

Züchtung von Hafer für den ökologischen Landbau

Breeding oats for organic farming

FKZ: 03OE647/1 und 03OE647/2

Projektnehmer:

Julius Kühn-Institut (JKI)
Institut für Züchtungsforschung an
landwirtschaftlichen Kulturen
Rudolf-Schick-Platz 3a, 18190 Sanitz
Tel.: +49 38209-45200
Fax: +49 38209-45222
E-Mail: zl@jki.bund.de
Internet: <http://www.jki.bund.de>

Projektnehmer:

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften
Ludwig-Wucherer-Straße 2, 06108 Halle (Saale)
Tel.: +49 345 55-22300
Fax: +49 345 55-27118
E-Mail: direktor@landw.uni-halle.de
Internet: <http://www.uni-halle.de>

Autoren: Herrmann, Matthias; Leithold, Barbara

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL)



**Bundesanstalt für Züchtungsforschung an
Kulturpflanzen
Institut für landwirtschaftliche Kulturen
Groß Lüsewitz**

SCHLUSSBERICHT

01.04.2004 bis 31.12.2006

Projekte 03OE647/1 und 03OE647/2

Programm des BMVEL zur Förderung von Forschungs-
und Entwicklungsvorhaben sowie Maßnahmen zum Technologie- und
Wissenstransfer im ökologischen Landbau
Bundesprogramm Ökologischer Landbau

Züchtung von Hafer für den ökologischen Landbau



Berichtersteller:

Dr. Matthias Herrmann

1. Ziel und Aufgabenstellung

Die prioritäre Stellung der Flugbrandresistenz bei der Expertenbefragung (SCHIMPF 1999) unter ökologischen Saatguterzeugern und die Flugbrandprobleme im Haferanbau vor der Einführung der chemischen Beizung weisen auf das Schadenspotenzial dieser Krankheit hin. Mit der Ausdehnung des ökologischen Landbaus dürfte auch die Bedeutung der Flugbrände zunehmen.

Im ökologischen Anbau von Hafer gibt es bisher keine hochwirksamen Bekämpfungsmöglichkeiten gegen den samenbürtigen Flugbrand, weshalb die Krankheitsresistenz neue Aktualität erfährt. Die Ergebnisse des Vorgängerprojektes (02OE030) wiesen auf die Notwendigkeit hin, gefundene Resistenzen hinsichtlich ihrer Virulenz und Vererbung zu charakterisieren und nach weiteren Resistenzquellen zu suchen.

Das vorliegende Projekt sollte in erster Linie einen Beitrag zur Ertragssicherheit des ökologischen Haferanbaus und zur Rentabilität der ökologischen Saatguterzeugung leisten, indem bislang bestehende Wissenslücken geschlossen werden und resistentes Ausgangsmaterial entwickelt wird. Indirekt unterstützt das Projekt über die Förderung des Anbaus der „kleinen“ Kultur Hafer die Diversität in der landwirtschaftlichen Fruchtfolge.

Insgesamt kann das Projekt den Themengebieten 3.1.1. und 3.1.2. des Förderprogramms zugeordnet werden, da es Lösungen bezüglich der Sortenwahl für den Ökolandbau und der Regulierung samenbürtiger Krankheitserreger aufgezeigt.

1.1 Planung und Ablauf des Projektes

Die geplanten Arbeiten wurden in den wesentlichen Punkten zeitlich wie vorgesehen ausgeführt. Der Nackthafer wurde dabei vom Projektpartner (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Professur für Pflanzenzüchtung, Dr. Barbara Leithold) bearbeitet¹. Kleinere Änderungen am Programm wurden in den Zwischenberichten 2004 und 2005 fachlich begründet.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Biologie von Haferflugbrand (*Ustilago avenae*)

Charakteristisch für *U. avenae* sind die kugeligen, mit kleinen Warzen besetzten Brandsporen, die eine morphologische Abgrenzung von anderen *Ustilago*-Arten ermöglichen. Haferflugbrandsporen, die vom Wind auf die Fruchtanlagen blühender Nachbarpflanzen geweht werden, keimen größtenteils dort aus und überwintern als Ruhemyzel zwischen Korn und Spelze (MILLS 1967, THIEDE 1963, ZADE 1924). Die Keimung der Sporen sowie das Öffnen der Blüte sind temperatur- und feuchtigkeitsabhängig, weshalb die jährlich Witterung zur Blütezeit den Infektionserfolg beeinflusst.

Von NICOLAISEN (1934) wird der Lebenszyklus von *U. avenae* zusammengefasst beschrieben. Demnach keimt die reife diploide Chlamydospore zu einem vierzelligen Promyzel aus. Jede dieser haploiden Zellen kann sich durch Sporidienabschnürung oder durch Myzelwachstum vermehren. Myzel oder Sporidien verschiedener Abschnitte können miteinander kopulieren, wenn sie geschlechtlich verschieden gepolt sind. Einzig aus den kopulierten Zellen entsteht ein Myzel, welches in der Lage ist, in die Pflanze einzudringen und wiederum Chlamydosporen entstehen zu lassen. Durch diese erzwungene Verschmelzung von Sporidien aus verschiedenen Primärsporidien sind die

¹ Im vorliegenden Bericht sind die Arbeitsergebnisse des Projektpartners durch die angefügte Fußnote 'MLU' gekennzeichnet.

Chlamydosporen immer heterozygot und bei der Isolation von Einzelsporen können unterschiedlich virulente Linien auftreten (SAMPSON UND WESTERN 1938). Deshalb ist die Isolation und Vermehrung von haploiden Sporidien der sicherste Weg, um in der Virulenz homozygote Flugbrandlinien zu erhalten. Für die Untersuchung einer größeren Anzahl Flugbrandherkünfte ist der letztgenannte Weg u.U. zu aufwändig, weshalb über eine wiederholte Vermehrung des Pathogens auf rassenspezifisch resistenten Hafersorten relativ konstante und unterschiedlich virulente Flugbrandrassen erzeugt wurden (REED 1929, NICOLAISEN 1931, SAMPSON und WESTERN 1938).

