

Institut für Pflanzenkrankheiten
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Einfluss von Fungiziden auf die Ertragsphysiologie von Weizen

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am 23. Dezember 2004

von

Dipl.-Ing. agr. Christian Lukas Beck

aus Quakenbrück

Von der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität zu Bonn zur Erlangung der Doktorwürde genehmigte Dissertation.

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulserver der ULB Bonn http://hss.uib.uni-bonn.de/diss_online elektronisch publiziert.

Referent: Prof. Dr. H.-W. Dehne

Korreferent: Prof. Dr. J. Leon

Tag der mündlichen Prüfung: 10.06.2005

Erscheinungsjahr: 2005

D 98

Christian Beck

Einfluss von Fungiziden auf die Ertragsphysiologie von Weizen

Für Fungizide aus der Gruppe der Strobilurine ist neben der Ertragswirkung durch Ausschalten der Pathogene auch eine Steigerung des Ertrags durch direkten Einfluss auf den Metabolismus der Pflanzen beschrieben. Indikatoren dafür sind der Erhalt der grünen Blattfläche und die photosynthetische Aktivität der Pflanzen, die anhand der Elektronentransportrate des Photosyntheseapparates und des Gaswechsels der Pflanzen erfasst werden kann.

Trotz des gleichen Wirkungsprinzips unterscheiden sich die physikalisch-chemischen Eigenschaften der verschiedenen Strobilurine voneinander, z. B. hinsichtlich der Aufnahme in das Blatt, der Verteilung und Mobilität im Blatt sowie der Umverteilung über die Dampfphase.

In Freilanduntersuchungen sowie unter kontrollierten Bedingungen wurde die Wirkung von Strobilurinen (Azoxystrobin, Fluoxastrobin, Kresoxim-methyl, Picoxystrobin, Pyraclostrobin, und Trifloxystrobin) auf die Photosynthese und den Kornertrag von Weizen mit der von Azol-haltigen Präparaten verglichen. Durch mehrmalige Applikation wurden die Pflanzen der Fungizidvarianten befallsfrei gehalten, um Einflüsse eines Pathogenbefalls auf ertragsphysiologisch relevante Parameter auszuschließen. Alle Strobilurine beeinflussten die Stoffwechselaktivität der Pflanzen (z.B. erhöhte CO₂-Aufnahme) - verglichen mit unbehandelten und Azol-behandelten Pflanzen - bereits vor Beginn der Seneszenz positiv und letztlich auch den Ertrag.

Die Auswirkungen verschiedener Fungizidbehandlungen auf den Krankheitsbefall, physiologische Parameter der Ertragsbildung sowie auf den Flächenertrag von Winterweizen wurden in mehreren Vegetationsperioden an Standorten in Nordrhein-Westfalen untersucht. Dazu wurden Weizensorten, die sich in Krankheitsanfälligkeit, Ertragspotential und Kornqualität unterschieden, ausgesucht. Weder das Ertragspotential noch die Krankheitsanfälligkeit der Sorten waren mit dem Mehrertrag durch Strobilurine korreliert.

Ein Zusammenhang zwischen dem standortabhängigen Ertragsniveau und den Mehrerträgen durch Strobilurine konnte nicht festgestellt werden. Weiterhin zeigten auch die Applikationsmenge und der Applikationszeitpunkt - im Bereich der empfohlenen Aufwandmengen und Applikationszeitraumes - keinen messbaren Einfluss auf die physiologischen Parameter der Ertragsbildung.

Dagegen modifizierten Umweltbedingungen und Genotyp die Strobilurin-bedingten Ertragszuwächse. Sorten, die ein genetisch bedingtes niedrigeres Tausendkorngewicht (TKG) und eine höhere Anzahl von Körnern pro Ähre aufweisen, reagierten zum Teil mit signifikant höheren Strobilurin-bedingten Mehrerträgen. Ungünstigere Umweltbedingungen konnten von Strobilurin-behandelten Pflanzen bis zu einem gewissen Grad besser kompensiert werden.

Bei einsetzendem Trockenstress ging die CO₂-Aufnahme zurück, hatte aber bei Strobilurin-behandelten Pflanzen immer ein höheres Niveau als bei Azol-behandelten Pflanzen. Messungen der C¹²/C¹³-Isotopensignatur bestätigten den Einfluss des Trockenstress und der Fungizidbehandlungen auf die C-Assimilation, die sich letztlich im Korn widerfindet. Strobilurin-haltige Fungizide lösten eine permanente Aktivierung des Stoffwechsels der Pflanzen aus, die auch durch einen kurzzeitigen Wassermangel nicht wieder aufgehoben wurde.

Christian Beck

Influence of fungicides on the yield physiologie of wheat

For the group of strobilurine fungicides, is in addition to the effect on yield through inhibition of the pathogen, also a effect on yield through direct effect on plant metabolism described. This is indicated by the maintainance of the green leaf area and the photosynthetic activity of the plant, which can be detected by the electron transport rate of the photosynthetic system and by the gas exchange of the plants.

Despite the same mode of action the physical and chemical properties of the different strobilurins, differ for example, with regard to the uptake into the leaf, the distribution and mobility in the leaf as well as the redistribution through the vapor phase.

In this work the impact of newer strobilurin containing fungicides on the yield physiology of winter wheat were compared with products which have been on the market for a longer period of time.

In field trials as well as under protected conditions the influence of the strobilurins (Azoxystrobine, Fluoxastrobine, Kresoxim-methyle, Picoxystrobine, Pyraclostrobine and Trifloxystrobine) on photosynthesis and the grain yield of wheat were compared with azole-treated plants. By repeated treatments all fungicide-treated variants were kept disease free to prevent effects of pathogens infestation on yield physiological relevant parameters. Already before the beginning of senescence all strobilurins affected the metabolic activity of the plants (e.g. higher CO₂ uptake) positivly – compared to azole treated plants –and finally also the yield.

The influence of different fungicide treatments on the disease infestation, physiological parameters of yield formation, as well as the acreage yield of winter wheat were evaluated through several vegetation periods in North-Rhine-Westfalia. Therefore wheat varities were chosen which differed in disease susceptibility, yield potential and grain quality.

Neither yield potential nor disease susceptibility of the different varities correlated with higher yields due to strobilurins. Also, no correlation between the yield level of the location and the higher yields due to strobilurins were found. Furthermore the application amount and the timing of the application – in the range of recommended application amounts and the application time - showed no measurable influence on physiological parameters on yield formation. Nevertheless, the environmental condition and the genotype modified the higher yields due to strobilurins. Varieties with geneticaly lower fixed thousand grain yields and a higher amount of grains per ear responded with significantly higher yields due to strobilurins. To a certain point, strobilurin treated plants could better compensate unfavorable environmental conditions.

With incipient drought stress the level of CO₂-uptake decreased, but always had a higher level for the strobilurin treated plants compared to the azole treated plants. Measurements of the C¹²/C¹³-isotope signature confirmed the influence of drought stress and the fungicide treatment on the C-assimilation, which finally was reflected in the grain. Strobilurin containing fungicides provoke a permanent activation of the plant metabolism, which is not interrupted due to short term water deficiency.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	MATERIAL UND METHODEN	8
2.1	Versuchsorganismen	8
2.1.1	Verwendetes Sortenspektrum.....	8
2.1.2	Pathogene	9
2.2	Fungizide Wirkstoffe.....	9
2.3	Versuchsanlage und Versuchsdurchführung	11
2.3.1	Gewächshausversuche.....	11
2.3.1.1	Anzucht der Versuchspflanzen.....	11
2.3.1.2	Anlage der Versuche	11
2.3.1.3	Fungizidbehandlung	12
2.3.2	Feldversuche.....	12
2.3.2.1	Anlage der Feldversuche	13
2.3.2.2	Charakterisierung der Versuchsstandorte.....	17
2.3.2.3	Fungizidbehandlung	18
2.4	Erfassung des Pathogenbefalls und der grünen Blattfläche.....	18
2.4.1	Ermittlung des Befalls und der grünen Blattfläche	18
2.4.2	Ermittlung des Blattgrüns mittels SPAD-Messungen.....	18
2.4.3	Ermittlung des Chlorophyllgehaltes.....	20
2.5	Bestimmung der Photosyntheseaktivität.....	21
2.5.1	Messung der Chlorophyllfluoreszenz.....	21
2.5.2	Messung des stomatären Gaswechsels	23
2.6	Ertrags- und Qualitätsermittlung.....	24
2.6.1	Kornertrag	24
2.6.2	Tausendkorngewicht	25
2.6.3	Anzahl der Körner pro Ähre.....	25
2.6.4	Proteingehalt.....	25
2.6.5	Fallzahl	26
2.6.6	Sedimentationswert	26
2.7	Analyse des C¹²/C¹³ – Isotopenverhältnises	27
2.8	Statistische Auswertung.....	27
3	ERGEBNISSE	28
3.1	Einfluss von Strobilurin-haltigen Fungiziden auf die Ertragsphysiologie von Weizen unter kontrollierten Bedingungen.....	28
3.1.1	Auswirkungen auf den photosynthetischen Elektronentransport.....	28
3.1.2	Auswirkungen auf den stomatären Gaswechsel.....	30
3.1.3	Einfluss auf die Vitalität der Blätter.....	32

3.2	Einfluss von Strobilurin-haltigen Fungiziden auf die Ertragsphysiologie von Weizen unter Feldbedingungen	33
3.2.1	Auswirkungen auf die Photosyntheseleistung.....	34
3.2.2	Einfluss auf die Vitalität und Abreife der Pflanzen	40
3.2.3	Kornertrag	44
3.2.4	Qualitätsparameter	46
3.3	Einfluss der Wirkstoffkonzentration und des Applikationszeitpunktes.....	47
3.3.1	Auswirkung der Fungizidkonzentration auf Pflanzenleistung und Kornertrag ...	47
3.3.2	Auswirkung einer Stadien-orientierten Fungizidapplikation auf Pflanzenleistung und Kornertrag	50
3.3.3	Auswirkung einer Schadschwellen-orientierten Fungizidapplikation auf Pflanzenleistung und Kornertrag.....	53
3.4	Einfluss von Genotyp und Umweltbedingungen	58
3.4.1	Einfluss auf die Effizienz des Photosyntheseapparates.....	58
3.4.1.1	Standort Meckenheim	58
3.4.1.2	Standort Dikopshof	64
3.4.1.3	Standort Kerpen.....	69
3.4.2	Kornerträge und Ertragsstruktur.....	74
3.4.3	Qualitätsparameter	81
3.5	Auswirkung von Stress auf die Ertragsphysiologie von Weizenpflanzen.....	81
3.5.1	Einfluss auf die Leistung des Photosyntheseapparates	82
3.5.1.1	Starker Trockenstress	82
3.5.1.2	Zunehmender Trockenstress	83
3.5.1.3	Latenter Trockenstress	85
3.5.2	Abschätzung der Stresswirkung anhand der Assimilatbildung und Verlagerung ins Korn	87
4	DISKUSSION	89
5	ZUSAMMENFASSUNG	108
6	LITERATURVERZEICHNIS	111

1 Einleitung

Ein moderner und effizienter Ackerbau wäre heute und auch in der Zukunft ohne Agrarchemikalien nicht denkbar. Durch eine hohe Produktivität bzw. Anbauintensität ist der Flächenbedarf für die zu produzierenden Nahrungsmittel geringer als bei einer extensiven Nutzung. So wurden in Westeuropa 1997 15 % des Weltweizenenertrages auf nur 8 % der weltweiten Weizenanbaufläche erwirtschaftet (Verreet und Klink, 1999). Diese hohe Anbauintensität in Europa kann nur durch den Einsatz von ertragssteigernden und qualitätssichernden Maßnahmen erreicht werden. Weiterhin erfolgt durch den Einsatz von Pestiziden eine Absicherung der Ernte. Das bedeutet für den Landwirt eine gewisse Planungssicherheit und für den Konsumenten stabile Nahrungsmittelpreise.

Weltweit führte die Intensivierung der Getreideproduktion in den letzten 30 Jahren zu einer annähernden Verdoppelung der Erträge auf 2,5 t/ha (Oerke 1996a). Da aber die Weltbevölkerung weiter steigt, so sollen im Jahre 2050 etwa 10 Milliarden Menschen von der gleichen Ackerfläche ernährt werden wie heute ca. 6 Milliarden Menschen (Oerke 1996a): müssen die Hektarerträge weiter steigen, um den höheren Bedarf an Lebensmitteln zu gewährleisten, ohne dass auf andere Lebensräume wie Waldflächen oder andere wertvolle Biotop zurückgegriffen werden muss. So erscheint der Einsatz von modernen Agrarchemikalien gerade unter Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte wie etwa Landnutzung ein gangbarer Weg, um die Nahrungsmittelversorgung zu sichern.

Seit fast 25 Jahren wird die Fungizidpalette im Getreideanbau von zwei Wirkstoffklassen, Morpholinen und Triazolen, bestimmt (Konradt *et al.* 1996). Seit 1996 hat sich eine neue Wirkstoffgruppe, und zwar die der Strobilurine, am Markt etabliert. Die Grundstruktur dieser neuen Stoffgruppe wurde von Anke *et al.* (1977) erstmalig bei Inhaltsstoffen des Pilzes *Strobilurus tenacellus* (Kieferzapfenrübling) entdeckt. Dieser Basidiomycet wächst auf abgestorbenen Zapfen von *Pinus sylvestris* und produziert Stoffwechselprodukte (Strobilurin A und B): die eine fungizide Wirkung aufweisen. Als zweite Leitstruktur für eine mögliche Weiterentwicklung zu einem Fungizid wurde das Oudemansin in einem anderen Waldpilz, dem Beringten Schleimrübling (*Oudemansiiella mucidia*): der dem Strobilurin A chemisch ähnelt, von Anke *et al.* (1979) entdeckt.

Als nicht zufriedenstellend stellten sich die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Naturstoffe heraus. Da sie UV-instabil waren und einen zu hohen Dampfdruck aufwiesen, betrug ihre Halbwertszeit auf einer Blattoberfläche nur wenige Minuten (Clough und Godfrey, 1998). Seit 1982 wurde bei der Firma Zeneca Agro am Oudemansin A und später am Strobilurin A als Leitstruktur für einen neuen fungiziden Wirkstoff geforscht. Unabhängig davon arbeitete die BASF AG an der Weiterentwicklung von Strobilurin A. Die ersten synthetischen Strobilurin-Analoga wurden fast zeitgleich von Zeneca Agro (Azoxystrobin) und von der BASF AG (Kresoxim-methyl) erstmalig 1992 auf der Brighton Crop Protection Conference vorgestellt (Godwin *et al.* 1992, Ammermann *et al.*, 1992). Die Markteinführung fand 1996 statt. Die dritte Firma, die an der Entwicklung eines Strobilurins arbeitete, war die Firma Shionogi, die das Metominostrobin im Jahre 1993 erstmalig vorstellte (Bartlett *et al.*, 2002).

Die zweite Generation von Strobilurinen wurde von Novartis entwickelt. Der Wirkstoff Trifloxystrobin wurde 1998 auf der Brighton Crop Protection Conference vorgestellt (Margot *et al.*, 1998) und im Jahre 2000 an die Bayer AG verkauft. Syngenta und BASF stellten im Jahre 2000 ihre nächste Generation von Strobilurinen vor: Picoxystrobin (Syngenta) und Pyraclostrobin (BASF). Beide Produkte befinden sich seit 2002 auf dem Markt als Acanto[®] und Opera[®]. Die neueste Entwicklung von Bayer Crop Science, das Fluoxastrobin (HEC): ist mit dem ebenfalls neu entwickelten Azol Prothioconazol (JAU) als Kombipräparat (Fandango[®]) auf dem Markt erhältlich.

Famoxadone und Fenamidone, die keine Strobilurine sind, aber den gleichen Wirkungsmechanismus haben, wurden in den neunziger Jahren von DuPont und Aventis entwickelt. Famoxadone wurde 1996 und Fenamidone 1998 auf der Brighton Crop Protection Conference vorgestellt (Joshi und Sternberg, 1996 und Mercer *et al.* 1998)

Das fungizide Wirkungsprinzip aller Strobilurine wie auch von Famoxadone und Fenamidone beruht auf der Unterbrechung der mitochondrialen Atmung der pilzlichen Pathogene. Dabei werden durch die Blockierung des Elektronentransportes am bc₁-Komplex alle direkten und indirekten, an den respirativen Elektronentransport gekoppelten Stoffwechselprozesse unterbrochen (Becker *et al.*, 1981; Retzlaff, 1995).

Trotz des gleichen Wirkungsprinzips unterscheiden sich die physikalisch-chemischen Eigenschaften der verschiedenen Strobilurine ganz erheblich voneinander, und zwar

hinsichtlich der Aufnahme in das Blatt, der Verteilung und Mobilität im Blatt sowie der Umverteilung über die Dampfphase (Tab. 1).

Alle Strobilurine haben ein breites Wirkungsspektrum und sind gegen wichtige Vertreter aus den großen Abteilungen der Ascomyceten, Basidiomycetes, Deuteromycetes und Oomyceten wirksam. Trotzdem zeigen sich Unterschiede im Wirkungsspektrum der einzelnen Wirkstoffe. Nicht alle Pathogene an den verschiedenen Wirtspflanzen sind gleich gut zu kontrollieren. So zeigten Kresoxim-methyl und Trifloxystrobin nur eine geringe Wirkung gegen manche Oomyceten wie z.B. gegen *Plasmopara viticola*, den Falschen Mehltaus an der Rebe. Andere Wirkstoffe sind für bestimmte Indikationen entwickelt worden. Picoxystrobin ist für den Einsatz in Getreidekulturen optimiert worden, dagegen wird Metominostrobin hauptsächlich in Reis und Zierrasen eingesetzt.

Tab. 1: Aufnahme und Verteilung verschiedener Strobilurine in und auf der Pflanze (Bartlett *et al.* 2002, verändert)

	Trifloxy- strobin	Picoxy- strobin	Pyracl- strobin	Kresoxim- methyl	Azoxy- strobin
Aufnahme ins Blatt	sehr gering	mittel	sehr gering	niedrig	niedrig
Redistribution über die Luft	ja	ja	nein	ja	nein
Abbaustabilität im Blatt	niedrig	ja	ja	niedrig	ja
Translaminarer Transport	niedrig	ja	niedrig	niedrig	ja
Xylem-mobil	nein	ja	nein	nein	ja
Transport zu neuen Pflanzenteilen in Weizen/Gerste	nein	ja	nein	nein	ja
Phloem mobil	nein	nein	nein	nein	nein

Neben der breiten fungiziden Leistung ist die lange Wirkungsdauer ein weiteres Merkmal dieser Wirkstoffklasse. So konnten Baldwin *et al.* (1996) für Azoxystrobin zeigen, dass noch 42 Tage nach der Applikation eine deutliche Befallsreduktion von *Septoria tritici* im Vergleich zu einem Standard erzielt werden konnte. Die langanhaltende Wirkung lässt sich durch eine hohe Affinität zur Blattoberfläche erklären. So bildet Kresoxim-methyl nach dem Antrocknen der Spritzbrühe auf der Blattoberfläche und nach dem Eindringen in die Wachsschicht ein Wirkstoffdepot aus (Ypema *et al.* 1999). Durch diesen Spritzbelag kommt es zu einer langanhaltenden und kontinuierlichen Abgabe in das Blatt.

Untersuchungen zeigten für das Trifloxystrobin unter Gewächshausbedingungen noch 21 Tage nach Applikation eine Wiederfindungsrate von 75 bis 90 % des Wirkstoffes auf dem Blatt (Anonymus, 1999)

Diese Depotbildung ist neben dem Wirkungsprinzip ein Grund, warum gerade die Sporenkeimung und das Keimschlauchwachstum Entwicklungsphasen des Pilzes sind, die durch Strobilurine besonders gut gehemmt werden. Untersuchungen mit Trifloxystrobin (Margot *et al.*, 1998) sowie Pyraclostrobin (Ammermann *et al.*, 2000) konnten eine hohe Wirksamkeit gegenüber der Sporenkeimung und der Entwicklung von Zoosporen zeigen. Diese Ergebnisse lassen sich auch durch das Wirkungsprinzip erklären, da gerade diese Entwicklungsstadien der Pathogene eine hohe Stoffwechselaktivität voraussetzen und durch die Blockierung des Elektronentransportes die Energieversorgung der Pathogene unterbrechen (Bartlett *et al.*, 2002). Das ist eine weitere Neuerung zu den ansonsten häufig eingesetzten Azolen, die in die Ergosterol-Biosynthese eingreifen und deshalb die Sporenkeimung und frühe Keimschlauchentwicklung nicht verhindern.

Durch diese Erkenntnisse ergeben sich Konsequenzen für den optimalen Applikationszeitpunkt. Durch die gute Wirkung auf frühe Entwicklungsstadien von Pathogenen ist eine frühzeitige Applikation nach Infektionsbeginn bzw. eine protektive Applikation zur Krankheitskontrolle optimal. Strobilurine besitzen aber auch kurative Eigenschaften. So kommt es bei *Blumeria graminis* durch Kresoxim-methyl innerhalb von 24 Stunden nach Applikation zum Kollabieren von Myzel und Konidienketten (Gold *et al.*, 1995). Dagegen ist bei Pathogenen, die in das Blatt eindringen, die Wirkung auf die frühen Entwicklungsstadien begrenzt, da intrazelluläres Hyphen- und Mycelwachstum durch die Kresoxim-methyl Applikation nicht beeinträchtigt wird. Dies beruht auf den beschriebenen geringen Penetrationsraten des Wirkstoffes in das Blatt (Gold *et al.*, 1994).

Der infektionsbezogene frühe Einsatz und nicht der kurative Einsatz von Strobilurin-haltigen Fungiziden wird auch von der FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) in ihren Richtlinien zum Resistenzmanagement erwähnt. Obwohl durch den neuen Wirkort der Strobilurine eine Kreuzresistenz mit den ansonsten häufig eingesetzten Azolen und Morpholinen ausgeschlossen werden kann, zeigten sich schon kurz nach der Einführung der Strobilurine ab dem Jahre 1998 in Norddeutschland erste Wirkungsminderungen gegenüber *Blumeria graminis*. 1999 wurden erste resistente Stämme des Echten Mehltaus in vielen Regionen Europas registriert.

Im Rahmen von Monitoring-Untersuchungen - von den Herstellern initiiert - konnten erstmalig im Jahre 2002 resistente Stämme von *Septoria tritici* in Irland und England gefunden werden. In Deutschland lag das Auftreten hauptsächlich im Norden. Trotz des geringen Befallsdrucks 2003, lagen die Resistenzgrade in Einzelfällen auf sehr hohem Niveau (Anonymus 2003). Aufgrund der aufgetretenen Resistenzen bzw. Sensitivitätsverluste hat das FRAC Richtlinien entwickelt, um eine weitere Ausbreitung bzw. Entwicklung von resistenten Stämmen zu verhindern bzw. zu verzögern. Diese beinhalten, dass Strobilurine nicht als Solopräparate eingesetzt werden, sondern in Verbindung mit Mischungspartnern aus anderen Fungizidklassen angewendet werden. Die Einschränkung der Anwendungen auf zwei pro Vegetationsperiode stellt eine weitere Maßnahme dar, um den Aufbau von resistenten Pathogenpopulationen zu verzögern. Weiterhin sind Teilapplikationen oder eine Reduzierung der Aufwandmengen in Verbindung mit wiederholten Anwendungen zu vermeiden, um auf Pathogenpopulationen keinen anhaltenden Selektionsdruck auszuüben (Anonymus 2003).

Neben dem fungiziden Effekt der Strobilurine wird auch von physiologischen Veränderungen in der Weizenpflanze berichtet (Retzlaff, 1995, Köhle *et al.*, 1997, Grossmann und Retzlaff 1997, 1999, Wu und von Tiedemann 2001, 2002). Diese Sekundäreffekte sind auch für Fungizide aus anderen Wirkstoffgruppen beschrieben worden insbesondere für Azole (Fehrmann *et al.*, 1978, Cook, 1980, 1981, Tripathi *et al.*, 1980, Kettlewell *et al.*, 1982, Siefert und Grossmann, 1996). Diese Sekundäreffekte treten aber bei Strobilurin-haltigen Fungiziden am deutlichsten auf (Oerke 1996) und führen bei Strobilurinen zu höheren Stoffwechselaktivitäten, die sich letztlich in höheren Kornträgen widerspiegeln.

Verschiedene Mechanismen werden diskutiert, wie Strobilurin-Fungizide die Ertragsphysiologie von Weizenpflanzen beeinflussen. Grossmann *et al.*, (1999) berichteten über eine Verschiebung des Phytohormonhaushaltes, der zu höheren Cytokiningehalten und zu einer Reduktion der Ethylenabgabe der Pflanze führt, was einen wichtigen Einfluss auf die Seneszenz der Pflanze hat. Daneben werden positive Einflüsse auf die Assimilationsrate (Gerhard *et al.*, 1998) und eine Verlängerung des Erhaltes der grünen Blattfläche (Bryson *et al.*, 2000) sowie eine bessere Kontrolle von saprophytischen Pilzen, die zwar keine direkt sichtbaren Einfluss auf die Pflanze haben, aber zu einem erhöhten Energieverbrauch durch Abwehrreaktionen der Pflanze führen, diskutiert (Bertelsen *et al.*, 2001, Magnan und Lacey, 1985). Diese Effekte, die zu

Ertragssteigerungen bei behandelten Weizenpflanzen führen, sind in der Abbildung 1 zusammengefasst.

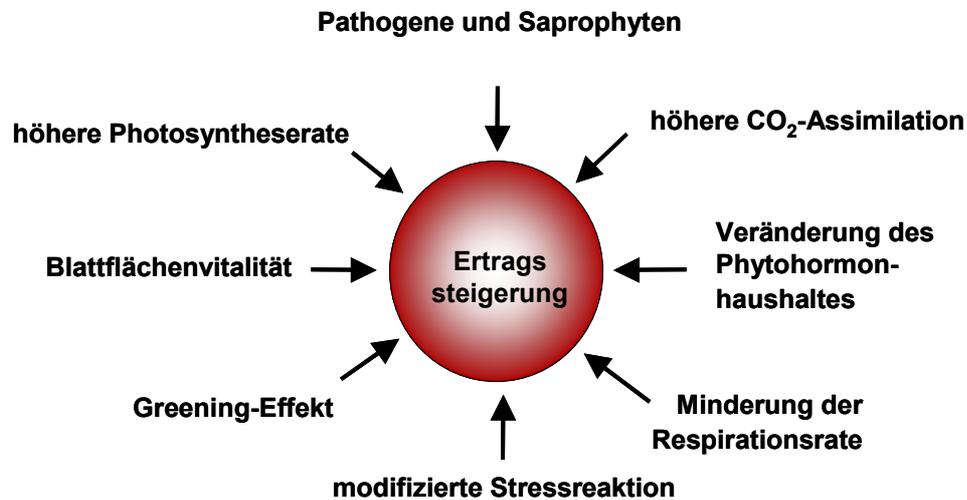


Abb. 1: Auswirkungen von Strobilurinen auf die Physiologie von Weizenpflanzen (Beck *et al.*, 2002).

Die erste Generation von Strobilurinen, Azoxystrobin (Amistar[®]) und Kresoxim-methyl (Juwel Top[®]): wurde in den letzten Jahren auf ihre physiologischen Sekundäreffekte hin untersucht. Unterschiede zwischen Amistar[®] und Juwel Top[®] behandelten Weizenpflanzen hinsichtlich der Photosyntheseleistung und des Kornertrages konnten in den Untersuchungen von Gerhard (2001) nicht festgestellt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit sollten neben den schon gut untersuchten Strobilurinen die physiologischen Effekte der nächsten Generation von Strobilurinen: Trifloxystrobin (Stratego[®]): Picoxystrobin (Acanto[®]): Pyraclostrobin (Opera[®]) und Fluoxastrobin (HEC) auf die Ertragsbildung anhand von Chlorophyllfluoreszenzessungen und Gaswechsellmessungen untersucht werden.

Es sollte festgestellt werden, ob die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Strobilurine einen Einfluss auf die ertragsphysiologischen Prozesse in der Weizenpflanze haben. Weiterhin sollte geklärt werden, inwieweit die Applikationsmenge und der Applikationszeitpunkt Einfluss auf die physiologischen Parameter der Ertragsbildung haben.

Außerdem wurde der Frage nachgegangen, welchen Einfluss die Sorte (Krankheitsanfälligkeit, TKG etc.) und unterschiedliche Umweltbedingungen auf die ertragssteigernde Leistung von Strobilurinen haben. Es wurde überprüft, ob Umwelt-Genotyp-Interaktion eine Rolle auf die ertragsphysiologische Wirkung von verschiedenen Strobilurinen spielten. Dazu wurden Sortenversuchen auf mehreren Standorten in Nordrhein-Westfalen angelegt.

Natürlich müssen bei speziellen Fragestellungen die Freilandergebnisse durch Gewächshausstudien begleitet werden. Es sollte der Einfluss von Umweltbedingungen auf die physiologische Leistung von Strobilurin-behandelten Pflanzen unter kontrollierten Stressbedingungen (Trockenstress) geprüft werden. Die Auswirkungen wurden mittels Gaswechsel- und Chlorophyllfluoreszenzmessungen untersucht. Der Frage nach dem langfristigen Effekt von Wasserstress auf Strobilurin-behandelte Weizenpflanzen wurden nachgegangen. Dazu wurden Kornproben auf ihre Isotopensignatur hin überprüft.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsorganismen

2.1.1 Verwendetes Sortenspektrum

Die Untersuchungen erfolgten an Weizensorten (*Triticum aestivum* L.): die in der Region Nordrhein-Westfalen in der Praxis verstärkt angebaut werden, z. B. 'Ritmo', 'Flair', 'Bandit' und 'Charger', sowie aus Sorten, die sich durch Merkmale wie z.B. Kornertrag, Blattmasse etc. unterschieden. Die Sorte 'Hybnos' wurde als Vertreter der neuen Hybrid-Sorten ausgewählt, die sich durch hohe Ertragsleistungen auszeichnen, so wie auch die nicht hybride Sorte 'Drifter'. Die Sorten 'Hanseat' und 'Bandit' wurden aufgrund ihrer hohen Qualitätseigenschaften in den Versuchen angebaut. Aufgrund des ausgeprägten Blattapparates wurde die Sorte 'Cortez' ausgewählt. Zur Ausweitung des Spektrums wurde auch auf Sorten zurückgegriffen, die sich durch eine hohe bzw. geringe Krankheitsanfälligkeit ('Kanzler' bzw. 'Jonas') auszeichneten. Eine detaillierte Sortenbeschreibung ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2a: Charakterisierung der wichtigsten Eigenschaften der in den Versuchen verwendeten Weizensorten (Bundessortenamt, 2000).

	'Cortez'	'Drifter'	'Flair'	'Hanseat'	'Hybnos'	'Jonas'
<i>Blumeria graminis</i>	1	2	4	3	4	4
<i>Septoria tritici</i>	5	5	4	5	5	4
<i>Septoria nodorum</i>	5	6	4	6	4	4
<i>Puccinia recondita</i>	5	4	6	3	3	5
<i>Puccinia striiformis</i>	3	3	8	3	6	3
Kornertrag	7	9	7	6	9	5
TKG	3	7	5	6	5	6
Kornzahl/Ähre	9	6	7	5	7	6
Qualitätsgruppe	B	B	B	A	C	B
Winter/Sommerweizen	W	W	W	W	W	W

Abstufungen 1-9 mit 1 (= niedrig) bis 9 (= sehr hoch); Kornqualität A bis C mit abnehmender Qualität

Tab. 2b: Charakterisierung der wichtigsten Eigenschaften der in den Versuchen verwendeten Weizensorten (Bundessortenamt, 2000).

	'Kanzler'	'Gorbi'	'Ritmo'	'Bandit'	'Charger'	'Munk'
<i>Blumeria graminis</i>	-	7	5	3	4	5
<i>Septoria tritici</i>	6	5	6	5	5	5
<i>Septoria nodorum</i>	-	-	6	5	4	5
<i>Puccinia recondita</i>	-	8	7	2	5	7
<i>Puccinia striiformis</i>	-	6	4	2	5	-
Kornertrag	4	7	6	6	4	6
TKG	5	6	4	5	4	6
Kornzahl/Ähre	6	5	7	6	6	6
Qualitätsgruppe	B	C	B	A	B	B
Winter/Sommerweizen	W	W	W	W	W	S

Abstufungen 1-9 mit 1 (= niedrig) bis 9 (= sehr hoch); Kornqualität A bis C mit abnehmender Qualität

2.1.2 Pathogene (Anonymus, 2004)

- *Erysiphe graminis* DC. f. sp. tritici Em. Marchal = *Blumeria graminis* (DC.) E.O. Speer = *E. graminis* DC: Erreger des Echten Mehltaus
- *Puccinia graminis* Pers.:Pers. = *P. graminis* Pers.:Pers. f. sp. tritici Eriks. & E. Henn : Erreger des Braunrostes
- *Puccinia striiformis* Westend. *Uredo glumarum* J.C. Schmidt [anamorph]: Erreger des Gelbrostes
- *Septoria tritici* Roberge in Desmaz. *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J.Schröt. In Cohn [teleomorph]: Erreger der Blattseptoria und Spelzenbräune.

2.2 Fungizide Wirkstoffe

In den Versuchen wurden überwiegend handelsübliche Strobilurin-Präparate eingesetzt, die neben dem Strobilurin-Wirkstoff einen weiteren Wirkstoff aus einer anderen Substanzklasse beinhalten. In den meisten Fällen handelte es sich hierbei um ein Azol bzw. ein Morpholin. Bei Soloformulierungen wurde der Spritzbrühe meistens ein zusätzlicher Wirkstoff oder eine Wirkstoffkombination beigemischt, z. B. Amistar[®] + Pronto Plus[®]. Weiterhin wurden Versuchspräparate (HEC, JAU) aus der Klasse der Strobilurine (HEC) und Azole (JAU) sowie Soloformulierungen (Twist[®], F-500[®]) in

Gewächshausversuchen untersucht. Die genauen Zusammensetzungen und Applikationsmengen sind in der Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3: Zusammensetzung der Präparate und eingesetzte Aufwandmengen der verwendeten Fungizide.

Wirkstoffe	g/l	Präparat	Applikationsmenge [g a.i./ha]	Hersteller
Azoxystrobin	250	Amistar [®]	250	Syngenta
Fluoxastrobin	120- 200	HEC	188-250	Bayer Crop Science
Kresoxim-methyl + Epoxiconazol + Fenpropimorph	125 125 150	Juwel Top [®]	125 125 150	BASF AG
Picoxystrobin	250	Acanto [®]	250	Syngenta
Pyraclostrobin	250	F-500 [®]	250	BASF AG
Pyraclostrobin + Epoxiconazol	232 88	Opera [®]	232 88	BASF AG
Trifloxystrobin	125	Twist [®]	188-250	Bayer Crop Science
Trifloxystrobin + Propiconazol	188 125	Stratego [®]	188 125	Bayer Crop Science
Fenpropidin + Propiconazol + Tebuconazol	375 125 125	Gladio [®]	375 125 125	Syngenta
Spiroxamine + Tebuconazol	250 133	Pronto Plus [®]	125 66	Bayer Crop Science
Prothioconazol	-	Input [®]	150-200	Bayer Crop Science
Prothioconazol + Spiroxamine	-	Input [®]	200 375	Bayer Crop Science
Epoxiconazol	125	Opus [®]	125	BASF AG
Epoxiconazol + Fenpropimorph	84 375	Opus Top [®]		BASF AG
Quinoxifen	500	Fortress [®]	250	Dow Agro

2.3 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung

2.3.1 Gewächshausversuche

Die Versuche wurden unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus oder zum Teil in einem von drei Seiten und oben verglasten Unterstand vorgenommen. Im Gewächshaus wurden die Versuche bei Temperaturen von $20^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte von 60 bis 80 % durchgeführt. Eine Tageslänge von 16 Stunden wurde mit einer Zusatzbeleuchtung mit Natriumdampf lampen (Philips SGR 140, Deutschland) gewährleistet.

2.3.1.1 Anzucht der Versuchspflanzen

Versuche mit der Sommerweizensorte 'Munk' wurden in Mitscherlich-Gefäßen durchgeführt. Die Töpfe wurden mit einer Mischung aus gesiebttem Ackerboden (sandiger Lehm) und Sand (20 %) gleichmäßig bis 5 cm unter den Topfrand gefüllt. Der Sommerweizen wurde mit 10 Körnern pro Topf ca. 2 cm tief gesät. Um optimale Wachstumsbedingungen für die Weizenpflanzen zu gewährleisten, wurde die Wasserversorgung in Abhängigkeit vom Verbrauch der Pflanzen täglich überprüft und für alle Töpfe gleichmäßig eingestellt. Einmal wöchentlich wurden die Pflanzen mit einer 0,2 %-igen Flori 2 Flüssigdüngerlösung versorgt (Fa. Euflo, München).

Versuche mit den beiden Winterweizensorten 'Hybnos' und 'Jonas' wurden in flachen Pflanzschalen angesetzt und nach dem Keimen für 8 Wochen in eine Kühlkammer (Versuchsgut Dikopshof, Temperatur: 5°C bei einer Beleuchtung von 6 Stunden mit einer Natriumdampflampe) vernalisiert. Die Pflanzen wurden regelmäßig kontrolliert und nach Bedarf gewässert. Nach der Vernalisationsphase wurden die Pflanzen aus der Kühlkammer genommen, in Mitscherlich Töpfe pikiert und für weitere Untersuchungen ins Gewächshaus überführt.

2.3.1.2 Anlage der Versuche

Alle Varianten wurden 6-8 fach wiederholt. Die einzelnen Töpfe wurden auf dem Gewächshausboden vollständig randomisiert aufgestellt mit einem Abstand zum nächsten Topf von ca. 30 bis 40 cm, um eine gleichmäßige Beleuchtung der Pflanzen zu gewährleisten.

2.3.1.3 Fungizidbehandlung

Die Fungizidbehandlungen erfolgten mit einer handelsüblichen Pumpspritze bis zur sichtbaren Benetzung der Blätter. Die Spritzbrühen waren jeweils auf eine Konzentration eingestellt, die sich auf 400 l Wasser pro ha bezog. Die Pflanzen wurden vor der Behandlung nach Fungizidvarianten zusammengestellt und erst nach dem Abtrocknen des Spritzbelages wieder auf die vorherigen Plätze gestellt. Die Behandlungen erfolgten 1 bzw. 2 mal mit Strobilurin-haltigen Fungiziden. Weiter Applikationen um alle Pflanzen gesund zu erhalten, wurden mit Azol-Präparaten abhängig vom Infektionsdruck durchgeführt.

2.3.2 Feldversuche

Insgesamt wurden Feldversuche über 4 Vegetationsperioden vorgenommen (1999-2002). Auf dem Standort Meckenheim bei Bonn wurden während der 4 Vegetationsperioden Versuche auf den Flächen der Institutes für Pflanzenkrankheiten durchgeführt. Dort wurde ein Grossteil der Versuche für die Gaswechsel- und Chlorophyllfluoreszenzmessungen durchgeführt. Zum Teil wurden die Parzellen künstlich mit mehreren Sprengern der Fa. Gardena beregnet. Die Regner konnten exakt auf die zu berechnenden Flächen begrenzt werden. Durch einen Bewässerungscomputer (Fa. Gardena) konnten die Wassermenge bzw. die Beregnungsdauer und der Zeitpunkt eingestellt werden (jeden zweiten Tag 3 mm während der Hauptvegetationsperiode).

Sortenversuche über zwei Vegetationsperioden (2000 und 2001) wurden auf drei Standorten angelegt. Diese Versuche wurden an dem Standort Kerpen auf Flächen der Landwirtschaftskammer Rheinland, auf Flächen des Versuchsgutes Dikopshof des Institutes für Pflanzenbau und in Meckenheim durchgeführt.

Weitere Versuche zu Auswirkungen von Fungizidkonzentration und stadienorientierter Fungizidapplikation wurden in Meckenheim und auf dem Dikopshof angelegt.

Im Versuchsjahr 2001 wurden auf insgesamt acht Standorten in Nordrhein-Westfalen in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Rheinland und dem Pflanzenschutzamt Bonn Versuche zur schadschwellenorientierten Fungizidapplikation durchgeführt. Auf den Standorten Kerpen-Buir, Titz-Spiel und Beckrath wurden dabei auch Chlorophyllfluoreszenzmessungen vorgenommen.

2.3.2.1 Anlage der Feldversuche

Die Feldversuche mit mehreren Sorten wurden als zweifaktorielle randomisierte Blockanlage angelegt. Die Sorten wurden als Blöcke angelegt und die Behandlungen wurden vollständig randomisiert. Die einfaktoriellen Versuche wurden vollständig randomisiert angelegt. Die Anzahl der Wiederholungen variierte von 4 bis 12 Parzellen pro Variante. Die Parzellen hatten eine Breite von 1,5 m und eine Fläche von 12 bis 16 m² (Tab. 4).

Tab. 4: Beschreibung der Feldversuche mit Winterweizen in den Jahren 1999-2002 (sortiert nach Standort und Versuchsfrage).

