



**Strategien zur Regulierung des Steinbrandes -
Teilprojekt B: Strategien zur Regulierung von
Steinbrand an Weizen (*Tilletia caries*, *Tilletia
controversa*) unter besonderer Berücksichtigung von
Befallstoleranzgrenzen und direkten
Bekämpfungsmaßnahmen**

Herausgeberin:

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

Tel.: +49 228 6845-3280 (Zentrale)

Fax: +49 228 6845-2907

E-Mail: geschaeftsstelle-oekolandbau@ble.de

Internet: www.bundesprogramm-oekolandbau.de

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

Auftragnehmer:

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA)
Institut für integrierten Pflanzenschutz

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



Schlussbericht Bundesprogramm Ökologischer Landbau

Forschungsprojekt Nr. 02OE086

Strategien zur Regulierung des Steinbrandes - Teilprojekt B: Strategien zur Regulierung von Steinbrand an Weizen (*Tilletia caries*, *Tilletia controversa*) unter besonderer Berücksichtigung von Befallstoleranzgrenzen und direkten Bekämpfungsmaßnahmen

Laufzeit: 01.07.2002 – 31.12.2003

Berichtszeitraum: 01.07.2002 - 31.12.2003

Ausführende Stelle: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Institut für integrierten Pflanzenschutz
Stahnsdorfer Damm 81, D-14532 Kleinmachnow

Bearbeiter : Dr. F. Waldow, Dr. M. Jahn

Zusammenarbeit mit anderen Stellen:

Institut für biologischen Pflanzenschutz der BBA, Darmstadt, Dr. E. Koch, Dr. R. Wächter

Institut für Biologisch-Dynamische Forschung, Bad Vilbel, Dr. H. Spieß

Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland der BBA, Braunschweig, Dr. S. Wohlleben

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, B. Pölitz

Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Münster, U. Furth

Landesanstalt für Pflanzenschutz, Stuttgart, Dr. W. Weng

Inhaltsverzeichnis

1	Ziele und Aufgabenstellung	4
1.1	Planung und Ablauf	5
1.1.1	Erzeugung von <i>Tilletia caries</i> -infiziertem Saatgut	5
1.1.2	Saatgutbehandlung mit alternativen Verfahren	5
1.1.3	Durchführung von Feldversuchen	6
1.1.4	Feldversuch an einem mit <i>Tilletia controversa</i> verseuchten Standort	6
1.1.5	Durchführung von Klimakammerversuchen mit allen Varianten	7
1.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand des Wissens	8
2	Material und Methoden	11
2.1	Erzeugung von <i>Tilletia caries</i>-infiziertem Winterweizensaatgut	11
2.1.1	Beschaffung von Infektionsmaterial und Sporengewinnung / Reinigung	11
2.1.2	Auswahl der Sorten	11
2.1.3	Feststellung der erforderlichen Sporenmenge für eine bestimmte Sporenzahl / Korn und Durchführung der Saatgutinokulation	11
2.2	Saatgutbehandlung mit alternativen Verfahren	13
2.3	Weitere Voruntersuchungen	13
2.4	Feldversuche zur Untersuchung der Krankheitsentwicklung	14
2.4.1	Anlage und Auswertung der Feldversuche an fünf Standorten	14
2.4.2	Anlage eines semi-Freilandversuchs	15
2.5	Klimakammerversuche zur Untersuchung der Krankheitsentwicklung	16
2.5.1	Anlage der Klimakammerversuche und mikroskopische Auswertung	16
2.5.2	Immunologischer Nachweis	17
2.6	Statistische Auswertung	18
3	Ergebnisse	19
3.1	Erzeugung von <i>Tilletia caries</i>- infiziertem Winterweizensaatgut	19
3.2	Voruntersuchungen von Saatgut und Steinbrandsporen	19
3.4	Feldversuche	21
3.4.1	Auswinterungsschäden	21
3.4.2	Befall mit <i>Tilletia caries</i>	23
3.4.3	Gefährdungspotenzial	26
3.4.4	Semi-Freilandversuch	28

3.5.1	Erfassung von Blattfrühsymptomen	29
3.5.2	Immunologischer Nachweis von <i>T. caries</i>	32
3.6	Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse für den ökologischen Landbau	34
4	Zusammenfassung	36
5	Gegenüberstellung der geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen	38
6	Literaturverzeichnis	39
Anhang		42

1 Ziele und Aufgabenstellung

Die Verwendung gesunden Saatgutes ist im ökologischen Landbau von besonderer Bedeutung. Lückenhafte Bestände und Krankheiten als Folge schlechter Saatgutqualität können während der Vegetationszeit kaum reguliert werden. Wie in der Verordnung 1452/2003 zur Verwendung von Öko-Saatgut gefordert, darf ab 2004 nach dem Ende der Übergangsregelung Saatgut nur dann verwendet werden, wenn es im ökologischen Landbau erzeugt wurde. Im Zuge der Umsetzung dieser Forderung wird die Bedeutung gesunden Saatgutes in Zukunft noch erheblich steigen.

Systembedingt haben im ökologischen Landbau generell vorbeugende Maßnahmen zur Gesunderhaltung des Erntegutes Vorrang. Die Erfahrungen der letzten Jahre belegen jedoch, dass auch bei Realisierung aller für einen hohen Herkunftswert wesentlichen acker- und pflanzenbaulichen Faktoren das Auftreten samenbürtiger Krankheiten oft nicht verhindert werden kann. Dies gilt vor allem beim Nachbau von wirtschaftseigenem Saatgut. Insbesondere der Weizensteinbrand (*Tilletia caries*), eine Krankheit, die im konventionellen Anbau nahezu bedeutungslos geworden war, kann bei der Unterlassung der chemischen Saatgutbeizung stark zunehmen und schnell ein wirtschaftlich relevantes Ausmaß erreichen. Durch den Befall sind Ernteauffälle bis über 50 % möglich, das Erntegut ist wegen der Sporenbelastung als Saat- und Futtergetreide unbrauchbar. Die Resistenz der Sorten ist zwar unterschiedlich, voll resistente Sorten sind aber nicht vorhanden. Eine direkte Reduzierung des Befalls ist dann nur unter Anwendung alternativer Bekämpfungsmethoden möglich.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Vermeidung direkter Bekämpfungsmaßnahmen ist die Ableitung und Festlegung von Befallstoleranzgrenzen für *Tilletia caries* unter Berücksichtigung von Sorte, Standort und Anbaubedingungen. Gleich hohe Infektionsraten am Saatgut führen nicht zwangsläufig zu einem Krankheitsauftreten in gleichem Ausmaß. Insbesondere eine unterschiedliche Anfälligkeit der Sorten und die Witterungsbedingungen zur Aussaat und im unmittelbar folgenden Zeitraum haben großen Einfluss auf die Entwicklung des Pilzes und den Ausbruch der Krankheit. Infolgedessen ist die Notwendigkeit einer Bekämpfung unterschiedlich. In Anpassung an die konkrete phytosanitäre Situation sollen flexible Schwellenwerte für die Durchführung von Bekämpfungsmaßnahmen entwickelt werden.

An direkten Maßnahmen zur Saatgutbehandlung werden Mittel auf naturstofflicher Basis, physikalische und biologische Verfahren einbezogen. Grundsätzlich werden zugelassene und im Handel befindliche Sorten sowie als Pflanzenstärkungsmittel gelistete Präparate verwendet, so dass eine unmittelbare Übertragung in die Praxis gewährleistet ist.

Zwischen den gelisteten Pflanzenstärkungsmitteln, die spezielle Anwendungsempfehlungen für die Saatgutbehandlung haben, ist eine Auswahl zu treffen. Eine Optimierung der Saatgutbehandlungsmaßnahmen in Abhängigkeit von der Befallssituation, das heißt von der Stärke der Infektion, der Resistenz der Sorte, den Standort- und Anbaubedingungen ist notwendig.

Es sollen grundsätzliche Aussagen über Art und Umfang notwendiger Bekämpfungsmaßnahmen für die im ökologischen Landbau wichtigen Erreger von Brandkrankheiten getroffen und Empfehlungen zur Auswahl des jeweils am besten geeigneten Verfahrens zur Unterdrückung der Pathogene gegeben werden.

Ziel des Projektes ist es, durch die Kombination von geeigneten Maßnahmen wie dem Einsatz wenig anfälliger Sorten, der Nutzung von Befallstoleranzgrenzen und von alternativen Saatgutbehandlungsverfahren einen möglichst vollständigen Schutz vor Steinbrandbefall an Weizen im ökologischen Anbau zu erzielen und damit Qualitäts- und Ertragseinbußen zu vermeiden.

Das Projekt leistet damit einen Beitrag zur Lösung spezifischer produktionstechnischer Probleme (hier: Steinbrandbefall an Weizen), die eine Ausdehnung des ökologischen Landbaus behindern. Sowohl für die Erzeugung gesunden Saatgutes als auch die Entwicklung direkter und indirekter Maßnahmen zur Regulierung von Krankheiten werden Erkenntnisse gewonnen und umgesetzt.

1.1 Planung und Ablauf

1.1.1 Erzeugung von *Tilletia caries*-infiziertem Saatgut

Für die künstliche Infektion mehrerer, unterschiedlich anfälliger Sorten mit Brandsporen verschiedener Konzentration zur Erzeugung eines unterschiedlich starken Befalls wurden die Voraussetzungen geschaffen: Ausreichend Infektionsmaterial einer Sporenherkunft für zwei Versuchsjahre (2002/03 und 2003/04) wurde beschafft und aufbereitet, die Reproduzierbarkeit der Infektion des Saatgutes mit definierten Sporenmengen wurde durch entsprechende Vorversuche sichergestellt.

In den Feldversuchen wurden in beiden Versuchsjahren folgende für den ökologischen Landbau geeignete Sorten verwendet, die nach den Ergebnissen von Dr. Koch / Dr. Spieß zur Sortenanfälligkeit ausgewählt wurden: 'Aron' (mittel anfällig), 'Batis' (anfällig), 'Ökostar' (2002 neu zugelassene Sorte, Anfälligkeit unbekannt).

In den Klimakammerversuchen wurden folgende vier Sorten eingesetzt: 'Aron', 'Batis', 'Bussard' (anfällig), 'Ökostar'. Auf den Test einer teilresistenten Sorte wie z.B. 'Tambor' wurde verzichtet, da bei den geringen Inokulationsstufen - insbesondere im Feld - nach vorliegenden Erfahrungen kein Befall zu erwarten war.

In den Feldversuchen wurden in beiden Versuchsjahren folgende Inokulationsstufen, die nach Literaturdaten und eigenen Erfahrungen ausgewählt wurden, realisiert: 20, 100 und 1.000 Sporen / Korn. In den Klimakammerversuchen wurden folgende Stufen eingesetzt, um kritische Befallswerte stärker einzugrenzen: 20, 50, 100, 500, 1.000 und 5.000 Sporen / Korn.

1.1.2 Saatgutbehandlung mit alternativen Verfahren

An allen unter Punkt 1.1.1 genannten Sorten-/Inokulationsstufen-Kombinationen wurden geeignet erscheinende Präparate sowie eine Variante eines physikalischen Verfahrens – der Heißwasserbehandlung – angewendet.

Für die Anwendung im Feld waren aus Kapazitätsgründen lediglich zwei Vorzugsvarianten möglich. Hier wurde zum einen als physikalisches Verfahren die Heißwasserbehandlung realisiert, zum anderen wurde das zur Bekämpfung von Steinbrand geeignete Pflanzenstärkungsmittel Tillecur angewendet.

In den Klimakammerversuchen wurden darüber hinaus aussichtsreiche gelistete Pflanzenstärkungsmittel getestet. Zwei Präparate auf mikrobiologischer Basis (*Bacillus*

subtilis: FZB 24 TB, *Pseudomonas fluorescens*: Proradix) und Sprüh-Molkenpulver wurden einbezogen. Des Weiteren wurde Essigsäure als im ökologischen Landbau erlaubtes Mittel eingesetzt.

Sowohl für die anzulegenden Feldversuche als auch für die Klimakammerversuche waren die vorgesehenen Behandlungen entweder über Dritte zu organisieren (Heißwasserbehandlung: Firma Hild Samen GmbH bzw. Behandlung mit Proradix: Sourcon Padana AG) oder - mit den weiteren ausgewählten Pflanzenstärkungsmitteln - nach Herstellerangaben selbst durchzuführen.

Die Auswirkung der Behandlungen auf die Keimfähigkeit der Steinbrandsporen (*in vitro*) sowie auf die Keimfähigkeit des Saatguts wurde ermittelt.

1.1.3 Durchführung von Feldversuchen

Die Ermittlung der Krankheitsentwicklung und der Wirksamkeit der verschiedenen Behandlungen erfolgte in Abhängigkeit von Befallsstärke, Sortenresistenz und Standort. Wegen der generell begrenzten Kapazität in Feldversuchen musste die Zahl der Varianten auf drei Sorten, drei Inokulationsstufen und zwei Behandlungsvarianten (plus unbehandelte Kontrolle) beschränkt bleiben. Die detaillierte Planung ist in den Abschnitten 1.1.1 und 1.1.2 erläutert.

Die Feldversuche an mehreren Standorten waren von zentraler Bedeutung im Projekt. Die logistische Vorbereitung und Bearbeitung beinhaltete die Beschaffung und Untersuchung des Saatgutes einschließlich dessen Inokulation und Behandlung, die Erstellung von Plänen (mit entsprechender Randomisierung) für die einzelnen Standorte, die Versendung des Saatguts sowie die Mitwirkung bei der Anlage und/oder der Auswertung des Versuches an den beiden BBA-Standorten Dahnsdorf und Ahlum. Durch die Übernahme von vorgelagerten Arbeiten durch die BBA Kleinmachnow sowie Umverteilungen im Finanzplan für die einzelnen Unterauftragnehmer durch die Reduzierung der Variantenzahl gelang es, die Feldversuche an fünf statt, wie vorgesehen, an drei Standorten anzulegen.

Die Versuche wurden als mehrfaktorielle zweistufige Spaltanlage mit vier Wiederholungen geplant und in der Zeit zwischen dem 15.10.2002 und dem 20.11.2002 angelegt. An einem Standort (Münster) konnte die Aussaat auf Grund ungünstiger Witterung erst im Februar 2003 erfolgen. Die Auswertung des Befalls (in % befallener Ähren) erfolgte in der Zeit zwischen Ende Juni und Anfang August 2003.

Im Herbst 2003 wurde in der Zeit zwischen 13.10. und 07.11. der Feldversuch in gleicher Form wie im Vorjahr an den fünf Standorten erneut angelegt. Die Auswertung des Befalls wird im Sommer 2004 durchgeführt und der Bericht mit den abschließenden Versuchsdaten ergänzt.

1.1.4 Feldversuch an einem mit *Tilletia controversa* verseuchten Standort

Gegen den Erreger des Zwergsteinbrands, *Tilletia controversa*, sollte die Wirksamkeit von zwei Saatgutbehandlungsvarianten an zwei Sorten geprüft werden. Es war ursprünglich geplant, die gegen *T. caries* wirksamsten Mittel auch gegen *T. controversa* zu testen. In Feld- und Klimakammerversuchen zeigten die Tillecur- und die Heißwasserbehandlung eine gute Wirksamkeit gegen Steinbrand. Der unterschiedliche Infektionsweg bei beiden Erregern - *T. caries* infiziert den Keimling fast ausschließlich vom kontaminierten Korn aus, *T. controversa* dagegen über den Boden - ließ allerdings eine Variante wie die Heißwasser-

behandlung, die nur die Sporen direkt am Korn trifft, als wenig aussichtsreich erscheinen. Bei Tillecur ist eine Teilwirkung gegen Zwergsteinbrand beschrieben (Wirkungsgrad um 60 %, WENG 1998). Tillecur diente als Vergleichsmittel, die biologischen Präparate FZB 24 WG (wasserdispergierbares Granulat) sowie Proradix wurden als Prüfmittel eingesetzt.

Nach den Ergebnissen eines Zwergsteinbrand-Sortenversuchs 2002/2003 (WÄCHTER 2003, unveröffentlicht) wurden die Sorten Ökostar (wenig anfällig) und Bussard (anfällig) für den *T. controversa*-Versuch ausgewählt.

Die Aussaat des behandelten Getreides erfolgte am 09.10.2003 durch die Landesanstalt für Pflanzenschutz Stuttgart; der Versuch wurde als randomisierte Parzellenanlage in Horstaat durchgeführt (6 Horste / m², vierfache Wiederholung). Die Infektion mit Zwergsteinbrand wurde vom Versuchsansteller durch Ausbringen einer Sporensuspension auf die Bodenoberfläche nach der Aussaat vorgenommen (1g Sporen in 0,08 l Wasser / m²). Die Auswertung des Befalls wird im Sommer 2004 durchgeführt und der Bericht dann mit den abschließenden Versuchsdaten ergänzt.

1.1.5 Durchführung von Klimakammerversuchen mit allen Varianten

Die Durchführung und Auswertung von Klimakammerversuchen mit allen Sorten, Inokulationsstufen und Behandlungsvarianten zur Untersuchung der Krankheitsentwicklung an Jungpflanzen durch Bonitur der Frühsymptome an den Blättern stellte einen der Arbeitsschwerpunkte dar. Die Versuche wurden als Topfversuche mit 4 Wiederholungen in randomisierter Anlage geplant. Alle Versuche wurden einmal wiederholt.

Die Platzkapazität für einen Versuchsdurchgang in den Klimakabinen reichte für die Untersuchung einer Sorte mit allen sechs Inokulationsstufen und zwei Behandlungen plus der unbehandelten Kontrolle aus. Ein Versuchsdurchgang dauerte 6-7 Wochen (Keimung im Kühlraum: 3 Wochen, Weiterkultivierung in den Klimakammern: 3-4 Wochen). Trotz optimaler Nutzung der Klimakabinen und zeitlicher Verschachtelung der Versuche - d.h. während sich einer in der Wachstumsphase befand, keimten die Samen des nächsten bereits - konnten in der Projektlaufzeit bei der gegebenen Dauer eines Versuches nur 4 Sorten mit allen Infektions- und Behandlungskombinationen plus Kontrollen getestet werden. Es wurde als richtig erachtet, nicht die Zahl der Infektions- und Behandlungsvarianten, sondern die der getesteten Sorten von zunächst vorgesehenen sechs auf vier zu reduzieren. Damit waren die unterschiedlichen Resistenzstufen dennoch repräsentiert. Zusätzlich wurde als fünfte Sorte der teilresistente 'Tambor' allerdings nur in den sechs Inokulationsstufen ohne Behandlung getestet, um eine Befallstoleranzgrenze zu ermitteln.

Der erste Versuch wurde Ende Oktober 2002 angelegt, der letzte Versuch Ende Oktober 2003 ausgewertet.

Der vorhandene Befall an den Blättern zum Stadium BBCH 14 wurde als Anteil Pflanzen mit Frühsymptomen (in %) ausgewiesen. Zusätzlich war vorgesehen, nach Anfärbung des Mycels in den befallenen Blättern eine mikroskopische Auswertung des Frühbefalls vorzunehmen.

Da sich bei dieser Methode kein befriedigender Erfolg einstellte - zwei Versuchsdurchgänge wurden auf diese Weise ausgewertet - und sie auch keine zusätzliche Information über den späteren Ährenbefall liefern konnte, wurde dieser Weg nicht mehr weiter verfolgt. Ein zusätzlicher Erkenntnisgewinn wurde dagegen durch die Untersuchung des Pflanzenabschnitts, an dem der Vegetationspunkt lokalisiert ist, mit dem objektiveren Auswertungsverfahren "quantitativer ELISA" erwartet und deshalb dieser Weg verfolgt.

Hierdurch konnte eine Beziehung zwischen dem Frühbefall in den Blättern und dem Pilzgehalt an der Ährenanlage (Ausbildung von Brandähren) der Pflanzen hergestellt werden.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand des Wissens

Der Stein- oder Stinkbrand gehörte bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts zu den wichtigsten Krankheiten des Weizens. Ein Befall zeigt sich am deutlichsten von der Blüte bis zur Gelbreife. Anstelle der gesunden Körner entwickeln sich in den Ährenanlagen sporengefüllte Brandbutten, die beim Dreschen ausstäuben, die Körner erneut infizieren und den Boden kontaminieren. Obwohl die samenbürtige Infektion bei weitem überwiegt, wurde auch schon von einer bodenbürtigen Infektion berichtet (JOHNSON 1990, YARHAM 1993, BORGEN 2000). Die züchterische Bearbeitung der Steinbrandresistenz wurde in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts vorangetrieben, mit der Einführung hochwirksamer organischer Fungizide für die Beizung wurde die Entwicklung steinbrandresistenter Sorten aber nicht mehr weiter verfolgt. In Untersuchungen mit mehreren Sorten wurde bestätigt, dass die Resistenz gegen Steinbrand zwar unterschiedlich ist, voll resistente Sorten aber nicht vorhanden sind (POSPISIL et al. 1999, KOCH u. SPIEB 2002, BÄNZIGER et al. 2003)

Ein sehr gut geeignetes Verfahren, um Saatgutbehandlungen zu vermeiden, ohne eine Krankheitsentwicklung im Bestand zu riskieren, ist die Nutzung von Befallstoleranzgrenzen. Derartige Schwellenwerte bieten eine Entscheidungshilfe für die weitere Verwendbarkeit des Saatgutes. WINTER et al. stellten 1995 fest, dass in der Schweiz mit der Anwendung von Befallstoleranzgrenzen in den Jahren 1977 – 1993 ca. 45 % des Weizensaatgutes ungebeizt hätte ausgesät werden können.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden Schwellenwerte für *T. caries* in Ansätzen entwickelt. Offiziell existiert bislang für die Anerkennung von Feldbeständen bei der Erzeugung von Z-Saatgut ein Wert von maximal 5 Brandähren auf 150 m². Für befallsfreie Bestände werden Werte von Null bis 20 Sporen je Korn, in Österreich und der Schweiz von höchstens 10 Sporen je Korn genannt (SCHACHERMAYR et al. 2003). Allerdings wurde in den 60er Jahren berichtet, dass schon bei einem Besatz mit 3 Sporen / Korn Brandähren gefunden wurden (GLAESER 1961), und SÖLLINGER (2000) beobachtete bei einer Belastung mit 8 bzw. 13 Sporen / Korn einen erheblichen Feldbefall, der ihn veranlasste, die Toleranz von 10 Sporen / Korn an ungebeiztem Saatgut kritisch zu hinterfragen. Laut SCHMUDE (2003) wird bei der Norddeutschen Saat- und Pflanzgut AG gefordert, Weizensaatgut für den Ökolandbau auf Steinbrandbesatz zu prüfen und ab 10 Sporen / Korn wird eine Behandlung empfohlen. Die Festlegung der Befallstoleranzgrenze für *T. caries* in Abhängigkeit von Sorte, Standort und Anbaubedingungen ist ein dringendes Erfordernis sowohl aus Sicht der Forschung als auch der Praxis des ökologischen Landbaus.

Der Infektionserfolg und damit das Ausmaß des Befalls ist neben der Sortenanfälligkeit und der Sporenbelastung vom Witterungsverlauf während der Keimlingsentwicklung abhängig (HOFFMANN u. SCHMUTTERER 1999). Die Bodentemperatur zur Saatzeit hat einen erheblichen Einfluss auf den Erkrankungsgrad, niedrige Temperaturen von 5-10 °C bis zu 14 Tage nach der Saat verlangsamen die Samenkeimung und begünstigen eine Infektion (POLISENSKA et al. 1998). Demgegenüber ist die Sporenkeimung durch zu hohen Wassergehalt im Boden reduziert. Auch einige Bodenorganismen können die Sporenkeimung herabsetzen und

dadurch den Befall verringern (POSPISIL et al. 2000, BENADA u. POSPISIL, 1999). Die Autoren vermuten darin die Ursache für die häufig beobachtete Variabilität der Befallsergebnisse zwischen den Wiederholungen eines Feldversuchs.

Generell haben im ökologischen Landbau vorbeugende Maßnahmen zur Gesunderhaltung des Erntegutes Vorrang. Dazu gehören acker- und pflanzenbauliche Faktoren wie die Sorten- und Standortwahl und die Bewirtschaftung (Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitung, Düngung, Saatgutaufbereitung), aber auch Maßnahmen zur Gesunderhaltung des Saatgutes wie die Reinigung der Erntemaschinen, Transportbehälter und Lagerräume. Alle diese Maßnahmen reichen jedoch oft nicht aus, um in jedem Fall gesundes Saatgut zu erzeugen. Krankheiten, die ihren Ursprung am Saatgut haben, lassen sich im Ökolandbau nicht durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln bekämpfen. Es ist daher notwendig, auch direkte Bekämpfungsverfahren anzuwenden, mit denen erforderlichenfalls eine Regulierung der Krankheitserreger am Saatgut erfolgen kann.

Bei Überschreitung der Befallstoleranzgrenze muss in Abhängigkeit von der Schwere der Infektion, der Resistenz der Sorte, Standort und Anbaubedingungen das am besten geeignete Verfahren zur Unterdrückung des Pathogens genutzt werden. Für die Anwendung im ökologischen Landbau sind prinzipiell verschiedene physikalische Verfahren sowie die Anwendung von Stoffen natürlicher Herkunft wie Milch- und Molkenpulver, pflanzliche Präparate oder Mikroorganismen geeignet. Zu einzelnen Verfahren aus jeder dieser Gruppen liegen Ergebnisse vor (JAHN 2002), die allerdings noch nicht alle hinreichend unter Praxisbedingungen getestet wurden.

Mit dem klassischen Verfahren der Heißwasserbehandlung können die wichtigsten Krankheiten sowohl im Getreide- als auch im Gemüsebau unter Kontrolle gehalten werden. Die Wirksamkeit des klassischen Verfahrens der Heißwasserbehandlung gegen Flugbrand wie auch andere Pathogene an Getreide ist eindeutig belegt (WINTER et al. 1995; 1997). Die optimalen Behandlungsparameter liegen im Bereich von 50 bis 52 °C und 10 min. Die Probleme der technischen Durchführbarkeit, das Risiko der Keimschädigung sowie die Notwendigkeit der Rücktrocknung des behandelten Getreides sind allerdings die Ursache dafür, dass die Heißwasserbehandlung bei Getreide in der Praxis nur bei Fehlen jeglicher Alternativen, wie bei der Flugbrandbekämpfung, Verwendung findet. Die Heißwasserbehandlung ist gleichermaßen gegen verschiedene Pathogene an Gemüsesaatgut wirksam (NEGA et al. 2001). Da die zu behandelnden Saatgutmengen bei Gemüse deutlich geringer sind als bei Getreide, hat dieses Verfahren hier große potenzielle Bedeutung für die Praxis. Neben der Heißwasserbeizung sind verschiedene andere Formen der thermischen Saatgutbehandlung beschrieben. In einem kürzlich abgeschlossenen EU-Projekt wurde die Wirksamkeit einer Heißluftbehandlung mit hochpräziser Temperatursteuerung an Getreide untersucht. Gegen verschiedene Pathogene wie Steinbrand und Fusarien bestand eine gute bis hinreichende Wirkung, gegen Gersten- und Weizenflugbrand war dieses Verfahren allerdings unwirksam (KRAUTHAUSEN et al. 2002).

