

**Lehrstuhl für Phytopathologie
der Technischen Universität München**

**Der Einfluß strobilurinhaltiger Fungizide auf
physiologische Abläufe der Ertragsbildung an
Winterweizensorten**

Michael Gerhard

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. W. Huber

Prüfer der Dissertation: 1. apl. Prof. Dr. V. Zinkernagel
2. Univ.-Prof. Dr. U. Schmidhalter

Die Dissertation wurde am 23.05. 2001 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 18.09.2001 angenommen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Charakterisierung der Strobilurine Kresoxim-methyl und Azoxystrobin	3
2.2	Physiologische Nebenwirkungen von Fungiziden	4
2.3	Physiologische Nebenwirkungen der Strobilurine	6
2.4	Physiologie der Blattseneszenz	8
2.5	Steuerung der Seneszenz	10
2.6	Seneszenzänderungen der Wirtpflanzen durch Amistar und Juwel	12
3	Material und Methoden	14
3.1	Versuchsanlagen und Versuchsdurchführung	14
3.1.1	Feldversuche	14
3.1.2	Gewächshausversuche	16
3.1.3	Sortenspektrum	17
3.1.4	Verwendete Fungizide	17
3.2	Erfassung ertragswirksamer Umweltfaktoren	18
3.2.1	Witterung	18
3.2.2	Bodenwasserpotential	18
3.2.3	Krankheitsdiagnostik	19
3.3	Ermittlung der Biomasse	19
3.3.1	Frisch- und Trockenmasse	19
3.3.2	Blattfläche	20
3.3.3	Kornertrag	20
3.3.4	Stickstoff- und Rohproteingehalt	20
3.3.5	Remissionsspektroskopie	21

3.3.6	Fernerkundung	22
3.4	Aktivität des Photosynthesesystems	23
3.4.1	Photosynthesepigmente	23
3.4.2	Stomatärer Gaswechsel	25
3.4.3	Chlorophyllfluoreszenz	27
3.5	Erfassung der Abreife	29
3.5.1	Abbau des Blattgrüns	30
3.5.2	DNase-Aktivitätsbestimmung	30
3.5.3	Ethylen-Detektion	31
3.5.4	Bestimmung der Eosinreife (EC 89)	31
3.6	Datenaufbereitung und statistische Auswertung	32
4	Witterungsverlauf und Pflanzenentwicklung	33
5	Ergebnisse	40
5.1	Charakterisierung des Pflanzenwachstums in den Feldversuchen	40
5.1.1	Bodenwasserpotential	40
5.1.2	Bodenstickstoff-Mineralisierung	42
5.1.3	Pathogensituation	44
5.1.4	Befallssituation an Gesundvarianten	49
5.2	Effekte strobilurinhaltiger Fungizide auf Ertrag und Biomassebildung	51
5.2.1	Kornerträge	51
5.2.2	Stickstoffaufnahme und –verwertung	54
5.2.3	Gesamtrockenmasse	57
5.2.4	Blattflächenexpansion	59
5.2.5	Remissionsspektroskopie	62
5.2.6	Fernerkundung	67
5.3	Einfluß strobilurinhaltiger Fungizide auf die Ausbildung und die Effizienz des Photosyntheseapparates	69

5.3.1	Chlorophyllausstattung	69
5.3.2	Stomatärer Gaswechsel	75
5.3.3	Chlorophyllfluoreszenz unter Feldbedingungen	78
5.3.3.1	Elektronentransport	78
5.3.3.2	Photosyntheseeffizienz vor und nach Streßbehandlung	81
5.3.4	Chlorophyllfluoreszenz unter kontrollierten Bedingungen	87
5.3.5	Detailstudie 'Nichtparasitäre Blattflecken' an Gerste	92
5.4	Wirkung strobilurinhaltiger Fungizide auf Abreifeparameter	96
5.4.1	Ethylenentwicklung	96
5.4.2	DNase-Aktivität	104
5.4.3	Blattflächenvitalität	107
5.4.4	Eosinreife	113
6	Diskussion	115
7	Zusammenfassung	137
8	Literaturverzeichnis	141
9	Anhang	156

Abkürzungsverzeichnis

A	Assimilationsrate ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
a.i.	Wirkstoffgehalt (active ingredient)
AUGL	Fläche unter grünen Blättern (area under green leaves)
AZ	Azoxystrobin (ICIA 5504, ZENECA)
BAS 490	Kresoxim-methyl (BAS 490 00F, BASF)
BGI	Blattgrünintensität
BH	Befallshäufigkeit (%)
BS	Befallsstärke (%)
BTE	Blattetage
CCC	Chlorcholinchlorid
D _l	Dissimilation im Licht
dt/ha	Dezitonne/Hektar
E	Transpirationsrate ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
EC	Entwicklungsstadium (Eucarpia code)
ETR	photosynthetische Elektronentransportrate
F	Fahnenblatt
F-1 bis F-6	1. bis 6. Blatt unter dem Fahnenblatt
FM	Frischmasse
F _m	maximale Fluoreszenz
F _o	Grundfluoreszenz
F _t	Fluoreszenz zum Zeitpunkt t
F _v	variable Fluoreszenz
F _v /F _m	maximale relative Elektronentransportwirksamkeit von PSII
Γ	CO ₂ -Kompensationspunkt (μbar)
GD _{5%}	Grenzdifferenz bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
g _{st}	stomatäre Leitfähigkeit
KM	Kresoxim-methyl (BASF)
mbar	Millibar
n	Anzahl Wiederholungen
NDVI	Normalisierter Differenz Vegetations-Index
NEC	Flächenanteil Nekrose pro Blattinsertion (%)

NIR	Nahes Infrarot (700 nm bis 1050 nm)
Opus/Top	Gesundstandards Opus Top oder Opus
PAR	photosynthetisch aktive Strahlung ($\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
p_{ci}	CO ₂ Partialdruck
PR	Photorespiration ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
q_N	nicht-photochemischer Quench
q_p	photochemischer Quench
R	Korrelationskoeffizient
r.H.	rel. Luftfeuchte (%)
R^2	Bestimmtheitsmaß
RED	relative Einlagerungsdistanz von Eosinrot in die Ähre
RGR	relative Wachstumsrate
RI	Strahlungseindringung (radiation interception)
RUE	Strahlungsnutzungseffizienz (radiation use efficiency)
SBI	Sterolbiosyntheseinhibitoren
SS	Sporulationsstärke (%)
TKG	Tausendkorngewicht
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
VIS	sichtbares Lichtspektrum (engl. visible, 400 nm bis 700 nm)
VP	Versuchsprodukt (ZENECA)
WBI	Wasserbanden-Index
Wdh.	Wiederholung
WUE	Wassernutzungseffizienz (water use efficiency)
Y	Yield; Elektronentransportkapazität oder effektiver Lichtquantenertrag

1 Einleitung

Seit über 10000 Jahren betreibt der Mensch Ackerbau. Die Produktion von Nahrungsüberschüssen schuf die Vorbedingung für Selbsthaftigkeit und kulturelle Weiterentwicklung. Die nachhaltige Sicherung von Ertrag und Qualität der Ernteprodukte als Grundlage für die Ernährung einer stetig wachsenden Bevölkerung wurde zur vorrangigsten Aufgabe der Landwirtschaft. Mit dieser Aufgabenstellung mußte der Ackerbauer Maßnahmen zur Vermeidung von Schädwirkungen durch natürliche Gegenkräfte ergreifen. Vor allem phytopathogene Pilze verursachten Kalamitäten. So führten Rost- und Brandkrankheiten des Getreides im 18. Jahrhundert zur Aufwertung der Kartoffel als Hauptnahrungsmittel in Nordeuropa. In den 40er Jahren jenes Jahrhunderts hatte das massive Auftreten der Kraut- und Knollenfäule verheerende Auswirkungen auf die Volksernährung. Über 1,5 Millionen Menschen erlagen der Hungersnot. Tiefgreifende politische Umbrüche in Deutschland und Frankreich folgten. Eine große Auswanderungsbewegung nach Nordamerika setzte ein. Erst seit der Entwicklung organischer Fungizide gegen pilzliche Erkrankungen unserer Nahrungspflanzen, haben Pilzkrankheiten ihre Bedeutung, in diesem Ausmaß verloren.

Gegenwärtig ist Winterweizen wieder die bedeutendste Ackerbaukultur in Europa. Die hohe Anbauintensität und das erreichte Produktionsniveau, das derzeit bei ca. 70 dt/ha liegt, wird durch pilzliche Krankheiten gefährdet. Ertragsverluste durch Schädwirkungen phytopathogener Pilze in der intensiven Weizenproduktion Nordwesteuropas werden derzeit auf ca. 20% geschätzt (*OERKE, 1998*). Dazu kommen abiotische Schadfaktoren, die in einem erheblichen Ausmaß die Ausbildung des erreichbaren Ernteertrages behindern. Zuverlässige Zahlen über ihren jeweiligen Anteil an der Ertragsminderung liegen nicht vor. Unter diesen Voraussetzungen werden deshalb Verfahren interessant, in dem Pflanzenschutz durch bloße Schaderregerbekämpfung ergänzt wird durch Maßnahmen, welche die Pflanze zur Selbsthilfe befähigen. Dies kann geschehen durch erhöhten Widerstand der Pflanzen gegen Schaderreger und abiotische Schadfaktoren, oder durch Pflanzenstärkung, so daß trotz Belastungen das Leistungsvermögen erhalten bleibt (*SCHÖNBECK, 1989*).

Mit Einführung der Wirkstoffgruppe der Strobilurine ist das Phänomen vitalitätssteigernder Wirkungen an behandelten Getreidepflanzen zu beobachten. Besonders auffällige Erscheinungen, die im Gewächshaus wie auch im Freiland an behandelten Getreidepflanzen beobachtet werden, sind hierbei eine ausgeprägte Grünfärbung des Blattgewebes, eine verzögerte Seneszenz der ertragsbildenden Organe und die Vermeidung von Schäden durch oxidativen Streß. Diesen nichtfungiziden Nebenwirkungen, die auch auf eine Erhöhung der Widerstandskraft der Pflanze gegenüber abiotischen Schadfaktoren zurückgeführt werden, wird eine positive Wirkung auf das Pflanzenwachstum und den Ertrag zugesprochen.

Bioregulatorische Effekte der strobilurinhaltenen Fungizide werden derzeit als Ursache der verschiedenen Einflußfaktoren verstanden, einschließlich der Hemmung der Ethylenbiosynthese, dem Anstieg endogener Cytokinine, der Steigerung der Kohlendioxid-Assimilation und möglicherweise einer Anhebung der Stickstoffassimilation. Die Daten dafür wurden ausschließlich unter kontrollierten Versuchsbedingungen im Labor oder Gewächshaus gewonnen. Die Validierung im natürlichen System erfolgte nicht. Es fehlen

bislang, trotz zahlreicher in der Fachliteratur dargestellter Versuche zur Erklärung der Ertragswirksamkeit strobilurinhaltiger Fungizide, die auf wissenschaftlichen Erhebungen basierenden Fakten aus dem Feldversuch. Es stellte sich daher die Aufgabe, zu prüfen, ob die bioregulatorischen Effekte auch im Feldversuch ertragswirksam sein können.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Frage nach dem Einfluß der strobilurinhaltigen Fungizide Jewel und Amistar auf physiologische Abläufe der Ertragsbildung von Winterweizensorten im Feldexperiment. Neben der Ertragswirksamkeit selbst, werden die Ursachen dafür an Parametern des vegetativen und generativen Systems erarbeitet. Ebenso wird die Wirkung der Strobilurine auf die Vermeidung von abiotischem Streß beleuchtet. Es soll geklärt werden, ob die Widerstandskraft der Pflanzen gegen abiotische Schadfaktoren gefördert wird. Natürlich müssen bei speziellen Fragestellungen die Freilandergebnisse durch Gewächshausstudien begleitet werden. Dem Problem der Abgrenzung rein fungizider Effekte gegenüber bioregulatorischen Zusatzwirkungen wird im Feldversuch durch die Arbeit mit Gesundvarianten (z.B. 3x 1,0 l/ha Jewel, 3x 1,0 l/ha Amistar) begegnet. Zusätzliche nichtfungizide Wirkungen gegenüber den besten Fungizidstandard-Behandlungen (3x 1,5 l/ha Opus Top) können dann herausgearbeitet werden.

Folgende Themenkomplexe werden bearbeitet.

- Die Ertragswirksamkeit strobilurinhaltiger Fungizide, die über die bloße Vermeidung der Schadwirkung phytopathogener Pilze hinausgeht
- Die qualitative und quantitative Beschreibung von Abläufen der Aufwuchsleistung gesunder Pflanzen nach Anwendung strobilurinhaltiger Fungizide
- Die Wirkung von strobilurinhaltigen Fungiziden auf die photosynthetische Primärproduktionsleistung der Pflanzen
- Der Einfluß strobilurinhaltiger Präparate auf Alterung und Seneszenz ertragsessentieller Blattoorgane

Die Ergebnisse werden in einem Modell zum Einfluß strobilurinhaltiger Fungizide auf physiologische Abläufe der Ertragsbildung im Feldbestand zusammengefaßt.

2. Literaturübersicht

2.1 Charakterisierung der Strobilurine Kresoxim-methyl und Azoxystrobin

BASF und Zeneca starteten ihre Forschungs- und Entwicklungsarbeit mit der Naturstoffgruppe der Strobilurine zu Beginn der 80er Jahre (BEAUTEUMENT *et al.*, 1991; CLOUGH, 1993; CLOUGH *et al.*, 1995; SAUTER *et al.*, 1995). Die ersten beiden Entwicklungsprodukte BAS 490 00F (common name: Kresoxim-methyl, BASF) und ICIA 5504 (common name: Azoxystrobin, Zeneca) wurden 1992 auf der Brighton Crop Protection Conference vorgestellt (AMMERMANN *et al.*, 1992; GODWIN *et al.*, 1992). Ihr gemeinsamer Wirkmechanismus, die Inhibition des mitochondrialen Elektronentransports am Cytochrom bc_1 -Komplex, führte zu der vorgeschlagenen Nomenklatur Strobilurin (SAUTER *et al.*, 1995). Ein ausführlicher Überblick über den Werdegang vom Naturstoff zum Entwicklungsprodukt wird für BAS 490 00F und ICIA 5504 von SAUTER *et al.* (1995) gegeben.

Die Penetrationsrate von Azoxystrobin (AZ) ist gering. Bei Blattapplikation werden nach 24 Stunden ca. 10% des aktiven Wirkstoffes (a.i.) im Blatt nachgewiesen. Über Wirkstoffdepots auf der Blatlamina wird jedoch kontinuierlich Wirkstoff nachgeliefert. Der Wirkstoff wird systemisch im Xylem transportiert (BARTLETT, 1997; GODWIN *et al.*, 1992, 1999). Die Blattpenetration von Kresoxim-methyl (KM), ohne Zusatz von Formulierhilfsmittel, ist geringer als bei AZ und liegt 24 Stunden nach Applikation auf Weizenblätter bei etwa 5% a.i. (GOLD *et al.*, 1994). KM ist nicht systemisch, hat aber infolge des starken Dampfdruckes eine translaminare Wirkung (KÖHLE *et al.*, 1993). Ebenso wie bei AZ wird der Wirkstoff langsam abgegeben. Der Wirkstoff diffundiert in der Blattgrenzschicht und verteilt sich darin 'quasi systemisch' über die Blattoberfläche (GOLD *et al.*, 1996). KM wird im Getreidebau nur in Kombination mit anderen Wirkstoffen angeboten (Antiresistenzstrategie). Für Getreide lag die Zulassung im Versuchszeitraum 1996 bis 1998 bei der Kombination: 125 g a.i./ha Kresoxim-methyl + 125 g a.i./ha Epoxiconazol und wurde mit dem Handelsnamen Juwel angeboten. Infolge der seit 1998 auftretenden Resistenzen von *Blumeria graminis* wird Juwel mit Zusatz von 150 g a.i./ha Fenpropimorph als Juwel Top vermarktet. Ergebnisse zur biologischen Wirkungsweise des Azolpartners Epoxiconazol sind bei AKERS *et al.*, 1990; AMMERMANN *et al.*, 1990; SAUR *et al.*, 1990; SAUR *et al.*, 1991; GOLD *et al.*, 1992; SAUR *et al.*, 1994 ausführlich dargestellt.

KM und AZ greifen schon früh in die Pilzentwicklung ein. Sporenkeimung und Keimschlauchbildung werden unterbunden (GODWIN *et al.*, 1992; GOLD *et al.*, 1994; GOLD *et al.*, 1996). Beide Wirkstoffe haben ein breites, vorwiegend protektives Wirkungsspektrum gegen Saprophyten und phytopathogene Pilze bei den Ascomyceten, Basidiomyceten, Deuteromyceten und Oomyceten (AMMERMANN *et al.*, 1992; GODWIN *et al.*, 1992; HEANEY & KNIGHT, 1994). Die pilzlichen Schaderreger werden, anders als bei den Triazolen und Morpholinen, abgetötet, bevor es zu einer energieintensiven Infektionsabwehrreaktion von Seiten der Pflanze kommt, die auf Kosten des Ertrags gehen kann (GODWIN *et al.*, 1994; GODWIN *et al.*, 1999; BERTELSEN, 1999). Bis heute ist es immer noch unklar, welchen Anteil diese Prozesse letztendlich bei der Ertragsbildung haben.

1996 erfolgte die Erstzulassung beider Wirkstoffe in Deutschland, im Jahr darauf die Markteinführung der Handelsprodukte Jewel (Kombinationsprodukt: Kresoxim-methyl und Epoxiconazol) und Amistar (Soloprodukt: Azoxystrobin).

Neben der guten fungiziden Leistung mit langer Wirkungsdauer werden nach Strobilurin-Behandlung physiologische Veränderungen in der Pflanze für die Ertrags- und Qualitätssteigerung postuliert (z.B. GOLD *et al.*, 1995; OBST & STECK, 1996; SAUR *et al.*, 1996; PETERSEN & KONRADT, 1997; SCHEID, 1997; GROSSMANN & RETZLAFF, 1997; SAUR *et al.*, 1997; WERNER, 1999; YPEMA & GOLD, 1999).

2.2 Physiologische Nebenwirkungen von Fungiziden

Die Erforschung von physiologischen Nebenwirkungen ist eng mit der Entwicklung von Fungiziden und den Studien ihrer Wirkmechanismen verbunden. Bereits in den sechziger Jahren wurden bei den klassischen 'multisite'-Inhibitoren Beobachtungen direkter physiologischer Veränderungen vor allem an Obst berichtet. So hatte Mancozeb eine ertragssteigernde Wirkung bei Apfel. Eine Steigerung der Assimilationsfläche und des Frisch- und Trockengewichtes von Apfelbaumblättern wurden durch die Behandlung mit Captan, Ziram und Thiram beobachtet. Thiram förderte zudem auch den Chlorophyllgehalt bei Apfel. Die physiologischen Ursachen der Wirkungen waren unbekannt (JAHN *et al.*, 1995).

Mit der Entwicklung der systemischen Fungizide und den fortgeschrittenen Kenntnissen ihrer Wirkmechanismen wurden auch die Forschungen auf dem Gebiet der physiologischen Sekundärwirkungen stimuliert (JAHN *et al.*, 1995). In der Literatur finden sich mit Beginn der siebziger Jahre zahlreiche Hinweise, in denen von positiven Wirkungen auf die Biomasse und den Ertrag berichtet wird, die nicht über die Vermeidung der Verluste durch Schaderreger erklärt werden konnten. Systemische Fungizide aus der Gruppe der Benzimidazole und Triazole wurden auf ihren Einfluß auf den Hormon- bzw. Wuchsstoffwechsel der Pflanze hin untersucht. Über Cytokinin-artige Effekte der Benzimidazole (Benomyl, Carbendazim) in Getreideblättern wird von STASKAWICZ *et al.* (1978), TRIPATHI *et al.* (1980), COOK (1981) u.v.m. berichtet. Eine Cytokinin-ähnliche Wirkung der Benzimidazole beschreibt SCHRUFF (1971). Seneszenzverzögernde Wirkung durch Carbendazim in Obstkulturen wird von PRESSMAN & PALEVITCH (1973) und TRIPATHI & SCHLÖSSER (1977), im Weizen von TRIPATHI *et al.* (1980) erwähnt. In einer physiologischen Studie über den Mechanismus der Seneszenzverzögerung von Carbendazim in Weizenblättern konnte gezeigt werden, daß der Wirkstoff die Degradation von Chlorophyll, RNA und Protein inhibiert und den Anstieg von Proteasen, Ribonukleasen und Esterasen hemmt (TRIPATHI *et al.*, 1980). Mehrere Autoren berichten über eine Verlängerung der Lebensdauer von Fahnenblättern und/oder der Ähren bei Weizen, der einmal oder mehrmals mit Benomyl (Benzimidazol), Zineb (Thiocarbamat), Zineb + Carbendazim, Captafol (Phthalamid), Tridemorph (Morpholin), Triadimefon (Triazol), Propiconazol (Triazol) behandelt wurde. Mehrerträge bis zu 20% waren unabhängig vom Befallsgeschehen aufgetreten und konnten nicht durch die Vermeidung der Schadwirkung phytopathogener Pilze erklärt werden (DICKINSON & WALPOLE, 1975; DICKINSON & WALLACE, 1976;

FEHRMANN *et al.*, 1978; DICKINSON, 1981; PRIESTLEY, 1981; KETTLEWELL *et al.*, 1982; MAGNAN & LACEY, 1985). Die Effekte der, in der Mehrzahl an isolierten Blättern *in vitro*, durchgeführten Versuche faßt MÜLLER (1984) für Weizen als ein positiv zu bewertendes Hinausschieben der Seneszenz zusammen.

Ein sehr interessanter und für die Zukunft des Pflanzenbaus wichtiger Sekundäreffekt von Fungiziden ist die teilweise ausgeprägt protektive Wirkung gegenüber Umweltbelastungen. Bereits in den siebziger Jahren untersuchten verschiedene Autoren die Anti-Seneszenz-Wirkung von Benzimidazol-Fungiziden als Schutzsubstanzen gegenüber der Schadwirkung von Ozon. Intakte Pflanzen und Blätter die mit Benzimidazol, N-6-benzyladenin und Kinetin behandelt wurden, erwiesen sich resistent gegenüber der Schadwirkung von Ozon (PELLISSIER *et al.*, 1972; TAYLOR & RICH, 1974, TOMLINSON & RICH, 1973 zitiert bei JAHN *et al.* (1995)). OBST *et al.* (1995) und OBST & HUBER (1996) zeigen in ihren Untersuchungen bei Gerste, daß eine Behandlung mit Epoxiconazol zu einer Verminderung von nichtparasitären Blattflecken führen kann, die sich sehr schnell zu großflächigen Nekrosen ausbilden (mit Ertragsverlusten bis zu 20%). Die auslösenden Ursachen gehen vermutlich auf einen Schadkomplex zurück, bei dem verschiedene Strebfaktoren, wie z.B. bestimmte biologisch aktive Bereiche der Globalstrahlung, Ozonbelastung sowie Trocken- und Hitzestress zusammentreffen (OBST *et al.*, 1995). Gegenwärtig liegt die beste Schutzwirkung gegenüber dem Auftreten nichtparasitärer Blattflecken bei den Handelspräparaten Jewel bzw. Jewel Top. Sie verhindern, zu EC 39 mit voller Aufwandmenge appliziert, die Ausbildung des Schadsymptoms nahezu vollständig (GERHARD & HABERMEYER, 1999 unveröffentlicht).

Aus der Gruppe der systemischen Fungizide ist die physiologische Beeinflussung der Pflanzen durch Ergosterol-Biosynthese-Inhibitoren (SBI) wohl am besten erforscht. (FÖRSTER *et al.*, 1980; BUCHENAUER & RÖHNER, 1981; FLETCHER & ARNOLD, 1986). Vor allem Triazolverbindungen, unter denen man neben zahlreichen fungiziden Wirkstoffen (z.B. Epoxiconazol, Tebuconazol, Propiconazol, Triadimefon, Triadimenol) insbesondere auch nichtfungizide Substanzen mit wachstumsregulatorischen Funktionen findet, haben eine direkte Wirkung auf wichtige Syntheseprozesse im pflanzlichen Stoffwechsel (SIEFERT & GROSSMANN, 1996). Die Substanzen blockieren vor allem die Ergosterol-Biosynthese sensitiver Pilze neben anderen stoffwechselphysiologischen Eingriffen. Ergosterol und Gibberelline werden in der Pflanze über den gleichen Syntheseweg der Isoprenoide gebildet; eine Beeinflussung auch des Wuchsstoffhaushaltes der Pflanze ist daher nach Anwendung entsprechender Wirkstoffe zu erwarten (FLETCHER, 1985). BUCHENAUER *et al.* (1984) weisen für Triazole – u.a. Propiconazol – wachstumsregulatorische Aktivitäten in Getreidepflanzen nach; das Längenwachstum von Wurzeln und Keimblättern wurde gehemmt und Chlorophyllgehalte erhöht; darüber hinaus stellten sie verringerte Mengen an Gibberellin-ähnlichen Verbindungen und Veränderungen im Lipidstoffwechsel in Gerstenkeimlingen fest. In neueren Untersuchungen beschreiben SIEFERT & GROSSMANN (1996) physiologische Effekte nach Applikation von Epoxiconazol. Besonders markante Erscheinungen, die im Freiland wie auch im Gewächshaus an behandelten Getreidepflanzen beobachtet wurden, sind hierbei eine verzögerte Seneszenz, ein farbtintensiveres Grün sowie eine Steigerung des Kornertrages (Abb. 1). Eine umfassende Übersicht über nichtfungizide Wirkungen von Triazolverbindungen gibt BUCHENAUER (1995), neuere Erkenntnisse zur Wirkung von triazolhaltigen Präparaten auf den Hormonhaushalt und die Phytosterol- und Polyaminbiosynthese und damit verbundene mögliche Auswirkungen auf wachstums- und

entwicklungsphysiologische Prozesse in der Pflanze werden bei *SIEFERT & GROSSMANN (1996)* aufgezeigt.

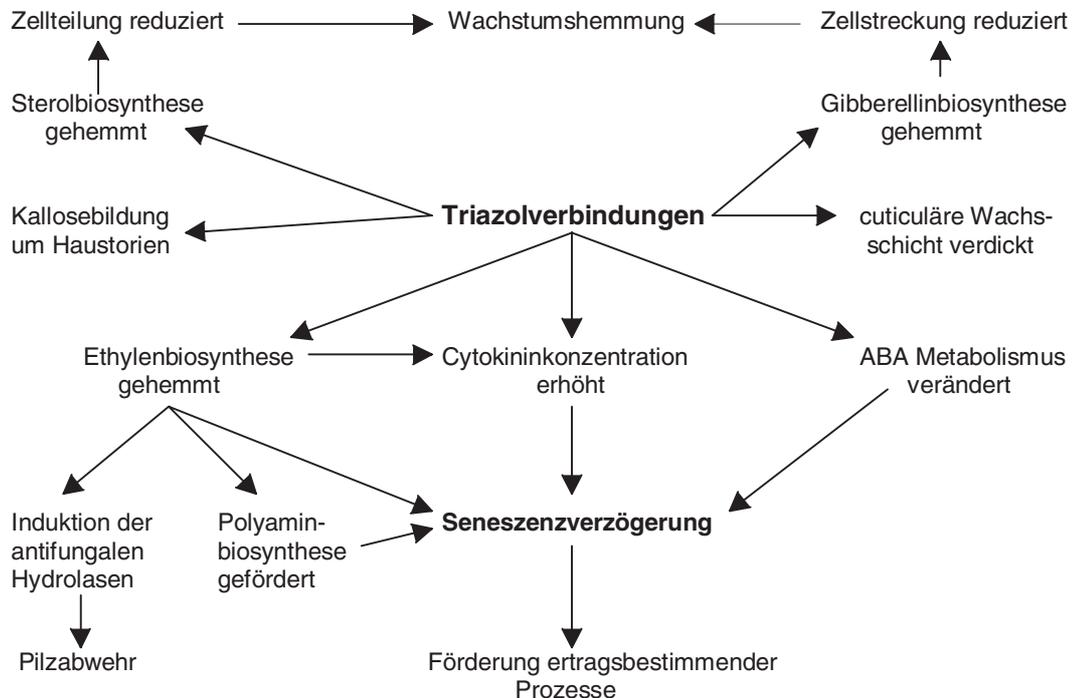


Abb. 1: Übersicht über die nichtfungiziden Wirkungen von Triazolverbindungen unter kontrollierten Bedingungen (modifiziert nach *SIEFERT & GROSSMANN, 1996*; ABA = Abscisinsäure)

2.3 Physiologische Nebenwirkungen der Strobilurine

Mit der Einführung der strobilurinhaltenen Fungizide Jewel und Amistar im Jahre 1996 erreicht das Interesse an nichtfungiziden Sekundäreffekten einen Höhepunkt. Die wohl umfangreichsten, und intensivsten Studien auf diesem Gebiet wurden von *GROSSMANN & RETZLAFF (1997)* für Kresoxim-methyl (KM) veröffentlicht. In Biotestserien an Mais, Algenzellen, *Lemna paucicostata*, Senfsprossen und Kressekeimlingen wurde ein physiologischer Fingerabdruck entwickelt. Die Reaktionsmuster wiesen starke Analogien zu Auxin-Wirkungen in Pflanzen auf. Die Auxin-ähnliche Wirkung von KM zeigten *GROSSMANN & RETZLAFF (1997)* an Stengel-Explantaten von Tabak, die in einem hormonfreien Agarmedium kultiviert wurde, dem steigende Konzentrationen von KM beigemischt waren. Nach zehn Wochen stimulierte KM bei einer Konzentration von 10^{-7} M die Blattbildung, wobei der gleiche Effekt bei 10^{-8} M Indol-Essig-Säure (IAA) gesehen wurde. Die unbehandelten Kontrollen bildeten nur Kallusgewebe. Weizenblätter die im Zweiblattstadium mit 7×10^{-4} M KM behandelt wurden, wiesen nach Bestimmung verschiedener Phytohormontypen nur geringfügige Veränderungen endogener IAA, Gibberellin und Abscisinsäure Werte auf, während 48 Stunden nach Blattapplikation von KM aus der Gruppe der pflanzeigenen Cytokinintypen ausschließlich ein Dihydrozeatin-

Ribosid-Cytokinin-Typ um 160% gegenüber der Kontrolle anstieg. Untersuchungen weiterer Cytokinintypen wiesen keine, auf die Einwirkung von KM zurückzuführenden Konzentrationsveränderungen auf. Die Cytokininwirkung und der Auxin-ähnliche Charakter von KM geben Hinweise auf die möglichen Ursachen für den Effekt der Seneszenzverzögerung der ertragsbildenden Organe, die im Gewächshaus und im Feld beobachtet werden. Während die seneszenzverzögernde Wirkung von Cytokinin seit langem bekannt ist, zeigen neuere Untersuchungen (MCKEON *et al.*, 1995) einen regulatorischen Einfluß von Auxinen bei der *de-novo*-Synthese von Aminocyclopropan-1-carboxylsäure (ACC). An mit steigenden Konzentrationen von KM behandelten jungen Weizensprossen, die abgeschnitten für eine Stunde einem Wasserstreß ausgesetzt waren, dämpfte KM bei einer Konzentration von 10^{-4} M die massiv angestiegene ACC-Synthase-Aktivität und den ACC-Gehalt im Sproßgewebe um bis zu 50%, verglichen zur unbehandelten Kontrolle. Bei diesen Versuchsbedingungen war der Ethylenausstoß der KM behandelten Sprosse um bis zu 36% niedriger als bei den unbehandelten Kontrollen. Reduktionen der ACC-Synthase-Aktivität und ACC-Gehalten von 30% wurden auch beobachtet, wenn niedrige Konzentrationen von α -NAA (α -Naphthyllessigsäure) verabreicht wurden. In Weizenblattscheiben wurde der hemmende Effekt von KM, α -NAA und IAA auf die Ethylenbildung in Verbindung mit einer Seneszenzverzögerung bei Dunkelinkubation gesehen, charakterisiert durch einen reduzierten Chlorophyllabbau.

Hinsichtlich der photosynthetischen Primärproduktion berichten KÖHLE *et al.* (1997) von einer Hemmung der Dunkelatmung an Weizenpflanzen, schon wenige Stunden nach Behandlung der Blätter mit KM. Der CO₂-Kompensationspunkt war erniedrigt (RETZLAFF, 1995; KÖHLE *et al.*, 1997). Ein konzentrationsabhängiger Anstieg der CO₂-Assimilation durch KM (KÖHLE *et al.*, 1997) könnte eine Erklärung geben für den bei GROSSMANN & RETZLAFF (1997) beschriebenen Anstieg der Trockenmasse von jungen Weizensprossen, die acht Tage nach einer Blattbehandlung mit KM um 12% höher lag als die der unbehandelten Kontrolle. Mit Amistar behandelte Blätter junger Weizenpflanzen wiesen keine Absenkung bei der Dunkelatmung auf. Zwölf Stunden nach Behandlung konnte BERTELSEN (1999) einen kurzfristigen Anstieg der Dunkelatmung messen, die dann wieder auf den Wert der unbehandelten Kontrolle zurückfiel.

In Kurzzeitexperimenten mit Weizen und Spinat (KÖHLE *et al.*, 1997), und an Spinatblattscheiben (GLAAB & KAISER, 1999) wird auch eine Wirkung von KM auf die Nitratreduktaseaktivität festgestellt. Entsprechende Beobachtungen an im Freiland gewachsenen Pflanzen liegen nicht vor. Eine modellhafte Zusammenstellung der Einzeleffekte und ihre bioregulatorischen Zusammenhänge mit Wirkung auf die Ertragsbildung ist in Abb. 2 dargestellt.

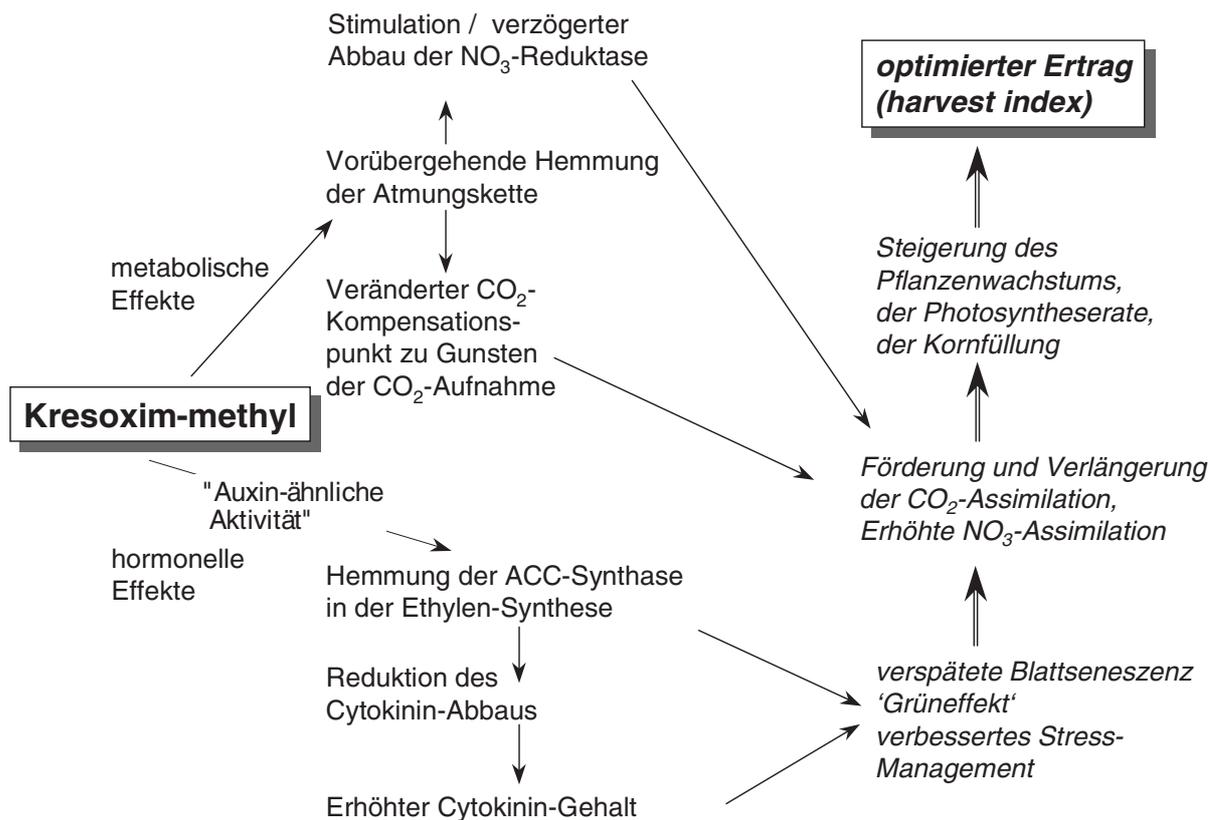


Abb. 2: Vorgeschlagenes Modell der Bioregulation des Fungizidwirkstoffes Kresoxim-methyl bei Weizen (modifiziert nach GROSSMANN & RETZLAFF, 1997; ACC = 1-Aminocyclopropan-1-carboxylsäure)

Die umfangreichen Ergebnisse belegen eindrucksvoll ein bioregulatorisches Potential von Kresoxim-methyl. Den zahlreichen *in vitro*-Untersuchungen und Gewächshausstudien stehen jedoch keine Freilandversuche gegenüber. Der Beweis einer ertragsphysiologisch relevanten, auf nichtfungizide Sekundäreffekte zurückzuführende Zusatzwirkung von Kresoxim-methyl ist für Feldversuche nicht erbracht. Für den Wirkstoff Azoxystrobin liegen in diesem Zusammenhang keine vergleichbaren Laborstudien und nur eine, auf wissenschaftliche Erhebungen basierende Gewächshaus- und Feldstudie von BERTELSEN (1999) vor.

