



Untersuchung europäischer Hafersorten auf Resistenz gegenüber Haferflugbrand (Ustilago avenae)

Herausgeberin:

Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau
in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
53168 Bonn

Tel.: +49 228 6845-280 (Zentrale)

Fax: +49 228 6845-787

E-Mail: geschaeftsstelle-oekolandbau@ble.de

Internet: www.bundesprogramm-oekolandbau.de

Finanziert vom Bundesministerium für
Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau

Auftragnehmer:

Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen,
Groß Lüsewitz,
Getreidezüchtungsforschung Darchau, Neu Darchau

Dieses Dokument ist über <http://forschung.oekolandbau.de> verfügbar.



Dieses Dokument ist in der Wissenschaftsplattform des Zentralen Internetportals "Ökologischer Landbau" archiviert und kann unter <http://www.orgprints.org/8334> heruntergeladen werden.



Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen
Institut für landwirtschaftliche Kulturen
Groß Lüsewitz

ABSCHLUSSBERICHT

zum Projekt 02OE030

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

Untersuchung europäischer Hafersorten auf Resistenz gegenüber Haferflugbrand (*Ustilago avenae*)

(BAZ-3157)

in Zusammenarbeit mit Dr. K.-J. Müller (Getreidezüchtungsforschung Darzau, Neu Darchau)

Bearbeiter:

Dr. Matthias Herrmann

Bearbeitungszeitraum:

01.06.2002 bis 31.12.2003

1. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Das von der Bundesregierung verfolgte Ziel der Ausweitung des ökologischen Landbaus setzt eine effektive Saat- und Pflanzguterzeugung voraus, weil gesundes Saat- und Pflanzgut eine wichtige Grundlage für ertragreiche und qualitativ hochwertige Ernten darstellt. Auf Grund der hohen Ertragsrelevanz verschiedener samenübertragbarer Pilzkrankheiten wird im konventionellen Pflanzenbau das Saatgut mit hochwirksamen synthetischen Beizmitteln behandelt. Deren Einsatz ist im ökologischen Landbau nicht erlaubt, und deshalb wird insbesondere mit der Ausweitung des ökologischen Landbaus die Bereitstellung von gesundem Saatgut eine zunehmend wichtige Aufgabe. Auch im Anbau selbst kann es bei weiterer Flächenausdehnung zu Epidemien mit ertragsrelevantem Ausmaß kommen, wie Erfahrungen in anderen Ländern gezeigt haben. Auch heute noch treten samenübertragbare Krankheiten wie Haferflugbrand auf, insbesondere in extensiven Landwirtschaftsbetrieben Nordamerikas, in denen auf Saatgutwechsel und Beizung verzichtet wird (MENZIES 2001, WILCOXSON und STUTHMAN 1993). Die Erfahrungen in Amerika belegen die Effizienz der Resistenzzüchtung sehr eindrucksvoll. Um die Grundlagen für eine gezielte Resistenzzüchtung in der Bundesrepublik Deutschland zu legen, wurden folgende Teilziele bearbeitet:

1. Etablierung einer Inokulationsmethode mittels Exsikkator und Vakuumpumpe
2. Beschaffung einer für Deutschland repräsentativen Rassenkollektion von *Ustilago avenae*
3. Resistenzprüfung eines Sortiments von 100 Haferlinien aus Mitteleuropa an zwei Orten
4. Versuche zum Aufbau eines Testsortiments und Untersuchung der Virulenz der geografischen Herkünfte von *Ustilago avenae*
5. Bewertung der Notwendigkeit und der Erfolgchancen für eine systematische Resistenzzüchtung
6. Ableitung von Sortenempfehlungen für den ökologischen Landbau

1.1 Planung und Ablauf des Projektes

Bei der Planung und Bearbeitung des Projektes gab es keine größere Probleme. Aufgrund der relativ kurzen Planungsphase war am Beginn die Literatur zum Thema Flugbrand nicht vollständig verfügbar und berücksichtigt. Zudem war die vorhandene Sporenmenge von Haferflugbrand zu gering, um die Inokulationsexperimente mit jenen Inokulumdichten zu beginnen, die international üblich sind. Dieses wurde in einem zweiten Experiment im Herbst 2003 nachgeholt. Die zweiortige Resistenzprüfung verlief planmäßig, außer dass das Saatgut von 22 polnischen Sorten für diese Untersuchung zu spät geliefert wurde. Um dennoch Angaben zur Resistenz dieser Sorten zu erhalten, wurden sie im Herbst im Gewächshaus geprüft. Zur Ausschöpfung der verfügbaren Zeit wurde neben der Freilandprüfung und der Prüfung im Herbst eine weitere Gewächshausprüfung im Frühjahr durchgeführt.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Biologie von Haferflugbrand (*Ustilago avenae*)

Charakteristisch für *U. avenae* sind die kugeligen, mit kleinen Warzen besetzten Brandsporen, die eine 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 Witterung zur Blütezeit den Infektionserfolg beeinflusst. Allerdings keimen nicht alle Sporen aus, so dass bei der kommenden Aussaat die Möglichkeit der Keimlingsinfektion durch die dann keimenden Sporen besteht (MOLDENHAUER, 1927). Von NIKOLAISEN (1934) wird der

Generationswechsel von *Ustilago avenae* zusammengefasst beschrieben. Demnach keimt die reife einkernige Chlamydospore zu einem vierkammerigen Promyzel aus. Jeder dieser Teile kann sich durch Sporidienabschnürung oder durch Myzelwachstum vermehren. Myzel oder Sporidien verschiedener Abschnitte können miteinander kopulieren, wenn sie geschlechtlich verschieden 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 diesen mehrfach nachgewiesenen Generationswechsel sind die Chlamydosporen oft heterozygot und bei der Isolation von Einzelsporen können unterschiedlich virulente Linien herauspalten (SAMPSON UND WESTERN 1938). Deshalb ist die Isolation und Vermehrung von haploiden Sporidien der sicherste Weg, um reine Flugbrandlinien zu erhalten. Der dritte Weg zur Erzeugung homozygoter Rassen wird in der wiederholten Vermehrung auf rassenspezifisch resistenten Hafersorten gesehen (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 Rispenschieben, 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 (REED 1924), deren Differenzierung mit Hilfe eines internationalen Testsortiments möglich ist. Letzteres besteht aus 23 nordamerikanischen Haferlinien und 2 alten deutschen Sorten, deren rassenspezifische Resistenz bereits von NIKOLAISEN (1934) beschrieben wird.

Resistenz gegen Haferflugbrand

Auf Resistenz gegen Haferflugbrand (*U. avenae*) wurde in Deutschland in den dreißiger Jahren und in Nordamerika besonders in den sechziger und siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts erfolgreich gezüchtet, so dass zahlreiche Resistenzquellen beschrieben sind. NIKOLAISEN (1934) fand im deutschen Hafersortiment jedoch keine Resistenz gegen alle vorhandenen Rassen. Lediglich einige wenige ausländische Hafersorten erwiesen sich als immun im Sinne einer vollständigen Befallsfreiheit.