Standort	Meckenheim	Meckenheim	Meckenheim	Meckenheim	Meckenheim
Versuchsjahr	1999	2000	2001	2002	2000
Aussaattermin	-	12.10.99	26.10.00	12.10.01	14.10.99
Aussaatstärke (Körner pro m ²)	-	350	350	350	350 200 (Hybnos)
Erntetermin	6.08.99	16.08.00	30.07.01	02.08.02	19.08.00
Versuchsfaktoren	Fungizidapplikation	Fungizidapplikation	Fungizidapplikation	Fungizidapplikation	Sorte und Fungizidapplikation
Behandlungstermine	EC 33 und EC 59	EC 33 und EC 59	EC 33 und EC 59	EC 33 und EC 59	EC 33 und EC 59
Sorte	'Ritmo'	'Charger'	'Charger'	'Bandit'	'Kanzler' 'Flair' 'Jonas' 'Hybnos' 'Gorbi' 'Hanseat'
Fungizidapplikation	Tebuconazol ¹ Azoxystrobin ² Kresoxim-methyl ³ Trifloxystrobin ⁴	Tebuconazol ¹ Kresoxim-methyl ³ Trifloxystrobin ⁴	Tebuconazol ¹ Trifloxystrobin ² Fluoxastrobin ⁵ Pyraclostrobin ⁶	Prothioconazol + Spiroxamine 1x Fluoxastrobin+ Prothioconazol 1x Epoxiconazol+ Fenpropimorph 2x Prothioconazol + Spiroxamine 2x Fluoxastrobin+ Prothioconazol 2x Kresoximetyl+Epoxiconazol +Fenpropimorph 2x Trifloxystrobin + Propiconazol 2x Pyraclostrobin+Epoxiconazol 2x	Tebuconazol ¹ Azoxystrobin ² Kresoxim-methyl ³ Trifloxystrobin ⁴

¹+ Propiconazol + Fenpropidin, ²+ Spiroxamin + Tebuconazol, ³+ Epoxiconazol + Fenpropimorph, ⁴+ Propiconazol, ⁵+ Spiroxamin + Tebuconazol,

⁶+ Epoxiconazol

Fortführung **Tab. 4:**

Standort	Meckenheim	Meckenheim	Dikopshof	Dikopshof	Dikopshof
Versuchsjahr	2001	2001	2000	2001	2001
Aussaattermin	26.10.00	30.10.00	26.10.99	23.10.00	10.10.00
Aussaatzstärke (Körner pro m ²)	350	350	350	350	330
Erntetermin	26.07.01	25.07.01	09.08.00	16.08.01	07.08.01
Versuchsfaktoren	Sorte und Fungizidapplikation	Fungizidapplikation	Sorte und Fungizidapplikation	Sorte und Fungizidapplikation	Fungizidapplikation
Behandlungstermine	EC 33 und EC 59	EC 59	EC 33 und EC 59	EC 33 und EC 59	EC 32, 37 und 69
Sorte	‘Kanzler’ ‘Flair’ ‘Jonas’ ‘Hybnos’ ‘Cortez’ ‘Drifter’	‘Ritmo’	‘Kanzler’ ‘Flair’ ‘Jonas’ ‘Hybnos’ ‘Gorbi’ ‘Hanseat’	‘Kanzler’ ‘Flair’ ‘Jonas’ ‘Hybnos’ ‘Cortez’ ‘Drifter’	‘Ritmo’
Fungizidapplikation	Tebuconazol ¹ Azoxytrobilin ² Kresoxim-methyl ³ Trifloxystrobin ⁴	Siehe Tab.22	Tebuconazol ¹ Azoxytrobilin ² Kresoxim-methyl ³ Trifloxystrobin ⁴	Tebuconazol ¹ Azoxytrobilin ² Kresoxim-methyl ³ Trifloxystrobin ⁴	Tebuconazol ¹ 1x Trifloxystrobin ⁴ 1x Tebuconazol ¹ 2x Trifloxystrobin ⁴ 2x Tebuconazol ¹ 3x Trifloxystrobin ⁴ 3x

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Spiroxamin + Tebuconazol, ³ + Epoxiconazol + Fenpropimorph, ⁴ + Propiconazol, ⁵ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁶ + Epoxiconazol

Fortführung **Tab. 4:**

Standort	Kerpen	Kerpen	Kerpen	Kerpen	Titz	Beckrath
Versuchsjahr	2000	2001	2001	2001	2001	2001
Aussaattermin	12.10.99	26.10.00	24.10.00	21.10.00	21.10.00	24.10.00
Aussaatzstärke (Körner pro m ²)	350	350	330	330	330	330
Erntetermin	200 (Hybnos) 17.08.00	200 (Hybnos) 08.08.01	200 (Hybnos) 07.08.01	160 (Hybnos) 07.08.01	160 (Hybnos) 07.08.01	160 (Hybnos) 02.08.01
Versuchsfaktoren	Sorte und Fungizidapplikation	Sorte und Fungizidapplikation	Fungizidapplikation	Fungizidapplikation	Fungizidapplikation	Fungizidapplikation
Behandlungstermine	EC 33 und EC 59	EC 33 und EC 59	EC 29-30 (4x) EC 31-32 (4x, 2x) EC 37-49 (4x) EC 55-65 (4x, 2x)	EC 29-30 (4x) EC 31-32 (4x, 2x) EC 37-49 (4x) EC 55-65 (4x, 2x)	EC 29-30 (4x) EC 31-32 (4x, 2x) EC 37-49 (4x) EC 55-65 (4x, 2x)	EC 29-30 (4x) EC 31-32 (4x, 2x) EC 37-49 (4x) EC 55-65 (4x, 2x)
Sorte	'Kanzler' 'Flair' 'Jonas' 'Hybnos' 'Gorbi' 'Hanseat'	'Kanzler' 'Flair' 'Jonas' 'Hybnos' 'Cortez' 'Drifter'	'Ritmo' 'Flair'	'Ritmo' 'Hybnos'	'Ritmo' 'Hybnos'	'Ritmo' 'Hybnos'
Fungizidapplikation	Tebuconazol ¹ Azoxystrobin ² Kresoxim-methyl ³ Trifloxystrobin ⁴	Tebuconazol ¹ Azoxystrobin ² Kresoxim-methyl ³ Trifloxystrobin ⁴	Azole 4x Srobilurine 4x Trifloxystrobin 2x Azoxystrobin 2x Pyraclostrobin 2x			

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Spiroxamin + Tebuconazol, ³ + Epoxiconazol + Fenpropimorph, ⁴ + Propiconazol, ⁵ + Spiroxamin + Tebuconazol,

⁶ + Epoxiconazol

2.3.2.2 Charakterisierung der Versuchsstandorte

Meckenheim

Bodentyp: Parabraunerde

Bodenart: sandiger Lehm

Bodenzahl: ca. 80

Durchschnittstemp.:	1999: 11,6
(⁰ C, März bis Juni)	2000: 12,4
	2001: 11,0
	2002: 12,0

Niederschlagsmenge:	1999: 173
(mm, März bis Juni)	2000: 199
	2001: 261
	2002: 234

Dikopshof

Bodentyp: Parabraunerde

Bodenart: sandiger Lehm

Bodenzahl: 84-96

Durchschnittstemp.:	2000: 11.4
(⁰ C, März bis Juni)	2001: 12.3

Niederschlagsmenge:	2000: 267
(mm, März bis Juni)	2001: 198

Kerpen

Bodentyp: Braunerde

Bodenart: sandiger Lehm

Bodenzahl: 86

Durchschnittstemp.:	2000: 14,9
(⁰ C, 17.4 bis 9.7.)	2001: 14,6

Niederschlagsmenge:	2000: 192
(mm, 17.4 bis 9.7.)	2001: 173

Titz

Bodentyp: Parabraunerde

Bodenart: lehmiger Sand

Bodenzahl: 80

Durchschnittstemp.:	2001: 14,5
(⁰ C, 17.4 bis 9.7.)	2001: 12.3

Niederschlagsmenge:	2001: 116
(mm, 17.4 bis 9.7.)	2001: 198

Beckrath

Bodentyp: Braunerde

Bodenart: sandiger Lehm

Bodenzahl: 85

Durchschnittstemp.:	2001: 14,5
(⁰ C, 17.4 bis 9.7.)	

Niederschlagsmenge:	2001: 134
(mm, 17.4 bis 9.7.)	

2.3.2.3 Fungizidbehandlung

Die Versuche zur Schadschwellen-orientierten Fungizidapplikation wurden durch Mitarbeiter der Landwirtschaftskammer behandelt. Die Schadschwellen für die einzelnen Pathogene wurden nach dem Integriertem Pflanzenschutz Modell Weizen nach Veeret (1995) festgelegt. Durch wöchentliche Bonitur auf den einzelnen Standorten konnten Schadschwellenüberschreitungen ermittelt und eine Behandlung veranlasst werden. Die Behandlungen erfolgten zwischen EC Stadium 49 und 59.

Alle weiteren Versuche wurden mit einer Motorrückenspritze (Birchmeier M125) und einem 1,5 m breiten Spritzbalken vorgenommen. Durch eine Druckregulierung konnte die Spritze ausgelitert werden und durch Anpassen der Schrittgeschwindigkeit alle Fungizide nach vorgeschriebener Ausbringungsmenge exakt mit 400 l/ha appliziert werden. Pflege und Düngungsmaßnahmen wurden nach ortsüblicher Praxis durch den jeweiligen betreuenden Versuchsansteller durchgeführt.

2.4 Erfassung des Pathogenbefalls und der grünen Blattfläche

2.4.1 Ermittlung des Befalls und der grünen Blattfläche

Der Erfassung des Pathogenbefalls dienten pro Wiederholung 3 Bonituren. Die Weizenpflanzen wurden nach Blattetagen getrennt auf auftretende Krankheiten bonitiert. Der Befall an *Blumeria graminis*, *Septoria tritici*, *Puccinia recondita* und *Puccinia striiformis* wurde mit Hilfe von Boniturstufen 0, 2, 5, 10 % und dann in 10 %-Schritten bis zu 100 % befallene Blattfläche pro Blatt und Blattetage erfasst. Die grüne Blattfläche und die Zunahme der Chlorosen und Nekrosen als Folge der natürlichen Seneszenz wurden mit den gleichen Boniturstufen erfasst.

2.4.2 Ermittlung des Blattgrüns mittels SPAD-Messungen

Der Gehalt des Blattgewebes an Chlorophyll kann mit dem Minolta SPAD-502[®] Chlorophyllmeter (MINOLTA CAMERA CO., LTD., JAPAN) direkt auf dem Feld bestimmt werden. Das Chlorophyllmeter misst die Intensität der Grünfärbung des Gewebes (TURNER und JUND 1994) und quantifiziert den relativen Chlorophyllgehalt des Blattes durch Messung der Licht-Transmission (spektrale Durchlässigkeit). Dies geschieht in zwei Wellenlängenbereichen, in denen sich die Absorption des Lichtes durch das

Chlorophyll unterschiedlich darstellt: der rote Bereich (600 - 700 nm) weist eine hohe Absorption auf; im Nahinfrarotbereich (> 700 nm) ist die Absorption hingegen sehr gering.

Das zu messende Blatt wird mit rotem (670 nm) und infrarotem (750 nm) Licht illuminiert. Ein Rezeptor misst die spektrale Durchlässigkeit des Blattes, indem er das durch das Blatt dringende Licht aufnimmt und es in analoge elektrische Signale umwandelt. Diese werden nach einer Verstärkung in digitale Signale konvertiert. Daraus errechnet ein Prozessor einen dimensionslosen Zahlenwert, der proportional zum Chlorophyllgehalt des Blattes ist (MINOLTA CAMERA CO., LTD., 1989). Diese Zahl wird auf dem Display angezeigt und „SPAD-Wert“ (Soil Plant Analysis Development) genannt (REEVES *et al.* 1993). Um einen verlässigen SPAD-Wert zu erhalten, müssen mehrere Blätter mit dem Gerät gemessen werden. Hierzu werden die einzelnen Blätter jeweils mit der Blattmitte auf den Bereich des Messfensters gelegt, so dass dieses vollständig abgedeckt wird. Anschließend wird der Messkopf zusammengedrückt. Aus mehreren solcher Messungen errechnet das Gerät schließlich einen Mittelwert. Weichen Messwerte der einzelnen Blätter zu stark von diesem Mittelwert ab, erfolgt eine automatische Löschung der entsprechenden Daten. Diese müssen dann durch ergänzende Messungen ersetzt werden, damit der SPAD-Wert berechnet werden kann.

Die geschilderte Bestimmung des relativen Gehaltes an Chlorophyll im Blattgewebe ist nicht abhängig von der Blattfeuchte, vom Tageszeitpunkt oder von Spritzbelägen aus Pflanzenschutzbehandlungen. Die Methode ist wenig zeitintensiv und ermöglicht durch ihre nicht-destruktive Funktionsweise weitere Analysen der gemessenen Blätter.

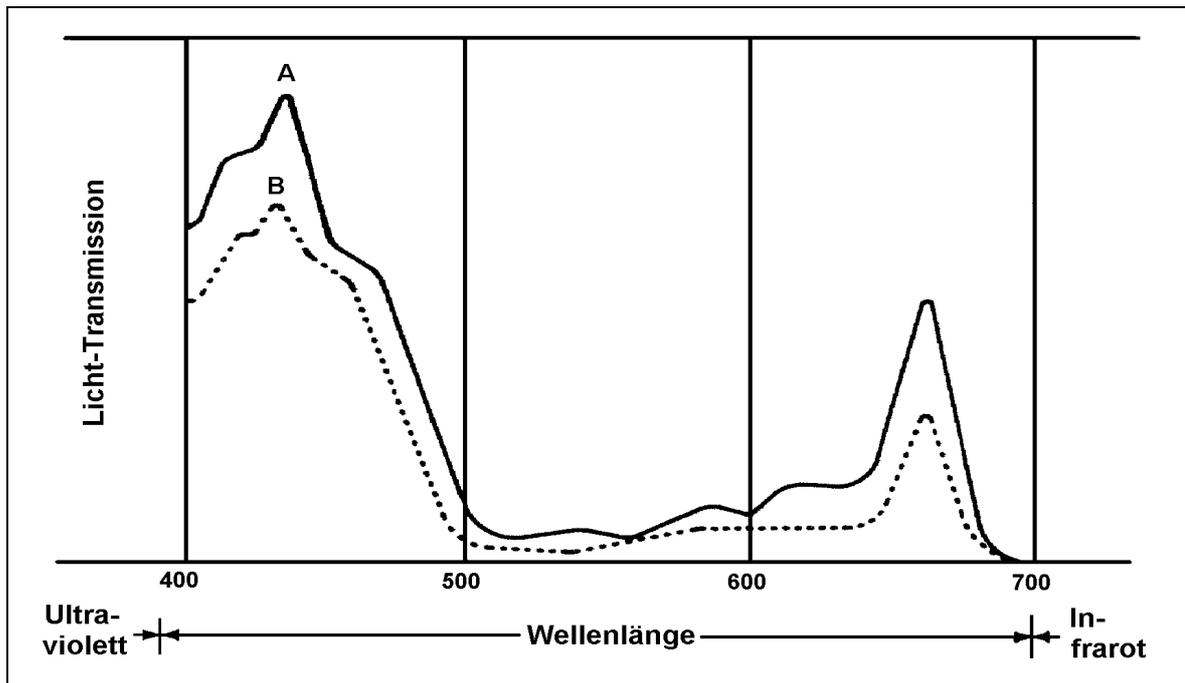


Abb. 2: Spektrale Absorption von Chlorophyll, extrahiert aus Blättern mit höherem (A) und niedrigerem Chlorophyll-Gehalt (B) (Minolta Camera Co., Ltd., 1989, verändert)

2.4.3 Ermittlung des Chlorophyllgehaltes

Die quantitative Bestimmung des Chlorophyllgehaltes der Mischprobe F/F-1 erfolgte nach Ziegler und Egle (1965). Bei der Analyse wurden 0,5 g Probenmaterial in 80% Aceton und eine Spatelspitze Quarzsand im Mörser zerkleinert, anschließend bei 20.000 Umdrehungen pro Minute bei 4 °C für 10 Minuten zentrifugiert (Beckmann Avanti J 25, Rotor JA-25.15) und der Rückstand zweimal mit 80 % Aceton gewaschen. Die Überstände wurden auf 20 ml aufgefüllt und um den Faktor 20 verdünnt, um im linearen Extinktionsbereich des Spektralphotometers messen zu können. Die Messung erfolgte bei Raumtemperatur gegen 80 % Aceton bei den Wellenlängen 647 und 664 nm. Der Gehalt an Chlorophyllpigmenten a, b und der Gesamtgehalt wurden nach der Formel bestimmt:

$$C_{\text{Chla}} = 11,78 * E_{664} - 2,29 + E_{647}$$

$$C_{\text{Chlb}} = 20,05 * E_{647} - 4,77 + E_{664}$$

Aus der Umrechnung des ermittelten Wertes erhält man den Chlorophyllgehalt pro g Frischmasse.

2.5 Bestimmung der Photosyntheseaktivität

2.5.1 Messung der Chlorophyllfluoreszenz

Die Chlorophyll-Fluoreszenz kann als relativ einfache und nichtdestruktive Methode Aussagen über die aktuelle Nutzung der absorbierten Lichtenergie (aktuelle Quantenausbeute): den Aktivitätszustand von Photosystem II d Behinderungen oder Schädigungen durch Umwelt- und Stressfaktoren liefern (Schreiber *et al.* 1987, Bolhar-Nordenkamp *et al.*, 1989).

Die Untersuchungen der Photosyntheseleistung von Weizenpflanzen bzw. Weizenblättern wurde mit dem tragbaren PAM-2000 (Fa. Walz, Effeltrich) durchgeführt. Die Zentraleinheit des Gerätes ist über eine Glasfaseroptik (2010 F) mit einer Blattklammer (Leaf-Clip-Holder 2030-B) und der Steuereinheit verbunden. Das PAM-2000 kann sowohl im Freiland wie auch im Labor eingesetzt werden. Die Blattklammer wurde für Freilanduntersuchungen optimiert, um wechselnde Umweltbedingungen in die Messungen zu integrieren. Ein Mikro-Quanten-Sensor erfasst die photosynthetisch aktive Strahlung unmittelbar an der Blattfläche und ein Thermocouple misst die Blatttemperatur in dem 0,8 cm² großen Messausschnitt.

Die Fluoreszenz des Untersuchungsobjektes wird durch kurz gepulstes Messlicht aus einer lichtemittierenden LED-Diode, die eine Peak-Wellenlänge von 655 nm aufweist, angeregt. Durch einen Kurzpassfilter regt das vom langwelligen Anteil befreite Rotlicht das Photosystem II im Blatt an. Die dadurch angeregten Fluoreszenzimpulse werden von einer durch einen Langpassfilter vor kurzwelligen Licht geschützten Pin-Photodiode detektiert. Die aufgefangenen Signale werden nach selektiver Verstärkung in einem Handheld Computer registriert (Abbildung 3).

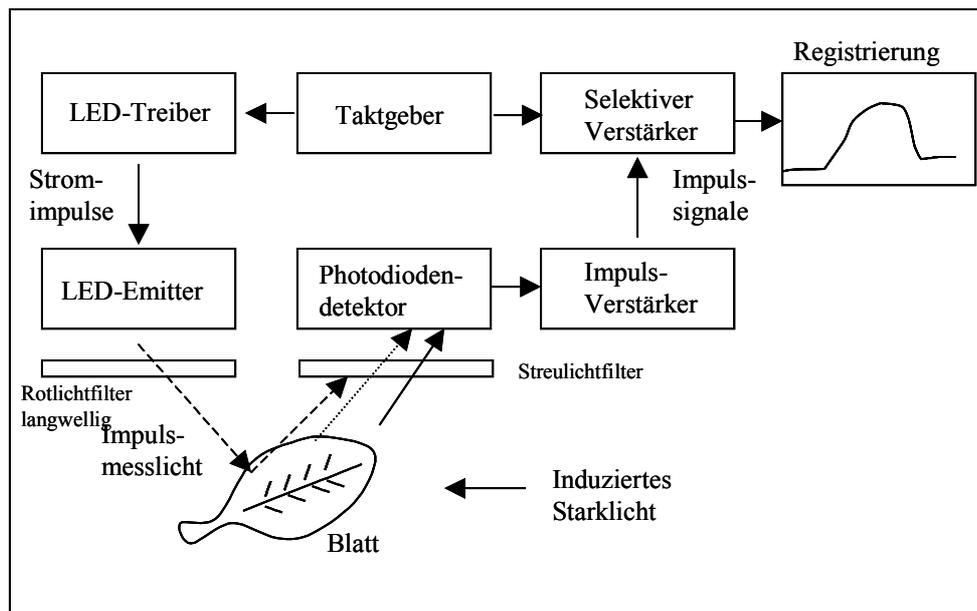


Abb. 3: Messprinzip des PAM Fluorometer 2000 der Fa. Walz (Bedienungsanleitung der Fa. Walz, verändert).

Die Software berechnet aus den gewonnenen Fluoreszenzdaten unter anderm die Parameter: Y , ETR, F_o , F_m und $F_v:F_m$. Diese Parameter sind in Tabelle 4 beschrieben.

Tab. 5: Übersicht der verwendeten Fluoreszenzparameter

Parameter	Bedeutung
Y	Yield, effektive Quantenausbeute von PS II bzw. Elektronentransportrate $Y = \frac{F_m' - F_t}{F_m'}$
ETR	Elektronentransportrate von PS II $Y * PAR * 0,5 * 0,84$ (PAR = photosynthetically active radiation, 0,5 = durch Absorption zweier Lichtquanten erfolgt der Transport eines Elektrons, 0,84 = 84% der photosynthetischen Strahlung wird durchschnittlich vom Blatt absorbiert)
F_o	Grundfluoreszenz im dunkel adaptierten Blatt; F_o' = Grundfluoreszenz im belichteten Blatt
F_m	maximale Fluoreszenz im dunkel adaptierten; Blatt $F_m' = \text{max. Fluoreszenz im belichteten Blatt}$
$F_v:F_m$	maximale relative Elektronentransportwirksamkeit von PS II $F_v : F_m = (F_m - F_o) / F_m$

Die photosynthetische Aktivität der Weizenblätter wurde durch Messung der Elektronentransportrate (Yield) erfasst. Dazu wurde ein kurzer, intensiver Lichtblitz (Sättigungspuls) appliziert, der das Photosystem II mit Lichtquanten überflutet. Die Menge der Quanten, die abgeführt werden, ist ein Maß für die Elektronentransportrate (Yield). Durch häufigeres Hintereinanderschalten von Sättigungsbliitzen (z.B. 20 mal alle 40 Sekunden) wurden die Messungen bis zu einem Gleichgewichtszustand für Kautsky-Kurve und darüber liegende Lichtsättigungskurve durchgeführt.

2.5.2 Messung des stomatären Gaswechsels

An Blättern intakter Weizenpflanzen wurden Assimilation, Respiration und Transpiration unter kontrollierten Messbedingungen mit dem CMS-400 (Fa. Walz Effeltrich, Deutschland) im Feld sowie unter Laborbedingungen gemessen. Die Lichtbedingungen wurden mit Hilfe der Kaltlichtleuchte FL-440 und einer Faseroptik 400-F (Fa. Walz) unabhängig vom Umgebungslicht eingestellt. Die Faseroptik ist so konstruiert, dass die gesamte Messkuvette gleichmäßig ausgeleuchtet wird. Das Messprinzip ist in Abbildung 4 dargestellt.

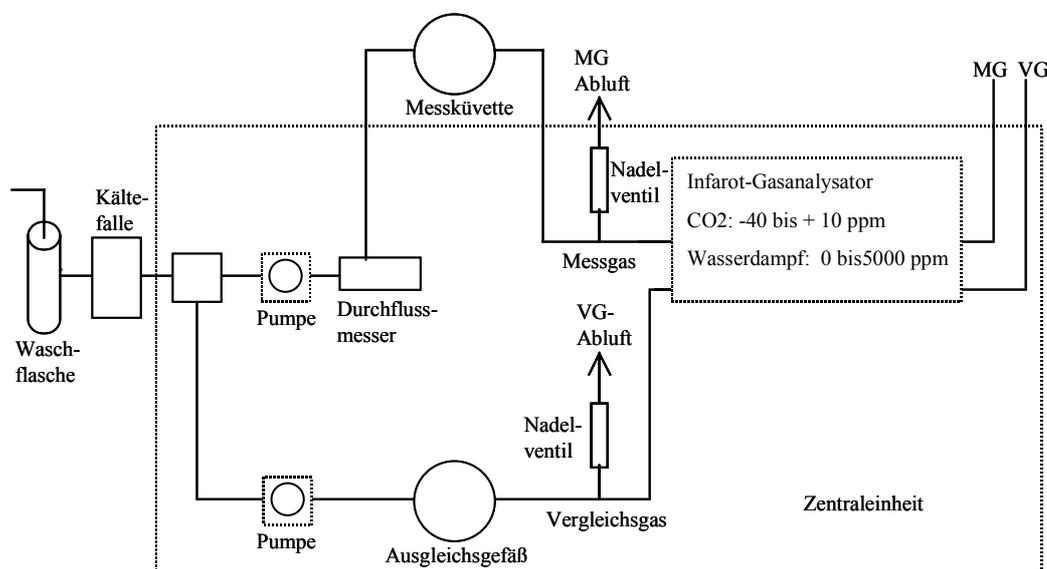


Abb. 4: Schematische Darstellung des CMS-400 der Fa. Walz (Bedienungsanleitung der Fa. Walz, verändert)

Die Messluft wurde in einer Waschflasche befeuchtet und anschließend mit Hilfe einer Kältefalle auf eine definierte Luftfeuchtigkeit (ca. 60 %) eingestellt. In der Zentraleinheit

teilt der Luftstrom sich in einen Mess- und einen Vergleichsgasstrom, deren Flussraten über Nadelventile geregelt werden. Nach Durchströmen der Messküvette bzw. eines Ausgleichsgefäßes ermittelt ein zweiteiliger Infrarot-Gasanalysator (Binos-100, Leybold-Heraeus, Hanau) zu einem die CO_2 -Differenz im Verhältnis zur Außenluft (ca. 350 ppm) und den Wassergehalt in der Messluft.

In der Messkammer, die durch Teflonschläuche und ein Datenkabel an die Zentraleinheit angeschlossen war, wurden für jede Messung zwei Weizenblätter eingespannt, deren Blattfläche - in der Messküvette - bestimmt wurde. Die Messküvette konnte über Peltier-elemente auf einer konstanten Temperatur gehalten werden, um so Temperaturschwankungen auszugleichen. Weiterhin sorgte ein Ventilator für eine gleichmäßige Luftzirkulation. Nachdem sich bei den in der Küvette eingespannten Blättern ein Gleichgewichtszustand eingestellt hatte (ca. 15 Minuten): wurden die Messdaten an einen Laptop (Freiland) bzw. an einen PC (Labor) weitergeleitet. Durch die ermittelte Blattfläche der zu messenden Blätter konnten aus den Gaswechselfparametern die Assimilationsrate (A): Transpirationsrate (E) sowie der interzelluläre CO_2 -Partialdruck (C_i) nach Caemmer und Farquhar (1981) und Nobel (1983) berechnet werden. Die Wassernutzungseffizienz WUE (water use efficiency) wurde aus dem Verhältnis Assimilationsrate zu Transpirationsrate bestimmt (Tyree und Alexander, 1993).

Für die Bestimmung der Dunkelatmung wurde die Küvette mit einer Haube vollständig abgeschirmt (Freiland) bzw. das Labor verdunkelt. Die Atmungsrate wurde nach einer Anpassungsphase (ca. 10 Minuten) als negative Assimilationsrate bestimmt und über die ermittelte Blattfläche zu einer Respirationsrate umgerechnet. Nach dem gleichen Prinzip wurde die Ährenatmung der Weizenpflanzen ermittelt.

2.6 Ertrags- und Qualitätsermittlung

2.6.1 Kornertrag

Die Ermittlung des Kornertrages fand pro Parzelle bei der Ernte durch Wiegen statt. Rückstellproben wurden im Trockenschrank bei 110 °C getrocknet, um so die Kornerträge pro Parzelle auf standardisierte 86 % Trockensubstanz bzw. 14 % Feuchte zurückzurechnen.

Die Parzellenerträge wurden auf dt/ha hochgerechnet und über die Anzahl der Wiederholungen gemittelt.

2.6.2 Tausendkorngewicht

Zur Bestimmung des Tausendkorngewichtes wurde aus jeder Wiederholung 2 mal ca. 25 g abgewogen und mit einer Kornzählmaschine die Körner gezählt oder es wurden pro Wiederholung 5 mal 100 Körner gezählt und daraus das Tausendkorngewicht bestimmt.

2.6.3 Anzahl der Körner pro Ähre

Zur Bestimmung der Anzahl der Körner pro Ähre wurden kurz vor der Ernte 10 Ähren pro Parzelle geerntet und mit einer Einzelkorndreschmaschine ausgedroschen und anschließend die Zahl der Körner mit einer Kornzählmaschine bestimmt.

2.6.4 Proteingehalt

Die Kornproben wurden 48 Stunden im Trockenschrank bei 60 °C getrocknet. Durch anschließendes Wiegen wurde die Trockenmasse bestimmt. Bevor das getrocknete Pflanzenmaterial der quantitativen Stickstoffanalyse zugeführt werden konnte, wurde es zerkleinert und die getrockneten Proben in einer Kugelmühle fein vermahlen. Die Bestimmung des relativen Gehaltes an Stickstoff in den einzelnen Proben erfolgte durch einen Auto-Analyser (CARLO-ERBA INSTRUMENTS, ITALIEN).

Etwa 8 bis 13 mg des Probematerials wird in Zinkkartuschen eingewogen. Im Anschluss daran erfolgt eine Eichung des Analysators mit Standardproben, deren Stickstoffgehalt bekannt ist. Die befüllten Zinkkartuschen gelangen aus dem Probenteller in das auf 1020 °C erhitzte Verbrennungsrohr. Hier wird der gesamte Stickstoff aller Bindungsformen zu Stickoxiden oxidiert. Durch ein kontinuierlich strömendes Trägergas (Helium) werden die gasförmigen Verbrennungsprodukte aus dem Pyrolyserohr in das Reduktionsrohr geleitet, in dem bei ca. 600 °C eine Reduktion der Stickoxide zu N₂ erfolgt. Anschließend gelangen die gasförmigen Verbrennungsprodukte in die Wasserfalle. Hier bewirkt eine stark hygroskopische Substanz (Magnesiumperchlorat) den vollständigen Wasserentzug aus dem zu analysierenden Gasgemisch, welches nachfolgend dem Gaschromatographen zugeführt wird. An der Trennsäule werden zuvor andere Verbindungen vom Stickstoff abgetrennt. Die im Analysevorgang ermittelte Konzentration an Stickstoff im Probematerial wird von einem mit dem Analyzer verbundenen Computer in Prozent der Einwaage angegeben und gespeichert. Die

Stickstoffgehalte ergeben multipliziert mit dem Faktor 6,25 die relative Proteinkonzentration in der eingewogenen Pflanzensubstanz.

2.6.5 Fallzahl

Durch die Fallzahl wird die Backqualität der Stärke des Mehles beschrieben. Bei Auswuchs wird das Enzym α -Amylase aktiviert, welches Stärke abbaut. Dadurch wird die Verkleisterungsfähigkeit der Stärke vermindert. Eine definierte Menge Mehl wird mit 25 ml destilliertem Wasser 60 sec. zu einer homogenen Suspension verrührt. Die Fallzahl drückt aus, wie lange der Rührstab braucht, um durch den Stärkekleister aus Mehl und Wasser hindurchzufallen (einschließlich der 60 sec. Rührzeit). Werte von 240 sec. sind für Backweizen gefordert (Heyland,1996).

2.6.6 Sedimentationswert

Die Bestimmung der Qualität der Körner bzw. des Mehls fand bei der Buir-Bliesheimer Agrargenossenschaft statt. Sedimentationswert, Rapid-Mix-Test und Wasseraufnahme wurden durch den Inframatic 8100 analysiert. Durch photoanalytische Messung im Infrarotbereich werden durch den Inframatic 8100 Annäherungswerte der zu Qualitätsfaktoren bestimmt. Eine geringe Kornmenge musste vermahlen und anschließend analysiert werden.

Der Sedimentationswert stellt ein wichtiges Kriterium für die Eiweißqualität dar. Er dient zur Bestimmung der Quellfähigkeit des Klebers, welche die Backfähigkeit beeinflusst. Einfacher Backweizen sollte mind. 20 cm³, sehr guter ca. 60 cm³ erreichen (Alsing *et al.*, 1993). Die Wasseraufnahme eines Mehls (in %) ist maßgebend für die Teigausbeute und die Teigfestigkeit. Diese Wasseraufnahme ist vom Proteingehalt, der Qualität des Klebers und der Kornhärte abhängig. Mehle von Sorten mit härterer Kornstruktur weisen eine höhere mechanische Stärkebeschädigung auf als Sorten mit geringen Kornhärten. Infolgedessen nehmen die Mehle aus härteren Körnern mehr Wasser auf.

Der Rapid-Mix-Test ist eine Methode zur Bestimmung der Backqualität. Die Einteilung der Mehlqualität anhand der RMT-Werte:

<500ml = nicht geeignet

500-570 = schwach

571-630 = mittel-gut

631-700 = gut

> 700 = sehr gut

2.7 Analyse des C^{12}/C^{13} – Isotopenverhältnisses

Die Analyse des δ^{13} -Wertes der Proben erfolgte über C^{12}/C^{13} -CO₂-Gasisotopenmassenspektroskopie. Die Untersuchungen wurden mit einem Massenspektrometer (20-20, Europa Scientific, Crewe, England): der mit einer Online Probenaufbereitung ausgerüstet war, durchgeführt.

Bevor das getrocknete Pflanzenmaterial der Isotopenanalyse zugeführt werden konnte, wurde es zerkleinert und die getrockneten Proben in einer Kugelmühle fein vermahlen. Die Probe wurde im Elementaranalysator unter Zufuhr von Sauerstoff verbrannt. Die Verbrennungsgase, hauptsächlich CO₂, H₂O und N₂, werden nach dem Entfernen des Wassers mit einer Magnesiumperchlorat-Falle und weiter mit einem Helium-Trägergasstrom durch eine gaschromatische Säule geführt. Hier werden die Verbrennungsgase getrennt und ein Teil des CO₂ über einen kapillaren Split dem Massenspektrometer zugeführt.

Zur Bestimmung der isotopischen Zusammensetzung des Kohlenstoffes des gesamten Kornes wurde 1 mg des getrockneten und gemahlten Materials in Zinnkartuschen eingewogen und analysiert. Mit einem Standard bekannter C-isotopischer Zusammensetzung erfolgte die Umrechnung auf den internationalen PDB-Standard.

2.8 Statistische Auswertung

Alle Versuchsdaten wurden mit dem Statistikprogramm „Sigmastat 2.0“ für Windows (Jandel Scientific Software, USA) verrechnet. Die Daten wurden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ mittels des Student-Newman-Keuls-Tests (SNK-Test) varianzanalytisch auf signifikante Unterschiede geprüft.

3 Ergebnisse

3.1 Einfluss von Strobilurin-haltigen Fungiziden auf die Ertragsphysiologie von Weizen unter kontrollierten Bedingungen

Für Fungizide aus der Gruppe der Strobilurine ist neben der Ertragswirkung durch Ausschalten der Schadwirkung der Pathogene eine zusätzliche Ertragswirksamkeit über einen direkten Einfluss auf die Physiologie der Pflanzen beschrieben. Ein messbarer Effekt ist der Erhalt der grünen Blattfläche, ein anderer die photosynthetische Aktivität der Pflanzen, die anhand der Elektronentransportrate des Photosyntheseapparates und des Gaswechsels der Pflanzen erfasst werden kann. Alle Untersuchungen wurden im Gewächshaus bzw. im Labor durchgeführt, um einen Einfluss auf die Messungen durch schwankende Umweltbedingungen auszuschließen.

Die am Markt befindlichen Strobilurin-haltigen Präparate Stratego[®] (Trifloxystrobin): Amistar[®] (Azoxystrobin) und Juwel Top[®] (Kresoxim-methyl) wurden mit einem Azol-Standard und einer unbehandelten Kontrolle hinsichtlich ihrer physiologischen Wirkung auf den Photosyntheseapparat von Sommerweizen ('Munk') untersucht. Die Fungizide wurden zu EC 32 und 61 mit den empfohlenen Aufwandmengen appliziert. Durch die mehrmalige Fungizidapplikation wurden alle behandelten Pflanzen befallsfrei gehalten.

Ein weiterer Versuch wurde mit Monopräparaten durchgeführt, die einmalig zu EC 39 appliziert wurden. Die Strobilurine - Trifloxystrobin (Twist[®]): Fluoxastrobin, Picoxystrobin (Acanto[®]) und Pyraclostrobin (F-500[®]) - wurden mit den Azol-Wirkstoffen Prothioconazol und Epoxiconazol (Opus[®]) verglichen.

3.1.1 Auswirkungen auf den photosynthetischen Elektronentransport

Die Chlorophyllfluoreszenz der ertragsrelevanten Blattetagen, insbesondere des Fahnenblattes, wurde als Parameter für die Auswirkungen der verschiedenen Behandlungen auf die Umwandlung der Sonnenenergie in biochemisch nutzbare Anregungsenergie am Photosystem II (Yield) herangezogen. Bei den in Tabelle 5 dargestellten Werten für die Quantenausbeute der Fahnenblätter zeigte sich bei allen Varianten Mitte der Blüte eine geringere Aktivität als zum Ende der Blüte. Im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode bis zur Abreife ging die Quantenausbeute der behandelten

Pflanzen wie auch der unbehandelten Pflanzen nur leicht zurück. Dieses hohe Niveau der Elektronentransportrate während der Messungen ließ sich mit der guten Wasser- und Stickstoffversorgung der Pflanzen erklären. Statistisch absicherbare Unterschiede in der Quantenausbeute zwischen den Strobilurin-haltigen Präparaten, dem Azol-Standard und den unbehandelten Pflanzen zeigten sich unregelmäßig und ohne erkennbares Muster (Tab. 6).

Tab. 6: Einfluss von Strobilurinen auf die effektive Quantenausbeute von PS II von Sommerweizen gemessen am Fahnenblatt ('Munk', Gewächshaus, 2001).

EC	Quantenausbeute von Photosystem II [rel. Einheiten]				
	Unbehandelt	Tebuconazol ¹	Trifloxystrobin ²	Azoxystrobin ³	Kresoxim-methyl ⁴
65	0,44 ± 0,05 a	0,48 ± 0,04 b	0,49 ± 0,02 b	0,51 ± 0,02 c	0,49 ± 0,02 b
69	0,54 ± 0,04 a	0,52 ± 0,09 a	0,58 ± 0,03 b	0,56 ± 0,04 a	0,56 ± 0,03 a
77	0,45 ± 0,09 a	0,48 ± 0,06 b	0,50 ± 0,06 b	0,49 ± 0,04 b	0,49 ± 0,07 b
85	0,47 ± 0,07 a	0,45 ± 0,03 b	0,50 ± 0,04 c	0,47 ± 0,02 a	0,50 ± 0,04 c

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte eines Messtermins mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Bei der Verwendung von neueren Strobilurin-Präparaten - Fluoaxstrobin, Picoxystrobin, oder Pyraclostrobin - zeigte sich bei allen Varianten zur Mitte des Ährenschiebens ein vergleichbar hohes Niveau der photosynthetischen Aktivität, das während der Abreife deutlich abnahm (Tab. 7). Dieses Abfallen der Leistung ist abhängig von dem natürlichen Alterungsprozess der Pflanzen und wird zum Teil durch Umweltbedingungen wie z.B. Wasserversorgung, Stickstoffversorgung und Krankheitsbefall beeinflusst. In den Gewächshausversuchen wurden Düngung und Wasserversorgung für alle Versuchsvarianten gleich gehalten. An den Fungizid-behandelten Pflanzen konnte kein Pathogenbefall bonitiert werden und auch die unbehandelten Pflanzen wiesen nur einen Befall von *Blumeria graminis* unter 1 % auf. Der geringe Befall spiegelte sich auch in den geringen Unterschieden der Quantenausbeute zwischen der unbehandelten Kontrolle und den mit Azol-behandelten Pflanzen wider. Eine genaue Differenzierung der einzelnen Behandlungen war nicht möglich. Zwar hatten die Strobilurin-behandelten Pflanzen zur Abreife hin einen etwas höheren Quantenumsatz als die Azol-behandelte Pflanzen und die unbehandelten Kontrollpflanzen, dieser war aber statistisch nicht absicherbar (Tab. 7).

Tab. 7: Einfluss von Strobilurinen auf die effektive Quantenausbeute von PS II von Sommerweizen gemessen am Fahnenblatt ('Munk', Gewächshaus, 2002).

EC	Quantenausbeute Photosystem II						
	Unbehandelt	Epoxi-conazol	Prothio-conazol	Fluoxa-strobin	Trifloxy-strobin	Picoxy-strobin	Pyraclastrobin
55	0,61 ± 0,02	0,63 ± 0,01	0,61 ± 0,03	0,63 ± 0,02	0,62 ± 0,03	0,63 ± 0,02	0,62 ± 0,02
69	0,62 ± 0,03	0,63 ± 0,03	0,64 ± 0,02	0,64 ± 0,02	0,64 ± 0,02	0,63 ± 0,02	0,64 ± 0,03
77	0,59 ± 0,04	0,60 ± 0,03	0,59 ± 0,02	0,62 ± 0,03	0,63 ± 0,02	0,64 ± 0,03	0,63 ± 0,02
85	0,40 ± 0,05	0,38 ± 0,16	0,45 ± 0,08	0,46 ± 0,24	0,44 ± 0,07	0,45 ± 0,21	0,46 ± 0,17

n.s., SNK-Test, $p \leq 0,05$

3.1.2 Auswirkungen auf den stomatären Gaswechsel

Während die Chlorophyllfluoreszenz eher eine Bewertung des momentanen Aktivitätszustandes des gesamten Photosyntheseapparates widerspiegelt, bestimmt der stomatäre Gaswechsel neben dem Wasserhaushalt auch die pflanzliche CO₂-Assimilation.

Zum gleichen Termin der Bestimmung der Elektronentransportrate wurde auch der Gaswechsel der Fahnenblätter gemessen. Die Assimilationsrate der unterschiedlich behandelten Pflanzen wies hier wie auch bei der Quantenausbeute eine Abnahme der Photosyntheseaktivität während der Abreife auf. Jedoch war bei den Gaswechsellmessungen eine bessere Differenzierung im Vergleich zu den Chlorophyllfluoreszenzmessungen der einzelnen Fungizid-behandelten Weizenpflanzen möglich. Während der gesamten Untersuchungszeit hielten die Strobilurin-Varianten gegenüber den unbehandelten und den Azol-behandelten Pflanzen ein höheres Assimilationsniveau aufrecht. Signifikant höhere Assimilationsraten wiesen die Fahnenblätter der Strobilurin-behandelten Pflanzen zwischen dem Ende der Blüte und Mitte der Milchreife auf (Abb. 5 und Tab. 8).

Auch bei dem Vergleich von Strobilurinen wie Fluoxastrobin, Picoxystrobin und Pyraclostrobin, die z.T. eine höhere Systemizität aufweisen, zeigten sich keine Unterschiede in der Höhe der Assimilationsraten zwischen den einzelnen Strobilurinen (Tab. 3). Hier ging ebenfalls die Assimilationsrate aller Pflanzen während der Abreife deutlich zurück. Allerdings lag die CO₂-Assimilation der Strobilurin-behandelten Pflanzen über den Assimilationsraten der Azol-behandelten bzw. der unbehandelten Pflanzen. Ab Ende der Milchreife waren die Assimilationsraten der Strobilurin-behandelten Pflanzen im Vergleich zu den Azol- bzw. unbehandelten Pflanzen signifikant

höher. Keinen signifikanten Einfluss hatten die Fungizidbehandlungen auf den Wasserausnutzungskoeffizienten. Die Respirationsraten der Strobilurin-behandelten Pflanzen lagen aber tendenziell über den der unbehandelten und Azol-behandelten Pflanzen. (Tab. 9, 10).

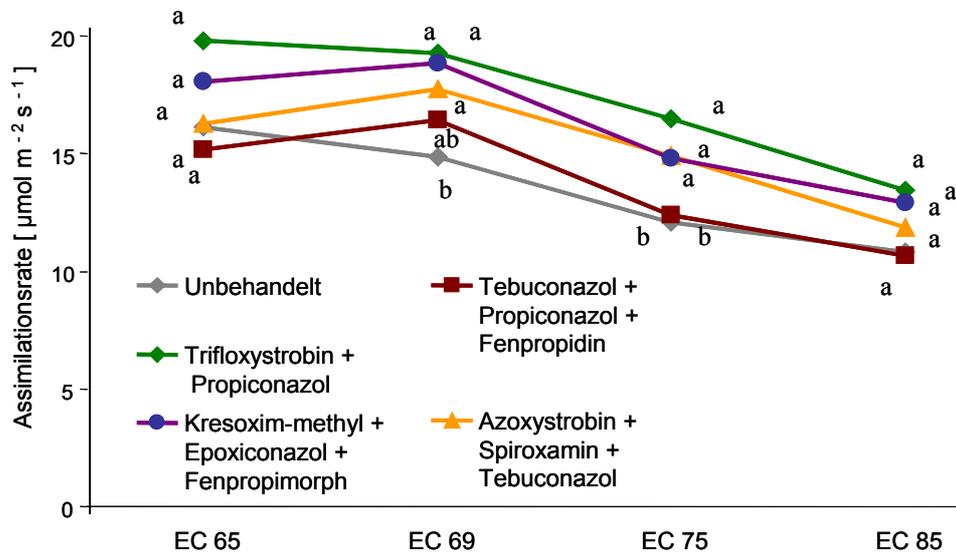


Abb. 5: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die CO₂-Assimilation des Fahnenblattes von Sommerweizen ('Munk', 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte eines Messtermins mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

Tab. 8: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die CO₂-Assimilation des Fahnenblattes von Sommerweizen ('Munk', Gewächshaus, 2002).

EC	Assimilationsrate [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]						
	Unbe- handelt	Epoxi- conazol	Prothio- conazol	Fluoxa- strobilin	Trifloxy- strobilin	Picoxy- strobilin	Pyraclor- strobilin
55	26,8 ± 0,98 a	26,8 ± 0,80 a	27,7 ± 0,52 a	28,3 ± 0,56 a	29,1 ± 1,9 a	28,7 ± 0,71 a	28,8 ± 0,48 a
69	21,1 ± 1,64 a	22,2 ± 0,92 a	21,4 ± 1,72 a	22,6 ± 1,72 a	23,8 ± 1,14 a	24,1 ± 1,56 a	22,7 ± 2,00 a
77	16,9 ± 0,56 a	17,3 ± 0,43 a	17,3 ± 0,91 a	19,0 ± 0,12 b	19,8 ± 0,16 b	19,6 ± 0,52 b	19,0 ± 0,38 b
85	4,1 ± 0,24 a	4,3 ± 0,98 a	5,7 ± 0,42 ab	6,3 ± 0,82 b	6,9 ± 0,65 b	6,9 ± 0,69 b	6,1 ± 0,72 b

SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte eines Messtermins mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Tab. 9: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die Respirationsrate des Fahnenblattes von Sommerweizen ('Munk', Gewächshaus, 2002)

EC	Respirationsrate [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]						
	Unbe- handelt	Epoxi- conazol	Prothio- conazol	Fluoxa- strobilin	Trifloxy- strobilin	Picoxy- strobilin	Pyraclor- strobilin
55	0,90 ± 0,83	1,17 ± 0,14	1,57 ± 0,14	1,58 ± 0,33	1,46 ± 0,4	1,39 ± 0,31	1,90 ± 0,24
69	0,72 ± 0,29	0,83 ± 0,35	0,93 ± 0,23	0,67 ± 0,25	0,75 ± 0,15	0,91 ± 0,3	1,16 ± 0,37
77	0,44 ± 0,07	0,57 ± 0,24	0,85 ± 0,15	0,71 ± 0,12	0,64 ± 0,07	0,67 ± 0,14	0,51 ± 0,13
85	0,57 ± 0,05	0,53 ± 0,16	0,52 ± 0,22	0,72 ± 0,24	0,57 ± 0,07	0,77 ± 0,21	0,66 ± 0,17

n.s. SNK-Test, $p \leq 0,05$ **Tab. 10:** Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die Water use-efficiency des Fahnenblattes von Sommerweizen ('Munk', Gewächshaus, 2002,)

EC	Water-Use-Efficiency [$\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$]						
	Unbe- handelt	Epoxi- conazol	Prothio- conazol	Fluoxa- strobilin	Trifloxy- strobilin	Picoxy- strobilin	Pyraclor- strobilin
55	9,62 ± 0,61	8,76 ± 0,53	9,23 ± 1,42	9,47 ± 1,82	9,81 ± 0,73	9,48 ± 0,14	8,84 ± 1,05
69	8,09 ± 0,21	7,2 ± 0,55	8,28 ± 0,54	7,26 ± 0,63	6,91 ± 0,17	7,01 ± 0,43	8,01 ± 1,36
77	8,33 ± 0,50	7,32 ± 0,97	7,13 ± 1,26	7,95 ± 1,16	6,78 ± 0,64	7,35 ± 0,34	7,46 ± 0,76
85	4,90 ± 2,69	4,96 ± 1,69	5,77 ± 1,53	3,52 ± 0,33	4,63 ± 1,75	4,82 ± 2,20	5,39 ± 2,59

n.s. SNK-Test, $p \leq 0,05$

3.1.3 Einfluss auf die Vitalität der Blätter

Bei allen Versuchen wiesen die Strobilurin-behandelten Weizenblätter im Vergleich zu den Azol-behandelten bzw. unbehandelten Weizenblättern in der Abreifephase eine verzögerte Seneszenz auf, die sich an einem längeren Erhalt der grünen Blattfläche erkennen lässt. Zwischen den Azol- und den unbehandelten Pflanzen zeigten sich bei dem Erhalt der grünen Blattfläche keine Unterschiede. Das lässt sich durch den nicht vorhandenen Pathogenbefall erklären lässt (Abb. 6).

