

Variabilität und Beziehungen von Samendormanz, Auswuchs und Fallzahl in einem Sortiment europäischer Winterweizen

Variability and relationship of seed dormancy, pre-harvest sprouting and falling number in European winter wheat cultivars

Michael Oberforster^{1*}, Andreas Ratzenböck¹, Manfred Werteker¹,
Anton Neumayer², Elisabeth Zechner³ und Lorenz Hartl⁴

Abstract

The premature enrichment of α -amylases in kernels as a consequence of humid weather during the stage of maturity leads to partial degradation of starch, low falling numbers and pre-harvest sprouting (PHS), resulting in serious economic losses. In the years 2010 and 2011, about 124 cultivars and breeding lines of winter wheat from Germany, Austria and Great Britain were tested on three Austrian locations. The following characteristics were analyzed: dormancy (germination index), germination of intact spikes in a moisture chamber, visual PHS on the field, and falling number. The above mentioned parameters showed a significant genotypic variation. Heritability was consistently high, i.e. 0.81 for the germination index, 0.84 for sprouting in a moisture chamber, 0.91 for the percentage of pre-harvest sprouting in the field, and 0.86 for falling number. However, the intervarietal relation of two germination indexes to visible sprouting under field conditions was weak ($r=0.44^{**}$ and 0.51^{**}). In addition, artificial sprouting in the moisture chamber was not sufficient as a single selection parameter in breeding for sprouting resistance ($r=0.56^{**}$). The most reliable parameters were the differences in the falling numbers from different locations during unfavourable weather conditions. The coefficient of determination between falling number and visible sprouting varied for different trials in the range $R^2=0.74-0.92$.

Keywords

Dormancy, falling number, germination index, pre-harvest sprouting, *Triticum aestivum*

Einleitung

Unter Auswuchs im eigentlichen Sinne (PHS, *pre-harvest sprouting*) versteht man die Keimung physiologisch reifer Körner auf der Ähre noch vor der Ernte. Feuchte Witterung in Verbindung mit geringer Samendormanz sind die Haupt-

gründe dafür. In Österreich gab es im letzten Dezennium mehrmals großflächige Auswuchsschäden und niedrige Fallzahlen. Im Jahr 2005 lag die Fallzahl von 34% und 2008 von 54% des vermarkteten Weizens unter dem Grenzwert von 220 s (SCHÖGGL und KUMMER 2005, KUMMER 2008).

Bei der *pre-maturity- α* -Amylase-Aktivität (PMAA) sind physiologische Änderungen im Korn nicht mit sichtbarem Auswuchs verknüpft. Bei dieser Form wird zwischen früher Teig- und Totreife infolge der Anreicherung von α -Amylase die Stärke teilweise gespalten, was zu verminderten Fallzahlen führt. In Mitteleuropa ist der Auswuchs ökonomisch wesentlich bedeutsamer als die PMAA, da die Mehrzahl der Zuchtstämme mit diesem Defekt nicht zur Zulassung gelangt. Weitere verwandte Mechanismen sind die Keimung unreifer Körner auf der Mutterpflanze (Viviparie oder *pre-maturity sprouting*, PrMS) und die *retained pericarp- α* -Amylase-Aktivität oder RPAA (LUNN et al. 2001, TJIN WONG JOE et al. 2005, MARES und MRVA 2008).

Im Zentrum der nachfolgenden Ausführungen steht der sichtbare Auswuchs (PHS) sowie die damit verbundenen Merkmale. Die wahrscheinlich bei einigen Sorten aufgetretene PMAA wurde von diesen überlagert.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial und Umwelten

In den Jahren 2009/10 und 2010/11 wurden an drei Orten Versuche mit Winterweizen durchgeführt. Es sind dies die Standorte Fuchsenbigl (147 m Seehöhe, Bezirk Gänserndorf), Reichersberg (350 m Seehöhe, Bezirk Ried im Innkreis) und Zwettl (540 m Seehöhe, Bezirk Zwettl). Die Parzellengröße betrug 2,5 m² (Fuchsenbigl), 1,6 bzw. 4,0 m² (Reichersberg) und 3,6 m² (Zwettl). Bei den 124 Genotypen handelt es sich um aktuelle oder ehemals registrierte Sorten unterschiedlichster Backqualität aus Deutschland, Österreich und Großbritannien. Im Sortiment sind einige wenige deutsche und österreichische Zuchtlinien inkludiert. Die Genotypen wurden in zwei Reifegruppen gegliedert und

¹ Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Spargelfeldstraße 191, A-1220 WIEN

² Saatucht Donau GesmbH & CoKG, A-4981 REICHERSBERG 86

³ Saatucht Edelfhof, Edelfhof 1, A-3910 ZWETTL

⁴ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 8, D-85350 FREISING

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



zweifach wiederholt angebaut. Batis, Cubus, JB Asano und Türkis befanden sich sowohl in der frühen als auch in der späten Gruppe (insgesamt 128 Prüfglieder).

Keimungsindex (Dormanz)

Als sich die meisten Genotypen im Stadium der Vollreife (BBCH 89) befanden, wurden von jeder Parzelle etwa 30 Weizenähren entnommen und Kornproben manuell oder mittels Ährendrescher erstellt. Im Jahr 2010 wurden die beiden Sortimente im Abstand von mehreren Tagen beprobt; Reifedifferenzen innerhalb der Gruppen blieben unberücksichtigt. Im Jahr 2011 erfolgte die Probenahme der Sortimente zeitgleich. Die Körner kamen binnen weniger Tage zur Keimanalyse oder lagerten bis zur Aufarbeitung bei -18°C. Nach MARES (1983) konserviert ein rasches Tiefgefrieren trockener Körner den zur Erntezeit vorliegenden Dormanzstatus. Von jeder Parzelle wurden 100 Körner in feuchte Faltenfilter gelegt und gemäß ISTA-Vorschriften ohne Licht und bei einer Temperatur von 20±2°C zum Keimen gebracht (ISTA 2012). Vier Tage nach dem Start des Experiments begann das Auszählen der gekeimten Körner und dauerte, sofern zuvor nicht sämtliche gekeimt hatten, bis zum 21. Tag.

In Anlehnung an WALKER-SIMMONS (1988) wurden gewichtete Keimungsindizes errechnet. Dies sind dimensionslose Zahlen, welche theoretisch zwischen 0 (d.h. kein einziges Korn keimt, absolute Dormanz) und 1,0 (d.h. sämtliche Körner keimen am ersten Tag) liegen. Die beiden Indizes sind lediglich durch die Bezugsbasis verschieden:

$$(a) \quad KIAL = \frac{\sum_{i=1-21} (22-i) \times GK_i}{21 \times ALKO}$$

$$(b) \quad KIGE = \frac{\sum_{i=1-21} (22-i) \times GK_i}{21 \times GEKO}$$

Dabei bedeutet GK_i die Anzahl der am Tag i nach Beginn des Experiments gekeimten Körner, ALKO die Anzahl Körner der Probe (d.h. 100) und GEKO die Summe der gekeimten Körner.

Auswuchs in der Feuchtkammer

Mit dem Erreichen der Vollreife (BBCH 89) wurden jeweils 8 bis 10 ährentragende Halme geschnitten. Wie beim Dormanztest erfolgte 2010 die Beprobung entsprechend der Reifegruppe bzw. im Jahr 2011 zeitgleich. In der verdunkelten Feuchtkammer waren die auf Gitterrosten platzierten Ähren einer konstanten Temperatur von 20±2°C sowie einer weitgehend wassergesättigten Atmosphäre ausgesetzt. Die erste Auswuchsbonitur erfolgte nach 5 bis 7 Tagen, eine weitere 2 bis 3 Tage später. Häufigkeit und Ausprägung sichtbarer Wurzel- und Blattkeime fließen dabei in eine Boniturnote ein. Die Note 1 bedeutet keinen, 5 einen mittleren und 9 einen sehr starken Auswuchs (BFL 2002).