Zur Vererbung von Flugbrandresistenzen sind zahlreiche Untersuchungen bekannt (NIKOLAISEN 1931 und 1934, REED und STANTON 1938, KIBITE et al. 2000), die ausnahmslos eine dominante Ausprägung der Resistenz konstatieren und dabei ein, zwei oder drei unabhängige Genorte je nach Resistenzquelle und Virulenz des Pathogens postulieren. Erwähnenswert hierbei ist die Erfahrung von NIKOLAISEN (1934), der in zahlreichen Kreuzungen zwischen anfälligen Linien nie eine Transgression in Richtung Resistenz fand, dafür aber transgressiv anfälligere Nachkommen aus der Kreuzung zweier resistenter Linien.

Bekämpfung des Haferflugbrandes

Die Brandpilze sind im konventionellen Pflanzenbau effektiv durch verschiedene systemische als auch Kontaktwirkstoffe über eine Saatgutbeizung bekämpfbar, weshalb die Resistenzzüchtung in den vergangenen 50 Jahren in Europa vernachlässigt wurde. Für ökologische Anbauverfahren kommen die chemisch-synthetischen Beizmittel nicht in Frage und andere Beizmöglichkeiten sind gegenwärtig nicht verfügbar (E. KOCH, BBA Darmstadt, 2003, mündliche Mitteilung).

2. Material und Methoden

Für die Saatgutinokulation mit Hilfe von Unterdruck wurden in Anlehnung an die Methode von NIELSEN (1977) Vakuumflaschen (Volumen 5 und 10 l) verwendet, die über Vakuumschläuche untereinander und mit einer Vakuumpumpe verbunden sind. Mehrere Absperrhähne ermöglichen das kontrollierte Einsaugen, wenn der gewünschte Unterdruck erreicht wurde, und das Absaugen der Inokulumsuspension nach zehnminütiger Infiltration des Saatgutes. Danach wurde letzteres auf Filterpapier in offenen Schalen getrocknet und für die spätere Aussaat abgetütet.

Um eine optimale Kombination der Inokulationsparameter zu finden, wurde zunächst Experiment 1 in zwei Serien (s. Zwischenbericht) mit der am Projektbeginn vorhandenen Sporenmenge der *Ustilago*-Herkunft vom Dottenfelder Hof durchgeführt, dem sich 12 Monate später ein weiteres anschloss. Im zweiten Experiment wurde eine Mischung der beiden Herkünfte (Dottenfelder Hof und Neu Darzau Hof), die für die Resistenzprüfung 2003 eingesetzt und gleichzeitig vermehrt wurde, genutzt.

Inokulationsexperiment 1 (2002): Neben den vierfach gestaffelten Vakuumdrücken und Inokulumdichten wurden zwei Haferlinien einbezogen, die eine unterschiedlich starke Anfälligkeit zeigen. Die vier Faktoren wurden in folgender Weise gestaffelt:

- Vakuumdruck¹ in mbar: -200, -400, -600, -800
- Sporendichte in mg Sporen/l: 0,2; 2; 20; 200
- Saatgutbehälter: Crispac-Beutel (Baumann-Saatzuchtbedarf); gelochte Petrischalen
- Haferlinien: Sorte 'Bruno'; Haferstamm IL 86-4189

Inokulationsexperiment 2 (2003): Im zweiten Experiment wurden höhere Inokulumdichten und Drücke geprüft, um insbesondere auch die von NIELSEN (1977) empfehlende Inokulumdichten von 1 g/l abzudecken. Folgende Faktorabstufung wurde gewählt:

- Vakuumdruck¹ in mbar: -800, -1000
- Sporenkonzentration in mg Sporen/l: 500, 1000, 2000
- Haferlinien: 'Bruno'; IL 86-4189

Das Saatgut wurde in diesem Versuch in Crispac-Beuteln inokuliert.

In beiden Inokulationsexperimenten wurden die Saatgutproben nach der Inokulation und Trocknung in Form einer randomisierten Blockanlage mit drei Wiederholungen und 20 Karyopsen je Wiederholung und Prüfglied im Gewächshaus ausgelegt.

Bei der Bonitur des Befalls wurden auch jene Pflanzen als befallen eingestuft, die nur einen partiellen Befall aufwiesen. Die Befallszahlen wurden in Relation zur Gesamtanzahl gesetzt und der prozentuale Befall mittels Plabstat varianzanalytisch verrechnet. Es wurde ein hierarchisches Modell mit insgesamt 4 Faktoren im ersten und 3 Faktoren im zweiten Experiment angenommen.

¹ Vakuumdruck im Sinne von Unterdruckstärke, gemessen mittels Manometer der Vakuumpumpe in mbar

Resistenzprüfungen: Insgesamt wurden zwei Gewächshausprüfungen sowie eine zweiortige Prüfung von 100 Hafersorten an zwei Standorten (Groß Lüsewitz, Darzau Hof über Auftragsvergabe) vorgenommen. Beim ersten Gewächshausscreening wurden von 216 *Avena-sativa*-Akzessionen zusammen mit 40 Zuchtstämmen und Differenzialsorten in drei Wiederholungen zu je 20 Korn in Multitopflatten (Fa. Hermann Mayer, Topfvolumen 37 ccm) ausgelegt. Der erste Gewächshausversuch wurde als Dreisatzgitter angelegt und mit Hilfe von Plabstat verrechnet.

Die zweiortige Freilandprüfung wurde als randomisierte Blocklage mit zwei Wiederholungen je Prüfort ausgesät. Je Wiederholung und Prüfglied wurden 150 Korn auf zwei Reihen verteilt ausgedrillt. Nach dem Aufgang wurden an beiden Standorten alle Pflanzen jeder Parzelle gezählt. Der Befall wurde nach dem Rispenschieben als Anzahl befallener Pflanzen in Relation zur Gesamtpflanzenzahl ermittelt. Wie in den übrigen Versuchen wurden bei der Auszählung auch teilweise befallene Pflanzen als befallen eingestuft.

Zur Überprüfung von 27 der im Freiland als teilresistent eingestuften Sorten sowie der Prüfung von 22 polnischen Hafersorten wurde ein weiterer Resistenztest im September 2003 im Gewächshaus begonnen. Der Versuch wurde als Rechteckgitter mit 60 Prüfgliedern und 2 Wiederholungen und 30 Korn je Prüfglied und Wiederholung angelegt. In allen drei Resistenzprüfungen wurde das Saatgut mit der oben beschriebenen Anlage bei -800 mbar Vakuumdruck und einer Sporendichte von 1g/l inokuliert.