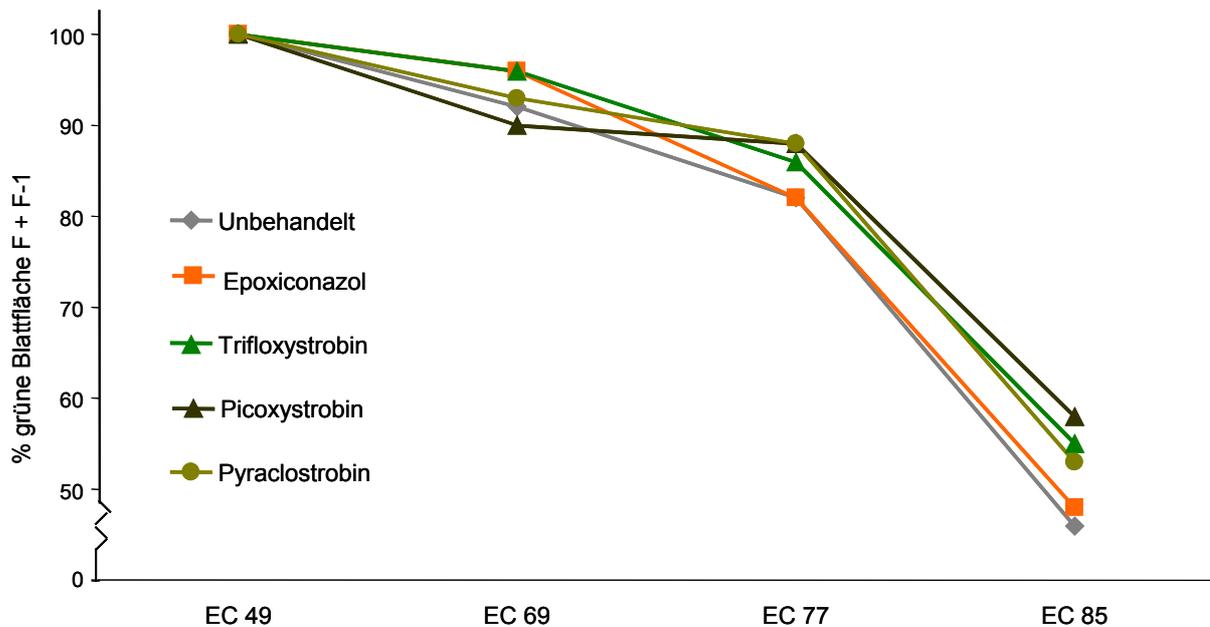


Abb. 6: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die grüne Blattfläche von Fahnenblatt und F-1 von Sommerweizen ('Munk', 2002, n.s. SNK-Test, $p \leq 0,05$).

3.2 Einfluss von Strobilurin-haltigen Fungiziden auf die Ertragsphysiologie von Weizen unter Feldbedingungen

Um zu untersuchen, inwieweit die im Gewächshaus bzw. Labor gewonnenen Daten ins Freiland übertragbar sind, wurde über vier Vegetationsperioden (1999 - 2002) auf dem Versuchsstandort Meckenheim mit Hilfe von Chlorophyllfluoreszenz- und Gaswechsellmessungen der Einfluss von Strobilurin-haltigen Präparaten auf Winterweizen mit dem eines Azol-Fungizides und einer unbehandelten Kontrolle verglichen. Mit der Chlorophyllfluoreszenztechnik wurden die Auswirkungen der verschiedenen Behandlungen auf die Energieumwandlung am Photosystem II bzw. die Elektronentransportrate zu mehreren Terminen bis hin zur Abreife untersucht. Weiterhin wurde zu diesen Terminen auch die Höhe der CO_2 -Assimilationsrate an den ertragsrelevanten Blättern bestimmt (Gaswechsellmessungen). Untersucht wurde auch, ob die höhere Photosyntheseleistung der Strobilurin-behandelten Pflanzen sich letztendlich auch in einem Ertragszuwachs wiederfinden lässt.

Durch mehrmalige Fungizidapplikationen wurden alle Varianten befallsfrei gehalten, um so die Effekte eines Pathogenbefalls auf ertragsphysiologisch relevante Parameter auszuschließen. Alle eingesetzten Strobilurin-Präparate wurden nicht als Monopräparate,

sondern mit ihren jeweiligen Mischungspartnern auf Azol- bzw. Morpholin-Basis eingesetzt.

3.2.1 Auswirkungen auf die Photosyntheseleistung

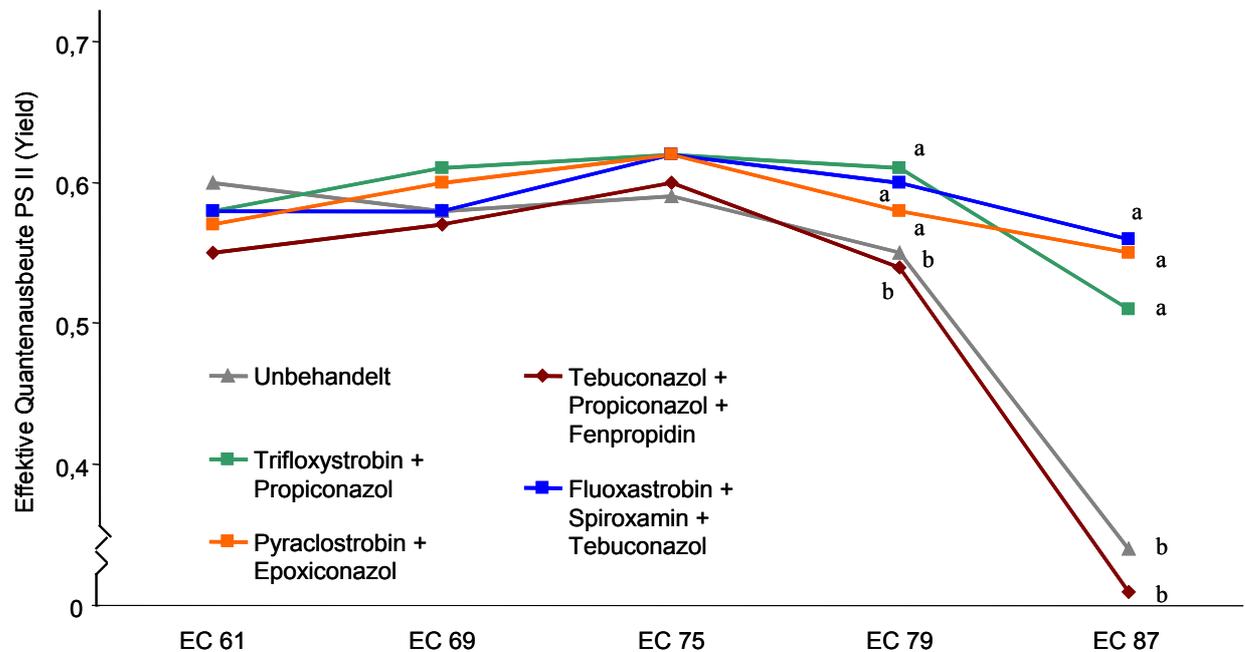


Abb. 7: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die Quantenausbeute von PS II am Fahnenblatt von Winterweizen ('Charger', Meckenheim, 2001; Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$).

Im Vergleich zu den Messungen im Gewächshaus konnte unter Freilandbedingungen eine deutlich stärkere Abnahme der Leistungskapazität der Pflanze während der Abreife gemessen werden (Abb. 7 und 8). Insbesondere bei der CO_2 -Assimilationsrate war dieser Effekt deutlich zu erkennen. Die Messkurven sowohl der Elektronentransportrate als auch der Assimilationsrate verliefen bei den unbehandelten Pflanzen und den Azol-behandelten Pflanzen nahezu gleichsinnig. Dies resultierte aus dem nicht vorhandenen Pathogenbefall, der sich auch in den minimalen Ertragsunterschieden zeigte (Abb. 12). Die Assimilationsrate der Strobilurin-behandelten Pflanzen lag während der gesamten Messperiode zum Teil signifikant über den Messergebnissen des Azol-Standards und der Kontrollpflanzen. Die Messkurven der Elektronentransportrate nahmen einen ähnlichen Verlauf wie die der Assimilationsraten und wiesen ab Ende der Milchreife signifikant höhere Werte für die Strobilurin-behandelten Pflanzen auf. Die schon vor dem Beginn der Seneszenz einsetzenden erhöhten Photosyntheseraten führten letztendlich auch zu

signifikanten Ertragsunterschieden im Vergleich zu den Azol-behandelten Pflanzen. Der Wirkstoff Fluoxastrobin verursachte an den Weizenpflanzen leichte Aufhellungen nach der Applikation, die sowohl mit dem SPAD-Meter (Tab. 11) als auch mit der Gaswechselanlage erfasst werden konnten. Diese Aufhellungen führten verglichen mit den anderen Behandlungen zu geringeren Assimilationsraten (Abb. 8). Ab der Milchreife erholten sich die Pflanzen und die Messwerte lagen auf gleichem Niveau wie die der anderen Strobilurine. Diese nur kurzfristige Schädigung des Photosyntheseapparates führte aber dennoch zu einem deutlichen Ertragsverlust gegenüber den Trifloxystrobin- und den Pyraclostrobin-behandelten Pflanzen (Abb. 12).

Tab. 11: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf den Chlorophyllgehalt von Weizen gemessen mit einem SPAD-Meter ('Charger', Meckenheim, 2001).

EC	SPAD-Werte [rel. Einheiten]				
	Unbehandelt	Tebuconazol ¹	Trifloxystrobin ²	Fluoxastrobin ³	Pyraclostrobin ⁴
47	48,5 a	45,9 a	44,0 a	37,5 b	42,3 b
55	47,1 a	45,2 a	45,1 a	38,2 b	40,8 b
65	48,2 a	44,0 ab	45,8 ab	41,1 b	43,3 ab

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol
SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte eines Messtermins mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

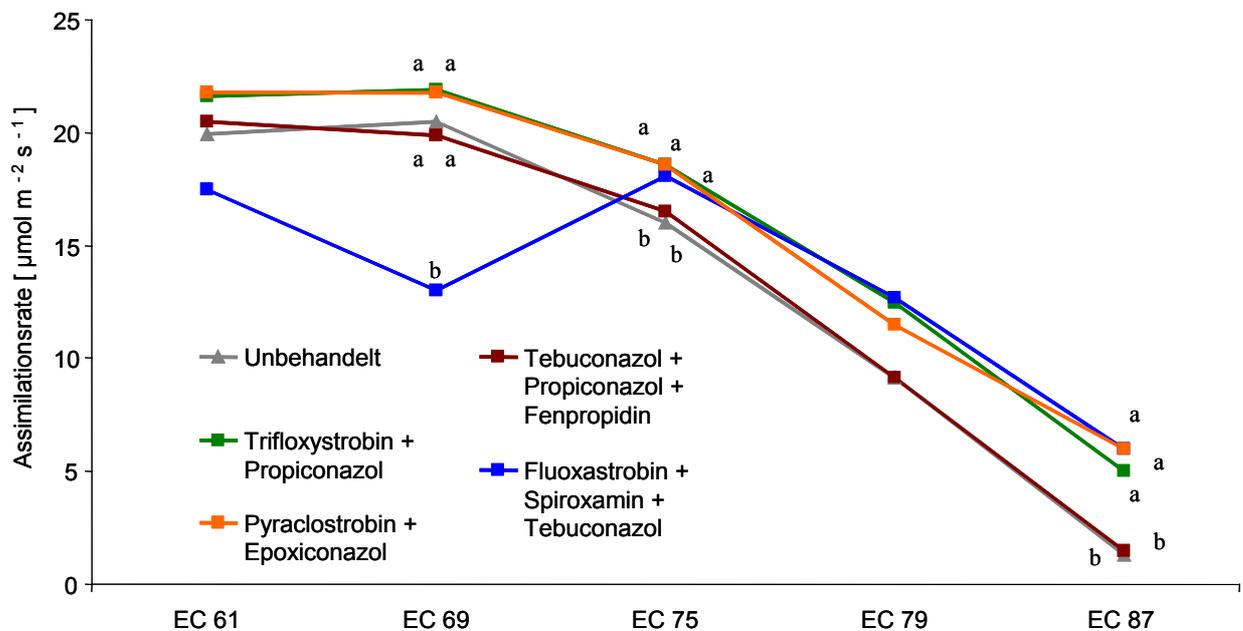


Abb. 8: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die CO₂-Assimilation des Fahnenblattes von Winterweizen ('Charger', Meckenheim 2001; Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$).

Auch eine Wiederholung des Versuches mit den gleichen Wirkstoffen bestätigte die Messergebnisse der Chlorophyllfluoreszenz und des Gaswechsels. In der zweiten Versuchsreihe wurden bei der Applikation von Fluoxastrobin keine Aufhellungen festgestellt. Die Messergebnisse der Elektronentransportrate sowie die der Assimilationsrate bestätigten diese Beobachtungen. Die Werte der Quantenausbeute wie auch die Höhe der CO₂-Assimilationsrate lagen auf gleicher Höhe mit anderen Strobilurinen, die letztendlich auch zu einer gleichen Ertragssteigerung gegenüber den Azol-behandelten Pflanzen führte.

Analog zu dem oben erwähnten Versuch wiesen alle Strobilurin-behandelten Pflanzen eine verstärkte Leistung auf, die zum Ende der Vegetationsperiode zum Teil signifikant erhöht war (Tab. 12 und 13). Weizenpflanzen, die mit den Wirkstoffen Fluoxastrobin und Prothioconazol einmal behandelt wurden, wiesen zu Beginn der Messungen ein gleiches Leistungsniveau auf wie die anderen Strobilurin- bzw. mit einem Azol-Morpholin-Gemisch behandelten Pflanzen. Ab EC 77 zeigten die einmal behandelten Weizenpflanzen eine geringere Photosyntheseleistung, die auf einen Pathogenbefall mit *Septoria tritici* zurückzuführen war (Abb. 10). Der Verlust an assimilatorischer Blattfläche spiegelte sich auch in Ertragsverlusten wider (Abb. 13).

Weiterhin wurde untersucht, ob Blätter der Blatttage F-1 auf die Behandlung mit Strobilurinen abweichend von den Fahnenblättern reagieren. Die Ergebnisse zeigten, dass alle eingesetzten Strobilurine wie in den vorigen Versuchen eine höhere Pflanzenleistung an den Fahnenblättern induzierten. Die Messergebnisse der Blätter des Fahnenblattes folgten zeitlich verzögert den Werten von F-1 (Tab. 14 und 15). Die Verzögerungen sind durch die frühere Seneszenz an den F-1 Blättern erklärbar.

Tab. 12: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die Quantenausbeute von PS II des Fahnenblattes von Weizen ('Bandit', Meckenheim, 2002).

EC	Quantenausbeute von Photosystem II (Yield)										
	Unbehandelt	Epoxiconazol + Fenpropimorph 2x	Prothioconazol + Spiroxamine 2x	Prothioconazol + Spiroxamine 1x	Fluoxastrobin + Prothioconazol 1x	Fluoxastrobin + Prothioconazol 2x	Kresoxim-methyl+ Epoxiconazol+ Fenpropimorph 2x	Trifloxystrobin + Propiconazol 2x	Pyraclostrobin + Epoxiconazol 2x		
49	0,55 ± 0,04 a	0,58 ± 0,04 a	-	0,58 ± 0,03a	0,58 ± 0,03 a	-	-	-	-	-	-
69	0,59 ± 0,04 a	0,58 ± 0,04 a	0,60 ± 0,03 a	0,59 ± 0,03 a	0,62 ± 0,03 a	0,62 ± 0,03 a	0,61 ± 0,04 a	0,63 ± 0,02 a	0,62 ± 0,02 a		
77	0,52 ± 0,05 a	0,55 ± 0,07 a	0,57 ± 0,06 a	0,57 ± 0,06 a	0,59 ± 0,04 a	0,59 ± 0,04 a	0,60 ± 0,04 a	0,60 ± 0,02 a	0,59 ± 0,03 a		
85	0,26 ± 0,09 a	0,24 ± 0,07 a	0,25 ± 0,07 a	0,27 ± 0,07 a	0,34 ± 0,05 ab	0,45 ± 0,05 b	0,43 ± 0,05 b	0,41 ± 0,1 b	0,42 ± 0,07 b		

SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte eines Messtermins mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Tab 13: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die CO₂-Assimilation des Fahnenblattes von Weizen ('Bandit', Meckenheim, 2002).

EC	Assimilationsrate [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]										
	Unbehandelt	Epoxiconazol + Fenpropimorph 2x	Prothioconazol + Spiroxamine 2x	Prothioconazol + Spiroxamine 1x	Fluoxastrobin + Prothioconazol 1x	Fluoxastrobin + Prothioconazol 2x	Kresoxim-methyl+ Epoxiconazol + Fenpropimorph 2x	Trifloxystrobin + Propiconazol 2x	Pyraclostrobin + Epoxiconazol 2x		
49	22,0 ± 0,3 a	21,5 ± 0,7 a	-	21,6 ± 1,7°	23,1 ± 1,1 a	-	-	-	-	-	-
69	20,3 ± 1,5 a	21,1 ± 0,8 a	21,9 ± 0,4 ab	21,9 ± 0,2 ab	23,0 ± 0,6 ab	22,8 ± 0,5 ab	22,8 ± 0,7 ab	23,1 ± 0,7 b	23,1 ± 0,3 b		
77	15,8 ± 0,9 a	16,0 ± 0,4 a	17,7 ± 0,6 ab	16,0 ± 0,6 a	17,3 ± 0,8 ab	18,0 ± 0,6 b	18,5 ± 0,7 b	18,5 ± 0,3 b	18,2 ± 1,3 b		
85	2,8 ± 1,6 a	2,2 ± 0,4 a	3,3 ± 1,4 a	2,3 ± 0,5 a	2,8 ± 0,5 a	8,7 ± 2,3 b	8,0 ± 0,8 b	7,6 ± 1,5 b	8,7 ± 1,3 b		

SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte eines Messtermins mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Tab. 14: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die Quantenausbeute von PS II des Fahnenblattes und F-1 von Weizen ('Charger', Meckenheim, 2000).

Blatttage	Quantenausbeute von Photosystem II (Yield)				
	EC	Unbehandelt	Tebuconazol ¹	Trifloxystrobin ²	Kresoxim-methyl ³
F-1	61	0,52 ± 0,01 a	0,53 ± 0,03 a	0,58 ± 0,01 a	0,55 ± 0,01 a
	72	0,46 ± 0,05 a	0,49 ± 0,05 b	0,49 ± 0,04 c	0,50 ± 0,04 c
	81	0,35 ± 0,02 a	0,35 ± 0,03 a	0,44 ± 0,04 b	0,51 ± 0,03 c
Fahnenblatt	59	0,60 ± 0,07 a	0,59 ± 0,02 a	0,62 ± 0,01 a	0,59 ± 0,01 a
	69	0,40 ± 0,04 a	0,40 ± 0,10 a	0,43 ± 0,07 a	0,44 ± 0,06 a
	79	0,46 ± 0,02 a	0,47 ± 0,04 a	0,50 ± 0,08 a	0,50 ± 0,07 a
	87	0,15 ± 0,04 a	0,24 ± 0,03 b	0,42 ± 0,03 c	0,42 ± 0,03 c

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
SNK-Test, p ≤ 0,05, Werte eines Messtermins mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Tab. 15: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die Assimilationsrate des Fahnenblattes und F-1 von Weizen ('Charger', Meckenheim, 2000).

Blatttage	Assimilationsrate [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]				
	EC	Unbehandelt	Tebuconazol ¹	Trifloxystrobin ²	Kresoxim-methyl ³
F-1	61	12,7 ± 0,68 a	11,8 ± 1,56 a	13,9 ± 1,97 a	13,3 ± 1,08 a
	72	11,3 ± 0,20 a	12,3 ± 1,50 a	13,4 ± 1,96 a	12,8 ± 1,54 a
	81	4,0 ± 0,92 a	4,3 ± 0,47 a	7,5 ± 1,78 b	6,2 ± 1,68 b
Fahnenblatt	59	17,0 ± 0,81 a	17,0 ± 2,26 a	18,7 ± 0,90 a	17,5 ± 1,36 a
	69	10,8 ± 1,64 a	12,1 ± 0,46 a	13,0 ± 3,46 a	12,8 ± 1,34 a
	79	5,9 ± 1,29 a	5,4 ± 1,63 a	9,7 ± 1,48 b	7,6 ± 1,68 a
	87	0,5 ± 0,19 a	0,9 ± 0,18 b	3,3 ± 1,14 c	3,2 ± 0,80 c

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
SNK-Test, p ≤ 0,05, Werte eines Messtermins mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Die Transpirationsrate beschreibt die Wasserabgabe durch die geöffneten Stomata während der Photosynthese und ist ein Parameter, der die Leistungsfähigkeit der Pflanzen beeinflusst. Unter Feldbedingungen ist die Wasserversorgung oft ein limitierender Faktor für die Pflanzenleistung. Besonders durch erhöhte CO₂-Assimilationsraten, die durch Strobilurine ausgelöst werden, könnte es zu erhöhten Wasserverlusten kommen. Die Messungen in den Feldversuchen zeigten, dass es durch Strobilurin- wie auch Azol-Behandlungen keinen signifikant negativen Einfluss auf die Transpirationsrate und auf die aus Transpiration- und Assimilationsrate abgeleitete Water use efficiency gab.

Ein Kennwert für die stomatäre Leitfähigkeit ist die CO₂-Konzentration im Interzellularraum. Bei allen Varianten kam es zu einer CO₂-Anreicherung im Blatt von

100 bis zu 150 ppm im Vergleich zur Kohlendioxid-Konzentration der Atmosphäre. Im Jahr 2000 wurde diese CO₂-Verarmung im Blatt durch die Fungizidbehandlungen deutlich beeinflusst gegenüber den unbehandelten Pflanzen. Im nächsten Versuchsjahr konnte dieser Effekt nicht gemessen werden.

Ein der CO₂-Assimilation entgegenwirkender Prozess ist die Dunkelatmung. Strobilurine hatten keinen Einfluss auf die Respirationsraten der behandelten Pflanzen im Vergleich zu unbehandeltem sowie Azol-behandeltem Weizen (Tab. 16, 17 und 18).

Tab. 16: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die Transpirationsrate, die Water use efficiency und auf die CO₂ Konzentration im Interzellularraum des Fahnenblattes von Weizen ('Charger', Meckenheim, 2000).

	Unbehandelt	Tebuconazol ¹	Trifloxystrobin ²	Kresoxim-methyl ³
Transpirationsrate [mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹]	0,8 ± 0,28	1,1 ± 0,38	1,2 ± 0,2	1,2 ± 0,24
Water use efficiency WUE	8,6 ± 2,7	10,4 ± 2,1	11,0 ± 1,9	10,3 ± 2,2
CO ₂ - Konzentration im Interzellularraum [ppm]	231,8 ± 10,5	202,8 ± 14,5	201,2 ± 5,3	200,0 ± 10,5

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
n.s., SNK-Test, p ≤ 0,05

Tab. 17: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die Respirationsrate, Transpirationsrate, Water use efficiency und auf die CO₂-Konzentration im Interzellularraum des Fahnenblattes von Weizen ('Charger', Meckenheim, 2001).

2001	Unbehandelt	Tebuconazol ¹	Trifloxystrobin ²	Fluoxastrobin ³	Pyraclostrobin ⁴
Respirationsrate [μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹]	0,60 ± 0,23	0,47 ± 0,24	0,52 ± 0,12	0,82 ± 0,49	0,49 ± 0,39
Transpirationsrate [mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹]	1,87 ± 0,84	1,95 ± 0,79	2,33 ± 0,69	2,14 ± 0,38	2,33 ± 0,56
Water use efficiency WUE	6,50 ± 2,4	6,38 ± 2,1	6,57 ± 1,5	6,16 ± 1,5	6,57 ± 1,67
CO ₂ - Konzentration im Interzellularraum [ppm]	255 ± 35,3	259 ± 26,6	258 ± 18,6	263 ± 19,7	254 ± 17,1

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol
n.s., SNK-Test, p ≤ 0,05

Tab. 18: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die Respirationsrate, Transpirationsrate, Water use efficiency und auf die CO₂-Konzentration im Interzellularraum des Fahnenblattes von Weizen ('Bandit', Meckenheim, 2002)

2002	Respirationsrate [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]	Transpirationsrate [$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]	Water use efficiency WUE	CO ₂ -Konzentration im Interzellularraum [ppm]
Unbehandelt	0,38 ± 0,13	1,98 ± 0,77	6,98 ± 2,6	249 ± 24
Epoxiconazol+ Fenpropimorph 2x	0,38 ± 0,05	1,95 ± 1,02	7,14 ± 1,7	259 ± 27
Prothioconazol + Spiroxamine 2x	0,40 ± 0,05	1,92 ± 1,08	6,79 ± 1,8	254 ± 11
Prothioconazol + Spiroxamine 1x	0,39 ± 0,09	1,94 ± 0,92	7,15 ± 2,3	252 ± 19
Fluoxastrobin+ Prothioconazol 1x	0,35 ± 0,06	2,15 ± 0,83	6,95 ± 2,7	261 ± 26
Fluoxastrobin+ Prothioconazol 2x	0,48 ± 0,03	2,27 ± 0,61	6,88 ± 1,7	260 ± 16
Kresoximmethyl+ Epoxiconazol+ Fenpropimorph 2x	0,44 ± 0,05	2,21 ± 0,67	7,11 ± 1,5	261 ± 12
Trifloxystrobin + Propiconazol 2x	0,41 ± 0,1	2,50 ± 0,75	6,29 ± 1,6	263 ± 17
Pyraclostrobi+ Epoxiconazol 2x	0,41 ± 0,15	2,30 ± 0,76	7,05 ± 1,0	256 ± 25

n.s., SNK-Test, $p \leq 0,05$

3.2.2 Einfluss auf die Vitalität und Abreife der Pflanzen

Die grüne Blattfläche wird stark durch biotische Faktoren wie Pathogenbefall und abiotische Faktoren, wie z.B. Trockenstress, beeinflusst. Durch Strobilurin-Behandlung der Pflanzen kam es zu einem positiven Effekt auf den Erhalt der grünen Blattfläche (Abb. 9). Durch diese Seneszenzverzögerung im Vergleich zu Azol-behandeltem Weizen konnte die Pflanze länger assimilatorisch aktiv sein und der Assimilattransport in die Ähre blieb länger aufrechterhalten, so dass es zu Ertragssteigerungen kam, die über dem Ertragsniveau der Azol-behandelten Pflanzen lag (Abb. 12 und 13).

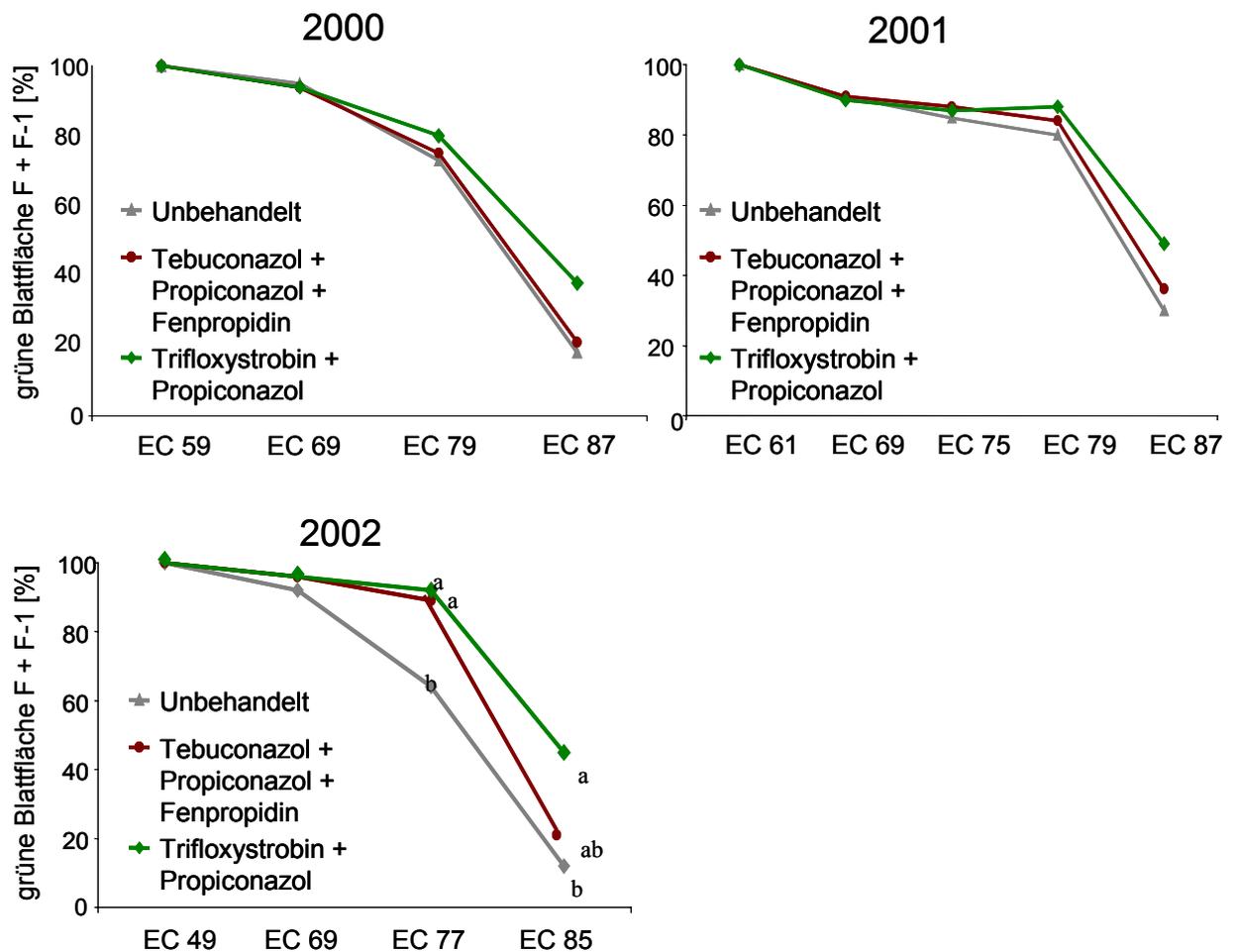


Abb. 9: Einfluss von Azol- und Strobilurin-Behandlungen auf den Erhalt der grünen Blattfläche von Winterweizen ('Charger' und 'Bandit', Meckenheim, 2000-2002, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

Aufgrund des minimalen Pathogenbefalls in den Jahren 2000 und 2001 am Standort Meckenheim konnte praktisch kein Unterschied im Erhalt der grünen Blattfläche zwischen den unbehandelten und den Azol-behandelten Pflanzen bonitiert werden, was sich auch in den Erträgen widerspiegelte. Im Gegensatz dazu wiesen die unbehandelten und die nur einmal mit Fungiziden behandelten Pflanzen im Jahr 2002 einen Befall mit *Septoria tritici* auf (Abb. 10): der zu Ertragsverlusten im Vergleich zu den zweimal mit Fungiziden behandelten Pflanzen führte (Abb. 13)

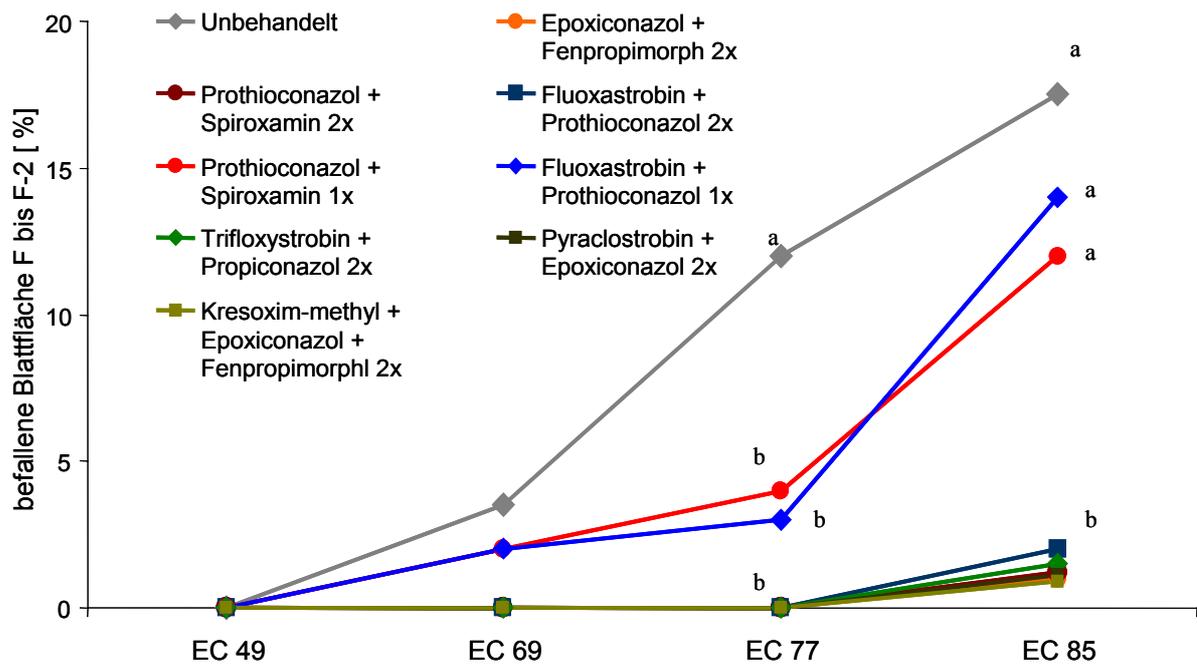


Abb. 10: Einfluss von Azol- bzw. Strobilurin-Behandlungen auf den Befall mit *Septoria tritici* auf den drei obersten Blättern von Winterweizen ('Bandit', Meckenheim, 2002, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

Bei der Untersuchung des Einflusses von Strobilurin-Behandlungen auf den Chlorophyllgehalt in Weizenblättern wurden zum ersten Messtermin EC 65 keine statistisch absicherbaren Unterschiede analysiert (Tab. 19). Zu den EC-Stadien 75 und 85 wurden bei allen Fungizidvarianten höhere Chlorophyllkonzentrationen gemessen. Eine Strobilurin-Behandlung konnte den Gehalt an Blattchlorophyll zwar nicht erhöhen, aber der Abbau des vorhandenen Chlorophylls wurde signifikant verzögert. Das zeigte sich in einem verlängerten Erhalt der grünen Blattfläche.

Die Stärke der Sink-Funktion der Ähre spielt eine wichtige Rolle in der Verlagerung von Assimilaten aus Blättern und Stängeln in das Korn. Eine lange Kornfüllungsphase bewirkt ein höheres TKG und somit auch höhere Kornerträge. Strobilurin-behandelte Weizenähren zeigten zum Ende der Vegetationsperiode deutlich höhere Respirationsraten - ein Maß für die Sink-Funktion - als Azol- bzw. unbehandelte Ähren (Abb. 11).

Tab. 19 Einfluss der Fungizidbehandlung auf den Chlorophyllgehalt und das Verhältnis von Chlorophyll a zu Chlorophyll b der Blattetagen Fahnenblatt und F-1 von Weizen ('Ritmo', Meckenheim, 1999).

Behandlung	EC 65		EC 75		EC 85	
	Chl gesamt [relativ]	Verh. a/b	Chl gesamt [relativ]	Verh. a/b	Chl gesamt [relativ]	Verh. a/b
Unbehandelt	100 ¹	2,6	100 ²	2,8	100 ³	0,5
Tebuconazol ^a	99	2,9	116	2,8	150	0,6
Kresoxim-methyl ^b	102	3,2	133 *	3,0	200*	1,3
Azoxystrobin ^c	102	3,1	129 *	3,0	500*	2,0
Trifloxystrobin ^d	111	3,0	119 *	2,6	500*	1,5

¹ 100 = 2,1 mg/g ² 100 = 2,0 mg/g ³ 100 = 0,2 mg/g

^a + Propiconazol + Fenpropidin, ^b + Epoxiconazol + Fenpropimorph, ^c + Spiroxamin + Tebuconazol, ^d + Propiconazol
SNK-Test; p ≤ 0,05, *- gekennzeichnete Werte unterscheiden sich signifikant

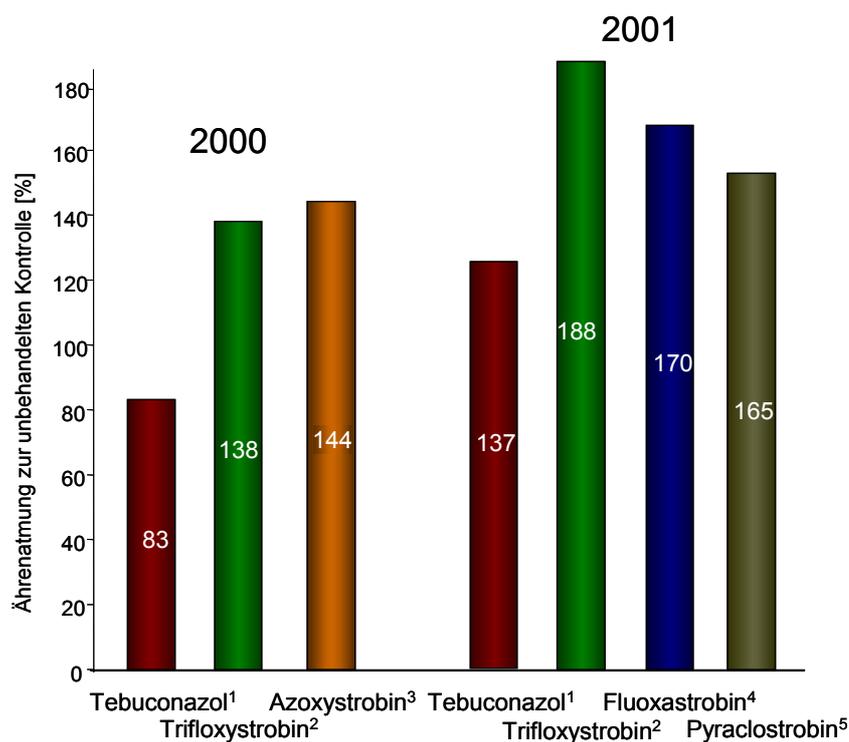


Abb. 11: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf die Ährenatmung von Winterweizen ('Charger', Meckenheim, 2000 und 2001, ¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Spiroxamin ⁵ + Epoxiconazol).

3.2.3 Kornertrag

In den Versuchsjahren 2000 und 2001 bewirkten die Strobilurin-Behandlungen einen signifikanten Mehrertrag verglichen zu den Azol-behandelten und den unbehandelten Pflanzen. Im Jahr 2002 waren nur die Ertragsunterschiede zwischen der Kontrolle und den Strobilurin-Behandlungen Fluoxastrobin, Trifloxystrobin und Pyraclostrobin statistisch absicherbar. Durch den sehr geringen Befallsdruck am Standort Meckenheim in den Jahren 2000 und 2001 fielen die Ertragsunterschiede zwischen den unbehandelten Pflanzen und den Azol-behandelten Pflanzen gering aus, dagegen wurde in 2002 ein Befall mit *Septoria tritici* bonitiert, der zu Ertragsverlusten bei den unbehandelten und bei den einmal Fungizid-behandelten Pflanzen führte. Bei der einmaligen Behandlung mit Fluoxastrobin kam es bei gleicher Befallsstärke mit *Septoria tritici* verglichen mit der Behandlung mit Prothioconazol zu einem Ertragsanstieg in der Strobilurinvariante. Alle zweimaligen Behandlungen wiesen keinen Befall auf. Dies spiegelte sich auch in den Kornerträgen wider (Abb. 12 und 13).

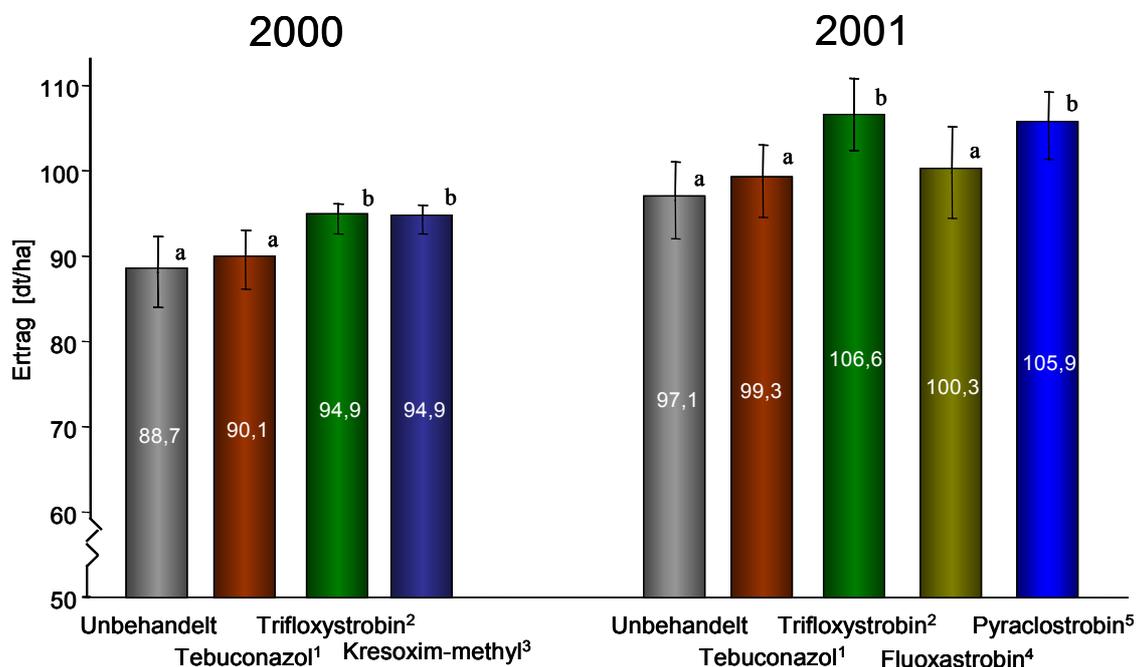


Abb. 12: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf den Kornertrag von Winterweizen ('Charger', Meckenheim, 2001 und 2002, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, ¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Epoxiconazol + Fenpropimorph, ⁴ + Spiroxamin ⁵ + Epoxiconazol).

Durch die Trockenheit im Mai 2000 lag das Ertragsniveau trotz Beregnung der Flächen niedriger als im Jahr 2002, in dem der Weizen nicht beregnet wurde, da höhere Niederschläge eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanzen gewährleisteten. Die höchsten Kornerträge wurden im Jahr 2001 erzielt, da die künstliche Beregnung optimal auf die Bedürfnisse der Pflanzen eingestellt war. Bei Unterschieden im Ertragsniveau zwischen den Jahren erbrachten die Strobilurin-behandelten Pflanzen immer höhere Kornerträge als der Azol-behandelte Weizen.

