

Sommergerstenselektion unter Flugbrandbefall mit Infektions- und Trennstreifen statt Marker

Spring barley selection under loose smut attack with seed stripes for infection and separation instead of marker

Karl-Josef Müller^{1*}

Abstract

Spreading of loose smut (*Ustilago nuda* (Jens.) Rostr.) was observed during three vegetation periods in a breeding area under organic farming with segregating generations of spring barley up to F₉ including lines with resistant parents and extended with susceptible varieties and genetic resources. Seed stripes with loose smut infection were implemented for a better spreading of the disease in some parts, which could be verified. Plots with non-infected seeds of a susceptible variety were implemented in between the segregating lines to detect degrees of spreading. Selected lines without infection were inoculated with a loose smut suspension into the flowers of single ears starting in F₅. From F₅ to F₇ most of the susceptible lines were identified by natural infection. One generation under natural infection was not enough to get a sustainable result about susceptibility, but only one out of ten inoculated ears gave additional information. For this reason it was suggested only to use seed stripes for disease spreading during three generations from F₄ to F₆ and artificial inoculation only for a check of resistance in F₇ and for new accessions to test. With this method different origins of resistance can be handled parallel and it is a possibility to develop quantitative resistance on a low budget scheme additionally.

Keywords

Hordeum vulgare, natural infection, organic breeding resistance, *Ustilago nuda*

Einleitung

Derzeit sind keine für den ökologischen Landbau praktikable Saatgutbehandlungsmethoden zur Reduzierung eines Flugbrandbefalls (*Ustilago nuda* (Jens.) Rostr.) von Sommergerste (*Hordeum vulgare* L.) unter die für eine Z-Saatguterzeugung geforderte Schwelle in Sicht. Resistenzzüchtung ist das einzige Mittel der Wahl. Nach fast einem Jahrhundert der Züchtung mit Saatgutbeizung fehlt aber die Erfahrung, wie der Einstieg in eine Flugbrandresistenzzüchtung unter natürlichen Befallsbedingungen mit überschaubarem Aufwand erfolgen kann. Ebenso unklar war bisher, inwieweit auf arbeitsaufwendige künstliche Inokulationen in die Blüte zur Prüfung einer Flugbrand-

anfälligkeit verzichtet werden kann. Daher wurde der Zuchtgarten der Getreidezüchtungsforschung Darzau, der über eine zunehmende Anzahl von Zuchtstämmen verfügt, in die Flugbrandresistente Eltern eingekreuzt worden waren, und die Datenerhebung im Zuchtgarten über die Jahre 2007 bis 2009 in der Weise modifiziert, dass Aussagen über die Flugbrandsporenverbreitung und den Selektionserfolg gemacht werden konnten.

Material und Methoden

In den Sommergerstenzuchtgarten mit Nachkommen-schaften, Sorten und genetischen Ressourcen wurde in der Vegetation 2007 über den Zuchtgarten verteilt auf 37 Zuchtgartenparzellen anstelle von Zuchtstämmen Saatgut der flugbrandanfälligen Sorte Lawina ausgesät, das aber noch nicht mit Flugbrand befallen war. In der Vegetation 2008 wurde die Anzahl dieser Sporenfängerparzellen auf 60 erhöht. Diese Parzellen dienten dem Einfangen von Flugbrandsporen und zur Beurteilung der Sporenkonzentration an dieser Position des Zuchtgartens anhand des Befallsgrades im Folgejahr. Zum Vergleich wurde der ermittelte Befallsgrad im Rasterplan an der entsprechenden Position in % und fett umrahmt wiedergegeben, obwohl der Wert erst im Folgejahr ermittelt wurde. Damit konnte ein visueller Bezug zwischen der Flugbrandährendichte der umliegenden Parzellen und der Sporenkonzentration an der Position der Sporenfängerparzellen hergestellt werden.