Auswuchs am Feld

Am Standort Fuchsenbigl wurde Schlechtwetter durch eine mehrtägige, von Pausen unterbrochene Befeuchtung

mit Supernet-Sprinklern simuliert. Die Beregnung startete, als die Sorten überwiegend vollreif (BBCH 89) waren. In Reichersberg führte der natürliche Niederschlag in beiden Jahren zu teils gravierendem Auswuchs, am Standort Zwettl gab es nur 2010 schwache Symptome. In der Voll- bis Überreife (BBCH 89 bis 97) wurden parzellenweise 80 bis 100 Ähren zu einem (Zwettl 2010, Reichersberg 2010) oder zwei Terminen (Reichersberg 2011, Fuchsenbigl 2011) entnommen. Von der Prüfung Fuchsenbigl 2011 wurden die beiden Wiederholungen getrennt analysiert, ansonsten handelte es sich um Mischmuster. Davon wurden jeweils 30-35 g untersucht und der Anteil gekeimter Karyopsen in Gewichtsprozent dargestellt. Abweichend von der NORM EN 15587 (DIN 2008) erfolgte die Analyse mit zweifacher Lupenvergrößerung. Im Allgemeinen ist bei ausgewachsenen Körnern das Pericarp über dem Embryo durchbrochen und der Wurzel- oder Blattkeim sichtbar. Beim Ausdreschen der Ähren werden die Keimwurzeln jedoch oft abgetrennt. Körner mit deutlicher Anschwellung im Bereich des Embryos, bei denen sich die Fruchtschale noch nicht geöffnet hat, zählen zur Auswuchsfraction. Die Versuche Fuchsenbigl 2010 und Zwettl 2011 schieden wegen inhomogener Benetzung der Parzellen bzw. hoher, wenig differenzierender Fallzahlwerte aus.

Fallzahl

Die Probenahme entspricht jener für die Ermittlung der Auswuchsprozente. Die Bestimmung der Fallzahl (HAGBERG 1960) erfolgte gemäß ICC Standard Methode Nr. 107/1 (ICC 2011). Allerdings wurde die Vermahlungsmenge anders als vorgeschrieben auf 100 g beschränkt. Für die Vermahlung der Proben wurde eine Schlagkreuzmühle Typ 3100 verwendet.

Statistische Auswertung

Von den Keimungsindizes und der Keimfähigkeit liegen Ergebnisse für 6 Versuche und beide Wiederholungen vor (12 Einzelwerte pro Genotyp). Im Jahr 2010 wurden die Daten der späten mit jenen der frühen Reifegruppe vermengt. Dies erscheint wegen der strikt definierten Methodik sinnvoll, lediglich die Beginnzeit der Keimanalyse war verschieden.

Von Batis, Cubus, JB Asano und Türkis flossen die Daten der frühen Gruppe in die weitere Verwendung ein. Vom Parameter Auswuchs intakter Ähren in der Feuchtkammer gibt es jeweils 24 Einzeldaten (zweimalige Bonitur jeder Wiederholung). Ein direkter Ergebnisvergleich der Reifegruppen von 2010 ist wegen teils variabler Zeitabstände zwischen den Bonituren nicht statthaft. Die Resultate der späten Reifegruppe wurden um die durchschnittliche Differenz der vier doppelt angebauten Sorten korrigiert. Bei den Merkmalen Prozentueller Auswuchs am Feld und Fallzahl von Feldproben weist jedes Prüfglied 8 Datensätze auf; sie werden als separate Umwelten betrachtet. Die Korrelation der Ergebnisse von Einzelstandorten bzw. Mittelwerten erfolgte mit dem Statistikpaket SPSS Vers. 16.0 (SPSS Inc., Chicago). Die Heritabilität, d.h. der genotypische Anteil an der phänotypischen Ausprägung, wurde mit PLABSTAT (Universität Hohenheim, Stuttgart) berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Resistenz gegen Auswuchs ist vorrangig eine Funktion von Dauer und Tiefe der primären physiologischen Dormanz. Es handelt sich dabei um einen komplexen Mechanismus der Keimungskontrolle (FINCH-SAVAGE und LEUBNER-METZGER 2006). Das Zusammenwirken von Phytohormonen, insbesondere von Abscisinsäure und Gibberellinen, ist für den Grad der Auswuchsresistenz entscheidend (GORDON 1980, WALKER-SIMMONS und SESING 1987). Weiters nehmen Unterschiede in der morphologischen Struktur der Ähren (KING und RICHARDS 1984) und die Permeabilität von Fruchthülle und Samenschale der Körner Einfluss (BELDEROK 1976). Auch phenolische Substanzen in den Spelzen können zur Keimhemmung beitragen (GATFORD et al. 2002).

Keimungsindex (Dormanz)

Die Keimbereitschaft wird wesentlich von der Temperatur, der Strahlung und Feuchtigkeit während spezifischer Phasen der Kornentwicklung mitbestimmt (LUNN et al. 2001). Bei gegenüber Auswuchswitterung empfindlichen Weizensorten ist die Dormanz vorzeitig aufgehoben. Die Mehrzahl der Körner keimte zwischen dem 5. und 12. Tag nach dem Ansetzen im Faltenfilter, einzelne jedoch erst nach 17 bis 21 Tagen. Niedrige Werte der Keimungsindizes deuten auf eine hohe Dormanz bzw. geringe Auswuchsneigung hin.

Der Keimungsindex KIAL zeigte insgesamt eine Spannweite von 0,10 bis 0,82, im Mittel variieren die Genotypen von 0,32 bis 0,74 (Tabelle 1). Niedrige Werte bzw. eine ausgeprägte Dormanz kennzeichnet die Sorten SW Maxi, Pannonikus, Donnato, Impulsiv, Lahertis, Drifter, Event, Tarkus, Julius, Skalmje, Jubilar, Lukullus und Ritmo. Als wenig dormant sind Disponent, Hermann, Enorm, Leiffer, Augustus, SZD8220, Brentano, Credo, Mythos, Tambor, Xenos, Solitär und Lear anzusehen (Tabelle 2).

Wird auf die Anzahl gekeimter Körner bezogen (KIGE), resultieren daraus Werte im Bereich von 0,25 bis 0,83 und Sortenmittel von 0,47 bis 0,77. Niedrige Quotienten traten bei SW Maxi, Skalmje, Drifter, Jubilar, Pannonikus, Tarkus, Lukullus, Lahertis, Donnato, Bussard, Altos, Henrik und Ritmo auf. Hohe Werte zeigten Disponent, Enorm,

Tabelle 1: Spannweite der Einzel- und Mittelwerte von Keimungsindex, Keimfähigkeit, Auswuchs in der Feuchtkammer, Auswuchs am Feld und Fallzahl bei 124 Winterweizen (2010-2011)

Table 1: Range of single values and means of germination index, germination, sprouting in a moisture chamber, PHS in the field and falling number of 124 winter wheat cultivars (2010-2011)

Merkmal ¹	Einzelwerte	Mittelwerte Genotypen	Sortimentsmittel
KIAL	0,10-0,82	0,32-0,74	0,57
KIGE	0,25-0,83	0,47-0,77	0,65
KF (%)	25-100	65-96	87
AUFK (1-9)	1-9	1,9-6,4	3,9
PHS (Gew.-%)	0-83,3	1,7-33,9	10,6
Fallzahl (s)	62-424	65-219	122

¹ KIAL und KIGE, Keimungsindizes (siehe Material und Methoden); KF, Keimfähigkeit (ohne Brechung der Keimruhe); AUFK, Auswuchs Feuchtkammer; PHS, Auswuchs Feld

Kredo, Hermann, Mythos, Brentano, Leiffer, Saturnus, Lear, Solitär, Cubus, SZD8220, Winnetou und Augustus.