Seit etwa Mitte der 80er Jahre bestehen intensive Bemühungen, Saatgutbehandlungsmittel für den ökologischen Landbau auf der Basis von Naturstoffen zu entwickeln. Die Saatgutbehandlung mit organischen, kohlenstoffhaltigen festen Stoffen wie Milchpulver oder Getreidemehl wurde insbesondere im Hinblick auf ihre Wirksamkeit gegen Weizensteinbrand untersucht (BECKER et al. 1990, BECKER u. WELTZIEN 1993). Mit den meisten dieser Stoffe können sehr gute Wirkungsgrade gegen *T. caries* erreicht werden. Die Applikation der erforderlichen Mengen bereitet allerdings Probleme, mitunter werden auch Keim-

schädigungen beobachtet. Auch eine Saatgutbehandlung mit Essigsäure eignet sich zur Steinbrandbekämpfung (BORGEN u. NIELSEN 2001). NIELSEN et al. (2000) fanden ebenfalls eine Wirksamkeit gegen die Streifenkrankheit der Gerste, allerdings bestand im Falle der von Ihnen verwendeten Konzentration von 5 % eine Tendenz zur Phytotoxizität.

Nach anfänglichen Arbeiten mit Meerrettichextrakt (SPIEB u. DUTSCHKE 1991) verwendete SPIEB ein Gelbsenfmehl für die Steinbrandbekämpfung. Das Produkt mit der Bezeichnung "Tillecur" wurde in die Liste der Biologischen Bundesanstalt über Pflanzenstärkungsmittel aufgenommen. Mit dem Präparat werden Wirkungsgrade von >98% (PAFFRATH u. TRÄNKNER 1998, SPIEB 2000, WINTER et al. 2001) erreicht, es ist aber in seiner jetzigen Form nur bedingt mit modernen Beizgeräten applizierbar. In Gewächshausversuchen der BBA in Darmstadt wurde eine Wirksamkeit des Präparates von ca. 70 % gegen die Streifenkrankheit der Gerste gefunden (unveröffentlicht). Nach Versuchen der Landesanstalt für Pflanzenschutz Stuttgart (WENG 1998) besteht auch eine Teilwirkung gegen Zwergsteinbrand (Wirkungsgrad 60 %).

Die biologische Behandlung von Saatgut, das heißt hier die Anwendung lebender Organismen, ist ein vergleichsweise junges Verfahren. Verschiedene Ergebnisse zeigen, dass sich auch antagonistische Mikroorganismen für die Bekämpfung samenbürtiger Krankheiten an Getreide- und Gemüsesaatgut eignen (HÖKEBERG et al. 1997; KOCH u. LINDNER 2001). In Skandinavien wurde ein auf dem Bakterium *Pseudomonas chlororaphis* basierendes Präparat ("Cedomon") entwickelt, das zur Saatgutbehandlung insbesondere gegen Netzflecken und Streifenkrankheit an Sommergerste Eingang in die Praxis gefunden hat. Auch gegen Fusarien und Steinbrand soll eine Wirkung vorliegen. Das Präparat ist in Deutschland bisher nicht zugelassen. Es ist damit zu rechnen, dass der Wirkstoff in absehbarer Zeit in Anhang I der EU-Richtlinie 91/414/EWG aufgenommen wird. Einige gelistete mikrobielle Pflanzenstärkungsmittel haben eine spezielle Anwendungsempfehlung für die Saatgutbehandlung. Von diesen wurden aussichtsreich erscheinende Mittel in die Untersuchungen einbezogen. Dies waren ein *Bacillus subtilis*-Präparat "FZB 24" als Trockenbeize und wasserdispergierbares Granulat und ein *Pseudomonas fluorescens*-Präparat "Proradix".

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es eine Vielzahl von alternativen Saatgutbehandlungsverfahren gibt, die jedoch unterschiedlich weit für die landwirtschaftliche Praxis entwickelt sind. Bei näherer Betrachtung zeigt sich auch, dass häufig Unsicherheiten bei der Applikation oder Phytotoxizitäts-Probleme bestehen. Die meisten der Verfahren wurden bisher nur hinsichtlich ihrer Wirkung gegen ein oder wenige Pathogene geprüft. In dieser Hinsicht am besten untersucht sind Verfahren zur Steinbrandbekämpfung. Zur Wirksamkeit gegen andere wichtige samenbürtige Pathogene (z.B. Fusarien, *Septoria*, Streifenkrankheit) ist weniger bekannt. Auch fällt auf, dass sich für die Bekämpfung der im Embryo lokalisierten Flugbrände (*Ustilago nuda*, *U. tritici*) bisher kaum Alternativen zur Heißwasserbeizung abzeichnen. Hier besteht weiterhin Forschungsbedarf. Auch ist bisher völlig ungeklärt, welches alternative Verfahren unter konkreten Infektionsbedingungen am geeignetsten erscheint.

Obwohl die Saatgutbehandlung in der Praxis des ökologischen Landbaus von großer Bedeutung ist, liegt Praktikern bislang keine umfassende, die jeweils geeigneten Verfahren beurteilende Übersicht zur Saatgutbehandlung vor. Im Sinne einer Stärkung der Entscheidungskompetenz des ökologischen wirtschaftenden Landwirts wird eine derartige Entscheidungshilfe immer zwingender erforderlich.

2 Material und Methoden

2.1 Erzeugung von *Tilletia caries*-infiziertem Winterweizensaatgut

2.1.1 Beschaffung von Infektionsmaterial und Sporengewinnung / Reinigung

Als ein Schwerpunkt am Projektbeginn erwies sich die Beschaffung und Aufbereitung des Infektionsmaterials. Für eine Infektion mehrerer Doppelzentner Getreide, die insgesamt für die Versuche beider Jahre erforderlich waren, wurde eine größere Menge Sporenmateriale benötigt (ca. 80 g). Brandsporen aus der Region Berlin / Brandenburg konnten trotz intensiver Bemühungen nicht in ausreichender Menge beschafft werden. Als Infektionsmaterial stand stark befallener Winterweizen der Sorte 'Rialto', Ernte 2001, aus der Region Leipzig von der Universität Halle zur Verfügung. Die Brandbutten wurden aus dem gedroschenen Getreide aussortiert und zur Sporengewinnung nacheinander durch zwei feine Siebe (0,5 und 0,25 mm) gedrückt. Das gewonnene Sporenpulver wurde bis zur Verwendung in Glasflaschen bei 4 °C im Dunkeln gelagert.

2.1.2 Auswahl der Sorten

In den Versuchen wurden für den ökologischen Landbau relevante Sorten mit unterschiedlicher Steinbrandresistenz verwendet. Ausgewählt wurden die Sorten 'Aron' als mittelanfällige, 'Batis' und 'Bussard' als hoch anfällige sowie 'Ökostar' als neu zugelassene Sorte aus ökologischer Züchtung mit noch unbekannter Anfälligkeit gegenüber Steinbrand. Die Auswahl erfolgte in Absprache mit Dr. Koch (BBA Darmstadt) und Dr. Spieß (IBDF).

Tabelle 1: Für Feld- und Klimakammerversuche ausgewählte Winterweizensorten

Sorte	Züchter	Zulassungsjahr	Steinbrandanfälligkeit
Aron	Semundo	1992	Mittel
Batis	Hermann Strube	1994	Hoch
Bussard	Lochow-Petkus	1990	Hoch
Ökostar	Schweiger Weizen	2002	Unbekannt
Tambor *	Semundo	1993	Gering

* nur für die Ermittlung der Befallstoleranzgrenze im Klimakammerversuch verwendet, nicht für Wirksamkeitsprüfungen

2.1.3 Feststellung der erforderlichen Sporenmenge für eine bestimmte Sporenzahl / Korn und Durchführung der Saatgutinokulation

Zur Ableitung von Befallstoleranzgrenzen sollte in den Feld- und Klimakammerversuchen das Auftreten von Steinbrand bei unterschiedlichen Sporenzahlen / Korn getestet werden. Für die Feldversuche wurden die Abstufungen 20, 100 und 1.000 Sporen / Korn, für die Klimakammerversuche die Abstufungen 20, 50, 100, 500, 1.000 und 5.000 Sporen / Korn gewählt. 20 Sporen / Korn werden derzeit als Schadensschwelle diskutiert und wurden

deshalb als Untergrenze gewählt; ab 1.000 Sporen / Korn ist ein Befall mit hoher Sicherheit zu erwarten.

Zur Bestimmung der für eine definierte Sporenzahl je Korn erforderlichen Sporenmenge wurden Steigerungsreihen von 1 bis 500 mg Sporen / kg Saatgut angelegt. Die Sporen wurden sowohl trocken als auch als Suspension appliziert, um die Applikationsform mit der gleichmäßigsten Verteilung herauszufinden.

Die Sporendichte am Korn wurde anschließend mit der Methode nach PIORR (1991) bestimmt. Hierfür wurden aus jeder Probe 100 Körner (bei gering inokulierten Varianten 150 Körner) abgezählt und in 10 ml 0,1 %iger Tween-80-Lösung für 10 min bei hoher Drehzahl gerührt. Aus der in Bewegung befindlichen Suspension wurde ein Tropfen entnommen und die Sporendichte in der Fuchs-Rosenthal-Zählkammer ausgezählt (vier Wiederholungen je Probe, zwei Zählungen je Wiederholung). Die Vorversuche ergaben eine bessere Verteilung der Sporen bei den geringen Inokulationsstufen und eine etwas höhere Kontamination bei gleicher Sporenmenge durch die trockene Applikation (Abbildung 1).

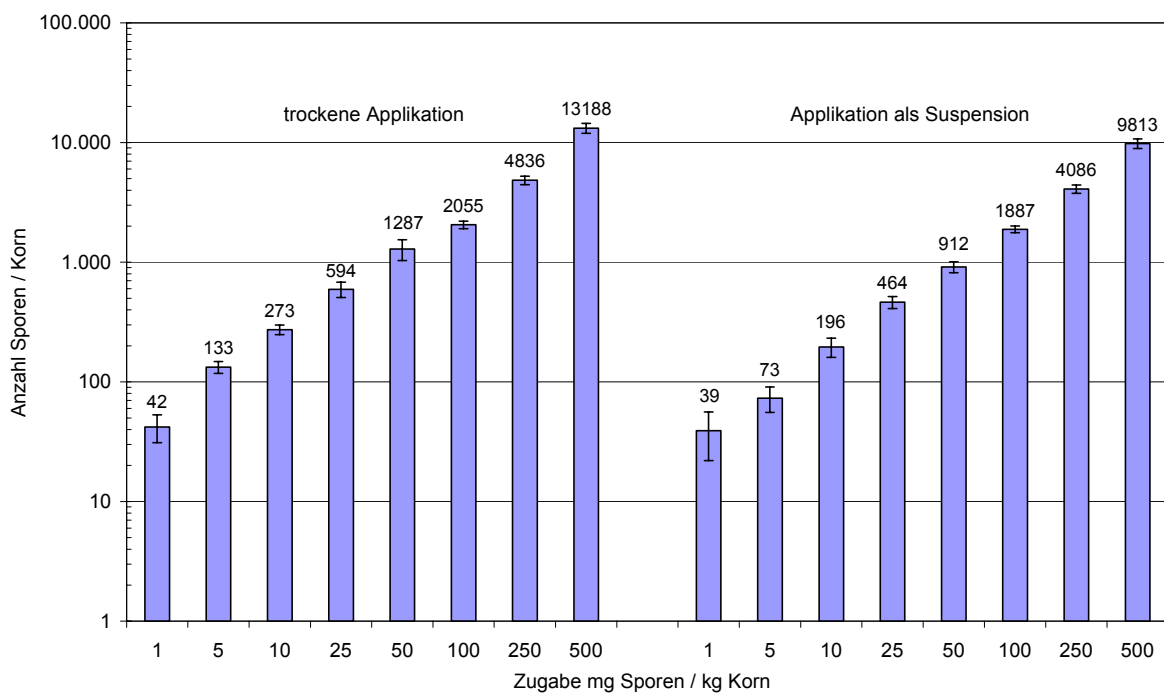


Abbildung 1: Sporen je Korn nach trockener und nasser Applikation definierter Sporenmengen, Mittelwert aus vier Zählungen je Probe

Aus den Ergebnissen des Vorversuchs konnte die zum Erreichen der gewünschten Inokulationsstufe erforderliche Menge Sporen abgeleitet werden.

<u>Inokulationsstufe (Anzahl Sporen / Korn)</u>	<u>Sporenmenge je kg Saatgut</u>
20	0,63 mg
50	1,6 mg
100	4,5 mg
500	23 mg
1.000	45 mg
5.000	225 mg

Die Saatgutinokulation erfolgte dann, indem die für 1 kg Saatgut erforderliche Menge Sporen abgewogen und an den Wänden eines dicht verschlossenen 3 l-Polyethylenbeutels mit Ziploc-Verschluss verrieben wurde. Anschließend wurde 1 kg Saatgut in den Beutel gefüllt, dieser vor dem Verschließen aufgeblasen und die Körner wurden in diesem "Luftkissen" 3 min geschüttelt. Die für die Versuche benötigte Saatgutmenge wurde so für jede Inokulationsstufe kg für kg behandelt, zu einer Mischprobe vereinigt, gründlich gemischt und dann die Anzahl Sporen/Korn nochmals kontrolliert. Das inokulierte Saatgut wurde bei 4 °C gelagert.

2.2 Saatgutbehandlung mit alternativen Verfahren

In Übereinstimmung mit der Vorhabensbeschreibung wurden folgende Behandlungsvarianten ausgewählt: als physikalisches Verfahren die Heißwasserbehandlung (52 °C, 10 min), als gelistete Pflanzenstärkungsmittel das Gelbsenfmehl-Präparat Tillecur (je nach Sporenbelastung 20 bzw. 22 %ig), das *Bacillus subtilis*-Präparat FZB 24 TB (Trockenbeize, 5 g / kg Saatgut), das *Pseudomonas fluoreszens*-Präparat Proradix (Vakuuminfiltration des Saatguts) und Sprüh-Molkenpulver (7 g / kg Saatgut) sowie als weiteres im ökologischen Landbau erlaubtes Mittel Essigsäure (5 %ig, hergestellt aus konz. Essigsäure, 5 ml / kg Saatgut).

Mit Ausnahme der Heißwasser- und der Proradix-Behandlung, die bei der Firma Hild samen gmbh, Marbach, bzw. der Firma Sourcon-Padena AG, Tübingen, vorgenommen wurden, erfolgten die Saatgutbehandlungen bei der BBA Kleinmachnow entsprechend der Herstellerangaben unmittelbar vor einem neuen Versuchsansatz. Rückhalteproben des behandelten Getreides wurden bei 4 °C gelagert.

2.3 Weitere Voruntersuchungen

Mit dem verwendeten Saatgut wurden zusätzlich Standarduntersuchungen durchgeführt. Das Vorhandensein samenbürtiger Krankheitserreger (*Fusarium* spp., *Septoria nodorum*), das die Keimfähigkeit negativ beeinflussen kann, war aufgrund der ungünstigen Witterung gegen Ende der Vegetationsperiode im Jahr 2002 von besonderem Interesse.

Der Befall mit Fusarien wurde *in vitro* auf Kartoffel-Dextrose-Agarplatten ermittelt (12 x 12 cm, 25 Korn je Platte, Inkubation 5-7 d bei 15 °C, mikroskopische Auswertung zur Bestimmung der Arten). Für die Ermittlung des Befalls mit *Septoria* spp. wurde ein Filterpapieretest in 12 x 12 cm-Petrischalen durchgeführt (25 Korn je Platte, Inkubation 3 d bei 18 °C, 5 h bei -20 °C, 7 d bei 25 °C; Auswertung unter Schwarzlicht: gelb fluoreszierender Ring um das Korn als Indikator für den Erreger). Der Befall wurde im Verhältnis zur Gesamtkornzahl ausgewiesen.

Außerdem wurden die Auswirkungen der Behandlungen auf die Keimfähigkeit des Saatguts untersucht (Keimfähigkeitstest in Keimrollen mit 50 Korn / Rolle, Inkubation 3 d bei 4 °C und 7 d bei Raumtemperatur). In allen Untersuchungen betrug die Gesamtkornzahl 200 je Sorte.

Zu den Steinbrandsporen wurden ebenfalls Daten erhoben. Hierzu gehörten die Bestimmung der Anzahl Sporen / Korn nach der Methode von PIORR (1991) vor und nach den Behandlungen bei jeder Sorte und Inokulationsstufe zur Kontrolle der tatsächlich vorhandenen Sporenzahl (im Vergleich zur geplanten). Des weiteren wurde die Keimfähigkeit

der Steinbrandsporen *in vitro* auf Wasseragar vor und nach den Behandlungen getestet. Hierfür wurden 2-3 g Körner im Reagenzglas mit 2,5 ml Wasser für ca. 30 sec stark geschüttelt, von der Suspension 50 µl in eine Petrischale pipettiert, mit einem Triglaskispatel verteilt und 7-10 d bei 15 °C inkubiert. Von 5 x 100 nacheinanderfolgenden willkürlich gewählten Sporen wurden die gekeimten Steinbrandsporen mikroskopisch ausgezählt. Als gekeimt galten Sporen, deren Keimschlauch mindestens die Länge des Sporendurchmessers hatte.

2.4 Feldversuche zur Untersuchung der Krankheitsentwicklung

2.4.1 Anlage und Auswertung der Feldversuche an fünf Standorten

Als Vorzugsvarianten für die Feldversuche wurden die Sorten 'Aron', 'Batis' und 'Ökostar', die Inokulationsstufen 20, 100 und 1.000 Sporen / Korn und als Behandlungen die Heißwasser- und Tillecur-Behandlung (neben einer unbehandelten Kontrolle) ausgewählt. Somit ergaben sich 27 Varianten.

Das Saatgut wurde nach Inokulation und Behandlung mit Ausnahme des „eigenen“ Standorts Dahnsdorf den Versuchsansteller (Standorte Bad Vilbel, Münster, Frohburg und Ahlum) zur eigenständigen Anlage des Versuches entsprechend des vorgegebenen Versuchsplanes übergeben. Die Versuche wurden als mehrfaktorielle zweistufige Spaltanlage in vierfacher Wiederholung angelegt. Für die einzelnen Standorte wurden die Varianten in den Lageplänen unterschiedlich randomisiert und das Versuchslayout den örtlichen Gegebenheiten angepasst. Die folgende Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Standorte der Feldversuche (Versuchsperiode 2002-2003).

Zwischen Ende März und Mitte April 2003 wurde eine Zählung des Feldbestandes durchgeführt, um die Auswinterung bzw. die Überwinterung zu erfassen. Die Anzahl Pflanzen wurde in 4 x 1 laufenden Meter Drillreihe pro Parzelle ermittelt.

Die Auszählung der befallenen Ähren wurde zwischen BBCH 69 (Ende Blüte) und 75 (Milchreife) durchgeführt. Die Bestandesdichte (Anzahl Ähren gesamt) wurde in 4 x 1 laufenden Meter Drillreihe pro Parzelle ermittelt. Auf Grund des geringen Befalls wurde in den Varianten '20' und '100 Sporen / Korn' die gesamte Parzellenfläche, in der Inokulationsstufe '1.000 Sporen / Korn' die Hälfte der Parzellenfläche auf kranke Ähren bonitiert. Die Randreihen wurden nicht einbezogen.

Tabelle 2: Beschreibung der Standorte für die Feldversuche 2002/2003

	Dahnsdorf (Brandenburg)	Ahlum (Niedersachsen)	Frohburg (Sachsen)	Bad Vilbel (Hessen)	Münster (Nordrhein- Westfalen)
Bodenart	sL Sandlöss	L/uL	Lehm	slU Lößlehm	Sand
Bodengüte	48 Bodenpunkte	78 Bodenpunkte	46 Bodenpunkte	71 Bodenpunkte	35 Bodenpunkte
Höhe über NN	88 m	90 m	224 m	106 m	60 m
Mittlere Jahresnieder- schläge	536 mm (Frühsommer- trockenheit)	567,5 mm	711 mm	705 mm	589 mm
Mittlere Jahres- temperatur	8,4 °C	10,0 °C	8,9 °C	9,4 °C	10,5 °C
Vorgeschichte hinsichtl. ökologi- schem Landbau	nein	Ja, EU- Zertifizierung in 2002	ja, 1994 Umstellung auf ÖL	ja, Demeter- Betrieb seit 1968	nein
Vorfrucht	Kartoffeln	Sommerraps	Luzerne-Klee- gras (2-jährig)	Rotklee gras	Winterweizen
Aussaattermin	16.10.2002	31.10.2002	17.10.2002	20.11.2002	05.02.2003
Aussaatstärke	380 K / m ²	380 K / m ²	360 K / m ²	450 K / m ²	380 K / m ²
Parzellengröße /Anzahl Reihen	13,5 m ² / 8	8,25 m ² / 15	15 m ² / 9	6 m ² / 8	13 m ² / 10

In Dahnsdorf wurden nach der Auszählung die befallenen Ähren herausgeschnitten, die Brandbutten wie in Abschnitt 2.1.1 beschrieben durch ein Sieb gedrückt und die Sporenmengen für jede Teilfläche einzeln ermittelt. Da bekannt ist, mit welcher Sporenmenge je kg Saatgut eine entsprechende Sporenzahl / Korn erzeugt werden kann, konnte aus den gewonnenen Mengen ein Gefährdungspotenzial abgeleitet werden.

2.4.2 Anlage eines semi-Freilandversuchs

Die Klimakammerversuche wurden ausgewertet, sobald die Pflanzen das 4-Blatt-Stadium erreicht hatten; eine weitere Kultivierung und somit Verfolgung des Befallsverlaufs fand nicht statt. Eine Aussage über den späteren Befall nur anhand der Frühsymptome zu treffen, erschien aus den oben angeführten Gründen relativ unsicher. Um eine Beziehung zwischen Früh- und Ährenbefall herstellen zu können, wurde deshalb zusätzlich ein semi-Freilandversuch mit allen Sorten, Inokulations- und Behandlungsvarianten angelegt. Die infizierten und behandelten Körner wurden am 20.01.2003 in Pflanzschalen ausgesät und bis zum Auflaufen in einer offenen Vegetationshalle aufgestellt und mit Lochfolie abgedeckt. Schon im zeitigen Frühjahr waren starke Auswinterungsschäden bis zum völligen Ausfall der Heißwasser- und Molkenpulvervarianten zu verzeichnen. Im Stadium BBCH 29-30 (Ende Bestockung / Beginn Schossen Anfang Mai 2003) wurden die verbliebenen Varianten in Horsten ins Freiland ausgepflanzt. Die Auswertung erfolgte zu BBCH 75.

2.5 Klimakammerversuche zur Untersuchung der Krankheitsentwicklung

2.5.1 Anlage der Klimakammerversuche und mikroskopische Auswertung

Für die Klimakammerversuche ergaben sich aus dem Projektplan insgesamt 144 Varianten (vier Sorten, sechs Infektionsstufen, sechs Behandlungen) plus unbehandelte Kontrollen. Die Versuche wurden in 16er Töpfen mit 20 Körnern / Topf in vierfacher Wiederholung durchgeführt. In den Varianten mit schwachem Infektionsdruck (20 und 50 Sporen / Korn) wurden 40 Körner / Topf ausgesät. Die Ablagetiefe der Körner betrug 2 cm. Bis zum Auflaufen der Pflanzen wurden die Töpfe für drei Wochen bei 5 °C aufgestellt, danach bei 15 °C (16/8 h Hell-Dunkel-Rhythmus, 10.000-12.000 Lux) bis zur deutlichen Ausbildung von Frühsymptomen im 4-Blatt-Stadium (chlorotische Flecken auf der Blattspreite nach ca. vier Wochen) weiterkultiviert.

Die Gesamtzahl aufgelaufener Pflanzen pro Topf wurde gezählt und der vorhandene Befall als Anteil Pflanzen mit Frühsymptomen (in %) ausgewiesen.

In den ersten beiden Versuchen mit den Sorten 'Batis' und 'Bussard' erfolgten nach dieser Auswertung eine Anfärbung des Mycels von *T. caries* in den chlorotischen Blättern nach der Methode von KOLLMORGEN und BALLINGER (1987) und eine mikroskopische Auswertung. Das für *T. caries* typische Mycel konnte in den Blättern nachgewiesen werden, allerdings selbst in diesen beiden hochanfälligen Sorten nur in maximal 40-50 % ('Batis') bzw. 30-35 % ('Bussard') der Blätter mit Frühsymptomen.

Da das Vorkommen des Erregers im Blatt bzw. die Ausbildung von Frühsymptomen keinen hinreichend sicheren Rückschluss auf einen späteren Ährenbefall zuließen, wurde bei allen nachfolgenden Versuchen der mikroskopische Nachweis des Pilzes in den Blättern nicht mehr vorgenommen, sondern es wurden je Topf 12-20 Pflanzenabschnitte mit dem Vegetationspunkt (Ährenanlage) zufällig verteilt entnommen, anhängende Erde und die äußersten Blattscheiden entfernt und bei -20 °C eingefroren. In dieser Mischprobe je Topf erfolgte der Pilznachweis anschließend mittels quantitativem ELISA.

