

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft: Institut für Biologischen Pflanzenschutz, Darmstadt<sup>1)</sup> und Institut für Integrierten Pflanzenschutz, Kleinmachnow<sup>2)</sup>, Getreidezüchtung Darzau Hof, Neu Darchau<sup>3)</sup>, Institut für Biologisch-Dynamische Forschung, Außenstelle Dottenfelderhof<sup>4)</sup>, Keyserlingk-Institut, Salem<sup>5)</sup>, Landwirtschaftskammer NRW, Pflanzenschutzdienst<sup>6)</sup>, Landesanstalt für Pflanzenschutz, Stuttgart<sup>7)</sup>, Universität Hohenheim, Landessaatzuchtanstalt, Stuttgart<sup>8)</sup>

## Charakterisierung der Resistenz von Winterweizensorten und -zuchtlinien gegenüber Steinbrand (*Tilletia tritici*) und Zwergsteinbrand (*T. controversa*)

Resistance of winter wheat varieties and breeding lines against common bunt (*Tilletia tritici*) and dwarf bunt (*T. controversa*)

Rebecca Wächter<sup>1)</sup>, Franziska Waldow<sup>2)</sup>, Karl-Josef Müller<sup>3)</sup>, Hartmut Spieß<sup>4)</sup>, Bertold Heyden<sup>5)</sup>, Ursula Furth<sup>6)</sup>, Johann Frahm<sup>6)</sup>, Walter Weng<sup>7)</sup>, Thomas Miedaner<sup>8)</sup>, Dietrich Stephan<sup>1)</sup> und Eckhard Koch<sup>1)</sup>

### Zusammenfassung

Ziel der hier vorliegenden Untersuchung ist es, einen Beitrag zur Frage der Nutzung von Sortenresistenzen gegen Steinbrand und Zwergsteinbrand im Ökologischen Landbau zu leisten. Dafür wurden in der Vegetationsperiode 2002/03 an fünf Standorten in Deutschland Feldversuche zur Anfälligkeit von 30 Winterweizensorten und -zuchtlinien gegen Steinbrand durchgeführt. Für die Inokulation wurden (mit einer Ausnahme) Sporen vom jeweiligen Standort verwendet. Der an den fünf Standorten beobachtete Höchstbefall variierte zwischen 35 und 87 %. Abhängig vom Standort blieben unter diesen Bedingungen ein Drittel bis zwei Drittel der Sorten unter einem Befall von 20 %. Zu den Sorten mit geringem Befall zählten *Magnifik*, *Stava*, *Tambor*, *Tommi* und *Tarso* sowie der Zuchtstamm *SW 51136*. Im Folgejahr wurden die Versuche mit den Sorten *Altos*, *Ataro*, *Korund*, *Tataros* und *Tommi* wiederholt. Bei einem allgemein sehr hohen Befall hatte nur die Sorte *Tommi* an allen Standorten einen ähnlich geringen Befall wie im Vorjahr. Gegenüber dem Zwergsteinbrand (geprüft 2002/03 an einem Standort) blieb bei einem Höchstbefall von 16 % (anfällige Referenzsorte *Jubilar*) ca. ein Viertel der 30 Sorten unter einem Befall von 2 %. In der Mehrzahl handelte es sich um die gleichen Sorten, die sich auch schon als widerstandsfähig gegen den Steinbrand erwiesen hatten. Bei der Versuchswiederholung in 2003/04 hatten aber die ausgewählten Sorten (*Ataro*, *Toronto*, *Tommi*, *Pegassos* und *Tarso*) einen Befall zwischen 5 und 12 % (*Jubilar*: 30 %).

Weiterhin wurde das Virulenzspektrum von fünf geographisch unterschiedlichen Sporenherkünften von *T. tritici* vergleichend an einem Standort mit Hilfe des Differentialsortimentes nach GOATES (1996) analysiert. Alle Sporenherkünfte waren für die Resistenzgene Bt 2 und Bt 7 virulent, aber avirulent gegenüber Bt 4, Bt 5, Bt 6, Bt 8, Bt 10, Bt 11, Bt 12, Bt 14 und *PI 173437*. Linien mit Bt 1, Bt 3, Bt 9, Bt 13 und Bt 15 waren in der Lage, die untersuchten Sporenherkünfte zu differenzieren.

**Stichwörter:** Ökologischer Landbau, Steinbrand, Stinkbrand, *Tilletia tritici*, *T. caries*, Zwergsteinbrand, *Tilletia controversa*, Winterweizen, Resistenz, physiologische Rasse, Virulenzspektrum

### Abstract

The aim of the present study is to contribute to the topic of the use of varietal resistance against common bunt and dwarf bunt in organic farming. In the growing period 2002/03 field experiments were performed at five locations in Germany to determine the susceptibility against common bunt of 30 winter wheat varieties and breeding lines. In four of the five experiments the spores used for seed inoculation were of local origin, *i. e.* derived from the respective location. The maximum percentage of infected heads recorded at the five locations varied between 35 and 87 %. Depending on the location, one to two thirds of the varieties had below 20 % infection. Among the varieties with low infection were *Magnifik*, *Stava*, *Tambor*, *Tommi*, *Tarso* and *SW 51136*. In the following year the experiments were repeated with the varieties *Altos*, *Ataro*, *Korund*, *Tataros* and *Tommi*. Under the generally higher disease pressure of the second year the cultivar *Tommi* was the only one with a similarly low percent infection as in the first year. In the field experiment for determination of susceptibility of the 30 varieties against dwarf bunt (tested at one location in 2002/03), one fourth of the varieties had below 2 % infection, with a maximum infection of 16 % in the susceptible reference variety *Jubilar*. The majority of these varieties were the same as those that had already shown reduced susceptibility towards common bunt. However, when the experiment was repeated in 2003/04, the selected varieties *Ataro*, *Toronto*, *Tommi*, *Pegassos* and *Tarso* had between 5 and 12 % infection (*Jubilar*: 30 %).

Further, the virulence of five spore samples (isolates) of different geographical origin of *T. tritici* was analysed at one location using a standard set of differential cultivars (GOATES, 1996). All isolates were virulent for the resistance genes Bt 2 and Bt 7, but avirulent towards Bt 4, Bt 5, Bt 6, Bt 8, Bt 10, Bt 11, Bt 12, Bt 14 and *PI 173437*. The isolates could be differentiated by the plants carrying Bt 1, Bt 3, Bt 9, Bt 13 and Bt 15.

**Key words:** Organic farming, common bunt, stinking smut, *Tilletia tritici*, *T. caries*, dwarf bunt, *Tilletia controversa*, winter wheat, resistance, physiological race, virulence pattern



Abb. 1. Symptombild des Zwergsteinbrandes. Befallene Triebe sind stark verkürzt.

## Einleitung

Der Stein- oder Stinkbrand des Weizens wird durch die zur Gruppe der Basidiomyceten gehörenden Arten *Tilletia tritici* (Bjerk.) Wint. [syn. *Tilletia caries* D.C. Tul.] und *T. laevis* Kühn [syn. *T. foetida* (Wallr.) Liro.] hervorgerufen. In Deutschland kommt die Art *T. tritici* vor. *T. controversa* ist der Verursacher des Zwergsteinbrandes, der vor allem in Süddeutschland in höheren Lagen mit längerer Schneedecke auftritt, also regionale Bedeutung hat (Abb. 1). *T. tritici*, *T. laevis* und *T. controversa* stehen sich taxonomisch sehr nahe. Kreuzungen zwischen den Arten sind nachgewiesen (HOLTON, 1954; SILBERNAGEL, 1964). Von einigen Autoren werden sie als Varianten einer Art angesehen (RUSSEL und MILLS, 1994; SHI et al., 1996).

Bei Steinbrand- und Zwergsteinbrandbefall bilden sich in den Ähren keine Körner, sondern stattdessen die kornähnlich geformten sogenannten Brandbutten (Abb. 2). Sie enthalten in großer Anzahl Sporen, nach JOHNSON (1973) ca. vier Millionen pro Butte. Beim Dreschvorgang stäuben die Brandsporen aus und gelangen auf den Boden oder bleiben auf der Kornoberfläche haften und kontaminieren das Erntegut. Bei trockener Lagerung bei Raumtemperatur behalten die Steinbrandsporen ihre Keimfähigkeit bis zu 20 Jahre, im Boden können sie bis zu zwei Winter überdauern (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1983). Es gibt allerdings auch Hinweise auf sehr viel längere Überdauerungszei-



Abb. 2. Brandbutten von *T. tritici* (links ein gesundes Korn).

ten im Boden (BORGEN, 2000). Für Zwergsteinbrandsporen werden für die Überdauerungsfähigkeit im Boden bis zu 10 Jahre genannt (TYLER and JENSEN zit. nach GOATES, 1996). Nach Aussaat kontaminierter Körner keimen bei *T. tritici* die Brandsporen synchron mit dem Keimling aus und bilden Infektionsstrukturen, die in die Koleoptile eindringen, die Blattanlagen durchwachsen und schließlich den Vegetationspunkt infizieren. Die Biologie des Zwergsteinbrandes ist sehr ähnlich, jedoch ist die Sporenkeimung hier lichtinduziert und benötigt länger als beim Steinbrand. Am Korn haftende Sporen sind hier aber epidemiologisch unbedeutend, vielmehr gehen die Infektionen von keimenden Brandsporen aus, die auf oder unmittelbar unter der Bodenoberfläche, also in einiger Entfernung vom Saatkorn, lagern (HOFFMANN, 1982). Anders als der Steinbrand wird der Zwergsteinbrand daher in der Regel nur von systemisch wirkenden Saatgutbehandlungsmitteln ausreichend erfasst.