Die Reproduzierbarkeit des Keimungsindex KIAL befriedigte wenig; die Korrelationskoeffizienten bewegen sich zwischen $r=0,18^*$ und $0,64^{**}$. Dazu tragen auch die heterogene Witterung der Versuchsumwelten während der Einkörnungsphase bei. Das Programm PLABSTAT weist dennoch eine Heritabilität von 0,81 aus. Beim Index KIGE korrelieren die Werte von $r=0,32^{**}$ bis $0,68^{**}$ (6 Umwelten). Bei potenziell hoher Keimfähigkeit drückt KIAL die Dauer bzw. Tiefe der Dormanz präziser aus und ist zu bevorzugen. Er wird jedoch verfälscht, wenn aufgrund beim Drusch beschädigter Embryonen vermehrt tote oder abnorm gekeimte Körner vorkommen. In jenen Fällen ist KIGE aussagekräftiger.

Der intervarietale Zusammenhang der Keimungsindizes zum prozentuellen Auswuchs ist mit $r=0,44^{**}$ bzw. $0,59^{**}$ zu gering (Tabelle 3), um damit effizient selektieren zu können. Bei höheren Indexwerten (ab 0,55 bis 0,60) ist eine erheblich größere Streuung der Werte um die Regression gegeben als im niedrigen Bereich (Abbildung 1). Mögliche Gründe könnten die im Freiland variable Temperatur und Feuchtigkeit sowie der Tag-Nacht-Rhythmus sein, welche den Abbau von Hemmstoffen und die Keimruhe beeinflussen. Dormanz und Auswuchsresistenz sind miteinander assoziierte, aber keine identischen Prozesse (TRETOWAN 2001, PAULSEN und AULD 2004). Auch die Korrelationen zwischen den Keimungsindizes und der Fallzahl weisen mit $r=-0,56^{**}$ bzw. $-0,60^{**}$ nur ein mittleres Niveau auf. Wesentlich robustere ($r=0,78^{**}$ bzw. $0,79^{**}$) Beziehungen bestehen zum Auswuchs in der Feuchtkammer (Tabelle 3). Es ist anzunehmen, dass bei diesen Parametern die standardisierten Laborbedingungen dafür verantwortlich sind. Die ungewichtet berechnete Keimfähigkeit ist als Schätzwert für die Auswuchsneigung nicht brauchbar.

Auswuchs in der Feuchtkammer

Dieser Test berücksichtigt auch die Wirkung der Ährenmorphologie und Spelzen auf das Auswuchsverhalten (PATERSON et al. 1989). Geringe Keimung in der Feuchtkammer lässt auf hohe Dormanz und dem entsprechende Auswuchsresistenz schließen.

Es gab Boniturdaten im gesamten möglichen Bereich von 1 bis 9; die Genotypen differenzierten im Mittel von 1,9 bis 6,4 (Tabelle 1). Bussard, Skalmje, Lahertis, Akteur, Pannonikus, SW Maxi, Indigo, Ritmo, Chevalier, Event, Julius, Tarkus und Impulsiv präsentierten sich im Rahmen dieser Methode als auswuchsfest. Dagegen keimten die Sorten Enorm, SZD8220, Hermann, Stefanus, Petrus, Mythos, Ludwig, Carolus, Cubus, Saturnus, Hereward, Disponent und Eurojet bei der hohen Luftfeuchtigkeit in der Kammer stark (Tabelle 2).

Die zeitlich erste Bonitur war über die Umwelten oft nur mangelhaft reproduzierbar. Die Durchschnittswerte beider Beobachtungen korrelieren mit $r=0,28^{**}$ bis $0,69^{**}$ auf mäßigem bis mittlerem Niveau; für die Heritabilität wurde ein Wert von 0,84 bestimmt (6 Umwelten). Der in der Feuchtkammer bonitierte Auswuchs stimmt mit dem Auswuchs am Feld ($r=0,56^{**}$) bzw. der Fallzahl ($r=0,63^{**}$,

Table 2: Mittelwerte von Keimungsindex KIAL, Auswuchs in der Feuchtkammer, Auswuchs am Feld und Fallzahl in einem Sortiment von 124 Winterweizen (2010-2011) (Reihung der Genotypen nach zunehmenden Auswuchs Mittelwert)

Table 2: Mean values of germination index KIAL, sprouting in a moisture chamber (AUFK), PHS in the field and falling number in 124 winter wheat cultivars (2010-2011) (Order of genotypes according to increasing mean of PHS)