Für eine gleichmäßige Verbreitung von Sporen wurde in jeder dritten Fahrspur anstelle von Zuchtgartenparzellen ein Saatstreifen mit Flugbrand befallenem Saatgut eingefügt (in den Rasterplänen als von links nach rechts durchgehende, schwarze Streifen dargestellt). In der Vegetation 2007 wurden acht solcher Infektionsstreifen bis in die F₅ hinein angelegt. In der Vegetation 2008 wurden die Anzahl der Infektionsstreifen bis zum Ende der F₅ auf zehn erhöht und zusätzlich zwei Infektionsstreifen im Bereich neu hinzugekommener Sorten, Zuchtstämme anderer Züchter und genetischer Ressourcen zur Anhebung der natürlichen Sporenkonzentration in diesem Teilbereich eingefügt. In den Generationen ab F₆ wurden anstelle von Infektionsstreifen, Trennstreifen mit einer Gerste ohne Befall eingefügt (in den Rasterplänen von links nach rechts durchgehende, weiße Streifen). In den Jahren 2007 und 2008 betrug die

¹ Getreidezüchtungsforschung Darzau, Hof 1, D-29490 NEU DARZAU

* Ansprechpartner: Dr. Karl-Josef MÜLLER, www.darzau.de

durchschnittliche Anzahl befallener Ähren 23 bzw. 15 pro Zuchtgartenparzellenäquivalent.

Die Bruttogrundfläche pro Zuchtgartenkleinparzelle betrug 2,25 m² inklusive Zwischenräume zu den Nachbarparzellen. Jede Zuchtgartenparzelle bestand aus sechs Drillreihen von je 1 m Länge mit je einer Ährenachkommenschaft bei 20 cm Drillreihenabstand. Eine Zuchtgartenparzelle entspricht einem Kästchen in den Rasterplänen. In den Jahren 2007 und 2008 wurden 1760 bzw. 1920 Zuchtgartenparzellen

zwischen Saatstreifen mit bzw. ohne Befall angebaut. Über alle Rasterelemente hinweg einschließlich der einer Zuchtgartenparzelle entsprechenden Flächenäquivalente in den Infektionsstreifen wurde der Befall mittels Auszählung der befallenen Ähren erfasst.

In den Rasterplänen wurden die Zuchtgartenparzellen ohne Befall weiß dargestellt. Mit zunehmender Anzahl befallener Ähren von 1 bis 9 je Zuchtgartenparzelle wurden stattdessen zunehmend dunkler grau hinterlegte Kästchen eingefügt.

