Hall entfernt im Landkreis Schwäbisch Hall im Nordosten des Landes Baden-Württemberg. Der Ort befindet sich auf 418 m über NN. Die Bonität der mittleren, lehmigen Böden beträgt 45 - 50 Bodenpunkte. Die Durchschnittstemperatur der letzten 5 Jahre liegt bei 9,8°C und der mittlere Jahresniederschlag bei ca. 740 mm.

**Neuhof** ist eine Ortschaft bei Kaisheim im Landkreis Donau-Ries im Regierungsbezirk Schwaben im nord-westlichen Bayern. Der Ort befindet sich auf 470 m über NN. Die Bonität der lösslehm- haltigen Böden beträgt 55 - 70 Bodenpunkte. Die Durchschnittstemperatur der letzten 5 Jahre liegt bei 9,8°C und der mittlere Jahresniederschlag bei ca. 715 mm.

**Mungenhofen** ist eine Ortschaft bei Hemau im Landkreis Regensburg im Regierungsbezirk Oberpfalz im Südosten von Bayern. Der Ort befindet sich 410 m über NN. Die Bonität der lehmhaltigen Böden, die durch Verwitterung des sogenannten „Juragesteins“ entstanden sind, liegt zwischen 40 und 70 Bodenpunkten. Die Durchschnittstemperatur der letzten 5 Jahre beträgt 9,5 C und der mittlere Jahresniederschlag ca. 635 mm.

**Witzenhausen** ist eine Ortschaft bei Kassel im Werra – Meißner – Kreis im Nordosten von Hessen. Der Ort befindet sich auf 147 m über NN. Der Standort Witzenhausen diente einjährig im Jahr 2015 als Versuchsstandort. Aufgrund erheblicher Mäuseschäden konnten nur die Malzdaten ermittelt werden.

Die Aussaat der Versuche erfolgte meist Ende März/ Anfang April relativ früh. Wichtig dabei ist ein ausreichend abgetrocknetes Saatbett, um Verdichtungen der Ackerböden zu vermeiden. Unmittelbar nach der Saat wurde in der Regel mit Hilfe einer Cambridgewalze der Boden rückverfestigt. Dadurch kann ein sogenannter kapillarer Wasseraufstieg während der Keimphase entstehen, um zu gewährleisten, dass genug Feuchtigkeit für die Keimung zur Verfügung stand. Im Verlauf der Vegetation konnten erste Bonituren wie der Bedeckungsgrad eines Genotyps sowie der Zeitpunkt des Ährenschiebens festgehalten werden. Der Großteil der Bonitur auf agronomische Merkmale wurde - sofern möglich - zum Zeitpunkt der Milch-/ Teigreife der Sommergerste erledigt.

Wichtige Merkmale waren:

- Anfälligkeit gegenüber Krankheiten der Sommergerste wie samenertragbare Krankheiten: Flugbrand, Hartbrand, Streifenkrankheit und Fusarium, Blattkrankheiten: Rhynchosporium, Mehltau und Netzflecken
- Pflanzenlänge, Halm- und Ährenknicken

Der Versuch wurde unter ortsüblichen Bedingungen (Saatstärke, Düngung, Pflanzenschutzmittel) durchgeführt. Nach der Ernte wurden Ertragskomponenten bestimmt, um den Ertrag der Genotypen zuverlässiger abschätzen sowie Aussagen über die Ertragsstabilität treffen zu können.

Zusätzlich wurden an der LfL in Freising jährlich ausgewählte Zuchtstämme entsprechend den Feldversuchen in zwei Wiederholungen in Doppelreihen angebaut, zum Zeitpunkt der Blüte mit Fusariumsporen (*Fusarium sporotrichioides*) infiziert und im hauseigenen Labor der Landesanstalt für Landwirtschaft untersucht. Die Befallsergebnisse wurden zur Selektion für den darauffolgenden Anbau genutzt.

#### **4.1.2 Auswertung der Feldversuche 2018**

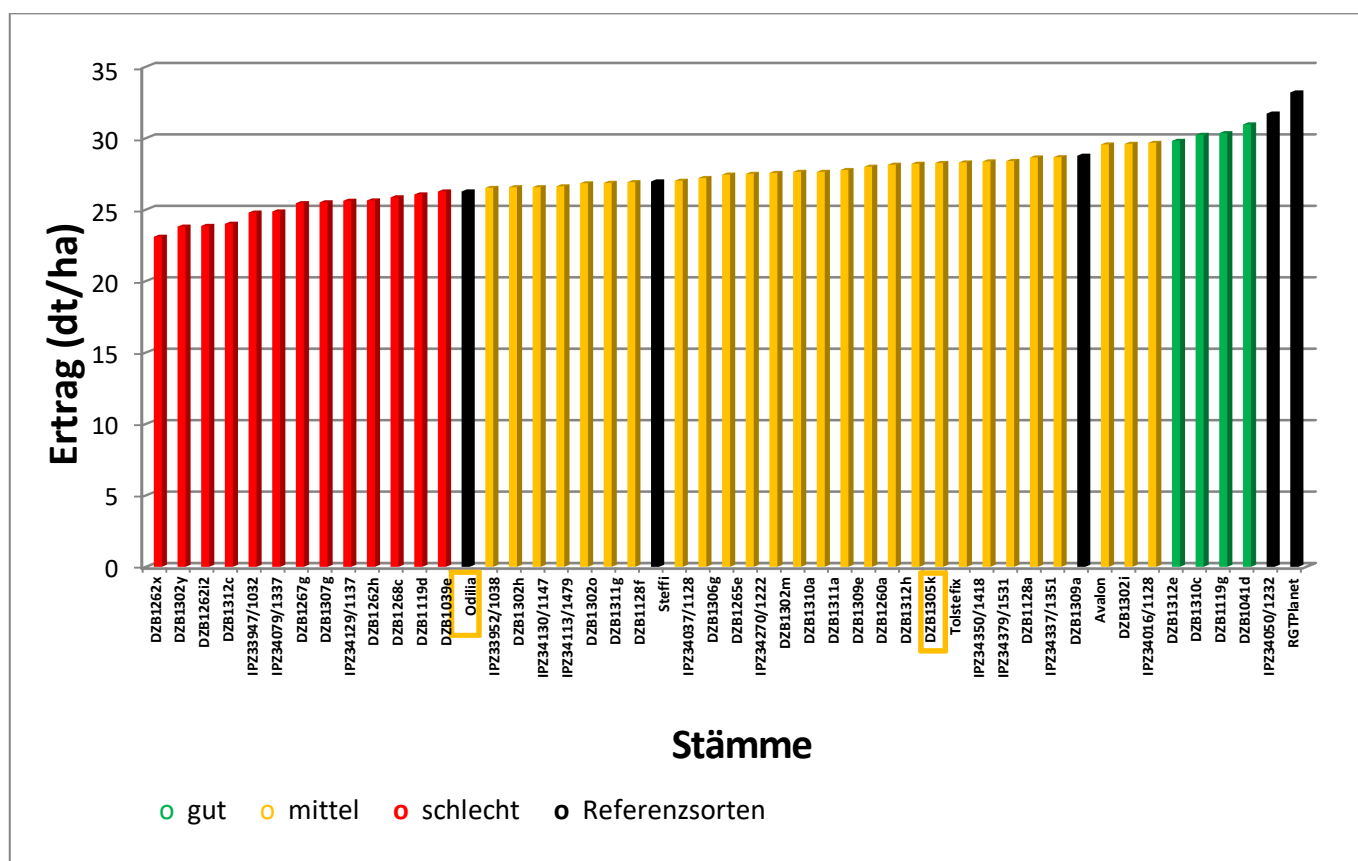
Im Jahr 2018 wurden 49 Zuchtstämme als Parzellen an vier Versuchsstandorten (Darzau, Neuhof, Crailsheim und Mungenhofen) angebaut. Jährlich wurden anhand der Ergebnisse etwa 50% der Versuchsglieder ausselektiert und für den darauffolgenden Anbau durch neue vielversprechende Stämme ersetzt. Zur Vorbereitung der Aussaat für die Versuche wurde Saatgut mit der Getreideforschungszüchtung–Darzau ausgetauscht. Das Ergebnis des Fusariumversuchs an der LfL steht leider erst im April/ Mai zur Verfügung.

### 4.1.2.1 Ertrag

Zur Beurteilung des Ertrags wurde ein Mittelwert über die Standorte gebildet und aufsteigend sortiert. Das Ertragsniveau der Stämme wurde in drei Ertragsklassen eingeteilt und die Stämme mit den Farben grün, gelb und rot markiert. Bereits zugelassene Sorten sind schwarz markiert.

Das mittlere Ertragsniveau der Feldversuche liegt zwischen 23 – 33 dt/ha im Jahr 2018. Das Ertragsniveau war rund 20 dt/ha niedriger als im Vorjahr; dafür verantwortlich waren die extreme Trockenheit im Frühling und Sommer in ganz Deutschland. Dadurch wurden verschiedene ertragsbildende Entwicklungsphasen der Gerstenpflanzen negativ beeinflusst wie die Reduzierung der Bestandesdichte Ähren/m<sup>2</sup> im Frühjahr zu Beginn des sogenannten „Schossens“ als auch die Phase der Korneinlagerung im Mai/Juni.

Die erst kürzlich zugelassene Sorte Odilia erbrachte mit knapp 26 dt/ha eine mittlere Ertragsleistung im Sortiment. Insgesamt ist festzustellen, dass sich der Schwankungsbereich mit rund 10 dt in Grenzen hält und alle Stämme relative Ertragsstabilität über die Standorte aufweisen.



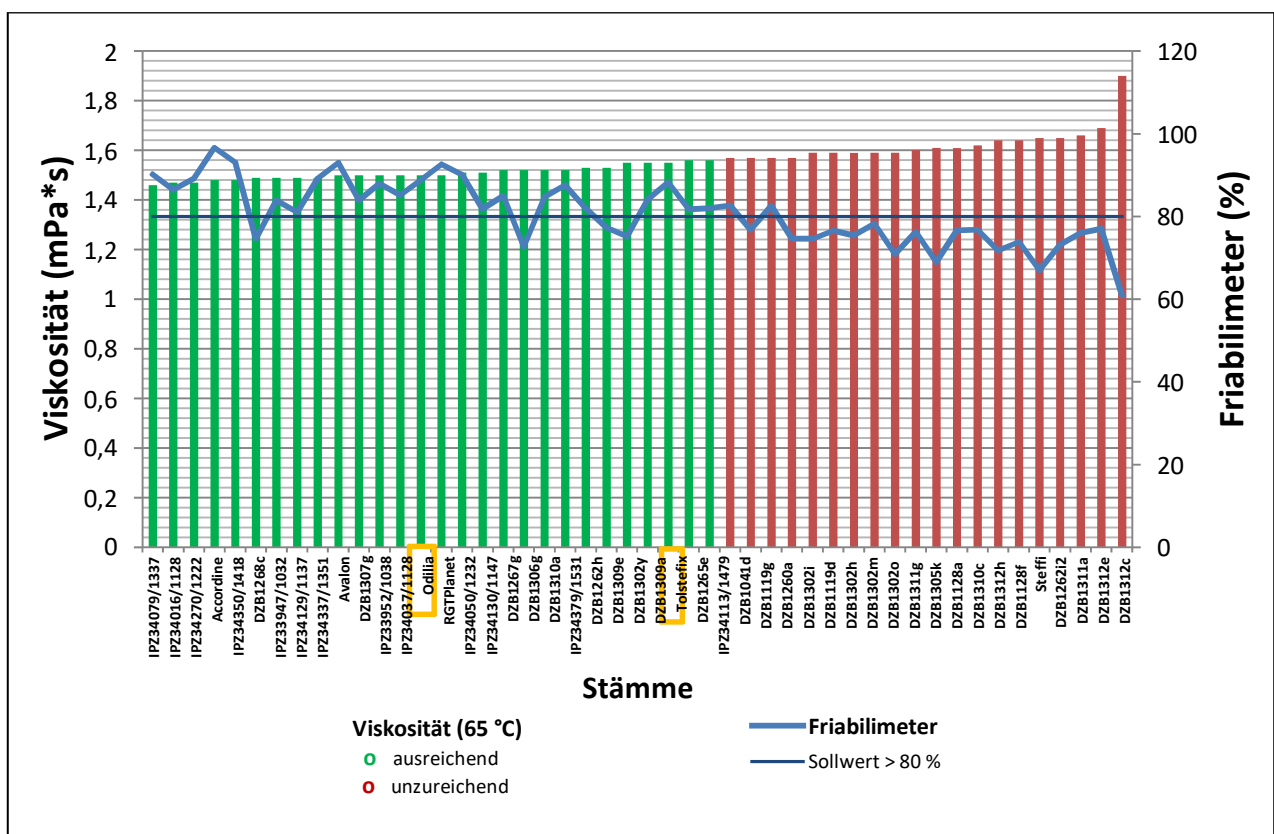
**Abbildung 2:** Ertragsmittel aus jeweils zwei Wiederholungen über die Versuchsstandorte (Crailsheim, Mungenhofen Darzau und Neuho) im Jahr 2018. Das Ertragsniveau der Stämme wurde in drei Ertragsklassen eingeteilt und die Stämme mit den Farben grün, gelb und rot markiert. Bereits zugelassene Sorten sind schwarz markiert. Seit kurzem zugelassene Sorte „Odilia“ und eine in der Wertprüfung befindlicher Stamm „Tolstefix“ sind gelb eingerahmt.



### 4.1.2.2 Malzqualität

Einen weiteren wichtigen Selektionsfaktor stellt die Brauqualität dar. Diese hängt von vielen Parametern ab, die die Bierherstellung wesentlich beeinflussen. Die Grenzwerte sind nach den Vorgaben des Berliner Programms festgelegt. Zur Beurteilung der Qualität wurde ebenfalls ein Mittelwert über die Standorte gebildet und aufsteigend sortiert.