Sorte	KIAL ¹	AUFK	Auswuchs am Feld (PHS, Gew.-%)								Mittel	Fallzahl
			Zw10	Re10	Re11a	Re11b	Fu11a	Fu11b	Fu11c	Fu11d		
Impulsiv	0,43	2,50	1,1	3,3	0,5	1,9	0,0	1,8	1,3	3,6	1,7	197
Chevalier	0,51	2,31	0,0	6,2	0,0	0,5	1,2	1,4	3,0	4,2	2,1	219
Lukullus	0,46	2,58	0,3	1,8	0,9	1,2	3,8	2,6	3,4	2,9	2,1	173
Kometus	0,54	2,88	0,1	4,0	1,8	3,1	0,9	2,7	2,2	2,6	2,2	203
Julius	0,46	2,40	0,0	7,8	0,6	2,6	1,3	2,2	2,4	2,1	2,4	184
Energo	0,49	3,50	1,0	5,7	0,5	3,0	2,3	1,3	2,7	2,7	2,4	173
Estevan	0,52	3,63	0,4	7,7	0,4	0,5	2,3	0,0	5,0	3,0	2,4	214
Pannonikus	0,41	2,17	0,5	2,8	1,2	3,0	3,0	2,4	5,1	2,6	2,6	150
Akteur	0,52	2,15	0,0	8,8	0,3	5,4	1,9	1,9	2,3	2,4	2,9	205
Exklusiv	0,57	2,63	0,0	7,7	0,0	4,2	2,3	2,2	2,5	4,6	2,9	206
Drifter	0,44	2,79	0,0	5,8	3,2	7,1	2,4	0,0	4,2	1,5	3,0	195
Ellvis	0,55	2,98	0,0	7,0	0,7	7,8	2,1	1,9	3,9	3,1	3,3	192
Bussard	0,47	1,90	0,2	6,6	2,7	5,3	2,4	1,2	5,3	2,9	3,3	166
SCHW46-96-4a	0,60	3,96	0,0	10,9	0,7	3,1	3,3	2,9	4,9	2,7	3,6	179
SW Maxi	0,32	2,25	0,3	3,8	0,2	1,3	2,0	7,2	3,2	10,4	3,6	184
Event	0,45	2,36	0,2	7,2	1,1	2,6	2,3	1,8	6,9	6,3	3,6	164
Belmondo	0,59	3,67	2,0	7,5	2,4	8,1	2,6	0,5	3,5	2,8	3,7	152
Arnold	0,50	3,38	0,1	6,1	2,3	2,5	4,9	2,1	7,8	5,6	3,9	148
Philipp	0,61	3,71	0,9	5,8	2,5	4,7	4,1	2,3	9,6	3,0	4,1	146
Skalmeje	0,46	1,98	0,0	6,2	2,5	5,4	0,1	9,2	2,3	7,3	4,1	174
Kanzler	0,51	3,29	0,5	13,6	4,9	5,9	3,5	0,0	3,7	1,1	4,2	164
Impression	0,63	4,31	0,2	10,1	0,6	2,1	3,6	8,6	6,3	3,5	4,4	154
Midas	0,55	3,46	0,0	4,0	0,9	0,9	7,8	6,6	9,5	5,6	4,4	164
Mulan	0,52	2,71	0,2	10,9	3,7	6,1	2,5	3,1	4,2	5,3	4,5	153
Atlantis	0,60	4,11	2,8	17,1	0,9	3,3	2,5	1,7	4,5	3,4	4,5	149
Donnato	0,41	2,96	2,0	4,1	4,6	4,4	4,6	6,7	4,9	5,4	4,6	131
Fulvio	0,58	4,75	2,8	8,2	2,1	4,4	6,1	2,5	7,8	3,2	4,6	124
Element	0,47	2,92	0,2	4,8	4,2	11,2	5,3	2,8	5,9	3,2	4,7	129
Lahertis	0,43	2,11	0,0	10,6	0,3	1,3	5,6	7,0	6,6	6,2	4,7	143
Potenzial	0,48	2,52	0,0	5,3	0,5	1,0	1,8	2,3	4,3	22,4	4,7	186
Emerino	0,47	3,75	0,2	3,2	1,0	5,1	5,9	4,4	11,7	7,4	4,9	140
Erla Kolben	0,64	3,67	0,4	9,1	3,0	3,4	6,1	5,2	6,3	6,3	5,0	116
Tamaro	0,52	3,29	2,9	13,6	1,7	5,5	3,2	3,6	4,3	5,7	5,1	145
History	0,57	3,86	0,8	14,5	3,4	3,2	4,2	1,4	6,8	6,9	5,2	131
Kronjuwel	0,62	4,02	0,1	6,8	0,7	3,9	4,9	4,9	10,7	10,0	5,3	156
Plutos	0,59	4,13	1,5	10,6	4,0	4,9	2,1	5,6	4,4	9,0	5,3	133
Toronto	0,63	3,86	2,5	8,0	1,4	7,5	6,3	5,2	6,4	6,0	5,4	138
Ennsio	0,57	4,73	0,0	5,6	1,2	3,7	7,1	5,0	13,2	7,9	5,5	162
Empire	0,50	2,81	0,2	9,1	4,1	4,1	5,8	5,8	9,2	5,8	5,5	118
Antonius	0,51	4,46	5,1	3,3	1,9	2,2	7,4	9,3	9,3	6,1	5,6	125
Romanus	0,56	2,52	0,9	21,7	2,8	4,3	2,9	3,5	2,7	6,4	5,7	127
Papageno	0,51	3,00	1,7	13,7	5,3	9,4	3,7	2,1	6,9	2,7	5,7	123
Schamane	0,52	3,25	0,3	19,1	8,3	11,6	0,4	1,1	3,2	1,9	5,7	168
Achat	0,55	4,11	0,1	14,0	3,7	14,2	5,5	3,3	3,6	5,5	6,2	131
Rainer	0,59	3,21	0,2	15,4	2,5	12,9	6,7	4,1	5,5	4,0	6,4	133
SHW152-01-10	0,59	3,54	1,5	9,9	3,6	11,0	4,1	7,0	6,9	7,6	6,5	119
Henrik	0,47	2,92	0,1	21,0	3,0	9,7	3,6	3,3	3,0	8,2	6,5	154
Format	0,54	3,40	0,0	10,1	5,1	10,0	4,8	6,4	11,2	5,7	6,7	122
Jubilar	0,46	2,75	0,3	12,3	4,1	6,1	16,0	3,0	7,1	5,1	6,8	133
Lucio	0,61	4,17	4,4	12,0	2,3	5,7	5,1	9,1	8,8	7,0	6,8	119
Batis	0,54	2,92	1,0	9,9	3,9	4,7	7,9	7,1	13,3	7,5	6,9	114
Kredo	0,67	4,90	0,8	8,5	3,7	7,4	5,6	10,6	12,1	7,5	7,0	120
Sophytra	0,62	4,65	1,4	16,2	5,3	14,7	3,4	4,0	5,4	6,2	7,1	116
Caribo	0,60	4,06	0,8	16,7	5,7	7,0	4,0	6,9	5,7	10,0	7,1	106
Altos	0,50	2,58	5,2	13,3	9,8	9,7	3,9	5,2	3,1	6,6	7,1	110
Balaton	0,61	3,92	1,9	14,2	4,0	4,5	7,9	8,5	9,0	7,6	7,2	116
Astron	0,60	3,31	0,2	8,2	4,0	13,1	6,9	5,1	12,7	7,6	7,2	122
Indigo	0,47	2,29	0,0	11,4	9,4	15,3	3,8	3,2	5,9	8,7	7,2	128
Xenos	0,66	5,08	2,8	20,9	1,8	3,5	3,9	6,5	11,7	7,2	7,3	114
Privileg	0,64	4,31	0,3	17,8	5,7	7,7	7,3	4,1	9,9	6,6	7,4	108
Magnus	0,56	4,52	0,0	20,5	4,9	6,6	4,5	4,5	9,0	10,2	7,5	115