2.4 Physiologie der Blattseneszenz

Die Verzögerung der Seneszenz wird heute mit modernen Fungiziden als Standardmaßnahme zum Schutz der Ähre in nahezu jedem Fall erreicht, wobei in der Regel die Auswirkung auf den Ertrag in einem engen Zusammenhang mit der erzielten Befallsreduktion verschiedener Pathogene auf den Blättern und den Ertragsorganen steht. Die ertragsphysiologische Bedeutung einer verzögerten Blattseneszenz wird von verschiedenen Autoren herausgestellt

(*SIMPSON, 1968; EVANS et al., 1975; CAMP et al., 1982; MOHR & SCHOPFER, 1992; GAN & AMASINO, 1997*). Eine anzustrebende Ertragsphysiologie fordert die Aufrechterhaltung einer optimalen Assimilationsintensität so lang als möglich. Demnach kann vorzeitige Blattseneszenz den Ernteertrag mindern (*GAN & AMASINO, 1997*).

Der Begriff Seneszenz ist nicht ein Synonym für Alterung. Alterung beinhaltet alle Veränderungen von der Entstehung einer Zelle, eines Organs oder eines Organismus bis zum Tod. Seneszenz dagegen beschreibt den finalen Teil im Alterungsprozeß. Umfangreiche physiologische, biochemische und molekularbiologische Studien zur Blattseneszenz zeigen, daß während der Seneszenz Blattzellen einem hochgradig koordinierten Muster von Veränderungen in der Zellstruktur, Metabolismus und Genexpression unterliegen. Die früheste und signifikanteste Veränderung auf der Ebene der Zellstruktur ist der Zusammenbruch der Chloroplasten, den Organellen, die ca. 70% des gespeicherten Blattproteins enthalten (*GAN & AMASINO, 1997, BUCHANAN-WOLLASTON, 1997; BLEEKER, 1998*).

Weizen hat eine sequentielle Seneszenz, d. h. die zuerst angelegten ältesten Blätter sterben auch zuerst ab und dienen als Quellen für Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen für jüngere, sich entwickelnde Organe. Kommt es schließlich zu einer progressiven Alterung wie beim reifenden Getreide, so vermindert sich die Zahl der grünen Blätter zunehmend, und die Pflanze stirbt schließlich ab, wobei letztlich der Großteil des stickstoff- und kohlenstoffhaltigen Materials der Mutterpflanze in die Samen verlagert wird (*MÜNTZ, 1984; MOHR & SCHOPFER, 1992*).

Innerhalb eines Blattes schreitet die Seneszenz bei den Getreidearten von der Blattspitze zur Blattbasis und von den Mesophyll- zu den Epidermiszellen voran. Dabei läuft in jeder einzelnen Zelle dasselbe Alterungsprogramm ab, jedoch mit unterschiedlichem Beginn und unterschiedlicher Geschwindigkeit (*INADA et al., 1998*).

Zu den frühesten Merkmalen der Chloroplastenalterung gehören die strukturellen und die daraus folgenden funktionellen Veränderungen in der Chloroplastenmembran. Wenig später beginnt der Abbau von Enzym- und Membranproteinen aus dem Stroma (z. B. RubisCO) und den Thylakoiden. Vergilben durch Chlorophyllabbau und Degeneration der Thylakoidmembranen setzen parallel zueinander etwas später ein (*MÜNTZ, 1984; MOHR & SCHOPFER, 1992; LARCHER, 1994; GAN & AMASINO, 1997*). Funktional ist Seneszenz also nicht ein simpler degenerativer Prozeß, sondern vielmehr ein Prozeß des Recyclings, in welchem assimilierte Nährstoffe von den alternden Organen in jüngere Blätter, sich entwickelnden Samen oder Speichergewebe verlagert werden (*GAN & AMASINO, 1997*).

Mit dem Abbau von Membranen, Proteinen und Pigmenten ist ein Rückgang der membrangebundenen Elektronentransportprozesse des Photosystems und damit der Photosynthese verbunden (*MÜNTZ, 1984; HUMBECK et al., 1996*). Besonders früh wird bei Laubblättern der LHC (light harvesting Complex) abgebaut. Da der Komplex nahezu das gesamte Chlorophyll b enthält, äußert sich dies in einer Verschiebung des Chlorophyll a/b Verhältnisses zugunsten von Chlorophyll a. Bei Getreide wurde dagegen eine Abnahme dieses Verhältnisses beobachtet (*GROVER et al., 1986 a; ARAUS & LABRANA; 1991*). Ebenfalls ist bei Laubblättern bekannt, daß die Carotinoide nicht oder nur unvollständig abgebaut

werden (MOHR & SCHOPFER, 1992). Eine Zunahme des Quotienten Carotinoid-/Chlorophyllkonzentration im Laufe der Seneszenz ist die Folge. GROVER *et al.* (1986 b) und ARAUS & LABRANA (1991) konnten diese Beobachtungen auch bei alternden Weizenblättern machen.

Als Maß der Seneszenz wird in der Regel die Abnahme des Chlorophyllgehalts verwendet. Dieser und der Proteingehalt sind in einem Getreideblatt im allgemeinen am größten, wenn das Blatt gerade seine volle Größe erreicht hat und nehmen dann kontinuierlich ab (LAWLOR *et al.*, 1987). Bei der Seneszenz laufen neben anabolischen Prozessen oftmals intensive katabolische Prozesse ab, die mit dem Auftreten von Hydrolasen für DNA und RNA korreliert erscheinen. Erst der Verlust von Nukleinsäuren läßt die Fähigkeit des Blattes, das Alter reversibel zu gestalten und ein Wiederergrünen herbeizuführen, unterbinden (DYER & OSBORNE, 1971). Die Versuche an intakten Sommergerstepflanzen zeigten, daß bei der Alterung von Pflanzen oder Pflanzenorganen, die natürlicherweise oder im Verlauf einer Mangelernährung auftritt, die Enzymaktivitäten von Hydrolasen für RNA und im besonderen Maße für DNA als empfindliche Indikatoren für den Grad der Seneszenz herangezogen werden können. Dies eröffnet die Möglichkeit, neben dem Einfluß von Umweltfaktoren auf den Alterungsprozeß auch den von Wirksubstanzen früh und exakt an allen Pflanzenteilen erfassen zu können.

Die gebräuchlichste Methode zur Charakterisierung der Alterungsprozesse in grünen Pflanzenteilen ist die Bestimmung des Chlorophyllgehaltes. Dieses wahrnehmbare äußere Anzeichen der pflanzlichen Seneszenz bedeutet für die Pflanze gleichzeitig auch die ersten Veränderungen auf ultrastruktureller Ebene. Denaturierte Thylakoidstrukturen sind dabei die Voraussetzung für den Abbau des Chlorophylls (THIMANN, 1987). Dem reinen Chlorophyllverlust (Chlorose) ist aber keine direkte Bedeutung für den Alterungsprozeß beizumessen (THOMAS & STODDART, 1980). Wiederergrünung durch Cytokinine oder Stickstoff ist möglich. DNAsen vermögen DNA und RNA abzubauen (WILSON, 1975) und reagieren auf seneszenzauslösende Faktoren (mechanische Verletzungen, Wasserstreß, Nährstoffstreß etc.) mit einem Aktivitätsanstieg. DNase-Aktivitätsmessungen sind Indikatoren für den Grad der Seneszenz (GROSSMANN & JUNG, 1982). Im Zusammenhang mit Strukturschäden der DNase – hervorgerufen durch Parasitenbefall etc. - wird die Funktion eines Reparaturmechanismus für die DNase diskutiert (OSBORNE & CHEAH, 1982; CHANG *et al.*, 1985; WEIR & BRYANT, 1989). Damit sind Aktivitäten der DNase nicht eindeutig auf Alterungsprozesse zurückzuführen, sondern können u.a. einen Reparaturmechanismus charakterisieren.

2.5 Steuerung der Seneszenz

Wie viele andere genetisch programmierte Entwicklungsprozesse wird Blattseneszenz, vor allem deren Initiation, durch Umweltfaktoren und interne, autonome Faktoren gesteuert. Damit assoziierte Prozesse wie der Abbau von Chlorophyll, Proteinen und Photosynthese-Enzymen und die Aktivität von proteolytischen Enzymen bei Weizen werden speziell durch die Temperatur beschleunigt (AL-KHATIB & PAULSEN, 1984; XU *et al.*, 1995). Die Optimaltemperatur für Photosynthese und reproduktives Wachstum bei Weizen liegt

zwischen 18°C und 24°C; höhere Temperaturen mindern die Photosyntheseaktivität (*CAMP et al., 1982; AL-KHATIB & PAULSEN, 1984; STONE & NICOLAS, 1994*) und verstärken die Versorgung der Ähre mit Assimilaten (*WARDLAW et al., 1980*). Weitere Umweltfaktoren sind Streß durch Trockenheit, Ozon, Nährstoffmangel, Pathogenbefall, Verwundung und Beschattung, während die autonomen Faktoren das Gewebealter, das reproduktive Wachstum und den Phytohormongehalt einschließen (*GAN & AMASINO, 1997*). Pflanzen haben Mechanismen entwickelt, mit denen sie Blattseneszenz induzieren können, um bei ungünstigen Wachstumsbedingungen Nährstoffe in die reproduktiven Organe zu leiten und Wasserverbrauch in älteren, weniger produktiven Blättern zu eliminieren. Diese Art der Regulation von Blattseneszenz ermöglicht der Pflanze die Vollendung ihrer Entwicklung auch unter streßreichen Wachstums- und Entwicklungsbedingungen (*GAN & AMASINO, 1997*).

Bei Abwesenheit von externen Reizen, die das Blattseneszenz-Programm beschleunigen, ist das Blattalter die Haupteinflußgröße auf den Start von Seneszenz. Blätter von vielen annuellen Gattungen weisen einen progressiven Abfall in der Photosyntheserate unmittelbar nach der vollständigen Expansion des Blattes auf (*HENSEL et al., 1993; JIANG et al., 1993*). Die Rate dieses Abfalls der Photosyntheseaktivität variiert innerhalb der Arten.

Progressives Absterben des Blattapparates in der fortgeschrittenen reproduktiven Phase hängt häufig mit dem Auftreten eines neuen starken Bedarfs an Assimilaten und Stickstoffverbindungen in den Samen zusammen (*MÜNTZ, 1984*). Man geht davon aus, daß bei annuellen Pflanzen wie Weizen von den reifenden Früchten ein Seneszenzsignal kommt, das sich über die ganze Pflanze ausbreitet und alle Organe auf 'Tod' umprogrammiert, wenn es diese erreicht (*SIMPSON, 1968; EVANS et al., 1975; MOHR & SCHOPFER, 1992; LARCHER, 1994; HAYATI et al., 1995*).

Geregelt wird die Seneszenz hormonell durch ein Zusammenspiel seneszenzauslösender und -verzögernder Substanzen. Die fünf Hauptklassen der Pflanzenhormone nämlich Auxine, Cytokinine, Gibberelline, Abscisine und Ethylen und andere pflanzliche Wachstumsregulatoren wie Jasmonate sind bei der Regulation der Seneszenz eingeschlossen. Auslösend wirken unter anderem Ethylen und Abscisinsäure, verzögernd Auxine, Gibberelline, Polyamine und besonders Cytokinine (*SMART, 1994; GAN & AMASINO, 1996*). Besondere Bedeutung haben Cytokinine und Ethylen.

Cytokinine, die in den Meristemen der Wurzelspitzen gebildet und anschließend im Xylem in die oberirdischen Organe der Pflanze transportiert werden, können die Blattseneszenz deutlich verzögern, indem sie im Blatt einen sink für niedermolekulare Bausteine erzeugen (*MÜNTZ, 1984*). Eine Stimulierung von Syntheseprozessen wie DNA-, RNA-, Chlorophyll- und Proteinbiosynthese sowie eine Förderung der Zellteilung und der Chloroplastenentwicklung sind die Folge. *NOODEN et al. (1990)* zeigten, daß der Cytokininegehalt im Xylemsaft mit Beginn der Seneszenz abnimmt und vermutlich ein reduzierter Gehalt an Cytokininen in Blättern dann das Einsetzen der Seneszenz in den betreffenden Organen verursacht.

Von den seneszenzauslösenden Substanzen ist das Ethylen die bedeutendste. Das Hormon hemmt unter anderem die Chlorophyllbiosynthese im Blatt, induziert den Chlorophyllabbau und steigert die Atmung und die Auflösung der Zellwand. Streß, Pathogeninfektionen, aber

auch Ethylen selbst fördern die Neusynthese dieses Hormons und beschleunigen so alle Alterungsprozesse (MOHR & SCHOPFER, 1992; HOCK, 1995).

Ethylen wird auch gebildet nach Einwirkung von Umweltfaktoren wie Verwundung und Streß, verursacht durch Schadorganismen, Ozon, Hitze, Starklicht etc. (ZAREMBINSKI & THEOLOGIS, 1994; BASIOUNY *et al.*, 1994; BELTRANO *et al.*, 1997; BELTRANO *et al.*, 1999). Als Folge einer Pathogenattacke ist Ethylen in die Signalkette während der hypersensitiven Reaktion involviert, (WARD *et al.*, 1991; GREENBERG *et al.*, 1994). BELTRANO *et al.* (1994) zeigten, daß Ethylen während der Ährenentwicklung bei Weizen synthetisiert wird und daß Behandlungen mit Ethylen die Ährenreife beschleunigen, während Behandlungen mit Ethyleninhibitoren den gegensätzlichen Effekt haben. Angesichts dieser Beobachtungen weisen GRBIC & BLEEKER (1995) aber darauf hin, daß der Beschleunigungseffekt und Timingeffekt von Ethylen nur in Blättern gefunden werden kann, deren Seneszenzprogramm bereits gestartet wurde. YOUNG *et al.* (1997) zeigen einen Triggereffekt von Ethylen bei Mais, der verantwortlich ist für den Vorreife-Tod und Kollaps von Endospermzellen. Neuere Untersuchungen weisen eine Nekrose-induzierende Wirkung des Ethylens nach (OHTSUBO *et al.*, 1999)

2.6 Seneszenzänderungen der Wirtpflanzen durch Amistar und Jewel

Als Ursachen einer, je nach Sorte und Witterungsverlauf unterschiedlich stark ausgeprägten und vor allem in der Reifephase deutlich sichtbaren verzögerten Seneszenz ('Grün-Effekt') Jewel- und Amistar-behandelter Getreidebestände, werden in der Praxis neben der ausgezeichneten Erregerkontrolle Umstimmungen im Hormonhaushalt vermutet (z.B. HANHART & FRAHM, 1996; KONRADT *et al.*, 1996; OBST & STECK, 1996; PETERSEN & KONRADT, 1997; GERHARD & HABERMEYER, 1998; GERHARD *et al.*, 1998). Differenzierter sind die Erklärungsansätze für die einzelnen Produkte. Bei GROSSMANN & RETZLAFF (1997) werden über die sehr guten fungiziden Eigenschaften von Jewel hinaus, die Synergieeffekte bei der Hemmung der Ethylenbiosynthese durch Kresoxim-methyl (Inhibition der ACC-Synthase) und Epoxiconazol (Inhibition der ACC-Oxidase), zusammen mit dem Anstieg an endogenem Cytokinin als Erklärung für die intensivere Grünpigmentierung und die Verzögerung der Seneszenz angegeben. Der durch die Behandlung mit Amistar verursachte 'Grün-Effekt' wurde von BERTELSEN (1999) untersucht. Der Wirkungsschwerpunkt von Amistar liegt im protektiven Bereich. Die Hauptwirkung besteht dabei in der Unterbindung der Sporenkeimung (WIGGINS & JAGER, 1994). Pilze werden demnach, anders als bei den systemischen Triazolen und Morpholinen, abgetötet, bevor es zu einer Infektionsabwehr von Seiten der Pflanze kommt, die seneszenzbeschleunigend wirkt und auf Kosten des Ertrags gehen kann (GODWIN *et al.*, 1994; KONRADT *et al.*, 1996; PETERSEN & KONRADT, 1997; GODWIN *et al.*, 1999).

Schon in früheren Arbeiten werden in zahlreichen Publikationen die durch Fungizide unterschiedlich veränderten apathogenen Mikroorganismen-Populationen in der Phyllosphäre des Fahnenblattes oder der Ähre als Ursache für Unterschiede in Seneszenzabläufen diskutiert. Sie sind imstande, unter bestimmten Voraussetzungen als Schwächeparasiten eine rasche Alterung von Weizen- oder Gerstenblättern hervorzurufen und, über die Minderung

der Kornqualität hinaus, zu Ertragsverlusten beizutragen (*SKIDMORE & DICKINSON, 1973; TOLSTRUP & SMEDEGAARD-PETERSEN, 1984*). Der Nachweis beschleunigter Alterungsvorgänge, ausgelöst durch *Cladosporium* spp., gelang *JACHMANN & FEHRMANN (1982)* in Gewächshausversuchen nach künstlicher Inokulation: Die Chlorophyllgehalte der Weizen-Fahnenblätter waren signifikant bis zu 70% gegenüber den nicht inokulierten Kontrollpflanzen reduziert. *BERTELSEN (1999)* bestätigte diese Wirkung in Gewächshausversuchen an Weizen, der sechsmalig mit *Cladosporium macrocarpa* und *Alternaria alternata* inokuliert und dreimal mit vollen Aufwandmengen von Amistar bzw. Opus behandelt worden war. Beide Fungizide zögerten, gemessen an der unbehandelten, aber inokulierten Kontrolle, die Seneszenz der oberen fünf Blätter hinaus. Beide Fungizide beeinträchtigten die saprophytische Phyllosphärenflora. Der 'Grün-Effekt' der Behandlungsvarianten war nicht signifikant ertragswirksam, gemessen an der unbehandelten Kontrolle. In zwei Feldversuchen an Winterweizen, mit den Varianten: unbehandelte Kontrolle, 3x Opus und 3x Amistar (Behandlungen in EC 31, EC 39, EC 59) untersuchte *BERTELSEN (1999)* die Wirkung der Fungizide auf die Phyllosphärenorganismen. Als Ursache der Unterschiede bei Seneszenz und Ertrag sieht *BERTELSEN (1999)* nicht wirkstoffspezifische Unterschiede bei der Kontrolle der Saprophyten, sondern bei der Vermeidung energieverbrauchender Bildungen von Mikroläsionen, hervorgerufen von *Mycosphaerella* spp.. Die Ergebnisse von *BERTELSEN (1999)* haben einen unzureichenden Datenumfang, dennoch geben sie einen interessanten Ansatz für Diskussionen über die Frage nach Ursache und Wirkung des 'Grün-Effekts' Strobilurin-behandelter Getreidepflanzen, insbesondere unter Feldbedingungen, in denen Ursache und Wirkung oftmals nicht getrennt werden können.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsanlagen und Versuchsdurchführung

3.1.1 Feldversuche

Die Untersuchungen erfolgten auf der Basis von Exaktversuchen über drei Vegetationsperioden (1996 bis 1998). Mehrere Standorte im Raum Freising und Fürstenfeldbruck wurden in das Versuchsprogramm integriert. Eine Beschreibung wichtiger Kriterien ist für die verschiedenen Standorte in Tabelle 1 angegeben.

	Roggenstein	Weihenstephan	Oberding	Haxthausen
langj. Temperaturmittel	8,0 °C	7,9 °C	8,2 °C	7,9 °C
langj. Niederschlagsmittel	820 mm	814 mm	699 mm	814 mm
Höhe über NN	534 m	476 m	530 m	480 m
Bodentyp	sL	sL/uL	uL	sL/uL
Ackerzahl	55	65/72	75	80

Tab. 1: Allgemeine Angaben zu den Versuchsstandorten

	Roggenstein	Weihenstephan
Vorfrucht	Hafer	Winterraps
Sorte	'Astron' / 'Toronto'	'Astron' / 'Contra'
Saattermin	05.10.95 / 13.10.95	10.10.95
Saatstärke (Kö/m ²)	300	330
Parzellengröße (m ²)	30 (Ernte- + Probeparzelle)	je 12,5 (Doppelparzellen)
Erntefläche (m ²)	12 (Kerndrusch)	12,5
Düngung N/P/K (kg/ha)	156 / 47 / 63	220 / 73 / 73
Wachstumsregler (l/ha)	0,75 CCC-720; 0,3 CCC-720 + 0,15 Camposan E	0,8 CCC-720 0,5 Terpal C
Herbizide (l/ha)	1,5 Azur + 0,02 Hoestar	2,2 Fenikan
Insektizide (l/ha)	0,15 Karate	0,15 Karate

Tab. 2: Allgemeine Angaben zur Produktionstechnik an den Versuchsstandorten im Vegetationsjahr 1995/96 (Kö/m² = Körner pro m²)

Die Parzellierung der Versuchsflächen erfolgte zur Bestockung. Die Parzellenfläche variierte versuchs- und standortabhängig zwischen 12 m² und 30 m². Für die Entnahme von Pflanzenproben war ein ausreichend großer Probenahmestreifen an den Stirnseiten der Versuchsparzellen abgetrennt. In beprobungsintensiven Versuchen wurden Doppelparzellen angelegt. Hierdurch war ein weitgehend ungestörtes Wachstum in den Ernteparzellen gewährleistet. Sämtliche Daten von Pflanzen aus dem Parzellenkernbereich. Somit bleibt der

Material und Methoden

Einfluß von Randeffekten begrenzt. Den Erfordernissen der Versuchsfragestellungen entsprechend, wurden voll randomisierte einfaktorielle Blockanlagen - oder zweifaktorielle Spaltanlagen - angelegt.

	Roggenstein	Weihenstephan
Vorfrucht	Hafer	Kartoffel
Sorte	'Bussard'	'Astron' / 'Batis'
Saattermin	13.10.96	25.10.96
Saatstärke (Kö/m ²)	300	330
Parzellengröße (m ²)	30 (Ernte- + Probeparzelle)	je 12,5 (Doppelparzellen)
Erntefläche (m ²)	12 (Kerndrusch)	12,5
Düngung N/P/K (kg/ha)	N1: 143 / 48 / 64 N2: 215 / 48 / 64	N1: 170 / 28 / 28 N2: 230 / 28 / 28
Wachstumsregler (l/ha)	1,0 CCC-720 + 0,2 Camposan E; 0,4 CCC-720	0,75 CCC-720 0,3 CCC-720
Herbizide (l/ha)	2,0 Azur	2,2 Fenikan
Insektizide (l/ha)	0,15 Karate	0,17 Karate

Tab. 3: Allgemeine Angaben zur Produktionstechnik an den Versuchsstandorten im Vegetationsjahr 1996/97 (Kö/m² = Körner pro m²)

	Oberding	Haxthausen (Praxisschlag)
Vorfrucht	Hafer	Körnermais
Sorte	'Astron' / 'Batis' // 'Kanzler'	'Bandit'
Saattermin	20.10.97 // 21.10.97	04.11.97
Saatstärke (Kö/m ²)	350	350
Parzellengröße (m ²)	je 12,5 (Doppelparzellen)	15,0 (Ernte- + Probeparzelle)
Erntefläche (m ²)	12,5	10,6 (Kerndrusch)
Düngung N/P/K (kg/ha)	N1: 180/ 72 / 72 N2: 160 / 64 / 64 N3: 220 / 88 / 88	N1: 180 / 24 / 24 darin 20 N als Rindergülle (03.11.97)
Wachstumsregler (l/ha)	0,8 CCC-720; 0,3 CCC-720	keine Behandlung
Herbizide (l/ha)	2,5 Azur + 0,02 Hoestar	2,0 Azur + 0,02 Hoestar
Insektizide (l/ha)	0,17 Karate	0,17 Karate

Tab. 4: Allgemeine Angaben zur Produktionstechnik an den Versuchsstandorten im Vegetationsjahr 1997/98 (Kö/m² = Körner pro m²)

Allgemeine produktionstechnische Maßnahmen wie Vorbehandlungen der Versuchsfläche mit Fungiziden, oder Herbizid-, Insektizid-, Wachstumsregler-, und Flüssigdüngerapplikationen wurden flächig mit der Feldspritze nach standortüblicher Versuchstechnik

ausgebracht. Differenzierte Fungizidapplikationen erfolgten mit einer Kolbenrückenspritze bzw. Fahrradspritze mit 300 l Wasser/ha (Roggenstein) bzw. 400 l Wasser/ha (Weihenstephan, Oberding, Haxthausen) und 2,5 bar Druck.

Im Einzelfall von diesen allgemeinen Angaben abweichende Bedingungen werden im Ergebnisteil angegeben. Eine Übersicht zu den Versuchsstandorten und ausgewählte produktionstechnische Daten der entsprechenden Schlagkarteien sind für die drei Versuchsjahre in den Tabellen 2 bis 4 dargestellt.

3.1.2 Gewächshausversuche

Parallel zu den Feldversuchen mit Winterweizen wurden Mitscherlichgefäß-Versuche im Gewächshaus mit der Winterweizensorte 'Astron' unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt. Da Pflanzen, die unter Gewächshausbedingungen angezogen wurden, physiologisch nicht mit Freilandpflanzen zu vergleichen sind, wurden nach der Winterphase gleichmäßig entwickelte Weizenpflanzen in EC 27 mit Wurzelballen aus dem Freiland entnommen, behutsam vereinzelt und zu je zwei in Mitscherlichgefäßen mit 6270 g/Gefäß einer Mischung aus fein gesiebttem Ackerboden (uL) und Sand im Verhältnis 10:1 (v/v) eingepflanzt. Sobald die Pflanzen ihr Wachstum in dem neuen Substrat aufgenommen hatten, wurden protektive Fungizidmaßnahmen gegen Mehltau und Halmbruch mit 0,3 l/ha Fortress und 1,0 l/ha Sportak alpha durchgeführt. Ab EC 37 wurden in wöchentlichem Abstand die Nebentriebe herausgeschnitten, so daß die Untersuchungen auf den Haupthalm konzentriert bleiben konnten.

Um optimale Wachstumsbedingungen zu gewährleisten, wurde die Wasserversorgung in Abhängigkeit vom Verbrauch der Pflanzen täglich ein- bis mehrmals überprüft und für alle Töpfe gleichmäßig eingestellt. Die Nährstoffversorgung entsprach einer Winterweizenkultur unter Freilandbedingungen mit 0,19 g P₂O₅/kg Substrat als Grunddüngung in das Substrat eingemischt (DCP-Düngerform); Kalium (0,8 g K₂O/Topf als K₂SO₄-Lösung) in 2 Teilgaben (EC 30/31 und EC 37) und Stickstoff (1,2 g N/Topf als NH₄NO₃-Lösung) in drei Teilgaben (EC 30/31, EC 37 und EC 49). Die Temperatur- und Lichtversorgung folgte den natürlichen Gegebenheiten, nur das Temperaturmaximum wurde auf 30°C festgelegt (Temperaturfühler gesteuerte Kühlanlage).

Die Varianten waren fünffach wiederholt. Dabei wurde die einmal definierte Ausrichtung der Töpfe durch Markierungen an Gefäß und Tisch bis zum Versuchsende eingehalten, um die in einem Gewächshaus unterschiedlichen Lichtwinkel und die damit verbundenen Adaptionen des Blattapparates nicht zu stören. Durch Topfabstände von 20 cm waren die Pflanzen gleichmäßig mit Licht versorgt und intraspezifische Konkurrenz minimiert. Zwischen den Variantenreihen wurden Abstände von 1 m definiert, um Dampfphasenwirkungen nach Behandlung mit Fungiziden weitgehend ausschließen zu können. Die Fungizid-Behandlungen erfolgten außerhalb der Gewächshauskabine mit einer Kolbenrückenspritze. Die Applikationen wurden von dem Versuchstechniker durchgeführt, welcher auch die Freilandversuche behandelte, so daß die Applikationstechnik standardisiert war.

3.1.3 Sortenspektrum

Die Untersuchungen wurden im Schwerpunkt an den A-Qualitäts-Winterweizensorten 'Astron' und 'Batis' durchgeführt. Die Sorten werden derzeit auf allen Böden und in allen Klimaregionen Deutschlands angebaut. Mit dieser Auswahl sind zwei Sortentypen repräsentiert die sich im Ertragsaufbau, Resistenzeigenschaften, Reifezeit und Toleranz gegenüber abiotischen Stressfaktoren unterscheiden. Die Sorte 'Astron' steht für die Gruppe der Einzelähren-Typen. Der Ertrag wird in erster Linie über die hohe Kornzahl pro Ähre erreicht. Der mittel- bis späte Reifetyp wird als anfällig gegenüber pilzlichen Schaderregern eingestuft, besitzt aber Toleranzen gegenüber den wichtigen Blatt- und Ährenkrankheiten. 'Astron' neigt zu nichtparasitären Blattverbräunungen und Nekrosen bei starken Umweltbelastungen. Die Sorte zeigt eine gute Stand- und hohe Auswuchsfestigkeit. Bei der Sorte 'Batis' findet der Ertragsaufbau über die Bestandesdichte und das TKG statt. Die Sorte besitzt ein gutes Puffervermögen gegenüber widrigen Boden- und Umweltverhältnissen. Genetischer Hintergrund der hohen Anbausicherheit soll die hohe Kompensationsfähigkeit, die verbesserte N-Effizienz und der hohe Gesundheitswert der Sorte sein. 'Batis' wird als 'low-input-Sorte' vermarktet. Bei Strohlänge und Standfestigkeit gilt sie als ausgewogener Sortentyp. 'Batis' hat eine mittlerer Abreife und reift etwas früher ab als 'Astron'. Zur Ausweitung des Sortenspektrums kamen sowohl hochanfällige, als auch resistente Winterweizensorten zum Anbau. Die Auswahl orientierte sich dabei weitgehend an den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten. Die Sortenbeschreibung ist in Tab. 5 dargestellt.

Tab. 5: Sortenbeschreibung der verwendeten Sorten (*Bundessortenamt, 1998*)

	'Astron'	'Batis'	'Bandit'	'Bussard'	'Contra'	'Kanzler'	'Toronto'
Qualitätsgruppe	A	A	A	E	C	B	A
Zulassungsjahr	1989	1994	EU-Sorte	1990	1990	1980	1990
Reife	6	5	5	5	5	5	5
Bestandesdichte	5	6	6	6	6	4	7
Kornzahl/Ähre	6	4	--	5	8	5	5
TKG	5	7	5	5	4	5	5
Mehltau	5	3	3	4	5	9	7
<i>Septoria tritici</i>	5	4	5	6	6	6	4
<i>Septoria nodorum</i>	4	5	5	4	5	6	5
Braunrost	7	3	2	7	4	9	7
Ährenfusarium	5	4	6	3	7	4	5

Bedeutung der Ziffern: 1 = sehr früh / kurz / gering / niedrig; 5 = mittel; 9 = sehr spät / lang / stark / hoch / -- = keine Angaben

3.1.4 Verwendete Fungizide

Sämtliche, für diese Arbeit in Freilandversuchen eingesetzten Fungizide entsprachen handelsüblichen Präparaten. In den Gewächshausversuchen auch Einzelwirkstoffe und

Versuchspräparate verwendet. Die Wirkstoffnamen, Aufwandmengen je Hektar, Gehalt an Aktivsubstanz (a.i.), und Hersteller sind in Tabelle 6 zusammengefaßt.

Präparat	Wirkstoff	Aufwandmenge	a.i. g/l	Hersteller
Amistar	Azoxystrobin	1,0 l/ha	250	ZENECA
VP	Versuchspräparat	1,0 l/ha	--	ZENECA
BAS 490 00F	Kresoxim-methyl	1,0 l/ha	125	BASF
Juwel	Kresoxim-methyl + Epoxiconazol	1,0 l/ha	125 125	BASF
Juwel Top	Kresoxim-methyl + Epoxiconazol + Fenpropimorph	1,0 l/ha	125 125 150	BASF
Opus Top	Epoxiconazol + Fenpropimorph	1,5 l/ha	84 375	BASF
Opus	Epoxiconazol	1,0 l/ha	125	BASF
Sportak Delta	Prochloraz + Cyproconazol	1,25 l/ha	360 48	AgrEvo
Fortress	Quinoxifen	0,3 l/ha	500	DowAgow
Bravo 500	Chlorothalonil	1,5 l/ha	500	AgrEvo

Tab. 6: Angaben zu den verwendeten Fungiziden (a.i. = active ingredient, -- = keine Angaben)

3.2 Erfassung ertragswirksamer Umweltfaktoren

3.2.1 Witterung

Die für eine Integration von Witterungskriterien notwendigen Wetterdaten kamen von Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes für die Standorte Freising, Haxthausen (Station Freising, Entfernung zu den Standorten ca. 2000 m), bzw. für den Standort Oberding von der Stationen Flughafen (Entfernung zu dem Standort ca. 2000 m), und für Roggenstein von einer Lambrechtstation (Entfernung zu den Versuchsflächen ca. 1000 m).

3.2.2 Bodenwasserpotential

Zur Erfassung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers, wurden in 1997 und 1998 an allen Standorten Bodenwasserpotentiale aufgezeichnet. Die Messungen erfolgten mit einem - Infield 5 Handgerät - in Verbindung mit dem UMS-Druckaufnehmertensiometer Typ T6 (Fa. UMS GmbH, München). Der Meßbereich liegt zwischen 0 und 1000 hPa (= mbar). Es mißt die Wasserspannung des Bodens und wandelt diese in ein definiertes, kontinuierliches elektrisches Signal um. Die Größe der Wasserspannung (= Saugspannung) dient als unmittelbares Maß für die Wasserverfügbarkeit von Böden für Pflanzen und ist damit ein wichtiger pflanzenphysiologischer Parameter.

Es wurden drei, diagonal durch die Versuchsflächen laufende, und 25 cm bis 30 cm tiefe Löcher für jeden Teilversuch gebohrt. Jedes Bohrloch wurde mit einer wässrig-dünnen Paste aus Quarz-Schluff-Mehl befüllt, anschließend die Tensiometerkerze hineingesteckt und bis zur Trocknung darin belassen. So wurde ein direkter Schluß zwischen Tensiometerkerze und Boden gewährleistet. Beschädigungen der Bohrlöcher in der meßfreien Zeit wurden durch Verschluß mit paßgenauen Holzstöcken verhindert.

Die Messungen wurden in dem Zeitraum Mai bis Ende Juli mindestens zweimal wöchentlich durchgeführt. Die Datenpunkte wurden mit einer Savitzky-Golay Fitfunktion geglättet und in einem kontinuierlicher Kurvenzug dargestellt.

3.2.3 Krankheitsdiagnostik

Der Krankheitsbefall wurde in wöchentlichen Abständen kontrolliert und bonitiert. Pro Wiederholung ($n = 4$) wurden jeweils zehn Haupttriebe über sieben Blatttagen (F-6 bis F) bonitiert. Die Differentialdiagnose von Krankheitserregern erfolgte in Weihenstephaner Arbeitsweise und Methodik (VERREET, 1995). Ergebnisse werden durch die Parameter:

BS = Befallsstärke im Bestand (durchschnittliche Anzahl von Infektionsstrukturen je Blatttage)

SS = Sporulationsstärke im Bestand (Flächenanteil sporulierender Infektionsstrukturen je Blatttage in %, für den Erreger DTR)

BH = Befallshäufigkeit im Bestand (Anteil befallener Pflanzen in %) und

NEC = Flächenanteil Nekrose pro Blattinsertion in % (als Parameter der Summenwirkung von abiotischen und biotischen Streß) beschrieben.

Der Boniturzeitraum umspannte den Entwicklungsphasenabschnitt EC 32/37 bis EC 85/87.

3.3 Ermittlung der Biomasse

Die Biomasse ist ein Maß für die Leistungsfähigkeit der Pflanzen. In den Versuchsjahren 1996, 1997 und 1998 wurden Parameter des Biomasseaufwuchses mit verschiedenen Methoden ermittelt, um physiologische Zusatzwirkungen strobilurinhaltiger Fungizide auf höchster Integritationsebene zu erfassen. Diese Parameter werden, mit Ausnahme des Kornertrages und des Tausendkorngewichtes (TKG), als Indikatoren für Ist-Zustände der Pflanzen angesehen. Ihre Aussagekraft ergibt sich aus der Summe vergleichbarer Ergebnisse von Einzelparametern.

3.3.1 Frisch- und Trockenmasse

Die Frischmasse (FM) des oberirdischen Pflanzenapparates wurde unmittelbar nach dem Schnitt bestimmt (zwei Saatzeilen je 1 m, Probenahmeflächen: 0,26 m² bis 0,3 m², Schnitthöhe: ca. zwei bis drei cm über Boden). Die Bestimmung der Trockenmasse (TM) erfolgte an einer 200 g Teilprobe der Frischsubstanz bei 80°C bis zur Gewichtskonstanz.