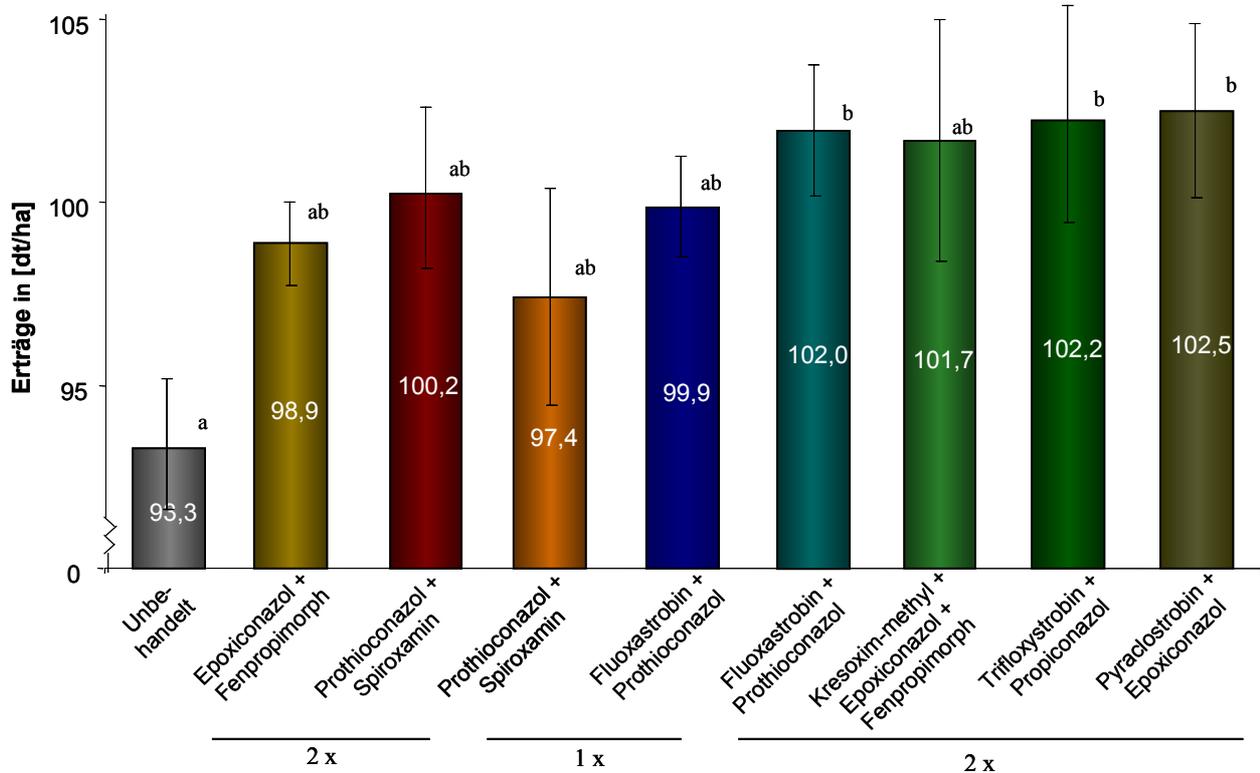


Abb. 13: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf den Kornertrag von Winterweizen ('Bandit'; Meckenheim, 2002, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

3.2.4 Qualitätsparameter

Neben der Wirkung der Strobilurine auf die Kornerträge der Weizenpflanzen scheint auch eine Wirkung auf die Qualität des Ernteguts möglich.

Die Sedimentationswerte der unbehandelten und der Fungizid-behandelten Weizenkörner der Sorte `Ritmo` lagen mit Ausnahme der Azoxystrobin-Behandlung im Bereich der Qualitätsgruppe der A-Weizen. Die Wasseraufnahmefähigkeit des Mehls, die maßgebend für die Teigausbeute und Festigkeit ist, wurde durch die Fungizidbehandlungen nicht beeinflusst. Bei der Bewertung des Mehls durch den Rapid-Mix-Test wurde kein Einfluss der Fungizidbehandlungen auf die Backqualität festgestellt. Die Fallzahl, die die Backqualität der Stärke beschreibt, wurde durch die Fungizidapplikation gegenüber den unbehandelten Weizenkörnern signifikant erhöht (Tab. 20).

Tab. 20: Einfluss der Fungizidbehandlung auf die Qualitätsparameter von Weizen ('Ritmo', Meckenheim, 1999).

Behandlung	Sedimentationswert [cm ³]	Rapid-Mix-Test [ml]	Wasseraufnahme [%]	Fallzahl [s]	Proteingehalt [%]	Protein-ertrag [dt/ha]
Unbehandelt	32,5	683	59,8	338	10,9	11,0
Tebuconazol ^a	35,5	703	60,9	369*	11,4	11,7
Kresoxim-methyl ^b	32,3	690	59,6	363*	11,5	12,1*
Azoxystrobin ^c	29,5	676	59,4	370*	11,4	11,7
Trifloxystrobin ^d	32,3	689	60,4	373*	11,6	12,7*

^a + Propiconazol + Fenpropidin, ^b + Epoxiconazol + Fenpropimorph, ^c + Spiroxamin + Tebuconazol, ^d + Propiconazol
SNK-Test, $p \leq 0,05$; * Wert unterscheidet sich signifikant von dem der unbehandelten Kontrolle

Die Fungizidbehandlungen beeinflussten den Proteingehalt der Weizenkörner positiv. Trotz Ertragssteigerungen nach Strobilurin-Behandlung blieben die Proteingehalte im Vergleich zu der Azol-Behandlung und den unbehandelten Pflanzen gleich oder nahmen sogar zu. Infolge der teilweise erheblichen Kornertragsanstiege konnte so ein höherer Proteinertrag pro Hektar erzielt werden. Dieser positive Einfluss der Fungizid-behandlungen auf den Proteinertrag pro Flächeneinheit konnte in den Jahren 2000 und 2001 bestätigt werden (Tab. 21).

Tab. 21: Einfluss der Fungizidbehandlung auf den Proteingehalt bzw. auf den Proteinflächenertrag von Weizen ('Charger', Meckenheim, 2000 und 2001).

Behandlung	2000		2001	
	Proteingehalt [%]	Proteinерtrag [dt/ha]	Proteingehalt [%]	Proteinерtrag [dt/ha]
Unbehandelt	10,9 ± 0,86	9,66	9,7 ± 0,59	9,41
Tebuconazol ¹	10,5 ± 1,02	9,46	9,7 ± 0,59	9,63
Trifloxystrobin ²	10,3 ± 0,85	9,77	9,8 ± 0,38	10,45
Kresoxim-methyl ³	10,9 ± 1,06	10,34	--	--
Fluoxastrobin ⁴	--	--	10,1 ± 0,72	10,13
Pyraclostrobin ⁵	--	--	9,9 ± 0,42	10,48

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Epoxiconazol + Fenpropimorph, ⁴ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁵ + Epoxiconazol, n.s. SNK-Test, p ≤ 0,05

3.3 Einfluss der Wirkstoffkonzentration und des Applikationszeitpunktes

In den Feldversuchen wurde ermittelt, inwieweit die Wirkstoffkonzentration und der Applikationszeitpunkt von Strobilurinen Einfluss auf die photosynthetische Leistung und auf den Kornertrag haben. Bei den Versuchen zu Applikationshäufigkeit und Applikationszeitpunkt wurden Fungizide einmal Stadien-spezifisch und einmal Schadschwellen-orientiert ausgebracht.

3.3.1 Auswirkung der Fungizidkonzentration auf Pflanzenleistung und Kornertrag

Am Standort Meckenheim wurde der Einfluss verschiedener Dosierungen der Strobilurin-Präparate Fluoxastrobin (HEC): Trifloxystrobin (Twist[®]) und Azoxystrobin (Amistar[®]) auf die Photosyntheseleistung der Weizensorte 'Ritmo' mit den Azol-behandelten bzw. unbehandelten Pflanzen verglichen. Die zu EC 59 durchgeführten Fungizidbehandlungen sind in Tabelle 22 zusammengefasst.

Tab. 22: Aufwandmengen der Fungizide Pronto Plus[®] (Tebuconazol + Spiroxamine): Twist[®] (Trifloxystrobin). HEC und Amistar[®] (Azoxystrobin) bei einer Behandlung von Weizen zu EC 59 ('Ritmo', Meckenheim, 2001).

Variante	Wirkstoffe	Aufwandmenge [g a.i./ha]			Strobilurin + Pronto Plus [®]
		200 %	100 %	50 %	
Unbehandelt	-	-	-	-	-
Pronto Plus [®]	Tebuconazol + Spiroxamine	-	133 + 250	-	-
Twist [®]	Trifloxystrobin	376	188	94	188 + (66 + 125)
HEC	Fluoxastrobin	376	188	94	188 + (66 + 125)
Amistar [®]	Azoxystrobin	500	250	125	250 + (66 + 125)

Bei der Sorte 'Ritmo' blieb der Krankheitsbefall der unbehandelten Pflanzen sehr gering, was sich in der Elektronentransportrate und später in dem relativ geringen Ertragszuwachs der Fungizidbehandlungen widerspiegelte. Alle mit Strobilurin-haltigen Präparaten behandelten Pflanzen zeigten gegenüber mit Azolen behandelten bzw. unbehandelten Weizenpflanzen ab EC 77 eine erhöhte Elektronentransportrate; eine Differenzierung zwischen den verschiedenen Wirkstoffen und Aufwandmengen war nicht möglich (Abb. 14). Die gesteigerte Ausnutzung der Lichtenergie und die dadurch mögliche Steigerung der Assimilationsrate gegenüber dem Vergleichsfungizid aus anderen Wirkstoffgruppen führte zu einer besseren Ertragsbildung der Strobilurin-behandelten Weizenpflanzen (Abb. 15). Der Ertragsvorsprung vor Azol-behandelten Pflanzen war für die gepoolten Daten der verschiedenen Strobilurin-Behandlungen auch statistisch absicherbar. Bei dem späten Applikationstermin zum Ende des Ährenschiebens erbrachte die empfohlene Aufwandmenge für alle Strobilurin-Fungizide einen höheren Ertragsvorteil als die doppelte Aufwandmenge.

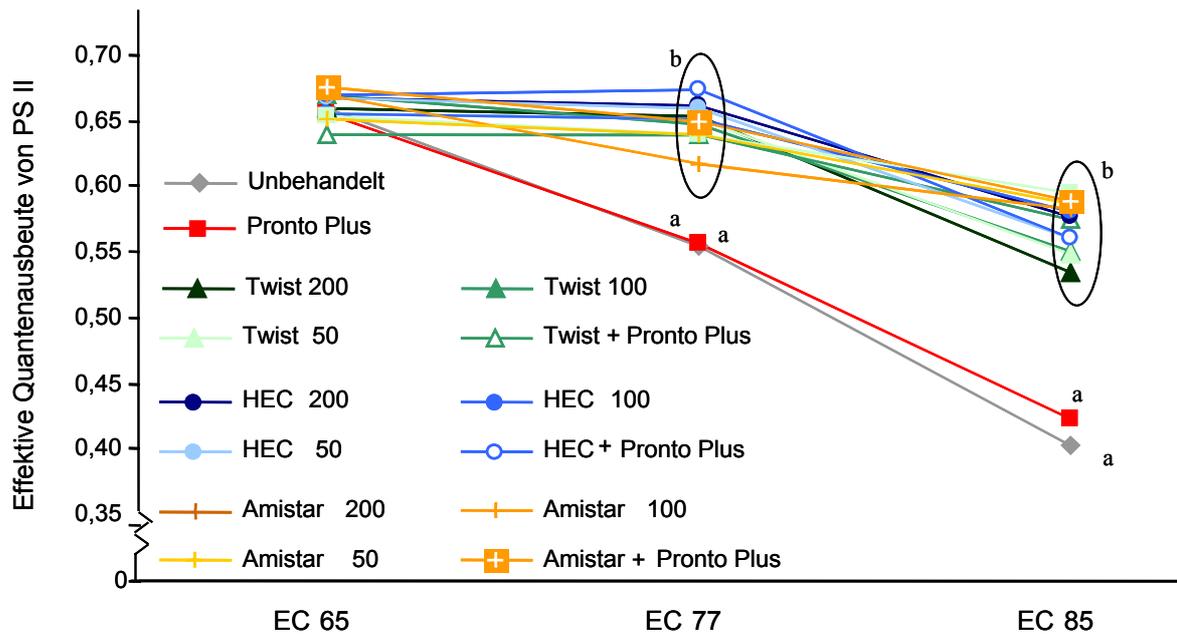


Abb. 14: Einfluss der Strobilurine Trifloxystrobin (Twist[®]): Fluoxastrobin (HEC) und Azoxystrobin (Amistar[®]) bei 200, 100 bzw. 50 % der empfohlenen Aufwandmenge sowie von Pronto Plus[®] (Tebuconazol + Spiroxamin) auf die Quantenausbeute von PS II am Fahnenblatt von Winterweizen zu den Entwicklungsstadien EC 65, EC 77 und EC 85 ('Ritmo', Meckenheim, 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

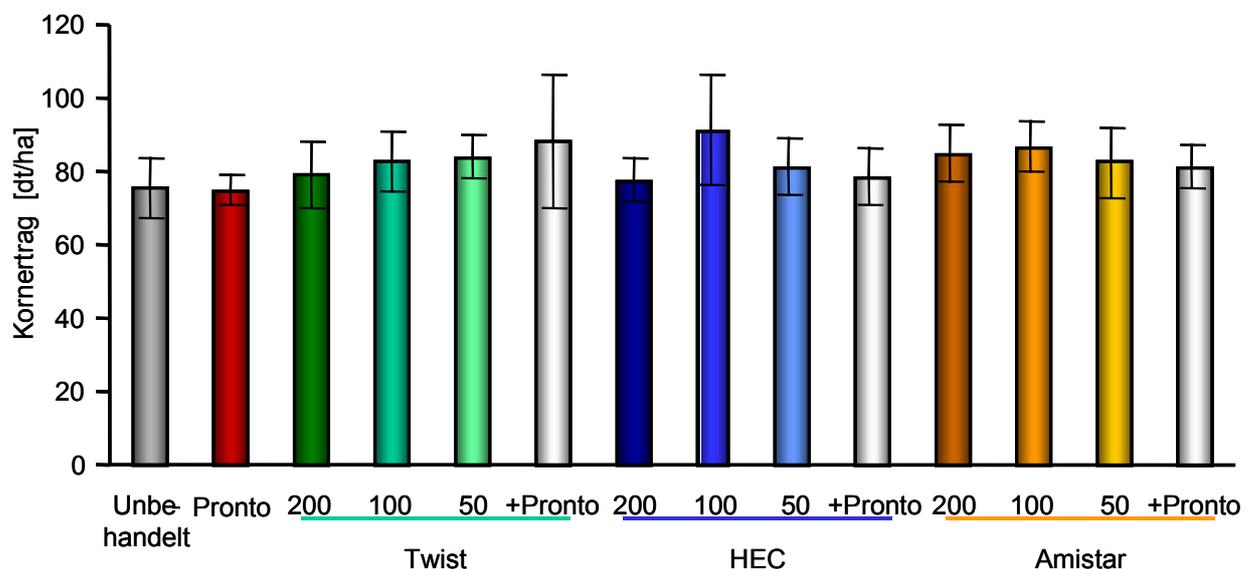


Abb. 15: Einfluss der Strobilurine Trifloxystrobin (Twist[®]): Fluoxastrobin (HEC) und Azoxystrobin (Amistar[®]) bei 200, 100 bzw. 50 % der empfohlenen Aufwandmenge sowie von Pronto Plus[®] (Tebuconazol + Spiroxamin) auf den Kornertrag von Winterweizen in der Vegetationsperiode 2001 ('Ritmo', Meckenheim, 2001, n.s. SNK-Test, $p \leq 0,05$).

3.3.2 Auswirkung einer Stadien-orientierten Fungizidapplikation auf Pflanzenleistung und Kornertrag

In diesem Versuch wurden zu drei Terminen (EC 32, 37 bzw. 69) ein Azol-Fungizid (Fenpropidin + Propiconazol + Tebuconazol, 375+125+125) und ein Strobilurin-haltiges Präparat (Trifloxystrobin + Propiconazol, 188+125) ausgebracht. Die Varianten wurden in Einfach-Behandlungen entweder zu EC 32 37 oder 69 oder in Doppel-Behandlungen zu EC 32/37 bzw. EC 32/69 oder EC 37/69 eingeteilt. Weiterhin wurden Varianten mit drei Behandlungen und eine unbehandelte Kontrolle angelegt.

Es sollte der Einfluss von Strobilurinen und Azolen bei Ausbringung zu unterschiedlichen Terminen auf die Elektronentransportrate und den Ertrag untersucht werden. Alle Varianten wurden auf Pathogenbefall bonitiert, um den Einfluss der Pathogene auf die assimilatorische Leistung und den Kornertrag gegenüber den Fungizidbehandlungen abschätzen zu können (Tab. 23).

Bei den Pflanzen mit dreifacher Fungizidapplikation wurde kaum Pathogenbefall bonitiert. Die Einfach- und Doppel-Behandlungen wiesen den gleichen Befall mit *Septoria tritici* zu EC 85 auf. Anscheinend wurde bei diesen Stadien-orientierten Behandlungen der optimale Applikationszeitpunkt zur *Septoria*-Bekämpfung nicht getroffen. Bei der Behandlung gegen *Puccinia recondita*, der erst ab EC 69 zu bonitieren war, erbrachten sowohl die späten Einfach-Behandlungen als auch die Mehrfach-Applikationen einen guten Schutz bis hin zur Abreife (Tab. 23) Abgesehen von den unbehandelten Kontrollpflanzen, deren Elektronentransportrate signifikant geringer als die der Fungizid-behandelten Pflanzen war, wurden bei der Messung der Chlorophyllfluoreszenz zu EC 85 keine Unterschiede zwischen den Behandlungen mit Azol- bzw. Strobilurin-Präparaten festgestellt. Bei der Messung des Chlorophyllgehaltes mittels eines SPAD-Meters wiesen die unbehandelten Pflanzen aufgrund des Pathogenbefalls im Vergleich zu den Fungizid-behandelten Pflanzen einen hohen Verlust an Blattgrün auf. Die dreifach behandelten Pflanzen wiesen die höchsten Chlorophyllwerte auf. Eine Differenzierung der Azol- bzw. Strobilurin-behandelten Pflanzen war nicht möglich (Tab. 24). Alle Strobilurin-behandelten Pflanzen erbrachten höhere Erträge als die jeweiligen Azol-Varianten. Der Ertragsvorsprung der Strobilurin-behandelten Pflanzen war jedoch relativ gering. Die höchsten Mehrerträge durch Strobilurine wiesen die dreifach behandelten Pflanzen mit knapp 3 % auf, gefolgt von der Doppel-Behandlung zu EC 32 und 69 und der Einfach-Behandlung zu EC 69 (Abb.16).

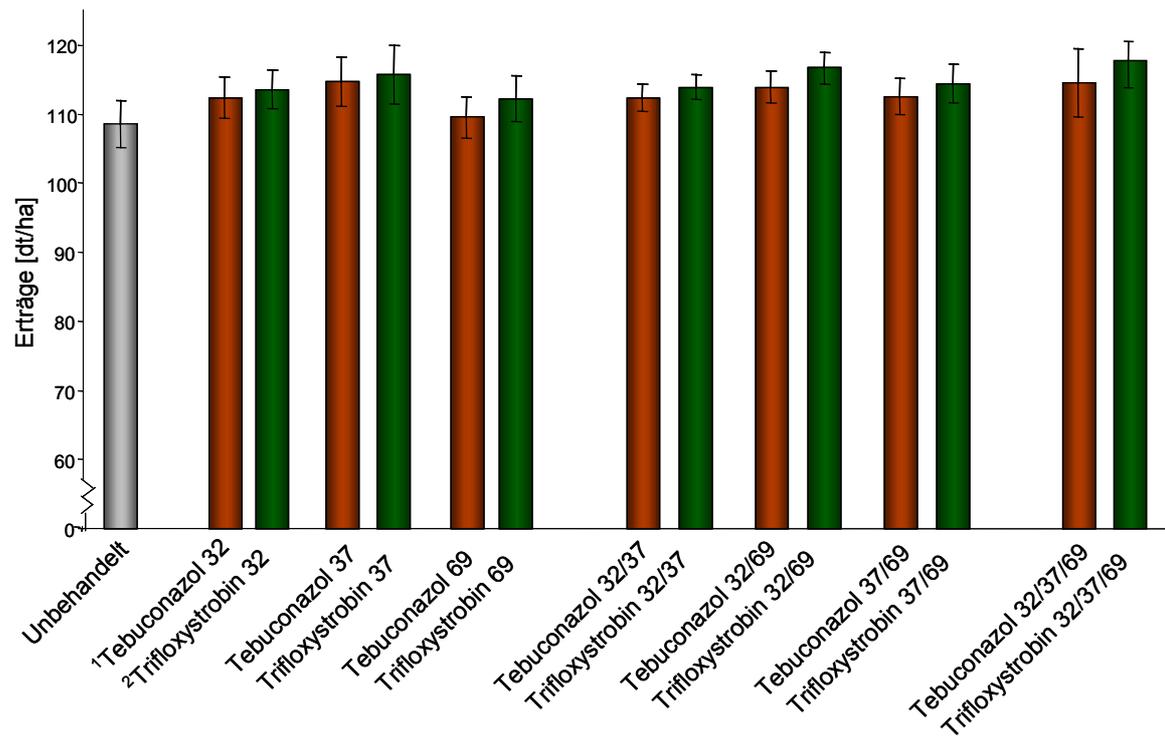


Abb. 16: Einfluss verschiedener Applikationszeitpunkte von Strobilurinen bzw. Azolen auf den Kornertrag von Winterweizen ('Ritmo', Dikopshof, 2001, n.s. SNK-Test, $p \leq 0,05$).

Tab. 23: Einfluss von Stadien-orientierten Azol- bzw. Strobilurin-Behandlungen auf den Befall mit *Septoria tritici* und *Puccinia recondita* auf den drei obersten Blättlagen von Winterweizen ('Ritmo', Dikopshof, 2001).

EC	Befall in %	Tebuco- nazol ¹		Trifloxy- strobilin ²		Tebuco- nazol		Trifloxy- strobilin		Tebuco- nazol		Trifloxy- strobilin		Tebuco- nazol		Trifloxy- strobilin	
		32	32	37	37	69	69	32/37	32/37	37/69	37/69	32/37	32/37	37/69	37/69	32/37/69	32/37/69
49	<i>Septoria tritici</i> F-2	8,3	5,2	2,4*	4*	1*	3,4*	9,1	6,8	2*	0*	0*	4,1	3*	2*		
	<i>Puccinia- recondita</i> F-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
69	<i>Septoria tritici</i> F-1	13,5	3*	2*	3,1*	1,2*	5,3*	2*	3,0*	0*	2,7*	2*	2*	0	0	0	0
	<i>Puccinia- recondita</i> F-1	2,5	2	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	<i>Septoria tritici</i> F-1	100	13,5*	7*	7,5*	2,7*	4,1*	10*	6,5*	5*	9,5*	8,6*	2,5*	1,6*	1*		
	<i>Puccinia recondita</i> F	33	27	7,5*	2*	2*	1*	1,5*	1*	1*	1*	1*	0*	0*	0*	0*	0*

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, * Wert unterscheidet sich signifikant von dem der unbehandelten Kontrolle SNK-Test, p ≤ 0,05

Tab. 24: Einfluss Stadien-orientierter Fungizidapplikationen auf den Chlorophyllgehalt (SPAD-Meter) und auf die effektive Quantenausbeute von PS II von Winterweizen gemessen am Fahrenblatt zu EC 85 ('Ritmo' Dikopshof, 2001).

EC	Unbe- handelt	Tebuco- nazol ¹		Trifloxy- strobilin ²		Tebuco- nazol		Trifloxy- strobilin		Tebuco- nazol		Trifloxy- strobilin		Tebuco- nazol		Trifloxy- strobilin	
		32	32	37	37	69	69	32/37	32/37	37/69	37/69	32/37	32/37	37/69	37/69	32/37/69	32/37/69
SPAD-Werte	19,2	25,8	26,7	28,0	32,0	21,5	26,3	26,4	28,9	28,8	32,7	26,9	27,5	46,2	44,7		
	±11,0	±7,7	±8,3	±11,1	±10,8	±9,7	±10,2	±10,9	±9,5	±10,8	±12,2	±11,6	±7,5	±5,5	±7,8		
85 Yield	0,37a	0,51b	0,52b	0,54b	0,56b	0,54b	0,53b	0,53b	0,54b	0,55b	0,57b	0,57b	0,57b	0,54b	0,58b		
	±0,04	±0,04	±0,11	±0,07	±0,07	±0,05	±0,06	±0,07	±0,07	±0,53	±0,07	±0,06	±0,05	±0,06	±0,1		

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, p ≤ 0,05

3.3.3 Auswirkung einer Schadschwellen-orientierten Fungizidapplikation auf Pflanzenleistung und Kornertrag

Im Rahmen von Versuchen zum Einsatz von Fungiziden nach dem IPS-Modell Weizen nach VERREET und Mitarbeitern wurden Strobilurin-haltige Präparate wie Trifloxystrobin (Stratego[®]): Pyraclostrobin (Opera[®]) und Azoxystrobin (Amistar[®]) in Spritzfolgen eingesetzt und hinsichtlich ihrer Ertragswirksamkeit und Wirkung auf die Photosyntheseleistung der Pflanzen in der Vegetationsperiode 2001 miteinander verglichen. Als Bezugsgrößen wurden Pflanzen durch viermalige Behandlung mit Azol- bzw. Strobilurin-haltigen Präparaten befallsfrei gehalten. Die Elektronentransportrate der Fahnenblätter der zweimal mit Fungiziden nach dem IPS-Modell Weizen behandelten Weizenpflanzen der Sorten 'Ritmo', 'Flair', und 'Hybnos' wurden an drei Standorten dreimal während der Vegetationsperiode gemessen.

An allen Standorten führten die Fungizidbehandlungen zu zum Teil deutlich höheren Elektronentransportraten der Fahnenblätter als bei unbehandelten Weizenpflanzen. Die effektive Quantenausbeute von PS II der viermal mit Strobilurinen bzw. nach IPS-Modell Weizen zweimal mit Strobilurinen behandelten Pflanzen lag an allen Standorten über der der anderen Fungizidbehandlungen. Eine statistische Absicherung der Unterschiede für den letzten Messtermin zu EC 85 war an den Standorten aber nicht immer möglich (Abb.17 - 22).

Am Standort Kerpen-Buir wurden Versuche mit den beiden Sorten 'Ritmo' und 'Flair' durchgeführt. Die Elektronentransportkapazität der unbehandelten Pflanzen lag ab dem EC-Stadium 77 deutlich unter den Werten der mit Fungiziden behandelten Pflanzen, was sich in den Ertragsverlusten widerspiegelte. Bei allen IPS-Behandlungen konnte ein Spätbefall mit *Puccinia recondita* nicht ausgeschlossen werden, da zum letzten Boniturtermin EC 83 die Befallshäufigkeit auf F-1 bei 100 % lag und auch die Fahnenblätter hohe Befallshäufigkeiten aufwiesen. Die Befallsstärke lag zwar unter 2 %. Da aber die letzte Fungizidapplikation zu Anfang der Blüte durchgeführt wurde und der Nekrotisierungsgrad von F-1 und der Fahnenblätter unter 10 % lag, könnte ein Spätbefall zu leichten Ertragseinbußen geführt haben. Das zeigte sich bei den IPS-Varianten mit Trifloxystrobin und deutlicher bei der Azoxystrobin-Variante. Bei den Pflanzen der Azoxystrobin-Variante wurde eine geringere Elektronentransportkapazität gemessen. Die Weizenpflanzen der anderen IPS- bzw. der viermal mit Fungiziden behandelten Pflanzen wiesen praktisch gleiche Elektronentransportraten auf (Abb. 17).

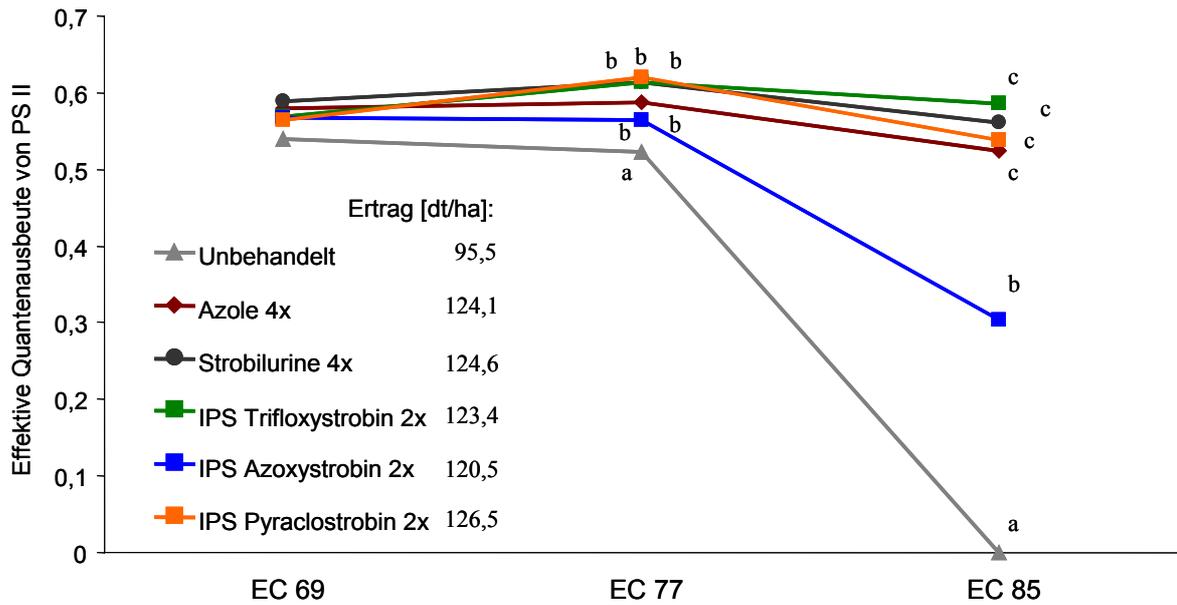


Abb. 17: Einfluss Schadschwellen-orientierter Azol- bzw. Strobilurin-Applikationen auf die effektive Quantenausbeute von PS II und den Kornertrag von Weizen ('Ritmo', Kerpen-Buir, 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$ Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

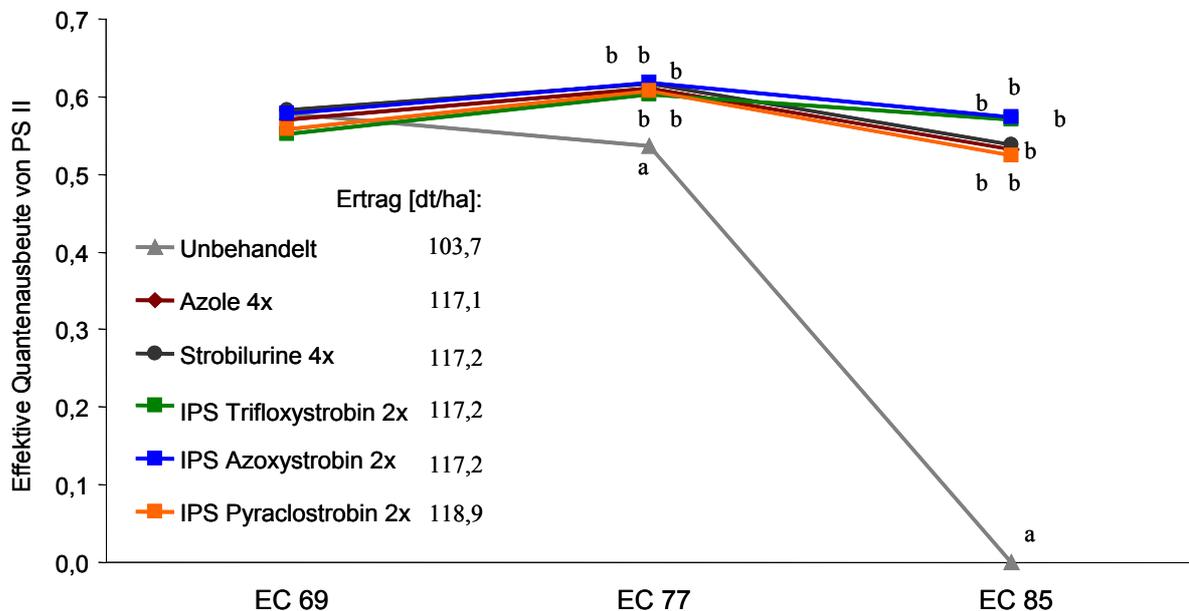


Abb. 18: Einfluss Schadschwellen-orientierter Azol- bzw. Strobilurin-Applikationen auf die effektive Quantenausbeute von PS II und den Kornertrag von Weizen ('Flair', Kerpen-Buir, 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

Bei der Sorte 'Flair' zeigte sich ein ähnliches Bild, nur lagen die Befallshäufigkeiten deutlich unter denen der Sorte 'Ritmo'. Auch hier wiesen nur die unbehandelten Pflanzen einen deutlichen Abfall der Photosyntheseleistung gegenüber den Fungizid-behandelten Pflanzen auf. Die Elektronentransportrate lag bei allen Fungizid-behandelten Pflanzen auf gleichem Niveau und auch die Erträge unterschieden sich nicht. (Abb.18).

Am Standort Titz lagen die Messwerte der Elektronentransportrate der unbehandelten Pflanzen bei der Sorte 'Ritmo' schon ab EC 69 unter denen des fungizid-behandelten Weizens. Ab EC-Stadium 77 zeigte sich eine Abnahme der Elektronentransportrate der Azol-behandelten Pflanzen gegenüber den Strobilurin-behandelten Pflanzen. Diese Messungen fanden sich auch in den Kornerträgen wieder. Die Erträge der Azol-Variante lagen deutlich über denen der unbehandelten Kontrolle, jedoch unter den Erträgen der viermal mit Strobilurin-behandelten Pflanzen. Die höhere photosynthetische Leistung - gemessen anhand der Chlorophyllfluoreszenz - der viermal mit Strobilurin-behandelten Pflanzen gegenüber den Azol-behandelten Pflanzen spiegelte sich in einem Mehrertrag wieder. Alle Pflanzen der IPS-Varianten hatten eine höhere Elektronentransportrate im Vergleich zu den Azol-behandelten Pflanzen, die sich auch in Mehrerträgen - abgesehen von den Erträgen der Trifloxystrobin behandelten Pflanzen - zeigten (Abb. 19).

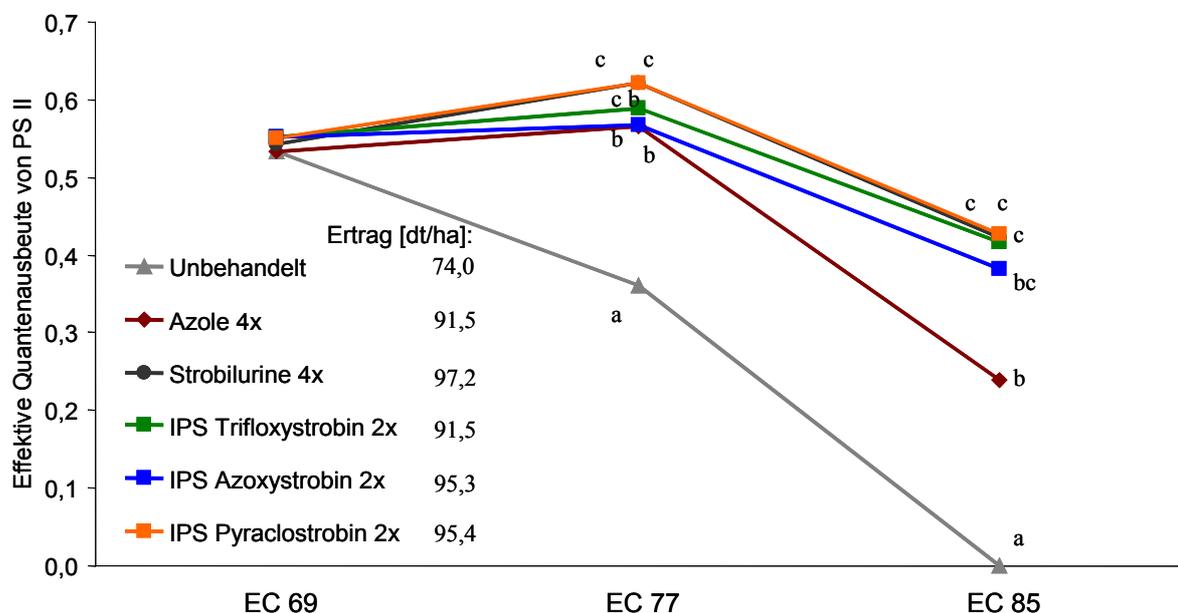


Abb. 19 Einfluss Schadschwellen-orientierter Azol- bzw. Strobilurin-Applikationen auf die effektive Quantenausbeute von PS II und den Kornertrag ('Ritmo', Titz, 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

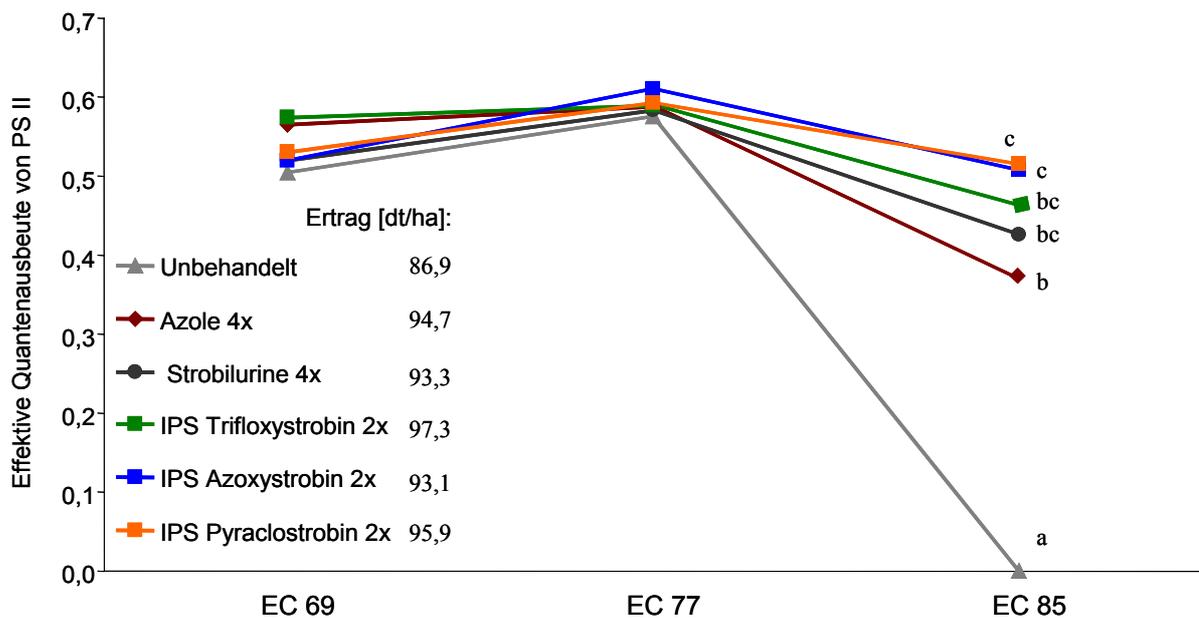


Abb. 20: Einfluss Schadschwellen-orientierter Azol- bzw. Strobilurin-Applikationen auf die effektive Quantenausbeute von PS II und den Kornertrag ('Hybnos', Titz, 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

Bei der Sorte 'Hybnos' konnten die einzelnen Fungizidbehandlungen bis zur Milchreife anhand der Elektronentransportrate nicht differenziert werden. Erst zur Abreife wiesen die Strobilurin-behandelten Pflanzen zum Teil signifikant höhere Elektronentransportraten gegenüber den Azol-behandelten und den unbehandelten Pflanzen auf (Abb. 20).

Bei der Sorte 'Ritmo' am Standort Beckrath zeigten sich die deutlichsten Unterschiede zwischen den unbehandelten und behandelten Pflanzen hinsichtlich der Elektronentransportrate und dem Kornertrag. Ab EC 77 war eine etwas geringere Elektronentransportrate der mit Azol- und der mit Trifloxystrobin-behandelten Pflanzen gegenüber den anderen Strobilurin-behandelten Pflanzen messbar. Diese zeigte sich auch in den etwas niedrigeren Erträgen der Azol- und Trifloxystrobin-behandelten Pflanzen. Bei den viermal mit Strobilurinen behandelten Pflanzen kam es im Vergleich zu den viermal mit Azolen behandelten Pflanzen zu Mehrerträgen, die auf die höhere photosynthetische Aktivität der Strobilurin-behandelten Pflanzen zurückzuführen war (Abb. 21).

Bei der Sorte 'Hybnos' war eine Differenzierung der Fungizid-behandelten Pflanzen anhand der Chlorophyllfluoreszenz nicht möglich. Die unbehandelten Pflanzen dagegen wiesen ab Anfang der Teigreife einen signifikanten Rückgang der Photosyntheseleistung gegenüber den Fungizid-behandelten Pflanzen auf. Dieser Verlust an Photosyntheseleistung führte auch zu deutlichen Ertragsminderungen (Abb. 22).

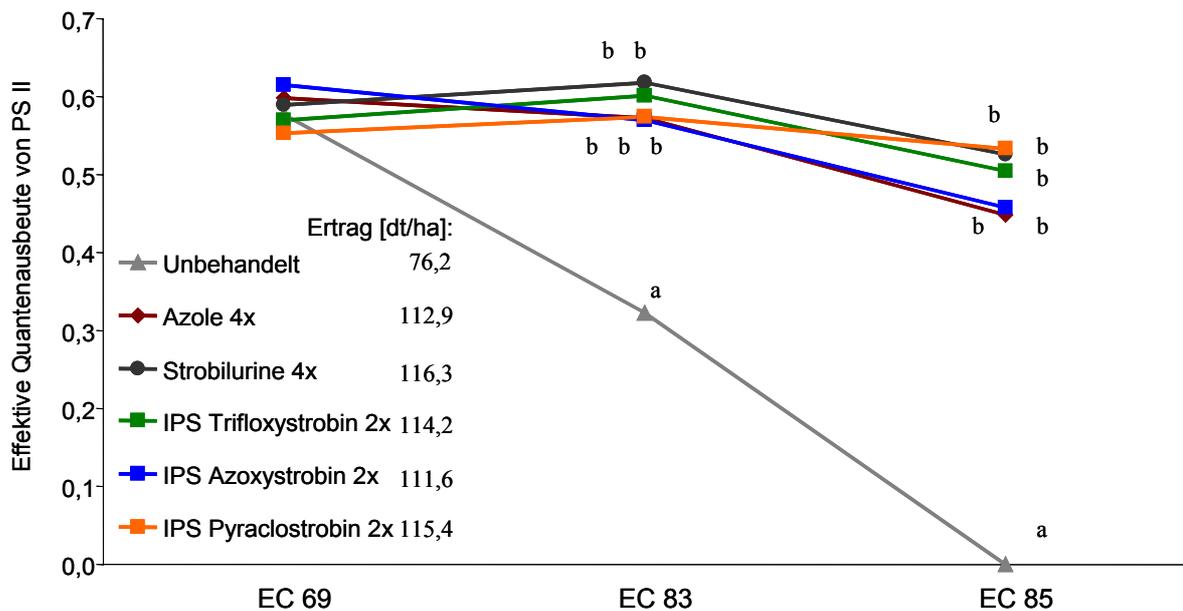


Abb. 21: Einfluss Schadschwellen-orientierter Azol- bzw. Strobilurin-Applikationen auf die effektive Quantenausbeute von PS II und den Kornertrag von Weizen ('Ritmo', Beckrath, 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

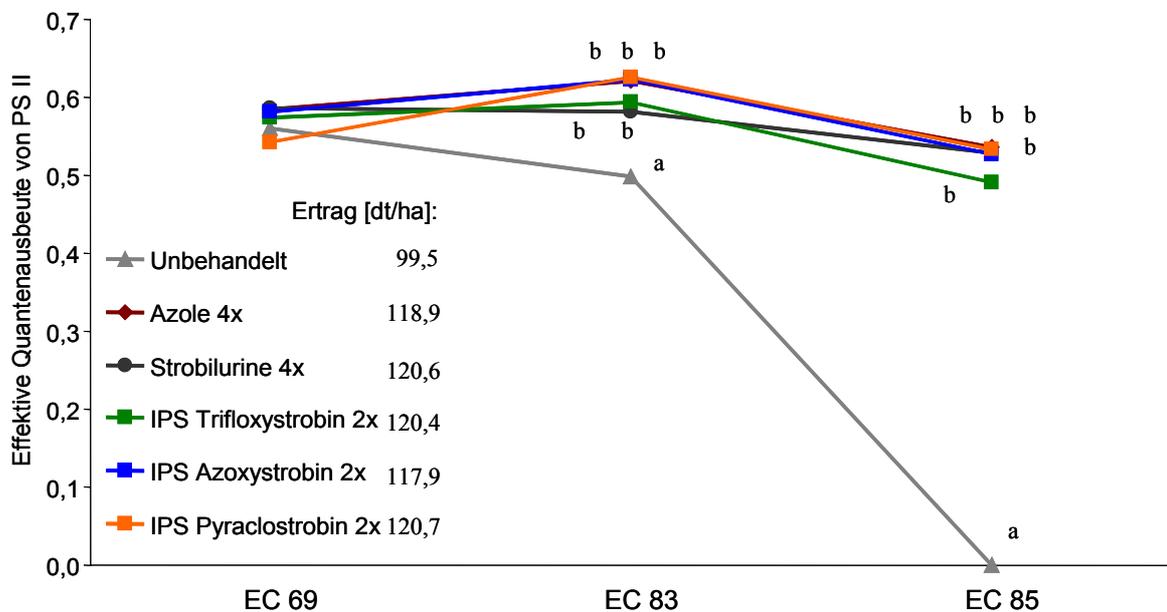


Abb. 22: Einfluss Schadschwellen-orientierter Azol- bzw. Strobilurin-Applikationen auf die effektive Quantenausbeute von PS II und den Kornertrag von Weizen ('Hybnos', Beckrath, 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

3.4 Einfluss von Genotyp und Umweltbedingungen

In den Vegetationsperioden 1999/2000 und 2000/2001 wurden an den Standorten Meckenheim, Dikopshof und Kerpen zweifaktorielle Versuche zur Wirkung der Strobilurin-haltigen Präparate Stratego[®] (Trifloxystrobin): Amistar[®] (Azoxystrobin) und Juwel Top[®] (Kresoxim-methyl) angelegt. Die Versuche mit jeweils sechs Weizensorten pro Standort sollten zum einen klären, ob die Weizengenotypen auf die Behandlung mit Strobilurinen unterschiedlich reagieren und ob Strobilurin-behandelte Pflanzen unterschiedlich auf die Standortverhältnisse reagieren. Die Standorte unterschieden sich hinsichtlich Bodenart, Wasserversorgung und Jahreswitterung. Sowohl im Ertragspotential als auch im Befallsdruck der wichtigsten Sproßpathogene des Weizens wurden Unterschiede deutlich. Meckenheim zeichnete sich im Vergleich zu Dikopshof und Kerpen-Buir durch einen geringeren Infektionsdruck aus. Der Standort Kerpen-Buir war besonders durch sein hohes Ertragspotential charakterisiert. Der Befallsdruck war auf diesem Standort meistens etwas höher als am Standort Dikopshof. In den Tabellen 25, 26, 32, 33, 39, und 40 ist das Auftreten der verschiedenen Krankheitserreger an den Standorten zusammengefasst.

