



Mitteilungen

aus der Biologischen Bundesanstalt
für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem

Die Elektronenbehandlung von Getreidesaatgut

- Zusammenfassende Wertung der Freilandergebnisse -
(S. 7 – S. 61)

Electron Treatment of Cereal Crop Seeds

- Overview and Appraisal of Field Trials –
(p. 66 – p. 128)

Marga Jahn
Olaf Röder
Jana Tigges

Berlin 2005

Herausgegeben von der
Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Berlin und Braunschweig

ISSN 0067-5849
ISBN 3-930037-20-3

399

Dr. Marga Jahn

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Institut für Integrierten Pflanzenschutz
Stahnsdorfer Damm 81
14532 Kleinmachnow
Tel.: 033203/48 324
E-Mail: m.jahn@bba.de

Dr. Olaf Röder

Fraunhofer-Institut
für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik
Winterbergstraße 28
01277 Dresden

Dr. Jana Tigges

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Institut für Integrierten Pflanzenschutz
Stahnsdorfer Damm 81
14532 Kleinmachnow

Unter Mitarbeit von:

- Prof. Dr. Ulrich Burth (a.D.)
- Christina Wagner, Biologische Bundesanstalt, Institut für Integrierten Pflanzenschutz, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow
- Dr. Franz Götz, Schmidt-Seeger AG, Eichstätter Straße 49, 92339 Beilngries
- Hans-Jürgen Schaller, Schmidt-Seeger AG, Eichstätter Straße 49, 92339 Beilngries

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist bei
Der Deutschen Bibliothek erhältlich

ISSN 0067-5849

ISBN 3-930037-20-3

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 2005

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photo-mechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben bei auch nur auszugsweiser Verwertung vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts-gesetzes.

Printed in Germany by Arno Brynda, Berlin.

Inhalt

Einleitung	5
Wissenschaftliche Grundlagen	5
Bedeutung samenbürtiger Schaderreger an Getreide	5
Zur Entwicklung der Saatgutbeizung	6
Physikalische Saatgutbehandlungsverfahren	6
Grundlagen der Elektronenbehandlung	9
Geschichte der Anwendung beschleunigter Elektronen zur Desinfektion und Sterilisation	9
Wirkung der Energiedosis und Anwendungen	9
Technologisches Prinzip der Elektronenbehandlung	10
Die Elektronenbehandlung von Saatgut	11
Technologie	11
Geschichte der technologischen Entwicklung	11
Die e-ventus [®] Technologie	12
Biologisch-landwirtschaftliche Versuche	14
Grundsätzliches zum Untersuchungsablauf	14
Grundsätzliches zur Versuchsmethodik	14
Pflanzenverträglichkeit	14
Wirkung	15
Datenerfassung und statistische Bearbeitung	15
Nachweis der Pflanzenverträglichkeit	16
Winterweizen	16
Untersuchungszeitraum 1986 – 1991 („ELBA“)	16
Parzellenversuche	17
Kontrollierte Anbauvergleiche	18
Fazit	18
Untersuchungszeitraum 1995 – 2000 („WESENITZ 1“)	19
Parzellenversuche	20
Kontrollierte Anbauvergleiche	21
Fazit	21

Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 („WESENITZ 2“)	22
Parzellenversuche	23
Ringversuch 2003/2004	24
Kontrollierte Anbauvergleiche	25
Sortenvergleich	25
Fazit	25
Winterroggen	26
Untersuchungszeiträume 1986 – 1991 („ELBA“) und 1995 – 2000 („WESENITZ 1“)	26
Parzellenversuche	27
Kontrollierte Anbauvergleiche	28
Fazit	28
Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 („WESENITZ 2“)	29
Parzellenversuche	29
Ringversuch 2003/2004	31
Fazit	31
Wintergerste	31
Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 („WESENITZ 2“)	32
Parzellenversuche	32
Ringversuch 2003/2004	33
Fazit	34
Wirkung gegen samenbürtige Schaderreger an Getreide	35
<i>Tilletia caries</i> an Winterweizen	35
Untersuchungszeiträume 1986 – 1991 („ELBA“) und 1995 – 2000 („WESENITZ 1“)	35
Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 („WESENITZ 2“)	37
Fazit	40
<i>Urocystis occulta</i> an Winterroggen	41
<i>Drechslera graminea</i> an Gerste	41
Untersuchungszeitraum 1986 – 1991	41
Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 („WESENITZ 2“)	42
Fazit	42
Wirkung gegen Auflaufschaderreger	43
<i>Septoria nodorum</i> an Winterweizen	43
Untersuchungszeiträume 1986 – 1991 („ELBA“) und 1995 – 2000 („WESENITZ 1“)	43
Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 (WESENITZ 2)	45
Fazit	45

<i>Fusarium</i> spp. und <i>Microdochium nivale</i> an Winterweizen und Winterroggen	46
Untersuchungszeiträume 1986 – 1991 („ELBA“) und 1995 – 2000 („WESENITZ 1“)	46
Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 („WESENITZ 2“)	49
Fazit	52
Untersuchung zum Nachbau	53
Fazit	54
Zusammenfassende Bewertung des Verfahrens	55
Wirkung gegen pilzliche Schaderreger (Tabelle 22)	56
<i>Tilletia caries</i> an Winterweizen	56
Auflaufschaderreger an Winterweizen und Winterroggen	56
Praxisrelevanz	57
Literatur	58
Dank	59
Liste der Versuchsansteller	122
Erklärung der Abkürzungen der Namen der Bundesländer	126
Tafeln	61

Einleitung

Weltweit erfolgt die Vermehrung von etwa 90 % der Pflanzen, die der menschlichen Ernährung dienen, über das Saatgut. Mit dem Saatgut wird jedoch nicht nur das genetische Material weitergegeben, sondern es werden auch wirtschaftlich bedeutende Schadorganismen übertragen.

Die Bekämpfung saattgutbürtiger Pathogene erfolgt bisher im Wesentlichen durch chemische Beizung. Generell sind mit dem Einsatz chemischer Wirkstoffe Risiken verbunden. Besonders gefährdet sind die Anwender der Pflanzenschutzmittel selbst, da durch perkutane oder respiratorische Aufnahme Vergiftungen möglich sind.

Alternative Maßnahmen zum chemischen Pflanzenschutz gewinnen aus mehrfacher Sicht zunehmend an Bedeutung. Handlungsgrundlage ist das Pflanzenschutzgesetz in der novellierten Fassung vom 14. Mai 1998. Bei der Durchführung des Pflanzenschutzes ist gemäß den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes zu verfahren, das heißt, bei vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen ist die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das notwendige Maß zu beschränken. Dieses Ziel hat auch das „Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz“ des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), mit dem das notwendige Maß der Pflanzenschutzmittelanwendung bestimmt und Mengenbegrenzungen festgelegt werden sollen. Ein weiterer Schwerpunkt ist der Ökologische Landbau, in dem die Anwendung chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel grundsätzlich nicht erlaubt ist.

In den letzten zwei Jahrzehnten wurde ein physikalisches Verfahren zur Bekämpfung samenbürtiger mikrobiologischer Schaderreger entwickelt, bei dem die biozide Wirkung niederenergetischer Elektronen genutzt wird (BURTH et al. 1991; LINDNER 1992; TIGGES 2003). Diese Technologie der Elektronenbehandlung hat sich in den letzten Jahren unter dem Namen e-ventus[®] etabliert.

Die Ergebnisse zur Pflanzenverträglichkeit und zur Wirkung gegen samenbürtige Schaderreger werden im Folgenden in Anlehnung an die Etappen der technischen Entwicklung des Verfahrens demonstriert. Pflanzenverträglichkeit und Wirkung der Behandlung von Winterweizen stehen im Mittelpunkt.

Ziel dieser Arbeit ist es, mit einem zusammenfassenden Überblick die Ergebnisse, die über viele Jahre hinweg in Feldversuchen an zahlreichen Standorten von unterschiedlichen Versuchsanstellern mit dem Verfahren der Elektronenbehandlung erzielt wurden, einer Bewertung zu unterziehen.

Wissenschaftliche Grundlagen

Bedeutung samenbürtiger Schaderreger an Getreide

Der Prüfung des Saatgutgesundheitszustandes wurde im Vergleich zu Qualitätsmerkmalen wie Reinheit, Besatz und Keimfähigkeit lange eine untergeordnete Rolle beigemessen, obwohl NOBBE bereits 1876 im „Handbuch der Samenkunde“ auf die Schädigung des Saatgutes durch Pilze und Insekten hinwies. Als Ursache werden die frühe Einführung von Beizmitteln, die Resistenzzüchtung und ein hoher Untersuchungsaufwand genannt (FUCHS und MOSCH 1994). Das Saatgutverkehrsgesetz schreibt keine gesonderten Befallsprüfungen am Saatgut vor. Spezielle Untersuchungen erfolgen lediglich, wenn sich im Rahmen der Beschaffenheitsprüfung der Verdacht eines Befalls ergibt. Saatgutproben werden nur in Stichproben auf ihren Gesundheitszustand untersucht.

Aus der Sicht der Saatgutgesundheit sind die ausschließlich samenbürtigen Krankheiten am wichtigsten. Zu diesen gehören Brandkrankheiten (*Tilletia caries*, *Ustilago* spp., *Urocystis occulta*) und die Streifenkrankheit der Gerste (*Drechslera graminea*). Diese Krankheitserreger besitzen während der gesamten Vegetationsperiode des Getreides nur einen Generationswechsel. Sie infizieren die Pflanze vom Korn aus und wachsen dann zunächst meist symptomlos in ihr. Ihre direkte Bekämpfung ist nur durch eine Saatgutbehandlung möglich.

Im Unterschied zu den ausschließlich samenbürtigen Pathogenen ist eine Reihe weiterer wichtiger Pathogene in der Lage, neben der Infektion des Saatgutes die Pflanzen auch durch Konidienbildung während der gesamten Vegetationszeit zu infizieren. Zu diesen gehören *Fusarium* spp., *Microdochium nivale*, *Septoria nodorum* und weitere *Drechslera*-Arten. Diese Pathogene können als Auflauf-

schaderreger den Feldaufgang bei entsprechenden Bedingungen erheblich reduzieren. Eine Saatgutbehandlung richtet sich bei diesen Pathogenen vor allem auf die Sicherung der Keim- und Auflaufphase sowie die Verringerung des Primärinfektionspotentials für Blatt- und Ährenkrankheiten.

Zur Entwicklung der Saatgutbeizung

Die Saatgutbehandlung ist eine der ältesten Pflanzenschutzmaßnahmen. Bereits im Altertum wurde versucht, mit verschiedenen „natürlichen“ Mitteln, u.a. Pflanzenextrakten und Salzen, gegen Krankheiten am Saatgut vorzugehen. Nachweislich begann in Europa die Geschichte der Getreidesaatgutbehandlung im 17. Jahrhundert in England mit der Salzwasserbehandlung von Weizen gegen Steinbrand. In der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts kamen Arsen, Kupfervitriol und quecksilberhaltige Verbindungen erfolgreich zur Anwendung. Bereits 1786 wurde das Vermahlen und Verfüttern gebeizten Getreides verboten, da insbesondere die breitere Anwendung von Arsen zu Vergiftungserscheinungen bei Mensch und Tier führte. Das völlige Verbot von Arsen erfolgte 1808. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts lösten Kochsalz, Alaun, Kalkmilch und Salpeter die hochtoxischen Beizmittel ab. Ab 1810 setzte sich die Beizung mit Kupfersulfat gegen Weizensteinbrand zunehmend durch (ANONYM 1999).

Die Voraussetzungen für eine routinemäßige chemische Beizung wurden 1914 mit der Einführung von „Uspulun[®]“, dem ersten Organo-Quecksilberpräparat, als Universalbeizmittel gegen Steinbrand an Weizen und Schneeschimmel an Roggen (DUBEN et al. 1988), geschaffen. Quecksilberhaltige Beizmittel waren gegen nahezu alle wichtigen Saatgutpathogene sehr gut wirksam, lediglich die Flugbrände an Gerste und Weizen wurden nicht erfasst. In den 1960er Jahren begann mit dem systemischen Wirkstoff Carboxin die Ära der modernen chemischen Beizmittel. Die Heißwasserbehandlung gegen Flugbrand an Weizen und Gerste konnte mit diesem Wirkstoff abgelöst werden.

1982 wurden in der Bundesrepublik Deutschland aus Gründen des Anwender- und Umweltschutzes quecksilberhaltige Beizmittel und 1990 Trockenbeizmittel verboten.

Gegenwärtig werden hauptsächlich chemische Beizmittel auf der Basis organischer Wirkstoffe mit selektiver und systemischer Wirkung gegen die wichtigen samenbürtigen Pathogene angewendet. Mit der Kombination mehrerer Wirkstoffe wird ein breites Wirkungsspektrum erreicht.

Die chemische Beizung ist eine sehr effektive Pflanzenschutzmaßnahme. Es sind jedoch zwei nachteilige Aspekte zu bedenken. Zum einen ist bei wiederholter Anwendung von Präparaten gleicher Wirkstoffgruppen während einer Vegetationsperiode die Gefahr der Entwicklung resistenter Schaderregerpopulationen gegen einzelne Wirkstoffe zu beachten. Zum anderen bestehen auch hier die prinzipiellen Bedenken gegen die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel, d. h. den Stoffeintrag in den Naturhaushalt mit möglicherweise ökologischen Konsequenzen. Die Menge angewendeter Beizmittel in Getreidekulturen und Mais betrug im Jahr 2002 weltweit ca. 135.000 t, davon in Europa 60.000 t, in Deutschland 2.500 t.

Außerdem muss der Anfall von aufwändig zu recycelnden Verpackungsmaterialien sowie nicht gedrilltem, beizmittelkontaminiertem Restsaatgut in die Bewertung einbezogen werden.

Physikalische Saatgutbehandlungsverfahren

Verschiedene physikalische Behandlungsmethoden ermöglichen es, Schaderreger am und im Saatgut unselektiv zu eliminieren. Derartige Verfahren eignen sich daher zur Bekämpfung wichtiger Schaderregergruppen, so von Bakterien, Viren, Pilzen und Insekten. Stets setzt ihre Anwendung die Optimierung der entsprechenden Behandlungsparameter, z. B. Temperatur, Behandlungszeit und Energiedosis, voraus. Da der biozide, für die Pflanzenentwicklung aber verträgliche Parameterbereich meist sehr eng begrenzt ist, sind Keimfähigkeits- und Triebkraftverluste nur bei sehr exakt durchgeführter Behandlung zu vermeiden. Vorteile dieser Verfahren sind die unspezifische breite Wirksamkeit, die geringe bzw. keine Umweltbelastung und die Rückstandsfreiheit und damit weitere Verwendbarkeit auch von behandelten Partien, die letztlich nicht als Saatgut dienen. Nachteile sind der oft mit hohen Kosten verbundene technische und energetische Aufwand, die häufig bis hin zur Sorte notwendige Optimierung der Behandlungsparameter und die in Grad und Sicherheit nicht immer mit der chemischen Beizung vergleichbare Wirkung.

Klassische thermische Verfahren

Am ältesten und bekanntesten sind Verfahren der Thermotheapie, insbesondere die Heißwasserbehandlung. Wasser ist bei einer Wärmebehandlung durch die höhere Wärmekapazität und die bessere Wärmeübertragung als Medium wesentlich besser geeignet als Luft. Bis in die 1960er Jahre war dieses Verfahren die Standardmethode zur Bekämpfung der Flugbranderreger an Gerste (*Ustilago nuda*) und Weizen (*U. tritici*) (MARTIN 1967).

Der Heißwasserbehandlung vergleichbar ist die Warmwasserbehandlung, die sich hauptsächlich in den Parametern Zeit und Temperatur von ersterer unterscheidet. (Die Termini „Warmwasser“ und „Heißwasser“ sind nicht definiert.) WINTER et al. (1994, 1997) erzielten gegen Stein- und Flugbrand sowie saatgutübertragbare Keimlings- und Auflaufkrankheiten an Weizen und Roggen sowohl mit einer Warmwasser- (45 °C, 2 h) als auch mit der Heißwasserbehandlung (52 °C, 10 min) eine ausreichende bis sehr gute Wirkung. Das Problem bei diesen Verfahren besteht darin, dass bisher keine wirtschaftlichen Lösungen für die Rücktrocknung in Großanlagen zur Verfügung stehen (BÄNZIGER et al. 1999). In jüngster Zeit wurde in Schweden ein Verfahren unter Verwendung von heißer, feuchter Luft zur Praxisreife entwickelt, bei dem Temperatur, Behandlungszeit und relative Luftfeuchtigkeit unter Nutzung von Sensor- und Computertechnologie kontrolliert werden. Die Rücktrocknung des Saatgutes ist nicht mehr erforderlich (FORSBERG et al. 2002).

Elektromagnetische Verfahren

Die Verfahren unter Nutzung elektromagnetischer Wellen können in zwei Gruppen eingeteilt werden:

- Verfahren, die die erzeugte Wärme nutzen
- Verfahren, die den ionisierenden Effekt nutzen

Zur ersten Gruppe gehört die Mikrowellenbehandlung. Das Saatgut wird im Strahlungsfeld eines Mikrowellenerzeugers eine definierte Zeit exponiert. Das Produkt erwärmt sich dabei durch die Wechselwirkung mit dem Strahlungsfeld. Dabei ist die Temperatur auf einem bestimmten, möglichst konstanten Wert zu halten. Dies stellt in der Praxis hohe Anforderungen an die Prozessregelung und die Produktführung. Das Verfahren wurde in den letzten Jahren im Labormaßstab entwickelt und die Eignung für die Saatgutdesinfektion an einigen Pathogenen nachgewiesen (von HÖRSTEN et al. 1994). Diese Entwicklung wurde bisher noch nicht zur Praxisreife geführt.

Die zweite Gruppe der elektromagnetischen Verfahren nutzt den ionisierenden Effekt elektromagnetischer Wellen im kurzwelligen Bereich <100 nm. Dieser Wellenlängenbereich beginnt unterhalb des sichtbaren Spektrums im UV-Bereich. Abbildung 1 zeigt die Einteilung elektromagnetischer Wellen in Abhängigkeit von der Wellenlänge und der Frequenz.

Für die Behandlung von Saatgut kommen nur UV-Strahlung und niederenergetische Elektronen in Frage. Andere Strahlungsarten sind ungeeignet, da sie das Saatgut vollständig durchstrahlen.

UV-Strahlung hat den Nachteil, dass die Photonen nicht in das Produkt eindringen können. Ihr biozider Effekt ist daher auf die Oberfläche begrenzt. Beschleunigte Elektronen hingegen besitzen ausreichende Energie, um in das Produkt einzudringen. Durch Steuerung der Energie der Elektronen kann deren Eindringtiefe exakt eingestellt werden. Im Unterschied zur UV-Strahlung (Photonenstrahlung) haben beschleunigte Elektronen Teilchen- und Wellencharakter. Ihre Ausbreitung kann daher gezielt in eine Richtung gesteuert werden (PETZOLD und KRIEGER 1988).

Ionisierende Strahlung wirkt verzögert in mehreren Phasen auf biologische Objekte. In der Primärphase, der physikalischen Phase, werden durch Energieübertragung Moleküle angeregt bzw. ionisiert. Diese Primärprodukte sind sehr instabil und reagieren spontan oder bei Stößen mit ihrer Umgebung sofort weiter. Dabei entstehen in der zweiten Phase, der physiko-chemischen Phase, reaktionsfähige Produkte in Form freier Atome und Radikale. In der folgenden chemischen Phase verändern sich die Makromoleküle der Zelle, funktionelle Gruppen werden abgespalten. Durch das Auflösen von Wasserstoffbrücken verändert sich die räumliche Struktur. Die anschließende biochemische Phase führt über irreversible Eingriffe in den Stoffwechsel zum Zelltod in der letzten, der biologischen Phase (DERTINGER und JUNG 1969).

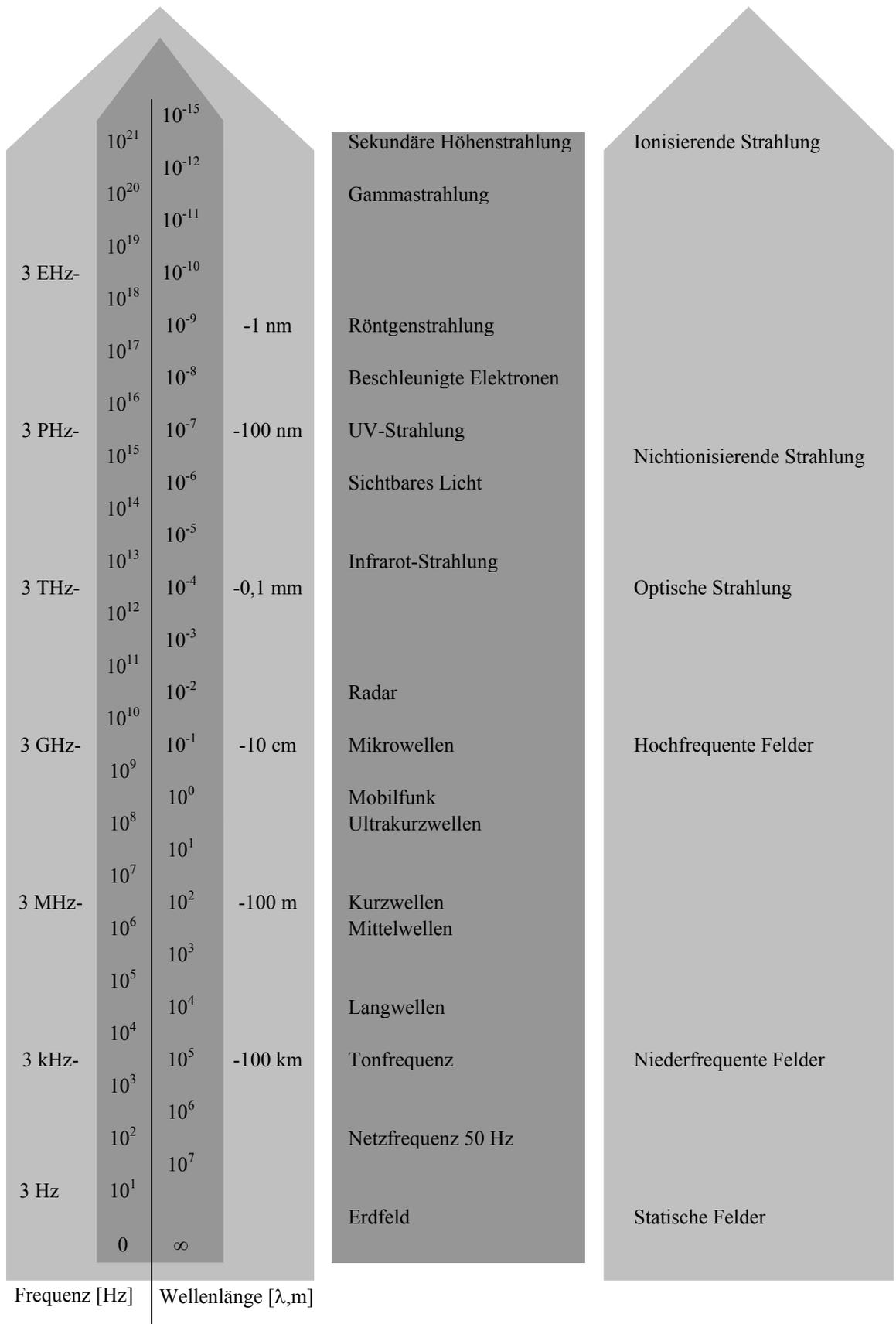


Abb. 1 Elektromagnetische Wellen, unterschieden nach Wellenlänge und Frequenz, nach SCHMIDT (1999), modifiziert

Grundlagen der Elektronenbehandlung

Geschichte der Anwendung beschleunigter Elektronen zur Desinfektion und Sterilisation

Bereits vor 100 Jahren begann die Entwicklung von Technologien zum Schutz von Produkten sowie zur Sterilisation. In England unterbreiteten APPLEBY und BARKS 1905 erstmals den Vorschlag zur Nutzung ionisierender elektromagnetischer Wellen für die Verbesserung der Qualität von Lebensmitteln. 1929 nahm die American Tobacco Company die erste industrielle Röntgenanlage für Tabak zur Bekämpfung des Tabakkäfers in Betrieb. Von PICHLER und WÖBER wurden 1922 Bestrahlungsversuche mit ultraviolettem Licht, Röntgenstrahlen und Radium zur Bekämpfung von Brandkrankheiten an Weizen, Gerste und Hafer durchgeführt. Sie stellten fest, dass sowohl UV-Licht als auch Röntgenstrahlen erfolgreich gegen Brandkrankheiten eingesetzt werden können. Eine Anwendung dieser Verfahren am Saatgut zu phytosanitären Zwecken konnte sich jedoch nicht etablieren, da im Falle von Röntgenstrahlung die Embryonalanlagen geschädigt werden.

Die Hochenergie-Elektronenbehandlung begann 1947 mit zwei fast zeitgleichen Entwicklungen. BRASCH und HUBER zeigten die Nutzbarkeit gepulster hochenergetischer Elektronen an Fleisch und Lebensmitteln mit dem sogenannten „Capacitron“. TRUMP und VAN DE GRAEFF entwickelten den nach letzterem benannten Hochenergie-Elektronenbeschleuniger, ebenfalls für die Desinfektion von Lebensmitteln sowie für die Sterilisation von Medizinprodukten. Heute kann die Sterilisation von Medizinprodukten mit beschleunigten Elektronen zu Recht als die sicherste und effizienteste Technologie auf diesem Sektor bezeichnet werden.

Wirkung der Energiedosis und Anwendungen

Die Energiedosis, auch kurz Dosis genannt, ist definiert als Energie pro Masse und wird gemessen in kGy (1 Kilogray = 10^6 Ws/kg). Die biozide Wirkung von Elektronen auf Mikroorganismen lässt sich in Inaktivierungskurven in Abhängigkeit von der Dosis darstellen. Diese Inaktivierungskurven können im einfachsten Fall (z.B. für eine Reinkultur von Mikroorganismen) durch eine exponentielle Funktion beschrieben werden.

In Tabelle 1 ist die Sensibilität ausgewählter Mikroorganismen gegenüber einer Elektronenbehandlung nach DIN EN ISO 11137 zusammengestellt. Dabei charakterisiert der Wert D_{10} die Energiedosis, die zur Reduzierung der Zahl der Mikroorganismen bzw. Pathogene auf 10 % des Anfangswertes erforderlich ist.

Tab. 1 Sensibilität von Mikroorganismen gegenüber Elektronenbehandlung nach DIN EN ISO 11137

Keimart	Vertreter	D_{10} -Wert [kGy]
Anaerobe Sporenbildner	<i>Clostridium tetani</i>	2,4
Aerobe Sporenbildner	<i>Bacillus subtilis</i>	0,8
Bakterien	<i>Salmonella typhimurium</i>	0,2
Hefen	<i>Torulopsis candida</i>	0,4
Pilze	<i>Aspergillus niger</i>	0,5

Die Behandlung von Produkten mit beschleunigten Elektronen erfolgt im landwirtschaftlichen Bereich auch zur Bekämpfung von Parasiten und Schädlingen sowie zur Keimhemmung, z. B. an Kartoffeln und Zwiebeln. Im Bereich der Lebensmittelbehandlung sind für die meisten Produkte Dosiswerte $D_{max} = 10$ kGy vorgeschrieben. Zahlreichen Studien zufolge bleiben Geschmack und Nährwert der Produkte unverändert. In Deutschland ist bisher nur die Behandlung von getrockneten aromatischen Kräutern und Gewürzen zur Keimminderung gestattet. Die rechtlichen Rahmenbedingungen sind in der Lebensmittelbestrahlungsverordnung vom 14. Dezember 2000 sowie im Lebensmittel- und Bedarfsgegenstände-gesetz, § 35 und 47a (LMBG vom 15. August 1974, letzte Änderung vom 13. Mai 2004) geregelt.

Technologisches Prinzip der Elektronenbehandlung

Die Erzeugung bzw. Freisetzung der Elektronen erfolgt im Elektronenbeschleuniger. Je nach Zweck der Anwendung und Energiebereich kommen dafür verschiedene technische Lösungen zum Einsatz. Das bekannteste Beispiel für einen Elektronenbeschleuniger im nicht-technischen Bereich ist das Fernsehgerät.

Bei technischen Systemen werden die Elektronen aus einem Plasma oder einer Katode freigesetzt und im elektrischen Feld formiert und beschleunigt. Dabei erhalten sie die kinetische Energie $E_{kin} = e \cdot U_B$ (e = Elementarladung, U_B = Beschleunigungsspannung). Die Maßeinheit der Elektronenenergie ist das Elektronenvolt [eV].

Bei den meisten Systemen erfolgt die Einwirkung der Elektronen auf das Produkt an Atmosphärendruck. Dazu werden die beschleunigten Elektronen aus dem unter Hochvakuum befindlichen Beschleunigungsbereich durch ein Elektronenaustrittsfenster heraus an Atmosphärendruck geführt. Als Fenster dient eine Öffnung, die durch eine dünne Metallfolie aus Edelstahl oder Titan überspannt ist. Die Elektronen sind aufgrund ihrer Energie in der Lage, diese Folie zu durchdringen, und können im Prozessraum auf das Produkt einwirken.

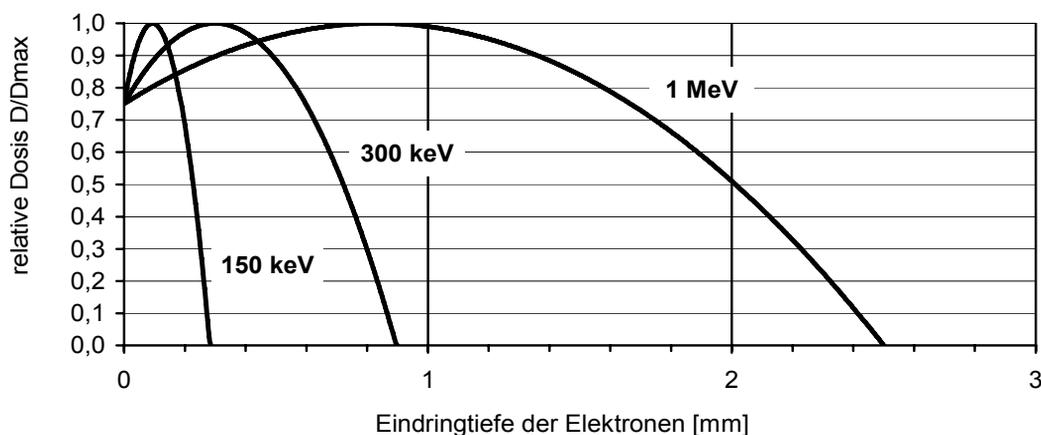


Abb. 2 Dosis-Tiefenverteilung der Elektronen in Material der Dichte 1 g/cm^3 bei unterschiedlichen Elektronenenergien

Je höher die Elektronenenergie ist, desto tiefer dringen die Elektronen in das Material ein. Abbildung 2 zeigt die relative Energieabsorption D/D_{max} über der Eindringtiefe im Material. Der Punkt, an dem die gesamte Elektronenenergie an das Produkt abgegeben ist, wird als Elektronenreichweite bezeichnet. Bei einer Elektronenenergie von 300 keV beträgt die Elektronenreichweite beispielsweise ca. 0,95 mm, bei 1 MeV sind es beinahe 2,5 mm.

Die Abhängigkeit der Elektronenreichweite von der Energie der Elektronen wird bei der Elektronenbehandlung von Saatgut gezielt genutzt. In der Praxis findet der Energiebereich von 80 keV bis 150 keV Anwendung. Die Eindringtiefe der Elektronen kann in diesem Energiebereich zwischen 10 μm und 200 μm exakt gesteuert werden.

Die Elektronenbehandlung von Saatgut

Technologie

Die Wirkung der Elektronen kann, wie oben beschrieben, durch Einstellung der Eindringtiefe in die Samenschale begrenzt werden. Abbildung 3 verdeutlicht dieses Prinzip am Beispiel einer Getreidekaryopse. Elektronen mit definierter Energie dringen allseits und gleichmäßig in Pericarp und Testa ein, Endosperm und Embryo werden nicht erreicht, eine Schädigung ist damit ausgeschlossen.

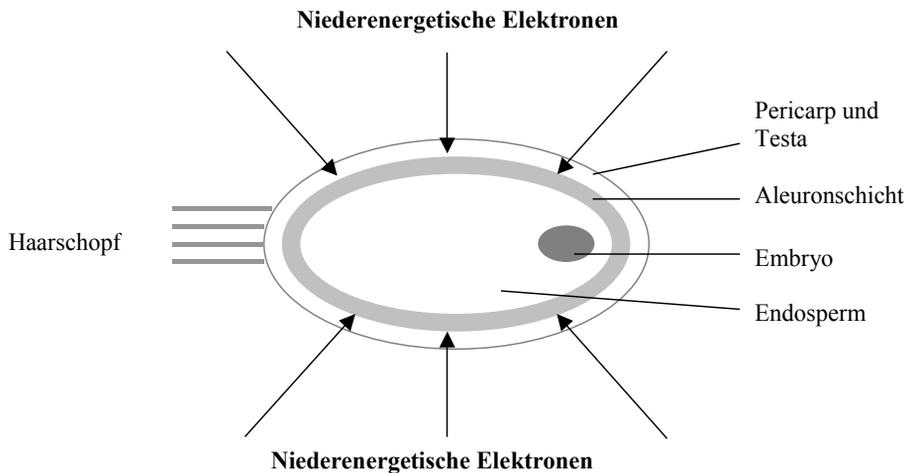


Abb. 3 Prinzipdarstellung der Elektronenbehandlung an einer Getreidekaryopse

Die Umsetzung der Technologie erfordert es, dass die gesamte Oberfläche jedes Kornes von Elektronen getroffen wird. Um dies zu gewährleisten, wird das Saatgut zunächst in der Produktzuführung der Saatgutbehandlungsanlage vereinzelt. Der vereinzelt Kornstrom wird so durch die Wirkzone geführt, dass die Elektronen auf jedes einzelne Saatkorn einwirken. Die Elektronen dringen so tief in die Samenschale ein, bis ihre Energie abgebaut ist. Durch Wahl der Elektronenenergie wird die Eindringtiefe exakt auf den als optimal ermittelten Wert eingestellt. Innerhalb der Wirkungstiefe in der Samenschale übertragen die Elektronen die Energiedosis D. Diese Energiedosis kann bei üblichen Anlagen im Bereich zwischen ca. 1 kGy bis 15 kGy eingestellt werden. Wegen der begrenzten Eindringtiefe der Elektronen bezieht sich die Angabe der Energiedosis immer auf die Oberfläche. Wird die Oberflächendosis auf das Gesamtvolumen umgerechnet, beträgt die theoretische Gesamtdosis je nach Produkt und gewählter Elektronenenergie nur ca. 5 – 10 % der Oberflächendosis.

Geschichte der technologischen Entwicklung

Die Forschungsarbeiten zur Elektronenbehandlung von Saatgut begannen Anfang der 1980er Jahre im damaligen Forschungsinstitut Manfred von Ardenne in Dresden. Ausgangspunkt und zugleich Ziel war die infolge der Umwelt- und Arbeitsschutzprobleme notwendige Ablösung der Quecksilberbeizung. Die Entwicklung der Anlagentechnik erfolgte im Wesentlichen in drei Etappen:

1. Versuchsanlage „ELBA“ in Weinböhla
2. Pilotanlage „WESENITZ 1“ in Helmsdorf
3. Großtechnische mobile e-ventus® Pilotanlage „WESENITZ 2“

Die biologischen und pflanzenbaulichen Grundlagen wurden im Untersuchungszeitraum 1986 - 1991 mit der Versuchsanlage „ELBA“ erarbeitet (LINDNER 1992). Diese erste Anlage hatte eine Leistung von 1 t/h. Mit den so behandelten Saatgutmengen waren bereits Untersuchungen in kontrollierten Anbauvergleichen möglich.

Ab 1990 wurde die technische Entwicklung vom Fraunhofer Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik Dresden fortgeführt. Im Jahr 1995 wurde die stationäre Pilotanlage „WESENITZ 1“ in Helmsdorf nahe Dresden in Betrieb genommen. Das System hatte bereits eine Stundenleistung von

10 Tonnen. Mit dieser Leistungserhöhung war der Übergang vom Labormaßstab zur Pilotproduktion vollzogen. Ab 1995 wurde die Elektronenbehandlung von Saatgut als Serviceleistung für die Landwirtschaft angeboten. Abbildung 4 (siehe Seite 63) zeigt den Standort Helmsdorf während der Beizsaison. Das Saatgut wurde mit Sattelzügen von den Aufbereitungsunternehmen abgeholt und nach der Elektronenbehandlung an die Landwirte ausgeliefert. Die Produktführung in der Anlage erfolgte über Becherwerke und Förderbänder vom anliefernden LKW durch die Anlage und zurück auf ein zweites leeres Fahrzeug (SCHRÖDER 1999).

Wesentliches Charakteristikum dieser Anlage „WESENITZ 1“ und des Vorgängertyps „ELBA“ war, dass die Behandlung des Saatgutes im Vakuum erfolgte. Die Vakuumerzeugung und –aufrechterhaltung erforderte einen erheblichen technischen Aufwand. Erst mit der Entwicklung neuartiger technischer Lösungen zur Erzeugung und Führung der beschleunigten Elektronen nach dem e-ventus® - Prinzip konnte die Technik wesentlich vereinfacht und in der Größe reduziert werden, da der Aufwand für das prozessspezifische Vakuumsystem entfiel (RÖDER 1998).

Die e-ventus® Technologie

Die Entwicklung der e-ventus® Technologie begann 1997 im Rahmen eines Verbundforschungsprojektes zwischen der Schmidt-Seeger AG, dem Fraunhofer Institut FEP Dresden sowie landwirtschaftlichen Produktionsbetrieben. Basis der Technologie ist ein neuartiges System zur flächenhaften Erzeugung niederenergetischer Elektronen, das am Fraunhofer FEP entwickelt wurde. Das Prinzip ermöglicht die Produktbehandlung an Atmosphärendruck bei großen Leistungen und geringer Baugröße der Anlagen.

Das Saatgut wird zunächst einem Pufferbehälter zugeführt, um einen kontinuierlichen Mengenstrom zu realisieren. Eine vorgeschaltete Reinigungseinheit und ein Magnetabscheider verhindern das Eindringen von Verunreinigungen und Metallteilen. Das Saatgut strömt über eine Dosiereinrichtung auf eine Vibrationsfördereinrichtung und wird vorvereinzelt. Bei der nachfolgenden Übergabe zur Produktführung durch die Wirkzone ist das Saatgut bereits auf eine Breite von 1,4 m aufgefächert (vgl. Abb. 5).

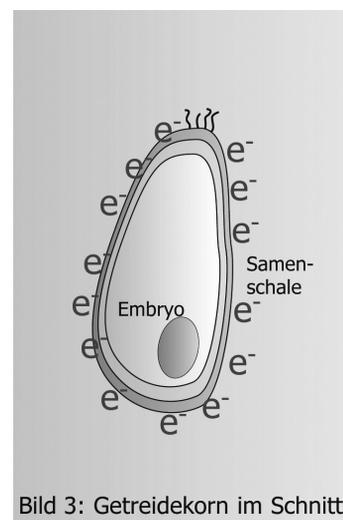
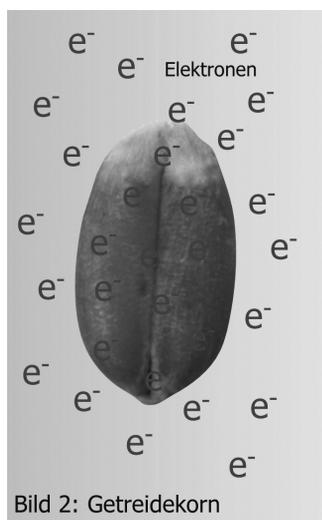
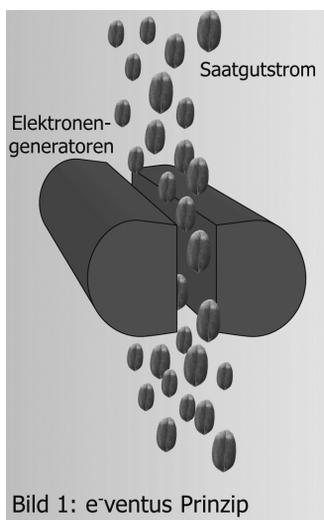


Abb. 5 Einzelkornbehandlung bei der e-ventus® Technologie

Durch Beschleunigung bei der Produktführung erfolgt eine weitere Vereinzelnung. Die Samen passieren nun zwei 1,5 m breite Elektronenfelder. Die Elektronen erfassen die gesamte Oberfläche jedes einzelnen Korns und dringen definiert von allen Seiten in die Samenschale ein (Abbildung 5). Der Produktstrom durch die Anlage ist in Abbildung 6 (siehe Seite 63) ersichtlich.

Im unteren Bereich der Anlage erfolgen die Zusammenführung des Saatgutstromes und die Ausgabe auf ein Förderband. Der gesamte Prozessraum ist durch eine integrale Schutzverkleidung gekapselt.

Der mobile Anlagenprototyp ist so konzipiert, dass für den Betrieb nur ein Elektroanschluss oder ein Dieselaggregat benötigt wird. Abbildung 7 (siehe Seite 64) zeigt den entwickelten Anlagenprototypen, der in einem Containeraufbau untergebracht ist und mit einem üblichen Zugfahrzeug bewegt werden

kann. Einrichtungen zur Steuerung und Prozessüberwachung sowie die gesamte Medienversorgung sind in das System integriert.

Die e-ventus[®] Technologie ist mit einer automatischen Prozesssteuerung und Prozessüberwachung ausgestattet. Damit ist die kontinuierliche Überwachung und Aufzeichnung der Prozessparameter und der im Produkt applizierten Energie möglich. Diese Inline-Prozesskontrolle erfolgt ortsauflösend über der Breite des Kornstromes. Bei Überschreitung der vorgegebenen Grenzwerte der Stromintensität oder bei einem Produktstau schaltet das System automatisch den Prozess ab und gibt eine Fehlermeldung. Zusätzlich werden Fremdkörper im Produktstrom erkannt.

Seit der Fertigstellung der Anlagentechnik im Jahr 2000 werden jährlich 3000 t bis 5000 t Getreidesaatgut für den Praxisanbau behandelt.

Biologisch-landwirtschaftliche Versuche

Grundsätzliches zum Untersuchungsablauf

Parallel zur Anlagenentwicklung erfolgten die biologisch-landwirtschaftlichen Untersuchungen, die zugleich der Optimierung der Behandlungsparameter und der Bestätigung derselben dienten. Grundsätzlich wurden die Untersuchungen zur Pflanzenverträglichkeit mit zertifiziertem (Z-)Saatgut, die zur Ermittlung der Wirkung mit infiziertem Saatgut durchgeführt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag bei Winterweizen.

Bereits im Zeitraum 1981 – 1985, in dem die Untersuchungen zur prinzipiellen Eignung des Verfahrens und zur Auswahl eines geeigneten Parameterbereiches für die Behandlungen erfolgten, wurden Versuche an mehr als 20 Standorten angelegt. In keinem dieser Vorversuche mit Z-Saatgut waren signifikante Unterschiede zwischen behandelten Varianten und unbehandelter Kontrolle, weder hinsichtlich des Feldaufgangs noch in der Bestandesentwicklung und im Ertrag, nachzuweisen. Für eine Wirkung gegen *Tilletia caries* und *Septoria nodorum* an Winterweizen wurden geeignete Behandlungsparameter ausgewählt.

Mit der Inbetriebnahme der Versuchsanlage „ELBA“, die ausschließlich für die Saatgutbehandlung entwickelt wurde, begann 1986 die eigentliche Entwicklung des Verfahrens für die Anwendung in der Praxis. Die Untersuchungen am Saatgut erfolgten entsprechend den drei Etappen der technischen Entwicklung, in den Zeiträumen 1986 bis 1991, 1995 bis 2000 und 1999 bis 2004. Sowohl die Pflanzenverträglichkeit als auch die Wirkung der Elektronenbehandlung wurden in Labor-, Modell- (Gewächshaus- oder Klimakammer-) und Freilandversuchen untersucht. Gemäß dem Ziel dieser Zusammenstellung, die Praxisrelevanz des Verfahrens zu belegen, werden überwiegend die Ergebnisse der Freilandversuche dargestellt. Nicht aufgenommen wurden Kleinparzellenversuche in der jeweils ersten Phase der Parameteroptimierung sowie zahlreiche außerhalb Deutschlands (in der Schweiz, in Schweden und Großbritannien) durchgeführte Versuche mit elektronenbehandeltem Saatgut.

In jeder der Entwicklungsetappen stand zunächst die Pflanzenverträglichkeit dieses neuen Verfahrens im Zusammenhang mit der jeweils neuen Technik im Vordergrund. Im ersten Hauptabschnitt wird deshalb der Nachweis der Pflanzenverträglichkeit, im zweiten Hauptabschnitt der Nachweis der Wirkung des Verfahrens dargestellt. Insbesondere in den 1980er Jahren wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Im zweiten Untersuchungszeitraum erfolgten, da die Technologie mit der Pilotanlage „WESENITZ 1“ im Grundsatz nicht verändert war, nur wenige Wirkungsuntersuchungen. Erst mit der Entwicklung der e-ventus® Pilotanlage „WESENITZ 2“ waren auf Grund der prinzipiellen technologischen Veränderungen erneut intensive Untersuchungen erforderlich, die in einigen Bereichen, z. B. der Klärung der Wirkung gegen die Pathogene an der Gerste, noch nicht abgeschlossen sind.

Grundsätzliches zur Versuchsmethodik

Pflanzenverträglichkeit

Exaktversuche im Freiland in Form von **Parzellenversuchen** dienten dem Ziel, einen in Labor- und Modellversuchen vorselektierten, pflanzenverträglichen Parameterbereich für die Elektronenbehandlung zu bestätigen. Die Versuche erfolgten grundsätzlich als randomisierte Blockanlagen auf 10 – 15 m² großen Einzelparzellen mit vier Wiederholungen. Die Aussaatstärke betrug, wenn in den Ergebnissen nicht anders dargestellt, 350 Korn/m². Feldaufgang (Anzahl Pflanzen pro m²), Anzahl überwinteter Pflanzen und Ertrag einschließlich Ertragskomponenten (Anzahl Ähren tragender Halme, Kornzahl je Ähre und Tausendkornmasse) wurden bestimmt und mit unbehandelter Kontrolle und chemisch gebeizter Standardvariante verglichen. In den folgenden Ausführungen ist jeweils der Flächenertrag dargestellt. Auf die Darstellung der Ertragskomponenten wurde, da diese Werte dem Trend der Ertragsergebnisse entsprachen und somit keine zusätzlichen wichtigen Informationen lieferten, aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Auch bei der Darstellung der Pflanzenanzahl erfolgte die Beschränkung auf den Feldaufgang.

Zur Prüfung und Demonstration des neuen Verfahrens unter den Bedingungen des praktischen Landbaus erfolgten kontrollierte **Anbauvergleiche**. Sie hatten eine Teilstückgröße von mindestens 2 ha, auf denen elektronenbehandeltes Getreide mit konventionell gebeiztem Getreide hinsichtlich Feldaufgang und Ertrag verglichen wurde. Die Ernteparzelle betrug wenigstens 1 ha.

Als chemische Beizmittel wurden Produkte verwendet, die dem jeweiligen Entwicklungsstand auf dem Sektor entsprachen.

Wirkung

Die Untersuchungen zur Wirkung im Freiland an künstlich oder natürlich infiziertem Saatgut erfolgten bis 1998 überwiegend in **Kleinparzellenversuchen**. Diese Versuche wurden als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen und einer Teilstückgröße von 2,5 m² (vier Drillreihen á 5 m) durchgeführt. Je Drillreihe wurden 100 Samen, bei *T. caries* - infiziertem Saatgut 12,5 g, ausgelegt. Im Versuchsjahr 2000/2001 wurden nochmals Kleinparzellenversuche durchgeführt, in denen je nach verwendeter Technik auf Parzellen von 1 m² oder 2 m² 300 Korn/m² ausgesät wurden. Neben der Anzahl aufgelaufener Pflanzen wurde in den meisten Versuchen die Anzahl überwinterter Pflanzen bestimmt. Da sich diese Werte nicht grundsätzlich von denen des Feldaufgangs unterschieden, sind die Ergebnisse nicht dargestellt.

Die Untersuchungen zur Wirksamkeit der Behandlung mit der e-ventus[®] Piltotanlage „WESENITZ 2“ erfolgten überwiegend in Parzellenversuchen (Anlage wie unter „Pflanzenverträglichkeit“ beschrieben).

Der Befall wurde, den beschriebenen Standardmethoden entsprechend, nach ISTA – Vorschriften bzw. nach den Richtlinien der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft für die amtliche Prüfung von Pflanzenschutzmitteln ermittelt. Der Wirkungsgrad wurde nach ABBOTT (1925) errechnet.

Datenerfassung und statistische Bearbeitung

Die Datenaufnahme und -verwaltung erfolgte bis 1991 manuell, danach mit dem Programm Microsoft Excel. Die statistische Auswertung wurde im Statistical Analyses System (SAS[®]) für Windows vorgenommen.

Die Feldversuchsergebnisse wurden varianzanalytisch verrechnet. Unter Annahme einer Normalverteilung der Messwerte kam der t-Test zur Ermittlung von Grenzdifferenzen bei einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ zur Anwendung. Signifikanzen wurden mit einem Stern (*) gekennzeichnet, die Grenzdifferenzen als senkrechte Linien in den Diagrammen auf dem Balken der Kontrolle aufgetragen.

Nachweis der Pflanzenverträglichkeit

Winterweizen

Untersuchungszeitraum 1986 – 1991 („ELBA“)

In den Versuchsjahren 1986 – 1991 wurden 24 Parzellenversuche und 77 Anbauvergleiche mit Z-Saatgut angelegt und ausgewertet. Die Standorte der Versuche sind in Abbildung 8 dargestellt, Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. Sechs Parzellenversuche des Versuchsjahres 1988/1989 wurden nicht einbezogen, da sie auf Grund eines Systemfehlers bei der Behandlung nicht ausgewertet werden konnten. Gleichfalls nicht einbezogen werden konnten im Herbst 1991 in den Bundesländern Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz angelegte Parzellenversuche mit Z-Saatgut, deren Einzelergebnisse nicht vorliegen.