3.3.2 Blattfläche

Einzelblattmessungen

Die Messung der Blattfläche erfolgte an ausdifferenzierten Blattetagen. Zur Untersuchung wurden nur Blätter von Trieben erster und zweiter Ordnung geerntet. Die natürliche Schwankungsbreite innerhalb der Parzelle wird hierdurch auf ein akzeptables Maß herabgesetzt und der Vertrauensbereich der Daten erhöht. Untersucht wurden nur Gesundvarianten und die Kontrollen. Eine Ausweitung auf weitere Versuchsvarianten war aufgrund des enormen Arbeits- und Zeitumfangs nicht möglich. Der Stichprobenumfang betrug 120 bis 160 Blätter pro Versuchsglied. Die Blätter wurden direkt am Feld von Hilfskräften gepflückt, und in verschließbare Plastiktüten, die mit etwas Wasser gefüllt wurden, transportiert. Durch diese Maßnahme zeigten die abgetrennten Blätter zu keiner Zeit das typische Einrollen, ein Zeichen für Blattwasserverluste. Die wurden schnellstmöglich im Labor mit einem stationären Blattflächenmeßgerät LI-3100 (Fa. LI-COR, Lincoln Nebraska, USA) gescannt, oder bei 2°C in einem dunklen Kühlraum bis zur Verarbeitung zwischengelagert. Es konnte ermittelt werden, daß die Lagerung bis zu 24 Stunden bei diesen Bedingungen keinen Einfluß auf die Blattflächengröße hatte. Der Meßfehler beträgt bei einer Auflösung von $1 \text{ mm}^2 \pm 1\%$. Die Blätter (je 6) wurden zwischen zwei DIN A4-Klarsichtfolien gelegt (Schwan-Stabilo; Typ 7250/100; 0,10 mm). Hierdurch konnten Unterbewertungen der Fläche infolge von Blattdeformationen vermieden werden. Nach 40 Durchläufen wurden die Folien ausgetauscht.

3.3.3 Kornertrag

Es wurde die gesamte Ernteparzelle gedroschen, oder bei Versuchsanlagen mit Parzellenflächen $> 2,5 \text{ m}^2$, ein Kerndrusch durchgeführt. Bestimmt wurde das Trockensubstanzgewicht einer 200 g Teilprobe des Erntegutes nach Trocknung auf Gewichtskonstanz (Temperatur: 90°C). Aus dem Korngewicht, dem Trockensubstanzgehalt und der Druschfläche wurde der Kornertrag in dt/ha bei 86% Trockenmasse (TM) errechnet.

Für die Bestimmung der Tausendkorngewichte (TKG) wurden von den auf Gewichtskonstanz getrockneten Teilproben 50 g entnommen, mit einem Numigral Seed Counter (Firma Tripette et Renaud, Paris) ausgezählt und auf das Gewicht von 1000 Körner (86% TM) umgerechnet.

Die Kornzahl pro Ähre wurde aus einer repräsentativen Teilprobe von 50 Ähren bestimmt und über die Anzahl ährentragender Halme/m² hochgerechnet

3.3.4 Stickstoff- und Rohproteingehalt

Die Stickstoffgehalte der Weizenpflanzen wurden an Pflanzenproben, die aus dem Kernbereich der Parzellen geschnitten wurden, bestimmt (zwei Saatreihen je 1 m, Probenahmeflächen: 0,26 m² bis 0,3 m², Schnitthöhe ca. zwei bis drei cm über Boden). Das Material wurde frisch gewogen, dann die Trockensubstanz bestimmt, gehäckselt und eine Teilprobe vermahlen.

Der Gesamtstickstoff des Pflanzenmaterials wurde in einem der Kjeldahl-Analyse ähnlichen Verfahren in Ammonium überführt. Dazu wurden 0,5 g der vermahlenden Teilprobe zusammen mit einer halben Kjeldahl-Tablette in Glaskolben gegeben, mit 7,5 ml konzentrierter Schwefelsäure versetzt und über Nacht aufgeschlossen. Im Anschluß an eine siebenstündige Aufschlußzeit bei 100°C wurde die Lösung bis zur Eichmarke mit aqua dest. verdünnt und dann filtriert. Die Bestimmung des im Filtrat vollständig als Ammonium vorliegenden Stickstoffs erfolgte photometrisch in einem Autoanalyser (Fa. Skalar).

Aus Trockensubstanzmengen, Probenahmeflächen und Stickstoffgehalten wurden die Stickstoffentzüge der Weizenbestände in kg N/ ha berechnet.

Der Rohproteingehalt wurde 1996 und 1997 nach der oben beschriebenen Methode an 0,5 g Körnermehl bestimmt. 1998 wurden die Rohproteingehalte von der Firma Agrolab bestimmt.

3.3.5 Remissionsspektroskopie

Im Versuchsjahr 1997 wurden am Versuchsstandort Roggenstein Lichtspektren der Vegetation mit einem Zeiss Spektrometer aufgenommen (Kooperationspartner Deutsche Gesellschaft für Luft und Raumfahrt DLR, Institut für Optoelektronik, Oberpfaffenhofen). Die DLR stellte das Bedienungspersonal und stellte die ausgewerteten Spektren zur Verfügung.

Die von Pflanzen remittierte Strahlung gelangt über einen Glasfaser-Lichtleiter in den Eintrittsspalt, wird mittels eines Transmissionsgitters spektral zerlegt und auf eine Diodenzeile geleitet, die von einer geeigneten Elektronik ausgelesen wird. Die Diodenzeile besteht aus 512 Photodiodenelementen. Die Bandbreite erstreckt sich von 350 nm - 1050 nm. Die theoretisch erreichbare spektrale Auflösung beträgt:

$$(1050 \text{ nm} - 350 \text{ nm}) / 512 \approx 1,4 \text{ nm} / \text{Pixel}$$

Das Spektrometer verfügt über nur eine Eingangsoptik. Eine simultane Messung von Globalstrahlung und remittierter Strahldichte konnte daher nicht realisiert werden. Die Empfindlichkeit des Spektrometers wurde durch die Belichtungszeit an die vorherrschende Globalstrahlungsbedingungen angepaßt und lag zwischen 20000 bis 24000 Counts. Die Belichtungszeit lag dann bei sonnigem, wolkenlosen Wetter etwa bei 50 Millisekunden. Bei wechselhaftem bzw. bewölktem Wetter wurde nicht gemessen. Dadurch wurden unterschiedliche Strahlungsbedingungen durch unterschiedliche Bewölkung weitestgehend vermieden. Die Messungen folgten einem definierten Schema, daß in Abb. 3 dargestellt ist.

Photodiodenzeilen haben ein elektrisches Eigenrauschen, den sogenannte Dunkelstrom. Der Dunkelstrom ist proportional zur Belichtungszeit und hängt exponentiell von der Temperatur ab. Daher wurde vor der eigentlichen Messung, und in regelmäßigen Abständen danach, der Dunkelstrom aufgenommen (Abb. 3, Schritt 1). Der Lichtleiter wurde dafür mit einer schwarzen Kappe lichtdicht verschlossen. Die Intensitätskalibrierung erfolgte vor und in regelmäßigen Abständen während der Messung an einem Reflexionsstandard (Bariumsulfat). Dafür wurde der Reflexionsstandard in das Sichtfeld des nach unten gerichteten Lichtleiters gebracht (Abb. 3, Schritt 2). Bei den Vegetationsmessungen (Abb. 3, Schritt 3) wurden pro

Parzelle 8 Pflanzenspektren aufgenommen. Die Daten wurden in einem tragbaren Computer gespeichert und mit einer speziellen Software durch die DLR zu Pflanzenspektren verrechnet.

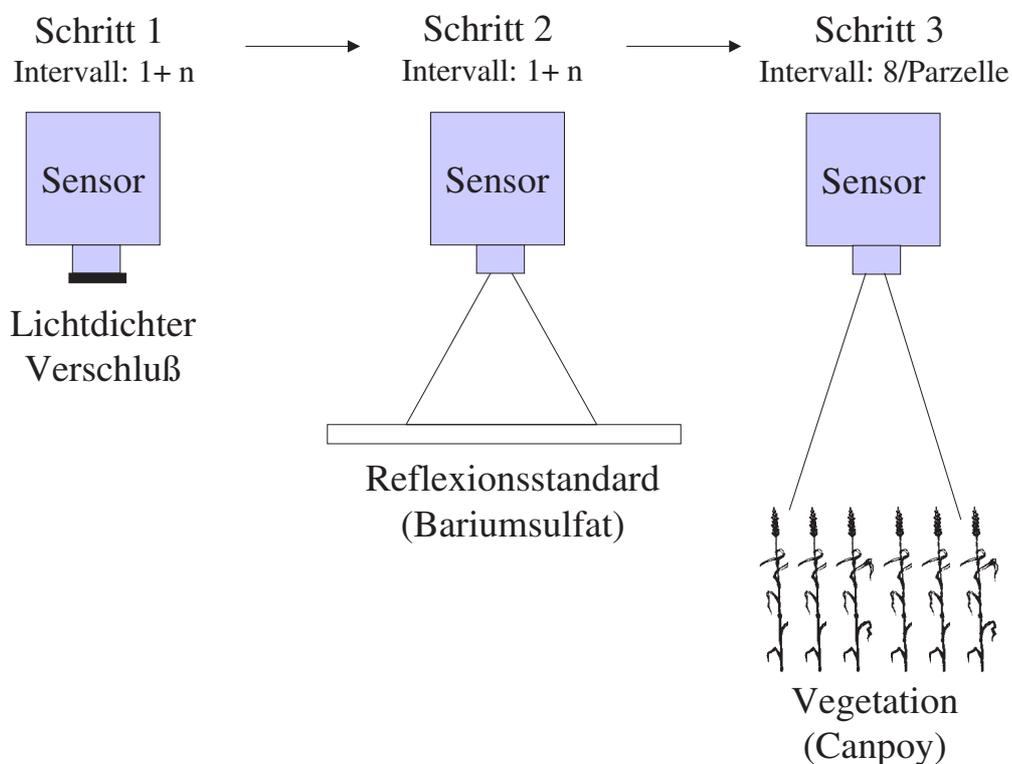


Abb. 3: Ablaufschema bei der Feldremissionsmessung

Die spektroskopischen Messungen erfolgten ausschließlich an sonnigen, klaren Tagen (Strahlungswetter). Die Versuchspartellen wurden aus drei Meter Höhe (Hebebühne am Schlepper montiert) bei einer Fahrgeschwindigkeit von 8 km/h überfahren. Die Messungen erfolgten immer im Zeitraum 11:00 bis 13:00. Die Fahrtrichtung war immer in Ost – West Richtung. Die Pflanzenspektren aus den Wiederholungen jeder Variante wurden zu Mittelwertspektren verrechnet.

3.3.6 Fernerkundung

In der Kooperation mit der Deutschen Gesellschaft für Luft und Raumfahrt Oberpfaffenhofen, konnte eine Befliegung des Versuchsstandortes Roggenstein erreicht werden. Die Versuchsflächen (V1, V2, V3, Behandlungsplan s. Anhang) wurden mit einem DAEDALUS ATM 1268 Scanner aufgenommen, deren Kenngrößen in Tabelle 7 dargestellt sind.

Funktionsweise:	Whisk-Broomer Scanner
Öffnungswinkel der Optik (IFOV):	2,5 mrad oder 1,25 mrad
Räumliche Auflösung:	je nach IFOV: 7,5 m oder 3,8 m bei 3000 m Flughöhe
Bildelemente pro Abtastzeile:	716
Abtastwinkel:	$\pm 43^\circ$ quer zur Flugrichtung
Dynamikbereich:	8 bit

Spektral-Kanalnummer	Wellenlängenbereich (nm)
1	420 - 450
2	450 - 520
3	520 - 600
4	605 - 625
5	630 - 690
6	695 - 750
7	769 - 900
8	910 - 1050
9	1550 - 1750
10	2080 - 2350
11	8500 - 13000

Tab. 7: Kenngrößen des DAEDALUS ATM 1268 Scanners

Für das Jahr 1998 konnten Luftbildaufnahmen der Firma Bauer Luftbild vom Standort Oberding zur Auswertung herangezogen werden. Die Aufnahmen zeigen den Spektralbereich des visuellen Lichtwellenanteils.

3.4 Aktivität des Photosynthesesystems

3.4.1 Photosynthesepigmente

Für die Bewältigung großer Probemengen wurde eine Extraktionsmethode entwickelt.

Vorverarbeitung der Blattproben

Pro Variante und Wiederholung wurden je 15 Blätter von einer Blattetage gezupft. 1-2 cm der Blattspitze und der Blattbasis wurden abgeschnitten und verworfen. Der verbleibende Anteil der Blattspalten wurde in ca. 0,4 – 0,5 cm² große Stücke zerschnitten. Um für die Extraktion eine repräsentative Stichprobe zu erhalten, wurden die Blattstückchen einer Variante und Wiederholung gut durchmischt und in exakt ausgewogene Portionen von 0,5 g aufgeteilt. Bei -70°C lagerten die Probenportionen in einem Alumäppchen, bis zur Weiterverarbeitung.

Extraktion

Die gefrorenen Blattproben eines Alumäppchens wurden jeweils in einen 50 ml Erlenmeyerkolben gegeben und mit 10 ml 80 Vol.% Aceton versetzt und luftdicht verschlossen. Exakt 6 Tage standen die Proben im Dunkeln bei 4°C auf einem Schüttler, der bei mittlerer Stufe eine permanente Bewegung der Blattstückchen bewirkte. Die Bestimmung der optimalen Extraktionsdauer ist in Abb. 4 dargestellt.

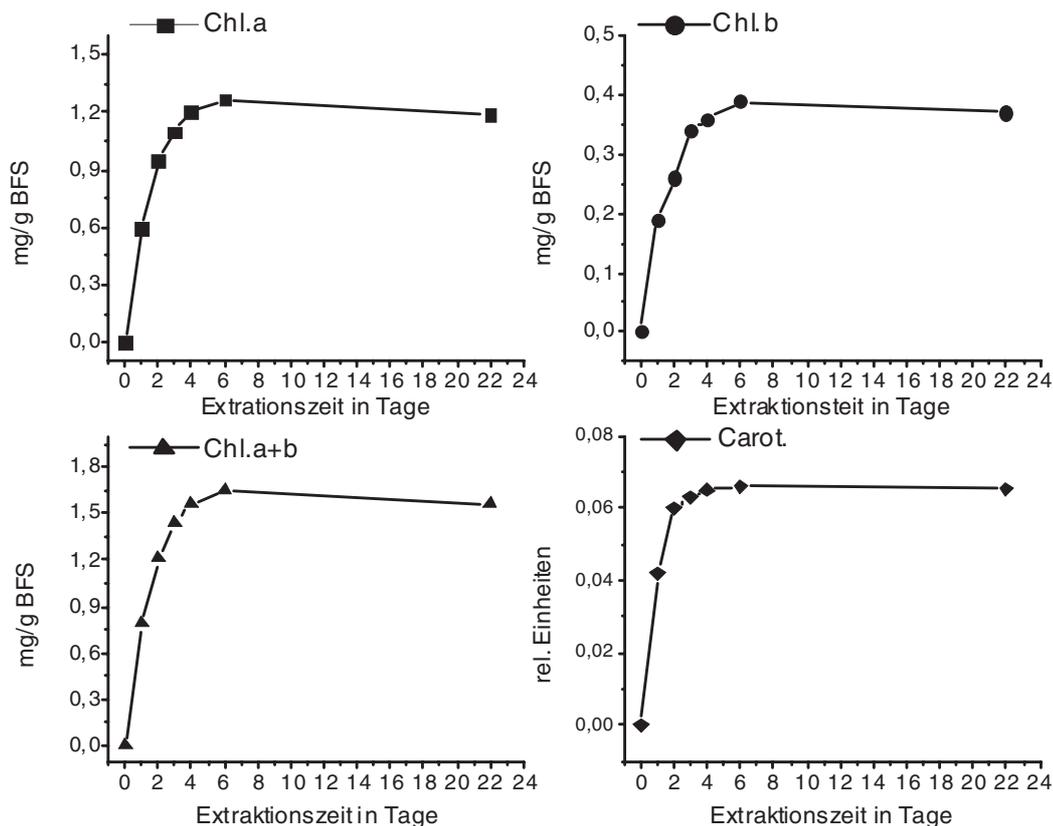


Abb. 4: Chlorophyll a (Chl.a), Chlorophyll b (Chl.b), Chlorophyll a+b (Chl.a+b) im Rohextrakt von Fahnenblättern in Abhängigkeit von der Extraktionszeit (n = 10)

Photometrische Messungen

Nach 6 Tagen (dunkel, 4°C) wurden die Proben nochmals kräftig aufgeschüttelt. Der acetonische, grüne Extrakt (10 ml) wurde in ein Reagenzglas überführt, aufgeschüttelt und 1 ml daraus entnommen und in ein ausreichend großes Reagenzglas eingefüllt. Die Teilmenge wurde mit 7 ml 80 Vol.% Aceton verdünnt (schütteln). Dieser Vorgang erfolgte bei möglichst geringer Lichtexposition der Probe, im Halbdunkel des Kühlraumes.

Die Extinktion der Extrakte wurde bei 480 nm, 645 nm, 647 nm, 652 nm, 663 nm, 664 nm und 750 nm Wellenlänge mit einem Spektralphotometer gemessen (Glasküvetten). Da die

Photosynthesepigmente bei 750 nm kein Licht absorbieren, kann die bei dieser Wellenlänge gemessene Extinktion (E_{750}) als Maß der unspezifischen Lichtabsorption in der Küvette genutzt werden. Eine Subtraktion dieses Wertes von den übrigen Meßwerten zur Korrektur ist deshalb nötig.

Der Gehalt der beiden Photosynthesepigmente bzw. die Gesamtkonzentration Chl a+b ergeben sich dann aus folgenden Formeln:

$$C_{\text{chl. a}} = 11,78 * (E_{664} - E_{750}) - 2,29 * (E_{647} - E_{750}) \quad (\text{mg/l}) \quad (1)$$

$$C_{\text{chl. b}} = 20,05 * (E_{647} - E_{750}) - 4,77 * (E_{664} - E_{750}) \quad (\text{mg/l}) \quad (2)$$

$$C_{\text{chl. a+b}} = 27,8 * (E_{652} - E_{750}) \quad (\text{mg/l}) \quad (3)$$

$$E_{\text{car.}} = (E_{480} - E_{750}) + 0,114 * (E_{663} - E_{750}) - 0,638 * (E_{645} - E_{750}) \quad (\text{rel. Einheiten}) \quad (4)$$

Der Pigmentgehalt wird dabei als mg Pigment pro Liter 80 Vol.% Aceton errechnet (Ausnahme Gleichung (4)).

3.4.2 Stomatärer Gaswechsel

An Blättern intakter Pflanzen konnten Assimilation, Respiration und Transpiration unter kontrollierten Meßbedingungen mit Miniküvetten-Systemen vom Typ HCM-1000 (Fa. Walz, Effeltrich, Abb. 34) und LI-6400 (Fa. Li-Cor) zerstörungsfrei direkt im Feld gemessen werden. Definierte Lichtbedingungen wurden mit dem LI-6400 mit einer Kunstlichtquelle, bestehend aus einer Kaltlicht-Fiberleuchte FL-400 und einer Spezial-Fiberoptik 400-F (Fa. Walz), erreicht. Zur Erstellung von CO_2 -Kurven, bzw. definierten CO_2 -Konzentrationen, wurde für das Li-Cor-Porometer ein CO_2 -Injektorsystem Li 6400-01 (Fa. Li-Cor) und CO_2 -Patronen (Linde 99,9 % CO_2 , bis 2000 μbar für 8 Stunden) verwendet.

Standardmessungen

Zu Beginn einer Meßserie und in regelmäßigen Abständen über den Meßtag wurde die CO_2 -Gaskonzentrationen und der Wassergehalt in der leeren Meßküvette sowie in der Außenluft bestimmt. Anschließend folgten die eigentlichen Gaswechsellmessungen mit den Blättern, die in die Meßküvette eingespannt wurden. Das Blatt verblieb bei CO_2 -Partialdruck der Außenluft (ca. 350 μbar CO_2), ambientem Licht und Umgebungstemperatur (über Peltierelemente geregelte) solange, bis die Assimilations- und Transpirationswerte einen konstanten Wert erreichten (ca. 2 min). Ein Ventilator sorgte für die notwendige Luftzirkulation in der abgeschlossenen Küvette. Die Meßpunkte wurden in einem mobilen Datenerfassungssystem abgespeichert. Die Datensätze konnten später in einen Rechner eingelesen bzw. unter Berücksichtigung von Blattfläche (über Meßfläche der Blattkammer definiert, da die Objekte nur untersucht wurden, wenn sie die Meßfläche vollständig ausfüllten = 5 cm^2) und Durchflußrate des Luftstromes in die Gaswechsellparameter Assimilationsrate (A), Transpirationsrate (E), stomatäre Leitfähigkeit (g_{st}) und interzellulärer CO_2 -Partialdruck (p_{ci}) nach von CAEMMERER & FARQUHAR (1981) und NOBEL (1983) umgerechnet werden. Die Wassernutzungseffizienz WUE (engl. water use efficiency) wurde aus dem Verhältnis A/E (TYREE & ALEXANDER, 1993) bestimmt. Für die Bestimmung der Atmungsrate wurde die Küvette verdunkelt. Die Atmungsrate wurde nach einer spezifisch

langen Anpassungszeit (Konstanz der Gaswechselformparameter) als negative Assimilationsrate bestimmt.

CO₂-Kompensationspunkt- und Dissimilations-Messungen

Zur Bestimmung des CO₂-Kompensationspunktes (Γ) und der Dissimilation im Licht (D_I) wurden drei CO₂-Kurven bei niedrigen Lichtintensitäten gemessen (22°C Küvettentemperatur). Nach der Messung der Referenzwerte A , E , g_{st} und p_{ci} , bei einer Lichtstärke von 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ und 350 $\mu\text{bar CO}_2$, wurden Datensätze für die Gaswechselwerte A , E , g_{st} und p_{ci} bei drei Lichtstärken bestimmt: 220 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ und 95 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Der CO₂-Partialdruck der Referenzluft wurde bei der Lichtintensität 220 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ schrittweise (10 Schritte) von 350 μbar auf 150 μbar gesenkt. Bei jedem Schritt wurden die Gaswechselgrößen A , E , g_{st} und p_{ci} bestimmt. Nach der Messung beim niedrigsten CO₂-Partialdruck wurde die zweite Lichtintensitätsstufe (150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) eingestellt und der CO₂-Partialdruck der Referenzluft schrittweise bis 350 μbar erhöht. Nach der Messung dieser zweiten CO₂-Kurve wurde das Licht auf 95 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ abgesenkt und der CO₂-Partialdruck schrittweise auf 150 μbar erniedrigt und die dritte CO₂-Kurve gemessen. Da Spaltöffnungen Zeit brauchen, um der Lichtabsenkung zu folgen, wurde nach jeder Lichtabsenkung solange gewartet, bis die stomatäre Leitfähigkeit einen konstanten Wert erreichte. Die Datenpunkte von A und p_{ci} wurden nach *BROOKS & FARQUHAR (1985)*, für die Bestimmung des CO₂-Kompensationspunktes (Γ) und der Dissimilation im Licht (D_I), verrechnet. Die Messungen wurden viermal wiederholt.

CO₂- und Lichtkurven

Da Pflanzen an strahlungsreichen Tagen mehr als 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ Lichtquanten zur Verfügung haben, wurden, zur Erstellung von CO₂-Kurven, bei sättigendem Licht nach der Messung der Referenzpunkte A , E , g_{st} und p_{ci} das Licht von 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ auf 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ erhöht und während der Messung konstant gehalten. Der CO₂-Partialdruck wurde dann langsam auf 1800 μbar gesteigert und dann schrittweise wieder reduziert bis auf 100 μbar (1800, 1500, 1200, 900, 500, 300, 250, 200, 150, 100 μbar). Bei jedem Schritt wurden die Gaswechselwerte A , E , g_{st} und p_{ci} gemessen.

Im Anschluß an die CO₂-Kurven bei sättigendem Licht wurde, zur Erstellung von Lichtkurven, bei sättigendem CO₂-Partialdruck dieser von 350 μbar auf 1800 μbar erhöht und nach Messung der Referenzpunkte A , E , g_{st} und p_{ci} das Licht auf 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ eingestellt. Über die Abstufung 1800, 1500, 1200, 900, 500, 300, 100, 50 und 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ wurden bei jedem Absenkungsschritt der Lichtstärke die Gaswechselformparameter A , E , g_{st} und p_{ci} erfaßt.

Bestimmung der Photorespiration

Die Photorespiration (PR) wurde aus den Daten der Ermittlung des CO₂-Kompensationspunktes und den Standardmeßdaten nach *SHARKEY (1988)* berechnet.

3.4.3 Chlorophyllfluoreszenz

Untersuchungen der Photosyntheseleistung fanden im Feld und im Gewächshaus an intakten Pflanzen, und in speziellen Fällen an isolierten Blattspreiten statt. Es wurde das tragbare Chlorophyll Fluorimeter PAM-2000 (Fa. Walz, Effeltrich) verwendet. Dieses Gerät besteht aus einer Zentraleinheit (PAM-200), einer Blattklammer (Leaf-Clip Holder 2030-B), die über eine Faseroptik (2010 F) mit der Zentraleinheit verbunden ist, und einem Palmtop Computer (Software: DA-2000). Die Blattklammer wurde speziell für Freilandstudien entwickelt, um die schnell wechselnden Umweltbedingungen, in die Analyse integrieren zu können. Ein Mikro-Quanten-Sensor erfaßt die photosynthetisch aktive Strahlung unmittelbar auf der Blattfläche, ein Thermocouple mißt permanent die Blattertemperatur in dem Meßausschnitt. Der Meßausschnitt beträgt 0,8 cm². Mit diesem Gerät können verschiedene funktionale Ebenen der Photosynthese analysiert werden.

1. Prozesse auf der Pigment-Ebene
2. Primäre Lichtreaktionen
3. Thylakoid-Elektronentransport Reaktionen
4. Dunkel-enzymatische Stroma Reaktionen
5. Langsame regulatorische Feedback-Prozesse

Das diagnostische Potential umschließt qualitative und quantitative Informationen zur photosynthetischen Lichtquanten Ausbeute, Elektronentransportraten durch die Thylakoidmembran und ökophysiologische Analysen. Diese nicht-destruktive Methode kann damit wertvolle Hinweise auf die aktuelle Nutzung der absorbierten Lichtenergie (aktuelle Quantenausbeute), den Aktivitätszustand des Photosystem II (PS II) sowie seine Behinderung oder Schädigung durch Umwelt- und Streßfaktoren liefern. Die Software berechnet aus den Fluoreszenzdaten unter anderem die Parameter: F_0 , F_m , $F_v:F_m$, Y , qP , qN und ETR. Diese Parameter sind in Tabelle 8 aufgelistet. Detailliert wird die Methode und deren Anwendung bei *VON WILLERT et al. (1995)* beschrieben.

Standardmessungen der Elektronentransportkapazität (Yield) und Elektronentransportrate (ETR)

Standarduntersuchungen photosynthetischer Aktivität wurde durch ein Screening der Elektronentransportkapazität (Y) und der Elektronentransportrate (ETR) an intakten Pflanzen durchgeführt. Die für die Messung verwendeten Software-Einstellungen sind in Tabelle 9 aufgeführt. Da diese Messungen den momentanen Aktivitätszustand unter den gegebenen Umweltbedingungen darstellen sollten, wurde Tageslicht als aktinische Lichtquelle (aktinisches Licht treibt die Photosynthese an) genutzt. Darauf wurde ein kurzer, sehr intensiver Lichtblitz (Sättigungs-Puls) appliziert, der das Photosynthesystem II mit Lichtquanten überflutet. Die Geschwindigkeit mit der sie abgeführt werden (bzw. die Fluoreszenz gelöscht wird), ist ein Maß für die Elektronentransportrate.

Der Meßzeitraum umschloß die Hauptvegetationszeit von Mitte Mai bis Ende Kornfüllung. Damit konnten Entwicklungsabschnitte im System- und Produktwachstum berücksichtigt werden. Da das Blatt als ein photosynthetisch heterogenes System zu betrachten ist, was wiederum mit der Orientierung der Blattfläche zum Licht zusammenhängt, wurden pro Blattspreite drei Messpunkte gesetzt (Basis, lichtexponierter Bereich und Apex; vergl. Abb. 35). Hierdurch konnten einmal Aktivitätszustände differenziert werden, aber auch die

Material und Methoden

Gesamtleistung einschließlich chlorotischer und nekrotischer Blattbereiche pro Blattspreite integriert werden. Pro Variante wurden 30 Blätter in vier Wiederholungen vermessen (n = 120). Um den diurnalen- und umweltspezifischen Wechselwirkungen mit der Photosyntheseaktivität zu begegnen, wurden die Messungen gleichmäßig über die Varianten und im Tagesverlauf verteilt.

Index	Bedeutung
Fo	Grundfluoreszenz (im vorverdunkelten Blatt) (Fo' = Grundfluoreszenz zum Zeitpunkt t im belichteten Blatt)
Fm	Maximale Fluoreszenz (im vorverdunkelten Blatt) (Fm' = Maximale Fluoreszenz zum Zeitpunkt t im belichteten Blatt)
Fv:Fm	maximale relative Elektronentransportwirksamkeit von PSII $Fv:Fm = (F_m - F_o) / F_m$
Y	Yield; Elektronentransportkapazität bzw. effektiver Quantenertrag von PSII $Y = F_m' - F_t / F_m'$
ETR	Elektronentransportrate des Photosystems II $Y * PAR * 0,5 + 0,84$ [PAR = photosynthetically active radiation; 0,5 = der Transport eines Elektrons erfordert die Absorption von 2 Lichtquanten (Faktor 0,5); 0,84 = 84% der angebotenen Lichtquanten werden vom Blatt absorbiert (Faktor 0,84)]

Tab. 8: Übersicht zu den verwendeten Fluoreszenzparametern

Parameter	Meßlicht	Aktinische Licht	Sättigungs-Puls
Intensität	9	Tageslichtlicht	10 (1681 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Modulationsfrequenz	20 kHz		
Verstärkung	4		
Dämpfung	5		
Dauer			0,8 Sekunden

Tab. 9: Meßeinstellungen der Auswertesoftware DA-1000 für das Y und ETR-Screening-Programm im Sättigungspulsmodus

Messungen der maximalen relativen Elektronentransportwirksamkeit Fv:Fm

Die Messungen wurden im Freiland mittels spezieller Blattklammer (Dark Leaf Clip DLC-8) durchgeführt, die definierte Blattbereiche (0,8 cm²) verdunkeln und einen fixen Abstand zur Blattoberfläche halten. Die zu vermessende Blattfläche wurde für 45 min mittels der Blattklammer verdunkelt und dann die Parameter Grundfluoreszenz und maximale Fluoreszenz mittels eines Sättigungsimpulses gemessen. Die Meßeinstellungen sind in Tabelle 10 festgehalten. Da diese Messungen am Tage durch die Anzahl der Blattklammern begrenzt waren, konnte nur an einem Blattpunkt gemessen werden. Neben diesen Analysen wurden auch nachts diese Untersuchungen durchgeführt, um den Stichprobenumfang zu erhöhen.

Untersuchungen simulierter abiotischer Streßfaktoren

30 Fahnenblätter aus vier Wiederholungen wurden geerntet und unmittelbar in verschlossenen, wassergefüllten Gefäßen transportiert. Im Labor wurden diese Blätter für eine Stunde dunkel gestellt und dann in einem abgedunkelten Raum an drei Blattpunkten vermessen (Basis, Blattmitte und Apex). Anschließend wurden die Blätter in ein 10 cm hohes Plastikgefäß gestellt und für eine Stunde bei 37°C +/- 2°C in einem lichtdichten Trockenschrank belassen. Diese Blätter wurden dann wiederum bei Lichtausschluß an drei Blattpunkten vermessen (Basis, Blattmitte und Apex). Durch die senkrechte Positionierung in dem Plastikgefäß wurde Blattrollen vermieden. Die drei Meßwerte pro Blatt vor bzw. nach der Streßbehandlung wurden zu Einzelblattwerten gemittelt.

Parameter	Meßlicht	Aktinische Licht	Sättigungs-Puls
Intensität	6	ausgeschaltet	8 (730 μmol m ⁻² s ⁻¹)
Modulationsfrequenz	600 Hz		
Verstärkung	3		
Dämpfung	5		
Dauer			
			0,8 Sekunden

Tab. 10: Meßeinstellungen der Auswertesoftware DA-1000 für die Bestimmung von Fv:Fm im Sättigungspulsmodus

3.5 Erfassung der Abreife

Die Wirkung von Umweltfaktoren und Fungiziden auf die pflanzliche Alterung wurde unter Freilandbedingungen mit verschiedenen Methoden untersucht, die indirekt oder direkt einen Einfluß von Faktoren auf die Alterung pflanzlicher Gewebe widerspiegeln bzw. determinieren.

3.5.1 Abbau des Blattgrüns

Die Blattgrünintensität (BGI) wurde zerstörungsfrei mit dem Chlorophyll-Meter (Synonym: SPAD-Meter) (SPAD-502, Fa. Hydro Agri Deutschland GmbH) gemessen. Das ursprüngliche Anwendungsgebiet dieses Handgerätes war die Abschätzung des N-Versorgungszustandes eines Getreidebestandes über die Messung der Blattgrünintensität. Da die Ausgabewerte direkt proportional zur Chlorophylldichte im Blattflächen-Meßausschnitt sind, eignet sich dieses Meßverfahren auch als schnelle Screening-Methode für die Verfolgung von Chlorophyllabbauprozesse und damit auch zur Bewertung von Seneszenzprozessen im relativen Vergleich von Behandlungsvarianten.

Das Handgerät integriert eine Blattklammer, die aus zwei Meßpolen besteht, und eine Verrechnungseinheit. Pro Behandlungsvariante wurden in vier Wiederholungen randomisiert Einzelblattmessungen vorgenommen. Vermessen wurden ausschließlich die mittleren Blattabschnitte einer Zielblattetage. Pro Wiederholung (= 1 Meßeinheit) werden von dem SPAD-Meter 30 normalverteilte Werte zu einem Ausgabewert (= Blattgrünintensität) verrechnet. Nach jeweils 10 Meßeinheiten wurde das SPAD-Meter an einem Grünstandard kalibriert.

3.5.2 DNase-Aktivitätsbestimmung

Für die Analyse der DNase-Aktivität, wurden 20 Fahnenblätter pro Variante aus vier Wiederholung von Trieben erster und zweiter Ordnung geerntet, in Netzstrümpfe eingesackt, unmittelbar in flüssigem Stickstoff tiefgefroren und transportiert. Die Proben wurden bis zur Weiterverarbeitung bei -70°C gelagert.

Die Analyse der DNase-Aktivität erfolgte in Anlehnung an das Verfahren von *GROSSMANN & JUNG (1982)*, wurde aber in zwei Arbeitsschritte unterteilt.

Schritt 1

Eine Mischprobe von 3-5 g Blattmasse wurde für den Aufschluß in einem Waring-Blendor-Mixgerät für 15-40 sec. nach Zugabe von eiskaltem Tris-HCL-Puffer (25 mM; pH 7,5; 1 mM Ascorbat und 0,1% Tween 20) in einem 4°C Kühlraum im Verhältnis 1:7 bis 1:10 (m/v), aufgeschlossen. Das Rohhomogenat wurde filtriert (Papierfilter, Schleicher u. Schüll 604 ½), bei 4°C für 20 min bei 8 000 U/min zentrifugiert. 1,5 ml des Überstandes wurden in 2 ml Eppendorfcaps überführt und bei -70°C bis zur Weiterverarbeitung gelagert.

Schritt 2

Die Bestimmung der DNase-Aktivität erfolgte mit folgendem Reaktionsansatz:

150 µl Pflanzenextrakt (aus Eppendorfcap)

400 µl DNase-Lösung [2 mg/ml Kalbsthymus-DNA (Sigma D1501) in 62,5 mM Na-Acetat-Puffer (pH 5,5); vor der Verwendung 10 Minuten bei 100°C gekocht und anschließend auf Eis abgekühlt]

Die Reaktion wurde nach 60minütiger Inkubation bei 37°C mit 500 µl eiskalter TCA-Lösung (10%) abgestoppt, bei 4°C mit 14 000 U/min für 5 min zentrifugiert und ein Aliquot des

Überstandes mit Aqua dest. verdünnt und in einer Quarzglasküvette bei 260 nm gegen den entsprechenden Blindwert photometrisch gemessen. Als Maß für die Enzymaktivität wurden die Extinktionswerte nach Subtraktion der Blindwerte (Ext.-Wert nach sofortigem Abstoppen der Reaktion ohne Inkubation, aber sonst gleiche Weiterverarbeitung) wie folgt umgerechnet (WILSON, 1975):

$$\text{Units/ml} = \frac{E * (\text{ml Inkubationslösg.} + \text{ml Fällungsreagenz}) * \text{Verdünnung}}{\text{ml Pflanzenextr. im Ansatz} * \text{min. Inkubationszeit}}$$

3.5.3 Ethylen-Detektion

Für die Bestimmung des Ethylenausstoßes wurde Pflanzenmaterial (30 Pflanzen je Wiederholungen) mit Wurzelballen gezogen und in 10 l Plastikeimern (1 Eimer pro Variante und Wiederholung; aufgefüllt mit 2 l Wasser) möglichst schonend transportiert. Um meta- und anabole Prozesse, die während des Transports und der Standzeit bis zur Verarbeitung unkalkulierbar auftreten können, zu dämpfen, wurden die Pflanzen bei 6°C bis zur Verarbeitung eingelagert. Probemessungen unter diesen Bedingungen ergaben eine Standzeitfenster von 2h, bei der keine signifikante Beziehung zwischen Temperatur, Zeit und Ethylenausstoß meßbar war. Innerhalb dieses Zeitfensters konnten 10 Versuchsglieder verarbeitet werden. Hierfür wurden insgesamt 50 Fahrenblätter von Trieben erster und zweiter Ordnung von der Blattscheide abgetrennt. Aus dem mittleren Blattbereich wurden dann 6-10 cm Segmente mit einem Skalpell herausgeschnitten, gewogen und in Reagenzgläsern mit 13 mm Volumen eingelegt. Jedes Reagenzglas faßte 5 Blätter. Pro Variante wurden 10 Reagenzgläser angelegt (n = 10). Die Reagenzgläser wurden für 1 h abgedunkelt und unverschlossen bei Raumtemperatur stehen gelassen, so daß durch die Schnitt-Verletzung verursachtes Ethylen abdampfen konnte. Anschließend wurden die Gefäße mit Gummisepten verschlossen und bei Raumtemperatur (21°C +/- 2°C), abgedunkelt, für drei Stunden ungestört belassen. Bei linearem Anstieg des Ethylen ist bei drei Stunden nach Verschluß das Optimum zwischen Inkubationszeit und Ethylenausbeute erreicht. Für die Ethylenbestimmung wurde 1 ml Gas mittels einer Insulinspritze aus dem Inkubationsgefäß entnommen, und gaschromatographisch (Varian, Star 3400 CK) auf Ethylenbildung untersucht.