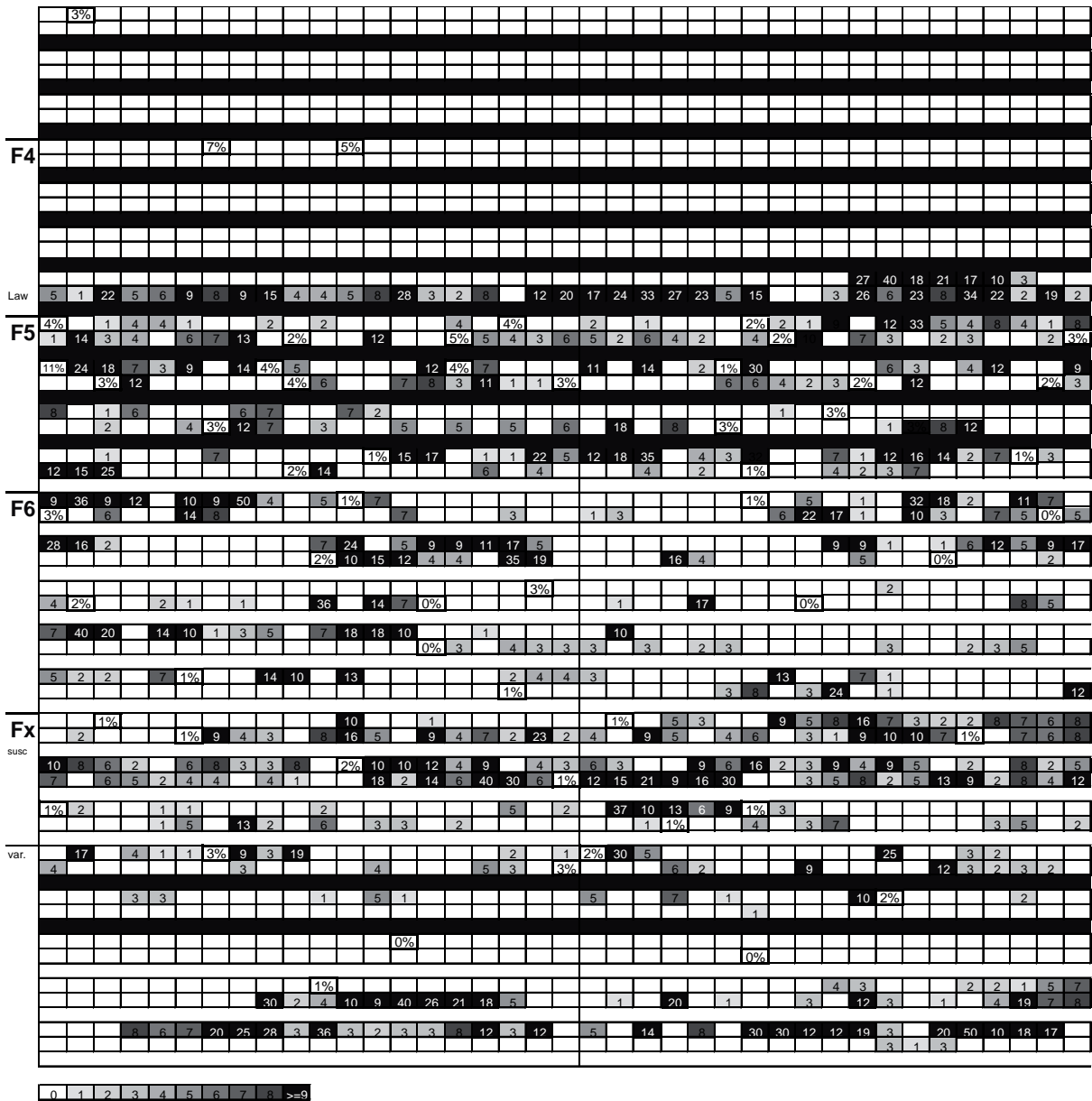


Abbildung 1: Rasterplan für den Zuchtgarten in der Vegetation 2007

Figure 1: Map of nursery plots in 2007. Every square in the map represents a small plot with close related descendants. There are 40 in a row. Ears with loose smut are written as numbers inside. Plots without infected ears are printed in white and those with more than eight in black. Throughout going stripes from left to right represent infection stripes with loose smut in black and seperating stripes without smut in white. Squares with data in % are plots with loose smut susceptible variety Lawina and the data show the degree of loose smut infection measured in the following year as an information about spreading of spores. The main direction of wind from west is on the right side. Segregating generations rise from top down and varieties as well as genetic resources are implemented at the bottom.