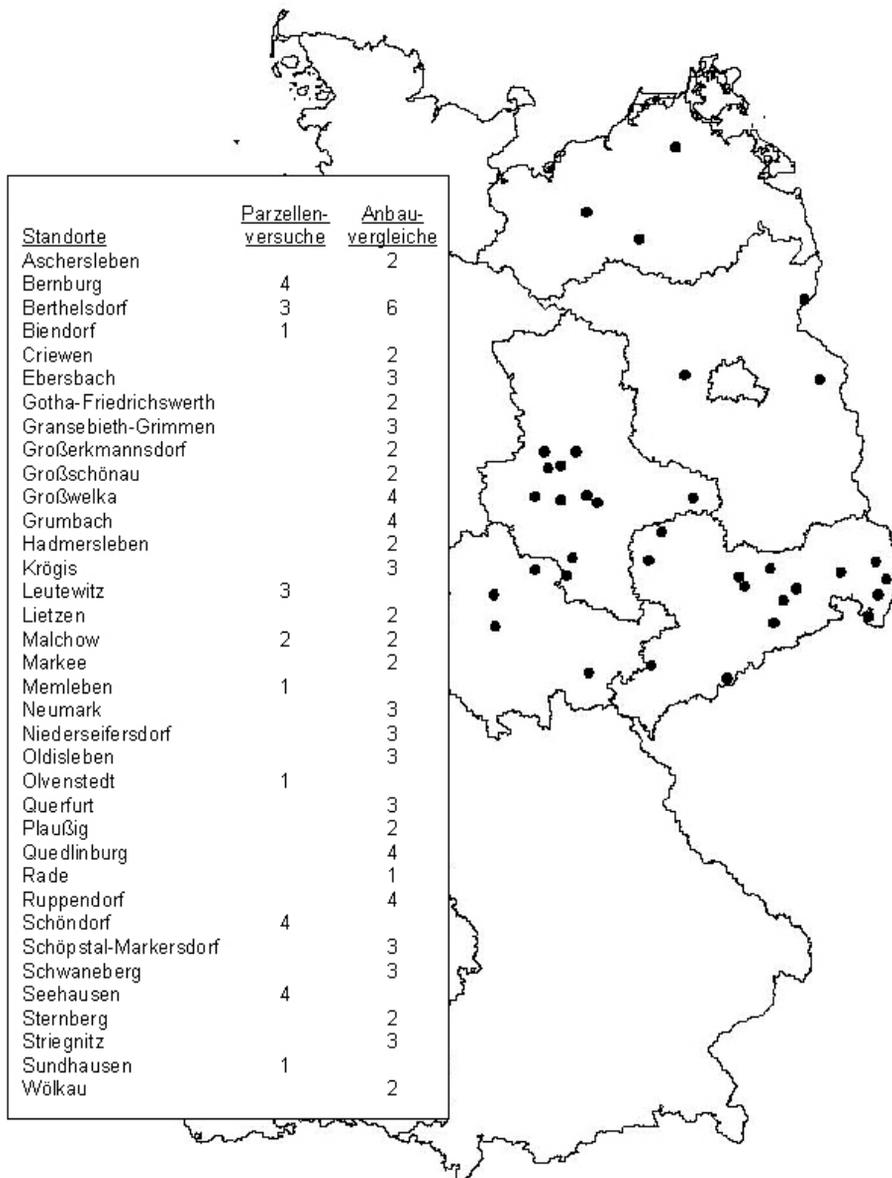


Abb. 8 Standorte der Parzellenversuche und Anbauvergleiche mit zertifiziertem Winterweizen, Untersuchungszeitraum 1986 – 1991

Parzellenversuche

Feldaufgang

Zum Nachweis der Pflanzenverträglichkeit kommt dem Auflauf die entscheidende Bedeutung zu.

Die Ergebnisse für die wichtigsten über den Versuchszeitraum 1986 – 1991 untersuchten Elektronenbehandlungsvarianten sind in Abbildung 9 dargestellt. Die chemische Beizung erfolgte 1986 mit Baytan Universal, ab 1987 mit Sibutol Flüssigbeize.

Die Anzahl aufgelaufener Pflanzen lag in allen untersuchten Behandlungsvarianten und Versuchsjahren im Bereich der Kontrolle. 1986 brachte eine milde feuchte Herbstwitterung optimale Bedingungen für den Feldaufgang, der in allen Behandlungsvarianten leicht gefördert wurde. Im Herbst 1987 hatten Trockenperioden einen heterogenen verzögerten Auflauf mit geringerer Bestandesdichte zur Folge. Elektronenbehandlung und chemische Beizung erwiesen sich in Kombination mit ungünstigen klimatischen Bedingungen während der Keim- und Auflaufphase als zusätzliche Belastung für die Pflanze. Hingegen führte die warme feuchte Herbstwitterung 1989 wie schon 1986 zur Stimulierung des Feldaufgangs. Der 1990 ermittelte Feldaufgang in den elektronenbehandelten Varianten war dem der Kontrolle tendenziell unterlegen. Auch hier bedeuteten ungünstige Witterungsbedingungen in der Keim- und Auflaufphase offensichtlich einen zusätzlichen Wachstumsstress. Mit zunehmender Beschleunigungsspannung der Elektronenbehandlung zeigte sich ein verzögerter Auflauf.

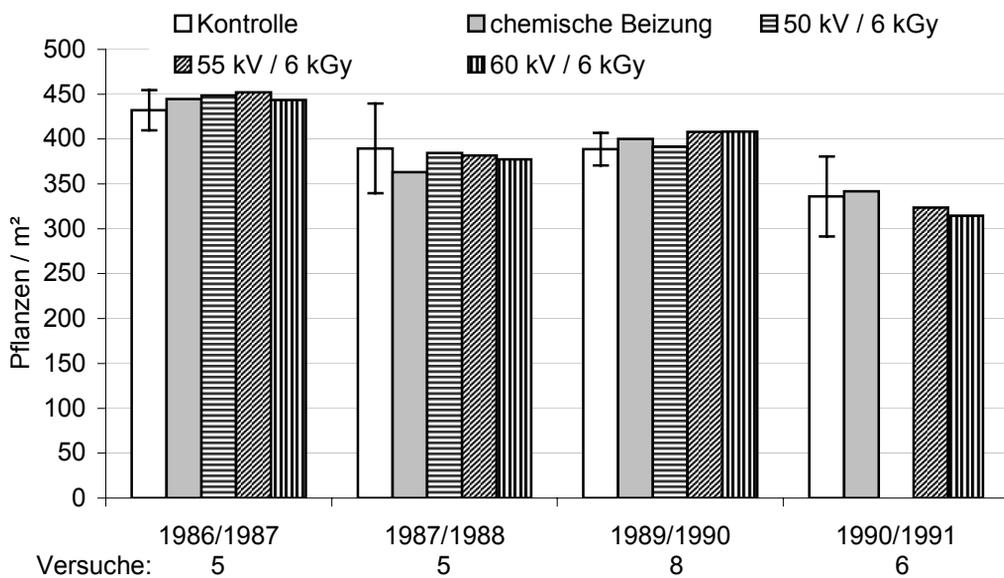


Abb. 9 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang von zertifiziertem Winterweizen, Sorte 'Alcedo', Parzellenversuche 1986 – 1991

Im Mittel aller Versuche eines Jahres waren keine signifikanten Unterschiede im Feldaufgang zwischen unbehandeltem und behandeltem Weizen nachweisbar. In der – hier nicht dargestellten – Anzahl überwinterter Pflanzen zeigten sich gleichfalls keine signifikanten Unterschiede.

Ertrag

Während zwischen Saatgutbeizung und dem Keim- und Auflaufverhalten eine direkte Beziehung besteht, sind Überwinterungsverhalten, Bestandesentwicklung und Ertrag nur noch bedingt mit der Beizung in Zusammenhang zu bringen (HEIL 1985). Dies dürfte allgemein für jede Saatgutbehandlung gelten.

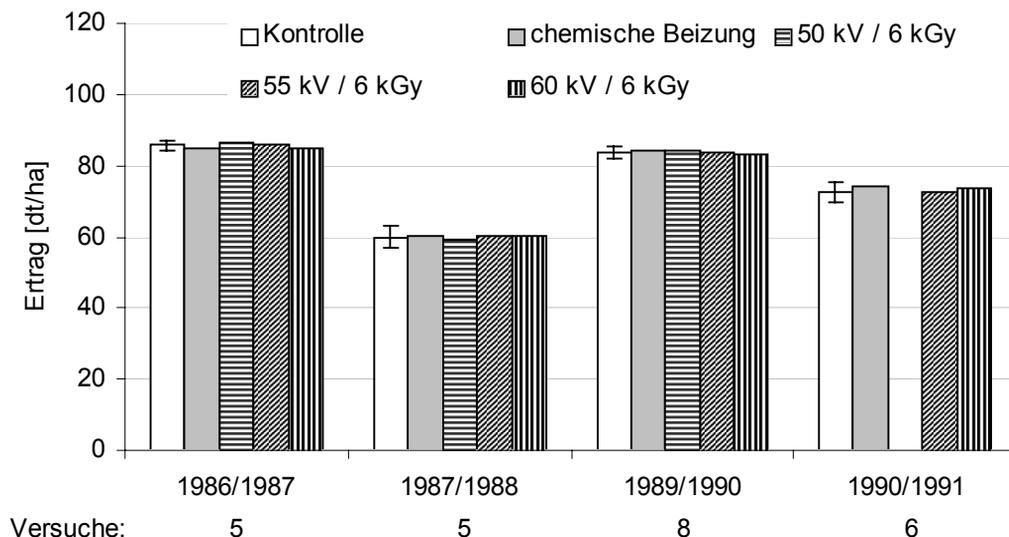


Abb. 10 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Ertrag von zertifiziertem Winterweizen, Sorte 'Alcedo', Parzellenversuche 1986 – 1991

Das Ertragsniveau wies mit Werten zwischen 59,8 dt/ha (1988) und 85,8 dt/ha (1987) in der Kontrolle deutliche jahresbedingte Unterschiede auf (Abbildung 10). In allen Jahren unterschieden sich die Erträge des elektronenbehandelten Weizens nicht signifikant von denen der Kontrolle und der chemisch gebeizten Variante. Auch in den Jahren 1987/1988 und 1990/1991, in denen für die Elektronenbehandlungsvarianten 55 kV / 6 kGy und 60 kV / 6 kGy ein leicht verzögerter Auflauf ermittelt wurde, entsprach der Ertrag dem der Kontrolle.

Kontrollierte Anbauvergleiche

Neben den oben beschriebenen Parzellenversuchen wurde die Praxiseignung des Verfahrens im Vergleich mit der chemischen Beizung geprüft. Die Elektronenbehandlung erfolgte mit 55 kV / 6 kGy, das als Optimalparameterpaar ausgewählt wurde. Für die chemische Beizung kam 1986 Baytan Universal, ab 1987 Sibutol Flüssigbeize zur Anwendung. Die Ergebnisse der 77 im Versuchszeitraum 1986/1987 – 1989/1990 angelegten Anbauvergleiche sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Der Feldaufgang in den chemisch gebeizten Varianten und den Elektronenbehandlungsvarianten unterschied sich nicht signifikant. Für 64 der insgesamt 77 Anbauvergleiche erfolgte die Ertragsermittlung. Dabei wurden im Vergleich zur chemischen Beizung 26mal Mindererträge, zweimal Ertragsgleichheit und 36mal Mehrerträge erzielt, wobei keiner der Ertragsunterschiede statistisch zu sichern war.

Tab. 2 Elektronenbehandlung und Standardbeizung von zertifiziertem Winterweizen in kontrollierten Anbauvergleichen 1986 – 1990

Versuchsjahr	1986/1987	1987/1988	1988/1989	1989/1990	Summe
Versuchszahl	9	15	27	26	77
Sorten (Versuche)	'Miras'	'Miras'	'Miras' (17) 'Taras' (10)	'Miras' (14) 'Taras' (12)	
					Mittelwert
Auflauf relativ zur chemisch gebeizten Variante [%]	98,4	96,7	104,8	103,5	100,9
Ertrag relativ zur chemisch gebeizten Variante [%]	98,4	101,2	103,6	102,5	101,4

Fazit

Im Untersuchungszeitraum von 1986 bis 1991 wurde in Labor-, Modell-, Freiland- und Praxisversuchen die Pflanzenverträglichkeit einer Elektronenbehandlung von Winterweizen nachgewiesen.

Untersuchungszeitraum 1995 – 2000 („WESENITZ 1“)

Die Untersuchungen zur Elektronenbehandlung wurden 1995 mit der Pilotanlage „WESENITZ 1“ fortgesetzt. Dieser Versuchszeitraum stellt eine Zwischenphase dar, in der insbesondere die Bestätigung des Verfahrens unter Praxisbedingungen weitergeführt wurde, jedoch bereits die Entwicklung der neuen Anlagengeneration erfolgte. Im Untersuchungszeitraum von 1995 – 2000 erfolgten 22 Parzellenversuche und 49 kontrollierte Anbauvergleiche. Die chemische Beizung erfolgte 1995 und 1996 mit Sibutol Flüssigbeize, ab 1997 mit Arena C. Die Standorte sind Abbildung 11 zu entnehmen, die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet.

Parallel zu den Versuchen wurde schon ab 1996 elektronenbehandeltes Winterweizensaatgut für den Praxisanbau, zunächst in Sachsen und Sachsen-Anhalt, zur Verfügung gestellt.

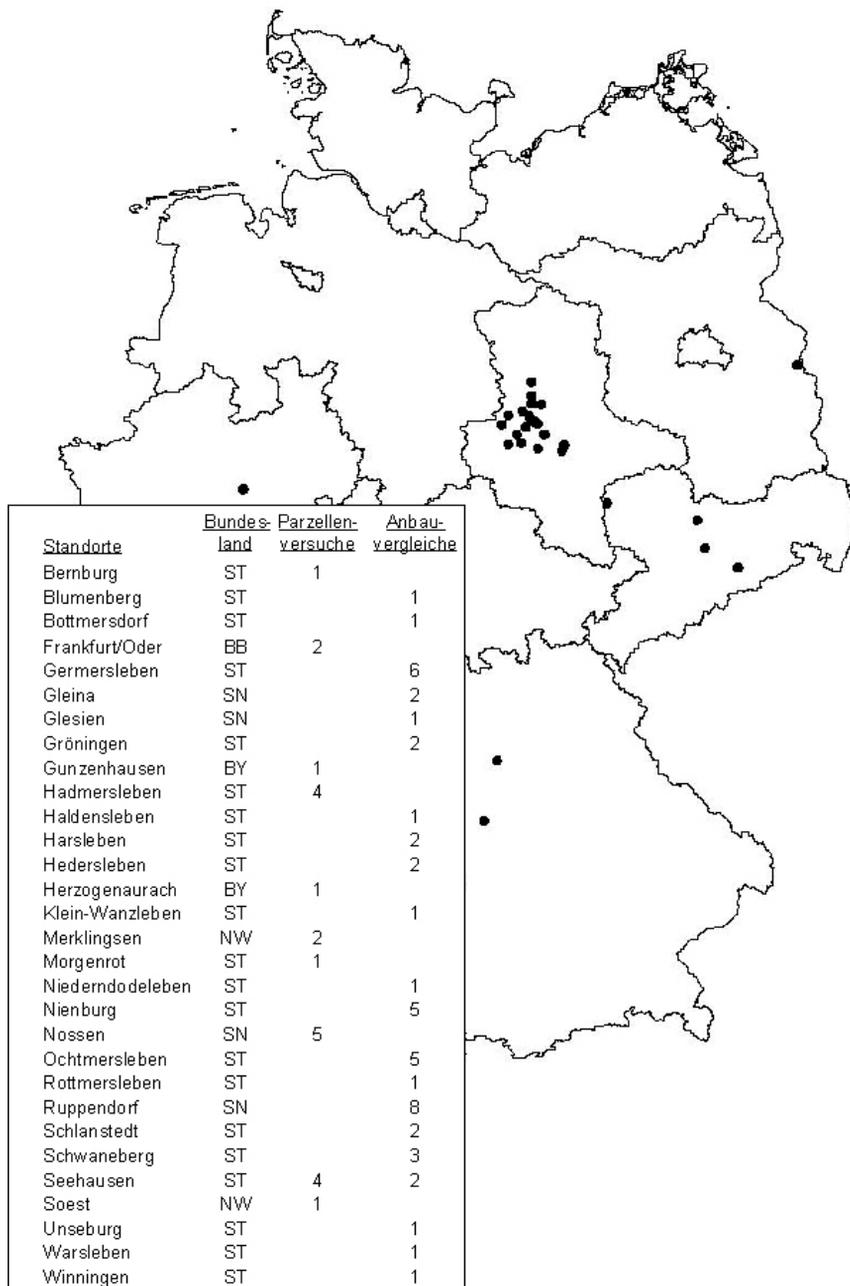


Abb. 11 Standorte der Parzellenversuche und Anbauvergleiche mit zertifiziertem Winterweizen, Untersuchungszeitraum 1995 – 2000

Parzellenversuche

Ab 1995 wurden in den Parzellenversuchen zunächst die im ersten Untersuchungszeitraum ausgewählte Vorzugsvariante der Elektronenbehandlung, 55 kV / 6 kGy, sowie die Variante 60 kV / 6 kGy und beide Beschleunigungsspannungswerte kombiniert mit einer auf 8 kGy erhöhten Dosis geprüft. Ab 1997 wurden auch 60 kV / 10 kGy angewendet. Aus den Ergebnissen auch der Gewächshaus- und Klimakammerversuche des Versuchsjahres 1995/1996 war abzuleiten, dass die Dosisstreuung von 30 % - 40 % auf <20 % reduziert wurde. Durch die Verringerung der Dosisstreuung bei der Behandlung mit der Anlage „WESENITZ 1“, die im Gegensatz zur Versuchsanlage „ELBA“ über zwei gegenüberliegende Elektronenkanonen verfügt, konnte eine Überdosis verringert und dadurch das Energieniveau der Behandlungsparameter erhöht werden. Die Ergebnisse führten dazu, dass die Variante 55 kV / 6 kGy bereits im zweiten Versuchsjahr (Herbstaussaat 1996) durch die neue Optimalvariante 60 kV / 8 kGy abgelöst wurde. Um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, sind in den Ergebnissen nicht alle zwischenzeitlich geprüften Behandlungsvarianten dargestellt.

Feldaufgang

Im Versuchszeitraum waren im Mittel der Versuche eines Jahres keine signifikanten Unterschiede im Feldaufgang zwischen Behandlungsvarianten und der Kontrolle nachzuweisen (Abbildung 12). Im Mittel der Jahre 1996 bis 1999 betrug der Feldaufgang in der chemisch gebeizten Variante 97,9 %, in der elektronenbehandelten Variante 60 kV / 8 kGy 99,2 % der Kontrolle. Lediglich im Herbst 1996 wurde an einem Standort (Hadmersleben) ein signifikant reduzierter Auflauf in der chemisch gebeizten Variante ermittelt, der sich im Verlauf der Pflanzenentwicklung ausglich.

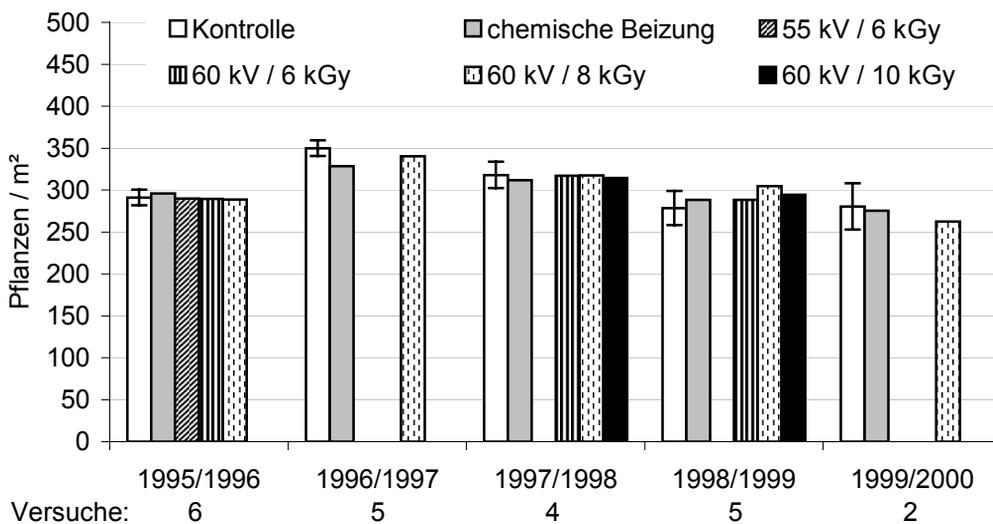


Abb. 12 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang von zertifiziertem Winterweizen, Sorte 'Aron', Parzellenversuche 1995 – 2000

Ertrag

Bis in das Erntejahr 1998 entsprachen die Erträge in allen behandelten Varianten an allen Standorten dem Wert der Kontrolle. Signifikante Unterschiede lagen nicht vor. Im Erntejahr 1999 wurde an einem der fünf Standorte (Hadmersleben) ein statistisch gesicherter Mehrertrag (6 % - 7 %) in der chemisch gebeizten Variante und den Behandlungsvarianten 60 kV / 6 kGy und 60 kV / 8 kGy gegenüber der Kontrolle ermittelt. Im Gesamtdurchschnitt aller Versuche waren jedoch in keinem Jahr signifikante Unterschiede nachzuweisen (Abbildung 13).

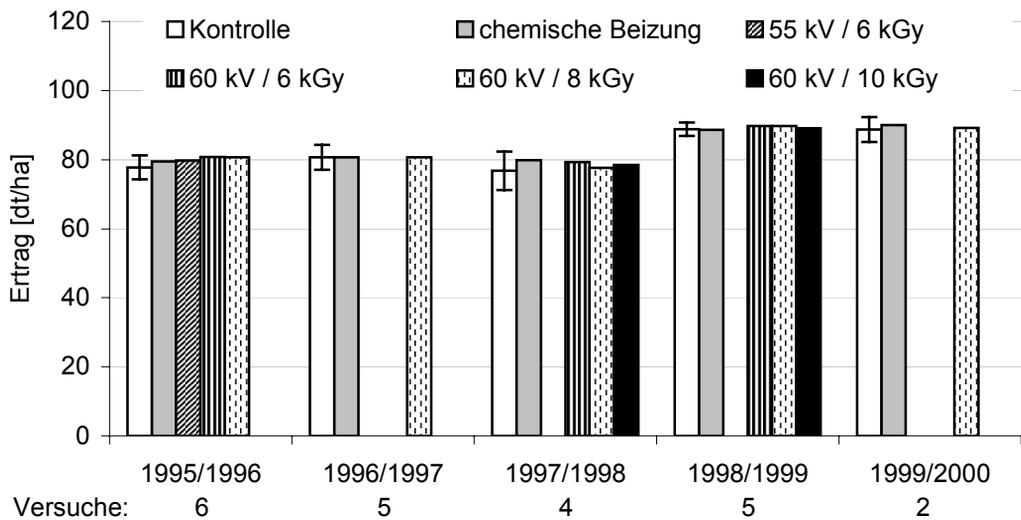


Abb. 13 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Ertrag von zertifiziertem Winterweizen, Sorte 'Arone', Parzellenversuche 1995 – 2000

Kontrollierte Anbauvergleiche

Die kontrollierten Anbauvergleiche im Versuchszeitraum 1996 – 2000 erfolgten mit dem aus oben dargelegten Gründen neu festgelegten optimalen Parameterpaar 60 kV / 8 kGy. Chemisches Beizmittel war 1996 Arena C, in den Folgejahren Landor CT.

In der Tendenz zeigte sich bei der Elektronenbehandlung über den gesamten Versuchszeitraum eine Förderung des Feldaufgangs um 3 % - 7 % im Vergleich zur chemisch gebeizten Variante. Der Ertrag der elektronenbehandelten Varianten lag im Bereich der Vergleichsvariante (Tabelle 3).

Tab. 3 Elektronenbehandlung und Standardbeizung von zertifiziertem Winterweizen in kontrollierten Anbauvergleichen 1996 – 2000

Versuchsjahr	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	Summe
Versuchszahl	8	16	14	11	49
Sorten (Versuche)	'Aron' (8)	'Aron' (7) 'Tarso' (5) 'Alidos' (1) 'Aristos' (1) 'Pegassos' (1) 'Contra' (1)	'Aron' (5) 'Tarso' (4) 'Cardos' (3)(2) 'Contra' (1) 'Flair' (1)	'Aron' (4) 'Kornett' (4) 'Contur' 'Korsika' (1)	
					Mittelwert
Auflauf relativ zur chemisch gebeizten Variante [%]	103,1	104,7	107,3*	104,4*	104,9
Ertrag relativ zur chemisch gebeizten Variante [%]	101,3	99,2	101,3	102,2	101,0

* signifikant zur chemisch gebeizten Variante, $p \leq 0,05$

Fazit

Die Elektronenbehandlungsanlage „WESENITZ 1“ stellt gegenüber der in den 80er Jahren verwendeten Versuchsanlage ELBA einen entscheidenden Fortschritt in der Entwicklung dar. Dies ist begründet in der geringeren Dosisstreuung und dem höheren Saatgutdurchsatz. Die Praxisreife des Verfahrens wurde mit dieser Anlage im Untersuchungszeitraum von 1995 bis 2000 untermauert.

Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 („WESENITZ 2“)

Mit der an Atmosphärendruck arbeitenden Elektronenbehandlungsanlage „WESENITZ 2“ wurden die anlagentechnischen Bedingungen grundlegend verändert. Insbesondere die Beschleunigungsspannungswerte (maximal 60 kV mit den unter Vakuumbedingungen arbeitenden Anlagen) mussten, dem Luftwiderstand Rechnung tragend, deutlich erhöht werden. So war es erforderlich, die Pflanzenverträglichkeit der Elektronenbehandlung in Parzellenversuchen und Anbauvergleichen erneut zu prüfen.

Die Pflanzenverträglichkeit der Elektronenbehandlung wurde im Zeitraum von 1999 bis 2004 in 64 Parzellenversuchen und 14 Anbauvergleichen mit zertifiziertem Winterweizen an 31 Standorten (Abbildung 14) untersucht. Die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. In den 64 Parzellenversuchen enthalten sind insgesamt 17 Ringversuche der Pflanzenschutzdienste der Bundesländer, die ab Herbst 2000 durchgeführt wurden.

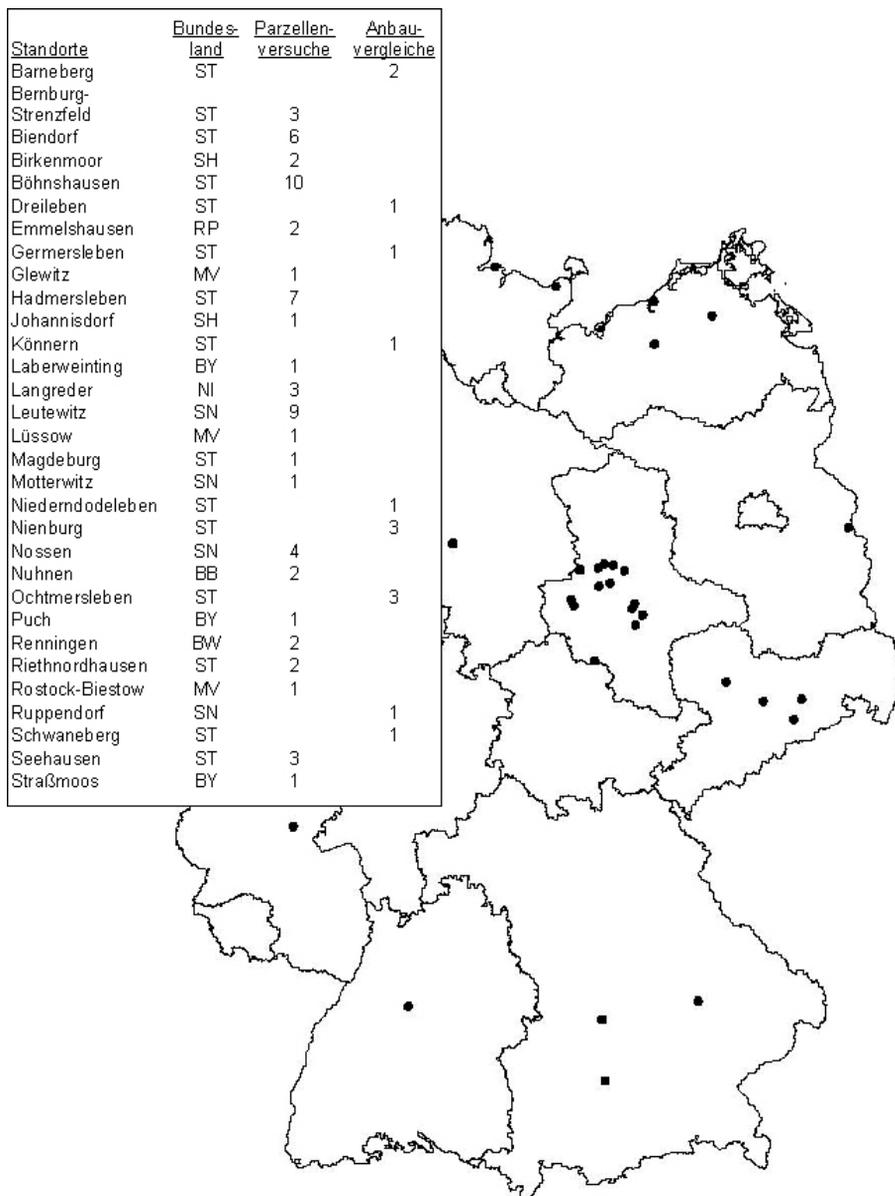


Abb. 14 Standorte der Parzellenversuche und Anbauvergleiche mit zertifiziertem Winterweizen, Untersuchungszeitraum 1999 – 2004

Parzellenversuche

Im Versuchsjahr 1999/2000 erfolgte eine parallele Prüfung mit beiden Anlagen. Als chemisches Beizmittel diente Arena C. Der nutzbare Bereich der Beschleunigungsspannung wurde für Weizen und Roggen mit 100 kV - 110 kV ermittelt, wobei aus entsprechenden Vorversuchen hervorging, dass 110 kV bereits einen Grenzwert für die Pflanzenverträglichkeit darstellen kann. Im darauf folgenden Jahr wurden 100 kV, 105 kV und 110 kV mit einer Dosis von 12 kGy bzw. 10 kGy angewendet. Da sich das Parameterpaar 105 kV / 12 kGy im Ergebnis aller 2000/2001 durchgeführten Untersuchungen als geeignete Kombination erwies, kam ab 2001 ausschließlich dieses zum Einsatz.

Feldaufgang

In den ersten beiden Versuchsjahren zeigte sich, dass die Grenze der Pflanzenverträglichkeit bei einer Beschleunigungsspannung von 110 kV liegt. In beiden Versuchsjahren führte diese Beschleunigungsspannung zu gegenüber der Kontrolle signifikant reduziertem Feldaufgang. Das Parameterpaar 105 kV / 12 kGy erwies sich hingegen als gut geeignet. Im Versuchszeitraum 2000/2001 war der Feldaufgang des mit 105 kV / 12 kGy elektronenbehandelten Weizens an zwei von acht Standorten signifikant erhöht. Ab 2001 zeigten sich, gemittelt über alle Standorte, in den Parzellenversuchen keine signifikanten Unterschiede im Auflaufverhalten zwischen den Varianten. Tendenziell war insbesondere im Herbst 2002 bei unbehandeltem Weizen eine geringfügige Auflaufreduzierung im Vergleich mit den behandelten Varianten zu verzeichnen (Abbildung 15).

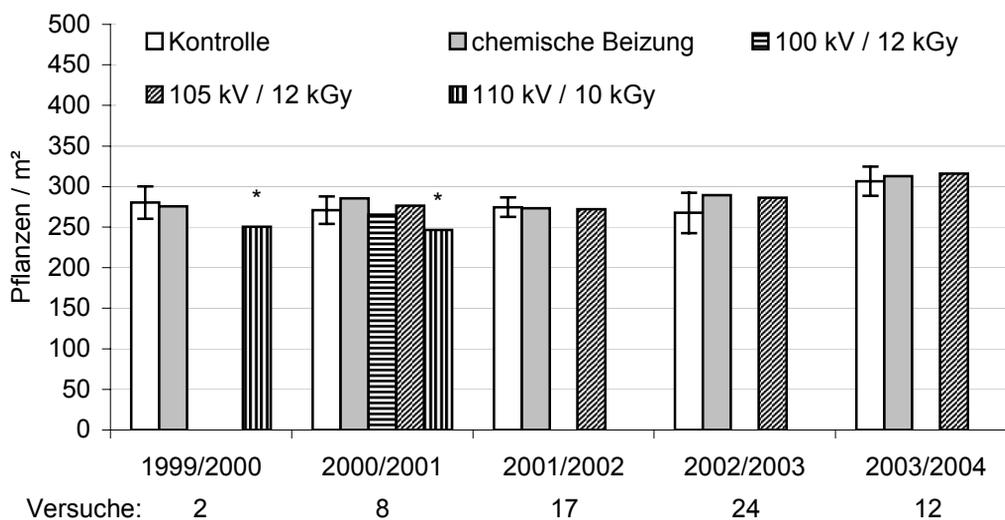


Abb. 15 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang von zertifiziertem Winterweizen
Sorten: 1999, 2000 und 2003 'Aron',
2001 'Alidos', 'Altos', 'Cardos', 'Compliment', 'Flair', 'Maxi', 'Tommi', 'Toronto',
2002 'Altos', 'Compliment', 'Enorm', 'Flair', 'Ludwig', 'Ritmo', 'Tataros', 'Tommi',
Parzellenversuche 1999 – 2004
* signifikant zur Kontrolle, $p \leq 0,05$

Ertrag

Der Ertrag schwankte in Abhängigkeit von Sorte und Standort geringfügig, jedoch waren zu keinem Zeitpunkt und an keinem Standort signifikante Unterschiede zwischen den Varianten nachweisbar (Abbildung 16). Die Reduzierung im Feldaufgang des mit 110 kV / 10 kGy behandelten Weizens wurde über die Bestandsentwicklung kompensiert und war im Ertrag nicht mehr nachweisbar.

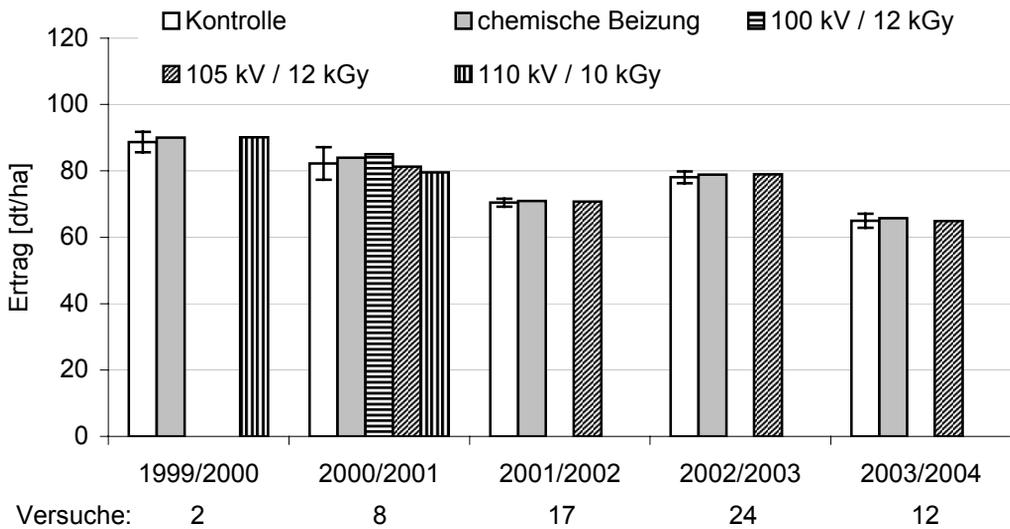


Abb. 16 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Ertrag von zertifiziertem Winterweizen
 Sorten: 1999, 2000 und 2003 'Aron',
 2001 'Alidos', 'Altos', 'Cardos', 'Compliment', 'Flair', 'Maxi', 'Tommi', 'Toronto',
 2002 'Altos', 'Compliment', 'Enorm', 'Flair', 'Ludwig', 'Ritmo', 'Tataros', 'Tommi',
 Parzellenversuche 1999 – 2004

Ringversuch 2003/2004

Für die Verbreitung des Verfahrens in der landwirtschaftlichen Praxis kommt den Ringversuchen der Pflanzenschutzdienste eine besondere Bedeutung zu. Insbesondere im Versuchsjahr 2003/2004 konnte mit acht Standorten in sieben Bundesländern eine repräsentative Verteilung über das Bundesgebiet erreicht werden. Die Ergebnisse dieses Versuchsjahres sind deshalb nachfolgend im Einzelnen aufgeführt. In der Tabelle 4 sind Feldaufgang und Ertrag in den behandelten Varianten in Relation zur unbehandelten Kontrolle dargestellt.

Tab. 4 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang und den Ertrag von zertifiziertem Winterweizen, Ringversuch 2003/2004

Bundesland	Standort	Feldaufgang				Ertrag			
		chemische Beizung		Elektronenbehandlung		chemische Beizung		Elektronenbehandlung	
		Pflanzen/m ²	rel. zur Kontrolle	Pflanzen/m ²	rel. zur Kontrolle	Ertrag [dt/ha]	rel. zur Kontrolle	Ertrag [dt/ha]	rel. zur Kontrolle
Schleswig-Holstein	Birkenmoor	229	86,4	244	92,1	82,61	98,7	83,41	99,6
Niedersachsen	Langreder	342	95,0	346	96,1	nicht ermittelt	nicht ermittelt	nicht ermittelt	nicht ermittelt
Brandenburg	Nuhnen	312	104,7	326	109,4	44,5	99,4	45,0	100,5
Sachsen-Anhalt	Bernburg-Strenzfeld	nicht ermittelt		nicht ermittelt		96,4	99,7	99,6	103,0
Rheinland-Pfalz	Emmelshausen	348	100,0	356	102,3	85,2	109,4	79,5	102,0
Bayern	Puch	372	115,2	340	105,3	73,4	100,1	74,7	101,9
Bayern	Straßmoos	341	98,8	344	99,7	68,4	105,6	66,3	102,3
Baden-Württemberg	Renningen	407	109,4	395	106,2	95,9	101,0	93,3	98,3

Erwartungsgemäß zeigen die Ergebnisse erhebliche Unterschiede im Feldaufgang zwischen den einzelnen Standorten. Zwischen den Behandlungsvarianten an den Standorten waren die Unterschiede gering. Der gegenüber der Kontrolle reduzierte Auflauf am Standort Birkenmoor durch beide Behandlungsvarianten resultierte aus einer frühen Aussaat und in der Folge günstigen Auflaufbedingungen, so dass die Behandlungen einen zusätzlichen Stress für die Pflanze bedeuteten und zu einer starken Verzögerung des Feldaufgangs führten. Im Ernteergebnis waren diese Differenzen ausgeglichen. An den meisten Standorten waren die Unterschiede im Ertrag zwischen den Behandlungen gering.

Die Pflanzenverträglichkeit der Elektronenbehandlung an Atmosphärendruck konnte im Untersuchungszeitraum von 1999 bis 2004 nachgewiesen werden. Dabei wurde das Parameterpaar 105 kV / 12 kGy als optimal ermittelt.

Kontrollierte Anbauvergleiche

Um die Praxisreife des Verfahrens mit der veränderten Technik zu bestätigen, erfolgten 1999 – 2002 kontrollierte Anbauvergleiche auf Praxisschlägen in Sachsen und Sachsen-Anhalt. 1999 erfolgte die Elektronenbehandlung mit 100 kV / 10 kGy, ab Herbst 2000 mit 105 kV / 12 kGy. Als chemische Beizmittel wurden Arena C oder Landor CT verwendet. 1999 wurde an zwei der vier Standorte nach Elektronenbehandlung ein signifikant erhöhter Feldaufgang nachgewiesen. In den darauf folgenden Jahren war der Feldaufgang im Mittel aller Standorte gegenüber der chemisch gebeizten Variante signifikant erhöht.

Die Erträge in den elektronenbehandelten Varianten unterschieden sich nur unwesentlich von denen des chemisch gebeizten Winterweizens (Tabelle 5). 2001 wurden an zwei Standorten mindere und an drei Standorten höhere Erträge, 2002 an einem Standort ein geringerer Ertrag und an vier Standorten höhere Erträge nach Elektronenbehandlung erzielt.

Tab. 5 Elektronenbehandlung und Standardbeizung von zertifiziertem Winterweizen in kontrollierten Anbauvergleichen 1999 – 2002

Versuchsjahr	1999/2000	2000/2001	2001/2002	Summe
Versuchsanzahl	4	5	5	14
Sorten (Versuche)	'Aron'	'Aron' (4) 'Ludwig' (1)	'Altos' (3) 'Dekan' (2)	
				Mittelwert
Auflauf relativ zur chemisch gebeizten Variante [%]	104,4	106,6*	108,9*	106,6*
Ertrag relativ zur chemisch gebeizten Variante [%]	97,1	101,0	101,4	99,8

* signifikant zur chemisch gebeizten Variante $p \leq 0,05$

Sortenvergleich

Bereits im Untersuchungszeitraum 1986 – 1991 wurde die Frage der Sortenspezifität der Elektronenbehandlung untersucht. In dreijährigen Feldversuchen mit jeweils sechs Winterweizensorten wurde keine sortenspezifische Sensibilität festgestellt (PFANNMÖLLER et al. 1992). In die Abbildungen 15 und 16 eingegangen sind die Ergebnisse eines Sortenvergleiches in den Versuchsjahren 2001/2002 und 2002/2003 an den Standorten Biendorf, Böhnshausen, Hadmersleben und Leutewitz mit vier ('Altos', 'Compliment', 'Tommi', 'Maxi') bzw. fünf Sorten ('Altos', 'Compliment', 'Tommi', 'Tataros', 'Enorm'). In beiden Jahren konnte keine spezifische Sensibilität einzelner Sorten gegenüber der Elektronenbehandlung nachgewiesen werden.

Fazit

Die Praxisreife des Verfahrens der Elektronenbehandlung an Atmosphärendruck wurde für Winterweizen im Untersuchungszeitraum von 1999 bis 2004 bestätigt.

Winterroggen

Untersuchungszeiträume 1986 – 1991 („ELBA“) und 1995 – 2000 („WESENITZ 1“)

Parallel zu Winterweizen, jedoch in weitaus geringerem Umfang, wurde die phytosanitäre Wirkung einer Elektronenbehandlung an Winterroggen untersucht. Parzellenversuche mit in der Anlage „WESENITZ 1“ behandeltem Roggensaatgut wurden nicht angelegt. Die beiden Versuchszeiträume der Behandlung mit den Vakuumanlagen sind daher zusammen dargestellt.

Bereits 1981/82 erfolgte der erste Tastversuch in Parzellenform mit zertifiziertem Saatgut am Standort Kleinmachnow, in dem keine negativen Effekte nachgewiesen wurden. Nach der Fertigstellung der Versuchsanlage „ELBA“ wurden ab 1986 kontinuierlich auch mit Winterroggen Versuche durchgeführt. Die Standorte der Versuche sind in Abbildung 17 dargestellt, die Versuchsansteller im Anhang aufgelistet.

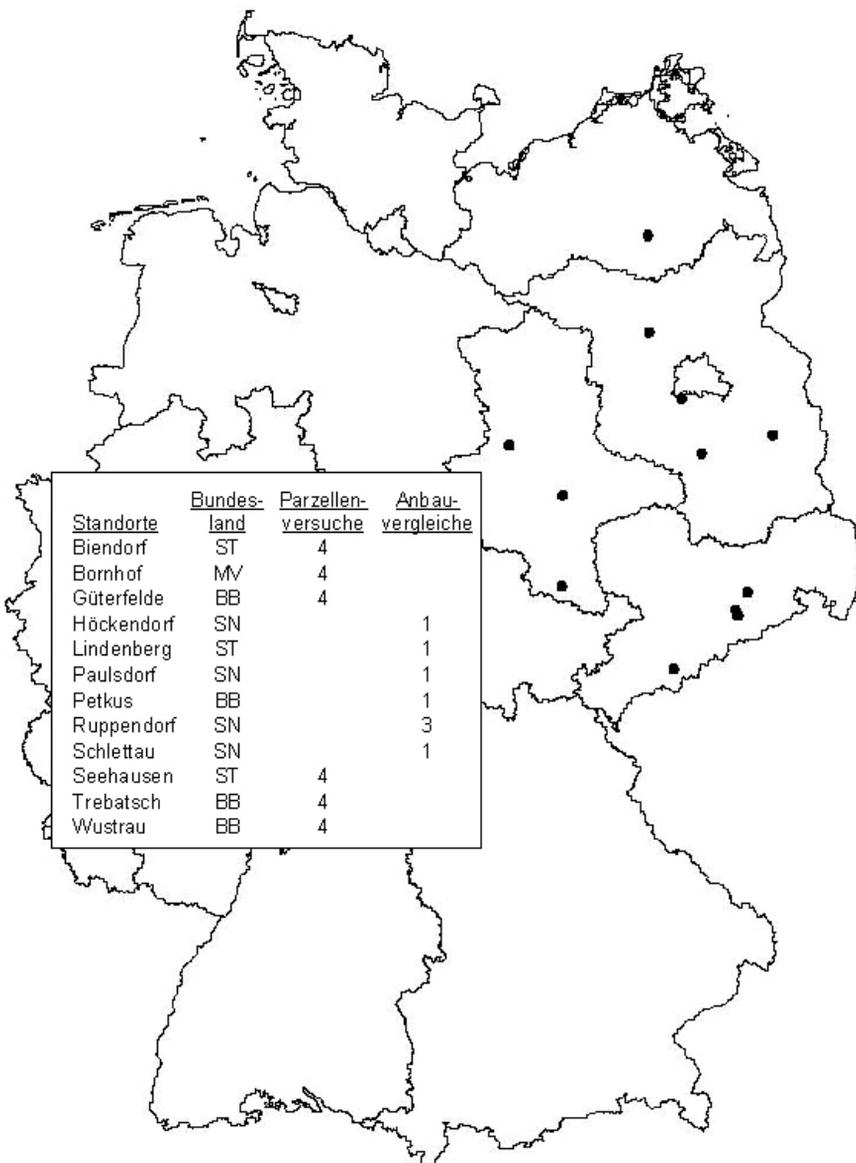


Abb. 17 Standorte der Parzellenversuche und Anbauvergleiche mit zertifiziertem Winterroggen, Untersuchungszeiträume 1986 – 1991 und 1995 – 2000

Parzellenversuche

Im Versuchszeitraum 1986 – 1991 erfolgten 24 Parzellenversuche mit zertifiziertem Winterroggen, der mit 50 kV, 55 kV und 60 kV und jeweils 6 kGy behandelt und hinsichtlich Feldaufgang und Ertrag mit chemisch gebeiztem (1986 Baytan Universal, ab 1987 Sibutol Flüssigbeize) und unbehandeltem Roggen verglichen wurde.

Feldaufgang

Der Feldaufgang (Abbildung 18) des elektronenbehandelten Roggens entsprach weitgehend dem der unbehandelten Kontrolle, jedoch zeigte sich in allen Versuchsjahren mit zunehmender Beschleunigungsspannung eine Reduzierung der Anzahl aufgelaufener Pflanzen, die bei 60 kV in zwei der Versuchsjahre signifikant war. Im Versuchsjahr 1989/90 wurde für alle Varianten der Elektronenhandlung eine signifikant reduzierte Anzahl aufgelaufener Pflanzen ermittelt. Während die Bedingungen für den später ausgesäten Winterweizen im Herbst 1989 optimal waren (vgl. Abbildung 9), war der Aussaatzeitraum für den Winterroggen (Ende September/Anfang Oktober) durch ein hohes Niederschlagsdefizit gekennzeichnet, das an allen Standorten zu lückenhaften Beständen führte. Offensichtlich war diese Trockenheit ein zusätzlicher Stress für das elektronenbehandelte Roggensaatgut. Die im Vergleich zum Weizen höhere Empfindlichkeit des Roggens, die in allen Versuchsjahren sichtbar war, zeigte sich auch bei der chemischen Beizung (signifikanter Unterschied zwischen der Kontrolle und der chemisch gebeizten Variante im Herbst 1986).

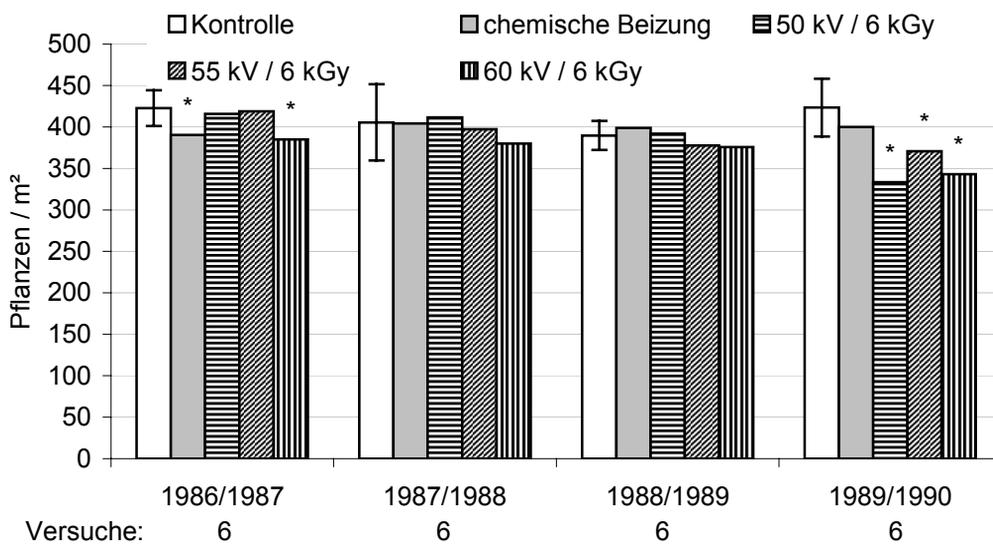


Abb. 18 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang von zertifiziertem Winterroggen, Sorte 'Muro', Parzellenversuche 1986 – 1990
* signifikant zur Kontrolle, $p \leq 0,05$

Ertrag

Die insbesondere im Herbst 1989 großen Differenzen zwischen den Varianten wurden durch die Bestandesentwicklung bis zur Ernte 1990 vollständig kompensiert. Die Erträge aller behandelten Varianten entsprachen im gesamten Untersuchungszeitraum denen der Kontrolle und unterschieden sich nicht signifikant (Abbildung 19).

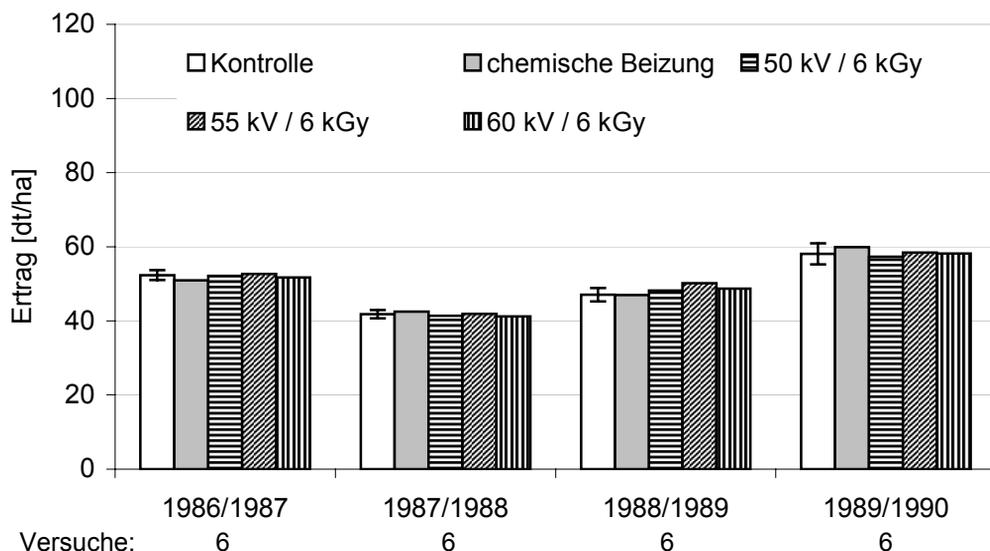


Abb. 19 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Ertrag von zertifiziertem Winterroggen, Sorte 'Muro', Parzellenversuche 1986 – 1990

Kontrollierte Anbauvergleiche

Im Vergleich zu Winterweizen erfolgten mit Winterroggen relativ wenige kontrollierte Anbauvergleiche. Im Versuchsjahr 1988/1989 wurde an drei Standorten, Lindenberg, Petkus und Schlettau, elektronenbehandelter Winterroggen (55 kV / 6 kGy) (Sorte 'Muro') mit Sibutol-gebeiztem verglichen (Ergebnisse nicht detailliert dargestellt). An zwei der drei Standorte war der Ertrag nach Elektronenbehandlung in der Tendenz erhöht, am dritten Standort waren beide Behandlungsvarianten gleich. Signifikante Unterschiede wurden nicht nachgewiesen.

1997 und 1998 wurden jeweils ein Versuch in Ruppendorf, 1999 drei Versuche auf Standorten in Sachsen (Ruppendorf, Höckendorf und Paulsdorf) angelegt. Ausgehend von der Parameteroptimierung der ersten Versuchsreihen in den 80er Jahren und den Erfahrungen mit der Anlage „WESENITZ 1“ bei Winterweizen wurde mit 60 kV / 8 kGy behandelter Winterroggen mit chemisch gebeiztem (Arena C) verglichen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt. Im Versuchsjahr 1997/1998 war der Feldaufgang nach Elektronenbehandlung stark verzögert, so dass die chemische Beizung zu signifikant höherer Pflanzenanzahl führte. Dagegen war der Feldaufgang im Herbst 1998 nach Elektronenbehandlung deutlich erhöht. Im Herbst 1999 unterschieden sich die Varianten im Feldaufgang nicht. Die Erträge waren an zwei Standorten nach Elektronenbehandlung signifikant höher als nach chemischer Beizung, der stark verzögerte Auflauf im Herbst 1997 konnte im Ertrag ausgeglichen werden. Die Ergebnisse bestätigen, dass auch große Schwankungen im Feldaufgang durch die Pflanzenentwicklung während der Vegetationsperiode weitestgehend kompensiert werden.