Inokulum: Für die drei Prüfungen und das zweite Inokulationsexperiment wurde eine Mischung der Flugbrandherkünfte aus Neu Darzau und Dottenfelder Hof erstellt, wobei erstere 2002 auf anfälligen Nackthaferlinien im Freiland zwischenvermehrt wurde. Die zytologische Kontrolle bestätigte in jedem Fall die Zuordnung zur Art *U. avenae*. In einem Versuch mit einem Differenzialsortiment zeigten die beiden Herkünfte unterschiedliche Virulenzen, was im Zwischenbericht bereits beschrieben ist. Weitere Untersuchungen hierzu sind notwendig und im Anschlussprojekt vorgesehen.

3. Ergebnisse

3.1 Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

Inokulationsexperimente: Die Varianzanalyse von Experiment 1 bestätigte signifikante Einflüsse aller vier Faktoren (Tab. 1). Den stärksten Anteil an der Gesamtvarianz hatte der Faktor 'Genotyp', gefolgt von der 'Inokulumdichte' sowie der Interaktion beider Faktoren. Die hier geprüften Genotypen 'Bruno' und IL86-4189 unterscheiden sich ab der Inokulumdichte von 2 mg/l unter jeder Druckvariante (Tab. 3). Der Einfluss der Inokulumdichte ist deutlich stärker als der des Unterdruckes oder Behältertyps, was sich sowohl in den höheren Befallsteigerungen von Stufe zu Stufe (Tab. 3) als auch in den entsprechenden Varianzen widerspiegelt (Tab. 1). Zudem kann selbst bei vergleichsweise geringem Unterdruck von -200 mbar ein hoher Befall erreicht werden kann, wenn die Inokulumdichte hoch ist (Tab. 3). Der Behältertyp hat ebenfalls einen signifikanten Einfluss, welcher aber noch schwächer als der der Interaktion 'Genotyp' x 'Inokulumdichte' ist. Letztgenannte Interaktion erklärt sich daraus, dass der Unterschied zwischen den beiden Haferlinien am stärksten von der Inokulumdichte abhängt (Tab. 3).

Tab. 1: Varianzanalyse von Experiment 1
 I, Inokulumdichte; D, Druck; B, Behältertyp; G, Genotyp W,
 Wiederholung; DF, Freiheitsgrade; MS, mittleres Abweichungsquadrat;

Source	DF	MS	F	LSD5
I	3	16701,2	115,82**	4,9
D	3	502,6	3,49*	4,9
IxD	9	128,6	0,89	9,7
B:ID	6	511,6	3,55**	13,7
G	1	26012,4	133,98**	8,7
W	2	199,5	1,38	4,2
BxG	3	183,8	1,27	4,9
DxB	5	68,3	0,47	6,9
IxB	5	276,1	1,91+	6,9
WxB	4	47,9	0,33	5,9
DxG	3	332,7	2,31+	6,9
WxG	2	194,1	1,35	5,9
IxG	3	4923,8	34,15**	6,9
IxDxG	9	74,4	0,52	13,7
IxBxG	1	510,9	3,54+	9,7
DxBxG	1	175,2	1,22	9,7
IDWBG	131	144,2		

Im zweiten Experiment mit den höheren Inokulumdichten ist deren Effekt nicht mehr signifikant (Tab. 2). Dies hat seine Ursache darin, dass trotz Verdopplung der Sporendichte von Stufe zu Stufe im 2. Experiment nur geringe Befallssteigerungen in beiden Haferlinien ermittelt wurden. Gemittelt über beide Sorten und Druckvarianten ist jedoch auch hier noch eine leichte Zunahme des Befalls um 7 % zu beobachten, was aber die kleinste signifikante Differenz (LSD) von 14,4 % nicht übersteigt (Tab. 3).

Tab. 2: Tabelle der Varianzanalyse von Experiment 2
 I, Inokulumkonzentration; D, Druck; G, Genotyp; W,
 Wiederholung

Source	DF	MS	F	LSD5
I	2	157,6	1,0	14,4
W	2	695,8	5,27*	10,1
D	1	8,6	3,9	2,1
G	1	25921,0	27,19*	44,3
WxG	2	953,3	7,22**	14,2
IxG	2	46,7	0,4	14,2
DxG	1	2,9	0,0	11,6
DxI	2	30,2	0,2	14,2
WxD	2	2,2	0,0	14,2
WxI	4	161,0	1,2	17,4
DxIxG	2	308,5	2,3	20,1
WDIG	14	132,0		

Zwischen den beiden Druckvarianten im zweiten Experiment ist kein Unterschied in den Befallswerten erkennbar, was sich am nicht signifikanten F-Wert des entsprechenden Faktors in der Varianzanalyse widerspiegelt.

Auch im zweiten Experiment verursacht der Faktor 'Genotyp' den dominierenden Anteil an der Gesamtvarianz. Der Befallsunterschied zwischen 'Bruno' und IL86-4189 steigt mit zunehmender Inokulumdichte im ersten Experiment. Der höchste Befallswert für IL86-4189 wird bereits bei 200mg/l und -800mbar erreicht, während 'Bruno' zuletzt nach Verdopplung von 500mg/l auf 1000mg/l und bei -800mbar eine signifikante Erhöhung der Befallswerte zeigt.

Bei Verwendung perforierter Crispac-Beutel war der Inokulationserfolg im Mittel über alle Faktoren um 6 % höher als mit den gelochten Petrischalen. Somit und auch aus Sicht der Handhabung sind Crispac-Beutel das geeignetere Behältersystem für die Inokulation.

Tab. 3 Prozentualer Anteil Pflanzen mit Flugbrandbefall in Abhängigkeit von Inokulumdichte, Unterdruck und Genotyp

Unterdruck mbar	Inokulum- dichte mg/l	Bruno	IL86-4189
Experiment 1			
-200	0,2	0,7	1,4
	2	10,5	1,9
	20	24,2	9,3
	200	44,8	12,6
-400	0,2	1,6	1,8
	2	11,0	4,1
	20	34,9	13,9
	200	55,0	17,7
-600	0,2	0,9	1,8
	2	20,4	6,0
	20	38,9	9,6
	200	55,9	16,0
-800	0,2	3,0	1,8
	2	22,6	6,9
	20	37,9	10,4
	200	59,8	21,5
Experiment 2			
-800	500	56,9	15,9
	1000	74,6	7,1
	2000	72,1	21,3
-1000	500	70,2	7,3
	1000	63,9	15,1
	2000	68,3	17,2

Resistenzprüfungen: In allen Versuchen wurde ein überwiegend starker Befall mit hochsignifikanten genotypischen Effekten festgestellt (Tab. 4). Die genotypbedingten Varianzkomponenten stellten in jedem Experiment die größte Varianzursache dar. In der zweiortigen Prüfung waren der Ortseinfluss und die GenotypxOrt-Interaktion signifikant.