3.5.4 Bestimmung der Eosinreife (EC 89)

Zur Bestimmung des exakten Einlagerungsendes (Eosinreife EC 89) wurde der Eosin-Test durchgeführt. Zum Eosin-Test wurden 20 Haupthalme pro Variante und Wiederholung ca. 15 cm unter der Ähre geschnitten und für 1 Stunde in eine 1%ige, wässrige Eosinlösung gestellt. Konnte der Eosin-Test nicht unmittelbar auf dem Feld durchgeführt werden, wurden ganze Pflanzen gezogen, in einem wassergefüllten Plastikeimer (s.o.) transportiert und dann unmittelbar wie oben beschrieben verarbeitet. Zur Auswertung wurde die Rotfärbung der Spindel bzw. der Spelzen mit fünf Boniturnoten (BN) belegt (Abb. 5).

Die Boniturnoten wie folgt verrechnet:

$$\text{RED} = (n*100) + (n*75) + (n*50) + (n*25) / n_{\text{gesamt}}$$

Dabei beschreibt der Parameter RED die 'Relative Einlagerungsdistanz'.

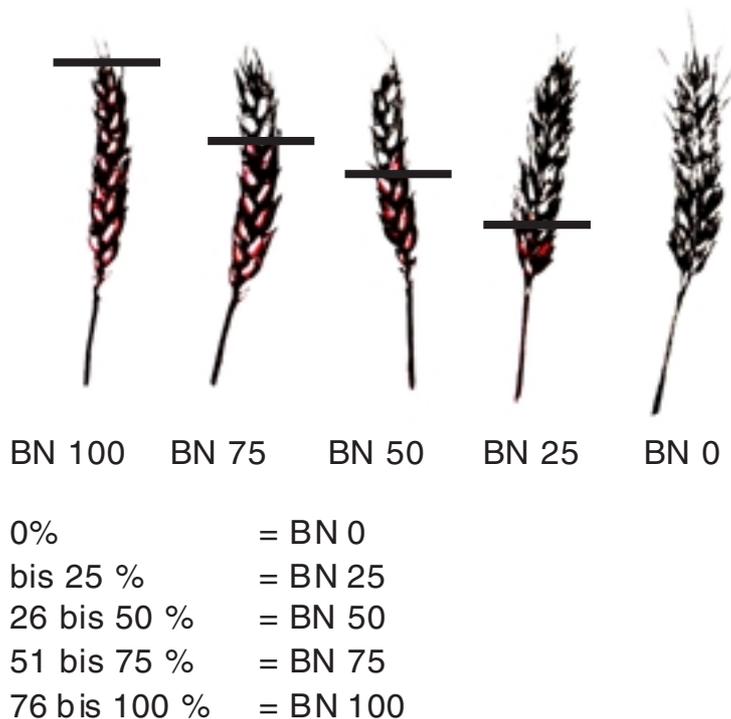


Abb. 5: Boniturnoten (= BN) (— = Einlagerungsdistanz)

3.6 Datenaufbereitung und statistische Auswertung

Die Freiland und Gewächshausexperimente wurden mindestens zweimal in voneinander unabhängigen Versuchen wiederholt. Die Wiederholungen der einzelnen Versuchsglieder in einem Versuch werden bei den entsprechenden Ergebnissen angegeben.

Die statistische Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgte mit dem Statistikpaket SPSS Version 6.0.. Die Meßdaten der einzelnen Versuchsvarianten wurden nach varianzanalytischer Verrechnung mit einem multiplen Mittelwertsvergleich nach Duncan auf signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%, getestet.

4 Witterungsverlauf und Pflanzenentwicklung

Der übergeordneten Bedeutung der Witterung im Feldversuch wird durch eine Charakterisierung des Witterungsverlaufes und eine allgemein gehaltene Beschreibung der Pflanzenentwicklung für die jeweiligen Hauptversuchsstandorte und Hauptvegetationsperioden Rechnung getragen und deshalb dem Ergebnisteil vorausgeschickt. Die agrarmeteorologischen Datensätze für den Standort Oberding wurden den Monatsberichten des Deutschen Wetterdienst, Station Flughafen, entnommen. Der Versuchsstandort Roggenstein wird durch die Wetterdaten der Versuchsstation Roggenstein TU-München beschrieben.

Witterung und Pflanzenentwicklung 1996

In Abbildung 6 sind Temperaturverlauf und Niederschlag für den Versuchsstandort Roggenstein im Zeitraum 1. April bis 20. August abgebildet.

Die Frühjahrsvegetation setzte im Vergleich zum langjährigen Mittel, mit rund vierwöchiger Verspätung, erst im **April** ein. Die Tagesdurchschnittstemperaturen lagen in der ersten Woche unter den langjährigen Normalwerten. Bei vorwiegend unbeständiger Witterung gab es wiederholte, aber meist wenig ergiebige Niederschläge. Erst nach Monatsmitte setzte bei sonnigem Wetter eine kräftige Erwärmung der relativ trockenen Böden und der Luft ein, welche die Tagestemperaturen ab dem 18. über 20°C bis zum 23. über 27°C steigen ließ. Dieser ungewöhnlich abrupte Temperaturübergang gab dem Weizen starke Wachstumsimpulse. Trotz der relativ kurzen Phase der Bestockung erreichte der Winterweizen Ende April eine ausreichend hohe Triebdichte ($\varnothing >1400$ Triebe/m²). Der Monat April fiel im Vergleich zu den langjährigen Vorjahreswerten am Ende um 0,5°C wärmer aus. Mit Niederschlagsmengen um 58% unter den Normalwerten war er allgemein deutlich zu trocken.

Der **Mai** war zu Monatsbeginn relativ warm. Bei Höchsttemperaturen bis zu 25°C wurde der Vegetationsrückstand aus dem April rasch kompensiert. Ab dem 9. Mai folgte bis Monatsende eine wolkenreiche, kühle Periode mit sehr ergiebigen Niederschlägen (139 mm). Die Böden waren über die Phase des Schossens hinaus bis zum Ährenschieben wassergesättigt. In den letzten Tagen des Monats setzte dann trockenes Wetter ein. Der Weizen setzte die feucht-kühlen Temperaturen, die im Mai um 0,7°C unter der Norm lagen, in produktives Wachstum um. Die Niederschlagsmengen waren mit 74% deutlich über den langjährigen Durchschnittswerten.

Die Ende Mai einsetzende hochsommerliche Witterung hielt fast bis Ende des 2. **Junidrittels** an. Die Temperatur erreichte mehrmals die 30 Grad Marke. Am 9. und 12. wurde diese Periode kurzfristig unterbrochen. Dennoch war dieser Witterungsabschnitt durch hohe Globalstrahlungswerte geprägt. Ab dem 19. sorgte ein Tief für unbeständiges kühles Wetter, das sich bis zum Monatsende fortsetzte. Ergiebige Niederschläge in dieser Zeit füllten die Wasserreservoir wieder auf. Die Kornfüllung (Beginn EC 71 \approx 24.06.) erstreckte sich sehr lang bis gegen Ende der ersten Julidekade. Wassermangel bzw. Temperaturstreß wurden nicht beobachtet. Damit ist der Juni aufgrund des Hochdruckeinflusses bis über die

Monatsmitte insgesamt um 0,9 Grad zu warm ausgefallen. Dennoch waren die Nächte kühl. Der Niederschlag überschritt mit 30% die üblichen Normalwerte deutlich.

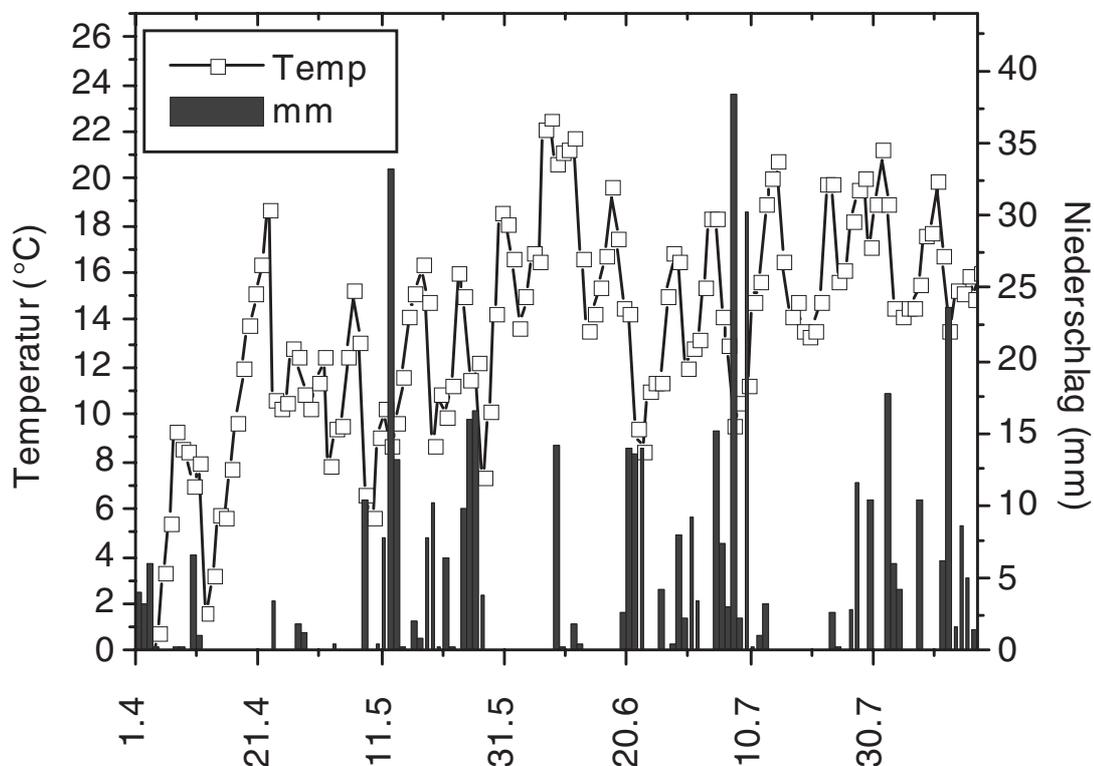


Abb. 6: Witterungsparameter am Versuchsstandort Roggenstein 1996

Entsprechend dem letzten Junidrittel setzte sich die wechselhafte und zu kühle Wetterlage mit reichlichen Niederschlägen auch zu **Julianfang** fort. Die Pflanzenalterung schritt in dieser Zeitspanne bis zum 13. Juli (EC 81/83) nur langsam voran. In der ersten Julidekade fiel teilweise Niederschlag mit bis zu 40 l/m², wobei Temperaturen um 10 Grad registriert wurden. Vereinzelt trat Staunässe auf. Erst nach dem 12. Juli setzte eine deutliche Wetterbesserung ein. Die Weizenbestände konnten, bei ausreichend hohen Temperaturen und hoher Globalstrahlung, reifen. Die Temperaturen lagen in der zweiten Dekade meist im gemäßigten Bereich, um 20 Grad, wobei die Nächte sehr frisch waren. In der letzten Woche wechselten Schauer und Gewitter bei mäßigen Temperaturen, mit sommerlich warmen Tagen. In dieser Zeit erreichten die Bestände das Gelbreifestadium (EC 85). Insgesamt ist der Juli durch die naßkalte Witterung zu Anfang und die mäßig temperierte zweite Dekade um etwa 2,1 Grad zu kalt ausgefallen. Die kräftigen Schauer und zeitweilig anhaltenden Regenfälle sorgten für ein Übersoll von 25%.

Die erste **Augusthälfte** war niederschlagsreich und kühl. Erst ab dem 17. des Monats stellte sich Sommerwetter mit Temperaturen um die 25 Grad ein, so daß die Erntearbeiten beginnen konnten.

Insgesamt konnte das Wetter im Vegetationsjahr 1996 als niederschlagsreich mit ausreichend Sonnenschein angesprochen werden. Die Temperaturen waren ausgewogen, so daß insgesamt ein aus ertragsphysiologischer Sicht optimaler Witterungsverlauf die Vegetationsperiode 1996 charakterisierte.

Witterung und Pflanzenentwicklung 1997

In Abbildung 7 sind Temperaturverlauf und Niederschlag für den Versuchsstandort Roggenstein im Zeitraum 1. April bis 20. August dargestellt.

In den Weizenbeständen setzte, nach einem milden Winter, das Frühjahrswachstum bereits in der ersten Märzdekade ein. Der **April** war, wie auch 1996, von großen Witterungsgegensätzen geprägt. Der Monat begann sonnig und mit Höchsttemperaturen bis nahe 20 Grad. Das zweite Monatsdrittel war zumeist kalt. Die Tagestemperaturen stiegen kaum über acht Grad, die Vegetationsentwicklung war deutlich gebremst. In den letzten Apriltagen fielen, bei wolkenreicher, aber relativ warmer Witterung, kräftige Niederschläge. Der Monat April war am Ende um 1,6 Grad zu kalt. Die Regenmengen lagen um 7 Prozent unter den langjährigen Normalwerten.

Die erste **Mai**dekade war durch unbeständiges Wetter gekennzeichnet. Sonnige und wolkenreiche Abschnitte wechselten sich mit wenig ergiebigen Regenfällen ab. Die Tageshöchsttemperaturen lagen in der ersten Maiwoche bei 20-24 Grad, fielen aber um den siebten und achten des Monats auf 8-12 Grad ab. Die Vegetation lag zu diesem Zeitpunkt immer noch etwas hinter der für den Standort Roggenstein geltenden Norm zurück. Bis weit über die Monatsmitte herrschte dann Schönwetter. So wurden um den 15. Mai, bei sehr hohen Globalstrahlungswerten, bis zu 30 Grad erreicht. Dieser Wärmeschub sorgte für beschleunigtes Wachstum der Weizenbestände, verursachte aber mit jedem Tag zunehmend Vegetationsstreß. Die empfindliche Winterweizensorte 'Astron' bildete in dieser Zeit auf der Blatttage F-1 nichtparasitäre Blattflecken aus. Die letzte Maiwoche war von kühler, aber niederschlagsfreier Witterung geprägt, bei Tagestemperaturen um 14-18 Grad. Die Böden waren in der Krume stark abgetrocknet, so daß besonders am Standort Roggenstein auf Teilflächen und in Bodensenken Trockenstreßsymptome im oberirdischen Blattapparat in Erscheinung traten (Blattrollen, steile Blattstellung, Reduktion von Nebentrieben, verhaltenes Wachstum). Insgesamt ist der Mai um 0,3 Grad zu warm ausgefallen. Dagegen wurden beim Niederschlag nur 25 Prozent der langjährigen Durchschnittswerte erreicht.

Bis zur Monatsmitte setzte sich im **Juni** die Maiwitterung fort. Häufige Gewitter brachten in dieser Zeit wenig ergiebige Regenmengen und damit kaum einen Ausgleich für die Trockenheit der Vorwochen. So verschärfte sich im Wintergetreide am Standort Roggenstein der Pflanzenstreß in den unbehandelten Kontrollen erheblich (s. Abb. 31). Die Blüte fiel in die Phase massiver Trockenheit. Auf Teilflächen mit sehr leichten Böden wurden Anzeichen beginnender Notreife sichtbar. Ab Monatsmitte stellte sich eine zunehmend kühlere Wetterlage ein. Beinahe tägliche Niederschläge im Laufe des letzten Monatsdrittels brachten ein Ende des Wassermangels. Die Temperaturen stiegen nur kurz vor Monatsende auf sommerliche Werte über 25 Grad, blieben aber ansonsten meist unter der 20 Grad Marke. Der Vegetationsvorsprung, der zur Monatsmitte noch bei knapp 10 Tagen lag, wurde bis zum

Monatsende auf nur noch wenige Tage gebremst. Insgesamt fiel der Juni um 0,3 Grad zu kalt aus. Die Regenmengen lagen aufgrund der sehr ergiebigen Niederschläge in der letzten Monatshälfte um den Normalwert.

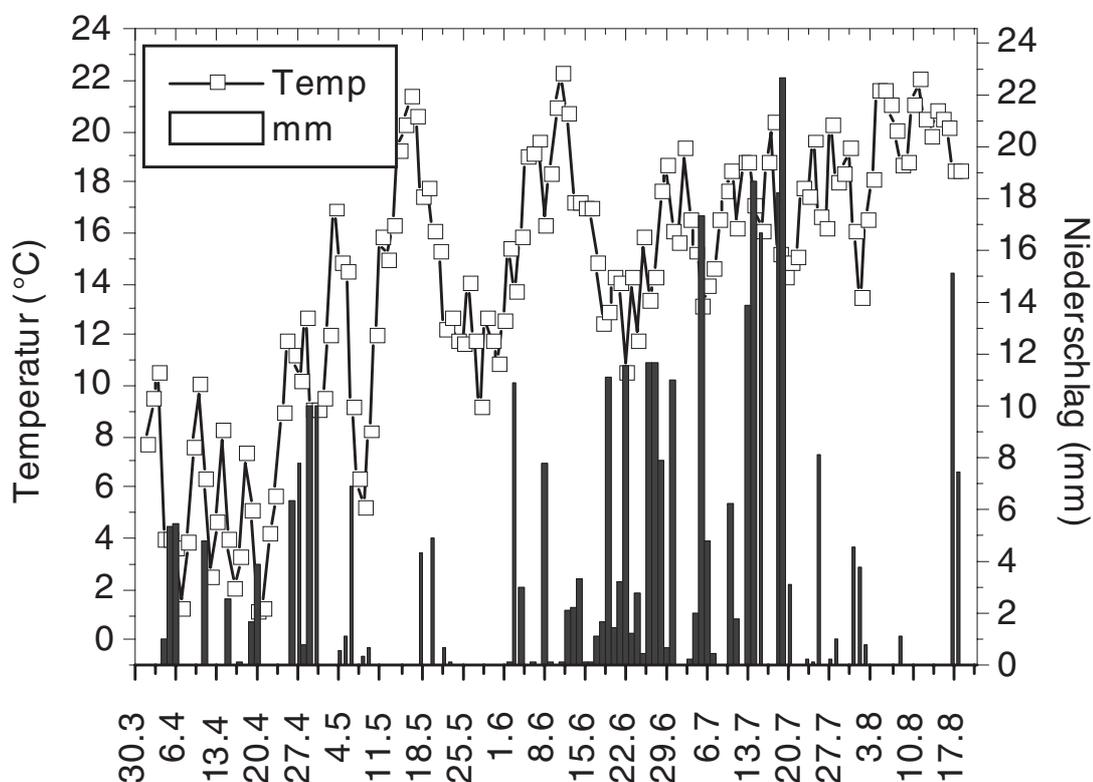


Abb. 7: Witterungsparameter am Versuchsstandort Roggenstein 1997

Fast der gesamte Monat **Juli** wurde von unbeständiger Witterung geprägt. Nach relativ warmem Monatsbeginn stellte sich ab dem 4. wolkenreiche Witterung mit häufigen Regenfällen ein, wobei auch die Tagestemperaturen vorübergehend bis unter 15 Grad zurückgingen. Zwischen dem 7. und 13. wurde es zwar zeitweise etwas freundlicher und wärmer, andererseits blieb es aber kaum mehr als zwei Tage hintereinander trocken. Auch in der zweiten Monatshälfte gab es fast jeden Tag mindestens ein Regenereignis. Erst zum Monatsende stiegen die Temperaturen wieder an und sorgten für bessere Reifebedingungen im Winterweizenbestand. Auf der Versuchsfläche traten deutliche Anzeichen einer Entkopplung der vegetativen von der generativen Entwicklung durch reifende Ähren und die teilweise noch erheblich grünen, vegetativen Gewebe auf. Insgesamt fiel der Juli um 1,9 Grad zu kalt aus. Aufgrund der gewittrigen Niederschläge ergaben sich Regenmengen um 31 Prozent über den Normalwerten.

Im Gegensatz zu den beiden Vormonaten herrschte im **August** meist sonniges und hochsommerlich warmes Wetter. Und so boten sich bei Temperaturen bis nahe 30 Grad nach dem 3. August optimale Druschbedingungen für die Getreideernte.

Das Vegetationsjahr 1997 war geprägt durch eine lang anhaltende Frühjahrstrockenheit und eine nasse Kornwachstumsperiode. Der Temperaturverlauf unterlag starken Schwankungen. Das Vegetationsjahr 1997 war insgesamt ertragsphysiologisch schwierig, und wirkte sich negativ auf die Ertragsbildung aus.

Witterung und Pflanzenentwicklung 1998

In Abbildung 8 sind Temperaturverlauf und Niederschlag für den Versuchsstandort Oberding im Zeitraum 1. April bis 20. August dargestellt.

Der milde Winter mit nur mäßigem Frost sorgte für gut entwickelte Bestände zu Vegetationsbeginn. Kühle **März**witterung verhinderte jedoch eine zu üppige Entwicklung der Weizenbestände.

Der **April** war durch einen deutlichen Kontrast warmer Witterungsabschnitte und winterlicher Kälterückfälle geprägt. Im ersten Monatsdrittel überwog milde Witterung, die vor allem zu Beginn mit Tagestemperaturen bis 20 Grad für eine, verglichen zu langjährigen Erfahrungen, beschleunigten Vegetationsentwicklung sorgte. Diese konnte ihren bereits im Winter erhaltenen Vorsprung auf ≈ 10 Tage stabilisieren. In der Monatsmitte gab es ergiebige Niederschläge, und Temperaturen unter 10 Grad bremsten die rapide Entwicklung der Winterweizenbestände wieder ab. Im letzten Monatsdrittel war es unbeständig, allmählich wurde es aber wieder wärmer. Einzelne Strahlungstage ließen die Tagestemperaturen sogar auf über 20 Grad ansteigen. Gegen Monatsende konnte das Getreide aufgrund günstiger Lufttemperaturen den Vegetationssprung halten. Vor allem wegen der frühlingshaft warmen Witterung während des letzten Monatsdrittels fiel der April um ca. 2 Grad wärmer als im langjährigen Durchschnitt aus. Die Niederschlagsmenge wurde nur zu 75% des Durchschnittswertes erfüllt.

Zu Monatsbeginn war der **Mai** wechselhaft und zunächst warm. Zwischen dem 7. und 15. sorgte ein Hoch für fast ungeminderte Einstrahlung und ließ die Tagestemperaturen auf Werte bis zu 30°C ansteigen. Wie im vorausgegangenen Jahr, zeigte die Winterweizensorte 'Astron' nichtparasitäre Blattflecken. Die Vegetationsentwicklung wurde durch verschärften Wassermangel gebremst. Ab Beginn des letzten Monatsdrittels brachten gelegentliche Schauer eine meßbare Dämpfung des Wassermangels, der durch ergiebige Niederschläge zum Monatsende vollständig aufgehoben wurde. Insgesamt fiel der Monat Mai um ca. 1,5 Grad wärmer als das langjährige Mittel aus. Die Regenmenge lag um 60 % unter dem Mittel.

Der **Juni** war zu Monatsbeginn feucht-warm und die gelegentlich auftretenden Niederschläge schufen gute Infektionsbedingungen für die Blattkrankheiten *Drechslera tritici repentis* und *Septoria nodorum*. Am 6. des Monats wurden Tagestemperaturwerte bis zu 32°C gemessen. Hier war der erste Temperatur-Kardinalpunkt für die Reife des Getreides gesetzt. Die Wintergerste reifte in der Folgezeit schlagartig ab, die streßanfällige Sorte 'Astron' zeigte zunehmend mehr nichtparasitär bedingte Blattflecken. Zeitweilig reagierte auch die

Winterweizensorte 'Batis' in den Mittagsstunden mit Trockenstreßsymptomen, die sich durch Blattrollen des Fahnenblattes darstellten. Zur beginnenden Monatsmitte kamen kurzfristige Niederschläge gerade rechtzeitig zur einsetzenden Kornfüllung des Getreides. Um den 20. stiegen die Tageshöchstwerte erneut über die 30 Grad Marke. Ab Beginn des letzten Monatsdrittels wurde es zunehmend wärmer, gelegentliche Schauer oder Gewitter entspannten die Wasserversorgung. Somit war der Juni um ca. 2 Grad wärmer als das langjährige Mittel ausgefallen. Die Regenmenge lag im Bereich des langjährigen Mittel.

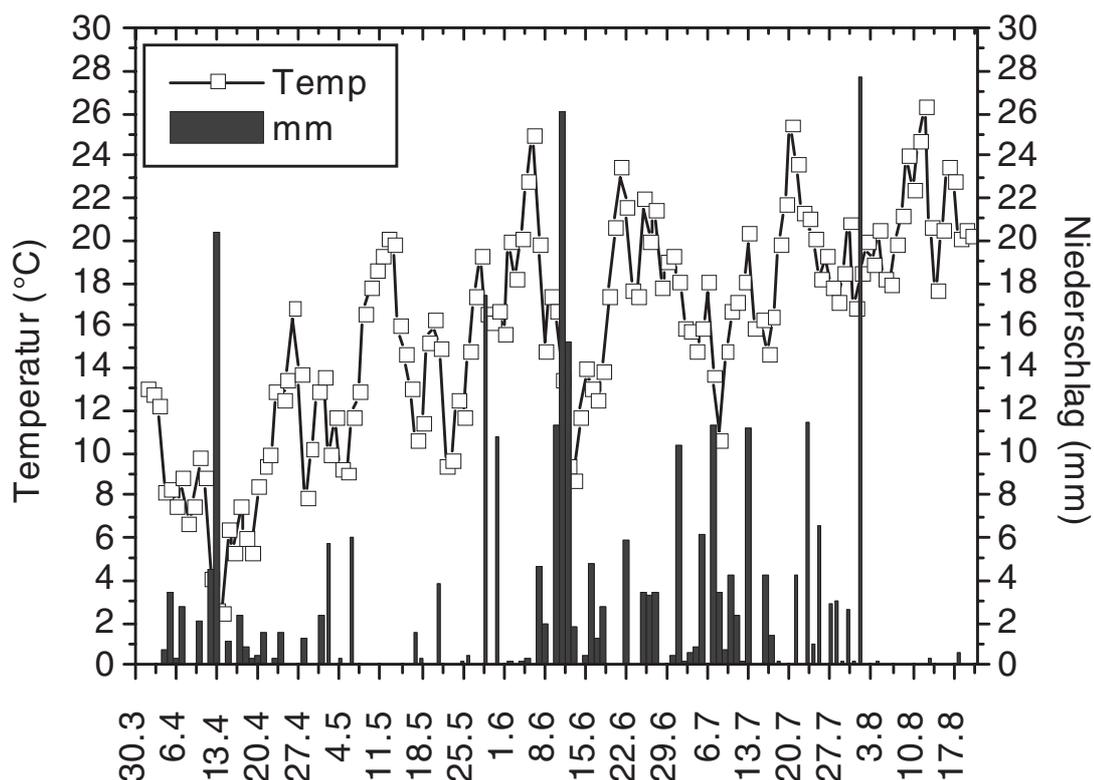


Abb. 8: Witterungsparameter am Versuchsstandort Oberding 1998

Fast der gesamte Monat **Juli** war unbeständig. Insbesondere für die erste Monatshälfte verging kaum ein Tag ohne Niederschlag. Die Tagestemperaturen bewegten sich auf einem für den Hochsommer nur mäßigen Niveau und erreichten meist nur Höchstwerte um 17 bis 23 Grad. Zwischen dem 19. und 26. herrschten warme Luftmassen auch im Versuchsgebiet vor. Die Tagestemperaturwerte stiegen auf die 30 Grad Marke, am 20. und 21. wurden sogar Hitzegrade bis 35 Grad gemessen. Dennoch kam es immer wieder zu ergiebigen Schauern mit Unwettercharakter. An den letzten Tagen des Monats stellte sich wieder kühleres und wolkenreiches Wetter mit gelegentlich auftretenden Regenfällen ein, womit sich vor allem die Getreideernte verzögerte. Insgesamt ist der Monat Juli etwas wärmer als normal ausgefallen.

Nach unbeständigem **Augustanfang** stabilisierte sich die Wetterlage zwischen dem 6. und 12.. Bei Strahlungswetter und Höchsttemperaturen bis über 30 Grad, mit Hitzegraden am 11., 12. und 13. sogar bis über 35 Grad fielen die Wassergehalte des Korns dramatisch ab ($\approx 11\%$ bis 12%), so daß die Winterweizenernte um den 11. August begann.

Das Jahr 1998 zeigte einen ausgewogenen Witterungsverlauf, mit im Schnitt leicht erhöhten Temperaturen. Zu Beginn und Ende der Vegetationsperiode lag die Sonnenscheindauer unter der Norm, was jedoch in den restlichen Monaten wieder durch längere Sonnenscheindauer kompensiert wurde. Die Niederschläge müssen als etwas zu gering eingestuft werden, waren jedoch nicht wachstumslimitierend und fielen immer noch rechtzeitig, so daß in der Vegetationsperiode 1998 aus der ertragsphysiologischen Sicht hervorragende Bedingungen vorherrschten.

5 Ergebnisse

5.1 Charakterisierung des Pflanzenwachstums in den Feldversuchen

Wachstum, Entwicklung und Gesundheit von Pflanzen werden durch abiotische und biotische Umweltfaktoren beeinflusst. Sie bestimmen die saisonale Ausprägung des Reaktionsvermögens von Pflanzen und die Grenzen der Pflanzenleistung. Somit sind sie immanent ertragsphysiologisch wirksam. In der vorliegenden Arbeit wurde deshalb nicht nur die Witterung allein einbezogen, sondern auch der Einfluß der Witterung auf signifikant ertragsphysiologisch wirksame Umweltfaktoren. Daten von Bodenwasserpotentialen, der Bodenstickstoffmineralisierung und die Schadpilzdiagnose können wichtige Erkenntnisse für die Interpretation von Wachstums- und Entwicklungsreaktionen der Winterweizenpflanzen liefern. Sie sollten zudem die Möglichkeit bieten, den Einfluß strobilurinhaltiger Fungizide auf physiologische Abläufe der Ertragsbildung gegenüber der Wirkung von Umweltfaktoren abzugrenzen.

5.1.1 Bodenwasserpotential

An den Versuchsstandorten Roggenstein und Oberding wurde 1997 und 1998 mit einem Tensiometer das Bodenwasserpotential quantitativ erfaßt. Hierdurch kann, unabhängig von der Bodenart, der pflanzenverfügbare Bodenwasseranteil unmittelbar bestimmt und verglichen werden. Die Messungen erfolgten zweimal wöchentlich im Entwicklungszeitraum EC 32 (Zweiknotenstadium) bis EC 92 (Totreife).

Aus dem Verlauf der Bodenwasserpotentialkurve des Versuchsjahres 1997 (Abb. 9) läßt sich der für das Vegetationsjahr 1997 charakteristisch massive Gegensatz von Frühjahrstrockenheit und Sommernässe ablesen. Ein gleichbleibend hohes Bodenwasserpotentialniveau von 750 mbar bis 800 mbar belegt einen permanenten Wassermangel, der sich über die gesamte Phase der Ertragsstrukturbildung erstreckte (EC 32 bis EC 69). Bei phasenweise überdurchschnittlichen Temperaturwerten (vergl. Kap. 4) traten während der Blüte massive Trockenstreßreaktionen in den Winterweizenbeständen auf (s. Abb. 31). Erst mit dem Übergang zur Kornfüllung (EC 71) sank in Folge ergiebiger Niederschläge das Bodenwasserpotential allmählich. Die nachfolgenden Niederschlagsereignisse führten zur allmählichen Wassersättigung des Bodens, so daß ab dem 27. Juni bis zum Meßende (6. August) permanent Feldkapazität in 25 cm bis 30 cm Bodentiefe herrschte.

Charakteristisch für die Vegetationsperiode 1998 war der ständige Wechsel der Bodenwasserpotentiale mit kurzfristig hohen und dann abfallenden Werten (Abb. 10). Dieser Wechsel läßt sich aus der relativ homogenen Verteilung der Niederschlagsereignisse über 15 mm in dem dargestellten Vegetationsabschnitt ableiten. So konnte zu Meßbeginn in EC 32 eine Bodenwasserspannung von ca. 600 mbar gemessen werden. Zum Ährenschieben fiel das Bodenwasserpotential durch die Niederschläge um den 28. Mai fast auf Feldkapazität. Die nachfolgend hohen Temperaturwerte bewirkten einen erneuten Anstieg des Bodenwasserpotentials auf 600 mbar. In der Phase der Blüte (EC 61 – EC 69) und im Übergang in die Kornfüllung (EC 71) wurde der Bodenkörper erneut wassergesättigt, so daß

sich Feldkapazität einstellte. Eine kurze Periode mit sichtbarem Pflanzenstreß konnte in der Mitte der Kornfüllungsphase (EC 75) als Folge eines starken Temperaturanstiegs beobachtet werden. Gegen Ende Juni stellte sich Bodenwasserdefizit bei Bodenwasserpotentialwerten um 800 mbar ein. Vereinzelt (nur an der Sorte 'Batis') wurde in den Mittagsstunden Welke der Fahnenblattetage beobachtet. Die Situation war kurzweilig, denn ergiebige Niederschläge im Juli milderten diese Streßspitze, was sich am Bodenwasserpotential messen ließ. Hierdurch schritt die Kornfüllung bei ausreichendem Wasser- und Temperaturangebot zügig voran. Die Abreife erfolgte sehr schnell, begünstigt durch zeitweilig sehr hohe Temperaturen und einem sich zunehmend verschärfendem Bodenwasserdefizit.