Keimt infiziertes Saatgut aus, werden durch Wachstum der Hyphen die Blatt- und Halmbasis sowie die meristematischen Gewebe befallen. MILLS (1966) berichtet über einen sehr zeitigen Befall der Rispenanlage. So wurde bereits in unausgebildeten Rispenanlagen von 1,5 cm Länge eine Sporenbildung durch den Pilz beobachtet. Diese zeitige Sporenbildung bei Zerstörung der Blütenorgane verzögert jedoch nicht das Rispschieben, so dass dem Pilz die Ausbreitung seiner Sporen zur Zeit der Blüte der Nachbarpflanzen ermöglicht wird und ein neuer Infektionszyklus beginnen kann.

Von *U. avenae* werden zahlreiche Pathotypen gebildet, deren Differenzierung mit Hilfe verschiedener Hafersorten möglich ist. Ein gegenwärtig genutztes Differenzialsortiment besteht aus 23 Haferlinien bzw. -sorten, deren rassenspezifische Resistenzen bereits von NICOLAISEN (1934) und MENZIES (2001) beschrieben wurden. Die aktuelle Verbreitung des Pilzes scheint in Deutschland nach jahrzehntelanger Saatgutbeizung und dem regelmäßigen Saatgutwechsel gering zu sein, während im Mittelmeerraum zahlreiche Flugbrandrassen mit den dort verbreiteten Haferwildarten koexistieren (NIELSEN 1978 und 1993). Auch in Nordamerika treten die Haferbrandpilze regelmäßig auf (MENZIES 2001).

Resistenz gegen Haferflugbrand

Zur Resistenz gegen Haferflugbrand (*Ustilago avenae*) gibt es eine Reihe von Arbeiten aus Nordamerika (REED et al. 1925, REED et al. 1947; NIELSEN 1977, WILCOXSON und STUTHMAN 1993), Deutschland (NICOLAISEN 1934, SCHATTENBERG 1934), Frankreich (MOULE 1957), Polen (MICZYNSKI 1955) und der ehemaligen Tschechoslowakei (BARTOŠ 1964), in denen zahlreiche Resistenzquellen beschrieben sind. NICOLAISEN (1934) fand im deutschen Hafersortiment jedoch keine Resistenz, die wirksam gegen alle in Deutschland gesammelten Rassen war. Lediglich einige ausländische Hafersorten erwiesen sich als immun im Sinne der vollständigen Befallsfreiheit.

Als Resistenzmechanismen wurden erstens eine Eindringungsresistenz in die Epidermis, zweitens eine Hypersensitivitätsreaktion nach dem Eindringen und drittens die Hemmung des Myzelwachstums im Gewebe beschrieben (WESTERN 1936). Ob es jedoch eine tatsächliche Hemmung des Pathogenwachstums gibt oder die genetische Konstitution des Pilzes ein langsames Wachstum bedingt, ist bislang nicht untersucht.

Zur Vererbung von Flugbrandresistenzen gibt es zahlreiche Publikationen (NICOLAISEN 1931 und 1934, REED und STANTON 1938, KIBITE et al. 2000), die übereinstimmend eine Dominanz für Resistenz konstatieren und dabei ein, zwei oder drei unabhängige Gene je nach Resistenzquelle und Virulenz des Pathogens postulieren.

In zahlreichen Publikationen wurden Umwelteinflüsse auf den Rispenbefall nach künstlicher oder natürlicher Infektion festgestellt. Bei Resistenztests mit künstlicher Inokulation des Saatgutes haben vor allem die Bodenfeuchte, Temperatur (JOHNSTON 1927) und Licht während der juvenilen Phase einen deutlichen Einfluss auf den späteren Befall der Rispen. Die natürliche Infektion der Samenanlagen im Freiland wird durch die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit während und nach der Blühphase beeinflusst,

weshalb für Resistenzprüfungen die Ausnutzung der natürlichen Infektion als Inokulationsmethode ungeeignet ist.

Bekämpfung des Haferflugbrandes

Als indirekte Bekämpfung bzw. vorbeugende Maßnahme gilt die Verwendung zertifizierten Saatgutes, bei dessen Erzeugung auf Befallsfreiheit geachtet wird. Befallsmindernde Wirkungen werden erzielt, wenn nach dem Sieben nur die großen Körner zur Aussaat verwendet werden (ARLAND 1924, BARTOŠ 1964, SPERLINGSSON 2004, TERVET 1941) oder die Spitzen der Karyopsen im Entgranner abgeschlagen werden (DIEHL 1925). Im konventionellen Pflanzenbau sind die Brandpilze effektiv durch verschiedene fungizide Wirkstoffe über eine Saatgutbeizung und auch über die Blattbehandlung mit systemischen Fungiziden bekämpfbar (Jones 1999). Für ökologische Anbauverfahren sind synthetische Beizmittel nicht zugelassen und andere Beizmöglichkeiten gegenwärtig nicht verfügbar (KOCH 2003, mündliche Mitteilung).

2. Material und Methoden

2.1 Gewinnung von Einsporlinien über In-vitro-Kultur

Hierzu wurden von den drei vorhandenen Flugbrandherkünften verdünnte Sporensuspensionen mit sterilem entionisiertem Wasser erstellt, so dass in einem Tropfen von 1 µl in den meisten Fällen nur eine Spore vorhanden war. Mittels einer Pipette wurden mehrere Tropfen dieser Suspensionen unter sterilen Bedingungen auf einen Objektträger aufgetragen. Nach der Überprüfung der Sporezahl im Tropfen wurde dieser mit einem sterilen Filterpapiereckchen aufgesaugt und letzteres in Potato