Die regelmäßige Anwendung chemischer Beizmittel hat dazu geführt, dass im konventionellen Getreidebau in den zurückliegenden Jahrzehnten nennenswerte Schäden durch Brandpilzbefall nicht mehr aufgetreten sind. Dagegen treten im Ökologischen Landbau, wo diese Mittel nicht erlaubt sind, zunehmend Ertrags- und Qualitätseinbußen durch Brandpilze auf, bei Weizen hauptsächlich durch Steinbrand und Zwergsteinbrand. Von den zur Verfügung stehenden Maßnahmen zur Vermeidung oder Reduktion des Befalls mit Brandpilzen sind neben der Prophylaxe wie Saatzeit, Saattiefe und Fruchtfolge die Saatgutbehandlung und die Verwendung resistenter Sorten die wichtigsten.

Für die Saatgutbehandlung zur Steinbrandbekämpfung wurden in den letzten Jahren verschiedene Methoden vorgeschlagen. Dazu zählen physikalische Verfahren wie die Saatgutreinigung in konventionellen Reinigungsanlagen oder mit Spezialgeräten wie der Getreidewäsche (SPIESS und DUTSCHKE, 1991) oder der Bürstmaschine, die Behandlung mit Warmwasser (WINTER et al., 2001), feucht-heiße Luft (FORSBERG et al., 2002) oder niederenergetischen Elektronen (BURTH et al., 1991) sowie die Applikation von Mikroorganismen (HÖKEBERG et al., 1997) und Naturstoffen (SPIESS und DUTSCHKE, 1991; BECKER und WELTZIEN, 1993; PAFFRATH und TRÄNKNER, 1998; EL-NAIMI et al., 2000; NIELSEN et al., 2000; SPIESS und KOCH, 2004). Im Falle der bodenbürtigen Zwergsteinbrandinfektionen ist allerdings bei keinem dieser Verfahren eine ausreichende Wirksamkeit zu erwarten, es sei denn, die applizierten Agenzien würden in der Pflanze eine Resistenz induzieren oder Antagonisten im Boden fördern.

In der konventionellen Landwirtschaft könnte die Nutzung von Sorten mit genetischer Resistenz zu einer nachhaltigen Reduktion der Verwendung chemischer Beizmittel führen. Außerdem wäre eine genetische Resistenz im Weizensortiment sinnvoll, um bei den Brandpilzen die Entwicklungen von Resistenzen gegen Beizwirkstoffe zu vermeiden. Insbesondere wäre aber der Anbau resistenter Sorten eine effiziente Möglichkeit zur Verminderung der Brandpilzproblematik im Ökologischer Landbau. Allerdings ist über die Steinbrand- und insbesondere die Zwergsteinbrandresistenz der meisten Sorten des gegenwärtigen Weizensortimentes nichts oder nur wenig bekannt. Im Rahmen der Sortenzulassung durch das Bundessortenamt wird sie derzeit nicht erfasst. Ergebnisse zur Steinbrandresistenz lokaler und teilweise ausländischer Weizensorten liegen aus Dänemark (BORUM, 2001), Tschechien (BLAŽKOVÁ und BARTOŠ, 1997), Österreich (ZWATZ und ZEDERBAUER, 1997) und der Schweiz (WINTER et al., 1992; BÄNZIGER et al., 2003) vor. In Deutschland wurden entsprechende Untersuchungen von PIORR (1991) und SPIESS (2003) und SPIESS et al. (2003) vorgelegt. Letzterer prüfte über mehrere Jahre hinweg verschiedene aktuelle Sorten unter Verwendung einer Sporenherkunft an einem Standort. In seinen Versuchen gab es einige Sorten, die sich wiederholt als tolerant oder wenig anfällig auszeichneten, die Mehrzahl war aber mittel bis sehr stark anfällig. KOCH und SPIESS (2002) verglichen das Resistenzverhalten von 10 Winterweizensorten an zwei Standorten und erhielten zum Teil abweichende Ergebnisse. Ob hierfür neben Genotyp  $\times$  Standort-Wechselwirkungen auch Unterschiede in der Virulenzzusammensetzung der verwendeten Pilzpopulationen verantwortlich waren, ist nicht bekannt.

Für den Ökologischen Landbau ist eine intensive Resistenzzüchtung eine wichtige Alternative bzw. Ergänzung zur Saatgutbehandlung mit diversen richtlinienkonformen Mitteln. Insbesondere wenn die Saatgutvermehrung unter ökologischen Bedingungen über einen längeren Zeitraum als die in der Verordnung (EG) Nr. 1452/2003 vorgeschriebene eine Generation erfolgen soll, ist das Vorhandensein resistenter Sorten umso wichtiger. In der Literatur sind sowohl monogenische, rassenspezifische als auch rassenspezifische, quantitative Resistenzen beschrieben (Übersicht bei FISCHER et al., 2002). Langfristig gesehen sollten quantitative Resistenzen dauerhafter sein als rassenspezifische, allerdings gibt es im Falle der Steinbranderreger bisher nur wenige Hinweise auf Träger effektiver quantitativer Resistenzen. Dagegen sind eine Reihe monogener Resistenzen bekannt. Ihre effiziente Nutzung setzt aber detaillierte Kenntnisse über Virulenzspektrum und -dynamik des Steinbranderreger voraus (FISCHER et al., 2002).

HOFFMANN und METZGER stellten 1976 ein aus 10 Genotypen bestehendes Differentialsortiment vor, zu dem von GOATES (1996) fünf weitere hinzugefügt wurden (Abb. 3). Jede dieser Linien enthält ein jeweils anderes Resistenzgen (Bt 1-15). Da diese Resistenzgene gleichermaßen gegen *T. tritici*, *T. foetida* und *T. controversa* wirksam sein sollen (FISCHER et al., 2002), können die Daten über Steinbrand ggf. auch für Zwergsteinbrand verwendet werden. Entsprechend dem Gen-für-Gen-Modell (FLOR, 1971) stehen den Resistenzgenen komplementäre Virulenzgene des Erregers gegenüber. Seit Beginn des letzten Jahrhunderts werden in den USA solche rassenspezifischen Resistenzgene zur Züchtung steinbrand- und zwergsteinbrandresistenter Sorten genutzt (HOFFMANN, 1982). Während die Wirksamkeit einiger Resistenzgene schon bald durch Selektion bereits vorhandener bzw. Ausbildung neuer virulenter Rassen überwunden wurde, ist die Resistenz in anderen Fällen bisher stabil. Beispielsweise sind in einigen westlichen Staaten der USA Weizensorten mit Bt 8 seit

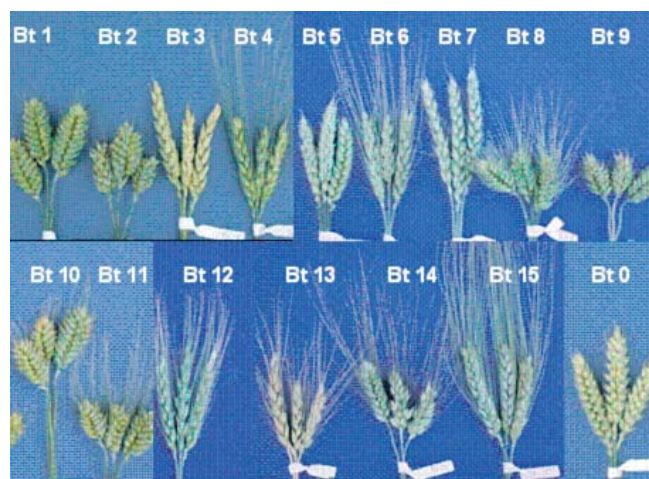


Abb. 3. Habitus der Ähren des Bt-Differentialsortimentes (ohne Befall).