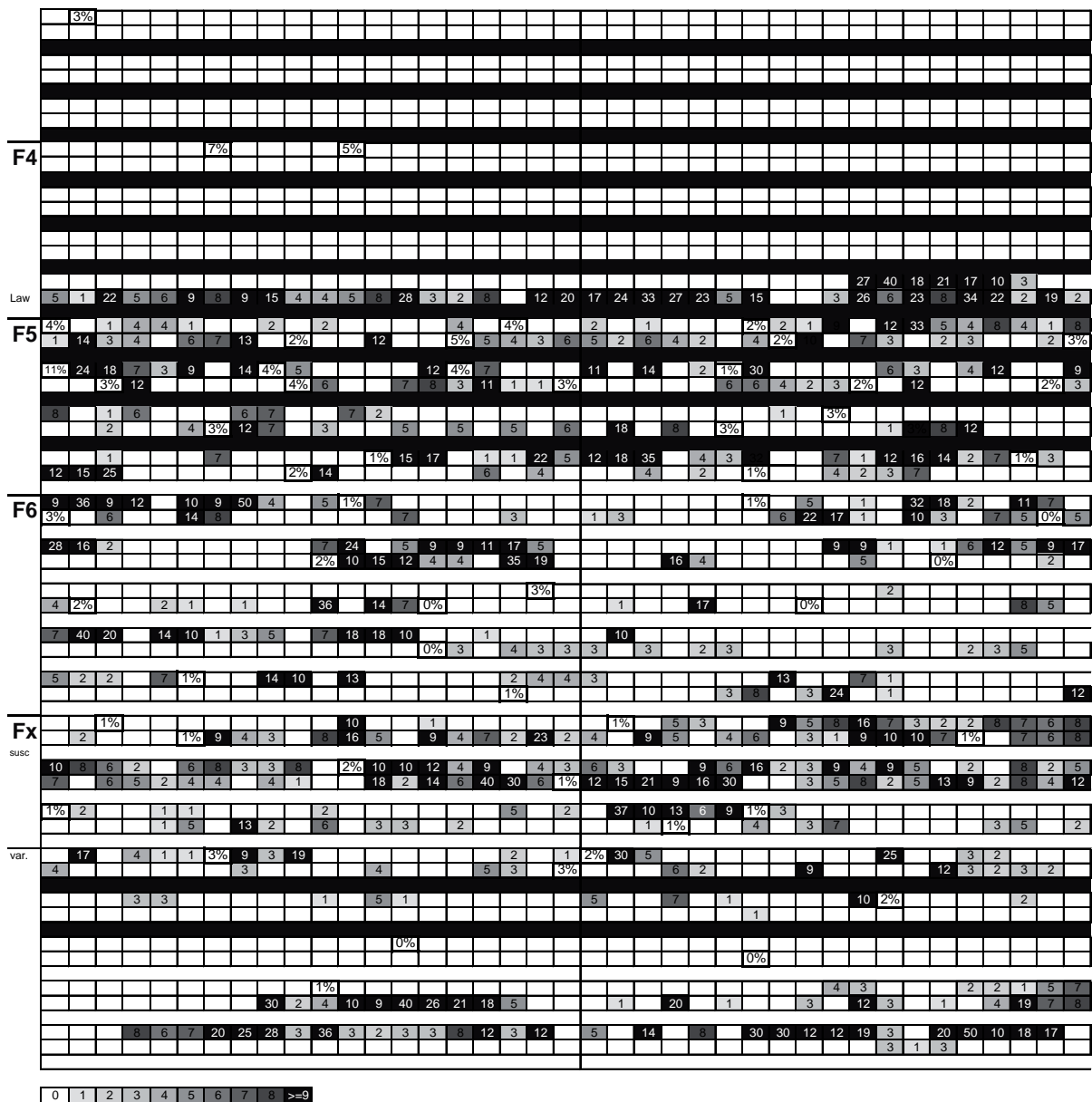


Abbildung 2: Rasterplan für den Zuchtgarten in der Vegetation 2008

Figure 2: Map of nursery plots in 2008. Explanation see Figure 1. Infection stripes additionally implemented at the bottom in the area with new varieties.

Sofern neun und mehr Flugbrandähren festgestellt wurden, erfolgte die Darstellung der Zuchtgartenparzelle in schwarz.

Die natürliche Infektion konnte erst mit der Generation F_4 beginnen, die aus der noch ohne Flugbrandbefall in Neuseeland zwischenvermehrten F_3 stammt. Ab der Generation F_5 bis F_8 wurden in vorselektierten Zuchtgartenparzellen ohne Befall und an einigen neu zu prüfenden Sorten immer zwei Ähren zusätzlich künstlich mit einer Sporensuspension in einer Konzentration von 1 g Flugbrandsporen pro 1 Liter Wasser direkt in die einzelnen Blüten inokuliert (MÜLLER 2005). Das Saatgut der künstlich inokulierten Ährennackkommenschaften wurde im Folgejahr einzeln ausgewiesen neben den nicht inokulierten Ährennackkommenschaften der gleichen Nachkommenschaftsgruppe ausgesät. Dadurch

erhöhte sich der Befallsdruck insbesondere im Bereich der Parzellen mit neuen, mehr oder weniger anfälligen Sorten. Die aus der künstlichen Inokulation hervorgegangenen Pflanzen dienten immer nur der Befallskontrolle. Es wurde nie aus diesen direkt nachgebaut, sondern nur aus den unmittelbaren Geschwistern selektiert.