Durch mehrmalige Applikation wurden alle Fungizidvarianten befallsfrei gehalten, um die Effekte eines Pathogenbefalls auf ertragsphysiologisch relevante Parameter auszuschließen. Die angebauten Sorten unterschieden sich in der Einschätzung für Krankheitsanfälligkeit, Höhe des Kornertrags und der Kornqualität.

3.4.1 Einfluss auf die Effizienz des Photosyntheseapparates

3.4.1.1 Standort Meckenheim

In den Versuchsjahren 2000 und 2001 traten am Standort Meckenheim sowohl *Blumeria graminis*, *Septoria tritici* als auch *Puccinia recondita* auf. *Puccinia striiformis* wurde nur im Jahr 2001 beobachtet. Die Befallsstärke der verschiedenen Pathogene lag für die meisten der unbehandelten Pflanzen der Sorten 'Jonas', 'Flair', 'Hybnos' und 'Hanseat' im Jahr 2000 unter 5 %. Auch die sehr anfällige Sorte 'Kanzler' wies nur einen durchschnittlichen Befall auftretender Pathogene von unter 10 % auf (Tab. 24). Trotz dieser geringen Befallsintensität kam es bei den Sorten 'Kanzler' und 'Gorbi' zu messbaren Ertragsverlusten. Bei allen anderen Sorten konnten keine Ertragsunterschiede zwischen den unbehandelten und den Azol-behandelten Pflanzen festgestellt werden (Tab. 28).

Im Jahr 2001 wurde bei den Sorten 'Kanzler', 'Jonas' und 'Flair' ein verstärktes Auftreten von *Septoria tritici*, *Puccinia recondita* und *Puccinia striiformis* festgestellt (Tab. 21). Das führte in den Kornerträgen zu stärkeren Ertragsverlusten als im Jahr 2000. Bei den Sorten 'Hybnos', 'Cortez' und 'Drifter' waren nur minimale Ertragseinbußen festzustellen (Tab. 29).

Tab. 25: Befallene Blattfläche von *Blumeria graminis*, *Septoria tritici*, *Puccinia recondita* am Fahnenblatt und F-1 an unbehandelten Pflanzen zu EC 75 der verschiedenen Weizensorten (Meckenheim, 2000).

Pathogen	Sorte					
	'Kanzler'	'Jonas'	'Flair'	'Hybnos'	'Gorbi'	'Hanseat'
<i>Blumeria graminis</i>	8 %	1 %	2 %	1 %	2 %	1 %
<i>Septoria tritici</i>	7 %	2 %	4 %	3 %	4 %	3 %
<i>Puccinia recondita</i>	9 %	4 %	5 %	3 %	9 %	4 %

Tab. 26: Befallene Blattfläche von *Blumeria graminis*, *Septoria tritici*, *Puccinia recondita* und *Puccinia striiformis* am Fahnenblatt und F-1 an unbehandelten Pflanzen zu EC 75 der verschiedenen Weizensorten (Meckenheim, 2001).

Pathogen	Sorte					
	'Kanzler'	'Jonas'	'Flair'	'Hybnos'	'Cortez'	'Drifter'
<i>Blumeria graminis</i>	10 %	2 %	1 %	2 %	1 %	3 %
<i>Septoria tritici</i>	10 %	8 %	2 %	2 %	4 %	2 %
<i>Puccinia recondita</i>	14 %	9 %	9 %	5 %	4 %	5 %
<i>Puccinia striiformis</i>	2 %	3 %	7 %	0 %	0 %	0 %

Die größten Verluste an assimilatorischer Blattfläche durch Pathogenbefall und natürliche Seneszenz waren bei den unbehandelten Pflanzen zu verzeichnen. Die Azol-behandelten Pflanzen hatten im Durchschnitt einen geringeren Nekrotisierungsgrad, da Blattflächenverluste durch Pathogenbefall infolge mehrmaliger Fungizidapplikation ausgeschlossen werden konnten. Die Reduktion der grünen Blattfläche folgte ausschließlich der natürlichen Seneszenz am Ende der Vegetationsperiode. Bei allen Strobilurin-behandelten Pflanzen konnte eine Verzögerung der Abnahme der grünen Blattfläche im Vergleich zu den Azol-behandelten Pflanzen bonitiert werden. Dieser Verlauf des Chlorophyllabbaus wurde sowohl im Jahr 2000 als auch 2001 ermittelt (Tab. 27 und 28). Im Jahr 2001 war

der Nekrotisierungsgrad der Fungizid-behandelten Weizenpflanzen aufgrund der besseren Wasserversorgung etwas geringer. Das zeigte sich auch später im Ertragsniveau (Tab. 30).

Tab. 27: Einfluss von Fungizidbehandlungen mit Azolen bzw. Strobilurinen auf die nekrotisierte Blattfläche von sechs Weizensorten zum EC-Stadium 85 (Meckenheim, 2000, Mittelwert des Fahnenblattes).

Sorte Behandlung	Nekrotisierte Blattfläche [%]					
	'Kanzler'	'Jonas'	'Flair'	'Hybnos'	'Gorbi'	'Hanseat'
Unbehandelt	100 a	93 a	64 a	44 a	91 a	9a
Tebuconazol ¹	94 a	83 a	59a	46 a	57 b	94 a
Trifloxystrobin ²	80 a	73 a	41 a	21 a	39 b	78 b
Azoxystrobin ³	86 a	79 a	54 a	43 a	40 b	82 b
Kresoxim-methyl ⁴	77 a	90 a	42 a	31 a	40 b	77 b

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

Tab. 28: Einfluss von Fungizidbehandlungen mit Azolen bzw. Strobilurinen auf die nekrotisierte Blattfläche von sechs Weizensorten zum EC-Stadium 85 (Meckenheim, 2001, Mittelwert des Fahnenblattes).

Sorte Behandlung	Nekrotisierte Blattfläche [%]					
	'Kanzler'	'Jonas'	'Flair'	'Hybnos'	'Cortez'	'Drifter'
Unbehandelt	100 a	85 a	73 a	40 a	55 a	65 a
Tebuconazol ¹	90 b	76 a	55 b	40 a	46 a	56 a
Trifloxystrobin ²	76 c	70 a	40 b	36 a	38 a	43 b
Azoxystrobin ³	72 c	65 b	43 b	38 a	40 a	46 b
Kresoxim-methyl ⁴	70 c	80 a	55 b	43 a	44 a	37 b

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

In beiden Versuchsjahren wurde mittels Chlorophyllfluoreszenz die Elektronentransportrate an den Fahnenblättern der unbehandelten und Fungizid-behandelten Weizensorten zu mehreren Terminen bestimmt. Die Strobilurin-behandelten Pflanzen zeigten besonders zur Abreife hin eine gesteigerte Photosyntheseaktivität im Vergleich zu den unbehandelten und Azol-behandelten Pflanzen.

Bei allen Sorten und allen Behandlungen nahm die Elektronentransportrate im Verlauf der Vegetationsperiode ab. Sortenunterschiede hinsichtlich der Quantenausbeute konnten weder zwischen den unbehandelten noch zwischen den Fungizid-behandelten Pflanzen gemessen werden. Innerhalb der einzelnen Sorten konnten aber zu EC 85 zum Teil signifikant höhere Transportraten der Strobilurin-behandelten Pflanzen gegenüber den Azol- und den unbehandelten Pflanzen gemessen werden (Tab. 29).

Bei dem Zusammenfassen der Daten über die Sorten zeigten die einzelnen Behandlungen erst nach der Milchreife signifikante Unterschiede in der Elektronentransportrate. Bei den Strobilurin-behandelten Pflanzen blieben auch bei zunehmender Abreife die Elektronentransportraten auf einem Niveau. Die gemessenen Unterschiede der Photosyntheseleistung der einzelnen Behandlungen fand sich aber nur bedingt in den Mehrerträgen der Strobilurin-behandelten Pflanzen wieder (Abb. 23).

Tab. 29: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf die effektive Quantenausbeute von PS II der Fahnenblätter von Winterweizen zu EC 65, 75 und 85 (Meckenheim, 2000).

effektive Quantenausbeute Photosystem II						
Sorte		Unbehandelt	Tebuconazol ¹	Trifloxy-strobin ²	Azoxy-strobin ³	Kresoxim-methyl ⁴
'Kanzler'	EC 65	0,54a	0,54a	0,59a	0,57a	0,57a
	EC 75	0,42a	0,46a	0,49a	0,51a	0,47a
	EC 85	0,13a	0,25ab	0,34b	0,37b	0,35b
'Jonas'	EC 65	0,57a	0,58a	0,58a	0,59a	0,59a
	EC 75	0,50a	0,51a	0,53a	0,55a	0,55a
	EC 85	0,19a	0,24a	0,32a	0,32a	0,32a
'Flair'	EC 65	0,57a	0,55a	0,60a	0,59a	0,59a
	EC 75	0,51a	0,47a	0,55a	0,52a	0,55a
	EC 85	0,23a	0,29b	0,48c	0,42c	0,44c
'Hybnos'	EC 65	0,59a	0,58a	0,59a	0,60a	0,60a
	EC 75	0,48a	0,51a	0,57a	0,57a	0,54a
	EC 85	0,23a	0,32b	0,39c	0,39c	0,37c
'Gorbi'	EC 65	0,59a	0,58a	0,58a	0,59a	0,58a
	EC 75	0,46a	0,48a	0,53a	0,51a	0,54a
	EC 85	0,19a	0,32b	0,47c	0,45c	0,43c
'Hanseat'	EC 65	0,62a	0,61a	0,64a	0,62a	0,62a
	EC 75	0,41a	0,43a	0,52b	0,56b	0,52b
	EC 85	0,02a	0,16b	0,28c	0,26c	0,28c

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

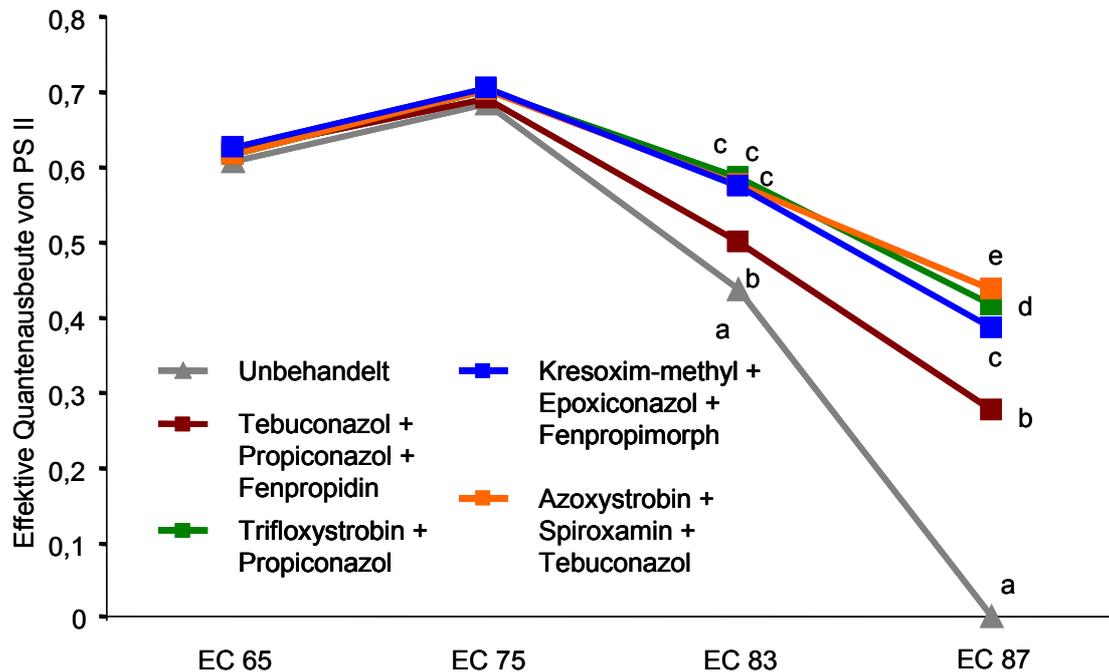


Abb. 23: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf die durchschnittliche effektive Quantenausbeute von PS II der Fahnenblätter von sechs Winterweizensorten (Meckenheim, 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte eines Behandlungstermins mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

Bei allen Sorten kam es bei den unbehandelten Pflanzen aufgrund des geringen Pathogenbefalls zu keinen Ertragsverlusten im Vergleich zu dem Fungizid-behandelten Weizen. Nur im Jahr 2001 konnten die befallsbedingten Ertragsverluste der Sorte 'Kanzler' statistisch gegenüber dem Ertrag der Azol-behandelten Weizenpflanzen abgesichert werden.

Das Ertragsniveau im Jahr 2000 lag bei allen Sorten und Behandlungen deutlich unter 100 dt/ha, im Jahr 2001 dagegen stieg das Ertragsniveau bedingt durch die bessere Wasserversorgung zum Teil über 100 dt/ha. Die Ertragssteigerungen durch die Strobilurin-Behandlungen ließen sich weder 2000 noch 2001 statistisch gegenüber den Erträgen der Azol-Varianten absichern. (Tab. 30 und 31).

Tab. 30: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf den Kornertrag von sechs Winterweizensorten (Meckenheim, 2000).

Behandlung \ Sorte	'Kanzler'		'Jonas'		'Flair'		'Hybnos'		'Gorbi'		'Hanseat'	
	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%
Unbehandelt	73,8	100	83,7	100	82,5	100	90,1	100	86,9	100	85,0	100
Tebuconazol ¹	78,2	106	82,9	99	82,8	100	89,7	99	90,4	104	82,6	97
Trifloxystrobin ²	81,1	110	85,3	102	86,4	105	94,7	105	92,5	106	85,9	101
Azoxystrobin ³	80,5	109	85,4	102	87,6	106	90,8	101	94,2	108	86,2	101
Kresoxim-methyl ⁴	83,4	113	87,9	105	86,9	105	93,0	103	91,9	106	86,6	102

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
n.s. SNK-Test, $p \leq 0,05$

Tab. 31: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf den Kornertrag von sechs Winterweizensorten (Meckenheim, 2001).

Behandlung \ Sorte	'Kanzler'		'Jonas'		'Flair'		'Hybnos'		'Cortez'		'Drifter'	
	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%
Unbehandelt	82,0a	100	88,8	100	95,0	100	103,5	100	96,1	100	97,5	100
Tebuconazol ¹	95,8b	117	93,8	106	100,4	106	105,8	102	97,4	101	99,3	102
Trifloxystrobin ²	99,9b	123	95,4	107	102,8	108	111,1	108	103,5	108	103,1	106
Azoxystrobin ³	97,2b	119	96,0	108	103,0	109	114,5	111	101,5	106	101,3	104
Kresoxim-methyl ⁴	97,8b	119	93,6	105	103,4	109	109,2	106	102,6	107	102,1	105

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

3.4.1.2 Standort Dikopshof

Am Standort Dikopshof war ein wesentlich höherer Befallsdruck zu verzeichnen als in Meckenheim. Im Jahr 2000 war besonders bei der Sorte 'Kanzler' in den unbehandelten Parzellen ein hoher Befall mit *Septoria tritici* und *Puccinia recondita* vorhanden, der zu signifikanten Ertragsverlusten gegenüber den Fungizid-behandelten Pflanzen führte. Auch bei den Sorten 'Gorbi' und 'Hanseat' führte der stärkere Pathogenbefall zu signifikanten Ertragsreduktionen. Die Sorten 'Jonas', 'Flair' und 'Hybnos' wiesen zwar auch Pathogenbefall auf, die Ertragsverluste konnten aber bei diesen Sorten im Jahr 2000 statistisch nicht abgesichert werden (Tab. 32).

Im Jahr 2001 wiesen die Boniturnoten für *Blumeria graminis*, *Septoria tritici* und *Puccinia recondita* in den unbehandelten Parzellen ähnliche Werte wie im Vorjahr auf, aber das Pathogenspektrum erweiterte sich durch *Puccinia striiformis* (Tab. 33). Dieser starke Befall mit Gelbrost führte bei allen Sorten zu signifikanten Ertragsverlusten (Tab. 37).

Tab. 32: Befallene Blattfläche von *Blumeria graminis*, *Septoria tritici*, *Puccinia recondita* am Fahnenblatt und F-1 an unbehandelten Pflanzen zu EC 79 der verschiedenen Weizensorten (Dikopshof, 2000).

Pathogen	Sorte					
	'Kanzler'	'Jonas'	'Flair'	'Hybnos'	'Gorbi'	'Hanseat'
<i>Blumeria graminis</i>	0 %	2 %	0 %	2 %	0 %	1 %
<i>Septoria tritici</i>	12 %	5 %	9 %	7 %	16 %	10 %
<i>Puccinia recondita</i>	25 %	3 %	8 %	2 %	18 %	10 %

Tab. 33: Befallene Blattfläche von *Blumeria graminis*, *Septoria tritici*, *Puccinia recondita* und *Puccinia striiformis* am Fahnenblatt und F-1 an unbehandelten Pflanzen zu EC 77 der verschiedenen Weizensorten (Dikopshof, 2001).

Pathogen	Sorte					
	'Kanzler'	'Jonas'	'Flair'	'Hybnos'	'Cortez'	'Drifter'
<i>Blumeria graminis</i>	5 %	3 %	4 %	3 %	2 %	1 %
<i>Septoria tritici</i>	10 %	6 %	8 %	3 %	4 %	9 %
<i>Puccinia recondita</i>	20 %	14 %	6 %	6 %	14 %	15 %
<i>Puccinia striiformis</i>	15 %	11 %	45 %	8 %	11 %	9 %

Wie auch am Standort Meckenheim führte der Pathogenbefall und die natürliche Seneszenz bei den unbehandelten Pflanzen zu den höchsten Verlusten an grüner Blattfläche. Blattflächenverluste durch Pathogenbefall bei den behandelten Pflanzen konnten durch die mehrmalige Fungizidapplikation ausgeschlossen werden. Die Reduktion der grünen Blattfläche war hier ausschließlich durch die natürliche Seneszenz der Blätter bedingt. Bei allen Sorten, abgesehen von der Sorte 'Hanseat', wiesen die Strobilurin-behandelten Pflanzen eine Verzögerung des Abbaus der grünen Blattfläche gegenüber den Azol-behandelten Pflanzen auf. Eine Unterscheidung der einzelnen Strobilurin-Präparate hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Erhalt der grünen Blattfläche war nicht möglich (Tab. 34 und 35). Es konnte kein direkter Zusammenhang zwischen dem Erhalt der grünen Blattfläche der Strobilurin-behandelten Pflanzen im Vergleich zu den Azol-behandelten Pflanzen und der Höhe der Mehrerträge bedingt durch Strobilurine hergestellt werden (Tab. 37 und 38).

Tab. 34: Einfluss von Fungizidbehandlungen mit Azolen bzw. Strobilurinen auf die nekrotisierte Blattfläche von sechs Weizensorten zu EC 85 (Dikopshof, 2000, Mittelwert des Fahnenblattes).

Behandlung \ Sorte	Nekrotisierte Blattfläche [%]					
	'Kanzler'	'Jonas'	'Flair'	'Hybnos'	'Gorbi'	'Hanseat'
Unbehandelt	100 a	93 a	65 a	43 a	96 a	99 a
Tebuconazol ¹	91 b	86 a	56 a	39 a	61 a	98 a
Trifloxystrobin ²	72 b	77 a	38 a	21 a	42 b	92 a
Azoxystrobin ³	79 b	77 a	48 a	34 a	49 b	94 a
Kresoxim-methyl ⁴	73 b	80 a	40 a	26 a	63 a	94 a

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

Tab. 35: Einfluss von Fungizidbehandlungen mit Azolen bzw. Strobilurinen auf die nekrotisierte Blattfläche von sechs Weizensorten zu EC 85 (Dikopshof, 2001, Mittelwert des Fahnenblattes).

Behandlung \ Sorte	Nekrotisierte Blattfläche [%]					
	'Kanzler'	'Jonas'	'Flair'	'Hybnos'	'Cortez'	'Drifter'
Unbehandelt	100 a	86 a	75 a	55 a	75 a	68 a
Tebuconazol ¹	88 b	83 a	60 a	45 a	64 b	66 a
Trifloxystrobin ²	66 c	72 a	46 a	35 a	45 c	57 a
Azoxystrobin ³	74 c	73 a	35 b	32 a	42 c	64 a
Kresoxim-methyl ⁴	65 c	75 a	52 a	38 a	36 c	72 a

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

Wie am Standort Meckenheim wurde die Elektronentransportrate auch am Standort Dikopshof zu mehreren Terminen während der Vegetationsperioden 2000 und 2001 bestimmt. In beiden Jahren wiesen die Strobilurin-behandelten Pflanzen besonders zu Ende der Vegetationsperiode eine höhere Elektronentransportrate als die unbehandelten und die Azol-behandelten Pflanzen auf. In beiden Jahren konnte an den unbehandelten Pflanzen infolge von natürlicher Seneszenz und Pathogenbefall die Elektronentransportrate zum letzten Messtermin nicht mehr erfasst werden. Eine sichere Zuordnung der einzelnen Sorten hinsichtlich ihrer Elektronentransportrate und der daraus resultierenden Mehrerträge war aber nicht möglich.

Bei den einzelnen Sorten unterschied sich die erhöhte bzw. verlängerte photosynthetische Aktivität des Strobilurin-behandelten Weizens signifikant von der unbehandelten- und den Azol-behandelten Pflanzen (Tab. 36). Fasst man die Daten zusammen, so ergibt sich ab dem EC-Stadium 77 eine signifikant höhere Elektronentransportkapazität der Strobilurin-behandelten Pflanzen gegenüber den Pflanzen der Azol-behandelten Varianten. Die geringere Quantenausbeute der unbehandelten Pflanzen konnte ab EC-Stadium 77 statistisch zu den Fungizid-behandelten Pflanzen abgesichert werden (Abb. 24). Die Unterschiede der Photosyntheserate der einzelnen Varianten wurden auch in signifikanten Mehrerträgen zwischen den Kornträgen des Azol- und des Strobilurin-behandelten Weizens wiedergefunden (Abb. 26 und 27).

Anders als am Standort Meckenheim kam es durch den wesentlich stärkeren Pathogenbefall in den unbehandelten Varianten bei allen Sorten im Jahr 2000 und 2001 zu signifikanten Ertragseinbußen im Vergleich zu Fungizid-behandeltem Weizen. Im Jahr 2001 war es möglich, die durch das Strobilurin bedingten Mehrerträge der Sorten 'Hybnos' und 'Cortez' zu den Erträgen der jeweiligen Azol-Varianten statistisch abzusichern (Tab. 37 und 38).

Tab. 36: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf die effektive Quantenausbeute von PS II der Fahnenblätter von Winterweizen zu EC 65, 75 und 85 (Dikopshof, 2000).

		effektive Quantenausbeute Photosystem II				
Sorte		Unbehandelt	Tebuconazol ¹	Trifloxy-strobin ²	Azoxy-strobin ³	Kresoxim-methyl ⁴
'Kanzler'	EC 65	0,63a	0,63a	0,64a	0,63a	0,64a
	EC 75	0,52a	0,58b	0,64b	0,62b	0,61b
	EC 85	0	0,15a	0,29b	0,30b	0,25b
'Jonas'	EC 65	0,64a	0,63a	0,67a	0,63a	0,64a
	EC 75	0,53a	0,55a	0,60a	0,53a	0,60a
	EC 85	0	0,25a	0,40b	0,40b	0,42b
'Flair'	EC 65	0,62a	0,63a	0,65a	0,64a	0,65a
	EC 75	0,36a	0,53b	0,59b	0,56b	0,58b
	EC 85	0	0,24a	0,43b	0,42b	0,43b
'Hybnos'	EC 65	0,64a	0,65a	0,66a	0,65a	0,67a
	EC 75	0,53a	0,57ab	0,62b	0,59b	0,62b
	EC 85	0	0,40a	0,50b	0,50b	0,50b
'Gorbi'	EC 65	0,63a	0,62a	0,65a	0,65a	0,64a
	EC 75	0,37a	0,50b	0,59c	0,57c	0,58c
	EC 85	0	0,22a	0,38b	0,38b	0,37b
'Hanseat'	EC 65	0,63a	0,65a	0,66a	0,64a	0,64a
	EC 75	0,42a	0,48b	0,52b	0,52b	0,53b
	EC 85	0	0,21a	0,36b	0,32b	0,31b

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

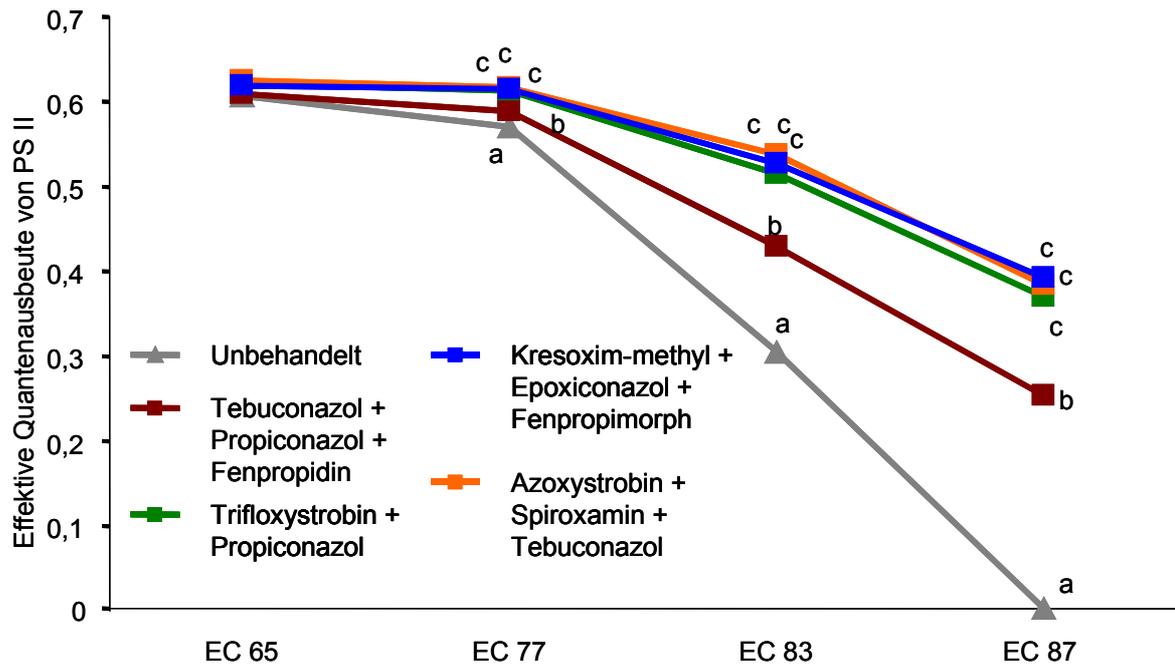


Abb. 24: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf die durchschnittliche effektive Quantenausbeute von PS II der Fahnenblätter von sechs Winterweizensorten (Dikopshof, 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte eines Behandlungstermins mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

Tab. 37: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf den Kornertrag von sechs Winterweizensorten (Dikopshof, 2000).

Sorte \ Behandlung	'Kanzler'		'Jonas'		'Flair'		'Hybnos'		'Gorbi'		'Hanseat'	
	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%
Unbehandelt	54,1a	100	78,5a	100	79,1a	100	88,8a	100	72,5a	100	82,9a	100
Tebuconazol ¹	80,7b	149	81,3a	103	90,0ab	114	92,4ab	104	82,3b	114	94,3b	114
Trifloxystrobin ²	85,9b	159	82,1a	105	93,2b	118	99,7b	112	88,2b	122	97,9b	118
Azoxystrobin ³	84,0b	155	83,6a	106	95,2b	120	99,9b	113	87,9b	121	97,8b	118
Kresoxim-methyl ⁴	85,1b	157	83,9a	107	91,4b	116	98,9b	111	85,3b	118	96,9b	117

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

Tab. 38: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf den Kornertrag von sechs Winterweizensorten (Dikopshof, 2001).

Behandlung	Sorte 'Kanzler'		'Jonas'		'Flair'		'Hybnos'		'Cortez'		'Drifter'	
	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%
Unbehandelt	67,9a	100	90,0a	100	85,6a	100	104,5a	100	95,2a	100	100,4a	100
Tebuconazol ¹	90,1b	133	94,1b	105	99,8b	117	107,1b	102	101,1b	106	104ab	103
Trifloxystrobin ²	95,6c	141	95,6b	106	104,0b	122	113,3c	108	109,2c	115	107,7b	107
Azoxystrobin ³	95,6c	141	96,0b	107	103,1b	120	112,0c	107	105,9c	111	106,5b	106
Kresoxim-methyl ⁴	96,6c	142	98,1b	109	103,7b	121	114,6c	110	108,0c	113	105,9b	106

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

3.4.1.3 Standort Kerpen

Im Vergleich der drei Standorte trat in Kerpen-Buir in den Jahren 2000 und 2001 der höchste Pathogenbefall mit *Blumeria graminis*, *Septoria tritici* und *Puccinia recondita* auf und führte zu signifikanten Ertragsverlusten bei fast allen unbehandelten Pflanzen der eingesetzten Weizensorten. *Puccinia striiformis* dagegen trat zwar in beiden Jahren vereinzelt auf, hatte aber nicht die ertragsrelevante Bedeutung wie auf dem Dikopshof im Jahr 2001 (Tab. 39 und 40).

Tab. 39: Befallende Blattfläche von *Blumeria graminis*, *Septoria tritici* und *Puccinia recondita* am Fahnenblatt und F-1 an unbehandelten Pflanzen zu EC 79 der verschiedenen Weizensorten (Kerpen, 2000).

Pathogen	Sorte					
	'Kanzler'	'Jonas'	'Flair'	'Hybnos'	'Gorbi'	'Hanseat'
<i>Blumeria graminis</i>	5 %	1 %	2 %	3 %	0 %	1 %
<i>Septoria tritici</i>	10 %	5 %	9 %	7 %	12 %	6 %
<i>Puccinia recondita</i>	30 %	8 %	7 %	6 %	40 %	6 %

Tab. 40: Befallende Blattfläche von *Blumeria graminis*, *Septoria tritici*, *Puccinia recondita* und *Puccinia striiformis* am Fahnenblatt und F-1 an unbehandelten Pflanzen zu EC 75 der verschiedenen Weizensorten (Kerpen, 2001).

Pathogen	Sorte					
	'Kanzler'	'Jonas'	'Flair'	'Hybnos'	'Cortez'	'Drifter'
<i>Blumeria graminis</i>	6 %	5 %	2 %	4 %	2 %	7 %
<i>Septoria tritici</i>	15 %	8 %	7 %	9 %	8 %	4 %
<i>Puccinia recondita</i>	25 %	9 %	14 %	15 %	14 %	6 %
<i>Puccinia striiformis</i>	5 %	0	12 %	0	2 %	0

Pathogenbefall führte bei den unbehandelten Weizensorten zu den höchsten Verlusten an photosynthetisch aktiver Blattfläche. Besonders bei den anfälligen Sorten 'Kanzler', 'Gorbi' und 'Hanseat' waren die Fahnenblätter der unbehandelten Varianten zu EC-Stadium 85 vollständig abgestorben. Der fungizidbehandelte Weizen wies dagegen bei allen Sorten im Jahr 2000 nur einen sehr geringen Nekrotisierungsgrad von ca. 10 % oder weniger auf. Die Vitalität der Pflanzen lag in hohem Maße an der guten Stickstoff- und Wasserversorgung der Pflanzen (Tab. 41). Das Ertragsniveau in Kerpen gegenüber den anderen Standorten war deutlich erhöht (Tab. 40).

Im Jahr 2001 wiesen die Fungizid-behandelten Pflanzen in Kerpen zwar einen höheren Nekrotisierungsgrad auf, dieser lag aber im Durchschnitt niedriger als an den Standorten Meckenheim und Dikopshof. Die längere und höhere assimilatorische Aktivität führte hier zu dem höchsten Ertragsniveau im Vergleich der Standorte (Tab. 44 und 45).

Tab. 41: Einfluss von Fungizidbehandlungen mit Azolen bzw. Strobilurinen auf die nekrotisierte Blattfläche von sechs Weizensorten zu EC 85 (Kerpen, 2000, Mittelwert des Fahnenblattes).

Sorte Behandlung	Nekrotisierte Blattfläche [%]					
	'Kanzler'	'Jonas'	'Flair'	'Hybnos'	'Gorbi'	'Hanseat'
Unbehandelt	100 a	53 a	64 a	80 a	99 a	99 a
Tebuconazol ¹	12 b	8 b	6 b	7 b	7 b	12 b
Trifloxystrobin ²	8 b	4 b	3 b	4 b	5 b	6 b
Azoxystrobin ³	9 b	6 b	6 b	6 b	6 b	7 b
Kresoxim-methyl ⁴	10 b	5 b	4 b	6 b	6 b	6 b

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

Tab. 42: Einfluss von Fungizidbehandlungen mit Azolen bzw. Strobilurinen auf die nekrotisierte Blattfläche von sechs Weizensorten zu EC 85 (Kerpen, 2001, Mittelwert des Fahnenblattes).

Behandlung \ Sorte	Nekrotisierte Blattfläche [%]					
	'Kanzler'	'Jonas'	'Flair'	'Hybnos'	'Cortez'	'Drifter'
Unbehandelt	100 a	55 a	85 a	70 a	75 ab	79 a
Tebuconazol ¹	41 b	40 a	34 b	21 b	42 b	36 b
Trifloxystrobin ²	35 b	37 a	32 b	28 b	32 bc	34 b
Azoxystrobin ³	33 b	43 a	31 b	22 b	28 bc	31 b
Kresoxim-methyl ⁴	30 b	42 a	25 b	32 b	24 c	29 b

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

Am Standort Kerpen wiesen im Jahr 2000 die Strobilurin-behandelten Pflanzen der einzelnen Sorten zum EC-Stadium 85 eine zum Teil signifikant höhere Elektronentransportrate gegenüber den unbehandelten und Azol-behandelten Pflanzen auf. Eine eindeutige Zuordnung der einzelnen Sorten hinsichtlich ihrer Elektronenrate und der daraus resultierenden Mehrerträge im Vergleich zu den unbehandelten Pflanzen und insbesondere der Azol-behandelten Pflanzen war auch hier nicht möglich. Die längere photosynthetische Aktivität der Strobilurin-behandelten Weizenblätter konnte teilweise zu den Kontroll- und den Azol-behandelten Blättern statistisch abgesichert werden (Tab. 43).

Für die zusammengefassten Daten über die Sorten im Jahr 2001 hob sich die Elektronentransportkapazität der Fungizid-behandelten Fahnenblätter schon Mitte der Blüte signifikant von den unbehandelten Weizenblättern ab. Zum zweiten Messtermin lag die photosynthetische Leistung der Fahnenblätter der Strobilurin-behandelten Varianten signifikant über denen der unbehandelten und Azol-behandelten Varianten. Gegen Ende der Vegetationsperiode verstärkte sich der Leistungsvorsprung der Strobilurin-behandelten Pflanzen (Abb. 25). Diese höhere und längere Photosyntheseaktivität zeigte sich auch in signifikant höheren Erträgen - für die summierten Kornerträge die Sorten - der Strobilurin-Varianten im Gegensatz zu den Azol-Varianten (Abb. 26 und 27).

Durch das höhere Ertragsniveau am Standort Kerpen im Vergleich zu den Standorten Dikopshof und Meckenheim wurden die Ertragsunterschiede bzw. die Mehrerträge zwischen den einzelnen Behandlungen nicht beeinflusst. Im Jahr 2000 konnten trotz des

starken Pathogenbefalls die Ertragsunterschiede zwischen den unbehandelten Pflanzen und den Fungizidvarianten nicht bei allen Sorten statistisch abgesichert werden (Tab. 44). Im Jahr 2001 konnten wie am Standort Dikopshof bei den Sorten 'Hybnos', 'Cortez' und 'Drifter' die Mehrerträge zwischen den Strobilurin- und den Azol-Varianten abgesichert werden (Tab. 45).

Tab. 43: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf die effektive Quantenausbeute von PS II der Fahnenblätter von Winterweizen zu EC 65, 75 und 85 (Kerpen, 2000).

		effektive Quantenausbeute Photosystem II				
Sorte		Unbehandelt	Tebuconazol ¹	Trifloxystrobin ²	Azoxystrobin ³	Kresoxim-methyl ⁴
'Kanzler'	EC 65	0,59a	0,59a	0,61a	0,61a	0,58a
	EC 75	0,51a	0,56ab	0,61b	0,58b	0,59b
	EC 85	0,27a	0,36b	0,55c	0,55c	0,51c
'Jonas'	EC 65	0,57a	0,60a	0,61a	0,62a	0,58a
	EC 75	0,55a	0,57a	0,60a	0,62a	0,59a
	EC 85	0,36a	0,43ab	0,60c	0,60c	0,58c
'Flair'	EC 65	0,58a	0,58a	0,62a	0,58a	0,59a
	EC 75	0,56a	0,60a	0,62a	0,60a	0,61a
	EC 85	0,27a	0,49b	0,59c	0,62c	0,61c
'Hybnos'	EC 65	0,57a	0,55a	0,58a	0,58a	0,57a
	EC 75	0,58a	0,61a	0,63a	0,65a	0,62a
	EC 85	0,25a	0,46b	0,57c	0,50c	0,59c
'Gorbi'	EC 65	0,56a	0,56a	0,59a	0,58a	0,56a
	EC 75	0,54a	0,57a	0,56a	0,57a	0,58a
	EC 85	0,39a	0,54b	0,59c	0,58c	0,62c
'Hanseat'	EC 65	0,61a	0,61a	0,65a	0,63a	0,61a
	EC 75	0,54a	0,58a	0,56a	0,57a	0,62a
	EC 85	0,16a	0,51ab	0,53b	0,52b	0,58b

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

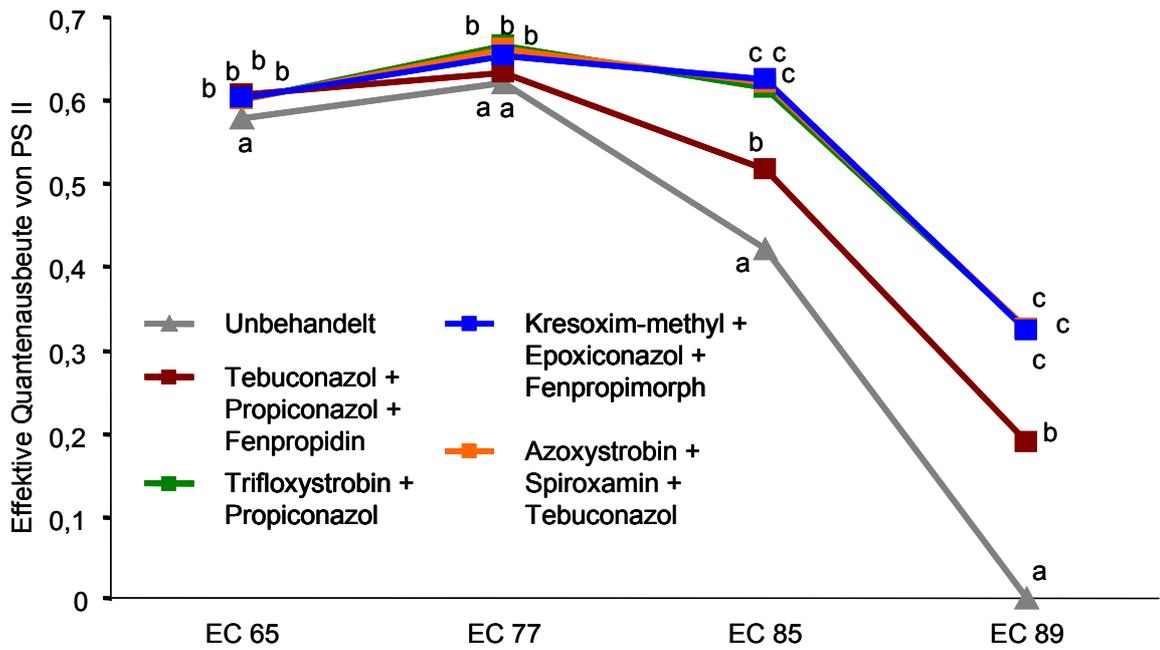


Abb. 25: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf die durchschnittliche effektive Quantenausbeute von PS II der Fahnenblätter von sechs Winterweizensorten (Kerpen, 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte eines Behandlungstermins mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

Tab. 44: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf den Kornertrag von sechs Winterweizensorten (Kerpen, 2000).

Sorte \ Behandlung	'Kanzler'		'Jonas'		'Flair'		'Hybnos'		'Gorbi'		'Hanseat'	
	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%
Unbehandelt	78,6a	100	90,3a	100	98,8a	100	97,0a	100	76,3a	100	92,2a	100
Tebuconazol ¹	96,4b	123	97,1b	108	103,9a	105	108,2b	112	104,5b	137	101,6b	110
Trifloxystrobin ²	100,9b	128	98,9b	110	108,6b	110	112,1b	116	111,0b	146	106,8b	116
Azoxystrobin ³	102,3b	130	98,5b	109	109,0b	110	110,9b	114	109,8b	144	104,9b	114
Kresoxim-methyl ⁴	101,5b	129	99,4b	110	110,3b	112	112,8b	116	109,4b	143	103,8b	113

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

Tab. 45: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf den Kornertrag von sechs Winterweizensorten (Kerpen, 2001).

Behandlung	Sorte		'Kanzler'		'Jonas'		'Flair'		'Hybnos'		'Cortez'		'Drifter'	
	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%	[dt/ha]	%
Unbehandelt	72,3a	100	100,1a	100	96,2a	100	112,5a	100	108,3a	100	105,1a	100		
Tebuconazol ¹	101,9b	141	105,0a	105	106,6b	111	120,0b	107	110,9b	102	112,3b	107		
Trifloxystrobin ²	105,9b	146	107,3a	107	110,6c	115	124,2b	110	117,2c	108	115,5b	110		
Azoxystrobin ³	104,9b	145	107,2a	107	110,3c	115	125,0b	111	117,1c	108	113,9b	108		
Kresoxim-methyl ⁴	107,0b	148	108,0a	108	112,0c	116	125,2b	111	116,3c	107	116,4b	111		

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte innerhalb einer Sorte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, p ≤ 0,05

3.4.2 Kornerträge und Ertragsstruktur

Bei den zusammengefassten Ertragsdaten für das Jahr 2000 zeigten sich nach den verschiedenen Behandlungen am Standort Meckenheim keine signifikanten Ertragsunterschiede. Bedingt durch den minimalen Pathogenbefall lagen die Erträge der unbehandelten und der Azol-behandelten Pflanzen praktisch auf einer Höhe und auch der Ertragsvorsprung des Strobilurin-behandelten Weizens war nicht absicherbar. An den Standorten Dikopshof und Kerpen konnten die durch Pathogenbefall bedingten Ertragsverluste statistisch abgesichert werden und auch die Mehrerträge der Strobilurin-Varianten verglichen zum Azol-behandelten Weizen wurden an beiden Standorten signifikant. Eine Unterscheidung der einzelnen Strobilurin-Präparate hinsichtlich ihrer Ertragswirksamkeit war auf keinem der drei Standorte möglich. (Abb. 26).