Tab. 6 Elektronenbehandlung und Standardbeizung von zertifiziertem Winterroggen in kontrollierten Anbauvergleichen 1997 – 2000, Sorten 'Avanti', 'Esprit'

Versuchsjahr	1997/1998	1998/1999	1999/2000		
Standort	Ruppen- dorf	Ruppen- dorf	Ruppen- dorf	Höcken- dorf	Pauls- dorf
Auflauf relativ zur chemisch gebeizten Variante [%]	69,0*	110,3*	99,5	98,8	100,5
Ertrag relativ zur chemisch gebeizten Variante [%]	99,2	n.u.	99,1	111,9*	110,5*

* signifikant zur chemisch gebeizten Variante $p \leq 0,05$

Fazit

In den Untersuchungszeiträumen von 1986 bis 2000 wurde eine hinreichende Pflanzenverträglichkeit einer Elektronenbehandlung auch für Winterroggen nachgewiesen.

Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 („WESENITZ 2“)

Parzellenversuche

Die Standorte der insgesamt 13 Parzellenversuche mit zertifiziertem Winterroggen sind in Abbildung 20 dargestellt, die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. Als chemisches Beizmittel diente Arena C. Die Ergebnisse im Versuchsjahr 2001/2002 am Standort Riethnordhausen konnten auf Grund des Ausfalls mehrerer Wiederholungen nicht in die Auswertung einbezogen werden. Im Herbst 2002 wurde lediglich ein Versuch (Standort Laberweinting) angelegt, bei dem die Daten für den Feldaufgang nicht übermittelt wurden, so dass die Ergebnisse nicht dargestellt werden konnten. Die Versuche im Versuchsjahr 2003/2004 erfolgten ausschließlich im Rahmen des Ringversuches der Bundesländer.

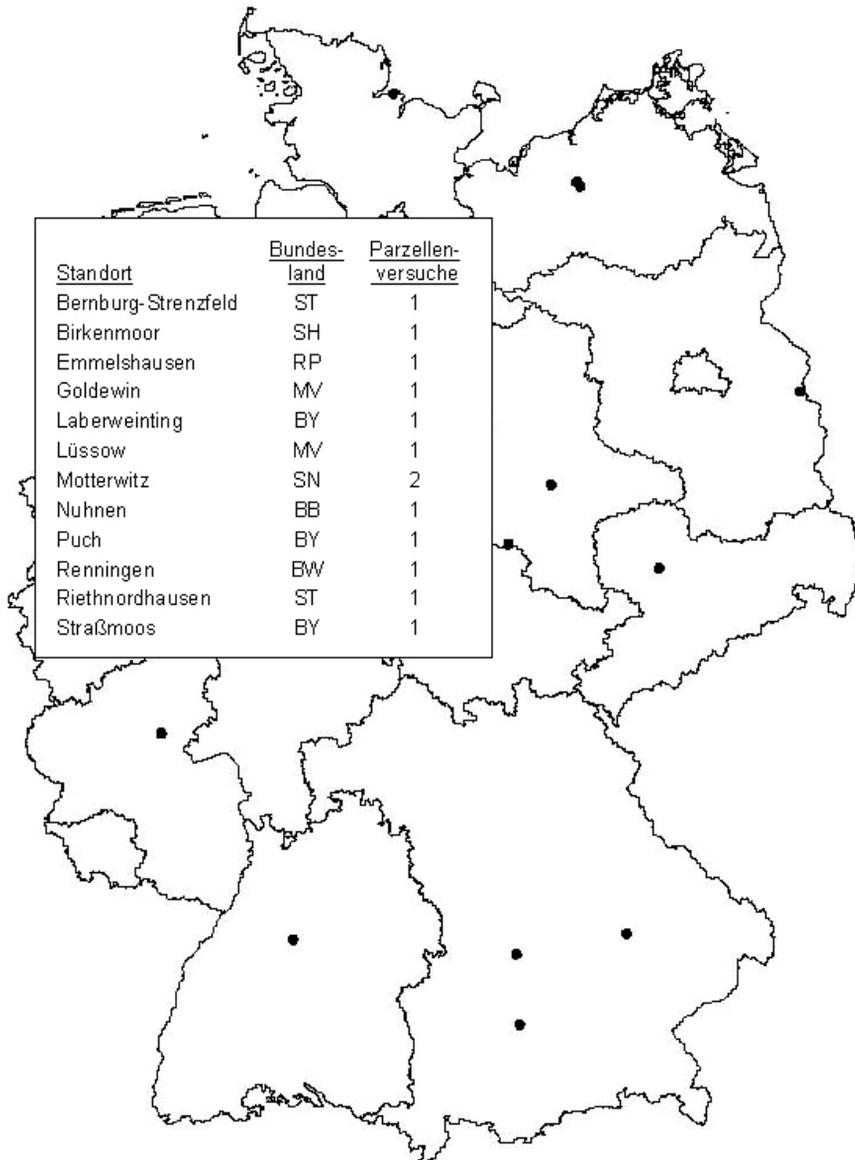


Abb. 20 Standorte der Parzellenversuche mit zertifiziertem Winterroggen, Untersuchungszeitraum 1999 – 2004

Im Versuchsjahr 2000/2001 erfolgte die Behandlung mit den Parametern 105 kV / 12 kGy und 110 kV / 10 kGy, die sich in vorausgegangenen Labor- und Modellversuchen als optimal erwiesen hatten. Ab dem Versuchsjahr 2001/2002 kam ausschließlich das Parameterpaar 105 kV / 12 kGy zur Anwendung. Kontrollierte Anbauvergleiche mit Winterroggen erfolgten in diesem Zeitraum nicht.

Feldaufgang

Im Herbst 2000 war der Feldaufgang nach chemischer Beizung und nach Elektronenbehandlung – an einem der beiden Standorte (Motterwitz) signifikant – erhöht. Im Versuchsjahr 2001/2002 zeigte sich im Feldaufgang eine eher gegenteilige Wirkung. Die späte Aussaat Ende Oktober führte bei behandeltem Saatgut zu tendenziell weniger Pflanzen (Abbildung 21). Im Versuchsjahr 2003/2004 (Erläuterung siehe unter „Ringversuch 2003/2004“) war der Feldaufgang insgesamt niedrig.

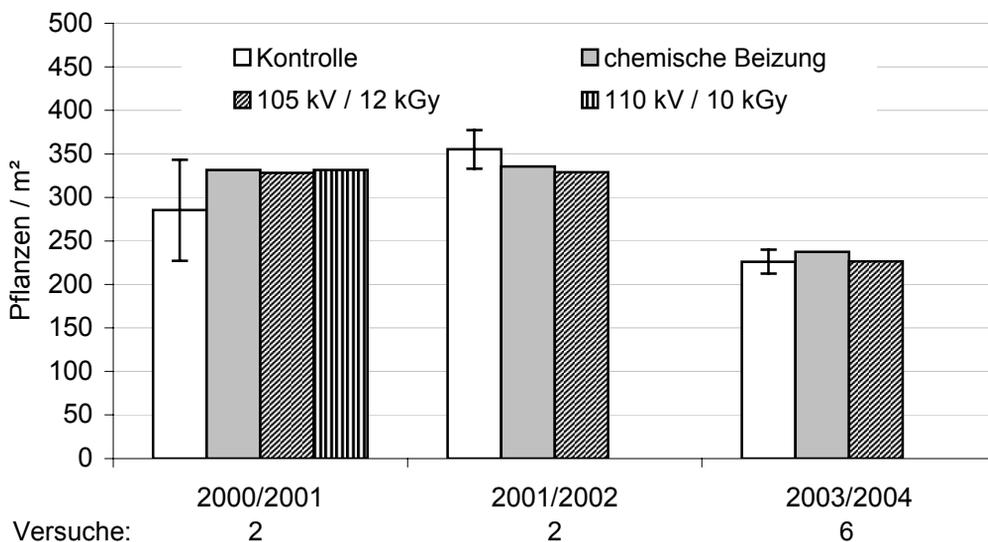


Abb. 21 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang von zertifiziertem Winterroggen, Sorte 'Avanti', Parzellenversuche 2000 – 2004

Ertrag

Im Versuchsjahr 2000/2001 konnten sowohl nach chemischer Beizung als auch nach Elektronenbehandlung mit 105 kV / 12 kGy signifikante Mehrerträge gegenüber der Kontrolle ermittelt werden. In den Versuchsjahren 2001/2002 und 2003/2004 entsprachen die Erträge in den Behandlungsvarianten denen der Kontrolle (Abbildung 22), die tendenzielle Auflaufreduzierung im Versuchsjahr 2001/2002 wurde im Verlauf der Bestandesentwicklung vollständig kompensiert.

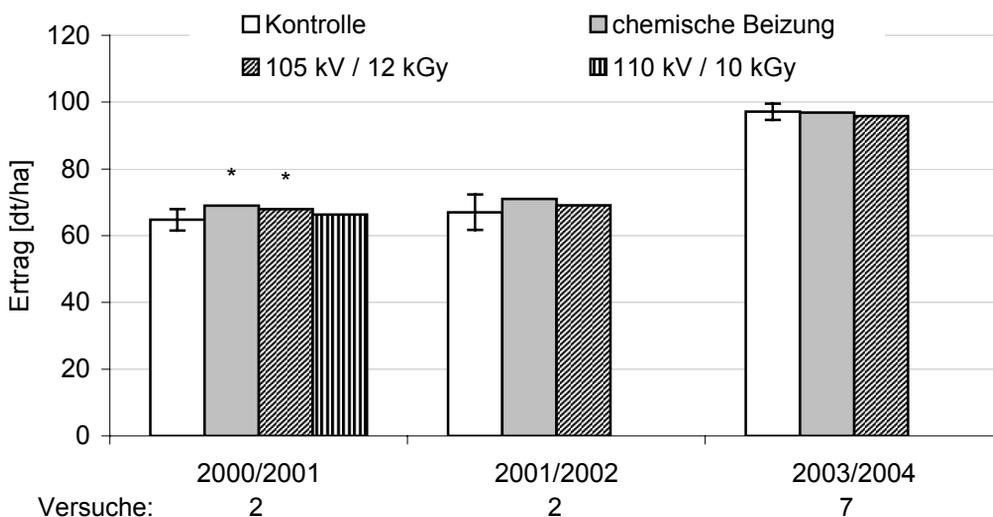


Abb. 22 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Ertrag von zertifiziertem Winterroggen, Sorte 'Avanti', Parzellenversuche 2000 – 2004

* signifikant zur Kontrolle, $p \leq 0,05$

Ringversuch 2003/2004

Die Ergebnisse der sieben Parzellenversuche des Ringversuches 2003/2004, der von den Pflanzenschutzdiensten der Länder durchgeführt wurde, sind, analog dem Winterweizen, im Einzelnen dargestellt (Tabelle 7). An einem Standort wurde der Feldaufgang nicht ermittelt.

Deutliche Unterschiede im Feldaufgang waren sowohl zwischen den Standorten als auch an einigen Standorten zwischen den Behandlungen nachweisbar. Die relativ geringen Pflanzenzahlen (<250, Tabelle 7) an drei der sechs Standorte resultierten aus einem verzögerten Feldaufgang im Herbst, der jedoch im Verlauf der Pflanzenentwicklung bis zum Ertrag ausgeglichen wurde. Die Erträge waren allgemein hoch, an sechs der sieben Standorte lag das Ertragsniveau deutlich über 90 dt/ha. Die Unterschiede im Feldaufgang zwischen den Varianten waren im Ertrag weitgehend nicht mehr nachzuweisen.

Tab. 7 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang und den Ertrag von zertifiziertem Winterroggen, Ringversuch 2003/2004

Bundesland	Standort	Feldaufgang				Ertrag			
		chemische Beizung		Elektronenbehandlung		chemische Beizung		Elektronenbehandlung	
		Pflanzen/m ²	rel. zur Kontrolle	Pflanzen/m ²	rel. zur Kontrolle	Ertrag [dt/ha]	rel. zur Kontrolle	Ertrag [dt/ha]	rel. zur Kontrolle
Schleswig-Holstein	Birkenmoor	223	114,4	171	87,7	94,0	99,3	94,7	99,9
Brandenburg	Nuhnen	210	92,1	228	100	72,8	100,0	71,9	98,7
Sachsen-Anhalt	Bernburg-Strenzfeld	nicht ermittelt		nicht ermittelt		112,3	101,7	110,7	100,3
Rheinland-Pfalz	Emmelshausen	324	98,8	310	94,6	97,7	100,9	92,2	95,2
Bayern	Puch	204	108,5	191	101,6	108,6	95,9	108,6	95,9
Bayern	Straßmoos	264	105,6	253	101,2	99,2	102,8	96,7	100,2
Baden-Württemberg	Renningen	286	105,9	286	105,9	97,5	102,6	95,5	100,5

Fazit

Die Pflanzenverträglichkeit der Elektronenbehandlung von Winterroggen wurde im Untersuchungszeitraum von 1999 bis 2004 grundsätzlich bestätigt.

Wintergerste

Im Unterschied zu Weizen und Roggen ist durch die bei der Gerste vorhandenen Spelzen eine größere Eindringtiefe der Elektronen erforderlich. Die damit notwendige höhere Beschleunigungsspannung bei der Behandlung konnte weder mit der Versuchsanlage „ELBA“ noch mit der Pilotanlage „WESENITZ 1“ erreicht werden. Für die dennoch in erheblichem Umfang durchgeführten Versuche erfolgte die Behandlung in Anlagen, die nicht für die Saatgutbehandlung vorgesehen waren, z. B. in einer Elektronenschweißanlage. Diese Ergebnisse, mit denen die Möglichkeit der Behandlung auch von Gerstensaatzgut prinzipiell nachgewiesen wurde, sind deshalb hier nicht dargestellt. Erst mit der an Atmosphärendruck arbeitenden Pilotanlage „WESENITZ 2“ können für Gerstensaatzgut die erforderlichen Behandlungsparameter problemlos realisiert werden.

Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 („WESENITZ 2“)

Parzellenversuche

Die Standorte der 12 Parzellenversuche mit zertifizierter Wintergerste sind in Abbildung 23 dargestellt, die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. Diese Versuche wurden, beginnend im Herbst 2001, ausschließlich im Rahmen der Ringversuche der Pflanzenschutzdienste der Länder durchgeführt, kontrollierte Anbauvergleiche erfolgten nicht. Chemisches Beizmittel war Baytan Universal.

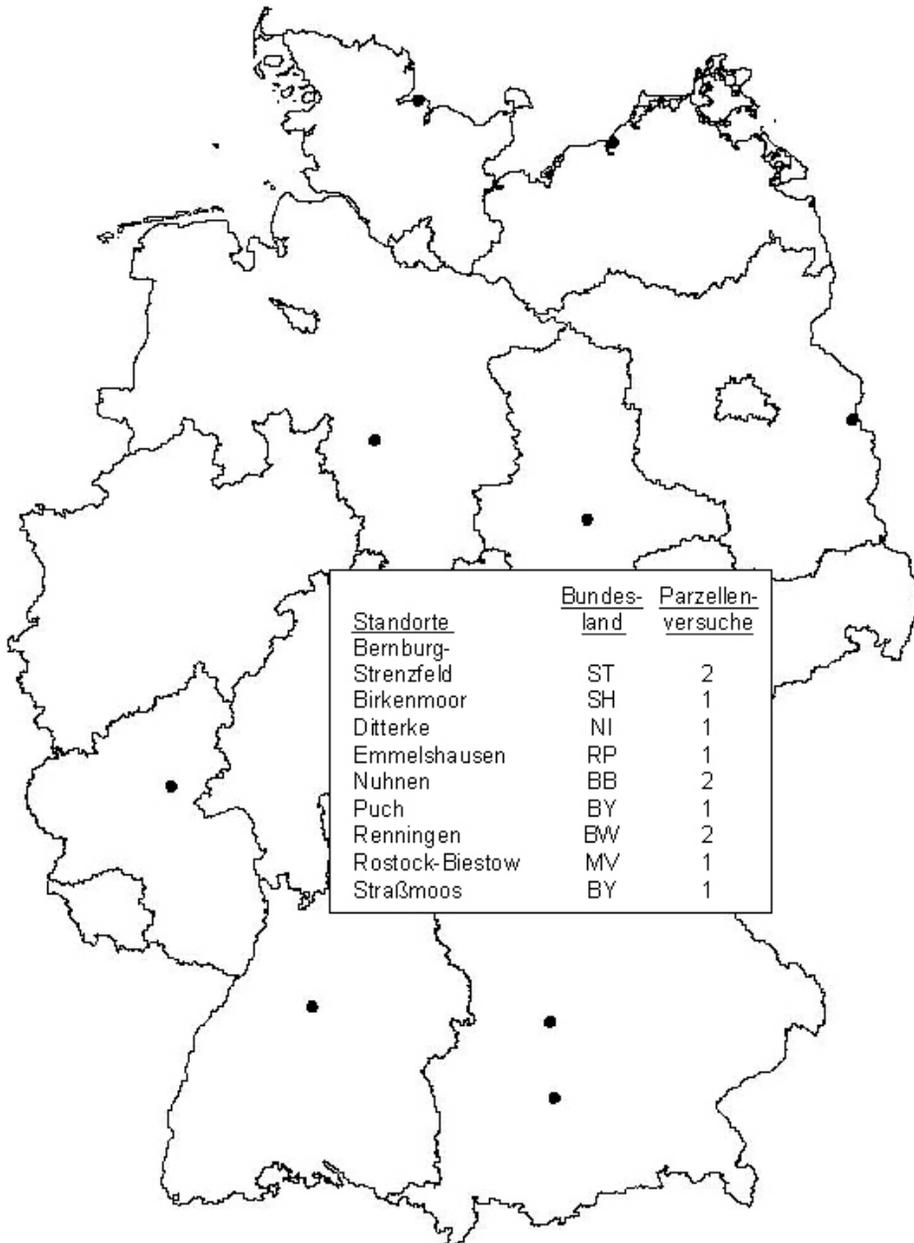


Abb. 23 Standorte der Parzellenversuche mit zertifizierter Wintergerste, Untersuchungszeitraum 1999 – 2004

Feldaufgang

Der Feldaufgang sowohl im Herbst 2001 als auch im Herbst 2002 erfolgte zügig, homogen und war jeweils an beiden Standorten in allen Varianten nahezu gleich hoch (Abbildung 24) Im Herbst 2003 war der Auflauf durch die Behandlungen geringfügig reduziert (Erläuterung siehe unter „Ringversuch 2003/2004“).

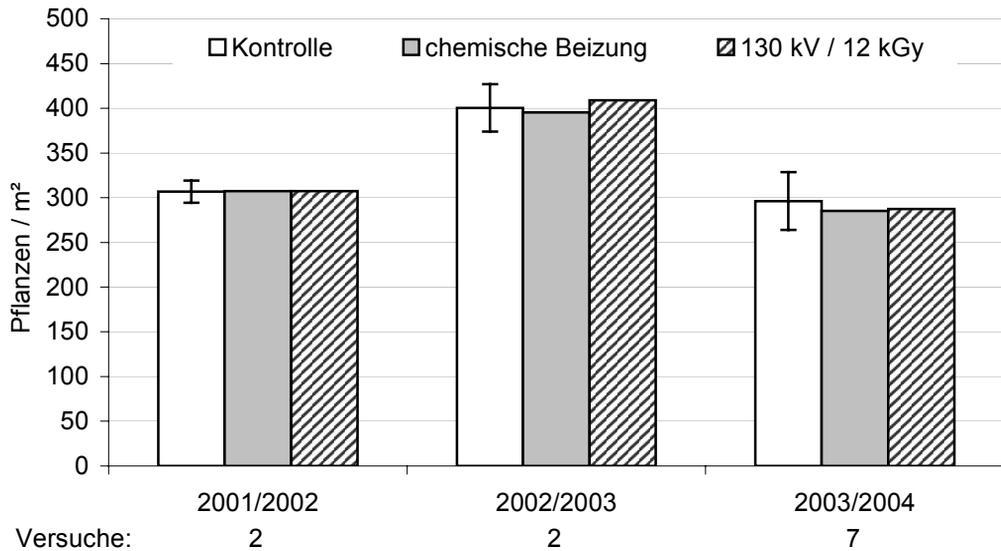


Abb. 24 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang von zertifizierter Wintergerste, Sorten 'Theresa', 'Traminer', Parzellenversuche 2001 – 2004

Ertrag

In allen drei Versuchsjahren entsprechen die Erträge in den Behandlungsvarianten denen der unbehandelten Kontrollen (Abbildung 25).

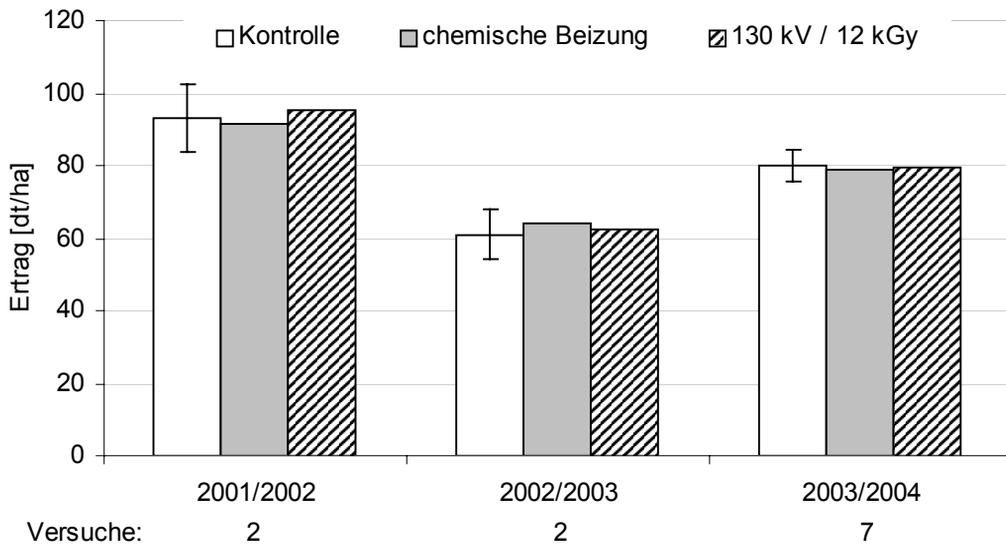


Abb. 25 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Ertrag von zertifizierter Wintergerste, Sorten 'Theresa', 'Traminer', Parzellenversuche 2001 – 2004

Ringversuch 2003/2004

Wie für Weizen und Roggen ist auch für Gerste der Ringversuch des Versuchsjahres 2003/2004 detailliert dargestellt (Tabelle 8).

Feldaufgang und Ertrag wurden an jeweils einem der acht Standorte nicht ermittelt. An vier Standorten war der Feldaufgang durch die chemische Beizung, an einem Standort durch die Elektronenbehandlung deutlich (ca. 10 %) reduziert. Die Erträge im Jahr 2004 waren hoch, die großen Unterschiede im Feldaufgang waren im Ertrag nicht mehr nachzuweisen.

Tab. 8 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang und den Ertrag von zertifizierter Wintergerste, Ringversuch 2003/2004

Bundesland	Standort	Feldaufgang				Ertrag			
		chemische Beizung		Elektronenbehandlung		chemische Beizung		Elektronenbehandlung	
		Pflanzen/m ²	rel. zur Kontrolle	Pflanzen/m ²	rel. zur Kontrolle	Ertrag [dt/ha]	rel. zur Kontrolle	Ertrag [dt/ha]	rel. zur Kontrolle
Schleswig-Holstein	Birkenmoor	218	100,9	246	113,9	80,4	102,2	77,6	98,6
Niedersachsen	Ditterke	228	89,4	268	105,1	nicht ermittelt		nicht ermittelt	
Brandenburg	Nuhnen	232	89,9	248	96,1	51,4	96,7	52,0	97,8
Sachsen-Anhalt	Bernburg-Strenzfeld	nicht ermittelt		nicht ermittelt		96,4	97,8	99,4	100,9
Rheinland-Pfalz	Emmelshausen	332	92,6	344	96,0	82,3	98,6	80,9	97,0
Bayern	Puch	294	97,0	278	91,7	71,8	94,5	77,0	101,3
Bayern	Straßmoos	306	92,4	326	98,5	72,6	95,0	75,5	98,8
Baden-Württemberg	Renningen	347	98,3	342	96,9	95,8	102,6	95,4	102,2

Fazit

Die Pflanzenverträglichkeit der Elektronenbehandlung von Wintergerste wurde im Untersuchungszeitraum von 2001 bis 2004 nachgewiesen.

Wirkung gegen samenbürtige Schaderreger an Getreide

Tilletia caries an Winterweizen

Der Weizensteinbrand (*Tilletia caries*) gehört weltweit, insbesondere in den kühleren Klimaten, zu den häufigsten und damit wirtschaftlich bedeutendsten Getreidekrankheiten. Er kann zu Ertragseinbußen von 20 – 50 % führen (MATHUR und CUNFER 1993), aber auch eine Belastung des Getreides mit Toxinen (WESTERMANN et al. 1988) verursachen. Die chemische Beizung bietet einen wirksamen Schutz gegen diesen Erreger. Wenn jedoch keine direkte Bekämpfung möglich oder erlaubt ist, kommt es in kurzen Zeiträumen zu einer Anreicherung der Sporen und letztendlich zum epidemischen Auftreten der Krankheit.

Nach Elektronenbehandlung sind die Sporen teilweise noch vorhanden, jedoch inaktiviert bzw. abgetötet. Die herkömmliche Saatgutprüfung beschränkt sich auf die Quantifizierung der Sporen / Korn, lässt deren Prüfung auf Vitalität jedoch außer Acht. Um dieser Problematik Rechnung zu tragen, lag das Hauptaugenmerk von Beginn der Untersuchungen an auf den Prüfungen im Feld. Ab 1982 wurden diese kontinuierlich durchgeführt. Da bis 1985 mit so genannten „Fremdanlagen“, die nicht für die Saatgutbehandlung konzipiert waren, gearbeitet wurde, werden die Ergebnisse dieser Versuchsperiode nicht dargestellt. Wirkungsgrade bis zu 100 % belegten bereits in diesem Zeitraum die mit dieser Technologie erreichbare hohe fungizide Wirkung gegen den Steinbranderreger.

Untersuchungszeiträume 1986 – 1991 („ELBA“) und 1995 – 2000 („WESENITZ 1“)

Nachdem 1986 die ausschließlich der Saatgutbehandlung dienende Anlage „ELBA“ fertig gestellt war, erfolgte der Nachweis der fungiziden Wirkung der Behandlung in Verbindung mit der Parameterfeinoptimierung im Zeitraum bis 1991. Das Hauptziel lag im Nachweis der Stabilität und der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, da bereits in der Vorversuchsperiode optimale Parameter weitgehend selektiert werden konnten.

Im Versuchszeitraum 1986 bis 1990 wurden an sechs Standorten (Abbildung 26) Wirkungsprüfungen im Freiland durchgeführt. Die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. Neben der unbehandelten Kontrolle wurde chemisch gebeiztes Saatgut (1986 Baytan Universal, ab 1987 Sibutol Flüssigbeize) in die Untersuchungen einbezogen. 1986 erfolgten Elektronenbehandlungen mit 50 kV, 55 kV und 60 kV und jeweils 6 kGy, 1987 wurden die Behandlungen auf die Parameter 55 kV / 6 kGy und 60 kV / 6 kGy beschränkt (letzteres nicht im Feldversuch untersucht) und ab 1988 wurde ausschließlich mit 55 kV / 6 kGy behandelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Nicht in die Ergebnisdarstellung einbezogen wurden zwei Versuche aus dem Jahr 1990/1991 sowie im Herbst 1991 in den Bundesländern Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen angelegte Versuche, da die Versuchsprotokolle nicht vorlagen. Die Ergebnisse entsprachen dem in Tabelle 9 dargestellten Trend. Zum Beispiel wurden im Versuch in Baden-Württemberg bei einem Befall von 33,4 % in der Kontrolle Wirkungsgrade von 97 % – 99 % durch die Elektronenbehandlung erzielt (Jahresbericht 2003 des Pflanzenschutzdienstes Baden-Württemberg).

Im ersten Versuchsjahr, 1986/1987, lag die Wirkung der Elektronenbehandlung zwischen 89 % und 95 %. Ursache für die gegenüber den Vorversuchen abgeschwächte Wirkung waren technische Probleme, verursacht durch starke Streuung in der Dosisverteilung und der Elektronenreichweite. Dazu kam ein mit 43,5 % im Mittel sehr hoher Befall. Die anlagebedingten Schwierigkeiten waren auch im darauf folgenden Versuchsjahr noch vorhanden. Nach weiterer Optimierung der Elektronenbehandlungsanlage konnte ab 1988 eine höhere fungizide Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *T. caries* erzielt werden, ab 1989 wurde mit der Elektronenbehandlungsvariante 55 kV / 6 kGy eine der chemischen Beizung nahezu vergleichbare Wirkung gegen *T. caries* erzielt.



Abb. 26 Standorte der Versuche zur Prüfung der Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *Tilletia caries* an Winterweizen, Untersuchungszeitraum 1986 – 1991

Tab. 9 Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *Tilletia caries* an Winterweizen, Sorte 'Alcedo', Kleinparzellenversuche 1986 – 1990

Versuchsjahr	1986/1987	1987/1988	1988/1989	1989/1990
Versuchszahl	6	6	6	6
Befall der Kontrolle [%]	43,5	30,5	1,7	28,0
Spannweite	31,2-69,1	15,2-48,6	1,2-3,0	4,4-63,3
	Wirkungsgrad [%]			
chemische Beizung	99,9	100	99,8	99,6
50 kV / 6 kGy	88,8			
55 kV / 6 kGy	95,2	93,9	99,5	98,6
60 kV / 6 kGy	93,5			

Die mit der Versuchsanlage „ELBA“ erzielten Ergebnisse zur Wirkung der Elektronenbehandlung wurden mit der Pilotanlage „WESENITZ 1“ in Labor-, Modell- und Kleinparzellenversuchen im Rahmen der Parameteroptimierung (1995/1996) bestätigt. Im Versuchsjahr 1996/1997 trat nur in einem der vier angelegten Kleinparzellenversuche, an der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft Dresden, Steinbrand auf. Bei einem Befall von 17,0 % in der Kontrolle wurden durch die Elektronenbehandlung mit 60 kV / 8 kGy und 60 kV / 10 kGy Wirkungsgrade von 98,1 % und 99,2 %

erzielt. In einem Kleinparzellenversuch in Ruppendorf (Sachsen) im Versuchsjahr 1997/1998 konnte mit Behandlungen von 60 kV / 8 kGy und 60 kV / 10 kGy ein Wirkungsgrad gegen *T. caries* von 100 % erreicht werden (Tabelle 10).

Tab. 10 Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *Tilletia caries* an Winterweizen, Sorte 'Aron', Kleinparzellenversuch 1997/1998

	Feldaufgang/ relativ zur Kontrolle	Ährenzahl/ relativ zur Kontrolle	Befall [%]	Wirkungsgrad [%]
Kontrolle	(361 Pflanzen/m ²)	(719 Ähren/m ²)	13,0	
chemische Beizung ¹⁾	100,1	96,8	0	100
60 kV / 6 kGy	105,7	96,8	0,2	98,7
60 kV / 8 kGy	102,5	93,2	0	100
60 kV / 10 kGy	99,7	99,6	0	100

¹⁾Arena C

Zudem wurde im Versuchsjahr 1997/1998 die Elektronenbehandlung mit 60 kV / 8 kGy in einen Parzellenversuch an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft integriert. Bei einem Steinbrandbefall von 34 % wurde sowohl durch die Elektronenbehandlung als auch die chemische Beizung (Arena C) ein Wirkungsgrad von 99 % erreicht. Bemerkenswert war die Wirkung der Behandlungen auf den Ertrag (Kontrolle 88,6 dt/ha, Elektronenbehandlung 95,3 dt/ha, chemische Beizung 97,5 dt/ha.) (Die Ergebnisse liegen nicht im Einzelnen vor und sind daher nicht dargestellt.)

Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 („WESENITZ 2“)

Ab Ende der 1990er Jahre erfolgten wiederum intensive Untersuchungen zur fungiziden Wirkung gegen *T. caries*. Die grundlegend veränderte Technik der Elektronenbehandlung machte eine erneute Optimierung der Behandlungsparameter erforderlich.

Im Zeitraum 2000 – 2004 wurden an 16 Standorten 25 Parzellenversuche durchgeführt (Abbildung 27). Die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. Die meisten der Versuche erfolgten in den ab Herbst 2000 durchgeführten Ringversuchen der Bundesländer. Die Sorten waren 'Aron' und 'Batis' (2000), 'Altos', 'Cardos' und 'Ludwig' (2001), 'Ludwig' und 'Ritmo' (2002) sowie 'Aron' (2003), chemisches Beizmittel war Arena C.

In Vorversuchen, die als Sporenkeimttests im Labor erfolgten, erwiesen sich die Parameterpaare 105 kV / 12 kGy und 110 kV / 10 kGy als sehr gut geeignet. Da die Sporenkeimung vollständig gehemmt wurde, war auch im Feld eine hohe fungizide Wirkung zu erwarten. Im ersten Versuchsjahr wurden die Untersuchungen mit beiden Parameterpaaren, ab 2001 nur noch mit dem als optimal ermittelten Parameterpaar 105 kV / 12 kGy durchgeführt. In den Versuchsjahren waren im Mittel der Versuche lediglich in einem Jahr deutliche Unterschiede im Feldaufgang nachzuweisen. Durch die Behandlungen wurde die Zahl aufgelaufener Pflanzen im Herbst 2001 erhöht. In der Zahl Ähren tragender Halme zeigten sich in den behandelten Varianten in drei der vier Jahre positive Effekte (Tabelle 11). Der negative Einfluss der Behandlungen im Versuchsjahr 2002/2003 resultiert aus den Werten eines Standortes, an dem in der Kontrolle deutlich mehr Ähren tragende Halme (532) gezählt wurden als nach chemischer Beizung (312) oder Elektronenbehandlung (316).

Abhängig von Klima und Vegetation war der Befall bei gleicher Infektion des Saatgutes mit *T. caries* in den Versuchsjahren und an den einzelnen Standorten unterschiedlich hoch. Beispielsweise wurden im Versuchsjahr 2000/2001 Befallsgrade von 1,9 % – 71,4 % ermittelt. Die Wirkung der Elektronenbehandlung war mit 66,9 % – 100 % unerwartet niedrig. Die Ursachen für die verminderte Wirkung waren zunächst nicht zu ermitteln. Im Versuchsjahr 2001/2002 stellte sich eine ähnliche Situation dar.

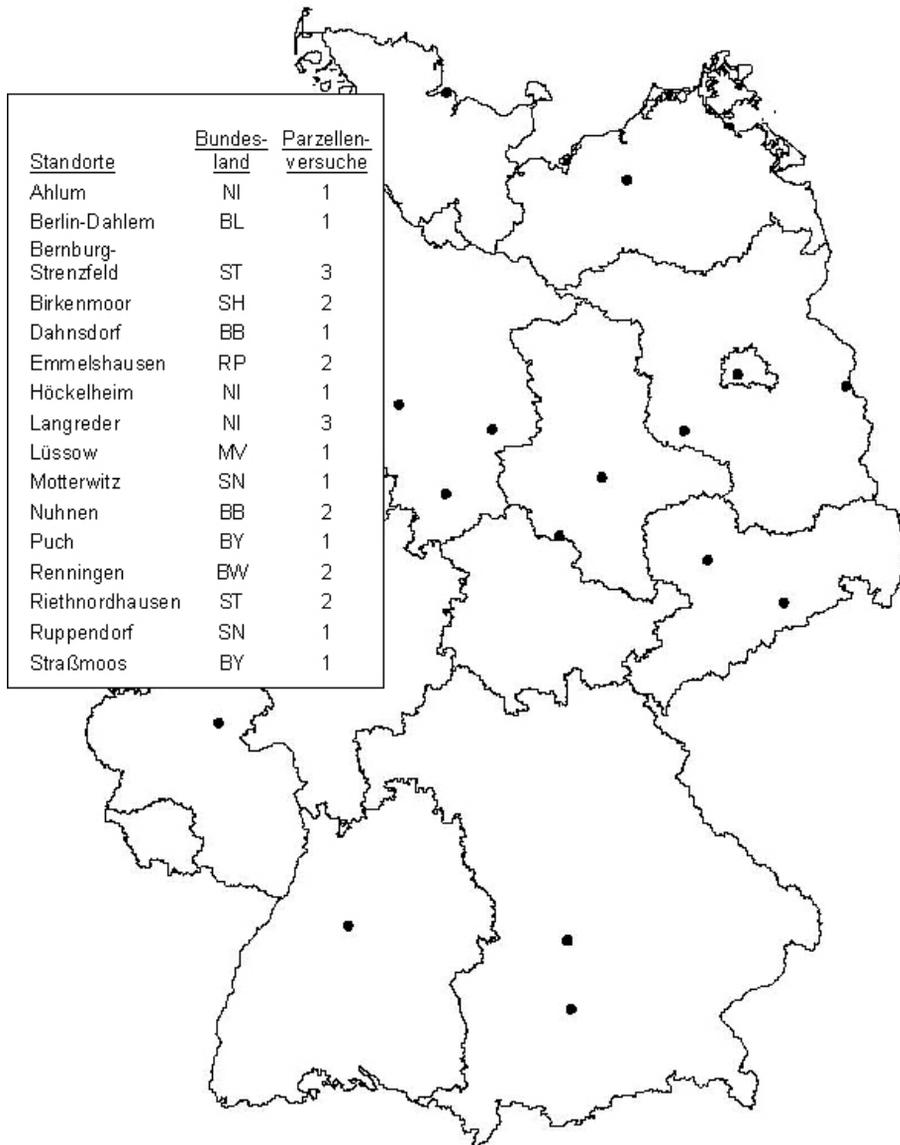


Abb. 27 Standorte der Versuche zur Prüfung der Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *Tilletia caries* an Winterweizen, Untersuchungszeitraum 1999 – 2004

Im Ergebnis der Ursachenanalyse ist davon auszugehen, dass die verminderte Wirkung nicht auf die Behandlung, sondern auf einen Fehler bei der Anlage der Parzellenversuche zurückzuführen ist. Alle Versuche erfolgten in randomisierten Blockanlagen mit vier Wiederholungen, und alles Saatgut, sowohl unbehandelt, aber mit Sporen kontaminiert, als auch elektronenbehandelt und chemisch gebeizt, passierte in der laut Versuchsplan vorgegebenen Reihenfolge die Parzellendrillmaschine. So war in der Maschine die Reinfektion mit vitalen *T. caries* – Sporen möglich.

Durch veränderte Vorgehensweise, bei der elektronenbehandeltes Saatgut vor der Kontrolle gedrillt wurde, konnte dieser Versuchsfehler eliminiert werden. Ab dem Versuchsjahr 2002 erfolgten die Untersuchungen mit *T. caries* ausschließlich in den Ringversuchen der Bundesländer. 2002/2003 wurde an zwei der sechs Standorte ein Wirkungsgrad der Elektronenbehandlung gegen *T. caries* von 100 % erreicht. Lediglich an einem Standort lag der Wirkungsgrad deutlich unter 95 % (83,8 %), auch in diesem Fall kann die beschriebene Reinfektion nicht ausgeschlossen werden.

Tab. 11 Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *Tilletia caries* an Winterweizen, Parzellenversuche 2000 - 2004

	Feldaufgang/ relativ zur Kontrolle	Ährenzahl/ relativ zur Kontrolle	Befall [%]	Spannweite	Wirkungsgrad [%]	Spannweite
2000/2001 - 8 Versuche						
Kontrolle	(278 Pflanzen/m ²)	(444 Ähren/m ²)	17,0	1,9-71,4		
chemische Beizung	100,7	108,5	1,4	0-3,3	97,8	95,3-100
105 kV / 12 kGy	100,7	112,9	3,1	0,1-5,5	90,5	66,9-100
110 kV / 10 kGy	- ¹⁾	- ¹⁾	2,1	1,1-3,0	96,0	82,2-100
2001/2002 - 3 Versuche						
Kontrolle	(170 Pflanzen/m ²)	(477 Ähren/m ²)	26,6	15,9-37,3		
chemische Beizung	122,9	104,4	0,6	0,4-0,9	96,8	94,6-99,0
105 kV / 12 kGy	120,0	105,7	2,2	2,2	93,0	86,1-98,8
2002/2003 - 6 Versuche						
Kontrolle	(292 Pflanzen/m ²)	(423 Ähren/m ²)	19,4	11,2-36,0		
chemische Beizung	108,3	96,0	0	0-0,1	100	99,7-100
105 kV / 12 kGy	100,0	92,7	1,2	0-4,8	95,3	83,8-100
2003/2004 - 8 Versuche						
Kontrolle	(337 Pflanzen/m ²)	(459 Ähren/m ²)	16,7	5,4-48,0		
chemische Beizung	101,6	103,1	1,1	0-8,6	97,8	82,1-100
105 kV / 12 kGy	100,1	101,4	1,0	0-4,5	95,8	90,6-100

-¹⁾ nicht an allen Standorten ermittelt

Die Ergebnisse des Ringversuches im Versuchsjahr 2003/2004 sind in Abbildung 28 detailliert dargestellt. Der Wirkungsgrad der Elektronenbehandlung betrug an drei der acht Standorte 100 %, an weiteren vier Standorten war die Wirkung mit deutlich über 90 % ebenfalls hoch. Überraschend war das Ergebnis am Standort in Niedersachsen insbesondere unter dem Aspekt, dass an allen Standorten das gleiche Saatgut ausgebracht wurde. Der Steinbrandbefall war mit 48 % sehr hoch. Beide Behandlungsverfahren konnten diesen Befall nicht in ausreichendem Maße reduzieren.

Im Versuchsjahr 2002/2003 erfolgte an drei der sechs Standorte (in Schleswig-Holstein, Baden-Württemberg und Niedersachsen), 2003/2004 an vier der acht Standorte (zwei in Bayern, je einer in Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg) eine Ertragsermittlung. Im Vergleich zur Kontrolle wurden durch die Elektronenbehandlung wie durch die chemische Beizung in beiden Versuchsjahren an jeweils zwei Standorten signifikante Mehrerträge erzielt (Abbildung 29). An den weiteren drei Standorten waren in der Tendenz ebenfalls Mehrerträge gegenüber der Kontrolle vorhanden. Zwischen chemischer Beizung und Elektronenbehandlung bestanden keine Unterschiede.

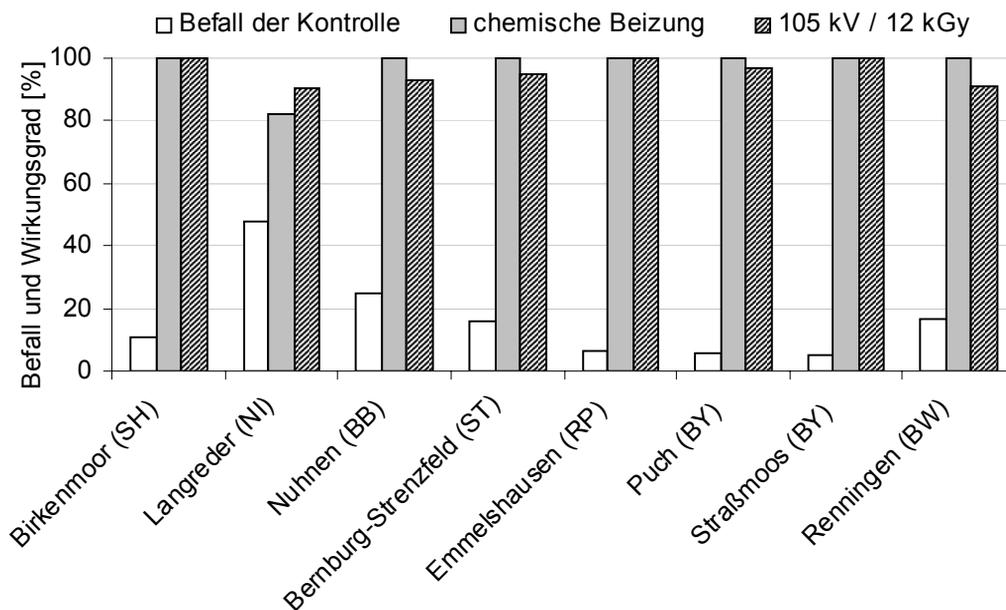


Abb. 28 Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *Tilletia caries* an Winterweizen, Parzellenversuch 2003/2004

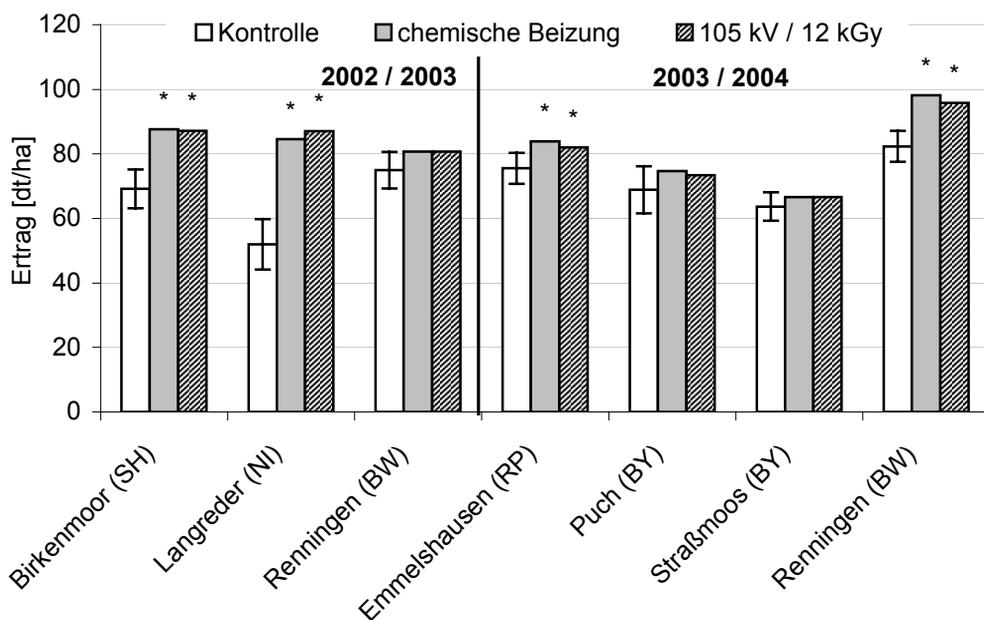


Abb. 29 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Ertrag von *Tilletia caries*-infiziertem Winterweizen, Parzellenversuche 2002 – 2004
* signifikant zur Kontrolle, $p \leq 0,05$

Fazit

Der Wirkungsgrad der Elektronenbehandlung gegen *T. caries* liegt nach erfolgter technischer Optimierung zwischen 95 % und 100 % und damit nahezu auf dem Niveau der chemischen Beizung. Dies wird durch einen äquivalenten Einfluss auf den Ertrag bestätigt.

Urocystis occulta an Winterroggen

Wenn auch in der Bedeutung dem Weizensteinbrand bei weitem nicht vergleichbar, wurde der Roggenstängelbrand (*Urocystis occulta*) als weiteres Beispiel für Brandkrankheiten, die im Schalenbereich am Saatgut lokalisiert sind, in die Untersuchungen einbezogen. Derartige Krankheiten können durch die veränderten Anbaubedingungen insbesondere auf Grund der Zunahme des ökologischen Landbaus wieder an Bedeutung gewinnen.

Im Versuchsjahr 1997/1998 wurde an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft die Elektronenbehandlung (60 kV / 8 kGy) in einen Parzellenversuch mit künstlich infiziertem Winterroggen (Sorte 'Avanti') integriert. Bei einem Stängelbrandbefall von 14 % wurde ein Wirkungsgrad von 99,4 % erreicht. (Die Ergebnisse liegen nicht im Einzelnen vor und sind daher nicht dargestellt.)

Im Versuchsjahr 2000/2001 erfolgten Kleinparzellenversuche zur Wirkung der Elektronenbehandlung mit der Pilotanlage „WESWNITZ 2“ gegen *U. occulta* an vier Standorten, in Niedersachsen (Ahlum), Brandenburg (Dahnsdorf), Sachsen (Ruppendorf) und Berlin-Dahlem. Die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. Die Elektronenbehandlungsvariante 105 kV / 12 kGy und 110 kV / 10 kGy wurde mit der Kontrolle und der chemischen Beizung (Arena C) verglichen.

In Abhängigkeit von den Boden- und Klimabedingungen variierte der Befall an den Standorten zwischen 6,2 % und 29,9 %. An allen vier Standorten wurden für die Elektronenbehandlung mit 105 kV/12 kGy Wirkungsgrade von ≥ 94 % ermittelt (Tabelle 12). Die Behandlung mit 110 kV / 10 kGy war an drei der vier Standorte weniger wirksam.

Tab. 12 Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *Urocystis occulta* an Winterroggen, Sorte 'Avanti', Mittelwert der vier Kleinparzellenversuche 2000/2001

	Feldaufgang/ relativ zur Kontrolle	Ährenzahl/ relativ zur Kontrolle	Befall [%]	Spannweite	Wirkungsgrad [%]	Spannweite
Kontrolle	(199 Pflanzen/m ²)	(599 Ähren/m ²)	16,1	6,2 – 29,9		
chemische Beizung	102,9	91,8	0	0 – 0,01	99,7	98,9 – 100
105 kV / 12 kGy	94,1	91,9	0,7	0 – 1,6	96,4	94,0 – 100
110 kV / 10 kGy	96,2	93,7	2,6	0,1 – 4,0	85,5	79,4 – 98,3

Im Mittel der Versuche erwies sich die Elektronenbehandlung an Atmosphärendruck mit dem Optimalparameterpaar 105 kV / 12 kGy mit Wirkungsgraden >95 % als geeignet für die Bekämpfung auch des Roggenstängelbrandes.

Drechslera graminea an Gerste

Der Erreger der Streifenkrankheit, *Drechslera graminea*, ist weltweit verbreitet. Die Krankheit ist, insbesondere in gemäßigten Klimaten, eine der gefährlichsten der Gerste; mit Ertragsverlusten bis zu 60 % hat sie ein hohes Schädigungspotenzial.

Untersuchungszeitraum 1986 – 1991

Obwohl keine Elektronenbehandlungsanlage speziell für Gerstensaatzgut zur Verfügung stand, wurden bereits im Untersuchungszeitraum von 1986 bis 1991 24 Kleinparzellenversuche an jeweils sechs Standorten (Kleinmachnow, Memleben, Bernburg, Gülzow, Gotha-Friedrichwerth, Salzmünde) mit infiziertem Wintergersten- und 14 mit infiziertem Sommergerstensaatzgut angelegt. Die Behandlung erfolgte in einer Elektronenschweißanlage, da mit der Anlage „ELBA“ die notwendige hohe Beschleunigungsspannung nicht realisiert werden konnte.

Es wurden Wirkungsgrade bis >90 % erzielt, zum Teil lagen die Behandlungen jedoch bereits im phytotoxischen Grenzbereich. Aus diesen Ergebnissen war zu schlussfolgern, dass eine gute Wirkung gegen *D. graminea* erreichbar ist.

In weiteren, hier ebenfalls nicht dargestellten Untersuchungen mit Gerste zeigte sich darüber hinaus eine beachtliche Zusatzwirkung gegen Netzflecken (*Drechslera teres*) und Braunfleckigkeit (*Drechslera sorokiniana*).

Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 („WESENITZ 2“)

Der Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Erreger, den Feldaufgang und die Bestandesentwicklung wurde an zwei Standorten, in Niedersachsen (Ahlum) und Sachsen (Ruppendorf), ermittelt. Der Saatgutbefall betrug 38,9 %. Die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. Chemisches Beizmittel war Baytan Universal.