mehr als 20 Jahren resistent gegen Zwergsteinbrand (GOATES, 1996). Für die Züchtung steinbrandresistenter Sorten wird in Kanada derzeit Bt 10 verwendet. Mit den Differentialsortimenten nach HOFFMANN und METZGER (1976) bzw. GOATES (1996) wurden außer in den USA auch in Kanada (GAUDET und PUCHALSKI, 1989), Ländern Nordafrikas und des Nahen Ostens (MAMLUK, 1997), Iran (BIGLAR et al., 2005) sowie in Osteuropa (BLAŽKOVÁ und BARTOŠ, 2002) gute Differenzierungen des Virulenzspektrums erzielt. Die jüngste Analyse physiologischer Rassen des Stein- und Zwergsteinbrandes in Deutschland wurde von SCHUHMAN (1966) durchgeführt. Der Autor stellte beim Steinbrand drei und beim Zwergsteinbrand acht unterschiedliche Rassen fest. Dazu verwendete er ein Sortiment aus Sorten unterschiedlicher Anfälligkeit.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, einen Beitrag zur Frage der Nutzung von Sortenresistenzen gegen Steinbrand und Zwergsteinbrand im Ökologischen Landbau zu leisten. Dafür wurden an fünf Standorten in Deutschland Feldversuche zur Anfälligkeit von 30 Winterweizensorten und -zuchtlinien gegen Steinbrand angelegt. Das gleiche Sortiment wurde an einem weiteren Standort auf Resistenz gegen Zwergsteinbrand geprüft. Im zweiten Jahr wurden die Versuche mit ausgewählten Sorten wiederholt. Darüber hinaus wurde das Virulenzspektrum von fünf geographisch unterschiedlichen Steinbrand-Sporenherkünften vergleichend an einem Standort mit Hilfe des Differentialsortimentes nach GOATES (1996) analysiert.

## Material und Methoden

### Saatgut

Das in den Versuchen zur Resistenzbewertung verwendete Material (in dieser Veröffentlichung einheitlich als „Sorten“ bezeichnet) umfasste 25 in die Bundessortenliste eingetragene Winterweizen sowie eine Sorte aus der Schweiz, drei schwedische Sorten/Zuchtlinien und eine Linie (JAC98.088) aus biologisch-dynamischer Züchtung (Tab. 1). Die Auswahl der Weizensorten erfolgte im Wesentlichen anhand ihrer Eignung für den Ökologischen Landbau (Backqualität, Blattgesundheit, Unkrautunterdrückungsvermögen) sowie aufgrund früherer Ergebnisse von Untersuchungen zur Steinbrandresistenz (KOCH und SPIESS, 2002; SPIESS, 2003) bzw. im Falle der ausländischen Sorten aufgrund in der Literatur beschriebener Resistenzeigenschaften. Ein Differentialsortiment mit bekannten Resistenzgenen, bestehend aus 13 Winterweizen und zwei Sommerweizen, sowie eine wei-

**Tab. 1. Auflistung der in den Resistenzprüfungen untersuchten Sorten und Zuchtlinien. Sorten/Zuchtlinien in Klammern sind in der Beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes 2005 nicht oder nicht mehr aufgeführt**

Bezeichnung	Qualitätsgruppe	Zulassungsjahr in Deutschland	Züchter
Altos	E	2000	SW Seed Hadmersleben
(Arminius)	A	2002	Secobra Saatzeit
Aron	E	1992	SW Seed
Batis	A	1994	Dr. Hermann Strube
Bussard	E	1990	Lochow-Petkus
Cardos	A	1998	SW Seed Hadmersleben
Compliment	A	2001	Deutsche Saatveredelung
Cubus	A	2002	Lochow-Petkus
Elvis	A	2002	Martin Breun
Enorm	E	2002	Schweiger-Weizen
Excellenz	A	2002	Erhardt Eger
Idol	E	2001	SW Seed Hadmersleben
Kontrast	A	1990	SW Seed Hadmersleben
Korund	A	2000	SW Seed Hadmersleben
Ludwig	A	1998	Dr. Peter Franck
(Mewa)	A	1998	„DANKO“ Hodowla Roslin
(Naturastar)	A	2002	Schweiger-Weizen
Pegassos	A	1994	Dr. Hermann Strube
(Tambor)	A	1993	SEMUNDO
Tarso	A	1994	SW Seed Hadmersleben
Tiger	A	2001	Dr. Peter Franck
Tommi	A	2002	NORDSAAT
Toni	A	1997	NORDSAAT
Toronto	A	1990	Strengs Erben
SW Tataros	A	2002	SW Seed Hadmersleben
(Ataro)	—*	—	Saatzeit Peter Kunz (CH)
(Stava)	—	—	Svalöf Weibull (S)
(Magnifik)	—	—	Svalöf Weibull (S)
(SW51136)	—	—	Svalöf Weibull (S)
(JAC98.088)	—	—	Peter Jacoby/Keyserlingk-Institut

\* – = nicht zutreffend (keine Zulassung durch das Bundessortenamt)

tere Winterweizen-Zuchtlinie (*PI 173437*), von der die Unabhängigkeit von Bt 1-15 noch nicht geklärt ist, wurde freundlicherweise von BLAIR GOATES (USDA-ARS, Aberdeen, Idaho, USA) zur Verfügung gestellt.

#### Saatgutinokulation mit Steinbrand (*Tilletia tritici*)

Das Sporenmateriale bestand aus fünf Herkünften von den Standorten Darzau (Raum Lüneburg), Bad Vilbel (Raum Frankfurt/Main), Salem (Bodenseeraum), Münster in Westfalen und Seehausen (Raum Halle/Saale). In den Versuchen zur Resistenzprüfung betrug die Inokulationsdichte 2 g, im Versuch mit dem Differentialsortiment 1 g Sporen pro kg Saatgut. Die Saatgutinokulation erfolgte für alle Versuche bei der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) in Darmstadt. Zur Inokulation wurde das Saatgut in einen Gefrierbeutel gegeben, die gesiebten Steinbrandsporen wurden hinzugefügt und die Tüte aufgeblasen. Der so entstandene Luftsack wurde mit einem Klemmverschluss verschlossen und die Samen mit den Sporen eine Minute geschüttelt.

#### Feldversuche mit Steinbrand

Es wurden zwei Versuche zur Bewertung der Steinbrandresistenz und ein Versuch zur Charakterisierung des Virulenzspektrums anhand eines Differentialsortiments angelegt. Die Feldversuche zur Steinbrandresistenz wurden in den beiden Vegetationsperioden 2002/03 und 2003/04 an den Standorten Darzau, Bad-Vilbel, Salem, Münster und Berlin-Dahlem durchgeführt. Das verwendete Saatgut war mit Sporen vom jeweiligen Standort inokuliert. Eine Ausnahme bildete Berlin-Dahlem, wo die zur Saatgutinokulation verwendeten Sporen aus Seehausen stammten. In der Vegetationsperiode 2002/03 wurden 30 Sorten geprüft. Die Versuche wurden als randomisierte Blockanlagen mit zwei Wiederholungen mit einer Nettogröße von 1 bzw. 2,25 m<sup>2</sup> je Parzelle

angelegt. Die Aussaattermine lagen im Zeitraum Ende September (Darzau) bis 20. November (Bad Vilbel) 2002. Aufgrund widriger Witterung konnte in Münster erst am 15. März 2003 ausgesät werden.

In der Vegetationsperiode 2003/04 wurden in Darzau, Salem, Münster und Berlin-Dahlem fünf ausgewählte Sorten (*Tataros*, *Korund*, *Tommi*, *Ataro*, *Altos*), und in Bad Vilbel 21 Sorten geprüft. Für die Inokulation wurden wieder Sporen vom jeweiligen Standort verwendet, und zwar ein Sporengemisch aus Butten befallener Pflanzen aus dem Versuch des Vorjahres. Versuchsanlage und Parzellengröße waren wie 2002/03, allerdings mit drei Wiederholungen pro Sorte (Bad Vilbel: zwei Wiederholungen).

Der Versuch zur Charakterisierung des Virulenzspektrums anhand eines Differentialsortiments wurde ebenfalls in der Vegetationsperiode 2003/04 angelegt. Hierzu wurde jeweils ein Satz des Differentialsortiments mit den oben beschriebenen Sporengemischen von den fünf Standorten inokuliert und am 19. Oktober 2003 (Winterweizen) bzw. am 19. März 2004 (Sorten *Doubbi* und *Carleton*) in jeweils einer Parzelle von 2,25 m<sup>2</sup> Nettogröße am Standort Bad Vilbel ausgesät.

In allen Versuchen wurde der prozentuale Steinbrandbefall durch Auszählen der Anzahl befallener Ähren in Relation zur Gesamtzahl der vorhandenen Ähren ermittelt. Dabei wurden alle Ähren, die mindestens eine Brandbutte aufwiesen, als befallen eingestuft.