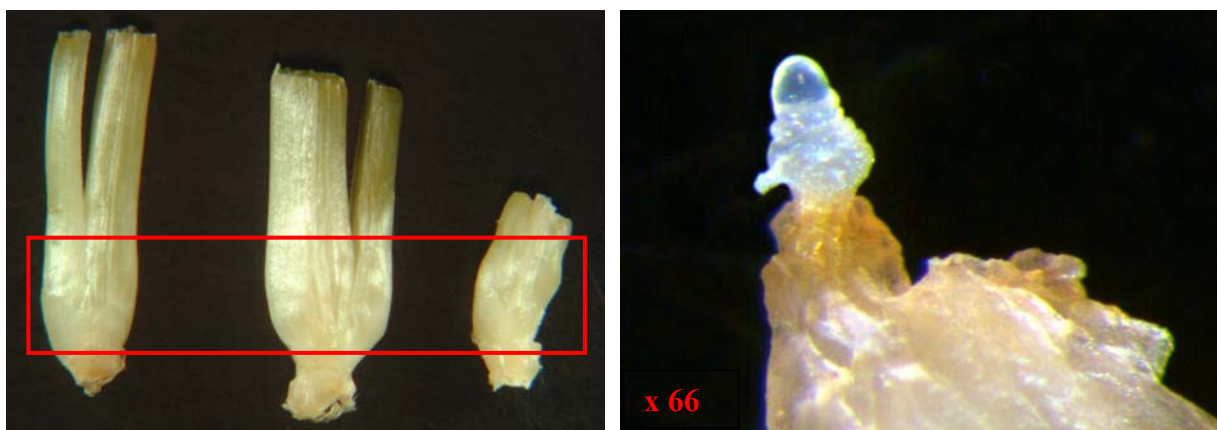


Abbildung 2: Pflanzenabschnitte, die im ELISA getestet wurden (links) und Ährenanlage im Stadium BBCH 14 (rechts)

2.5.2 Immunologischer Nachweis

2.5.2.1 Probenaufbereitung und Durchführung des Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)

Zur Aufbereitung wurden die Proben aufgetaut, gewogen, im Verhältnis 1:5 (w:v) in eisgekühltem Extraktionspuffer im Mörser homogenisiert und anschließend 20 min bei 20.000 x g (4 °C) zentrifugiert. Es wurden mindestens 0,2 g Material für eine Probe zusammengefasst.

Zum Nachweis von *T. caries* in den Pflanzenabschnitten mit der Ährenanlage kam ein Double-Antibody-Sandwich (DAS)-ELISA mit biotinylierten Antikörpern (IgG) zur Anwendung. Die Detektion gebundener IgG erfolgte mit Streptavidin-Alkalische-Phosphatase-Konjugat. Die Tests wurden in Mikrotiterplatten (Immuno-Plate U96 Maxisorp) der Firma Nunc durchgeführt.

Nachfolgend wird der Testansatz für den ELISA beschrieben:

- 1 Beschichtung: je Kavität 100 µl in Beschichtungspuffer verdünnte IgG (1:750), Inkubation 1 h bei 37 °C (Wasserbad)
- 2 Waschen: 3 x 3 min mit Waschpuffer
- 3 Blocken: je Kavität 100 µl Blockreagenz (0,2 % Rinderserumalbumin in Beschichtungspuffer), Inkubation 30 min bei 37 °C (Wasserbad)
- 4 wie 2
- 5 Probenaufgabe: je Kavität 100 µl in Extraktionspuffer aufgearbeitete Probe, Inkubation 1 h bei 37 °C (Wasserbad)
- 6 wie 2
- 7 Koppelung der biotinylierten IgG: je Kavität 100 µl in Konjugatpuffer verdünnte biot. IgG (1:750), Inkubation über Nacht bei 4 °C
- 8 wie 2
- 9 Konjugation Streptavidin-Alkalische Phosphatase: je Kavität 100 µl in Konjugatpuffer verdünnte StrAP-Lösung (1:7500), Inkubation 30 min bei 37 °C (Wasserbad)
- 10 wie 2
- 11 Substrat-Zugabe: je Kavität 100 µl Substratlösung (1 mg 4-Nitrophenylphosphat / ml Substratpuffer), Inkubation im Dunkeln bei RT
- 12 Messung: Bestimmen der OD bei 405 nm (Referenzwellenlänge 592 nm) nach 60, 90, 120...min.

PBS (pH 7,2 - 7,4) -Tween:

Na Cl	8 g
KH ₂ PO ₄	0,2 g
Na ₂ HPO ₄ * 2 H ₂ O	1,44 g
KCl	0,2 g
NaN ₃	0,2 g
Aqua dest.	ad 1000 ml
0,05 % Tween 20	

Extraktionspuffer: PBS-Tween + 0,2 % PVP_{40.000} (Polyvinylpyrrolidon)

Beschichtungspuffer (pH 9,6):

Na ₂ CO ₃	1,59 g
NaHCO ₃	2,93 g
NaN ₃	0,2 g
Aqua dest.	ad 1000 ml

Waschpuffer: halbkonzentrierte PBS-Tween

Konjugatpuffer: PBS-Tween + 0,2% BSA (Rinderserumalbumin)

Substratpuffer (pH 9,8):DEA

(Diethanolamin)	4.850 µl
Aqua dest.	30 ml
mit 1 N HCl auf	pH 9,8
Aqua dest.	ad 50 ml

Zur Überprüfung der Nachweisgrenze und der Berechnung der Pilzmenge in den Proben wurde eine Verdünnungsreihe der homologen Antigenpräparation (lösliche Cytoplasmaproteine) in Konzentrationen von 1, 4, 10, 40 und 80 ng Gesamt-Protein pro ml auf jeder Platte als Standard eingesetzt. Antigen und Antikörper wurden von der Arbeitsgruppe Dr. E. Koch (BBA Darmstadt) zur Verfügung gestellt. Als Negativkontrolle diente Pflanzenextrakt von gesunden, nicht inokulierten Weizenpflanzen.

2.5.2.2 Photometrische Auswertung

Die Messung der Substratumwandlung und die Berechnungen erfolgten in einem Photometer Modell anthos 2020 der Firma anthos labtec instruments, Salzburg, mit der Auswertungssoftware Version 1.4. Als Leerwert diente der Mittelwert aus drei Kavitäten. Die Proben wurden in dreifacher Wiederholung aufgegeben und die jeweiligen Mittelwerte der Messungen in der Auswertung verwendet. Der Extinktionswert der Negativkontrolle wurde von dem aller inokulierten Pflanzenproben abgezogen, bevor die Berechnung der Pilzmengen durchgeführt wurde. Die Auswertung der ELISA erfolgte nach einer Inkubationszeit von 2 bis 4 h. In dieser Zeit wurde von den Leerwerten eine Extinktion von $E_{405} = 0,1$ nicht überschritten.

2.6 Statistische Auswertung

Für die statistische Verrechnung der Befallsdaten in den Feldversuchen wurde das Statistikprogramm 'SAS' bzw. das auf ihm basierende Programm "Feld VA" verwendet (SAS Institute Inc., Cary, USA). Zuvor wurde eine Transformation der Daten durchgeführt, wobei die Addition eines konstanten Faktors notwendig war (prozentuale Befallswerte wurden nach $\ln(x + 1)$ transformiert). Faktorabhängige Varianzeinflüsse wurden mit Hilfe des TUKEY-Tests geprüft. Mittelwertvergleiche erfolgten bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

3 Ergebnisse

3.1 Erzeugung von *Tilletia caries*- infiziertem Winterweizensaatgut

Das Ergebnis der Inokulation des Weizens wird am Beispiel der Feldversuchsvarianten in Tabelle 3 dokumentiert. Die gewünschten Sporenzahlen wurden sehr gut realisiert. Dies gilt ebenso für die Gewächshausvarianten mit weiteren Infektionsabstufungen (Tabelle A1 im Anhang). Die Behandlungen bewirkten teilweise eine Reduktion der Sporenzahlen. Wie erwartet zeigte die Heißwasserbehandlung durch Abwaschen der Sporen vom Korn eine erhebliche Verminderung vor allem in den höheren Inokulationsstufen.

Tabelle 3: Angestrebte und tatsächlich erzielte Anzahl Sporen / Korn in den Feldversuchsvarianten vor und nach den Behandlungen

Sorte	Infektion Soll (Sporen / Korn)	Infektion Ist (Sporen / Korn)	Nach Tillecur- behandlung (Sporen / Korn)	Nach Heißwasser- behandlung (Sporen / Korn)
'Aron'	1.000	1.172	713	109
	100	143	130	5
	20	35	23	9
'Batis'	1.000	948	792	99
	100	107	120	21
	20	21	23	5
'Ökostar'	1.000	1.435	1.089	240
	100	148	162	31
	20	43	33	5

3.2 Voruntersuchungen von Saatgut und Steinbrandsporen

Die Keimfähigkeit des Saatguts und das Vorhandensein samenbürtiger Krankheitserreger (*Fusarium* spp., *Septoria nodorum*), das die Keimfähigkeit negativ beeinflussen kann, war aufgrund der ungünstigen Witterung gegen Ende der Vegetationsperiode im Jahr 2002 notwendigerweise zu bestimmen. Der Besatz mit den wichtigsten saatgutbürtigen Pathogenen wurde für *Fusarium* spp. im Agarplattentest und für *S. nodorum* im Filterpapieretest bestimmt und ist in Tabelle 4 dargestellt.

Die Sorten 'Aron' und 'Batis' waren mit *S. nodorum* und erheblich mit Fusarien befallen, *F. graminearum* war dominierend. Der Befall bei 'Bussard' und 'Ökostar' mit allen Erregern war deutlich geringer.

Tabelle 4: Befall mit samenbürtigen Pathogenen am Saatgut vor den Behandlungen

Pilz	% Befall mit						
	Fusarium avenaceum	Fusarium culmorum	Fusarium graminearum	Microdochium nivale	Fusarium poae	Fusarium gesamt	Septoria nodorum
Sorte							
'Aron'	0,5	0,5	22,0	6,0	1,5	30,5	6,5
'Batis'	0	5,0	7,0	5,0	2,0	19,0	5,5
'Ökostar'	0	0,5	1,0	0	3,0	4,5	1,5
'Bussard'	0	0	0	0,5	0,5	1,0	3,0

Die geringste Keimfähigkeit des unbehandelten Saatgutes hatte erwartungsgemäß die Sorte 'Aron' (Tabelle 5). Direkte negative Auswirkungen der Behandlungen auf die Keimfähigkeit des Saatgutes im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle konnten nur bei Essigsäure beobachtet werden. In den Sorten 'Aron' und 'Batis' wurde bei der Anwendung von Molkenpulver die Fusarium-Entwicklung - vermutlich durch Nährstoffeffekte - so gefördert, dass eine hohe Ausfallrate durch Keimlingsbefall und damit ein indirekter negativer Einfluss bestand. Bei den Sorten, die kaum mit *Fusarium* spp. befallen waren, war dieser Effekt nicht zu beobachten.

Tabelle 5: Auswirkungen der Behandlungen auf die Keimfähigkeit des Saatguts

	Keimfähigkeit (%)			
	'Aron'	'Batis'	'Ökostar'	'Bussard'
unbehandelt	92,5	94,0	98,0	97,0
Tillecur	86,0	95,5	98,5	96,5
Heißwasser	91,5	97,0	98,0	95,0
FZB24 TB	86,5	97,0	98,0	92,5
Proradix	91,0	96,5	98,0	97,0
Molkenpulver	69,0	90,5	96,0	96,0
Essigsäure	74,0	84,0	92,0	94,0

Wichtige bezüglich der Steinbrandsporen zusätzlich erhobene Daten waren die Keim- und damit Infektionsfähigkeit der Sporen. Die höchste Keimfähigkeit (auf Wasseragar) hatten die Sporen direkt aus den Brandbutten (Tabelle 6). Es konnte gezeigt werden, dass schon der Inokulationsvorgang mit der damit einhergehenden Einwirkung mechanischer Belastung ausreichte, um die Keimfähigkeit zu reduzieren. Die stärkste Unterdrückung der Sporen-

keimung war in der Tillecur-Variante zu verzeichnen, gute Wirkungen wurden auch durch die Heißwasser- und die Essigsäurebehandlung erzielt.

Tabelle 6: Wirkung der Behandlungen auf die Keimfähigkeit der Steinbrandsporen *in vitro*

	Variante	Keimfähigkeit (%)
Sporenpulver	aus Brandbutten	63,7
Sporen abgewaschen von infiziertem Getreide	ohne Behandlung	49,4
	FZB 24 TB	36,0
	Molkenpulver	19,6
	Proradix	16,0
	Essigsäure	7,6
	Heißwasser	7,6
	Tillecur	0,1

3.4 Feldversuche

Die Versuche sollten laut Plan Mitte Oktober ausgesät werden. Der Aussaatzeitpunkt wurde aus zwei Gründen relativ spät gewählt: Verzögerung der Unkrautentwicklung vor Winter und gute Infektionsbedingungen für *Tilletia caries* durch geringere Bodentemperaturen. An zwei Standorten (Dahnsdorf, Frohburg) konnte dieser Termin eingehalten werden. Wegen hoher Niederschläge musste die Aussaat in Ahlum auf Ende Oktober verlegt werden, in Bad Vilbel konnte die Saat unter ungünstigen Bedingungen erst Mitte November erfolgen. Die Witterung war außer den starken Niederschlägen im Herbst 2002, die auch zu Teilüberschwemmungen der Versuchsflächen führten, durch lange (Kahl)-Fröste im Winter geprägt, im Frühjahr setzten Wechselfröste ein, so dass die Pflanzenentwicklung insgesamt stark beeinträchtigt wurde. Am Standort Bad Vilbel wintereten die Sorten 'Aron' und 'Batis' völlig aus.

Am Standort Münster musste die Aussaat auf Grund der Witterung sogar auf Februar 2003 verschoben werden. Hier blieben die Pflanzen bei der Sorte 'Aron' im Bestockungsstadium und entwickelten keine ährentragenden Halme, bei den anderen Sorten entwickelten sich Ähren, aber kein Steinbrand.

3.4.1 Auswinterungsschäden

Die Auswinterung an den Versuchsstandorten war unterschiedlich hoch. Am geringsten waren die Schäden in Dahnsdorf; tendenziell zeigte 'Ökostar' die wenigsten und 'Aron' die höchsten Ausfälle. Die Inokulationsstufe (Anzahl Steinbrandsporen / Korn) hatte keinen Einfluss auf die Anzahl Pflanzen / m², während ein deutlicher Einfluss der Sorte und der Behandlung sichtbar wurde. Da 'Aron' stark mit *Fusarium* spp. befallen war, hatte die Heißwasserbehandlung hier eine besonders positive Wirkung auf die Bestandesdichte. Die Ergebnisse von Bad Vilbel sind hier nicht dargestellt, da zwei der drei Sorten total ausfielen.

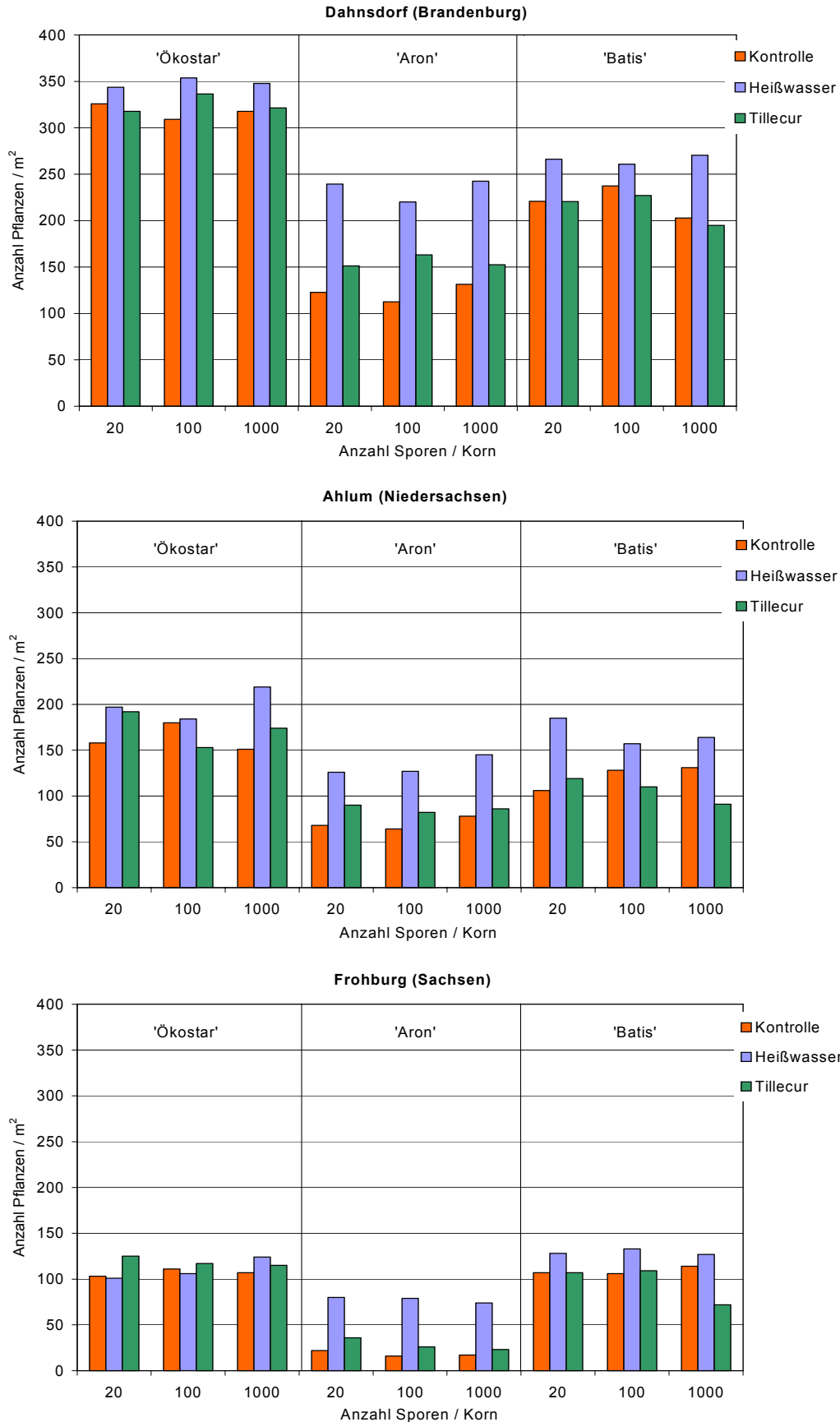


Abbildung 3: Feldbestand im März/April 03 an drei Standorten in Abhängigkeit von Sorte und Behandlung (Aussaatstärke 380 Körner / m², Auszählung von 4 x 1 lfd. m Drillreihe / Parzelle, Mittelwert aus 4 Wiederholungen)

3.4.2 Befall mit *Tilletia caries*

Der Befall war insgesamt eher gering, jedoch an den einzelnen Standorten in Abhängigkeit vom Aussaattermin und der Witterung unterschiedlich hoch. An den Standorten Frohburg und Ahlum fiel im Aussaatmonat etwa doppelt so viel Regen wie im langjährigen Mittel (1961-1990) dieser Regionen, in Bad Vilbel waren es ca. 50 % und in Dahnsdorf ca. 30 % darüber. Im gesamten letzten Quartal 2002 lagen die Niederschlagsmengen etwa um 100 % höher als die Normalwerte. Eine hohe Bodenfeuchte kann einen negativen Einfluss auf die Sporenskeimung und Infektion haben (POSPISIL et al. 2000, HOFFMANN u. SCHMUTTERER 1999). Dies und die teilweise sehr späte Aussaat, bei der die für eine Infektion optimalen Bodentemperaturen von 5-10 °C wahrscheinlich schon unterschritten wurden, bewirkten möglicherweise den relativ geringen Befall vor allem in der hohen Inokulationsstufe.

In **Dahnsdorf** wurde von allen Standorten der höchste Befall ermittelt (Abbildung 4). In den Kontrollen ergaben sich bei den Sorten 'Ökostar' und 'Batis' signifikante Unterschiede zwischen den Inokulationsabstufungen, wobei 'Ökostar' in der höchsten Stufe einen signifikant höheren Befall zeigte als 'Batis'. Obwohl sich bei 'Ökostar' in den Tillecur-Varianten keine Brandähren entwickelten, waren die Unterschiede zwischen Tillecur- und Heißwasserbehandlung statistisch nicht zu sichern. Bei 'Batis' war in der Variante '100 Sporen / Korn' der Befall nach Heißwasserbehandlung signifikant höher als nach Tillecurbehandlung. Der Befall in den Heißwasservarianten war, unabhängig von der Inokulationsstufe, bei beiden Sorten relativ einheitlich. Eine Wirkung der Behandlungen gegen Steinbrand war generell vorhanden, jedoch erst ab einer Sporenbelastung von 100 Sporen / Korn statistisch zu sichern. Bei 'Aron' waren nur in der Variante 'Kontrolle - 1.000 Sporen / Korn' wenige Brandähren vorhanden.

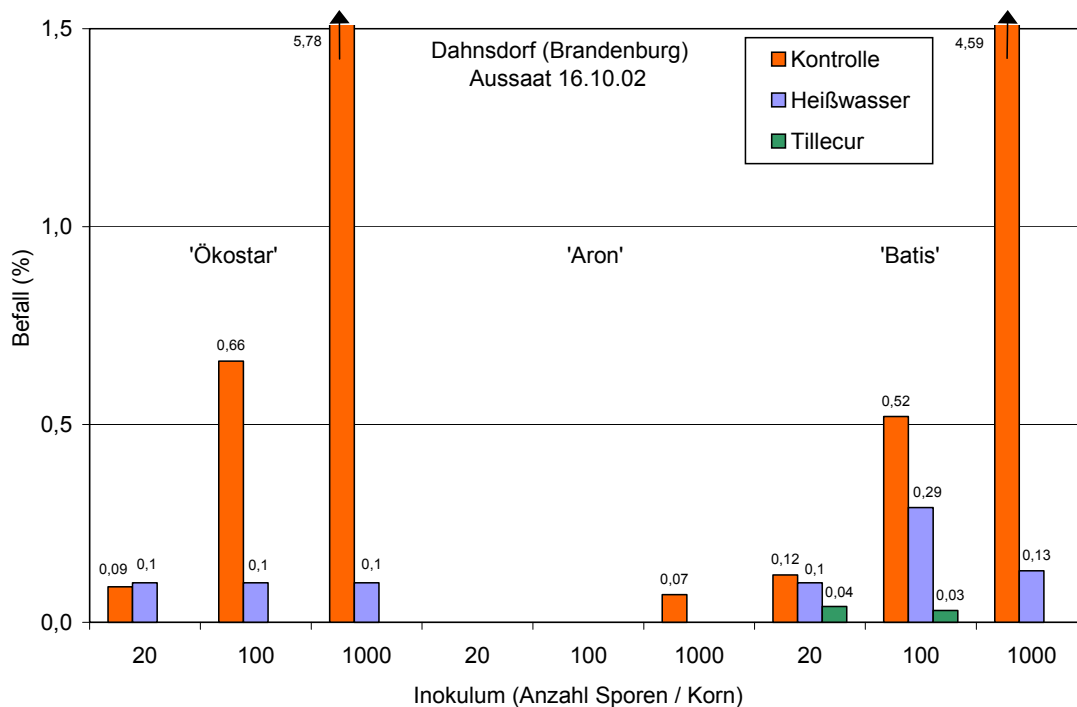


Abbildung 4: Steinbrandbefall an drei Winterweizensorten in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung am Versuchsstandort Dahnsdorf

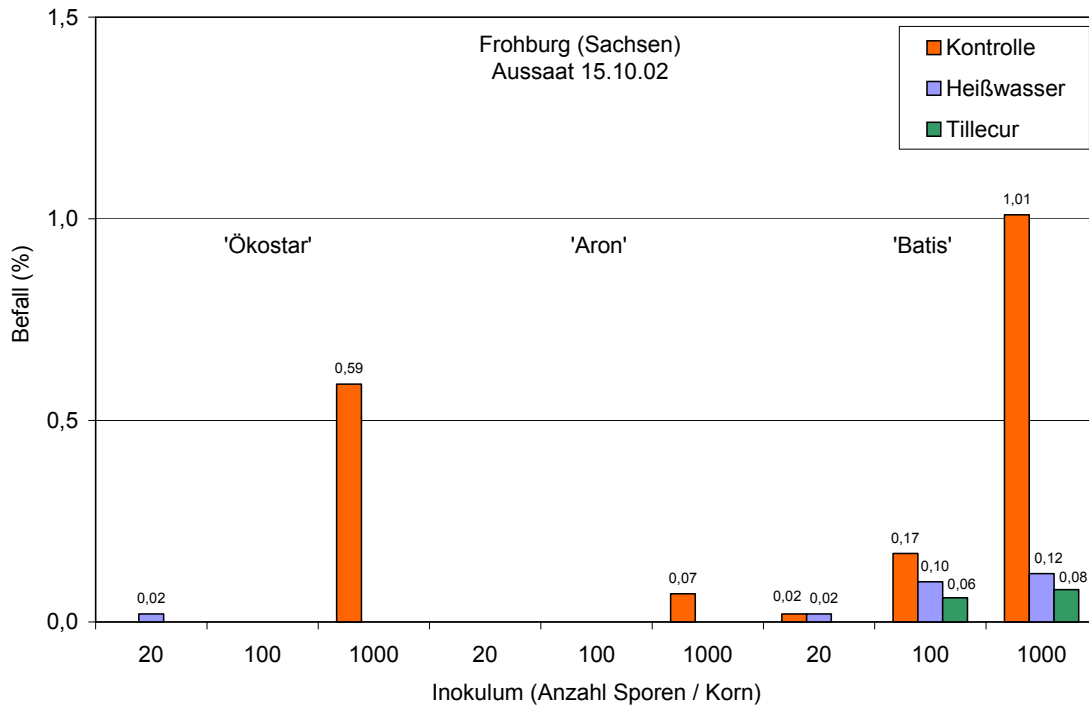


Abbildung 5: Steinbrandbefall an drei Winterweizensorten in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung am Versuchsstandort Frohburg