Tab. 4: Ergebnisse der Varianzanalysen der Resistenzprüfungen
 G, Genotyp; W, Wiederholung; O, Ort

Source	DF	MS	F	LSD5
1. Gewächshauscreening				
G	255	2522,77	7,01**	30,43
W	2	1128,10	3,13*	
zweiortige Freilandprüfung				
G	99	631,73	7,73**	12,68
O	1	2296,85	114,68**	
W	1	26,63	1,33	
GxO	99	81,69	4,08**	
2. Gewächshauscreening				
G	59	876,57	7,11**	22,22
W	1	1,52	0,01	

Im ersten Gewächshauscreening waren 9 Akzessionen und die zwei Differenzialsorten 'Markton' und 'Monarch' völlig befallsfrei, was einem Prozentsatz von 3,5% entspricht (Tab. 5). In der Gruppe mit bis zu 5 % Befall befinden sich 11 Genbankherkünfte, zwei Haferlinien (BE211698B, 'Borrinova') aus einem aktuellen deutschen Zuchtprogramm sowie zwei amerikanische Linien. Die kleinste signifikante Differenz (LSD) von 33% war vergleichsweise hoch, weil bei einigen Linien starke Schwankungen zwischen den drei Wiederholungen auftraten.

Tab. 5 Eingruppierung der Hafergenotypen nach der 1. Gewächshausprüfung
(LSD 5% = 33%)

Befall in %	Akzession, Abstammung, Sorte (AVE= Genbanknummer IPK-Gatersleben)
0	AVE 1600, AVE 1601, AVE 1606, AVE 1680, AVE 1709, AVE 1720, AVE 1860, AVE 1882, AVE 378, Markton, Monarch
1bis 5	AVE 1592, AVE 1595, AVE 1597, AVE 1675, AVE 1691, AVE 1692, AVE 1702, AVE 1716, AVE 1719, AVE 1785, AVE 1883, BE211698B, Borrinova, Clintland, PA 8196-1556
6 bis 15	AVE 1552, AVE 1602, AVE 1610, AVE 1618, AVE 1639, AVE 1646, AVE 1678, AVE 1681, AVE 1700, AVE 1727, AVE 1786, AVE 1828, AVE 1837, AVE 1840, AVE 1841, AVE 1888, AVE 1557, AVE 1599, AVE 1609, AVE 1695, AVE 1722, AVE 1817, AVE 1821, AVE 1886, BE202198A, Black Mesdag
16 bis 97	(LP 8947 x 166), (LP 8947 x 166), IL 86-4189 x Am321, (A.m x Melys), (A.m x Melys), (Alfred x 90/10)x Melys), (Fl. vita x (BC1F4 <i>A. prostr.</i>)), (Jumbo (Fl. vita x 166), (Jumbo (Fl. vita x 166), 11714Cn, Alf x Alfred x <i>A. occident</i> 90/10, Alf x Alfred x <i>A. occident</i> 90/10, APR 166, AVE 1191, AVE 1547, AVE 1548, AVE 1550, AVE 1551, AVE 1553, AVE 1554, AVE 1556, AVE 1558, AVE 1588, AVE 1589, AVE 1593, AVE 1594, AVE 1598, AVE 1608, AVE 1611, AVE 1612, AVE 1613, AVE 1614, AVE 1615, AVE 1616, AVE 1619, AVE 1620, AVE 1623, AVE 1624, AVE 1625, AVE 1626, AVE 1627, AVE 1628, AVE 1629, AVE 1630, AVE 1631, AVE 1632, AVE 1633, AVE 1634, AVE 1635, AVE 1637, AVE 1638, AVE 1640, AVE 1641, AVE 1642, AVE 1643, AVE 1644, AVE 1645, AVE 1647, AVE 1649, AVE 1650, AVE 1651, AVE 1652, AVE 1653, AVE 1654, AVE 1655, AVE 1656, AVE 1658, AVE 1659, AVE 1660, AVE 1661, AVE 1662, AVE 1664, AVE 1667, AVE 1668, AVE 1669, AVE 1670, AVE 1672, AVE 1673, AVE 1676, AVE 1677, AVE 1679, AVE 1682, AVE 1684, AVE 1685, AVE 1686, AVE 1687, AVE 1689, AVE 1693, AVE 1697, AVE 1703, AVE 1705, AVE 1706, AVE 1711, AVE 1712, AVE 1713, AVE 1717, AVE 1718, AVE 1721, AVE 1723, AVE 1724, AVE 1725, AVE 1726, AVE 1728, AVE 1729, AVE 1730, AVE 1731, AVE 1732, AVE 1733, AVE 1734, AVE 1735, AVE 1737, AVE 1738, AVE 1739, AVE 1740, AVE 1741, AVE 1743, AVE 1744, AVE 1745, AVE 1746, AVE 1747, AVE 1748, AVE 1749, AVE 1750, AVE 1751, AVE 1752, AVE 1753, AVE 1755, AVE 1756, AVE 1757, AVE 1759, AVE 1761, AVE 1762, AVE 1767, AVE 1768, AVE 1769, AVE 1777, AVE 1778, AVE 1779, AVE 1781, AVE 1782, AVE 1783, AVE 1784, AVE 1788, AVE 1789, AVE 1792, AVE 1793, AVE 1795, AVE 1796, AVE 1797, AVE 1799, AVE 1800, AVE 1801, AVE 1809, AVE 1810, AVE 1811, AVE 1812, AVE 1813, AVE 1814, AVE 1815, AVE 1816, AVE 1818, AVE 1819, AVE 1822, AVE 1824, AVE 1825, AVE 1829, AVE 1831, AVE 1833, AVE 1834, AVE 1836, AVE 1838, AVE 1839, AVE 1844, AVE 1846, AVE 1848, AVE 1849, AVE 1885, AVE 1887, AVE 1893, AVE 1894, AVE 1922, AVE 1929, AVE 1932, AVE 1933, AVE 1940, BC1(Alfred.x Ahybrida5802)xMelys, Black Diamond, Borreck, Borriesa, Borrinus, Bruno x IL 86-4189, Bruno x IL 86-4189, CC6490, CI5575, Fl. vita x (BC1 <i>A. prostr.</i>), Flämings profi, IL 86-4189 x Am327, IL 86-5262, LP 9029 x (BC1 <i>A. prostr.</i>), OM 1621 x IL 86-4189, OM 1621 x IL 86-4189, PA 8293-17648, Thor, Wv.BE Ze 99-253

In der Tabelle 6 sind die Befallswerte der zweiortigen Freilandprüfung im Mittel über beide Orte zusammengefasst. Aufgrund der geringeren Infektionsraten sind die relativen Anteile der

potenziell Resistenten (0 % Befall) und Teilresistenten (0,1-5 %) deutlich größer als im Gewächshausceening. So sind 10 % der Prüfglieder vollkommen befallsfrei und weitere 37 % nur bis zu 5 % befallen. Die Ergebnisse beider Orte sind bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,88 und dem mittleren Befall über alle Sorten von 8 % (Darzau Hof) bzw. 13 % (Groß Lüsewitz) sowohl in der absoluten Höhe als auch in der Rangfolge der Prüfglieder sehr ähnlich. Die signifikanten GxO-Interaktionen sind auf unterschiedliches Abschneiden von einigen Sorten zurückzuführen. Der größte Befallsunterschied zwischen beiden Orten wurde bei 'Flämingsprofi' mit 30 % gefunden, fünf weitere Prüfglieder lagen bei 10-20 % Differenz.