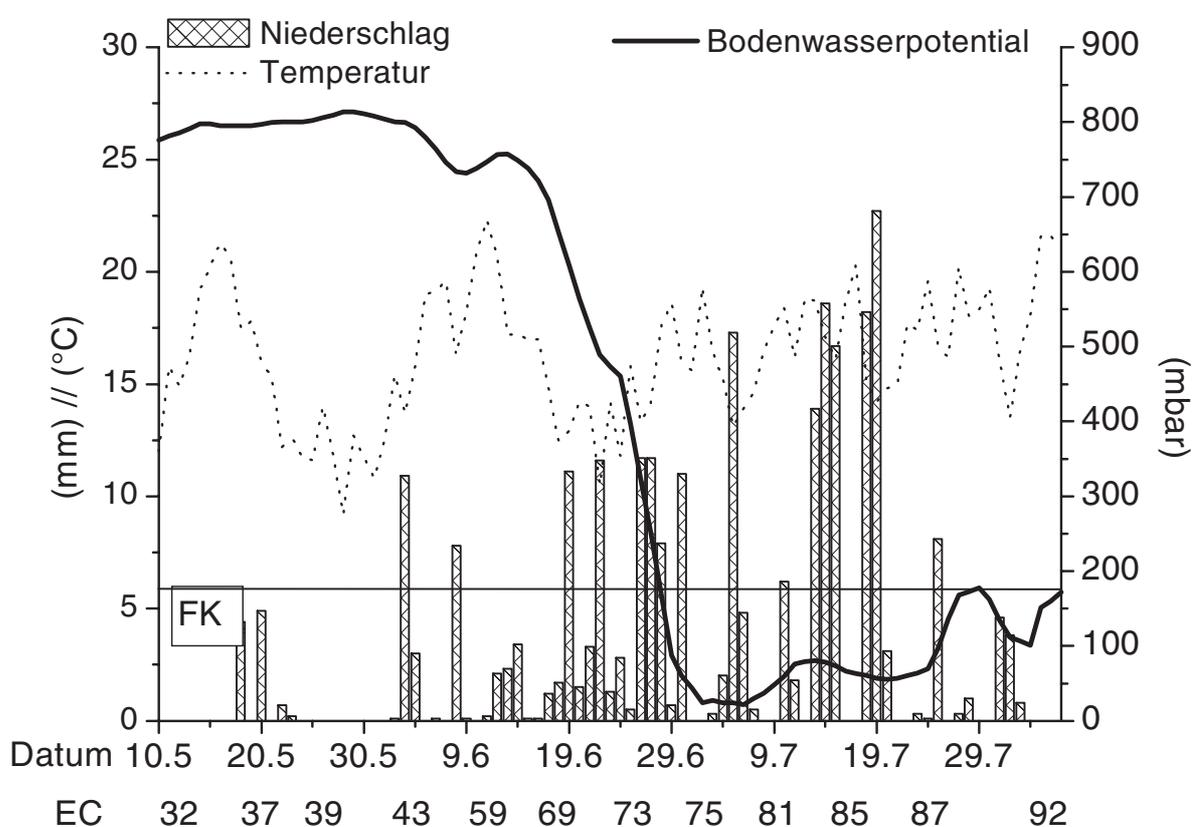


Abb. 9: Bodenwasserpotential, Niederschlag und Temperatur am Standort Roggenstein 1997 (mm = Tagesniederschlagssumme, °C = Tagesmittelwert, mbar = Bodenwasserpotential, FK = Feldkapazität)

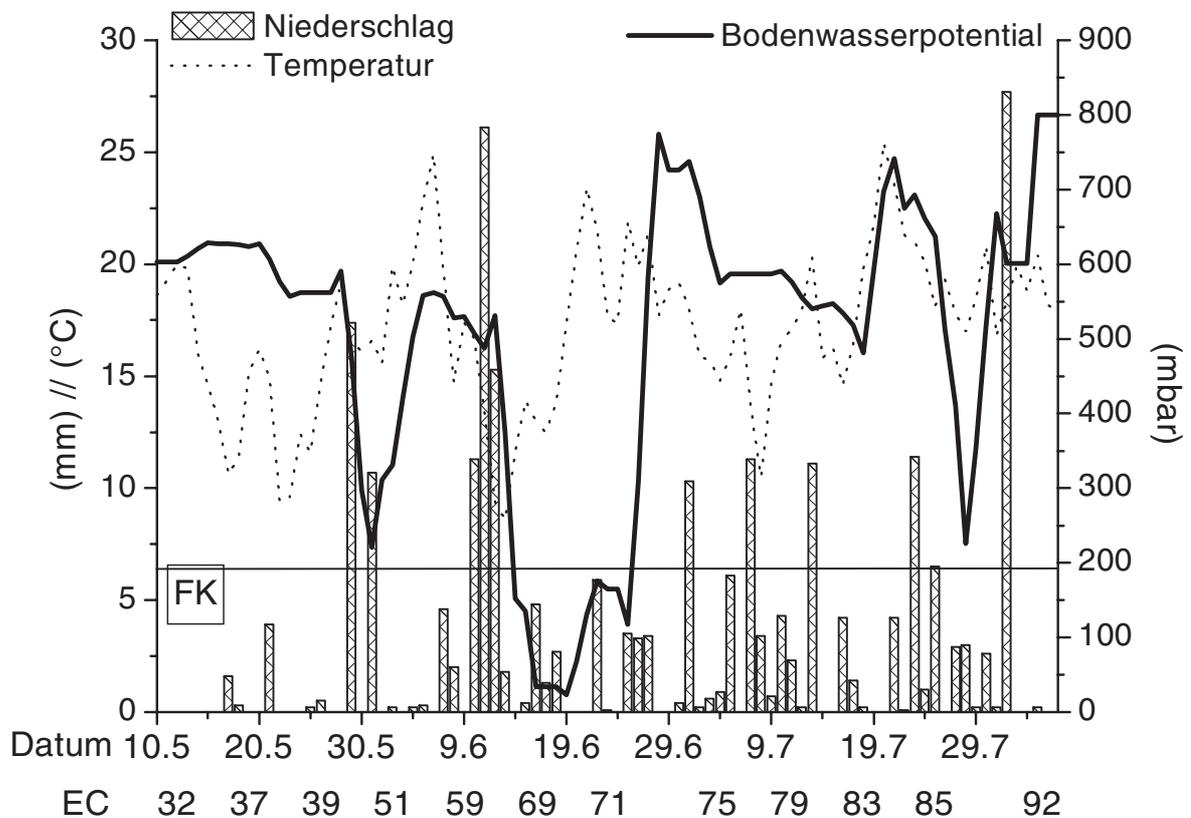


Abb. 10: Bodenwasserpotential, Niederschlag und Temperatur am Standort Oberding 1998 (mm = Tagesniederschlagssumme, °C = Tagesmittelwert, mbar = Bodenwasserpotential, FK = Feldkapazität)

5.1.2 Bodenstickstoff-Mineralisierung

Prozesse der Stickstoffmineralisation unterliegen, genauso wie die Pflanzenentwicklung selbst, dem Einfluß der Witterung. Das Messen der Bodenstickstoffmineralisation am Versuchsstandort Roggenstein sollte wichtige Erkenntnisse zur Interpretation von Wachstums- und Entwicklungsreaktionen der Pflanzen liefern. Bodenproben wurden jeweils zur Monatsmitte aus einer selbstbegrünten, ungedüngten Fläche aus den Bodentiefen 0 cm - 30 cm und 30 cm - 60 cm gezogen.

Die N_{\min} -Werte lagen bei Vegetationsbeginn im Bereich zwischen 41 kg N/ha und 69 kg N/ha (Abb. 11). Jahresunterschiede in Verbindung mit der für den Standort charakteristischen kräftigen Stickstoff-Nachlieferung aus Bodenvorräten ergaben die entsprechend differenzierten Wachstumsreaktionen der Bestände. Abgesehen von Niveauunterschieden der N_{\min} -Mengen in 1996 und 1998 ergaben sich in der Dynamik der Mineralisationsprozesse

keine auffälligen Unterschiede. Bis in den Juni hinein wurde eine stetige Stickstoff-Nachlieferung aus Bodenvorräten gemessen. Zum Juli sanken die N_{\min} -Werte regelmäßig unter das in den Einzeljahren ermittelte Ausgangsniveau zu Vegetationsbeginn.

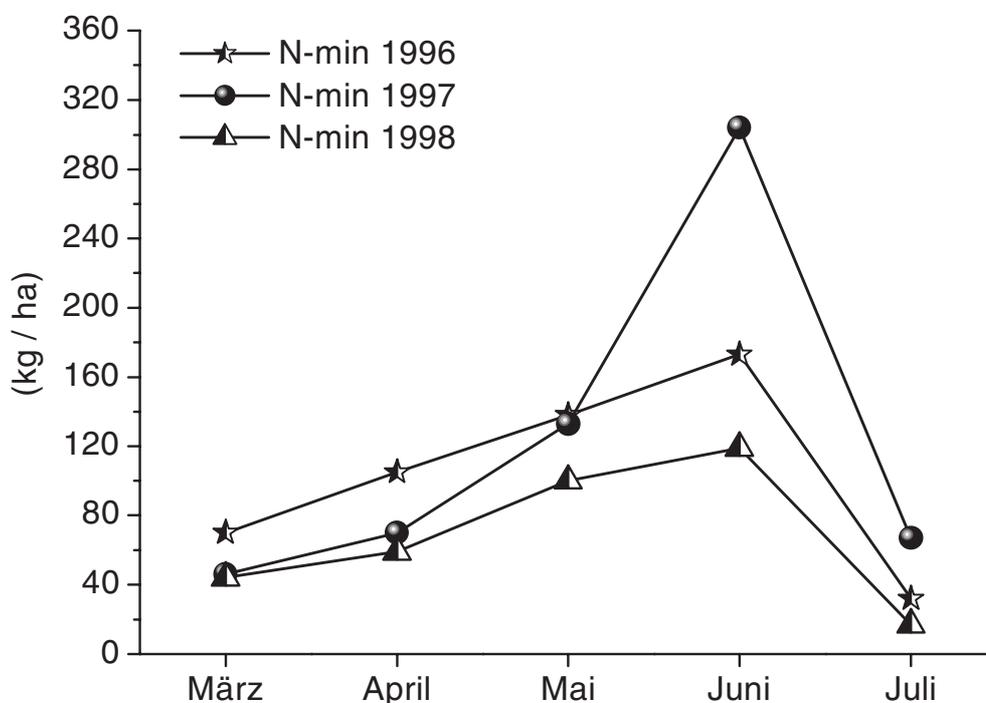


Abb. 11: Dynamik der Bodenstickstoff-Mineralisierung (N_{\min}) am Standort Roggenstein¹ 1996 bis 1998 unter Selbstbegrünung einer ungedüngten Versuchsfläche

Im Versuchsjahr 1997 ergibt sich eine, von den übrigen Versuchsjahren stark abweichende, Besonderheit in der Dynamik der Stickstoffmineralisation. Zum Junitermin wurden mit ca. 300 kg N/ha zwei- bis dreifach höhere N_{\min} -Werte ermittelt als in den anderen Jahren, in denen keine Auffälligkeiten im Aufwuchs bis zur Ernte bonitiert wurden. Die massive Stickstoffnachlieferung aus dem Boden dürfte auf die zwischen Anfang bis Mitte Juni (vgl. Abb. 9) verstärkt auftretenden Niederschläge bei günstigen Temperaturbedingungen zurückgeführt werden. Eine deutliche Reaktion des Winterweizens auf diesen Stickstoffpeak wurde in der letzten Junidekade, im Übergang von der Blüte in die Kornfüllungsphase, bonitiert. Innerhalb weniger Tage verfärbte sich der Bestand von hellgrün nach dunkelgrün. Bei raschem Abfall des N_{\min} -Wertes zum Juli, wurde dann mit 70 kg Bodenstickstoff ein zu den Vergleichsjahren kaum unterschiedliches Niveau gemessen.

¹ Daten wurden freundlicherweise von J. Dennert und G. Huber, Staatsgut Roggenstein, TU München, zur Verfügung gestellt

5.1.3 Pathogensituation

Neben physikalischen und chemischen Umweltfaktoren wird die Pflanzenleistung durch phytopathogene Pilze eingeschränkt. Das Ausmaß der Schädigung mit Einfluß auf ertragsbildende Abläufe ist über spezifische Wirt/Pathogen-Interaktionen bestimmt und durch deren Intensität wirksam. Die Dokumentation der Befallssituationen an den Kontrollpflanzen und das Aufkommen von Schadpilzen in Gesundvarianten erfolgte an Haupt- und Nebenindikationen der bonitierten Krankheitserreger. Die Erhebungen wurden durch wöchentliche Quantifizierung der jeweiligen Schaderreger auf den Blattetagen F bis F-6 erstellt.

Befallssituation 1996

Die Krankheiten Gelbrost und DTR traten auf den Versuchsflächen nicht in Erscheinung.

Parasitärer Halmbruch konnte im bekämpfungsrelevanten Zeitraum EC 30 bis EC 37 unter Verwendung des Färbetests (nach Mauler-Machnik) vereinzelt an intakten Blattscheiden bonitiert werden. Die Befallshäufigkeiten lagen zu EC 37 deutlich unter 10%, die Abschlußbonituren der Halmbasis zu EC 75 zeigten keinen weiteren Befallszuwachs an. Echter Mehltau breitete sich ab Anfang Juni auf der mehltauanfälligen Sorte 'Toronto' schlagartig aus. Die Befallsstärkesummen der oberen vier Blattetagen lagen dennoch unter 2%. Zur beginnenden Milchreife (EC 81) waren im Schnitt 50% der Blattinsertionen F bis F-2 auf 0,5% der Blattfläche mit Mehltaupusteln bedeckt. Braunrost trat erstmals zu EC 85/87 auf den Blattetagen F bis F-2 auf. Der sehr späte Termin, Befallsstärkesummen um 0,3% befallener Blattfläche und Befallshäufigkeiten von 7%, zeigen keine ertragswirksame Bedeutung dieses Erregers an.

Die Hauptindikation war *Septoria tritici*. Bereits zu Boniturbeginn (EC 32) konnten auf den Blattetagen F-6 und F-5 ausreichend hohe Befallsstärken bonitiert werden. Die weitere Ausbreitung auf höher inserierten Blättern läßt sich anhand der Witterung ableiten. Aufgrund der ausgesprochen langen Trockenphase von April bis in die erste Maiwoche hinein, stagnierte der Ausgangsbefall auf den Blattetagen F-5 und F-4. Infolge der ausreichend hohen Niederschläge in der zweiten Maidekade etablierte sich der Erreger auf den Blattinsertionen F-3 bis F-1, so daß sich zu EC 55 erste Pyknidien auszählen ließen (Abb. 12). Zwischen EC 73 und EC 75 waren auf der Blattetage F-1 und dem Fahnenblatt erster Befall zu diagnostizieren, der sich zu EC 85 in einem stärkeren Befallsanstieg, vor allem auf der Blattetage F-1 niederschlug.

Septoria nodorum trat als wichtigste Nebenindikation auf (Abb. 12). Ein sprunghafter Befallsanstieg auf den oberen drei Blattetagen wurde erst während der Kornreife bonitiert. Zu EC 85 lagen die Befallsstärken auf F-1 und F jedoch noch deutlich unter 100 Pykniden. Die Epidemiologie beider Indikationen fokussierte sich demnach auf den mittleren Blattapparat. Der Übergang auf die ertragsessentiellen Blattetagen F und F-1 erfolgte erst nach Abschluß der Kornfüllung.

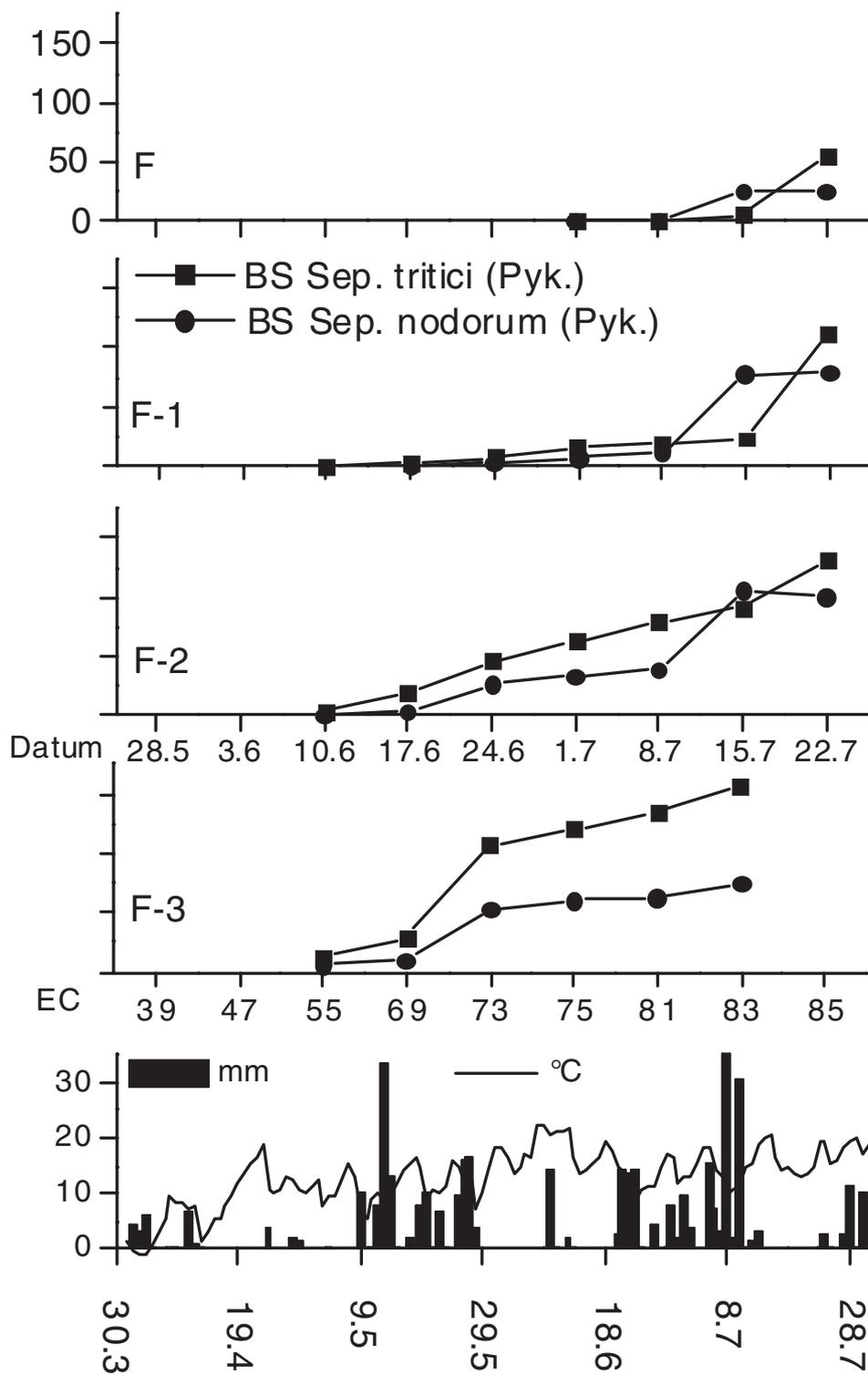


Abb. 12: Erregerentwicklung von Haupt- und Nebenindikationen an der unbehandelten Kontrolle, Standort Roggenstein 1996 (Sorte: 'Toronto', Blattetagen F bis F-3, BS Pyk. = Pyknidienzahl/Blatttage)

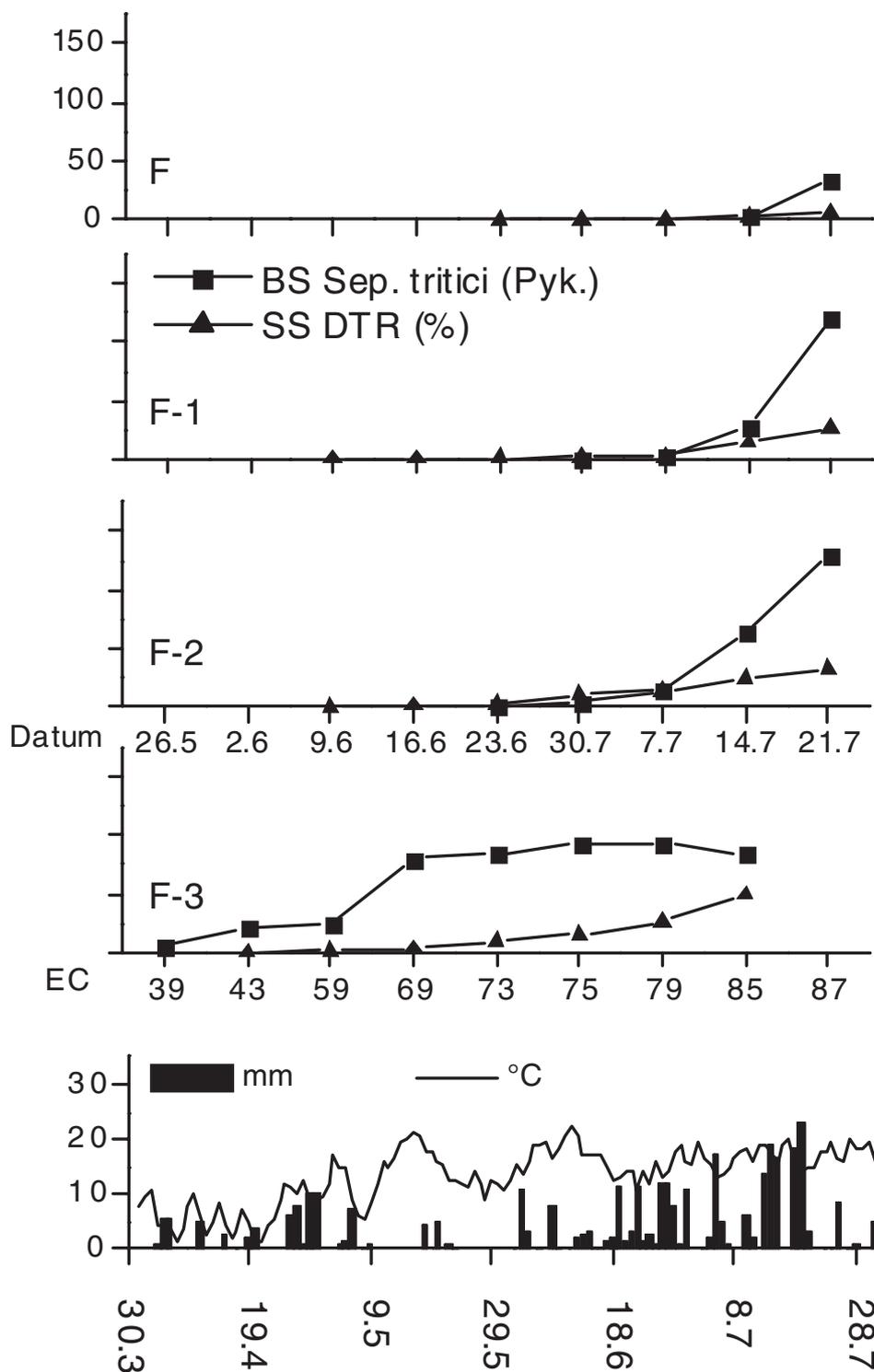


Abb. 13: Erregerentwicklung von Haupt- und Nebenindikationen an der unbehandelten Kontrolle, Standort Roggenstein 1997 (Sorte: 'Bussard', Blatttage F bis F-3, BS Pyk. = Pyknidienzahl/Blatttage; SS % = % Sporulationsfläche/Blatttage)

Befallssituation 1997

Diagnosen zum Erreger des parasitären Halmbruchs, Befallsschwere des Echten Mehltaus und Bonituren von spätem Auftreten des Braunrostes stellten sich in ähnlichem Umfang wie im Vorjahr ein und werden aufgrund der geringen Bedeutung für die Gesamtsituation nicht beschrieben. Gelbrost trat nicht auf, *Septoria nodorum* spielte epidemiologisch keine Rolle.

In Abb. 13 sind Befallssummenkurven der Haupt- und Nebenindikationen über die Blattetagen F bis F-3 dargestellt. 1997 wurde, wie im Vorjahr, *Septoria tritici* als dominierend Krankheit bonitiert. Die Ausgangssituation für die Besiedlung oberer, ertragswirksamer Blattetagen war, bedingt durch die ausreichend starken Niederschläge in der letzten Aprildekade, erregerbiologisch günstig, so daß sich auf der F-3 Blattetage schon zu EC 39 Pyknidien bilden konnten. Dennoch verhinderte die ausgesprochen lange Trockenperiode Mai bis in die erste Junidekade eine weitere, vertikale und horizontale Ausbreitung. Die nachfolgend ergiebigen und ausdauernden Niederschläge im Juni und Juli förderten die Pathogenese auf den oberen Blattinsertionen. Als Folge der langen Latenzzeit dieses Erregers (ca. vier Wochen) stiegen die Befallswerte aber erst im Übergang EC 79 zu EC 81 schlagartig an.

Drechslera tritici repentis wurde als Nebenindikation bonitiert. Erste DTR-Konidienträger konnten Anfang Juni auf der Blattetage F-3 bonitiert werden. Es folgte eine rasche vertikale Ausbreitung bis auf die Blattetage F-1 zum Ende des Ährenschiebens (EC 59). Die nachfolgende stetige Zunahme der Befallsstärke, ausgedrückt als Prozent sporulierender Fläche pro Blattetage, erreichte jedoch erst nach Ende der Milchreife Werte von 30% bis 50% an den Insertionen F-1 bis F-3. Für eine relevante Beeinflussung der Kornfüllungsprozesse dürfte sich DTR zu spät auf den oberen Blattetagen etabliert haben, so daß die späte aber heftige Epidemie vornehmlich die späte Abreife der Bestände beeinflußt haben dürfte.

Befallssituation 1998

Am Hauptversuchsstandort Oberding wurden die Sorten 'Astron', 'Batis' und 'Kanzler' in EC 31 (27. April) mit 0,3 l/ha Fortress und 1,5 l/ha Bravo vorbehandelt. Frühbefall (*Septoria tritici* und *Blumeria graminis*) konnte hierdurch erfolgreich unterdrückt werden. Die nicht weiter behandelten Kontrollvarianten der Sorte 'Astron', 'Batis' und 'Kanzler' hatten eine gesunde Jugendentwicklung. Gelbrost trat nicht auf, Braunrost nur vereinzelt ohne epidemiologische Bedeutung. Erst gegen Ende der Blüte (EC 69/71) trat Befall durch die Erreger der DTR-Blattdürre und *Septoria spec.* auf. Die höchsten Befallsgrade traten an der Sorte 'Astron' auf. Die Befallsentwicklung von Haupt- und Nebenindikationen ist in Abb. 14 angegeben. Beinahe charakteristisch, gerade auch im Hinblick auf die Krankheitssituation im Gesamtversuchszeitraum 1996 bis 1998, ist der sehr späte Übergang der Krankheitserreger in die epidemische Phase. Ausschlaggebend für einen negativen Einfluß auf die Kornfüllung der Kontrolle dürften *Septoria nodorum* und *Drechslera tritici repentis* gewesen sein.

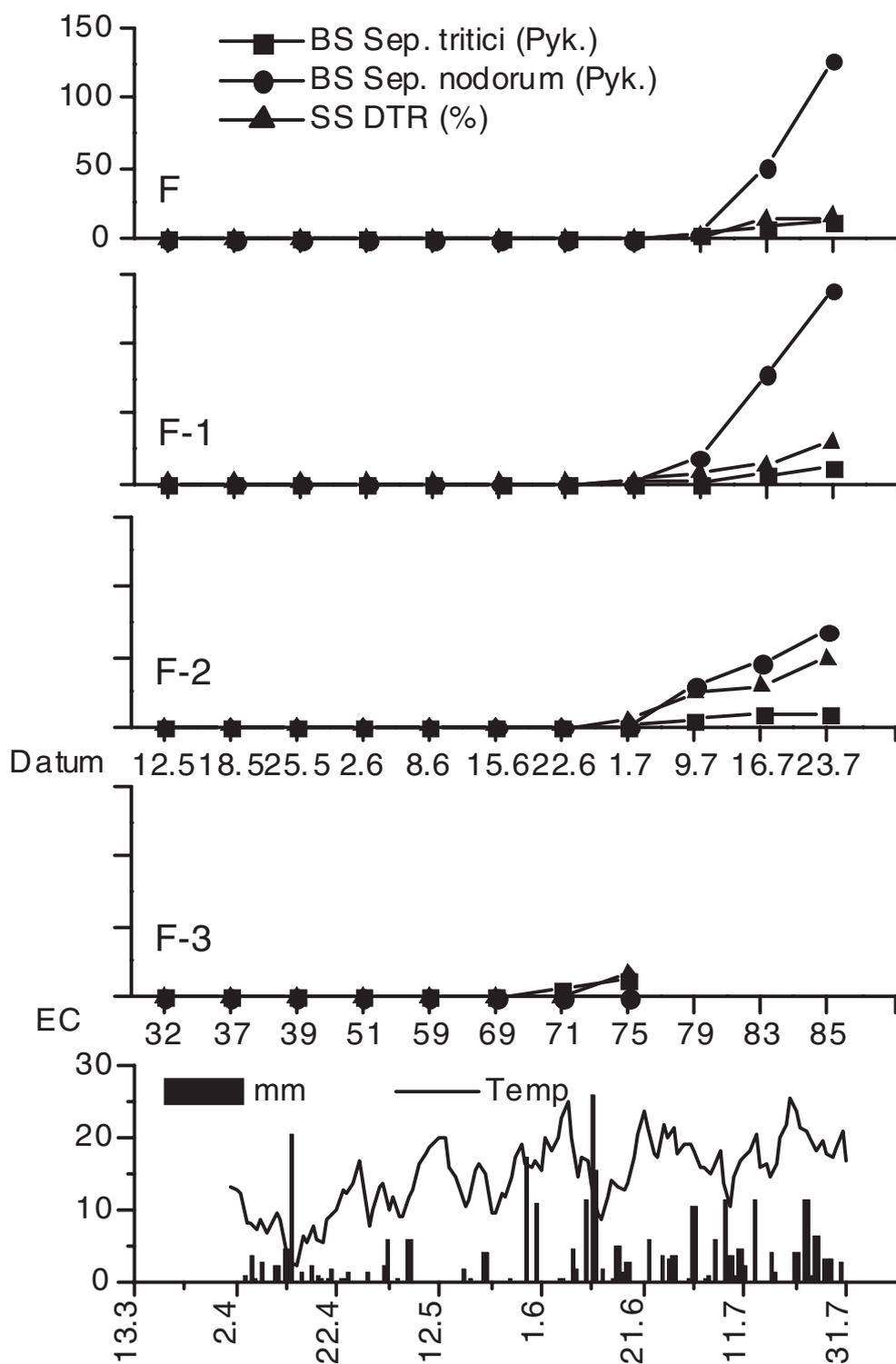


Abb. 14: Erregerentwicklung von Haupt- und Nebenindikationen an der Kontrolle, Standort Oberding 1998, Versuch OV1 (Sorte: 'Astron', Blatttagen F bis F-3, BS Pyk. = Pyknidienzahl/Blatttage; SS % = % Sporulationsfläche/Blatttage)

5.1.4 Befallssituation an Gesundvarianten

Dokumentiert durch die bereits dargestellten Untersuchungen in Kontrollvarianten war der Krankheitsdruck 1996 und 1997 am Versuchsstandort Roggenstein relativ schwach. Entsprechend wirksam waren die Fungizidanwendungen (zu EC 32, EC 37/39, EC 59/61), die einen umfassenden Schutz des vegetative Apparates und der Kornanlage erreichten. Zur Abschlußbonitur in EC 85/87 wurde in den Fungizid-behandelten Varianten marginaler Befall mit *Septoria nodorum* bzw. DTR bonitiert. 1998 war der Krankheitsdruck auf die Fungizidvarianten am Versuchsstandort Oberding witterungsbedingt vergleichsweise stärker als in den Vorjahren. Zur Veranschaulichung der Bekämpfungseffizienz der Dreimalbehandlungen wurde exemplarisch der Standort Oberding im Versuchsjahr 1998 mit der Sorte 'Astron' (Versuch OV1) ausgewählt. Dabei sind die Standardbehandlungsvarianten herausgegriffen und erläutert (Tabelle 11).

Applikation in:	EC 32	EC 37 / 39	EC 59 / 61
Datum:	07.05. 1998	18.05.1998	13.06. 1998
Sorte: 'Astron' (OV1)	1,5 l/ha Opus 1,0 l/ha Amistar 1,0 l/ha Juwel	1,5 l/ha Opus 1,0 l/ha Amistar 1,0 l/ha Juwel	1,5 l/ha Opus 1,0 l/ha Amistar 1,0 l/ha Juwel

Tab. 11: Standard-Applikationsplan für Gesundvarianten (Standort Oberding 1998, Versuch: OV1)

Die Vorbehandlung zu EC 31 mit 0,3 l/ha Fortress und 1,5 l/ha Bravo verhinderte, wie auch in der Kontrolle (s. Abb. 14), das Aufkommen von Mehltau. Der frühe Inokulumaufbau anderer Schaderreger wurde sehr effektiv gebremst. Im Fungizidvergleich wurden in der Hauptvegetationszeit keine optisch wahrnehmbaren Unterschiede in der Behandlungseffizienz festgestellt. Die assimilierenden und für die Ertragsbildung essentiellen Blattorgane der in Tab. 11 aufgeführten Standardvarianten waren bis in die späte Kornfüllung ohne Krankheitssymptome. Selbst in der Kontrolle, die, ausgenommen die Grundbehandlung mit Fortress und Bravo, dann unbehandelt blieb, stellte sich Befall erst nach EC 71 auf der Blattetage F-2 ein (s. Abb. 14).

Die Abschlußbonitur in EC 85/87 (Abb. 15) belegte die ausgesprochen gute Fungizidpotenz der verwendeten Präparate hinreichend genau. Erwartungsgemäß war die Opus-Behandlungsvariante geringfügig schwächer in der Dauerwirkung als die Strobilurin-Varianten. Die Hauptindikation *Septoria nodorum* konnte sich deshalb noch zu diesem späten Boniturtermin auf der Blattetage F-1 etablieren. Dem Befall der drei Krankheitserreger wird in allen Behandlungsvarianten keine Ertragsrelevanz zugeordnet.

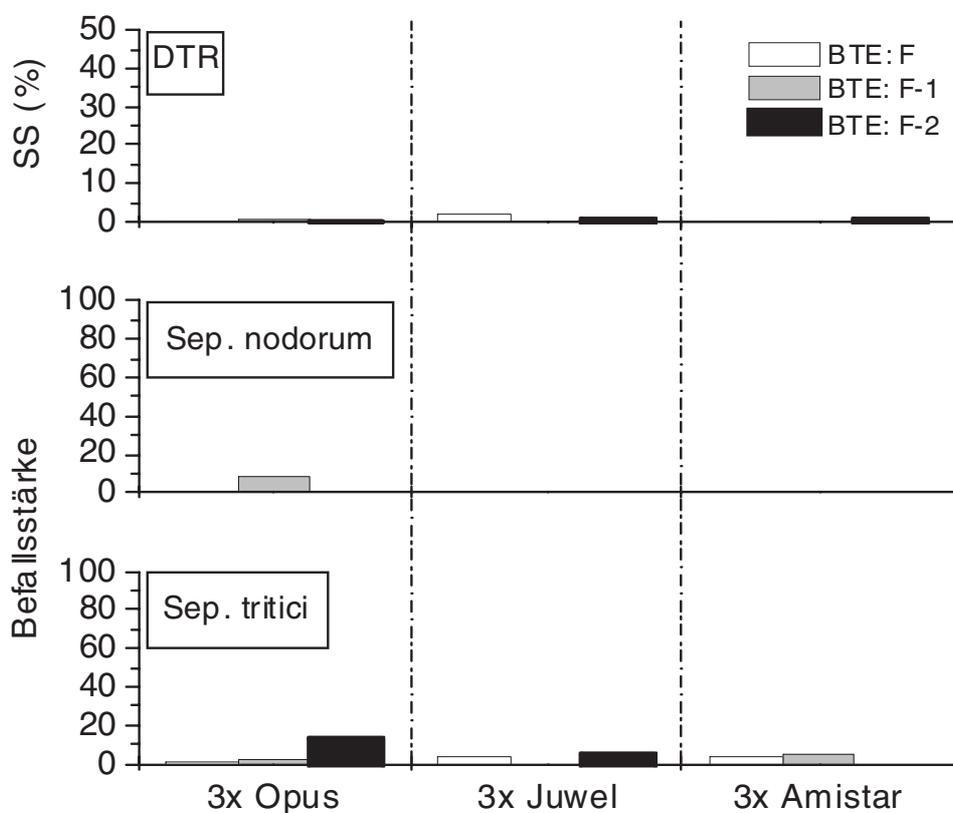


Abb. 15: Behandlungseffizienz dreimaliger Fungizidanwendungen gegenüber *Septoria tritici*, *Septoria nodorum* und *Drechslera tritici repentis*; Abschlußbonitur EC 85/87 auf den Blatttagen F bis F-2 (Standort Oberding 1998, Sorte: 'Astron', Versuch: OV1, BTE = Blatttage)

5.2 Effekte strobilurinhaltiger Fungizide auf die Ertrags- und Biomassebildung

Über die Wirkung auf Schadfaktoren hinaus, wurden durch Behandlungen mit strobilurinhaltigen Fungiziden schon im Vorfeld dieser Arbeit Ertragseffekte bei der Biomasse und dem Kornertrag beobachtet, die über die bloße Vermeidung der durch phytopathogene Schadpilze verursachten Ertragsverluste hinausgingen. Dies wird im allgemeinen auf physiologische Zusatzwirkungen zurückgeführt. Unter Feldbedingungen ist dies bisher nicht näher untersucht worden. Grundlage dieser Arbeit ist deshalb die Bewertung der Biomasseentwicklung und der Ertragsleistung an maximal fungizidgeschützten Varianten. Hierdurch sollte es möglich sein, Pathogenwirkungen weitestgehend auszuschließen. Mehrerträge gegenüber den besten Gesundheitsstandards auf Azolbasis sollten dann kausal auf nichtfungizide Nebeneffekte der Wirkstoffgruppe der Strobilurine zurückzuführen sein.

5.2.1 Kornerträge

Die relativen Kornertragsleistungen der dreimal behandelten Fungizidvarianten von insgesamt sieben Winterweizensorten sind in Abb. 16 dem jeweiligen Ertragsniveau der Kontrollen (= 100%) gegenübergestellt.

Das Ertragsniveau der Kontrollparzellen von nahezu 90 dt/ha läßt bereits eine hohe Leistungsfähigkeit im Mittel der Versuchsjahre, -standorte und über die angebauten Sorten erkennen. Ertragsverluste, welche durch die dreimalige Applikation mit voller Aufwandmengen von Opus Top (1,5 l/ha), Opus (1,5 l/ha + Vorbehandlung mit 0,3 l/ha Fortress und 1,5 l/ha Bravo zu EC 31) oder Sportak Delta (1,25 l/ha) verhindert werden konnten, liegen im Durchschnitt bei ca. 8%. Dabei schwankte die Ertragswirksamkeit der Behandlungen zwischen +22% ('Batis', 1997; 3x 1,5 l/ha Opus Top; Düngungsniveau N1, Weihenstephan) und -10% ('Bussard', 1997; 3x 1,5 l/ha Opus Top; Düngungsniveau N1, Roggenstein) relativ zur Kontrolle. Der negative Ertrag ist eindeutig auf Standorteinflüsse zurückzuführen.

Die angebauten Sorten reagierten in den Einzeljahren differenziert. Das hohe Ertragsniveau von 1996 in den Sorten 'Contra' (Weihenstephan) und 'Toronto' (Roggenstein) ist in erster Linie auf die lange Vegetationszeit und die sehr gute Wasserversorgung zur Blüte und Kornfüllung zurückzuführen. Das reichliche und stetige N-Angebot aus dem Boden (s. Abb. 11), ein niedriger Krankheitsdruck und eine sehr gesunde Abreife zeichnen für den geringen Effekt der Intensitätssteigerung durch die Standardfungizidbehandlungen (Opus/Top, Sportak Delta, Abb. 16) verantwortlich. Überdurchschnittlich gut, mit bis zu 22% Mehrertrag gegenüber der Kontrolle, schnitten die Sorten 'Astron' und 'Batis' in 1996 und 1997 am Standort Weihenstephan ab. 1998 war deren Ertragsabstufungen, verglichen zur Kontrolle, weniger auffällig.