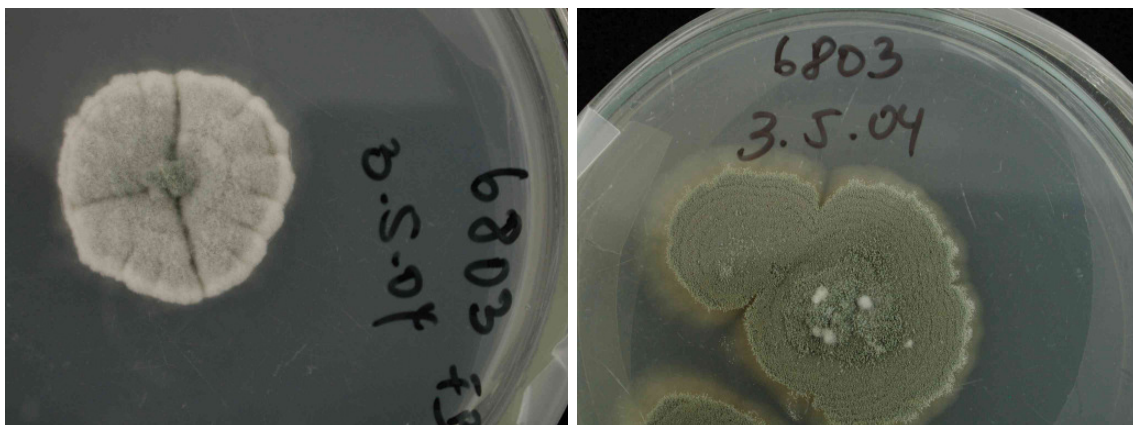


Abb. 1 In-vitro-Kultur von Einzelsporen auf Potato-Dextrose-Agar

Dextrose Agar gesteckt. Nach wenigen Tagen entwickelten sich typische Flugbrandkolonien, die in Petrischalen getrennt vermehrt wurden. In die entwickelten Kolonien der Einzelsporenkulturen wurden entspelzte Karyopsen einer flugbrandanfälligen aber mehlttauresistenten Haferlinie mit dem Embryo nach unten gelegt, so wie bei NICOLAISEN (1934) beschrieben. Die entwickelten Keimpflanzen wurden dann in Töpfen im Freiland unter einem Rain-out-Shelter weiterkultiviert.

2.2 Vermehrung von Flugbrandherkünften auf Differenzialsorten zur Selektion konstanter Rassen

Bei dieser Methode wird die selektive Wirkung der Resistenz der Wirtspflanze auf das Flugbrandgemisch genutzt (Nicolaisen 1935). Ausgangspunkt war ein Virulenztest mit

den drei vorhandenen Flugbrandherkünften (D1 = Dottenfelder Hof; D2 = Darzau; K1 = Isolation von der Differenziallinie CI5575 aus Kanada) auf einem Differenzialsortiment (Tab. 1). Die Flugbrandenernte teilbefallener Sorten wurde zur Inokulation der jeweils beernteten Sorte verwendet. Diejenigen Flugbrandvermehrungen, die eine gewisse Zunahme oder Konstanz des Befalls erkennen ließen, wurden 2005 ein drittes Mal auf ihrer Sorte vermehrt und parallel auf einem anfälligen Haferstamm, um genügend Inokulum für spätere Versuche zu gewinnen. Bei den Isolaten D1-FB6, D2-FB7 und K1-FB8 war die Sporenernte der dritten Vermehrung zu gering für den anschließenden Virulenztest, weshalb für diesen die Sporen aus der parallel erfolgten Vermehrung auf dem flugbrandanfälligen Haferstamm eingesetzt wurden. Somit liegt hier nur eine zweimalige Passage über die Ausgangssorte vor.

2.3 Virulenz- und Resistenzprüfungen

Für die Virulenz- und Resistenzprüfungen wurden mindestens 20 Karyopsen je Wiederholung von jedem Prüfglied in gelochte Cryo-Röhrchen (10 ml) gefüllt und unter Vakuum mit einer Sporenkonzentration von 1,0 g/l H₂O inokuliert. Dazu wurden in Anlehnung an die Methode von NIELSEN (1977) 10-l-Vakuumflaschen verwendet, die über Vakuumschläuche untereinander und mit einer Vakuumpumpe verbunden waren.



Abb. 2 10l-Vakuumflaschen, Inokulationsröhrchen (mittleres Bild) zur Inokulation des Saatgutes und inokuliertes Saatgut während der Trocknung (rechts)

Mehrere Absperrhähne ermöglichten das kontrollierte Ein- und Absaugen der Inokulumsuspension nach zehnmütiger Infiltration des Saatgutes bei -1000 mbar Unterdruck.

Die Versuche im Gewächshaus wurden in QuickPot-Baumschulplatten (Firma Hermann Mayer), gefüllt mit „Einheitserde“, ausgelegt. Sämtliche Versuche wurden als randomisierte Block- oder Gitteranlagen angelegt und die Befallsdaten mit PLABSTAT (Utz 2001) statistisch verrechnet.

3. Ergebnisse

3.1 Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

Gewinnung und Untersuchung definierter Flugbrandrassen

Trotz optimaler Anzuchtbedingungen und ausreichender Pflanzenzahl zeigte keine der Pflanzen, die auf dem Myzel von Einsporlinien in Petrischalen angekeimt worden waren, Befall mit Flugbrand. Aufgrund dieses negativen Ergebnisses wurde die Einsporlinienerzeugung über In-vitro-Kultur nicht weiter verfolgt, da hierfür erstens offenbar die sehr zeitaufwändige Isolation von Einzelsporidien mittels Mikromanipulator notwendig ist (NICOLAISEN 1934) und zweitens die Alternativmethode zur Gewinnung definierter Rassen wesentlich erfolgreicher war. Sie



Abb. 3 Vermehrung von Flugbrandrassen unter einem Rain-out-Shelter

wurde ohnehin in den meisten genetischen Studien genutzt (REED and STANTON 1938, SCHATTEBERG 1934).

Nach dreifacher Vermehrung der D1-Flugbrandherkunft auf 'Camas' bzw. zweifacher Passage über die Sorte 'Clintland' sind Rassen mit verschiedener Virulenz entstanden (Tab. 1). So sind die Flugbrandrassen D1-FB1 und D1-FB2 mit nahezu identischem Virulenzmuster erheblich virulenter gegenüber 'Camas' und der Sorte 'Lochows Gelbhafer' als die Rasse D1-FB6, die wiederum auf den Differenziallinien 'Black Diamond', 'Clintland', OT296, 'Flämingstip' und 'Skrzat' stärkeren Befall erreicht.