Tab. 6 Mittlerer Flugbrandbefall (FB in %) der Haferlinien nach der zweiortigen Freilandprüfung, sortiert nach Befall (LSD 5 % = 12,7)

Sorte	FB	Sorte	FB	Sorte	FB	Sorte	FB
Neklan	0,0	SR15814	0,9	Coach	6,8	Gramena	16,8
Jaycee	0,0	Chantilly	1,0	Fix	7,3	Korsar	17,1
Black	0,0	Flämingskurz	1,0	Atego	7,8	Ariane	17,6
White	0,0	Matilda	1,1	Noirine	7,8	Nordstern	18,9
Ourasi	0,0	Rev2001	1,4	Flipper	8,3	Leo	20,1
Fleuron	0,0	Lutz	1,4	Rygja	9,3	Wibke	20,3
Japeloup	0,0	STANTON	1,6	Flämingslord	9,3	WiHa	20,8
Hamel	0,0	Borreck	1,6	Ze 99-253	9,4	SR15587	21,5
Charmoise	0,0	Auteuil	1,9	Karin	9,5	AVE1191	21,6
AVE321	0,0	Caleche	1,9	Präsident	10,4	Iltis	23,2
Boxer	0,1	Ebene	2,2	Bonus	10,5	Winnipeg	23,5
BE 211698B	0,2	Monarch	2,5	SR22822	11,1	Heinrich	24,4
Canelle	0,2	Swea	2,9	Flämingsstern	11,6	Flämingsnova	24,9
Marion	0,2	Adler	3,3	Consul	11,7	Nasta	25,8
Hazel	0,4	Klaus	3,3	Flämingsglanz	12,3	Lorenz	29,4
Aintree	0,4	Blixt	3,4	WiHa	12,6	Flämingsplus	30,3
Flämingsstip	0,4	WiHa	3,7	Alf	12,9	Flämingsprofi	31,1
SR22668	0,4	Tomba	4,0	Hecht	12,9	Gryner	32,4
Chambord	0,6	Dominik	4,1	WiHa	14,0	Aragon	32,8
Evora	0,6	Amigo	4,2	Banguo	14,3	Borrinus	33,4
BE 202198A	0,6	Flämingsstrend	4,3	Melys	14,3	Sang	33,5
Firth	0,6	Borrinova	4,7	Vincennes	14,4	Freddy	44,5
Jumbo	0,7	Expander	5,1	Wisent	15,2	Wistar	47,6
SR23501	0,7	Arnold	6,4	Pharao	15,8	Borriesa	48,4
Clintland	0,8	Revisor	6,7	AberGlen	16,2	Thor	60,1

Von den im Freilandversuch geprüften Sorten im Befallsbereich von 0-9 % wurden 27 zusammen mit 22 polnischen Hafersorten und einigen Differenzialsorten im Gewächshaus untersucht. Unter den 22 polnischen Sorten waren die Sorten 'Skrzat' und 'Komes' befallsfrei, zwei weitere mit rund 2 % befallen und die übrigen stärker anfällig (Tab 7). Vom Differenzialsortiment zeigten die beiden deutschen Sorten 'Lochows Gelbhafer' und 'Lischower Frühhafer' sowie die kanadischen Sorten 'Monarch', 'Black Mesdag' und 'Markton' keinen Befall.

Tab. 7 Mittlerer Flugbrandbefall (FB in %) der Haferlinien im 2. Gewächshaus screening, sortiert nach Befall (LSD 5% = 22,2)

Sorte	Land	FB	Sorte	Land	FB	Sorte	Land	FB
Flämingsstip	D	0,0	Flämingskurz	D	7,1	Nürnberger Linie3	D	29,4
Boxer	D	0,0	Klaus	D	7,5	Adler	D	29,6
Borreck	D	0,0	SR15814	F	8,4	Kwaut	PL	36,5
Ebene	F	0,0	Auteuil	F	8,4	Nürnberger Linie2	D	37,6
Skrzat	PL	0,0	Biaky Mazur	PL	8,6	Atego	D	39,1
Komes	PL	0,0	Chambord	F	9,0	Grzywacz Pozny Wolynski	PL	41,1
Lochows Gelbhafer	D	0,0	Zieleniak	PL	9,3	Nürnberger Linie1	D	41,4
Lischower Frühhafer	D	0,0	BE 211698B	D	10,5	Revisor	D	42,1
Monarch	USA	0,0	Arnold	D	13,2	Dragon	PL	42,4
Black Mesdag	USA/ NL	0,0	Flipper	D	14,3	Kanarek Mikulicki	PL	43,7
Markton	USA	0,0	Black Diamond	USA	17,6	Solacki Wczesny	PL	44,6
Halny	PL	1,7	Udycz Biaky	PL	19,6	Rumak	PL	45,5
Clintland	USA	1,7	Flämingslord	D	20,4	Pulawski Sredniorychzy	PL	46,7
Pomorski Pozny	PL	1,8	Dominik	D	22,5	Flämingstrend	D	49,8
Firth	D	1,9	Borkuta	PL	23,5	Coach	D	50,7
Borri nova	D	1,9	Tomba	D	25,0	Udycz 101	PL	51,9
Chantilly	F	1,9	Antoninski Biaky	PL	25,8	Revisor	D	55,9
Hamel	F	2,0	Udycz Zokty	PL	26,2	Jawor	PL	57,8
Marion	CAN	3,0	Proporczyk	PL	27,0	Markus	PL	66,7
Jumbo	D	3,7	Platek	PL	27,1	CI5575	USA	84,0

Besonders interessant war der Vergleich zwischen den Befallswerten aus der Freilandprüfung und dem Gewächshausversuch. In Tabelle 8 sind die entsprechenden Werte gegenübergestellt. Der Korrelationskoeffizient beider Datenreihen ist mit 0,68 hochsignifikant, weist aber schon auf ein unterschiedliches Abschneiden einzelner Sorten hin. So zeigen die Sorten 'Dominik', 'Tomba', 'Adler' und 'Flämingstrend' im Gewächshaus mit über 20 % Befall deutlich stärkere Befallswerte als im Freiland, wo sie in die Gruppe der Teilresistenten (bis 5 % Befall) eingestuft werden konnten (Tab. 6). Auch die im Freiland kaum befallenen Sorten 'Flämingskurz', 'Klaus', SR15814, 'Auteuil' und 'Chambord' waren im Gewächshaus mit über 7 % befallen. Nur bei den Sorten 'Ebene', 'Boxer' und 'Flämingsstip' war das Befallsniveau im Gewächshaus höher als im Freiland.