Im Versuchsjahr 2001 lagen die Kornerträge in Meckenheim und am Dikopshof wesentlich höher als im Jahr 2000. Diese Ertragssteigerungen lassen sich durch eine höhere und bessere Verteilung der Niederschläge erklären. Der stärkere Pathogenbefall in Meckenheim führte zwar in diesem Jahr im Vergleich zum Vorjahr zu signifikanten Ertragsverlusten, aber die Mehrerträge des Strobilurin-behandelten Weizens gegenüber der Azol-Varianten ließen sich auch in diesem Jahr nicht absichern. An den Standorten Dikopshof und Kerpen zeigte sich ein ähnliches Bild, abgesehen von den höheren Erträgen am

Standort Dikopshof. An beiden Standorten führte der Krankheitsbefall zu deutlichen Ertragsreduktionen. Die Strobilurin-bedingten Mehrerträge waren im Vergleich zu den Erträgen der Azol behandelten Pflanzen signifikant erhöht (Abb. 27).

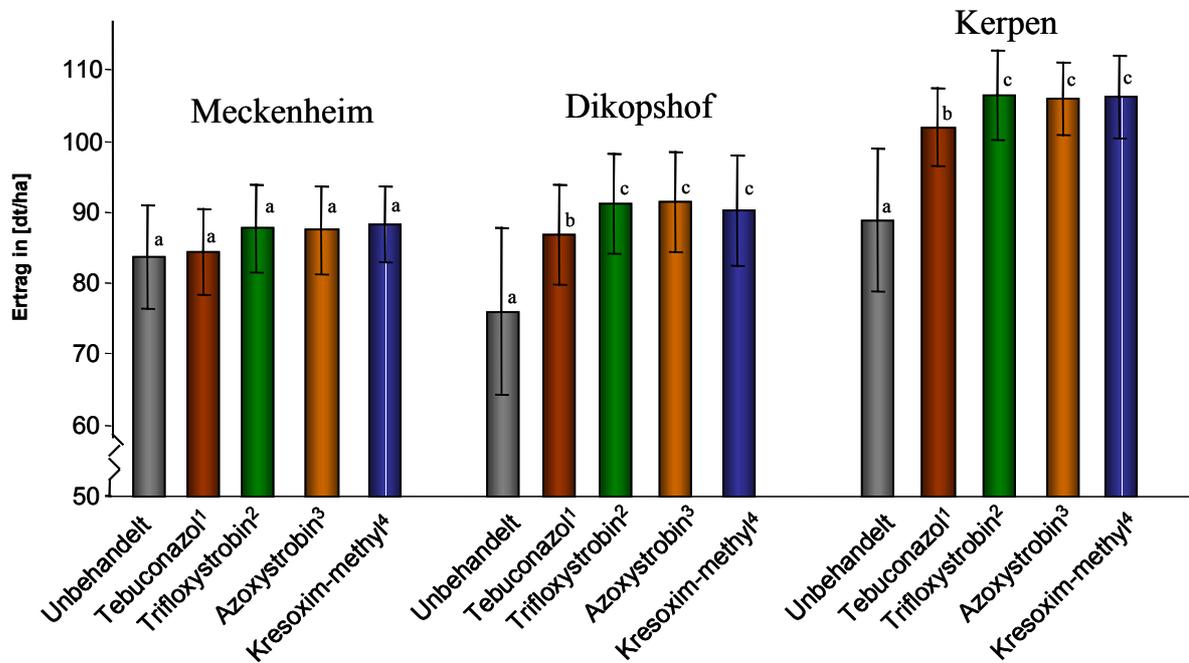


Abb. 26: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf den durchschnittlichen Kornertrag von sechs Winterweizensorten (Meckenheim, Dikopshof und Kerpen, 2000, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, ¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph).

Um die Höhe der Strobilurin-bedingten Mehrerträge der einzelnen Standorte zu veranschaulichen, wurde die Ertragsdifferenz zwischen den Kornerträgen des Azol- und des Strobilurin-behandelten Weizens berechnet. In beiden Versuchsjahren zeigte sich die gleiche Reihenfolge der Standort-bedingten Mehrerträge, gemessen als die Ertragsdifferenz zwischen Azol- und Strobilurin-behandeltem Weizen. Die höchsten Erträge wurden am Standort Dikopshof erzielt, gefolgt von Kerpen und Meckenheim. In beiden Versuchsjahren zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der absoluten Ertragshöhe und den Mehrerträgen durch Strobilurine, wie am Beispiel Kerpen zu erkennen. Hier lagen die Kornerträge des Strobilurin-behandelten Weizens zwar in beiden Jahren deutlich über 100 dt/ha, die Ertragsdifferenz zu den Azol-Varianten lag in beiden Jahren aber unter der des Dikopshofes mit niedrigeren absoluten Erträgen (Abb. 28).

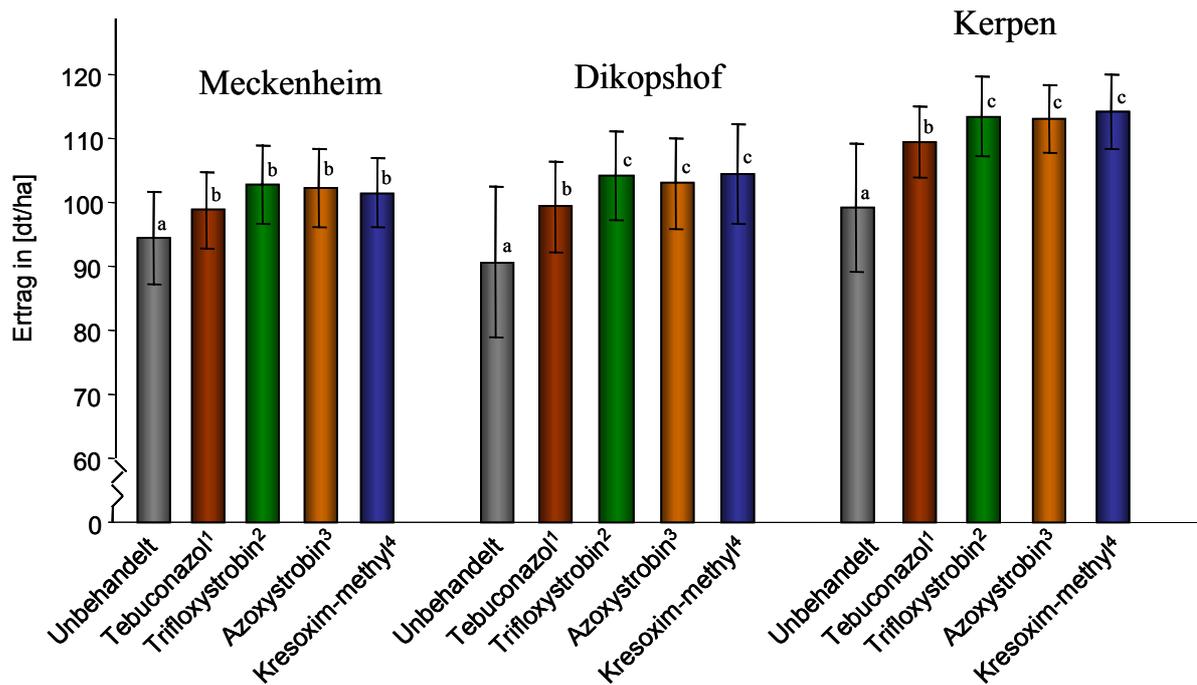


Abb. 27: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf den durchschnittlichen Kornertrag von sechs Winterweizensorten (Meckenheim, Dikopshof und Kerpen, 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, ¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph).

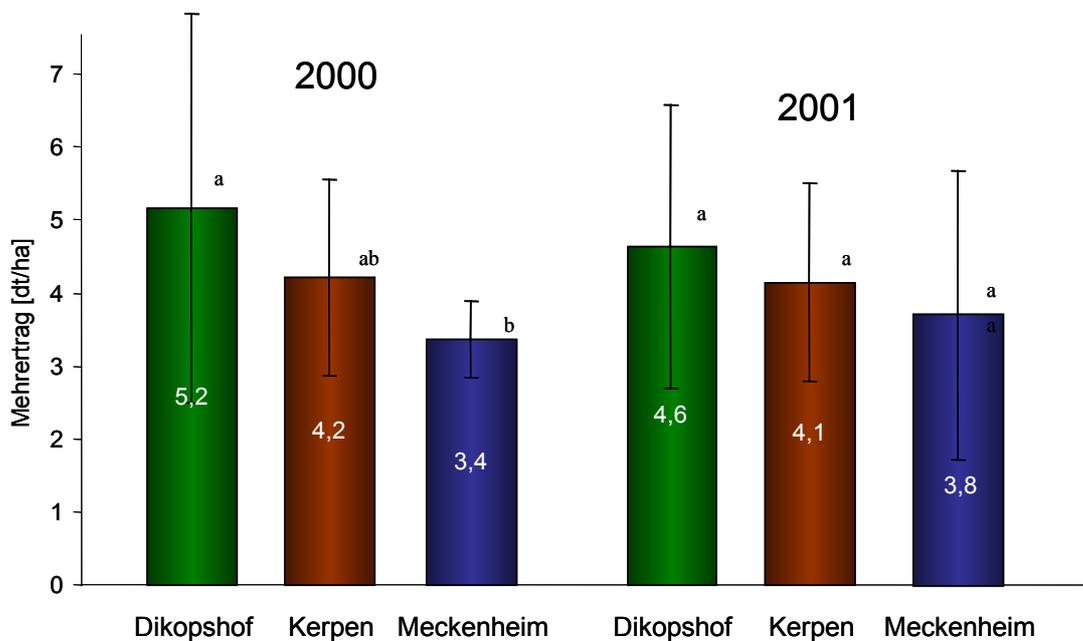


Abb. 28: Mehrerträge der Strobilurin-behandelten Weizenpflanzen im Vergleich zu den Kornerträgen der Azol-Varianten (Dikopshof, Kerpen und Meckenheim, 2000 und 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

Um festzustellen, inwieweit die einzelnen Sorten mit Mehrerträgen auf Strobilurin-Behandlungen reagierten, sind in Abbildung 29 die Ertragsdifferenzen zwischen den Erträgen der Azol- und den Strobilurin-Varianten der einzelnen Sorten für die beiden Versuchsjahre über alle Standorte zusammengefasst. In beiden Jahren reagierte die Sorte 'Hybnos' mit den höchsten Mehrerträgen, gefolgt von den Sorten 'Kanzler' und 'Flair'. Die Sorte 'Jonas' dagegen wies den geringsten Ertragszuwachs auf. Eine Zuordnung des Ertragszuwachses der Sorten aufgrund genotypischer Merkmale wie Krankheitsanfälligkeit und/oder Ertragspotential war nicht möglich.

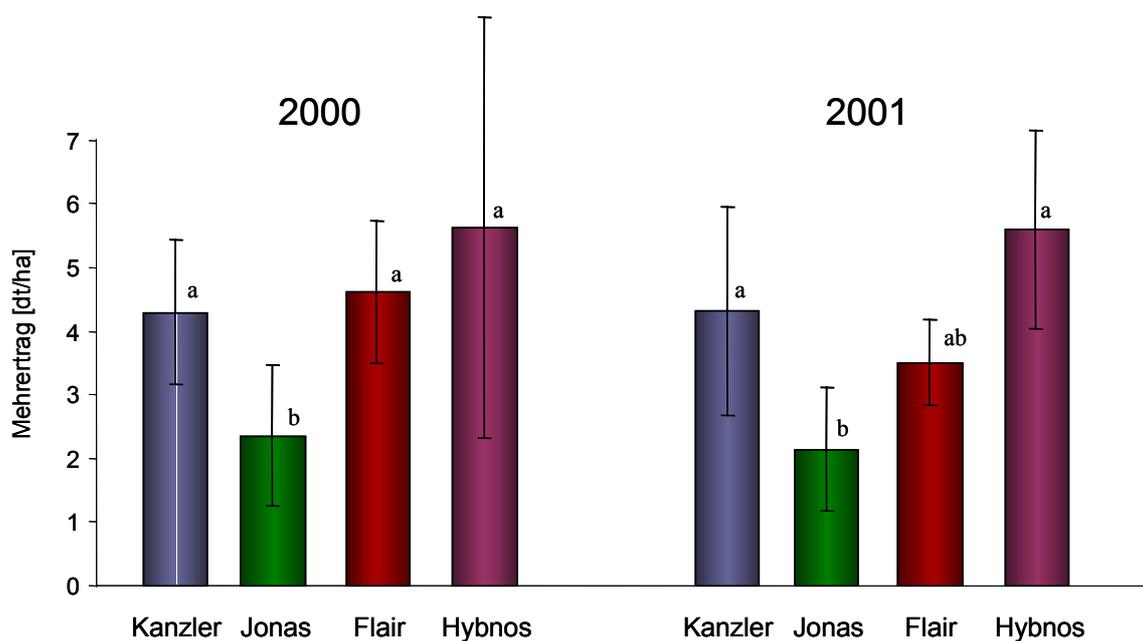


Abb. 29: Mehrerträge der Strobilurin-behandelten Pflanzen der Weizensorten 'Kanzler', 'Jonas', 'Flair' und 'Hybnos' im Vergleich zu den Kornerträgen der jeweiligen Azol-Varianten (Dikopshof, Kerpen und Meckenheim, 2000 und 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant).

Um diese Zusammenhänge genauer zu untersuchen, wurde in Abbildung 30 die Krankheitsanfälligkeit der Sorten - gemessen als Ertragsdifferenz der Erträge der Azol Varianten zu den Erträgen der unbehandelten Varianten – mit den Mehrerträgen der Strobilurin behandelten Pflanzen korreliert. Jeder Diagrammpunkt gibt als Wertepaar den pathogen-bedingten Ertragsverlust und den jeweiligen Strobilurin-bedingten Mehrertrag der einzelnen Sorten und den der drei eingesetzten Strobilurin-Präparaten an, so dass es pro Strobilurinpräparat (Trifloxystrobin, Azoxystrobin und Kresoxim-methyl) 18 Wiederholungen (sechs Sorten pro Standort an drei Standorten) gab. In beiden Jahren

zeigte sich kein Zusammenhang zwischen den Merkmalen Krankheitsanfälligkeit und Mehrertrag durch Strobilurin-Behandlung.

In einer weiteren Korrelationsanalyse wurde der Zusammenhang zwischen dem Ertragspotential der verwendeten Sorten und den Mehrerträgen durch die Strobilurin-Behandlungen untersucht (Abb. 31). Das Ertragspotential wurde als der absolute Ertrag der Azol-Variante der jeweiligen Sorten bestimmt und der Strobilurin-bedingte Ertragszuwachs wie in der obigen Korrelation als Differenz zum Ertrag der Azol-Variante festgelegt.

Auch hier zeigte sich zwischen den Merkmalen Ertragspotential der einzelnen Sorten und Mehrerträgen durch Strobilurin-Behandlung kein Zusammenhang. Zwar gab es genotypische Unterschiede im Strobilurin-bedingten Ertragszuwachs der einzelnen Sorten, diese wurden aber nicht durch Merkmale wie Krankheitsanfälligkeit und Ertragspotential beeinflusst. Messungen der Assimilationsraten der Sorten 'Hybnos' und 'Jonas', die mit den höchsten bzw. niedrigsten Ertragszuwächsen innerhalb der Sortenversuche reagierten, zeigten, dass die Assimilationsleistung der Sorte 'Hybnos' gemessen an den Fahnenblättern durchschnittlich höher lag als bei der Sorte 'Jonas'. Diese höhere Assimilationsleistung zeigte sich besonders deutlich unter ungünstigen Umweltbedingungen (Abb. 34-36).

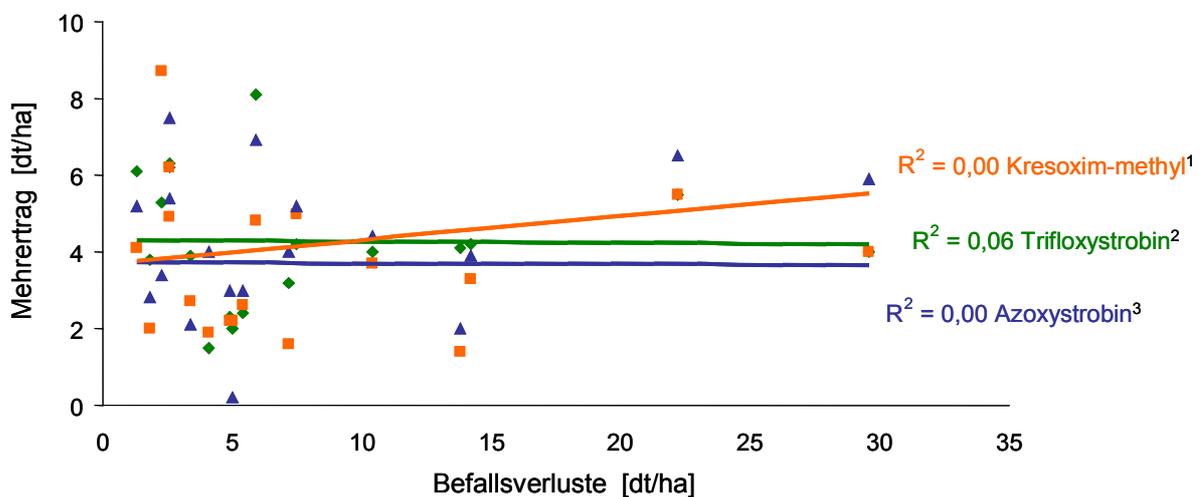


Abb. 30: Korrelation zwischen der Krankheitsanfälligkeit der Sorten - gemessen als Ertragsdifferenz der Erträge der Azol-Varianten zu den Erträgen der unbehandelten Varianten - und den Mehrerträgen der Strobilurin behandelten Pflanzen (Dikopshof, Kerpen und Meckenheim, 2001, ¹ + Epoxiconazol + Fenpropimorph, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol)

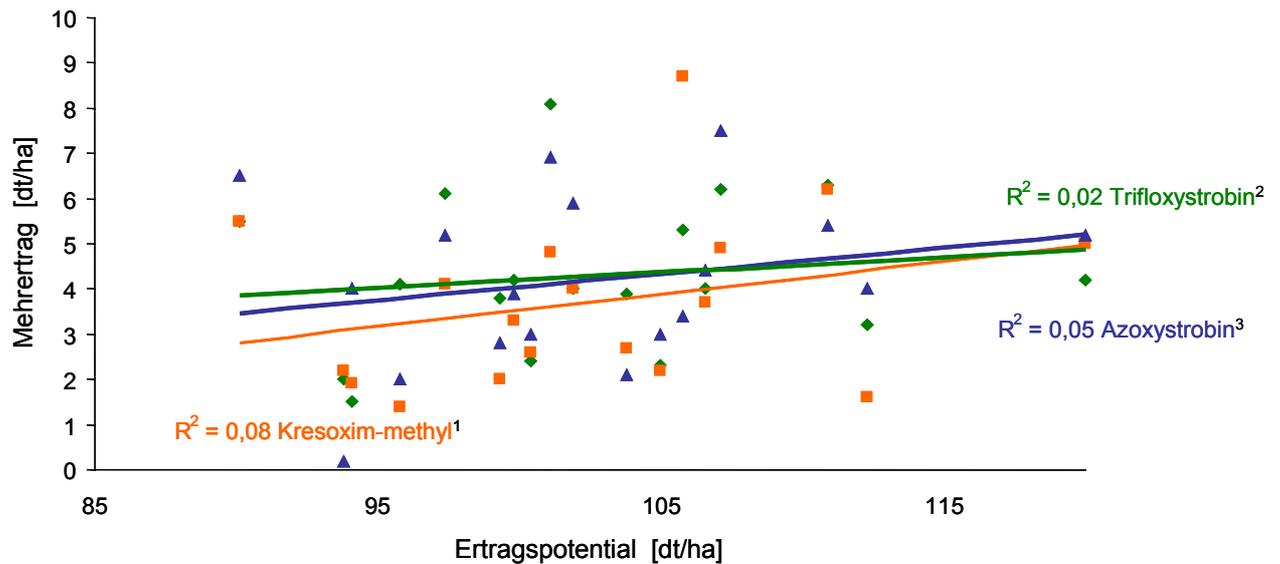


Abb. 31: Korrelation zwischen dem Ertragspotential der Sorten - gemessen als die Erträge der Azol Varianten – und den Mehrerträgen der Strobilurin behandelten Pflanzen (Dikopshof, Kerpen und Meckenheim, 2001, ¹ + Epoxiconazol + Fenpropimorph, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol).

Die zusammengefassten Tausendkorngewichte - über die Sorten - der einzelnen Behandlungen an den drei Standorten Meckenheim, Dikopshof und Kerpen im Jahr 2000 zeigten, dass die Mehrerträge der Azol- bzw. Strobilurin-Behandlungen durch die Erhöhung des TKG bedingt sind (Tab. 46 und 47). In Meckenheim wiesen die Tausendkorngewichte der unbehandelten und der Azol-behandelten Pflanzen keine Unterschiede auf. Das war auch am Kornertrag abzulesen (Abb. 26). Die Strobilurin-bedingte Ertragswirkung verglichen zu dem Ertrag des Azol-behandelten Weizen zeigte sich im Tausendkorngewicht deutlicher als bei den Flächenerträgen.

Der Unterschied zwischen dem Tausendkorngewicht der unbehandelten Pflanzen, bedingt durch den stärkeren Pathogenbefall, war auf dem Dikopshof signifikant zum Azol-behandelten Weizens reduziert. Die Mehrerträge der Strobilurin-Varianten spiegeln sich in signifikant höheren Tausendkorngewichten wider. Ein ähnliches Bild zeigte sich in Kerpen. Hier waren die Tausendkorngewichte der unbehandelten Pflanzen ebenfalls signifikant zu den Pflanzen mit Fungizidbehandlung reduziert. Die Tausendkorngewichte des Strobilurin-behandelten Weizens konnten zu denen der Azol-behandelten Pflanzen statistisch abgesichert werden (Tab. 46).

Für den Standort Dikopshof wurde in beiden Jahren neben dem TKG auch die Anzahl der Körner pro Ähre - über die Sorten - aufgeschlüsselt nach den Behandlungen, bestimmt (Tab.47). In beiden Jahren waren die Tausendkorngewichte des Strobilurin-behandelten Weizens signifikant höher als die des Azol-behandelten Weizens. Das was auch in den absoluten Erträgen wiederzufinden. Die Anzahl der Körner pro Ähre blieb in den Jahren 2000 und 2001 dagegen bei allen Behandlungen konstant.

Tab. 46: Einfluss ausgewählter Fungizide auf das Tausendkorngewicht (Meckenheim, Dikopshof und Kerpen, 2000).

Standort	Tausendkorngewicht				
	Unbehandelt	Tebuconazol ¹	Trifloxystrobin ²	Azoxystrobin ³	Kresoxim-methyl ⁴
Meckenheim	41,8 ± 4,1a	41,6 ± 4,2a	43,1 ± 4,3b	43,4 ± 3,9b	43,3 ± 3,8b
Dikopshof	44,0 ± 4,5a	48,3 ± 2,6b	49,6 ± 2,2c	50,0 ± 2,5c	49,1 ± 2,7c
Kerpen	40,9 ± 3,3a	45,9 ± 2,6b	46,9 ± 2,6c	46,8 ± 2,7c	46,7 ± 2,7c

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

Tab. 47: Einfluss ausgewählter Fungizide auf das Tausendkorngewicht und die Anzahl der Körner pro Ähre (Dikopshof, 2000 und 2001).

Jahr		Tausendkorngewicht und Körner/Ähre				
		Unbehandelt	Tebuconazol ¹	Trifloxystrobin ²	Azoxystrobin ³	Kresoxim-methyl ⁴
2000	TKG	44,0 ± 4,5a	48,3 ± 2,6b	49,6 ± 2,2c	50,0 ± 2,5c	49,1 ± 2,7c
	Körner/- Ähre	45,9 ± 7,7a	46,5 ± 8,6a	45,4 ± 7,6a	45,2 ± 8,9a	45,0 ± 7,7a
2001	TKG	43,2 ± 5,2a	46,6 ± 3,7b	48,4 ± 5,0c	47,6 ± 5,0bc	49,1 ± 3,3c
	Körner/- Ähre	52,3 ± 9,1a	52,4 ± 10,4a	52,2 ± 10,2a	52,0 ± 10,8a	56,3 ± 8,9a

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, SNK-Test, $p \leq 0,05$

3.4.3 Qualitätsparameter

Die Fungizidbehandlungen beeinflussten den Proteingehalt nicht. Trotz Ertragszunahmen nach Strobilurin-Behandlung blieben die Proteingehalte im Vergleich zu der Azol-Behandlung und zu den unbehandelten Pflanzen gleich (Tab. 48). Das bedeutet, dass infolge der teilweise erheblichen Kornertragsanstiege ein signifikant höherer Proteinertrag pro Hektar auf dem Dikopshof und in Kerpen erzielt werden konnte (Tab. 49).

Tab. 48: Einfluss ausgewählter Fungizide auf den Proteingehalt des Erntegutes (Meckenheim, Dikopshof und Kerpen, 2000).

Standorte	Unbehandelt	Proteingehalt [%]			
		Tebuconazol ¹	Trifloxystrobin ²	Azoxystrobin ³	Kresoxim-methyl ⁴
Meckenheim	13,0 ± 1,44	13,3 ± 1,79	12,9 ± 1,48	12,9 ± 1,32	12,9 ± 1,62
Dikopshof	13,5 ± 1,46	13,6 ± 1,45	13,8 ± 1,09	13,5 ± 1,27	14,0 ± 1,43
Kerpen	13,6 ± 0,71	13,7 ± 0,74	13,6 ± 0,76	13,6 ± 0,91	13,3 ± 0,95

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
n.s. SNK-Test, p ≤ 0,05

Tab. 49: Einfluss ausgewählter Fungizide auf den Proteinertrag pro Hektar (Meckenheim, Dikopshof und Kerpen, 2000).

Standorte	Unbehandelt	Proteinertrag pro Hektar [dt/ha]			
		Tebuconazol ¹	Trifloxystrobin ²	Azoxystrobin ³	Kresoxim-methyl ⁴
Meckenheim	10,9 ± 0,61a	11,2 ± 0,68a	11,3 ± 0,50a	11,3 ± 0,70a	11,4 ± 0,42a
Dikopshof	10,2 ± 1,64a	11,8 ± 0,69b	12,5 ± 0,76b	12,3 ± 0,53b	12,6 ± 0,77b
Kerpen	12,1 ± 1,50a	13,9 ± 0,55b	14,4 ± 0,46b	14,4 ± 0,39b	14,1 ± 0,62b

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Spiroxamin + Tebuconazol, ⁴ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
SNK-Test, p ≤ 0,05; Werte eines Standortes mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

3.5 Auswirkung von Stress auf die Ertragsphysiologie von Weizenpflanzen

Die Auswirkungen von ungünstigen Umweltbedingungen auf die Physiologie von Strobilurin-behandelten Weizenpflanzen, wie sie z.B. durch Trockenstress ausgelöst werden können, wurden sowohl im Gewächshaus als auch unter Feldbedingungen untersucht. Weiterhin wurde die Reaktion der Sorten 'Hybnos' und 'Jonas', die sich in den Sortenversuchen durch ihre hohen bzw. geringen Mehrträgen auszeichneten, im Gewächshaus unter verschiedenen Umweltbedingungen näher erfasst.

3.5.1 Einfluss auf die Leistung des Photosyntheseapparates

3.5.1.1 Starker Trockenstress

Durch das Auslösen von starkem Trockenstress wurde untersucht, ob die durch Strobilurine induzierte Pflanzenaktivierung durch Stress aufgehoben werden kann. Der in Mitscherlich-Töpfen angezogene Sommerweizen ('Munk') wurde zur Mitte des Ährenschiebens erstmals mit einem Strobilurin- und einem Azol-Präparat behandelt. Nach drei Tagen wurden die Elektronentransportrate (Abb. 32) und die CO₂-Assimilationsrate des Fahnenblattes bestimmt (Abb. 33). Schon bei der ersten Messung wies der Strobilurin-behandelte Weizen eine erhöhte Quantenausbeute sowie eine höhere Assimilationsrate als die Azol-behandelten Pflanzen auf. Nach dem ersten Messtermin wurde der Versuch in Pflanzen mit Bewässerung und Pflanzen ohne Bewässerung aufgeteilt. Die Bewässerungs-Variante wurde weiterhin gegossen, die Stress-Variante wurde bis zum zweiten Messtermin sieben Tage nach der Fungizidapplikation nicht gewässert. Bei der Bestimmung der Elektronentransportrate der gestressten Pflanzen zum zweiten Messtermin zeigte sich eine leicht reduzierte Photosynthese-Aktivität im Vergleich zu den bewässerten Kontrollpflanzen. Jedoch wiesen in beiden Varianten die Strobilurin-behandelten Pflanzen eine höhere Elektronentransportrate auf. Die Auswirkungen des Trockenstresses auf die Assimilationsrate war wesentlich gravierender, so dass kein Gasaustausch zwischen Blatt und Umwelt gemessen werden konnte.

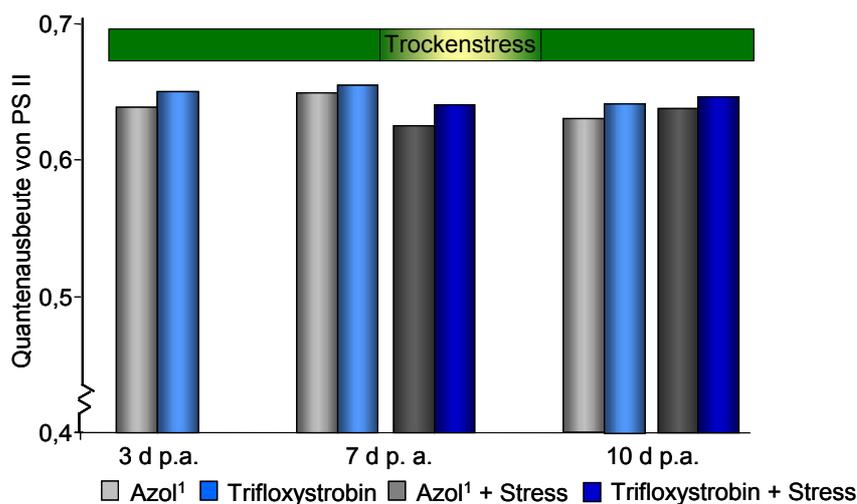


Abb. 32: Einfluss von Fungizidapplikation und Trockenstress auf die Elektronentransportrate des Fahnenblattes unter kontrollierten Bedingungen (¹ Tebuconazol + Propiconazol + Fenpropidin).

Nach dem zweiten Messtermin wurden die Töpfe der Trockenstress-Variante wieder gewässert und drei Tage später - 10 Tage nach Fungizidapplikation - erneut die Elektronentransportrate und die Assimilationsleistung bestimmt. Sowohl die Quantenausbeute als auch die Assimilationsrate der vorher gestressten Pflanzen lagen auf dem gleichen Niveau wie die der durchgehend bewässerten Kontroll-Pflanzen. Die wieder bewässerten Pflanzen hatten sich vollständig erholt und die Photosynthese-Aktivität der Strobilurin-behandelten Pflanzen lag wiederum auf einem höheren Niveau als die des Azol-behandelten Weizens.

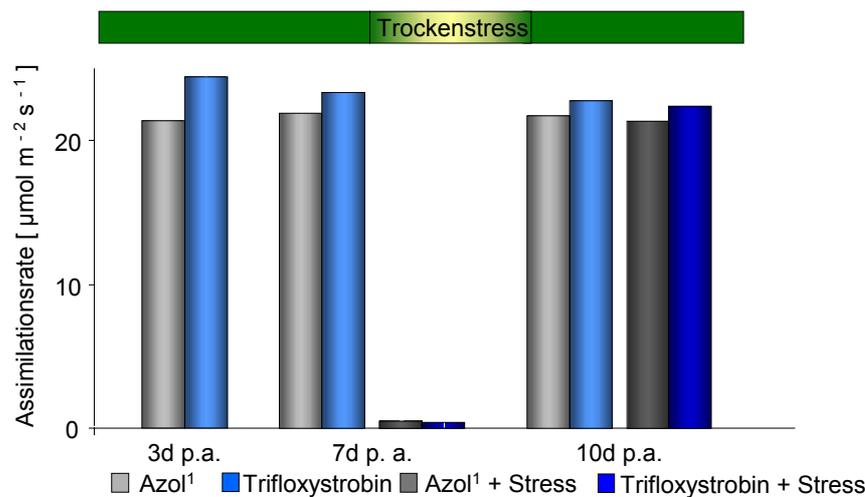


Abb. 33: Einfluss von Fungizidapplikation und Trockenstress auf die CO₂-Assimilationsrate des Fahnenblattes unter kontrollierten Bedingungen (¹ Tebuconazol + Propiconazol + Fenpropidin).

3.5.1.2 Zunehmender Trockenstress

An den Sorten 'Hybnos' und 'Jonas' sollte untersucht werden, wie langsam zunehmender Trockenstress die photosynthetische Leistung der beiden Genotypen beeinflusst und inwieweit sich Strobilurin-behandelter gegenüber Azol-behandeltem Weizen in der Photosyntheseleistung unter Einfluss von Trockenstress verhält (Abb. 34 und 35). Beide Sorten wurden in Mitscherlich-Töpfen angezogen und nach einer mehrwöchigen Vernalisationsphase in einer Klimakammer zu Beginn des Ährenschiebens mit einem Strobilurin- bzw. mit einem Azolfungizid behandelt.

Zwei Tage nach der Behandlung wurde die Assimilationsrate der beiden Sorten gemessen. Die Strobilurin-behandelten Pflanzen beider Sorten reagierten mit einer höheren Assimilationsrate verglichen zu den Azol-Varianten. Danach wurden die Weizenpflanzen beider Sorten und Behandlungen in eine Bewässerungs-Variante und in eine unbewässerte Variante

unterteilt. An den nicht mehr gegossenen Weizenpflanzen wurde täglich die CO₂-Assimilationsrate bestimmt. Mit zunehmendem Trockenstress ging sowohl bei den Strobilurin-behandelten Pflanzen wie auch bei den Azol-Varianten beider Sorten die Assimilationsrate stetig zurück. Trotz der stetigen Abnahme der CO₂-Aufnahme lagen die Assimilationsraten der Strobilurin-behandelten Weizenpflanzen beider Sorten aber auf einem höheren Niveau als bei den Azol-behandelten Weizenpflanzen. Nach vier Tagen zunehmenden Trockenstress (sechs Tage nach Fungizidapplikation) wurden die Trockenstress-Varianten wieder mit Wasser versorgt. Zum letzten Messtermin wurden die vormalig nicht bewässerten Pflanzen und die durchgehend bewässerten Pflanzen beider Sorten und Behandlungen auf ihre Assimilationsleistung hin untersucht. Hier zeigte sich bei beiden Sorten wie auch bei dem vorherigen Versuch eine Erholung der Stress-Varianten auf das Niveau der ungestressten Kontroll-Pflanzen.

Die Strobilurin-behandelten Pflanzen der Sorte 'Hybnos' wiesen unter Trockenstress-Bedingungen wie auch unter optimaler Wasserversorgung eine höhere Assimilationsrate auf als die Strobilurin-behandelten Pflanzen der Sorte 'Jonas' unter gleichen Umweltbedingungen (Abb.36).

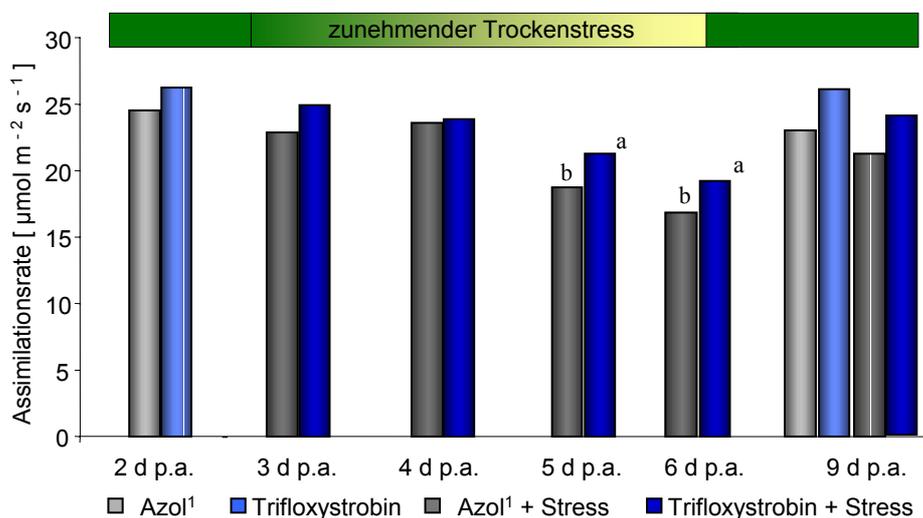


Abb. 34: Einfluss von Fungizidapplikation und Trockenstress auf die CO₂-Assimilationsrate des Fahnenblattes bei der Sorte 'Hybnos' unter kontrollierten Bedingung (¹ Tebuconazol + Propiconazol + Fenpropidin).

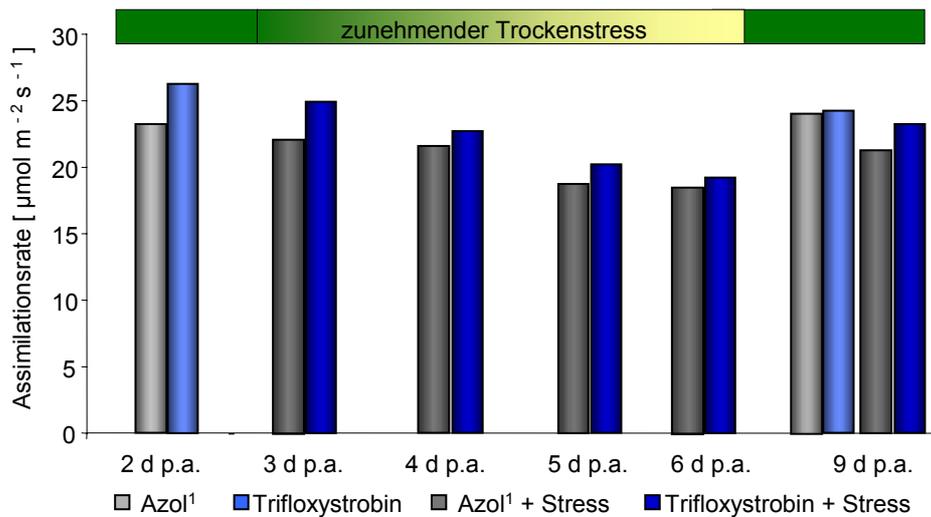


Abb. 35: Einfluss von Fungizidapplikation und Trockenstress auf die CO₂-Assimilationsrate des Fahnenblattes bei der Sorte 'Jonas' unter kontrollierten Bedingung (¹ Tebuconazol + Propiconazol + Fenpropidin).

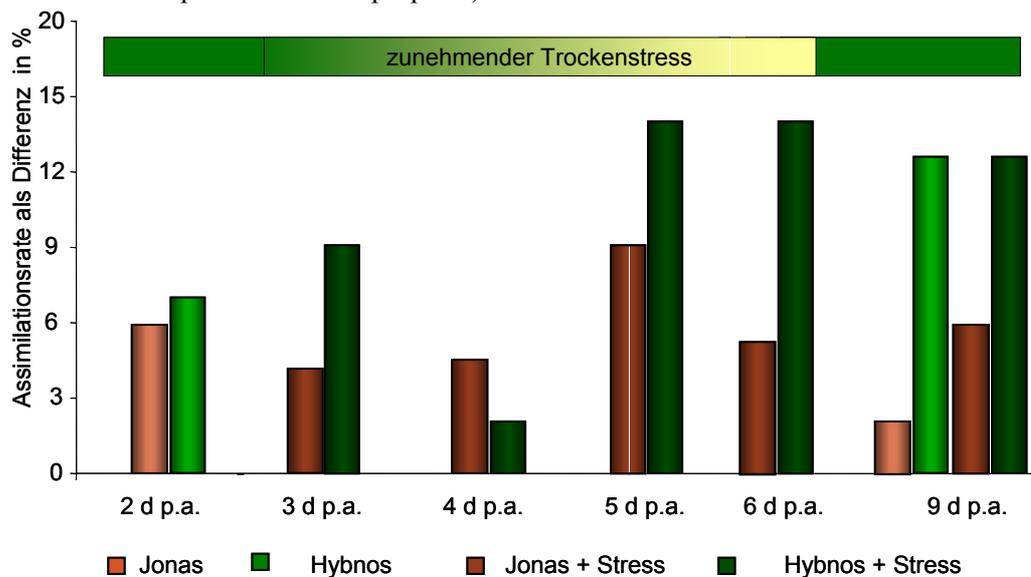


Abb. 36: Einfluss von Trockenstress auf die CO₂-Assimilationsrate des Fahnenblattes als prozentuale Differenz der Assimilationsrate der Strobilurin-behandelten Pflanzen zu den Azol-behandelten Pflanzen der Sorte 'Hybnos' und der Sorte 'Jonas'.

3.5.1.3 Latenter Trockenstress

Im Jahr 2000 wurde am Standort Meckenheim ein Versuch zur Wirkung von Strobilurinen auf die Ertragsphysiologie angelegt. Aufgrund der trockenen Witterung wurde ein Teil der Versuchsfläche zusätzlich beregnet (alle drei Tage nachts 5 mm für acht Wochen).

Strobilurin-behandelter Weizen zeigte eine signifikant höhere Assimilationsleistung als unbehandelter und Azol-behandelter Weizen (Tab. 50). Diese erhöhte Pflanzenleistung fand sich auch in den Erträgen wieder (Abb. 37). Die nicht bewässerten Varianten zeigten einen deutlichen Ertragsverlust, bedingt durch die schlechtere Wasserversorgung. Aber trotz des niedrigeren Ertragsniveaus wiesen die Strobilurin-behandelten Weizenpflanzen einen Ertragsvorsprung gegenüber den Azol-behandelten und den unbehandelten Pflanzen auf. Es zeigte sich, dass Strobilurin-behandelte Pflanzen auch unter Trockenstress höhere Kornerträge als Azol-behandelte Pflanzen erbringen.

Tab. 50: Einfluss ausgewählter Strobilurine und Azole auf die Assimilationsrate des Fahnenblattes von Weizen mit zusätzlicher Beregnung ('Charger', 2000).

EC	Assimilationsrate [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]			
	Unbehandelt	Azol ¹	Trifloxystrobin ²	Kresoxim-methyl ³
59	17,0 ± 0,81 a	17,0 ± 2,26 a	18,7 ± 0,90 a	17,5 ± 1,36 a
69	10,8 ± 1,64 a	12,1 ± 0,46 a	13,0 ± 3,46 a	12,8 ± 1,34 a
79	5,9 ± 1,29 a	5,4 ± 1,63 a	9,7 ± 1,48 b	7,6 ± 1,68 a
87	0,5 ± 0,19 a	0,9 ± 0,18 b	3,3 ± 1,14 c	3,2 ± 0,80 c

¹ + Propiconazol + Fenpropidin, ² + Propiconazol, ³ + Epoxiconazol + Fenpropimorph
SNK-Test, $p \leq 0,05$; Werte eines Standortes mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

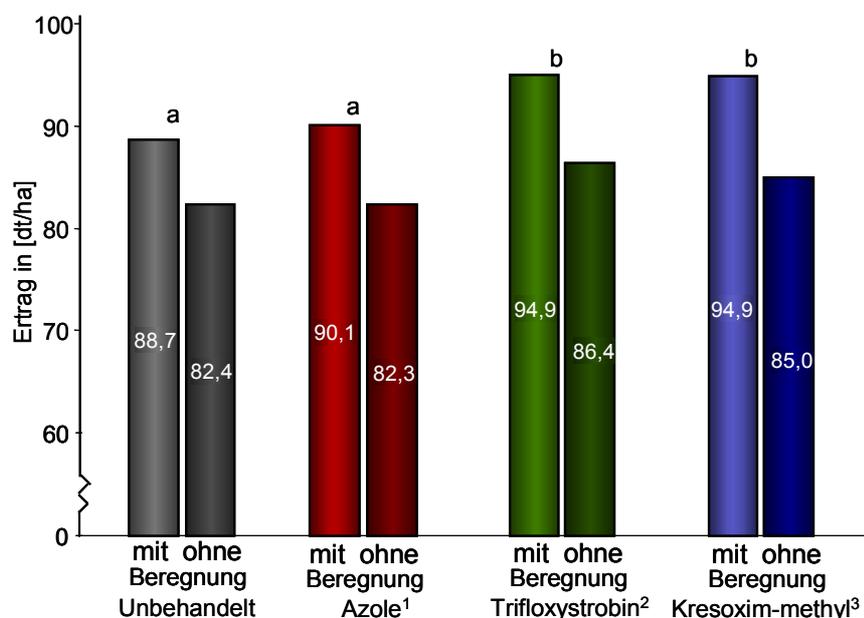


Abb. 37: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf den Kornertrag von Winterweizen mit und ohne künstliche Bewässerung ('Charger', Meckenheim, 2001, SNK-Test, $p \leq 0,05$, Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, ¹ Tebuconazol + Propiconazol + Fenpropidin ² + Propiconazol + ³ + Epoxiconazol + Fenpropimorph)

3.5.2 Abschätzung der Stresswirkung anhand der Assimilatbildung und Verlagerung ins Korn

Während der C-Assimilation findet eine Diskriminierung des schweren $^{13}\text{CO}_2$ statt. Dies resultiert aus einem geringeren ^{13}C -Gehalt der pflanzlichen Biomasse im Vergleich zum atmosphärischen CO_2 . Diese Diskriminierung beruht im Wesentlichen auf der langsameren Diffusion des $^{13}\text{CO}_2$ und der geringeren Reaktivität der Ribulose-Bisphosphat-Carboxylase mit der schweren CO_2 -Species. Die Verschiebung des Isotopenverhältnisses wird stark durch Umwelteinflüsse wie z.B. Trockenheit, Stickstoffversorgung und Sonneneinstrahlung beeinflusst. Durch die Analyse von Weizenkörnern auf ihre Isotopensignatur können die Umwelteinflüsse auf die Weizenpflanzen während der gesamten Vegetationsperiode beschrieben werden, denn ein Hauptteil des assimilierten Kohlenstoffes beider Fraktionen wird letztendlich ins Weizenkorn verlagert.