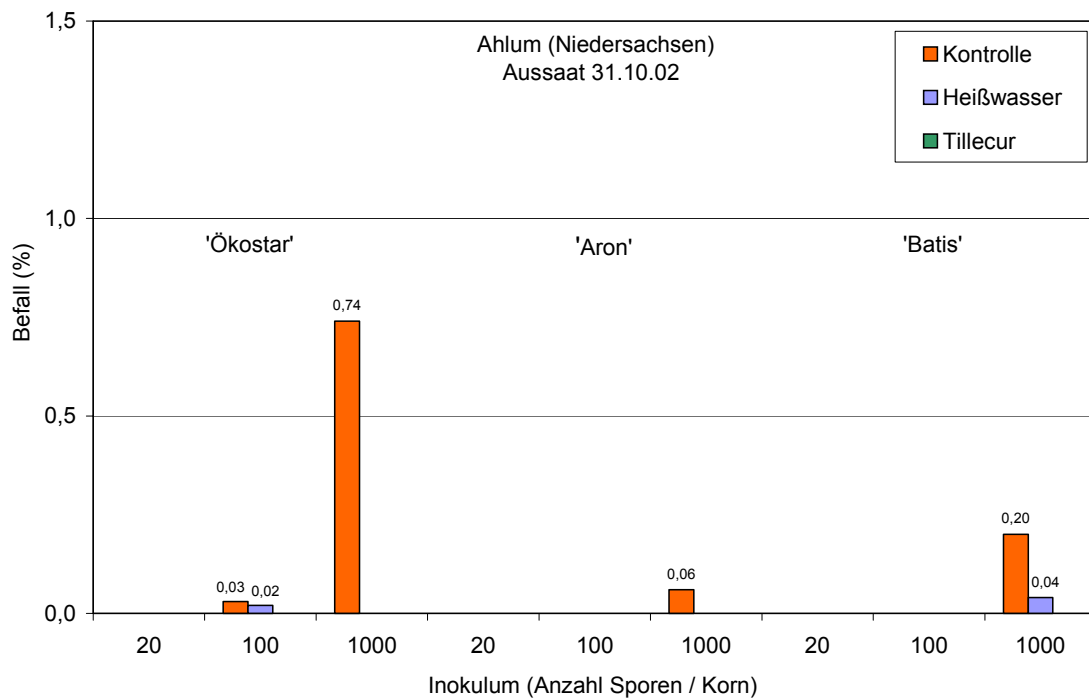


Abbildung 6: Steinbrandbefall an drei Winterweizensorten in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung am Versuchsstandort Ahlum

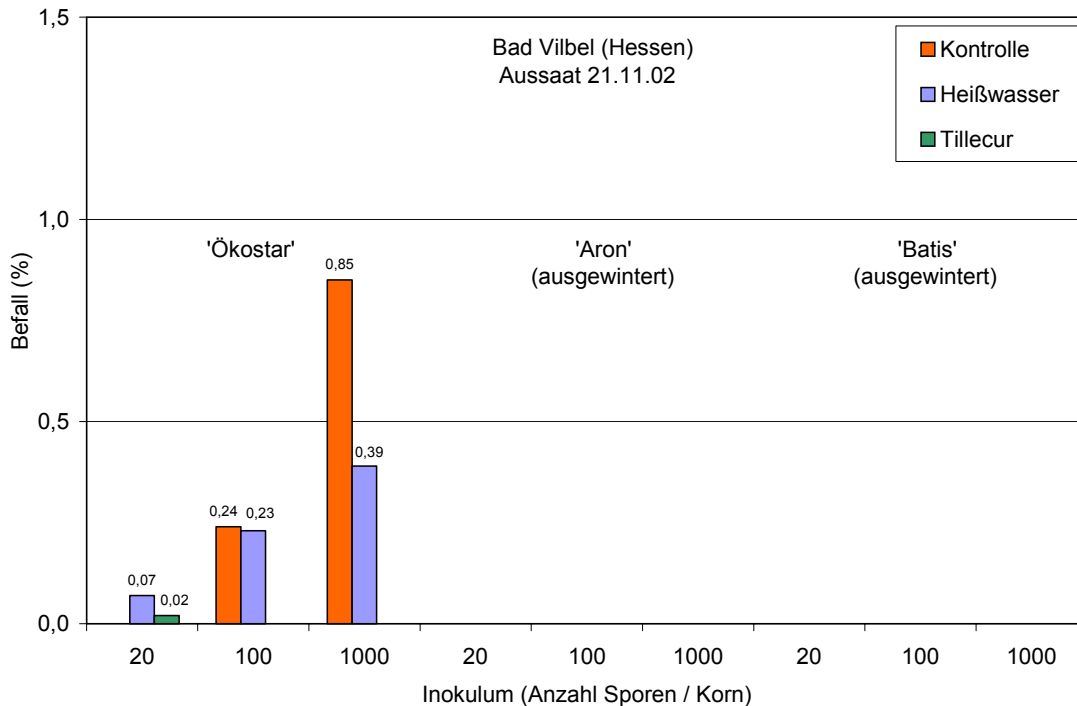


Abbildung 7: Steinbrandbefall an Winterweizen in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung am Versuchsstandort Bad Vilbel

In **Frohburg** unterschied sich der Befall bei 'Ökostar' und 'Batis' nur in den Kontrollen in der höchsten Inokulationsstufe von den niedrigeren Inokulationsstufen (Abbildung 5). 'Batis' hatte einen signifikant höheren Befall als 'Ökostar'. Zwischen den Behandlungen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Wie am Standort Dahnsdorf war eine Wirkung der Behandlungen gegen Steinbrand generell vorhanden, jedoch erst bei 1.000 Sporen / Korn signifikant. 'Aron' zeigte einen geringen Befall in der Variante 'Kontrolle - 1.000 Sporen / Korn'.

In **Ahlum** war von allen Standorten der Befall am geringsten (Abbildung 6). Hier zeigte 'Ökostar' die höchste Anfälligkeit. In keiner der tillecurbehandelten Varianten entwickelten sich Brandähren, signifikante Unterschiede zur Heißwasserbehandlung bestanden nicht. Auch an diesem Standort war bei vorhandenem Befall eine Wirkung gegen Steinbrand nachzuweisen. Bei 'Aron' wurden nur wenige infizierte Ähren in der Variante 'Kontrolle - 1.000 Sporen / Korn' gezählt.

In **Bad Vilbel** konnte nur die Sorte 'Ökostar' ausgewertet werden. Es ergaben sich bei der Kontrolle signifikante Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen '20' und '1.000 Sporen / Korn' (Abbildung 7). Der Befall nach Tillecurbehandlung war signifikant niedriger als in der Kontrolle, während die Heißwasserbehandlung keine statistisch zu sichernde Wirkung zeigte.

3.4.2.1 Zusammenfassende Bewertung der Feldversuchsergebnisse

Der Befall mit Steinbrand war insgesamt gering. Er betrug in den Kontrollen 0,02 % (0,03 befallene Ähren / m², Werte hierfür in Tabelle A2 im Anhang) bis 5,78 % (15,8 befallene

Ähren / m²), war jedoch an den einzelnen Standorten in Abhängigkeit vom Aussattermin und der Witterung unterschiedlich hoch.

Die Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen und den Sorten waren deutlich sichtbar. Bei den Sorten 'Ökostar' und 'Batis' waren schon bei 20 Sporen / Korn, bei 'Aron' an allen auswertbaren Standorten erst ab 1.000 Sporen / Korn befallene Ähren vorhanden. 'Aron' hatte damit den signifikant niedrigsten Befall. Die neu zugelassene Sorte 'Ökostar' erwies sich in diesen Versuchen als hochanfällig für Steinbrand.

In den tillecurbehandelten Varianten wurden an allen Standorten nahezu keine Brandähren nachgewiesen (maximaler Befall 0,08 % bzw. 0,07 befallene Ähren / m²). Ein Teil der Sporen überlebte die Heißwasserbehandlung (52 °C, 10 min), die tendenziell eine geringere Wirkung als die Tillecurbehandlung zeigte (maximaler Befall 0,39 % bzw. 0,75 befallene Ähren / m²), jedoch nur in einem Fall signifikant schwächer war. Für eine bessere Wirkung könnten die Parameter Behandlungsdauer und -temperatur variiert werden, wobei mögliche negative Auswirkungen auf die Keimfähigkeit des Saatguts zu bedenken sind.

In den Feldversuchen zeigte sich bei dem insgesamt schwachen Befall im Versuchsjahr, dass die Wirkung eines Mittels bzw. einer Behandlung bei anfälligen Sorten bereits bei geringem Befall (niedrigen Inokulummengen) vorhanden, jedoch statistisch nicht zu sichern war. Ab einer bestimmten Inokulationshöhe (hier tendenziell die höchste Stufe '1.000 Sporen / Korn') zeigte sich eine deutliche Wirkung sowohl bei den anfälligen Sorten als auch bei der mittelanfälligen Sorte; bei den anfälligen Sorten waren die Unterschiede im Befall zwischen behandelten und unbehandelten Varianten signifikant.

Bei der Saatgutenerkennung sind maximal 5 steinbrandbefallene Ähren auf 150 m² zulässig, das entspricht 0,03 befallene Ähren / m². In den anfälligen Sorten 'Batis' und 'Ökostar' führte die Inokulation mit 20 Sporen / Korn an 2 Standorten in den Kontrollen und nach Tillecurbehandlung sowie mit 5 Sporen / Korn an 3 Standorten nach Heißwasserbehandlung bereits zum Erreichen dieses Wertes.

Vorläufige Schwellenwerte und damit Empfehlungen zur Behandlung von steinbrandbefallenem Weizen können auf der Grundlage dieser Ergebnisse sortenabhängig abgeleitet werden. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die Resistenz einer Sorte bekannt ist. Danach ist bei anfälligen Sorten bereits bei einer sehr geringen Belastung von 5-10 Sporen / Korn eine Behandlung durchzuführen, mittelanfällige Sorten sind ab 1.000 Sporen / Korn zu behandeln. Mit dem Pflanzenstärkungsmittel Tillecur steht ein wirksames Mittel zur Regulierung von Steinbrand zur Verfügung. Selbst wenn durch diese Maßnahmen keine vollständige Unterdrückung eines Befalls erreicht werden kann, wird eine Akkumulation der Pilzsporen vermieden.

Für eine Absicherung dieser Ergebnisse müssen die Feldversuche wiederholt werden.

3.4.3 Gefährdungspotenzial

In den Feldversuchen 2002/2003 wurde ein relativ niedriger Befall erzielt, eine Kontamination des Ernteguts war in geringem Ausmaß zu erwarten. Um das Gefährdungspotenzial des erzielten Befalls zu verdeutlichen, wurde die theoretische Sporenbelastung ermittelt. Am Versuchsstandort Dahnsdorf wurden die befallenen Ähren abgeschnitten, die Sporen extrahiert und die Sporenmenge gewogen. Da durch die Inokulation bekannt war, mit welcher Sporenmenge je kg Getreide eine entsprechende Sporenanzahl / Korn erzeugt werden kann, konnte aus den gewonnenen Mengen die mögliche Kontamination

abgeleitet werden. Beispielsweise würde die geerntete Menge von 530 mg Sporen in der Variante 'Batis - Kontrolle - 20 Sporen / Korn' abzüglich eines angenommenen Ernteverlustes von 90 % beim Drusch (BORGEN 2003) ausreichen, um 50 kg Saatgut erneut mit 25 Sporen / Korn zu infizieren (Tabelle 7). Der Befall betrug in diesem Fall 0,12 % bzw. 0,33 befallene Ähren/m². Nach der Heißwasserbehandlung war in den Varianten mit einer Inokulationsstufe von 20 Sporen / Korn die Anzahl auf 5 reduziert. Auch hier wurden beispielsweise aus den befallenen Ähren der Variante 'Batis - Heißwasser' 600 mg Sporen gewonnen, mit denen 50 kg Getreide mit 30 Sporen / Korn kontaminiert werden könnten. In der Praxis ist allerdings eher zu erwarten, dass eine kleinere Menge Saatgut mit einer höheren Anzahl Sporen kontaminiert wird und es somit zu einer Akkumulation kommt, die, wenn dieses unbehandelte Saatgut ausgebracht würde, schon im Folgejahr zu einem höheren Befall führen kann.

Tabelle 7: Am Standort Dahnsdorf geerntete Sporenmengen und Ableitung einer theoretisch möglichen Saatgutkontamination

Sorte	Behandlung	Inokulum IST (Anzahl Sporen / Korn)	Anzahl befallener Ähren ¹⁾	geerntete Sporenmenge (g) ¹⁾	theoretische Sporenbelastung (Sporen / Korn) von 50 kg Getreide ²⁾
'Ökostar'	Kontrolle	1.435	107	17,94	890
		148	14	3,15	160
		43	2	0,41	20
	Heißwasser	240	3	0,48	25
		31	2	0,51	25
		5	2	0,38	20
	Tillecur	1.089	0	0	0
		162	0	0	0
		33	0	0	0
'Aron'	Kontrolle	1.172	1	0,16	10
		143	0	0	0
		35	0	0	0
	Heißwasser	109	0	0	0
		5	0	0	0
		9	0	0	0
	Tillecur	713	0	0	0
		130	0	0	0
		23	0	0	0
'Batis'	Kontrolle	948	94	21,23	1.060
		107	10	2,06	100
		21	2	0,53	25
	Heißwasser	99	3	0,76	40
		21	6	1,35	70
		5	3	0,60	30
	Tillecur	792	0	0	0
		120	1	0,15	10
		23	1	0,17	10

¹⁾ auf der Boniturfläche, Mittelwert aus vier Wiederholungen

²⁾ nach Abzug von 90 % Verlust der Sporen durch die Ernte

Die Gefährdung ist abhängig vom Verwendungszweck des erzeugten Getreides, sie ist besonders hoch beim Nachbau von hofeigenem Saatgut. Bei der Verfütterung ist ein Gehalt von max. 0,06 % *T. caries* zugelassen (WESTERMANN ET AL. 1988). Dies entspricht ca. 6.000 Sporen / Korn und ist die sechsfache Menge der in den hier dargestellten Versuchen realisierten höchsten Inokulationsstufe. Bei dem erzielten Befall hätte folglich das Getreide als Futtermittel verwendet werden dürfen.

3.4.4 Semi-Freilandversuch

Da eine Aussage über den späteren Befall nur anhand der Frühsymptome im Stadium BBCH 14 nicht getroffen werden konnte, wurde im Januar 2003 ein semi-Freilandversuch mit allen Sorten, Inokulations- und Behandlungsvarianten angelegt (Pflanzenanzucht in Schalen in offener Vegetationshalle und späteres Auspflanzen ins Freiland), in dem die Pflanzen bis zur Ährenreife kultiviert werden sollten. Die Heißwasser- und Molkenpulvervarianten fielen durch Auswinterungsschäden vollständig aus. Zum Ende der Bestockung / Beginn Schossen wurden die verbliebenen Varianten ausgepflanzt. Die Auswertung erfolgte zu BBCH 75.

Bei der Sorte 'Aron' bildeten nur wenige Pflanzen ährentragende Halme. In einer Kleinparzelle (0,3 x 0,5 m) wurden hier durchschnittlich nur 34 Ähren insgesamt (bei einer Spanne von 0 - 68 Ähren) gezählt. Bei 'Batis' waren es im Mittel 80 Ähren, bei 'Bussard' 99 Ähren und bei 'Ökostar' 88 Ähren / Kleinparzelle.

'Aron' hatte in keiner Variante befallene Ähren. Bei den anderen Sorten wurden nur in wenigen Kontrollen sowie in den höheren Inokulationsstufen nach FZB 24- und Proradix-behandlung Brandähren gezählt (Tabelle 8). Am ausgeprägtesten war der Befall bei der Sorte 'Bussard'. Da der Befall in den Kontrollen weitgehend ausblieb, konnten die Wirkungen der Behandlungen nicht beurteilt werden. Es ist davon auszugehen, dass zum Zeitpunkt der Aussaat die Bodentemperaturen zu niedrig und damit die Infektionsbedingungen für den Pilz nicht optimal waren.

Tabelle 8: Steinbrandbefall im Freilandversuch in Kleinparzellen

Sorte	Variante(n) mit Steinbrandbefall		Befall (%)
	Behandlung	Inokulationsstufe (Anzahl Sporen / Korn)	
'Ökostar'	Kontrolle	500	1,41
'Batis'	FZB 24	5.000	1,96
	Proradix	5.000	5,00
'Bussard'	Kontrolle	500	1,03
		1.000	1,16
		5.000	3,92
	FZB 24	1.000	2,80
		5.000	1,92
	Proradix	1.000	1,16
		5.000	8,25

3.5 Klimakammerversuche

3.5.1 Erfassung von Blattfrühsymptomen

Mit diesen bis zum Stadium BBCH 14 reichenden Versuchen sollten anhand von Frühsymptomen an den Blättern (chlorotische Blattflecken) das potenzielle Krankheitsauftreten erfasst und damit eine höhere als in den Feldversuchen mögliche Variantenanzahl getestet werden.

Bei allen Sorten konnten in den unbehandelten Kontrollen schon mit 20 Sporen / Korn Frühsymptome von *Tilletia caries* erzeugt werden, in dieser Stufe hatten bis zu 8 % der Pflanzen Symptome. In der höchsten Stufe (5.000 Sporen / Korn) zeigten bis zu 56 % der Pflanzen Frühbefall. Der Befall in der Kontrolle bei 5.000 Sporen wurde einmal in der Sorte 'Bussard' vom Befall in der FZB 24 -Behandlung (68 %) und einmal in der Sorte 'Batis' vom Befall in der Proradix-Behandlung (40 %) übertroffen. Zwischen den niedrigen Inokulationsstufen konnte häufig nicht differenziert werden, der Befall stieg in den meisten Fällen erst zwischen 1.000 und 5.000 Sporen deutlich an.

Trotz der standardisierten Versuchsbedingungen war die Ausprägung der Frühsymptome nicht in allen Versuchen einheitlich. Sie ließ in den im zeitigen Frühjahr 2003 angelegten Versuchen nach, blieb in den während der Sommermonate angelegten Versuchen fast vollständig aus und setzte erst zum Herbst in den letzten Wiederholungsversuchen wieder ein; diese Variabilität bedarf einer weiteren Klärung. Es ist denkbar, dass trotz kontrollierter, einheitlicher Bedingungen eine Abhängigkeit der Steinbrand-Infektion von der Jahreszeit besteht, wie dies bei anderen Pathogenen, z. B. Mehltau- und Rostpilzen, beobachtet wurde.

Die Wirkung der Behandlungen auf den Frühbefall (Abbildungen 8 - 10) kann wie folgt zusammengefasst werden: Bei den Sorten 'Batis' und 'Bussard' hatten Tillecur und Heißwasser eine gute, FZB 24 und Proradix dagegen kaum eine Wirkung. Bei den Sorten 'Ökostar' und 'Aron' zeigten Tillecur und FZB 24 nur wenig Wirkung. Tendenziell zeigte sich die Wirkung einer Behandlung erst bei der höchsten Inokulation.

Die weiteren Behandlungsvarianten können auf Grund der oben genannten Variabilität in der Frühsymptomausprägung nicht bewertet werden.

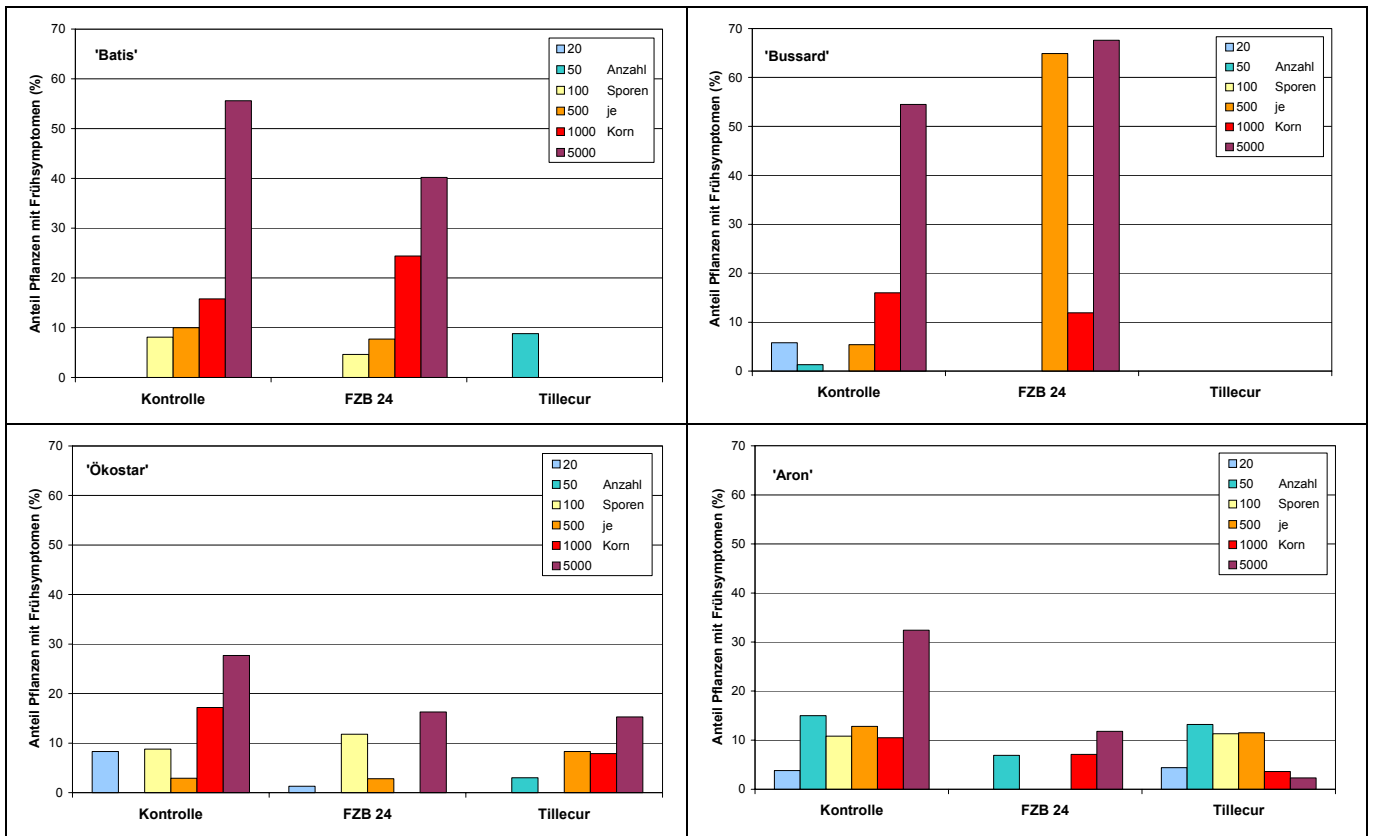


Abbildung 8: Blattfrühsymptome an vier Winterweizensorten zu BBCH 14 in Abhängigkeit von der Inokulationsstufe nach FZB 24- und Tillecurbehandlung (Versuchsansätze Oktober 2002 - Januar 2003)

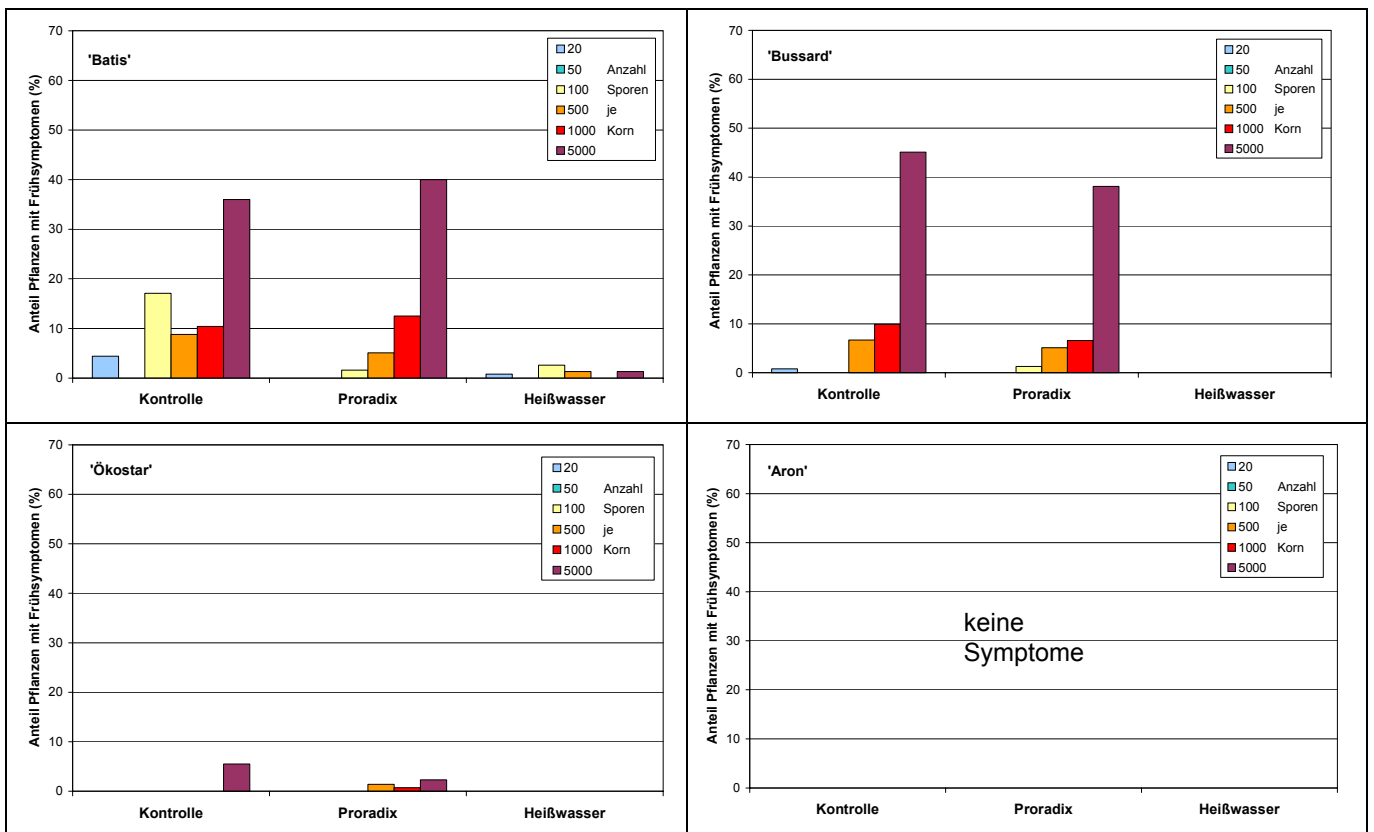


Abbildung 9: Blattfrühsymptome an vier Winterweizensorten zu BBCH 14 in Abhängigkeit von der Inokulationsstufe nach Proradix- und Heißwasserbehandlung (Versuchsansätze Februar - Mai 2003)