Tab. 8 Gegenüberstellung der Befallswerte aus der zweiortigen Freilandprüfung und dem 2. Gewächshauscreening

Sorte	zweiortige Freilandprüfung	2. Gewächshaus-screening
Ebene	2,2	0,0
Boxer	0,1	0,0
Flämingstip	0,4	0,0
Firth	0,6	1,9
Chantilly	1,0	1,9
Hamel	0,0	2,0
Marion	0,2	2,9
Jumbo	0,7	3,7
Flämingskurz	1,0	7,1
Klaus	3,3	7,5
SR15814	0,9	8,3
Auteuil	1,9	8,4
Chambord	0,6	8,9
Arnold	6,4	13,2
Flipper	8,3	14,3
Flämingslord	9,3	20,3
Dominik	4,1	22,5
Tomba	4,0	25,0
Adler	3,3	29,6
Atego	7,8	39,1
Flämingstrend	4,3	49,8
Coach	6,8	50,7
Revisor	6,7	55,9

Tab. 9 Vergleich der in den Gewächshauscreenings mitgeprüften Differenzialsorten mit den Befallswerten bei NIELSEN (1977), WILCOXSON and STUTHMAN (1993) sowie MENZIES (2001)

Sorte	1. GWH-Screening	2. GWH-Screening	Infektion bei WILCOXSON und STUTHMAN (1993) 4 Jahre	Infektion bei Nielsen (1977) 5 Jahre	MENZIES (2001) 19 <i>Ustilago avenae</i> Herkünfte
Markton	0,0	0,0	0- 5	0	0
Monarch	0,0	0,0	0-10	5-85	0-64
Clintland	5,9	1,7	10-30	0-50	0-50
Black Mesdag	14,0	0,0	40-60	0-40	0-63
Black Diamond	64,3	17,6	30-80	20-40	0-91
CI5575	88,3	83,9	-	80-100	35-92

Von den sechs mitgeprüften Differenzialsorten waren in den hier vorgestellten Versuchen nur 'Markton' und 'Monarch' befallsfrei, während 'Monarch' in den Experimenten von NIELSEN (1977), WILCOXSON and STUTHMAN (1993) sowie MENZIES (2001) je nach Flugbrandrasse oder Rassengemisch Anfälligkeit zeigte. 'Black Mesdag' und 'Black Diamond' reagierten unterschiedlich in den beiden Prüfungen, wobei der Befall im zweiten Versuch deutlich

geringer war. Der in den drei Studien gezeigte höchste Befall jeder der Differenzialsorten wurde in den eigenen zwei Versuchen nicht erreicht.

Diskussion

Die Bedeutung einer zuverlässigen und effektiven Inokulationsmethode wurde schon in den Anfängen der Resistenzzüchtung erkannt und hat zunächst zu der von REED und FARIS (1924) vorgestellten Methode geführt, die dann weltweit genutzt wurde. Mit dieser Methode gelang der erste Nachweis von *Ustilago-avenae*-Pathotypen (REED 1924). Die Infektionshöhe und Sicherheit der Infektion mit der "Methode Reed" waren weitgehend konkurrenzlos (NICOLAISEN 1931 und 1934) und auch effizienter als erste Versuche mit vakuumgestützter Inokulation (ZADE 1928). Der entscheidende Nachteil bestand jedoch in der Notwendigkeit, das Saatgut vor der Inokulation zu entspelzen, was besonders bei großen Prüfgliedzahlen erhebliche Arbeitskapazitäten bindet. Für die Prüfung tausender Genbankakzessionen durch NIELSEN (1977) bestand deshalb der dringende Bedarf nach einer effizienten Methode mit gleichzeitig hoher Reproduzierbarkeit. Eine solche Methode stellt die Inokulation mit Hilfe der vakuumgestützten Infiltration des Saatgutes durch eine Sporensuspension mit 1 g Sporen je Liter Wasser dar. In den mit vorliegendem Bericht vorgestellten Versuchen war der Einfluss der Sporendichte auf den Befall bis zu 0,2 g/l besonders eindrucksvoll. Im 2. Experiment, welches in den Monaten Oktober bis Dezember und damit unter suboptimalen Lichtverhältnissen lief, war aber auch noch zwischen 0,5 und 1 g/l bei der anfälligen Sorte 'Bruno' eine Steigerung im Befall vorhanden. Es bleibt zu vermuten, dass der Befall in diesem Experiment bei günstigeren Lichtverhältnissen höher ausgefallen wäre, da die Lichtverhältnisse die Infektion beeinflussen (NICOLAISEN 1934). Wäre das 2. Experiment im Freiland durchgeführt worden, wäre vermutlich zwischen 1 g und 2 g/l ein klarer Befallsanstieg gefunden worden. Zumindest sprechen für diese Annahme die Ergebnisse von WILCOXSON UND STUTHMAN (1993), die in ihren Freilandversuchen eine Steigerung des Befalls bei den anfälligen Sorten bis zu einer Konzentration von 17 g/l feststellten, während die vollständig resistente Sorte 'Starter' befallsfrei blieb. Für eine zuverlässige Inokulation zum Sortenvergleich unter Gewächshausbedingungen sollte deshalb mindestens eine Sporendichte von 1 g/l und ein Vakuumunterdruck von -800 mbar gewählt werden; für Freilandversuche beträgt die empfohlene Sporendichte 10 g/l. Dadurch lässt sich die Anzahl der Wiederholungsprüfungen reduzieren, weil mit höherer Inokulumdichte auch die scheinbar resistenten Prüfglieder stärker befallen werden. So verwendeten WILCOXSON UND STUTHMAN (1993) 12,5 g/l für die Inokulation 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 80 % bei anfälligen Sorten, von 0 % bis 40 % bei den mittelresistenten und von 0 % bis 20 % bei den resistenten Sorten schwanken kann. Eine Wiederholungsprüfung wird insbesondere 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).