Sorte	KIAL ¹	AUFK	Auswuchs am Feld (PHS, Gew.-%)								Mittel	Fallzahl
			Zw10	Re10	Re11a	Re11b	Fu11a	Fu11b	Fu11c	Fu11d		
Dekan	0,56	3,46	0,1	10,4	4,7	8,3	8,8	10,4	10,9	6,8	7,6	109
SE319/07WW	0,53	4,42	5,5	9,3	7,5	7,6	6,0	7,0	9,5	8,6	7,6	94
Terrier	0,55	3,02	0,1	15,6	7,3	11,4	4,9	8,9	6,2	10,8	8,2	107
Eurofit	0,59	3,50	1,2	12,5	6,7	11,5	8,7	7,7	11,8	5,9	8,3	101
Contra	0,57	3,08	0,1	18,6	6,7	9,4	5,2	10,8	6,0	10,6	8,4	120
Toras	0,59	3,44	2,3	34,9	7,6	9,7	2,9	2,4	5,1	2,7	8,5	135
Capo	0,57	4,92	0,6	6,4	3,3	4,5	5,1	16,3	19,8	13,5	8,7	113
Tambor	0,67	4,27	0,1	14,0	6,8	13,3	8,1	7,0	13,2	7,0	8,7	104
Tarkus	0,46	2,40	0,2	13,7	4,3	10,7	6,2	10,0	12,7	12,0	8,7	117
Vulcanus	0,58	5,04	3,3	15,0	4,6	7,2	9,8	9,4	8,4	12,3	8,8	94
Fidelius	0,62	4,17	0,5	29,0	2,4	5,9	9,5	6,3	11,6	7,1	9,0	131
Mythos	0,67	5,90	2,4	29,0	5,9	9,2	7,4	3,1	14,7	5,2	9,6	99
Pireneo	0,53	5,13	9,9	7,2	0,8	1,9	14,1	13,5	20,7	10,1	9,8	115
Saturnus	0,64	5,46	6,7	7,6	2,3	3,5	16,5	9,5	24,6	8,6	9,9	93
Manhattan	0,57	3,96	0,5	9,9	8,2	11,2	15,6	10,8	15,8	8,6	10,1	95
Astardo	0,54	4,58	7,2	14,8	3,4	4,3	14,9	5,7	25,5	6,3	10,3	108
Megas	0,56	4,52	2,5	24,4	8,0	14,2	7,1	6,6	11,0	8,5	10,3	95
Adler	0,53	3,81	3,0	28,4	4,8	7,5	9,6	6,7	11,4	11,2	10,3	109
Ritmo	0,47	2,31	0,2	9,2	4,5	8,7	12,4	21,4	14,7	15,4	10,8	122
Kranich	0,58	3,65	0,0	22,2	5,7	9,3	7,7	18,0	12,6	11,4	10,9	116
Inspiration	0,60	2,81	2,7	10,6	7,7	14,9	10,0	8,3	16,6	16,0	10,9	94
Eriwan	0,51	2,61	0,1	6,2	1,7	7,3	10,0	8,9	22,0	30,9	10,9	132
Solitär	0,66	4,81	0,3	25,1	5,1	8,4	7,4	7,8	20,2	12,8	10,9	114
Monopol	0,55	3,90	0,3	22,2	4,0	9,4	12,1	12,5	11,6	18,8	11,4	111
Brentano	0,67	5,25	4,7	13,0	5,3	16,8	14,9	9,6	15,2	11,7	11,4	92
Leiffer	0,70	4,98	3,7	26,6	2,5	11,6	9,1	5,9	19,0	15,4	11,7	95
Pedro	0,53	3,96	4,0	27,4	5,3	7,0	17,2	5,8	19,5	7,8	11,8	103
Profilus	0,53	4,08	2,2	25,0	8,9	20,0	6,1	9,6	8,9	14,5	11,9	97
Petrus	0,63	5,90	2,6	35,2	10,7	12,1	9,3	8,9	9,1	7,6	11,9	88
SE333/07WW	0,56	3,42	5,7	10,8	16,7	28,0	7,5	9,5	8,3	9,8	12,0	89
Pamier	0,60	4,81	0,3	27,6	1,5	7,0	12,0	14,9	20,2	13,5	12,1	126
Sailor	0,60	3,71	2,7	14,0	7,7	9,0	29,8	8,0	22,2	7,0	12,6	96
Cansas	0,62	4,69	2,9	27,3	10,8	9,9	8,7	8,6	13,7	20,1	12,8	81
Dream	0,58	3,19	0,7	18,9	20,2	20,9	3,5	12,3	15,1	13,3	13,1	96
SZD8220	0,68	6,15	1,7	15,5	5,1	11,0	16,8	9,6	28,1	17,7	13,2	108
Biscay	0,51	3,29	0,1	7,8	6,7	15,1	20,4	10,9	23,3	24,8	13,6	107
Kerubino	0,64	4,46	2,0	20,4	8,5	11,8	20,3	3,5	38,1	5,5	13,8	99
Winnetou	0,65	5,11	0,0	8,7	8,8	8,9	16,5	25,1	27,0	16,4	13,9	107
Tobago	0,55	3,75	2,0	16,5	12,0	17,0	14,3	15,9	23,1	14,5	14,4	82
Enorm	0,70	6,38	0,4	13,0	9,4	13,4	19,8	21,5	25,5	21,1	15,5	93
Disponent	0,74	5,42	4,1	22,0	14,4	24,8	9,7	14,9	11,5	25,0	15,8	82
Aron	0,54	3,54	0,4	11,1	2,8	6,3	20,5	35,0	28,1	31,2	16,9	125
Josef	0,59	3,08	3,6	7,1	9,6	15,3	20,4	24,4	31,0	28,9	17,5	87
Carolus	0,65	5,52	6,4	41,8	24,1	35,3	7,4	6,2	9,0	10,7	17,6	84
Hereward	0,62	5,44	5,0	20,0	17,0	22,8	14,1	21,3	23,9	31,1	19,4	74
Türkis	0,59	3,71	3,8	23,9	17,3	27,2	22,7	17,1	31,9	21,1	20,6	82
JB Asano	0,64	4,92	7,1	28,9	24,1	30,2	28,8	13,2	24,0	19,8	22,0	74
Yello	0,55	4,02	3,2	34,3	17,4	22,4	26,5	10,9	44,1	15,4	21,8	77
Lear	0,65	5,23	2,1	18,3	13,5	17,3	15,6	27,8	37,7	44,6	22,1	75
Augustus	0,69	5,21	12,0	29,2	13,0	32,1	21,2	23,3	22,3	28,1	22,7	72
Tommi	0,58	3,56	5,7	22,8	14,2	14,9	20,9	32,8	45,7	29,5	23,3	80
Butaro	0,62	3,90	2,8	53,4	11,2	17,4	30,3	17,1	37,0	24,0	24,2	84
BAUB469511	0,59	4,52	6,3	46,1	9,4	20,1	17,8	32,8	26,0	40,3	24,9	77
Tabasco	0,58	4,06	2,1	12,7	21,6	26,8	35,3	29,0	45,2	58,9	29,0	77
Ludwig	0,64	5,58	7,3	28,8	16,5	31,2	40,1	34,9	42,0	37,7	29,8	71
Hermann	0,71	6,15	6,0	35,4	21,4	19,5	31,5	36,2	36,5	54,0	30,1	73
Lynx	0,53	4,36	9,4	35,3	13,1	12,2	37,3	33,6	48,7	59,1	31,1	65
Global	0,57	4,73	0,1	21,4	10,4	15,5	30,7	45,8	43,9	83,3	31,4	97
Eurojet	0,63	5,29	5,7	29,7	23,5	41,8	46,0	20,7	60,5	27,1	31,9	74
Stefanus	0,60	5,96	8,5	17,0	20,4	27,1	41,0	46,5	57,1	44,2	32,7	70
Hussar	0,60	4,48	0,2	20,5	23,7	24,6	55,7	50,5	53,1	38,7	33,4	89
Jenga	0,63	5,23	0,9	27,0	15,4	20,7	59,8	21,6	72,1	52,7	33,8	85
Cubus	0,64	5,50	10,2	32,6	25,3	36,5	51,9	39,5	47,4	27,6	33,9	67

¹ KIAL, Keimungsindex (bezogen auf alle Körner); AUFK, Auswuchs in der Feuchtkammer (1-9); Zw10, Zwetl 2010; Re10, Reichersberg 2010; Re11a, Reichersberg 2011-1. Erntetermin; Re11b, Reichersberg 2011-2. Erntetermin; Fu11a, Fuchsenbigl 2011-1. Wh.-1. Erntetermin; Fu11b, Fuchsenbigl 2011-2. Wh.-1. Erntetermin; Fu11c, Fuchsenbigl 2011-1. Wh.-2. Erntetermin; Fu11d, Fuchsenbigl 2011-2. Wh.-2. Erntetermin

Tabelle 3: Intervarietales Korrelationen (r) zwischen Keimungsindex, Keimfähigkeit, Auswuchs in der Feuchtkammer, Auswuchsprozenten am Feld und Fallzahl (124 Winterweizen, 2010-2011)