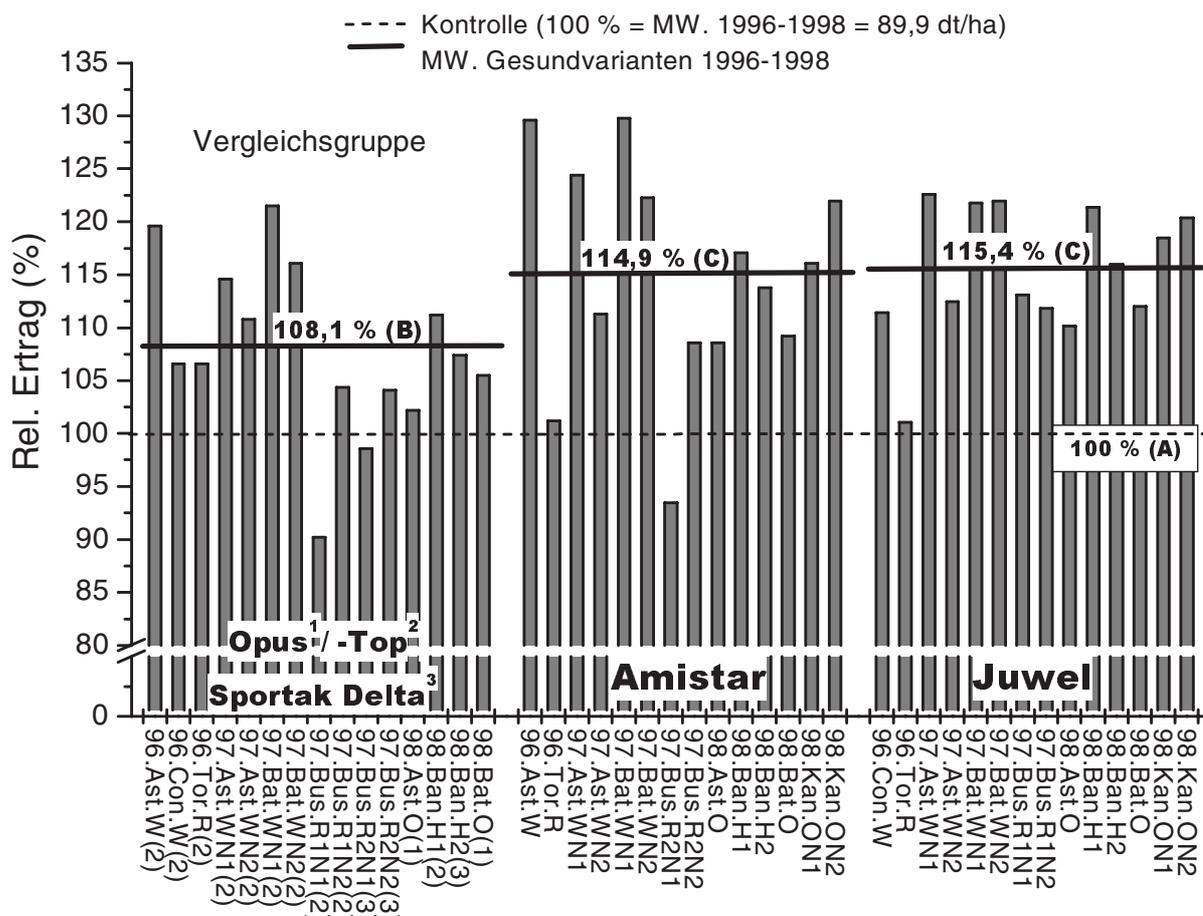


Abb. 16: Vergleich der rel. Erträge der Versuchsserie 1996 bis 1998 (Variantenbeschriftungen sind in Tab. 12 erläutert, N = N-Stufe s. Material und Methoden, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz der Erträge an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 4$)

Standort	Versuchsjahr	Sorte	3x Behandlung in EC 32, 39, 59/61 mit:
Roggenstein (R)	1996	'Toronto' (Tor.)	Opus Top / Amistar / Juwel
	1997	'Bussard' (Bus.)	Opus Top / Sportak Delta / Amistar / Juwel
Weihenstephan (W)	1996	'Astron' (Ast.)	Opus Top / Amistar
	1997	'Astron' / 'Batis'	Opus Top / Sportak Delta / Amistar / Juwel
Oberding (O)	1998	'Astron'	Opus / Amistar / Juwel
		'Batis' (Bat.)	Opus / Amistar / Juwel
Haxthausen (H)	1998	'Kanzler' (Kan.)	Amistar / Juwel
		'Bandit' (Ban.)	Opus Top / Sportak Delta / Amistar / Juwel

Tab. 12: Zuordnung von Standort, Versuchsjahr, Sorte und Behandlung der Gesundvarianten (immer volle zugelassene Aufwandmenge)

Bedingt durch die Vorbehandlung des gesamten Versuches (auch Kontrolle) mit 0,3 l/ha Fortress und 1,5 l/ha Bravo, erzielte der etwas später reifende Typ 'Astron' am Standort Oberding in 1998 einen Ertragszuwachs von 4% relativ zur Kontrolle. Bei dem mittel bis früh abreifenden 'Batis' lagen die Ertragszuwächse durch die dreimalige Opus-Behandlung bei ca. 5%. Die anderen Sorten schwankten mit jahrgangsabhängiger Ausprägung um den Ertragsmittelwert von rel. 108,1%.

Die Gesundvarianten auf der Basis von Behandlungen mit Amistar bzw. Juwel erzielten gegenüber dem Niveau der Kontrollen ein Ertragsplus von ca. 15%. Relativ zur Vergleichsgruppe konnten im Schnitt der Versuchsserie und der Sorten ein statistisch gesicherter Mehrertrag von 7% ermittelt werden (Abb. 16). Für das Jahr 1996 gelang es, nicht direkte pflanzenphysiologische Wirkungen von Fungiziden gegenüber ihren fungitoxischen Effekten abzugrenzen. Die strobilurinhaltenen Fungizide waren ausgezeichnet in der Lage, hohe Kornerträge zu sichern und Ertragsverluste zu minimieren. Allerdings war die Wirkung der strobilurinfreien Spritzfolgen und der unbehandelten Kontrolle vergleichbar gut, so daß nicht grundsätzlich davon ausgegangen werden kann, daß durch Einsatz von Strobilurinpräparaten gegenüber der Anwendung strobilurinfreier Fungizide Mehrerträge erzielt werden. Die Juwel-Applikationen zeichneten über die Jahre in den Gesundvarianten mit größter Ertragsstabilität, bezogen auf das mittlere Niveau von 115,4%. Amistar-Behandlungen hingegen erzielten die stärksten Ertragszuwächse die bis zu 30% erreichten ('Astron', 1996, Weihenstephan, 'Batis' 1997 Düngungsniveau N1, Weihenstephan), unterlagen aber stärker spezifischen Jahrgangs- und Standorteffekten. So wurde 1997 (Standort Roggenstein) einmalig Ertragsverlust in Höhe von 6% an der Sorte 'Bussard' in der N-Stufe 1 ermittelt (Abb. 16 Variante: 97. Bus. R2N1 Amistar).

Korrelation	Behandlung	Relativ Ertrag	Sorte
Behandlung	1,0	0,72 **	0,0
Relativ Ertrag	0,72 **	1,0	-0,22
Sorte	0,0	-0,22	1,0

Tab. 13: Korrelationsanalyse (Spearman-Rho) über die Faktoren: Behandlung, Relativ- Ertrag (%) und Sorte (Zeitraum 1996 bis 1998, **Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant, n = 60)

Die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Behandlung, Sorte und rel. Ertrag ergab eine signifikant positive Korrelation ($R = 0,72$) ausschließlich zwischen den Faktoren Behandlung und rel. Kornertrag (Tab. 13). Damit besteht, in Bezug auf eine über die Vermeidung von Schädwirkungen phytopathogener Pilze hinausgehende Ertragswirksamkeit strobilurinhaltiger Fungizide, keine Sortenpräferenz.

Die Ergebnisse der Ertragsstrukturzusammensetzung zeigten neben bekannten Wirkungen differenzierter Stickstoffdüngung auf die Parameter 'Anzahl ährentragende Halme' und 'Kornzahl pro Ähre' (Daten nicht dargestellt) Wirkstoffeinflüsse ausschließlich im Tausendkorngewicht (TKG). Typische Ergebnisse zur Wirkung strobilurinhaltiger Fungizide

auf das TKG in der Versuchsserie 1996 bis 1998 sind in der Fallstudie in Abb. 17 für die durchgängig analysierten Behandlungsvarianten dargestellt. Das TKG war nicht nur konstitutiv beeinflusster Ertragsparameter, es bestimmte auch das Ertragsniveau der unterschiedlichen Fungizidbehandlungsvarianten. Am Beispiel mit den Sorten 'Astron' und 'Batis' (Standort Oberding 1998) ist dies in Abb. 18 dargestellt.

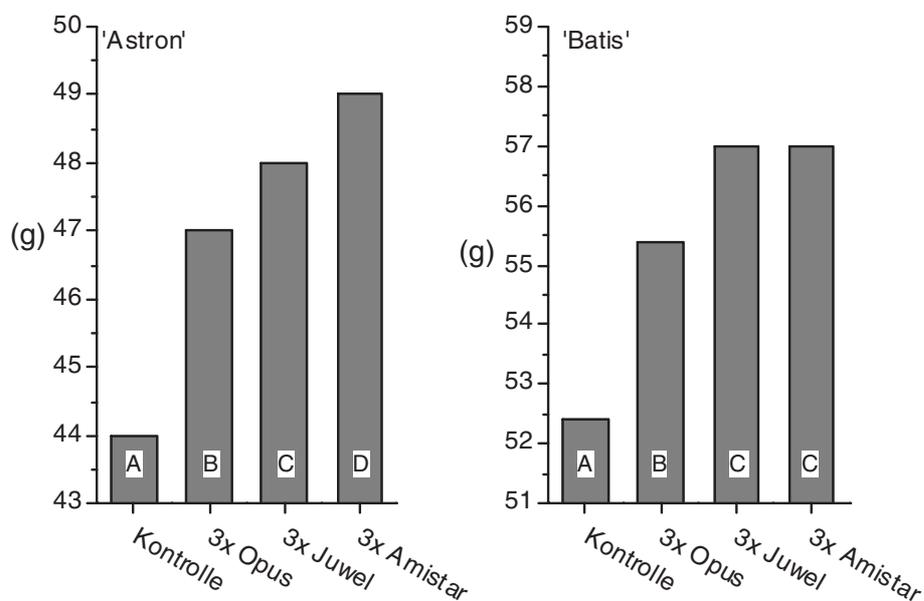


Abb. 17: Einfluß von Fungizidbehandlungen auf das Tausendkorngewicht (g), Fallstudie mit den Sorten 'Astron' und 'Batis' (Standort Oberding 1998, Versuche: OV1, OV2, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 4$)

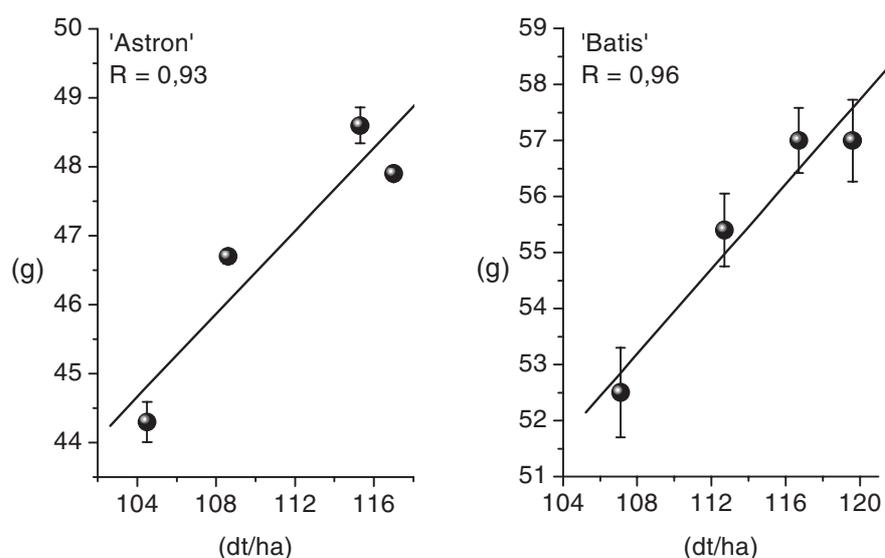


Abb. 18: Beziehung zwischen Tausendkorngewicht (g) und Ertrag (dt/ha), (Fallstudie mit den Sorten 'Astron' und 'Batis', Standort Oberding 1998, Versuche: OV1, OV2, $n = 4$)

5.2.2 Stickstoffaufnahme und -verwertung

Stickstoff ist ein signifikant ertragswirksamer Produktionsfaktor. Es wurde untersucht, inwieweit sich dabei Strobilurin-behandelte Pflanzen gegenüber Azol-behandelten Pflanzen in der Stickstoffaufnahme- und -verwertung unterscheiden.

Variante	N _{Korn} kg/ha		N _{Stroh} kg/ha		N _{Gesamt} kg/ha	
Kontrolle	221	a	26	a	247	a
3x Opus Top	237	a	31	a	268	ab
3x Juwel	221	a	24	a	245	a

Tab. 14: Gesamt-Stickstoffverwertung und -Aufteilung in Korn- und Strohfraction nach Fungizidanwendungen der Winterweizensorte 'Toronto' (Standort Roggenstein 1996, Versuch: R1, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 4$)

Der Stickstoffstatus zur Ernte 1996 der Sorte 'Toronto' ist in Tab. 14 dargestellt. Schon die Kontrollvariante erreichte mit 221 kg N/ha im Korn ein hohes Niveau. Fungizide brachten keine Effizienzsteigerung bei der Stickstoffeinlagerung ins Korn. Die Stickstoffgehalte der Strohfraction sind durchgängig niedrig. Signifikante Unterschiede bei der Stickstoffverwertung wurden nicht festgestellt.

Die Untersuchungen zur Stickstoffaufnahme und -verwertung 1997 wurden durch frühe Beprobungen (EC 32 bis EC 39) für Nitratreduktaseaktivitätsbestimmungen (Uni. Würzburg, Kaiser) begleitet. Diese erbrachten, unter den speziellen Bedingungen des Standorts Roggenstein, für dieses Versuchsjahr keine verwertbaren Ergebnisse einer Steigerung der Nitratreduktaseaktivität nach Behandlung mit Juwel (*KAISER, mündl. Mitteilung 1997*). Untersuchungen der Stickstoffverwertung in verschiedenen Pflanzenfraktionen wurden aufgrund der drastischen Auswirkungen der langen Trockenheit auf die Pflanzen, die zu starker standörtlicher Heterogenität führte, nicht ausgewertet.

Diese stark jahrgangsabhängige Prägung der Ergebnisse ließ keine konstitutive Wirkung von Juwel auf die Stickstoffphysiologie erkennen. Ein spezielles Versuchsdesign sollte diesen Sachverhalt nochmals 1998 aufgreifen. Über die Vorbehandlung der Versuchsfläche mit 0,3 l/ha Fortress und 1,5 l/ha Bravo sollte eine gesunde und damit eine über die Varianten potentiell gleiche Leistungsfähigkeit der Pflanzen, über die Phase der Hauptstickstoffaufnahme hinaus erreicht werden, so daß Leistungsunterschiede bei der Stickstoffaufnahme maßgeblich über Nebenwirkungen oder Wirkungen auf Seneszenzprozesse erklärbar werden.

Ergebnisse

Eine erste Niveaubestimmung der Stickstoffverwertung erfolgte zu EC 32. Mit 82 kg N/ha (Tab. 15) war der Bestand optimal versorgt. Die zur Speicherung gelangten Stickstoffmengen in der oberirdischen Biomasse wiesen über weite Strecken hin kaum Differenzierungen zwischen den Varianten auf. Bis EC 89 haben die Pflanzen noch Stickstoff aufgenommen. Die Schädigung phytopathogener Pilze konnten jetzt erstmals statistisch erfaßt werden, wie der Vergleich der Kontrolle mit den Fungizidanwendungen zeigt. Die Juwel-Variante erreichte mit insgesamt 306 kg N/ha das höchste Niveau, unterschied sich statistisch jedoch nicht zu den übrigen Fungizidbehandlungen.

Varianten	N _{gesamt} kg/ha	N _{gesamt} kg/ha	N _{gesamt} kg/ha	N _{gesamt} kg/ha
	EC 32	EC 51	EC 75	EC 89
Kontrolle	82	168 a	224 a	266 a
3x Opus	82	167 a	229 a	294 b
3x Juwel	82	164 a	215 a	306 b
3x Amistar	82	171 a	236 a	296 b

Tab. 15: Gesamt-Stickstoffverwertung oberirdischer Biomasse der Winterweizensorte 'Batis' nach Fungizidanwendungen (Standort Oberding 1998, Versuch: OV2, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 4$)

Varianten	Rohprotein 1996		Rohprotein 1997		Rohprotein 1998	
	'Toronto'		'Bussard'		'Batis'	
Kontrolle	13,6 %	a	14,1 %	a	13,7 %	a
3x Opus/Top	13,7 %	a	15,4 %	ab	14,1 %	b
3x Juwel	13,5 %	a	15,9 %	b	14,0 %	ab
3x Amistar	--		--		14,1 %	b

Tab. 16: Korn-Rohproteinwerte verschiedener Behandlungsvarianten in den Versuchsjahren 1996 bis 1998 (-- = keine Messung, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 4$)

Der Qualitätsparameter Rohproteingehalt lag 1996 in der Sorte 'Toronto' in allen Varianten im engen Bereich von 13,2% bis 13,7% (Tab. 16), bezogen auf die Korntrockensubstanz. 1997 sind die Korn-Rohproteinwerte der Sorte 'Bussard' höher als im Vorjahresergebnis mit der Sorte 'Toronto'. Neben dem Sorteneinfluß spielen hier die unterschiedlichen Wachstumsbedingungen eine Rolle. Die Rohproteingehalte der Fungizidbehandlungen sind im Vergleich zu der Kontrolle angehoben. Statistisch ließ sich aber nur die Juwel-Variante zur Kontrolle differenzieren. 1998 weisen die Ergebnisse ausschließlich die Wirkung der eingesetzten Fungizide nach, wie der Vergleich zur Kontrolle zeigt. Zusätzliche Erkenntnisse durch die unterschiedlichen Behandlungsvarianten konnten nicht gewonnen werden.

5.2.3 Gesamttrockenmasse

Die zusätzliche Ertragswirkung der Strobilurine könnte auf Veränderungen der regulatorischen Ebene (z.B. Hormonhomöostase) und/oder der metabolischen Ebene (z.B. Photosynthese, Atmung) beruhen. Im Ergebnis kann dann eine Förderung ertragsrelevanter Parameter eintreten. Die Trockenmasse ist das Ergebnis der Fähigkeit der Pflanze, jahrgangsabhängig unterschiedlich verfügbare Ressourcen wie mineralische Nährstoffe, Wasser und Licht zu nutzen. Sie ist damit eine meßbare Leistung des vegetativen Systems. Unter Feldbedingungen wurde die Wirkung strobilurinhaltiger Fungizide einschließlich der Kombination aus Azol und Strobilurin im Vergleich zu ausschließlich azolhaltigen Fungiziden auf die oberirdische Trockenmassebildung überprüft. Die erzielten Erkenntnisse werden an zwei Einzelstandorten für die Jahre 1997 und 1998 erläutert.

Standort Roggenstein 1997

Abbildung 19 gibt einen Überblick über die Trockenmasseentwicklung ausgewählter Behandlungsvarianten über den Vegetationszeitraum EC 55 bis EC 87/89 (Sorte: 'Bussard').

Das erste Schnittergebnis dokumentiert die Auswirkungen des beinahe sechs Wochen wirksamen Bodenwasserdefizites in der Hauptwachstumsphase des Weizens. So wurden bis zur Mitte des Ährenschiebens (EC 55) lediglich Trockenmassewerte zwischen 70 dt/ha in der unbehandelten Kontrolle und etwa 90 dt/ha in den Fungizidvarianten gemessen. Innerhalb der Fungizidvarianten (Opus Top, Opus Top + BAS 490, Juwel) wurden statistisch keine Präferenzen gefunden.

Bei dem Witterungswechsel in der ersten Junidekade und dessen Wirkung auf die Bodenwasserversorgung und die Stickstoffmineralisierung erholte sich der Bestand zunehmend. Bei zunächst verhaltenem Zuwachs (EC 61) wurde infolge der weiterhin günstigen Wachstumsbedingungen ein sprunghafter Anstieg der Trockensubstanzsynthese bis Ende der Kornfüllung (EC 79) festgestellt. Mit ca. 170 dt/ha hatte die Behandlungsvariante Juwel zu diesem Zeitpunkt signifikant höheres Trockensubstanzgewicht, verglichen zum Gesundheitsstandard Opus Top. Entsprechend stärker ist die Kompensation der Streißphase bei höherer Syntheseleistung zu werten. Die in der Tendenz beste Wirkung wies die Kombination Opus Top + BAS 490 auf.

Die Wachstumsbedingungen bis Ende Juli förderten in den Beständen der unbehandelten Kontrolle und des Gesundheitsstandards die erneute Bildung von Seitentrieben (Zwiewuchs). Dies erklärt den ungewöhnlich langen Trockenmassezuwachs, bis in die Teigreife hinein (EC 87) und belegt eindrucksvoll das Phänomen der Entkopplung von Stroh- und Kornreife.

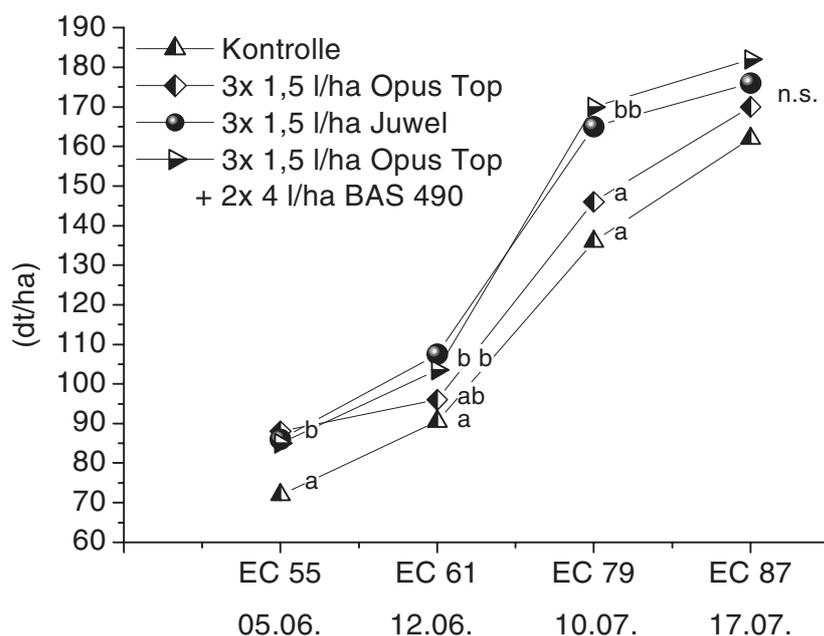


Abb. 19: Entwicklung der Trockenmasse der unbehandelten Kontrolle und ausgewählter Fungizidvarianten (Standort Roggenstein 1997, Sorte: 'Bussard', Versuch: RV1, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanz bei $p \leq 0,05$ Duncan Test, $n = 4$)

Standort Oberding 1998

Vorstudien im Hohertragsjahr 1996 hatten gezeigt, daß unter günstigen Witterungsbedingungen und einem späten Auftreten ertragsphysiologisch relevanter Pathogene kaum Differenzierungen der Trockensubstanzsyntheseleistung zwischen unbehandelter Kontrolle und maximal fungizidgeschützten Pflanzen auftraten. Die Ergebnisse aus 1997 zeigten, bei ebenfalls schwachem Befall, aber eine Förderung bei der Kompensationsleistung der Strobilurin-behandelten Pflanzen gegenüber der Wirkung von Trockenstreß. Über die Wahl der blattgesunden Sorte 'Batis' und einer Vorbehandlung in EC 31 des gesamten Versuches mit 0,3 l/ha Fortress und 1,5 l/ha Bravo konnte der Einfluß von pilzlichen Schaderregern bis weit in die späten Entwicklungsabschnitte unterdrückt werden (vgl. Kap. 5.1.3). So konnte an der teilgeschützten Kontrolle der Einfluß strobilurinhaltiger Fungizide auf die Trockensubstanzsyntheseleistung verglichen werden.

In Tabelle 17 werden die Ergebnisse von sechs Biomasseschnitten (EC 32, 51, 69, 75, 89, 99) ausgewählter Fungizidbehandlungsvarianten dargestellt. Bei günstigen Wachstumsbedingungen synthetisierten die Pflanzen über den Entwicklungsabschnitt EC 32 bis EC 92 im Mittel 164 dt/ha Trockenmasse (Ausgangsniveau 25 dt/ha zu EC 32). Die Fungizidgesundvarianten erreichten, in Gegenüberstellung zur Kontrolle, lediglich eine moderate Steigerung. Dies ist wesentlich auf den späten Übergang der Hauptschädiger

Ergebnisse

Drechslera tritici repentis und *Septoria nodorum* in die epidemische Phase zurückzuführen. Trockensubstanzverluste durch die Schadwirkung dieser Pilze liegen im Vergleich zum mittleren Niveau der Fungizidgesundvarianten (164 dt/ha) im Schnitt bei 13,6 dt/ha. Diese Gewichts Differenz konnte statistisch nicht gesichert werden.

Eine fördernde Wirkung der dreimalig applizierten strobilurinhaltenen Fungizide Amistar bzw. Juwel konnte gegenüber dem Gesundstandard (3x Opus Top) für das Jahr 1998 nur in der Tendenz gemessen werden.

Variante	Δ TS EC 32 - EC 99	Δ TS zur Kontrolle
Ausgangsniveau EC 32:	25 dt/ha	
Kontrolle	155 dt/ha	
3x 1,5 l/ha Opus	163 dt/ha	+ 8 dt/ha
3x 1,0 l/ha Juwel	169 dt/ha	+14 dt/ha
3x 1,0 l/ha Amistar	174 dt/ha	+19 dt/ha
Mittel	164 dt/ha	13,6 dt/ha
Signifikanzniveau	n.s.	

Tab. 17: Trockensubstanzbildung (Δ TS) der oberirdischen Biomasse unterschiedlicher Behandlungsvarianten über den Zeitraum EC 32 bis EC 99 der Sorte 'Batis' (Standort Oberding 1998, Versuch: OV2, n.s. = nicht signifikant, n = 4)

5.2.4 Blattflächenexpansion

Das Ausmaß, in dem ein wachsendes Blatt expandieren kann, ist im starken Maße von den Umweltbedingungen abhängig. Insbesondere die Wassernutzungseffizienz der Pflanze zum Zeitpunkt des Blattwachstums determiniert den Prozeß der Blattflächenexpansion (Zellstreckung durch Turgordruck). So sollte mit der Fahnenblattflächenmessung ein empfindlicher Parameter für die Bewertung physiologischer Nebenwirkungen strobilurinhaltenen Fungizide zur Verfügung stehen, wenn diese direkt oder indirekt die Wassernutzungseffizienz der Pflanze tangieren.

1996 erfolgte zu mehreren Terminen eine Bestimmung der Fläche ausdifferenzierter Blattetagen (F-2 und F-1 zu EC 51; F-1 und F zu EC 71; F zu EC 83), an der Winterweizensorte 'Astron'. Bei dreimaliger Applikation von 1,5 l/ha Opus Top, 1,0 l/ha BAS 490 und 1,0 l/ha Juwel wurde keine Wirkung auf die Blattflächenentwicklung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle gemessen. Damit reihen sich diese Ergebnisse in die bisher dargestellten Resultate der Ertrags- und Trockensubstanzbildung des Hohertragsjahres 1996 ein.

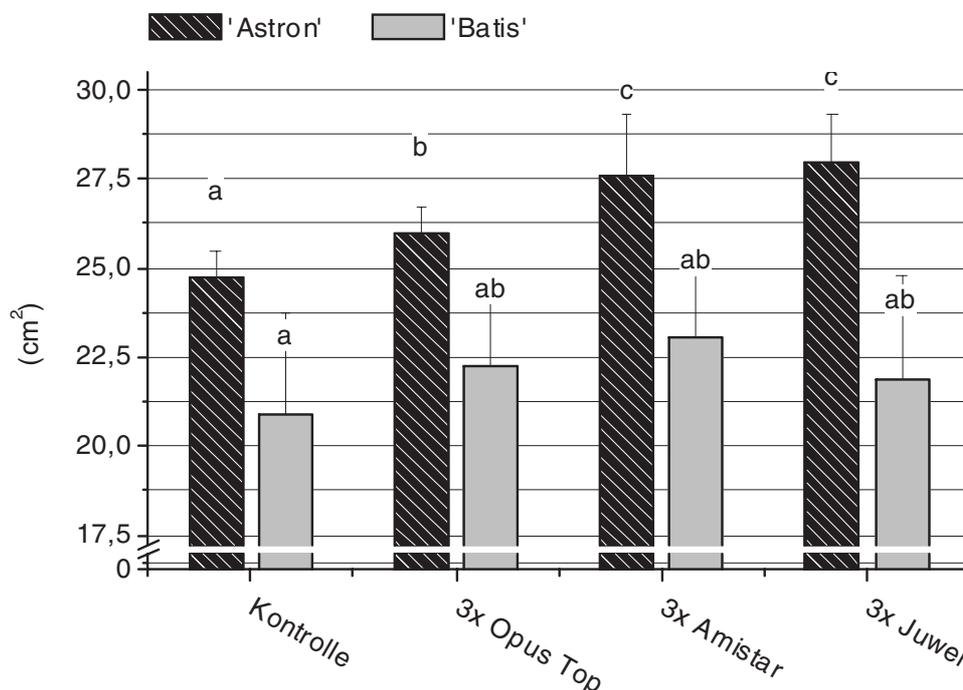


Abb. 20: Mittelwerte der Fahnenblattflächen unterschiedlicher Behandlungsvarianten aus vier Einzelmessungen im Entwicklungsabschnitt EC 65 - EC 81 (Standort Weihenstephan 1997, Sorten: 'Astron', 'Batis', Versuche: WV1, WV2, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 120$)

Die Ergebnisse der Fahnenblattflächenmessungen der streßempfindlicheren Sorte 'Astron' und der robusten Sorte 'Batis' der Jahre 1997 und 1998 sind in Abb. 20 und Abb. 21 zusammengefaßt.

Neben morphologischen Sortenunterschieden ('Batis' hat kleinere Fahnenblattflächen als 'Astron') konnten in beiden Jahren auch Sorten-spezifische Reaktionen gegenüber den Fungizidbehandlungen gemessen werden. So reagiert 'Batis' in beiden Jahren verhalten auf die dreimalige Behandlung mit Opus Top, bzw. Opus, sowie die strobilurinhaltigen Fungizide Amistar und Juwel, verglichen zur Kontrolle. Die gemessenen Mehrflächen in den Behandlungsvarianten konnten in beiden Vegetationsjahren statistisch nicht eindeutig von der Kontrolle unterschieden werden. Dieses Sortenmerkmal trat durch die Vorbehandlung der Versuchsfläche am Standort Oberding 1998 (0,3 l/ha Fortress + 1,5 l/ha Bravo in EC 31) und in Kombination mit der guten Krankheitsresistenz der Sorte 'Batis' noch deutlicher auf. Statistisch ließ sich keine Fungizidbehandlungsvariante von der Kontrolle unterscheiden.

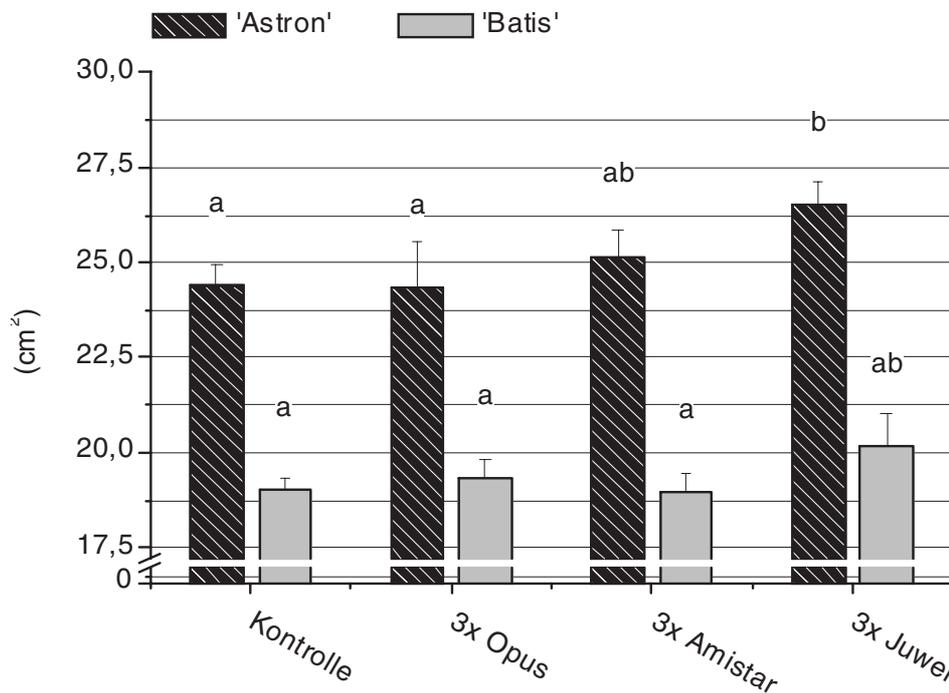


Abb. 21: Mittelwerte der Fahnenblattflächen unterschiedlicher Behandlungsvarianten aus vier Einzelmessungen im Entwicklungsabschnitt EC 65 - EC 81 (Standort Oberding 1998, Sorten: 'Astron', 'Batis', Versuche: OV1, OV2, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 120$)

Die Behandlungen mit Juwel (3x 1,0 l/ha) und Amistar (3x 1,0 l/ha) steigerten in beiden Jahren die Fahnenblattfläche der Sorte 'Astron' (Abb. 20, 21). Aus dem Vergleich zum Gesundstandard (3x 1,5 l/ha Opus / Opus Top) ist abzuleiten, daß die deutlich größeren Fahnenblätter nicht auf unterschiedliche Fungizidleistungen zurückzuführen sind. Eine Verbesserung der Wassernutzungseffizienz der streßempfindlichen Sorte 'Astron' könnte hier ursächlich zugrunde liegen. Dies wird durch die Ergebnisse des Trockenstreßjahres 1997 untermauert, in dem die stärksten Abstufungen zum Gesundstandard und zur unbehandelten Kontrolle gemessen wurden.

5.2.5 Remissionsspektroskopie

Meßverfahren wie die Remissionsspektroskopie machen sich die Lichtrückstrahlung von Pflanzenbeständen im sichtbaren (VIS = 400 nm - 700 nm) und nahen Infrarot (NIR = 700 nm - 1050 nm) zunutze. Die daraus berechneten Vegetationsindices (z.B. Normalisierter Differenz Vegetations-Index NDVI) charakterisieren ertragsphysiologisch relevante Pflanzenzustände auf Parzellen- oder Bestandesebene. So wird der NDVI beispielsweise für die Ertragsabschätzung bei Getreide verwendet, weitere Indices werden zur Charakterisierung von Pflanzenstreß genutzt. Im Zusammenhang mit dem wachsenden Interesse an der Reflexionsspektroskopie für die Anwendungen im Agrarbereich und dem Anliegen der angewandt arbeitenden Phytopathologie, ertragsphysiologische Abläufe zerstörungsfrei direkt auf Bestandesebene beschreiben zu können, wurde dieses Meßverfahren im Jahr 1997 in die vorliegende Arbeit integriert und geprüft.