Die Feldversuche wurden am Standort Köhlingen bei Neu Darchau in Nord-Ost-Niedersachsen durchgeführt. Vorfrucht war in allen Jahren Kartoffel. Die Aussaat erfolgte 2007 am 30. März auf einem lehmigen Sandboden mit 49 Bodenpunkten. Im Jahr 2008 konnte der Zuchtgarten in unmittelbarer Nachbarschaft zum Vorjahresstandort erst am 21. April gesät werden. Alle Flächen hatten A-Status nach EU-Bio-Verordnung. Das Ertragsniveau in den jeweils unmittelbar benachbarten Sommergersten-

Leistungsprüfungen lag für die Vergleichssorte Barke in 2007 bei 26 dt/ha und in 2008 bei 31 dt/ha. Im langjährigen Mittel lagen die Jahres-durchschnittstemperatur an diesem Standort bei 9°C und der Jahresniederschlag bei 630 mm. Die Vegetation im Jahr 2007 war von einem extrem trockenen und warmen April und überdurchschnittlich feuchten Frühsommer geprägt, wobei sich die Sommergerste eher etwas zu üppig in die Länge entwickelte. Im Jahr 2008 war der April feucht und kühl, dafür aber der Mai bis in die erste Junihälfte hinein sehr trocken und warm. Dies behinderte das Streckungswachstum der Sommergerste und begünstigte eine frühe Blüte bereits in der Blattscheide. Im Jahr 2009 war insbesondere der April, aber auch der Mai sehr trocken und warm.

Ergebnisse

Bei der Rückführung des Befalls auf die Rasterpläne des Vorjahres zeigten sich für die mit der Sporenfängersorte Lawina bestückten Parzellen (fett gerahmt) unterschiedliche Befallsgrade (%) in Abhängigkeit von der Position im Zuchtgarten. Die zwischen den Zuchtgartenparzellen direkt neben den Infektionsstreifen angebauten Sporenfängerparzellen zeigten im Nachbau einen Befall von 5-33% aus dem Anbau 2007 und 1-11% aus dem Anbau 2008. Demgegenüber zeigten die übrigen Sporenfängerparzellen mit mehr oder weniger größerem Abstand zu den Infektionsstreifen einen Befall von 0-24% aus dem Anbau 2007 und 0-3% aus dem Anbau 2008. Wie auf den Rasterplänen ersichtlich ist der Bereich ohne Infektionsstreifen aufgrund der sich als anfällig herausstellenden Zuchtstämme nicht frei von Flugbrandähren und begünstigt damit auch eine Infektion der Sporenfängerparzellen in diesem Bereich.

In Abhängigkeit von der Nähe zu den Infektionsstreifen konnten beim Mittelwertvergleich signifikante Unterschiede hinsichtlich des Befallsgrades festgestellt werden (*Tabelle 1*). Sporenfängerparzellen in unmittelbarer Nachbarschaft zu den Infektionsstreifen wurden im Durchschnitt stärker befallen als die von den Infektionsstreifen weiter entfernten. Der Versuch, den Befallsgrad der Sporenfängerparzellen darüber hinaus in Abhängigkeit von der Anzahl Flugbrandähren aller unmittelbar umliegenden Parzellen mit

verschiedenen Methoden der Mittelwertbildung zu betrachten, führte jedoch zu keinem signifikanten Ergebnis. Für die Etablierung eines natürlichen Befalls im Zuchtgarten hatten die Infektionsstreifen eine größere Bedeutung zur Anhebung der Sporenkonzentration als die ungleichmäßig verteilt vorkommenden Parzellen mit mehr oder weniger Flugbrandähren. Da mit zunehmendem Anteil flugbrandresistenter Zuchtstämme über die drei Versuchsjahre hinweg auch die Anzahl flugbrandfreier Parzellen anstieg, nahm die Bedeutung der Infektionsstreifen für die natürliche Infektion ebenfalls weiter zu.