D2-FB7 besitzt die geringste Virulenzkomplexität unter den geprüften Rassen und unterscheidet sich nur in der Virulenz für die Sorten 'Camas', 'Clintland', OT296, 'Lochows Gelbhafer' und 'Skrzat' zu D1-FB1 bzw. D1-FB6. Das Ergebnis, dass nach zweimaliger Passage in der Sorte 'Dumont 68' keine Zunahme der Virulenz gefunden wurde, kann verschiedene Ursachen haben. Neben einer unbekannt, wenn auch als gering anzunehmenden Inhomogenität der Hafersorte, was für die wenigen während der Vermehrung auftretenden brandigen Rispen die Ursache sein könnte, kommt auch noch die Homogenität in der Virulenz der Flugbrandrasse bei insgesamt schwacher Virulenz für 'Dumont 68' in Betracht.

Die kanadische Flugbrandherkunft K1 wurde auf Sorten vermehrt, deren Resistenzniveau zu Beginn der Arbeiten höher eingestuft wurde. Beim Vergleich der Rassen K1-FB4, K1-FB5 und K1-FB8 sind keine großen Virulenzunterschiede zu erkennen, selbst wenn signifikante Befallsunterschiede im Anfälligkeitsbereich bei einigen Sorten zu verzeichnen sind. Für eine sichere Unterscheidung der drei Vermehrungen reichen diese Unterschiede nicht aus und ein weiterer Vermehrungs- und Prüfungszyklus wäre notwendig, um hier gesicherte Aussagen ableiten zu können.

Neben den Ergebnissen zur Virulenz der Flugbrandrassen bietet der Virulenztest auch Daten zur Resistenz der mitgeprüften Standardsorten. So zeigen 'Boxer' und 'Hamel' bei ähnlichem Resistenzmuster geringere Befallswerte gegenüber D1-FB6 und D2-FB7 als 'Flämingstip' und 'Skrzat'.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse kann von mindestens 4 unterschiedlich virulenten Rassen in den vorliegenden Versuchen ausgegangen werden. So sind aus der Dottenfelder Flugbrandherkunft die beiden Rassen D1-FB1 und D1-FB6 entwickelt worden, die sich von der Darzauer- und der Kanada-Herkunft unterscheiden.

Resistenzprüfungen

Die Ergebnisse zur Virulenzdiversität und Virulenzkomplexität der Rassen unterstreichen die Notwendigkeit, die Resistenz mit verschiedenen Rassen zu prüfen. In Tabelle 2 sind jene 139 Genbankherkünfte und Sorten aufgelistet, die gegen die Flugbrandherkünfte K1, D1 und D2 hochresistent waren. Darunter befindet sich jedoch keine gegenwärtig in Deutschland zugelassene Sorte. Für den Anbau in Deutschland gibt es jedoch 9 zugelassene Sorten, die eine Resistenz gegenüber den Flugbrandherkünften D1 und D2 aufweisen (Tab. 3). Die im Rahmen des Projektes

geprüften und als anfällig eingestuften Sorten und Genbankherkünfte sind in Tabelle 4 aufgelistet.

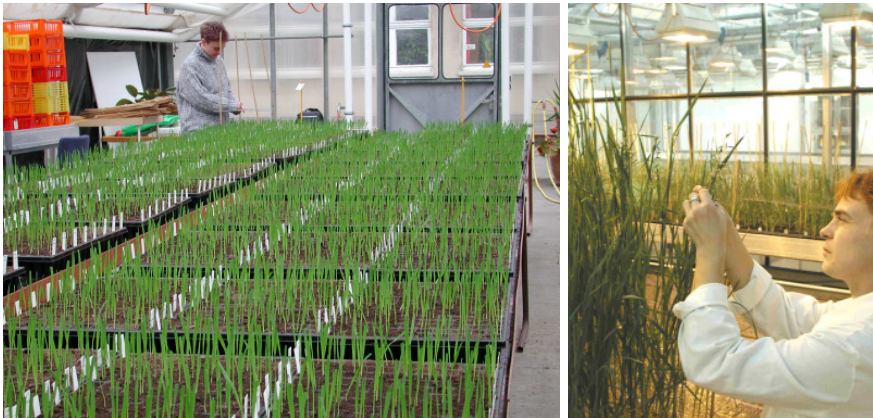


Abb. 4 Resistenzprüfungen im Gewächshaus

Zwischen Gewächshaus- und Freilandergebnissen wurden hochsignifikante Korrelationen (0,6-0,8) gefunden, wobei im Mittel über zwei Versuche der Befall im Gewächshaus um 20 % höher lag. Die Freilandprüfungen ermöglichen eine Eliminierung der hochanfälligen Genotypen bei gleichzeitiger Prüfung agronomischer Eigenschaften. Um bei der Prüfung im Freiland den Infektionsdruck zu erhöhen, bieten sich eine Erhöhung der Inokulumdichte und die Entspelzung des Saatgutes vor der Inokulation an. So verwendeten WILCOXSON und STUTHMAN (1993) eine Inokulumkonzentration von 12,5 g/l im Rahmen der routinemäßigen Resistenzprüfung und hielten dennoch eine mehrjährige Prüfung für unerlässlich, weil selbst hier der Befall von Jahr zu Jahr von 0 % bis 20 % bei resistenten Sorten schwanken kann. Eine Wiederholungsprüfung wird bei den vermeintlich resistenten Prüfgliedern als notwendig bezeichnet, während ein starker Befall in nur einer Umwelt bereits indikativ für Anfälligkeit ist (WILCOXSON und STUTHMAN 1993).

Resistenzvererbung

Die Resistenzgenetik wurde an der Nackthafer-Genbankherkunft AVE378 sowie den Spelzhaferarten 'Flämingstip', 'Boxer' und 'Hamel' untersucht. Für die Untersuchung der Resistenz der Genbank-Akzession AVE378 (geringer Ertrag, starke Lagerneigung) standen F₃-Familien aus Kreuzungen mit den anfälligen Nackthaferarten 'Isak' und 'Bullion' sowie der anfälligen Spelzhaferart 'Neklan' zur Verfügung. Der Resistenztest im Gewächshaus^{MLU} umfasste je 10 F₃-Pflanzen aus 201 F₂-Einzelpflanzen von 'Bullion' x AVE378, 213 F₂-Einzelpflanzen von 'Isak' x AVE378 und 182 F₂-Einzelpflanzen der Kreuzung 'Neklan' x AVE378.