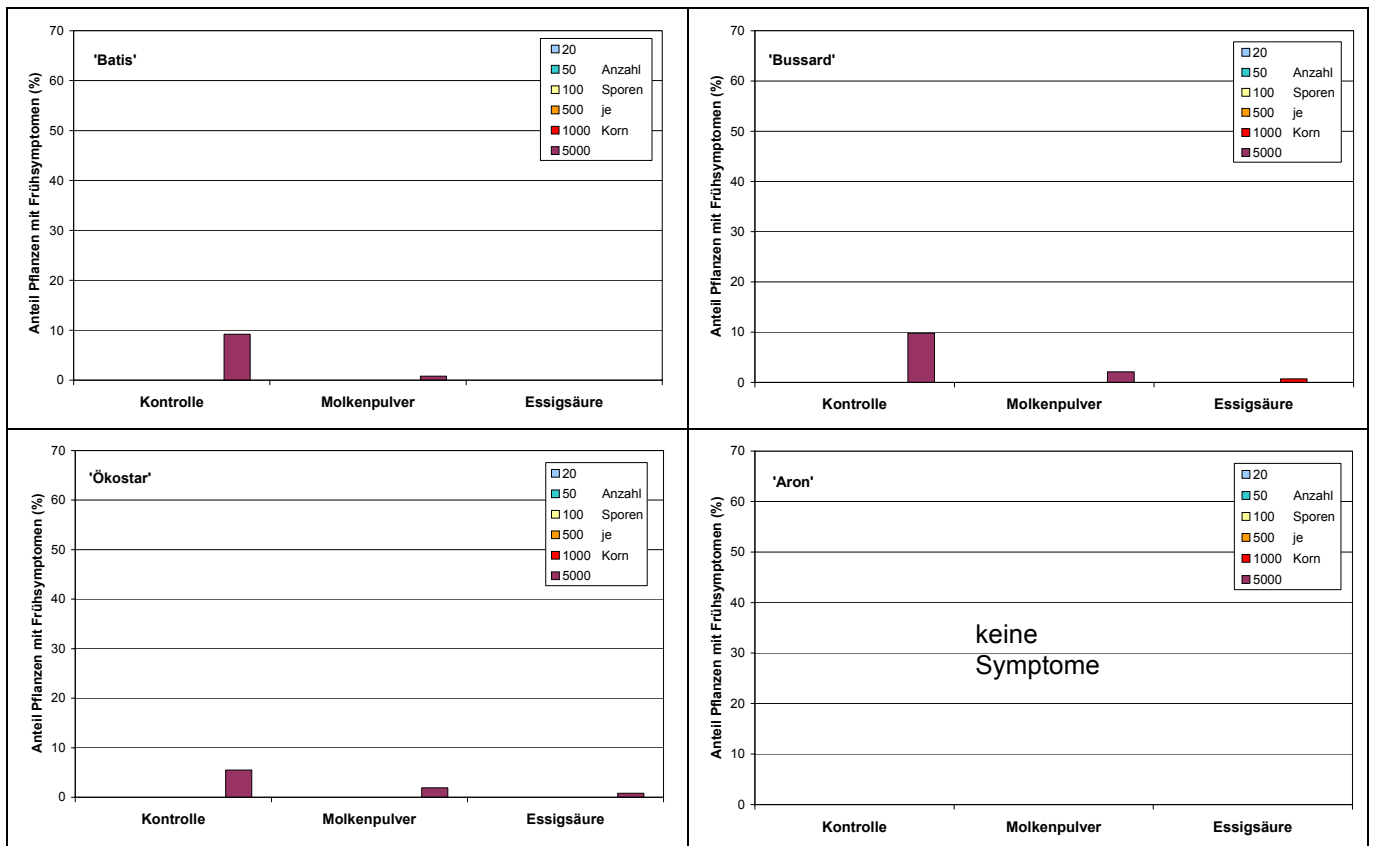


Abbildung 10: Blattfrühsymptome an vier Winterweizensorten zu BBCH 14 in Abhängigkeit von der Inokulationsstufe nach Molkenpulver- und Essigsäurebehandlung (Versuchsansätze April - Mai 2003)

Die Ergebnisse der Wiederholungsversuche sind im Anhang dargestellt (Abbildungen A1 - A4). Grundsätzlich konnten in diesen Versuchen die gute Wirkung von Tillecur und Heißwasser sowie die weniger ausgeprägte Wirkung von FZB 24 und Proradix bestätigt werden. In den Molkenpulver-Varianten entwickelten mehr Pflanzen Frühsymptome als nach der Essigsäure-Behandlung, die bei 'Ökostar' und 'Aron' eine der Tillecur- und Heißwasserbehandlung vergleichbare Wirkung zeigte. Bei 'Batis' und 'Bussard' blieben die Symptome noch immer weitgehend aus, so dass hier eine Wirksamkeit nicht beurteilt werden konnte. Insgesamt stimmten aber die Ergebnisse der Klimakammerversuche mit den Ergebnissen des Keimfähigkeitstests der Steinbrandsporen *in vitro* nach den Behandlungen überein, die eine geringe Sporenkeimung nach Anwendung von Tillecur, Heißwasser und Essigsäure und eine höhere bei den mikrobiellen Präparaten und Molkenpulver gezeigt hatten.

Mit der teilresistenten Sorte 'Tambor' wurde ein Versuch zur Befallstoleranz ohne Behandlungen durchgeführt (Ergebnisse nicht dargestellt). Hier zeigten 11,9 % der Pflanzen bei 5.000 Sporen / Korn Frühbefall, in den unteren Inokulationsstufen waren keine Blätter befallen.

3.5.2 Immunologischer Nachweis von *T. caries*

Da die Bestimmung des Frühbefalls an den Blättern im Stadium BBCH 14 (Klimakammerversuche) als einzige Früherkennungsmethode für die Prognose des späteren Ährenbefalls als nicht aussagekräftig genug erschien, wurde in diesem Versuchskomplex ein ELISA-Test zum quantitativen Nachweis des Pilzes in der Ährenanlage etabliert.

In den ersten beiden Versuchsdurchgängen ('Batis' und 'Bussard' mit FZB 24- und Tillecurbehandlung) kam der ELISA noch nicht zum Einsatz.

Bei den untersuchten Sorten 'Ökostar' und 'Aron' (Abbildung 11) wurden signifikante Mengen des Pilzproteins in der Inokulationsstufe '5.000 Sporen / Korn' nachgewiesen. Ein Zusammenhang zwischen einer Wirkung der FZB 24- bzw. Tillecurbehandlung und der nachgewiesenen Pilzmenge in der Ährenanlage zeigte sich im Entwicklungsstadium BBCH 14 nur in den hohen Inokulationsstufen. Bei den geringeren Sporenmengen war eine Differenzierung des Befalls zwischen den Stufen nicht möglich. Auch dieser Test lieferte Hinweise für eine gute Wirkung von Tillecur, die sich im Feldversuch gezeigt hatte.

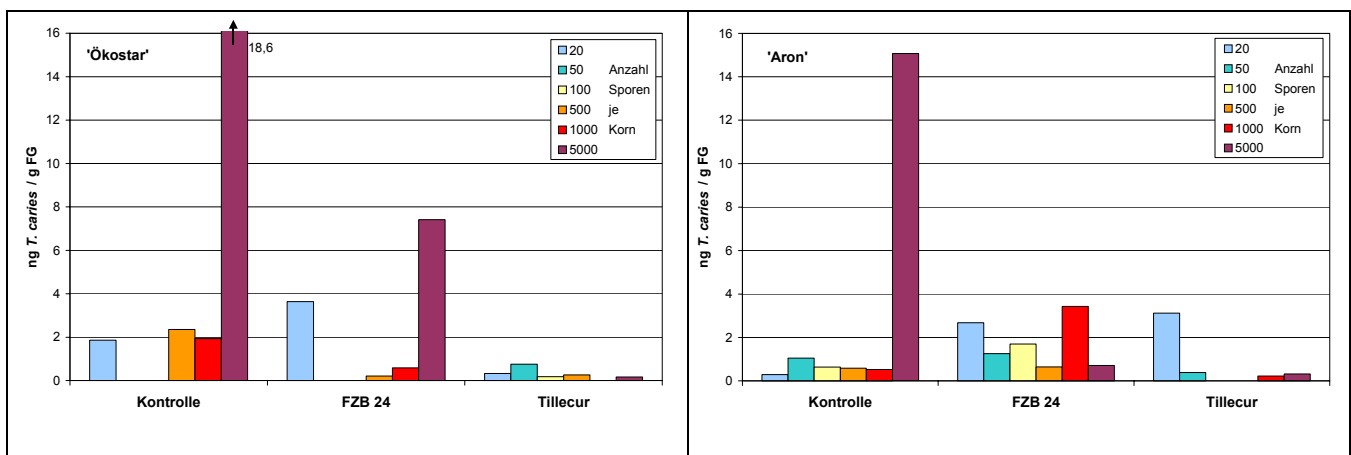


Abbildung 11: ELISA-Nachweis von *T. caries* in der Ährenanlage von zwei Winterweizensorten zu BBCH 14 in Abhängigkeit von der Inokulationsstufe nach FZB 24- und Tillecurbehandlung

Bei 'Bussard' war – im Gegensatz zu seiner in Feldversuchen bestätigten hohen Anfälligkeit – in den Kontrollen kaum Pilz nachzuweisen, dagegen war in den Proradix-Varianten eine überraschend deutliche positive Reaktion zu verzeichnen. 'Batis' hatte signifikante Mengen des Pilzproteins in der Inokulationsstufe '5.000 Sporen / Korn' der Kontrolle und geringe Mengen nach Proradixbehandlung. Nach Heißwasserbehandlung konnte bei 'Batis' und 'Bussard' kein Pilz detektiert werden (Abbildung 12).

Bei den Sorten 'Ökostar' und 'Aron' und den Proradix-, Heißwasser-, Molkenpulver- und Essigsäurebehandlungen bestätigte der ELISA, dass in diesen Versuchsdurchgängen weitgehend keine Infektion stattgefunden hatte, da nicht nur keine Frühsymptome zu beobachten waren, sondern mit wenigen Ausnahmen (Kontrolle - 5.000 Sporen und Molkenpulver - 20 Sporen) auch nur sehr geringe Pilzmengen nachgewiesen werden konnten. Für 'Bussard' nach der Molkenpulver- und Essigsäurebehandlung galt das selbe. Nur bei 'Batis' zeigten die positiven Reaktionen im ELISA, dass es trotz ausbleibender Frühsymptome in der Kontrolle und sowohl nach der Molkenpulver- als auch der Essigsäurebehandlung zu einem Befall gekommen war (Abbildungen 12 und 13).

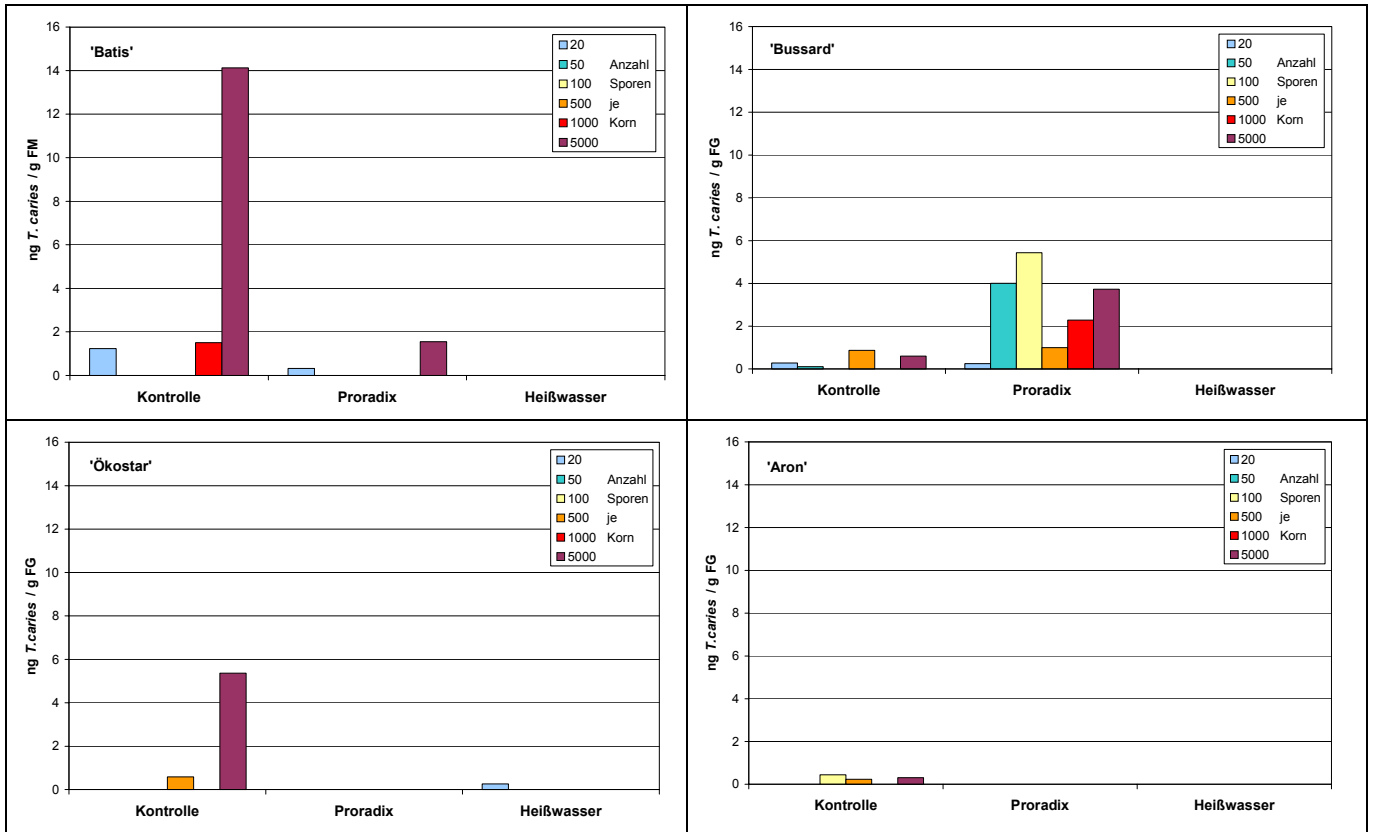


Abbildung 12: ELISA-Nachweis von *T. caries* in der Ährenanlage von vier Winterweizensorten zu BBCH 14 in Abhängigkeit von der Inokulationsstufe nach Proradix- und Heißwasserbehandlung

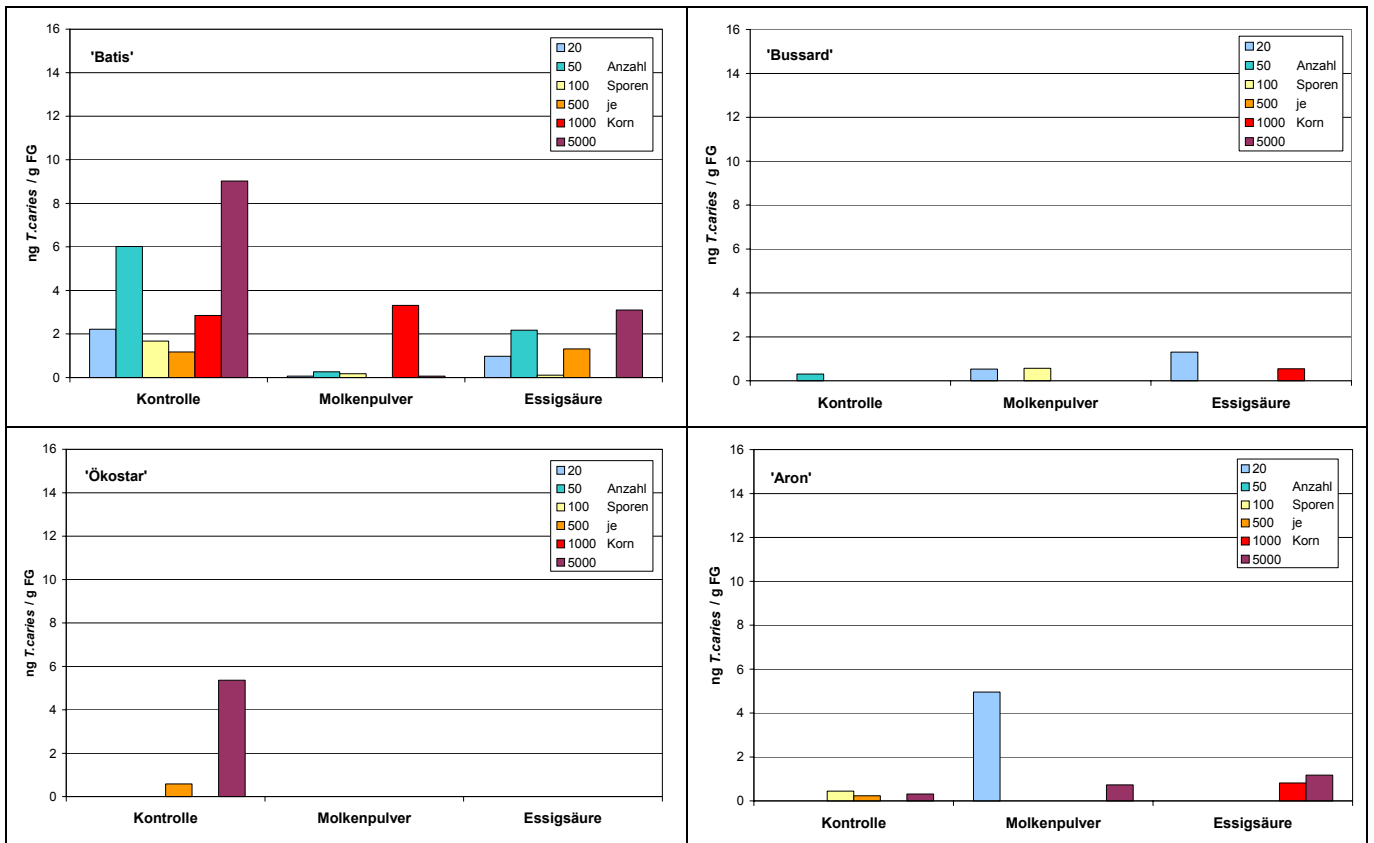


Abbildung 13: ELISA-Nachweis von *T. caries* in der Ährenanlage von vier Winterweizensorten zu BBCH 14 in Abhängigkeit von der Inokulationsstufe nach Molkenpulver- und Essigsäurebehandlung

Es zeigte sich, dass der ELISA ein geeignetes Instrument zur Erfassung vorhandener symptomloser Infektionen sein kann. Es trat aber auch der Fall ein, dass einige Pflanzen eines Topfes Frühbefall zeigten, in der zufallsverteilt gezogenen Mischprobe aus diesem Topf jedoch kein Pilz in den Ährenanlagen mit immunologischer Methode detektiert werden konnte. Es ist möglich, dass das Mycel in den Pflanzen mit Frühsymptomen nach der Infektion und dem Durchwachsen der Blattscheiden sich nicht bis zum Vegetationskegel ausbreiten konnte und deshalb nur in den Blättern die typischen chlorotischen Flecke hervorrief. Es ist auch möglich, dass bei der Untersuchung einer Mischprobe aus 12 Pflanzen der Pilzproteingehalt durch die Verwendung befallener und unbefallener Pflanzen unter die Nachweisgrenze verdünnt wurde.

Im Falle einer ausschließlichen Bonitur der Blattsymptome besteht möglicherweise die Gefahr einer Über- oder Unterbewertung des späteren Befalls, so dass es zu Fehlbestimmungen der Befallstoleranz und der Wirksamkeit einer Behandlung kommen kann. Andererseits müsste geklärt werden, ob die gemessenen Pilzproteingehalte für Aussagen über einen späteren Ährenbefall bereits relevant sind, bzw. ab welcher Pilzmenge von einer Brandährenentwicklung ausgegangen werden muss.

Bei der teilresistenten Sorte 'Tambor' (Ergebnisse nicht dargestellt), die nur in der höchsten Inokulationsstufe Frühbefall (11,9 %) an den Blättern gezeigt hatte, war der Pilznachweis mit dem ELISA in jeder Stufe positiv. Die Pilzmenge lag bei 20 Sporen / Korn mit 5,7 ng / g Pflanzenfrischgewicht am höchsten, bei 5.000 Sporen betrug sie 3,5 ng, bei 100 Sporen 2,6 ng und bei den anderen Abstufungen unter 1 ng. Sie lagen damit über den Werten, die in den Kontrollen der hochanfälligen Sorte 'Bussard' gemessen wurden.

Versuche des Parallelprojektes der BBA Darmstadt zur Steinbrandresistenz ergaben bei 'Tambor' bei hoher Sporenbelastung (ca. 20.000 Sporen / Korn) ca. 7 % Frühbefall, Pilzproteingehalte von 1-4 ng / g FG und im Feldversuch keinen Ährenbefall. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass die Relevanz von Frühsymptomen und / oder des immunologischen Pilznachweises in frühen Entwicklungsstadien für den späteren Ährenbefall insbesondere bei geringen Inokulumengen weiter untersucht werden müsste, um mit diesen Methoden die Befallstoleranz einer Sorte und die Wirkung eines Mittels beurteilen zu können. Zur Zeit besitzt noch keine der Früherkennungsmethoden eine ausreichende Zuverlässigkeit.

3.6 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse für den ökologischen Landbau

Die Ergebnisse der Arbeiten haben gezeigt, dass die Befallsermittlung am Saatgut sowie die Kenntnis der Befallstoleranzgrenze einer Sorte, der Anbau wenig anfälliger Sorten und die Saatgutbehandlung als Maßnahmen, allein oder in Kombination, bei der Steinbrandregulierung zum Erfolg führen. Im Feldversuch konnten sortenabhängige Schwellenwerte ermittelt sowie eine Behandlung als gut geeignet für eine wirksame Unterdrückung des Pathogens ausgewählt werden. Bei den Ergebnissen ist jedoch zu beachten, dass die Feldversuche, deren Ergebnisse den für die Aussagefähigkeit höchsten Stellenwert haben, in diesem Projekt nur einjährig durchgeführt und bei relativ ungünstigen Witterungsbedingungen angelegt wurden. Die Versuche werden derzeit wiederholt und können im nächsten Jahr eine breitere Datenbasis liefern.

Die Arbeiten belegten ebenfalls, dass selbst ein geringer Befall mit Steinbrandsporen nicht unterschätzt werden darf, da er ohne Gegenmaßnahme ein zu beachtendes Gefährdungs-

potenzial birgt. Die Gefährdung ist abhängig vom Verwendungszweck des erzeugten Getreides, sie besteht in erster Linie bei Nachbau von Saatgut.

Mit den oben genannten Instrumenten steht dem ökologischen Landbau ein ganzes Maßnahmenbündel zur Verfügung. Für dessen optimale Nutzung sind die Kenntnis des Sporenbesatzes am Korn und der Anfälligkeit bzw. Resistenz der angebauten Sorte zwei Grundvoraussetzungen. Bei der Saatgutenerkennung ist eine generelle Ermittlung des Befalls notwendig; die Steinbrandanfälligkeit aller etablierten und neu zugelassenen, für den ökologischen Landbau geeigneten Sorten muss bekannt sein.

Für Resistenztests und für die Mittelprüfung werden wegen der Zeit- und Kostenersparnis zuverlässige Früherkennungsmethoden für Pathogene benötigt. Auch hierzu wurden im Projekt in Labor- und Modellversuchen umfangreiche Arbeiten durchgeführt. Die Beurteilung der Wirkung unterschiedlicher alternativer Saatgutbehandlungen gegen Steinbrand und die Bestimmung von Befallstoleranzgrenzen der Sorten ausschließlich mittels einer Früherkennungsmethode ist für den Erreger noch nicht möglich.

4 Zusammenfassung

Durch die Kombination von geeigneten Maßnahmen wie dem Einsatz wenig anfälliger Sorten, der Nutzung von Befallstoleranzgrenzen und von alternativen Saatgutbehandlungsverfahren soll ein möglichst vollständiger Schutz vor Steinbrandbefall an Weizen im ökologischen Anbau erzielt werden.

An unterschiedlich anfälligen Sorten ('Batis', 'Bussard': hochanfällig, 'Aron': mittelanfällig, 'Ökostar': Anfälligkeit zu Projektbeginn unbekannt), mit gestaffelten Inokulummengen und mehreren Saatgutbehandlungsvarianten (Heißwasserbehandlung, Tillecur [Gelbsenfmehl-Präparat], FZB 24 TB [*Bacillus subtilis*], Proradix [*Pseudomonas fluoreszens*], Sprüh-Molkenpulver, Essigsäure) wurden Untersuchungen durchgeführt. Die Inokulation des Saatgutes mit definierten Sporenmengen von *T. caries* (20, 50, 100, 500, 1.000 und 5.000 Sporen / Korn) konnte sichergestellt werden, so dass sowohl Feld- als auch Klimakammerversuche mit den vorgesehenen Inokulationsstufen angelegt werden konnten.

An 5 Standorten wurden Feldversuche mit jeweils 3 Sorten ('Ökostar', 'Aron', 'Batis'), 3 Inokulationsstufen (20, 100, 1.000 Sporen / Korn) und 2 Behandlungen (Heißwasser, Tillecur sowie unbehandelte Kontrolle) angelegt. Die Auszählung des Bestandes ergab starke Auswinterungsschäden bis zum völligen Ausfall der Sorten 'Aron' und 'Batis' an einem Standort. Der Steinbrandbefall insgesamt war gering. Er betrug zwischen 0,02 % (0,03 befallene Ähren/m²) und 5,78 % (15,8 befallene Ähren/m²) in den Kontrollen und war in Abhängigkeit vom Aussaattermin und der Witterung an den einzelnen Standorten unterschiedlich hoch. Die Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen und den Sorten waren deutlich sichtbar. Bei den Sorten 'Ökostar' und 'Batis' waren schon in der Infektionsstufe '20 Sporen / Korn', bei 'Aron' erst ab 1.000 Sporen / Korn befallene Ähren vorhanden. In den tillecurbehandelten Varianten waren an allen Standorten nahezu keine Brandähren nachzuweisen (maximaler Befall 0,08 % bzw. 0,07 befallene Ähren/m²), die Heißwasserbehandlung zeigte eine etwas geringere Wirkung (maximaler Befall 0,39 % bzw. 0,75 befallene Ähren/m²). Die neu zugelassene Sorte 'Ökostar' erwies sich in diesen Versuchen als hoch anfällig für Steinbrand.

Bei der Saatguterkennung sind maximal 5 steinbrandbefallene Ähren auf 150 m² zulässig, das entspricht 0,03 befallene Ähren/m². In den anfälligen Sorten führte die Inokulation mit 20 Sporen / Korn an 2 Standorten in den Kontrollen sowie nach Tillecurbehandlung bereits zum Erreichen dieses Wertes, und selbst mit nur 5 Sporen / Korn an 3 Standorten nach Heißwasserbehandlung (Abwascheffekt) wurde der zulässige Wert erreicht bzw. überschritten.

Das Gefährdungspotenzial bereits eines niedrigen Befalls verdeutlicht folgende Kalkulation: Die theoretische Sporenbelastung ergab beispielsweise für die Variante 'Batis' - Kontrolle - 20 Sporen / Korn, dass die geerntete Sporenmenge von 530 mg - abzüglich eines angenommenen Sporenverlustes von 90 % beim Drusch - ausreichen würde, um 50 kg Saatgut erneut mit 25 Sporen / Korn zu infizieren.