#### Feldversuche mit Zwergsteinbrand

Standort der Zwergsteinbrandversuche war Temmenhausen auf der Schwäbischen Alb (660 m über NN). In der Vegetationsperiode 2002/03 wurden sie mit den gleichen 30 Sorten wie beim Steinbrand durchgeführt. Zusätzlich wurde *Jubilar* als anfällige Standardsorte mitgeführt. Die Sorten wurden am 2. Oktober 2002 in je einer Reihe in sechs Horsten mit ca. 170 Körnern pro

**Tab. 2. Varianztabelle zum Befall der 30 Sorten an den Standorten Salem, Darzau, Berlin-Dahlem, Münster und Bad Vilbel in der Vegetationsperiode 2003/03**

	Freiheitsgrade	Quadratsumme	Prüfgröße (F)	P-Wert
Sorte	29	65 406	64,6	< 0,001
Standort	4	21 420	153,4	< 0,001
Sorte × Standort	114	15 551	3,9	< 0,001
Fehler	135	4 714		

Horst ausgesät und durch Sprühen einer Sporensuspension auf die Bodenoberfläche (0,08 Liter Wasser + 1 g Sporen pro Quadratmeter) künstlich inokuliert. In der Vegetationsperiode 2003/04 erfolgte die Aussaat der ausgewählten Sorten *Jubilar*, *Tarso*, *Pegassos*, *Tommi*, *Toronto* und *Ataro* am 9. Oktober 2003

**Tab. 3. Steinbrandbefall (% Ähren mit Brandbutten) in den Versuchen zur Sortenresistenz in der Vegetationsperiode 2002/03. Aufgeführt sind der mittlere Befall und die Spannweite am jeweiligen Standort sowie die Sorten (alphabetisch) in den entsprechenden Befallskategorien. Mittelwerte aus je zwei Parzellen mit 1 m<sup>2</sup> Nettogröße**

Standort	Mittelwert	Befall [%]					
		0–0,01 (resistent)	> 0,01–2 (sehr gering anfällig)	> 2–8 (gering anfällig)	> 8–20 (mittel anfällig)	> 20–40 (stark anfällig)	> 40 (sehr stark anfällig)
Salem	47,9 (0–87,1)	Stava	Magnifik, SW51136, Tambor, Tommi	Tarso, Tataros, JAC98.088	Korund	Altos, Ataro, Arminius, Cardos	Ludwig, Enorm, Toni, Idol, Bussard, Tiger, Elvis, Excellenz, Cubus, Compliment, Batis, Kontrast, Toronto, Mewa, Pegassos, Naturastar, Aron, Altos
Darzau	28,5 (0–66,1)	Magnifik, SW51136, Tambor	Tommi, Stava, Korund	Tarso, Cardos	Arminius, Aron, Ataro, Mewa, Tataros	JAC98.088, Altos, Naturastar, Kontrast, Excellenz, Enorm, Toni,	Bussard, Tiger, Elvis, Idol, Cubus, Compliment, Batis, Toronto, Pegassos, Ludwig
Berlin-Dahlem	22,5 (0–51,2)	JAC98.088 Magnifik, Stava, Tambor, Tommi	SW51136	Korund, Tarso, Tataros	Altos, Aron, Cardos	Toni, Enorm, Tiger, Excellenz, Cubus, Kontrast, Toronto, Mewa, Naturastar, Ataro, Arminius	Ludwig, Idol, Bussard, Elvis, Compliment, Batis, Pegassos
Münster	13,9 (0–39,8)	Ataro, SW51136	Magnifik, Stava, Tommi, Tarso, JAC98.088, Cardos, Mewa	Aron, Toronto, Korund, Tataros	Altos, Bussard, Elvis, Enorm, Excellenz, Ludwig, Tambor	Batis, Cubus, Idol, Toni, Pegassos, Naturastar, Kontrast, Tiger, Arminius, Compliment	
Bad Vilbel	13,4 (0–35,4)	Korund, Magnifik, Stava, SW51136, Tarso, Tambor, Tommi		Aron, Ataro, Cardos, Naturastar	Batis, Compliment, Excellenz, Idol, Ludwig, JAC98.088, Kontrast, Mewa, Pegassos, Toronto	Tiger, Bussard, Elvis, Toni, Arminius, Cubus, Enorm	

in je vier Reihen à 6 Horsten. Die Parzellen wurden unmittelbar nach der Aussaat sowie zusätzlich am 14. November künstlich inokuliert. Der Befall wurde jeweils im Juli des Folgejahres anhand der typischen Kurzwüchsigkeit befallener Pflanzen sowie, wie oben für den Steinbrand beschrieben, des prozentualen Anteils befallener Ähren bonitiert.

#### Statistische Auswertung

Die Varianzanalyse der arcsin-transformierten Daten wurde mit Hilfe der GLM-Prozedur (SAS System for Windows v.9.1) durchgeführt. Die Varianzhomogenität wurde mit dem Levene-Test ( $P > 0,1$ ) und die Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk-Test ( $P > 0,1$ ) überprüft. Der multiple Mittelwertsvergleich erfolgte mit Hilfe des Student-Newman-Keuls-Tests ( $P \leq 0,05$ ).

**Ergebnisse**

*Feldversuche zur Ermittlung der Sortenresistenz gegenüber Steinbrand*

Im Februar 2003 traten Nässeschäden und Kahlfröste auf, die insbesondere am Standort Bad Vilbel zu Auswinterungen führten. Der absolute Befall war in der Vegetationsperiode 2002/03 an den einzelnen Standorten sehr unterschiedlich. Die Varianzanalyse ergab hoch signifikante Effekte der Sorten innerhalb der Standorte und signifikante Wechselwirkungen zwischen Sorte und Standort (Tab. 2).

Der südlichste Standort Salem hatte mit Abstand den höchsten Befall, gefolgt von Darzau und Berlin-Dahlem (Tab. 3). In Münster und Bad Vilbel war er vergleichsweise gering. Das zeigte sich auch am Höchstbefall. Er reichte von 35,4 % (Sorte *Tiger*) in Bad Vilbel bis 87,1 % (Sorte *Ludwig*) in Salem. In Salem, Darzau und Berlin-Dahlem blieb ca. ein Drittel und in Münster und Bad Vilbel zwei Drittel der 30 geprüften Sorten unter einem Befall von 20%. Unabhängig vom unterschiedlich starken Infektionsdruck zeichneten sich einige Sorten an allen Standorten durch Befallsfreiheit oder nur sehr geringen Befall aus. So blieben *Magnifik*, *Stava*, *Tommi* und *SW51136* an allen Standorten, *Tambor* an vier und *Tarso* an drei der fünf Standorte unter 2% Befall. Andere Sorten, wie *JAC98.088* und *Korund* hatten an mindestens einem Standort weniger als 2% Befall. Der Standort Münster unterschied sich von den anderen dadurch, dass hier mit *Ataro*, *Mewa* und *Cardos* Sorten unter einem Befall von 2% blieben, die an den anderen Standorten zwischen 2 und > 40% Befall aufwiesen. Andererseits trat an *Tambor* in Münster 8,8% Befall auf, während diese Sorte sonst befallsfrei blieb. Ein abweichendes Verhalten wurde auch für die Zuchtlinie *JAC98.088* beobachtet. Sie gehörte in Münster, Berlin-Dahlem und Salem zu den wenig anfälligen Sorten, erreichte aber in Darzau einen Befall von 37%. Im Durchschnitt aller Standorte wurden *Magnifik*, *SW51136*, *Stava*, *Tambor* und *Tommi* am wenigsten und *Elvis*, *Batis* und *Idol* am stärksten befallen (Tab. 4).

Basierend auf diesen Ergebnissen wurden für die Versuche im zweiten Jahr an den Standorten Salem, Darzau, Berlin-Dahlem und Münster die Sorten *Tommi*, *Tataros*, *Korund*, *Altos* und *Ataro* ausgewählt. Wie schon in der vorigen Vegetati-

**Tab. 4. Durchschnittlicher Steinbrandbefall (% Ähren mit Brandbutten) der Standorte Salem, Darzau, Berlin-Dahlem, Münster und Bad Vilbel im Jahr 2002/03 sowie Steinbrandbefall am Standort Bad Vilbel in den Jahren 2002/03 und 2003/04 (die Daten aus dem Jahre 2002/03 sind identisch mit den Angaben zum Standort Bad Vilbel in Tab. 3)**

Sorte	Befall [%]			
	Mittelwert der fünf Standorte 2002/03*	Standort Bad Vilbel 2002/03	Standort Bad Vilbel 2003/04	
Elvis	49,8	a	33,6 (A)**	94,8
Batis	49,2	a	19,6 (A)	65,3
Idol	47,0	a	19,2	n. g.***
Tiger	45,6	a, b	35,4	n. g.
Pegassos	45,6	a, b	13,3	n. g.
Ludwig	44,9	a, b	18,3 (A)	91,2
Cubus	44,5	a, b	22,7 (A)	79,7
Bussard	44,0	a, b	33,8	n. g.
Toni	42,7	a, b	26,6	n. g.
Compliment	42,3	a, b	13,4	n. g.
Enorm	35,8	a, b, c	21,6 (A)	89,5
Kontrast	35,5	a, b, c	16,8	n. g.
Toronto	35,1	b, c	15,6	n. g.
Excellenz	33,2	b, c	12,8	61,7
Naturastar	28,7	c, d	7,8	74,3
Altos	24,6	c, d	(A), n. a.****	78,7
Arminius	22,6	c, d	25,0 (A)	66,8
Mewa	23,0	d	13,0	77,4
Ataro	20,7	d	6,0	n. g.
Aron	17,9	d	5,4	62,2
JAC98.088	11,0	e	11,5	4,7
Cardos	9,6	e, f	5,4	32,2
Korund	5,8	e, f	0	2,8
SW Tataros	5,5	e, f	(A), n. a.	72,9
Tarso	2,3	f, g	0 (A)	41,4
Tambor	1,8	g	0	0,3
Tommi	0,6	g	0	0,2
Stava	0,2	g	0	0,4
SW51136	0,1	g	0 (A)	1,7
Magnifik	0,1	g	0	0

\* Unterschiedliche Buchstaben stehen für statistisch signifikante Unterschiede (P < 0,05) (Student-Newman-Keuls-Test).