Die Ergebnisse der Befallsbonitur der F₃-Pflanzen lassen Rückschlüsse auf die Aufspaltung der F₂-Generation zu (Tab. 5). In Anlehnung an NICOLAISEN (1931) wurde die Klassengrenze zwischen spaltend und anfällig auf 50 % festgelegt. Die gefundenen Aufspaltungen sind am ehesten mit einem dominant digenen Erbgang erklärbar, auch wenn nur die Kreuzungsnachkommenschaft mit 'Bullion' statistisch gesichert 15:1 spaltet. In den Kreuzungen mit der Spelzhaferart 'Neklan' und 'Isak' weicht die Aufspaltung zwar vom 15:1 Verhältnis ab, kann jedoch auch nicht mit der Annahme eines monogenen Erbganges erklärt werden.

Betrachtet man die Häufigkeit der unterschiedlich befallenen F₃-Familien, ergibt sich folgendes Bild (Abb. 5).

^{MLU} Resistenztest vom Projektpartner Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

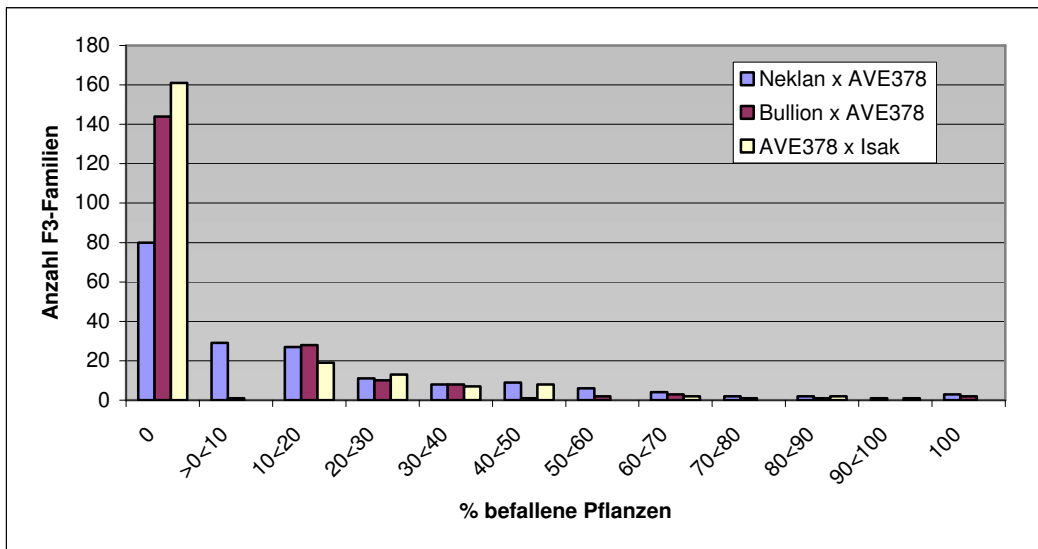


Abb. 5: Häufigkeit der unterschiedlichen F3-Familien der Kreuzungen mit dem Resistenzdonor AVE378, sortiert nach relativer Befallshöhe^{MLU}

Zur genetischen Untersuchung der Resistenz von 'Flämingsstip' wurden sowohl F₂- und BC₁-Pflanzen aus der Kreuzung mit 'Flämingsprofi' in Groß Lüsewitz als auch F₃-Familien aus der Kreuzung mit anfälligen Nackthafersorten an der MLU geprüft. Das Histogramm der F₃-Familien mit ihrem relativen Befall von 10 geprüften Pflanzen ist in Abbildung 6 dargestellt.

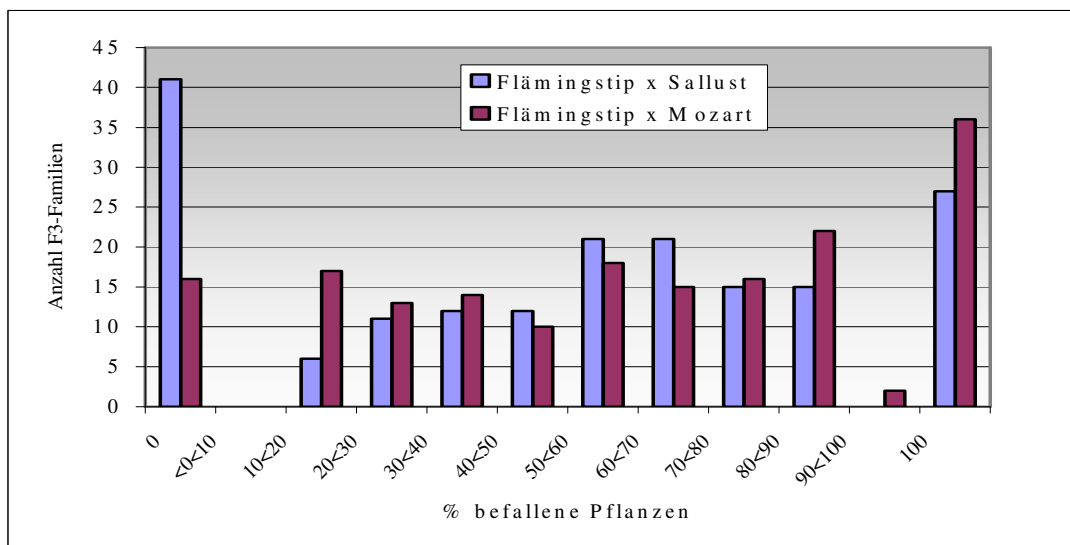


Abb. 6: Häufigkeitsverteilung der F₃-Familien, gruppiert nach relativem Flugbrandbefall in den F₃ von Kreuzungen mit dem Resistenzdonor 'Flämingsstip'^{MLU}

In der Abbildung 6 ist die Ähnlichkeit der Aufspaltung zwischen den beiden untersuchten Kreuzungen erkennbar, wenngleich die Kreuzung mit 'Sallust' einen höheren Anteil resistenter F₃-Familien aufweist. Die mitgeprüften Kreuzungseltern waren vollständig befallen bzw. befallsfrei, so dass von einer optimalen Differenzierung zwischen resistenten und anfälligen Nachkommen ausgegangen werden kann. Aus der

^{MLU} Resistenztest vom Projektpartner Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Prüfung der Aufspaltungsverhältnisse kann weder ein monogener noch ein digener Erbgang mit Signifikanz abgeleitet werden. Mit großer Wahrscheinlichkeit entstand durch die geringe Stichprobengröße von 10 Pflanzen je F₃-Familie eine Fehlerquote bei der Trennung zwischen den drei Befallsklassen, was aber durch die relativ hohe Familienzahlen je Kreuzung teilweise kompensiert sein könnte.