Bei dem im Jahr 2000 angelegten Versuch am Standort Meckenheim zur Wirkung von Strobilurinen auf die pflanzliche Physiologie und auf die Ertragswirksamkeit wurden die geernteten Weizenkörner der bewässerten und der unbewässerten Parzellen auf ihr Isotopenverhältnis hin untersucht. Bei dem Isotopenverhältnis der Weizenkörner der künstlich bewässerten und der unbewässerten Varianten, die unbehandelt bzw. mit einem Azol-Fungizid behandelt wurden, zeigten sich typische Unterschiede. Durch Trockenstress in den unbewässerten Varianten kam es zu einer weniger starken Diskriminierung des $^{13}\text{CO}_2$, da ungünstige Umweltbedingungen zu einem verstärkten Einbau des schwereren Kohlenstoffisotops führten. Im Gegensatz dazu wiesen die Körner der bewässerten Parzellen eine höhere Diskriminierungsrate auf. Die Behandlung der Weizenpflanzen mit einem Azol-Fungizid hatte keinen Einfluss auf das $\text{C}^{12}/\text{C}^{13}$ -Isotopenverhältnis im Korn verglichen mit den unbehandelten Pflanzen. Dagegen wiesen die Strobilurin-behandelten Pflanzen keine Unterschiede in ihrer Diskriminierungsrate zwischen den bewässerten und den unbewässerten Weizenpflanzen auf (Abb. 38).

In einem weiteren Versuch unter kontrollierten Bedingungen konnte der Effekt der Strobilurin-Behandlungen auf das $\text{C}^{12}/\text{C}^{13}$ -Isotopenverhältnis unter Trockenstress im Weizenkorn bestätigt werden (Abb. 39). Strobilurin-behandelte Pflanzen reagierten unter Trockenstress im Vergleich zu Azol-behandelten Pflanzen nicht mit einem verstärkten Einbau von $^{13}\text{CO}_2$.

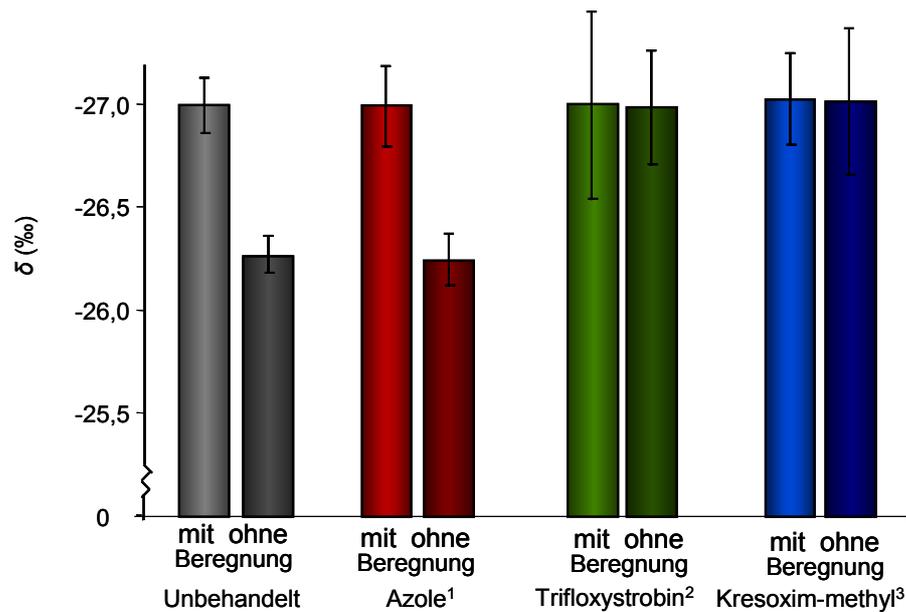


Abb. 38: Einfluss ausgewählter Strobilurine bzw. Azole auf das C^{12}/C^{13} -Isotopenverhältnis im Korn von Winterweizen mit und ohne künstliche Bewässerung, ('Charger', Meckenheim, 2000, n.s. SNK-Test, $p \leq 0,05$, ¹ Tebuconazol + Propiconazol + Fenpropidin ² + Propiconazol + ³ + Epoxiconazol + Fenpropimorph).

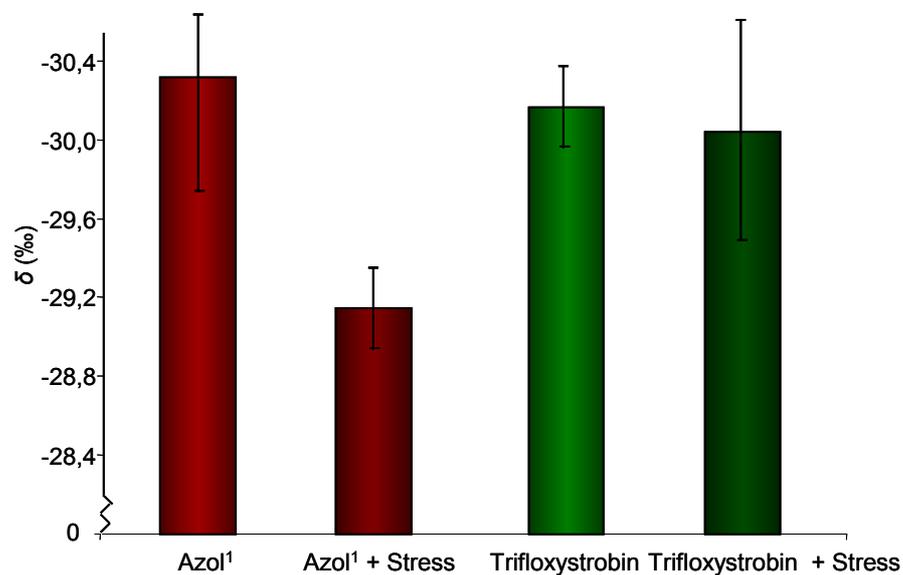


Abb. 39: Einfluss von Strobilurinen und. Azolen und Trockenstress auf das C^{12}/C^{13} -Isotopenverhältnis im Korn von Sommerweizen ('Munk', n.s. SNK-Test, $p \leq 0,05$, ¹ Tebuconazol + Propiconazol).

4 Diskussion

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Einfluss von verschiedenen Strobilurin-Präparaten - Azoxystrobin (Amistar[®]): Kresoxim-methyl (Juwel Top[®]): Trifloxystrobin (Stratego[®]): Picoxystrobin (Acanto[®]): Pyraclostrobin (Opera[®]) und Fluoxastrobin - auf die Ertragsphysiologie von Weizenpflanzen untersucht. Die eingesetzten strobilurinhaltigen Fungizide haben zwar alle den gleichen Wirkungsmechanismus gegenüber den Schadorganismen - Unterbrechung der mitochondrialen Atmung der pilzlichen Pathogene durch die Blockierung des Elektronentransportes am bc₁-Komplex (Becker *et al.*, 1981; Sauter *et al.*, 1995). Sie unterscheiden sich aber in ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften wie z.B. Aufnahme und Verteilung in der Pflanze, Redistribution über die Dampfphase auf den Blättern und Abbauverhalten innerhalb der Pflanze.

So sind die Wirkstoffe Azoxystrobin und Picoxystrobin Xylem-mobil und können translaminar verlagert werden (Godwin *et al.*, 1999, 2000). Auch werden sie innerhalb des Blattes langsamer metabolisiert, verglichen zu Trifloxystrobin und Kresoxim-methyl (Bartlett *et al.*, 2002). Trifloxystrobin, Pyraclostrobin und Kresoxim-methyl werden dagegen nicht ins Xylem aufgenommen (Margot *et al.*, 1998; Ammermann *et al.*, 1996, 1992). Außerdem kommt es bei den Wirkstoffen Trifloxystrobin, Picoxystrobin und Kresoxim-methyl nach Applikation auf die Blätter zu einer Redistribution über die Dampfphase. Bei der Aufnahme der Strobilurine ins Blatt weisen besonders Trifloxystrobin und Pyraclostrobin eine geringere Systemizität verglichen zu Picoxystrobin auf (Bartlett *et al.*, 2002).

Die physiologischen Reaktionen der Weizenpflanzen auf die verschiedenen Strobilurin-Behandlungen wurden mit Hilfe der Chlorophyllfluoreszenztechnik und anhand von Gaswechsellmessungen beurteilt. Mit beiden Methoden können Aussagen über die photosynthetische Leistungsfähigkeit von Pflanzen gemacht werden, ohne sie bei den Untersuchungen zu zerstören, so dass die gleichen Pflanzen bzw. Blätter mehrmals während der Vegetationsperiode gemessen werden können. Die Fluoreszenzmessungen geben wertvolle Hinweise auf die aktuelle Nutzung der absorbierten Lichtenergie (aktuelle Quantenausbeute): den Aktivitätszustand von Photosystem II sowie seine Behinderung oder Schädigung durch Umwelt- und Stressfaktoren (Bolhard-Nordenkamp *et al.*, 1989). Die durch Licht im Chloroplasten gewonnenen Energie- und Reduktions-

äquivalente werden für die NO_2^- -Reduktion und für die SO_4^{2-} - und CO_2 -Assimilation verwendet (Richter, 1997). Somit ergibt die Messung der aktuellen Quantenausbeute, verglichen zur Messung des stomatären Gaswechsels, eine globalere Sicht auf Stoffwechselfvorgänge, da die gewonnene Energie in verschiedene Stoffwechselwege mündet.

In der Literatur wird berichtet, dass viele Fungizide neben der direkten Wirkung durch das Ausschalten von Schadorganismen auch indirekte Wirkungen auf die Stoffwechselphysiologie der Pflanze haben (Jahn *et al.*, 1995). Besonders Triazolverbindungen wie z.B. Propiconazol, Tebuconazol und Epoxiconazol, die in den Feldversuchen als Azol-Standard eingesetzt wurden, haben Wirkung auf den Stoffwechsel der Pflanze. So berichteten Siefert und Grossmann (1996) über eine Hemmung der Ethylenbiosynthese, die zu einer verzögerten Seneszenz führen kann. Dieser Effekt konnte bei Strobilurinen wesentlich deutlicher gezeigt werden (Grossmann *et al.*, 1997). Als ein weiterer Grund für eine verzögerte Seneszenz bei Kresoxim-methyl-behandelten Pflanzen kann ein erhöhter Cytokiningehalt in den Pflanzen vermutet werden (Grossmann und Retzlaff, 1999). Über einen längeren Erhalt der grünen Blattfläche bei Strobilurin-behandelten Pflanzen berichten auch Gerhard *et al.* (1998) und Bryson *et al.* (2000).

Bei eigenen Feldversuchen konnte dieser Effekt nach der Behandlung mit Trifloxystrobin, verglichen mit Azol-behandeltem Weizen, mehrfach bestätigt werden. Bei der Analyse der Chlorophyllgehalte der Fahnenblätter konnten zwar zu EC 65 keine erhöhten Chlorophyllgehalte der Strobilurin-behandelten Pflanzen gegenüber den Azol- und unbehandelten Pflanzen gemessen werden, aber ein signifikant langsamerer Abbau des Chlorophylls der Strobilurin-behandelten Blätter wurde deutlich. Zwischen den einzelnen Wirkstoffen Trifloxystrobin, Kresoxim-methyl und Azoxystrobin konnte hinsichtlich des Chlorophyllabbaus nicht unterschieden werden.

Die Chlorophyllfluoreszenz der ertragsrelevanten Blattetagen, insbesondere des Fahnenblattes, wurde als Parameter für die Auswirkung der verschiedenen Behandlungen auf die Umwandlung der Sonnenenergie in biochemisch nutzbare Anregungsenergie am Photosystem II zu mehreren Terminen herangezogen. Bei den Versuchen unter kontrollierten Bedingungen ist die Versorgung der Pflanzen mit Wasser und Stickstoff optimal. Daher setzt der Alterungsprozess verzögert ein. Der Rückgang der photosynthetischen Aktivität während der Abreifephase gegenüber Versuchen im Freiland war geringer. Auch Nooden (1998) berichtete, dass eine hohe Stickstoffversorgung Pflanzen länger

vital hält. Durch die hohe und langanhaltende photosynthetische Leistung der Pflanzen war eine Differenzierung der einzelnen Behandlungen nicht möglich.

Retzlaff (1995) berichtete von der positiven Beeinflussung des Elektronentransportes durch Strobilurin-Behandlung. In Freilandversuchen konnte eine wesentlich stärkere Abnahme der Elektronentransportraten infolge der natürlichen Abreife der Pflanzen zum Ende der Vegetationsperiode gemessen werden. Schon Ende der Blüte waren die Quantenumsätze an den mit Strobilurin-behandelten Fahnenblättern gegenüber den Azol- und unbehandelten Blättern leicht erhöht. Dieser Effekt verstärkte sich im Laufe der Vegetationsperiode und Unterschiede hinsichtlich der Quantenausbeute zwischen Azol- und Strobilurin-behandelten Pflanzen konnten ab der Milchreife statistisch abgesichert werden. Wie in den Gewächshausversuchen war eine Unterscheidung der einzelnen Strobilurin-Wirkstoffe in den Feldversuchen nicht möglich. Zwischen den Azol-behandelten und den unbehandelten Pflanzen konnte nur eine leicht erhöhte Elektronentransportrate gemessen werden, da am Standort Meckenheim kaum Pathogenbefall auftrat. Im Jahr 2002 konnte zwar an den unbehandelten Pflanzen ein deutlicher Befall mit *Septoria tritici* bonitiert werden, der aber keinen Einfluss auf die gemessene Quantenausbeute hatte, da die Pflanze bis zu einem gewissen Grad in der Lage ist, den Verlust an Blattgewebe zu kompensieren (Madeira, 1995).

Im Gegensatz zu den nur leicht erhöhten Elektronentransportraten der Strobilurin-behandelten Pflanzen verglichen zu Azol- und unbehandelten Pflanzen, wiesen die Assimilationsraten der Strobilurin-behandelten Pflanzen sowohl unter kontrollierten Bedingungen wie auch in Freilandversuchen während der gesamten Untersuchungszeit gegenüber den unbehandelten und Azol-behandelten Pflanzen ein höheres Assimilationsniveau auf.

Für die Wirkstoffe Azoxystrobin und Kresoxim-methyl wurde der günstige Effekt auf die CO₂-Assimilation im Freiland schon von Gerhard *et al.* (1998) beschrieben. Dieser positive Einfluss auf die Assimilationsrate konnte auch für eine neuere Generation von Wirkstoffen wie Fluoxastrobin, Picoxystrobin und Pyraclostrobin, die sich zum Teil deutlich in ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften unterscheiden, gezeigt werden. Offensichtlich haben diese unterschiedlichen Eigenschaften der einzelnen Wirkstoffe keinen direkten Einfluss auf die Ertragsphysiologie von behandelten Pflanzen.

Die Transpirationsrate beschreibt den Wasserverlust durch die geöffneten Stomata bei der Photosynthese und ist ein Parameter, der die Leistungsfähigkeit der Pflanzen beeinflusst. Unter Feldbedingungen ist die Wasserversorgung oft ein limitierender Faktor für die Pflanzenleistung. Besonders durch erhöhte CO₂-Assimilationsraten, die durch Strobilurine ausgelöst werden, könnte es zu erhöhten Wasserverlusten kommen. Die aus Transpirationsrate und Assimilationsrate abgeleitete Wassernutzungseffizienz beschreibt diesen Zusammenhang (Sinclair *et al.*, 1984; Larcher, 1994). Gerhard *et al.* (1998) beschrieben einen positiven Einfluss auf den Wasserausnutzungskoeffizienten von Weizenblättern nach der Applikation von Azoxystrobin und Kresoxim-methyl. Diese Ergebnisse konnten weder bei Kresoxim-methyl- und Azoxystrobin-behandelten Pflanzen noch bei anderen eingesetzten Strobilurinen bestätigt werden. Alle eingesetzten Strobilurine hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Wasserausnutzungskoeffizienten.

Ein Kennwert für die stomatäre Leitfähigkeit ist die CO₂-Konzentration im Interzellularraum. Bei allen Varianten kam es zu einer CO₂-Abreicherung im Blatt von 100 bis zu 150 ppm im Vergleich zur Kohlendioxid-Konzentration der Atmosphäre. Im Jahr 2000 wurde diese CO₂-Verarmung im Blatt durch die Fungizidbehandlungen deutlich beeinflusst gegenüber den unbehandelten Pflanzen. Im nächsten Versuchsjahr konnte dieser Effekt nicht gemessen werden. Dieser Effekt kann durch Pathogenbefall oder Seneszenz hervorgerufen worden sein. Die CO₂-Verarmung im Blatt wurde durch die eingesetzten Fungizide nicht signifikant beeinflusst. Es scheint, dass die Fungizidapplikationen keinen Einfluss auf die stomatäre Leitfähigkeit haben.

Ein der CO₂-Assimilation entgegenwirkender Prozess ist die Dunkelatmung. Sie ist aber auch ein Maß für die Stoffwechselaktivität der Pflanze. Retzlaff (1997) sowie Köhle *et al.* (1997) berichteten über eine reduzierte Dunkelatmung von Kresoxim-methyl behandelten Pflanzen in Laborversuchen. In Versuchen im Gewächshaus konnten tendenziell höhere Respirationsraten gemessen werden. Im Freiland dagegen konnte dieser Effekt nicht wiedergefunden werden. Die im Freiland eingesetzten Fungizide hatten keinen Einfluss auf die Respirationsraten der behandelten Pflanzen im Vergleich zu unbehandelten sowie Azol-behandelten Weizenpflanzen.

Viele Autoren berichten über eine ertragssteigernde Wirkung beim Einsatz von Strobilurinen im Getreideanbau (Gold und Leinhos, 1995; Hanhart, 1996; Obst und Streck, 1996; Konradt *et al.*, 1996; Peterson und Konradt, 1997; Köhle *et al.*, 1997;

Scheid, 1997; Saur *et al.*, 1997; Ypema und Gold, 1999; Bayles, 1999; Werner, 1999; Hanhart, 2000; Ammermann *et al.* 2000; Bertelsen *et al.*, 2001). In diesen Arbeiten steht oft die fungizide Leistung der Strobilurin-Präparate im Vordergrund. Somit ist eine Unterscheidung zwischen Ertragssteigerung durch das Ausschalten von Schadorganismen und nichtfungiziden Effekten schwer möglich.

In den durchgeführten Feldversuchen wurden durch mehrmalige Fungizidapplikationen alle Varianten befallsfrei gehalten, um so einen Einfluss durch Pathogenbefall auf die Leistungsfähigkeit der Pflanze und letztlich auch auf den Ertrag auszuschließen. Aufgrund des sehr geringen Befallsdrucks am Standort Meckenheim fielen die Ertragsunterschiede in den Jahren 2000 und 2001 zwischen den Azol- und den unbehandelten Pflanzen sehr gering aus. Dagegen konnten die Mehrerträge der Strobilurin-behandelten Pflanzen gegenüber den Erträgen der Azol- bzw. der unbehandelten Pflanzen statistisch abgesichert werden.

Im Jahr 2002 wurde ein Befall mit *Septoria tritici* bonitiert, der zu deutlichen Ertragseinbußen bei den unbehandelten Pflanzen führte. Die Strobilurin-behandelten Pflanzen erbrachten zwar etwas höhere Erträge, die sich aber von den Erträgen der Azol-Varianten nicht signifikant unterschieden. Nur die Ertragsunterschiede zwischen den unbehandelten und den mit Strobilurin-behandelten Pflanzen (Fluoxastrobin, Trifloxystrobin und Pyraclostrobin) waren statistisch absicherbar. Bei den im gleichen Versuchsjahr durchgeführten einmaligen Behandlungen mit Prothioconazol und Fluoxastrobin kam es trotz gleicher Befallsstärke mit *Septoria tritici* zu einem Ertragsanstieg der Strobilurinvariante.

Der Zusammenhang zwischen hohen Temperaturen und einem schnellen Absinken der photosynthetischen Leistung bzw. beschleunigtem Abbau von Blattchlorophyll wurde von Harding *et al.* (1990) beschrieben. Weiterhin berichteten Al-Khatib und Paulsen (1984 und 1989) über die negativen Effekte von Hitzestress während der Kornfüllungsphase und den damit verbundenen Ertragsverlusten.

Im Jahr 2000 lag das Ertragsniveau trotz Beregnung durchschnittlich um 10 dt/ha niedriger als 2001, bedingt durch die Trockenheit im Mai 2000 und eine durch hohe Temperaturen beschleunigte Abreife am Vegetationsende. Das höchste Ertragsniveau wurde mit Hilfe zusätzlicher Bewässerung im Jahr 2001 bei den Erträgen der Strobilurin-Varianten von über 100 dt/ha erreicht. Im Jahr 2002 konnte aufgrund ausreichender

Niederschläge auf zusätzliche Bewässerung verzichtet werden und das Ertragsniveau lag knapp über 100 dt/ha bei den Strobilurin-Varianten. Trotz der unterschiedlichen Wachstumsbedingungen und den dadurch bedingten differenzierten Kornerträgen in den Versuchsjahren wiesen die Strobilurin-behandelten Pflanzen immer höhere Erträge als die Azol-behandelten Pflanzen auf.

Die Ertragszuwächse durch Strobilurin-Behandlung lassen sich zum einen durch eine erhöhte photosynthetische Leistung und dadurch bedingte höhere Assimilationsleistung erklären (Gerhard und Habermeyer, 1998a; Beck *et al.* 2002). Zum anderen wird durch den längeren Erhalt der grünen Blattfläche (Bryson *et al.*, 2000) auch eine verlängerte Produktion und Verlagerung von Assimilaten ermöglicht, die zu Mehrerträgen führt (Carver und Griffiths, 1981 und 1982). In Feldversuchen wurden während der Kornfüllungsphase eine erhöhte Sink-Wirkung der Ähre von Strobilurin-behandelten Weizen gegenüber Azol-behandelten Pflanzen gemessen, deren Stärke eine wichtige Rolle in der Verlagerung von Assimilaten aus Blättern und Stängeln in das Korn spielt. Die erhöhte und verlängerte Kornfüllungsphase bewirkt ein höheres Tausendkorngewicht und damit auch höhere Kornerträge. Das bestätigen auch die gegenüber den Azol-behandelten Pflanzen signifikant gesteigerten Tausendkorngewichte der Strobilurin-behandelten Pflanzen in Feldversuchen. Auch Entz *et al.* (1990) und Cochrane (1996) belegten, dass Ertragssteigerungen durch Fungizidbehandlungen hauptsächlich auf ein erhöhtes Tausendkorngewicht zurückzuführen sind. Ebenso berichteten Jensen (1999) und Konradt *et al.* (1996) über höhere Siebsortierungen (> 2,5 mm) nach der Behandlung mit Azoxystrobin.

Die ertragssteigernde Wirkung von Strobilurinen kann als ein zweigeteilter Prozess betrachtet werden. In der ersten Phase, noch vor Beginn erster Seneszenzerscheinungen, bewirken Strobilurin-Behandlungen eine stärkere Leistungsfähigkeit der Pflanze, die sich besonders in hohen Assimilationsraten widerspiegelt. In der zweiten Phase kommt es durch eine verzögerte Seneszenz zu einer Verlängerung der Assimilatproduktion der oberen Teile der Getreidepflanze und zu einer Verlängerung der Kornfüllung. Das führt zu gesteigerten Tausendkorngewichten (Beck *et al.*, 2002a).

Durch die ertragsfördernde Wirkung von Strobilurinen ist eine Auswirkung auf Qualitätsparameter nicht auszuschließen, da durch die höheren Erträge für den Proteingehalt eine „Verdünnungseffekt“ eintreten kann (Feil, 1998). Dieser Effekt konnte trotz höherer Erträge der Strobilurin-behandelten Pflanzen gegenüber Azol- und unbehandelten Pflan-

zen nicht bestätigt werden. Bedingt durch die höheren Erträge der Strobilurin-behandelten Weizenbestände wurde der Proteinertrag pro Flächeneinheit zum Teil sogar signifikant zu unbehandelten Pflanzen erhöht, so dass man bei Strobilurin-bedingten Mehrerträgen von einer besseren Ausnutzung der Stickstoffdüngung ausgehen kann. Ein Grund für die höhere Stickstoffeffizienz kann eine für den Wirkstoff Kresoxim-methyl beschriebene gesteigerte Aktivität der Nitratreduktase in behandelten Pflanzen sein (Köhle *et al.*, 1997; Glaab und Kaiser, 1999).

Es wurde festgestellt, dass die Sedimentationswerte durch die Fungizidbehandlungen nicht negativ beeinflusst wurden. Auch Jörg (1999) bestätigte, dass der Sedimentationswert durch Strobilurin-Behandlungen nicht verändert wird. Weitere Untersuchungen zeigten, dass es durch die eingesetzten Fungizide zu einer signifikanten Erhöhung der Fallzahl, die die Backqualität der Stärke bewertet, gegenüber der Fallzahl der unbehandelten Weizenpflanzen kommt. Auch Untersuchungen von Dimmock *et al.* (2001) belegen, dass Strobilurine keinen signifikant negativen Einfluss auf die Fallzahl haben.

Der Einfluss verschieden hoher Wirkstoffkonzentrationen von Strobilurin-haltigen Fungiziden auf den Photosyntheseapparat von Weizenpflanzen wurde durch Variation der eingesetzten Fungizide von doppelter, einfacher bis zur halben der vom jeweiligen Hersteller empfohlenen Aufwandmenge untersucht. Der Pathogenbefall der Pflanzen war sehr gering, so dass es zu keiner Schädigung des oberen Blattapparates vor der Fungizidapplikation kam. Ansonsten sind Pflanzenbestände, die ausreichend mit Nährstoffen und Wasser versorgt sind, auch in der Lage, leichten Pathogenbefall zu kompensieren (Madeira, 1995). Dieser Kompensationseffekt bei leichtem Befall ließ sich zum einen an den unbehandelten Pflanzen erkennen, da es bei den gemessenen Elektronentransportraten zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den unbehandelten und den Azol-behandelten Pflanzen kam. Zum anderen wurde kein Ertragszuwachs durch die Azol-Behandlung erreicht. Bei allen mit Strobilurin-behandelten Pflanzen - unabhängig von der Aufwandmenge - wurde eine signifikant gesteigerte Ausnutzung der Lichtenergie mittels der Chlorophyllfluoreszenz gegenüber den Azol- bzw. den unbehandelten Pflanzen gemessen.

Aber ein direkter Zusammenhang zwischen Applikationsmenge und Strobilurin-bedingten Mehrerträgen konnte nicht festgestellt werden.. Zwar führten alle Strobilurin-Behandlungen zu einer Ertragserhöhung, die sich aber nicht signifikant von den Erträgen der

Azol- bzw. unbehandelten Pflanzen unterschied. Ein Grund für den nur leichten Ertragszuwachs durch Strobilurine könnte der späte Applikationszeitpunkt sein. Durch die späte Applikation kamen eventuell Auxin-ähnliche Wirkungen, die von Grossmann und Retzlaff (1997) für den Wirkstoff Kresoxim-methyl beschrieben wurden und zu Wachstumsförderung führten, nicht zum Tragen. So berichtete Gerhard *et al.* (1998) von einer Blattflächenzunahme nach der Applikation von Strobilurinen, die durch eine höhere Cytokininausschüttung, wie sie Grossmann *et al.* (1999) beschreibt, induziert werden könnte. Für diese wachstumsstimulierende Wirkung sprachen auch die Untersuchungen von Gold und Leinhos (1995): die für mit Kresoxim-methyl-behandelte Pflanzen eine Zunahme der Trockensubstanzbildung beschrieben.

Um die Wirkung des Applikationszeitpunktes von Strobilurinen auf die Pflanze besser beurteilen zu können, wurden im Feldversuch zu drei Terminen (EC 32, 37 bzw. 69) ein Azol-Fungizid und ein Strobiurin-Präparat ausgebracht. Die dreimal mit Fungiziden behandelten Pflanzen wiesen keinen Pathogenbefall auf. Zwischen den Einfach- und Doppel-Behandlungen wurde für *Septoria tritici* kein signifikanter Befallsunterschied bonitiert. Bei der Stadien-orientierten Fungizidapplikation kann der optimale Behandlungszeitpunkt nur durch Zufall getroffen werden, da Faktoren wie die Dauer der Blattnässe und die Temperatur, die eine entscheidende Rolle bei der Ausbreitung von *Septoria tritici* spielen, nicht berücksichtigt werden (Verreet und Hoffmann, 1989).

Die einmalige Azol-Behandlung zu EC 32 erbrachte zum Ende der Vegetationsperiode keinen ausreichenden Schutz gegenüber *Puccinia recondita*. Die einmalig Azol-behandelten wiesen einen ähnlich hohen Befall wie die unbehandelten Pflanzen auf, da die protektive Leistung eines Azol-Morpholin-Fungizides geringer ist als die eines Strobilurin-Präparates (Müller und Habermeyer, 2000).

Die direkten Auswirkungen der Fungizidbehandlungen auf den Photosyntheseapparat konnten mittels Chlorophyllfluoreszenz nur gegenüber den unbehandelten Pflanzen abgesichert werden. Eine Differenzierung zwischen Azol- und Strobilurin-behandelten Pflanzen und der Applikationshäufigkeit war nicht möglich. Zwar erbrachten alle Pflanzen der Strobilurin-Varianten tendenziell höhere Erträge als die jeweiligen Azol-Varianten, aber eine Zuordnung der Strobilurin-bedingten Mehrerträge hinsichtlich Applikationszeitpunkt und Häufigkeit war nicht möglich. Auch konnte die unterschiedliche Höhe des Pathogenbefalls in den Fungizidvarianten und der damit

normalerweise verbundene Ertragsverlust nicht in den Kornerträgen wiedergefunden werden.

Trotz des deutlichen Pathogenbefalls in den unbehandelten Weizenparzellen kam es nicht zu signifikanten Ertragsverlusten verglichen mit den mehrfach mit Fungiziden behandelten Pflanzen. Carver und Griffiths (1981) konnten bei ihren Untersuchungen zeigen, dass die Länge des Erhalts der grünen Blattfläche eng mit dem Ertrag korreliert. Dies kann als Erklärung für die geringen Ertragsverluste neben dem späten Pathogenbefall gesehen werden, da die Schädigung der Pflanze durch die natürliche Seneszenz schon soweit fortgeschritten war, dass der Pathogenbefall nicht oder nur marginal ertragswirksam wurde. Auch Gooding *et al.* (1994) berichteten, dass späte Fungizidapplikationen nur dann ertragswirksam werden, wenn neben dem Pathogenbefall auch die Seneszenz der Fahnenblätter verzögert wird.

Im Rahmen von Versuchen zum Einsatz von Fungiziden nach dem IPS-Modell Weizen nach VERREET und Mitarbeitern wurden Strobilurin-haltige Präparate in Spritzfolgen eingesetzt. Die von Verreet *et al.* (1995) etablierte Schadschwelle für *Septoria tritici* in Winterweizen wurde auf dem Standort Kerpen für die beiden Sorten Ritmo und Flair zu EC 32 und 55 überschritten. Die protektive Leistung der zweiten Fungizidapplikation war bei der Sorte Ritmo eventuell nicht ausreichend, um einen Spätbefall mit *Puccinia recondita* zu verhindern. Die Befallsstärke lag zwar unter 2 %, aber für eine weitere Ausbreitung des Pathogenbefalls spricht der hohe Anteil an grüner Blattfläche von über 90 % der beiden oberen Blätter. Die negativen Auswirkungen des Pathogenbefalls auf die assimilatorische Aktivität der Blattfläche, die sich auch in einer niedrigeren Elektronentransportrate der Azoxystrobin-behandelten Pflanzen zeigte, könnte die Länge der Kornfüllungsphase oder die Effizienz der Assimilatverlagerung beeinträchtigen. Diesen Zusammenhang zwischen Erhalt von grüner Blattfläche und Länge der Kornfüllungsphase beschreiben auch Dimmock und Gooding (2002).

Da die Ertragswirkung von Strobilurinen aber hauptsächlich auf der Erhöhung des TKG beruht (Obst und Steck, 1996) und es einen engen Zusammenhang zwischen der Länge der Kornfüllungsphase und des Tausendkorngewichtes gibt (Frederick und Bauer, 1999): könnten sich dadurch die Ertragsverluste der IPS-Variante Azoxystrobin erklären lassen.

Auf den Standorten Titz und Beckrath wurde die Schadschwelle für *Septoria tritici* bei beiden angebauten Sorten Ritmo und Hybnos zu EC 32 überschritten. Die zweite

Schwellenüberschreitung wurde durch *Puccinia recondita* ausgelöst. Auf dem Standort Titz wiesen die mit Strobilurinen behandelten Pflanzen bei beiden Sorten zur Abreife hin zum Teil signifikant höhere Elektronentransportraten gegenüber den Azol-behandelten und den unbehandelten Pflanzen auf. Diese höhere Leistung der Strobilurin-behandelten Pflanzen führte teilweise auch zu Ertragsvorsprüngen gegenüber den Azol-behandelten Pflanzen. In Titz zeigte sich nach Schadschwellen-orientierter Applikation von Strobilurinen eine höhere Stoffwechselaktivität verglichen zu Azol-behandeltem Weizen, wie auch bei Gerhards (2001) und Beck *et al.* (2001) gezeigt werden konnte.

In Beckrath dagegen war bei der Sorte Ritmo wie auch bei der Sorte Hybnos eine Differenzierung der Fungizid-behandelten Pflanzen mittels der Chlorophyllfluoreszenz nicht möglich. Die Erträge der Strobilurin-behandelten Pflanzen lagen aber über dem Niveau der Azol-Varianten. Bei den Azoxystrobin-Varianten lagen die Erträge bei beiden Sorten auf gleicher Höhe mit den Azol-behandelten Pflanzen. Ein Grund für die niedrigeren Erträge könnte in der Spritzfolge der Azoxystrobin-Variante gesehen werden. Verglichen zu den IPS-Varianten Trifloxystrobin und Pyraclostrobin wurde in der IPS-Variante Azoxystrobin nur bei der zweiten Schadschwellenüberschreitung Azoxystrobin eingesetzt und nicht, wie bei den IPS-Varianten Trifloxystrobin und Pyraclostrobin, auch bei der ersten Schadschwellenüberschreitung. Die Stoffwechselaktivität der Azoxystrobin-behandelten Pflanzen lag zwar auf gleichem Niveau wie die der anderen IPS-Varianten. Der ausbleibende Ertragszuwachs durch den Einsatz von Azoxystrobin jedoch könnte an dem späten Einsatzzeitpunkt liegen.

Um die Interaktion verschiedener Umweltbedingungen und Genotypen zu untersuchen, wurden an den Standorten Meckenheim, Dikopshof und Kerpen Sortenversuche angelegt. Am Standort Meckenheim konnten sich Pathogene nur schlecht an den unbehandelten Pflanzen entwickeln. Der geringe Befallsdruck spiegelte sich auch in den minimalen Ertragsverlusten der unbehandelten Pflanzen gegenüber den Fungizid-behandelten Pflanzen wider. Das stärkere Auftreten von Pathogenen an den Standorten Dikopshof und Kerpen könnte in der Menge und Verteilung der Niederschläge begründet sein. Besonders am Standort Kerpen könnte es auch an der sehr guten Stickstoffversorgung liegen. Hohe Stickstoffgaben und ein damit verbundenes schnelleres Pflanzenwachstum können zu einem empfindlicheren Blattgewebe führen. Damit wird Pathogenen das Eindringen in die Pflanze erleichtert (Geisler 1989).

Bedingt durch die hohe Versorgungsstufe am Standort Kerpen lässt sich der sehr geringe Nekrotisierungsgrad der Fungizid-behandelten Weizenpflanzen besonders im Jahr 2000 erklären, denn durch eine gute Wasser- und Stickstoffversorgung können Pflanzen länger vital erhalten werden, was sich in einem langen Erhalt der grünen Blattfläche zeigt (Evans, 1983). So war es nicht möglich zu EC 85 anhand der grünen Blattfläche eine Unterscheidung zwischen den Azol-behandelten Weizensorten und den Strobilurin-behandelten Pflanzen zu machen. Der von vielen Autoren (Gerhard und Habermeyer, 1997, 1998a; Grossmann *et al.*, 1997, 1999; Köhle *et al.*, 1997; Körschenhaus und Buchenauer, 1996; Oerke und Dehne, 1998) für Strobilurine beschriebene Greening-Effekt konnte am Standort Kerpen für alle verwendeten Sorten in beiden Versuchsjahren nicht bestätigt werden. Da für Stickstoff auch eine pflanzenvitalisierende Wirkung beschrieben ist (Nooden 1988): kann vermutet werden, dass optimale Wachstumsbedingungen eventuell dem Greening-Effekt entgegenlaufen und/oder erst noch weiter am Ende der Vegetationsperiode zum Tragen kommen. An den Standorten Meckenheim und Dikopshof konnte der Strobilurin-bedingte Greening-Effekt bei einigen Sorten bonitiert werden. Im Jahr 2001 wurde für die Sorte Kanzler ein signifikant höherer Anteil an grüner Blattfläche der Strobilurin-behandelten Pflanzen gegenüber den Azol-behandelten nachgewiesen.

Dagegen wurde ein Zusammenhang zwischen grüner Blattfläche, Elektronentransportrate und Mehrerträgen der Strobilurin-behandelten Pflanzen gegenüber Azol- und unbehandeltem Weizen, wie auch von Gerhard *et al.* (1998) beschrieben, am Standort Meckenheim für die einzelnen Sorten nicht beobachtet. Zwar unterschieden sich die gemessenen Elektronentransportraten der Strobilurin-behandelten Pflanzen bei den Sorten 'Flair', 'Hybnos', 'Gorbi' und 'Hanseat' signifikant von den unbehandelten und Azol-behandelten Pflanzen am Ende der Vegetationsperiode. Aber alle Strobilurin-behandelten Pflanzen aller Sorten wiesen leicht erhöhte Kornträge auf verglichen zu den Azol-behandelten Pflanzen, die jedoch nicht statistisch absicherbar waren.

Durch den höheren Befallsdruck am Standort Dikopshof kam es bei fast allen unbehandelten Weizensorten zu signifikanten Ertragseinbussen gegenüber den Fungizid-behandelten Pflanzen. Weiterhin konnte bei allen Strobilurin-behandelten Weizensorten eine signifikant höhere Photosyntheseaktivität gegenüber den Azol-behandelten Pflanzen gemessen werden, die bei fast allen Sorten zu höheren Erträgen führte. Insbesondere im Jahr 2001 reagierten die Strobilurin-behandelten Pflanzen der Sorten 'Hybnos' und

'Cortez' mit signifikant höheren Erträgen gegenüber den Azol-behandelten Pflanzen. Dagegen reagierte die Sorte 'Jonas' mit den geringsten Ertragszuwächsen. Diese Beobachtungen konnten auf dem Standort Kerpen betätigt werden. Auch hier reagierten die Sorten 'Hybnos' und 'Cortez' mit den höchsten Strobilurin-bedingten Mehrerträgen und wiederum die Sorte 'Jonas' mit minimalen Ertragssteigerungen (Beck *et al.*, 2002a und 2002b).

Zwar wiesen am Standort Kerpen wie auch auf dem Dikopshof die Strobilurin-behandelten Pflanzen aller Sorten eine höhere Photosyntheseleistung als unbehandelte bzw. Azol-behandelte Pflanzen auf, aber es konnte kein direkter Zusammenhang zwischen der absoluten Höhe der Elektronentransportrate und der Höhe des Ertrages einer Sorte beobachtet werden. Dagegen war es aber möglich, die Höhe des Ertragsniveau der Standorte über die Höhe der photosynthetischen Aktivität - gemessen als Elektronentransportrate - und dem längerem Erhalt der grünen Blattfläche abzuschätzen.

Die Bedeutung des langen Erhaltes der photosynthetisch aktiven Blattfläche für die Höhe des Kornertrages wird von vielen Autoren beschrieben (z.B. Davies *et al.*, 1984; Mohr und Schöpfer, 1992; Gan und Amasino, 1997; Gooding *et al.*, 2002).

Bei den Messdaten der Assimilationsrate - über alle Sorten gemittelt - zeigten sich auf dem Standort Kerpen, bedingt durch den Pathogenbefall, schon ab der ersten Messung signifikante Unterschiede zwischen den unbehandelten und den Fungizid-behandelten Pflanzen. Diese verstärkten sich im Verlauf der Vegetationsperiode und führten zu signifikant höheren Assimilationsraten der Strobilurin-behandelten Pflanzen gegenüber Azol-behandelten Pflanzen.

Auf allen Standorten konnten zwischen den einzelnen Strobilurinen weder Unterschiede in der Höhe der Elektronentransportrate noch in der Höhe der Mehrerträge festgestellt werden, so dass zu vermuten ist, dass die physiologischen Wirkungen, die von Grossmann *et al.* (1999) und Köhle *et al.* (1997) für Kresoxim-methyl beschrieben worden sind, auch auf die anderen Wirkstoffe dieser Wirkstoffgruppe übertragbar sind.

Auf allen Standorten wiesen die Strobilurin-behandelten Pflanzen höhere Erträge auf verglichen zu den Azol- bzw. unbehandelten Pflanzen. Für die Erträge - über die Sorten gemittelt - konnten für die Standorte Dikopshof und Kerpen die Strobilurin-bedingten Mehrerträge statistisch für beide Versuchsjahre abgesichert werden. Auf dem Standort

Meckenheim dagegen waren die Strobilurin-bedingten Mehrerträge nur leicht erhöht und nicht signifikant unterschiedlich zu den Azol-behandelten Pflanzen.

Gründe für dieses unterschiedliche Abschneiden der Standorte kann in den unterschiedlichen Wachstumsbedingungen gesehen werden. So sind nicht nur die absoluten Niederschlagsmengen von Bedeutung, sondern auch ihre Verteilung in der Vegetationsperiode. Da die Versorgung des wachsenden Getreidekorns hauptsächlich durch Assimilate erfolgt, die unmittelbar aus der Photosynthese stammen (Gebbing *et al.*, 1993): muss das Angebot an Wasser und Nährstoffen hoch genug sein, damit die stoffwechsel-aktivierende Wirkung der Strobilurine sich auch in höheren Erträgen niederschlagen kann.

So konnte auf dem Standort Meckenheim eine schnellere Abreife beobachtet werden als auf den anderen Standorten. Dies könnte zum Teil in einer schlechteren Wassernachlieferung und in einer schlechteren Durchwurzelung des Bodens begründet sein. Die Böden waren hier sehr stark verdichtet. Durch die schnelle Abreife konnten eventuell gebildete Reserven in der vegetativen Masse der Pflanzen, die bei der Kornfüllung eine Rolle spielen, nicht mehr ins Korn transloziert werden (Gebbing *et al.* 1993).

Dagegen waren die Wachstumsbedingungen auf dem Standort Dikopshof günstiger und durch nur kurzfristige und moderate Trockenheit gekennzeichnet. Diese unterschiedlichen Umweltbedingungen zeigten sich zum einen in höheren absoluten Kornerträgen und wesentlich deutlicher in signifikant höheren Strobilurin-bedingten Mehrerträgen. Auf dem Standort Kerpen mit den besten Standortbedingungen wurden zwar die höchsten absoluten Erträge geerntet, aber die Strobilurin-bedingten Mehrerträge lagen unter denen des Dikopshofes. Es zeigt sich also, dass nicht unbedingt die Standorte mit dem höchsten Ertragspotential auch zwangsweise die höheren Strobilurin-bedingten Mehrerträge erbringen. Als Ursache könnte die genotypische Leistungsfähigkeit der Weizenpflanzen gesehen werden, die durch die optimalen Wachstumsbedingungen schon an ihrem Ertragslimit lagen, so dass eine zusätzliche Aktivierung des Stoffwechsels durch Strobilurine nicht mehr im vollen Umfang ertragswirksam wurde.