Tab. 13 Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *Drechslera graminea* an Wintergerste, Sorte 'Tapir', Kleinparzellenversuche 2000/2001

	Feldaufgang/ relativ zur Kontrolle	Ährenzahl/ relativ zur Kontrolle	Befall [%]	Einzelwerte		Wirkungsgrad [%]	Einzelwerte	
				1	2		1	2
Kontrolle	(180 Pflanzen/m ²)	(454 Ähren/m ²)	11,5	7,8	15,2			
chemische Beizung	98,3	109,7	0			100		
130 kV / 12 kGy	89,4	106,4	6,8	6,7	6,8	34,8	13,7	55,9
135 kV / 12 kGy	101,1	110,1	6,0	3,2	8,7	51,0	42,8	59,2
140 kV / 12 kGy	97,8	100,9	5,6	5,1	6,1	47,7	35,5	59,9

1: Ruppendorf, 2: Ahlum

Die Anzahl aufgelaufener Pflanzen lag an beiden Standorten zwischen 50 und 65 % der Aussaatmenge, ohne dass signifikante Unterschiede ermittelt wurden. Auch die Ährenzahl unterschied sich an keinem der Standorte signifikant von der Kontrolle. Der an beiden Standorten unterschiedlich hohe Befall (Ruppendorf 7,8 %, Ahlum 15,2 %) wurde durch die Elektronenbehandlung reduziert (Tabelle 13), wobei die Wirkung der chemischen Beizung bei weitem nicht erreicht wurde. Zwischen den Behandlungsvarianten und den Standorten waren große Unterschiede im Wirkungsgrad vorhanden. Die Einzelwerte des Befalls deuten darauf hin, dass höherer und niedrigerer Befall auf etwa das gleiche Niveau reduziert werden. Da in den Untersuchungen des ersten Versuchszeitraumes eine deutlich höhere Wirkung erzielt werden konnte, erscheint eine weitere Optimierung der Parameter notwendig und möglich.

Fazit

Nach bisherigen Ergebnissen kann die Streifenkrankheit der Gerste durch die Elektronenbehandlung mit Wirkungsgraden im Bereich von bis zu 60 % bekämpft werden.

Wirkung gegen Auflaufschaderreger

Septoria nodorum an Winterweizen

Untersuchungszeiträume 1986 – 1991 („ELBA“) und 1995 – 2000 („WESENITZ 1“)

Die Prüfung der Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *Septoria nodorum* im Feld erfolgte bis 1991 nahezu ausschließlich in Kleinparzellenversuchen. Im Zeitraum 1986 – 1991 wurden neun Versuche in den heutigen Bundesländern Sachsen (Berthelsdorf, Schöndorf), Sachsen-Anhalt (Memleben), Brandenburg (Kleinmachnow, Zernikow) und Mecklenburg-Vorpommern (Malchow) angelegt und ausgewertet. Die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. Der Befall des künstlich mit *S. nodorum* infizierten Saatgutes war mit >50 % in allen Versuchsjahren hoch (Abbildung 30). Da *S. nodorum* am Saatgut als Auflaufschaderreger wirkt, war zuerst der Feldaufgang das Kriterium für die Wirksamkeit. Des Weiteren wurde im Feldversuch selbst, aber auch in begleitenden Gewächshausversuchen die Anzahl nekrotischer Koleoptilen bestimmt. Der Pilz kann im weiteren Vegetationsverlauf auf den Koleoptilen Pyknidien ausbilden. Die Reduzierung dieses Primärinfektionspotentials ist ein wichtiger Faktor für die Verhinderung der Epidemie.

In Abbildung 30 wird demonstriert, dass in den Jahren 1986 und 1987 eine Erhöhung des Feldaufganges nach jeder der Behandlungen, in allen Varianten signifikant zur Kontrolle, erzielt wurde. Unterschiede zwischen chemischer Beizung (1986 Baytan Universal, ab 1987 Sibutol Flüssigbeize) und Elektronenbehandlung waren nur im Versuchsjahr 1990/91 deutlich vorhanden. Eine bessere Wirkung der Elektronenbehandlung mit niedrigerer Beschleunigungsspannung, d.h. bei geringerer Eindringtiefe der Elektronen, auf den Feldaufgang deutete sich an. Dagegen war die Wirkung auf den Befall an den aufgelaufenen Pflanzen bei höherer Beschleunigungsspannung tendenziell höher. Die jahresbedingten Unterschiede spiegelten sich auch in diesen Untersuchungen wider. Während 1986 und 1987 alle Behandlungen zur deutlichen Reduzierung des Anteils nekrotischer Koleoptilen führten (Wirkungsgrad der Behandlung mit 60 kV / 6 kGy 70 % bis >80 %), war im letzten Versuchsjahr nur die chemische Beizung sehr gut wirksam. Überraschend hoch war der Anteil nekrotischer Koleoptilen im Versuchsjahr 1987/1988, in dem der Saatgutbefall im Vergleich der drei Jahre am niedrigsten war.

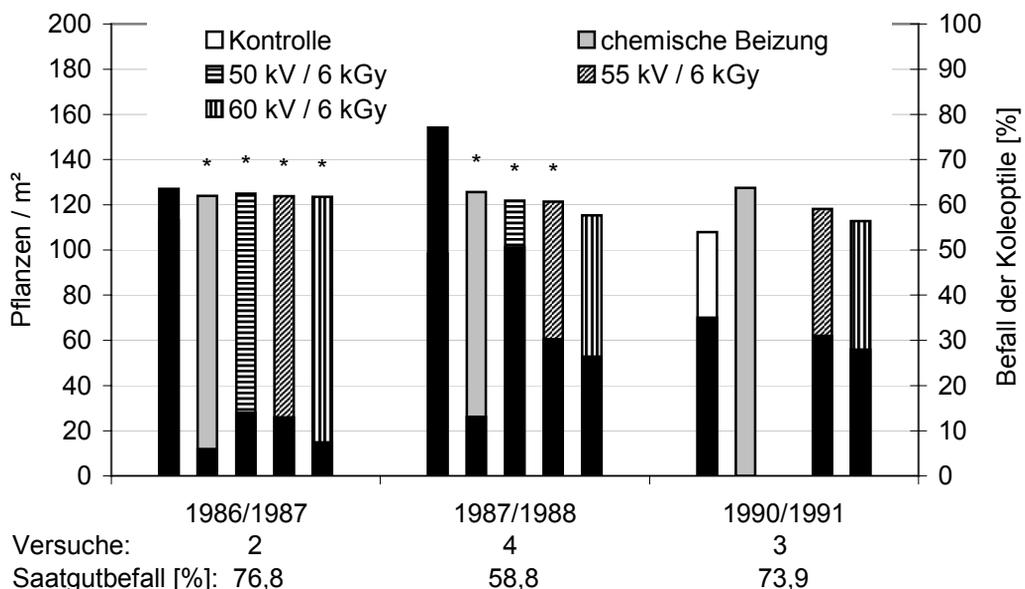


Abb. 30 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang von *Septoria nodorum* - infiziertem Winterweizen und den Befall der Koleoptilen (schwarze Säulen), Sorte 'Alcedo', Kleinparzellenversuche 1986 – 1991
* signifikant zur Kontrolle, $p \leq 0,05$

Die Untersuchungen mit dem Pathogen *S. nodorum* im ersten Untersuchungszeitraum bestätigten, dass bei der Elektronenbehandlung infizierten Saatgutes stets die höchstmögliche pflanzenverträgliche Behandlungsvariante gewählt werden sollte, um eine möglichst hohe Wirkung zu erzielen.

Wie mit *T. caries* - erfolgten auch mit *S. nodorum* - infiziertem Saatgut Untersuchungen mit der Pilotanlage „WESENITZ 1“ zur Bestätigung der mit der Versuchsanlage „ELBA“ erzielten Wirkung der Elektronenbehandlung. Im Versuchsjahr 1996/1997 wurden vier Kleinparzellenversuche mit künstlich infiziertem Saatgut der Sorte 'Borenos' (Saatgutbefall 44 %) angelegt, deren Ergebnisse nicht vollständig vorliegen. Im Mittel von zwei Standorten (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Dresden, Landespflanzenschutzamt Mecklenburg-Vorpommern) wurde der Feldaufgang durch Elektronenbehandlung mit 60 kV / 8 kGy auf 123,2 %, mit 60 kV / 10 kGy auf 114,4 % und durch die chemische Beizung mit Arena C auf 118,4 % erhöht (Tabelle 14).

1997/1998 wurde die Wirkung der Elektronenbehandlung an natürlich infiziertem Saatgut der Sorte 'Tambor' (Saatgutbefall 16,5 %) in einem Kleinparzellenversuch in Ruppendorf (Sachsen) untersucht. Weder durch die chemische Beizung (Arena C) noch eine der Elektronenbehandlungsvarianten wurde ein signifikanter Einfluss auf den Feldaufgang und die Anzahl Ähren tragender Halme erreicht (Tabelle 14). Mit Wirkungsgraden der Elektronenbehandlung gegen den Befall an den Keimpflanzen von >50 % bis >70 % wurde im parallel durchgeführten Modellversuch eine der Behandlung im ersten Untersuchungszeitraum entsprechende Wirkung nachgewiesen.

Tab. 14 Einfluss der Elektronenbehandlung auf *Septoria nodorum*-infizierten Winterweizen, Sorten 'Borenos' (1996) und 'Tambor' (1997). Kleinparzellenversuch 1996-1998

Versuchsjahr	1996/1997	1997/1998	
Versuchsanzahl	2	1	
Saatgutbefall [%]	44	16,5	
	Feldaufgang/ relativ zur Kontrolle	Feldaufgang/ relativ zur Kontrolle	Ährenzahl/ relativ zur Kontrolle
Kontrolle	(125 Pflanzen/m ²)	(132 Pflanzen/m ²)	(359 Ähren/m ²)
chemische Beizung	118,4	101,5	103,3
60 kV / 6 kGy	-	102,9	105,9
60 kV / 8 kGy	123,2	99,0	96,3
60 kV / 10 kGy	114,4	98,4	99,6

In den beiden ersten Untersuchungszeiträumen konnten zwei Parzellenversuche durchgeführt werden, in denen auch der Ertrag ermittelt wurde. Im Versuchsjahr 1990/1991 erfolgte ein Versuch mit dem Saatgut der Sorte 'Alcedo' (Saatgutbefall 73,9 %) in Güterfelde (Brandenburg), im Versuchsjahr 1996/1997 mit dem Saatgut der Sorte 'Borenos' (Saatgutbefall 44 %) am Landespflanzenschutzamt Sachsen-Anhalt (Tabelle 15). Die Ergebnisse der zwei Parzellenversuche bestätigen die Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *S. nodorum*, die sich bei entsprechenden Witterungsbedingungen und bei Gleichhaltung aller weiteren Einflussfaktoren während der Vegetation auch im Ertrag widerspiegelt. Sowohl 1990/1991 als auch 1996/1997 wurde der Feldaufgang durch alle Behandlungen signifikant verbessert; der Ertrag war deutlich, im Versuchsjahr 1996/1997 signifikant, erhöht.

Tab. 15 Einfluss der Elektronenbehandlung auf *Septoria nodorum*-infizierten an Winterweizen, Sorten 'Alcedo' (1990) und 'Borenos' (1996), Parzellenversuche 1990/1991 und 1996-1997

	1990/1991 („ELBA“)		1996/1997 („WESENITZ 1“)		
	Feldaufgang [Pflanzen/m ²]	Ertrag [dt/ha]	Feldaufgang [Pflanzen/m ²]	Ertrag [dt/ha]	
Kontrolle	230,5	78,4	Kontrolle	354,8	81,2
chemische Beizung	286,5*	93,9	chemische Beizung	416,9*	84,1*
			60 kV / 8 kGy	405,1*	84,1*
50 kV / 10 kGy	286,0*	91,1	60 kV / 10 kGy	412,2*	83,3*
			65 kV / 6 kGy	431,5*	83,6*

* signifikant zur Kontrolle, $p \leq 0,05$

Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 (WESENITZ 2)

Mit der Erprobung der e-ventus-Pilotanlage „WESENITZ 2“ wurden die Untersuchungen zur Wirkung gegen *S. nodorum* fortgesetzt. Im Versuchsjahr 1999/2000 erfolgten zwei Parzellenversuche mit *S. nodorum* - infiziertem Saatgut in Sachsen-Anhalt (Magdeburg und Hadmersleben). Die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. In allen behandelten Varianten wurde der Auflauf signifikant erhöht (Tabelle 16). Im Ertrag waren diese Unterschiede nicht mehr vorhanden. Zum Vergleich wurde eine mit der „WESENITZ 1“ behandelte Variante (60 kV / 8 kGy) mitgeführt, mit der ähnliche, jedoch geringfügig schwächere Wirkungen (Feldaufgang 109,7 %, Ertrag 99,4 %) erzielt wurden.

Im Versuchsjahr 2000/2001 erfolgten mit dem Ziel der Optimierung der Behandlungsparameter zwei Kleinparzellenversuche in Sachsen (Ruppendorf) und Niedersachsen (Ahlum), in die neben den im Vorjahr angewendeten Parametern auch die Behandlung mit 105 kV / 12 kGy einbezogen wurde. Zwei Parzellenversuche wurden im Rahmen der Ringversuche der Bundesländer in Sachsen-Anhalt (Bernburg-Strenzfeld) und in Niedersachsen (Langreder) durchgeführt, in denen nur die Vorzugsvariante (105 kV / 12 kGy) zur Anwendung kam. Im Gegensatz zum Versuchsjahr 1999/2000 erfolgte der Feldaufgang auf Grund der optimalen Witterungsbedingungen und des eher geringen Saatgutbefalls zügig und homogen, so dass die Saatgutbehandlungen den größeren Stress bedeuteten und eine Auflaufverzögerung in den behandelten Varianten nachzuweisen war. Die Erträge aus behandeltem, *S. nodorum* - infiziertem Weizen unterschieden sich nicht von denen der Kontrolle.

In einem parallel zu den Feldversuchen durchgeführten Klimakammerversuch wurde bei einem Anteil nekrotischer Koleoptilen von 36,5 % in der Kontrolle ein Wirkungsgrad der Elektronenbehandlung (105 kV / 12 kGy) von 74,0 % erzielt.

Tab. 16 Einfluss der Elektronenbehandlung auf Feldaufgang und Ertrag von *Septoria nodorum* - infiziertem Winterweizen, Sorten 'Tarso' (1999), 'Ritmo' (2000), Parzellen- und Kleinparzellenversuche 1999 – 2001

Versuchsjahr	1999/2000		2000/2001		2000/2001	
Versuchszahl und Versuchsart	2 Parzellenversuch		2 Kleinparzellenversuch		2 Parzellenversuch	
Saatgutbefall [%]	29,3		7,2			
	Feldaufgang/ relativ zur Kontrolle	Ertrag/ relativ zur Kontrolle	Feldaufgang/ relativ zur Kontrolle	Ährenzahl/ relativ zur Kontrolle	Feldaufgang/ relativ zur Kontrolle	Ertrag/ relativ zur Kontrolle
Kontrolle	(237 Pflanzen/m ²)	(93,9 dt/ha)	(137 Pflanzen/m ²)	(361 Ähren/m ²)	(279 Pflanzen/m ²)	(106,0 dt/ha)
chemische Beizung ¹⁾	111,4*	102,2	94,7	100,9	98,6	101,3
100 kV / 10 kGy	112,2*	101,1				
105 kV / 12 kGy			93,1	99,7	95,0	99,4
110 kV / 10 kGy	112,2*	100,0	101,5	93,1		

¹⁾ Arena C

* signifikant zur Kontrolle, p≤0,05

Fazit

Die Elektronenbehandlung fördert den Feldaufgang bei *S. nodorum* - infiziertem Winterweizensaatgut und reduziert das Primärinfektionspotential für den Blatt- und Ährenbefall um 50 % bis 80 %.

Fusarium spp. und *Microdochium nivale* an Winterweizen und Winterroggen

Untersuchungszeiträume 1986 – 1991 („ELBA“) und 1995 – 2000 („WESENITZ 1“)

Kleinparzellenversuche zur Prüfung der fungiziden Wirkung gegen *Fusarium culmorum* an Winterweizen erfolgten ab 1988, zunächst nur in Kleinmachnow, 1989 an fünf und 1990 an vier Standorten mit künstlich infiziertem Saatgut der Sorte 'Alcedo'. Die Standorte sind in Abbildung 31 dargestellt.

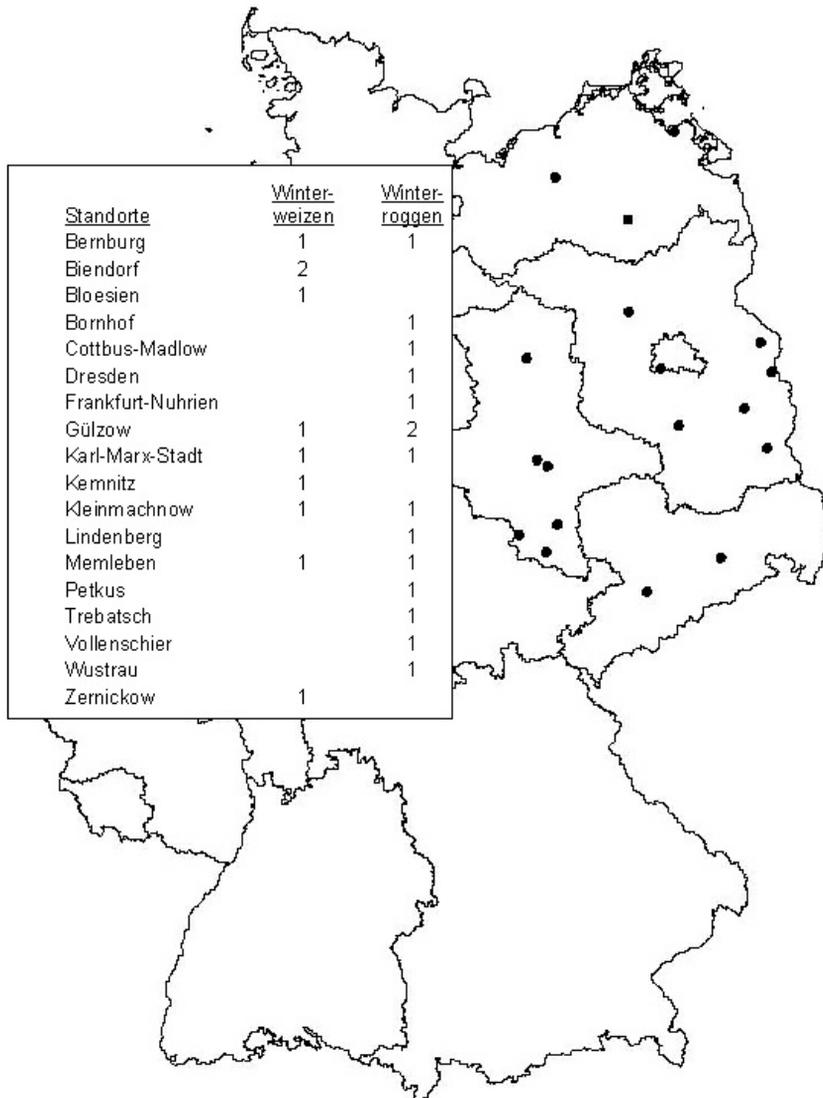


Abb. 31 Standorte der Versuche zur Prüfung der Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *Fusarium culmorum* an Winterweizen und Winterroggen, Untersuchungszeitraum 1986 – 1991

Die künstliche Infektion erfolgte durch Ausbringen einer Sporensuspension während der Blüte. Die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. Die gegen *S. nodorum* ausgewählten Parameter der Elektronenbehandlung (50 kV / 6 kGy; 55 kV / 6 kGy und 60 kV / 6 kGy) wurden 1988 für die Behandlung gewählt. Ab 1989 wurde auf eine Behandlung mit 50 kV verzichtet. Es wurde eine Behandlung mit 55 kV / 10 kGy einbezogen, um zu prüfen, ob mit einer höheren Dosis eine bessere Wirkung erreicht werden kann. Im folgenden (Abbildung 32) ist der Feldaufgang als Kriterium der Wirkung gegen Auflaufschaderreger dargestellt. Nach Elektronenbehandlung wurde 1988 eine Verbesserung des Feldaufgangs im Bereich von 12 % bis 25 % im Vergleich zur Kontrolle erreicht, wobei die Zunahme der Beschleunigungsspannung zu einer höheren Anzahl aufgelaufener Pflanzen führte. Im Versuchsjahr 1989/1990 hatten die Behandlungen eine geringfügige Auflaufreduzierung zur

Folge, während die chemische Beizung die Anzahl aufgelaufener Pflanzen signifikant erhöhte. Eine Untersuchung der Pflanzen an drei der fünf Standorte in den BBCH-Stadien 23-29 ergab eine Reduzierung des *Fusarium*-Befalls von 29 % in der Kontrolle auf 11 % durch die chemische Beizung und auf 24 %, 20 % und 21 % durch die Elektronenbehandlungen. Wie mit *S. nodorum* - wurden auch mit *F. culmorum* - infiziertem Saatgut ergänzende Labor- und Modelluntersuchungen durchgeführt. Eine Reduzierung des Befalls der Keimlinge von 22 % in der Kontrolle auf 0 % (chemische Beizung), 12,0 %, 7,0 % und 10,5 % (Elektronenbehandlungsvarianten) wurde nachgewiesen. 1990 erwies sich der Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Auflauf wiederum als geringfügig positiv.

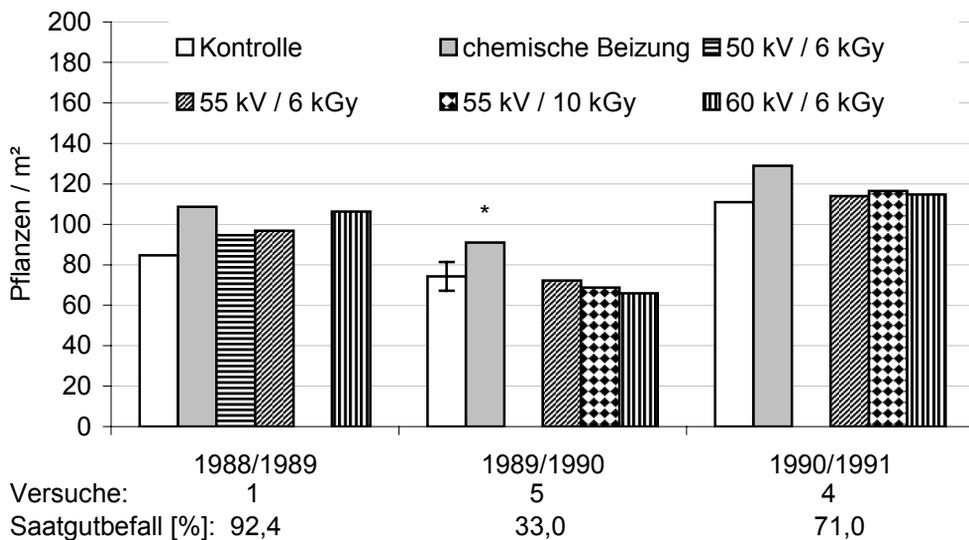


Abb. 32 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang von *Fusarium culmorum* - infiziertem Winterweizen, Sorte 'Alcedo', Kleinparzellenversuche 1988 – 1991
* signifikant zur Kontrolle, $p \leq 0,05$

Insgesamt wurden in diesem Untersuchungszeitraum nicht immer homogene Ergebnisse hinsichtlich der Wirkung einer Elektronenbehandlung bei *F. culmorum* - infiziertem Saatgut erzielt. 1989 begannen vertiefende Untersuchungen, zum Beispiel zum Einfluss der Befallsstärke, die nicht zu Ende geführt werden konnten. Es war jedoch nachzuweisen, dass der Auflauf verbessernde Effekt bei stark infiziertem Saatgut deutlich höher ist als bei gering infiziertem Saatgut.

Erste Feldversuche zur Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *F. culmorum* auch an Winterroggen erfolgten im Versuchsjahr 1988/1989 in Kleinparzellen an zehn Standorten. 1989/1990 wurden drei Parzellenversuche angelegt, 1990/1991 erfolgten nochmals zwei Kleinparzellenversuche. Die Standorte sind in Abbildung 31 dargestellt. Die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. Die Elektronenbehandlung erfolgte mit 50 kV, 55 kV und 60 kV und jeweils 6 kGy.

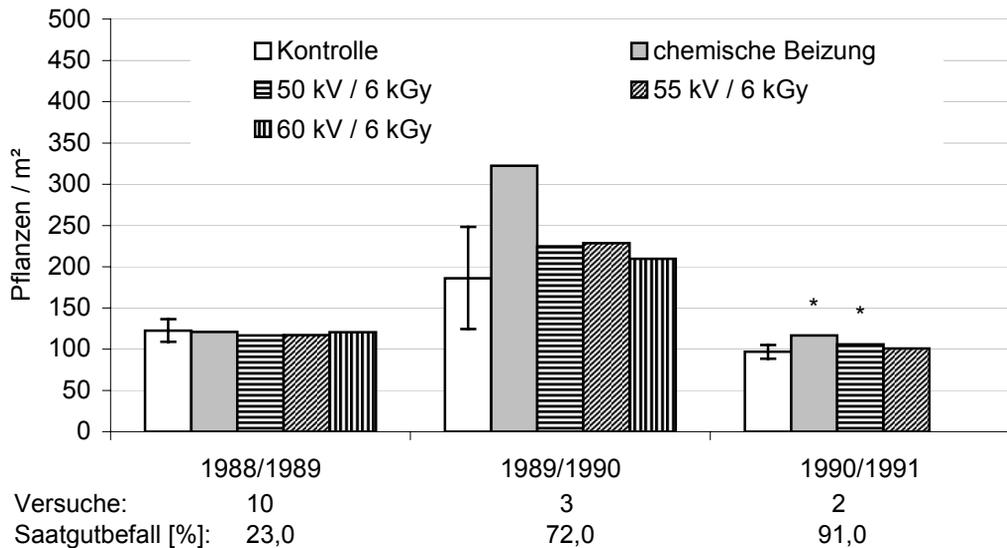


Abb. 33 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang von *Fusarium culmorum* - infiziertem Winterroggen, Sorte 'Muro', Kleinparzellenversuche 1988/1989, 1990/1991, Parzellenversuche 1989/1990
 * signifikant zur Kontrolle, $p \leq 0,05$

Im Versuchsjahr 1988/1989 beeinflusste keine der Behandlungen den Feldaufgang. Positive wie negative Abweichungen an einzelnen Standorten wurden im Mittel aller Standorte aufgehoben. In den Parzellenversuchen des Jahres 1989/1990 wurde an allen drei Standorten der Feldaufgang durch die chemische Beizung (Sibutol Flüssigbeize) signifikant erhöht. Die Elektronenbehandlung führte zu einer tendenziellen Erhöhung (Abbildung 33).

Im Versuchsjahr 1990/1991 wurde dieses Ergebnis bestätigt, jedoch war die Auflaufverbesserung deutlich geringer als in den Parzellenversuchen des Vorjahres. Auch bei Roggen war die Abhängigkeit der Wirkung von der Stärke der Saagutinfection sichtbar.

Die Erträge, die in den Parzellenversuchen des Jahres 1989/1990 an zwei der drei Standorte ermittelt wurden, lagen in allen Varianten zwischen 55 dt/ha und 60 dt/ha und unterschieden sich nicht signifikant.

Die Wirkung der Elektronenbehandlung gegen *Fusarium* spp. an Winterweizen mit der Pilotanlage „WESENITZ 1“ wurde in den Versuchsjahren 1996/1997 und 1997/1998 auf jeweils zwei Standorten in Sachsen-Anhalt (Bernburg, Seehausen) untersucht. Die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. Im Unterschied zum ersten Zeitraum erfolgten die Untersuchungen nunmehr in Parzellenversuchen mit natürlich mit *Fusarium* spp. infiziertem Saatgut. 1997/1998 wurde auch ein Kleinparzellenversuch in Ruppendorf (Sachsen) durchgeführt, in den mehrere Behandlungsvarianten einbezogen waren. Die Bestände von unbehandeltem, chemisch gebeiztem (1996 Abavit UF, 1997 Arena C) und elektronenbehandeltem Winterweizen (Sorte 'Bussard' 1996, 'Tambor' 1997) wurden zum Ertrag geführt.

Der Feldaufgang des infizierten Weizens (Tabelle 17) wurde durch die Elektronenbehandlung im Herbst 1996 signifikant erhöht, während die chemische Beizung den Auflauf signifikant reduzierte. Die sehr großen Unterschiede in der Anzahl Pflanzen zwischen den beiden Versuchsjahren resultierten zum einen aus einer höheren absoluten Aussaatstärke (500 Körner/m²) im Herbst 1996 infolge der reduzierten Keimfähigkeit des Saatgutes, zum anderen in einer geringen Keimpflanzenanzahl im Herbst 1997 infolge der Witterungsbedingungen. Insbesondere im Kleinparzellenversuch war der Feldaufgang in der Kontrolle um nahezu die Hälfte reduziert. Alle Behandlungsvarianten führten in den Kleinparzellen zu einer signifikant höheren Zahl aufgelaufener Pflanzen. Im Parzellenversuch wurde der Auflauf durch die Behandlungen in der Tendenz positiv beeinflusst.

Obgleich die nach chemischer Beizung schwächere Pflanzenentwicklung im Versuchsjahr 1996/1997 bis zur Ernte nicht völlig ausgeglichen werden konnte, waren im Ertrag keine signifikanten Unterschiede mehr vorhanden.

Tab. 17 Einfluss der Elektronenbehandlung auf Feldaufgang und Ertrag von *Fusarium* spp. - infiziertem Winterweizen, Sorten 'Bussard' (1996) und 'Tambor' (1997), Parzellenversuche 1996 – 1998, Kleinparzellenversuch 1997/1998

Versuchsjahr	1996/1997		1997/1998		1997/1998	
Versuchszahl und Versuchsart	2 Parzellenversuch		1 Kleinparzellenversuch		2 Parzellenversuch	
Saatgutbefall [%]	>25		37,0			
	Feldaufgang / relativ zur Kontrolle	Ertrag / relativ zur Kontrolle	Feldaufgang / relativ zur Kontrolle	Ährenzahl / relativ zur Kontrolle	Feldaufgang / relativ zur Kontrolle	Ertrag / relativ zur Kontrolle
	(351 Pflanzen/m ²)	(72,5 dt/ha)	(84 Pflanzen/m ²)	(290 Ähren/m ²)	(220 Pflanzen/m ²)	(96,1 dt/ha)
Kontrolle						
chemische Beizung	81,9*	97,7	151,7*	105,3	105,4	102,2
60 kV / 6 kGy			126,6*	95,7		
60 kV / 8 kGy	113,4*	100,9	116,7*	97,4	102,3	99,7
60 kV / 10 kGy			124,7*	113,3		

* signifikant zur Kontrolle, $p \leq 0,05$

Die Wirkung der Elektronenbehandlung an *Fusarium* spp. - infiziertem Winterroggen wurde ebenfalls 1997/1998 in einem Kleinparzellenversuch mit Saatgut der Sorte 'Esprit' untersucht. Die Ergebnisse stimmen in der Tendenz mit denen des Winterweizenversuches überein; sie sind daher nicht detailliert dargestellt. Insgesamt war die Förderung des Feldaufgangs geringer. Durch die chemische Beizung wurde der Feldaufgang auf 118,1 %, durch die Elektronenbehandlungen auf 110,1 %, 107,3 % und 116,6 % (Varianten wie in Tabelle 17) erhöht.

Untersuchungszeitraum 1999 – 2004 („WESENITZ 2“)

Im Versuchsjahr 1999/2000 wurden zwei Parzellenversuche in Sachsen-Anhalt (Bernburg und Seehausen), 2000/2001 zwei Versuche an diesen Standorten sowie je ein Versuch in Sachsen (Motterwitz) und Mecklenburg-Vorpommern (Lüssow) mit künstlich mit *F. culmorum* infiziertem Winterweizensaatgut durchgeführt. Im Versuchsjahr 2001/2002 wurden die Untersuchungen am Standort Nossen in Sachsen wiederholt. Die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet. Die Elektronenbehandlung erfolgte zunächst mit den Parametern 100 kV / 10 kGy und 110 kV / 10 kGy, ab dem Jahr 2000 mit dem Vorzugsparameterpaar 105 kV / 12 kGy.

Im Versuchsjahr 1999/2000 wurde der Feldaufgang durch alle Behandlungsvarianten signifikant verbessert, an beiden Standorten war der Auflauf des *F. culmorum* - infizierten, unbehandelten Saatgutes deutlich verzögert. Wie bei *S. nodorum* - infiziertem Saatgut wurde zum Vergleich eine mit der WESENITZ 1 behandelte Variante (60 kV / 8 kGy) mitgeführt, deren Ergebnisse (231 Pflanzen/m², 84,4 dt/ha) mit denen der Behandlung mit der WESENITZ 2 vergleichbar waren.

Im Versuchsjahr 2000/2001 wurden jeweils zwei Versuche mit unterschiedlich stark infiziertem Saatgut durchgeführt. Der Feldaufgang des stark infizierten Saatgutes wurde durch alle Behandlungen, durch die chemische Beizung signifikant, gefördert. Dagegen blieb der Feldaufgang des gering infizierten Saatgutes unbeeinflusst. Im Versuchsjahr 2001/2002 war bei einer starken Infektion der Feldaufgang des behandelten Saatgutes gegenüber der Kontrolle wiederum signifikant erhöht (Abbildung 34).

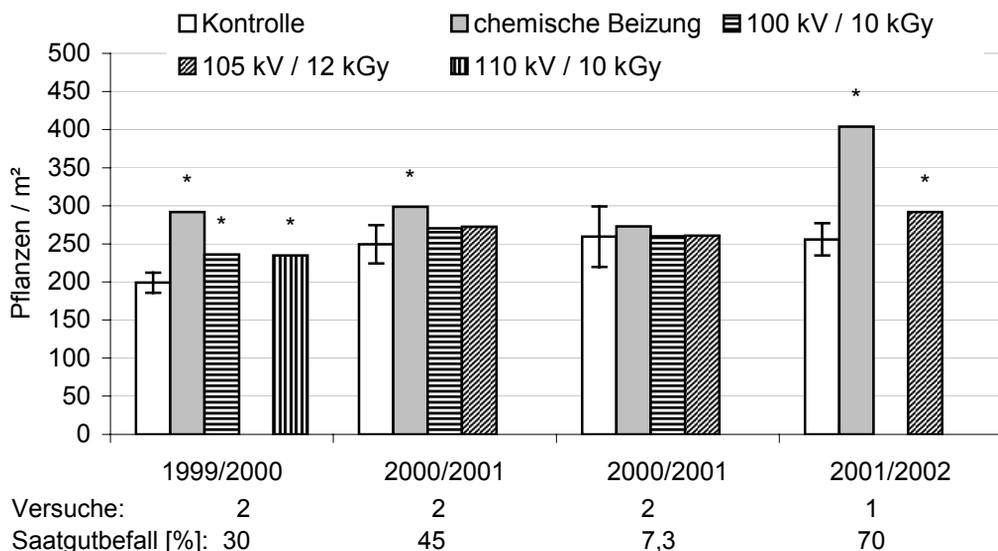


Abb. 34 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang von *Fusarium culmorum* - infiziertem Winterweizen, Sorten 'Tarso' (1999), 'Ritmo' (2000), 'Alidos' (2000 und 2001), Parzellenversuche 1999 – 2002
* signifikant zur Kontrolle, $p \leq 0,05$

Im Ertrag bestanden an allen Standorten im Untersuchungszeitraum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten (Abbildung 35). Der Einfluss der Behandlungen wurde im Verlauf der Entwicklung bis zur Ertragsbildung kompensiert.

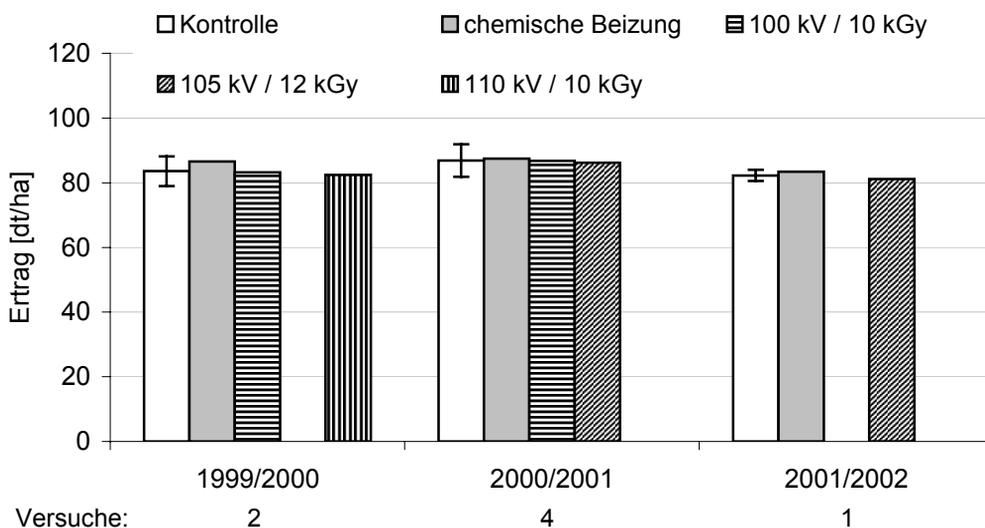


Abb. 35 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Ertrag von *Fusarium culmorum* - infiziertem Winterweizen, Sorten 'Tarso' (1999), 'Ritmo' (2000), 'Alidos' (2000 und 2001), Parzellenversuche 1999 – 2002

Untersuchungen mit *Fusarium* spp. - infiziertem Roggensaatzgut erfolgten in Parzellenversuchen im Versuchsjahr 2000/2001 an zwei Standorten, in Sachsen (Motterwitz) und Mecklenburg-Vorpommern (Lüssow), im Versuchsjahr 2001/2002 an diesen und einem weiteren Standort in Sachsen-Anhalt, Riethnordhausen. Die Versuchsansteller sind im Anhang aufgelistet.

Obwohl der Saatgutbefall im ersten Versuchsjahr nicht hoch war, konnte durch alle Behandlungen eine im Vergleich zur Kontrolle signifikante Auflaufverbesserung erreicht werden. Im Gegensatz dazu unterschied sich der Feldaufgang der Varianten im Versuchsjahr 2001/2002 nicht von dem der Kontrolle (Abbildung 36). Eine Befallsermittlung erfolgte nicht.

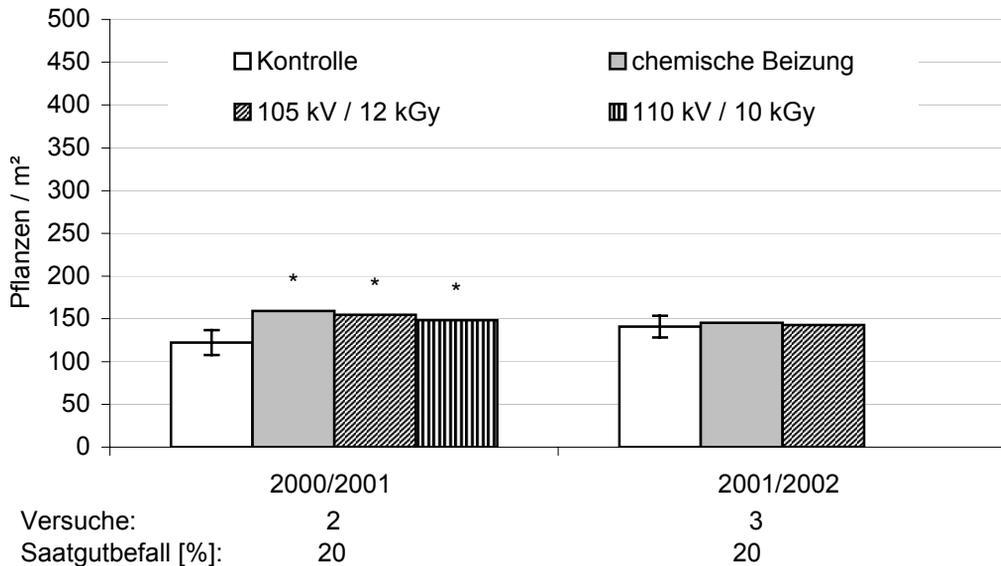


Abb. 36 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang von *Fusarium* spp. - infiziertem Winterroggen, Sorte 'Avanti', Parzellenversuche 2000 – 2002
signifikant zur Kontrolle, $p \leq 0,05$

Die Erträge in den behandelten Varianten lagen im Jahr 2001 im Bereich der Kontrolle. Im Jahr 2002 wurde durch die Behandlungen eine tendenzielle, nicht signifikante Ertragserhöhung erzielt (Ergebnis nicht dargestellt).

Zu den Fusariosen im weiteren Sinne gehört der Erreger des Schneeschimmels (*Microdochium nivale*). Da sich die Bedingungen für das Auftreten dieses Erregers von denen für *Fusarium* spp. deutlich unterscheiden, wurde die Wirkung der Elektronenbehandlung auch gegen *M. nivale* untersucht. Erstmals 1990 konnte *M. nivale* - infizierter Winterweizen in Untersuchungen, die sich jedoch auf Labor- und Klimakammerversuche beschränkten, einbezogen werden. Mit einem 'Apollo'-'Ares'-Gemisch (Saatgutbefall 55 %) wurden im Klimakammerversuch des Pflanzenschutzamtes Hannover eine Wirkung der Elektronenbehandlung (60 kV / 6 kGy) von 61,4 % (Vergleichsmittel Sibutol Flüssigbeize 74,7 %) und eine Auflaufverbesserung auf 109 % (Vergleichsmittel 172 %) ermittelt.

Im Versuchsjahr 2000/2001 wurden an jeweils zwei Standorten Kleinparzellenversuche (Ahlum/Niedersachsen und Ruppendorf/Sachsen) mit *M. nivale* - infiziertem Winterweizen- und Winterroggensaatzgut sowie Parzellenversuche (Langreder/Niedersachsen und Bernburg-Strenzfeld/Sachsen-Anhalt) mit *M. nivale* - infiziertem Winterweizensaatgut durchgeführt. Die Versuchs-ansteller sind im Anhang aufgelistet. Die Elektronenbehandlung erfolgte mit 105 kV / 12 kGy, in die Kleinparzellenversuche wurden zur Parameteroptimierung auch die Behandlungen mit 100 kV und 110 kV einbezogen. Chemisches Beizmittel war Arena C. Der Saatgutbefall des Weizens (11,5 %) war deutlich geringer als der des Roggens (24 %).

Bei Winterweizen entsprach der Feldaufgang in den behandelten Varianten an allen Standorten dem der Kontrolle (Tabelle 18). Signifikante Differenzen waren nicht vorhanden. Auch die Erträge unterschieden sich nicht signifikant, die Anzahl Ähren tragender Halme wurde in den Kleinparzellenversuchen tendenziell erhöht. Bei Winterroggen wurde eine deutliche, durch die chemische Beizung und die Elektronenbehandlung mit 105 kV / 12 kGy signifikante Erhöhung des Feldaufgangs erreicht. Auch die Anzahl Ähren tragender Halme wurde erhöht. Deutliche durch *M. nivale* verursachte Krankheits-symptome traten an keinem Standort auf.

Tab. 18 Einfluss der Elektronenbehandlung auf den Feldaufgang und den Ertrag von *Microdochium nivale* - infiziertem Winterweizen, Sorte 'Tambor', und Winterroggen, Sorte 'Amilo', Parzellen- und Kleinparzellenversuche 2000/2001

Kultur	Winterweizen				Winterroggen	
Versuchszahl und Versuchsart	2 Parzellenversuch		2 Kleinparzellenversuch		2	
Saatgutbefall [%]	11,5				24	
	Feldaufgang / relativ zur Kontrolle	Ertrag / relativ zur Kontrolle	Feldaufgang / relativ zur Kontrolle	Ährenzahl / relativ zur Kontrolle	Feldaufgang / relativ zur Kontrolle	Ährenzahl / relativ zur Kontrolle
Kontrolle	(325 Pflanzen/m ²)	(101,9 dt/ha)	(168 Pflanzen/m ²)	(422 Ähren/m ²)	(142 Pflanzen/m ²)	(450 Ähren/m ²)
chemische Beizung	98,5	100,7	107,0	105,2	113,8*	107,1
100 kV / 10 kGy			101,6	102,7	105,6	105,8
105 kV / 12 kGy	97,5	97,1	96,9	108,8	112,0*	111,0
110 kV / 10 kGy			90,1	102,6	101,1	103,0

* signifikant zur Kontrolle, $p \leq 0,05$

Fazit

Bei *Fusarium* spp. - oder *Microdochium nivale* - infiziertem Saatgut kann durch die Elektronenbehandlung der Feldaufgang erhöht und der Anteil kranker Pflanzen um bis zu 50 % reduziert werden.

Untersuchung zum Nachbau

Der häufig gestellten Frage, ob mehrmaliger Nachbau elektronenbehandelten Saatgutes zu negativen Folgen für die Pflanzenentwicklung und –gesundheit führen könnte, wurde in einem vierjährigen Versuch nachgegangen. In den Jahren 1998 – 2002 erfolgten an einem Standort in Sachsen (Seehausen) jährlich Parzellenversuche mit jeweils im Vorjahr elektronenbehandeltem Winterweizensaatgut der Sorte 'Aron'. Dazu wurde der Aufwuchs aus diesem elektronenbehandelten Saatgut geerntet und erneut elektronenbehandelt. Zudem wurde dasselbe Saatgut unbehandelt und chemisch gebeizt ausgesät. Die Elektronenbehandlung erfolgte im Vakuum mit der Elektronenbehandlungsanlage „WESENITZ 1“ und dem Parameterpaar 60 kV / 8 kGy.

Der Feldaufgang des behandelten Saatgutes unterschied sich außer im Versuchsjahr 1999/2000 nicht signifikant von dem der Kontrolle. Ungünstige Feldaufgangsbedingungen, verursacht durch lange Trockenperioden vor und nach der Aussaat, führten in diesem Jahr zu einem verzögerten, extrem inhomogenen Feldaufgang in den einzelnen Varianten. Mit der Bestockung wurde dies kompensiert. Im vierjährigen Mittel lagen chemische Beizung und Elektronenbehandlung im gleichen Versuchsfehlerbereich. Gleiches gilt für das Ertragsniveau. In keinem der vier Versuchsjahre gab es signifikante Unterschiede zwischen den drei Varianten. Eine Reduzierung der Ertragsleistung bei viermaligem Nachbau wurde nicht beobachtet (Tabelle 19).

Tab. 19 Einfluss der Elektronenbehandlung auf Winterweizensaatgut, Sorte 'Aron', im vierjährigen Nachbauversuch

	Felddaufgang		Ertrag	
	Pflanzen / m ²	relativ zur Kontrolle [%]	[dt/ha]	relativ zur Kontrolle [%]
1998/1999 Kontrolle	302	100	76,8	100
chemische Beizung	312	103,3	82,5	107,4
Elektronenbehandlung	322	106,3	84,6	110,2
1999/2000 Kontrolle	276	100	85,2	100
chemische Beizung	293*	106,2*	85,4	100,2
Elektronenbehandlung	256*	93,1*	86,0	100,9
2000/2001 Kontrolle	346	100	110,5	100
chemische Beizung	336	97,1	111,1	100,5
Elektronenbehandlung	318	91,9	109,7	99,3
2001/2002 Kontrolle	351	100	80,4	100
chemische Beizung	327	93,2	80,0	99,5
Elektronenbehandlung	335	95,4	81,0	100,7

Das Erntegut wurde jeweils einem Gesundheitstest unterzogen, um die Frage nach einer möglichen Anreicherung von Schaderregerpopulationen zu klären. In Tabelle 20 wird deutlich, dass es in keinem der Versuchsjahre zu Unterschieden zwischen den Varianten im Auftreten von samenbürtigen *Fusarium*-Pathogenen kam. Der relativ hohe Befall im letzten Versuchsjahr spiegelt die allgemeine Befallssituation dieses Anbaujahres wider.

Nach vierjährigem Nachbau elektronenbehandelten Saatgutes konnte kein negativer Einfluss einer Elektronenbehandlung auf Auflaufverhalten und Ertragsbildung festgestellt werden. Auch eine Zunahme samenbürtiger Krankheitserreger infolge mehrjährigen Nachbaus wurde nicht beobachtet.

Tab. 20 Befall von Winterweizensaatgut des Nachbauversuches (Sorte 'Aron') mit *Fusarium* spp., *in vitro* – Test

Erntejahr	Variante	Befall mit <i>Fusarium</i> spp. [%]	Keimfähigkeit [%]
1999	Kontrolle	2,5	97,5
	chemische Beizung	0,5	96,5
	Elektronenbehandlung	2,0	98,0
2000	Kontrolle	2,0	94,5
	chemische Beizung	1,5	96,0
	Elektronenbehandlung	1,5	95,0
2001	Kontrolle	3,5	96,0
	chemische Beizung	3,0	95,5
	Elektronenbehandlung	2,5	96,0
2002	Kontrolle	13,5	90,5
	chemische Beizung	17,0	91,0
	Elektronenbehandlung	14,5	92,0

Fazit

Ergebnisse aus vierjährigen Nachbauversuchen zeigen, dass weder aus der Sicht der Pflanzenverträglichkeit noch der Saatgutgesundheit Bedenken für Folgeaussaaten elektronenbehandelten Winterweizens bestehen.

Zusammenfassende Bewertung des Verfahrens

Die Entwicklung und Anwendung alternativer, nichtchemischer Pflanzenschutzverfahren für alle Bereiche der pflanzlichen Produktion ist eine wesentliche Aufgabe für die Landwirtschaft der Zukunft. Die chemische Beizung von Saatgut, insbesondere von Getreide, ist ein sehr gut etabliertes, meist standardmäßig durchgeführtes Verfahren. Die Einführung alternativer Verfahren in diesen Sektor kann nur erfolgreich sein, wenn erhebliche Vorteile hinsichtlich des Anwender-, Verbraucher- und Umweltschutzes bei annähernd gleicher biologischer Wirksamkeit erzielt werden.

Als modernes alternatives Verfahren bietet die Elektronenbehandlung gute Voraussetzungen, samenbürtige Schaderreger effektiv und kostengünstig zu bekämpfen.

Beginnend mit ersten Versuchen Anfang der 80er Jahre, wurde in drei Entwicklungsetappen im Zeitraum von 1986 – 2004 der nutzbare Parameterbereich für die bei guter Pflanzenverträglichkeit maximal erreichbare Wirkung gegen wichtige saatgutbürtige Pathogene des Getreides ermittelt und bestätigt. In der vorliegenden Arbeit wurden alle Ergebnisse von Freilandversuchen zur Pflanzenverträglichkeit und Wirksamkeit der Elektronenbehandlung, die seit Mitte der 80er Jahre erarbeitet wurden, zusammengetragen, zusammengefasst und bewertet. Ziel war eine Analyse des erreichten Standes, um die Nutzbarkeit des Verfahrens beurteilen zu können.

Eine Übersicht zum Umfang der Freilanduntersuchungen, den Entwicklungsetappen entsprechend, gibt Tabelle 21.