Die Betrachtung der BC₁- und F₂-Familien (Tab. 6) lässt ebenfalls keine gesicherte Aussage zur Vererbung der Resistenz aus 'Flämingstip' zu. Aus der Aufspaltung der Kreuzung von 'Flämingstip' mit 'Hamel' ergibt sich, dass in 'Flämingstip' maximal ein dominantes Gen die Resistenz bewirkt. Diese Annahme wird durch die BC₁ und F₂ mit 'Flämingsprofi' bei Berücksichtigung der Unvollständigkeit der Resistenz gestützt.

Die hier gefundenen Ergebnisse zur Vererbung bestätigen den bisherigen Status, wonach alle bislang gefundenen Resistenzen gegen Haferflugbrand dominant vererbt werden (NICOLAISEN 1934). Als gesichert kann ferner der Unterschied im Resistenzspektrum zwischen 'Flämingstip' auf der einen und 'Boxer' und 'Hamel' auf der anderen Seite gelten. Die F₂-Familien zwischen den jeweils unvollständig resistenten Sorten 'Flämingstip', 'Boxer' und 'Hamel' spalten im 15:1 oder im 3:1-Verhältnis auf, was auf unabhängige Resistenzgene in den drei Sorten schließen lässt.

Untersuchungen zur Epidemiologie von Haferflugbrand

Nachdem 2006 erneut Saatgut aus dem Flugbrandversuch 2005 im Nachbau auf Befall geprüft wurde, liegen nun dreijährige Ergebnisse zum Nachbau von Hafer vor, der unter natürlichen Befallsbedingungen aufgewachsen ist. Aus der Nachbauprüfung 2005 wurde insgesamt deutlich, dass die natürliche Infektion zu starkem Befall im Nachbau führen kann, wenn die Bedingungen für den Pilz sowohl während der Infektion als auch im Nachbaujahr günstig sind. Im Nachbauversuch von 2006 konnte kein hoher Befall festgestellt werden. So sind die Prüfglieder im Mittel mit 1,0 % befallen bei einer Schwankungsbreite von 0 bis 8 % (Tab. 7). Beim Vergleich der Nachbauwerte mit dem Vorjahresbefall der Ausgangslinien, die im Mittel 23 % Befall aufwiesen, ergab sich keine signifikante Korrelation. Dieses vom Vorjahr abweichende Ergebnis bestätigt eine ähnliche Arbeit von BARTOŠ (1964), der ebenfalls starke Schwankungen im Nachbau von natürlich infizierten Haferproben fand. Die starken Jahreseffekte entstehen dadurch, dass der Pilz zweimal die Pflanze infizieren muß, zuerst die Samenanlage während der Blüte und später nach der Aussaat im Boden die Keimpflanze, wobei in beiden Zeiträumen die Witterung den Befall beeinflusst.

Unbeschadet der Ergebnisse von 2006 bleibt die Kernaussage vom Vorjahr gültig, wonach die natürliche Infektion in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen zur Blüte zu starkem Befall des Saatgutes führen kann.

3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Als Nutzen kann an erster Stelle der hier gewonnene Kenntnisstand bezüglich der Resistenzen im aktuellen Hafersortiment genannt werden. Demnach gibt es mehrere Sorten, die unter Feldbedingungen weniger oder keinen Befall zulassen. Dieses kann sich ändern, wenn sich neue Flugbrandrassen ausbreiten, was insbesondere durch Saatgutaustausch zwischen Züchtern zufällig geschehen kann oder wenn überlagertes Saatgut aus Genbanken angebaut wird.

Die im Rahmen des Projektes entstandenen resistenten Zuchtstämme bei Spelz- und Nackthafer wurden bzw. werden noch an interessierte Züchtungsunternehmen abgegeben, die daraus Sorten entwickeln.

Die bisherigen Teilergebnisse wurden auf verschiedenen Tagungen vorgestellt und publiziert:

- BRUCHMÜLLER, A., B. LEITHOLD und E. WEBER, 2006: Untersuchungen zur Genetik und Übertragung von Flugbrandresistenz in Nackthaferorten. 8. GPZ-Tagung, 14.-16.03.2006 in Freising-Weihenstephan. Votr. Pflanzenzüchtg. 68, Poster 40
- HERRMANN, M. 2004: Untersuchung europäischer Sorten und genetischer Ressourcen des Hafers auf Resistenz gegen den Haferflugbrand .In: RAHMANN, G.; KÜHNE, S. [Hrsg.]: Ressortforschung für den ökologischen Landbau 2004, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 273, 21-26
- HERRMANN, M. 2004: Resistenz bei Hafer gegen Flugbrand (*Ustilago avenae*). Tag des ökologischen Landbaus der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Poster, 10.06.2004, Gülzow,
- HERRMANN, M. 2004: Resistance to *Ustilago avenae* in European oat lines, Poster. 7. Internationaler Haferkongress, 18.-22.07.2004, Helsinki, Finnland
- HERRMANN, M. Untersuchung europäischer Sorten und genetischer Ressourcen des Hafers auf Resistenz gegen den Haferflugbrand. Statusseminar des SAG Ökolandbau zum Thema Ressortforschung für den Ökologischen Landbau, Vortrag. 05.03.2004, BBA, Kleinmachnow
- HERRMANN, M.; LEITHOLD, B. 2005: Aktuelle Ergebnisse zur Flugbrandresistenz von Nackthafer. In: HESS, J.; RAHMANN, G. (Hrsg.): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 01.-04.03.2005, Kassel, 113-114
- HERRMANN, M. 2005: Ergebnisse zur Resistenz von Hafer gegen Flugbrand (*Ustilago avenae*), Vortrag, GPZ-Tagung, 27.06.2005, Universität Hohenheim

Für März 2007 sind ein Vortrag auf einer Tagung der SAG Ökolandbau und ein Poster auf der in Hohenheim stattfindenden 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau geplant.