Die Hauptwindrichtung lag in den Anbaujahren 2007 und 2008 auf der Westseite des Versuchs, die in den zugeordneten Rasterplänen auf der jeweils rechten Seite anzusiedeln ist. Obwohl der Befall der Sporenfängerparzellen im Folgejahr für die Position der Parzelle im Vorjahr auf der Osthälfte des Zuchtgartens einen durchschnittlich höheren Befall aufwies (*Tabelle 2*), konnte aufgrund der großen Streuung der Einzelwerte dieser Unterschied statistisch nicht abgesichert werden. Die Position der Sporenfängerparzellen in Abhängigkeit von der Hauptwindrichtung war den Mittelwertvergleichen nach, bezogen auf die Unterteilung nach Osthälfte und Westhälfte, demnach von geringerer Bedeutung. Es ergab sich, dass in beiden Infektionsjahren keine Sporenfängerparzelle mehr als 5 Meter von einer Parzelle entfernt lag, in der mindestens eine Flugbrandähre zu finden war. Über den ganzen Zuchtgartenbereich hinweg fanden sich immer wieder Einzelparzellen oder Parzellengruppen mit Flugbrandähren. Offensichtlich konnten unabhängig von der Hauptwindrichtung auch solche Positionen im Zuchtgarten von Flugbrandsporen erreicht werden, die von den Flugbrandähren weiter entfernt waren.

Der natürlich mit Infektionsstreifen hervorgerufene Befall zeigte sich insbesondere in der Generation F_5 , wo er im Zuchtgarten 2008 zu einer ausgeprägten Differenzierung von befallsfreien bis hoch befallenen Nachkommenschaften führte. In den Generationen ab F_6 geben die Rasterpläne den Gesamtbefall pro Parzelle inklusive der künstlich inokulierten Ährennachkommenschaft wieder. Die *Tabellen 3* und *4* dokumentieren, wie viele Nachkommenschaften in der jeweiligen Generation nur aufgrund einer künstlichen Inokulation als anfällig erkannt wurden.

Tabelle 1: Befall der Sporenfängerparzellen in Abhängigkeit von der Nähe zum Infektionsstreifen

Table 1: Infestation with loose smut in spore catching plots depending on neighbourhood to infection stripes

Distance of plot related to smut infections stripes	next to it	further	next to it	further
Year	2007	2007	2008	2008
Number of plots (n)	7	30	28	32
Average loose smut infection in following year (%)	19.0**	9.4**	3.1**	1.2**
Standard deviation (%)	8.2	8.2	1.5	1.5

** = P<0.01

Tabelle 2: Befall der Sporenfängerparzellen in Abhängigkeit von der Hauptwindrichtung

Table 2: Infestation with loose smut in spore catching plots depending on main direction of wind (westwind)

Position of plot in	east part	west part	east part	west part
Year	2007	2007	2008	2008
Number of plots (n)	20	17	34	26
Average loose smut infection in following year (%)	12.9	9.2	2.7	1.4
Standard deviation (%)	8.8	8.8	1.7	1.7

Tabelle 3: Flugbrandbefall der Nachkommenschaften in den Generationen F₅-F₉ im Zuchtgarten 2008**Table 3: Loose smut attack of descendants in generations F₅-F₉ in the year 2008**

Generation generation	Nachkommenschaften descendants	mit Flugbrandbefall with loose smut	nur wegen Inokulation erkannt only recognized inoculated
F ₅	340 davon 0 inokuliert	169	
F ₆	196 davon 170 inokuliert	77	33
F ₇	61 davon 49 inokuliert	7	2
F ₈	11 davon 11 inokuliert	0	0
F ₉	9 davon 9 inokuliert	1	0
Neue Sorten/Stämme	28 inokuliert	25	11