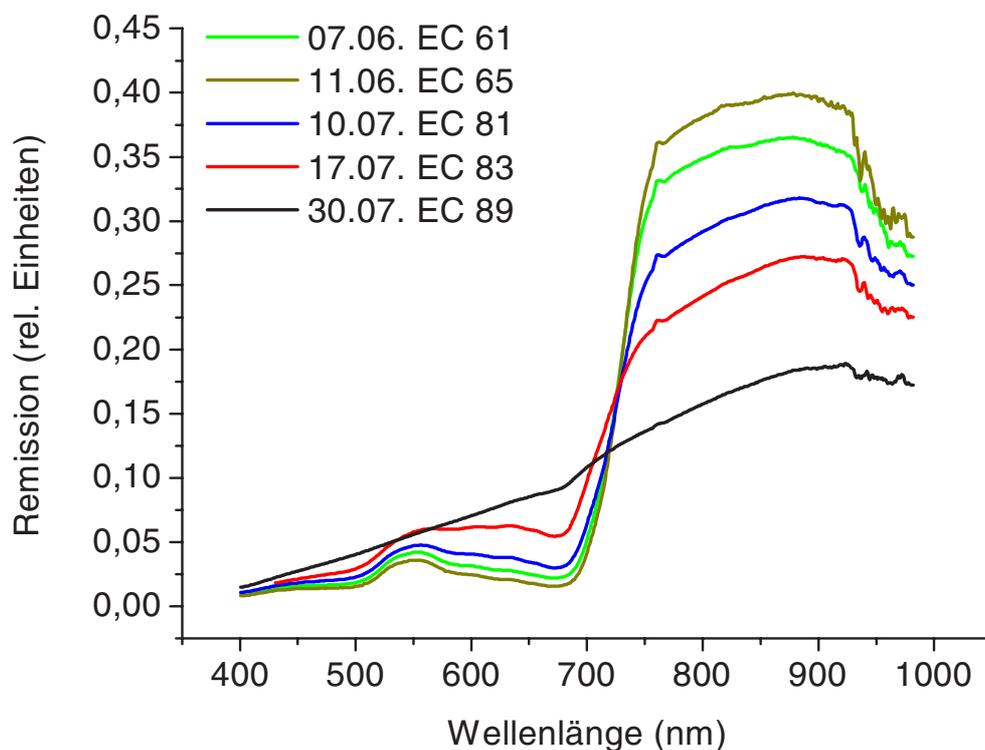


Abb. 22: Veränderung der Remissionssignatur der unbehandelten Kontrolle im Untersuchungszeitraum EC 61 (7.6.) bis EC 89 (30.7.) (Standort Roggenstein 1997, Sorte: 'Bussard', Versuch: RV1, Düngung: 210 kg N/ha, n = 4)

1997 wurde zu fünf Terminen ein Feldspektrometer eingesetzt. In Abb. 22 sind Pflanzenspektren (Remissionssignaturen) einer unbehandelten Kontrolle in ihrer Veränderung über den Zeitraum 7. Juni (EC 61) bis 30. Juli (EC 89) dargestellt.

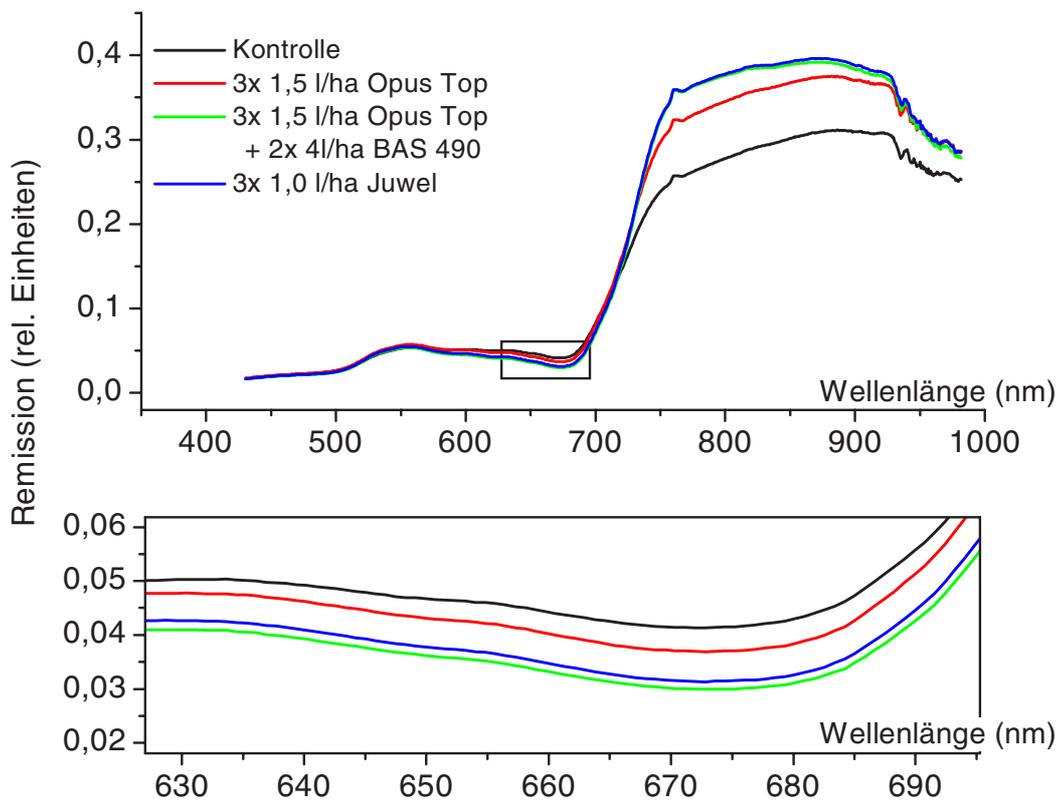


Abb. 23: Vergleich der Remissionssignaturen zu EC 83 (17.7.) unterschiedlicher Fungizidvarianten und Detailausschnitt im Wellenlängenband 630 nm - 690 nm (Standort Roggenstein 1997, Sorte: 'Bussard', Versuch: RV1, Düngung: 210 kg N/ha, n = 4)

Die Remissionssignatur einer Vegetation wird vorwiegend durch ein wellenlängenabhängiges Absorptions- und Remissionsvermögen der Blätter geprägt. Typisch ist das Fehlen von schmalen Absorptionsbanden (Abb. 22). Charakteristisch für grüne Vegetation ist die hohe Absorption im sichtbaren Licht (VIS), die im Bereich des grünen Lichts abnimmt (green-peak bei 550 nm) und der markante Anstieg der Remission im nahen Infrarot (NIR). Veränderungen der Bestandesarchitektur (Bestandesdichte, Biomasse, Blattflächenindex, Blattstellung) und der Pigmentausrüstung während der Meßkampagne wurden als Veränderungen in den Remissionssignaturen registriert. Am 7. Juni war der Pflanzenbestand der unbehandelten Kontrolle im Stadium der Blüte (EC 61). Der Aufwuchs des Winterweizen war durch den massiv wirksamen Trockenstreß (vergl. Kap. 4) verhalten. Die Remission charakterisiert demnach einen lichten, hellgrünen Bestand (s. Abb. 31). Der zweite Meßtermin dokumentiert die Vitalisierung der Weizenpflanzen. Analysen der Bodenwasserpotentiale und die Aufnahme der Bodenstickstoffmineralisierung (Kap. 5.1.1 und 5.1.2) verweisen auf die nun günstigen Umweltbedingungen als Auslöser für die im sichtbaren und nahen Infrarot-Lichtspektrum veränderten Rückstrahlungswerte. Vor allem rotes Licht wird am 11. Juni (EC 65) stärker absorbiert als zuvor (= gesteigerter Chlorophyllgehalt), die Remission im NIR nimmt zu (= Zunahme der Biomasse). Im Zuge

der für Weizen charakteristischen sequentiellen Blattseneszenz ist in den darauffolgenden Spektralaufnahmen (Zeitraum 10.7. EC 81 bis 30.7. EC 89) im Bereich des sichtbaren Lichtes (VIS) ein stetiger Anstieg der Remission festzustellen. Die Ursache dafür ist der Abbau der photosynthetisch aktiven Pigmente und der Verlust der grünen Blattfläche. Die zunehmende Nekrotisierung der Blätter, und die damit einhergehenden physiologischen und physikalischen Veränderungen im Blattgewebe, sind die Ursache für das Absinken im nahen Infrarot (NIR). Am 30. Juli (EC 89) ist der Bestand abgereift. Typisch ist der annähernd lineare Verlauf der Remissionssignatur, dem die charakteristischen Spektralmerkmale vitaler Pflanzen fehlen.

Index	Berechnung	Wellenlängenintervall
NDVI (Normalisierter Differenz Vegetations-Index)	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$	NIR = 660 nm-680 nm R = 840 nm- 860 nm
WBI (Wasserbanden-Index)	$WBI = R_{970} / R_{900}$	R = 970 nm bzw. 900 nm

Tab. 18: Vegetationsindices und ihre Berechnung

Die spektrale Diskriminierung der unterschiedlich behandelten Parzellen war zu EC 83 (17.7.) besonders deutlich (Abb. 23). In diesem Entwicklungsstadium zeichneten sich die Weizenbestände mit Anwendungen strobilurinhaltiger Fungizide (Juwel bzw. Opus Top + BAS 490) gegenüber Opus Top-Behandlungen und der Kontrolle durch höhere Chlorophyllgehalte, Blattflächenindices und geringerer Blattnekrotisierung aus. Daraus resultieren die höheren Absorptionswerte im gelben und roten Lichtwellenbereich (630 nm – 690 nm) und die höheren Remissionswerte im nahen Infrarot (700 nm - 1000 nm). Dies ist ein spektraler Beleg des 'Grün-Effektes' der Strobilurine.

Die gemessenen Spektren wurden in spezifische Informationseinheiten, die Indices, zergliedert. Berechnet wurden der NDVI (Normalisierter Differenz Vegetations-Index) und der WBI (Wasserbanden-Index) (Tab. 18).

Abbildung 24 zeigt den Verlauf des NDVI der Kontrolle und der Behandlungsvarianten im Untersuchungszeitraum 7.6. (EC 61) bis 30.7. (EC 89). Mit Beginn der Blüte (EC 61) bis zur Mitte der Blüte (EC 65) stieg der NDVI in allen Behandlungsvarianten an und erreichte ein Maximum. Dies ist das Resultat der veränderten Umweltbedingungen, in denen der Weizen das Wasser- und Stickstoffangebot in produktives Wachstum umsetzte. In den folgenden zwei Messungen charakterisiert der 'Grün-Effekt' der mit Strobilurinen behandelten Parzellen die Unterschiede im NDVI zu den anderen Behandlungsvarianten. Durch den Verlust der grünen Blattfläche und des Chlorophylls als sichtbares Zeichen der Seneszenz, nahm der NDVI zum letzten Meßtermin (30.7. EC 89) bei allen Varianten markant ab. Differenzierungen traten zu diesem Zeitpunkt nur noch zwischen Behandelt und Unbehandelt

auf. Diese Ergebnisse dokumentieren, daß Strobilurine die Vitalphase der Pflanzen ausdehnen, die Abreife aber nicht verzögern.

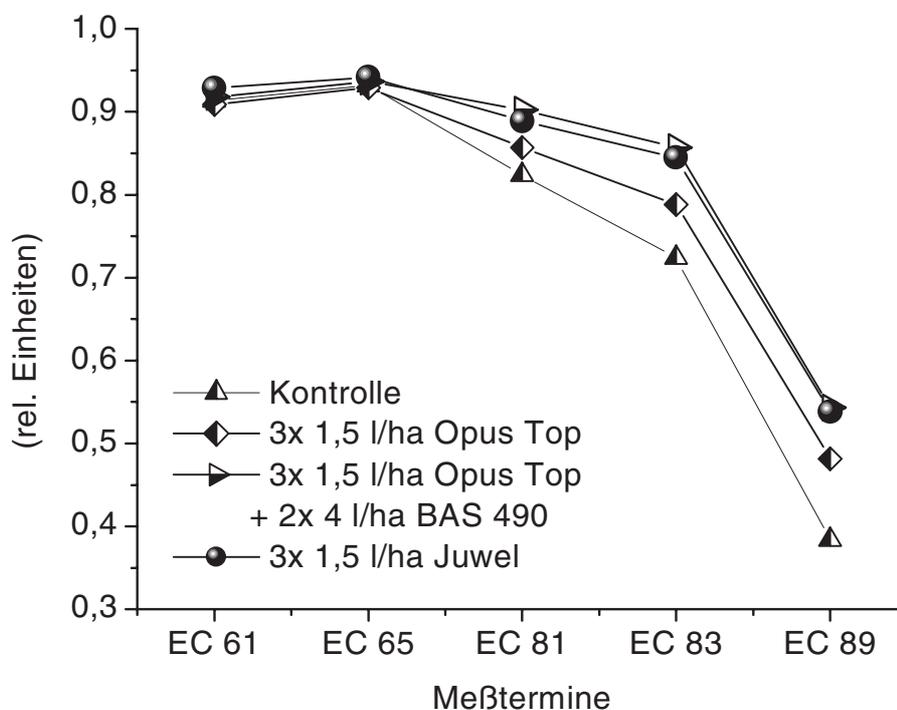


Abb. 24: Veränderung des NDVI der unbehandelten Kontrolle und unterschiedlicher Fungizidbehandlungen der Weizensorte 'Bussard' (Standort Roggenstein 1997, Sorte: 'Bussard', Versuch: RV1, Düngung: 210 kg N/ha, n = 4)

In der Berechnung des Wasserbanden-Index (WBI) fand die Beurteilung des rel. Gewebewassergehaltes der Behandlungsvarianten besondere Berücksichtigung. Die Abbildung 25 gibt eine Übersicht über die Ergebnisse der Behandlungsvarianten. Die Verlaufskurve des WBI ist reziprok zu der des NDVI (s. Abb. 24). Deutlicher als bei dem NDVI tritt eine Differenzierung zwischen den Strobilurin-Varianten zur Kontrolle und zum Gesundstandard auf. Bis zum 17.Juli (EC 83) wiesen die Strobilurin-Varianten die niedrigsten WBI-Werte auf. Damit kann auf höhere Gewebewassergehalte in diesen Varianten geschlossen werden. Die mit der Nekrotisierung bei fortschreitender Seneszenz gekoppelte Entwässerung des Blattgewebes war in den Fungizidvarianten verglichen zur Kontrolle verzögert. Deutlich ausgeprägter trat dies aber in den Behandlungsvarianten Jewel und Kombination Opus Top + BAS 490 auf. Wie bei dem NDVI nähern sich die WBI-Werte der Fungizidbehandlungen zum letzten Meßtermin deutlich. Die Daten belegen ebenfalls daß Strobilurine die Vitalphase der Pflanzen ausdehnen können, die Abreife aber nicht verzögern.

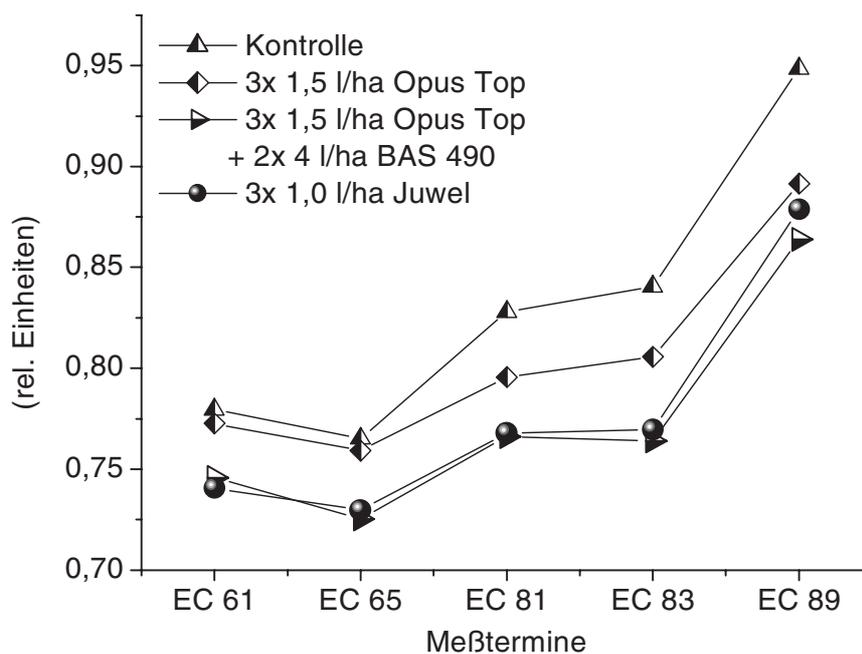


Abb. 25: Veränderung des Wasserband-Index (WBI) unterschiedlicher Behandlungsvarianten (Standort Roggenstein 1997, Sorte: 'Bussard', Versuch: RV1, Düngung: 210 kg N/ha, n = 4)

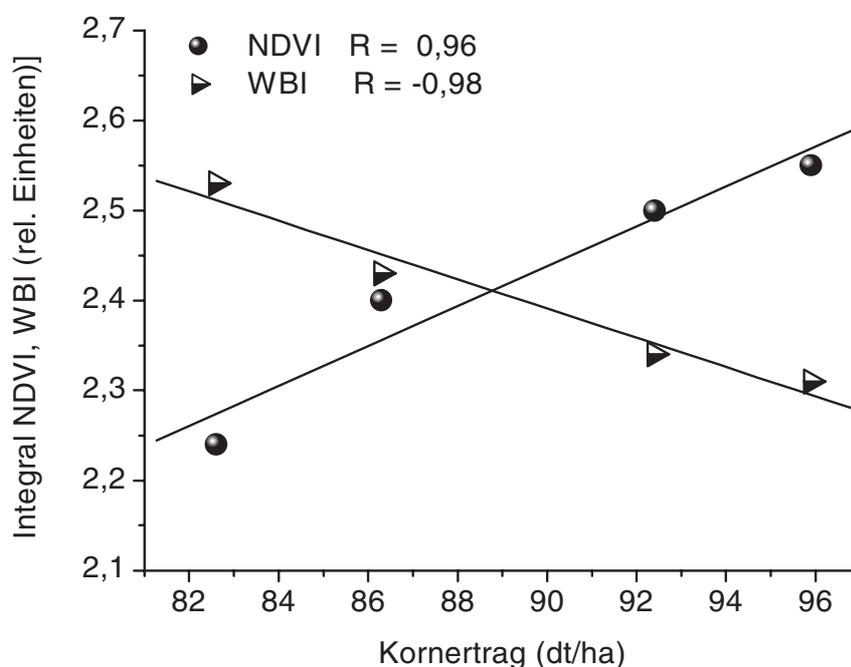


Abb. 26: Beziehung zwischen dem Integral des NDVI und des WBI und dem Kornertrag (dt/ha) der in Abb. 24 und 25 dargestellten Behandlungsvarianten; Zeitraum EC 65 bis EC 89 (Standort Roggenstein 1997, Sorte: 'Bussard', Versuch: RV1, Düngung: 210 kg N/ha, n = 4)

Da beide Indices (NDVI und WBI) ertragsessentielle Parameter wie Pigmentgehalt, grüne Blattfläche und Wassergehalt erkennen und quantitativ beschreiben, überrascht der enge Zusammenhang mit dem Kornertrag nicht (Abb. 26). Das Integral unter der Kurve von NDVI und von WBI im Entwicklungsphasenabschnitt EC 65 (Mitte Blüte, 11.6.) bis zur physiologischen Kornreife (EC 89, 30.7.) stand dabei in einer engen linearen Beziehung ($R_{NDVI} = 0,96$, $R_{WBI} = -0,98$) zum erzielten Ertrag der Behandlungsvarianten.

5.2.6 Fernerkundung

Am 21.07.1997 fand ein Überflug der Versuchsfläche Roggenstein bei Strahlungswetter statt. Der Flugstreifen wurde um ca. 12:00 Uhr Ortszeit in Nord-Süd-Richtung mit dem DAEDALUS Line Spektrometer aufgenommen. Die Spektraldaten wurden bei der DLR Oberpfaffenhofen systemkorrigiert und atmosphärisch modelliert.

Abb. 27 zeigt ein Luftbild (artifizielle Farbgebung) im Spektrum von 1550 nm - 1750 nm. Es zeigen sich klare Strukturen und gerichtete Farbgradienten, in denen sich das Spektralverhalten ändert. Gleichzeitig treten unterschiedliche Farbintensitäten auf. In die Versuchsfläche sind die Versuche RV1 (BASF-Versuch), RV2 (ZENECA-Versuch) und RV3 (Timing-Versuch) eingemessen. Die Parzellen sind deutlich voneinander, durch die rötlich gefärbten Wege, abgetrennt.

Die Farbskala (artifiziell) geht in den Regenbogenfarben von Blau als geringste Remission, über Gelb nach Rot, daß die stärkste Remission darstellt. Die Aufspreizung beträgt 30%. Durch die Wahl von Kanal 9 (1550 nm – 1750 nm) wird die Luftbildaufnahme durch den Wassergehalt der Blätter und der anderen pflanzlichen Gewebe entscheidend bestimmt (je höher der Wassergehalt, desto geringer die Remission und umgekehrt). Auf der Versuchsfläche zeichnete sich von nordwestlicher in südöstlicher Richtung deutlich ein zunehmender Wassergehalt ab. Die Ursache ist eine in nordwestlicher Richtung des Schlages befindliche Bodensenke mit Kiesaufschüttung. Auf diesem Teilstück entwickelte sich der Bestand während der Trockenheit in den Monaten Mai bis Mitte Juni verhaltener, als auf den tiefgründigeren Teilstücken in südöstlicher Richtung. Dort überstanden die Pflanzen die Streßperiode deutlich vitaler.

Die Aufnahme macht deutlich, daß Witterung und Bodengüte, die übergeordneten Faktoren in der Landwirtschaft sind und auch im Versuchswesen die Rahmenbedingungen schaffen. Die Luftbild-Szene zeigt aber auch, daß die Versuchsflächen RV1 (nur Stickstoffstufe 2) und RV3 noch relativ homogen waren, so daß diese Versuche in die Ergebnisdarstellung einfließen konnten. RV2 weist einen, in zwei Richtungen (bidirektional) verlaufenden Bodengradienten auf, der eine Auswertung des Versuches unmöglich machte.

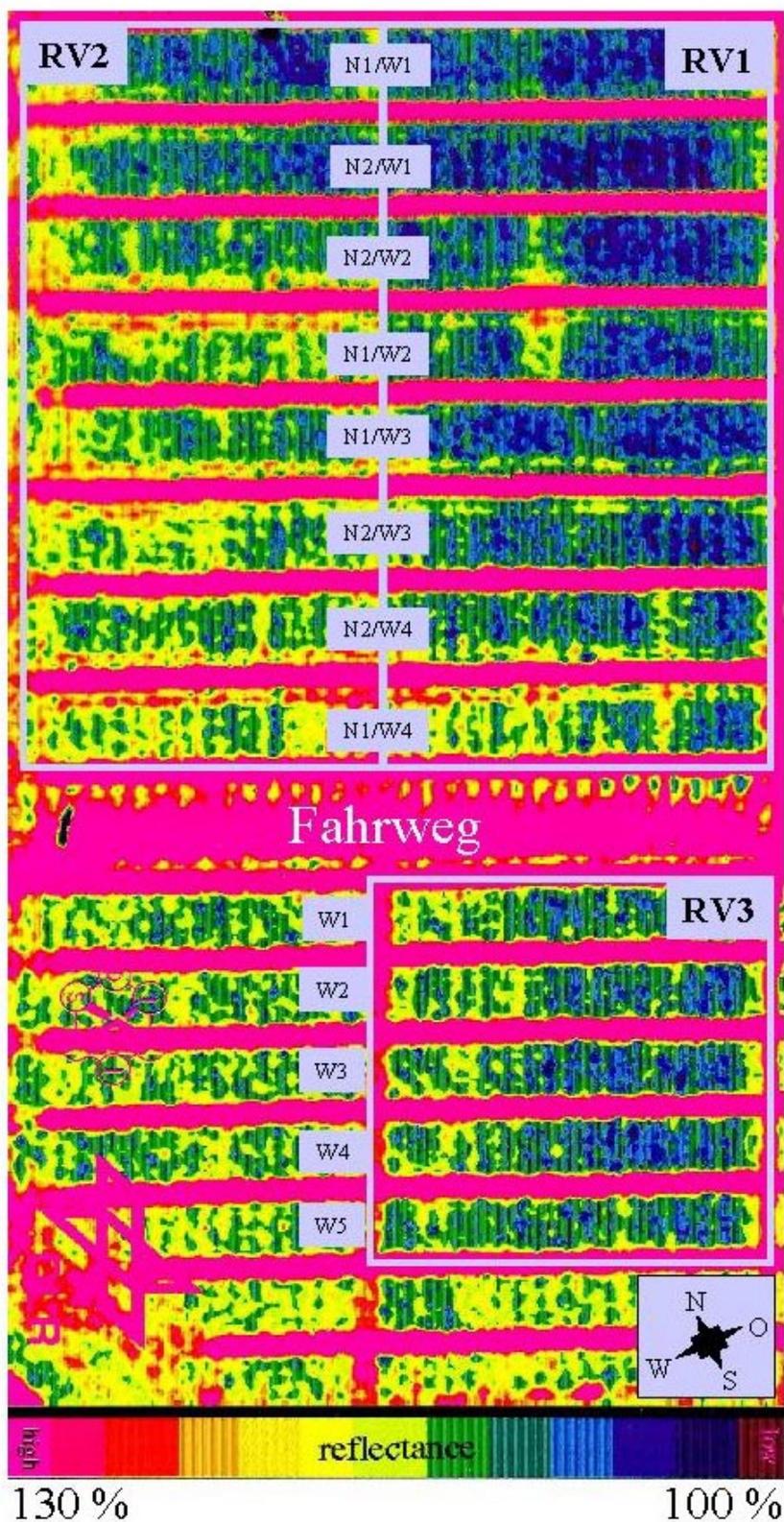


Abb. 27: Luftbildaufnahme [DAEDALUS Linespektrometer, Kanal 9 (1550 nm – 1750 nm)] der Versuchsfläche Roggenstein vom 21.07. 1997 (Sorte: 'Bussard', Versuche: RV1 = BASF-Versuch, RV2 = ZENECA-Versuch, RV3 = Timing-Versuch, N1 = 143 kg N/ha, N2 = 215 kg N/ha, W1 – W5 = Wiederholung 1 – 5)

5.3 Einfluß strobilurinhaltiger Fungizide auf die Ausbildung und die Effizienz des Photosyntheseapparates

Die Ertragswirkung der strobilurinhaltigen Fungizide Juwel und Amistar könnten auf Veränderungen in der Ausbildung des Photosyntheseapparates, der photosynthetischen Primärproduktion, insbesondere der Photosyntheseaktivität und Verlängerung der Assimilationszeit der Pflanze beruhen.

5.3.1 Chlorophyllausstattung

An den Sorten 'Astron' und 'Batis' können im Sortenvergleich Unterschiede mit der Langsamextraktionsmethode herausgearbeitet werden (Abb. 28). Die Differenzierungen zwischen den Sorten treten in den absoluten Chlorophyllgehalten weniger deutlich in Erscheinung, als sie im Bestand visuell wahrgenommen wurden.

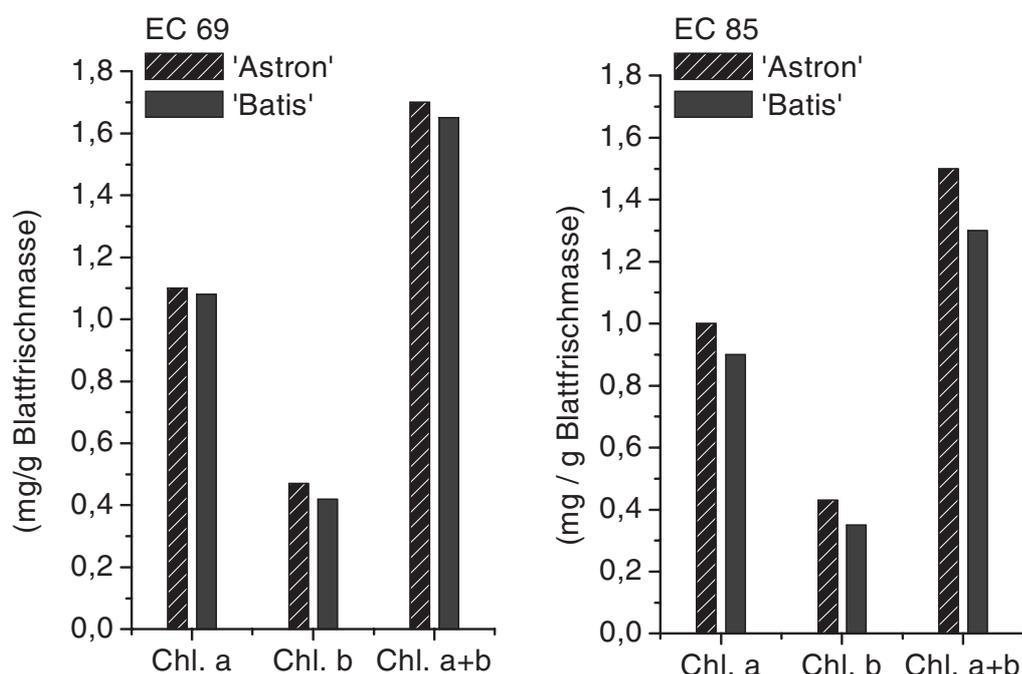


Abb. 28: Chlorophyllausstattung der Blättertage F-2 (EC 69) und der Fahne (EC 85) im Sortenvergleich (Standort Weihenstephan 1997, Versuche: WV1, WV2, Durchschnittswerte der Standardvarianten: unbehandelte Kontrolle, 3x Opus Top, Juwel, Amistar, n = 4)

	'Astron'		'Batis'	
	EC 69	EC 85	EC 69	EC 85
Chl a / Chl b	2,3	2,3	2,6	2,6

Tab. 19: Chlorophyll a- / Chlorophyll b-Verhältnis im Sortenvergleich

Die Berechnungen des Chlorophyll a- zu Chlorophyll b-Verhältnisses (Tab. 19) ergab keine Auffälligkeiten. Der Quotient Chlorophyll a-/Chlorophyll b-Konzentration betrug im Sortendurchschnitt 2,45 und lag damit im Rahmen der in der Literatur für gesunde Blätter angegebenen Werte von 2,3 (MOHR & SCHOPFER, 1992) und 2,5 (LAWLOR, 1990). Daraus kann geschlossen werden, daß die Methode der Langsamextraktion für vergleichende Messungen bei Getreideblättern anwendbar ist.

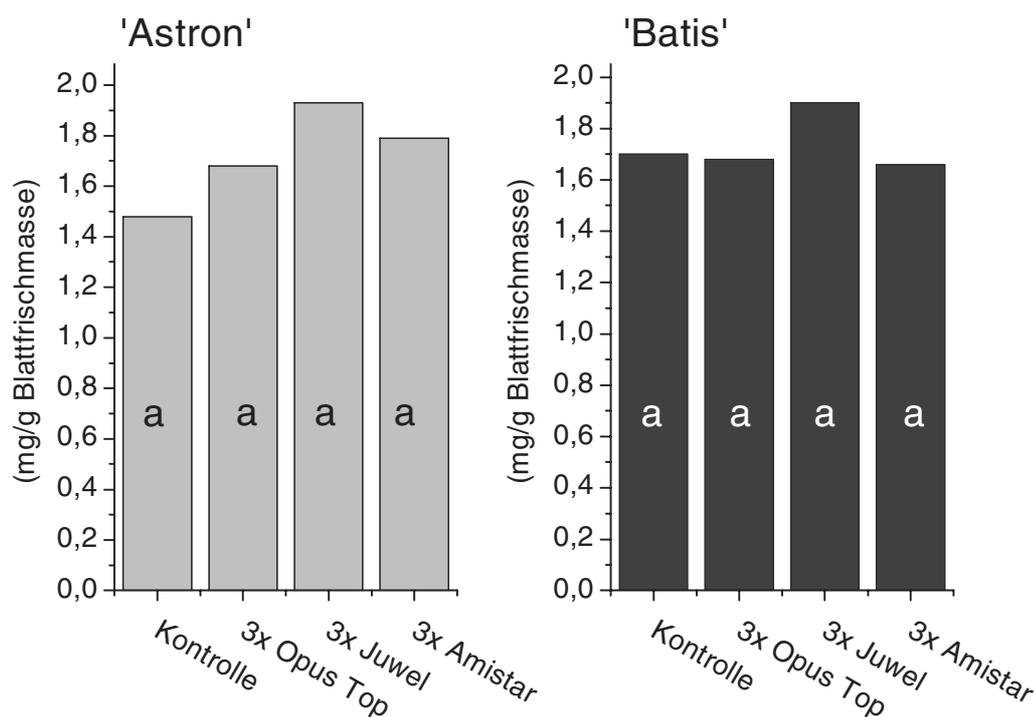


Abb. 29: Einfluß unterschiedlicher Fungizidbehandlungen auf die Chlorophyll a+b-Ausstattung der Blättertage F-1 der Sorten 'Astron' und 'Batis' zu EC 69 (Standort Weihenstephan 1997, Versuche: WV1, WV2, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 4$)

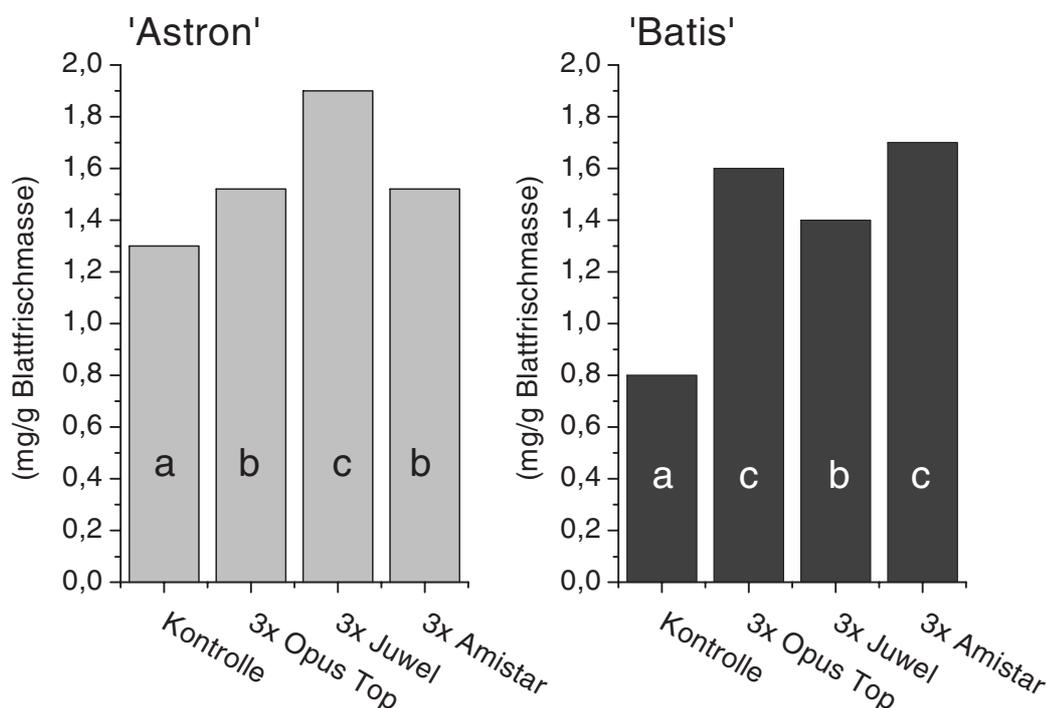


Abb. 30: Einfluß von Fungizidbehandlungen auf die Chlorophyll a+b-Ausstattung des Fahnenblattes der Sorten 'Astron' und 'Batis' zu EC 85 (Standort Weihenstephan 1997, Versuche: WV1, WV2, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 4$)

Im folgenden wird nur das Chlorophyll a+b betrachtet und als Gesamtchlorophyll bezeichnet. Die Gesundheitsvarianten Opus Top und Amistar und die unbehandelte Kontrolle wiesen gegen Ende der Blüte (EC 69, Abb. 29) auf der Blatttage F-2, im Mittel vergleichbare Gesamtchlorophyllgehalte auf. Auch zur unbehandelten Kontrolle konnte in diesen Behandlungsvarianten weder in der Sorte 'Astron' noch in 'Batis' eine statistisch gesicherte Wirkung auf die Chlorophyllausstattung gemessen werden. Die mit Juwel behandelten Blätter der Blatttage F-2 zeigten in der Tendenz bei beiden Sorten die höchsten Gesamtchlorophyllgehalte. Bei deutlich weiter fortgeschrittener Pflanzenseneszenz und Pathogenbefall der Fahnenblatttage differenzierten sich die Fungizidvarianten zu EC 85 zur unbehandelten Kontrolle (Abb. 30). Während die Sorte 'Astron' auch in diesem Entwicklungsstadium immer noch besonders deutlich auf die Juwel-Behandlung reagierte, lag das Gesamtchlorophyllniveau bei der Sorte 'Batis' deutlich unter den Werten der mit Opus Top und Amistar behandelten Fahnenblätter. Sind die Ursachen für die schwache Juwel-Wirkung bei der Sorte 'Batis' zu EC 85 unklar, wird dennoch deutlich, daß von den strobilurinholdigen Fungiziden Juwel und Amistar keine eindeutig konstitutive Steigerung des Gesamtchlorophyllgehaltes ausgeht. Verbesserte Gesamtchlorophyllgehalte in recht späten Entwicklungsstadien sind in erster Linie auf den Fungizidschutz zurückzuführen.



Abb: 31: Vergleich einer unbehandelten Kontroll- (links) und einer Juwel-behandelten Parzelle (rechts), Mitte Juni während der Blüte. In der Kontroll-Parzelle wirkt noch die Wasserstreßphase nach, sichtbar an der steilen Blattstellung. Vitaler präsentiert sich die Juwel-behandelte Parzelle. Die Fahnenblätter sind größer und bereits umgeklappt (Standort Roggenstein 1997, Sorte: 'Bussard').