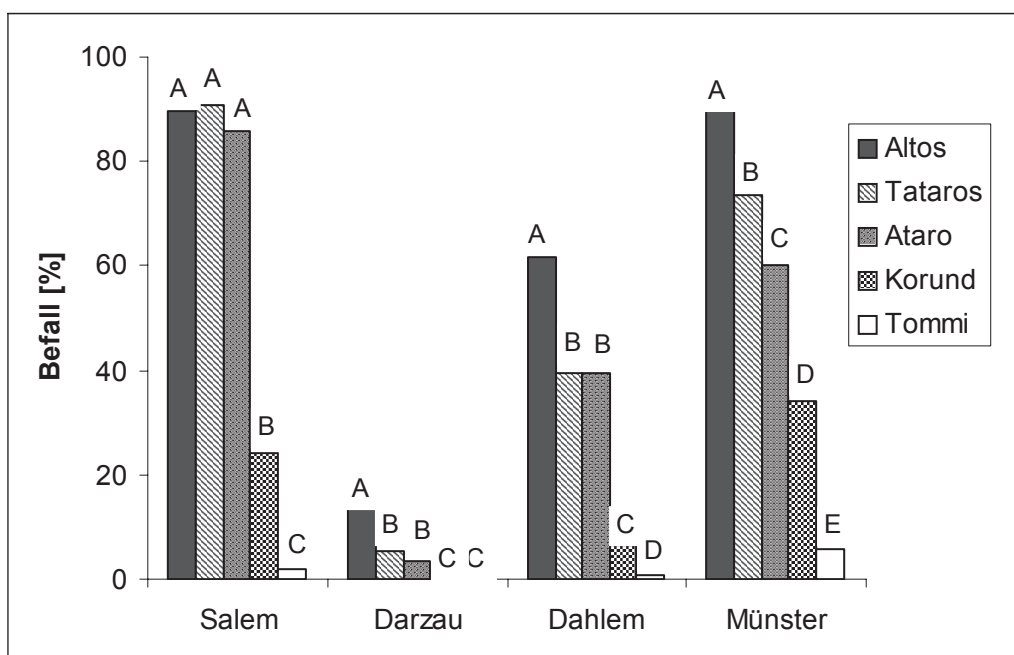
\*\* (A) = mit Auswinterungsschäden

\*\*\* n. g. = nicht geprüft

\*\*\*\* n. a. = nicht auswertbar

onsperiode traten auch 2003/04 deutliche Unterschiede im Befall zwischen den Standorten auf, allerdings in teilweise verän-

**Abb. 4. Steinbrandbefall (% Ähren mit Brandbutten) von fünf ausgewählten Sorten (Vegetationsperiode 2003/04) an vier Standorten. Mittelwerte aus je drei Parzellen à 1 m<sup>2</sup> Nettogröße. Unterschiedliche Buchstaben stehen für statistisch signifikante Unterschiede (P < 0,05) des Befalls am jeweiligen Standort (Student-Newman-Keuls-Test).**



**Tab. 5. Steinbrandbefall (% Ähren mit Brandbutten) eines Differentialsortimentes nach Inokulation des Saatgutes mit Sporen verschiedener Herkunft. 0–10% Befall wird als Avirulenz (grau unterlegt), 11–100% als Virulenz gewertet (HOFFMANN und METZGER, 1976)**

Bt-Gen	Linie	Sporenherkunft/Befall [%]				
		Darzac	Münster	Seehausen	Bad Vilbel	Salem
0	HeinesVII	96,5	92,4	97,8	88,9	97,0
1	PI 554101	77,5	0,0	39,4	63,1	6,9
2	PI 554097	73,3	62,0	87,2	63,7	87,1
3	Ridit	1,0	1,6	17,2	4,8	5,7
4	CI 1558	3,1	2,3	4,5	1,9	3,2
5	Hohenheimer	1,6	0,8	0,0	0,9	0,0
6	Rio	1,7	2,1	2,8	1,3	1,4
7	PI 554100	17,3	37,8	13,6	21,1	70,7
8	PI 554120	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
9	PI 554099	0,4	0,0	0,4	0,1	15,4
10	PI 554118	0,5	0,7	0,3	0,9	0,6
11	PI 544119	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	PI 119333	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	Thule III	0,3	0,3	50,5	0,3	7,9
14	Doubbi	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	Carleton	2,1	18,1	16,5	1,4	1,7
P	PI 173437	2,2	3,6	2,5	1,5	4,2

derter Reihenfolge an den einzelnen Orten (Abb. 4). Der Befall war in Salem und Münster am höchsten und in Darzac am geringsten. Das Jahr 2003/04 war in einigen Regionen ein sehr starkes Steinbrandjahr mit zum Teil hohem Befall auch auf Praxisschlägen. Unter diesen Bedingungen hatten die fünf geprüften Sorten nur am Standort Darzac einen ähnlich geringen Befall wie im Vorjahr. Am Standort Berlin-Dahlem galt dies nur für *Tommi* und *Korund* sowie in Salem und (mit Einschränkung) in Münster nur für *Tommi*. In Münster und Salem hatte *Korund* mehr als 20% und *Tataros*, *Ataro* und *Altos* mehr als 50% Befall.

Am Standort Bad Vilbel wurde im zweiten Versuchsjahr eine Auswahl von 21 Sorten ausgesät. Auch in Bad Vilbel war der Befall 2003/04 deutlich, bei einigen Sorten sogar um ein Mehrfaches höher als 2002/03 (Tab. 4). Eine Ausnahme in dieser Hinsicht war lediglich die Sorte *JAC98.088*. Nur die Sorten *Magnifik*, *Stava*, *SW51136*, *Tambor* und *Tommi* hatten 2003/04 am Standort Bad Vilbel einen Befall unter 2%.

### Charakterisierung der Steinbrand-Sporenherkünfte mit einem Differentialsortiment

Die Ergebnisse zur Virulenz der verschiedenen Sporenherkünfte zeigt Tabelle 5. Die Sorte *Heines VII* trägt kein spezifisches Resistenzgen. Sie wurde von allen Sporenherkünften hochgradig befallen. Alle Sporenherkünfte konnten ebenfalls *PI 554097* und *PI 554100* befallen, d. h. die Resistenzen von Bt 2 und Bt 7 überwinden. Der Nomenklatur von HOFFMANN und METZGER (1976) folgend waren dagegen alle Sporenherkünfte avirulent gegenüber *CI 1558* (Bt 4), *Hohenheimer* (Bt 5), *Rio* (Bt 6), *PI 554120* (Bt 8), *PI 554118* (Bt 10), *PI 544119* (Bt 11), *PI 119333* (Bt 12), *Doubbi* (Bt 14) und *PI 173437*. Gegenüber Bt 8, Bt 11, Bt 12 und Bt 14 waren die Steinbrandpopulationen vollständig avirulent. *PI 554101* (Bt 1), *Ridit* (Bt 3), *PI 554099* (Bt 9), *Thule III* (Bt 13) und *Carleton* (Bt 15) waren in der Lage, die untersuchten Sporenherkünfte zu differenzieren. Die Virulenzmuster der Pilzpopulationen waren für die Standorte Münster, Seehausen und Salem verschieden und für Bad Vilbel und Darzac gleich. Die höchste Virulenzfrequenz (6 von 16) fand sich in der Population