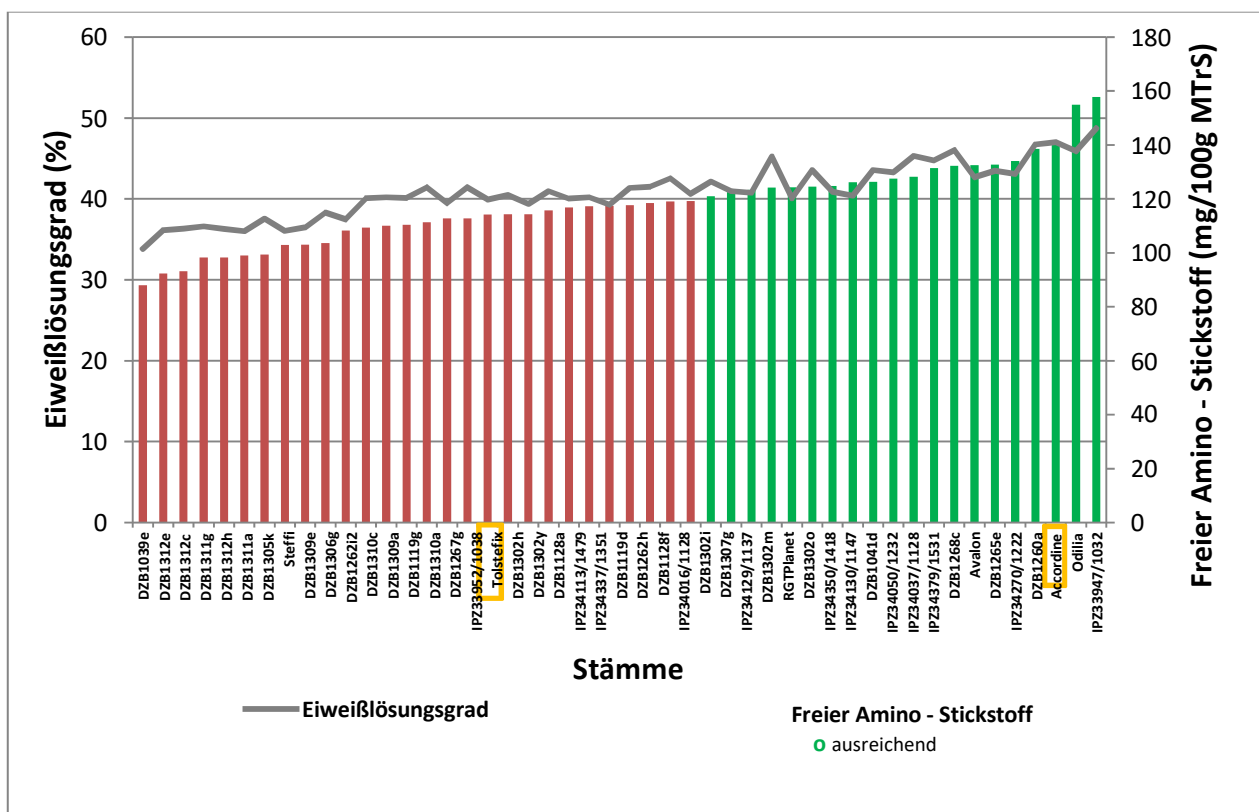
Einen wichtigen Teil der Malzqualität beschreibt die Cytolyse, Lösungsvorgänge rund um den Abbau von Gerüstsubstanzen (Zellwandbestandteile). Abbildung 2 im Anhang zeigt zwei zusammenhängende Parameter, kennzeichnend für die Lösung von Hemizellulose und Gummikörpern der Zellwände durch cytolytische Enzyme, welche Rückschlüsse auf die Läuterarbeit im Sudhaus und auf die Filtrierbarkeit des Bieres nach sich ziehen. Ein Parameter ist die Viskosität (65 °C Maische), die Werte bis zu maximal 1,67 mPa\*s aufweisen sollte. In der Abbildung erreichen grün gekennzeichnete Säulen diesen Höchstwert, rot gekennzeichnete Säulen sind als unzureichend eingestuft. Ein weiterer Parameter ist der Friabilimeterwert. Dieser beschreibt die Mürbigkeit der Braugerste und sollte Werte von über 80% aufweisen. Der Wert ist zugleich ein Maß für die Homogenität einer Malzprobe (siehe Anhang Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Ausgewählte Malzqualitätsparameter der Cytolyse aus jeweils zwei Wiederholungen über die Versuchsstandorte (Crailsheim, Mungenhofen, Darzau und Neuhof) im Jahr 2018. Erhöhte Viskositätswerte über 1,56 mPa\*s sind rot markiert. Die blaue Linie repräsentiert den Friabilimeterwert, dieser sollte mind. 80% betragen. Seit kurzem zugelassene Sorte „Odilia“ und eine in der Wertprüfung befindlicher Stamm „Tolstefix“ sind gelb eingerahmt.

Es lässt sich erkennen, dass sich beide Eigenschaften indirekt proportional zueinander verhalten. Letztendlich sind im Jahr 2018 20 Stämme aufgrund erhöhter Viskositätswerte und mangelhafter Friabilimeterwerte unter 80% für die Vermälzung ungeeignet. Mehr als die Hälfte des Sortiments weist gute Eigenschaften im cytolytischen Vorgang auf. Im Vergleich zum Vorjahr 2017 haben sich möglicherweise aufgrund der Trockenheit im Jahr 2018 beide Qualitätsparameter der Cytolyse negativ verändert.

Ein weiterer wichtiger Teil der Malzqualität ist die Proteolyse. Sie beschreibt die Lösungsvorgänge rund um den Eiweißabbau. Abbildung 3 im Anhang zeigt zwei zusammenhängende Parameter, kennzeichnend für die in Lösung gegangene Stickstoffmenge durch proteolytische Enzyme, die die Ernährung der Hefe und damit eine ungestörte Hauptgärung garantieren. Zu viel gelöste Stickstoffverbindungen beeinträchtigen die Filtrierbarkeit und Stabilität des Bieres negativ. Einen Parameter stellt der Eiweißlösungsgrad dar, welcher Werte zwischen 35 - 43% aufweisen sollte. Ein weiterer Parameter ist der freie Amino – Stickstoff, der die Menge an freien N- Verbindungen beschreibt und Werte von minimal 120 mg/100g MTS aufweisen sollte. Mit grün gekennzeichnete Säulen werden als ausreichend eingestuft, rot gekennzeichnete Säulen als unzureichend (siehe Anhang Abbildung 4).



**Abbildung 4:**

Ausgewählte Malzqualitätsparameter der Proteolyse aus jeweils zwei Wiederholungen über die Versuchsstandorte (Crailsheim, Mungenhofen, Darzau und Neuhof) im Jahr 2018. Stämme mit unter 120 (mg/100g MTrS) freier Amino – Stickstoff sind rot markiert.

Die graue Linie repräsentiert den Eiweißlösungsgrad; dieser sollte Werte zwischen 35 – 43% aufweisen. Seit kurzem zugelassene Sorte „Odilia“ und eine in der Wertprüfung befindlicher Stamm „Tolstefix“ sind gelb eingrahmt.

Die Grafik zeigt, dass beide Parameter der Proteolyse mehr oder weniger direkt proportional zueinander sind. Der Großteil des Sortiments weist positive Eiweißlösungsgrade auf. Im Gegensatz dazu stehen die freien Amino-Stickstoffwerte, in denen 20 Stämme den Anforderungen entsprechen. Der Rohproteingehalt von durchschnittlich 10,41% war - bedingt durch den geringen Ertrag im Jahr 2018 - am höchsten. (2017: 10,12%; 2016: 9,34%). Im Wesentlichen wird der Rohproteingehalt von verschiedenen Einflussgrößen wie Sorte, Düngung sowie Witterung in den Monaten Mai/Juni bei Sommerbraugerste beeinflusst.

#### **4.1.3 Auswertung der Feldversuche über die Jahre 2015 - 2018**

In den Jahren 2015, 2016, 2017 und 2018 wurde das Ökobraugersten-Sortiment an verschiedenen Standorten innerhalb Deutschlands angebaut. Die Feldversuche wurden im Parzellenmaßstab (8 – 12 m<sup>2</sup>) gesät, um den Ertrag, agronomische Merkmale (Wuchshöhe, Ährenschieben und Halmknicken/ Lager etc.) der Genotypen und Aussagen über die Anfälligkeit gegenüber Pflanzenkrankheiten der Genotypen abschätzen zu können. Alle Feldversuche wurden 2-fach wiederholt und randomisiert angelegt. Das Probenmaterial wurde nach Freising transportiert, dort wurden Ertragskomponenten in Form von TKG, Sortierung und Hektolitergewicht bestimmt. Weitere Parameter der Malzqualität wurden im Labor der LfL (AQU 2) untersucht.

Etwa 50% der Versuchsglieder wurden ausselektiert und für den darauffolgenden Anbau durch neue vielversprechende Stämme ersetzt. Insgesamt 42 Stämme inklusive Referenzsorten wurden über mehrere Jahre wiederholt angebaut. Zur Berechnung der Mittelwerte über die Jahre wurden für die 42 ausgewählten Genotypen adjustierte Mittelwerte mit Hilfe von „LSMEANS“ berechnet.

#### **4.1.4 Malzqualität**

Die Gerstenproben werden in der Kleinmälzungsanlage von AQU 2 vermälzt. Die Mälzung setzt sich aus der Weiche mit Keimung, der anschließenden Darre und der Entkeimung zusammen. Die Keimung erfolgt bei einer Temperatur von 14° C in einem zeitlichen Wechsel von Nass- und Trockenweiche nach den Vorgaben der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission. Der Weichgrad (Wassergehalt) beträgt 45 %. Die Dauer der Keimzeit beläuft sich auf fünf Tage.

Das geschrotete Gerstenmalz wird nach dem neuen Verfahren seit 2013 unter isothermen Bedingungen bei 65° C eingemaischt. Wesentlicher Unterschied zum früher eingesetzten Kongressmaisverfahren ist, dass dabei die Temperatur während des Maischens konstant bei 65° C gehalten wird.

2 x 10 g Feinschrot werden mit 57 ml Wasser gut verrührt. Nach Zugabe von weiteren 17 ml Wasser wird die Temperatur von 65° C für eine Stunde gehalten und danach schnell auf 20° C abgekühlt. Anschließend wird der Becherinhalt auf ein einheitliches Gewicht (90 Gramm) aufgewogen. Die daraus gewonnene Lösung wird filtriert und aus der resultierenden Würze werden die Qualitätsparameter Eiweißlösungsgrad, löslicher Stickstoff, Viskosität, Extraktgehalt, Endvergärungsgrad und FAN bestimmt. Nach der Filtration über einen Faltenfilter wird die Dichte der Würze im Density-Meter der Firma Paar vollautomatisch gemessen. Unter Berücksichtigung des Malzwassergehaltes wird der ermittelte Wert auf Extrakt in der Trockensubstanz umgerechnet. Tabelle 2 zeigt Parameter der Malzqualität für insgesamt 42 über mehrere Jahre mehrfach angebaute Versuchsglieder.

Tabelle 2: Adjustierte Mittelwerte von Malzqualitätsparameter über die Jahre 2015 – 2018

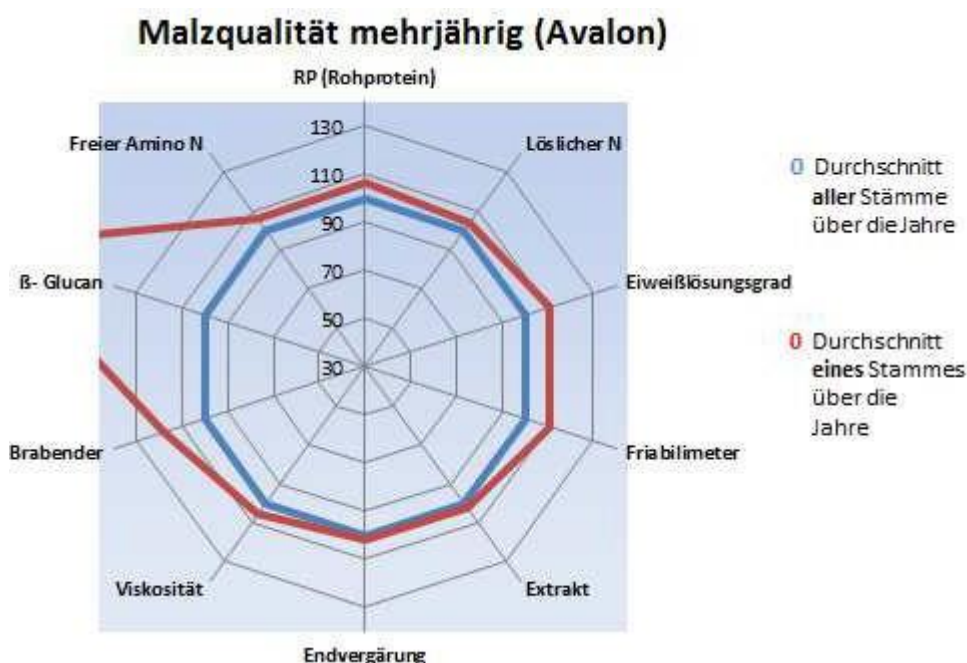
Das Qualitätsniveau der Mittelwerte wurde in drei Klassen eingeteilt und die Werte mit den Farben grün, gelb und rot markiert.