Table 3: Intervarietal correlations (r) between germination index, germination, sprouting in a moisture chamber, PHS in the field and falling number (124 winter wheat cultivars, 2010-2011)

Merkmal ¹	KIGE	KF	AUFK	PHS	Fallzahl
KIAL	0,95**	0,87**	0,78**	0,44**	-0,56**
KIGE	-	0,69**	0,79**	0,51**	-0,60**
KF	-	-	0,59**	0,28**	-0,41**
AUFK	-	-	-	0,56**	-0,63**
PHS	-	-	-	-	-0,75**

¹ Abkürzungen siehe *Tabelle 1*; *, ** signifikant bei $P < 0,05$ bzw. $P < 0,01$

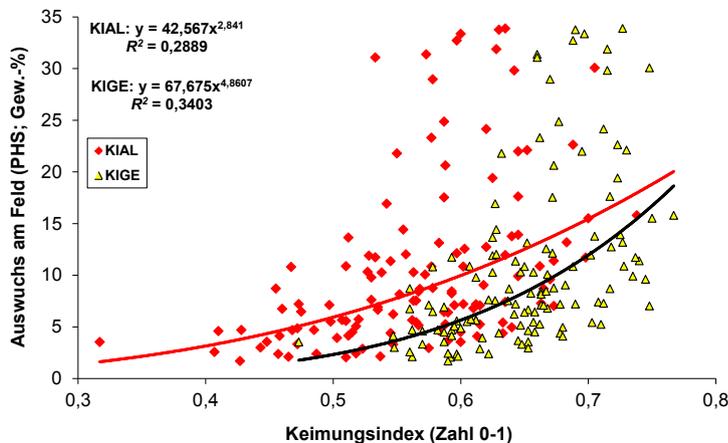


Abbildung 1: Intervarietales Zusammenhänge von Keimungsindex und Auswuchs am Feld (124 Winterweizen, Mittel aus mehreren Umwelten, 2010-2011)

Figure 1: Intervarietal relationship of germination index and PHS in the field (124 winter wheat cultivars, average from several environments, 2010-2011)

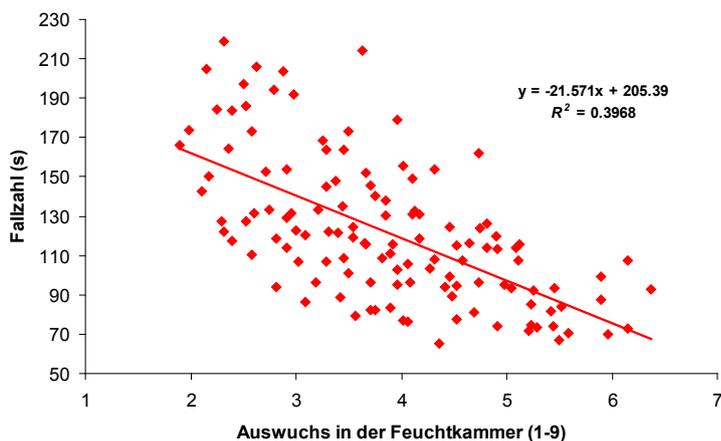


Abbildung 2: Intervarietales Zusammenhänge von Auswuchs in der Feuchtkammer und der Fallzahl von Feldproben (124 Winterweizen, Mittel aus mehreren Umwelten, 2010-2011)

Figure 2: Intervarietal relationship of sprouting in a moisture chamber and the falling number of field samples (124 winter wheat cultivars, average from several environments, 2010-2011)

d.h. $R^2=0,40$) nur mäßig überein (*Tabelle 3, Abbildung 2*). Die Keimung intakter Weizenähren in der Feuchtkammer ist als alleiniger Parameter für die Züchtung auf Auswuchsfestigkeit nicht genügend treffsicher. Dies deckt sich weitgehend mit Ergebnissen der österreichischen Wertprüfung von Winterweizen. Im günstigsten Fall korrelierten der an Ährenbündeln provozierte Auswuchs und die Fallzahlen von auswuchsgeschädigten Weizenversuchen mit $r=0,50^{**}$ bis $0,80^{**}$ (OBERFORSTER und WERTEKER 2006). Eine enge Beziehung von Feuchtkammer- und Feldauswuchs fanden hingegen WU und CARVER (1999).

Auswuchs am Feld

Der bei natürlichen Bedingungen oder mit Zusatzberegnung erzielte Auswuchs lag in einem weiten Bereich von 0 bis 83%. Auch die Sorten zeigten mit 1,7 bis 33,9% eine beachtliche Variabilität (*Tabelle 1*). Mitunter war der Auswuchsgrad beim späten Erntetermin niedriger als beim frühen; dies ist durch die kleine Stichprobe von 80 bis 100 Ähren erklärbar. Die Weizensorten Impulsiv, Chevalier, Lukullus, Kometus, Julius, Energo, Estevan, Pannonikus, Akteur, Exklusiv, Drifter, Elvis und Bussard können als gut auswuchstolerant angesehen werden. Vergleichsweise rasch keimten hingegen Cubus, Jenga, Hussar, Stefanus, Eurojet, Global, Lynx, Hermann, Ludwig, Tabasco, BAUB469511, Butaro, Tommi, Augustus und Lear (*Tabelle 2*).

Die Ergebnisse der Umwelten zeigten eine Übereinstimmung im Bereich von $r=0,36^{**}$ bis $0,93^{**}$. Erwartungsgemäß die schwächste Korrelation gab es zum Versuch mit geringem und wenig differenziertem Auswuchs (Zwettl 2010). Von den vier analysierten Parametern war der Auswuchs unter Feldbedingungen mit einer Heritabilität von 0,91 am besten zu reproduzieren (8 Umwelten). Der Zusammenhang von Auswuchsprozenten und Fallzahl ist unter dem Gesichtspunkt vieler nivellierender Fallzahlwerte zu sehen ($r=-0,75^{**}$). Bessere Aussagen bietet hier die polynomische Kurvenanpassung; das Bestimmtheitsmaß (R^2) für die einzelnen Versuchsumwelten variiert im Bereich von 0,74 bis 0,92 (*Abbildungen 3 und 4*).

Unter natürlichen Niederschlagsbedingungen entsprach ein Auswuchsgrad von 1% etwa einer Fallzahl von 200 bis 250 s. Bei mehr als 5% sichtbar gekeimter Körner sank die Fallzahl auf 130 bis 180 s ab. Ein Auswuchs von 12 bis 15% bedeutete Werte zwischen 62 und 80 s (*Abbildung 3*). Bei der künstlichen Beregnung am Standort Fuchsenbigl folgt die Kurve einem davon abweichenden Verlauf. Hier liegen manche Fallzahlen bereits bei 3 bis 5% sichtbarem Auswuchs unter einem Wert von 100 s (*Abbildung 4*). Der Grund für diese Reaktion könnte in einem zu intensiven Beregnungsregime gelegen sein.