Folgende vorläufige Schwellenwerte können formuliert werden: Auch bei einem geringen Befall von 5-10 Sporen / Korn müssen anfällige Sorten behandelt werden, während bei mittelanfälligen Sorten erst bei ca. 1.000 Sporen / Korn eine Behandlung notwendig wird.

Mit bis zum Entwicklungsstadium BBCH 14 der Pflanzen reichenden Klimakammerversuchen sollten anhand von Frühsymptomen das potenzielle Krankheitsauftreten erfasst

werden, eine höhere als die in den Feldversuchen mögliche Variantenanzahl sollte getestet werden. Bei allen Sorten konnten in den unbehandelten Kontrollen schon mit 20 Sporen / Korn Frühsymptome von *T. caries* (chlorotische Blattflecken) erzeugt werden, in der höchsten Stufe (5.000 Sporen / Korn) zeigten bis zu 56 % der Pflanzen Frühbefall. Trotz der standardisierten Versuchsbedingungen war die Ausprägung der Frühsymptome nicht in allen Versuchen einheitlich; diese Variabilität bedarf einer weiteren Klärung.

Die Wirkung der Behandlungen auf den Frühbefall lässt sich wie folgt zusammenfassen: Bei den Sorten 'Batis' und 'Bussard' hatten Tillecur und Heißwasser eine gute, die Mikroorganismen-Präparate FZB 24 und Proradix dagegen keine Wirkung. Bei den Sorten 'Ökostar' und 'Aron' zeigten Tillecur und FZB 24 nur wenig Wirkung. Die weiteren Behandlungsvarianten können auf Grund der Variabilität in der Frühsymptomausprägung nicht bewertet werden.

Da die Bestimmung des Frühbefalls an den Blättern im Stadium BBCH 14 als einzige Früherkennungsmethode für die Prognose des späteren Ährenbefalls als nicht aussagekräftig genug erschien, wurde in diesem Versuchskomplex ein ELISA-Test zum quantitativen Nachweis des Pilzes in der Ährenanlage etabliert. Es zeigte sich, dass der ELISA ein geeignetes Instrument zur Erfassung vorhandener symptomloser Infektionen sein kann. Es wurden signifikante Mengen des Pilzproteins (ab 4-5 ng/g Pflanzen-Frischgewicht) bei allen Sorten in der Inokulationsstufe '5.000 Sporen / Korn' nachgewiesen. Ein Zusammenhang zwischen der Wirkung der Behandlungen und der nachgewiesenen Pilzmenge in der Ährenanlage zeigte sich nur bei dieser Inokulationsstufe. Die Relevanz von Frühsymptomen und / oder des immunologischen Nachweises des Pilzes in frühen Entwicklungsstadien für den späteren Ährenbefall müsste insbesondere bei geringen Inokulummen weiter untersucht werden, um mit diesen Methoden die Befallstoleranz einer Sorte und die Wirkung eines Mittels beurteilen zu können.

5 Gegenüberstellung der geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Ableitung und Festlegung von Befallstoleranzgrenzen für *Tilletia caries* als Voraussetzung für die Vermeidung direkter Bekämpfungsmaßnahmen

- Bei der Ermittlung flexibler Schwellenwerte für Sorten mit unterschiedlicher Anfälligkeit konnte das geplante Ziel erreicht werden, d.h. nach einjährigen Feldversuchen wurden vorläufige Schwellenwerte abgeleitet.
- Die Angabe standortbezogener Schwellenwerte ist dagegen bei der vorhandenen geringen Datenbasis noch nicht möglich; durch die Wiederholung der Feldversuche an den fünf Standorten werden diese Daten im kommenden Jahr ergänzt.

Optimierung von Saatgutbehandlungsmaßnahmen in Abhängigkeit von der Befallsituation

- Für zwei Behandlungsvarianten – 'Heißwasser' und 'Tillecur' – wurde im Feldversuch an drei Sorten für drei Infektionsstärken die Wirksamkeit nachgewiesen, d. h. im Falle der Notwendigkeit einer direkten Bekämpfung stehen geeignete Verfahren zur Verfügung.
- Nach bisherigem Kenntnisstand ist die Anwendung von Tillecur das wirksamste Verfahren. Bei der ebenfalls gut wirksamen Heißwasserbehandlung kann – nach Erfahrungen in anderen Projekten – die Wirksamkeit durch geringfügige Erhöhung der Behandlungsparameter noch verbessert werden.
- Im Klimakammerversuch wurden insgesamt sechs Behandlungsvarianten mit sechs Infektionsabstufungen getestet, wegen der variablen Frühsymptomausprägung im Jahresverlauf war eine abschließende Bewertung aller Saatgutbehandlungsmaßnahmen jedoch nicht möglich.
- Gegen Zwergsteinbrand (*Tilletia controversa*) sind zur Zeit zwei mikrobielle Pflanzenstärkungsmittel sowie Tillecur im Feldversuch in der Erprobung. Die Ergebnisse werden im nächsten Jahr vorliegen.

6 Literaturverzeichnis

- Bänziger, I., Forrer, H.-R., Schachermayr, G., Gindrat, D., Frei, P. (2003): Stinkbrandanfälligkeit in- und ausländischer Weizensorten. *Agrarforschung* 10, 328-333.
- Becker, J., Weltzien, H. C., Tränkner, A. (1990): Einsatz von nicht toxischen organischen Nährstoffen zur Bekämpfung des Weizensteinbrandes (*Tilletia caries*) - Versuchsergebnisse des Jahres 1988/89. *Gesunde Pflanzen* 7, 239-240.
- Becker, J., Weltzien, H. C. (1993): Bekämpfung des Weizensteinbrandes (*Tilletia caries* (DC.) Tul. & C. Tul.) mit organischen Nährstoffen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 100(1), 49-57.
- Benada, J., Pospisil, A. (1999): Antagonistic microorganisms and medium moisture as possible sources of variation in common bunt (*Tilletia tritici*) incidence. *Plant Protection Science* 35, 121-123.
- Borgen, A. (2000): Perennial survival of common bunt (*Tilletia tritici*) in soil under modern farming practice. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 107, 182-188.
- Borgen, A. (2003): Danish Institute of Agricultural Sciences, mündliche Mitteilung
- Borgen, A., Nielsen, B. (2001): Effect of seed treatment with acetic acid for control of seed borne diseases. Seed treatment: challenges & opportunities. Proceedings of an international Symposium, Wishaw, North Warwickshire, UK, 26-27 February 2001 135-140.
- Glaeser, G. (1961): Das Ausmaß des Feldbefalles durch Weizensteinbrand (*Tilletia tritici* (Bjerk.) Winter) in Abhängigkeit von der Bebrandung des Saatgutes. *Pflanzenschutzberichte* 26, 33-55.
- Hökeberg, M., Gerhardson, B., Johnsson, L. (1997): Biological control of seed-borne diseases by seed bacterization with greenhouse-selected bacteria. *Eur. J. Plant Pathol.* 103, 25-33.
- Hoffmann, G. A., Schmutterer, H. (1999): Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Eugen Ulmer, Stuttgart
- Jahn, M. (2002): Saatgutbehandlung im ökologischen Landbau. Forschungsreport 1, 12-15.
- Johnsson, L. (1990): Survival of common bunt (*Tilletia caries* (DC) Tul.) in soil and manure. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 97 (5), 502-507.
- Koch, E., Lindner, K. (2001): Use of microbial preparations as cereal seed treatments. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Biological Sciences* 49, 343-351.
- Koch, E., Spieß, H. (2002): Characterization of leaf symptoms of common bunt (*Tilletia caries*) and relationship to ear attack in nine wheat cultivars. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 109 (2), 159-165.

- Kollmorgen, J. F., Ballinger, J. (1987): Detection and morphology of hyphae of common bunt fungi (*Tilletia laevis* and *T. tritici*) in wheat seedlings. Transactions of the British Mycological Society 88 (4), 555-559.
- Krauthausen, H.-J., Eibel, P., Koch, E. (2002): Entwicklung eines thermischen Saatgutbehandlungsverfahrens für Getreide. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 390, 426-427.
- Nega, E., Ulrich, R., Werner, S., Jahn, M. (2001): Zur Wirkung der Heißwasserbehandlung gegen samenbürtige Pathogene an Gemüsesaatgut. Gesunde Pflanzen 53(6), 177-184.
- Nielsen, B.J., Borgen, A., Kristensen, L. (2000): Control of seed borne diseases in production of organic cereals. Brighton Crop Protection Conference – Pests and Diseases 2000
- Paffrath, A., Tränkner, A. (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. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn
- Polisenska, I., Pospisil, A., Benada, J. (1998): Effects of sowing date on common bunt (*Tilletia caries*) infection in winter wheat at lower inoculum rates. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 105, 295-305.
- Pospisil, A., Benada, J., Polisenska, I. (1999): Variability of resistance to common bunt of wheat. Plant Protection Science 35, 26-29.
- Pospisil, A., Benada, J., Nedomova, L., Polisenska, I. (2000): Incidence variability of wheat bunts (*Tilletia caries* (DC) Tul. and *T. laevis* Kühn) in field trials. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 107, 74-80.
- Schachermayr, G., Bänziger, I., Zanetti, S., Rügger, A. (2003): Gesundes Getreidesaatgut für den Biolandbau. Forschung für den Biologischen Landbau, Schriftenreihe der FAL, 45, 37-41.
- Schmude, D. (2003): Norddeutsche Saat- und Pflanzgut AG, mündliche Mitteilung
- Söllinger, J. (2000): Überprüfung von Verfahren zur Eindämmung des Weizensteinbrandes (*Tilletia caries*) unter den Bedingungen des Biologischen Landbaus. Jahresbericht Forschungsprojekte des Bundesamtes für Agrarbiologie Linz (BAB) 2000, www.agrobio.bmlf.gv.at/deutsch/info/forsch00/992406.htm
- Spieß, H. (2000): Aktuelle Versuchsergebnisse zur Weizensteinbrandbekämpfung. Lebendige Erde 5/2000, 41.
- Spieß, H., Dutschke, J. (1991): Bekämpfung des Weizensteinbrandes (*Tilletia caries*) im biologischen-dynamischen Landbau unter experimentellen und praktischen Bedingungen. Gesunde Pflanzen 34, 264-270.
- Westermann, H.-D., Barnikol, H., Fiedler, E., Rang, H., Thalmann, A. (1988): Gesundheitliche Risiken bei Verfütterung von Brandweizen (Weizensteinbrand und Zwergbrand). 2. Mitteilung: Analytik, Sortenerhebung 1984, Fütterungsversuch (Mastschweine). Landwirtsch. Forschung 41, 3-4, 169-176.

- Winter, W., Bänziger, I., Rügger, A. (1995): Neue Wege in der Weizen-Saatgutbeizung. Agrarforschung 2(4), 137-140.
- Winter, W., Bänziger, I., Krebs, H., Rügger, A., Frei, P., Gindrat, D. (1997): Warm- und Heißwasserbehandlung gegen Auflaufkrankheiten. Agrarforschung 4(11-12), 449-452.
- Winter, W., Bänziger, I., Rügger, A., Schachermayr, G., Krebs, H. (2001): Magermilchpulver und Gelbsenfmehl gegen Weizenstinkbrand. Agrarforschung 8(3), 118-123.
- Weng, W. (1998): Prüfungsergebnisse Zwergsteinbrand und Steinbrand 1998. Landesanstalt für Pflanzenschutz, Stuttgart
- Yarham, D. (1993): Soil-borne spores as a source of inoculum for wheat bunt (*Tilletia caries*). Plant Pathology 42, 654-656.

Anhang

Tabelle A1: Angestrebte und tatsächliche Anzahl Sporen / Korn in den Klimakammervarianten vor und nach den Behandlungen

Sorte	Infektion Soll (Sporen / Korn)	Infektion Ist (Sporen / Korn)	Infektion Ist (Sporen / Korn) Tillecur	Infektion Ist (Sporen / Korn) FZB24 TB	Infektion Ist (Sporen / Korn) Heißwasser	Infektion Ist (Sporen / Korn) Proradix	Infektion Ist (Sporen / Korn) Molkenpulver	Infektion Ist (Sporen / Korn) Essigsäure
Aron	5.000	4.265	4.336	4.305	1.632	4.008	4.016	4.344
	1.000	721	672	667	229	621	646	652
	500	318	360	370	110	286	255	261
	100	73	94	72	31	67	67	93
	50	26	34	28	9	23	23	33
	20	14	14	14	9	14	14	19
Batis	5.000	5.422	5.391	4.656	1.848	4.102	4.196	4.359
	1.000	1.328	1.234	630	255	615	630	669
	500	443	515	333	120	245	235	308
	100	161	63	89	31	57	68	61
	50	39	38	23	9	33	28	33
	20	17	14	12	5	23	23	14
Bussard	5.000	5.016	4.482	4.480	1.731	4.047	4.047	4.360
	1.000	961	839	793	234	594	604	683
	500	555	370	459	99	255	235	292
	100	113	128	80	14	42	42	58
	50	61	42	33	14	23	14	33
	20	21	14	9	5	23	9	9
Ökostar	5.000	6.188	3.960	4.008	1.774	4.031	4.212	4.258
	1.000	862	646	656	244	594	651	718
	500	609	333	406	146	266	276	292
	100	96	52	93	26	62	52	72
	50	35	24	24	5	28	23	23
	20	27	9	18	5	14	14	14
Durchschnitt über alle Sorten	5.000	5.223	4.542	4.362	1.746	4.047	4.118	4.330
	1.000	968	848	687	241	606	633	681
	500	481	395	392	119	263	250	288
	100	111	84	84	26	57	57	71
	50	40	35	27	9	27	22	31
	20	20	13	13	6	19	15	14

Tabelle A2: Anzahl befallene Ähren / m² in den Feldversuchen 2002-2003 (4 Standorte) in Abhängigkeit von Sorte, Inokulationsstufe und Behandlung

Dahnsdorf	Ökostar			Aron			Batis		
	20	100	1.000	20	100	1.000	20	100	1.000
Kontrolle	0,30	2,07	15,81	0,00	0,00	0,15	0,33	1,52	13,93
Heißwasser	0,33	0,30	0,37	0,00	0,00	0,00	0,37	0,85	0,41
Tillecur	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,07	0,00

Ahlum	Ökostar			Aron			Batis		
	20	100	1.000	20	100	1.000	20	100	1.000
Kontrolle	0,00	0,06	1,76	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,52
Heißwasser	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
Tillecur	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Frohburg	Ökostar			Aron			Batis		
	20	100	1.000	20	100	1.000	20	100	1.000
Kontrolle	0,00	0,00	0,92	0,00	0,00	0,02	0,03	0,25	1,75
Heißwasser	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,23	0,13
Tillecur	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,07

Bad Vilbel	Ökostar			Aron			Batis		
	20	100	1.000	20	100	1.000	20	100	1.000
Kontrolle	0,00	0,54	1,58	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Heißwasser	0,17	0,38	0,75	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Tillecur	0,04	0,00	0,00	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a.: wegen Auswinterung nicht auswertbar

Grüne Felder: Einhaltung des für die Saatgutenerkennung zulässigen Werts von 0,03 befallenen Ähren / m² (5 befallene Ähren / 150 m²)

Klimakammerversuche (Wiederholungsversuche)

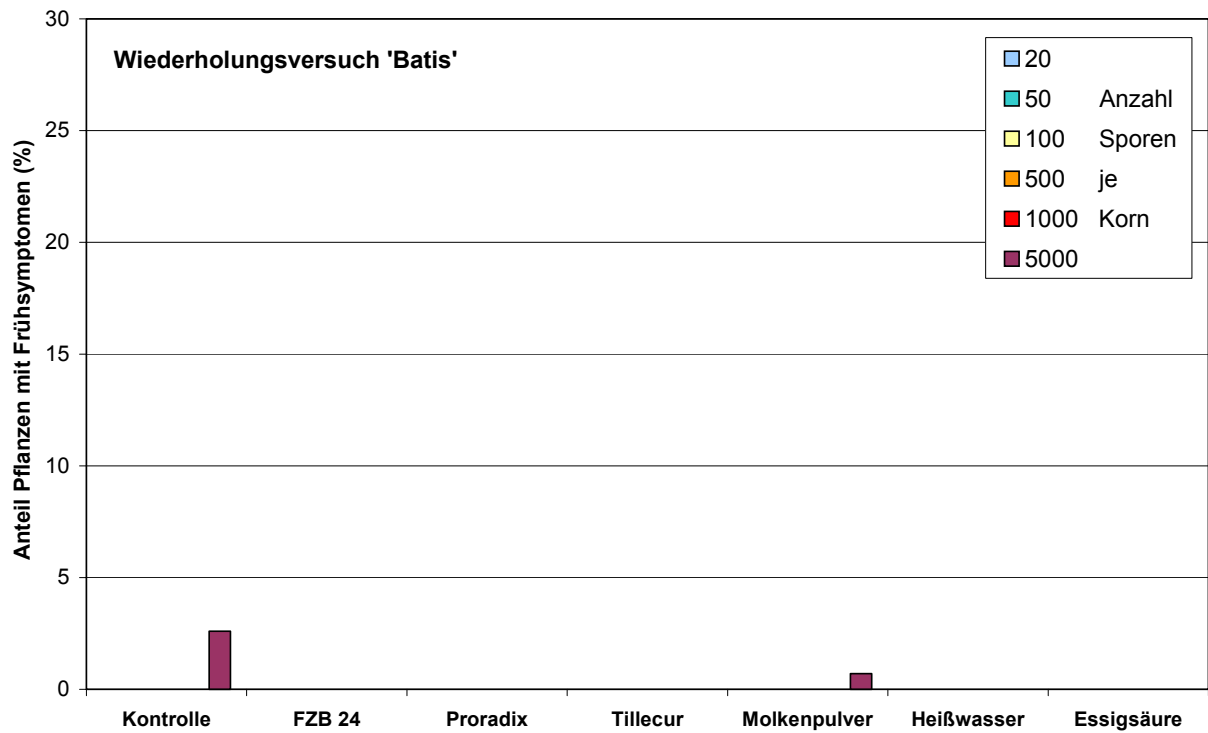


Abbildung A1: Blattfrühsymptome bei 'Batis' zu BBCH 14 in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung (Versuchsbeginn Juni 2003)

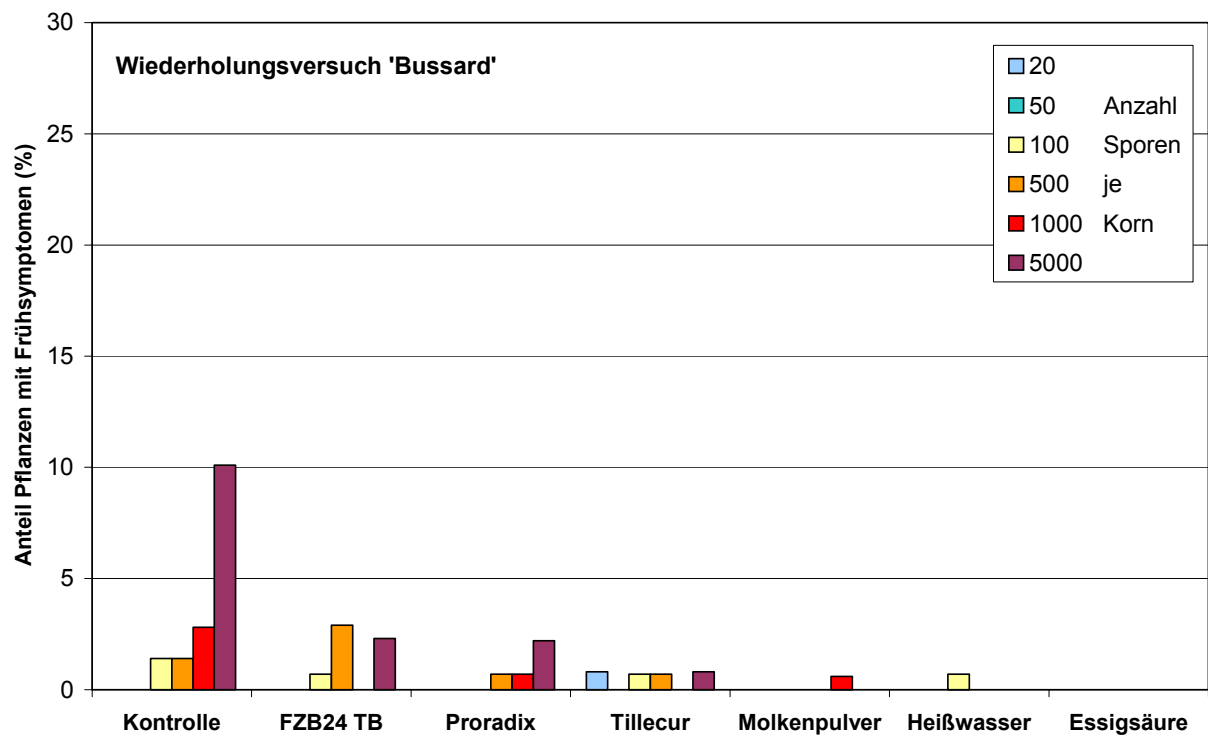


Abbildung A2: Blattfrühsymptome bei 'Bussard' zu BBCH 14 in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung (Versuchsbeginn Juli 2003)

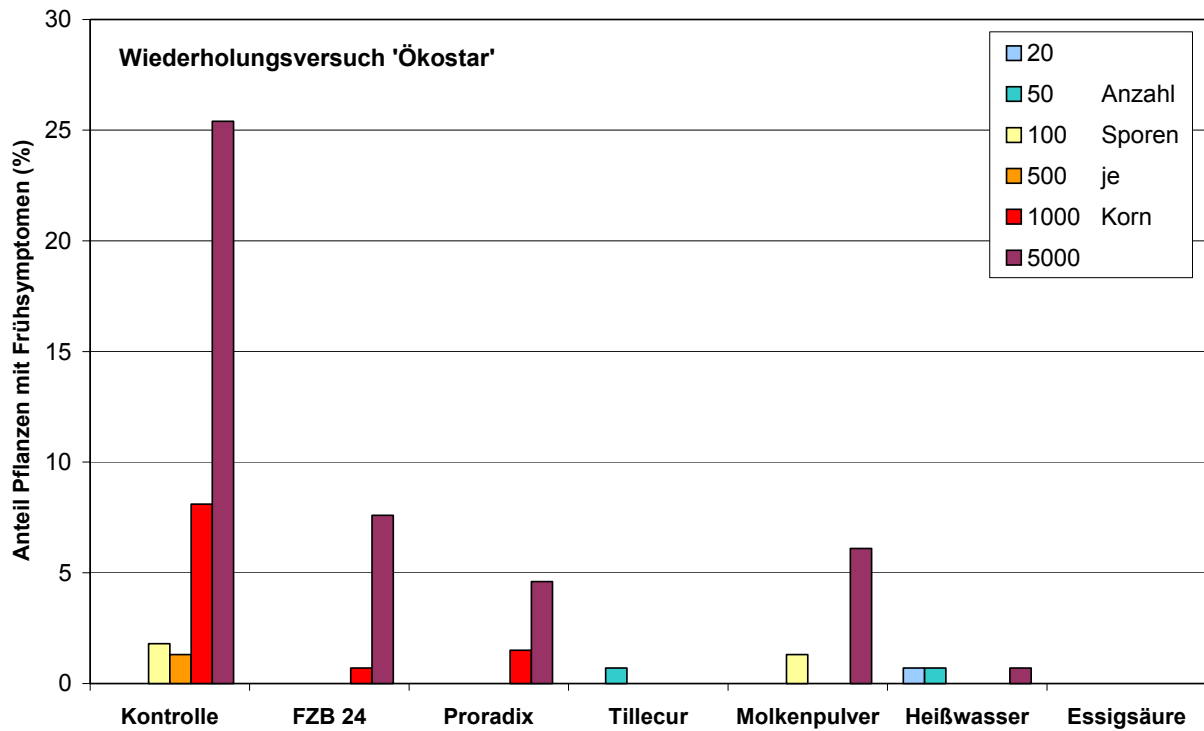


Abbildung A3: Blattfrühsymptome bei 'Ökostar' zu BBCH 14 in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung (Versuchsbeginn August 2003)

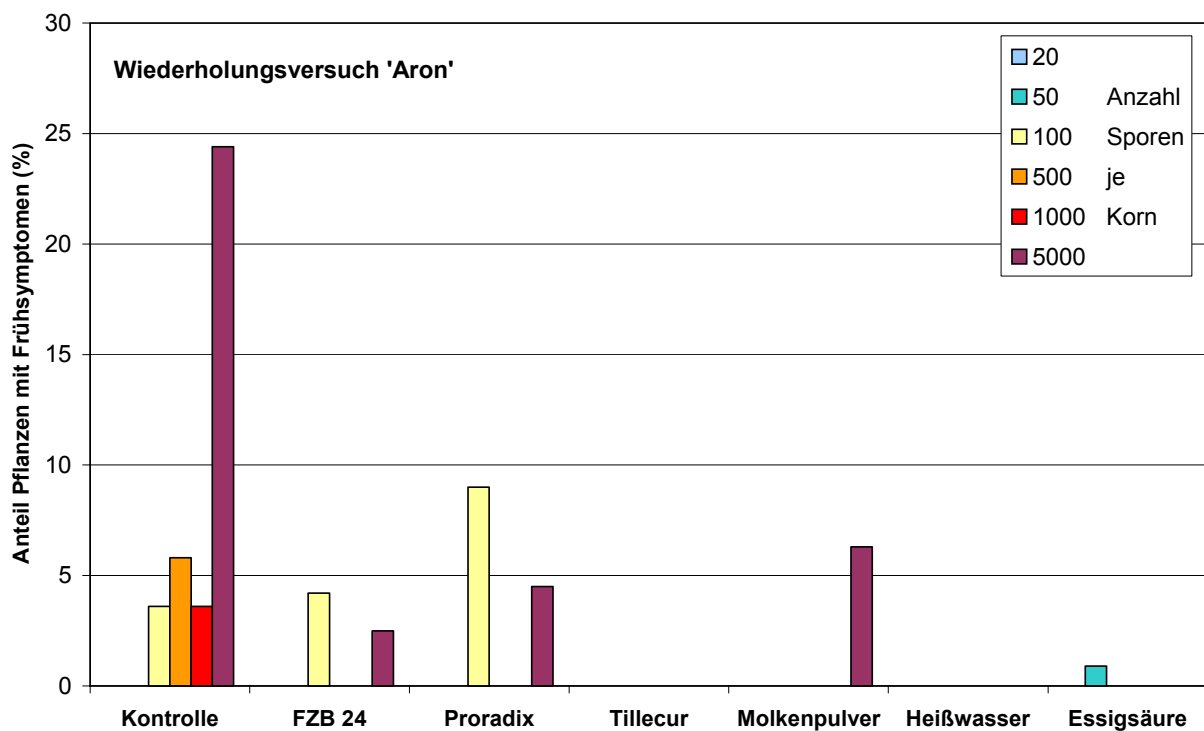


Abbildung A4: Blattfrühsymptome bei 'Aron' zu BBCH 14 in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung (Versuchsbeginn September 2003)

Ergänzung des Schlussberichts Bundesprogramm Ökologischer Landbau

Forschungsprojekt Nr. 02OE086

"Strategien zur Regulierung von Steinbrand im Weizen (*Tilletia caries*, *Tilletia controversa*) unter besonderer Berücksichtigung von Befallstoleranzgrenzen und direkten Bekämpfungsmaßnahmen"

durch die Ergebnisse der Feldversuche 2003 / 2004

Projektlaufzeit: 01.07.2002 - 31.12.2003

Berichtszeitraum: 01.10.2003 - 31.08.2004

Ausführende Stelle: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Institut für integrierten Pflanzenschutz
Stahnsdorfer Damm 81, D-14532 Kleinmachnow

Bearbeiter : Dr. F. Waldow, Dr. M. Jahn

Zusammenarbeit mit anderen Stellen:

Institut für Biologisch-Dynamische Forschung, Bad Vilbel, Dr. H. Spieß
Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland der BBA,
Braunschweig, Dr. S. Wohlleben
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, B. Pölitz
Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Münster, U. Furth
Landesanstalt für Pflanzenschutz, Stuttgart, Dr. W. Weng

1 Planung

Das Gesamtziel des Projektes war es, Erkenntnisse zu gewinnen, mit deren Anwendung ein möglichst vollständiger Schutz vor Steinbrandbefall an Weizen im ökologischen Anbau erreicht werden kann und damit Qualitäts- und Ertragseinbußen zu vermeiden sind. Im einzelnen wurden folgende Fragestellungen bearbeitet bzw. Ziele verfolgt:

- Ableitung und Festlegung von Befallstoleranzgrenzen für *Tilletia caries* unter Berücksichtigung von Standort, Sorte und Anbaubedingungen;
- Optimierung von Saatgutbehandlungsmaßnahmen in Abhängigkeit von der Befallssituation, das heißt von der Stärke der Infektion, der Resistenz der Sorte, den Standort- und Anbaubedingungen;
- Grundsätzliche Aussagen und Empfehlungen über Art und Umfang notwendiger Bekämpfungsmaßnahmen für die im ökologischen Landbau wichtigen Erreger von Brandkrankheiten; Auswahl des jeweils am besten geeigneten Verfahrens zur Unterdrückung der Pathogene
- Vollständiger Schutz vor Steinbrandbefall durch die Kombination aller geeigneten Maßnahmen

Auf Grund der komplexen Herangehensweise an die Thematik und der allgemeinen Erkenntnis, dass einjährige Feldversuche keine ausreichenden Aussagen liefern, wurde von vornherein ein zweites Feldversuchsjahr geplant, dessen Auswertung nach dem Ende der Projektlaufzeit liegen würde. Die Ergebnisse dieses zweiten Versuchsjahres und die entsprechenden Schlussfolgerungen sind im folgenden dargestellt.