Beim Vergleich der Gewächshaus- und Freilandprüfung (Tab. 8) wird die Notwendigkeit einer wiederholten Prüfung im Freiland oder Gewächshaus deutlich, weil 9 der 27 Sorten nach der Gewächshausprüfung als anfällig eingestuft werden mussten. Somit relativiert sich auch die Anzahl der resistenten Haferlinien, die in den vorliegend dargestellten Versuchen gefunden wurde. Zudem sind es nicht nur die Umwelt- und Inokulationsbedingungen, die die Befallshöhe beeinflussen, sondern auch die Virulenz der verwendeten Pathotypen. Die hier als resistent eingestuften Genotypen müssen deshalb unter schärferen Prüfbedingungen und anderen Pathotypen erneut geprüft werden. Eine gewisse Sicherheit der Einstufung wird durch den Vergleich mit Standardsorten ermöglicht, deren Resistenzniveau bekannt ist. Hierzu gehören die Differenzialsorten aus Nordamerika und Deutschland, von denen sechs in

den beiden Gewächshauscreenings mitgeprüft wurden. Diese Sorten zeigten hierbei einen im Vergleich zu den Ergebnissen von NIELSEN (1977), WILCOXSON and STUTHMAN (1993) sowie MENZIES (2001) ähnlichen Befall, wobei der jeweils höchste Befall in unseren Versuchen nicht erreicht wurde. Aufschlussreich ist auch der fehlende Befall der beiden deutschen Differenzialsorten 'Lochows Gelbhafer' und 'Lischower Frühhafer' im zweiten Gewächshaus-screening, da beide Sorten in den Versuchen von NICOLAISEN (1935) von einer Reihe verschiedener Flugbrandherkünfte befallen wurden. Die Mischung der in den vorgestellten Versuchen verwendeten zwei Flugbrandherkünfte deckt somit bei weitem nicht die bekannten Virulenzen ab. Die weitere Suche nach europäischen Rassen, die Auftrennung der vorhandenen Rassengemische und deren Charakterisierung sind deshalb unabdingbare Schritte in der weiteren Bearbeitung dieses Pathosystems. Der in den mit vorgelegtem Bericht dargestellten methodischen Experimenten gefundene höchste Befall bei der Sorte 'Bruno' von 75 % bei einer Schwankung von 55-100 % zwischen den Wiederholungen wurde unter optimierten Anzuchtbedingungen im Gewächshaus erzielt. Für die Eingruppierung ist dieses ausreichend, aber für eine Vererbungsanalyse sollten nach NICOLAISEN (1931) bei anfälligen Linien 100% Befall erreicht werden. Dieses ist entweder mit der Methode Reed oder mit einer erhöhten Iokulumdichte und der Anzucht unter optimalen Feuchtigkeits- und Lichtverhältnissen möglich, wie sie z.B. im ersten Gewächshauscreening vorlagen.

Da die in den 20er und 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts gefundenen Resistenzquellen (z.B. 'Markton', 'Fulghum', 'Eskichehir479/2', 'Navarro', 'Red Rostproof', 'Black Mesdag') in Deutschland als Kreuzungspartner eingesetzt wurden (NICOLAISEN 1935), könnte es sich bei den in Tab. 5 und 6 aufgelisteten, resistenten Haferlinien um nur wenige genetisch verschiedene Resistenzquellen handeln. Dieser möglicherweise engen genetischen Basis kann durch Einkreuzung von resistenten Genbankakzessionen begegnet werden. Für ein Kreuzungsprogramm wäre die Kenntnis der Vererbung der gefundenen Resistenzen von großer Bedeutung, weshalb im avisierten Folgeprojekt entsprechende Untersuchungen vorgesehen sind.

Die hier gezeigten Ergebnisse bestätigen die Eignung der Resistenzprüfung im Gewächshaus, welche auch schon in den Tests von REED et al. (1925) zu höheren Befallswerten geführt hat. Der Hauptgrund dürfte in den für die Infektion günstigeren Keimbedingungen für die Pilzsporen liegen. So muss für eine sichere Infektion die Anzuchterde bis zum Aufgang mit ca. 25 % der Wasserkapazität relativ trocken sein (REED und FARIS 1924; NICOLAISEN 1934). Dieses lässt sich im Freiland nicht steuern, jedoch können im Freiland weitere Merkmale erfasst werden, die für die Selektion von Bedeutung sind.

3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Einen Nutzen des Projekts stellt der Nachweis von Resistenz in einigen aktuellen Hafersorten dar, die sowohl als Kreuzungspartner für die Resistenzzüchtung als auch direkt in der Landwirtschaft eingesetzt werden können. Zur Verbreitung der Erkenntnisse ist eine Publikation in Vorbereitung.

Sortenempfehlung: Einige der resistenten Sorten können den ökologisch wirtschaftenden Betrieben empfohlen werden. Dazu gehören die Sorten 'Neklan', 'Hamel', 'Boxer', 'Auteuil', 'Jumbo', 'Chantilly' und 'Firth', die sich neben der hohen Resistenz gegen Flugbrand auch durch eine frohwüchsige Jugendentwicklung und mittlere Wuchshöhe auszeichnen und damit potenziell für den ökologischen Anbau geeignet sind. Folgende Informationen werden anhand weiterer Literaturquellen (LEISEN 2002, www.landwirtschaftskammer.com) gegeben.

Jumbo ist eine bewährte Schälhafersorte mit guter Standfestigkeit und relativ kurzem Stroh.

Neklan erreichte bei schwächerer Standfestigkeit gute Erträge, höheren Rohproteintrag und hohes Hektolitergewicht. Die Strohreife kann sich bis zum Halmknicken verzögern.

Auteuil, eine Schwarzhafersorte, erzielt aufgrund des sehr hohen Eiweißgehaltes bei mittlerem Kornertrag überdurchschnittliche Rohproteinträge. Es besteht eine gute Standfestigkeit und Blattgesundheit. Der lockere Kornsitz kann, verstärkt durch die verzögerte Strohabreife, leicht zu Ernteverlusten führen.

4. Zusammenfassung

Für den ökologischen Anbau von Hafer stellt die Anfälligkeit von Hafersorten gegenüber Haferflugbrand ein großes wirtschaftliches Problem dar, weil Flugbrand den Ertrag reduziert und die Saatguterzeugung gefährdet. Ein effektiver Lösungsansatz für dieses Problem wäre eine gezielte Resistenzzüchtung, wofür grundlegende Fragestellungen im Rahmen des Projekts zu untersuchen waren. So war eine Resistenzprüfmethode zu etablieren, ein breites Hafersortiment auf Resistenz zu prüfen und verschiedene geografische Herkünfte von *Ustilago avenae* hinsichtlich ihrer Virulenz zu testen. Am Ende des Projekts sollten die Chancen für eine erfolgreiche Resistenzzüchtung eingeschätzt werden können. Die Inokulationsmethode auf der Basis der vakuumgestützten Infiltration des Saatgutes konnte etabliert und optimiert werden. Dazu wurden verschiedene Varianten von Inokulumdichte, Unterdruck und Saatgutbehälter und ihr Einfluss auf den Infektionserfolg verglichen. Für Resistenzprüfungen unter kontrollierten Anzuchtbedingungen (Gewächshaus, Frühbeet) sind eine Inokulumdichte von 1 g/l, für Freilandversuche von 10 g/l zu empfehlen. Eine erste im Zeitraum mögliche Virulenzuntersuchung der zwei vorhandenen Flugbrandherkünfte erbrachte einen deutlichen Virulenzunterschied, für dessen genauere Beschreibung eine Auftrennung der Flugbrandherkünfte und deren Prüfung unter optimalen Bedingungen notwendig wäre. Die zweiortige Resistenzprüfung und auch die beiden Gewächshaus-screenings ergaben für 8 aktuelle Sorten sowie für 11 Genbankakzessionen ein sehr gutes Resistenzniveau; dieses Ergebnis sollte allerdings mit weiteren Flugbrandrassen überprüft werden. Für den ökologischen Anbau können die Sorten 'Neklan', 'Jumbo', 'Firth', 'Hamel', 'Boxer', 'Auteuil' und 'Chantilly' empfohlen werden, die sich neben der hohen Resistenz gegen Flugbrand auch durch eine frohwüchsige Jugendentwicklung und mittlere Wuchshöhen auszeichnen