Bei der Probenahme für das Merkmal Prozentu-

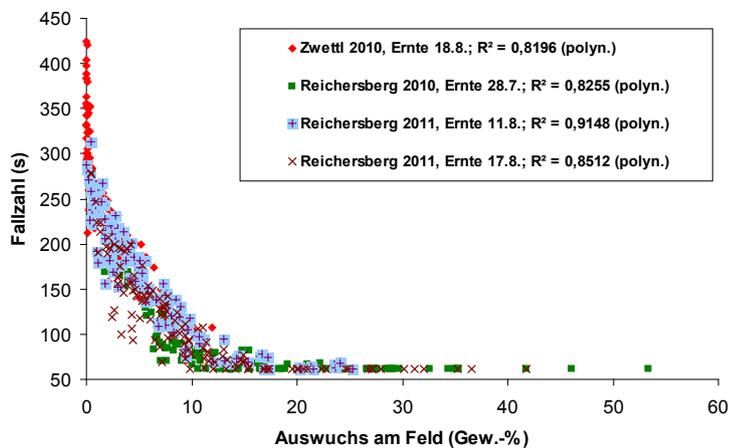


Abbildung 3: Intervarieter Zusammenhang von Auswuchs und Fallzahl bei natürlichen Niederschlagsbedingungen (124 Winterweizen, 4 Umwelten, 2010-2011)

Figure 3: Intervarietal relationship of PHS in the field and falling number for natural rainfall conditions (124 winter wheat cultivars, 4 environments, 2010-2011)

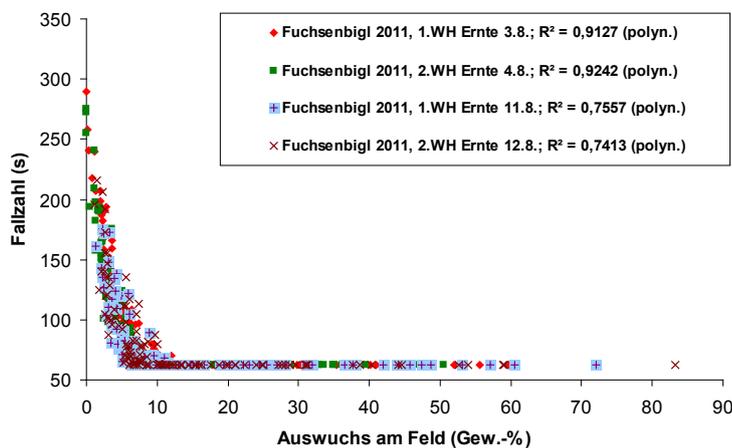


Abbildung 4: Intervarieter Zusammenhang von Auswuchs und Fallzahl nach Beregnung am Standort Fuchsenbigl 2011 (124 Winterweizen, 2 Erntetermine, 2 Wiederholungen)

Figure 4: Intervarietal relationship of PHS in the field and falling number after field weathering on the location Fuchsenbigl 2011 (124 winter wheat cultivars, 2 harvest times, 2 replications)

eller Auswuchs am Feld blieb die Trennung in Reifegruppen unberücksichtigt. Gelegentlich werden Aussagen getroffen, wonach in Versuchen frühreife Genotypen hinsichtlich des Auswuchs- und Fallzahlrisikos gravierend benachteiligt seien. Auch DERERA et al. (1976) weisen auf die negative Korrelation zwischen Reifezeit und Auswuchs hin. In dem hier verwendeten Testsortiment war kein Zusammenhang zwischen Fallzahl und Abreifeverhalten zu beobachten. Das Stadium der Gelbreife (BBCH 87) erreichten die 124 Genotypen im Durchschnitt von 6 Umwelten zwischen dem 14. und 21. Juli. Es gab intervarieter keinen Zusammenhang von Gelbreifedatum und Auswuchs bzw. Gelbreifedatum und Fallzahl.

Fallzahl

In Österreich ist in aktuellen Anbau-Lieferverträgen von Backweizen ein sichtbarer Auswuchs von maximal 1% festgeschrieben. Es gilt, eine Mindestfallzahl von 280 s für Premiumweizen, 250 s für Qualitätsweizen und 220 s für Mahlweizen zu erreichen. Im Allgemeinen akzeptieren die Mühlen Fallzahlen bis 180 s nur in Jahren mit größeren Mengen fallzahlschwacher Partien und mit Preisabschlägen. Die geringe Flexibilität bei der Kontraktgestaltung und das weitgehende Festhalten an starren Grenzwerten werden aus backtechnologischer Sicht durchaus kritisch beurteilt (MÜNZING 2011).

In den ausgewerteten Versuchen traten Fallzahlen zwischen 62 bis 424 s und im Mittel der Genotypen von 65 bis 219 s auf (8 Umwelten). Die durchschnittlich höchsten Werte wurden bei Chevalier, Estevan, Exklusiv, Akteur, Kometa, Impulsiv, Drifter, Elvis, Potenzial, SW Maxi, Julius, Schw46-96-4a, Skalmjeje, Energo und Lukullus gemessen. Niedrige Fallzahlen zeigten Lynx, Cubus, Stefanus, Ludwig, Augustus, Hermann, Eurojet, JB Asano, Hereward, Lear, Tabasco, Yello, BAUB469511 und Tommi (Tabelle 2).

Für die 8 Umwelten variieren die Korrelationskoeffizienten der Fallzahl im Bereich von $r=0,28^{**}$ bis $0,83^{**}$. Die teilweise reduzierte Übereinstimmung ist durch die unterschiedliche Auswuchsbelastung und die Häufung niedriger Werte von 62 bis 80 s in einigen Versuchen bedingt.

Werden im Anschluss an eine regnerische Witterungsperiode bei nicht oder wenig lagernden Weizenparzellen abgesenkte und gut differenzierende Fallzahlen gemessen, sind diese für die Selektion auf Auswuchsresistenz ähnlich wertvoll wie der Prozentsatz gekeimter Körner, jedoch mit weniger Aufwand verbunden. BARNARD et al. (2005) prüften sieben Merkmale und bewerteten die Fallzahl als eines der am besten geeigneten Maße zur Charakterisierung von Auswuchs. Höhere Auswuchsgrade, wie sie in den Versuchen von Reichersberg (2010, 2011) und Fuchsenbigl (2011) auftraten, sind mit der Fallzahl teilweise nicht mehr zu unterscheiden. Dagegen hat die

Fallzahlmethode den Vorteil, dass damit auch Genotypen mit erhöhter PMAA erkannt werden. Nach MOHLER et al. (2012) sind die englische Sorte Lynx und die deutsche Sorte Bussard mit hoher Wahrscheinlichkeit Träger eines solchen Allels. Im österreichischen Weizensortiment dürfte PMAA selten sein. Überständige Parzellen können mit zunehmend zeitlicher Distanz zum regulären Erntetermin hinsichtlich der Fallzahl fehlerhafte Informationen liefern. Im Verlauf mehrerer Wochen werden in den primär dormanten Genotypen keimhemmende Substanzen abgebaut. Unterschiede in der Fallzahl von trocken abgereiften Weizenbeständen geben kaum Hinweise zum Dormanzstatus und Sortenverhalten bei Auswuchswetter (REITAN 1990).