| Stämme/<br>Sorten | Roh-       | Lösl. N    | FAN        | ELG         | Visko-      | Bra-      | Friabili-   | Beta-      | Extrakt     | Endver-     |
|-------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-----------|-------------|------------|-------------|-------------|
|                   | protein    | mg/100g    | mg/100g    |             | sität       | bender    | meter       | glucan     |             | gärung      |
|                   | %          | MTS        | MTS        | %           | mPa*s       | Nm        | %           | mg/l       | %           | %           |
| Avalon            | 9,2        | 659        | 129        | 44,8        | 1,49        | 75        | 96,5        | 17         | 82,3        | 87,3        |
| Catamaran         | 8,8        | 604        | 119        | 42,8        | 1,46        | 84        | 93,2        | 121        | 81,6        | 87,8        |
| RGTPlanet         | 8,8        | 606        | 119        | 43,0        | 1,53        | 85        | 92,7        | 205        | 82,2        | 87,8        |
| Steffi            | 10,3       | 582        | 106        | 35,6        | 1,61        | 101       | 81,8        | 516        | 80,3        | 85,2        |
| Tolstefix         | 10,1       | 645        | 121        | 39,9        | 1,53        | 84        | 91,6        | 252        | 80,2        | 86,5        |
| Odilia            | 9,5        | 692        | 142        | 45,7        | 1,50        | 83        | 93,5        | 134        | 80,7        | 86,1        |
| DSMMQ             | 9,7        | 623        | 120        | 39,8        | 1,58        | 85        | 86,6        | 334        | 80,9        | 85,8        |
| DZB0916b          | 10,3       | 605        | 105        | 37,1        | 1,63        | 104       | 83,2        | 404        | 79,1        | 81,2        |
| DZB1039e          | 10,3       | 519        | 86         | 31,8        | 1,98        | 126       | 67,9        | 949        | 78,2        | 82,5        |
| DZB1039i          | 11,0       | 553        | 98         | 30,9        | 1,97        | 114       | 76,0        | 729        | 77,1        | 75,8        |
| DZB1039s          | 10,5       | 578        | 108        | 34,1        | 1,94        | 115       | 76,5        | 724        | 78,6        | 83,2        |
| DZB1039w          | 10,7       | 687        | 132        | 39,9        | 1,60        | 95        | 85,6        | 253        | 80,5        | 79,2        |
| DZB1040e          | 9,8        | 608        | 118        | 38,5        | 1,72        | 105       | 75,6        | 544        | 78,8        | 85,1        |
| DZB1041d          | 10,1       | 663        | 132        | 40,9        | 1,53        | 90        | 89,8        | 173        | 79,7        | 84,8        |
| DZB1041f          | 10,4       | 599        | 112        | 35,8        | 1,70        | 104       | 79,8        | 552        | 78,9        | 85,4        |
| DZB1041i          | 10,7       | 732        | 152        | 42,8        | 1,55        | 92        | 88,6        | 283        | 78,5        | 85,6        |
| DZB1041k1         | 9,2        | 606        | 124        | 40,5        | 1,58        | 96        | 86,0        | 389        | 80,1        | 86,2        |
| DZB1041k2         | 9,6        | 619        | 124        | 40,1        | 1,57        | 93        | 86,3        | 380        | 80,1        | 85,3        |
| DZB1041p          | 9,9        | 649        | 129        | 40,7        | 1,63        | 94        | 87,0        | 389        | 81,0        | 86,5        |
| DZB1042a          | 10,8       | 640        | 120        | 36,9        | 1,65        | 102       | 80,5        | 494        | 79,1        | 85,5        |
| DZB1119d          | 10,6       | 670        | 125        | 39,5        | 1,56        | 89        | 85,2        | 307        | 80,1        | 83,4        |
| DZB1119g          | 9,9        | 625        | 119        | 39,6        | 1,56        | 87        | 87,5        | 289        | 80,8        | 83,2        |
| DZB1119j          | 10,1       | 653        | 123        | 40,5        | 1,59        | 87        | 85,8        | 348        | 81,0        | 82,8        |
| DZB1128a          | 9,7        | 646        | 123        | 41,8        | 1,57        | 94        | 82,8        | 247        | 81,9        | 85,9        |
| DZB1128f          | 9,8        | 650        | 120        | 41,6        | 1,61        | 99        | 84,5        | 394        | 81,7        | 85,8        |
| DZB1128g          | 9,8        | 641        | 119        | 40,9        | 1,60        | 93        | 87,8        | 318        | 81,9        | 86,3        |
| DZB1262h          | 9,8        | 623        | 113        | 40,0        | 1,55        | 93        | 88,9        | 274        | 80,9        | 85,5        |
| DZB1262i2         | 10,1       | 593        | 105        | 36,8        | 1,65        | 120       | 74,1        | 560        | 79,4        | 84,9        |
| DZB1265e          | 9,8        | 676        | 136        | 43,1        | 1,55        | 87        | 90,3        | 237        | 81,5        | 86,4        |
| DZB1267g          | 9,8        | 608        | 115        | 39,2        | 1,51        | 85        | 91,4        | 198        | 81,0        | 85,5        |
| DZB1268c          | 9,6        | 631        | 114        | 41,0        | 1,56        | 99        | 77,3        | 345        | 80,1        | 84,8        |
| IPZ33379/1113     | 9,5        | 685        | 130        | 45,2        | 1,44        | 84        | 94,3        | 72         | 81,5        | 88,1        |
| IPZ33453/1441     | 9,5        | 674        | 123        | 44,3        | 1,42        | 78        | 94,8        | 50         | 81,2        | 89,0        |
| IPZ33602/1445     | 9,1        | 643        | 132        | 44,3        | 1,42        | 79        | 95,0        | 47         | 82,6        | 88,5        |
| IPZ33620/1529     | 9,2        | 650        | 126        | 44,1        | 1,44        | 82        | 94,4        | 41         | 82,4        | 89,0        |
| IPZ33652/1652     | 9,2        | 643        | 120        | 43,5        | 1,48        | 85        | 93,0        | 128        | 81,8        | 87,7        |
| IPZ33947/1032     | 10,6       | 773        | 154        | 45,5        | 1,48        | 80        | 94,2        | 22         | 80,8        | 86,1        |
| IPZ33952/1038     | 9,6        | 625        | 116        | 41,0        | 1,51        | 77        | 94,7        | 167        | 80,5        | 86,7        |
| IPZ34016/1128     | 9,1        | 586        | 113        | 40,4        | 1,53        | 84        | 93,2        | 234        | 81,1        | 87,4        |
| IPZ34050/1232     | 9,4        | 632        | 123        | 42,4        | 1,54        | 87        | 90,8        | 268        | 80,7        | 87,1        |
| IPZ34079/1337     | 9,3        | 694        | 148        | 46,3        | 1,51        | 83        | 96,8        | 75         | 80,7        | 88,9        |
| IPZ34113/1479     | 9,9        | 627        | 116        | 39,7        | 1,54        | 83        | 91,7        | 137        | 80,7        | 86,0        |
| <b>Mittel</b>     | <b>9,8</b> | <b>636</b> | <b>122</b> | <b>40,5</b> | <b>1,58</b> | <b>92</b> | <b>87,3</b> | <b>300</b> | <b>80,5</b> | <b>85,5</b> |

Das Sortiment besteht aus fünf Referenzsorten, 25 Genotypen der Getreideforschungszüchtung in Darzau sowie elf Genotypen der Landesanstalt für Landwirtschaft (IPZ 2b). Insgesamt zehn ausgewählte Malzqualitätsparameter werden dabei näher analysiert. Das Qualitätsniveau der Mittelwerte

wurde in drei Klassen eingeteilt und die Werte mit den Farben grün, gelb und rot markiert. Jeweils fünf Qualitätsparameter über die Jahre sind als „optimal“ bzw. „mittel“ zu bewerten.

Im nachfolgenden Teil wird die Malzqualität ausgewählter Genotypen mit Hilfe eines Spinnennetzdiagramms dargestellt. Die blaue Linie entspricht dem Mittelwert aller Stämme über die Jahre aus Tabelle 2. Die rote Linie stellt den Mittelwert eines Stammes/Sorte über die Jahre dar. Der Durchschnitt aller Stämme (blaue Linie) ist die Basis der Malzqualität des Sortimentes. Liegt die rote Linie außerhalb der Basis, ist der Genotyp für den jeweiligen Parameter überdurchschnittlich. Liegt die rote Linie innerhalb der Basis, sind die jeweiligen Brauqualitätsparameter unterdurchschnittlich gegenüber dem Versuchsmittel über die Jahre.



**Abbildung 5:**

Malzqualität der Sorte „Avalon“ zum Versuchsmittel über die Jahre (2015 – 2018)

Durchschnittliche Malzqualität aller Genotypen über die Jahre (blaue Linie)

Durchschnittliche Malzqualität der Sorte „Avalon“ über die Jahre (rote Linie)

Die Netzdiagramme zeigen Werte relativ zu den Standardwerten für die Qualitätsparameter. Die Skala für die Prozent- Werte ist die senkrechte Achse, die auch die Werte für das Merkmal „Keimenergie“ angibt.

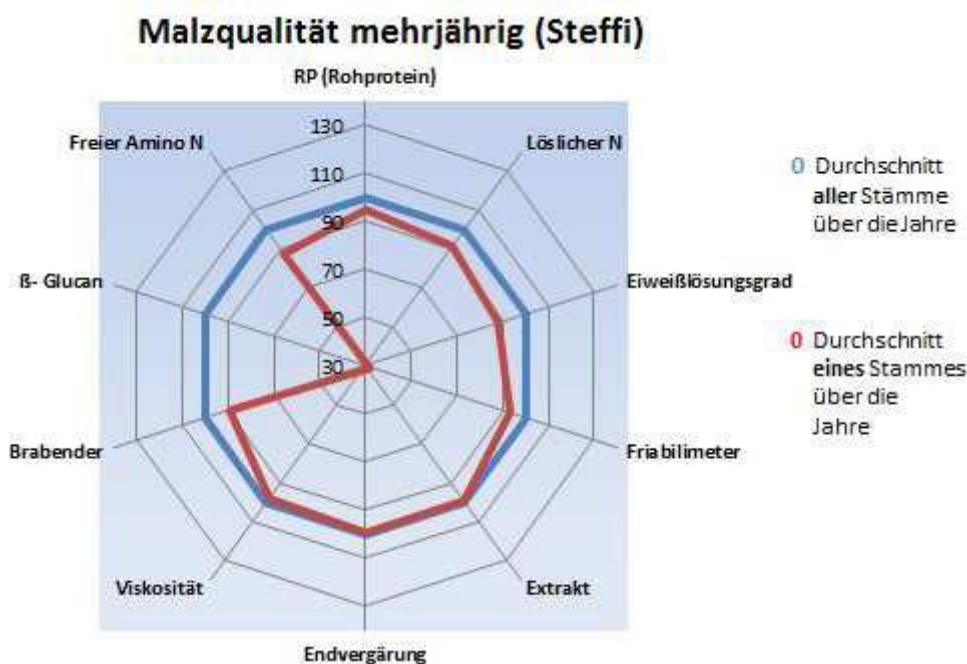
Bezugsbasis sind die von der Braugerstengemeinschaft vorgeschlagenen Spezifikationswerte. Diese stellen den blau eingefärbten 100% Bereich dar.

Die Werte sind so umgerechnet, dass die Richtung der blauen Linie für die geprüfte Sorte für vorteilhafte Werte immer zum äußeren Rand hin abweicht, für nachteilige Werte zum Zentrum des Netzes. So zeigt also die Linie für eine Sorte mit niedrigem Eiweiß- oder β-Glucangehalt eine Abweichung zum äußeren Rand des Netzes, genauso wie die Linie für eine Sorte mit hohem Extraktgehalt oder Eiweißlösungsgrad. Wenn die Werte so stark nach

außen abweichen, wie es manchmal bei sehr niedrigen  $\beta$ -Glucan-Werten vorkommt, ist die Spitze der Linie nicht mehr auf dem Diagramm dargestellt, um den gesamten Maßstab nicht zu sehr zu verfälschen.

Zusammengefasst hat eine Sorte eine bessere Qualität, je weiter die blaue Linie nach außen geht.

Die Braugerstensorte Avalon zeigt in allen zehn Qualitätsparametern positive Werte gegenüber dem Versuchsmittel. Die Sorte dient als Referenzsorte. Avalon ist derzeit eine der meist angebauten Braugerstensorten in Deutschland.



**Abbildung 6:**

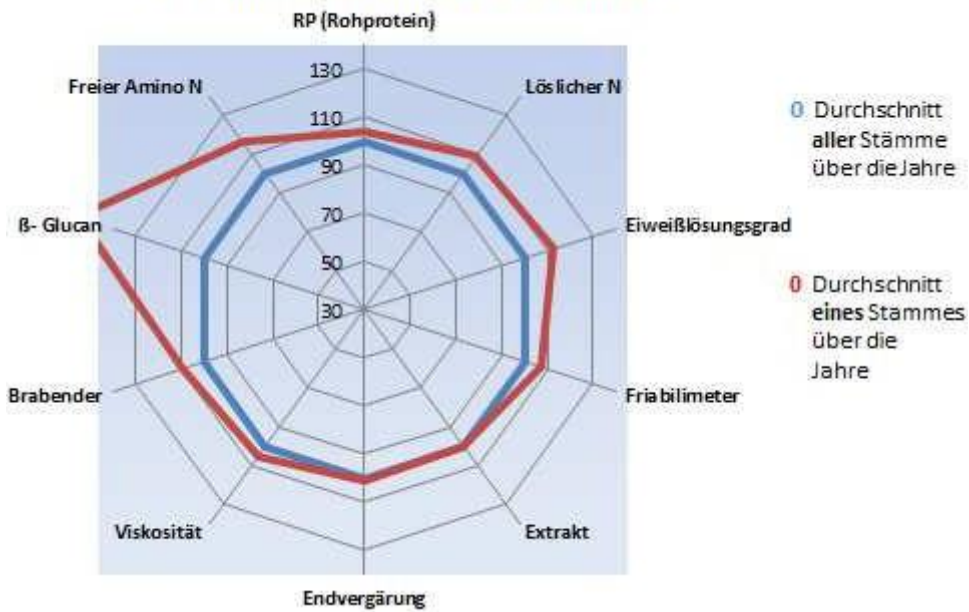
Malzqualität der Sorte „Steffi“ zum Versuchsmittel über die Jahre (2015 – 2018)

Durchschnittliche Malzqualität aller Genotypen über die Jahre (blaue Linie)

Durchschnittliche Malzqualität der Sorte „Steffi“ über die Jahre (rote Linie)

Die Braugerstensorte Steffi zeigt in allen zehn Qualitätsparametern negative Werte gegenüber dem Versuchsmittel. Die Sorte dient als Referenzsorte. Steffi ist eine alte Braugerstensorte. Im Gegensatz zu konventionellen Betrieben besitzt die Sorte in ökologischen Betrieben aufgrund ihrer agronomischen Vorteile eine Anbauwürdigkeit.

## Malzqualität mehrjährig (Odilia)



### **Abbildung 7:**

Malzqualität der Sorte „Odilia“ zum Versuchsmittel über die Jahre (2015 – 2018)

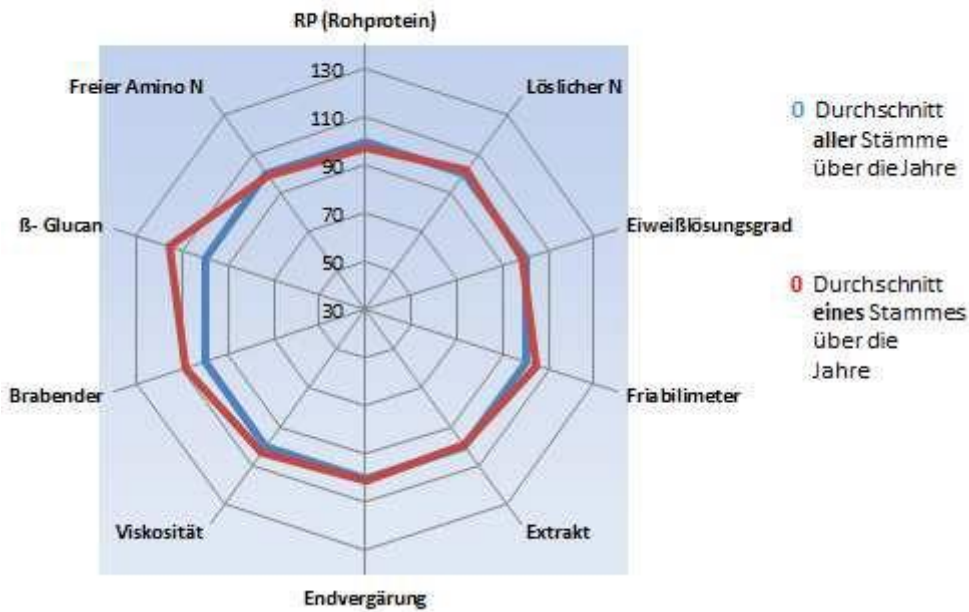
Durchschnittliche Malzqualität aller Genotypen über die Jahre (blaue Linie)

Durchschnittliche Malzqualität der Sorte „Odilia“ über die Jahre (rote Linie)

Die erst 2017 zugelassene Sorte „Odilia“ zeigt in allen zehn Qualitätsparametern positive Werte gegenüber dem Versuchsmittel. Die erste ökologisch gezüchtete Braugerstensorte „Odilia“ entstand im Rahmen der Projekte zum Thema Ökobraugerste. Die Sorte wurde Ende 2017 für die Getreidezüchtungsforschung Darzau zugelassen.