2 Ablauf und Ergänzung zu Material und Methoden

Durchführung der Feldversuche mit *Tilletia caries* - infiziertem Saatgut

Die Versuche wurden wie im Versuchsjahr 2002 / 2003 an fünf Standorten als mehrfaktorielle zweistufige Spaltanlage mit vier Wiederholungen im Herbst 2003 in der Zeit zwischen dem 13. Oktober und dem 07. November angelegt. In gleicher Weise wie im Vorjahr musste wegen der generell begrenzten Kapazität in Feldversuchen die Zahl der Varianten auf drei Sorten, drei Inokulationsstufen und zwei Behandlungsvarianten (plus unbehandelte Kontrolle) beschränkt bleiben. Die Auswertung erfolgte in der Zeit zwischen Ende Juni und Anfang August 2004.

Die detaillierte Planung ist in den Abschnitten 1.1.1 bis 1.1.3 des Schlussberichts erläutert, Material und Methoden sind im Abschnitt 2.4 beschrieben.

Inokulation und Behandlung des Saatguts wurden wie im Vorjahr durchgeführt (Abschnitte 2.1 und 2.2 im Schlussbericht). Die Steinbrandsporen, die schon im Jahr zuvor aus den Brandbutten gewonnen worden waren, wurden zunächst auf ihre Keimfähigkeit getestet; sie konnten ohne Einschränkung weiter verwendet werden (KF 84 % auf Wasseragar bei 5°C). Die Saatgutuntersuchung ergab bei allen drei Sorten nur einen geringen Befall mit *Fusarium* spp. und *Septoria nodorum* und somit war keine krankheitsbedingte Beeinträchtigung des Feldaufgangs zu erwarten.

Die Aussaat erfolgte an vier Standorten (Dahnsdorf, Ahlum, Frohburg, Bad Vilbel) planmäßig Mitte Oktober. Der Aussaatzeitpunkt wurde aus zwei Gründen relativ spät gewählt. Zum einen war eine Verzögerung der Unkrautentwicklung vor dem Winter gewünscht, zum

anderen sollten gute Infektionsbedingungen für *T. caries* realisiert werden. Am Standort Münster konnte erst Anfang November ausgesät werden.

Anlage und Auswertung des Feldversuchs an einem mit *Tilletia controversa* verseuchten Standort

Die Versuchsdurchführung oblag der Landesanstalt für Pflanzenschutz Stuttgart.

Gegen den Erreger des Zwergsteinbrands, *Tilletia controversa*, wurde die Wirksamkeit von drei Saatgutbehandlungsvarianten – Tillecur sowie die biologischen Präparate FZB 24 WG (wasserdispergierbares Granulat) sowie Proradix – an den zwei Sorten Ökostar (wenig anfällig) und Bussard (anfällig) geprüft.

Der Versuch wurde am Standort Dornstadt (660 m über NN) als randomisierte Parzellenanlage in Horstsaat (6 Horste / m², vierfache Wiederholung) angelegt. Die Aussaat des behandelten Getreides erfolgte am 09.10.2003.

Die Infektion mit *Tilletia controversa* wurde vom Versuchsansteller durch zweimaliges Ausbringen einer Sporensuspension auf die Bodenoberfläche nach der Aussaat vorgenommen (je 1g Sporen in 0,08 l Wasser / m²). Die Auswertung des Befalls erfolgte im Juli 2004. Zur Auswertung wurden alle Ähren eines Horstes gezählt und der prozentuale Anteil der kranken Ähren bestimmt.

3 Ergebnisse

Befall mit *Tilletia caries*

Im Jahr 2004 war das Befallsniveau höher als im Jahr 2003. Bemerkenswert war auch, dass sich die Befallshäufigkeit an den mehr östlich gelegenen Standorten (Dahnsdorf / Brandenburg, Frohburg / Sachsen, Ahlum / Niedersachsen) deutlich von der an den im Westen gelegenen Standorten (Bad Vilbel / Hessen, Münster / Nordrhein-Westfalen) unterschied. Auswertungen bis zu einem Monat nach der Aussaat von Luft- und (wenn gemessen) Bodentemperaturen sowie Niederschlägen, die für eine Infektion relevant sind, wiesen für den Osten im Durchschnitt etwas kältere und trockenere Bedingungen aus.

Tabelle 1: Witterungsbedingungen an zwei Versuchsstandorten 14 Tage / einen Monat nach der Aussaat

	Ø Lufttemperatur	Ø Bodentemperatur	Σ Niederschlagsmenge
Frohburg / Sachsen	3,5 °C / 4,8 °C	7,2 °C / 6,8 °C	6,9 mm / 14,5 mm
Münster / NRW	7,0 °C / 7,5 °C	8,8 °C / 9,1 °C	14,5 mm / 22,1 mm

Am Standort **Dahnsdorf** wurden die Ergebnisse des Vorjahres relativ gut reproduziert (Abb. 1). Das Befallsniveau war jedoch in der Inokulationsstufe 1.000 Sporen / Korn bei 'Batis' und vor allem bei 'Aron' deutlich höher als 2003. Überraschend – und nur an diesem Standort – war die Sorte 'Ökostar' weniger befallen als 2003. In den Kontrollen waren die Unterschiede im Befall zwischen den Inokulationsstufen (bei 'Aron' nur zwischen 100 und 1.000 Sporen / Korn) bei allen Sorten signifikant, 'Batis' zeigte in der höchsten Stufe einen signifikant höheren Befall als 'Ökostar'. In den Tillecur-Varianten entwickelten sich fast durchgängig weniger Brandähren als nach Heißwasserbehandlung, die Unterschiede waren jedoch statistisch nicht zu sichern. Eine Wirkung der Behandlungen gegen Steinbrand war in der Regel vorhanden (Ausnahme: 20 Sporen / Korn mit Heißwasserbehandlung), jedoch erst ab einer Sporenmenge von 100, bei 'Aron' von 1.000 Sporen / Korn zur Kontrolle signifikant.

Auch am Standort **Frohburg** (Abb. 2) zeigte die Sorte 'Batis' den höchsten Befall. Der Befall bei allen drei Sorten unterschied sich in den Kontrollen nur in der höchsten Inokulationsstufe von dem der niedrigen Inokulationsstufen signifikant. Zwischen den Behandlungen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Wie am Standort Dahnsdorf war eine Wirkung der Behandlungen gegen Steinbrand meist vorhanden, jedoch erst bei 1.000 Sporen / Korn zur Kontrolle signifikant.

Am Standort **Ahlum** entsprach die Rangfolge der Sortenanfälligkeit ebenfalls der an den anderen Standorten. 'Aron' hatte hier von allen Standorten den geringsten Befall (Abb. 3). Auch hier unterschied sich der Befall bei allen Sorten nur in der höchsten Inokulationsstufe der Kontrollen signifikant von dem in den niedrigen Stufen. Auch die Wirkung der Behandlungen gegen Steinbrand entsprach der an den anderen Standorten. Erst bei 1.000 Sporen / Korn bestanden signifikante Unterschiede (Ausnahme: Tillecurbehandlung bei 'Batis' mit 100 Sporen / Korn) zur Kontrolle. Signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen bestanden, obwohl in den Heißwasservarianten fast immer mehr infizierte Ähren gezählt wurden, lediglich bei 'Batis' in der höchsten Inokulationsstufe.

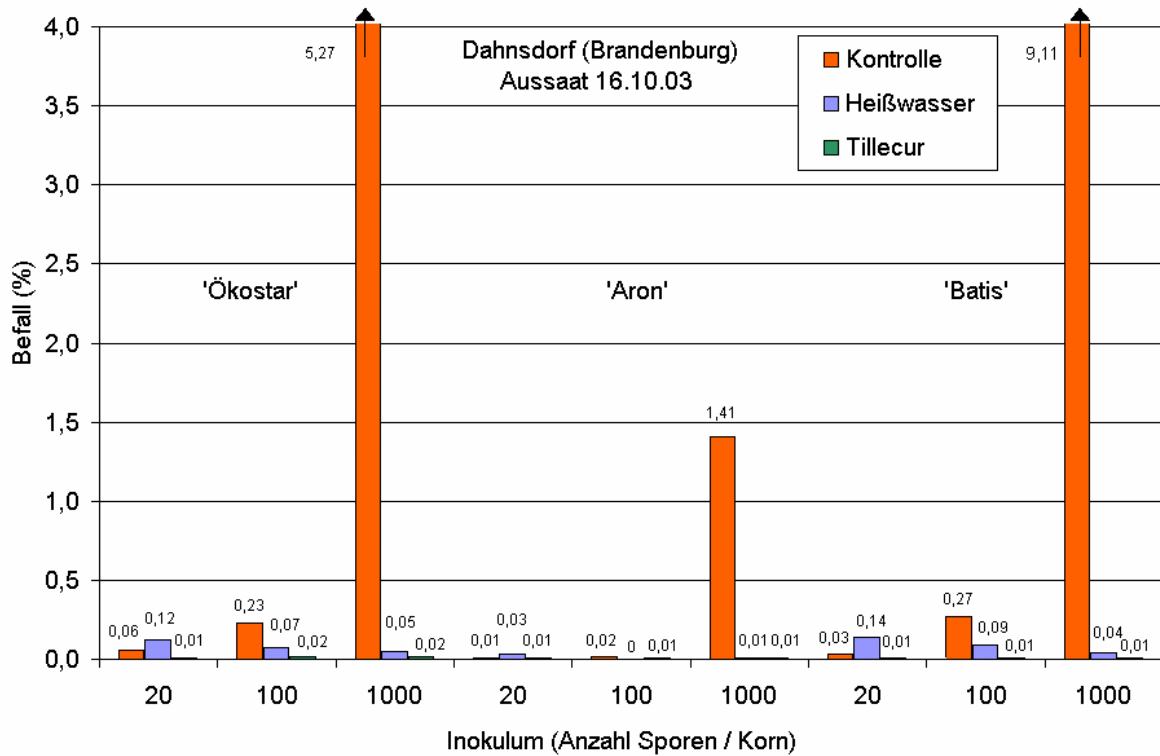


Abbildung 1: Steinbrandbefall an drei Winterweizensorten in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung am Versuchsstandort **Dahnsdorf**

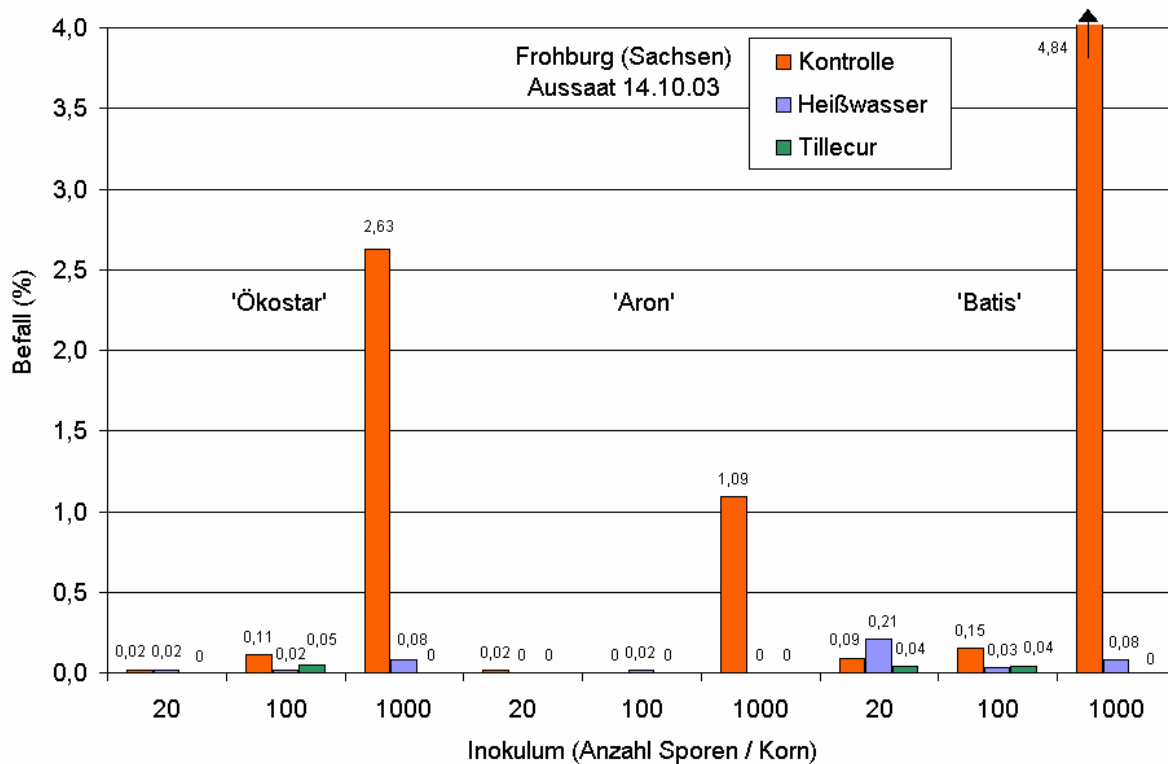


Abbildung 2: Steinbrandbefall an drei Winterweizensorten in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung am Versuchsstandort **Frohburg**

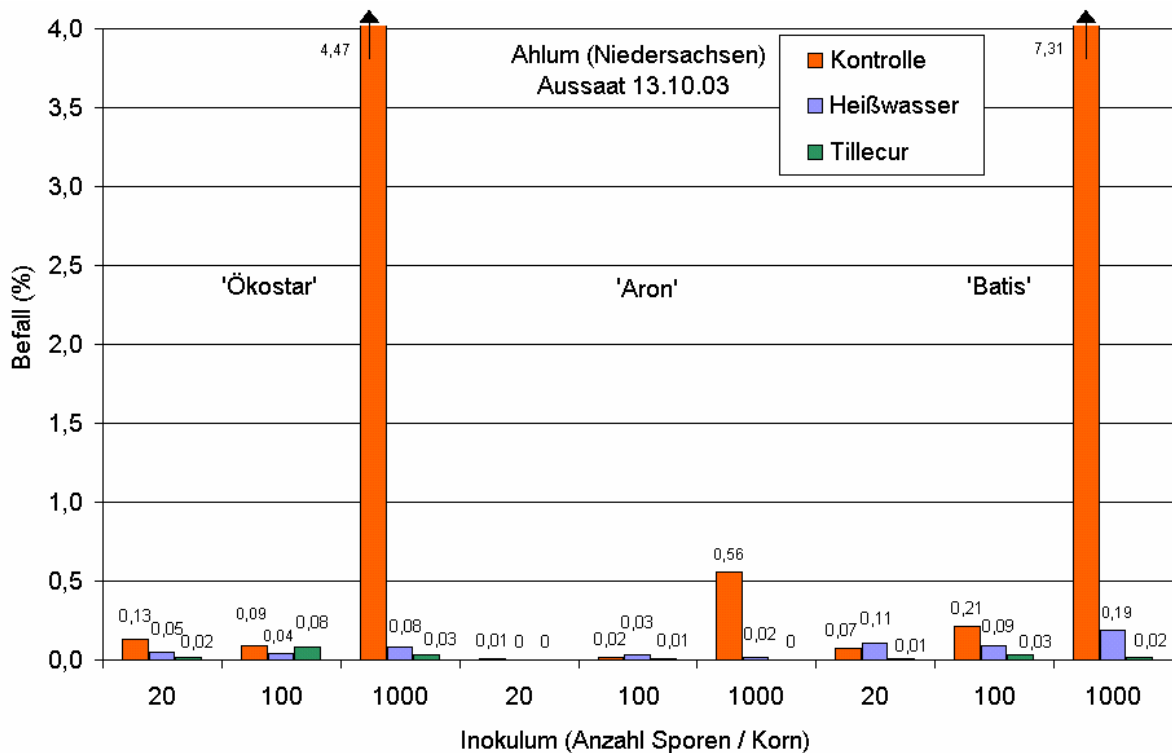


Abbildung 3: Steinbrandbefall an drei Winterweizensorten in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung am Versuchsstandort **Ahlum**

Am Standort **Bad Vilbel** unterschied sich das Befallsniveau der Kontrollen vor allem in den niedrigen Inokulationsstufen deutlich von dem an den östlichen Standorten. Bereits bei 20 Sporen / Korn wurde in allen Sorten deutlicher Befall ermittelt (Abb. 4). Bei 'Ökostar' und 'Batis' wurde mit 20 Sporen / Korn ein vergleichbar hoher Befall wie bei 'Aron' mit 1.000 Sporen / Korn hervorgerufen. Auffallend war die geringe Wirkung der Heißwasserbehandlung insbesondere in den niedrigen Inokulationsstufen. Erst bei 1.000 Sporen / Korn war eine jedoch unzureichende Wirkung vorhanden. Die Tillecurbehandlung verringerte den Befall im Vergleich zur Kontrolle signifikant und wirkte signifikant besser als die Heißwasserbehandlung, aber auch hier wurden deutlich mehr befallene Ähren gezählt als an den anderen Standorten; insgesamt war die Wirkung nicht ausreichend.

Auch am Standort **Münster** entsprach die Rangfolge der Sortenanfälligkeit der an allen anderen Standorten. Die an den anderen Standorten weitgehend einheitlichen Trends bezüglich der Inokulationsstufen und auch der Wirkung der Behandlungen zeigten sich hingegen nicht. Überraschend und nicht erklärbar war der Befall bei der Sorte 'Batis' in der niedrigsten Inokulationsstufe am höchsten (Abb. 5). In Münster zeigte nicht nur die Heißwasserbehandlung einen geringen Effekt, nach Tillecurbehandlung war die Zahl befallener Ähren in einem ähnlich hohen Bereich. Der Befall war in den Tillecur- und Heißwasservarianten bei der Sorte 'Aron' am geringsten, die Befallsreduktion war nur nach Tillecurbehandlung signifikant. Die Befallsreduktion insgesamt war unzureichend.

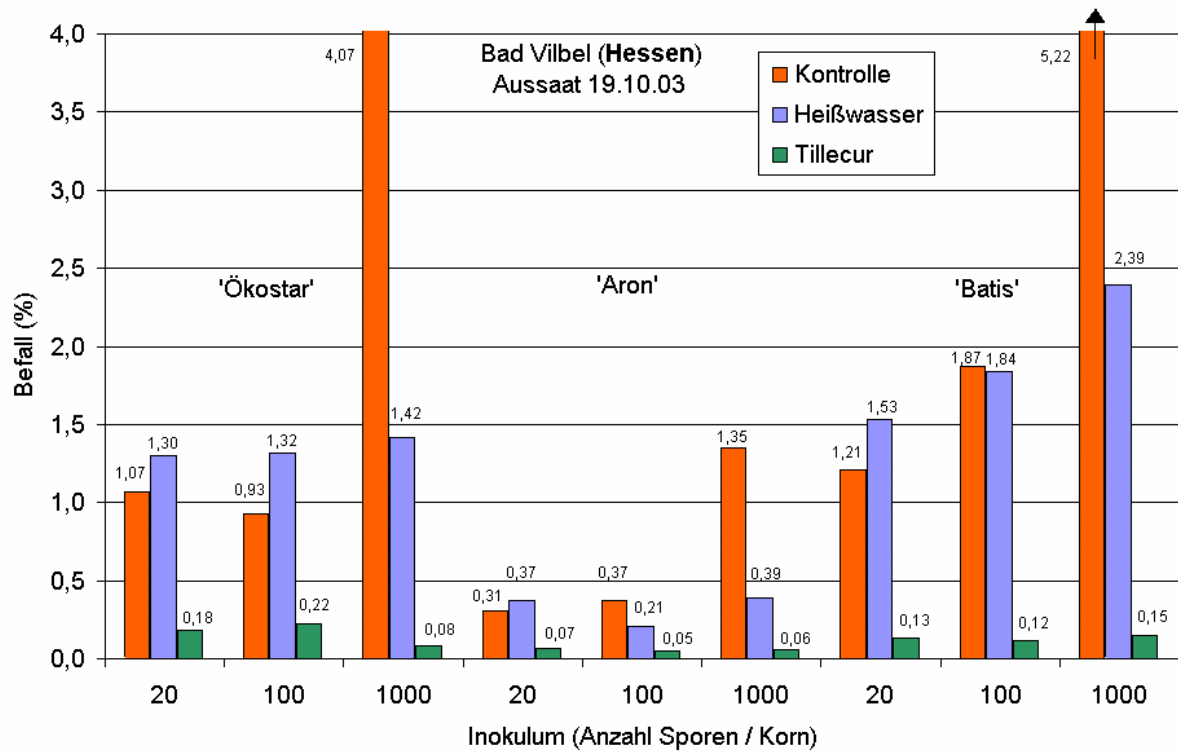


Abbildung 4: Steinbrandbefall an drei Winterweizensorten in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung am Versuchsstandort **Bad Vilbel**

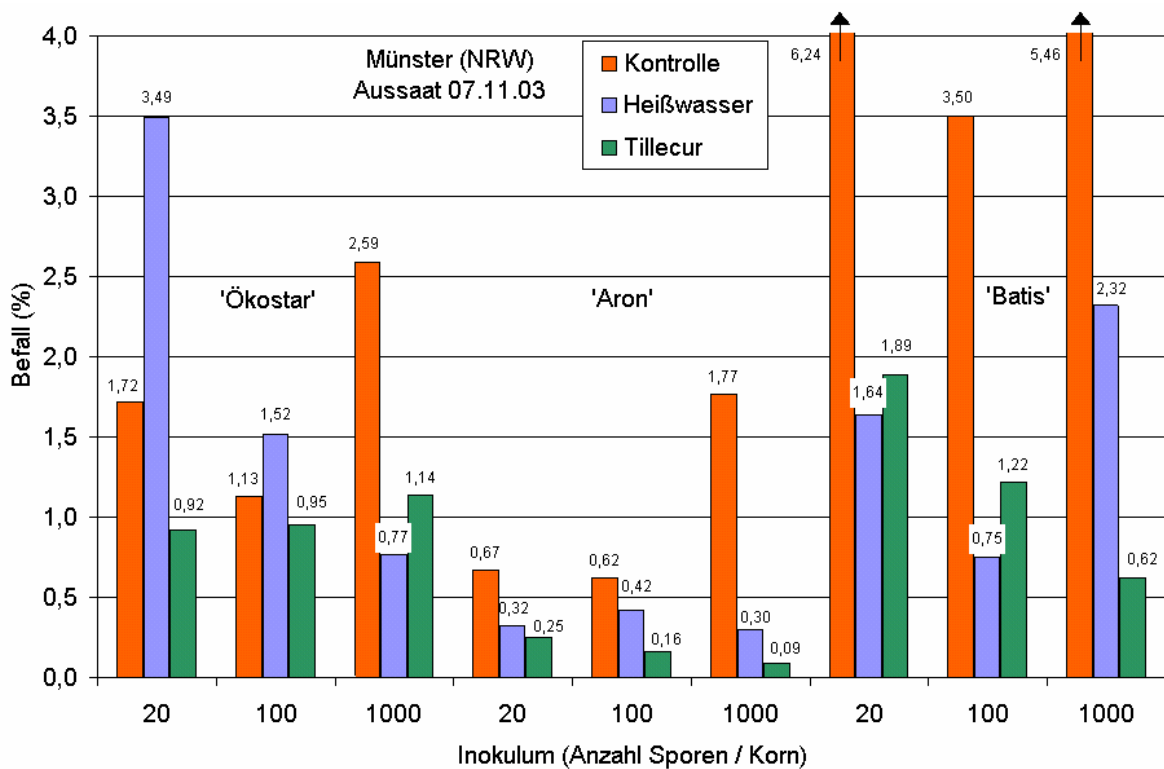


Abbildung 5: Steinbrandbefall an drei Winterweizensorten in Abhängigkeit von Inokulationsstufe und Behandlung am Versuchsstandort **Münster**

Zusammenfassende Bewertung der Feldversuchsergebnisse

Der Befall mit Steinbrand war insgesamt höher als im Jahr 2003. Er betrug in den Kontrollen 0,01 % (0,07 befallene Ähren / m²) bis 9,11 % (39,3 befallene Ähren / m²), und war an den östlich gelegenen Standorten (Brandenburg, Sachsen, Niedersachsen) in den niedrigen Inokulationsstufen geringer als an den westlichen (Hessen, Nordrhein-Westfalen). Die Ursache für diese Unterschiede ist nicht geklärt, jedoch sind die Witterungsbedingungen nach der Aussaat in der Regel der entscheidende Faktor.