Tab. 21 Übersicht über Umfang und Art der Freilandversuche im Zeitraum 1986 – 2004 zur Pflanzenverträglichkeit, phytosanitären Wirkung und Praxisreife der Elektronenbehandlung¹⁾

Untersuchungszeitraum	1986-1991	1995-2000	1999-2004
Winterweizen			
Parzellen- und Kleinparzellenversuche			
Pflanzenverträglichkeit	24	22	64
Wirkung gegen <i>Tilletia caries</i>	24	3	25
Wirkung gegen <i>Septoria nodorum</i>	10	4	6
Wirkung gegen <i>Fusarium</i> spp.	10	5	7
Wirkung gegen <i>Microdochium nivale</i>	-	-	4
Anbauvergleiche			
	77	46	14
Winterroggen			
Parzellen- und Kleinparzellenversuche			
Pflanzenverträglichkeit	24	-	13
Wirkung gegen <i>Urocystis occulta</i>	-	1	4
Wirkung gegen <i>Fusarium</i> spp.	15	1	5
Wirkung gegen <i>Microdochium nivale</i>	-	-	2
Anbauvergleiche			
	3	5	-
Wintergerste			
Parzellen- und Kleinparzellenversuche			
Pflanzenverträglichkeit	29*	-	10
Wirkung gegen <i>Drechslera graminea</i>	24*	-	2

¹⁾ nicht einbezogen: Kleinparzellenversuche, die in der jeweils ersten Phase der Parameteroptimierung angelegt wurden

* hier nicht dargestellt, da nicht mit der Versuchsanlage „ELBA“ behandelt

Die Untersuchungen erfolgten im Wesentlichen für drei Elektronenbehandlungsanlagen. Mit der ersten, speziell zur Saatgutbehandlung konstruierten Versuchsanlage „ELBA“ (Zeitraum 1986 – 1991) war ein Saatgutdurchsatz von 1 t/h möglich. Mit dieser Anlage wurde die Anwendbarkeit des Verfahrens unter Praxisbedingungen nachgewiesen. Mit der ab 1995 vorhandenen Pilotanlage mit dem Arbeitsnamen „WESENITZ 1“ wurde die Wirksamkeit des Verfahrens bestätigt. Mit dieser Anlage war ein Saatgutdurchsatz von 10 t/h möglich; sie steht noch heute in Stolpen-Helmsdorf nahe Dresden als Versuchsanlage zur Verfügung. Der entscheidende Fortschritt in der Entwicklung wurde mit der an Atmosphärendruck arbeitenden e-ventus[®] Pilotanlage „WESENITZ 2“ erreicht, mit der ein Saatgutdurchsatz von 30 t/h möglich ist.

Wirkung gegen pilzliche Schaderreger (Tabelle 22)

***Tilletia caries* an Winterweizen**

Die besondere Effizienz der Elektronenbehandlung liegt in der Bekämpfung des Steinbranderreger, da dieser ausschließlich die Oberfläche der Karyopse besiedelt.

Obwohl in den einzelnen Versuchsjahren jeweils gleiches Saatgut verwendet wurde, war der Befall an den verschiedenen Standorten in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Umweltfaktoren (Temperatur, Niederschläge), insbesondere in der Keim- und Auflaufphase, sehr unterschiedlich. Zum Beispiel differierte der Befall im Jahr 1989 an sechs Standorten in einem Bereich von 13,4 % bis 63,3 %. Bereits in den 1980er Jahren wurde nachgewiesen, dass durch die Elektronenbehandlung – unabhängig von der Höhe des Ausgangsbefalls – ein befallsfreier Bestand produziert werden kann. Mit modernerer Technik und einer optimierten Anlage, wie sie mit der e-ventus[®] Pilotanlage zur Verfügung steht, wird ein der chemischen Beizung nahezu vergleichbarer Wirkungsgrad von bis zu 100 % erzielt.

Auflaufschaderreger an Winterweizen und Winterroggen

Da samenbürtige *Fusarium*-Arten und *S. nodorum* in erster Linie den Feldaufgang negativ beeinflussen, wurden sie unter der Bezeichnung „Auflaufschaderreger“ zusammengefasst.

Die Symptome, die *Fusarium*-Arten an Keim- und Jungpflanzen verursachen, sind visuell meist nicht von den durch *S. nodorum* hervorgerufenen zu unterscheiden (KIETREIBER, 1961).

S. nodorum besitzt die Fähigkeit, in tiefere Schichten des Korns einzudringen und dort in Myzelform zu überdauern, wobei der Erreger im Mehlkörper nicht nachweisbar ist (BOCKMANN 1964). Keimfähigkeit und Triebkraft werden bei geringem bis mittelstarkem Befall nicht beeinträchtigt, bei starkem Befall jedoch stark vermindert (BLOCK 1958). Samenbürtiges *S. nodorum* kann durch die Elektronenbehandlung mit einem Wirkungsgrad von mehr als 70 % bekämpft werden, der Feldaufgang befallener Partien wird erhöht.

Fusarium-Arten und *M. nivale* sind in der Lage, in der Reifephase des Getreides als Myzel in tiefere Schichten des Samenkorns einzudringen und auch den Embryo zu besiedeln. WINTER et al. (1997) stellten in Untersuchungen mit Sommerweizen fest, dass die Schwelle für den *M. nivale* - Saatgutbefall, der einen stark reduzierten Auflauf verursacht, unter 10 % liegt. *Fusarium* spp. beeinflussen Keimfähigkeit und Triebkraft schon bei geringem Befall negativ (HÄNI 1980). Bei höherem Infektionsniveau mit *Fusarium* spp. führen diese Schaderreger zu stärkerer Reduzierung der Keimfähigkeit und erweisen sich als deutlich aggressiver gegenüber dem Keimling als *M. nivale* (DIEHL 1984).

Fusarium spp. - infizierte Bestände reagieren in Abhängigkeit von der Befallsstärke sehr unterschiedlich auf eine Elektronenbehandlung. Im günstigen Fall wird der Feldaufgang deutlich erhöht. Es muss darauf hingewiesen werden, dass alle Versuche in Gebieten erfolgten, in denen das Auftreten des Schneeschimmels einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit unterlag. Vom Anbau elektronenbehandelten Saatguts in Schneeschimmel - prädestinierten Lagen sollte Abstand genommen werden.

Tab. 22 Erreichte Wirkung der Elektronenbehandlung gegen samenbürtige Pathogene an Weizen, Roggen und Gerste

Erreger	Wirkungsgrad
<i>Tilletia caries</i>	bis zu 100 %
<i>Septoria nodorum</i>	>70 %, Erhöhung des Feldaufgangs
<i>Fusarium spp.</i>	Erhöhung des Feldaufgangs
<i>Microdochium nivale</i>	Erhöhung des Feldaufgangs
<i>Drechslera graminea</i>	bis zu 60 %

Praxisrelevanz

Über einen Zeitraum von 20 Jahren wurde in ca. 500 Freilandversuchen gezeigt, dass die Elektronenbehandlung als alternative Methode zur chemischen Beizung eingesetzt werden kann. Das Niveau des Feldaufgangs, die Bestandesentwicklung und die Erträge aus elektronenbehandeltem Saatgut waren mit aus chemisch gebeiztem Saatgut aufgewachsenen Beständen vergleichbar.

Im gesamten Untersuchungszeitraum wurde nach Elektronenbehandlung kein erhöhter Befall mit bodenbürtigen Pathogenen festgestellt. Auch wurde nachgewiesen, dass mehrfach aufeinander folgende Behandlungen keine Gefährdung darstellen und ein „Aufschaukeln“ von Erregerpopulationen nicht zu erwarten ist. Es muss auch erwähnt werden, dass die erhebliche Ausweitung des Konsumgetreideanbaus unter Verwendung elektronenbehandelten Saatgutes in den letzten Jahren zu keinerlei Beanstandungen Anlass gab. Seit 2002 werden mit der mobilen Anlage e-ventus® „WESENITZ 2“ jährlich ca. 3.000 - 5.000 t Saatgut für den Konsumgetreideanbau behandelt.

Die Elektronenbehandlung hat eine Reihe gewichtiger Vorteile. So eignet sich elektronenbehandeltes Saatgut besonders für den Anbau in Gebieten in Gewässernähe, in der Nähe gefährdeter Objekte und in sensiblen Naturräumen, da keine Chemikalien oder Fremdstoffe in den Boden verbracht werden. Da das Saatgut nicht mit chemischen Stoffen kontaminiert ist, ist eine Gefährdung der Anwender und des Naturhaushaltes ausgeschlossen. Überschüssige Partien können längere Zeit gelagert werden. Die Verfütterung von Restsaatgut ist bedenkenlos möglich. Schließlich soll nicht unerwähnt bleiben, dass die Elektronenbehandlung vollständig dem Bestreben sowohl der EU als auch der Bundesregierung entspricht, die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel einzuschränken.

Neben diesen für den Anwender wichtigen Aspekten hat die Elektronenbehandlung auch technologische und ökonomische Vorteile. Neben der Möglichkeit der Mobilität der nun verfügbaren Systeme ist der hohe Saatgutdurchsatz von bis zu 30 t/h hervorzuheben, der modernen Beizgeräten für chemische Mittel nicht nachsteht. Zudem lässt sich eine Elektronenbehandlung problemlos in den Saatgutaufbereitungsprozess integrieren. Die Elektronenbehandlung ist ein physikalisches Verfahren, das – wie alle physikalischen Verfahren – keiner Zulassung gemäß Pflanzenschutzgesetz bedarf. Lediglich eine Angabe zur Behandlung ist gemäß § 32 Saatgutverordnung auf dem Etikett erforderlich.

Ein weiterer wichtiger positiver Aspekt ist die relativ schnelle Amortisierung der Anlage. Außer Kraftstrom sind keine zusätzlichen Stoffe erforderlich, die als wiederkehrende variable Kosten eine unsichere Größe darstellen. Der Betrieb der Anlage erfolgt vollautomatisch. Eine einzelne geschulte Arbeitskraft genügt zur Beaufsichtigung des Anlagenbetriebes.

In Abbildung 37 (siehe Seite 64) ist die Kostendeckung bei einer Jahresproduktion von 5.000 t (Schnittpunkt 1) für durchschnittliche Einnahmen von 50 €/t dargestellt. Der zweite Schnittpunkt (2) verdeutlicht die Kostendeckung bei 7.500 t Jahresdurchsatz. Die zugrunde gelegten Gesamtkosten berücksichtigen alle variablen und fixen Kosten für den Anlagenbetrieb. Vorausgesetzt wurden marktübliche Kapitalkosten und mögliche Fördermaßnahmen, bezogen auf einen Amortisationszeitraum von acht Jahren.

Die reinen variablen Kosten (Energie und Wartung) für den Betrieb einer e-ventus Anlage betragen ca. 3,5 €/t bei einer Stundenleistung von 30 Tonnen.

Literatur

- ABBOTT, W. S. (1925): A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economical Entomology* **18**, 265-267.
- ANONYM (1986): Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz – PflSchG) vom 15. September 1986 (BGBl. I S. 1505), zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 27. Juni 1994 (BGBl. I S. 1440).
- ANONYM (1998): Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz – PflSchG) vom 14. Mai 1998 (BGBl. I, S. 971), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 19. August 2004 (BGBl. I, S. 1154).
- ANONYM (1999): SAATGUT-BEHANDLUNG Ein Werkzeug für nachhaltige Landwirtschaft. Fédération internationale du commerce des semences, NYON/Schweiz, 8 S.
- APPLEBY, J.; BARKS, A. J. (1905). British Patent No. 1609. Jan 26.
- BÄNZIGER, I.; WINTER, W.; RÜEGGER, A.; KREBS, H. (1999): Praxis-Warmwasserbehandlung für Winterweizensaatgut. *Agrarforschung* **6**, 333-336.
- BLOCK, G. (1958): Untersuchungen über die Braunfleckigkeit (Spelzenbräune) des Weizens (*Septoria nodorum* Berk.) insbesondere in Bezug auf Infektionsbedingungen, Sortenanfälligkeit und wirtschaftliche Bedeutung des Pilzes. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* **107**, 435-458.
- BOCKMANN, H. (1964): Qualität und Backfähigkeit von Weizen bei Befall mit *Septoria nodorum* Berk. und *Fusarium culmorum* Link. *Nachrichtenblatt des deutschen Pflanzenschutzdienstes* **36**, 5-10.
- BRASCH, A.; HUBER, W. (1947): Ultrashort Application Time of Penetrating Electrons: A Tool for Sterilization and Preservation of Food in the Raw State. *Science, New Series*, **105**, 112-117.
- BURTH, U.; GABER, K.; JAHN, M.; LINDNER, K.; MOTTE, G.; PANZER, S.; PFLAUMBAUM, J.; SCHOLZE, F. (1991): Behandlung von Saatgut mittels Elektronen - Ein neues Verfahren zur Bekämpfung samenbürtiger Schaderreger an Winterweizen. *Nachrichtenblatt für den deutschen Pflanzenschutz* **43**, 41-45.
- DETINGER, H.; JUNG, H. (1969): Molekulare Strahlenbiologie. Vorlesung über die Wirkung ionisierender Strahlen auf biologische Objekte. Springer Verlag.
- DIEHL, T. (1984): Weizenfusariosen - Zur Symptomentwicklung und Schadensanalyse bei Blatt- und Ährenbefall. Ph.D. Thesis, Georg August Universität Göttingen, 149 S.
- DIN EN ISO 11137-1 Sterilisation von Produkten für die Gesundheitsfürsorge – Strahlensterilisation
- DUBEN, J.; SCHMITZ, M. H.; WALDHAUSER, W. (1988): Die Entwicklung des Beizkonzeptes, dargestellt am Beispiel von Saatgutbehandlungsmitteln seit 1914. *Gesunde Pflanze* **40**, 319-326.
- FORSBERG, G.; ANDERSON, S.; JOHNSON, L. (2002): Evaluation of hot, humid air seed treatment in thin layers and fluidized beds for seed pathogen sanitation. *Journal of Plant Diseases and Protection* **109**, 357-370.
- FUCHS, H.; MOSCH, S. (1994): Entwicklung und Stand der Gesundheitsprüfung bei Saatgut. *VDLUFA-Schriftenreihe* **38**, 15 ref., Darmstadt (Germany). 341-344.
- HÄNI, R. (1980): Über Getreidefusariosen in der Schweiz: Saatgutbefall, Ährenbefall und Bodenkontamination. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **105**, 359-375.
- HEIL, H. (1985): Der Einfluss quecksilberfreier Beizmittel auf einige Ertragsfaktoren und den Ertrag von verschiedenen Getreidearten. *Gesunde Pflanzen* **37**, 340-348.
- HÖRSTEN, D. V.; LÜCKE, W.; WOLF, G. (1994): Abtötung von *Fusarium culmorum* in Winterweizensaatgut mit Mikrowellenenergie. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* **301**, 68.
- KIETREIBER, M. (1961): Die Erkennung des *Septoria*-Befalls von Weizenkörnern bei der Saatgutprüfung. *Pflanzenschutzberichte* **26**, 129-157.
- LINDNER, K. (1992): Untersuchungen zur phytosanitären Wirkung einer Behandlung von Winterweizensaatgut mit niederenergetischen Elektronen. Ph.D. Thesis, Humboldt-Universität zu Berlin, 127 S.
- MARTIN, H. (1967): Die wissenschaftlichen Grundlagen des Pflanzenschutzes [5. Aufl.]. Verlag Chemie.
- MATHUR, S. B.; CUNFER, B. M. (1993): Seed-borne Diseases and Seed Health Testing of Wheat. *Jordbrugsforlaget Frederiksberg, Dänemark*, 168 S.
- NOBBE, F. (1876): *Handbuch der Samenkunde*. Verlag von Wiegandt, Hempel und Parey, Berlin.

- PETZOLD, W.; KRIEGER, H. (1988): Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz. Band 1 Grundlagen, [2. Aufl.] Teubner Stuttgart.
- PFANNMÖLLER, M.; SCHÖBERLEIN, W.; HEINZMANN, R. (1992): Sortenversuche zur Elektronenbeizung von Winterweizen. 104. VDLUFA-Kongress „Ökologische Aspekte extensiver Landwirtschaft.“ 14. – 19.09.1992 Göttingen, Kongressband, 389-392.
- RÖDER, O. (1998): Entwicklung eines Elektronenbandstrahlers für die Polymerisation dünner Kunststoffschichten. Ph.D. Thesis, Otto von Guericke Universität Magdeburg, 171 S.
- SCHMIDT, R. (1999): Medizinische Strahlenphysik. www.uke.uni-hamburg.de/Clinics/Radiology/MedSPhys/Vorlesung/Script1.PDF.
- SCHRÖDER, T. (1999): Über die Eignung verschiedener physikalisch-technischer Verfahren zur phytosanitären Behandlung und zur Lagerung von Forstsaatgut unter besonderer Berücksichtigung der Stiel- und Traubeneiche. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft **360**, 241 S.
- TIGGES, J. (2003): Untersuchungen zur phytosanitären Wirkung der Elektronenbehandlung von Getreidesaatgut an Atmosphärendruck. Ph.D. Thesis, Humboldt-Universität zu Berlin, 145 S. und Anhang.
- TRUMP, J. G.; VAN DE GRAAFF, R. J. (1948): Irradiation of Biological Materials by High-Energy Roentgen Rays and Cathode Rays. *Journal of Applied Physics* **19**, 599-604.
- WESTERMANN, H. D.; BARNIKO, H.; RANG, H.; THALMANN, H. (1988): Gesundheitliche Risiken bei der Verfütterung von Brandweizen (Weizensteinbrand und Zwergsteinbrand). *Landwirtschaftliche Forschung* **41**, 159- 175.
- WINTER, W.; BÄNZIGER, I.; KREBS, H.; RÜEGGER, A.; FREI, P.; GINDRAT, D. (1994): Warmwasserbehandlung von Weizensaatgut. *Agrarforschung*, **1**, 492-495.
- WINTER, W.; BÄNZIGER, I.; KREBS, H.; RÜEGGER, A. FREI, P.; GINDRAT, D. (1997): Warm- und Heißwasserbehandlung gegen Auflaufkrankheiten. *Agrarforschung* **4**, 467-470.

Dank

Ein besonderer Dank gilt Herrn Rainer Heinzmann von der U.B.T. Ingenieurbüro GmbH Quedlinburg, der seit 1990 bei der Durchführung der Versuche maßgeblich beteiligt ist und mit hohem persönlichem Einsatz die Einführung der Elektronenbehandlung begleitet hat. Viele der im Zeitraum von 1995 bis 2002 erzielten Ergebnisse sind unter seiner Regie entstanden.

Zu danken ist Frau Marion Batschon (BBA, Institut für Folgenabschätzung im Pflanzenschutz) für die Mitwirkung bei der Erstellung der Karten.

Tafeln



Abb. 4 Stationäre Pilotanlage WESENITZ 1 während der Beizsaison

Fig. 4 Stationary pilot plant WESENITZ 1 during the dressing season

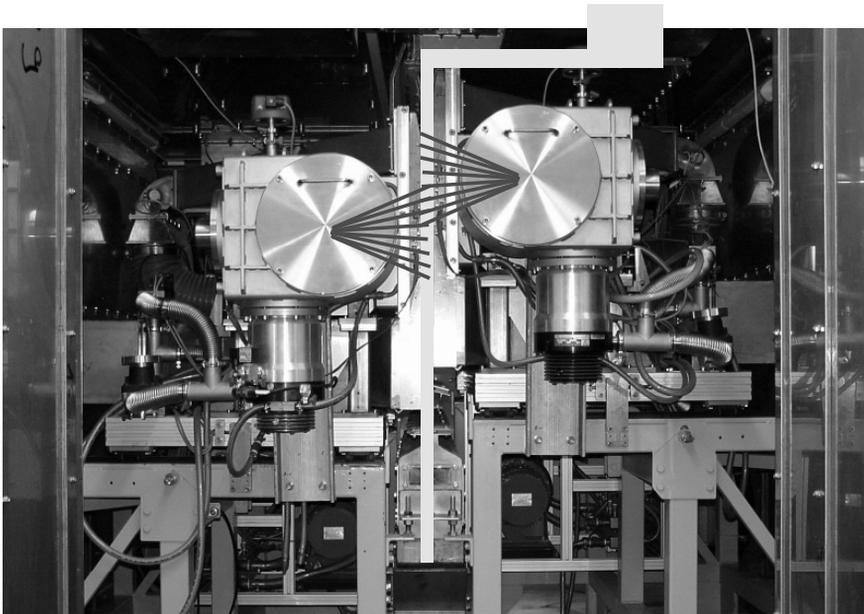


Abb. 6 Prozesskammer der e-ventus Anlage mit zwei gegenüberliegenden Elektronenfeldern (rot) und dem Saatgutstrom (gelb) – schematische Darstellung

Fig. 6 Schematic representation of the e-ventus process with two opposing electron fields (red) and the flow of seed (yellow)



Abb. 7 Mobile e-ventus - Anlage im Containeraufbau (Werkfoto Fraunhofer FEP)

Fig. 7 Mobile e-ventus plant in a container (photo: Fraunhofer FEP)

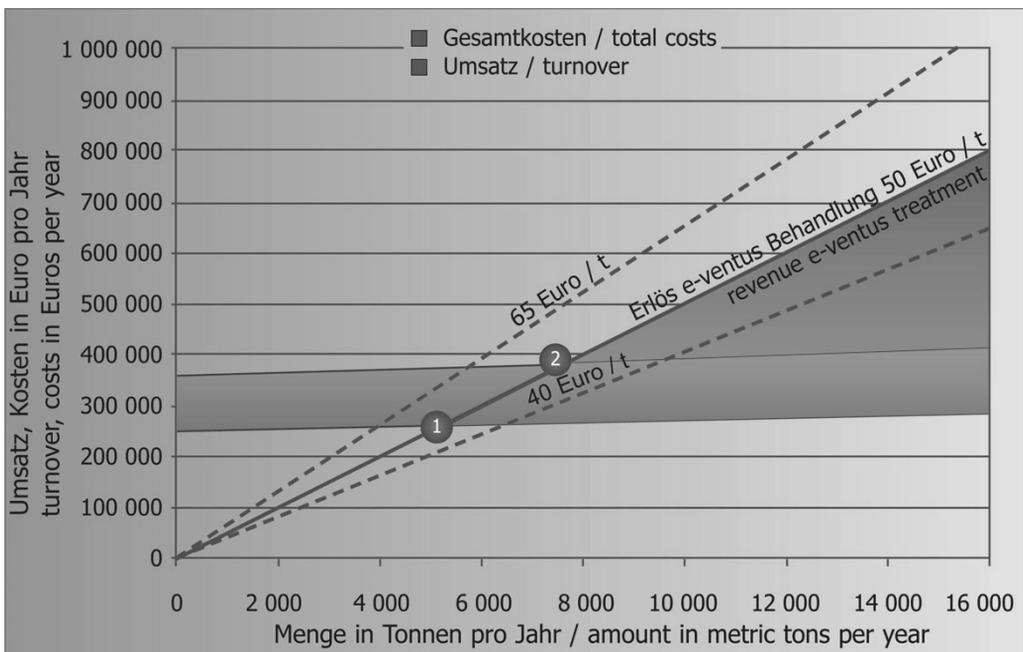


Abb. 37 Gesamtkostenrechnung zur Wirtschaftlichkeit der Elektronenbehandlung

Fig. 37 Calculation of total costs for determining the economic viability of electron treatment

Contents

Introduction	68
Scientific background	68
Significance of seed-borne pathogens in crops	68
History of seed dressing	69
Physical methods for treating seeds	69
Principles of electron treatment	72
History of the application of accelerated electrons for disinfection and sterilisation	72
Effect of the energy dose and example applications	72
Technological principle of electron treatment	73
Electron treatment of seeds	74
Technology	74
Historical background	74
e-ventus[®] technology	75
Biological-agricultural trials	77
General facts concerning the investigations	77
General facts of the trial methodology	77
Plant compatibility	77
Effectiveness of the treatment	78
Data recording and statistical evaluation	78
Demonstration of plant compatibility	79
Winter wheat	79
Investigation period 1986 – 1991 (“ELBA”)	79
Plot trials	80
Controlled cultivation trials	81
Summary	81
Investigation period 1995 – 2000 (“WESENITZ 1”)	82
Plot trials	83
Controlled cultivation trials	84
Summary	84
Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)	85
Plot trials	86

Comparative test 2003/2004	87
Controlled cultivation trials	88
Comparison of varieties	88
Summary	88
Winter rye	89
Investigation periods: 1986 – 1991 (“ELBA”) and 1995 – 2000 (“WESENITZ 1”)	89
Plot trials	90
Controlled cultivation trials	91
Summary	91
Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)	92
Plot trials	92
Comparative test 2003/2004	94
Summary	94
Winter barley	94
Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)	95
Plot trials	95
Comparative test 2003/2004	96
Summary	97
Effectiveness against seed-borne pathogens in cereal crops	98
<i>Tilletia caries</i> in winter wheat	98
Investigation periods 1986 – 1991 (“ELBA”) and 1995 – 2000 (“WESENITZ 1”)	98
Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)	100
Summary	103
<i>Urocystis occulta</i> in winter rye	104
<i>Drechslera graminea</i> in barley	104
Investigation period 1986 - 1991	104
Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)	105
Control	105
Summary	105
Effectiveness against pathogens affecting field emergence	106
<i>Septoria nodorum</i> in winter wheat	106
Investigation periods 1986 – 1991 (“ELBA”) and 1995 – 2000 (“WESENITZ 1”)	106
Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)	108
Summary	108
<i>Fusarium</i> spp. and <i>Microdochium nivale</i> in winter wheat and winter rye	109

Investigation periods 1986 – 1991 (“ELBA”) and 1995 – 2000 (“WESENITZ 1”)	109
Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)	112
Summary	114
Studies on year-on-year electron treatment	115
Summary	116
Overall appraisal of the electron treatment technique	117
Effectiveness against fungal pathogens	118
<i>Tilletia caries</i> in winter wheat	118
Pathogens affecting the field emergence of winter wheat and winter rye	118
Practical relevance	119
Literature	120
Acknowledgement	121
List of trial participants	122
Explanation of the identification codes of the federal states	126

Introduction

The cultivation of about 90% of all plants used for feeding the world's population is achieved from seed starting products. Seeds not only pass on genetic material but can also transmit harmful organisms.

Up until now, seed-borne pathogens have largely been controlled by chemical dressing. The use of active of chemical agents generally involves risks to both users and the environment. Especially at risk are the users of the pesticides themselves because of possible poisoning caused by percutaneous or respiratory uptake.

Alternative measures for plant protection using chemicals are gaining importance from a number of points of view. These measures are subject to the Plant Protection Act, in accordance with the amended version dated 14 May 1998. When carrying out procedures to protect plants, any measures must follow the principles of integrated plant protection. This means that priority must be given to biological and biotechnological measures, measures that are safe from a plant cultivation viewpoint and technical crop-related measures in order to strictly restrict the use of chemical protection agents to necessary levels. The "Programme for reducing the use of chemicals for plant protection" of the Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) also has this objective. This programme sets out to determine the level of necessary use of plant protection agents and set limits. A further main area of focus is organic agriculture in which the use of synthetic chemical plant protection agents is strictly not permitted.

During the last 20 years a physical method for combating microbiological seed-borne pathogens has been developed in which the biocidal action of low energy electrons is utilised (BURTH et al. 1991; LINDNER 1992; TIGGES 2003). This electron treatment technology has become established in recent years under the name e-ventus®.

The text which follows describes the compatibility of plants to such treatment and the effectiveness against seed-borne pathogens in a stepwise way following the technological development of this technology. The focus of the work is on the treatment of winter wheat.

The objective is to give a concise overview of the results that have been achieved over the years using the electron treatment method. This has involved field trials at numerous sites and involving different work groups. A summarising appraisal of the results is given.

Scientific background

Significance of seed-borne pathogens in crops

The testing of the health of seeds compared to quality aspects such as purity, contamination and germination ability was for long only considered to be of secondary importance, although NOBBE referred to the damage to seeds by fungi and insects way back in 1876 in the "Handbuch der Samenkunde". The reasons for this have been cited as the early introduction of chemical dressings, breeding for resistance and the difficulty and time-consuming nature of such tests (FUCHS and MOSCH 1994). The Seed Trade Act does not prescribe special tests to determine infection in seeds. Special tests are only carried out as part of the quality testing when there is suspicion of an infection. Seed samples are only randomly tested for the state of their health.

Regarding the health of seeds, the exclusively seed-borne diseases are the most important. These include smut and bunt diseases (*Tilletia caries*, *Ustilago* spp., *Urocystis occulta*) and barley stripe (*Drechslera graminea*). During the whole vegetation period, these pathogens only undergo one alternation of generation. They infect the plant starting in the seed-corn and then usually grow without there being symptoms. Direct control is only possible by seed treatment.

In contrast to the exclusively seed-borne pathogens, a series of other important pathogens is able not only to infect the seed but to infect the plants via conidia formation during the whole of the vegetation period. These include *Fusarium* spp., *Microdochium nivale*, *Septoria nodorum* and other *Drechslera* species. These pathogens, being damping off pathogens, can considerably reduce the emergence under certain conditions. Seed treatment to combat these pathogens principally targets the safeguarding of the period

of germination and emergence as well as reducing the potential for primary infection of leaf and ear disease.

History of seed dressing

The treatment of seeds is one of the oldest means of protecting plants. Way back in ancient times it was attempted to use various “natural” agents, including plant extracts and salts, against diseases in seeds. In Europe the history of crop seed treatment began in England in the 17th century with the saltwater treatment of wheat against common bunt. In the first half of the 18th century there was successful application of arsenic, copper vitriol and mercury containing compounds. In 1786 the milling and consumption of dressed cereals was banned because the widespread use of, in particular, arsenic had caused symptoms of poisoning in humans and animals. A total ban on arsenic came in 1808. At the start of the 19th century cooking salt, alum, lime milk and saltpeter superseded the highly toxic dressings. From 1810 onwards, copper sulphate was increasingly used against common bunt in wheat (ANONYM 1999).

The conditions for routine chemical dressing were created in 1914 with the introduction of „Uspulun^{®cc}“, the first organo-mercury preparation, as a universal dressing against common bunt in wheat and snow mould in rye (DUBEN et al. 1988). Mercury-containing dressings were extremely effective against virtually all important seed pathogens. Only loose smut in barley and wheat could not be controlled. The 1960s saw the start of the era of modern chemical dressings with the systemic agent Carboxin. Hot water treatment against loose smut in wheat and barley was superseded by treatments using this agent.

In 1982 mercury-containing dressings were banned in Germany in order to protect users and the environment. In 1990 this was followed by a ban on dry dressings.

The main methods currently employed utilise chemical dressings based on organic agents having a selective and systemic action against key seed-borne pathogens. By using a combination of several active agents, a wide effect-spectrum can be covered.

Chemical dressing is a very effective means of protecting plants but has two major disadvantages. The first disadvantage is that repeated application of preparations containing the same class of active agents during the vegetation period can cause development of pathogen populations that are resistant to individual active agents. The second disadvantage is the principle objection to the use of chemical plant pesticides, namely the contamination of the environment with chemicals and the potential impact of this. In 2002 about 135,000 tonnes of chemical dressings were used for cereal crops and maize worldwide. Of this amount, 60,000 tonnes were employed in Europe and 2.500 tonnes were used in Germany.

In addition, the move from wasteful to recyclable packaging materials and also non- drilled, dressing-contaminated residual seed have to be considered in the assessment.

Physical methods for treating seeds

A variety of physical treatment methods allows pathogens on and in seeds to be unselectively killed. Such methods hence lend themselves for combating key classes of pathogens, namely bacteria, viruses, fungi and insects. In all cases, the application of these methods requires optimisation of the relevant treatment parameters such as temperature, treatment time and energy dose. As a plant can usually only tolerate very specific treatment parameters, adverse effects of the germination and growth properties can only be avoided if treatments are carried out under very controlled conditions. The advantages of these methods are their non-specific nature, broad effectiveness, the small (if any) impact on the environment and the freedom from residues. Consequently, treated seed lots can be used for other purposes than for seeds. The disadvantages are the technological complexity and energy requirements (often with high associated costs), the necessary optimisation of the treatment parameters (often has to be carried out for each seed variety) and the effect which is not always the same as for chemical treatment regarding the degree and safety of effectiveness.

Classical thermal methods

The oldest and best known methods are such of thermotherapy, in particular hot water treatment. Water is a much better medium than air for heat treatment due to its higher heat capacity and better heat transfer properties. Right up to the 1960s this method was still the standard method for combating loose smut pathogens in barley (*Ustilago nuda*) and wheat (*U. tritici*) (MARTIN 1967).

Warm water treatment is similar to hot water treatment, the many difference being the time and temperature parameters (the terms “warm water” and “hot water” have not been defined). WINTER et al. (1994, 1997) achieved results ranging from satisfactory to very good against common bunt, loose smut and also seed-borne damping off and seedling diseases on wheat and rye using both warm water treatment (45°C, 2 h) and hot water treatment (52°C, 10 min). The problem with these methods is that up until now no economical solutions for the drying step in large plants are available (BÄNZIGER et al. 1999). Recently a practical method was developed in Sweden using hot, moist air in which the temperature, treatment time and relative humidity of the air are controlled using sensor and computer technology. Drying of the seed is no longer necessary using this method (FORSBERG et al. 2002).

Electromagnetic methods

- Methods which use electromagnetic waves can be split into two groups:
- Methods which use the generated heat
- Methods which use the ionising effect

Microwave treatment falls into the first group. The seed is exposed to the radiation field of a microwave generator for a defined time. The product is heated due to the interaction with the radiation field. The temperature is held at a specific and near-constant value. In practice this puts high requirements on the process control and product feed system. The method was developed over recent years on a laboratory scale and its suitability for seed disinfection has been demonstrated for several pathogens (von HÖRSTEN et al. 1994). This method has not yet been introduced on a large scale.

The second group of electromagnetic methods utilises the ionising effect of electromagnetic waves in the short wave region (<100 nm). This wavelength region begins below the visible spectrum in the UV region. Figure 1 shows the electromagnetic spectrum as a function of wavelength and frequency.

Only UV radiation and low energy electrons come into consideration for treating seeds. Other types of radiation are unsuitable because they completely penetrate the seeds.

UV radiation has the disadvantage that the photons cannot penetrate into the product. Its biocidal effect is hence limited to the surface. On the other hand, accelerated electrons have sufficient energy to penetrate into the product. By controlling the energy of the electrons, the penetration depth can be precisely set. In contrast to UV radiation (irradiation with photons), accelerated electrons have the character of particles and waves. Their propagation can hence be selectively controlled in one direction (PETZOLD and KRIEGER 1988).

Ionising radiation has a delayed action on biological tissue and this action can be split into distinct phases. In the primary phase, the physical phase, molecules are either excited or ionised via energy transfer. These primary products are very unstable and either spontaneously react or react via collisions with their surroundings. This is the second phase, the physico-chemical phase, in which reactive products are produced in the form of free atoms and radicals. In the subsequent chemical phase, the macromolecules in the cells undergo change and functional groups are cleaved. Due to the destruction of hydrogen bridges, the spatial structure changes. The biochemical phase which follows involves irreversible changes to the metabolism and this leads to cell death in the final biological phase (DERTINGER and JUNG 1969).

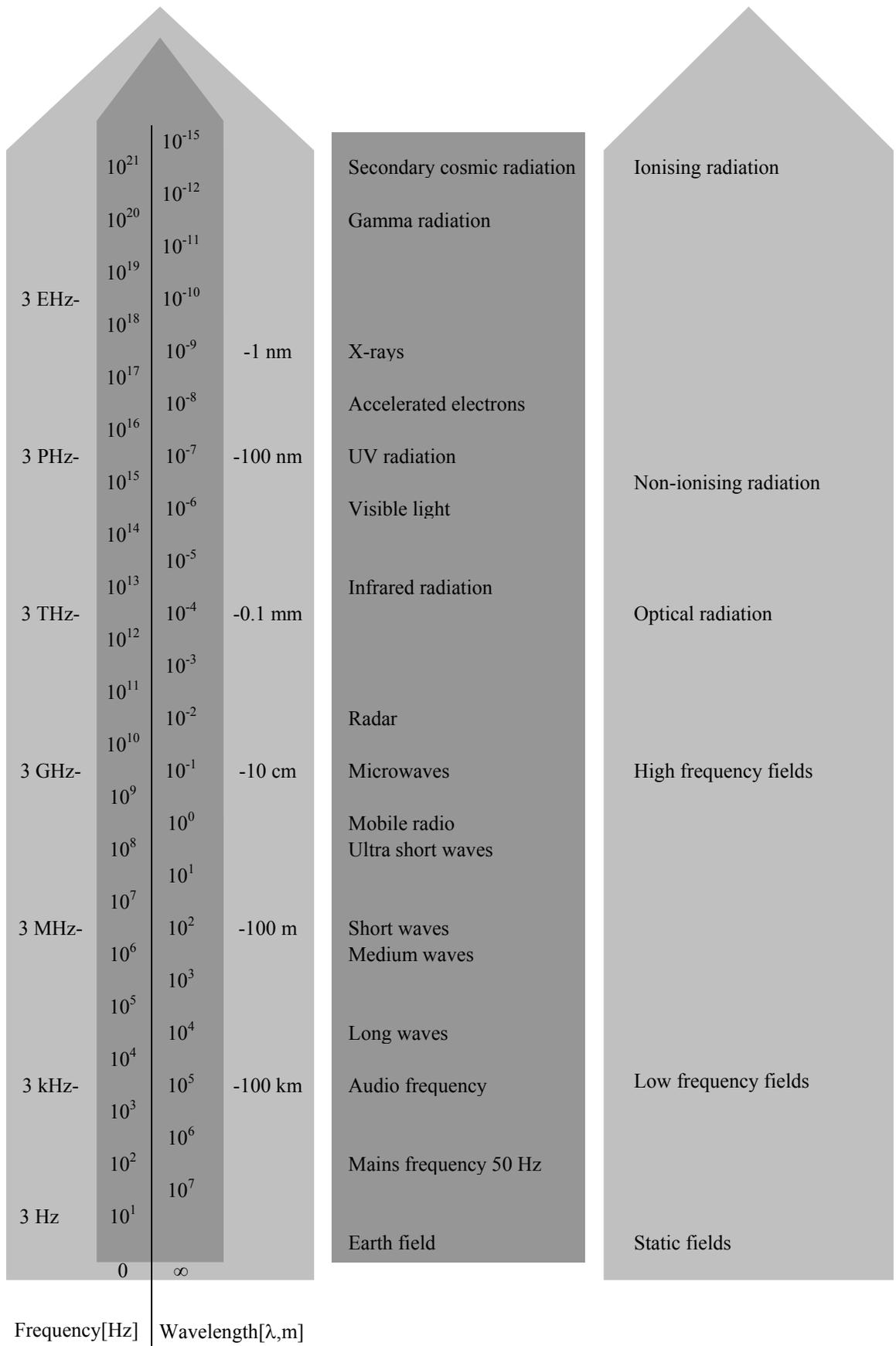


Fig. 1 Electromagnetic spectrum as a function of wavelength and frequency, as given by SCHMIDT (1999), modified

Principles of electron treatment

History of the application of accelerated electrons for disinfection and sterilisation

The development of technologies such as sterilisation for protecting products began 100 years ago. In England in 1905 APPLEBY and BARKS (1905) were the first to propose the use of ionising electromagnetic waves for improving the quality of foods. In 1929 the American Tobacco Company started operating the first industrial x-ray plant for tobacco to combat the tobacco beetle. PICHLER and WÖBER carried out irradiation tests in 1922 using UV light, x-rays and radium for controlling smut and bunt diseases in wheat, barley and oats. They found that both UV light and x-rays were successful for combating smut and bunt diseases. The use of these methods on seeds for phytosanitary purposes did not however become established. In the case of x-rays, the reason for this was that the embryo was damaged.

High energy electron treatment started in 1947 with two near-simultaneous developments. BRASCH and HUBER demonstrated the use of pulsed high energy electrons on meat and foods using the so-called “Capacitron”. TRUMP and VAN DE GRAAFF developed the well-known high energy electron accelerator, which is named after the latter, for the disinfection of foods and the sterilisation of medicinal products. Today, the sterilisation of medicinal products with accelerated electrons can rightly be said to be the safest and most efficient technology for this purpose.

Effect of the energy dose and example applications

The energy dose (also just called the dose) is defined as the energy per mass and is measured in kGy (1 kilogray = 10^6 Ws/kg). The biocidal effect of electrons on microorganisms can be represented in deactivation curves as a function of the energy dose. In the simplest case (e.g. for a pure culture of microorganisms) these deactivation curves can be described by an exponential function.

Table 1 summarises the sensitivity of selected microorganisms to electron treatment in accordance with DIN EN ISO 11137. Here the D_{10} value represents the energy dose which is required to reduce the number of microorganisms or pathogens to 10% of the starting value.

Table 1 Sensitivity of microorganisms to electron treatment in accordance with DIN EN ISO 11137

Type of microorganism	Example	D_{10} value [kGy]
Anaerobic spore-formers	<i>Clostridium tetani</i>	2.4
Aerobic spore-formers	<i>Bacillus subtilis</i>	0.8
Bacteria	<i>Salmonella typhimurium</i>	0.2
Yeasts	<i>Torulopsis candida</i>	0.4
Fungi	<i>Aspergillus niger</i>	0.5

The treatment of agricultural products with accelerated electrons is also carried out to combat parasites and pests and to inhibit germination, e.g. on potatoes and onions. For treating foods, doses of $D_{\max} = 10$ kGy are prescribed for most products. Numerous studies have demonstrated that the taste and nutritional value of the foods remains unaltered. In Germany, only the treatment of dried aromatic herbs and spices to reduce germs has hitherto been permitted. The statutory boundary conditions are given in the Food Irradiation Act of 14 December 2000 and in the Food and Consumer Goods Act, § 35 and 47a (of 15 August 1974, most recent amendment dated 13 May 2004).

Technological principle of electron treatment

The generation and emission of electrons is carried out in the electron accelerator. Depending on the particular application and energy region, different technical equipment is used. The best known example of an electron accelerator for a non-technical (industrial) application is the television set.

In technical systems the electrons are emitted from a plasma or cathode and formed up and accelerated in the electric field. They acquire a kinetic energy $E_{\text{kin}} = e \cdot U_B$ (e = electron charge, U_B = accelerating voltage). Electron energy is measured in electron volts [eV].

In most systems the action of the electrons on the product is carried out at atmospheric pressure. To achieve this, the accelerated electrons under high vacuum pass through an exit window to atmospheric pressure. The window can be an opening covered by a thin metal film made of high-alloy steel or titanium. Due to their energy, the electrons are able to penetrate this film and can then act on the product.

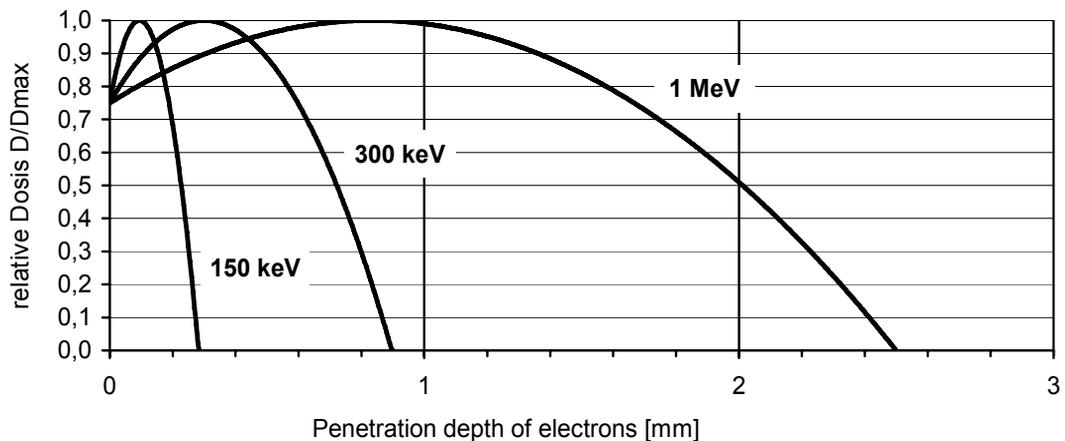


Fig. 2 Penetration of electrons into a material of density 1 g/cm³ as a function of the electron energy

The higher the electron energy, the deeper the electrons penetrate into the material. Figure 2 shows the relative energy absorption D/D_{max} as a function of the penetration depth. The point at which all the electron energy is passed to the product is termed the electron range. For an electron energy of 300 keV, the electron range is for example ca. 0.95 mm, whilst for an electron energy of 1 MeV the electron range is almost 2.5 mm.

The dependence of the electron range on the energy of the electrons is purposefully utilised for the electron treatment of seed products. In practice, energies from 80 keV to 150 keV are used. The penetration depth of the electrons can be precisely controlled between 10 µm and 200 µm in this energy region.

Electron treatment of seeds

Technology

As previously described, the effect of the electrons can be controlled by adjusting the depth of penetration of the electrons into the seed coat. Figure 3 shows this principle using the example of a cereal crop caryopsis. Electrons of defined energy penetrate uniformly and from all directions into the pericarp and testa. The endosperm and embryo are not reached and hence there is no risk of damage.

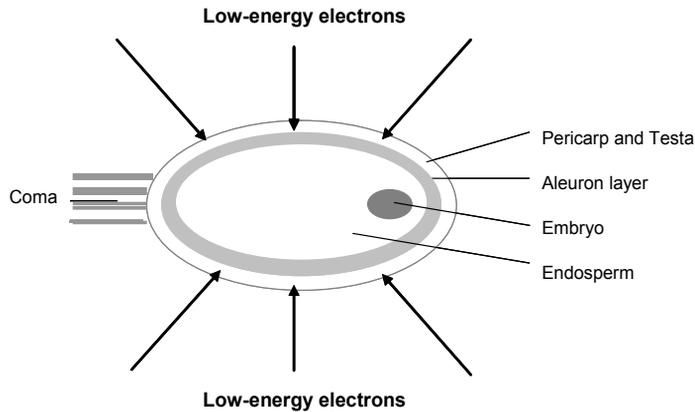


Fig. 3 Schematic representation of electron treatment of a cereal crop caryopsis

The large-scale implementation of this technology necessitates that the entire surface of each seed-corn is impinged by electrons. In order to guarantee this, the seeds are first of all individually separated in the product feed unit of the seed treatment plant. The separated seed flow is passed through the active zone such that the electrons act on each individual seed-corn. The electrons penetrate into the seed coat until their energy has been dissipated. By selecting the electron energy, the penetration depth can be precisely set to the optimum value. During penetration into the seed coat, the electrons transfer an energy dose D . This energy dose can be set between ca. 1 kGy and 15 kGy for standard plants. Due to the limited penetration depth of the electrons, the indicated energy dose always relates to the surface area. If the surface area dose is converted into the total volume, the theoretical total dose is only ca. 5 – 10% of the surface area dose, depending on the product and selected electron energy.

Historical background

Research studies on the electron treatment of seed products started in the early 1980s in the former Manfred von Ardenne Research Institute in Dresden. The starting point, and also the objective, was to find an alternative for mercury treatment which was problematic due to health, safety and environmental issues. The development of the plant technology took place in 3 main stages:

1. Experimental plant “ELBA” in Weinböhla
2. Pilot plant “WESENITZ 1” in Helmsdorf
3. Large-scale, mobile e-ventus® pilot plant “WESENITZ 2”

The biological and agricultural principles were studied in the 1986 - 1991 period using the “ELBA” experimental plant (LINDNER 1992). This plant had a throughput of 1 t/h. The quantities of seed treated in this plant allowed controlled cultivation trials to be carried out.

From 1990 onwards the development work was furthered at the Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology in Dresden. In 1995 the stationary pilot plant “WESENITZ 1” in Helmsdorf near Dresden was brought into operation. The system had a throughput of 10 t/h and this meant that the scale-up from laboratory scale to pilot production had been completed. From 1995 onwards the electron treatment of seed was offered as a service to the agricultural practice. Figure 4 (see page 63) shows the Helmsdorf facility during the dressing season. The seed was fetched from the supply companies using trucks and after electron treatment was delivered to the farmers. Feeding the product into the plant was

achieved via bucket conveyors and conveyor belts. The seed passed from the delivery truck – through the plant – and then back into a second empty truck (SCHRÖDER 1999).

The key feature of the “WESENITZ 1” plant and its predecessor “ELBA” was that the treatment of the seed was carried out in a vacuum. The generation and maintenance of the vacuum meant considerable technical complexity. Only with the development of novel technological solutions for generating and controlling the accelerated electrons using the e-ventus[®] principle was it possible to considerably simplify the technology and reduce its size. This came about because there was no longer a need for process-specific vacuum systems (RÖDER 1998).

e-ventus[®] technology

The development of e-ventus[®] technology began in 1997 as part of a joint research project between Schmidt-Seeger AG, the Fraunhofer FEP in Dresden and agricultural production companies. The heart of the technology is a novel system for two-dimensional generation of low energy electrons that was developed at the Fraunhofer FEP. This system allows product treatment at atmospheric pressure, at high throughput and with smaller equipment.

The seed is first of all passed to a buffer tank in order to realise a continuous flow of seed. An upstream cleaning unit and magnet-separator prevent the entry of contaminants and metal particles. The seed flows via a dosing unit onto a vibrating conveyor and is so pre-separated into individual seeds. During subsequent transfer into a product handling system, the seed is already spread out over a width of 1.4 m (Figure 5).

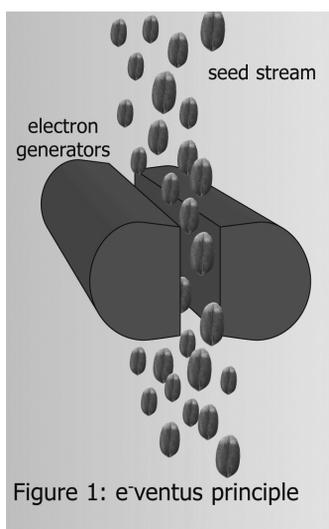


Figure 1: e-ventus principle

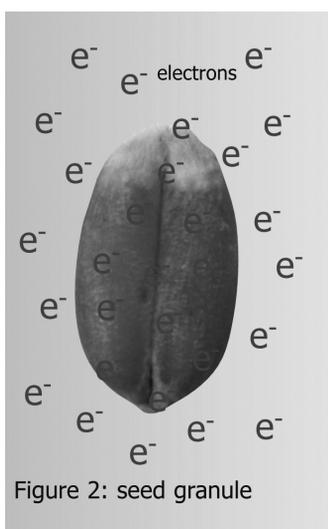


Figure 2: seed granule

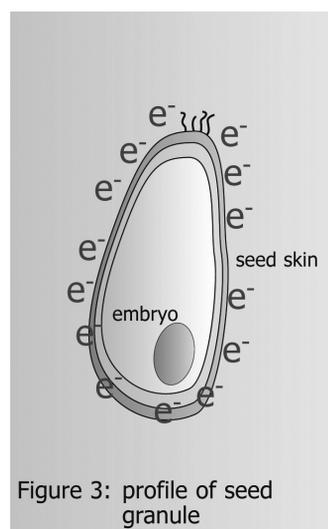


Figure 3: profile of seed granule

Fig. 5 Individual seed-corn treatment using e-ventus[®] technology

There is further separation of the seeds during the acceleration in the product feed system. The seeds then pass two 1.5 m wide electron fields. The electrons impinge on the entire surface of each seed and penetrate into the seed coat from all directions in a defined way (Figure 5). The seed flow through the plant is shown in Figure 6 (see page 63).

The lower part of the plant involves the merging of the seed flow and output onto a conveyor belt. The entire processing space is housed by an integral protective cover.

The mobile plant prototype is so designed that only one electrical connection or a diesel generator is required for the unit to be operated. Figure 7 (see page 64) shows the plant prototype that was developed. It is housed in a container and can be transported with a standard truck tractor unit. Units for control and monitoring of the process and for the supply of media are integrated into the system.

The e-ventus[®] technology is fitted with automatic process control and process monitoring systems. These allow continuous monitoring and recording of the process parameters and the energy applied to the product. This in-line process control allows a high resolution electron measurement across the width of the seed flow. If prescribed limit values for the flow rate are exceeded or if there is a blockage in the system, the system automatically switches the process off and gives an error message. In addition, foreign particles in the product flow are detected.

Since completion of the plant technology in 2000, about 3,000 tonnes to 5,000 tonnes of seeds have been treated each year for practical cultivation.

Biological-agricultural trials

General facts concerning the investigations

Development of the treatment technique was paralleled by biological and agricultural investigations which were carried out to optimise and confirm treatment parameters. Investigations into plant compatibility were carried out using certified seed. Investigations into effectiveness used infested seed. The main emphasis of the investigations was winter wheat.

Back in the 1981 – 1985 period, trials were carried out at more than 20 sites using certified seed. The aim was to demonstrate the fundamental suitability of the treatment technique and determine suitable ranges for the treatment parameters. In none of these preliminary trials were significant differences found between the treated variants and the untreated control with regard to the field emergence, crop development or yield. Appropriate parameters were selected for treatment against *Tilletia caries* and *Septoria nodorum* in winter wheat.

Actual development of the practical procedure started when the experimental “ELBA” plant was brought into operation in 1986. “ELBA” had been exclusively designed for seed treatment. Investigation on seed was carried out in parallel with the technical development. The 3 phases of development of the technology cover the periods from 1986 to 1991, 1995 to 2000 and 1999 to 2004 respectively. Plant compatibility and the effectiveness of the electron treatment were tested in laboratory tests, model tests (greenhouse or climate chamber) and field trials. Bearing in mind that the aim of this overview is to appraise the practical relevance of the technology, the sections which follow largely concern the results of the field trials. Not included are small plot trials in the first phases of the parameter optimisation and numerous trials carried out outside Germany (in Switzerland, Sweden and Great Britain).