### Malzqualität mehrjährig (Tolstefix)



**Abbildung 8:**

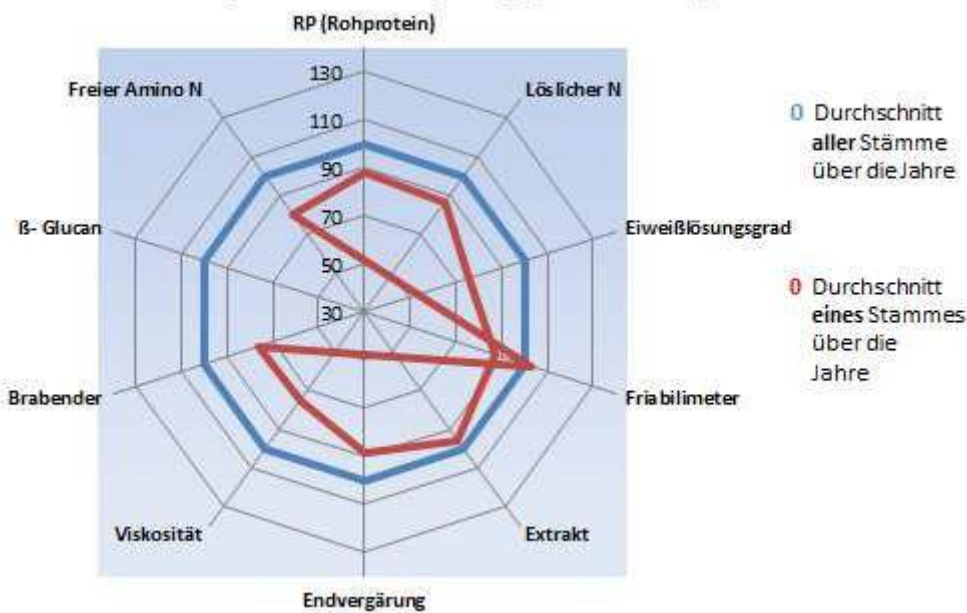
Malzqualität des Stammes mit der geplanten Sortenbezeichnung „Tolstefix“ zum Versuchsmittel über die Jahre (2015 – 2018)

Durchschnittliche Malzqualität aller Genotypen über die Jahre (blaue Linie)

Durchschnittliche Malzqualität der Sorte „Tolstefix“ über die Jahre (rote Linie)

Der Stamm befindet sich derzeit in der Wertprüfung. Er zeigt teils positive, teils negative Werte der Qualitätsparameter gegenüber dem Versuchsmittel.

### Malzqualität mehrjährig (DZB1039i)



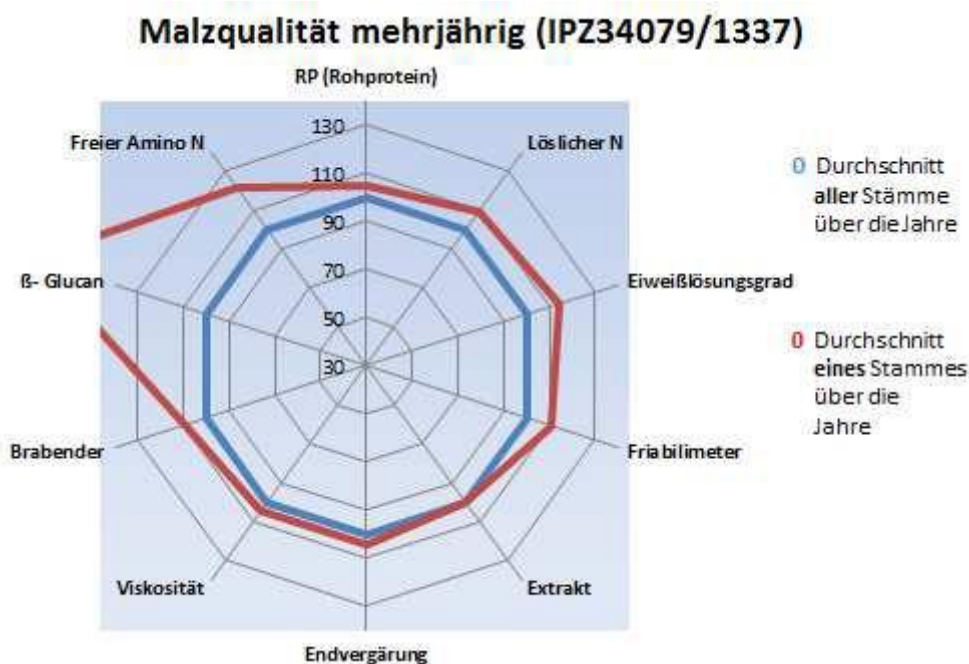
**Abbildung 9:**

Malzqualität des Stammes „DZB1039i“ zum Versuchsmittel über die Jahre (2015 – 2018)

Durchschnittliche Malzqualität aller Genotypen über die Jahre (blaue Linie)

Durchschnittliche Malzqualität der Sorte „DZB1039i“ über die Jahre (rote Linie)

Der Stamm DZB1039i zeigt in allen zehn Qualitätsparametern negative Werte gegenüber dem Versuchsmittel. Er zeigt ein negatives Beispiel des Versuchssortiments im Hinblick auf die Braugerstenqualität.



**Abbildung 10:**

Malzqualität des Stammes „IPZ32079/1337“ zum Versuchsmittel über die Jahre (2015 – 2018)

Durchschnittliche Malzqualität aller Genotypen über die Jahre (blaue Linie)

Durchschnittliche Malzqualität der Sorte „IPZ34079/1337“ über die Jahre (rote Linie)

Der Stamm IPZ34079/1337 zeigt in allen zehn Qualitätsparametern positive Werte gegenüber dem Versuchsmittel. Der Stamm zeigt ein positives Beispiel des Versuchssortiments im Hinblick auf die Braugerstenqualität.

#### 4.1.5 Auswertung kornphysikalischer Merkmale

Neben dem Ertrag dt/ha wurden mehrere Merkmale ermittelt.

Ein Merkmal ist die Sortierung zur Ermittlung der Vollgerste (>2,5 mm) des Anteils >2,2 mm sowie 2,2 - 2,5 mm. Dazu werden 100 g Körner mit dem Sortimat der Firma Pfeuffer mit den Schlitzgrößen 2,8 mm, 2,5 mm und 2,2 mm geschüttelt und anschließend die verschiedenen Fraktionen gewogen. Die Wägung liefert gleich die relativen Sortieranteile. Die Sortierung ist umso besser, je geringer der Abputzanteil (=Fraktion <2,2 mm) oder je höher der Anteil großer Körner ist. Ein anderes Merkmal ist das TKG. Bei der Bestimmung des TKG wird mit dem Körnerzähler „Marvin“ der Firma Pfeuffer gewogen und der Mittelwert errechnet. Ein weiteres agronomisches Merkmal ist das hl – Gewicht. Dabei wird bei gleicher Einschütthöhe ein Vorratszylinder (von 0,25 l) gefüllt. Das Schwert, das den Zylinder in halber Höhe teilt, wird nach der Befüllung herausgezogen, so dass die Gerste mit stets gleicher Fallgeschwindigkeit in den Messbereich des Zylinders fällt. Das Messvolumen wird mit dem eingeschobenen Schwert begrenzt. Die Wägung des im Messzylinder enthaltenen Korngutes liefert nach einer tabellarischen Umrechnung dann das HL-Gewicht in kg. Werte zwischen 66 – 72 kg /hl werden als gut eingestuft, zwischen 64 – 66 kg/hl als mittel und der Bereich unter 64 kg/hl als gering bezeichnet. Tabelle 3 zeigt die Mittelwerte der genannten Parameter über die Jahre sowie das Gesamtmittel der Versuchsglieder.

**Tabelle 3:** Adjustierte Mittelwerte von komphysikalischen Merkmalen über die Jahre 2015 – 2018

| Stämme/<br>Sorten | Korn-<br>ertrag<br>rel. | Korn-<br>ertrag<br>dt/ha | Marktw.<br>>2,5mm<br>dt/ha | Roh-<br>protein<br>% | TKG<br>g    | HL-<br>Gewicht<br>kg | Sortierung in % |             |              |
|-------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------|-------------|----------------------|-----------------|-------------|--------------|
|                   |                         |                          |                            |                      |             |                      | >2,8mm          | >2,5mm      | 2,2 - 2,5 mm |
| Avalon            | 108                     | 37,1                     | 34,6                       | 9,2                  | 49          | 61,4                 | 74,2            | 93,2        | 6,5          |
| Catamaran         | 107                     | 36,5                     | 32,0                       | 8,8                  | 46          | 60,9                 | 56,1            | 87,5        | 14,0         |
| RGTPlanet         | 106                     | 36,4                     | 33,5                       | 8,8                  | 49          | 61,1                 | 64,2            | 92,1        | 7,7          |
| Steffi            | 94                      | 32,3                     | 30,3                       | 10,3                 | 46          | 64,3                 | 66,8            | 93,9        | 6,7          |
| Tolstefix         | 98                      | 33,6                     | 31,6                       | 10,1                 | 47          | 60,9                 | 73,4            | 94,1        | 5,1          |
| Odilia            | 94                      | 32,3                     | 28,2                       | 9,5                  | 45          | 60,7                 | 53,5            | 87,1        | 11,9         |
| DSMMQ             | 103                     | 35,1                     | 31,6                       | 9,7                  | 46          | 61,7                 | 49,7            | 90,1        | 11,7         |
| DZB0916b          | 99                      | 33,8                     | 30,2                       | 10,3                 | 48          | 62,6                 | 53,8            | 89,5        | 14,0         |
| DZB1039e          | 97                      | 33,3                     | 30,2                       | 10,3                 | 46          | 63,9                 | 56,4            | 90,8        | 10,3         |
| DZB1039i          | 90                      | 30,7                     | 27,6                       | 11,0                 | 45          | 62,4                 | 49,0            | 89,8        | 13,2         |
| DZB1039s          | 96                      | 32,7                     | 30,2                       | 10,5                 | 46          | 62,5                 | 64,5            | 92,1        | 8,5          |
| DZB1039w          | 101                     | 34,6                     | 32,2                       | 10,7                 | 49          | 62,5                 | 67,2            | 93,1        | 7,4          |
| DZB1040e          | 98                      | 33,4                     | 30,5                       | 9,8                  | 49          | 61,3                 | 64,1            | 91,3        | 9,0          |
| DZB1041d          | 103                     | 35,1                     | 32,2                       | 10,1                 | 47          | 57,4                 | 55,2            | 91,6        | 9,1          |
| DZB1041f          | 98                      | 33,4                     | 30,4                       | 10,4                 | 45          | 59,4                 | 62,0            | 90,9        | 9,8          |
| DZB1041i          | 94                      | 32,1                     | 31,0                       | 10,7                 | 50          | 61,2                 | 79,1            | 96,4        | 0,8          |
| DZB1041k1         | 109                     | 37,2                     | 33,2                       | 9,2                  | 46          | 60,0                 | 56,5            | 89,4        | 13,5         |
| DZB1041k2         | 106                     | 36,1                     | 31,7                       | 9,6                  | 45          | 59,9                 | 51,3            | 88,0        | 15,8         |
| DZB1041p          | 101                     | 34,6                     | 33,2                       | 9,9                  | 49          | 61,4                 | 77,5            | 95,8        | 2,2          |
| DZB1042a          | 90                      | 30,8                     | 29,2                       | 10,8                 | 45          | 61,3                 | 65,1            | 94,8        | 2,9          |
| DZB1119d          | 97                      | 33,3                     | 32,0                       | 10,6                 | 47          | 60,9                 | 74,7            | 96,2        | 3,6          |
| DZB1119g          | 103                     | 35,2                     | 33,4                       | 9,9                  | 48          | 61,4                 | 70,3            | 95,0        | 4,7          |
| DZB1119j          | 99                      | 34,0                     | 32,8                       | 10,1                 | 48          | 62,3                 | 71,8            | 96,4        | 3,8          |
| DZB1128a          | 100                     | 34,3                     | 31,2                       | 9,7                  | 51          | 62,8                 | 68,6            | 90,9        | 7,0          |
| DZB1128f          | 102                     | 34,9                     | 32,2                       | 9,8                  | 46          | 63,0                 | 63,5            | 92,2        | 7,9          |
| DZB1128g          | 110                     | 37,5                     | 34,2                       | 9,8                  | 47          | 62,2                 | 60,5            | 91,3        | 8,9          |
| DZB1262h          | 88                      | 30,1                     | 27,8                       | 9,8                  | 48          | 60,5                 | 70,4            | 92,2        | 7,1          |
| DZB1262i2         | 89                      | 30,5                     | 26,7                       | 10,1                 | 46          | 63,1                 | 52,0            | 87,6        | 11,2         |
| DZB1265e          | 96                      | 32,9                     | 30,2                       | 9,8                  | 44          | 63,1                 | 61,3            | 91,7        | 7,7          |
| DZB1267g          | 97                      | 33,0                     | 30,5                       | 9,8                  | 50          | 61,6                 | 64,6            | 92,3        | 7,3          |
| DZB1268c          | 87                      | 29,6                     | 27,2                       | 9,6                  | 43          | 62,0                 | 69,1            | 91,9        | 7,0          |
| IPZ33379/1113     | 97                      | 33,0                     | 29,6                       | 9,5                  | 49          | 60,6                 | 61,2            | 89,8        | 9,5          |
| IPZ33453/1441     | 101                     | 34,5                     | 31,9                       | 9,5                  | 47          | 60,7                 | 61,9            | 92,6        | 7,7          |
| IPZ33602/1445     | 105                     | 36,0                     | 33,9                       | 9,1                  | 53          | 60,6                 | 66,7            | 94,0        | 5,4          |
| IPZ33620/1529     | 105                     | 35,8                     | 33,7                       | 9,2                  | 47          | 61,1                 | 70,5            | 94,1        | 4,3          |
| IPZ33652/1652     | 106                     | 36,3                     | 33,9                       | 9,2                  | 49          | 56,5                 | 64,9            | 93,3        | 6,9          |
| IPZ33947/1032     | 101                     | 34,7                     | 33,0                       | 10,6                 | 49          | 63,1                 | 71,8            | 95,2        | 6,4          |
| IPZ33952/1038     | 101                     | 34,6                     | 31,6                       | 9,6                  | 42          | 64,8                 | 56,6            | 91,5        | 8,4          |
| IPZ34016/1128     | 114                     | 38,9                     | 36,0                       | 9,1                  | 49          | 61,0                 | 68,3            | 92,6        | 6,9          |
| IPZ34050/1232     | 110                     | 37,8                     | 33,7                       | 9,4                  | 47          | 62,2                 | 52,3            | 89,3        | 10,5         |
| IPZ34079/1337     | 103                     | 35,3                     | 32,2                       | 9,3                  | 47          | 62,2                 | 59,5            | 91,1        | 9,0          |
| IPZ34113/1479     | 102                     | 34,8                     | 31,6                       | 9,9                  | 46          | 58,7                 | 70,7            | 90,8        | 6,2          |
| <b>Mittel</b>     | <b>100</b>              | <b>34,2</b>              | <b>31,5</b>                | <b>9,8</b>           | <b>47,1</b> | <b>61,5</b>          | <b>63,6</b>     | <b>92,0</b> | <b>8,0</b>   |