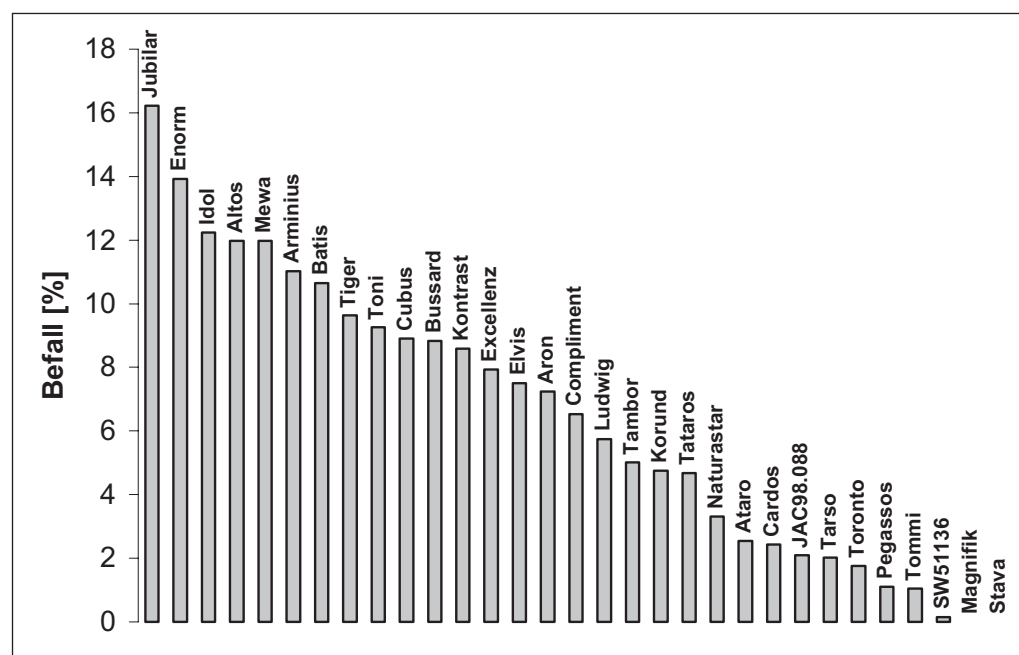
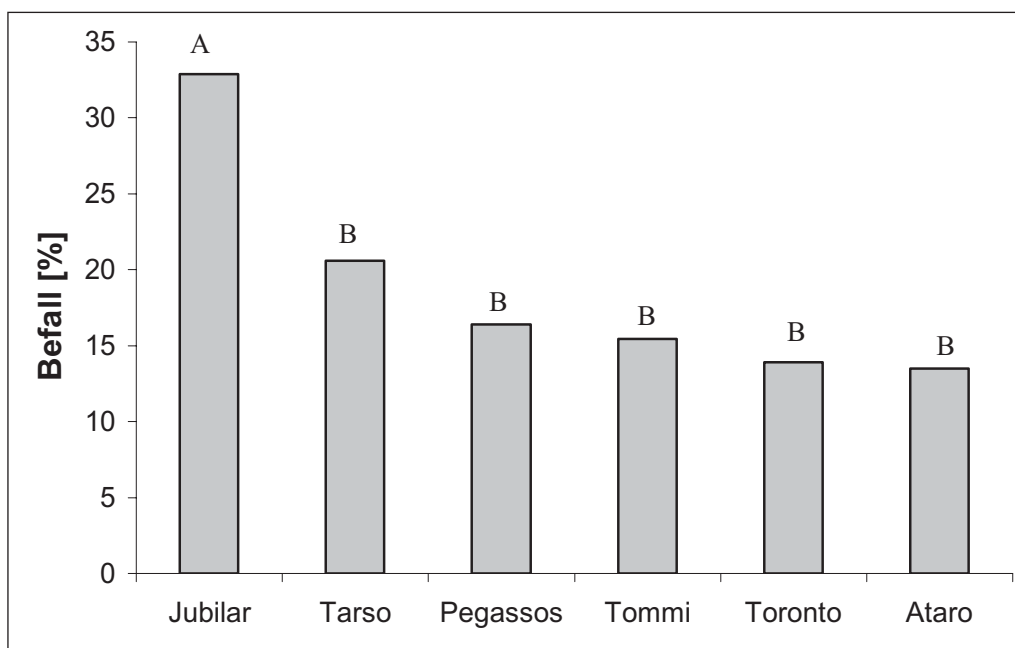


Abb. 5. Zwersteinbrandbefall (% Ähren mit Brandbutten) im Versuch zur Sortenresistenz in der Vegetationsperiode 2002/03. Mittelwerte aus je 6 Horsten à 170 Körner.

Abb. 6. Zwergsteinbrandbefall (% Ähren mit Brandbutten) von fünf ausgewählten Sorten (Vegetationsperiode 2003/04). Mittelwerte von je vier Reihen mit 6 Horsten à 170 Körnern. Unterschiedliche Buchstaben stehen für statistisch signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) des Befalls (Student-Newman-Keuls-Test).



Seehausen, in den anderen Populationen wurden nur jeweils drei Virulenzgene gefunden.

#### Feldversuche zur Ermittlung der Sortenresistenz gegenüber Zwergsteinbrand

Mit durchschnittlich 4 bzw. 11 % fiel der Befall mit Zwergsteinbrand in beiden Versuchsjahren relativ niedrig aus. In der Vegetationsperiode 2002/03 blieb ca. ein Viertel der Sorten unter einem Befall von 2 % (Abb. 5). In der Mehrzahl handelte es sich um die gleichen Sorten, die sich schon als widerstandsfähig gegen den Steinbrand erwiesen hatten. So blieben *Stava*, *Magnifik* und *SW51136* ganz oder nahezu befallsfrei. Die für Steinbrand günstigeren Infektionsbedingungen in der Vegetationsperiode 2003/04 spiegelten sich auch beim Zwergsteinbrandbefall wider. Er betrug 30 % bei der anfälligen Standardsorte *Jubilar* und lag auch bei den fünf ausgewählten Sorten *Ataro*, *Toronto*, *Tommi*, *Pegassos* und *Tarso* deutlich über 10 % (Abb. 6). Die Differenzierung zwischen den Sorten war in diesem Jahr deutlich schlechter als im Vorjahr.

#### Diskussion

Ein einheitliches System zur Einstufung der Sortenanfälligkeit sowohl gegen Steinbrand als auch gegen Zwergsteinbrand liegt bisher nicht vor. Wir folgen hier im Wesentlichen der Einstufung nach ZWATZ und ZEDERBAUER (1997) in gering anfällig (< 8 %), mittel anfällig (> 8–20 %), stark anfällig (> 20–40 %) und sehr stark anfällig (> 40 %), schlagen aber für eine genauere Charakterisierung der weniger anfälligen Sorten die zusätzlichen Kategorien „resistent“ (0–0,01 %) und „sehr gering anfällig“ (> 0,01–2 %) vor (vgl. Tab. 2). Dabei schließt die Größenordnung 0–0,01 % den Bereich der Saatgutaberkennungs-grenze ein, der bei einer Bestandesdichte von ca. 400 Ähren pro m<sup>2</sup> etwa 3 bzw. 5 Pfl./150 m<sup>2</sup> entspricht. Es ist offensichtlich, dass eine solche Einteilung Versuchsbedingungen erfordert, bei denen ein entsprechend hoher Infektionsdruck erreicht wird. Langjährige Erfahrungen mit Steinbrandversuchen auf dem Dottenfelderhof bei Bad Vilbel haben gezeigt, dass bei künstlicher Inokulation mit 2 g Sporen/kg Saatgut und Aussaat in der zweiten Oktoberhälfte diese Bedingungen erfüllt sind, d. h. hoch anfällige Sorten normalerweise Befallsstärken von 50 % und höher aufweisen. Inso-

fern stellt der teilweise geringe Befall in 2002/03 eine Ausnahme dar, die sehr wahrscheinlich auf der späten Aussaat und einer extremen Witterung beruhte.

In der Vegetationsperiode 2002/03 war ein Großteil der geprüften Sorten geringer mit Steinbrand befallen. Zu den besten Sorten zählten unter anderen *Magnifik*, *Stava*, *SW51136*, *Tommi*, *Tambor*, *Tarso*, *Tataros*, *Cardos*, *JAC98.088* und *Korund*. Von *Magnifik*, *Stava* und *SW51136* ist bekannt, dass die Resistenz auf die Einkreuzung der Linie *PI 178383* zurückzuführen ist (RICHTER, pers. Mitteilung). Diese Linie ist die wichtigste Resistenzquelle für die Züchtung zwergsteinbrandresistenter Sorten in den USA. Sie enthält die Resistenzgene *Bt 8*, *Bt 9* und *Bt 10* sowie einen nicht identifizierten Resistenzfaktor (BLAŽKOVÁ und BARTOŠ, 2002). *Tambor*, *Tarso*, *Tataros* und *Cardos*, alle aus dem Züchterhaus Hadmersleben, sind nahe verwandt und gehören zur sogenannten *Taras*-Linie (RICHTER, pers. Mitteilung). Das könnte vermuten lassen, dass die genetische Basis für die geringe Anfälligkeit dieser Sorten identisch ist. Diese Überlegung war mitbestimmend bei der Auswahl der Sorten für die Resistenzprüfung an vier Standorten im zweiten Versuchsjahr. Die wichtigsten Auswahlkriterien waren Verfügbarkeit für die Praxis (d. h. Zuchtlinien bzw. in Deutschland nicht zugelassene Sorten schie-den aus), unterschiedliche Anfälligkeit und möglichst Nicht-Verwandtschaft untereinander. Daher wurde für die Aussaat an den vier Standorten Salem, Darzau, Dahlem und Münster für die genannten wenig anfälligen, zur *Taras*-Linie gehörenden Sorten stellvertretend die neuere Sorte *Tataros* gewählt, außerdem zwei weitere, ebenfalls wenig anfällige Sorten (*Korund* und *Tommi*) sowie mit *Ataro* und *Altos* zwei Sorten mit eher höherer Anfälligkeit. Am Standort Bad Vilbel wurden alle Sorten der *Taras*-Linie auch im zweiten Jahr untersucht.