Each phase initially concentrated on investigating the plant compatibility with the latest technological developments. For this reason, plant compatibility is discussed first of all and this is followed by discussion of the effectiveness of the procedure. Comprehensive trials were made in the 1980s. The second phase (pilot plant “WESENITZ 1”) only involved a few trials on effectiveness, because the basic technology had not been changed. The third phase concerned general technological improvements that had been incorporated into the e-ventus[®] pilot plant “WESENITZ 2”. This required new detailed investigations to be undertaken, some of which are not yet finished e.g. the identification of action against pathogens in barley.

General facts of the trial methodology

Plant compatibility

The aim of field trials in the form of **plot trials** was to confirm the parameters for the electron treatment that had been preselected in the laboratory and model tests. The trials were carried out in random plots of 10 – 15 m² and 4 replicates. The sowing level was 350 seeds/m² unless otherwise stated in the results. Field emergence (number of plants per m²), the number of overwintered plants and the yield including yield-components (number of haulms with ears, seed number per ear and thousand corn weight) were determined and were compared with the non-treated control samples and with standard, chemically-dressed variants. In the discussions which follow, the yield per area is given in each case. The yield-components are not shown for reasons of clarity, because these values were in line with the trend shown by the yield results and hence gave no additional information of importance. The representation of plant numbers was also limited to the field emergence.

In order to test and demonstrate the new method in practice, **controlled cultivation trials** were carried out. Each plot had an area of at least 2 ha. A comparison was made between seed treated with electrons and seed dressed conventionally, with regard to the emergence and yield. The harvested plots were at least 1 ha.

The chemical dressings that were used were products which corresponded to the respective state-of-technology in the sector.

Effectiveness of the treatment

Up until 1998 determination of the effectiveness of the treatment in the field using naturally or artificially infested seed was mainly carried out in **small plot trials**. These trials were carried out in random plots with 4 replicates and a plot size of 2.5 m² (4 drill rows, each of 5 m length, 100 seeds per drill row). In the case of *T. caries*, 12.5 g seed were sown. In the 2000/2001 year, small plot trials were carried out with 300 seeds/m² on plots of 1 m² or 2 m² depending on the technique that was used. In addition to the number of emerged plants, the number of overwintered plants was also determined in most of the trials. These data are not presented because the values were in line with those of the emergence.

The trials to determine the effectiveness of the treatment with the e-ventus[®] pilot plant “WESENITZ 2” were mainly carried out as plot trials (as described under “plant compatibility”).

The incidence of diseases was determined in accordance with standard methods following ISTA rules and the Guidelines of the Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry for the Approved Testing of Agents for Treating Plants. The degree of effectiveness was calculated according to ABBOTT (1925).

Data recording and statistical evaluation

Up until 1990 the data was recorded and processed manually. Thereafter, Microsoft Excel was used. Statistical evaluation was carried out using the Statistical Analyses System (SAS[®]) package for Windows.

The data were analysed by ANOVA procedures. As the measured values generally approached normal distributions of values, the parametric t-Test was used to determine the least significant differences at a significance level of $p \leq 0.05$. Significances were labelled with an asterisk (*), and least significant differences were shown as vertical lines in the diagrams in the bars of the control.

Demonstration of plant compatibility

Winter wheat

Investigation period 1986 – 1991 (“ELBA”)

In the 1986 – 1991 period, 24 plot trials and 77 cultivation trials were undertaken using certified seed. The sites of the trials are shown in Figure 8. The trial participants are listed in the Appendix. Six plot trials in the 1988/1989 year were not included in the assessment because the results could not be evaluated due to a system error with the treatment. Similarly, plot trials carried out in Bavaria, Hesse and Rhineland-Palatinate in the autumn of 1991 using certified seed could not be included in the evaluation because the individual results were not available.

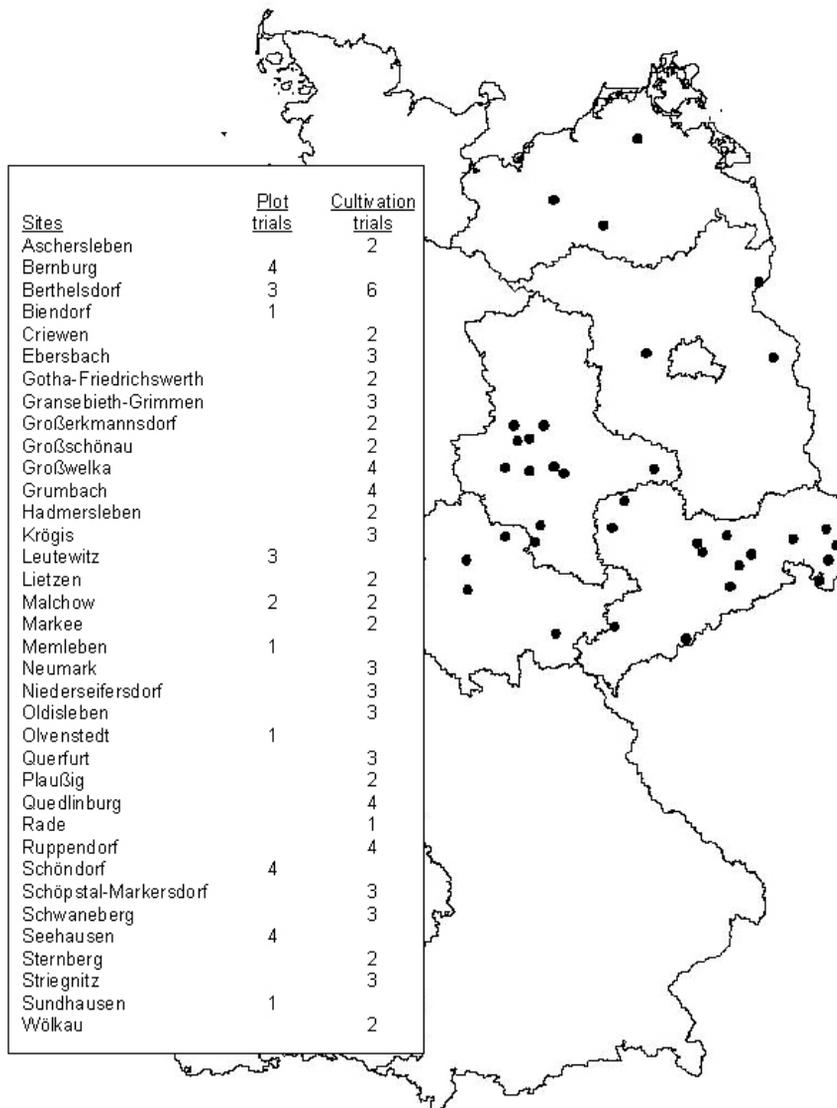


Fig. 8 Sites of the plot trials and cultivation trials using certified winter wheat in the 1986 – 1991 investigation period

Plot trials

Field emergence

In order to demonstrate the plant compatibility, the field emergence is of key importance.

The results for the most important electron treated variants in the 1986 – 1991 trial period are shown in Figure 9. Chemical dressing was carried out in 1986 with Baytan Universal and from 1987 onwards with Sibutol Flüssigbeize.

For all the treatment variants and in all trial years the number of emerged plants was in the same range as for the control. In 1986, mild and humid autumn weather brought optimal conditions for the field emergence. A small increase was found in the field emergence of all the treatment variants. In autumn 1987, dry periods resulted in heterogeneous and delayed emergence with reduced crop density. In combination with unfavourable climatic conditions during the germination and sprouting phases, electron treatment and chemical dressing appear to be an additional stress for plants. In contrast, the mild and humid autumn of 1989, as in 1986, stimulated the field emergence. The field emergence recorded in 1990 for the electron treated variants was inferior to the control. Unfavourable weather conditions during the germination and emergence phases clearly cause additional growth stress. There is delayed field emergence with increasing accelerating voltage employed for the electron treatment.

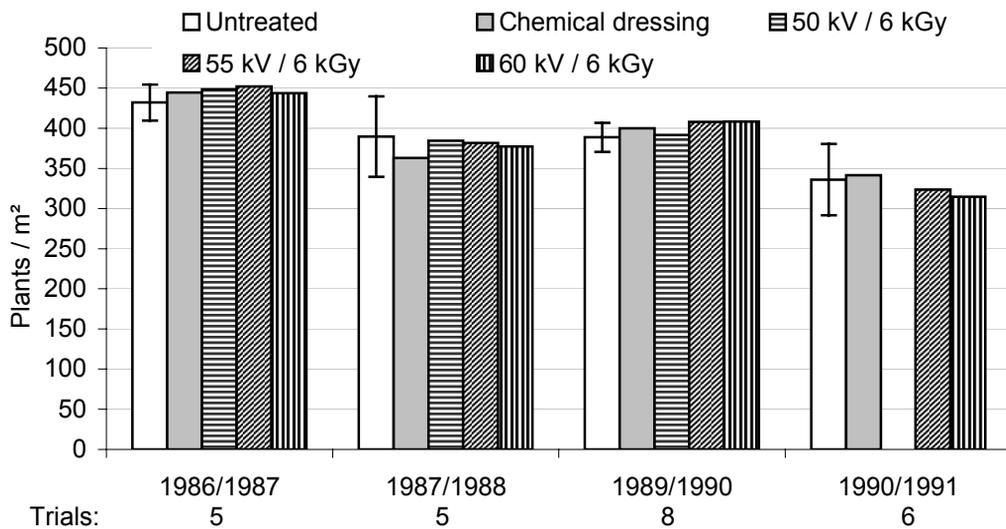


Fig. 9 Effect of electron treatment on the field emergence of certified winter wheat, variety 'Alcedo'. Plot trials in the 1986 – 1991 period

On average over all the trials of a year no significant differences were found between the field emergence of the untreated and treated wheat. There were also no significant differences in the number of overwintered plants (not shown here).

Yield

Whilst there is a direct link between seed dressing and the germination and emergence behaviour, the winter-survival behaviour, crop development and yield are only partly dependent on the seed dressing (HEIL 1985). This applies in general for all seed treatments.

With the yields of the control lying between 59.8 dt/ha (1988) and 85.8 dt/ha (1987) there are clear year-on-year differences (Figure 10). In none of the years did the yield of the electron treated wheat differ significantly from that of the control and the chemically dressed variant. In the 1987/1988 and 1990/1991 years when slightly delayed emergence was recorded for the 55 kV / 6 kGy and 60 kV / 6 kGy electron treated variants, the yield was also the same as that of the control.

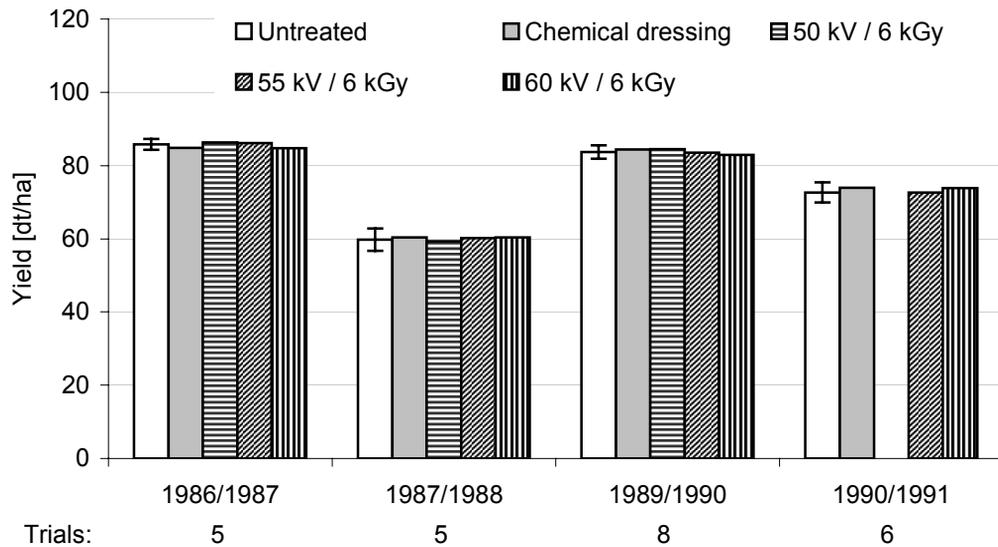


Fig. 10 Effect of electron treatment on the yield of certified winter wheat, variety ‘Alcedo’. Plot trials in the 1986 – 1991 period

Controlled cultivation trials

In addition to the afore-described plot trials, the practical suitability of electron treatment relative to chemical dressing was evaluated. The electron treatment was carried out with the 55 kV / 6 kGy parameter combination that had been selected as optimal. In 1986 Baytan Universal was used for the chemical dressing. From 1987 onwards Sibutol Flüssigbeize was employed. The results of the 77 cultivation trials undertaken in the 1986/1987 – 1989/1990 period are summarised in Table 2. The field emergence of the chemically dressed variants and the electron treated variants did not differ significantly. In 64 of the 77 cultivation trials the yield was determined. Compared to chemical dressing, there were 26 cases of lower yields, 2 cases of equal yields and 36 cases of increased yields. None of the yield differences could be statistically verified.

Table 2 Electron treatment and standard dressing of certified winter wheat. Controlled cultivation trials in the 1986 – 1990 period

Trial year	1986/1987	1987/1988	1988/1989	1989/1990	Sum
Number of trials	9	15	27	26	77
Varieties (trials)	‘Miras’	‘Miras’	‘Miras’ (17) ‘Taras’ (10)	‘Miras’ (14) ‘Taras’ (12)	
					Average
Emergence relative to the chemically dressed variant [%]	98.4	96.7	104.8	103.5	100.9
Yield relative to the chemically dressed variant [%]	98.4	101.2	103.6	102.5	101.4

Summary

During the 1986 – 1991 investigation period, laboratory, model, field and practical trials using electron treatment demonstrated the compatibility of winter wheat with electron treatment.

Investigation period 1995 – 2000 (“WESENITZ 1”)

The studies on electron treatment of seeds were continued in 1995 using the “WESENITZ 1” pilot plant. This period represented an intermediate phase in which there was further confirmation of the suitability of the method under practical conditions. Development work on the new generation of equipment was also undertaken. In the 1995 – 2000 investigation period 22 plot trials and 49 controlled cultivation trials were carried out. The chemical dressing was carried out in 1995 and 1996 with Sibutol Flüssigbeize and from 1997 onwards with Arena C. The sites of the trials are shown in Figure 11 and the trial participants are listed in the Appendix.

Parallel to the trials, electron treated winter wheat seed for practical cultivation was made available from 1996, first of all in Saxony and Saxony-Anhalt.

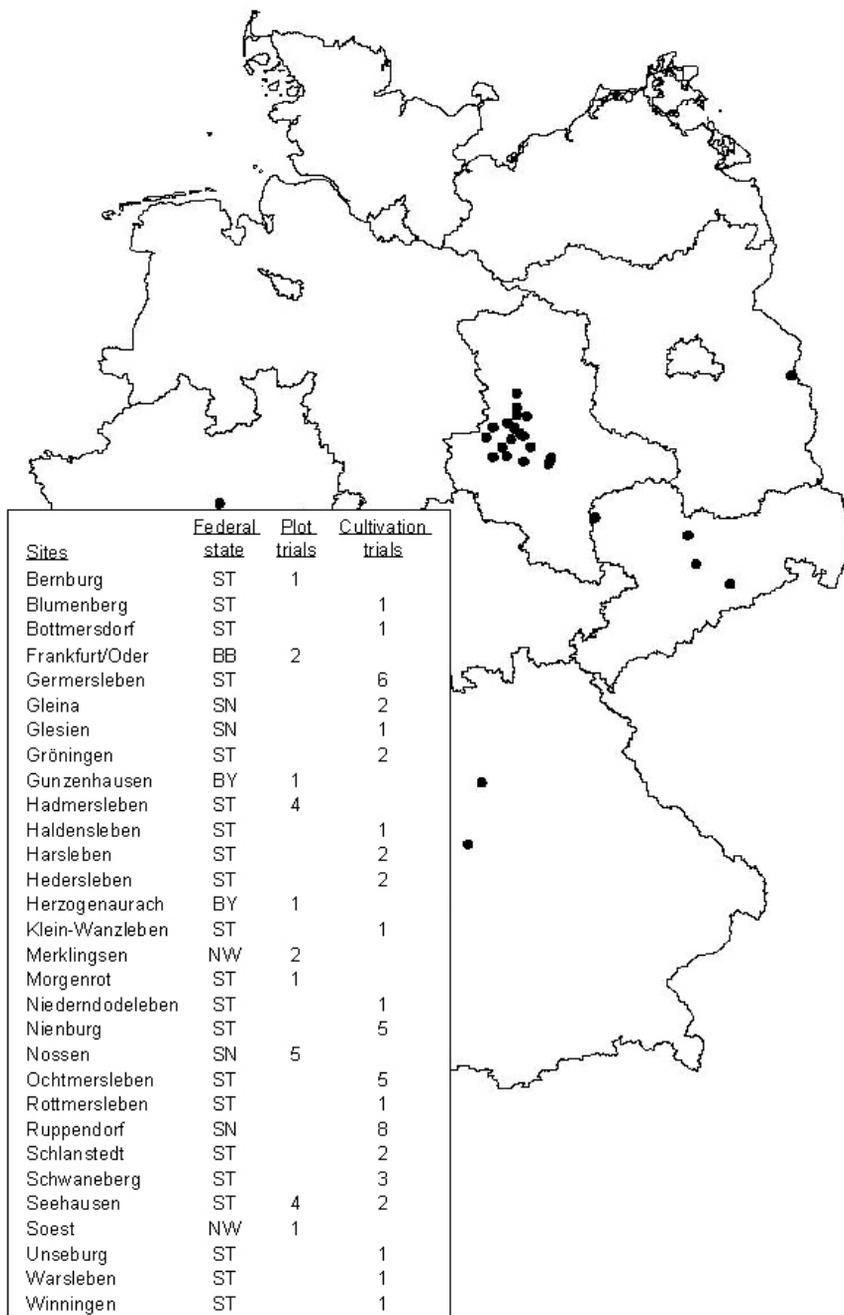


Fig. 11 Sites of the plot trials and cultivation trials using certified winter wheat in the 1995 – 2000 investigation period

Plot trials

In the plot trials from 1995 onwards, the preferred parameter combination from the first investigation period (55 kV / 6 kGy), and also the 60 kV / 6 kGy variant, were tested. In addition, these two accelerating voltages were tested with an increased dose of 8 kGy. From 1997 onwards the 60 kV / 10 kGy parameter combination was also employed. It can be concluded from the results for 1995/1996, including the greenhouse and climate chamber trials, that the dose scatter was reduced from 30-40% to < 20%. Due to the reduced dose scatter for the treatment using the “WESENITZ 1” plant, which in contrast to the “ELBA” plant has two opposing electron guns, the overdose could be reduced and hence the energy level of the treatment parameters increased. The results enabled the 55 kV / 6 kGy parameter combination to be superseded in just the second year of the trial (autumn sowing 1996) by 60 kV / 8 kGy, the new optimise parameter combination. For reasons of clarity, the results below do not show all the variants which were tested.

Field emergence

During the trial period, the average results over a particular year showed there to be no significant differences in the field emergence between the treatment variants and the control (Figure 12). On average over the years 1996 to 1999, the field emergence of the chemically dressed variant was 97.9% that of the control and the field emergence of the electron treated variant (60 kV / 8 kGy) was 99.2% that of the control. Only in autumn 1996 at one site (Hadmersleben) was a significantly reduced emergence for the chemically dressed variant recorded and this evened out during the vegetation period.

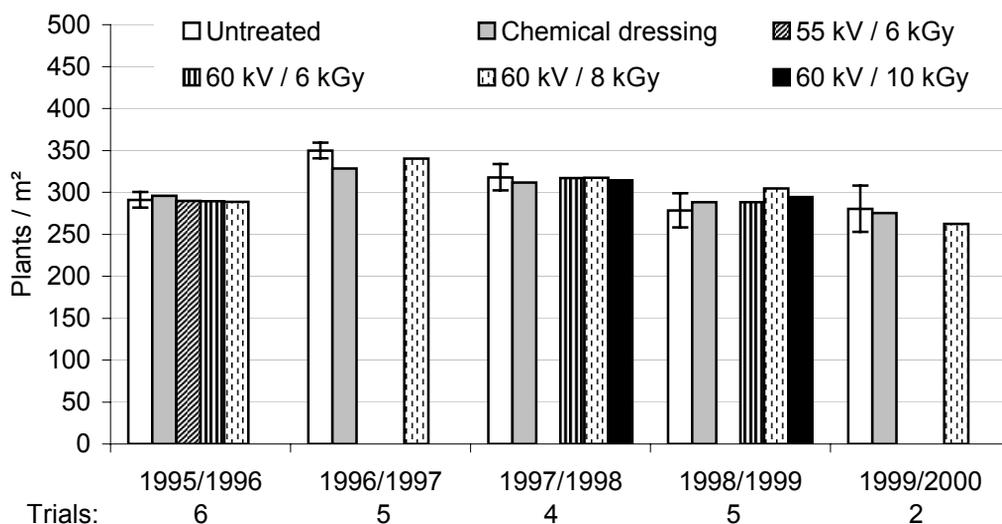


Fig. 12 Effect of electron treatment on the field emergence of certified winter wheat, variety ‘Aron’. Plot trials in the 1995 – 2000 period

Yield

Up to and including 1998 the yields of all treated variants at all sites corresponded to the values of the control. There were no significant differences. In 1999 one of the five sites (Hadmersleben) showed a statistically relevant increased yield (6% - 7%) for the chemically dressed variant and electron treated variants (60 kV / 6 kGy and 60 kV / 8 kGy) compared to the control. However, the overall average of all the trials showed no significant differences in any of the years (Figure 13).

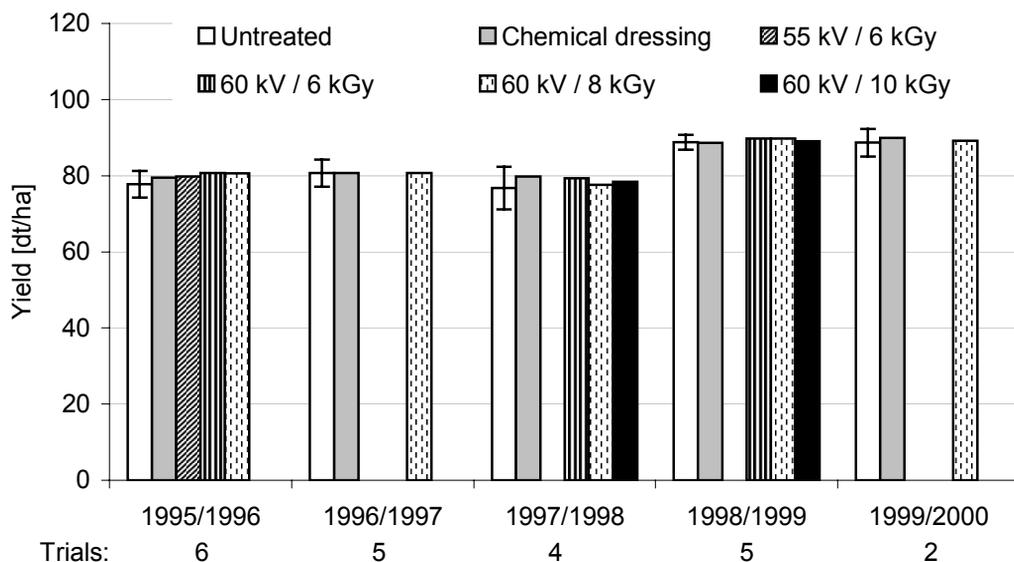


Fig. 13 Effect of electron treatment on the yield of certified winter wheat, variety ‘Aron’. Plot trials in the 1995 – 2000 period

Controlled cultivation trials

For the reasons iterated above, the controlled cultivation trials in the 1996 – 2000 period were carried out using the newly set optimal parameter combination, 60 kV / 8 kGy. The chemical dressing agent used in 1996 was Arena C and in subsequent years Landor CT.

The results for the electron treatment over the whole period showed a small increase in the field emergence (by 3% - 7%) compared to the chemically dressed variant. The yield for the electron treated variants was in the region of the chemically dressed variant (Table 3).

Table 3 Electron treatment and standard dressing of certified winter wheat. Controlled cultivation trials in the 1996 – 2000 period

Trial year	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	Sum
Number of trials	8	16	14	11	49
Varieties (trials)	‘Aron’ (8)	‘Aron’ (7) ‘Tarso’ (5) ‘Alidos’ (1) ‘Aristos’ (1) ‘Pegassos’ (1) ‘Contra’ (1)	‘Aron’ (5) ‘Tarso’ (4) ‘Cardos’ (3) ‘Contra’ (1) ‘Flair’ (1)	‘Aron’ (4) ‘Kornett’ (4) ‘Contur’ (2) ‘Korsika’ (1)	
					Average
Emergence relative to the chemically dressed variant [%]	103.1	104.7	107.3*	104.4*	104.9
Yield relative to the chemically dressed variant [%]	101.3	99.2	101.3	102.2	101.0

* significant to the chemically dressed variant, $p < 0.05$

Summary

Compared to the “ELBA” plant used in the 1980s, the “WESENITZ 1” electron treatment plant represented decisive progress in the development of electron treatment technology. This was due to the lower dose scatter and the higher seed throughput. The advanced nature of the technology was underpinned in the trials on this plant in the 1995 to 2000 investigation period.

Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)

With the introduction of the atmospheric pressure electron treatment plant “WESENITZ 2” the operating conditions of the plant were fundamentally changed. In particular, the accelerating voltage (a maximum of 60 kV with vacuum plants) had to be considerably increased in order to take the resistance of the air into account. It was hence necessary to re-evaluate the compatibility of plants with electron treatment in new plot trials and cultivation trials.

In the 1999 – 2004 period the plant compatibility of the electron treatment was investigated in 64 plot trials and 14 cultivation trials using certified winter wheat. The trials were carried out at 31 sites (Figure 14). The trial participants are listed in the Appendix. Included in the 64 plot trials are a total of 17 comparative tests of the plant health services of the federal states which were carried out starting in the autumn of 2000.

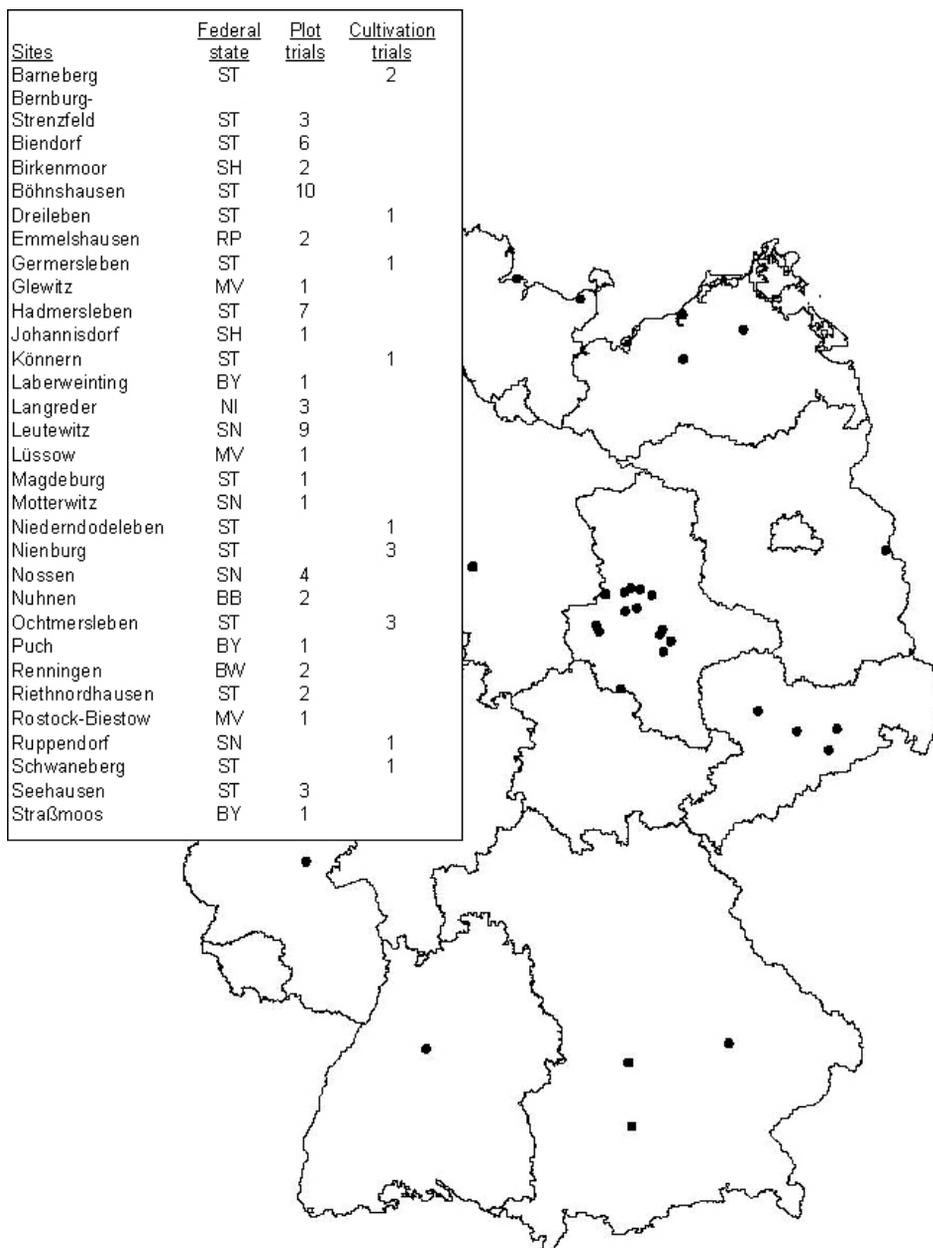


Fig. 14 Sites of the plot trials and cultivation trials using certified winter wheat in the 1999 – 2004 investigation period

Plot trials

In 1999/2000, the two treatment plants were tested in parallel. Arena C was used as the chemical dressing agent. The viable range for the accelerating voltage for wheat and rye was determined to be 100 kV - 110 kV. It had emerged from provisional testing that 110 kV could be the voltage limit with regard to the plant compatibility. In the following year, accelerating voltages of 100 kV, 105 kV and 110 kV were used with a dose of 12 kGy and 10 kGy. As the 105 kV / 12 kGy parameter combination showed itself to be suitable in all the trials carried out in 2000/2001, this combination was exclusively used from 2001 onwards.

Field emergence

The results in the first two trial years showed that an accelerating voltage of 110 kV was the limit for the plant compatibility. In these two years this accelerating voltage caused a significantly reduced field emergence relative to the control. In contrast, the 105 kV / 12 kGy parameter combination showed itself to be highly suitable. In 2000/2001 the field emergence of the wheat treated with the 105 kV / 12 kGy parameter combination was significantly higher at two of the eight trial sites. From 2001 onwards, the results averaged over all sites showed no significant differences in the field emergence between the variants. For the untreated wheat, in particular in the autumn of 2002, there was slightly reduced emergence compared to the treated variants (Figure 15).

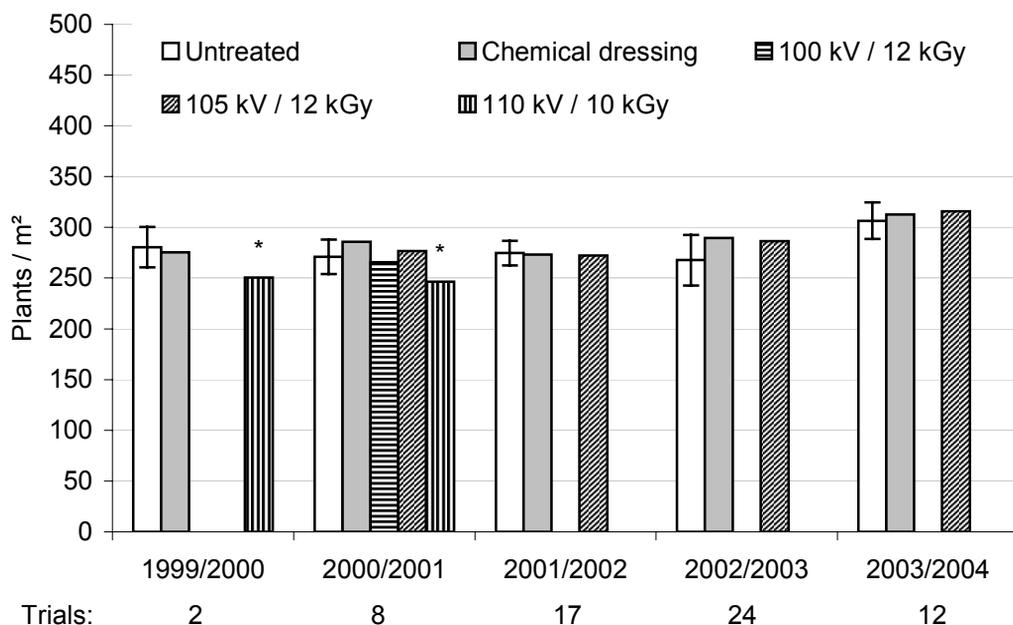


Fig. 15 Effect of electron treatment on the field emergence of certified winter wheat, varieties: 1999, 2000 and 2003 'Aron', 2001 'Alidos', 'Altos', 'Cardos', 'Compliment', 'Flair', 'Maxi', 'Tommi', 'Toronto', 2002 'Altos', 'Compliment', 'Enorm', 'Flair', 'Ludwig', 'Ritmo', 'Tataros', 'Tommi'. Plot trials in the 1999 – 2004 period
* significant to the control, $p \leq 0.05$

Yield

The yield showed slight variation depending on the variety and site. However, at no time and at no site were there significant differences between the variants (Figure 16). The reduction in the field emergence of the wheat treated with the 110 kV / 10 kGy parameter combination was fully compensated during the crop development and was no longer detectable in the yield.

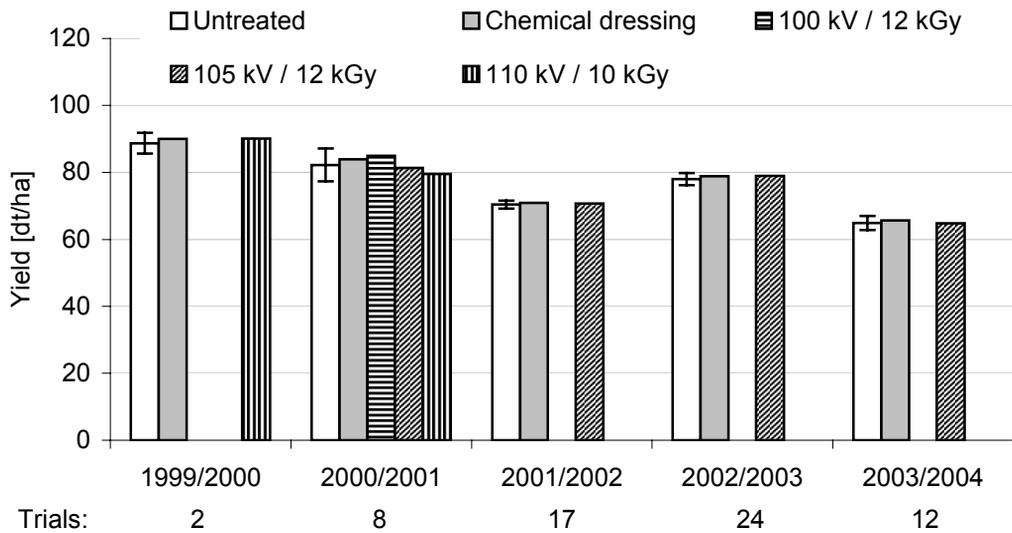


Fig. 16 Effect of electron treatment on the yield of certified winter wheat, varieties: 1999, 2000 and 2003 ‘Aron’, 2001 ‘Alidos’, ‘Altos’, ‘Cardos’, ‘Compliment’, ‘Flair’, ‘Maxi’, ‘Tommi’, ‘Toronto’, 2002 ‘Altos’, ‘Compliment’, ‘Enorm’, ‘Flair’, ‘Ludwig’, ‘Ritmo’, ‘Tataros’, ‘Tommi’. Plot trials in the 1999 – 2004 period

Comparative test 2003/2004

For implementation of the technology into agricultural practice, the comparative tests of the plant health offices have key importance. Especially in 2003/2004, the carrying out of trials at 8 sites in 7 federal states in Germany allowed a representative distribution to be achieved over the whole of the country. The results in this trial year are hence shown in detail below. Table 4 shows the field emergence and yield of the treated variants relative to the untreated control.

Table 4 Effect of electron treatment on the field emergence and yield of certified winter wheat. Comparative test in 2003/2004

Federal state	Site	Field emergence				Yield			
		Chemical dressing		Electron treatment		Chemical dressing		Electron treatment	
		Plants/m ²	Rel. to control	Plants/m ²	Rel. to control	Yield [dt/ha]	Rel. to control	Yield [dt/ha]	Rel. to control
Schleswig-Holstein	Birkenmoor	229	86.4	244	92.1	82.61	98.7	83.41	99.6
Lower Saxony	Langreder	342	95.0	346	96.1	not determined		not determined	
Brandenburg	Nuhnen	312	104.7	326	109.4	44.5	99.4	45.0	100.5
Saxony-Anhalt	Bernburg-Strenzfeld	not determined		not determined		96.4	99.7	99.6	103.0
Rhineland-Palatinate	Emmelshausen	348	100.0	356	102.3	85.2	109.4	79.5	102.0
Bavaria	Puch	372	115.2	340	105.3	73.4	100.1	74.7	101.9
Bavaria	Straßmoos	341	98.8	344	99.7	68.4	105.6	66.3	102.3
Baden-Württemberg	Renningen	407	109.4	395	106.2	95.9	101.0	93.3	98.3

The results show that there were distinct differences in field emergence at the sites. Between the treatment variants at the sites, the differences were low. The lower field emergence at Birkenmoor, compared to the control, resulted from the relatively early sowing and subsequently favourable weather conditions, meaning that the treatments were additional stress for the plants, and resulted in a delay of the field emergence. Differences in the harvest results were no longer apparent. There were also no distinct differences in the yield.

The results in the 1999 – 2004 period hence demonstrated the plant compatibility with electron treatment at atmospheric pressure. The parameter combination 105 kV / 12 kGy was deemed to be optimal.

Controlled cultivation trials

In order to confirm the advanced practical state of development of the technology, controlled cultivation trials were carried out in 1999 – 2002 on practical seed varieties in Saxony and Saxony-Anhalt. In 1999 the electron treatment was carried out using the 100 kV / 10 kGy parameter combination, from autumn 2000 onwards with 105 kV / 12 kGy. Either Arena C or Landor CT was used for the chemical dressing. In 1999, at two of the four sites a significantly increased field emergence after electron treatment was shown. In the following years, the average field emergence at all sites was significantly higher than that of the chemically treated variant.

The yields for the electron treated variants differ very little from that of the chemically dressed winter wheat (Table 5). In 2001 lower yields were measured at two sites and higher yields were measured at three sites after electron treatment. In 2002 a lower yield was measured at one site and higher yields were measured at four sites after electron treatment.

Table 5 Electron treatment and standard dressing of certified winter wheat. Controlled cultivation trials in the 1999 – 2002 period

Trial year	1999/2000	2000/2001	2001/2002	Sum
Number of trials	4	5	5	14
Varieties (trials)	'Aron'	'Aron' (4) 'Ludwig' (1)	'Altos' (3) 'Dekan' (2)	
				Average
Emergence relative to the chemically dressed variant [%]	104.4	106.6*	108.9*	106.3*
Yield relative to the chemically dressed variant [%]	97.1	101.0	101.4	99.8

* significant to the chemically dressed variant, $p \leq 0.05$

Comparison of varieties

The variety-specific susceptibility of electron treatment was investigated back in the 1986 to 1991 period. Three-year field trials on winter wheat did not reveal any variety-specific susceptibility (PFANNMÖLLER et al. 1992). Figures 15 and 16 show results of trials which were carried out in Biendorf, Böhnshausen, Hadmersleben and Leutewitz in the years 2001/2002 and 2002/2003 on respectively four ('Altos', 'Compliment', 'Tommi', 'Maxi') and five ('Altos', 'Compliment', 'Tommi', 'Tataros', 'Enorm') varieties. In neither year was any specific susceptibility of a variety to electron treatment observed.

Summary

The advanced practical state of the electron treatment technology at atmospheric pressure was confirmed on winter wheat in the 1999 – 2004 period.

Winter rye

Investigation periods: 1986 – 1991 (“ELBA”) and 1995 – 2000 (“WESENITZ 1”)

In parallel to the winter wheat trials, albeit on a much smaller scale, the phytosanitary effect of electron treatment on winter rye was also investigated. Plot trials using the rye seed treated using the “WESENITZ 1” plant were not carried out. The results for the two trial periods mentioned above using the vacuum plants are hence summarised together.

The first preliminary plot trial using certified seed was undertaken at Kleinmachnow way back in 1981/1982. No negative effects were found. On completion of the “ELBA” plant, trials were carried out continuously from 1986 also on winter rye. Figure 17 shows the sites of the trials. The trial participants are listed in the Appendix.

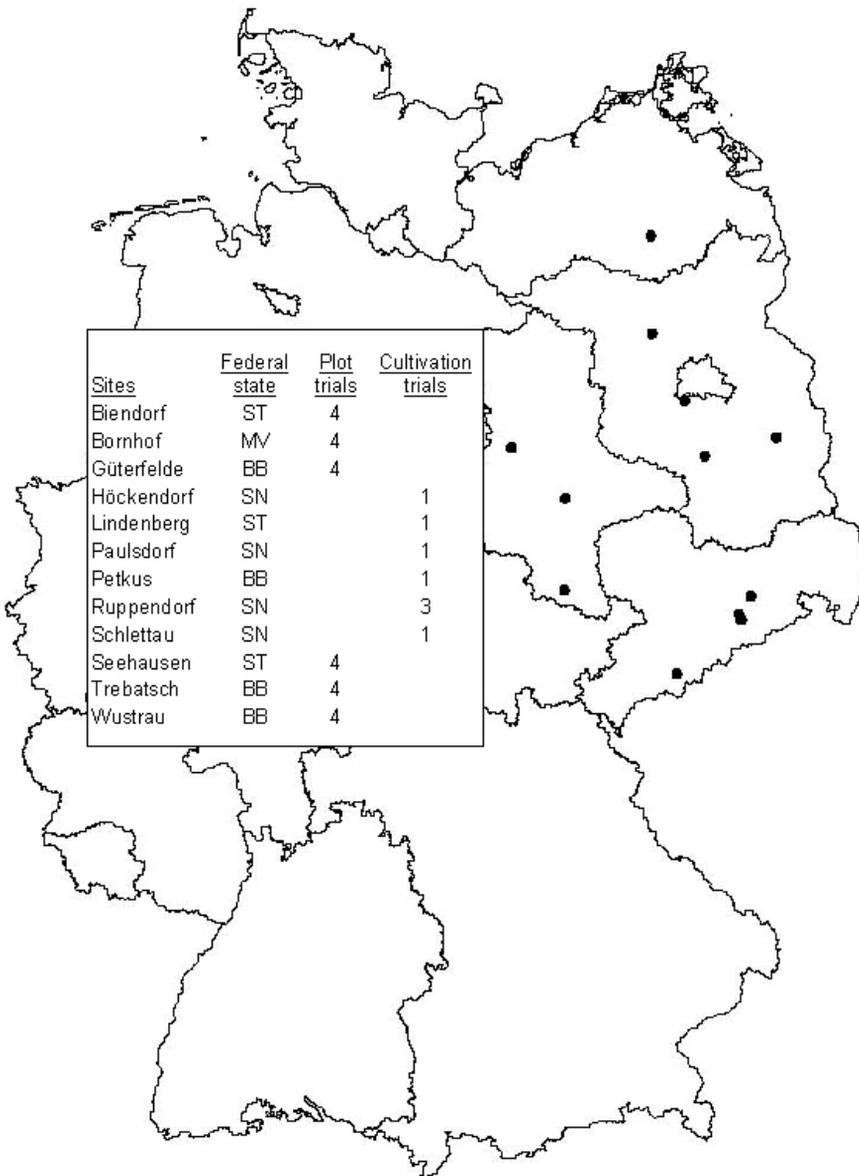


Fig. 17 Sites of the plot trials and cultivation trials using certified winter rye in the 1986 – 1991 and 1995 – 2000 investigation periods

Plot trials

In the 1986 – 1991 period 24 plot trials were carried out using certified winter rye. Electron treatment was carried out with an accelerating voltage of 50 kV, 55 kV and 60 kV and in each case a dose of 6 kGy. The field emergence and yield were compared with chemically dressed rye (dressing agents: Baytan Universal (1986), Sibutol Flüssigbeize (from 1987 onwards)) and untreated rye.

Field emergence

The field emergence (Figure 18) of the electron treated rye was essentially the same as that of the untreated control. However, in all trial years a reduced number of plants were observed following increasing accelerating voltage. The effect was significant at 60 kV in two of the trial years. In 1989/1990 the number of emerged plants was significantly reduced by all electron treatments. Whereas the weather conditions were optimal for the later sown winter wheat in autumn 1989 (see Figure 9), the period of sowing for winter rye (end of September/beginning of October) was characterised by a very low precipitation. The consequence of that were incomplete crops at all sites. Obviously, the dryness was an additional stress for the electron treated rye. The higher sensibility of rye in comparison to wheat was visible in all trial years and also after chemical dressing (significant difference between the control and the chemically dressed variant in autumn 1986).

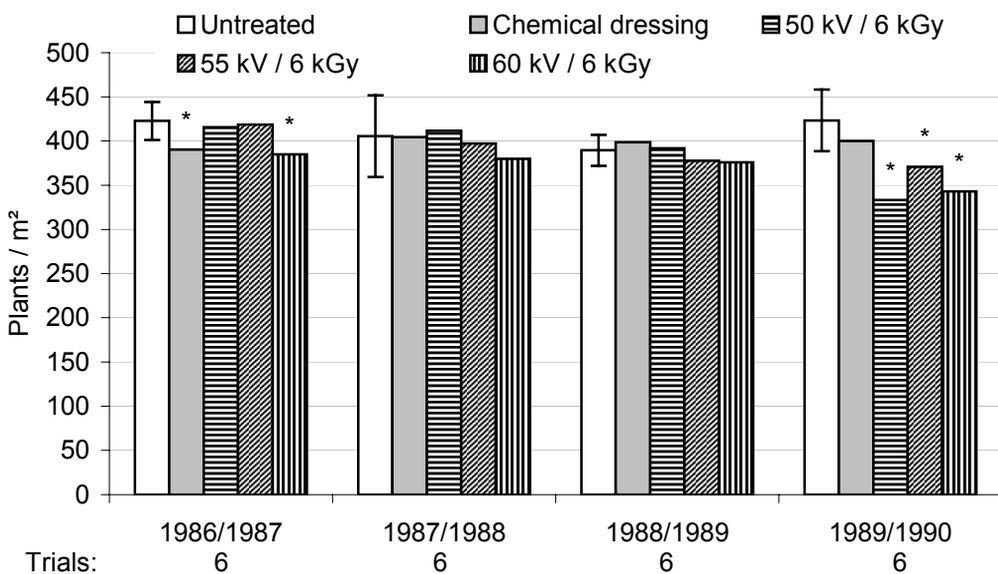


Fig. 18 Effect of electron treatment on the field emergence of certified winter rye, variety 'Muro'. Plot trials in the 1986 – 1990 period

Yield

The large differences found in the treated variants in autumn 1989 were fully compensated in the crop development phase up to the 1990 harvest. The yields of all the treated variants over the whole trial period were the same as that of the control and there were no significant differences (Figure 19).

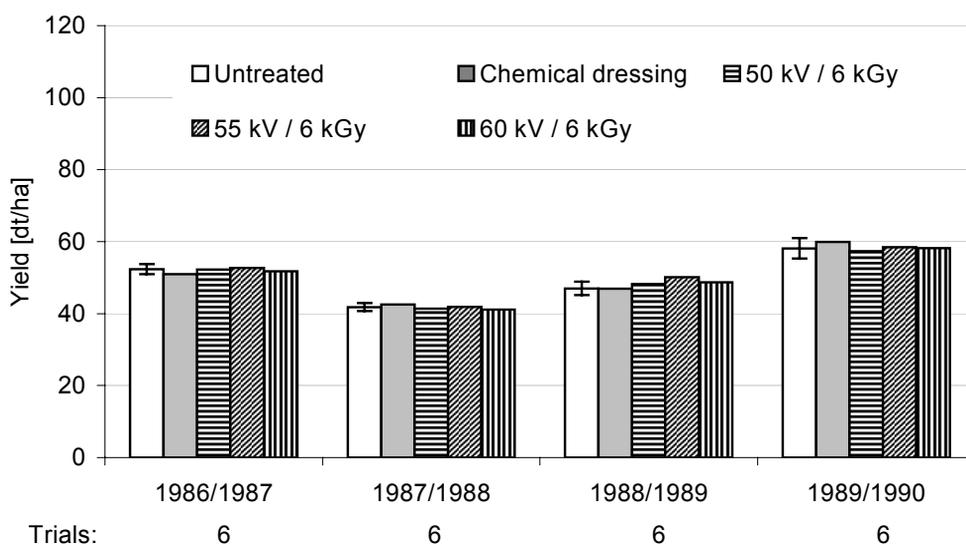


Fig. 19 Effect of electron treatment on the yield of certified winter rye, variety 'Muro'. Plot trials in the 1986 – 1990 period

Controlled cultivation trials

Compared to winter wheat, relatively few controlled cultivation trials were carried out with winter rye. In 1988/1989, electron treated winter rye (variety 'Muro'; treatment conditions: 55 kV / 6 kGy) was cultivated at three sites (Lindenberg, Petkus and Schlettau) and comparison was made with Sibutol-dressed seed (results not shown in detail). At two of the three sites the yield was slightly increased, whilst at the third site there was no difference in yield. No significant differences were found.

In both 1997 and 1998 one trial was carried out at Ruppendorf. In 1999 three trials were carried out at sites in Saxony (Ruppendorf, Höckendorf and Paulsdorf). Based on the optimised parameters from the first series of trials back in the 1980s and experience with the "WESENITZ 1" plant on winter wheat, a comparison was made between electron treated winter rye (60 kV / 8 kGy) and chemically dressed seed (Arena C). The results are shown in Table 6. In autumn 1997 the field emergence of the electron treated variant was considerably delayed. There were significant differences between chemical treated seeds and electron treated seeds. In contrast, the field emergence of the electron treated variant was significantly higher in 1998. In autumn 1999 there was virtually no difference in the field emergence between the variants. The yields at two of the three sites after electron treatment were significantly higher than after chemical treatment. The delayed emergence in autumn 1997 was hence compensated during the vegetation period.

The results confirm that large variations in the field emergence can be compensated by plant development during the vegetation period.

Table 6 Electron treatment and standard dressing of certified winter rye, varieties 'Avanti', 'Esprit'. Controlled cultivation trials in the 1997-2000 period

Trial year	1997/1998		1998/1999		1999/2000	
	Ruppendorf	Ruppendorf	Ruppendorf	Höckendorf	Paulsdorf	
Emergence relative to the chemically dressed variant [%]	69,0*	110,3*	99.5	98.8	100.5	
Yield relative to the chemically dressed variant [%]	99,2	not investigated	99.1	111.9*	110.5*	

* significant to the chemically dressed variant, $p \leq 0.05$

Summary

The trials in the investigation periods from 1986 to 2000 demonstrated an adequate compatibility of winter rye with electron treatment.

Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)

Plot trials

The sites of the 13 plot trials with certified winter rye in the 1999 – 2004 period are shown in Figure 20. The trial participants are listed in the Appendix. Arena C was used for the chemical dressing. Controlled cultivation trials were not carried out in this period. The electron treatment was carried out with the 105 kV / 12 kGy and 110 kV / 10 kGy parameter combinations which had been determined as optimum in the preceding laboratory and model trials. From the 2001/2002 trial year on, only the 105 kV / 12 kGy parameter combination was employed.