In beiden Versuchsjahren zeigte sich, dass es keinen direkten Zusammenhang zwischen dem Ertragspotential eines Standortes und den Strobilurin-bedingten Mehrerträgen gibt. Eine Begründung könnte in der Fähigkeit von Strobilurin-behandelten Pflanzen liegen, moderaten Umweltstress - in diesen Feldversuchen Trockenstress - besser zu kompensieren.

sieren als Azol-behandelter Weizen. Eine erhöhte Aktivierung des Stoffwechsels durch Phytohormone oder durch die Hemmung der ACC-Synthase wie sie für Kresoxim-methyl von Grossmann *et al.*, (1997 und 1999) beschrieben wurde, könnte als mögliche Erklärung dienen.

Diese von Grossmann *et al.*, (1997 und 1999) berichteten Ursachen könnten ein Grund für die hohen Strobilurin-bedingten Mehrerträge auf dem Dikopshof sein, da auf diesem Standort zwar kein extremer Trockenstress auftrat, aber die Pflanzen zwischenzeitlich unter leichter Trockenheit litten. In Meckenheim war der negative Einfluss der Wasserknappheit anscheinend zu hoch, um durch die Strobilurin-behandlungen kompensiert zu werden. Bedingt durch die schnellere Abreife konnten weniger Assimilate in das Korn verlagert werden. Dies zeigte sich auch in niedrigeren Tausendkorngewichten gegenüber den anderen Standorten. Die ermittelten Tausendkorngewichte auf den drei Standorten - aufgeschlüsselt nach den Behandlungen - lassen eindeutig erkennen, dass die Strobilurin-bedingten Mehrerträge durch die Höhe des Tausendkorngewichtes bestimmt sind, wie auch Gerhard (2001) für die Strobilurine Azoxystrobin und Kresoxim-methyl berichtet.

Die Tausendkorngewichte der Strobilurin-behandelten Pflanzen waren auf allen Standorten signifikant gegenüber den Azol-behandelten Pflanzen erhöht. Wie auch schon bei den Strobilurin-bedingten Mehrerträgen sind die Tausendkorngewichte auf dem Standort Dikopshof am höchsten, gefolgt von den Tausendkorngewichten der Standorte Kerpen und Meckenheim. Auf dem Standort Dikopshof konnte gezeigt werden, dass es zwar zu einer Erhöhung des Tausendkorngewichtes durch Strobilurin-behandlungen kommt, aber die Anzahl der Körner pro Ähre davon nicht beeinflusst wurde. Geissler *et al.* (1983) berichtete dagegen von einer negativen Korrelation zwischen TKG und dem Merkmal Körner pro Ähre. Der Faktor Körner pro Ähre hatte in diesen Untersuchungen innerhalb der Behandlung eine sehr hohe Standardabweichung.

Im Versuchsjahr 2000 lagen die Werte für das Tausendkorngewicht unabhängig von den Behandlungen höher als im Versuchsjahr 2001. Dabei wurden die niedrigeren Tausendkorngewichte im Jahr 2001 durch eine höhere Anzahl von Körnern pro Ähre zum Teil kompensiert. Die Strobilurin-bedingten Mehrerträge lagen auf dem Dikopshof im Jahr 2000 durchschnittlich etwas höher als im Jahr 2001. Die unterschiedlichen Fungizidbehandlungen beeinflussten die Anzahl der Körner pro Ähre in beiden Jahren nicht. Dadurch wird belegt, dass die Strobilurin-bedingten Mehrerträge durch das

Tausendkorngewicht bestimmt sind, was sich nicht nur durch die höhere Photosyntheseleistung erklären lässt, sondern auch durch die verlängerte Pflanzenaktivität und eine dadurch verlängerte Kornfüllungsphase. Durch die Verlängerung der Kornfüllungsphase können mehr Reservestoffe wie z. B. Vorblütenreserven mobilisiert werden. Die Reservestoffe können zwischen 12-26 % der Kornmasse betragen (Gebbing *et al.* 1995).

Durch die Wirkung der Strobilurine auf die Ertragsphysiologie der Pflanzen scheint es möglich, dass es durch die höheren Kornerträge zu einer Wirkung auf die Qualität des Ernteguts kommt (Feil, 1998). Auf allen drei Standorten wurden die Proteingehalte im Korn durch die Fungizidapplikationen nicht beeinflusst. Trotz der Ertragszuwächse durch die Strobilurin-Behandlung blieben die Proteinkonzentrationen im Erntegut auf allen Versuchsflächen auf gleichem Niveau, so dass es durch die Ertragssteigerung durch die Strobilurin-Applikationen zu signifikant höheren Proteinerträgen pro Hektar auf den Standorten Dikopshof und Kerpen kam. Auch konnte bei den Sorten, die mit besonders hohen Ertragszuwächsen auf die Strobilurin-Behandlung reagierten wie z.B. die Sorten 'Hybnos' und 'Kanzler', kein negativer Einfluss auf die Proteinkonzentration im Erntegut festgestellt werden.

In beiden Versuchsjahren reagierte die Sorte 'Hybnos' mit den höchsten Ertragszuwächsen nach Strobilurin-Behandlung, gefolgt von den Sorten 'Kanzler' und 'Flair'. Die nur im Versuchsjahr 2001 eingesetzte Sorte 'Cortez' reagierte auf die Strobilurin-Behandlung gegenüber den Azol-Behandlungen auf den Standorten Dikopshof und Kerpen mit signifikant erhöhten Erträgen. Dagegen wies die Sorte 'Jonas' wie auch die Sorte 'Drifter' nur marginale Ertragszuwächse nach Strobilurin-Applikation auf. Bei Beobachtungen hinsichtlich der phänotypischen Ausstattung der Sorten (Blattstellung, Blattmasse etc.) zeigte besonders die Sorte 'Cortez' eine extrem hohe Blattmasse bzw. einen hohen Blattflächenindex. Durch die große Assimilationsfläche und eine dadurch bedingt hohe Photosyntheseleistung und hohe Speicherkapazität für die gewonnenen Assimilate konnte die Sorte 'Cortez' besonders von den Strobilurin-Applikationen profitieren.

Im Gegensatz dazu wies die Sorte 'Drifter' eine wesentlich geringere Assimilationsfläche auf und reagierte auf Strobilurin-Behandlungen nur mit geringen Ertragszuwächsen. Eine Zuordnung der Strobilurin-bedingten Ertragsteigerungen aufgrund von phänotypischen Merkmalen war für die anderen Sorten nicht möglich.

Durch genotypische Merkmale wie z.B. Krankheitsanfälligkeit und Ertragspotential der Sorten könnte die Ertragswirkung von Strobilurinen beeinflusst werden. So vermuten Bayels, (1999) und Bayles und Hilton, (2000): dass besonders krankheitsanfällige Sorten mit höheren Strobilurin-bedingten Mehrerträgen reagieren als robustere Sorten. Bei der Sorte 'Kanzler' treffen die Überlegungen von Bayels, (1999) und Bayles und Hilton, (2000) ebenfalls zu, da die Sorte ausgesprochen krankheitsanfällig ist und auf Strobilurin-Behandlung mit hohen Mehrerträgen reagierte. Die Sorte 'Hybnos' dagegen ist weniger krankheitsanfällig, reagiert aber mit den höchsten Mehrerträgen nach Strobilurin-Behandlung. Korrelationsanalysen auf die beiden Merkmale Krankheitsanfälligkeit und Strobilurin-bedingte Mehrerträge zeigten aber keinen Zusammenhang (Oerke *et al.*, 2001, Beck *et al.*, 2002): so dass für die in den Feldversuchen verwendeten Sorten ein Einfluss der Krankheitsanfälligkeit auf die Ertragszuwächse nach Strobilurin-Applikation auszuschließen ist. Weiterhin konnte ein Einfluss auf die Ertragswirkung von Strobilurinen durch das Merkmal Ertragspotential der Sorten durch Korrelationsanalysen ausgeschlossen werden (Beck *et al.*, 2002).

Die durch Strobilurine ausgelösten höheren Assimilationsleistungen und ein längeres Vitalerhalten der Pflanzen lässt die Pflanzen größere Mengen an Assimilaten synthetisieren. Durch die verzögerte Seneszenz kommt es zu einer verlängerten Kornfüllungsphase, so dass größere Mengen an Assimilaten in das Korn verlagert werden können verglichen mit Azol-behandelten Pflanzen. Auch Gerhard (2001) berichtet, dass die Ertragswirkung der Strobilurine hauptsächlich auf eine Steigerung des Tausendkorngewichtes zurückzuführen ist.

Die Merkmale wie TKG und Körner pro Ähre - Boniturnoten, entnommen aus der Beschreibenden Sortenliste 2000 - wiesen für die Sorten, die überdurchschnittlich auf die Behandlung mit Strobilurinen reagierten wie z.B. 'Cortez' und 'Hybnos', niedrigere Werte für das Merkmal Tausendkorngewicht auf und höhere Werte für das Merkmal Körner pro Ähre. Für Sorten, die weniger stark mit Ertragszuwächsen auf die Behandlung mit Strobilurinen reagierten wie 'Jonas' und 'Drifter', wiesen die Boniturnoten für das Merkmal Tausendkorngewicht höhere Werte auf und für das Merkmal Körner pro Ähre niedrigere Werte verglichen mit den Sorten 'Hybnos' und 'Cortez' (Beschreibende Sortenliste, 2001).

Diese Sorten haben eventuell mehr Potential, höhere Mengen an Assimilaten in das Korn einzulagern und mit ihrer höheren Anzahl von Körnern pro Ähre eine stärkere Sink

Leistung auszuüben verglichen mit Sorten, die über genetisch fixiert höhere Tausendkorngewichte und niedrigere Anzahl von Körnern pro Ähre verfügen. Es ist zu vermuten, dass Sorten mit einer hohen Anzahl von Körnern pro Ähre und einem geringeren Tausendkorngewicht stärker mit Ertragszuwächsen nach Strobilurin-Behandlung reagieren als Sorten mit geringerer Anzahl von Körnern pro Ähre und einem höheren Tausendkorngewicht.

Um die Auswirkungen von moderatem Trockenstress auf Strobilurin-behandelte Weizenpflanzen genauer zu untersuchen und dabei auch den Sorteneinfluss zu berücksichtigen, wurden die Sorten 'Jonas' und 'Hybnos' unter kontrollierten Bedingungen langsam zunehmendem Trockenstress ausgesetzt. Es zeigte sich, dass die Strobilurin-behandelten Pflanzen der Sorte 'Hybnos' unter Trockenstress-Bedingungen wie auch unter optimaler Wasserversorgung eine höhere Assimilationsrate aufwiesen als die Strobilurin-behandelten Pflanzen der Sorte 'Jonas' unter gleichen Umweltbedingungen. Generell sanken die Assimilationsraten aller unter Trockenstress stehenden Pflanzen wie auch Untersuchungen von Lu und Zhang (1998) belegten.

In Versuchen unter kontrollierten Bedingungen wurden Strobilurin-behandelte Pflanzen starkem Trockenstress ausgesetzt, so dass die CO₂-Assimilation zum Erliegen kam. Nach einem Wiederbewässern der Pflanzen konnte aber eine komplette Erholung hinsichtlich der Assimilationsleistung beobachtet werden. Die Assimilationsraten der wieder bewässerten Strobilurin-behandelten Pflanzen lagen auf dem gleichen Niveau wie die der durchgehend bewässerten Kontroll-Pflanzen. Daraus ist zu entnehmen, dass die Stimulierung des pflanzlichen Stoffwechsels durch Strobilurine auch durch starken Trockenstress nicht aufgehoben wurde (Beck *et al.* 2002b).

Inwieweit diese Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen auf Versuche im Freiland übertragbar sind, wurde am Standort Meckenheim untersucht. Aufgrund der trockenen Witterung wurde ein Teil der Versuchspartellen bewässert. Die Erträge der bewässerten Partellen lagen deutlich über dem Ertragsniveau der unbewässerten Partellen. Trotz der Ertragseinbußen durch die Trockenheit wiesen sowohl die bewässerten als auch die nicht bewässerten Strobilurin-behandelten Pflanzen gegenüber den bewässerten bzw. nicht bewässerten Azol-behandelten Pflanzen deutlich erhöhte Erträge auf. Zwar sank das Ertragsniveau in den unbewässerten Partellen deutlich ab, aber die Ertragszuwächse durch die Strobilurin-Behandlung lagen bei beiden Varianten deutlich über dem Niveau der Azol-behandelten Pflanzen.

Durch diese längeren Trockenstressperioden wird der Assimilatebedarf nicht mehr allein durch die Photosynthese gedeckt, sondern es werden Vorblütenreserven verstärkt mobilisiert und ins Korn transloziert (Schnyder *et al.* 1990, Schnyder 1993). So können Strobilurin-behandelte Pflanzen, die den Trockenstress besser abpuffern höhere Mengen an Reservestoffen mobilisieren als Azol-behandelten Pflanzen.

Mit Hilfe der Gaswechselformen bzw. der Chlorophyllfluoreszenz kann nur kurzfristig und punktuell die Assimilationsleistung der Pflanzen und die Reaktion auf Umweltfaktoren (z.B. Trockenstress) beschrieben werden. Deshalb wurden die Weizenkörner des Versuches in Meckenheim aus bewässerten und unbewässerten Parzellen und Weizenkörner aus einem Gewächshausversuch mit Trockenstressvarianten auf ihre C^{12}/C^{13} - Isotopenverhältnisse hin untersucht. Die Verschiebung des Isotopenverhältnisses wird stark durch Umwelteinflüsse wie z.B. Trockenheit, Stickstoff-Versorgung und Sonneneinstrahlung beeinflusst. Umweltfaktoren wie Trockenheit haben einen direkten Einfluss auf die stomatare Leitfähigkeit und somit auch auf die Diskriminierung der schweren C^{13} -Isotope (Farquhar *et al.* 1984).

Durch die Analyse von Weizenkörnern auf die Isotopensignatur können die Umwelteinflüsse über die gesamte Vegetationsperiode, die auf die Weizenpflanzen gewirkt haben, beschrieben werden, denn ein Hauptteil des assimilierten Kohlenstoffes beider Fraktionen wird letztendlich ins Weizenkorn verlagert. Durch die Untersuchungen konnte anhand der Isotopensignaturen gezeigt werden, dass Strobilurine die negativen Auswirkungen von Trockenstress auf den Photosyntheseapparat mildern (Beck *et al.* 2002b).

Der Einfluss Strobilurin-haltiger Fungizide auf die Ertragsphysiologie hängt von zahlreichen Faktoren ab. Die Hauptwirkung der Strobilurine liegt in ihrer sehr guten fungiziden Leistung, die einen langanhaltenden Schutz gegenüber den meisten Sproßpathogenen an Getreide bietet. Alle untersuchten Strobilurine ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften haben die gleichen Auswirkungen auf die Ertragsphysiologie von Weizen. Sie erhöhen die photosynthetische Leistung und die Kohlenstoffassimilation der behandelten Pflanzen. Durch den längeren Erhalt der grünen Blattmasse und einer verzögerten Abreife können Assimilate länger ins Korn verlagert und höhere Tausendkorngewichte erzielt werden. Ungünstigere Umweltbedingungen können von Strobilurin-behandelten Pflanzen bis zu einem gewissen Grad besser kompensiert werden. Strobilurin-bedingte Mehrerträge, die über die fungizide Leistung hinausgehen, werden von Umweltbedingungen sowie der

Sortenwahl variiert. So führt die Anwendung von Strobilurin-haltigen Fungiziden nicht generell zu einer erheblichen Ertragssteigerung, sondern wie auch von Gerhard (2001) berichtet, zu einer Optimierung des standortspezifischen Ertragspotentials der Weizenpflanzen.

5 Zusammenfassung

Für Strobilurine ist neben der Ertragswirkung durch Ausschalten der Pathogene auch eine Ertragswirkung durch direkten Einfluss auf den Metabolismus der Pflanzen beschrieben. Dieser Einfluss von verschiedenen Strobilurin-Präparaten - Azoxystrobin (Amistar[®]): Kresoxim-methyl (Juwel Top[®]): Trifloxystrobin (Stratego[®]): Picoxystrobin (Acanto[®]): Pyraclostrobin (Opera[®]) und Fluoxastrobin - auf die Physiologie von Weizenpflanzen wurde im Rahmen dieser Arbeit untersucht und mit dem von Azol-haltigen Präparaten verglichen.

- Durch die Messung der Chlorophyllfluoreszenz der ertragsrelevanten Blattetagen, konnte eine höhere Stoffwechselaktivität der Strobilurin-behandelten Pflanzen gegenüber den Azol-behandelten und unbehandelten Weizenpflanzen nachgewiesen werden. Dieser Effekt zeigte sich in den Freilandversuchen deutlicher als unter kontrollierten Bedingungen.
- Strobilurin-behandelte Pflanzen wiesen höhere Assimilationsraten auf, sowohl unter kontrollierten Bedingungen als auch in Freilandversuchen. Die erhöhte Stoffwechselaktivität durch Strobilurine konnte schon deutlich vor Einsetzen der Seneszenz nachgewiesen werden.
- Durch die verstärkte CO₂-Assimilation, die durch Strobilurine ausgelöst wird, sind erhöhte Wasserverluste möglich. Alle eingesetzten Strobilurine hatten jedoch keinen signifikanten Einfluss auf den Wasserausnutzungskoeffizienten (WUE).
- Photosynthese führt zu einer CO₂-Anreicherung im Blatt. Dieser Effekt wurde durch die eingesetzten Strobilurine nicht signifikant beeinflusst.
- Die Respirationsrate kann als Maß für die Stoffwechselaktivität der Pflanzen gesehen werden. Im Freiland hatten die eingesetzten Fungizide keinen Einfluss auf die Respirationsraten der behandelten Pflanzen.
- Die Ertragszuwächse durch Strobilurin-Behandlung lassen sich durch eine erhöhte photosynthetische Aktivität und dadurch bedingte höhere Assimilationsleistung erklären. Ein weiterer Faktor war der längere Erhalt der grünen Blattfläche, der zu einer

verlängerten Kornfüllungsphase führte. Dadurch kam es in den Feldversuchen zu signifikant höheren Tausendkorngewichten.

- Eine Differenzierung zwischen der applizierten Wirkstoffmenge bzw. der Applikationshäufigkeit - im Bereich der empfohlenen Aufwandmengen und Applikationszeitraumes - war nicht möglich. Zwar erbrachten alle Pflanzen der Strobilurin-Varianten tendenziell höhere Erträge verglichen zu den jeweiligen Azol-Varianten, aber eine Zuordnung der Strobilurin-bedingten Mehrerträge hinsichtlich Applikationszeitpunkt und Häufigkeit war nicht möglich.
- In Feldversuchen auf mehreren Standorten zeigte sich, dass es keinen direkten Zusammenhang zwischen dem Ertragspotential eines Standortes und den Strobilurin-bedingten Mehrerträgen gab. Eine Begründung könnte in der Fähigkeit von Strobilurin-behandelten Pflanzen liegen, moderaten Umweltstress - in diesen Feldversuchen Trockenstress - besser zu kompensieren.
- Die Ertragswirkung der Strobilurine beruht hauptsächlich auf einer Steigerung des Tausendkorngewichtes. So lassen sich die Sortenunterschiede hinsichtlich der Ertragszuwächse durch Strobilurine mit genetisch niedriger fixierten Tausendkorngewichten erklären. Diese Sorten können möglicherweise eine stärkere Sink-Wirkung ausüben und höhere Mengen an Assimilaten in das Korn einlagern.
- Einflüsse auf Qualitätsparameter wie Proteingehalt, Fallzahl und Sedimentationswert konnten nicht festgestellt werden.
- Der nachhaltigen Effekt von Strobilurinen auf den pflanzlichen Stoffwechsel wurde durch Trockenstress nicht aufgehoben. Strobilurin-behandelte Pflanzen erbrachten auch unter Trockenstress höhere Kornerträge als Azol-behandelte Weizenpflanzen. Die negativen Auswirkungen von Wasserstress auf den Photosyntheseapparat von Weizen wurden durch Strobilurine gemildert. Dies konnte auch in Untersuchungen des C^{12}/C^{13} -Isotopenverhältnisses tendenziell bestätigt werden.

Der Einfluss Strobilurin-haltiger Fungizide auf die Ertragsphysiologie hängt von zahlreichen Faktoren ab. Die Hauptwirkung der Strobilurine liegt in ihrer sehr guten fungiziden

Wirksamkeit und Wirkungsspektrum, die einen langanhaltenden Schutz gegenüber den meisten Sproßpathogenen an Getreide bietet. Alle untersuchten Strobilurine ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften hatten die gleichen Auswirkungen auf die Ertragsphysiologie von Weizen.

Die ertragssteigernde Wirkung von Strobilurin kann als ein zweigeteilter Prozess betrachtet werden. In der ersten Phase - noch vor Beginn erster Seneszenzerscheinungen - bewirken Strobilurin-Behandlungen eine stärkere Leistungsfähigkeit der Pflanze, die sich besonders in hohen Assimilationsraten widerspiegelt. In der zweiten Phase kommt es durch eine verzögerte Seneszenz zu einer Verlängerung der Assimilatproduktion der oberen Teile der Getreidepflanze und zu einer Verlängerung der Kornfüllung und somit zu gesteigerten Tausendkorngewichten.

Strobilurin-bedingte Mehrerträge, die über die fungizide Leistung hinausgehen, werden von Umweltbedingungen sowie des Genotyps der Pflanzen variiert. So führt die Anwendung von Strobilurin-haltigen Fungiziden nicht generell zu einer erheblichen Ertragssteigerung, sondern zu einer Optimierung des standortspezifischen Ertragspotentials der Weizenpflanzen.

6 Literaturverzeichnis

- Anke, T. Oberwinkler, F., Steglich, W., Schramm, G. (1977): the strobilurin - new antifungal antibiotics from the basidiomycete *Strobilurus tenacellus*. *Journal of Antibiotics* **30**, 806-810.
- Anke, T. Hecht, H.J., Schramm, G., Steglich, W. (1979): Antibiotics from basidiomycetes. IX. Qudemansin, an antifungal antibiotics from *Oudemansiella mucida* (Schrader ex. Fr.) Hoehnel (Agricales). *Journal of Antibiotics* **33**, 1112-1117.
- Al-Khatib, K., Paulsen, G.M. (1984): Mode of high temperature injury to wheat grain development. *Physiol. Plant.* **61**, 363-368.
- Al-Khatib, K., Paulsen, G.M. (1989): Enhancement of thermal injury to photosynthesis in wheat plants and thylakoids by high light intensity. *Plant Physiology*, **90**, 1041-1048.
- Alsing, I., Friesecke, H., Kremheller, T.H., Ruhdel, H.-J., Schlaghecken, J., Schneider-Böttcher, I. (1993): Lexikon Landwirtschaft. 2. durchgesehene Auflage BLV Verlagsgesellschaft, München.
- Ammermann, E., Lorenz, G., Schelberger, K., Wenderoth, B., Sauter, H., Rentzea, C. (1992): BAS 490 F - A broad spectrum fungicide with a new mode of action. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference 1992*, **1**, 403-410.
- Ammermann, E., Lorenz, G., Schelberger, K., Wenderoth, B., Sauter, H., Rentzea, C. (1994): BAS 490 F – ein breitwirksames fungizides Strobilurin. *Mitt. a. d. Biol. Bundesanstalt*. Heft **310**, 397.
- Ammermann, E., Lorenz, G., Schelberger, K., Müller, B., Kirstgen, R., Sauter, H. (2000): BAS 500 F – a new broad spectrum strobilurin fungicide *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference – Pest & Diseases*, Brighton, 2000. British Crop Protection Council, Farnham, UK, 541-548.
- Anonymus (1999): F 279 – mesostemische Kraft – eingelagerte Aktivität. Technische Information Novartis.
- Anonymus (2000): Bundessortenamt: Beschreibend Sortenliste: Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte, Landbuch Verlagsgesellschaft mbH, Hannover.

- Anonymus (2003): www.frac.info/frac_de/frac_de_body.htm, 2003
- Anonymus (2004): <http://www.apsnet.org/online/common/names/wheat.asp>
- Baldwin, B.C. , Clough, J.M., Godfrey, C.R.A., Godwin, J.R., Wiggins, T.E. (1996): The discovery and mode of action of ICI A5504. In: Lyr, H.; Russel, P.E.; Sisler, H.D. (eds): *Modern Fungicides and Antifungal Compounds*. Intercept Limited, Andover, Hants, UK, 67-77.
- Bartlett, D. W., Clough, J. M., Godwin, J. R., Hall, A. A., Hamer, M., Parr-Dobranski, (2002): Review: The strobilurin fungicides. *Pest. Manag. Sci.*, **58**, 649-662.
- Bayles, R. (1999): The interaction of strobilurin fungicides with cereal varieties. *Plant Varieties and Seeds* **12**, 129-140.
- Bayles, R. A.; Hilton, G. J. (2000): Variety as a factor in the response of cereals to strobilurins. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference – Pest & Diseases*, Brighton, 13 – 16 November 2000. British Crop Protection Council, Farnham, UK, 731-738.
- Beck, C., Koch H., Oerke, E.-C., Dehne, H.-W. (2000): Einfluss von Strobilurinen auf Physiologie und Ertrag von Winterweizen. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land – Forstwirtschaft*, **376**, 479
- Beck, C., Oerke, E.-C., Dehne, H.-W. (2002): Effect of strobilurins on the yield formation of wheat - influence of variety and environmental condition. In: Lyr, H.; Russel, P.E.; Dehne, H.-W.; Sisler, H.D. (eds): *Modern Fungicides and Antifungal Compounds. Proceedings 12th International Reinhardtsbrunn Symposium*, 2003 Intercept, Andover, UK, 343-355..
- Beck, C., Oerke, E.-C., Dehne, H.-W. (2002a): Impact of strobilurins on physiology and yield formation of wheat. *54th International Symposium on Crop Protection*, Ghent, Belgium, 2002, 254-262
- Beck, C., Oerke, E.-C., Dehne, H.-W. (2002b): Einfluss von Umwelt und Genotyp auf die Ertragswirkung von Strobilurinen bei Weizen. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land – Forstwirtschaft* **390**, 2002, 126
- Becker, W. F.; von Jagow, G.; Anke, T.; Steglich, W. (1981): Ouedemansin, strobilurin A, strobilurin B and myxothiazol: new inhibitors of the bc₁ segment of the respiratory chain with an E-β-methoxyacrylate system as common structural element. *FEBS Letters* **132**, 329-333.

- Bertelsen, J. R.; de Neergaard, E.; Smedegaard-Petersen, V. (2001): Fungicidal effects of azoxystrobin and epoxiconazole on phyllosphere fungi, senescence and yield of winter wheat. *Plant Pathology* **50**, 190-205.
- Bolhard-Nordenkamp, H.R., Long, S.P., Baker, N.R., Öquist, G., Schreiber, U., Lechner, E.G. (1989): Chlorophyll fluorescence as a probe of photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Funct. Ecol.* **3**, 497-514.
- Bryson, R. J.; Leandro, L.; Jones, D. R. (2000): The physiological effects of kresoxim-methyl on wheat leaf greenness and the implication for crop yield. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference – Pest & Diseases*, Brighton, 13 – 16 November 2000. British Crop Protection Council, Farnham, UK, 739-746.
- Caemmerer von, S.; Farquhar, G.C. (1981): Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and gas exchange of leaves. *Planta* **153**, 397-406.
- Carlo Erba Instruments, Manual for Nitrogen Analyzer 1500.
- Carver, T.L.W., Griffiths (1981): Relationship between powdery mildew infection, green leaf area and grain yield of barley. *Annals of Applied Biology* **99**. 255-266.
- Carver, T.L.W., Griffiths (1982): Effects of barley mildew on green leaf area and grain yield in field and greenhouse experiments, *Annals of Applied Biology* **101**. 561-572.
- Clough, J.M., Godfrey, C.R.A. (1998): The strobilurin fungicides. In: Hutson, D. and J. Miyamoto (eds.): Fungicidal activity, chemical and biological approaches to plant protection, John Wiley and Sons, Chichester, 109-148.
- Cochrane, M.P. (1996): Effects of foliar applications of fungicides during plant growth on grain development and grain germinability in spring barley. *Annals of Applied Biology* **128**, 21-35.
- Cook, R.J. (1980): Effects of late season fungicide sprays on yield of winter wheat. *Plant Pathology* **29**, 21-27.
- Cook, R.J. (1981): Unexpected effects of fungicides on cereal yields. *EPPO Bulletin* **11**. 277-285.
- Davies, W. P., Kettlewell, P. S., Green, H. J. (1984): Senescence and net photosynthesis of the flag leaf and grain growth of wheat in response to fungicides. *Annals of Applied Biology* **105**, 303-312.

- Dimmock, J. P. R. E., Gooding, M. J. (2001): The effects of fungicides on Hagberg falling number and blackpoint in winter wheat. *Crop Protection* **21**, 475-487.
- Dimmock, J. P. R. E., Gooding, M. J. (2002): The influence of foliar disease, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: a review. *Journal of Agricultural Science* **138**, 349-366.
- Entz, M.H., Van den Berg, C.G., Lafond, G.P., Stobbe, E.H., Rossnagel, B.G., Austenson, H.M. (1990): Effect of late-season fungicide application on grain yield and size distribution in wheat and barley. *Canadian Journal of Plant Science* **70**, 699-706.
- Evans, J.R. (1983): Nitrogen and photosynthesis in flag leaves of wheat. *Plant Physiology* **72**, 297-302
- Fehrmann, H., Reinecke, P., Weilhofen, U. (1978): Yield increases in winter wheat by unknown effects of MBC-fungicides and captafol. *Phytopath. Z.* **93**, 359-362.
- Farquhar, G.D., Richards, R.A. (1984): Isotopic composition of plant carbon correlates with the water use efficiency of wheat genotypes. *Australian Journal of Plant Physiology* **11**, 539-552.
- Feil, B. (1998): Physiologische und pflanzenbauliche Aspekte der inversen Beziehungen zwischen Ertrag und Proteinkonzentration bei Getreidesorten: Eine Übersicht. *Pflanzenbauwissenschaften* **2**, (1): 37-46.
- Frederick, J.R., Bauer, P.J. (1999): Physiological and numerical components of wheat yield. In: E. H. Satorre, G.A. Slafer (eds.): *Wheat, Ecology and Physiology of Yield Determination*. Food Products Press, an imprint of the Haworth Press, Inc. New York, London, Oxford, pp. 45-65.
- Gan, S. Amasino, R.M. (1997): Making sense of senescence. *Plant Physiology* **113**, 313-319.
- Gebbing, T., H. Schnyder, Kühbauch, W. (1993): Die quantitative Bedeutung von Reservan in der Kornfüllung von Sommerweizen bei unterschiedlicher N-Ernährung. - *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **6**, 117-120
- Gebbing, T., H. Schnyder, Kühbauch, W. (1995): Der Einbau von Vorblüteassimilaten in die Stärke- und Reserveproteinfraktion des Weizenkorns. - *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **8**, 201-204
- Geisler, G. (1988): *Pflanzenbau. Ein Lehrbuch. - Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion.* 2. Auflage. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg

- Geisler, G. (1983): Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
- Gerhard, M., Habermeyer, J. (1997): Einfluss strobilurinhaltiger Fungizide auf Physiologie und Ertrag von Winterweizen. *Phytomedizin* **27** (3): 13-14.
- Gerhard, M., Habermeyer, J.; (1998a): Der Greening-Effekt, *Getreidemagazin*, **4** Jg. (2): 86-90.
- Gerhard, M.; Habermeyer, J.; Zinkernagel, V. (1998): The impact of strobilurins on plant vitality on winter wheat under field condition. In: Lyr, H.; Russel, P.E.; Dehne, H.-W.; Sisler, H.D. (eds): *Modern Fungicides and Antifungal Compounds. Proceedings 12th International Reinhardtsbrunn Symposium*, 1998. Intercept, Andover, UK, 197-208.
- Gerhard M. (2001): Der Einfluss von strobilurinhaltigen Fungiziden auf physiologische Abläufe der Ertragsbildung an Winterweizensorten. Lehrstuhl für Phytopathologie der Technischen Universität München, Dissertation.
- Glaab, J., Kaiser, W. M. (1999): Increased nitrate reductase activity in leaf tissue after application of the fungicide kresoxim-methyl. *Planta* **207**, 442-448.
- Godwin, J.R., Anthony, V.M., Clough, J.M., Godfrey, C.R.A. (1992): ICI A5504: a novel, broad spectrum, systemic β -methoxyacrylate fungicide. *Brighton Crop Protection Conference-Pest and Diseases 1992*, **1**, 435-442
- Godwin, J. R., Bartlett, D. W., Heaney, S.P. (1999): Azoxystrobin: Implication of biochemical mode of action, pharmacokinetics and resistance management for spray programmes against *Septoria diseases* of wheat, in *Septoria on cereals: a study of pathosystems*, Lucas J.A., Boyer, P., Anderson, H.M. (Editors): CABI: Wallingfort, UK, 299-315.
- Godwin, J. R., Bartlett, D. W., Clough, J. M., Godfrey, C.R.A., Harrison, E.G., Maund, S. (2000): Picoxystrobin: a new strobilurin fungicide for use in cereals. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference – Pest & Diseases*, Brighton, 13 – 16 November 2000. British Crop Protection Council, Farnham, UK, 541-548.
- Gold, R. E., Leinhos, G. M. (1994): Histological studies on the fungicidal activity of the strobilurin BAS 490 F. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference – Pest & Diseases*, Brighton, 1994, British Crop Protection Council, Farnham, UK, 253-258.

- Gold, R. E., Leinhos, G. M. (1995): Fungicidal effects of the BAS 490 F on the development and fine structure of plant pathogenic fungi,. *Pesticide Science* **43**, 250-253.
- Gooding, M.J., Dimmock, J.P.R.E., France, J., Jones, S.A. (2000): Green leaf area decline of wheat flag leaves: the influence of fungicides and relationships with mean grain weight and grain yield. *Annals of Applied Biology* **136** (1): 77-84.
- Gooding, M. J., Smith, S. P., Davies, W. P., Kettlewell, P.S. (1994): Effects of late-season application of propiconazole and tridemorph on disease, senescence, grain development and the breadmaking quality of winter wheat. *Crop Protection*, **13**, 362-370.
- Grossmann, K.; Retzlaff, G. (1997): Bioregulatory effects of the fungicidal strobilurin kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). *Pesticide Science* **50**, 11-20.
- Grossmann, K.; Kwiatkowski, J.; Caspar, C. (1999): Regulation of phytohormone levels, leaf senescence and transpiration by the strobilurin kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Physiology* **154**, 805-808.
- Hanhart, H., Frahm, J. (1996): Strobilurine - eine neue Fungizidgeneration, *Getreide Magazin* **2**, 22-25.
- Hanhart, H. (2000): Welche Mischpartner für Stobis. *Top Agrar*, **4**, 80-84.
- Harding, S.A., Guikema, J. A., Paulsen, G.M. (1990): Photosynthetic decline from high temperature stress during maturation of wheat. *Plant Physiology* **92**, 648-653.
- Heyland, K.-U. (1996): Spezieller Pflanzenbau, 7. Auflage Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Jahn, M., Burth, U., Lyr, H. (1995): Positive physiological side effects regarding plant growth and yield. In: *Modern Fungicides and Antifungal Compounds, 11th International Symposium*. H. Lyr, P.E. Russel and H.D. Sisler (Eds.): Intercept Andover, 263-271.
- Joshi, M.M., Sternberg, J.A. (1996): DPX-JE874: a broad-spectrum fungicide with a new mode of action. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference – Pest & Diseases*, Brighton, 1996. British Crop Protection Council, Farnham, UK, 21-26.
- Jensen, E. K. (1999): Grain quality in relation to fungicide treatment of cereals. 16. *Danske Plantevaernskonference 1999*, DJF rapport.

- Jörg, E., (1999): Früh einsetzen und die lange Wirkungsdauer nutzen, *Pfälzer Bauer* **17**, 22-23.
- Kettlewell, P.S., Davies, W.P., Hocking, T.J. (1982): Disease development and senescence of the flag leaf of winter wheat in response to propiconazole. *Journal of Agricultural Science*, **99**, 661-663.
- Konradt, M., Kappes, E.M., Hiemer, M, Petersen, H.-H. (1996): Amistar – ein Strobilurin zur Bekämpfung von Getreidekrankheiten. *Gesunde Pflanzen*, **48**, 126-134.
- Köhle, H.; Grossmann, K.; Retzlaff, G.; Akers, A. (1997): Physiologische Einflüsse des neuen Getreidefungizides Jewel auf die Ertragsbildung. *Gesunde Pflanzen* **49**, 267-271.
- Körschenhaus, J.W., Buchenauer, (1996): Der Einfluss von Azoxystrobin auf Ertrag und Physiologie von Winterweizen sowie den Befall durch *Mycosphaerella graminicola* und *Phaeosporia nodorum*. *Mitt. a .d. Biol. Bundesanstalt* **321**, 494.
- Larcher, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen –5. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Lu, C., Zhang J. (1998): Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyllfluorescence and photoinhibition in wheat plants. *Aust. J. Plant. Physiol.* **25**, 883-892.
- Madeira, A.C. (1995): The principles of resource capture in relation to necrotrophic infection, In: *Physiological Responses of Plants to pathogens*. Eds.: D.R., Walters, J.D., Scholes, R.J., Bryson, N.D. Paul, N., McRoberts UK, pp. 19-31.
- Magnan, N., Lacey, J. (1985): The phylloplane microflora of ripening wheat and effect of late fungicide applications. *Annals of Applied Biology* **109**: 117-128.
- Margot, P., Huggenberg, J., Amren, J., Weiss, B. (1998): CGA 279202: a broad-spectrum strobilurin fungicide. *Brighton Crop Protection Conference-Pest and Diseases 1998*, 375-382.
- Mercer, R.T., Lacroix,G., Gouot, J.M., Latorse M.P. (1998): RPA 407213: a novel fungicide for the control of downey mildews, late light and other diseases on a range of crops. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference – Pest & Diseases*, Brighton,.1998 British Crop Protection Council, Farnham, UK, 319-326.

- MINOLTA CAMERA CO., LTD. (1989): Manual for chlorophyll meter SPAD-502®.
Minolta Radiometric Instruments Div., Osaka, Japan
- Mohr, H., Schopfer, P. (1992): Pflanzenphysiologie, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 597-598.
- Müller, M, Habermeyer, J. (2000): Bewertungskriterien für moderne Fungizide im Weizenanbau, *Mitt. Biol. Bundesanst. Land – Forstwirtschaft*, **376**, 2000, 475
- Nobel, P.S. (1983): Biophysical plant physiology and ecology. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- Nooden, L.D., Leopold, A.C. (Eds.), (1988): Senescence and aging in plants. Academic Press, San Diego.
- Obst, A., Steck, U. (1996): Strobilurin-Fungizide gegen Getreideschadpilze. *Getreide Magazin*, **2**: 26-28.
- Oerke, E.-C. (1996): Ertragsreaktion von Getreide auf Fungizidbehandlungen gegen Blattpathogene. *Mitt. a. d. Biol. Bundesanstalt*. **321**, 196.
- Oerke, E.-C. (1996a): Ertragsverluste und Wirksamkeit des Pflanzenschutzes - eine kritische Bewertung der Situation weltweit. *Gesunde Pflanzen* **48** (1): 28-33.
- Oerke, E.-C., Dehne, H.-W. (1998): Pflanzenphysiologische Effekte von Strobilurinen und deren Bedeutung für die Ertragsbildung. *Mitt. a. d. Biol. Bundesanstalt*. **357**, 130-131.
- Oerke, E.-C., Beck, C., Dehne, H.-W. (2001): Physiological effects of strobilurins on wheat yield. *Phytopathology* **91**, (Supp 6), 2001, 67
- Petersen, H.-H., Konradt, M. (1997): Amistar - Das Fungizid mit der Innovation in der Getreidepilzbekämpfung. *Getreide Magazin* **3**, 48-50.
- Reeves, D.W., Mask, P.L., Wood, C.W., Delany, D.P. (1993): Determination of wheat nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter: influence of management practices. - *J. Plant Nutr.* **16** (5), 781-796
- Retzlaf, G. (1995): Untersuchungen zur Strobilurinwirkung in Gramineen. *Phytomedizin* **25**, (2), 45.
- Richter, G. (1988): Stoffwechselfysiologie der Pflanzen – Physiologie und Biochemie des Primär und Sekundärstoffwechsels. 5. Überarb. u. erw. Auflage, Thieme.

- Sauter, H.; Ammermann, A.; Röhl F. (1995): Strobilurins – from natural products to a new class of fungicides. In: Copping, L.G. (ed.), *Crop protection agents from nature*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 50-81.
- Saur, R., Menck, B.-H., Prigge, G. (1997): Fungizide und ertragsphysiologische Leistungen des neuen Getreidefungizides Juwel. *Gesunde Pflanzen* **49**, 151-158.
- Scheid, L. (1997): Einsatz gestaffelter Aufwandmengen moderner Fungizide nach dem Weizenmodell Bayern und ihr Einfluß auf die Populationsdynamik von Blattkrankheitserregern. – Dissertation, TU München-Weihenstephan: H. Utz Verlag, München 1997.
- Siefer, F., Grossmann K. (1996): Nichtfungizide Nebenwirkungen von Triazolverbindungen am konkreten Beispiel des Triazolfungizides Epoxiconazol. *Gesunde Pflanzen* **48**, 224-231.
- Sinclair, T.R., Tanner, C.B., Bennett, J.M. (1984): Water-use efficiency in crop production. *BioScience* **34**: 36-40.
- Smedegaard-Petersen, V.; Tolstrup, K. (1985): The limiting effects of disease resistance on yield. *Annual Review of Phytopathology* **23**, 475-490.
- Schneider, U., Bilger, W. (1987): Rapid assessments of stress effects on plant leaves by chlorophyll fluorescence measurements. In: Tenhunen, G.D., Plant response to stress. Springer, Berlin, 51-62.
- Schnyder, H., Gnosa, T., Gebbing, T., Kühbauch, W. (1990): Tageszeitliche Veränderungen im Reservekohlenhydratstoffwechsel des exponierten Pedunkelabschnittes von Weizen während der Kornfüllung. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **3**: 67-70.
- Schnyder, H. (1993): The role of carbohydrate storage and redistribution in the source-sink relations of wheat and barley during grain filling – a review. *New Phytol.* **123**: 233-245.
- Tyree, M.T., Alexander, J.D. (1993): Plant water relations and effects of elevated CO₂: A review and suggestions for future research. *Vegetation* **104/105**: 47-62.
- Tripathi, R.K., Vohra, K., Schlösser, E. (1980): Effects of fungicides on the physiology of plants. III. Mechanism of cytokinin-like antisenescent action of carbendazim on wheat leaves. *Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten u. Pflanzenchutz* **87**, 631-639.

- Verret, J.-A., Hoffmann, G.M. (1989): Schwellenorientiertes Entscheidungsschema für eine epidemiebezogene Bekämpfung von *Septoria nodorum* Berk. an Weizen. *Gesunde Pflanzen* **41**, 147-159.
- Verreet, J.-A. (1995): Principles of integrated pest management. The IPM wheat model. *Pflanzenschutz Nachrichten Bayer* **48**.
- Verreet, J.-A.; Klink, H. (1999): Chemical control of *Septoria/Stangospora* diseases in cereals. 5th International workshop on *Septoria/Stangospora* diseases in cereals. CIMMYT, El Batan, Mexico, 1-30.
- Werner, S. (1999): Effekte von Fungizidanwendungen im Roggen- und Sommergerstenanbau und ihr Einfluß auf Ertrag und Verarbeitungsqualität, Lehrstuhl für Phytopathologie der Technischen Universität München, Dissertation.
- Wu, Y.-X., Tiedemann von, A. (2001): Physiological effects of Azoxystrobin and Epoxiconazole on senescence and the oxidative status of Wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **71**, 1-10.
- Wu, Y.-X., Tiedemann von, A. (2002): Impact of fungicides on active oxygen species and antioxidant enzymes in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) exposed to ozone. *Environmental Pollution* **116**, 37-47.
- Ypema, H.L., Gold, R.E. (1999): Kresoxim-methyl. Modification of a naturally occurring compound to produce a new fungicide. *Plant Disease* **83**, 4-19.
- Ziegler, R., Egle, (1965): Zur quantitativen Bestimmung der Chloroplastenpigmente. *Beitr. Biol. Pflanzen* **41**, 11-37.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen denen bedanken, die mir während der Erstellung meiner Dissertation mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben.

Mein herzlichster Dank gilt Herrn Prof. Dehne, der mir die Möglichkeit gegeben hat an der Thematik zu arbeiten und das Projekt zu beenden. Besonders bedanke ich mich für die mir gewährte Selbstständigkeit und das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Danken möchte ich Herrn Prof. Leon vom Institut für Pflanzenzüchtung der Universität Bonn für die Übernahme des Korreferates.

Mein besonderer Dank gilt Dr. Oerke für die freundliche Betreuung, seine immer währende Bereitschaft der Anregung, Hilfestellung und Diskussion waren mir eine große Unterstützung.

Desweiteren danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes für Pflanzenkrankheiten der Universität Bonn für die angenehme Arbeitsatmosphäre.

Weiter danke ich der Firma Novartis und der Firma Bayer Crop Science für die Bereitstellung von fungiziden Wirkstoffen und der finanziellen Unterstützung des Projektes.