Es ist bekannt, dass unter den befallsbestimmenden Faktoren der Aussaatzeit und der Jahreswitterung eine Schlüsselrolle zukommt. Wohl deshalb zeigten in den Steinbrandversuchen im ersten Jahr einige Sorten am Standort Münster, an dem erst im März ausgesät wurde, ein von den anderen Standorten abweichendes Befallsverhalten. Zusätzlich gab es deutliche Genotyp × Jahr-Wechselwirkungen. So reagierte die Sorte *Tataros* in Bad Vilbel, Salem, Berlin-Dahlem und Münster im ersten Jahr „gering anfällig“, war aber im zweiten Jahr an den gleichen Standorten „stark“ bis „sehr stark anfällig“. Eine deutliche Tendenz zu



höherer Anfälligkeit wurde im zweiten Versuchsjahr auch für die meisten anderen Sorten/Standorte beobachtet. Am Standort Bad Vilbel zeigten auch die zur Taras-Linie gehörenden *Cardos* und *Tarso* im zweiten Jahr einen hohen Befall. Einzige Ausnahme war die Sorte *Tambor*, die sich als tolerant auszeichnete. Damit scheinen die im ersten Jahr beobachteten Resistenzeigenschaften dieser Sorten nicht (allein) auf *Taras* zurückzugehen. Unter den für Steinbrandbefall sehr günstigen Bedingungen der Vegetationsperiode 2003/04 erwies sich von den geprüften, derzeit zugelassenen Sorten nur *Tommi* als hinreichend widerstandsfähig.

Aus den hier erhaltenen sowie früheren (KOCH und SPIESS, 2002; SPIESS 2003) Ergebnissen lässt sich folgern, dass es bei den derzeit verfügbaren und für den Ökologischen Landbau interessanten Winterweizensorten deutliche Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber Steinbrand gibt. Bei Anbau der Sorten, die in der vorliegenden Untersuchung kaum oder nur wenig befallen wurden, sollte in „normalen“ Jahren und bei „normalem“ Infektionsdruck das Risiko von Ausfällen aufgrund von Steinbrandbefall erheblich herabgesetzt sein. Das gilt umso mehr, wenn Saatgutbehandlungen zusätzlich zum Einsatz kommen (SPIESS und KOCH, 2004; WALDOW und JAHN, 2005). Bei der Zwergsteinbrandanfälligkeit konnten im ersten Jahr Unterschiede in der Anfälligkeit der Sorten gefunden werden, wobei durchweg die gleichen Sorten einen verminderten Befall zeigten wie in den Steinbrandversuchen. Allerdings war, wie auch beim Steinbrand, der Befall im zweiten Versuchsjahr höher und die Unterschiede zwischen den ausgewählten Sorten kaum noch nachweisbar.

Da in den Steinbrandversuchen an den unterschiedlichen Standorten stets auch verschiedene Sporenherkünfte zur Inokulation benutzt wurden, umfasst der Faktor „Standort“ neben den Umweltbedingungen auch die Virulenzzusammensetzung der Erregerpopulation. In unserer Untersuchung mit dem Differentialsortiment nach GOATES (1996) wurden vier verschiedene Virulenzmuster erhalten. Die Aussagekraft dieses Ergebnisses steht allerdings insofern in Frage, als es sich bei unseren Sporenherkünften nicht um Nachkommenschaften von Einzelsporen oder Sporen von Einzelähren handelte, sondern um Sporengemische von verschiedenen Ähren. Unsere Ergebnisse zeigen eine allgemein gute Übereinstimmung mit denen von BLAŽKOVÁ und BARTOŠ (2002), die mit Bt 1–13 aus dem gleichen Differentialsortiment Steinbrandherkünfte aus verschiedenen europäischen Ländern charakterisierten. So waren in beiden Untersuchungen alle Sporenherkünfte avirulent gegen mehrere Resistenzgene, von denen einige in anderen Ländern bereits in der Resistenzzüchtung verwendet wurden oder werden, wie Bt 8, Bt 10 und Bt 11 (FISCHER et al., 2002). Allerdings trat bei uns, anders als bei BLAŽKOVÁ und BARTOŠ, Virulenz gegen Bt 3 und Bt 13 auf. Das von uns für die Sporenherkünfte Darza und Bad Vilbel ermittelte Virulenzmuster entspricht der von HOFMANN und METZGER (1976) beschriebenen Rasse T5, die auch von BLAŽKOVÁ und BARTOŠ gefunden wurde.

Die vorliegenden Daten sind eine erste Basis für eine Resistenzzüchtung. Aufgrund der hohen Jahres- und Ortseffekte, die eine starke Umweltabhängigkeit des mittleren Befalls dokumentieren, sind für eine zuverlässige Sorteneinstufung unbedingt viele Umwelten (Jahre, Orte) nötig. Der Infektionsdruck selbst scheint einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Differenzierung der Sorten zu haben. Es wäre nun notwendig, die weniger anfälligen Sorten mit Hilfe differenzierender Brandisolate zu untersuchen, um die genetische Basis der Sortenresistenz zu analysieren bzw. Hinweise auf das Vorhandensein spezifischer Bt-Resistenzen zu erhalten. Ein Grund für die hohe Umweltabhängigkeit der Sortendifferenzierung könnte die unterschiedliche Zusammensetzung der Brandpopulationen sein, da auf jedem Standort mit einem anderen Isolatgemisch und damit

unterschiedlichen Virulenzkombinationen (vergl. Tab. 5) gearbeitet wurde. Solche Untersuchungen zum Vorkommen spezifischer Virulenzen sind unbedingt über weitere Orte und Jahre fortzuführen. Nur so kann geklärt werden, ob sich der Einsatz spezifischer Bt-Gene wenigstens kurzfristig lohnt. Der Einsatz molekularer Marker, die für einzelne Bt-Resistenzgene bereits beschrieben sind (LAROCHE et al., 2000; HE und HUGHES, 2003), wäre bei den aufwändigen und umweltabhängigen Resistenzprüfungen eine große Hilfe. Er würde auch eine gezielte und rasche Pyramidisierung mehrerer Bt-Resistenzgene ermöglichen. Eine fortlaufende Prüfung der Anfälligkeit der Sorten an verschiedenen Standorten mit Inokulation derselben Brandpopulation mit bekannten Virulenzen, idealerweise im Rahmen der Sortenzulassung, wäre erforderlich, um dem ökologisch wirtschaftenden Landwirt eine sichere Entscheidungsgrundlage für die Sortenwahl zu geben. Langfristig wären quantitative Resistenzen vorzuziehen, sofern sie in diesem Pathosystem in modernem Weizenmaterial überhaupt vorkommen, um die spezifische Anpassung der Pathogenpopulationen an die Resistenzgene zu vermeiden. Zur Selektion solcher rassenunabhängiger, quantitativer Resistenzen müsste im Zuchtbetrieb spaltendes Material mit Brandpopulationen inokuliert werden, die Virulenzen für alle bekannten Bt-Gene besitzen.

Einige Öko-Züchter vertreten dagegen die Meinung, dass der Entwicklung von Sorten mit Regionalcharakter aus vielerlei Gründen der Vorzug gegeben werden sollte. Insofern wäre eine Sortenresistenz gegenüber der vorherrschenden regionalen Rasse bzw. dem vorherrschenden regionalen Rassegemisch ausreichend und würde den züchterischen Aufwand erheblich begrenzen. Den Grundanschauungen des Öko-Landbaues folgend, sollte darüber hinaus der Anpassung der Erreger gegenüber Resistenzen durch eine prophylaktische Saatgutbehandlung und pflanzenbauliche Maßnahmen entgegengewirkt werden.

## Danksagung

Unser Dank gilt den beteiligten Pflanzenzüchtungsunternehmen für die Bereitstellung der Sorten und Zuchtlinien. Frau BIRGIT WEIHRACH danken wir für die technische Assistenz. Das Projekt wurde aus Mitteln des Bundesprogramms Ökologischer Landbau finanziert.