5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Folgende Teilziele wurden bearbeitet und wie folgt erreicht:

1. Etablierung einer Inokulationsmethode mit Hilfe von Exsikkator und Vakuumpumpe
Die Methode wurde erfolgreich etabliert und in der Resistenzprüfung eingesetzt.
2. Beschaffung einer für Deutschland repräsentativen Rassenkollektion von *Ustilago avenae*
Insgesamt wurden nur zwei Flugbrandherkünfte aus Deutschland erhalten. Eher zufällig wurde eine weitere Herkunft aus Kanada aus einer anfälligen Linie des Differenzial-sortimentes isoliert. Der Versuch, zahlreiche Herkünfte des Pilzes zu beschaffen und zu untersuchen, ist wahrscheinlich aufgrund der gegenwärtig geringen Inzidenz der Krankheit gescheitert. Trotz einer e-mail-Umfrage unter ökologischen Pflanzenzüchtern sowie zweier von uns in der Zeitschrift Bioland geschalteten Anzeigen wurden bislang keine weiteren Flugbrandherkünfte zugesandt. Diese Erfahrung deutet darauf hin, dass in Deutschland häufig zertifiziertes Saatgut gesät wird, wodurch die Pilzausbreitung verhindert wird.
3. Resistenzprüfung eines Sortiments von 100 Haferlinien aus Mitteleuropa an zwei Orten
In der zweiortigen Prüfung wurden 92 Sorten und neuere Zuchtstämme sowie 6 nord-amerikanische Sorten und zwei Genbankherkünfte geprüft. Die 22 polnischen Sorten

konnten aufgrund der verspäteten Saatgutlieferung erst im Herbst im Gewächshaus geprüft werden, wo sie dann gemeinsam mit einigen Differenzialsorten und 27 weiteren Sorten, die bereits in der zweiortigen Prüfung standen, untersucht wurden. Zusätzlich wurden 216 Genbankherkünfte sowie 40 Zuchtstämme bzw. Differenzialsorten im ersten Gewächshausscreening geprüft.

4. Versuche zum Aufbau eines Testsortimentes und Untersuchung der Virulenz der geografischen Herkünfte von *Ustilago avenae*
Das in der Literatur beschriebene Differenzialsortiment wurde von J. Menzies (Cereal Research Centre, Winnipeg, Canada) bereitgestellt und um zwei deutsche Testsorten ergänzt, die bei NICOLAISEN (1934, 1935) beschrieben sind. Für die Untersuchungen musste dieses Sortiment zunächst vermehrt werden. Die Prüfung der Virulenz der beiden deutschen Flugbrandherkünfte zeigte einen klaren Virulenzunterschied, der jedoch in weiteren Untersuchungen verifiziert werden muss. Da die Herkünfte vermutlich Rassengemische darstellen, müssen sie erst aufgetrennt und vermehrt werden, bevor sie weiter charakterisiert werden können.
5. Bewertung der Notwendigkeit und der Erfolgchancen für eine systematische Resistenzzüchtung
Die Chancen für eine effektive Resistenzzüchtung sind als sehr hoch einzuschätzen, da es resistentes und agronomisch leistungsfähiges Ausgangsmaterial gibt und negative Korrelationen zwischen der Resistenz und Leistungsmerkmalen nicht zu erwarten sind. Die Methodik ist zudem unkompliziert und ermöglicht die Prüfung im Freiland als auch im Gewächshaus. Ergebnisse aus der Literatur zur Resistenzvererbung weisen auf einen dominanten Erbgang mit ein bis drei Genorten hin, weshalb die Selektion an fortgeschrittenen Zuchtlinien vorgenommen werden sollte.
6. Ableitung von Sortenempfehlungen für den ökologischen Landbau
Aus Sicht der Resistenz sowie der nur einortig erfassten Merkmale 'Wuchshöhe' und 'frohwüchsige Jugendentwicklung' können die Sorten 'Neklan', 'Hamel', 'Boxer', 'Auteuil', 'Jumbo', 'Chantilly' und 'Firth' für den ökologischen Anbau empfohlen werden. Weitere agronomische Angaben sind oben im Abschnitt 3.2 zu finden.

6. Literatur

- KIBITE S, J. MENZIES AND PL 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 kollerii* sampled from oat fields in Canada during 1995-1999. Can. J. Plant Pathol. 23:42-46.
- 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.
- MOLDENHAUER I. 1927: Untersuchungen über die Empfänglichkeit der Wild- und Kulturhaferformen für *Ustilago avenae* mit besonderer Berücksichtigung des Infektionsvorganges, Kühn-Archiv 15:349-405.
- NICOLAISEN, W. 1931: Beitrag zur Immunitätszüchtung des Hafers gegen *Ustilago avenae* (Pers.) Jens. Z. Züchtg.: A. Pflanzenzüchtung. Bd. 16, Heft 2:256-278.
- NICOLAISEN, W. 1934: Die Grundlagen der Immunitätszüchtung gegen *Ustilago avenae* (Pers.) Jens.. Z. Züchtg.: A. Pflanzenzüchtung Bd. 19 Heft 1:1-56.
- NICOLAISEN, W. 1935: Untersuchungen mit Herkünften des Haferflugbrandes im Rahmen der Immunitätszüchtung. Z. Züchtg.: A. Pflanzenzüchtung. 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.
- REED G.M. und FARIS I.A. 1924: *Amer. J. Bot.* 11:579-599.
- 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.
- 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: Expertenfrage der AGÖL zum Getreidesaatgut im Sommer 1999. www.agoel.de/download/Exp_Umf.PDF.
- THIEDE, H. 1963: Untersuchungen zur Biologie und Bekämpfung von *Ustilago avenae* (Persoon) Jensen sowie der Infektionsmethodik. *Phytopathol. Z.* 48:29-72.
- 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. Botanik* 6:113-125.
- ZADE, A. 1928: Masseninfektion mit Haferflugbrand nach einem neuen Verfahren. *Pflanzenbau* 5:43