4. Zusammenfassung

Für den ökologischen Anbau von Hafer gibt es bislang keine hochwirksamen Bekämpfungsmöglichkeiten gegen den samenbürtigen Flugbrand, weshalb im Rahmen eines dreijährigen Projektes grundlegende Fragen der Resistenzzüchtung als nachhaltigste Strategie zu beantworten waren. So waren definierte Flugbrandrassen zu entwickeln, die Vererbung ausgewählter Resistenzquellen bei Spelz- und Nackthafer zu untersuchen, alte und neue Resistenzquellen für Spelz- und Nackthafer mit verschiedenen Flugbrandrassen zu prüfen und der Befall im Nachbau von auf natürliche Weise infizierten Hafersorten zu ermitteln.

Zur Virulenzprüfung mit einem Differenzialsortiment und für die Spaltungsanalysen wurde das Saatgut unter Vakuum (-1000 mbar) in einer Sporensuspension (1g/l) inokuliert.

Über eine zwei- bzw. dreifache Vermehrung auf rassenspezifisch resistenten Sorten wurden drei Flugbrandherkünfte (D1 = Dottenfelder Hof; D2 = Darzau; K1 = Isolat aus Kanada) der selektiven Wirkung der Resistenzen ausgesetzt. Die Prüfung der daraus entstandenen Flugbrandvermehrungen wies neben einer stärkeren Virulenz der kanadischen Herkunft nach, dass lediglich aus der D1-Herkunft zwei verschieden virulente Rassen generiert wurden. Insgesamt wurden vier virulenzdefinierte Rassen selektiert, von denen zwei für genetische Analysen der Flugbrandresistenzen der Spelzhafersorten 'Flämingstip', 'Hamel' und 'Boxer' sowie der Nackthaferakzession AVE378 eingesetzt wurden. Bezüglich der letzteren Haferlinie wurde anhand der F₃-Familien von Kreuzungen mit drei anfälligen Sorten ein digener dominanter Erbgang

für Resistenz postuliert. Bei den Resistenzträgern 'Flämingstip', 'Hamel' und 'Boxer' sind jeweils einfache, unabhängig dominante Resistenzgene am besten mit den Spaltungszahlen vereinbar.

Im Rahmen des dreijährigen Projektes konnten von 495 geprüften Hafergenotypen 139 mit Resistenz gegen alle eingesetzten Flugbrandrassen und 31 Sorten mit Resistenz gegenüber den Herkünften D1 und D2 gefunden werden. Die Mehrzahl der gegenwärtig in Deutschland zugelassenen Sorten ist jedoch anfällig, weshalb die Züchtung resistenter Sorten für den ökologischen Anbau sinnvoll wäre. Der Nachbau von Saatgut aus Freilandversuchen mit Flugbrandbefall hat gezeigt, dass im Vergleich zur künstlichen Inokulation die natürliche Infektion zu ähnlichen oder höheren Befallswerten führen kann, wenn die Bedingungen für den Pilz günstig sind und keine Resistenz vorliegt.

5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den erreichten Zielen

Gewinnung und Untersuchung definierter Flugbrandrassen.

Virulenzdefinierte Linien von *Ustilago avenae* sollten mit zwei verschiedenen Ansätzen gewonnen werden, von denen nur der zweite erfolgreich war (Siehe Ergebnisteil). So war geplant, 30 Flugbrandrassen zu entwickeln. Dieses gelang aufgrund der geringen Heterogenität der Ausgangspopulationen nicht, ist jedoch aus epidemiologischer Sicht eher als positiv zu werten. Auf die Beschaffung weiterer Rassen aus Kanada wurde aus phytosanitären Gründen verzichtet. Deshalb war es sinnvoll, von der Versuchsplanung abzuweichen.

Resistenzgenuntersuchung unter Verwendung verschiedener Flugbrandrassen

Es war geplant, 30 verschiedene Resistenzquellen mit diversen Rassen zu prüfen. Da insgesamt nur 4 verschiedene Flugbrandrassen entwickelt wurden, war es möglich, eine größere Anzahl Resistenzquellen mit verschiedenen Rassen zu prüfen. Insgesamt wurden über 170 Genotypen mit definierten Rassen geprüft.

Untersuchung der Unabhängigkeit der Resistenzfaktoren in verschiedenen Hafersorten

Die Unabhängigkeit der Resistenzfaktoren sollte an mindestens zwei Kreuzungskombinationen geprüft werden. Im letzten Versuchsjahr 2006 wurden 3 F₂-Kreuzungspopulationen von 3 Resistenzquellen untersucht ('Flämingstip', 'Boxer', 'Hamel').

Untersuchungen zur Vererbung und Übertragung der Resistenz auf Nackthafer

Als vermeintliche Resistenzquellen aus Spelzhafer wurden hier 'Flämingstip' und 'Neklan' eingekreuzt, wobei sich letztere Sorte im Nachhinein als anfällig erwies und auch 'Flämingstip' nur gegen die deutschen Flugbrandrassen Resistenz zeigte. Die Vererbung wurde somit an 'Flämingstip' und der resistenten Genbankherkunft AVE378 untersucht und für AVE378 sicher aufgeklärt. Desweiteren wurden mehrere hochresistente Nackthafergenotypen gefunden.

Weiterführung des Resistenzscreenings alter Sorten und Genbankherkünfte

Die Ziele hierzu wurden bereits 2005 erreicht, indem eine ausreichend große Zahl von Resistenzquellen gefunden wurde.