Das mittlere Ertragsniveau der Feldversuche liegt zwischen 38–30 dt/ha in den Jahren 2015-2018. Insgesamt ist festzustellen, dass sich der Schwankungsbereich von 8 dt in Grenzen hält und alle Genotypen relative Ertragsstabilität über die Standorte aufweisen.

Das Mittel aller Versuchsglieder in Tabelle 3 liefert mit einem Vollgerstenanteil (> 2,5 mm) von 31,5 dt/ha ein gutes Ergebnis. Der ertragsstärkste Genotyp ist der Stamm IPZ 34016/1128 mit 36,0 dt/ha. Odilia dagegen weist mit rund 28,2 dt/ha aufgrund schlechterer Sortierung von 87,1 %

(Vollgerstenanteil) einen niedrigeren Ertrag auf. Der sich aktuell in der Wertprüfung befindliche Stamm Tolstefix erreicht mit 31,6 dt/ha Vollgerstenanteil einen besseren Wert.

#### 4.1.6 Korrelation verschiedener Qualitätsparameter

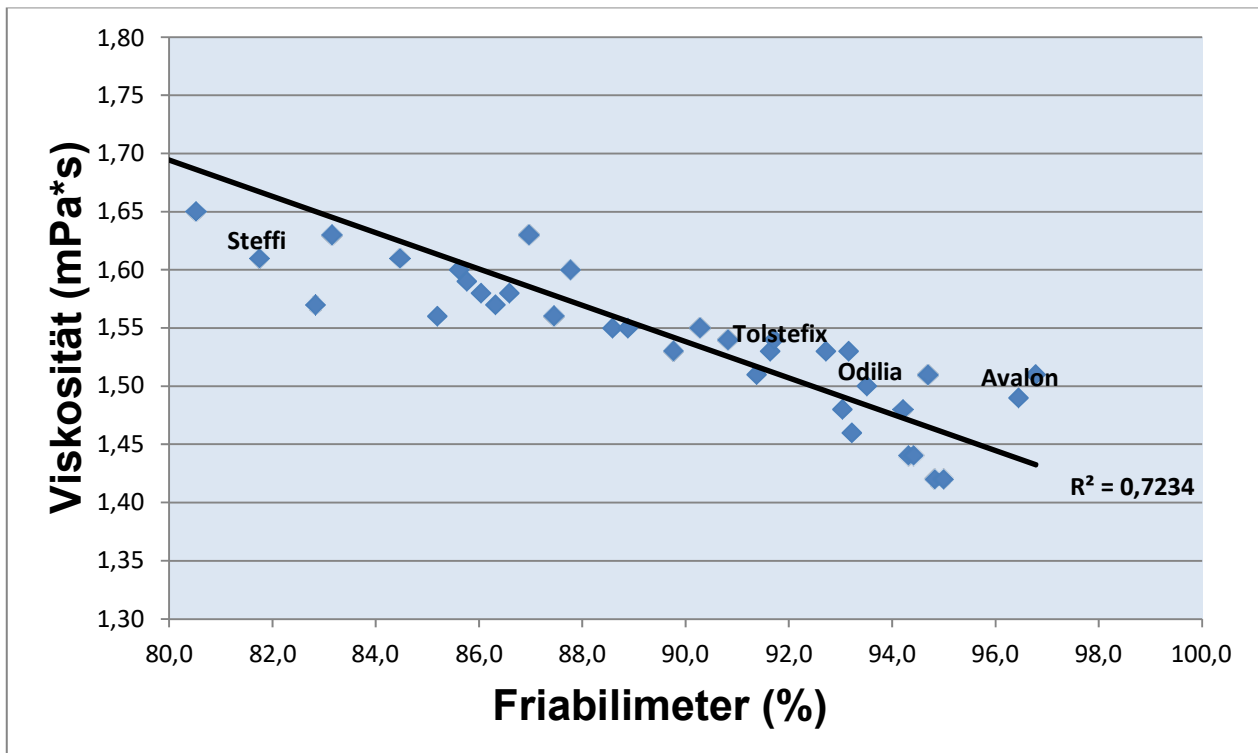
Die Korrelation verschiedener Parameter im Hinblick auf die mittlere Malzqualität über die Jahre zeigt Tabelle 4. Dabei werden zehn Parameter miteinander verglichen. Die Werte einer Korrelation zweier Merkmale bewegen sich zwischen -1 und 1. Je näher die Korrelationen an dem Wert 1 bzw. -1 liegen, desto mehr stehen beide Merkmale in positiver bzw. negativer Korrelation. Besonders hohe Korrelationen sind in der Tabelle 4 gelb markiert.

**Tabelle 4:** Korrelation zwischen ausgewählten Brauqualitätsparameter

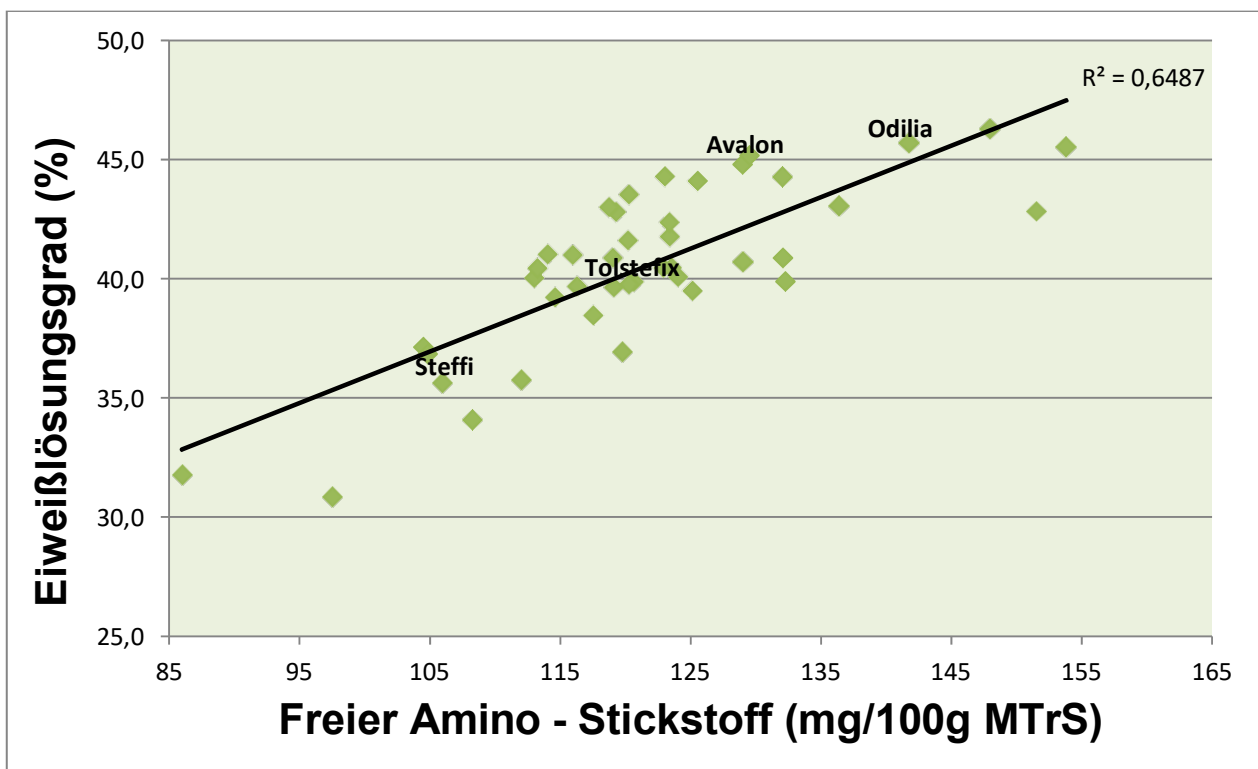
| Kriterium     | Lösl. N | FAN    | ELG    | Visko-<br>sität | Bra-<br>bender | Friabi-<br>limeter | Beta-<br>glucan | Extrakt | Endver-<br>gärung |
|---------------|---------|--------|--------|-----------------|----------------|--------------------|-----------------|---------|-------------------|
| Rohprotein    | 0,032   | -0,132 | -0,617 | 0,587           | 0,545          | -0,569             | 0,552           | -0,725  | -0,729            |
| Lösl. N       | -       | 0,927  | 0,764  | -0,622          | -0,602         | 0,585              | -0,690          | 0,361   | 0,326             |
| FAN           | -       | -      | 0,805  | -0,621          | -0,636         | 0,644              | -0,694          | 0,380   | 0,419             |
| ELG           | -       | -      | -      | -0,872          | -0,828         | 0,838              | -0,907          | 0,754   | 0,724             |
| Viskosität    | -       | -      | -      | -               | 0,874          | -0,851             | 0,935           | -0,765  | -0,708            |
| Brabender     | -       | -      | -      | -               | -              | -0,946             | 0,933           | -0,740  | -0,611            |
| Friabilimeter | -       | -      | -      | -               | -              | -                  | -0,933          | 0,720   | 0,645             |
| Betaglucan    | -       | -      | -      | -               | -              | -                  | -               | -0,763  | -0,632            |
| Extrakt       | -       | -      | -      | -               | -              | -                  | -               | -       | 0,665             |
| Endvergärung  | -       | -      | -      | -               | -              | -                  | -               | -       | -                 |

Als Beispiel werden in Abbildung 11 und 12 sowohl eine negative als auch eine positive Korrelation näher veranschaulicht. Abbildung 11 zeigt eine negative Korrelation zwischen zwei Parametern der Cytolyse. Dabei schneidet die Sorte Steffi etwas schlechter ab. Odilia, Tolstefix und Avalon besitzen verhältnismäßig gute Qualitätseigenschaften der Cytolyse.

Abbildung 12 zeigt eine positive Korrelation zwischen zwei Parametern der Proteolyse. Auch hier liegt die Sorte Steffi etwas zurück.



**Abbildung 11:** Korrelation für zwei Malzqualitätsparameter der Cytolyse  
 Verwendet wurden die LS means aus den Versuchsjahren 2015 – 2018 aller Versuchsstandorte. Das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) ist jeweils angegeben; interessante Genotypen sind in der Abbildung indiziert.



**Abbildung 12:** Korrelation für zwei Malzqualitätsparameter der Proteolyse  
 Verwendet wurden die LS means aus den Versuchsjahren 2015 – 2018 aller Versuchsstandorte. Das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) ist jeweils angegeben; interessante Genotypen sind in der Abbildung indiziert.

**Tabelle 5:** Korrelation zwischen agronomischen Merkmalen und Brauqualitätsparameter

| Kriterium     | TKG    | HL-<br>Gewicht | Sortierung in % |        |           |
|---------------|--------|----------------|-----------------|--------|-----------|
|               |        |                | > 2,8mm         | >2,5mm | 2,2 - 2,5 |
| Rohprotein    | -0,121 | 0,256          | 0,120           | 0,303  | -0,203    |
| Lösl. N       | 0,247  | -0,117         | 0,396           | 0,367  | -0,406    |
| FAN           | 0,260  | -0,187         | 0,315           | 0,274  | -0,314    |
| ELG           | 0,280  | -0,244         | 0,237           | 0,093  | -0,199    |
| Viskosität    | -0,268 | 0,320          | -0,248          | -0,126 | 0,221     |
| Brabender     | -0,238 | 0,294          | -0,289          | -0,232 | 0,269     |
| Friabilimeter | 0,262  | -0,314         | 0,203           | 0,134  | -0,180    |
| Betaglucan    | -0,322 | 0,328          | -0,267          | -0,137 | 0,224     |
| Extrakt       | 0,312  | -0,134         | 0,266           | 0,129  | -0,216    |
| Endvergärung  | 0,138  | -0,262         | 0,170           | 0,011  | -0,180    |

Der Vergleich zwischen verschiedenen agronomischen Merkmalen und Brauqualitätsmerkmalen zeigt anhand der Tabelle 5, dass hier die Korrelationen um +/- 0 deutlich schwächer ausfielen. Daraus folgt kein wesentlicher Zusammenhang zwischen agronomischen Merkmalen und Brauqualitätsparameter.