Zusammenfassung

Die vorzeitige Anreicherung von α -Amylase in Getreidekörnern aufgrund feuchter Witterung zur Reifezeit hat einen partiellen Stärkeabbau, niedrige Fallzahlen und Auswuchs zur Folge. Gravierende wirtschaftliche Einbußen sind damit verbunden. In den Jahren 2010 und 2011 wurden 124 Sorten und Zuchtlinien von Winterweizen aus Deutschland, Österreich und Großbritannien an drei österreichischen Standorten getestet. Folgende Merkmale wurden analysiert: Dormanz (Keimungsindex), Keimung intakter Ähren in der Feuchtkammer (1-9), sichtbarer Auswuchs am Feld (%) und Fallzahl (s). Die genannten Merkmale zeigten eine deutliche genotypische Variation. Die Heritabilität (h^2) lag mit 0,81 (Keimungsindex KIAL), 0,84 (Auswuchs in der Feuchtkammer), 0,91 (Auswuchsprozente im Freiland) und 0,86 (Fallzahl) durchwegs im hohen Bereich. Hingegen war die intervarietale Beziehung zweier Keimungsindizes zum sichtbaren Auswuchs unter Freilandbedingungen unbefriedigend ($r=0,44^{**}$ bzw. $0,51^{**}$). Auch der künstliche Auswuchs in der Feuchtkammer genügt als alleiniger Selektionsparameter bei der Züchtung auf Auswuchsresistenz nicht ($r=0,56^{**}$). Am zuverlässigsten sind Unterschiede in der Fallzahl, welche auf mehreren Standorten bei belastenden Witterungsbedingungen erzielt wurden. Das Bestimmtheitsmaß (R^2) zwischen Fallzahl und sichtbarem Auswuchs im Freiland variierte bei polynomischer Kurvenanpassung für die Versuchsumwelten im Bereich von 0,74 bis 0,92.

Danksagung

Efficient phenotypic and molecular selection methods for enhancing preharvest sprouting tolerance of European wheat germplasm (Robust Wheat, CORNET Projekt 825860) wird von der FFG (www.ffg.at), der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs und der Börse für landwirtschaftliche Produkte finanziert. Herrn V. Mohler sei für die Berechnung der Heritabilität gedankt.

Literatur

- BARNARD A, VAN DEVENTER CS, MAARTENS H, 2005: Comparison between methods for estimating sprout damage in wheat. *S Afr J Plant Soil* 22: 44-48.
- BELDEROK B, 1976: Physiological-biochemical aspects of dormancy in wheat. *Cereal Res Commun* 4: 133-137.
- BFL, 2002: Methoden für Saatgut und Sorten. Richtlinien für die Sortenprüfung. Sorten- und Saatgutblatt. Schriftenreihe 59/2002. Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Wien.
- DERERA NF, McMASTER GJ, BALAAM LN, 1976: Pre-harvest sprouting resistance and associated components in 12 wheat cultivars. *Cereal Res Commun* 4: 173-179.
- DIN, 2008: Getreide und Getreideerzeugnisse - Bestimmung von Besatz in Weizen (*Triticum aestivum* L.), Hartweizen (*Triticum durum* Desf.), Roggen (*Secale cereale* L.) und Futtergerste (*Hordeum vulgare* L.). Dt. Fassung, EN 15587, Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- FINCH-SAVAGE WE, LEUBNER-METZGER G, 2006: Seed dormancy and the control of germination. *New Phytol* 171: 501-523.
- GATFORD KT, HEARNDEN P, OGBONNAYA F, EASTWOOD RF, HALLORAN GM, 2002: Novel resistance to pre-harvest sprouting in Australian wheat from the wild relative *Triticum tauschii*. *Euphytica* 126: 67-76.
- GORDON IL, 1980: Germinability, dormancy and grain development. *Cereal Res Commun* 8: 115-129.
- HAGBERG S, 1960: A rapid method for determining alpha-amylase activity. *Cereal Chem* 37: 218-222.
- ICC, 2011: Bestimmung der "Fallzahl" nach Hagberg-Perten als Maß der α -Amylase-Aktivität im Getreide und Mehl. ICC-Standard Nr. 107/1. International Association of Cereal Science and Technology, Wien.
- ISTA, 2012: Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut, Ausgabe 2012. International Seed Testing Association, Bassersdorf.
- KING RW, RICHARDS RA, 1984: Water uptake in relation to pre-harvest sprouting in wheat: Ear characteristics. *Aust J Agric Res* 35: 327-336.
- KUMMER C, 2008: Qualität der österreichischen Brotgetreideernte 2008 - Auswirkungen auf die Verarbeitungseigenschaften der Mehle. *Mühle + Mischfutter* 145: 651-655.
- LUNN GD, KETTLEWELL PS, MAJOR BJ, SCOTT RK, 2001: Effects of pericarp α -amylase activity on wheat (*Triticum aestivum*) Hagberg falling number. *Ann Appl Biol* 138: 207-214.
- MARES DJ, 1983: Preservation of dormancy in freshly harvested wheat grain. *Aust J Agric Res* 34: 33-38.
- MARESD, MRVA K, 2008: Late-maturity α -amylase: Low falling number in wheat in the absence of preharvest sprouting. *J Cereal Sci* 47: 6-17.
- MOHLER V, SCHWEIZER G, HARTL L, 2012: Genetische Analyse des Merkmals Fallzahl in europäischen Winterweizen. Bericht 62. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 22-24 Nov 2011, pp. 69-71. BAL Raumberg-Gumpenstein, Irndning.
- MÜNZING K, 2011: Die Fallzahl von Weizen in der Rohstoffbewertung und Backwirksamkeit. *Mühle + Mischfutter* 148: 554.
- NORM EN 15587, 2008: Getreide und Getreideerzeugnisse - Bestimmung von Besatz in Weizen (*Triticum aestivum* L.), Hartweizen (*Triticum durum* Desf.), Roggen (*Secale cereale* L.) und Futtergerste (*Hordeum vulgare* L.). Deutsche Fassung.
- OBERFORSTER M, WERTEKER M, 2006: Auswuchsneigung und Fallzahl als Sorteneigenschaft von Winterweizen, Roggen, Triticale und Winterdurum. Bericht 56. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 22-24 Nov 2005, pp. 103-112. BAL Gumpenstein, Irndning.
- PATERSON AH, SORRELLS ME, OBENDORF RL, 1989: Methods of evaluation for preharvest sprouting resistance in wheat breeding programs. *Can J Plant Sci* 69: 681-689.
- PAULSEN GM, AULD AS, 2004: Preharvest sprouting of cereals. In: Benech-Arnold RL, Sanchez RA (Eds.), *Handbook of seed physiology: Applications to agriculture*, pp. 199-219. Food Product Press, New York.
- REITAN L, 1990: Relationship between seed dormancy and falling number in wheat. In: Ringlund K, Mosleth E, Mares DJ (Eds.), *Proc 5th Int Symp Pre-harvest sprouting in cereals*, pp. 233-240. Westview Press, Boulder.
- SCHÖGGL G, KUMMER C, 2005: Qualität der österreichischen Brotgetreideernte 2005 - Auswirkungen auf die Verarbeitungseigenschaften der Mehle. *Mühle + Mischfutter* 142: 646-649.
- TJIN WONG JOE AF, SUMMERS RW, LUNN GD, ATKINSON MD, KETTLEWELL PS, 2005: Pre-maturity α -amylase and incipient sprouting in UK winter wheat, with special reference to the variety Rialto. *Euphytica* 143: 265-269.
- TRETHOWAN RM, 2001: Preharvest sprouting tolerance. In: Reynolds MP, Ortiz-Monasterio JI, McNab A (Eds.) *Applications of physiology in wheat breeding*, pp. 145-147. CIMMYT, Mexico.
- WALKER-SIMMONS M, SESING J, 1987: Development of an immunoassay for abscisic acid in wheat grain utilizing a monoclonal antibody. In: Mares DJ (Ed.), *Proc 4th Int Symp Pre-harvest sprouting in cereals*, pp. 590-597. Westview Press, Boulder.
- WALKER-SIMMONS MK, 1988: Enhancement of ABA responsiveness in wheat embryos at higher temperature. *Plant Cell Env* 11: 769-777.
- WU J, CARVER B, 1999: Sprout damage and preharvest sprout resistance in hard white winter wheat. *Crop Sci* 39: 441-447.