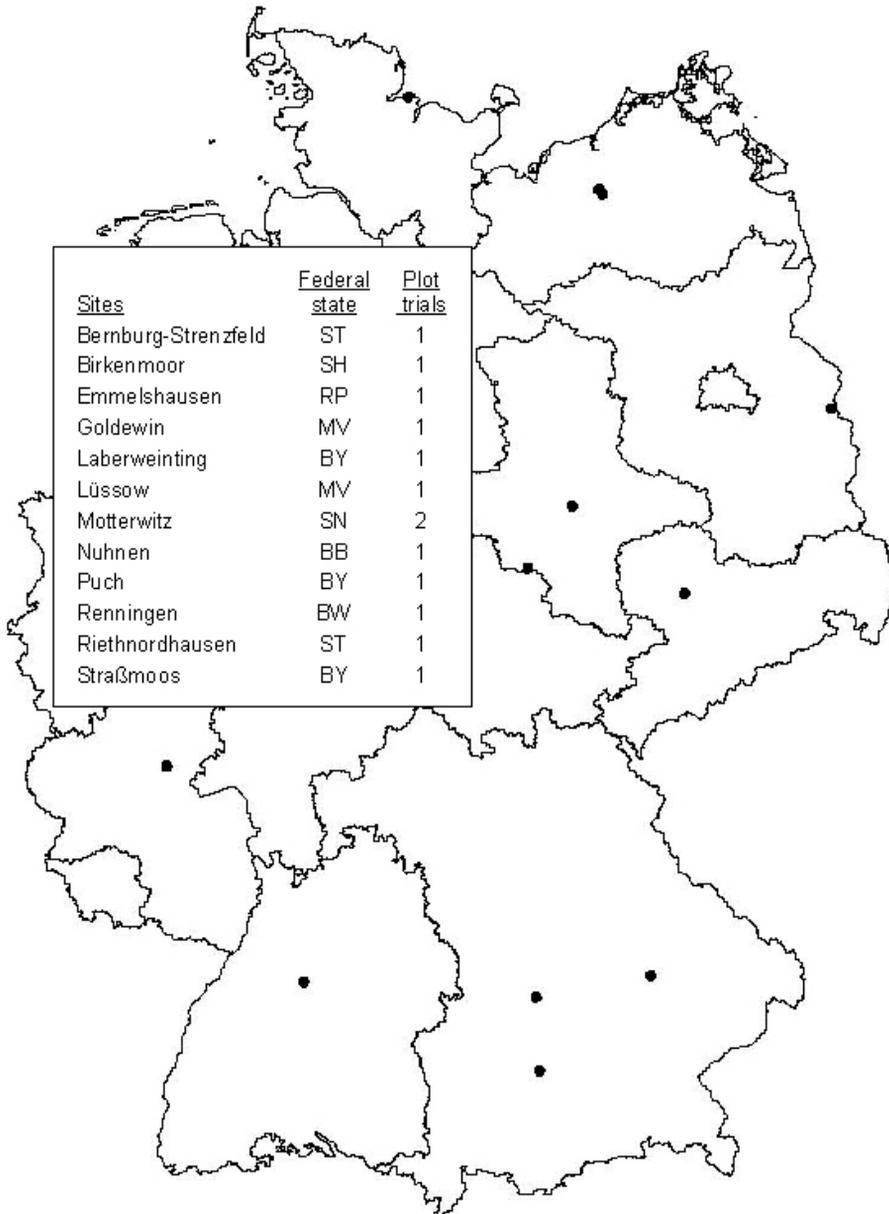


Fig. 20 Sites of the plot trials using certified winter rye in the 1999 – 2004 investigation period

The results in the year 2001/2002 from the Riethnordhausen site could not be included in the evaluation because of the failure of a series of repeats. In 2002/2003, only one trial was undertaken (at Laberweinting). The data for the field emergence could not be acquired and so the results cannot be shown. In the year 2003/2004 the trials exclusively were carried out within the comparative tests of the federal states.

Field emergence

In autumn 2000, the field emergence was significantly increased after chemical dressing and after electron treatment, compared to the control, at one of the two sites (Motterwitz). In the trial year 2001/2002, the field emergence was adversely affected. Compared to the control, the treated seed emerged somewhat later (Figure 21). It is presumed that the late sowing at the end of October caused this reduction in field emergence at both sites. In 2003, an overall low emergence level was observed.

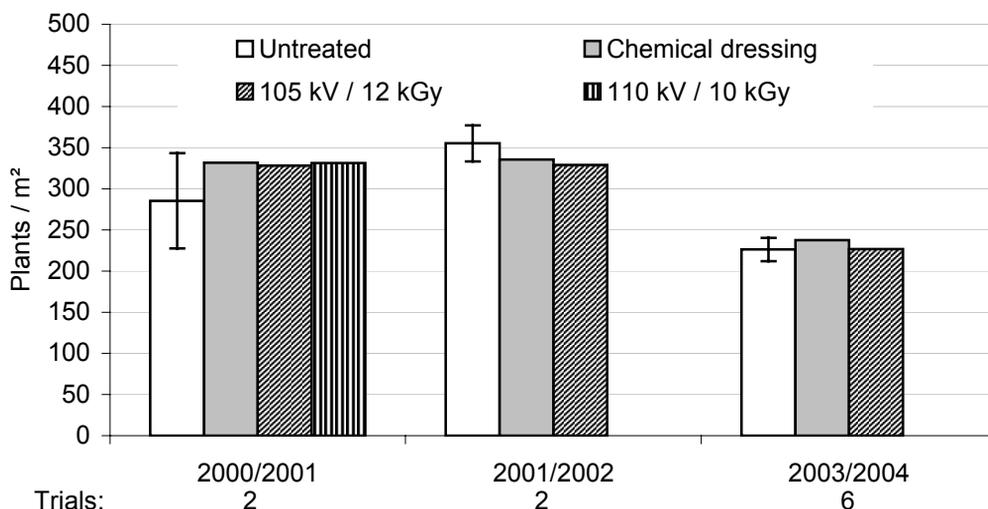


Fig. 21 Effect of electron treatment on the field emergence of certified winter rye, variety ‘Avanti’. Plot trials in the 2000 – 2004 period

Yield

In 2000/2001 significant differences in yield were found. The increased yields, compared to the control, were significant for the chemically dressed variant and the electron treated variant (105 kV / 12 kGy). In the 2001/2002 and 2003/2004 years the yields of the treated variants corresponded to that of the control (Figure 22). R. During the crop development up to the yield evaluation, the slight reduction in the emergence of the year 2001/2002 was fully compensated.

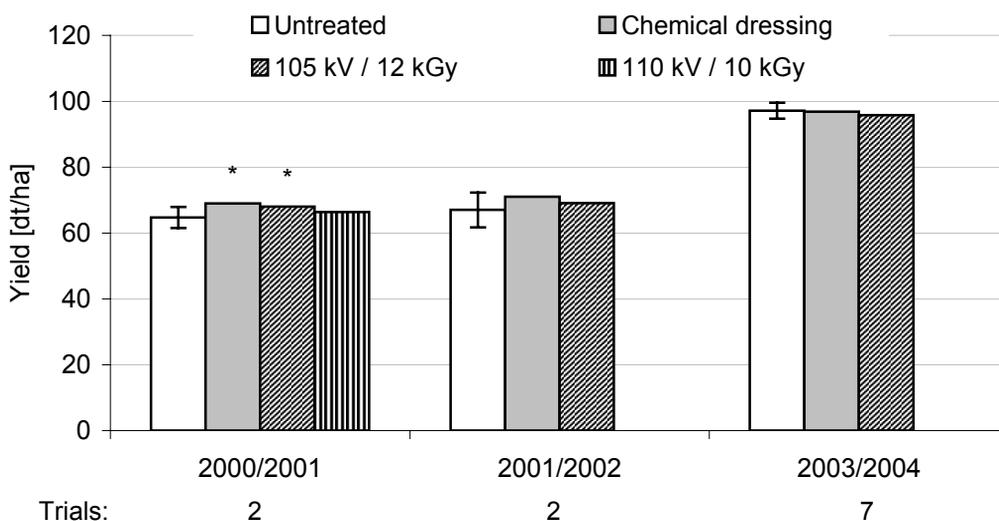


Fig. 22 Effect of electron treatment on the yield of certified winter rye, variety ‘Avanti’. Plot trials in the 2000 – 2004 period
* significant to the control, $p \leq 0.05$

Comparative test 2003/2004

Analogous to the results for winter wheat, the results of the 7 plot trials that comprise the 2003/2004 comparative tests, which were carried out by the plant health offices of the federal states, are individually shown (Table 7). The field emergence was not determined at 1 of the 7 sites.

Distinct differences in the field emergence were observed between the sites as well as between the treatment variants at some sites. The relatively low number of plants (<250, Table 7) at 3 of the 6 sites arose from much delayed field emergence in the autumn. This delay was compensated during the vegetation period. The yields in 2004 were generally high and at 6 of the 7 sites the yield was considerably greater than 90 dt/ha. There were no distinct differences between the treated variants at any of the sites.

Table 7 Effect of electron treatment on the field emergence and yield of certified winter rye. Comparative test in 2003/2004

Federal state	Site	Field emergence				Yield			
		Chemical dressing		Electron treatment		Chemical dressing		Electron treatment	
		Plants/ m ²	Rel. to control	Plants/ m ²	Rel. to control	Yield [dt/ha]	Rel. to control	Yield [dt/ha]	Rel. to control
Schleswig-Holstein	Birkenmoor	223	114.4	171	87.7	94.0	99.3	94.7	99.9
Brandenburg	Nuhnen	210	92.1	228	100	72.8	100.0	71.9	98.7
Saxony-Anhalt	Bernburg-Strenzfeld	not determined		not determined		112.3	107.7	110.7	100.3
Rhineland-Palatinate	Emmelshausen	324	98.8	310	94.6	97.7	100.9	92.2	95.2
Bavaria	Puch	204	108.5	191	101.6	108.6	95.9	108.6	95.9
Bavaria	Straßmoos	264	105.6	253	101.2	99.2	102.8	96.7	100.2
Baden-Württemberg	Renningen	286	105.9	286	105.9	97.5	102.6	95.5	100.5

Summary

The compatibility of winter rye with electron treatment was confirmed in the 1999 – 2004 investigation period.

Winter barley

In contrast to wheat and rye, the presence of husks on barley necessitates a greater depth of penetration of electrons. The higher accelerating voltage that is hence required could not be achieved with either the “ELBA” plant or with the “WESENITZ 1” pilot plant. For the trials which were carried out in the period up to 2000, which were considerable in their scope, the electron treatment was carried out in plants which were not intended for treating seeds (for example an electron beam welding plant). These results, which in principle demonstrated the ability to treat barley seeds, are hence not shown here. The development of the atmospheric pressure “WESENITZ 2” plant allowed barley seeds to be treated for the first time in a plant designed for treating seeds.

Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)

Plot trials

The sites of the 12 plot trials using certified winter barley are shown in Figure 23. The trial participants are listed in the Appendix. These trials, which were undertaken from autumn 2001 onwards, were exclusively carried out as part of the comparative tests of the plant health offices of the federal states. No controlled cultivation trials were carried out. Baytan Universal was employed for the chemical dressing.

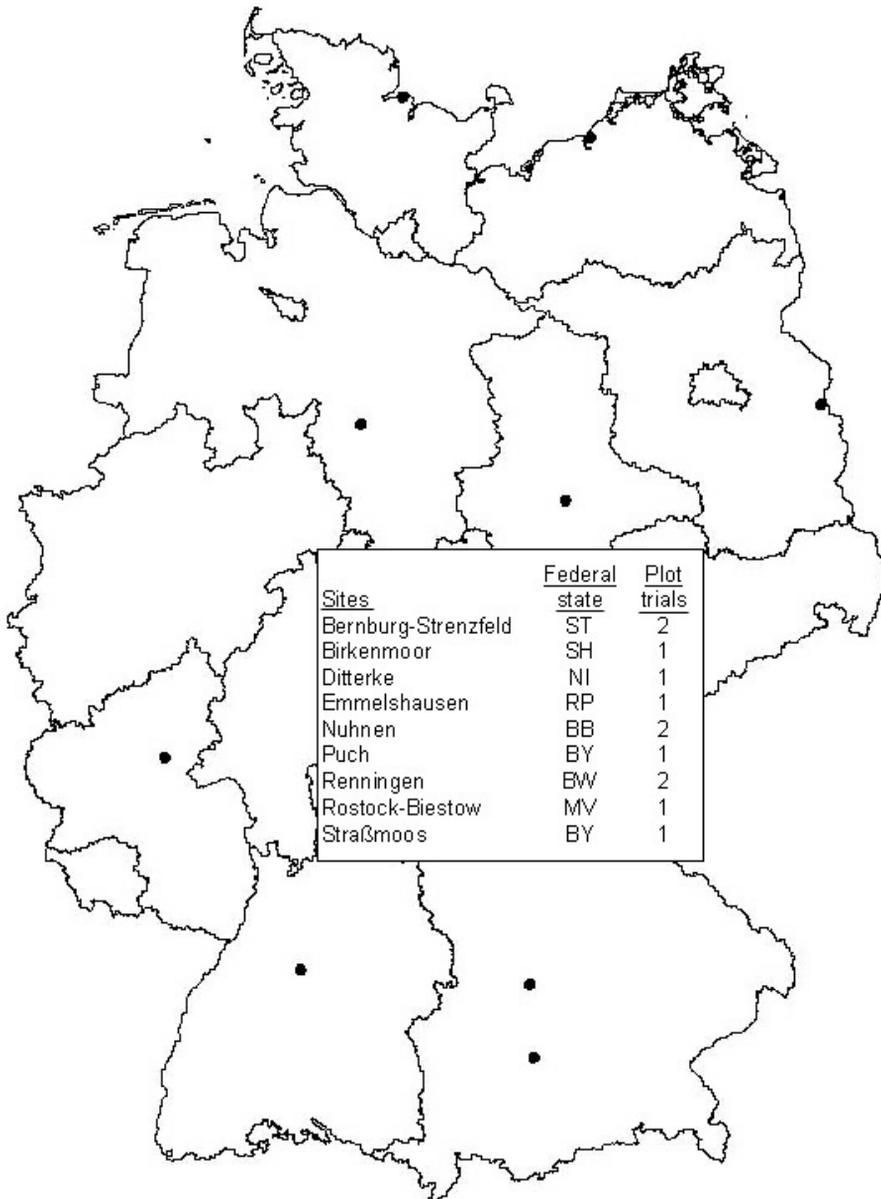


Fig. 23 Sites of the plot trials using certified winter barley in the 1999 – 2004 investigation period

Field emergence

The field emergence in autumn 2001 and also 2002 was speedy, homogenous and was virtually the same for all the variants at each of the sites (Figure 24). Also in 2003, there were only small differences in field emergence between the treatment variants at all the sites (see „Comparative test”).

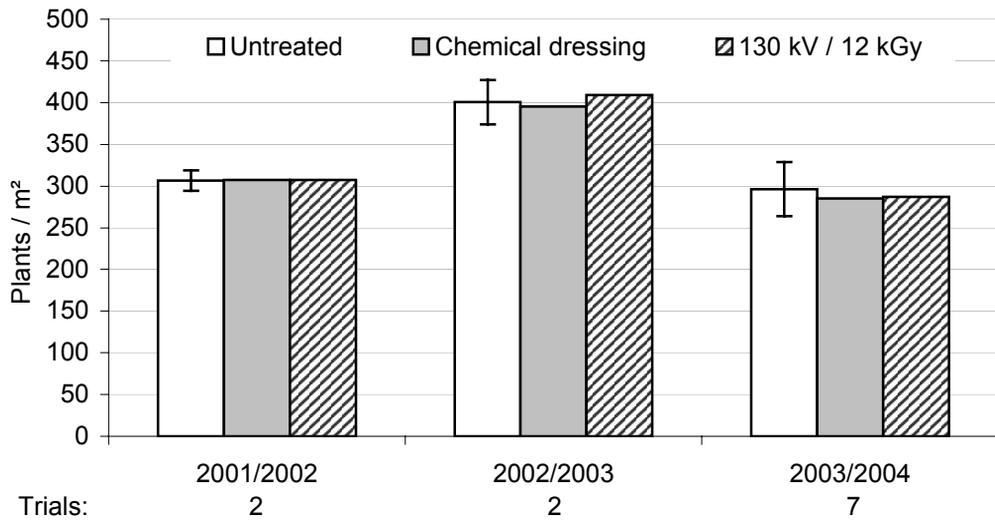


Fig. 24 Effect of electron treatment on the field emergence of certified winter barley, varieties ‘Theresa’, ‘Traminer’. Plot trials in the 2001 – 2004 period

Yield

In all three trial years the yields of the treated variants were the same as that of the controls (Figure 25). At Nuhnen (Brandenburg), the yield was not recorded in 2002/2003, meaning that only 1 site (Renningen) was evaluated.

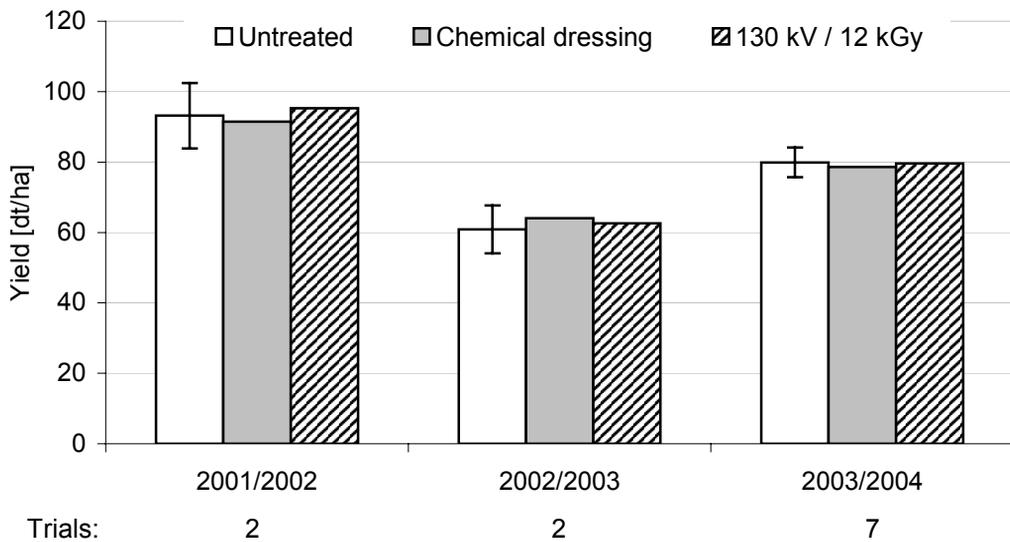


Fig. 25 Effect of electron treatment on the yield of certified winter barley, varieties ‘Theresa’, ‘Traminer’. Plot trials in the 2001 – 2004 period

Comparative test 2003/2004

As for wheat and rye, the results of the comparative test in 2003/2004 for barley are shown in detail (Table 8).

The field emergence and the yield were not determined at 1 of the 8 sites. At 4 sites the field emergence in the chemical treated variant and at 1 site in the electron treated variant was considerably reduced (about 10%). The yields in 2004 were generally high. The high differences in the emergence were no more detectable.

Table 8 Effect of electron treatment on the field emergence and yield of certified winter barley. Comparative test in 2003/2004

Federal state	Site	Field emergence				Yield			
		Chemical dressing		Electron treatment		Chemical dressing		Electron treatment	
		Plants/m ²	Rel. to control	Plants/m ²	Rel. to control	Yield [dt/ha]	Rel. to control	Yield [dt/ha]	Rel. to control
Schleswig-Holstein	Birkenmoor	218	100.9	246	113.9	80.4	102.2	77.6	98.6
Lower Saxony	Ditterke	228	89.4	268	105.1	not determined		not determined	
Brandenburg	Nuhnen	232	89.9	248	96.1	51.4	96.7	52.0	97.8
Saxony-Anhalt	Bernburg-Strenzfeld	not determined		not determined		96.4	97.8	99.4	100.9
Rhineland-Palatinate	Emmelshausen	332	92.6	344	96.0	82.3	98.6	80.9	97.0
Bavaria	Puch	294	97.0	278	91.7	71.8	94.5	77.0	101.3
Bavaria	Straßmoos	306	92.4	326	98.5	72.6	95.0	75.5	98.8
Baden-Württemberg	Renningen	347	98.3	342	96.9	95.8	102.6	95.4	102.2

Summary

The compatibility of winter barley with electron treatment was identified in the 2001 – 2004 investigation period.

Effectiveness against seed-borne pathogens in cereal crops

Tilletia caries in winter wheat

Common bunt in wheat (*T. caries*) is world-wide one of the most frequently occurring and hence economically significant diseases in cereal crops. This is especially so in cooler climates. It can cause yield reductions of 20 – 50% (MATHUR and CUNFER 1993) and can also contaminate the crop with toxins (WESTERMANN et al. 1988). Chemical dressing provides effective protection against this pathogen. However, if direct treatment is not possible or not permitted, then within a short period of time there is concentration of the spores and this can ultimately lead to an epidemic.

After electron treatment, a portion of the spores are still present, albeit in a non-active or dead state. Conventional seed testing restricts itself to quantifying the spores / corn, and excludes the testing of the vitality of the seeds. Against this background, the focus from the very outset of the studies was put on studies in the field. Such studies have been carried out continuously since 1982. In the period up until 1985, treatment was carried out in non-purposefully built plants which were not designed for treating seeds. The results for this period are hence omitted here. However, even in this period, degrees of effectiveness of up to 100% confirmed the very effective fungicidal action of electron treatment technology against the pathogens responsible for common bunt.

Investigation periods 1986 – 1991 (“ELBA”) and 1995 – 2000 (“WESENITZ 1”)

The “ELBA” plant was purposefully built for treating seeds and became available in 1986. In the period up to 1991, work was carried out on to demonstrate the fungicidal action of electron treatment and also to fine-tune the operating parameters. The main objective was to demonstrate the constancy and reproducibility of the results, because in the preliminary trial period near-optimal treatment parameters had already been selected.

In the 1986 – 1990 period, trials were carried out in the field at 6 sites (Figure 26). The trial participants are listed in the Appendix. In addition to the untreated control, chemically dressed seed (using Baytan Universal (1986) and Sibutol Flüssigbeize (1987 onwards)) was included in the trials. In 1986 electron treatment was carried out with accelerating voltages of 50 kV, 55 kV and 60 kV, in each case with a 6 kGy dose. In 1987 the operating conditions of the plant were restricted to 55 kV / 6 kGy and 60 kV / 6 kGy and from 1988 treatments were exclusively carried out using the 55 kV / 6 kGy parameter combination. The results are summarised in Table 9.

Not included are 2 trials in 1990/1991 and trials which started in autumn 1991 in Rhineland-Palatinate, Baden-Württemberg and North Rhine-Westphalia because the protocols of these trials were not available. The results corresponded with those shown in Table 9. For example, in the trial in Baden-Württemberg the degree of effectiveness was between 97% and 99% for an infection of 33.4% in the control (source: annual report 2003 of the Plant Protection Service of Baden-Württemberg).

In the first trial year, 1986/1987, the effectiveness of the electron treatment was between 89% and 95%. The reasons for the reduced effectiveness, compared to the preliminary trials, were technical problems caused by high scatter in the dose distribution and electron range. The average of infection was hence very high at 43.5%. The plant-related problems were still unresolved in the next trial year. Effective fungicidal action against *T. caries* was achieved from 1988 onwards after optimisation of the electron treatment plant. Up to 1990, use of the 55 kV / 6 kGy parameter combination for electron treatment against *T. caries* had virtually the same effect as chemical dressing.



Fig. 26 Sites of trials testing the effectiveness of seed treatment against *Tilletia caries* in winter wheat in the 1986 – 1991 investigation period

Table 9 Effectiveness of electron treatment against *Tilletia caries* in winter wheat, variety ‘Alcedo’. Small plot trials in the 1986 – 1990 period

Trial year	1986/1987	1987/1988	1988/1989	1989/1990
Number of trials	6	6	6	6
Infection of the control [%]	43.5	30.5	1.7	28.0
Range	31.2-69.1	15.2-48.6	1.2-3.0	4.4-63.3
	Degree of effectiveness [%]			
Chemical dressing	99.9	100	99.9	99.9
50 kV / 6 kGy	88.8			
55 kV / 6 kGy	95.2	93.9	99.6	99.0
60 kV / 6 kGy	93.5			

The results achieved with the “ELBA” plant were confirmed with the “WESENITZ 1” pilot plant in line with the parameter optimisation (1995/1996) in laboratory, model and small plot trials. In the year 1996/1997 in only 1 of 4 started small plot trials *T. caries* could be detected (at the Saxony office for agriculture, Dresden). At an infection of 17.0% in the control degrees of effectiveness of 98.1% and 99.2% were achieved by the electron treatments variants 60 kV / 8 kGy and 60 kV / 10 kGy. In a small

plot trial in Ruppendorf (Saxony) in 1997/1998, a degree of effectiveness of 100% against *T. caries* could be achieved by electron treatment using the treatment parameters 60 kV and 8 kGy or 60 kV and 10 kGy (Table 10).

Table 10 Effectiveness of electron treatment against *Tilletia caries* in winter wheat, variety ‘Aron’. Small plot trial in 1997/1998

	Field emergence / relative to control	Ears / relative to control	Infection [%]	Degree of effectiveness [%]
Control	(361 plants/m ²)	(719 ears/m ²)	13.0	
Chemical dressing ¹⁾	100.1	96.8	0	100
60 kV / 6 kGy	105.7	96.8	0.2	98.7
60 kV / 8 kGy	102.5	93.2	0	100
60 kV / 10 kGy	99.7	99.6	0	100

¹⁾Arena C

Additionally, in the year 1997/1998 electron treatment (60 kV / 8 kGy) was investigated in a plot trial carried out by the Thuringian regional office for agriculture. For an infection of 34% in the control, chemical dressing (Arena C) and electron treatment gave a degree of effectiveness of 99%. The effect of the treatments on the yield was striking (control 88.6 dt/ha, electron treatment 95.3 dt/ha, chemical dressing 97.5 dt/ha). (Detailed results were not available and can therefore not be presented here.)

Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)

At the end of the 1990s detailed investigation of the fungicidal action of electron treatment against *T. caries* was resumed. As the electron treatment technology had been fundamentally modified, this necessitated re-optimisation of the treatment parameters.

In the 2000 – 2004 period, 25 plot trials were carried out at 16 sites (Figure 27). The trial participants are listed in the Appendix. Most of trials were undertaken as part of the comparative tests of the federal states which were started in autumn 2000. The winter wheat varieties employed for the trials were ‘Aron’ and ‘Batis’ (2000), ‘Altos’, ‘Cardos’ and ‘Ludwig’ (2001), ‘Ludwig’ and ‘Ritmo’ (2002) and ‘Aron’ (2003). Arena C was used for the chemical dressing.

In preliminary studies in the form of spore germination tests in the laboratory, the 105 kV / 12 kGy and 110 kV / 10 kGy parameter combinations were shown to be highly suitable. As the spore germination was completely suppressed, very effective fungicidal action was also expected in the field trials.

In the first year, the trials were carried out with both parameter combinations. From 2001, only the 105 kV / 12 kGy combination was used because this had been selected as being optimal.

Distinct differences in the field emergence were detected in only one of the years. The number of emerged plants was increased by the treatments in autumn 2001. In contrast, the number of ear-bearing haulms for the treated variants, compared to the untreated control, was increased in three of the four years (Table 11). The negative influence of the treatments in the year 2002/2003 resulted from the values of one site. At this site, the number of ear-bearing haulms in the control was much higher (532) than in the treated variants (312 for chemical dressing and 316 for electron treatment).

Depending on the climate and vegetation, the disease development differed in different years and at different sites, even though the level of infestation of the seed at the outset was the same. For example, in the 2000/2001 year the infection was determined to be 1.9 % – 71.4 %. The effectiveness of the electron treatment was in the range between 66.9 % – 100 % and unexpectedly low. The reasons for the reduced effectiveness were in the first instance not apparent. A similar situation was found in 2001/2002.

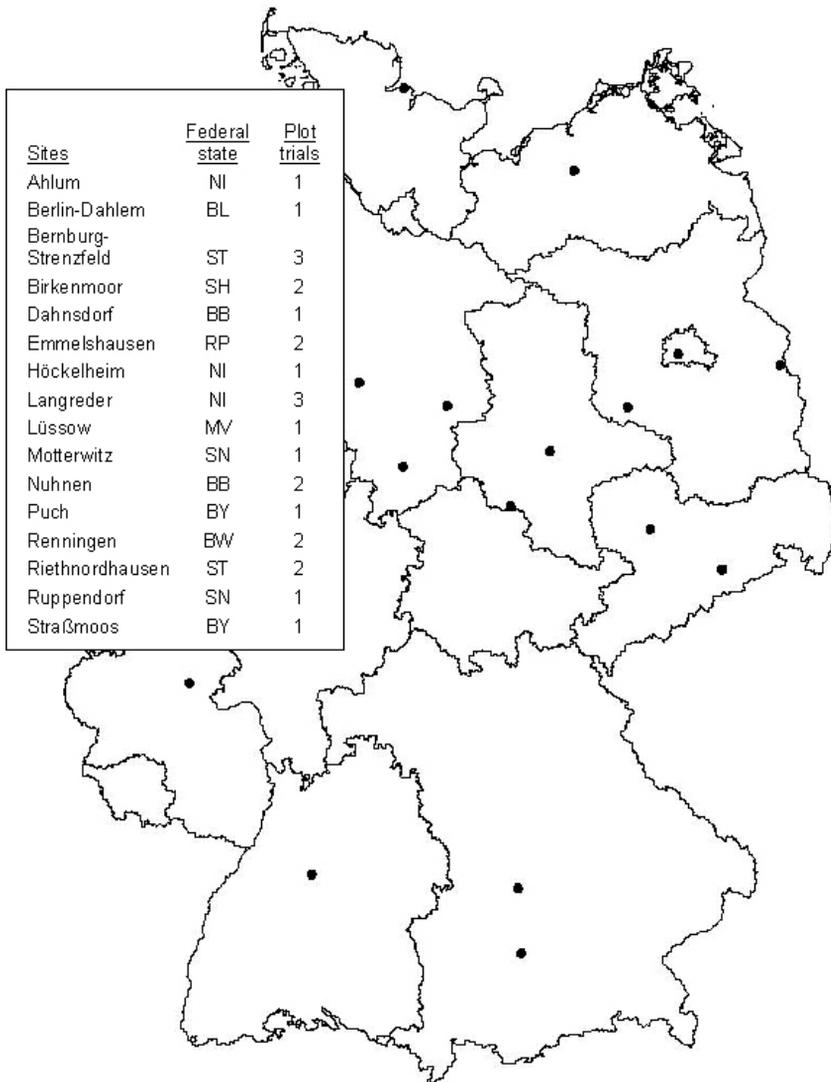


Fig. 27 Sites of the trials for testing the effectiveness of electron treatment against *Tilletia caries* in winter wheat in the 1999 – 2004 investigation period

It is assumed that the reduced effectiveness is not due to the treatment but very probably due to a fault with the equipment used for the plot trials. All the trials were carried out in random blocks with four replicates and all the seed – untreated (infested with spores), electron treated and chemically dressed – passed through the seed drill in the sequence laid down in the trial plans. This means that contamination with active *T. caries* spores could have occurred in the equipment.

Using a changed procedure in which the electron treated seed was drilled before the untreated seed it was possible to eliminate this source of error. From the year 2002 onwards, the investigations on *T. caries* were exclusively carried out in the comparative tests of the federal states. In 2002/2003, two of the six sites showed the electron treatment to be 100% effective against *T. caries*. Only at one site was the effectiveness considerably below 95% (83.8%). The afore-described contamination cannot be ruled out here.

Table 11 Effectiveness of electron treatment against *Tilletia caries* in winter wheat. Plot trials in the 2000 – 2004 period

	Field emergence / relative to control	Ears / relative to control	Infection [%]	Range	Degree of effectiveness [%]	Range
2000/2001 - 8 trials						
Control	(378 plants/m ²)	(444 ears/m ²)	17.0	1.9-71.4		
Chemical dressing	100.7	108.5	1.4	0-3.3	97.8	95.3-100
105 kV / 12 kGy	100.7	112.9	3.1	0.1-5.5	90.5	66.9-100
110 kV / 10 kGy	- ¹⁾	- ¹⁾	2.1	1.1-3.0	96.0	82.2-100
2001/2002 - 3 trials						
Control	(170 plants/m ²)	(477 ears/m ²)	26.6	15.9-37.3		
Chemical dressing	122.9	104.4	0.6	0.4-0.9	96.8	94.6-99.0
105 kV / 12 kGy	120.0	105.7	2.2	2.2	93.0	86.1-98.8
2002/2003 - 6 trials						
Control	(292 plants/m ²)	(423 ears/m ²)	19.4	11.2-36.0		
Chemical dressing	108.3	96.0	0	0-0.1	100	99.7-100
105 kV / 12 kGy	100.0	92.7	1.2	0-4.8	95.3	83.8-100
2003/2004 - 8 trials						
Control	(337 plants/m ²)	(459 ears/m ²)	16.7	5.4-48.0		
Chemical dressing	101.6	103.1	1.1	0-8.6	97.8	82.1-100
105 kV / 12 kGy	100.1	101.4	1.0	0-4.5	95.8	90.6-100

¹⁾ not determined at all sites

The results of the comparative test in 2003/2004 are shown in detail in Figure 28. The effectiveness of electron treatment at three of the eight sites was 100% and also high at four of the other sites. The result at the site in Lower Saxony was striking, considering the fact that the same seed was used at all the sites. Infection at this site was 48% and at such a level the effectiveness of neither treatment was sufficient.

In 2002/2003 the yield was determined at three of the six sites (in Schleswig-Holstein, Lower Saxony, and Baden-Württemberg) and in 2003/2004 at four of the eight sites (two in Bavaria, one each in Baden-Württemberg and Rhineland-Palatinate). Compared to the control, results in four of the seven trials showed significant yield increases due to electron treatment and chemical dressing (Figure 29). The highest differences between the control and the treated variants were found at the site in Lower Saxony in 2002/2003. In this trial, the common bunt infection was highest in this year (control 36.0%, chemical dressing 0.1%, electron treatment 2.0%). Also in the other trials, the results showed increased yields. There were no differences between chemical dressing and electron treatment.

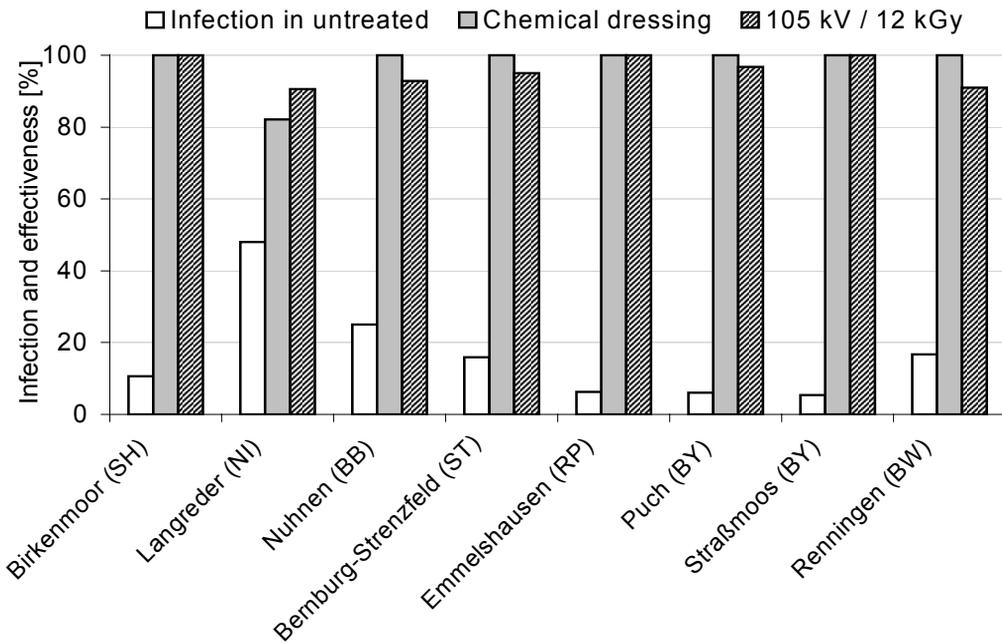


Fig. 28 Effectiveness of electron treatment against *Tilletia caries* on winter wheat, variety 'Aron'. Comparative test in 2003/2004

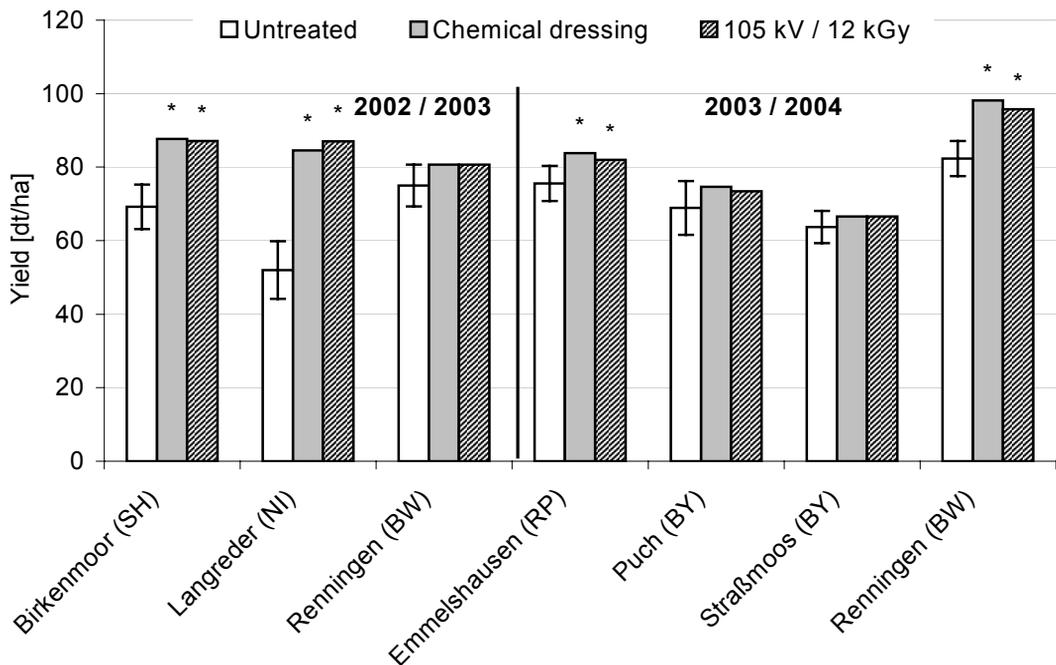


Fig. 29 Effect of electron treatment on the yield of *Tilletia caries* infested winter wheat. Comparative tests in the 2002 – 2004 period
* significant to the control, $p < 0.05$

Summary

After successful technical optimisation, the effectiveness of electron treatment against *T. caries* was between 95% and 100% and nearly hence comparable to that of chemical dressing. This is confirmed by the equivalent effect on the yield.

***Urocystis occulta* in winter rye**

Even though not nearly as important as common bunt in wheat, flag smut in rye (*Urocystis occulta*) was included in the studies as a further example of smut and bunt diseases that are localised on the surface or in the surface layers of seeds. Due to changed cultivation practice, and in particular the boom in organic agriculture, such diseases could take on greater significance.

In the year 1997/1998 electron treatment (60 kV / 8 kGy) was included in a plot trial carried out by the Thuringian regional office for agriculture on artificially infested winter rye (variety ‘Avanti’). At a smut infection of 14%, the effectiveness of electron treatment was 99.4%. (Detailed results were not available and can therefore not be presented here.)

In 2000/2001 small plot trials at four sites were carried out using the e-ventus® “WESENITZ 2” pilot plant to study the effectiveness of electron treatment against *U. occulta*. The trial participants are listed in the Appendix. The trials took place in Lower Saxony (Ahlum), Brandenburg (Dahnsdorf), Saxony (Ruppendorf) and Berlin-Dahlem. Electron treatment was compared with the control and chemically dressed seed (Arena C).

The infection at the sites varied between 6.2% and 29.9% depending on the soil and climatic conditions. At all four sites, electron treatment with 105 kV / 12 kGy had a degree of effectiveness of not less than 94% (Table 12). The treatment with the 110 kV / 10 kGy parameter combination was shown to be considerably less effective at three of the four sites.

The number of emerged plants in electron treated variants was reduced at one site (Dahnsdorf), meaning that the average of the four sites is relatively low (Table 12).

Table 12 Effectiveness of electron treatment against *Urocystis occulta* in winter rye, variety ‘Avanti’. Small plot trials in 2000/2001

	Field emergence / relative to control	Ears / relative to control	Infection [%]	Range	Degree of effectiveness [%]	Range
Control	(199 plants/m ²)	(599 ears/m ²)	16.1	6.2-29.9		
Chemical dressing	102.9	91.8	0.0	0-0.1	99.7	98.9-100
105 kV / 12 kGy	94.1	91.9	0.7	0-1.6	96.4	94.0-100
110 kV / 10 kGy	96.2	93.7	2.6	0.1-4.0	85.5	79.4-98.3

On average over all the trials, electron treatment at atmospheric pressure using the optimum parameter combination of 105 kV / 12 kGy gave degrees of effectiveness of >95% and showed itself to be suitable for combating flag smut in rye.

***Drechslera graminea* in barley**

The pathogen that causes barley stripe, *Drechslera graminea*, is present in all parts of the world. Particularly in temperate climates, this disease is one of the most serious diseases affecting barley and can cause yield losses of up to 60%.

Investigation period 1986 - 1991

As far back as the 1986 – 1990 period, and although no electron treatment plant specifically designed for barley was available, 24 small plot trials at six sites (Kleinmachnow, Memleben, Bernburg, Gülzow, Gotha-Friedrichswerth, Salzmünde) on infested winter barley and 14 trials on infested summer barley were carried out. As the higher accelerating voltage that was required could not be realised using the “ELBA” plant, the treatments were carried out using an electron beam welding plant.

The effectiveness of the electron treatment was >90%. Treatments using a higher accelerating voltage were in the phytotoxic limit region. It was concluded from these results and those on summer barley that electron treatment is effective against *D. graminea*.

In other trials on barley, distinct additional effects against net blotch (*Drechslera teres*) and leaf spot (*Drechslera sorokiniana*) were observed.

Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)

The effect of electron treatment on the pathogens, the field emergence and the crop development was determined at two sites, in Lower Saxony (Ahlum) and Saxony (Ruppendorf). The trial participants are listed in the Appendix. The infestation of the seed was 38.9%. Baytan Universal was used for the chemical dressing.

The number of emerged plants at both sites corresponded to between 50 and 65% of the quantity of seed sown. No significant differences were found at the sites. Neither was there a significant difference in the number of ears at any site compared to the control. The different rates of infection at the two sites (Ruppendorf 7.8%, Ahlum 15.2%) was reduced by the electron treatment (Table 13), although the effect was far removed from that achieved by chemical dressing. There were large differences in the effectiveness between the treatment variants and the sites. The individual values for the infection indicate that greater and lesser infection is reduced to about the same level. Due to the fact that the results from the first trial period showed a considerably greater effectiveness of electron treatment, it appears that further optimisation of the electron treatment parameters is necessary.

Table 13 Effectiveness of electron treatment against *Drechslera graminea* in barley, variety ‘Tapir’. Small plot trials in 2000/2001

	Field emergence / relative to control	Ears / relative to control	Infection [%]	Individual values for the infection		Degree of effectiveness [%]	Individual values for the effectiveness	
				1	2		1	2
Control	(180 plants/m ²)	(454 ears/m ²)	11.5	7.8	15.2			
Chemical dressing	98.3	109.7	0			100		
130 kV / 12 kGy	89.4	106.4	6.8	6.7	6.8	34.8	13.7	55.9
135 kV / 12 kGy	101.1	110.1	6.0	3.2	8.7	51.0	42.8	59.2
140 kV / 12 kGy	97.8	100.9	5.6	5.1	6.1	47.7	35.5	59.9

1: Ruppendorf, 2: Ahlum

Summary

The results obtained to date demonstrate that *D. graminea* can be combated with electron treatment, with the effectiveness being in the order of 60%.

Effectiveness against pathogens affecting field emergence

Septoria nodorum in winter wheat

Investigation periods 1986 – 1991 (“ELBA”) and 1995 – 2000 (“WESENITZ 1”)

The testing of the effectiveness of electron treatment against *Septoria nodorum* in the field was exclusively carried out in small plot trials up to 1991. In the 1986 – 1991 period, nine trials were carried out in Saxony (Berthelsdorf, Schöndorf), Saxony-Anhalt (Memleben), Brandenburg (Kleinmachnow, Zernikow) and Mecklenburg-Western Pomerania (Malchow). The trial participants are listed in the Appendix. In all trial years, the infestation of the seed artificially infested with *S. nodorum* was high at >50% (Figure 30). As *S. nodorum* affects the field emergence, the field emergence was initially the criterion that was used to determine the effectiveness. Furthermore, in the field trial itself, and also in accompanying greenhouse and climate chamber tests, the number of necrotic coleoptiles was determined. As the pathogen can form pycnidia on the coleoptiles in the later vegetation period, the reduction of the primary inoculum is an important factor for preventing an epidemic.

Figure 30 shows that there was an increase in the field emergence for each of the treated variants. In 1986 and 1987, for all treated variants, the increase in field emergence was significant relative to the control. Differences between chemical dressing (1986: Baytan Universal; 1987 onwards: Sibutol Flüssigbeize) and electron treatment were only slight in the 1990/91 results. For the electron treated variants, the treatment with lower acceleration voltage, namely when there was less penetration of the electrons, was more effective. On the other hand, the effectiveness against the infestation of the emerged plants tended to give better results with a higher acceleration voltage. The differences in the results in the different years are also reflected in these results. In 1986 and 1987, all treatments considerably reduced the number of necrotic coleoptiles (degree of effectiveness of the 60 kV / 6 kGy treatment: 70%→80%). In the last trial year, only the effectiveness of chemical dressing was high. Although the seed infestation in 1987/1988 was lower than in the other two years, the rate of necrotic coleoptiles was the highest.

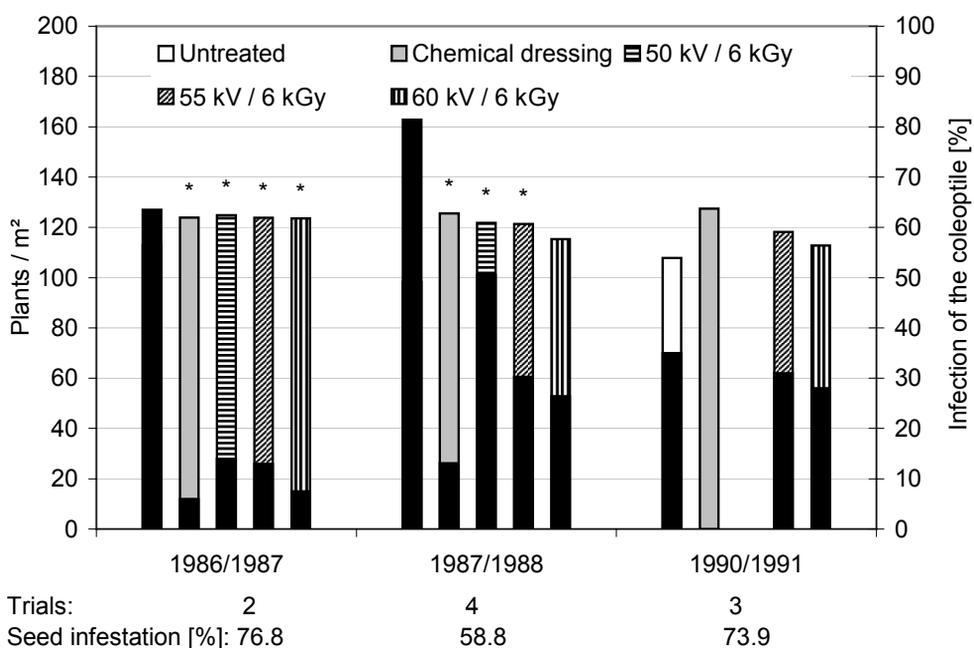


Fig. 30 Effect of electron treatment on the field emergence of *Septoria nodorum* infested winter wheat and on the infection of the coleoptile (black bars), variety ‘Alcedo’. Small plot trials in the 1986 – 1991 period * significant to the control, $p \leq 0.05$

The trials with the *S. nodorum* pathogen in the first investigation period confirmed that for infested seeds the highest possible plant-compatible treatment variant has to be selected in order to achieve the highest effectiveness.

Just like for *T. caries* infested seed, *S. nodorum* infested seed was also treated in the “WESENITZ 1” pilot plant in order to confirm the results using the “ELBA” experimental plant. In 1996/1997 4 small plot trials with artificially infested seed (variety ‘Borenos’, seed infestation 44%) were carried out. The results were incompletely available. In the average of 2 sites (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Dresden, Landespflanzenschutzamt Mecklenburg-Vorpommern) the field emergence was increased by electron treatment with 60 kV / 8 kGy to 123.2 %, 60 kV / 10 kGy to 114.4 % and by the chemical dressing with Arena C to 118.4 % (Table 14).

In a small plot trial in Ruppendorf (Saxony) in 1997/1998, neither chemical dressing (Arena C) nor electron treatment resulted in significant effects on the field emergence (at an emergence rate of 82 %) or on the number of ears (Table 14). The infestation of the naturally infested ‘Tambor’ seed variety was high at 16.5%. In a parallel model test, the degree of effectiveness of electron treatment was >50 % - >70 % against the infection of the seedlings. Thus, the effectiveness of electron treatment found in the first investigation period was confirmed.

Table 14 Effect of electron treatment on *Septoria nodorum* infested winter wheat, varieties ‘Borenos’ (1996) and ‘Tambor’ (1997). Small plot trials in the 1996 – 1998 period

Trial year	1996/1997		1997/1998	
Number of trials	2		1	
Seed infestation [%]	44		16.5	
	Field emergence / relative to control	Field emergence / relative to control	Ears / relative to control	
Kontrolle	(125 plants/m ²)	(132 plants/m ²)	(359 ears/m ²)	
chemische Beizung	118.4	101.5	103.3	
60 kV / 6 kGy	-	102.9	105.9	
60 kV / 8 kGy	123.2	99.0	96.3	
60 kV / 10 kGy	114.4	98.4	99.6	

¹⁾ Arena C

In the both of the first investigation periods, two plot trials could be carried out. In these trials also the yield was determined. In the trial year 1990/1991, 1 plot trial with the seeds of the variety ‘Alcedo’ (seed infestation 73.9%) was carried out in Güterfelde (Brandenburg), in 1996/1997, 1 plot trial with the seeds of the variety ‘Borenos’ (seed infestation 44%) was carried out at the Federal office for plant protection Saxony-Anhalt (Table 15). The results of the two plot trials confirm the effectiveness of electron treatment against *S. nodorum*. According the situation during the vegetation period and provided that the further measures are equal in all variants, the yield can reflect these results. In 1990/1991 as well as in 1996/1997 the field emergence was significantly increased by all treatments. The yield was also increased, which was significant in 1996/1997.

Table 15 Effect of electron treatment on *Septoria nodorum* infested winter wheat, varieties ‘Alcedo’ (1990) and ‘Borenos’ (1996). Plot trials 1990/1991 and 1996/1997

	1990/1991 („ELBA“)		1996/1997 (“WESENITZ 1“)	
	Field emergence [plants/m²]	Yield [dt/ha]	Field emergence [plants/m²]	Yield [dt/ha]
Control	230,5	78,4	Control	354,8 81,2
Chemical dressing	286,5*	93,9	Chemical dressing	416,9* 84,1*
			60 kV / 8 kGy	405,1* 84,1*
50 kV / 10 kGy	286,0*	91,1	60 kV / 10 kGy	412,2* 83,3*
			65 kV / 6 kGy	431,5* 83,6*

* significant to the control, $p \leq 0.05$

Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)

The trials on the effectiveness of electron treatment against *S. nodorum* were furthered after the e-ventus pilot plant “WESENITZ 2” was operational. In 1999/2000 two plot trials with *S. nodorum* infested seed were undertaken in Saxony-Anhalt (Magdeburg and Hadmersleben). In all treated variants the field emergence was significantly increased (Table 16). However, these differences were no longer evident in the yields. For comparison, one treatment using the “WESENITZ 1” plant (60 kV / 8 kGy) was also carried out. This gave a similar but slightly reduced effect (field emergence 109.7%, yield 99.4%).