Die Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen und den Sorten waren erneut deutlich sichtbar. Im Gegensatz zum ersten Versuchsjahr waren bei allen drei Sorten bereits bei 20 Sporen / Korn befallene Ähren vorhanden, 'Aron' hatte den niedrigsten Befall. Die 2002 zugelassene Sorte 'Ökostar' erwies sich in diesen Versuchen wiederum als anfällig für Steinbrand, war aber nicht so stark befallen wie 'Batis'.

In den tillecurbehandelten Varianten wurden wie im Vorjahr an den östlichen Standorten nahezu keine Brandähren nachgewiesen (maximaler Befall 0,08 % bzw. 0,38 befallene Ähren / m²). An den westlichen Standorten hingegen war ein Befall nach Tillecurbehandlung mit Werten zwischen 0,05 % (0,18 befallene Ähren / m²) und 1,89 % (8,22 befallene Ähren / m²) deutlich vorhanden.

Große Unterschiede zwischen den Standorten zeigten sich nach Heißwasserbehandlung, die teilweise eine erheblich geringere Wirkung als die Tillecurbehandlung hatte. An den östlichen Standorten lag der maximale Befall bei 0,21 % bzw. 0,94 befallene Ähren / m², war hier aber in keinem Fall signifikant höher als in den tillecurbehandelten Varianten. Im Gegensatz dazu betrug der Befall an den westlichen Standorten 0,21 % (0,71 befallene Ähren / m²) bis 3,49 % (12,79 befallene Ähren / m²). Unter offensichtlich sehr günstigen Infektionsbedingungen für den Pilz war die Wirkung der Heißwasserbehandlung im gewählten Parameterbereich (52 °C, 10 min) für eine Bekämpfung des Pilzes nicht ausreichend.

Beiz- oder ähnliche Fehler scheiden als Ursache für die festgestellten Befallsunterschiede aus, da Inokulation und Saatgutbehandlungen zentral (vom Projektnehmer) durchgeführt wurden und das Saatgut erst nach diesen Arbeitsvorgängen an die Versuchsansteller verschickt wurde. Auch bei der Auswertung sind Fehler weitgehend auszuschließen, da als befallen bonitierte Ähren abgeschnitten und durch Öffnen der Ährchen (Auffinden von Brandbutten) nachkontrolliert wurden. Wäre eine Verschleppung der Sporen bei der Aussaat der Grund für den hohen Befall in den behandelten Varianten, hätte dieses Problem an allen Versuchsstandorten auftreten müssen, da entsprechend den Randomisierungsplänen gering infizierte unmittelbar nach hoch infizierten Varianten ausgesät wurden.

In den diesjährigen Feldversuchen zeigte sich an den östlichen Standorten wie im ersten Jahr, dass die Wirkung eines Mittels bzw. einer Behandlung bei anfälligen Sorten bereits bei geringem Befall (niedrige Inokulationsstufen) vorhanden, jedoch statistisch nicht zu sichern ist. Ab einer höheren Sporenmenge (meistens die höchste Stufe '1.000 Sporen / Korn') war eine deutliche Wirkung sowohl bei den anfälligen Sorten als auch bei der mittelanfälligen Sorte vorhanden; die Unterschiede im Befall waren zwischen behandelten und unbehandelten Varianten signifikant. Mit einigen Einschränkungen lässt sich diese Aussage auch auf die beiden westlichen Standorte übertragen, an denen in diesem Jahr erstmals eine vollständige Auswertung möglich war. Auch hier waren Wirkungen zwar vorhanden, auf Grund des höheren Befallsniveaus aber nicht ausreichend.

Bei der Saatgutenerkennung (Z-Saatgut) sind maximal 5 steinbrandbefallene Ähren auf 150 m² zulässig, das entspricht 0,03 befallene Ähren / m². In diesem Jahr wurde in den gering infizierten, unbehandelten sowie behandelten Varianten dieser Wert nur in einigen Fällen (Dahnsdorf 1x, Ahlum 4x, Frohburg 9x) unterschritten, und zwar hauptsächlich von der mittelanfälligen Sorte 'Aron' und ausschließlich an den östlichen Standorten (siehe Anhang).

Vorläufige Schwellenwerte und damit Empfehlungen zur Behandlung von steinbrandbefallenem Weizen können auf der Grundlage dieser Ergebnisse sorten- und standortabhängig abgeleitet werden. Voraussetzung ist, dass die Resistenz einer Sorte bekannt ist. Insgesamt war der Sorteneffekt an allen Standorten eindeutig ausgeprägt. Die Behandlungen waren an den östlichen (weniger gefährdeten) Standorten wesentlich wirksamer als an den westlichen. In weiteren Untersuchungen muss geklärt werden, wann ein Standort als für Steinbrand gefährdet einzustufen ist.

Für die Saatguterzeugung ist auf Grund der Ergebnisse zu schlussfolgern, dass bei anfälligen Sorten bereits bei einer sehr geringen Belastung von 5-10 Sporen / Korn an allen Standorten eine Behandlung durchzuführen ist. An gefährdeten Standorten sollten bevorzugt tolerante oder mittelanfällige Sorten angebaut werden. Mittelanfällige Sorten sind dort ab 20 Sporen / Korn zu behandeln, an weniger gefährdeten Standorten ab 100 Sporen / Korn. Mit dem Pflanzenstärkungsmittel Tillecur steht ein wirksames Mittel zur Regulierung von Steinbrand zur Verfügung. Selbst wenn durch diese Maßnahmen keine vollständige Unterdrückung eines Befalls erreicht werden kann, wird eine Akkumulation der Pilzsporen vermieden. Bei einer hohen Sporenzahl je Korn ist jedoch auch mit diesem Mittel an gefährdeten Standorten keine ausreichende Wirkung zu erzielen.

Gefährdungspotenzial

Auch 2003 / 2004 wurde in den Feldversuchen an den östlichen Versuchsstandorten ein relativ niedriger Befall erzielt, eine Kontamination des Ernteguts war in geringem Ausmaß zu erwarten. Um das Gefährdungspotenzial des erzielten Befalls zu verdeutlichen, wurde erneut die theoretische Sporenbelastung ermittelt. Am Versuchsstandort Dahnsdorf wurden die befallenen Ähren abgeschnitten, die Sporen extrahiert und die Sporenmenge gewogen. Da durch die Inokulation bekannt war, mit welcher Sporenmenge je kg Getreide eine entsprechende Sporenanzahl / Korn erzeugt werden kann, konnte aus den gewonnenen Mengen die mögliche Kontamination abgeleitet werden (Tab. 2). Beispielsweise würde die geerntete Menge von 520 mg Sporen in der Variante 'Batis - Kontrolle - 30 Sporen / Korn' abzüglich eines angenommenen Ernteverlustes von 90 % beim Drusch (BORGEN 2003) ausreichen, um 50 kg Saatgut erneut mit 26 Sporen / Korn zu infizieren. Der Befall betrug in diesem Fall 0,03 % bzw. 0,22 befallene Ähren / m². Nach der Heißwasserbehandlung war in den Varianten der Inokulationsstufe '20 Sporen / Korn' die Anzahl auf fünf bis neun reduziert. Auch hier wurden beispielsweise aus den befallenen Ähren der Variante 'Batis - Heißwasser' 930 mg Sporen gewonnen, mit denen 50 kg Getreide mit 46 Sporen / Korn kontaminiert werden könnten. Durch die ungleichmäßige Verteilung während des Dreschvorgangs ist in der Praxis eher zu erwarten, dass eine kleinere Menge Saatgut mit einer höheren Anzahl Sporen kontaminiert wird.

Bemerkenswert ist, dass es bei der theoretisch zu erwartenden Sporenbelastung in der höchsten Inokulationsstufe der Kontrollen bei 'Aron' zu einer Halbierung der Zahl des Ausgangsinokulums kam (bezogen auf 50 kg Getreide), bei 'Ökostar' entsprach die Zahl dem Ausgangsinokulum und bei 'Batis' ergab sich eine Verdoppelung. In den niedrigeren

Inokulationsstufen der Kontrollen blieb das Niveau des Ausgangsbefalls in den anfälligeren Sorten erhalten, während es bei der mittelanfälligen zu einer Reduktion kam. Am deutlichsten war die Reduktion bei allen Sorten nach Tillecurbehandlung.

Tabelle 2: Am Standort Dahnsdorf geerntete Sporenmengen und Ableitung einer theoretisch möglichen Saatgutkontamination

Sorte	Behandlung	Inokulum IST (Anzahl Sporen / Korn)	Anzahl befallener Ähren ¹⁾	geerntete Sporenmenge (g) ¹⁾	theoretische Sporenbelastung (Sporen / Korn) von 50 kg Getreide ²⁾
'Ökostar'	Kontrolle	911	107	18,91	939
		101	9	1,25	62
		14	2	0,24	12
	Heißwasser	125	2	0,43	21
		26	3	0,51	25
		9	5	1,02	50
	Tillecur	742	1	0,08	4
		44	1	0,10	5
		23	1	0,09	4
'Aron'	Kontrolle	1.143	67	11,90	591
		86	1	0,20	10
		26	1	0,13	6
	Heißwasser	112	1	0,08	4
		18	0	0,00	0
		5	2	0,16	8
	Tillecur	497	1	0,08	4
		52	1	0,12	6
		33	1	0,01	1
'Batis'	Kontrolle	1.058	221	39,15	1.945
		89	12	2,28	113
		30	1	0,52	26
	Heißwasser	141	2	0,19	9
		18	4	0,79	39
		7	6	0,93	46
	Tillecur	714	1	0,10	5
		44	1	0,14	7
		23	1	0,18	9

¹⁾ auf der Boniturfläche, Mittelwert aus vier Wiederholungen

²⁾ nach Abzug von 90 % Verlust der Sporen bei der Ernte

Die Gefährdung ist abhängig vom Verwendungszweck des erzeugten Getreides. Sie ist besonders hoch bei der Erzeugung von Basis- und Z-Saatgut und sollte auch beim Nachbau von hofeigenem Saatgut nicht unterschätzt werden.

Bei der Verfütterung sollte ein Gehalt von maximal 0,06 % *T. caries* nicht überschritten werden (WESTERMANN et al. 1988). Dies entspricht ca. 6.000 Sporen / Korn und ist die sechsfache Menge der in den hier dargestellten Versuchen realisierten höchsten Inokulationsstufe. Bei dem erzielten Befall hätte folglich das Getreide als Futtermittel

verwendet werden dürfen. Für die Konsumweizenproduktion gibt es keine solchen Grenzwerte.

Nach Auskunft des Anbauverbandes Naturland e.V. (VOGT-KAUTE, mündliche Mitteilung) hatte die Ernte 2004 einen in dieser Höhe noch nie vorhandenen Befall mit Weizensteinbrand. In Süddeutschland hatten Weizenvermehrungen von 'Bioland' und 'Naturland' eine Aberkennungsrate von 30 bis 45 %, dies bedeutet mehr Aberkennungen infolge Steinbrand als in allen vorhergehenden Jahren zusammen. Das Ausgangssaatgut war in der Regel konventionelles Basis-Saatgut. Besondere Gefahr droht hier für nächstes Jahr, wenn Betriebe unkontrollierten Nachbau betreiben.

Befall mit *Tilletia controversa*

Die beiden angebauten Sorten, 'Ökostar' und 'Bussard', waren im Feldversuch mit einem Befall um 18 % in der Kontrolle gleich anfällig (Abb. 6). Dies entsprach nicht den Ergebnissen des Zwergsteinbrand-Sortenversuchs 2002/2003 (WÄCHTER 2003, unveröffentlicht), in dem sich 'Ökostar' als wenig anfällig und 'Bussard' als anfällig erwiesen. Im Ergebnis früherer Versuche wurde für Tillecur, das hier als Vergleichsmittel diente, eine Teilwirkung gegen Zwergsteinbrand beschrieben (Wirkungsgrad um 60 %, WENG 1998). auch diese Aussage konnte im Versuch nicht bestätigt werden. Die beiden mikrobiellen Pflanzenstärkungsmittel zeigten ebenfalls keinen befallsvermindernden Effekt.

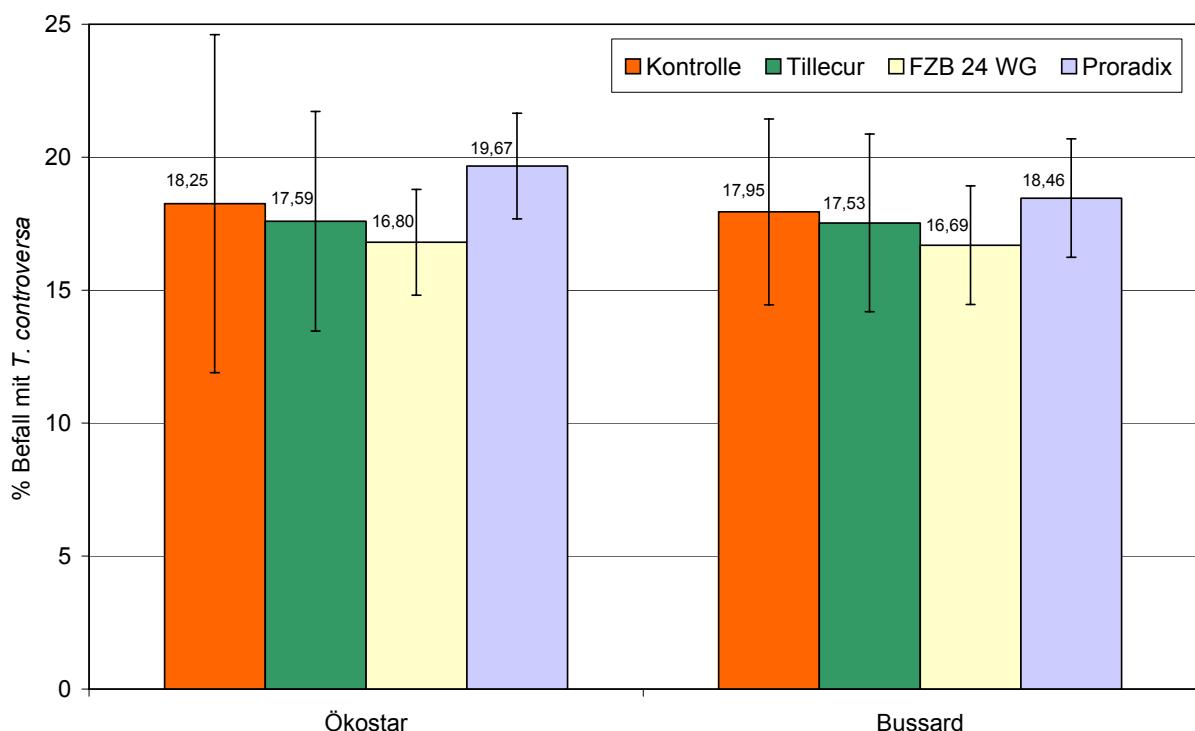


Abbildung 6: Zwergsteinbrandbefall an zwei Winterweizensorten in Abhängigkeit von der Behandlung

Die im Text zitierte Literatur ist bereits im Schlussbericht aufgeführt.

Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse für den ökologischen Landbau

Die Ergebnisse der Arbeiten haben gezeigt, dass die Befallsermittlung am Saatgut sowie die Kenntnis der Befallstoleranzgrenze einer Sorte, der Anbau weniger anfälliger Sorten und die Saatgutbehandlung als Maßnahmen, allein oder in Kombination, bei der Steinbrandregulierung zum Erfolg führen können. Im Feldversuch konnten sorten- und teilweise standortabhängige Schwellenwerte ermittelt sowie eine Behandlung als gut geeignet für eine wirksame Unterdrückung des Pathogens ausgewählt werden. Bei den Ergebnissen ist jedoch zu beachten, dass die Feldversuche, deren Ergebnisse den für die Aussagefähigkeit höchsten Stellenwert haben, an zwei der fünf Versuchsstandorte nur in einem Jahr vollständig ausgewertet werden konnten und an diesen Standorten von den in beiden Jahren auswertbaren Versuchen abweichende Resultate lieferten.

Die Arbeiten belegten ebenfalls, dass selbst ein geringer Befall mit Steinbrandsporen nicht unterschätzt werden darf, da er ohne Gegenmaßnahme ein zu beachtendes Gefährdungspotenzial birgt. Die Gefährdung ist abhängig vom Verwendungszweck des erzeugten Getreides, sie besteht in erster Linie für die Saatguterzeugung.

Mit den oben genannten Instrumenten steht dem ökologischen Landbau ein Maßnahmenbündel zur Verfügung. Grundvoraussetzungen für dessen optimale Nutzung sind die Kenntnis des Sporenbesatzes am Korn und der Anfälligkeit bzw. Resistenz der angebauten Sorte. Bei der Saatguterkennung ist eine generelle Ermittlung des Befalls notwendig; sie wird im Rahmen der für die ökologische Saatguterzeugung vorgesehenen - aber bisher nicht vorgeschriebenen - „Gesundheitsprüfung“ auch durchgeführt. Außerdem muss die Steinbrandanfälligkeit aller etablierten und neu zugelassenen, für den ökologischen Landbau geeigneten Sorten bekannt sein. Die zurzeit bevorzugt angebauten Sorten sind eher im höher anfälligen Bereich einzuordnen.

Gegen Zwergsteinbrand wirkte keines der getesteten drei Mittel, so dass hier aus den Ergebnissen dieses Projektes keine Empfehlung abgeleitet werden kann.

4 Zusammenfassung

Durch die Kombination von geeigneten Maßnahmen, wie Anbau wenig anfälliger Sorten, Nutzung von Befallstoleranzgrenzen und von alternativen Saatgutbehandlungsverfahren, soll ein möglichst vollständiger Schutz vor Steinbrandbefall an Weizen im ökologischen Anbau erzielt werden.

An unterschiedlich anfälligen Sorten ('Batis': hochanfällig, 'Aron': mittelanfällig, 'Ökostar': Anfälligkeit zu Projektbeginn unbekannt), mit gestaffelten Inokulummengen und zwei Saatgutbehandlungsvarianten (Heißwasserbehandlung, Gelbsenfmehl-Präparat Tillecur) wurden Untersuchungen durchgeführt. Die Inokulation des Saatgutes mit definierten Sporenmengen von *T. caries* (20, 100 und 1.000 Sporen / Korn) konnte sichergestellt werden, so dass die Feldversuche mit den vorgesehenen Inokulationsstufen angelegt werden konnten.

An fünf Standorten wurden Feldversuche angelegt. Der Befall betrug zwischen 0,01 % (0,07 befallene Ähren/m²) und 9,11 % (39,3 befallene Ähren/m²) in den Kontrollen und war in Abhängigkeit von der Witterung an den einzelnen Standorten unterschiedlich hoch. Östliche und westliche Standorte zeigten deutliche Unterschiede im Befall.

Die Unterschiede zwischen den Inokulationsstufen und den Sorten waren deutlich sichtbar. Bei allen Sorten waren zwar in der Infektionsstufe '20 Sporen / Korn' befallene Ähren vorhanden, die Sorte 'Aron' zeigte jedoch stets einen viel geringeren Befall als 'Ökostar' und 'Batis'. Die neu zugelassene Sorte 'Ökostar' erwies sich in diesen Versuchen als hoch anfällig für Steinbrand.

In den tillecurbehandelten Varianten waren an den **östlichen Standorten** nahezu keine Brandähren nachzuweisen (maximaler Befall 0,08 % bzw. 0,38 befallene Ähren / m²), die Heißwasserbehandlung zeigte eine etwas geringere Wirkung (maximaler Befall 0,21 % bzw. 0,94 befallene Ähren / m²).

An den **westlichen Standorten** war der Steinbrandbefall insgesamt höher; er betrug in den tillecurbehandelten Varianten maximal 1,89 % (8,22 befallene Ähren / m²) und maximal 3,49 % (12,79 befallene Ähren / m²) nach Heißwasserbehandlung, die teilweise eine erheblich geringere Wirkung als die Tillecurbehandlung zeigte.

Das Gefährdungspotenzial bereits eines niedrigen Befalls verdeutlicht folgende Kalkulation: Die theoretische Sporenbelastung ergab beispielsweise für die Variante 'Batis' - Kontrolle - 30 Sporen / Korn', dass die geerntete Sporenmenge von 520 mg - abzüglich eines angenommenen Sporenverlustes von 90 % beim Drusch - ausreichen würde, um 50 kg Saatgut erneut mit 26 Sporen / Korn zu infizieren.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass offensichtlich unterschiedlich stark für Steinbrand gefährdete Standorte existieren. Folgende vorläufige Schwellenwerte können formuliert werden: Auch bei einem geringen Befall von 5-10 Sporen / Korn müssen anfällige Sorten an allen Standorten behandelt werden. An gefährdeten Standorten sollten bevorzugt nur tolerante oder mittel anfällige Sorten angebaut werden. Mittel anfällige Sorten sind dort ab 20 Sporen / Korn zu behandeln, während an weniger gefährdeten Standorten ab ca. 100 Sporen / Korn eine Behandlung notwendig wird. Diese Aussagen bedürfen der weiteren Validierung.

5 Gegenüberstellung der geplanten und tatsächlich erreichten Ziele

Ableitung und Festlegung von Befallstoleranzgrenzen für *Tilletia caries* als Voraussetzung für die Vermeidung direkter Bekämpfungsmaßnahmen

- Bei der Ermittlung flexibler Schwellenwerte für Sorten mit unterschiedlicher Anfälligkeit konnte das geplante Ziel erreicht werden, d.h. nach zweijährigen Feldversuchen wurden Schwellenwerte abgeleitet.
- Für sichere Praxisempfehlungen zur Sortenwahl / Bekämpfungsschwelle / Behandlung muss bekannt sein, welchen Einfluss der Standort hat. Die Angabe standortbezogener Schwellenwerte ist bei der vorhandenen Datenbasis nicht hinreichend möglich, da die Feldversuche an zwei der fünf Standorte nur in einem Jahr ausgewertet werden konnten und gerade an diesen (westlichen) Standorten die Ergebnisse von denen der anderen (östlichen) Standorte abwichen.

Optimierung von Saatgutbehandlungsmaßnahmen in Abhängigkeit von der Befallssituation

- Für zwei Behandlungsvarianten ('Heißwasser' und 'Tillecur') wurde im Feldversuch an drei Sorten für drei Infektionsstärken die Wirksamkeit – abhängig vom Standort - nachgewiesen, d. h. im Falle der Notwendigkeit einer direkten Bekämpfung stehen geeignete Verfahren zur Verfügung.
- Nach bisherigem Kenntnisstand ist die Anwendung von Tillecur das wirksamste direkte Bekämpfungsverfahren. Bei der Heißwasserbehandlung muss die Wirksamkeit durch Modifikation der Behandlungsparameter verbessert werden.
- Gegen Zwergsteinbrand (*Tilletia controversa*) wurden zwei mikrobielle Pflanzenstärkungsmittel ('FZB 24' und 'Proradix') sowie 'Tillecur' im Feldversuch erprobt. Die eingesetzten Mittel hatten keinen Effekt auf den Befall.

Anhang

Tabelle A1: Anzahl befallene Ähren / m² in den Feldversuchen 2003-2004 (5 Standorte) in Abhängigkeit von Sorte, Inokulationsstufe und Behandlung

Dahnsdorf	Ökostar			Aron			Batis		
	20	100	1.000	20	100	1.000	20	100	1.000
Kontrolle	0,36	1,47	18,05	0,09	0,18	11,94	0,22	1,43	39,30
Heißwasser	0,89	0,49	0,36	0,27	0,00	0,09	1,07	0,62	0,31
Tillecur	0,09	0,13	0,13	0,04	0,09	0,04	0,09	0,09	0,09

Ahlum	Ökostar			Aron			Batis		
	20	100	1.000	20	100	1.000	20	100	1.000
Kontrolle	0,66	0,38	22,01	0,07	0,10	2,55	0,35	1,01	38,23
Heißwasser	0,24	0,17	0,35	0,00	0,14	0,07	0,52	0,45	1,05
Tillecur	0,10	0,38	0,17	0,00	0,03	0,00	0,07	0,14	0,07

Frohburg	Ökostar			Aron			Batis		
	20	100	1.000	20	100	1.000	20	100	1.000
Kontrolle	0,08	0,39	8,67	0,08	0,00	3,75	0,39	0,63	20,23
Heißwasser	0,08	0,08	0,23	0,00	0,08	0,00	0,94	0,16	0,39
Tillecur	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00

Bad Vilbel	Ökostar			Aron			Batis		
	20	100	1.000	20	100	1.000	20	100	1.000
Kontrolle	3,63	3,29	13,62	1,03	1,25	4,66	4,14	7,30	19,72
Heißwasser	4,36	4,52	5,00	1,34	0,71	1,30	5,71	6,95	9,09
Tillecur	0,58	0,72	0,25	0,23	0,18	0,18	0,48	0,40	0,52

Münster	Ökostar			Aron			Batis		
	20	100	1.000	20	100	1.000	20	100	1.000
Kontrolle	6,39	3,89	10,87	2,50	2,40	7,21	26,97	16,06	22,21
Heißwasser	12,79	4,33	3,27	1,20	1,59	1,11	7,16	2,93	9,18
Tillecur	2,50	2,21	4,47	0,91	0,63	0,38	8,22	5,00	2,64

Grüne Felder: Einhaltung des für die Saatgutenerkennung zulässigen Werts von 0,03 befallenen Ähren / m² (5 befallene Ähren /150 m²)