## 4.2 Entwicklung eines Flugbrandmarkers *Un6*

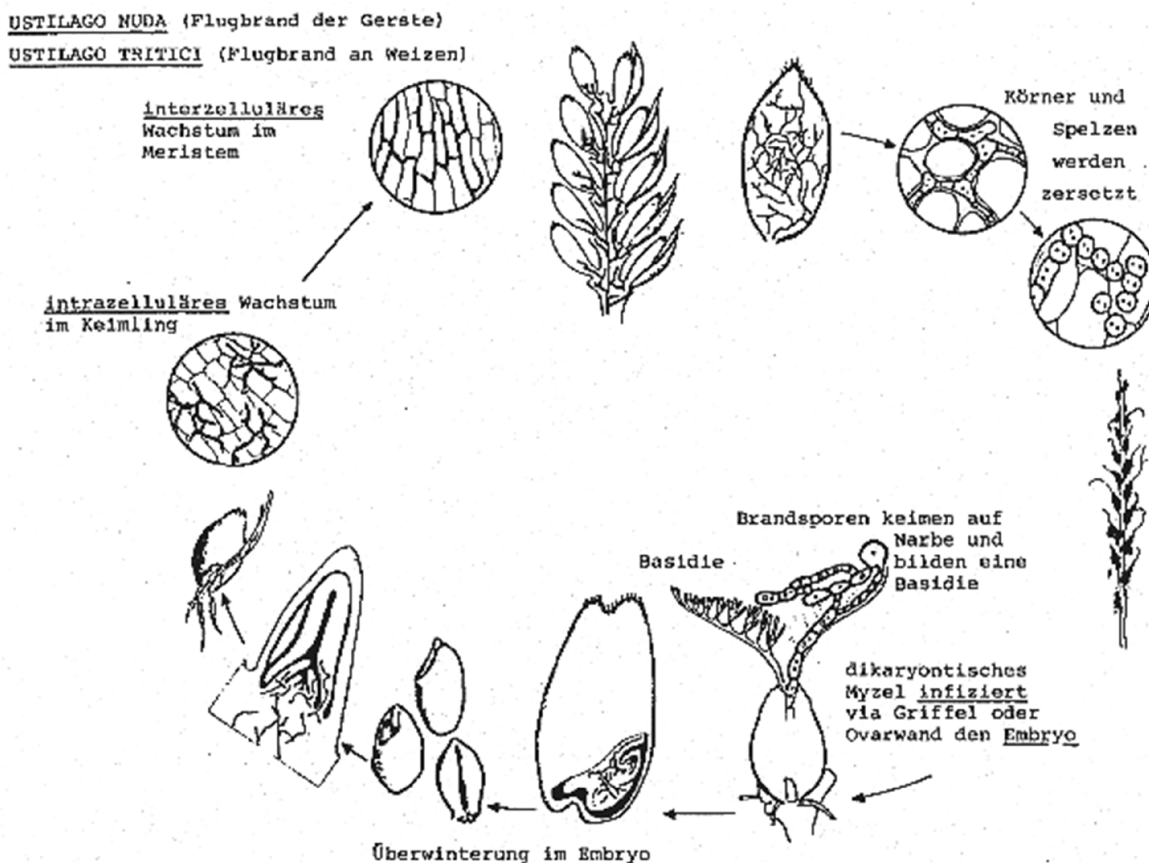
Ein weiterer Teilbereich des Projektes umfasst die Markeranalyse. Molekulare Marker sind kurze DNA – Abschnitte, deren Lage auf dem Chromosom bekannt ist. Sie werden in der Pflanzenzüchtung eingesetzt, um unter anderem ungewünschte bzw. gewünschte Eigenschaften zu identifizieren und damit den Züchtungsprozess zu beschleunigen.

Eine Selektion auf Zuchtstämme mit Resistenz gegenüber Flugbrand ist mit großem Aufwand verbunden. Für eine Selektion im Feld sind Versuche auf belasteten Flächen mit hohem Befallsdruck notwendig, um eine sichere Aussage treffen zu können. Der Gewächshaustest erfordert einen Zyklus von zwei Generationen, um den Erfolg der Infektion sicherzustellen. Daher wäre eine gezielte Selektion mit gekoppelten molekulargenetischen Markern das beste Werkzeug für die Züchtung resistenter Sorten, insbesondere gegen Flugbrand.

Die bekannte Resistenz gegenüber Flugbrand bei Gerste beruht auf einem genetischen Faktor, der bereits bei der Entwicklung des Embryos zum Tragen kommt. Gut charakterisiert ist das Resistenzgen *Un8*, für das auch molekulare Marker publiziert sind, die bereits im Genomanalyselabor der LfL etabliert sind. Das Resistenzgen *Un6*, das z. B. in der verbreiteten Sommergerstensorte Steffi wirksam ist, wurde bislang noch nicht genetisch erfasst. Im Zuchtmaterial der konventionellen Züchter ist Resistenz gegen Flugbrand genauso wenig vertreten wie im Zuchtmaterial der LfL. Auch im eu-

ropäischen Sortenspektrum existieren nur wenige Sommergerstensorten mit guter Toleranz und gleichzeitig guter Malzqualität, die den Ansprüchen der Erzeuger und Verarbeiter im Öko-Bereich gerecht werden. Einige Resistenzdonoren könnten mehrere Gene besitzen, die eine Toleranz gegen Flugbrand bewirken. Diese sind bislang noch nicht näher charakterisiert worden. Zur Identifikation von molekularen Markern für die Selektion auf Flugbrandresistenz müssen sowohl der Phänotyp als auch der Genotyp einer Linie untersucht werden, um anschließend genetische Karten zu erstellen. Im Rahmen eines früheren Projekts, ebenfalls zum Thema „Sommergerste für den ökologischen Anbau“, stellte sich heraus, dass die Sorte „Steffi“ das Resistenzgen *Un6* enthält und dass auf Chromosom 6H und 3H Regionen mit großem Einfluss auf die Toleranz gegen Flugbrand zu finden sind. Auf diesen Ergebnissen konnte weiter aufgebaut werden. Zur Entwicklung des Markers wurde im Berichtszeitraum eine DH-Population phänotypisch und genotypisch charakterisiert.

#### 4.2.1 Krankheitsverlauf von *Ustilago nuda*



**Abbildung 13:** Infektionszyklus vom Flugbrand der Gerste (*Ustilago nuda*)

Die Latenzzeit von *Ustilago nuda* wird innerhalb von zwei Anbauzyklen erreicht. Der Ausbruch der Krankheit beginnt mit der Keimung eines zuvor infizierten Kornes. Im darauffolgenden Anbau wird der Pilz, der im Embryo des Gerstensamens eingewachsen ist, aktiviert.



Während des Wachstums der Gerstenpflanze verteilt sich das Pilzmycel unauffällig in der Pflanze, wächst interzellulär hinter dem Vegetationspunkt her und wird mit der Internodienstreckung aufwärts getragen. Zum Zeitpunkt des Ährenschiebens tritt die sogenannte „Brandähre“ auf, in der anstelle der Blüte eine schwarz - braune Sporenmass sichtbar ist. Die Brandsporen werden zum Zeitpunkt der Blüte mit dem Verbreitungsvektor Wind an gesunde Ähren getragen. Gelangen die Sporen auf eine Blüte, so keimen diese auf dem Fruchtknoten aus. Dort keimen die sog. Basidiosporen und bilden je ein Basidium. Durch Kopulation von haploiden Basidiosporen wird ein dikaryotisches Mycel gebildet, das wiederum den Embryo bei Kornentwicklung infizieren kann. Es entsteht ein ausdauerndes Ruhemycel, dessen Wachstum erst wieder mit der Auskeimung des Kornes beginnt. Das Mycel überwintert so im ausgebildeten Korn. Nach der Aussaat wird das Mycel wieder aktiv, dringt - wenn möglich - in die Ährenanlagen vor und zerstört sie => Brandähre.

#### **4.2.2 Etablierung des Flugbrand - Infektionsversuchs im Gewächshaus**

Die Phänotypisierung wurde im Gewächshaus an der LfL durchgeführt. Die Herstellung der Sporensuspension und die Durchführung des Versuchs orientieren sich an der von POEHLMAN (1945) beschriebenen Methode der Einzelähreninfektion.

Da sich zu Beginn des Projektes die künstliche Infektion mit Flugbrand mit einem geringen Infektionserfolg als schwierig erwies, wurde entschieden, Vorversuche zur Optimierung der Infektion durchzuführen. Jedoch führte keiner der Versuche zu einem erwünschten Ergebnis.

Zur Untersuchung der Bedeutsamkeit von Luftfeuchtigkeit und Temperatur während bzw. wenige Wochen nach der Infektion wurden anfällige Sorten jeweils im Gewächshaus sowie unter kontrollierten Bedingungen wie Luftfeuchte, Temperatur und Belichtung in einer Klimakammer infiziert. Zum Zeitpunkt der Blüte scheint die Infektion am erfolgreichsten zu sein. An beiden Versuchsorten wurde versucht, die Temperatur bei etwa 20-25 °C und die Luftfeuchtigkeit um 80-90 % zu etablieren. Im Gewächshaus wurde die Luftfeuchtigkeit mittels Luftbefeuchter simuliert. Leider ist die optimale Klimaführung im Gewächshaus aufgrund äußerer Witterungseinflüsse (Sommer vs. Winter) schwierig einzuhalten. In der Klimakammer jedoch waren die Optimalbedingungen nach der Infektion über drei Wochen konstant gegeben.

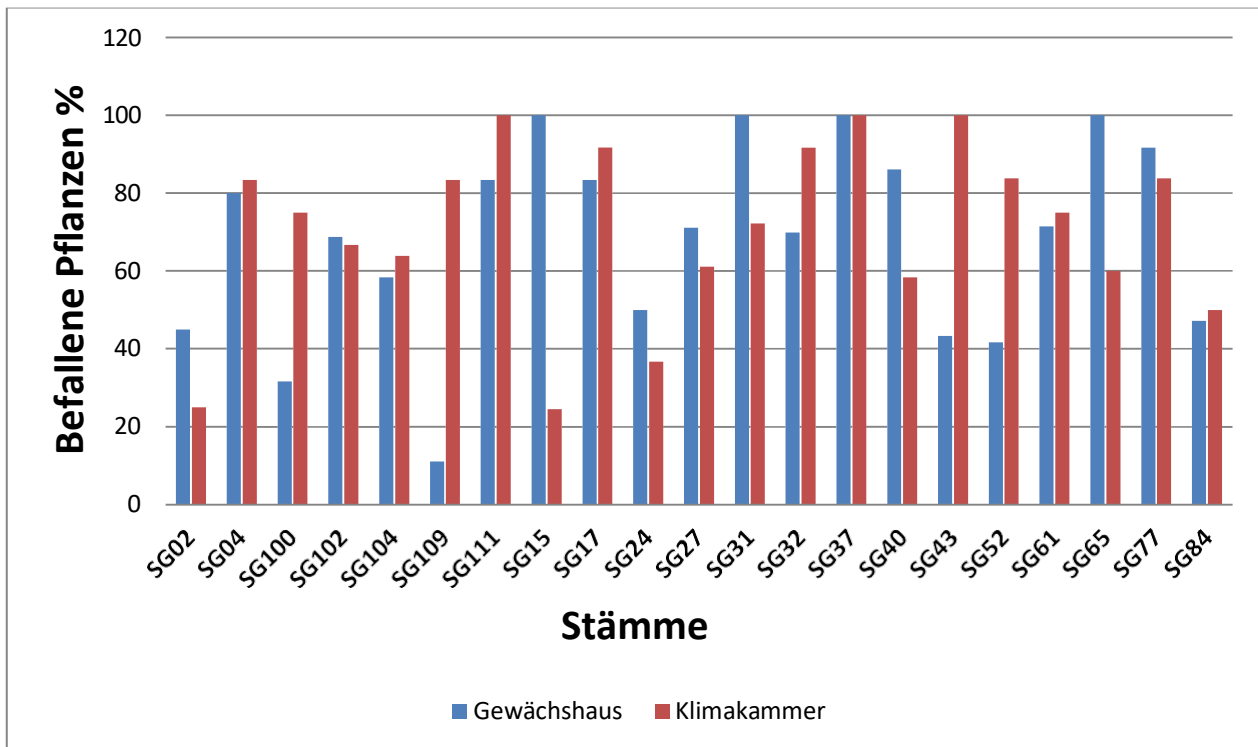


**Abbildung 14:** Infektion unter kontrollierten Bedingungen in einer Klimakammer der LfL



**Abbildung 15:** Infektion mit Hilfe eines Luftbefeuchters im Gewächshaus der LfL

Das Befallsergebnis zwischen Klimmakammer- und Gewächshausversuch zeigt Abbildung 16. In diesem Versuch befanden sich die selben Genotypen während der Infektion jeweils im Gewächshaus mit Luftbefeuchter sowie in einer Klimakammer unter kontrollierten Bedingungen.



**Abbildung16:** Boniturdaten Infektionsoptimierung Pro Zuchtstamm/Sorte 3 Wiederholungen

Die Abbildung zeigt die Ergebnisse der Infektionsoptimierung. Im Gewächshausversuch zeigten 66% der Pflanzen Brandähren und im Klimakammerversuch 63 %. Es konnte kaum ein Unterschied des Infektionserfolgs festgestellt werden. Demnach ist es ausreichend, die Pflanzen im Gewächshaus mit entsprechender Temperatur und hoher Luftfeuchte zu infizieren. Dabei ist es wichtig, den Infektionszeitpunkt nicht direkt innerhalb einer längeren Hitzeperiode zu setzen.

#### 4.2.3 Künstliche Flugbrandinfektion nach POEHLMANN (1945)

Um die Toleranz einer Sorte gegenüber Flugbrand (*Ustilago Nuda*) zu verbessern, wurde eine DH (doppel haploide) – Population aus Steffi (resistent) \* Grace (anfällig) erstellt, zwei Sorten, die im ökologischen Landbau von Bedeutung sind. Im bisherigen Projektverlauf wurde die Flugbrandpopulation, bestehend aus 137 Kandidaten, im Gewächshaus mit Flugbrandsporen infiziert. Die Infektion wurde in einer Glashaus-Mittelkoje an der LfL durchgeführt. Die Herstellung der Sporensuspension und die Durchführung des Versuchs orientieren sich an der von POEHLMANN (1945) beschriebenen Methode der Einzelähreninfektion. Der Resistenztest erfolgt in zwei Schritten. Zuerst werden Ähren der Pflanzen infiziert. In der nächsten Generation werden die infizierten Körner nochmals ausgesät und nach befallenen Pflanzen bonitiert.