In 2000/2001, two small plot trials were carried out in Saxony (Ruppendorf) and Lower Saxony (Ahlum) for further optimisation of the treatment parameters. The parameter combination 105 kV / 12 kGy was also included. In addition, as part of the comparative tests of the federal states, two plot trials were carried out in Saxony-Anhalt (Bernburg-Strenzfeld) and Lower Saxony (Langreder) using the optimal parameter combination (105 kV / 12 kGy). Compared to 1999/2000, seed infestation was lower and there were optimal weather conditions at both sites. This time the field emergence was prompt and uniform. The seed treatments hence caused less stress and there was negligible delay in the emergence of the treated variants.

The yields of the treated *S. nodorum* infested wheat were not significantly different from the control in any year.

In a climate chamber test that was carried out in parallel with the field trials a degree of effectiveness of electron treatment (105 kV / 12 kGy) of 74% was achieved for an infection of the coleoptile of 36.5%.

Table 16 Effect of electron treatment on *Septoria nodorum* in winter wheat, varieties ‘Tarso’ (1999), ‘Ritmo’ (2000). Plot trials and small plot trials in the 1999 – 2001 period

Trial year	1999/2000		2000/2001		2000/2001	
Number and type of trials	2 Plot trial		2 Small plot trial		2 Plot trial	
Seed infestation [%]	29.3		7.2			
	Field emergence/ relative to control	Yield/ relative to control	Field emergence/ relative to control	Ears/ relative to control	Field emergence/ relative to control	Yield/ relative to control
Control	(237 plants/m ²)	(93.9 dt/ha)	(137 plants/m ²)	(361 ears/m ²)	(279 plants/m ²)	(106.0 dt/ha)
Chemical dressing ¹⁾	111.4*	102.2	94.7	100.9	98.6	101.3
100 kV / 10 kGy	112.2*	101.1				
105 kV / 12 kGy			93.1	99.7	95.0	99.4
110 kV / 10 kGy	112.2*	100.0	101.5	93.1		

¹⁾ Arena C

* significant to the control, $p \leq 0.05$

Summary

The electron treatment benefits the field emergence of *S. nodorum* infested wheat seed and reduces the primary inoculum for the leaf and ear infection with an effectiveness of 50%-80%.

Fusarium spp. and *Microdochium nivale* in winter wheat and winter rye

Investigation periods 1986 – 1991 (“ELBA”) and 1995 – 2000 (“WESENITZ 1”)

Small plot trials to investigate the fungicidal effect of electron treatment against *Fusarium culmorum* on winter wheat were carried out from 1988 onwards. Initially trials only took place in Kleinmachnow, then in 1989 trials were undertaken at five sites and in 1990 at four sites. The trial sites are shown in Figure 31, the trial participants are listed in the Appendix. Artificially infested seed of the variety ‘Alcedo’ was used. The artificial inoculation was made by spraying a spore suspension in the field during flowering.

The electron treatment parameter combinations selected for combating *S. nodorum* (50 kV / 6 kGy, 55 kV / 6 kGy and 60 kV / 6 kGy) were selected in 1988. In 1989 the treatment with an accelerating voltage of 50 kV was omitted. Treatment with the 55 kV / 10 kGy parameter combination was included in order to determine whether increasing the dose increases the effectiveness.

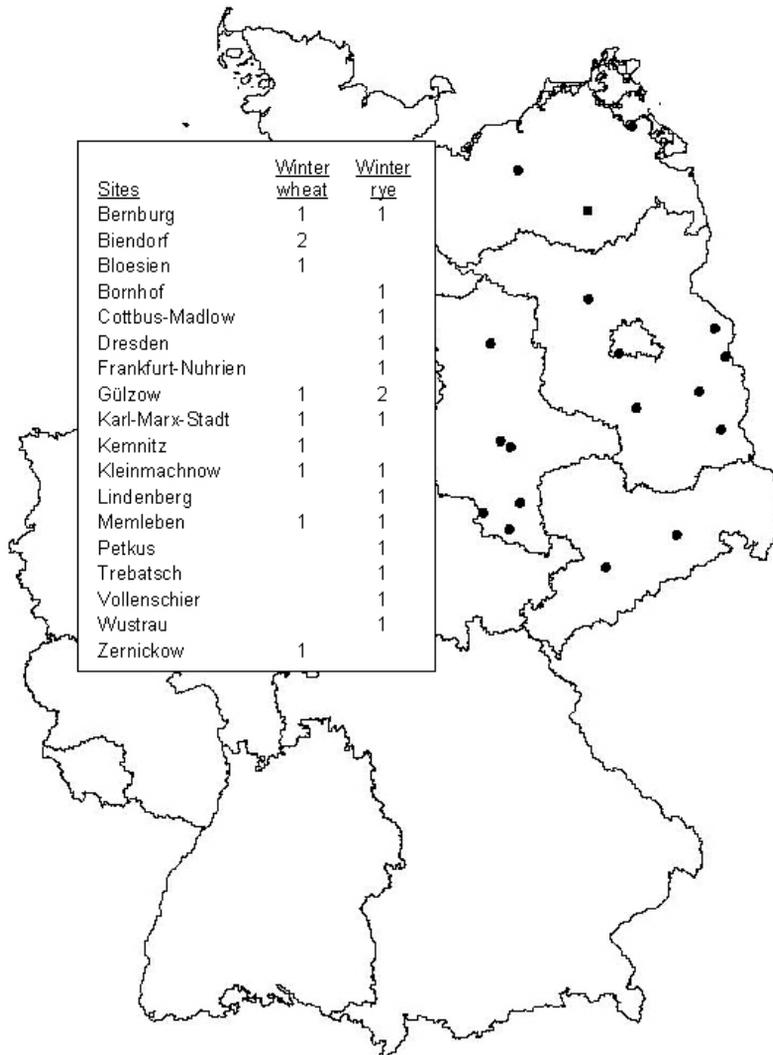


Fig. 31 Sites of the trials for testing the effectiveness of electron treatment against *Fusarium culmorum* in winter wheat and winter rye in the 1986 – 1991 investigation period

Figure 32 shows the field emergence, the parameter most clearly reflecting the effectiveness of the treatment against these pathogens. The 1988 results showed that the field emergence increased after electron treatment from 12% to 25%, compared to the control. Increasing the accelerating voltage increased the effectiveness. In the year 1989/1990 the same electron treatment resulted in a slight reduction in the field emergence, whereas chemical dressing led to a significant increase in the number of emerged plants. Additionally, plants were investigated in the BBCH-stages 23-29 at 3 of the 5 sites. The

Fusarium infection could be reduced from 29% in the control to 11% by chemical dressing and to 24%, 20% and 21% by electron treatment variants. Just as for *S. nodorum* infested seed, laboratory and model tests were also carried out on *F. culmorum* infested seed. A reduction of infection of the seedlings from 22% in the control to 0% (chemical dressing) and 12%, 7% and 10.5% (electron treatment variants) was achieved. The 1990 results again showed an effect of electron treatment on the field emergence but this time the effect was only slightly positive.

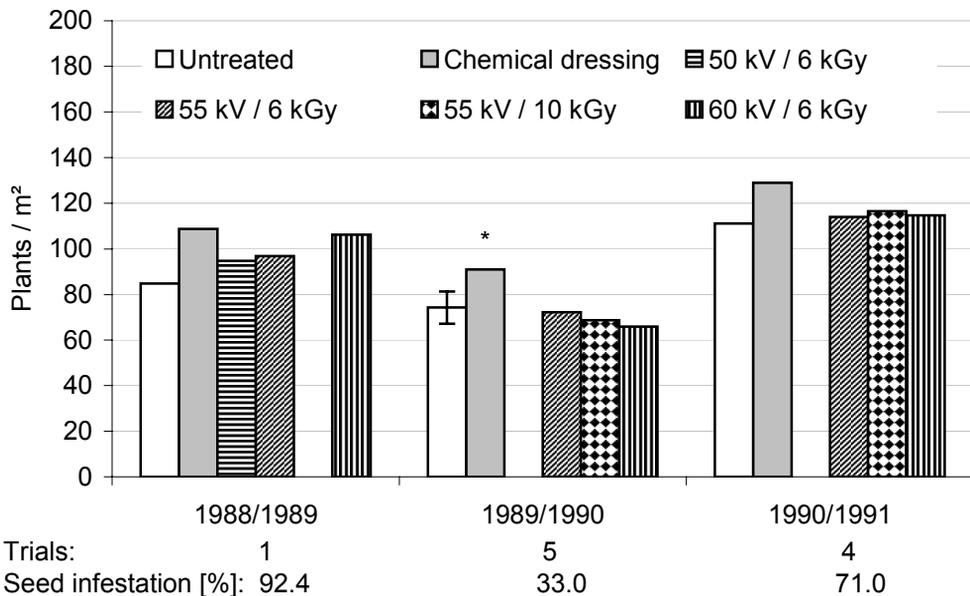


Fig. 32 Effect of electron treatment on the field emergence of *Fusarium culmorum* infested winter wheat, variety 'Alcedo'. Small plot trials in the 1988 – 1991 period
* significant to the control, $p \leq 0.05$

Overall, contradictory results were obtained in this investigation period (as determined from field emergence measurements) with regard to the effectiveness of electron treatment at *Fusarium culmorum* -infested seed. In 1989, investigations began to prove in more detail further factors of influence such as the disease severity. These investigations were not finalised. It was detected however, that the increasing effect according the field emergence was higher at highly infested seed.

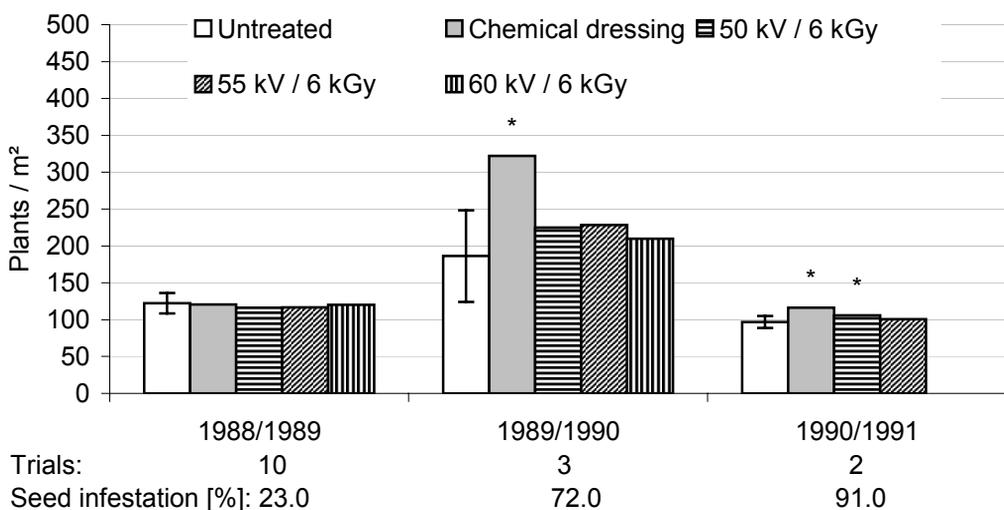


Fig. 33 Effect of electron treatment on the field emergence of *Fusarium culmorum* infested winter rye, variety 'Muro'. Small plot trials in 1988/1989 and 1990/1991, plot trials in 1989/1990
* significant to the control, $p \leq 0.05$

The first field trials on the effectiveness of electron treatment against *F. culmorum* in winter rye were undertaken in 1988/1989 in small plot trials at ten sites. In 1989/1990 three plot trials and in 1990/1991 two small plot trials were carried out. The trial sites are shown in Figure 31 and the trial participants are listed in the Appendix.

In 1988/1989 no treatment had an effect on the field emergence. Slight positive and negative variations at the individual sites were compensated by the mean of all sites. In the plot trials in 1989/1990 a slight increase in the field emergence as a result of electron treatment was observed. Chemical dressing (Sibutol Flüssigbeize) caused a significant increase in the field emergence (Figure 33). This result was confirmed in 1990/1991 but the increase in field emergence was considerably lower than in the plot trials carried out the previous year. Also for rye, the influence of the level of the seed infestation on the effectiveness of the treatments was visible.

The yields in the plot trials of 1989/1990 were determined at two of the three sites. In all treated variants they were between 55 dt/ha and 60 dt/ha and did not differ significantly from each other.

Trials on the phytosanitary effect of electron treatment against *Fusarium* spp. in winter wheat using the “WESENITZ 1” pilot plant were carried out in the years 1996/1997 and 1997/1998 at two sites in Saxony-Anhalt (Bernburg and Seehausen). The trial participants are listed in the Appendix. In contrast to the first trial period, the trials were carried out as plot trials with seed naturally infested by *Fusarium* spp. (varieties: 1996 ‘Bussard’, 1997 ‘Tambor’). The emergence and yield of untreated, chemically dressed (1996 Abavit UF, 1997 Arena C) and electron treated (60 kV / 8 kGy) winter wheat were determined. In 1997/1998 a small plot trial was also performed in Saxony (Ruppendorf) that included several treatment variants.

The field emergence of the infested wheat (Table 17) was significantly increased by electron treatment, whereas chemical dressing significantly reduced the field emergence. The large difference in the number of plants in the plot trials in the two years resulted from the higher sowing level (500 seeds/m²) in autumn 1996, attributable to the poorer germination properties of the seed. In autumn 1997 the number of plants was considerably reduced. In the small plot trial the emergence in the control was reduced by nearly half. All treatments resulted in a significantly increased number of emerged plants in the small plots. In the plot trials, emergence was slightly, but not significantly, increased as a result of the treatments. No differences in final yield were observed.

Table 17 Effect of electron treatment on the field emergence and yield of *Fusarium* spp. infested winter wheat, varieties ‘Bussard’ (1996) and ‘Tambor’ (1997). Plot trials in the 1996 – 1998 period, small plot trial in 1997/1998

Trial year	1996/1997		1997/1998		1997/1998	
Number and type of trials	2 Plot trial		1 Small plot trial		2 Plot trial	
Seed infestation [%]	>25		37,0			
	Field emergence / relative to control	Yield / relative to control	Field emergence / relative to control	Ears / relative to control	Field emergence / relative to control	Yield / relative to control
Control	(351 plants/m ²)	(72.5 dt/ha)	(84 plants/m ²)	(290 ears/m ²)	(220 plants/m ²)	(96.1 dt/ha)
Chemical dressing	81.9*	97.7	151.7*	105.3	105.4	102.2
60 kV / 6 kGy			126.6*	95.7		
60 kV / 8 kGy	113.4*	100.9	116.7*	97.4	102.3	99.7
60 kV / 10 kGy			124.7*	113.3		

* significant to the control, $p \leq 0.05$

The effectiveness of electron treatment against *Fusarium* spp. on rye was also investigated in a small plot trial in 1997/1998 in Saxony (Ruppendorf) using infested seed of the variety ‘Esprit’. The trends shown by results were in agreement with the results of the winter wheat trial. For that reason, the detailed results are not shown here. All in all, the increase in field emergence was lower. The field emergence was increased by chemical dressing to 118.1% and by electron treatment to 110.1%, 107.3% and 116.6% respectively for the variants shown in Table 17.

Investigation period 1999 – 2004 (“WESENITZ 2”)

In the year 1999/2000 two plot trials with artificially *Fusarium culmorum* infested winter wheat seed were carried out in Saxony-Anhalt (Bernburg and Seehausen). In 2000/2001 two plot trials were carried out at these sites and one each in Saxony (Motterwitz), and Mecklenburg-Western Pomerania (Lüssow). In 2001/2002 the trials at Nossen in Saxony were repeated. The trial participants are listed in the Appendix. The electron treatment was initially carried out using the 100 kV / 10 kGy and 110 kV / 10 kGy parameter combinations and then using 105 kV / 12 kGy.

The number of plants in autumn 1999 was significantly increased by all the treatments (Figure 34). At both sites the emergence of the *F. culmorum* infested seed was considerably delayed. Just as for *S. nodorum*, one treatment variant (60 kV / 8 kGy) was also carried out on the “WESENITZ 1” plant for comparative purposes. This treatment gave similar results (231 plants/m², 84.4 dt/ha).

In 2000/2001, two trials were each carried out on seeds with different rates of infestation (Figure 34). The field emergence of the highly infested seed was improved by all the treatments, with the chemical dressing results being significant. In contrast, the treatments had no effect on the seed with a low rate of infestation.

In 2001/2002 the seed used for the trials had a high degree of infestation and the field emergence of the treated seed was again significantly higher than that of the control (Figure 34).

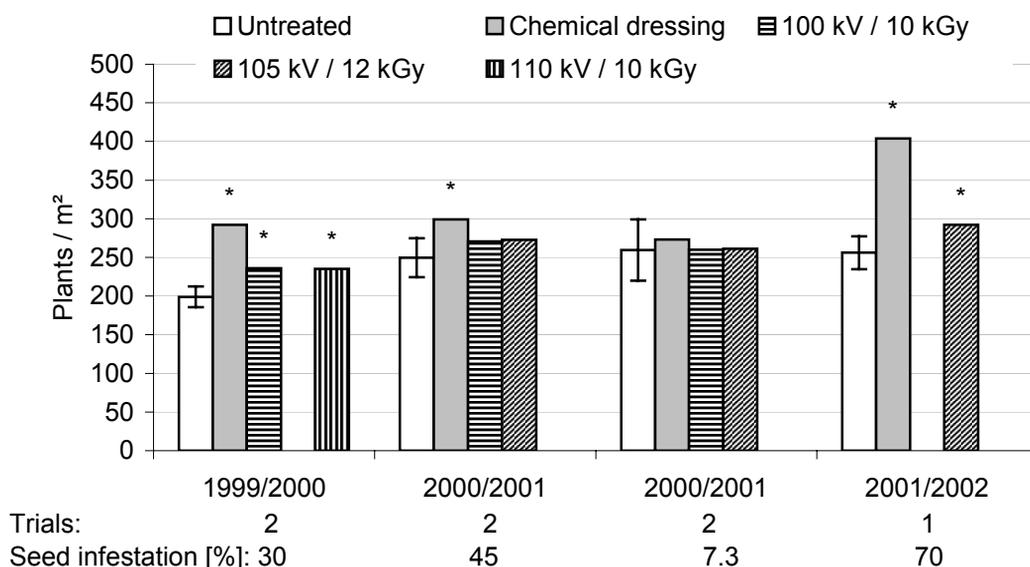


Fig. 34 Effect of electron treatment on the field emergence of *Fusarium culmorum* infested winter wheat, varieties ‘Tarso’ (1999), ‘Ritmo’ (2000), ‘Alidos’ (2000 and 2001).

Plot trials in the 1999 – 2002 period

* significant to the control, $p \leq 0.05$

There were no significant differences in the yields at any site in this trial period (Figure 35). It is assumed that the effect of electron treatment on the infected seed is reflected in a higher number of plants. Within the vegetation period, these effects are compensated by the individual plants up to the yield formation.

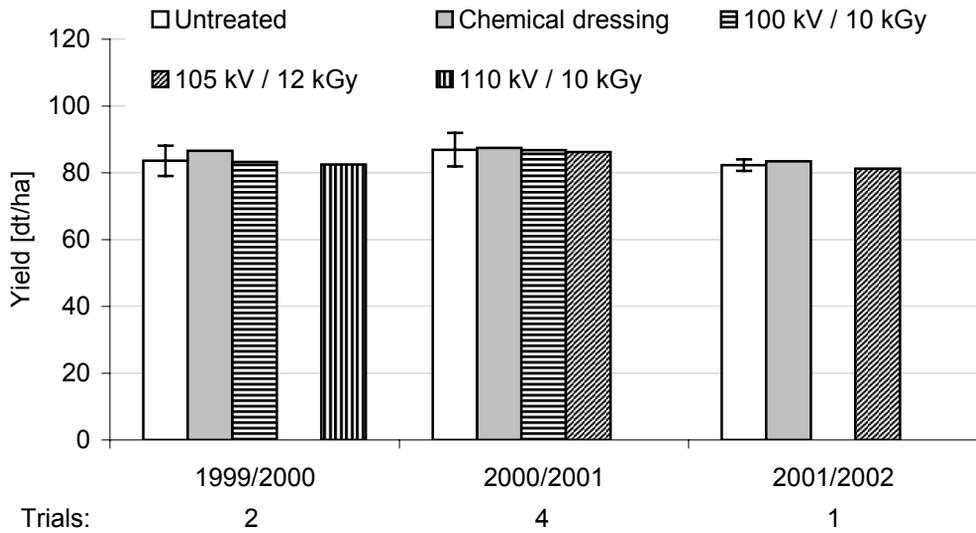


Fig. 35 Effect of electron treatment on the yield of *Fusarium* spp. infested winter wheat, varieties 'Tarso' (1999), 'Ritmo' (2000), 'Alidos' (2000 and 2001). Plot trials in the 1999 – 2002 period

Investigations with *Fusarium* spp. infested rye seed were carried out in plot trials at two sites in Saxony (Motterwitz) and Mecklenburg-Western Pomerania (Lüssow) in 2000/2001 and in 2001/2002. In 2001/2002, one more trial site was in Saxony-Anhalt, Riethnordhausen. The trial participants are listed in the Appendix.

In the trial year 2000/2001, the field emergence of the control was significantly lower than that of all the treated variants. In contrast, the field emergence of the treated variants in 2001/2002 did not differ from that of the control (Figure 36). In 2001/2002 no differences between the variants were found.

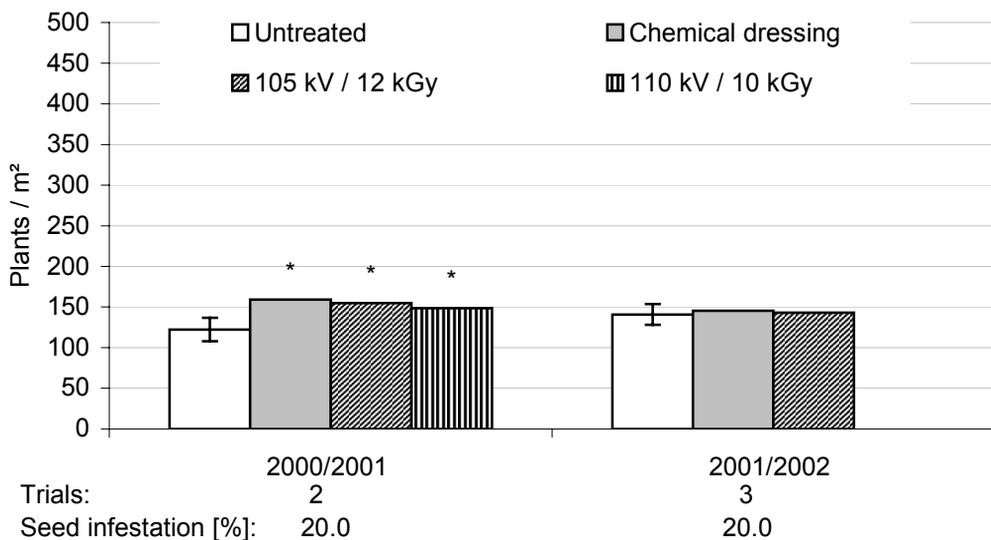


Fig. 36 Effect of electron treatment on the field emergence of *Fusarium* spp. infested winter rye, variety 'Avanti'. Plot trials in the 2000 – 2002 period
* significant to the control, $p \leq 0.05$

The yields of the treated variants in both years were similar to that of the control. In 2002 there was a tendency towards a higher yield after the treatments, compared to the control (results not shown).

The snow mould pathogen (*Microdochium nivale*) belongs to the fusarioses in the broader sense. As the optimum climatic conditions for the development of this pathogen differ from those for *Fusarium* spp., and in some cases considerably so, the effectiveness of electron treatment against *M. nivale* was also tested. In 1990 *M. nivale* infested winter wheat seed was included in the investigations for the first time. These investigations were restricted to laboratory and climate chamber tests. Using an ‘Apollo’/‘Ares’ variety mixture (seed infestation 55%) in a climate chamber trial of the Plant Protection Office in Hanover (Lower Saxony), the effectiveness of electron treatment (60 kV / 6 kGy) was found to be 61.4% (chemical dressing with Sibutol Flüssigbeize 74.7%) and the emergence increased to 109% (chemical dressing 172%).

In 2000/2001 small plot trials were carried out using *M. nivale* infested winter wheat seed and winter rye seed at two sites (Ahlum/Lower Saxony and Ruppendorf/Saxony). In addition, plot trials were carried out using *M. nivale* infested wheat seed at two sites in Lower Saxony (Langreder) and Saxony-Anhalt (Bernburg-Strenzfeld). The trial participants are listed in the Appendix. The electron treatment was carried out using the 105 kV / 12 kGy parameter combination. As part of parameter optimisation work, the small plot trials also included treatments with the 100 kV and 110 kV combination. The chemical dressing was undertaken using Arena C. The infestation of the wheat seed (11.5%) was considerably lower than that of the rye seed (24%).

The field emergence of the treated winter wheat at both sites was the same as that of the control (Table 18). No significant differences were found. Neither were there any significant yield differences. In the small plot trials there was a tendency for the number of ears to increase as a result of treatment. For winter rye, there was a clear increase in the field emergence and this was significant for the chemical dressed variant and the electron treatment using the 105 kV / 12 kGy parameter combination. The number of ears also increased. Distinct symptoms caused by *M. nivale* were not observed at any site.

Table 18 Effect of electron treatment on the field emergence and yield of *Microdochium nivale* infested winter wheat, variety ‘Tambor’, and winter rye, variety ‘Amilo’.
Plot trials and small plot trials in 2000/2001

Crop	Winter wheat				Winter rye	
	2		2		2	
Number and type of trials	Plot trial		Small plot trial			
Seed infestation [%]	11.5				24	
	Field emergence / relative to control	Yield / relative to control	Field emergence / relative to control	Ears / relative to control	Field emergence / relative to control	Ears / relative to control
Control	(325 plants/m ²)	(101,9 dt/ha)	(168 plants/m ²)	(422 ears/m ²)	(142 plants/m ²)	(450 ears/m ²)
Chemical dressing	98.5	100.7	107.0	105.2	113.8*	107.1
100 kV / 10 kGy			101.6	102.7	105.6	105.8
105 kV / 12 kGy	97.5	97.1	96.9	108.8	112.0*	111.0
110 kV / 10 kGy			90.1	102.6	101.1	103.0

* significant to control, $p \leq 0.05$

Summary

For *Fusarium* spp. or *Microdochium nivale* infested seed the field emergence can be increased by electron treatment. The percentage of diseased plants can be reduced by up to 50%.

Studies on year-on-year electron treatment

The frequently asked question as to whether year-on-year electron treatment has negative consequences for plant development and plant health was investigated in a 4-year trial. In the years 1998 – 2002, annual plot trials were carried out at one site in Saxony (Seehausen), each time using winter wheat seed (variety ‘Aron’) that had been electron-treated in the preceding year. The product of these electron treated seeds was harvested subjected to electron treatment again and then sown. In addition, some of the same seed was sowed in an untreated and chemically dressed state. The electron treatment was carried out in a vacuum using the “WESENITZ 1” plant and the 60 kV / 8 kGy parameter combination.

The field emergence of the treated seed did not differ significantly from the control, except in 1999/2000. In this year, unfavourable field emergence conditions caused by a long dry period before and after sowing caused a delayed, very non-uniform field emergence for the individual variants. This was compensated during tillering.

On average over the four years, the field emergence values for the chemical dressing and electron treatment were in the same experimental error range. The same applied for the yields. In none of the four years of the trial were there significant differences between the three variants. A reduction in the yield after four year-on-year electron treatments was not observed (Table 19).

Table 19 Effect of electron treatment of winter wheat seed (variety ‘Aron’) in a 4-year study on year-on-year electron treatment

		Field emergence		Yield	
		Plants/m ²	Relative to the control [%]	[dt/ha]	Relative to the control [%]
1998/1999	Control	302	100	76.8	100
	Chemical dressing	312	103.3	82.5	107.4
	Electron treatment	322	106.3	84.6	110.2
1999/2000	Control	276	100	85.2	100
	Chemical dressing	293*	106.2*	85.4	100.2
	Electron treatment	256*	93.1*	86.0	100.9
2000/2001	Control	346	100	110.5	100
	Chemical dressing	336	97.1	111.1	100.5
	Electron treatment	318	91.9	109.7	99.3
2001/2002	Control	351	100	80.4	100
	Chemical dressing	327	93.2	80.0	99.5
	Electron treatment	335	95.4	81.0	100.7

The harvested seed was each year subjected to a health test in order check whether there was any increase in pathogen populations. Table 20 clearly shows that in no year of the trial were there differences between the variants with regard to the occurrence of seed-borne *Fusarium* pathogens. The relatively high infestation in the last year of the trial reflects the general infestation scenario in that particular year.

After four year-on-year electron treatments there were shown to be no negative effects of the electron treatment on field emergence and yield. No increase in seed-borne pathogens as a result of the four year-on-year electron treatments was observed.

Table 20 Infestation of winter wheat seed with *Fusarium* spp. during the year-on-year electron treatment study (variety ‘Aron’), *in vitro* test

Harvest year	Variant	Infestation with <i>Fusarium</i> spp. [%]	Germination ability [%]
1999	Control	2.5	97.5
	Chemical dressing	0.5	96.5
	Electron treatment	2.0	98.0
2000	Control	2.0	94.5
	Chemical dressing	1.5	96.0
	Electron treatment	1.5	95.0
2001	Control	3.5	96.0
	Chemical dressing	3.0	95.5
	Electron treatment	2.5	96.0
2002	Control	13.5	90.5
	Chemical dressing	17.0	91.0
	Electron treatment	14.5	92.0

Summary

The results of the 4-year study on year-on-year electron treatment showed that there are no adverse effects on the plant compatibility or health of the seed of winter wheat and therefore, there are no objections for the use of electron treated seeds in subsequent years.

Overall appraisal of the electron treatment technique

The development and application of alternative, non-chemical methods for plant protection in all areas of agriculture is vitally important for the future. Chemical dressing methods for seed products, in particular cereal crops, are well-established and are often practised as standard. The introduction of alternative methods in this sector will only be successful if those methods have near-identical biological effects and bring significant advantages regarding the protection of users, consumers and the environment.

Electron treatment is a modern, alternative technique that can combat pathogens in seeds effectively and at favourable cost.

Starting with the first trials in the early 1980s, work was undertaken in three development phases during the 1986 – 2004 period in order to determine the viable ranges of operating parameters for giving maximum effectiveness against pathogens in cereal crop seeds and good plant compatibility. The present overview brings together, summarises and evaluates all the results of field trials on the plant compatibility and effectiveness of electron treatment that have been carried out since the mid 1980s. The objective was to appraise the current status of electron treatment technology in order to assess its commercial viability.

Table 21 gives an overview of the field trials that were carried out in the various development phases.

Table 21 Overview of the number and type of field trials that were carried out in the 1986 – 2004 period on the plant compatibility, phytosanitary effect, and practical status of electron treatment¹⁾

Investigation period	1986-1991	1995-2000	1999-2004
Winter wheat			
Plot and small plot trials			
Plant compatibility	24	22	64
Effectiveness against <i>Tilletia caries</i>	24	3	25
Effectiveness against <i>Septoria nodorum</i>	10	4	6
Effectiveness against <i>Fusarium</i> spp.	10	5	7
Effectiveness against <i>Microdochium nivale</i>	-	-	4
Cultivation trials			
	77	46	14
Winter rye			
Plot and small plot trials			
Plant compatibility	24	-	13
Effectiveness against <i>Urocystis occulta</i>	-	1	4
Effectiveness against <i>Fusarium</i> spp.	15	1	5
Effectiveness against <i>Microdochium nivale</i>	-	-	2
Cultivation trials			
	3	5	-
Winter barley			
Plot and small plot trials			
Plant compatibility	29*	-	10
Effectiveness against <i>Drechslera graminea</i>	24*	-	2

¹⁾ Not included: Small plot trials, which were carried out in each first phase of the parameter optimisation

* Not discussed here because the seeds were not treated using the “ELBA” plant

The trials were essentially carried out using three electron treatment plants. The „ELBA“ plant (1986 – 1991) was the first pilot plant purposefully built for seed treatment and had a seed throughput of 1 t/h. This plant demonstrated the suitability of the technique under practical conditions. The „WESENITZ 1“ pilot plant (1995 onwards) confirmed the effectiveness of the treatment procedure. This plant had a seed throughput of 10 t/h and is still available today in Stolpen-Helmsdorf near Dresden for pilot plant work. The key step in the development work was the switch to the atmospheric pressure e-ventus[®] pilot plant “WESENITZ 2” which has a seed throughput of 30 t/h.

Effectiveness against fungal pathogens (Table 22)

***Tilletia caries* in winter wheat**

Electron treatment is particularly effective for combating the pathogen responsible for common bunt because this resides solely on the surface of the caryopsis.

Although in each of the trial years the same seed was used, the degree of infestation at the different sites was often highly variable and was dependent on the various environmental factors (temperature, precipitation), particular so in the germination and emerging phases. For example, the degree of infestation in 1989 at six sites was in the range from 13.4% to 63.3%. However, way back in the early 1980s it was demonstrated that electron treatment is able to produce an infestation-free product – independent on the level of infestation at the start. Using modern technology and an optimised plant, for example the e-ventus[®] pilot plant, up to 100% effectiveness is achieved, independent of the degree of infestation. This effectiveness is almost identical to that of chemical dressing.

Pathogens affecting the field emergence of winter wheat and winter rye

As seed-borne *Fusarium* species and *S. nodorum* primarily affect the field emergence, they were summarised together under “pathogens affecting field emergence”.

The symptoms caused by *Fusarium* species in seedlings and young plants do not differ visually from those caused by *S. nodorum* (KIETREIBER, 1961).

S. nodorum has the ability to penetrate into the deeper layers of the seed-corn and to survive there in mycelium form. The pathogen has not been found in the granule (BOCKMANN 1964). The germination and growth properties were not negatively affected for low to medium degrees of infestation, but were considerably affected by high degrees of infestation (BLOCK 1958). Seed-borne *S. nodorum* can be controlled by electron treatment with degrees of effectiveness of more than 70%. The field emergence of infested seed is improved.

During ripening of the corn, *Fusarium* species and *M. nivale* are able, in the form of mycelium, to penetrate into the deeper layers of the seed-corn and also the embryo. In trials on summer wheat (WINTER et al. 1997) the threshold seed infestation (*M. nivale*) that caused considerably reduced field emergence was found to be below 10%. Even low infestation with *Fusarium* spp. has a negative impact on the germination and growth properties (HÄNI 1980). Higher degrees of infestation with *Fusarium* spp. result in far poorer germination properties, showing it is far more aggressive to the embryo than is *M. nivale* (DIEHL 1984).

Fusarium spp. infested seeds react very differently to electron treatment, depending on the severity of infestation. In favourable cases the field emergence is considerably increased. It must be pointed out that all the trials were carried out in regions where the probability of occurrence of snow mould was very low. The cultivation of electron treated seed in regions where snow mould is expected was not considered.

Table 22 Effectiveness of electron treatment against seed-borne pathogens in wheat, rye and barley

Pathogen	Effectiveness
<i>Tilletia caries</i>	Up to 100%
<i>Septoria nodorum</i>	>70%, increased field emergence
<i>Fusarium spp.</i>	Increased field emergence
<i>Microdochium nivale</i>	Increased field emergence
<i>Drechslera graminea</i>	Up to 60%

Practical relevance

Over a period of 20 years, the about 500 field trials in particular prove that electron treatment can be employed as an alternative to chemical dressing. The field emergence, crop development and yields for the electron treated seed were the same as for the chemically dressed seed.

During the entire period of the trials, electron treatment was in no instance found to increase the level of infestation with soil-borne pathogens. It was also demonstrated that multiple consecutive treatments did not pose any threat and that a “boost” in pathogen populations is not to be expected. It must finally be mentioned the significant expansion of cereal crop cultivation for the consumer market using electron treated seed over recent years has given no reason to any objections or complaints. Since 2002, the mobile plant e-ventus® “WESENITZ 2” has been used to treat ca. 3,000 - 5,000 tonnes of seed each year for cereal crop cultivation.

Electron treatment has a number of important advantages. For example, electron treated seed is particularly suitable where cultivation is being carried out close to surface waters, close to endangered fauna and flora and in sensitive environments, because no chemicals or foreign materials enter the soil. As the seed is not contaminated with chemicals, there is no risk to users or the environment. Any excess seed can be stored for long periods without a problem. Residual seed can be safely used for animal feed. It should not go unmentioned that electron treatment fully meets the aims of both the EU and German government to limit the use of chemical plant protection agents.

In addition to these important aspects for users, electron treatment also has technological and economic benefits. Besides the mobility of the currently available systems, the high seed throughput (up to 30 t/h) is a key feature and is not inferior to modern units for chemical dressing. In addition, electron treatment can be easily integrated into seed preparation processes.

A further important positive aspect is the relatively fast amortization of the plant. Apart from electricity, no other materials are required and so this means no variable recurring costs. The operation of the plant is fully automatic. Only one trained person is required to supervise operation of the plant.

Figure 37 (see page 64) shows the turnover for an annual production of 5,000 tonnes (intersection 1) at an average selling price of 50 €/t. The second intersection (2) shows the turnover for an annual production of 7,500 tonnes. The total costs include all variable and fixed costs for plant operation. Standard capital costs were assumed as were possible funding measures, for an amortization period of eight years.

The actual variable cost (energy and maintenance) of operating an e-ventus plant is ca. 3.5 €/t for an hourly throughput of 30 tonnes.

Literature

- ABBOTT, W. S. (1925): A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economical Entomology* **18**, 265-267.
- ANONYMUS (1986): Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz – PflSchG) vom 15. September 1986 (BGBl. I S. 1505), zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 27. Juni 1994 (BGBl. I S. 1440).
- ANONYMUS (1998): Act Concerning the Protection of Crop Plants (Plant Protection Act - PflSchG) of 14 May 1998 (BGBl. I, p. 971), last amended by Article 3 of the Act of 19 August 2004 (BGBl. I, p. 1154).
- ANONYMUS (1999): SAATGUT-BEHANDLUNG Ein Werkzeug für nachhaltige Landwirtschaft. Fédération internationale du commerce des semences, NYON/Schweiz, 8 pp.
- APPLEBY, J.; BARKS, A. J. (1905): British Patent No. 1609. Jan 26.
- BÄNZIGER, I.; WINTER, W.; RÜEGGER, A.; KREBS, H. (1999): Praxis-Warmwasserbehandlung für Winterweizensaatgut. *Agrarforschung* **6**, 333-336.
- BLOCK, G. (1958): Untersuchungen über die Braunfleckigkeit (Spelzenbräune) des Weizens (*Septoria nodorum* Berk.) insbesondere in Bezug auf Infektionsbedingungen, Sortenanfälligkeit und wirtschaftliche Bedeutung des Pilzes. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* **107**, 435-458.
- BOCKMANN, H. (1964): Qualität und Backfähigkeit von Weizen bei Befall mit *Septoria nodorum* Berk. und *Fusarium culmorum* Link. *Nachrichtenblatt des deutschen Pflanzenschutzdienstes* **36**, 5-10.
- BRASCH, A.; HUBER, W. (1947): Ultrashort Application Time of Penetrating Electrons: A Tool for Sterilization and Preservation of Food in the Raw State. *Science, New Series*, **105**, 112-117.
- BURTH, U.; GABER, K.; JAHN, M.; LINDNER, K.; MOTTE, G.; PANZER, S.; PFLAUMBAUM, J.; SCHOLZE, F. (1991): Behandlung von Saatgut mittels Elektronen - Ein neues Verfahren zur Bekämpfung samenbürtiger Schaderreger an Winterweizen. *Nachrichtenblatt für den deutschen Pflanzenschutz* **43**, 41-45.
- DERTINGER, H.; JUNG, H. (1969): Molekulare Strahlenbiologie. Vorlesung über die Wirkung ionisierender Strahlen auf biologische Objekte. Springer Verlag.
- DIEHL, T. 1984: Weizenfusariosen - Zur Symptomentwicklung und Schadensanalyse bei Blatt- und Ährenbefall. Ph.D. Thesis, Georg August University Göttingen, 149 pp.
- DIN EN ISO 11137-1 Sterilisation von Produkten für die Gesundheitsfürsorge – Strahlensterilisation
- DUBEN, J.; SCHMITZ, M. H.; WALDHAUSER, W. (1988): Die Entwicklung des Beizkonzeptes, dargestellt am Beispiel von Saatgutbehandlungsmitteln seit 1914. *Gesunde Pflanze* **40**, 319-326.
- FORSBERG, G.; ANDERSON, S.; JOHNSON, L. (2002): Evaluation of hot, humid air seed treatment in thin layers and fluidized beds for seed pathogen sanitation. *Journal of Plant Diseases and Protection* **109**, 357-370.
- FUCHS, H.; MOSCH, S. (1994): Entwicklung und Stand der Gesundheitsprüfung bei Saatgut. *VDLUFA-Schriftenreihe* **38**, 15 ref., Darmstadt (Germany). 341-344.
- HÄNI, R. (1980): Über Getreidefusariosen in der Schweiz: Saatgutbefall, Ährenbefall und Bodenkontamination. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **105**, 359-375.
- HEIL, H. (1985): Der Einfluss quecksilberfreier Beizmittel auf einige Ertragsfaktoren und den Ertrag von verschiedenen Getreidearten. *Gesunde Pflanzen* **37**, 340-348.
- HÖRSTEN, D. V.; LÜCKE, W.; WOLF, G. (1994): Abtötung von *Fusarium culmorum* in Winterweizensaatgut mit Mikrowellenenergie. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* **301**, 68 p.
- KIETREIBER, M. (1961): Die Erkennung des *Septoria*-Befalls von Weizenkörnern bei der Saatgutprüfung. *Pflanzenschutzberichte* **26**, 129-157.
- LINDNER, K. (1992): Untersuchungen zur phytosanitären Wirkung einer Behandlung von Winterweizensaatgut mit niederenergetischen Elektronen. Ph.D. Thesis, Humboldt-University Berlin, 127 pp.
- MARTIN, H. (1967): Die wissenschaftlichen Grundlagen des Pflanzenschutzes [5. Aufl.]. Verlag Chemie.
- MATHUR, S. B.; CUNFER, B. M. (1993): Seed-borne Diseases and Seed Health Testing of Wheat. *Jordbrugsforlaget Frederiksberg, Dänemark*, 168 pp.
- NOBBE, F. (1876): *Handbuch der Samenkunde*. Verlag von Wiegandt, Hempel und Parey, Berlin.

- PETZOLD, W.; KRIEGER, H. (1988): Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz. Band 1 Grundlagen, [2. ed.] Teubner Stuttgart.
- PFANNMÖLLER, M.; SCHÖBERLEIN, W.; HEINZMANN, R. (1992): Sortenversuche zur Elektronenbeizung von Winterweizen. 104. VDLUFA-Kongress „Ökologische Aspekte extensiver Landwirtschaft.“ 14. – 19.09.1992 Göttingen, Congress vol., 389-392.
- RÖDER, O. (1998): Entwicklung eines Elektronenbandstrahlers für die Polymerisation dünner Kunststoffschichten. Ph.D. Thesis, Otto von Guericke University Magdeburg, 171 pp.
- SCHMIDT, R. (1999): Medizinische Strahlenphysik. www.uke.uni-hamburg.de/Clinics/Radiology/MedSPhys/Vorlesung/Script1.PDF.
- SCHRÖDER, T. (1999): Über die Eignung verschiedener physikalisch-technischer Verfahren zur phytosanitären Behandlung und zur Lagerung von Forstsaatgut unter besonderer Berücksichtigung der Stiel- und Traubeneiche. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft **360**, 241 pp.
- TIGGES, J. (2003): Untersuchungen zur phytosanitären Wirkung der Elektronenbehandlung von Getreidesaatgut an Atmosphärendruck. Ph.D. Thesis, Humboldt-University Berlin, 145 pp.
- TRUMP, J. G.; VAN DE GRAAFF, R. J. (1948): Irradiation of Biological Materials by High-Energy Roentgen Rays and Cathode Rays. *Journal of Applied Physics* **19**, 599-604.
- WESTERMANN, H. D.; BARNIKO, H.; RANG, H.; THALMANN, H. (1988): Gesundheitliche Risiken bei der Verfütterung von Brandweizen (Weizensteinbrand und Zwergsteinbrand). *Landwirtschaftliche Forschung* **41**, 159- 175.
- WINTER, W.; BÄNZIGER, I.; KREBS, H.; RÜEGGER, A.; FREI, P.; GINDRAT, D. (1994): Warmwasserbehandlung von Weizensaatgut. *Agrarforschung*, **1**, 492-495.
- WINTER, W.; BÄNZIGER, I.; KREBS, H.; RÜEGGER, A. FREI, P.; GINDRAT, D. (1997): Warm- und Heißwasserbehandlung gegen Auflaufkrankheiten. *Agrarforschung* **4**, 467-470.

Acknowledgement

Special thanks go to Mr Rainer Heinzmann (U.B.T. Ingenieurbüro GmbH, Quedlinburg) for his key involvement with the trials, particularly in the 1995 to 2000 period, and for his enthusiasm for electron treatment technology.

Thanks go to Mrs. Marion Batschon (BBA, Institute for Technology Assessment in Plant Protection) for the preparation of the maps.

Liste der Versuchsansteller

List of trial participants

1986 – 1991 (Elektronenbehandlung mit der Versuchsanlage „ELBA“)

1986 – 1991 (electron treatment using the “ELBA” experimental plant):

- ACZ Querfurt
- Agraringenieurschule für Saatgutwirtschaft Neugattersleben
- Institut für Futterpflanzenzüchtung Malchow
- Institut für Getreideforschung Bernburg-Hadmersleben, Abteilung Getreidepathologie
- Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow
- Lehr- und Forschungsstützpunkt der Sektion Pflanzenproduktion der Martin-Luther-Universität Halle, Seehausen
- LPG Pflanzenproduktion Berthelsdorf
- LPG Pflanzenproduktion Ebersbach
- LPG Pflanzenproduktion Großberkmannsdorf
- LPG Pflanzenproduktion Großschönau
- LPG Pflanzenproduktion Großwelka
- LPG Pflanzenproduktion Grumbach
- LPG Pflanzenproduktion Kirschau
- LPG Pflanzenproduktion Krögis
- LPG Pflanzenproduktion Markersdorf
- LPG Pflanzenproduktion Niederseifersdorf
- LPG Pflanzenproduktion Oldisleben
- LPG Pflanzenproduktion Priestewitz
- LPG Pflanzenproduktion Prittitz
- LPG Pflanzenproduktion Rade
- LPG Pflanzenproduktion Reichenbach
- LPG Pflanzenproduktion Ruppendorf
- LPG Pflanzenproduktion Schlettau
- LPG Pflanzenproduktion Schöpstal-Markersdorf
- LPG Pflanzenproduktion Soland
- LPG Pflanzenproduktion Striegnitz
- Pflanzenschutzamt Cottbus
- Pflanzenschutzamt Dresden
- Pflanzenschutzamt Frankfurt/Oder
- Pflanzenschutzamt Karl-Marx-Stadt
- VEB Saat- und Pflanzgut Dresden, Zuchtstation Berthelsdorf

- VEB Saat- und Pflanzgut Erfurt, Zuchtstation Schöndorf
- VEB Saat- und Pflanzgut Erfurt, Zuchtstation Sundhausen
- VEB Saat- und Pflanzgut Frankfurt/Oder, Zuchtstation Trebatsch
- VEB Saat- und Pflanzgut Halle, Zuchtstation Salzmünde
- VEB Saat- und Pflanzgut Potsdam, Zuchtstation Wustrau
- VEB Saat- und Pflanzgut Schwerin, Zuchtstation Zernikow
- VEG Pflanzenproduktion Aschersleben
- VEG Pflanzenproduktion Baumschule Markee
- VEG Pflanzenproduktion Criewen
- VEG Pflanzenproduktion Gotha, Saatuchtstation Friedrichswerth
- VEG Pflanzenproduktion Gransebieth-Grimmen
- VEG Pflanzenproduktion Hadmersleben
- VEG Pflanzenproduktion Langenstein
- VEG Pflanzenproduktion Lietzen
- VEG Pflanzenproduktion Lindenberg
- VEG Pflanzenproduktion Malchow
- VEG Pflanzenproduktion Memleben
- VEG Pflanzenproduktion Petkus
- VEG Pflanzenproduktion Plaußig
- VEG Pflanzenproduktion Quedlinburg
- VEG Pflanzenproduktion Schwaneberg
- VEG Pflanzenproduktion Sternberg
- VEG Pflanzenproduktion Stolpe
- VEG Pflanzenproduktion Wölkau
- VEG Saat- und Pflanzgut Bernburg, Zuchtstation Biendorf
- VEG Saat- und Pflanzgut Bornhof
- VEG Saat- und Pflanzgut Leutewitz
- Wissenschaftsstützpunkt Neumark
- Zentralstelle für Sortenwesen, Glaubitz
- Zentralstelle für Sortenwesen, Olvenstedt
- Zentralstelle für Sortenwesen, Vollenschier

1995 – 2000 (Elektronenbehandlung mit der Pilotanlage „WESENITZ 1“)

1995 – 2000 (electron treatment using the “WESENITZ 1” pilot plant)

- Agrargenossenschaft Gleina
- Agrargenossenschaft Gröningen
- Agrargenossenschaft Ruppendorf e.G.
- Fachhochschule Südwestfalen, Versuchsgut Merklingsen
- GbR Döring, Hartmann & Wilde, Ochtmersleben
- GbR Pflanzenproduktion Glesien
- Gut Gatersleben
- Landespflanzenschutzamt Mecklenburg-Vorpommern
- Landespflanzenschutzamt Sachsen-Anhalt
- Landwirt Dr. Braune, Schwaneberg
- Landwirtschaftliches Unternehmen Schlanstedt e.G.
- Landwirtschaftliche Betriebsgemeinschaft mbH Großgermersleben
- Lehr- und Versuchsstation Seehausen
- Landesamt für Ernährung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Frankfurt (Oder), Pflanzenschutzdienst
- Saatzucht Hadmersleben
- Saatzucht Josef Breun Herzogenaurach
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Dresden
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Versuchsstation Nossen
- Schmidt & Tochter GbR, Blumenberg
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
- U.B.T. Ingenieurbüro GmbH Quedlinburg

1999 – 2004 (Elektronenbehandlung mit der e-ventus® Pilotanlage „WESENITZ 2“)

1999 – 2004 (electron treatment using the e-ventus® “WESENITZ 2” pilot plant)

- Agrargenossenschaft Ruppendorf e.G.
- AGRARTEST, Aarbergen-Panrod
- Amt für ländliche Räume Kiel-Abteilung Pflanzenschutz-
- Amt für Landwirtschaft und Forsten Ingolstadt
- Bayer AG
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
- BioChem agrar GmbH, Gerichshain
- Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Kleinmachnow und Braunschweig
- Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück
- KWS SAAT AG, Einbeck
- Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Frankfurt (Oder)
- Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt
- Landesanstalt für Pflanzenschutz Baden-Württemberg
- Landespflanzenschutzamt Mecklenburg-Vorpommern
- Landwirtschaftskammer Hannover-Pflanzenschutzamt Hannover
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
- U.B.T. Ingenieurbüro GmbH Quedlinburg

Erklärung der Abkürzungen der Namen der Bundesländer

Explanation of the identification codes of the federal states

Bundesland	Kürzel / identification code	Federal state
Baden-Württemberg	BW	Baden-Württemberg
Bayern	BY	Bavaria
Berlin	BL	Berlin
Brandenburg	BB	Brandenburg
Hessen	HE	Hesse
Mecklenburg-Vorpommern	MV	Mecklenburg-Western Pomerania
Niedersachsen	NI	Lower Saxony
Nordrhein-Westfalen	NW	North Rhine-Westphalia
Rheinland-Pfalz	RP	Rhineland-Palatinate
Sachsen	SN	Saxony
Sachsen-Anhalt	ST	Saxony-Anhalt
Schleswig-Holstein	SH	Schleswig-Holstein
Thüringen	TH	Thuringia