Tabelle 4: Flugbrandbefall der Nachkommenschaften in den Generationen F₅-F₉ im Zuchtgarten 2009**Table 4: Loose smut attack of descendants in generations F₅-F₉ in the year 2009**

Generation generation	Nachkommenschaften descendants	mit Flugbrandbefall with loose smut	nur wegen Inokulation erkannt only recognized inoculated
F ₅	437 davon 0 inokuliert	76	
F ₆	312 davon 201 inokuliert	73	44
F ₇	254 davon 133 inokuliert	43	7
F ₈	35 davon 31 inokuliert	0	0
F ₉	41 davon 9 inokuliert	0	0
Neue Sorten/Stämme	67 inokuliert	59	50

Der Flugbrandbefall in den Generationen F₅ bis F₉ aus den beiden Jahren 2008 und 2009 zeigte in Relation zum Gesamtumfang für das Jahr 2009 einen insgesamt niedrigeren Anteil Nachkommenschaften mit Flugbrandbefall in den Generationen F₅ bis F₇ (Tabelle 4). Auch bei der als Sporenfänger eingesetzten Sorte Lawina war der durchschnittliche Befall mit 2,1% im Jahr 2009 deutlich niedriger als der Durchschnittsbefall von 11,2 % im Jahr 2008. Der niedrigere Befall im Jahr 2009 ist wahrscheinlich auf eine geringere Neigung zur Offenblütigkeit aufgrund eines witterungsbedingt gestauchten Wachstums zur Zeit des Ährenschiebens im Anbau 2008 zurückzuführen. Es kann aber auch nicht ausgeschlossen werden, dass ein Erreichen des Vegetationspunktes durch die Pilzhyphen unmittelbar nach der Keimung der Gerste im Anbau 2009 mit widrigen Umständen verbunden war. Die Verteilungsdichte der Flugbrandähren in den Infektionsstreifen war 2008 mit 15 nur um 35% niedriger als 2007 mit 23 pro Parzellenäquivalent. Daran allein konnte es nicht gelegen haben. Die beiden Jahre zeigten ihrerseits im Ergebnis die enorme Schwankungsbreite im natürlichen Befall.

Der Anteil der auf natürliche Weise befallenen Nachkommenschaften in der Generation F₅ fällt 2009 mit 17% (76 von 437) sehr viel niedriger aus als im Vorjahr mit 50% (169 von 340). Selbst unter der Annahme, dass es sich ausschließlich um Nachkommenschaften mit der Einkreuzung einer monogen dominant vererbten Resistenz handeln würde, müssten statistisch gesehen 44% einen Befall aufweisen. Für das Jahr 2010 muss daher ein entsprechend höherer Anteil anfälliger Nachkommenschaften in F₆ erwartet werden. Von der Generation F₅ zur F₆ war der Anteil der Nachkommenschaften, die aufgrund eines natürlichen Befalls erkannt wurden, im Verhältnis zu denjenigen, die nur aufgrund einer Inokulation erkannt wurden in beiden Jahren in etwa gleich hoch. In der Generation F₇ wurden die meisten der noch anfälligen Nachkommenschaften aufgrund der natürlichen Infektion und nur noch vereinzelte Nachkommenschaften

aufgrund der Inokulation erkannt. In den Generationen F₈ und F₉ konnte auch mittels Inokulation keine anfällige Nachkommenschaft mehr auffindig gemacht werden. Unter nur natürlichen Befallsbedingungen wäre demnach eine einzige Generation unter Befall für eine Prüfung auf Resistenz noch nicht ausreichend gewesen.