Die Infektion selbst erfolgt zum Zeitpunkt der Gerstenblüte EC 59-62, wenn die Antheren grün bis gelblich - grün sind. Abbildung 18 zeigt ein optimales Infektionsstadium des Embryos. Sobald das

Korn gebildet wird, ist es zu spät, da die Spore nicht mehr in den Embryo einwachsen kann. Wichtig dabei ist, jede Pflanze frühzeitig zu prüfen, da besonders bei der Sommergerste die Bestäubung des Embryos zum Teil schon während des Ährenschiebens im Halm abgeschlossen sein kann. Anschließend wurde eine Sporensuspension mit Flugbrandsporen aus dem Vorjahr angesetzt und mit Hilfe einer Spritze in die Blüte injiziert ohne den Embryo zu verletzen. Kleine Ährchen an Spitze und Ende der Ähre wurden entfernt. Regelmäßiges Rühren der Sporenlösung verhindert ein Absetzen der gelösten Flugbrandsporen. Regelmäßige Kontrolle der relativ hohen Luftfeuchtigkeit von 80 – 90 % fördert die Entwicklung des Mycels bzw. den Erfolg der Infektion. Abbildung 17 und 18 veranschaulichen die Infektion nach Poehlmann (1945).



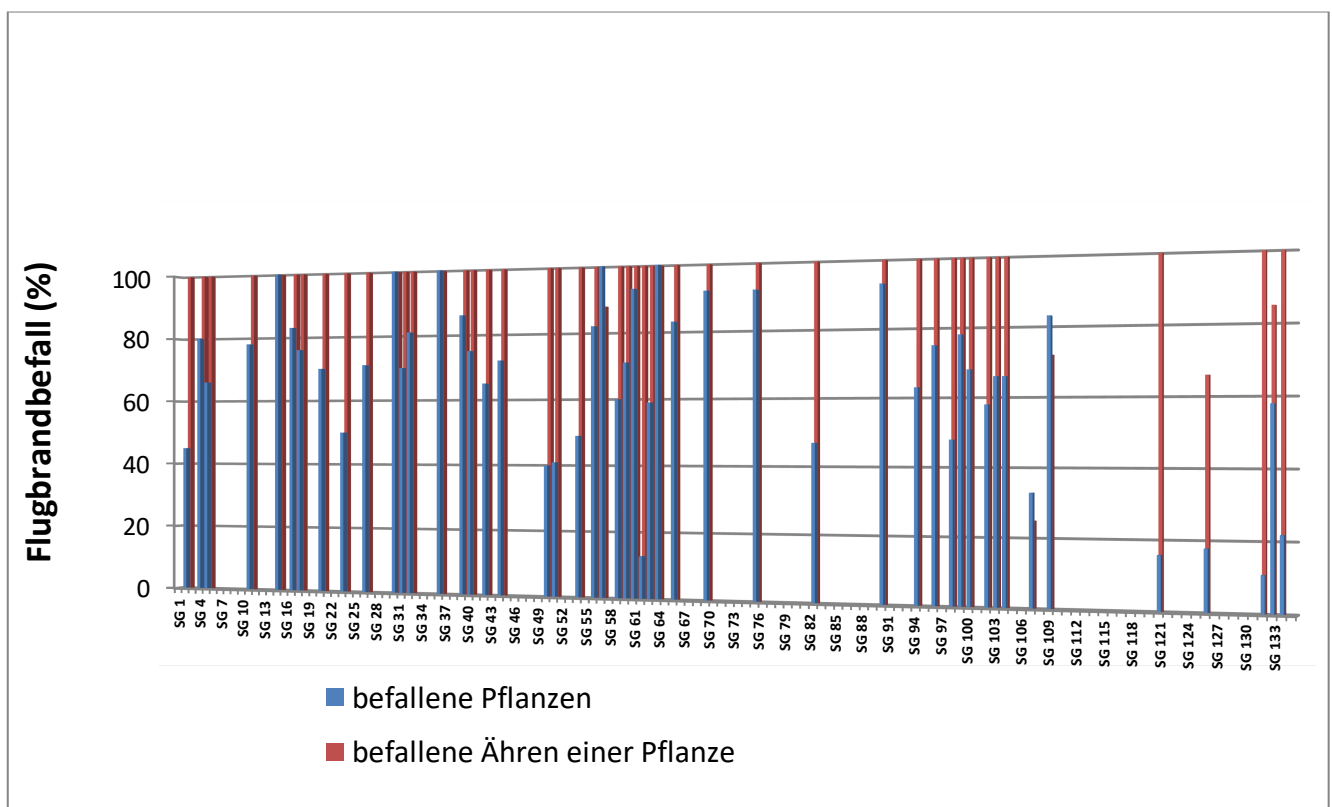
**Abbildung 17:** Künstliche Infektion einer Gerstenblüte mit Hilfe einer Spritze



**Abbildung 18:** Blüte in einem für die Infektion empfänglichen Stadium

#### 4.2.4 Boniturergebnis der Flugbrandinfektion im Gewächshaus 2018

Der Infektionsversuch im Gewächshaus 2018 entsprach in etwa den Befallserwartungen einer DH – Population von ca. 50% anfällig / 50% resistent. Abbildung 19 zeigt den Flugbrandbefall in %. Im Topfversuch wurden pro Topf (Genotyp) 5 zuvor infizierte Körner eingelegt. Die Farbe blau kennzeichnet den prozentualen Anteil an befallenen Pflanzen eines Genotyps/Topf. Die Farbe rot entspricht dem prozentualen Anteil an befallenen Ähren einer Pflanze. Das Sortiment aus 137 Kandidaten besteht aus 114 Nachkommen (DH 's) der Kreuzung sowie den Eltern Steffi und Grace und anderen Referenzstämmen bzw. -sorten.



**Abbildung 19:** Boniturergebnisse der künstlichen Flugbrandinfektion im Glashaus

Das Ergebnis der Flugbrandbonitur zeigt Schwankungen im Hinblick auf die Befallsverteilung. Das Pilzmycel, ausgehend von einem infizierten Gerstenkorn, befällt unabhängig bestimmte Ähren bzw. Pflanzen und bildet dort Brandsporen aus. Von insgesamt 137 Kandidaten zeigten 49 einen Befall

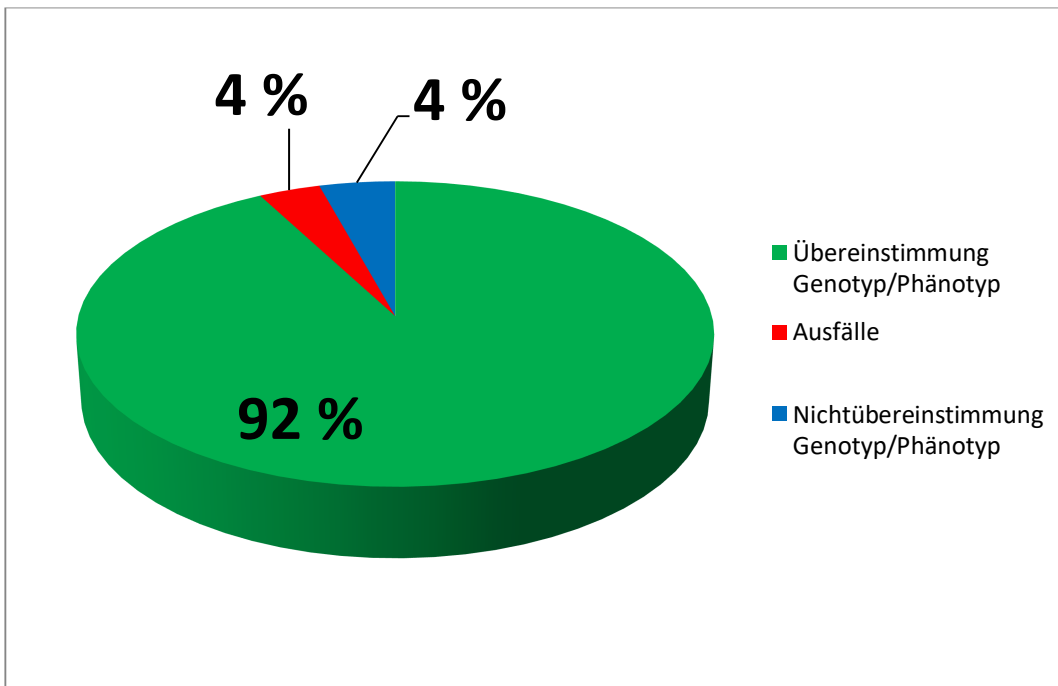
durch Brandähren. Davon wurden 43 Pflanzen zu 100% befallen, vom Rest der befallenen Pflanzen sind mind. 50 % der Ähren einer Pflanze von Brandbutten der Pilzkrankheit befallen.

Von insgesamt 114 doppel - haploiden Nachkommen der Kreuzung (Steffi x Grace) zeigten im Jahr 2018 47 Genotypen einen Befall von *Ustilago nuda*.

#### **4.2.5 Verrechnung der phänotypischen- und genotypischen Daten**

Da die Lokalisierung von *Un6* im Genom der Gerste unbekannt ist, wurden im ersten Schritt SSR-Marker verteilt über alle sieben Chromosomen des Gerstengenoms auf Polymorphie zwischen den beiden Eltern Steffi und Grace getestet. Die polymorphen Marker wurden dann in insgesamt 114 Nachkommen der DH Steffi x Grace untersucht. Erste Analysen im Rahmen eines Vorgängerprojektes zeigten eine Kopplung der Resistenz mit Markern auf Chromosom 3H oder 6H; daher wurden im weiteren gezielt Marker auf diesen beiden Chromosomen getestet. Insgesamt wurden 80 SSR-Marker auf Polymorphie getestet, je 26 auf 3H und 6H. Davon konnten 29 Marker - je 7 auf 3H und 6H - auf die Population getestet werden und 24 Marker und Phänotyp mit JoinMap zu einer Karte verrechnet werden. Der engste Marker zur Resistenz ist Ebmac0541 auf Chromosomenabschnitt 3HL.

Im nächsten Schritt wird außerhalb der Projektlaufzeit das Intervall um den Marker Ebmac0541 mit weiteren SSR-Markern angereichert. Sobald das Intervall kleiner ist, kann auf SNP-Marker in der Region zurückgegriffen werden. Abbildung 18 veranschaulicht das Ergebnis der Verrechnung mit JoinMap zu einer genetischen Karte. Die Graphik zeigt den prozentualen Anteil an Übereinstimmungen sowie Nichtübereinstimmungen der genetischen Sequenz zwischen dem Marker Ebmac0541 und der phänotypischen Auswertung.



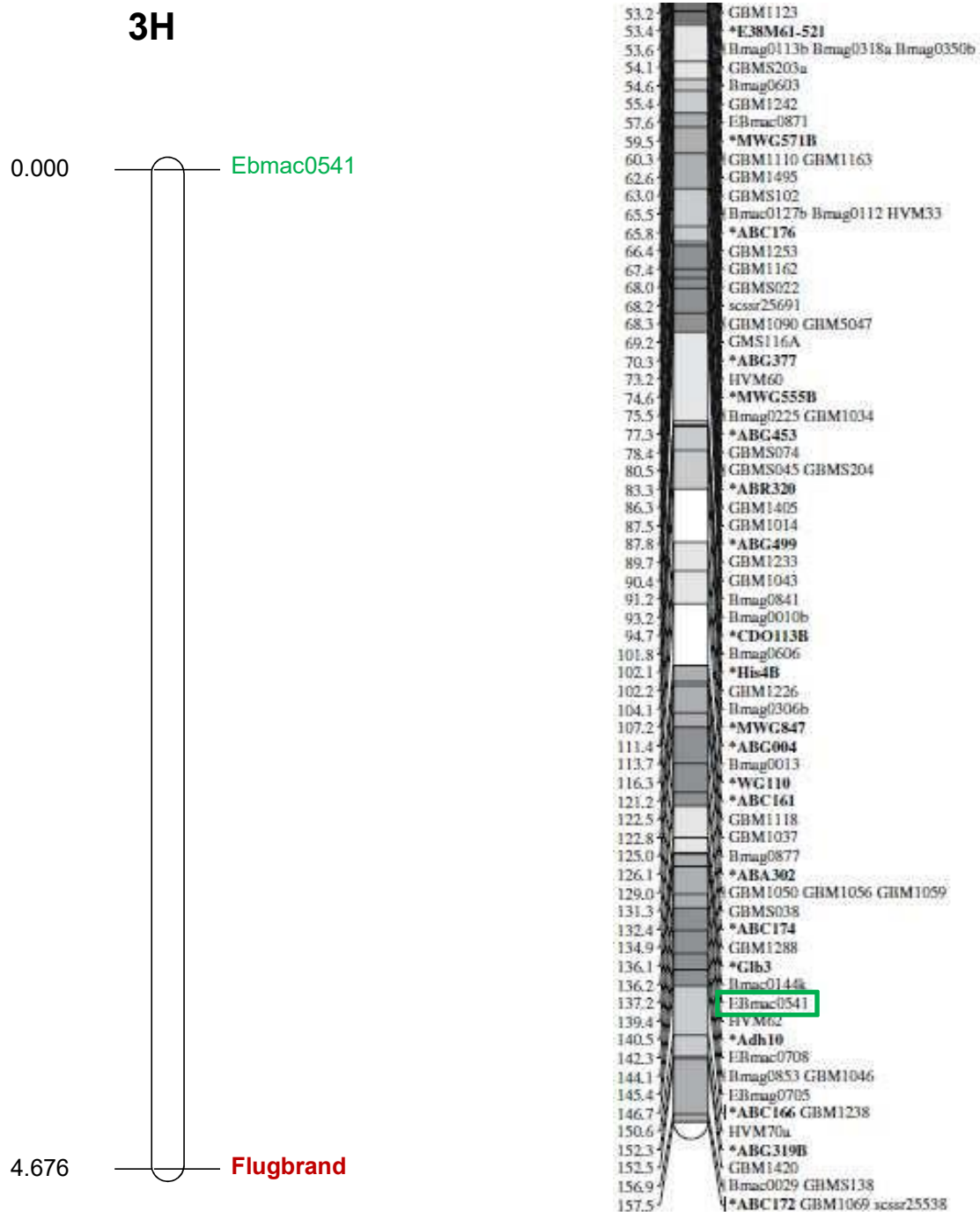
**Abbildung 20:** Auswertung der phänotypischen Boniturdaten und genotypischen Markerdaten von Ebmac0541

Grün kennzeichnet den prozentualen Anteil der Übereinstimmungen der Daten zwischen Phänotyp und Genotyp

Blau kennzeichnet den prozentualen Anteil an Nichtübereinstimmungen der Daten

Rot kennzeichnet den prozentualen Anteil der Ausfälle im Laufe der Untersuchung.

Die Auswertung zeigt 92% Übereinstimmung der phänotypischen Boniturdaten und der genetischen Sequenz von molekularen Marker Ebmac0541. Der restliche Anteil ergibt sich aus jeweils 4 % Ausfällen im Laufe der Untersuchung und Nichtübereinstimmung der Daten. Insgesamt ergab sich eine Rekombinationsrate von 4,6% bzw. ein Abstand zwischen Marker und Flugbrandresistenzgen *Un6* von 4,6 Morgan. Den Abstand zum Flugbrandresistenzgen *Un6* sowie die Lage auf dem unteren Chromosomenabschnitt von 3H zeigt die Abbildung 19.