Untersuchungen zur Epidemiologie von Haferflugbrand und notwendigen Höhe des Resistenz- bzw. Toleranzniveaus.

Wie geplant wurden Ernteproben aus den infizierten Freilandversuchen auf Befall im

Nachbau untersucht, was in Abhängigkeit von Resistenz, Saatgutbefallsstärke und Prüfbedingungen zu unterschiedlichen Befallshöhen geführt hat.

6. Literaturverzeichnis

- ARLAND, A. 1924: Der Haferflugbrand, biologische Untersuchungen mit besonderer Berücksichtigung der Infektions- und Anfälligkeitsfrage. Bot. Arch. Bd. 7, Heft 1 und 2
- BARTOŠ, P. 1964: Varietal resistance of oats to loose smut. Rostlinná Výroba 1964, p. 409-422
- DIEHL, O., 1925: Experimentelle Untersuchungen über die Lebensweise und Bekämpfung des Haferflugbrandes. Bot. Arch. 11: 146-199
- JOHNSTON, G.O. 1927: Effect of soil moisture and temperature and of dehulling on the infection of oats by loose and covered smuts. Phytopath. 17: 31-36
- JONES P., 1999: Control of loose smut (*Ustilago nuda* and *U. tritici*) infections in barley and wheat by foliar applications of systemic fungicides. Europ. J. Plant Pathol. 105: 729–732
- KIBITE, S., J.G. MENZIES and P.L. THOMAS. 2000. Inheritance of resistance to three pathotypes of loose smut of oats. In: R. Cross et al. (eds.) Proc. 6th Int. Oat Conf., pp. 298-302
- MENZIES, J.G. 2001: Virulence of collections of *Ustilago avenae* and *Ustilago kolleri* sampled from oat fields in Canada during 1995-1999. Can. J. Plant Pathol. 23: 42-46
- MICZYNSKI, K. 1955: Studies on the susceptibility of oat varieties to smut – Part II (in Polish). Acta Agrobotanica 3: 179-217
- MILLS, J.T. 1966: The development of loose smut (*Ustilago avenae*) in the oat plant with observations on spore formation. Trans. Br. Mycol. Soc. 49: 651-663
- NICOLAISEN, W. 1931: Beitrag zur Immunitätszüchtung des Hafers gegen *Ustilago avenae* (Pers.) Jens. Z. Züchtg.: A. Pflanzenzüchtg. Bd. 16, Heft 2: 256-278
- NICOLAISEN, W. 1934: Die Grundlagen der Immunitätszüchtung gegen *Ustilago avenae* (Pers.) Jens.. Z. Züchtg.: A. Pflanzenzüchtg. Bd. 19 Heft 1: 1-56
- NICOLAISEN, W. 1935: Untersuchungen mit Herkünften des Haferflugbrandes im Rahmen der Immunitätszüchtung. Z. Züchtg.: A. Pflanzenzüchtg. Bd. 20, Heft 3: 318-345
- NIELSEN, J. 1977: A collection of cultivars of oats immune or highly resistant to smut. Can. J. Plant Sci. 57: 199-212
- NIELSEN, J. 1978: Frequency and geographical distribution of resistance to *Ustilago* in six wild species of *Avena*. Can. J. Plant Sci. 58: 1099-1101
- NIELSEN, J. 1993: Host specificity of *Ustilago avenae* and *U. hordei* on eight species of *Avena*. Can. J. Plant Pathol. 15:14-16
- REED, G.M. und FARIS I.A. 1924: Influence of environmental factors on the infection of sorghum and oats by smuts I-II. Experiments with covered smuts of oats and general considerations. Amer. J. Bot. 11: 579-599.
- REED, G.M. ; M.A. GRIFFITHS and F.N. BRIGGS 1925: Varietal susceptibility of oats to loose and covered smuts. USDA, Washington D.C., Department Bull. No. 1275, p. 1-37
- REED, G.M. and STANTON T.R. 1938: Inheritance of resistance to loose and covered smuts in Markton oat hybrids. J. Agric. Res. 56: 159-176
- REED, G.M., T.R. STANTON and G.J. WILDS 1947: Reaction of oat varieties and selections to physiologic races A-30 and A-31 of loose smut. J. Amer. Soc. Agron. 39: 1077-1087

- SAMPSON, K. and WESTERN J.H. 1938: Biology of oat smuts. V. A ten years' survey of six spore collections. Propagation, screening and monospore isolation experiments. *Ann. Appl. Biol.* 25: 490-505
- SCHATTENBERG, H. 1934: Untersuchungen über das Verhalten von Sorten, Kreuzungsnachkommenschaften und Kreuzungspopulationen gegenüber verschiedenen Herkünften von Haferflugbranden. *Kühn-Archiv* 37: 411-449
- SCHIMPF, E. 1999: Expertenumfrage der AGÖL zum Getreidesaatgut im Sommer 1999. www.agoel.de/download/Exp_Umf.PDF
- TERVET, I.W. 1941: Problems in the determination of physiologic races of *Ustilago avenae* and *U. levis*. *Phytopath.* 31: 672-673
- THIEDE, H. 1963: Untersuchungen zur Biologie und Bekämpfung von *Ustilago avenae* (Persoon) Jensen sowie der Infektionsmethodik. *Phytopathol. Z.* 48: 29-72
- UTZ, H.F. 2001: PLABSTAT, ein Computerprogramm zur statistischen Analyse pflanzenzüchterischer Experimente. Version 2P vom 14. Juli 2001
- WESTERN, J.H. 1936. Biology of oat smuts. IV. The invasion of some susceptible and resistant oat varieties, including Markton, by selected biological species of smut. (*Ustilago avenae* (Pers.)) Jens and *Ustilago kolleri* (Wille). *Ann. Appl. Biol.* 23: 245-263
- WILCOXSON, R.D. und STUTHMAN D.D. 1993: Evaluation of oats for resistance to loose smut. *Plant Dis.* 77: 818-821
- ZADE, A. 1924. Neuere Untersuchungen über die Lebensweise und Bekämpfung des Haferflugbrandes (*Ustilago avenae* (Pers.) Jens.), *Angew. Bot.* 6: 113-125