In den zugrunde liegenden Untersuchungen brachte nur jede 10. künstlich inokulierte Ähre einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn über die Anfälligkeit des Zuchtstammes. Bei bis zu 500 inokulierten Ähren pro Vegetation ist dies gemessen am Ergebnis ein sehr hoher Aufwand, wenn zugleich über drei Generationen unter Flugbrandbefall selektiert werden kann. Die Hälfte des Aufwandes für künstliche Inokulationen fiel bei dem in dieser Untersuchung verfolgten Ansatz in der Generation F₅ an. Andererseits führte bei Neuzugängen (Sorten, Testzuchtstämme, genetische Ressourcen) die künstliche Inokulation zu einem schnelleren Ergebnis, weshalb in diesem Bereich stattdessen auf Infektionsstreifen verzichtet werden könnte, da eine Generation unter natürlichem Befall für eine abschließende Beurteilung prinzipiell nicht ausreichte.

Bemerkenswert ist, dass von den weitergeführten anfälligen Zuchtstämmen und Sorten nicht eine einzige aufgrund des natürlichen Befalls verloren gegangen ist. Immer fanden sich ausreichend viele Geschwisterpflanzen mit denen ein Fortbestand des Zuchtstammes gewährleistet werden konnte.

Da von den 60 Sporenfängerparzellen der Ernte 2008 zur Befallsermittlung eine Ertragsprüfung mit Parzellen von 6 m² in zwei Wiederholungen angelegt werden konnte, war es möglich den Ertrag in Abhängigkeit vom Befall zu untersuchen. Dabei zeigte sich, dass unter Ausschluss der am höchsten befallenen Herkunft mit den restlichen 59 Proben keine signifikante Korrelation ermittelt werden konnte. Demnach waren für die Ertragsbildung bei einem Befall bis 5% und einem Ertragsniveau von 20 dt/ha andere Faktoren

von bedeutenderem Einfluss als der Kornverlust durch mit Flugbrand befallene Ähren.

Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen haben deutlich gemacht, dass für die Züchtung auf Sommergerstenflugbrandresistenz einerseits auf Infektionsstreifen in späteren Generationen und im Bereich von Neuzugängen verzichtet werden kann und andererseits die personalaufwendige künstliche Inokulation auf Nachprüfungen ab der Generation F_7 und die Prüfung von Neuzugängen beschränkt werden kann.

Mit dem Einfügen von Infektionsstreifen zur Etablierung eines Flugbrandbefalls über drei Generationen von F_4 bis F_6 kann der größte Teil anfälliger Zuchtstämme ausgeschieden werden. Gegenüber einer Züchtung unter Verwendung genetischer Marker kann bei diesem Verfahren mit jeder x -beliebigen Resistenzquelle gezüchtet werden und es kann parallel dazu mit der langfristig angelegten Entwicklung quantitativer Resistenzen unter Verwendung gering anfälliger Zuchtstämme begonnen werden.

Die für eine kontinuierliche ökologische Saatgutproduktion unverzichtbare Flugbrandresistenz kann mit dem hier entwickelten Ansatz verhältnismäßig kostengünstig zu

einem dauerhaften und nachhaltig verfolgten Zuchtziel gemacht werden. Jeder Zuchtbetrieb kann mit dem hier evaluierten Verfahren unmittelbar beginnen, sobald entsprechende Kreuzungsnachkommenschaften zur Prüfung anstehen. Von den ohnehin unverzichtbaren künstlichen Inokulationen bei Neuzugängen oder zur Nachprüfung abgesehen sind keine zusätzlichen Techniken erforderlich. Ob künftig entsprechende Sorten für eine Vermehrung im ökologischen Landbau zur Verfügung stehen werden, hängt lediglich davon ab, ob mit entsprechenden Kreuzungen und Selektionsprozessen begonnen wird.

Danksagung

Das Vorhaben wurde im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL) gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz in Deutschland unter dem Förderkennzeichen 06OE028.

Literatur

MÜLLER KJ, 2005: Wird die Bedeutung von Flugbrand an Sommergerste überschätzt? Bericht über die 55. Arbeitstagung der Vereinigung der Pflanzzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 23.-25. November 2004, pp 81-86. BAL Gumpenstein, Irdning.