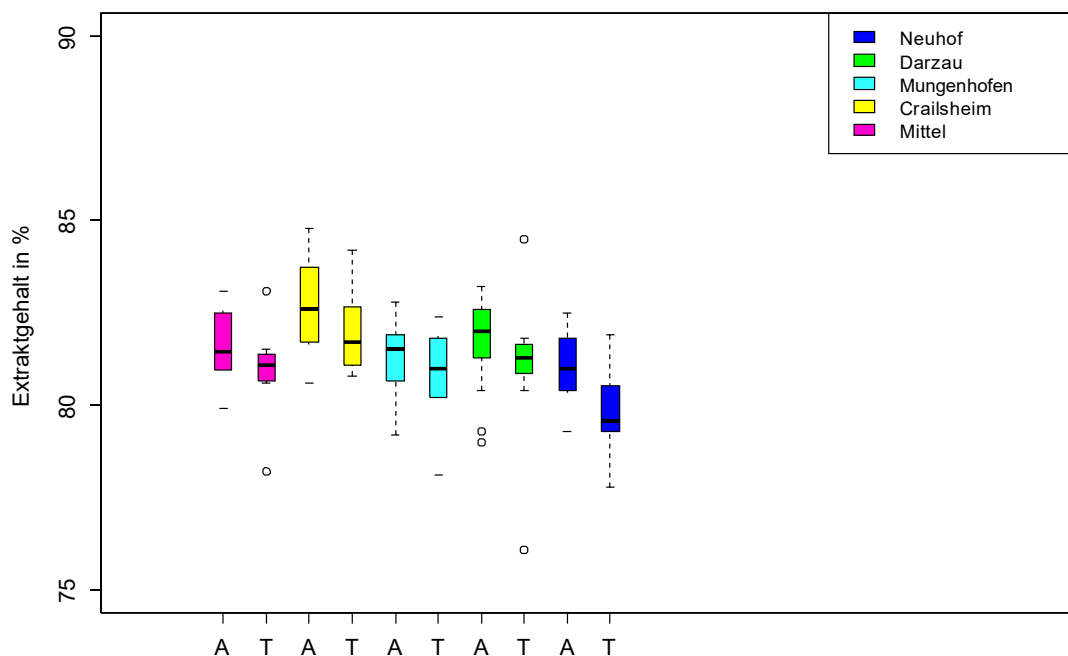
**Abbildung 21:** Darstellung der Lage des Molekularen Markers Ebmac0541 auf dem Chromosom Die Farbe „grün“ kennzeichnet den molekularen Marker Ebmac0541

Der Marker mit einer derzeit engsten Verbindung zum Resistenzgen *Un6* liegt auf Chromosomenabschnitt 3H in der Nähe des „unteren“ Telomers.



### 4.3 Validierung molekularer Marker

Im Projektzeitraum wurden verschiedene Marker, die im Zusammenhang mit verschiedenen Brauqualitätseigenschaften und phänotypischen Merkmalen der Sommergerste stehen, validiert. Es konnten einige Marker mit bedeutenden Effekten für verschiedene Merkmale anhand ausgewählter Zuchtstämme entsprechend den Feldversuchen bestätigt werden. Dabei gab es Marker, die lediglich auf ein einzelnes Merkmal einen Effekt hatten und solche, die gleichzeitig mehrere Merkmale in die gewünschte Richtung beeinflussten. Als Beispiel wurden die phänotypischen und genotypischen Daten des Malzparameters „Extraktgehalt“ mit Hilfe eines Statistikprogramms verrechnet und in einer Grafik veranschaulicht. (siehe Abbildung 22)

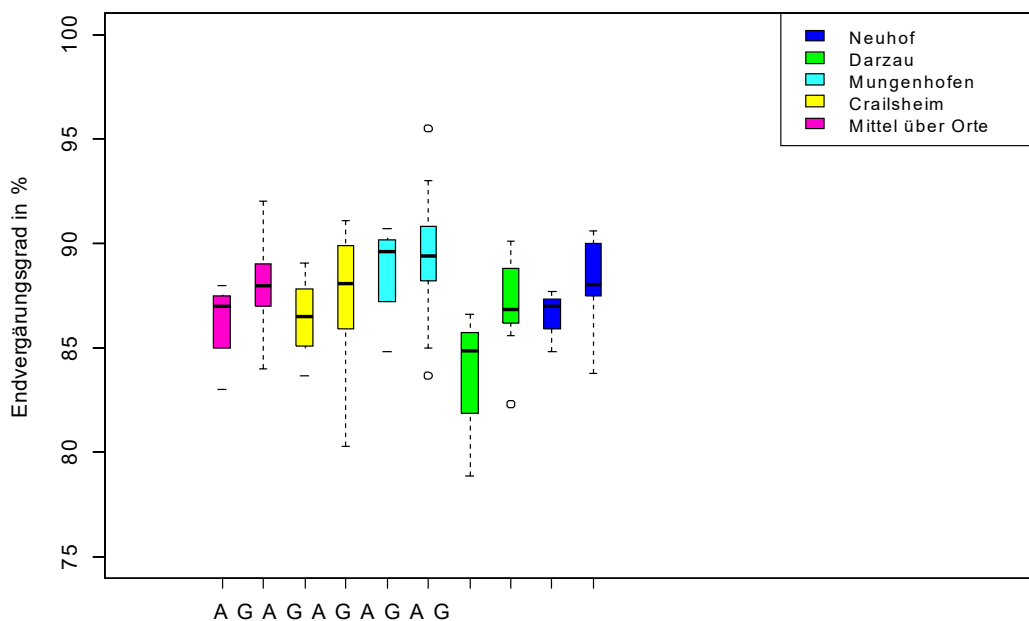


**Abbildung 22:** Boxplot-Verteilung der Malzqualität Extraktgehalt (Ex2 SNP1 F/RT).

Die Boxplots sind aufgeteilt nach den verschiedenen Standorten Neuhof (blau), Darzau (grün), Mungenhofen (türkis), Crailsheim (gelb) und der Mittelwert aller Standorte (rosa).

„A“= Nukleinbase Adenin ; „T“= Nukleinbase Thymin

Die Grafik zur Darstellung des Extraktgehalts mit Hilfe von genotypischen- und phänotypischen Daten zeigt die Validierung des Markers Ex2 SNP1 F/RT. Der Extraktgehalt beschreibt die Summe aller Bestandteile die beim Maischen in Lösung gegangen sind, ausgedrückt in %. Je höher der Extraktgehalt, desto mehr Zucker kann vergoren werden. Alle Genotypen mit der Nukleinbase Adenin („A“) enthalten die Gensequenz des gewünschten Markers. Genotypen mit phänotypisch höherem Extraktgehalt besitzen die Gensequenz („A“) des gewünschten Markers (Ex2 SNP1 F/RT), somit kann die Validierung im Hinblick zum Extraktgehalt bestätigt werden.



**Abbildung 23:** Boxplot-Verteilung der Malzqualität Endvergärungsgrad

Die Boxplots sind aufgeteilt nach den verschiedenen Standorten NeuhoF (blau), Darzau (grün), Mungenhofen (türkis), Crailsheim (gelb) und der Mittelwert aller Standorte (rosa).

„A“= Nukleinbase Adenin; „G“= Nukleinbase Guanin

Die Grafik zur Darstellung des Endvergärungsgrad mit Hilfe von genotypischen- und phänotypischen Daten zeigt ebenfalls die Validierung des Markers GM 125. Der Endvergärungsgrad beschreibt den Anteil an vergärbarem Extrakt (Zucker), ausgedrückt in % des Gesamtextraktes der Würze. Je höher der Endvergärungsgrad, desto mehr Zucker kann vergoren werden. Alle Genotypen mit der Nukleinbase Guanin („G“) enthalten die Gensequenz des gewünschten Markers. Genotypen mit phänotypisch höherem Endvergärungsgrad besitzen die Gensequenz („G“) des gewünschten Markers (GM 125), somit kann die Validierung im Hinblick zum Endvergärungsgrad bestätigt werden.

## 5 Vernetzungen

Partner zum Projekt „Braugerste für den ökologischen Landbau mit verbesserter Resistenz gegen samenübertragbare Krankheiten“ war die Getreidezüchtungsforschung Darzau unter der Leitung von Herrn Dr. Karl – Josef Müller in Neu Darchau sowie Neumarkter Lammsbräu Gebr. Ehrnsperger KG unter der Geschäftsführung von Johannes Ehrnsperger (ab 2018) und Susanne Horn (2008 – 2018).

Weitere Kooperationspartner innerhalb der LfL waren die Arbeitsgruppe Genomanalyse von Dr. Günther Schweizer und Dr. Bianca Büttner, wo die molekulargenetischen Arbeiten für das Projekt durchgeführt wurden, die Abteilung für Qualitätssicherung und Untersuchungswesen AQU 2 unter der Leitung von Dr. Sabine Mikolajewski zur Untersuchung der Malzqualität am Zuchtmaterial sowie die Abteilung Mykologie der Arbeitsgruppe IPS 2a unter der Leitung von Dr. Peter Büttner zur Auswertung und Vorbereitung der Infektionsquellen für den Fusarium – Feldversuch.

Außerdem gab es eine enge Zusammenarbeit mit der LfL -Versuchsstation Neuhof und dem Versuchswesen „Ostbayern“ unter der Leitung von Wolfgang Viehbacher.

## 6 Zusammenfassung

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 gezüchtet. In den Jahren 2015, 2016, 2017 und 2018 wurde das ökologische Braugerstensortiment, bestehend aus jährlich rund 40 verschiedenen Stämmen, im Parzellenmaßstab an fünf verschiedenen Standorten innerhalb Deutschlands angebaut und hinsichtlich seiner agronomischen Merkmale, Resistenzen, Ergebnisse der Markeruntersuchungen und Qualitätsmerkmale selektiert. Desweiteren wurden ausgewählte Stämme mit einer Auswahl an genetischen Markern mit Relevanz für Malzqualität analysiert und bestehende Marker etabliert. Ausgewählte Zuchtstämme wurden in Freising entsprechend den Feldversuchen in zwei Wiederholungen in Doppelreihen angebaut und mit *Fusarium*sporen infiziert. Die Befallsergebnisse wurden zur Selektion für den darauffolgenden Anbau genutzt. Im Rahmen des Projekts wurde die erste ökologisch gezüchtete Braugerste „Odilia“ gezüchtet. Nachteil der Sorte ist neben einer mehr oder weniger starken Neigung zu Lager- bzw. Halmknicken eine unterdurchschnittliche Ertragsleistung einer im Braugerstenbereich üblichen Sortierung über 2,5 mm. Als Vorteile, besonders für die ökologische Landwirtschaft, bietet die Sorte eine besonders gute Unkrautunterdrückung durch einen guten Bodenbedeckungsgrad, schnelle Massebildung sowie die lange Wuchshöhe bei guten Malzqualitätseigenschaften. Ein weiterer Stamm mit dem Namen „Tolstefix“ steht derzeit in der Wertprüfung. Die Ergebnisse belegen in ihrer Gesamtheit, dass durch klassische Züchtungsarbeit in Verbindung mit der marker-gestützten Selektion erfolgreiche Prototypen entwickelt werden können.

Ein weiterer Aufgabenpunkt war neben der Verwendung und Testung bereits etablierter Marker auch die Entwicklung neuer Marker, gerade im Hinblick auf die samenbürtige Krankheit Flugbrand. Hierzu wurde eine DH – Population aus Steffi (resistent) x Grace (anfällig) erstellt und künstlich (im Gewächshaus der LfL) mit einer Sporensuspension in die Blüte der Gerstenpflanzen injiziert. Erste Erkenntnisse aus einem Vorgängerprojekt der Gerstenabteilung haben gezeigt, dass verschiedene genetische Ursachen für Flugbrandtoleranz existieren und diese auch mit Markern zu erfassen sind. Daher wurde zur weiteren Eingrenzung des wirksamen Resistenzgens *Un6* aus der Sorte Steffi die DH- Population phänotypisch und genotypisch charakterisiert. Hierbei zeigten sich mit Hilfe des SSR – Markers Ebmac0541 Hinweise auf die Lokalisierung der Resistenz auf Chromosom 3H i in der Nähe des „unteren“ Telomers.

Die aus dem Projekt erzielten Ergebnisse liefern interessante und wichtige Beiträge im Hinblick auf die Sortenentwicklung ökologisch angepasster krankheitsresistenter Sorten, da zu erwarten ist, dass resistente Sorten unter strengeren Voraussetzungen zum Pflanzenschutz, insbesondere im Hinblick auf Saatgutbeizung, in Zukunft auch im konventionellen Anbau eine Rolle spielen werden.

Die Weiterführung der Feldversuche ab 2019 , unter anderem am neuen Versuchsstandort der LfL in Ruhstorf, wird weitere Erkenntnisse im Bereich ökologisch gezüchteter Braugerste bringen.

Auch die Entwicklung von Selektionsmarkern für Flugbrand wird die Züchtung unterstützen, gezielt und effizient auf eine bessere Toleranz gegenüber den samenbürtigen Krankheiten- insbesondere Flugbrand - selektieren zu können. Dazu werden, aufbauend auf den Ergebnissen des Projekts, weitere SSR – Marker in der Region von *Un6* (Ebmac0541) auf Polymorphie getestet, um den Bereich für das Resistenzgen einzugrenzen. Eine Auswertung mit Hilfe eines Datenchips kann dabei sehr hilfreich sein. Anschließend kann auf SNP – Marker in der Region zurückgegriffen werden.

# Abkürzungsverzeichnis

**DH** Doppelhaploide

**DNA** Desoxyribonukleinsäure

**Un6** Ustilago nuda 6n (Marker)

**Un8** Ustilago nuda 8 (Marker)

**LfL** Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

**IPZ** Insitut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

**IPS** Institut für Pflanzenschutz

**LS means** Least-squares means

**SNP** Single Nucleotide Polymorphism

**SSR** Simple Sequence Repeat

**TKG** Tausendkorngewicht

**F5** 5. Filialgeneration

**AQU** Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen

**EC** Entwicklungsstadium

**Lösl. N** löslicher Stickstoff

**FAN** freier Amino – Stickstoff

**ELG** Eiweißlösungsgrad

**HL – Gewicht** Hektolitergewicht

Freising, 29.03.2019

---

Dr. Markus Herz

Projektleiter