## Literatur

- BÄNZIGER, I., H.-R. FORRER, G. SCHACHERMEYR, 2003: Stinkbrandanfälligkeit in- und ausländischer Weizensorten. *Agrarforschung* **10**, 328–333.
- BIGLAR, H. G., M. J. S. PARI, A. DARIAEE, R. HAGHPARAST, D. ZAFARI, M. AGHAE, V. MARDOKHI, 2005. Identification of new wheat common bunt pathotypes (*Tilletia laevis* Kuhn.). pp. 167–173 in: GNANAMANICKAM, S.S. et al. (eds): Proceedings of the Asian Conference on Emerging Trends in Plant-Microbe Interactions. Dec. 8–10, 2005. University of Madras.
- BECKER, J., H. C. WELTZIEN, 1993: Bekämpfung des Weizensteinbrandes (*Tilletia caries* (DC.) Tul. & C. Tul.) mit organischen Nährstoffen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **100**, 49–57.
- BLAŽKOVÁ, V., P. BARTOŠ, 1997: Reaction of winter wheat cultivars registered in the Czech Republic to common bunt (*Tilletia tritici* (Bjerk.) Wint. and *T. laevis* Kühn) and sources of resistance. *Cereal Research Communications* **25**, 985–992.
- BLAŽKOVÁ, V., P. BARTOŠ, 2002: Virulence pattern of European bunt samples (*Tilletia tritici* and *T. laevis*) and sources of resistance. *Cereal Research Communication* **30**, 335–342.
- BORGEN, A., 2000: Perennial survival of common bunt (*Tilletia tritici*) in soil under modern farming practice. *Journal of Plant Diseases and Protection* **107**, 182–188.
- BORUM, F., 2001: Danish wheat pool. S. 243–256 in *The World Wheat Book*. Lavosier, Paris.
- BURTH, U., K. GABER, M. JAHN, K. LINDNER, G. MOTTE, S. PANZER, J. PFLAUMBAUM, F. SCHOLZE, 1991: Behandlung mittels Elektronen – Ein

- neues Verfahren zur Bekämpfung samenbürtiger Schaderreger an Winterweizen. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz.* **43**, 41–45.
- EL-NAIMI, M., H. TOUBIA-RAHME, O. F. MAMLUK, 2000: Organic seed-treatment as a substitute for chemical seed-treatment to control common bunt of wheat. *European Journal of Plant Pathology* **106**, 433–437.
- FISCHER, K., C. C. SCHÖN, T. MIEDANER, 2002: Chancen einer Resistenzzüchtung gegen Brandpilze bei Weizen für den ökologischen Pflanzenbau. Studie im Auftrag vom Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg, Stuttgart. Hrsg. Universität Hohenheim, Landessaatzuchtanstalt.
- FLOR, H. H., 1971: Current status of the gene-for-gene concept. *Annual Review of Phytopathology* **9**, 257–296.
- FORSBERG, G., S. ANDERSSON, L. JOHNSSON, 2002: Evaluation of hot, humid air seed treatment in thin layers and fluidized beds for seed pathogen sanitation. *Journal of Plant Diseases and Protection*, **109**, 357–370.
- GAUDET, D. A., B. L. PUCHALSKI, 1989: Races of common bunt (*Tilletia caries* and *T. foetida*) of wheat in western Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology* **11**, 415–418.
- GOATES, B. J., 1996: Common bunt and dwarf bunt. S. 12–25 in WILCOXSON, R. D. and E. E. SARI (Hrsg.): Bunt and smut diseases of wheat: concepts and methods of disease management. CIMMYT Mexico.
- HE, C., G. R. HUGHES, 2003: Development of RAPD markers associated with common bunt resistance to race T1 (*Tilletia tritici*) in spelt wheat. *Plant Breeding* **122**, 375–377.
- HOFFMANN, G. M., H. SCHMUTTERER, 1983: Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Stuttgart, E. Ulmer.
- HOFFMANN, J. A., 1982: Bunt of wheat. *Plant Disease* **66**, 979–986.
- HOFFMANN, J. A., R. J. METZGER, 1976: Current status of virulence genes and pathogenic races of the wheat bunt fungi in the northwestern USA. *Phytopathology* **66**, 657–660.
- HÖKEBERG, M., B. GERHARDSON, L. JOHNSSON, 1997: Biological control of seed-borne diseases by seed bacterization with greenhouse-selected bacteria. *European Journal of Plant Pathology* **103**, 25–33.
- HOLTON, C. S., 1954: Natural hybridisation between common and dwarf bunt as related to the problem of delimitation of species of *Tilletia* occurring on wheat. *Phytopathology* **44**, 493 (Abstract).
- JOHNSSON, L., 1973: Dvärgstinksot (*Tilletia controversa*) och vanligt stinksot (*Tilletia caries*) i svenskt Vete. *Vaxtskyddrapporter* **6**, 1–19.
- KOCH, E., H. SPIESS, 2002: Characterisation of leaf symptoms of common bunt (*Tilletia caries*) and relationship to ear attack in nine wheat varieties. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **109**, 159–165.
- LAROCHE, A., T. DEMEKE, D. A. GAUDET, B. PUCHALSKI, M. FRICK, R. MCKENZIE, 2000: Development of a PCR marker for rapid identification of the Bt10 gene for common bunt. *Genome* **43**, 217–223.
- MAMLUK, O. F., 1997: Bunts and smuts in North Africa and the Near East. S. 103–108 in: H.-J. BRAUN et al. (eds.). *Wheat: Prospects for Global Improvement*. Kluwer Academic Press, Niederlande.
- NIELSEN, B., A. BORGES, L. KRISTENSEN, 2000: Control of seed borne diseases in production of organic cereals. pp. 171–176 in: *Proceedings of the Brighton Conference 2000 – Pest and Diseases*, Brighton, 2000.
- PAFFRATH, A., A. TRÄNKNER, 1998: Weizensteinbrand – Bekämpfung im Ökologischen Landbau. *Lebendige Erde* **5**, 431–434.
- PIORR, H.-P. 1991: Bedeutung und Kontrolle saatgutübertragbarer Schaderreger an Winterweizen im Organischen Landbau. Diss. Bonn.
- RUSSEL, B. W., D. MILLS, 1994: Morphological, physiological and genetic evidence in support of the conspecific status for *Tilletia caries*, *T. controversa* and *T. foetida*. *Phytopathology* **84**, 576–582.
- SCHUHMAN, G., 1966: Untersuchungen über die physiologische Spezialisierung von *Tilletia caries* (DC.) Tul. und *Tilletia controversa* Kühn in Deutschland und das Resistenzverhalten von Weizensorten. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft.* **117**.
- SHI, Y. L., P. LOOMIS, D. CHRISTIAN, L. M. CARRIS, H. LEUNG, 1996: Analysis of the genetic relationship among the wheat bunt fungi using RAPD and ribosomal DNA markers. *Phytopathology* **86**, 311–318.
- SILBERNAGEL, M. J., 1964: Compatibility between *Tilletia caries* and *T. controversa*. *Phytopathology* **54**, 1117–1120.
- SPIESS, H., J. DUTSCHKE, 1991: Bekämpfung des Weizensteinbrandes (*Tilletia caries*) im Biologisch-Dynamischen Landbau unter experimentellen und praktischen Bedingungen. *Gesunde Pflanzen* **43**, 264–270.
- SPIESS, H. 2003: Stand der Weizensteinbrandbekämpfung im Ökologischen Landbau. S. 565–566 in: FREYER, B. (Hrsg.) *Ökologischer Landbau der Zukunft: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, 24.–26. 2. 2003, Univ. für Bodenkultur, Wien.
- SPIESS, H., S. KLAUSE, U. BARTHEL, 2003: Züchtungsforschung Getreide. Jahresbericht 2003, Institut für Biologisch-Dynamische Forschung e.V., Darmstadt, S. 23–30.
- SPIESS, H., E. KOCH, 2004: Wirksamkeit des Pflanzenstärkungsmittels TILLECUR® auf saatgutübertragbare Krankheiten des Getreides unter den Bedingungen des Öko-Landbaues. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft.* **396**, 504–505.
- WALDOW, F., M. JAHN, 2005: Untersuchungen zur Regulierung von Steinbrand (*Tilletia caries*) unter besonderer Berücksichtigung von Befallstoleranzgrenzen und direkten Maßnahmen. S. 125–128 in: HESS, J., G. RAHMANN (Hrsg.) *Ende der Nische: Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Kassel, 1.–4. März 2005.
- WINTER, W., H. KREBS, I. BÄNZIGER, 1992: Anfälligkeit von Getreidesorten für einige Brandpilze. *Landwirtschaft Schweiz* **5**, 293–297.
- WINTER, W., I. BÄNZIGER, A. RÜEGGER, G. SCHACHERMEYR, H. KREBS, 2001: Magermilchpulver und Gelbsenfmehl gegen Weizenstinkbrand. *Agrarforschung* **8**, 118–123.
- ZWATZ, B., R. ZEDERBAUER, 1997: Weizensteinbrand: Eine „explosive“ Krankheit. *Der Pflanzenarzt* **1/2**, 24–26.

Zur Veröffentlichung angenommen: Mai 2006

*Kontaktanschrift: Dr. Eckhard Koch, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für biologischen Pflanzenschutz, Heinrichstr. 243, 64287 Darmstadt, E-Mail: e.koch@bba.de*