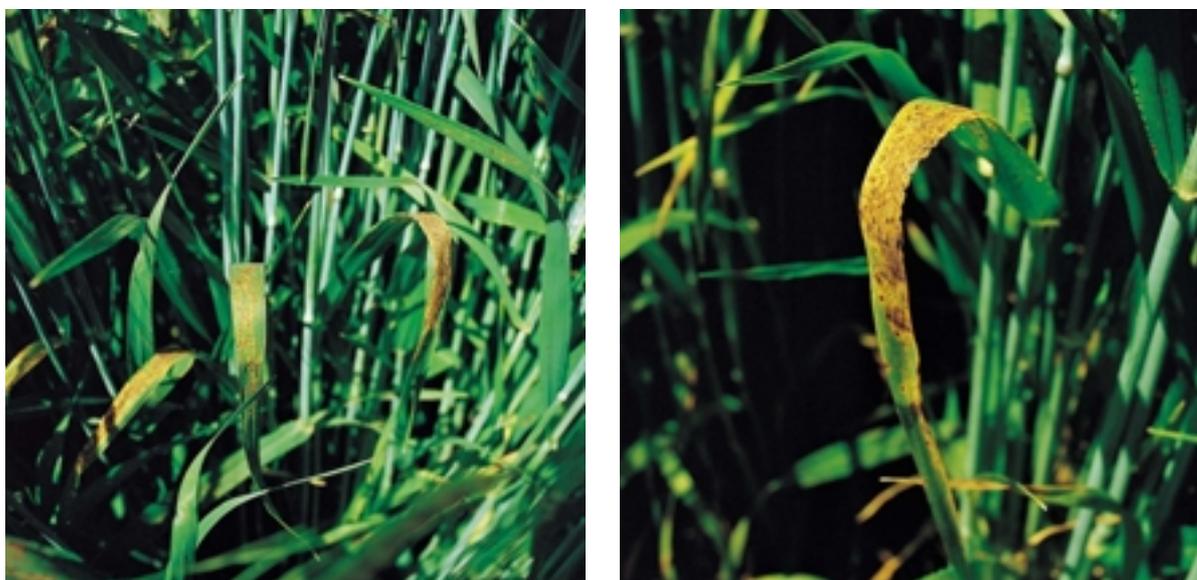


Abb: 32: 'Nichtparasitäre Blattflecken' an der Wintergerstensorte 'Anthere' (links: Blick in den Bestand, rechts: Detailaufnahme).



Abb: 33: 'Sonnenbrand' an der Winterweizensorte 'Astron' (links: fortgeschrittenes Chlorose-Stadium, rechts: irreversibles Nekrose-Stadium).



Abb: 34: Das portable Gaswechsel-Meßgerät HCM-1000 (Fa. Walz, Effeltrich) im Feldeinsatz.

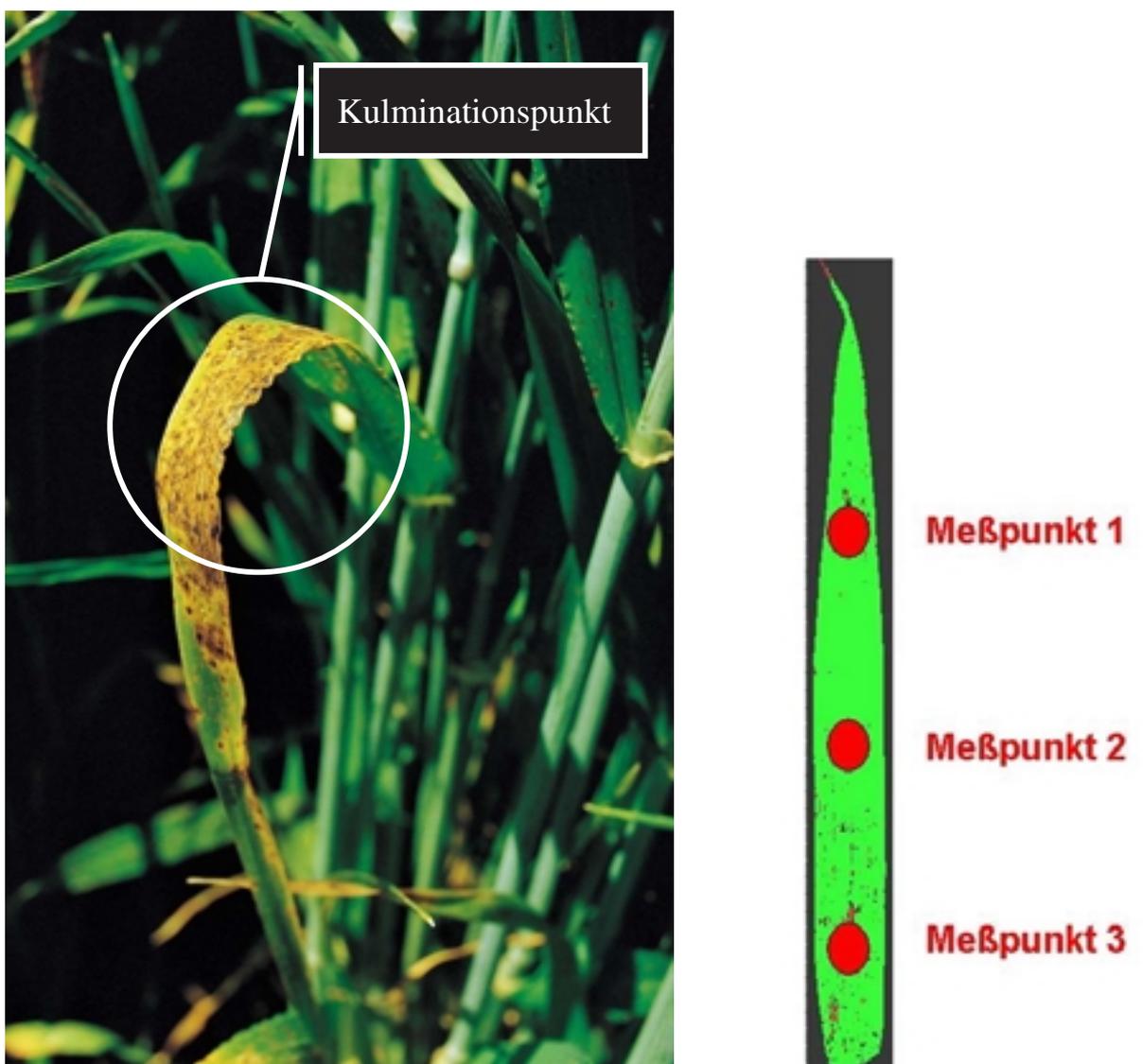


Abb. 35: Der Blatt-Kulminationspunkt (links) ist der Blattspreitenbereich mit der stärksten Lichtexposition; 'Nichtparasitäre Blattflecken' und 'Sonnenbrand' treten zuerst dort auf. In der Abbildung rechts sind die Positionen der Meßpunkte auf einer Blattspreite für die Chlorophyllfluoreszenz- und SPAD-Meter-Messungen dargestellt. Die Blattflächenaktivität und die Grünintensität der Blattfläche kann so sicher erfaßt werden (artifizial gefärbtes Weizenblatt).

5.3.2 Stomatärer Gaswechsel

Die Photosynthese ist Energie- und Baustoffquelle für das Pflanzenwachstum. Lichtgetrieben und über den Gaswechsel von Wasser und Kohlendioxid reguliert, bestimmt sie weitgehend die pflanzliche Syntheseleistung. Gaswechsellmessungen können die 'augenblickliche Photosyntheseleistung' *in situ* quantitativ beschreiben.

Gaswechsellmessungen wurden erstmals 1995 an der Sorte 'Contra' mit den Varianten 3x Opus Top, 3x Juwel zu sechs Terminen zwischen EC 65 und EC 83 durchgeführt und mit der unbehandelten Kontrolle verglichen (Tab. 20). Unbehandelte Pflanzen der Kontrollvariante assimilierten durchschnittlich 14% mehr Kohlendioxid pro Fahrenblattflächeneinheit und Zeit, als Fahrenblätter der dreimalig mit Juwel ($10,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) behandelten Variante, und 13% mehr verglichen zum Gesundstandard Opus Top ($11,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Die Messung der Transpiration dieser Varianten ergab aber eine deutliche Reduktion gegenüber der Kontrolle. Mit Werten von $3,2 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Juwel) und $2,7 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Opus Top) lag die mittlere Transpirationsrate um 24% bzw. 36% unter Kontrollniveau. Hierdurch verbesserte sich die water use efficiency (WUE) der Juwel-Variante (3,7) um 9%, die der Opus Top behandelten Fahrenblätter (4,3) sogar um 26% gegenüber der Kontrolle. In den darauffolgenden Jahren erwiesen sich die Strobilurin-Varianten (3x Juwel bzw. 3x Amistar; EC 65 bis EC 79) gerade in der water use efficiency gegenüber der Kontrolle und dem Gesundstandard mit deutlich verbesserten Werten. Dies ergibt sich in 1996 und 1997 in der Hauptwirkung aus höheren Assimilationsraten, verglichen zu Kontrolle (bis 42%) und Opus Top Gesundstandard (bis 24%). Im Durchschnitt von drei Jahren, wiesen die Fahrenblätter der Strobilurin-Varianten (Juwel und Amistar), in der Phase der Kornfüllung (EC 71 – EC 79), eine um 23% gesteigerte Assimilationsrate auf, transpirierten aber dabei etwa nur 3% stärker, was sich in einer Verbesserung der water use efficiency um 24% gegenüber dem Gesundstandard Opus Top (Abb. 36) niederschlug.

Eine drastische Reduktion des photorespiratorischen Stoffwechsels (Lichtatmung = Photorespiration PR), der ein konkurrierender Prozeß zur Assimilation ist, war in der Juwel-Variante 1995 ermittelt worden (Tab. 20). Gegenüber der Kontrolle, war die Lichtatmung Juwel-behandelter Pflanzen mit $0,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 78% geringer als bei der unbehandelten Kontrolle und verglichen zum Gesundstandard Opus Top ($3,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) um noch 76% abgesenkt. Auch die darauffolgende Untersuchung in 1996 ergab eine starke Juwelspezifische Wirkung. Gegenüber der Kontrolle ($4,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) war die Photorespiration um 62%, gegenüber Opus Top ($5,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) um 69% reduziert. Amistar- und Opus Top-behandelte Pflanzen hatten sogar um 17% bzw. 23% höhere Photorespirationswerte als die unbehandelte Variante. Dennoch lagen im Fungizidvergleich die Strobilurin-Behandlungen (Juwel und Amistar) in der Gesamtbetrachtung um 25% unter Niveau Opus Top (Abb. 36).

Eine Absenkung des CO_2 -Kompensationspunktes war generell nach Fungizidbehandlungen festzustellen (Tab. 20). Zum Gesundstandard lag er, im Schnitt der drei Versuchsjahre, in der Kontrolle um 32% nach oben verschoben, während zwischen den Fungizidgruppen Opus Top und Strobilurine (Juwel und Amistar) ein Unterschied von 7% zugunsten der Strobilurin-Varianten errechnet wurde (Abb. 36). Differenzierungen zwischen diesen beiden Gruppen ergaben sich vor allem aus der stärkeren Aufspreizung des CO_2 -Kompensationspunktniveaus bei Juwel in 1995 (Tab. 20).

Ergebnisse

Die Atmungsaktivitäten schwankten je nach Jahr und Behandlung sehr stark und erbrachten daher keine Ergebnisse. Auf eine explizite Darstellung wird daher verzichtet.

		Kontrolle	Opus Top (3x 1,5 l/ha)	Juwel (3x 1,0 l/ha)	Amistar (3x 1,0 l/ha)
Assimilations- rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1995 ¹	12,6 ± 0,7	11,0 ± 0,6	10,8 ± 0,6	--
	1996	14,2 ± 1,3	14,2 ± 0,8	17,3 ± 1,7	16,7 ± 0,9
	1997	11,7 ± 0,9	13,4 ± 0,7	16,6 ± 1,1	--
Transpirations- rate ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1995 ¹	4,2 ± 0,4	2,7 ± 0,2	3,2 ± 0,2	--
	1996	3,4 ± 0,4	3,2 ± 0,3	3,2 ± 0,3	2,8 ± 0,2
	1997	3,8 ± 0,4	2,8 ± 0,3	3,1 ± 0,3	--
WUE (rel. Einheiten)	1995 ¹	3,4 ± 0,5	4,3 ± 0,2	3,7 ± 0,5	--
	1996	4,5 ± 0,3	4,7 ± 0,3	5,8 ± 0,7	6,4 ± 0,5
	1997	3,1 ± 0,4	4,7 ± 0,3	5,4 ± 0,5	--
PR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1995 ¹	3,6 ± 0,2	3,3 ± 0,2	0,8 ± 0,1	--
	1996	4,8 ± 0,5	5,9 ± 0,5	1,8 ± 0,2	5,6 ± 0,3
Γ (μbar)	1995 ¹	48 ± 5	42 ± 5	34 ± 2	--
	1996	64 ± 7	43 ± 7	40 ± 9	42 ± 4

Tab. 20: Einfluß unterschiedlicher Fungizidbehandlungen auf Assimilation, Transpiration, water use efficiency (WUE) Photorespiration (PR) und CO₂-Kompensationspunkt (Γ) der Fahnblatttage (Standort Roggenstein, Sorten: 1995¹ 'Contra', 1996¹ 'Toronto' (Versuch: RV1); 1997 'Bussard' (Versuch: RV1), -- = kein Meßergebnis, Ergebnisse repräsentieren Mittelwerte ± Standardabweichung, n = 10)

¹ Frau Greiner de Mothes einen herzlichen Dank für die Bereitstellung der Daten

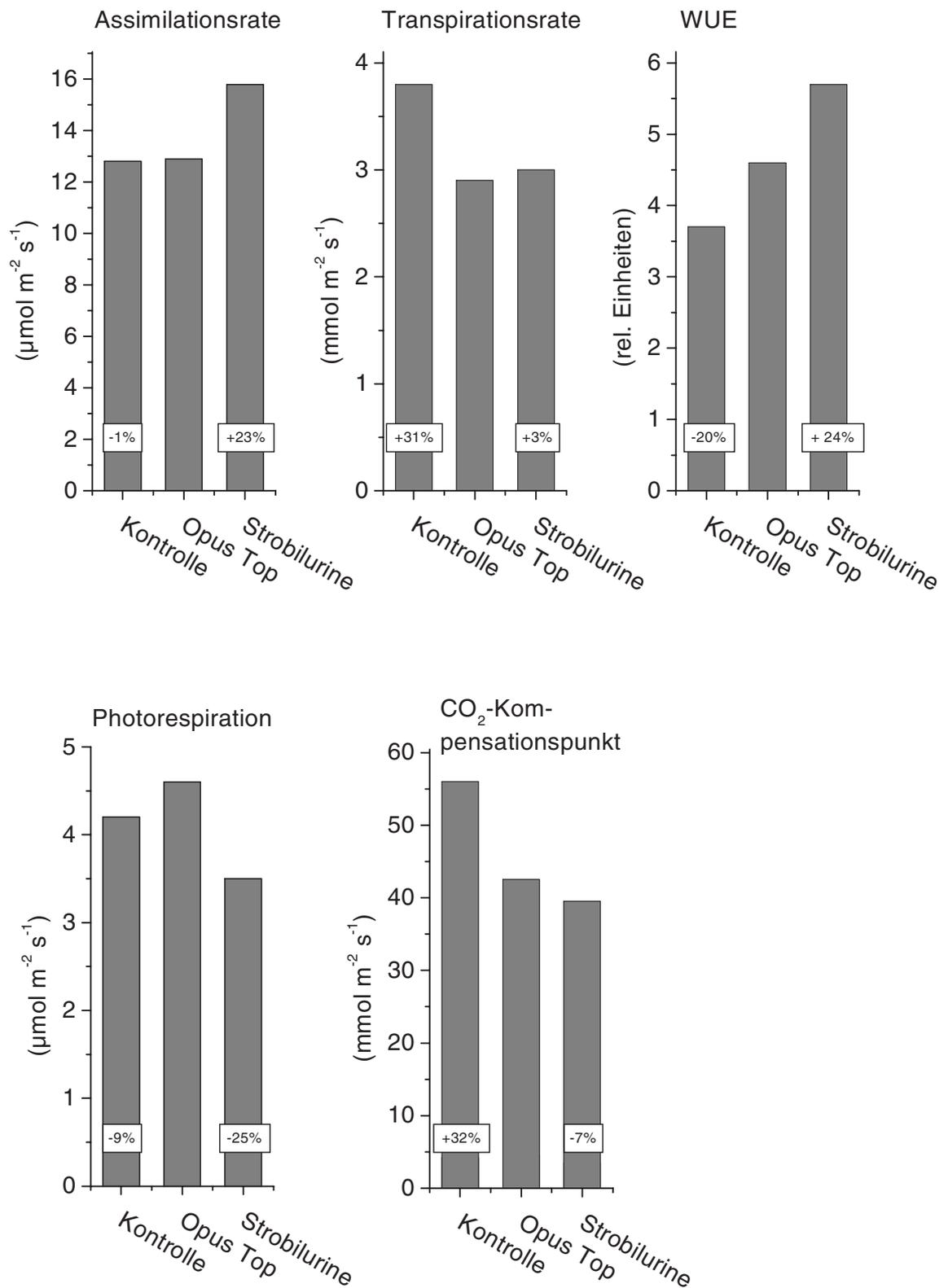


Abb. 36: Durchschnittswerte (1995 – 1997) der in Tabelle 20 aufgeführten Gaswechsellparameter von Kontrollen und Fungizidbehandlungen (Prozentwerte sind Abweichungen zu Variante 3x Opus Top = 100%, Strobilurine = 3x Jewel und 3x Amistar)

5.3.3 Chlorophyllfluoreszenz unter Feldbedingungen

Mit der nicht-invasiven Methode der Chlorophyllfluoreszenz-Messung kann der Funktionszustand des Photosynthesesystems beschrieben werden. Darüber hinaus geben die Chlorophyllfluoreszenz-Messungen auch Einblicke in die Vorgänge des Elektronentransports in den Thylakoidmembranen. Auch indirekte Wirkungen auf den Elektronentransport, der durch eine Vielzahl von äußeren und inneren Faktoren beeinflusst wird, können festgestellt werden. Damit eignen sich Chlorophyllfluoreszenz-Untersuchungen prinzipiell als Methode zur Untersuchung der Fragestellung, ob strobilurinhaltige Fungizide auf die photosynthetische Primärproduktion wirken. Messungen der Chlorophyllfluoreszenz wurden in Feldversuchen an intakten, nicht abgedunkelten Pflanzen und an aus dem Feld entnommenen, dunkeladaptierten Blättern durchgeführt.

5.3.3.1 Elektronentransport

Insbesondere der Meßparameter ETR, als Maß für die aktuelle Elektronentransportrate, war im Feldversuch von besonders hoher Aussagekraft. Fungizidbehandlungen steigerten den Elektronentransport im Schnitt der drei Versuchsjahre zwischen 8% (3x Opus bzw. Opus Top) und 25% (3x Juwel) gegenüber den Kontrollen (Abb. 37). Die Steigerungsraten variierten dabei in den einzelnen Versuchsjahren erheblich. Die Elektronentransportrate der 3x Opus- bzw. Opus Top-behandelten Pflanzen war um Durchschnitt der drei Versuchsjahre etwa 9% gegenüber der Kontrolle gesteigert. Die Gruppe der strobilurinhaltigen Fungizide, in der Amistar und Juwel als Dreifachbehandlungen vertreten sind, hob sich im Schnitt der drei Versuchsjahre mit einer um ca. 15% gesteigerten Elektronentransportrate deutlich gegenüber den Gesundvarianten (Opus und Opus Top) ab. Die schwächste Differenzierung trat in dem durch einen krassen Wechsel von Trocken- zur Naßphase charakterisierten Vegetationsjahr 1997 auf. Besonders deutliche Abstufungen ergaben sich in 1996 und 1998.

Die Analyse der zugrundeliegenden Ursachen für die mittlere Steigerung der Elektronentransportrate von ca. 15% bei den Strobilurinbehandlungen, verglichen zu den Standardgesundbehandlungen zeigt eine, über die Versuchsjahre und Sorten, immer wieder auffindbare Tendenz auf. Die Elektronentransportrate der Standardgesundvarianten war bis in die Zeit der Blüte kaum gegenüber der Elektronentransportleistung der Strobilurin-Behandlungen zu differenzieren. Einzelergebnisse zeigten wohl eine verbesserte Photosyntheseleistung an, ließen sich dann aber nicht in einen Zusammenhang mit den vorherigen und nachfolgenden Messungen bringen. Sie wurden deshalb als Momentanergebnisse gewertet. Erst ab Ende Blüte, bzw. mit Beginn der Kornfüllung (EC 69/71) bildeten sich stabile Differenzierungen zwischen den Fungizidgruppen heraus. In diesem Entwicklungsphasenabschnitt lagen die Elektronentransportraten des Fahnenblattes der mit Juwel und Amistar behandelten Pflanzen, zu den meisten Terminen über der Vergleichsvariante (3x Opus bzw. Opus Top) wie in der Fallstudie in Abb. 38 dargestellt ist. Die Juwel-Variante wies im Schnitt die beste Wirkung auf den Elektronentransport auf.

Die Photosyntheseleistung ist auch ein sortenspezifisches Merkmal. So sind behandlungsbedingte Differenzierungen der ETR bei der Sorte 'Astron' ausgeprägter als bei

der Sorte 'Bandit' (Abb. 38). Die Ursachen hierfür sind in der Sortengenetik selbst zu suchen und können hier nicht kausal abgeleitet werden.

Tabelle 21 und 22 zeigt den in Abb. 38 dargestellten relativen Vergleich mit den zugrundeliegenden absoluten Zahlen, und der statistischen Auswertung dazu. Es ist ersichtlich, daß ab Mitte der Kornfüllung (EC 75) ein Einbruch bei der Elektronentransportrate in beiden Sorten auftritt. Dies könnte auf einer im Zuge der Blattalterung abnehmenden Photosyntheseleistung beruhen.

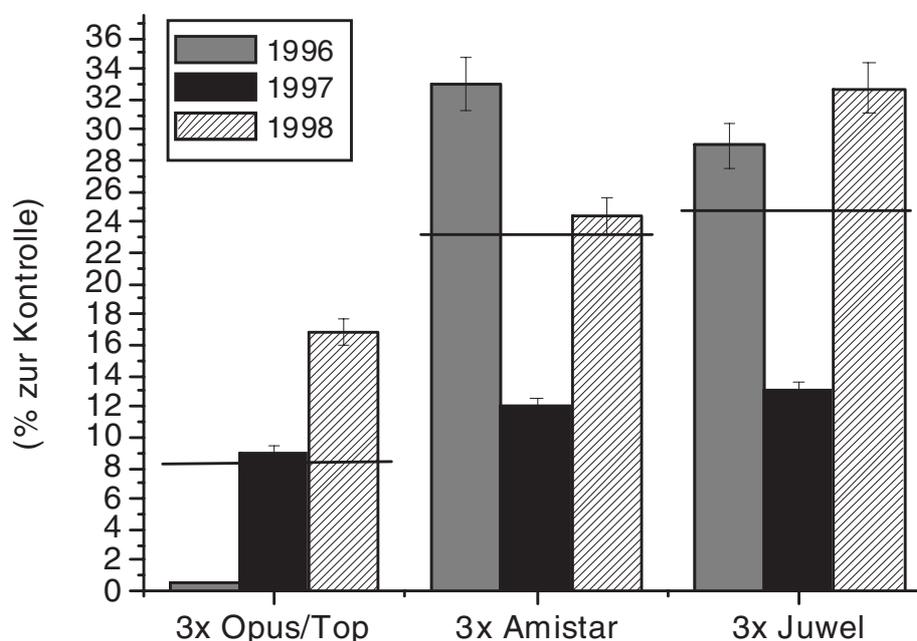


Abb. 37: Vergleich der Elektronentransportraten der Fahnenblattetage über die Entwicklungsphase EC 51 bis EC 89 in 1996¹, 1997 und 1998 (Standort Roggenstein, Sorten: 1995¹ 'Contra', 1996¹ 'Toronto' (Versuch: RV1); 1997 'Bussard' (Versuch: RV1), Ergebnisse repräsentieren Mittelwerte \pm Stdw, n = 16)

¹ 1996 wurde die Elektronentransportrate (J_m) durch Gaswechselfmessungen ermittelt. Frau Greiner de Mothes einen herzlichen Dank für die Durchführung der Arbeiten

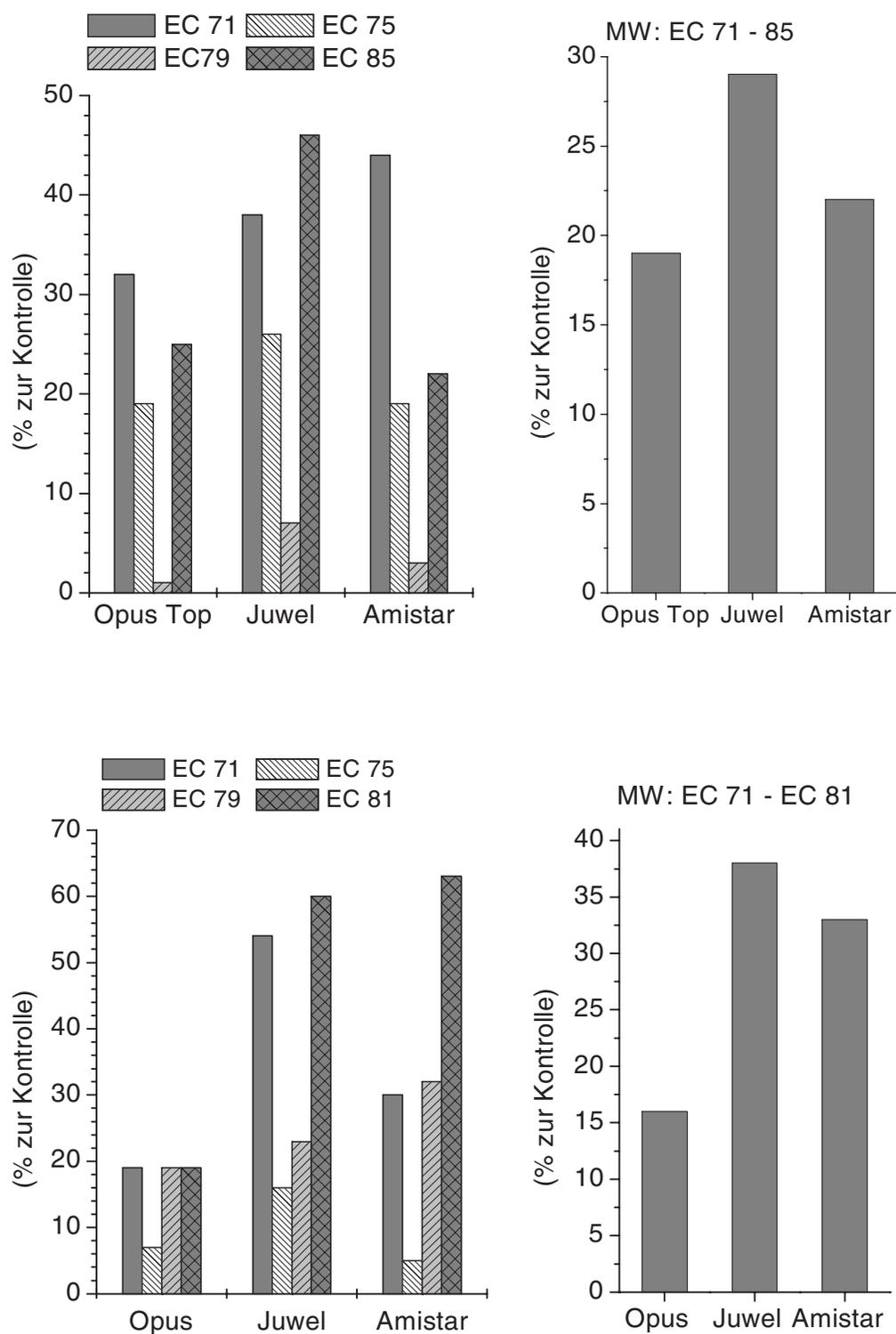


Abb. 38: Elektronentransportraten von Fahnenblättern unterschiedlich behandelter Pflanzen der Sorte 'Bandit' am Standort Haxthausen (oben, Versuch: HVA) und der Sorte 'Astron' am Standort Oberding 1998 (unten, Versuch: OV1) (links Einzelwerte, rechts Mittelwerte, n = 120)

Elektronentransportrate (rel. Einheiten)					
EC	Datum	Kontrolle	Opus Top	Juwel	Amistar
71	23.6.	139,5 a	165,6 ab	214,4 c	181,2 b
75	29.6.	178,8 a	192,2 a	207,7 ab	187,9 a
79	6.7.	52,5 a	62,1 b	65,2 b	68,6 b
81	12.7.	57,7 a	68,4 a	94,0 b	93,9 b
Mw:		107,1	122,7	145,2	132,9

Tab. 21: Elektronentransportraten der Sorte 'Astron'. (Standort Oberding 1998, Versuch: OV1, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 120$)

Elektronentransportrate (rel. Einheiten)					
EC	Datum	Kontrolle	Opus	Juwel	Amistar
71	25.6.	140,9 a	186,1 bc	194,1 c	202,5 c
79/81	29.6.	155,3 a	184,9 b	195,3 b	184,2 b
83	13.7.	73,4 a	74,1 a	78,3 a	75,6 a
85	19.7.	73,8 a	92,4 b	107,7 c	90,4 b
Mw:		10,9	132,4	143,9	138,3

Tab. 22: Elektronentransportraten der Sorte 'Bandit'. (Standort Haxthausen 1998, Versuch: HVA, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 120$)

5.3.3.2 Photosyntheseeffizienz vor und nach Streßbehandlung

Trockenheit ist einer der häufig auftretenden, oft auch in Kombination mit hohen Temperaturen, ertragswirksamen abiotischen Streßfaktoren. Mit dem Parameter $F_v:F_m$ können in einer Vielzahl von Streßsituationen Wirkungen auf der Ebene der Photosynthese quantitativ beschrieben werden. Dabei ist $F_v:F_m$ ein Maß für den Funktionszustand des Photosynthesystems II (PS II) als Resultat der Funktionseinheit aus Lichtsammelfalle und Elektronentransportsystem. $F_v:F_m$ spiegelt in guter Näherung die maximale Elektronentransportwirksamkeit des Photosystems II wieder. Die Reaktion dieses Parameters gegenüber den Umweltfaktoren im Vegetationsverlauf wird beispielhaft für die Kontrollen der Weizensorte 'Astron' (Standort Oberding 1998) und 'Bandit' (Standort Haxthausen 1998) betrachtet. Daraus werden detaillierte Studien abgeleitet, welche die Wirkung strobilurinreicher Fungizide auf die Photosyntheseleistung bei kombinierter Applikation von Trocken- und Wärmestress beschreiben.

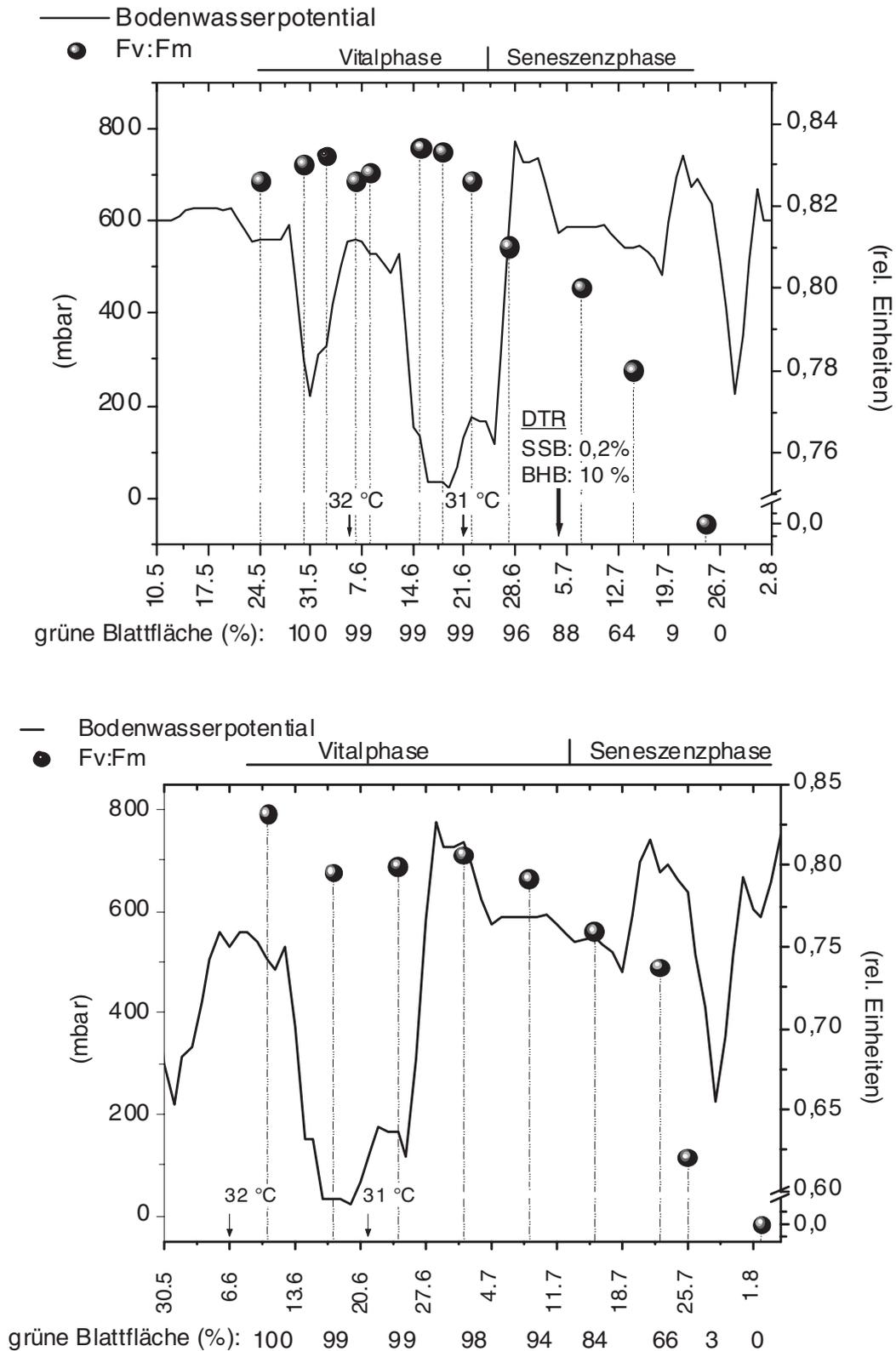


Abb. 39: Änderung der maximalen rel. Elektronentransportwirksamkeit (Fv:Fm) der Kontrollen, (oben: Standort Oberding 1998, Sorte: 'Astron' EC 39 - EC 91, Versuch: OV1; unten: Standort Haxthausen 1988, Sorte 'Bandit' EC 59 - EC 91, Versuch: HVA; n = 120)

Ergebnisse

In einem gesunden, leistungsfähigen Weizenblatt liegt Fv:Fm bei 0,83. Die Wirkung von Bodenwasserdefiziten, mit mehrmals gemessenen Werten von 700 mbar bis 800 mbar in der Vegetationsperiode 1998 am Standort Oberding (Abb. 39) auf den Funktionszustand des Photosynthesystems, fiel in den vorliegenden Messungen geringer aus als erwartet. Auch die Kombination von Bodenwasserdefiziten und Temperaturspitzen über 30°C, vor allem gegen Anfang Juni, hatten keine deutliche Reduktion von Fv:Fm unter 0,82 zur Folge, was auf eine nur geringfügige und reversible Hemmung der Thylakoidmembranfunktionen schließen läßt.

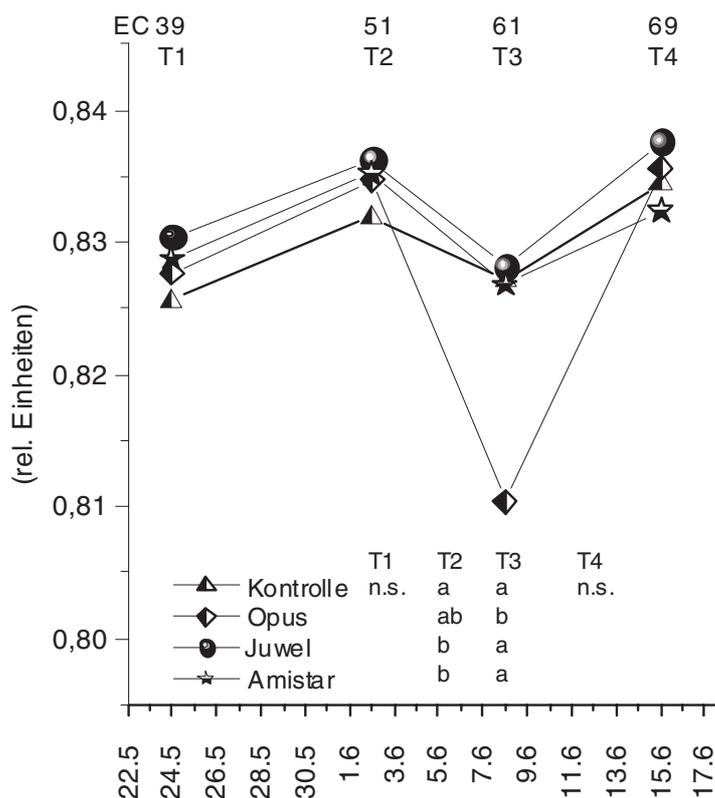


Abb. 40: Veränderung der maximalen rel. Elektronentransportwirksamkeit (Fv:Fm) von 'Astron' in der Vegetationsphase EC 39 – EC 69 (Standort Oberding 1998, Versuch: OV1, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 120$)

Dieses Kompensationsvermögen und die stabil hohen Werte grüner Blattfläche charakterisieren die Vitalphase der Sorte 'Astron' (EC 39 bis EC 71). In den unbehandelten Kontrollpflanzen der Sorte 'Bandit' (Standort Haxthausen) wurden diese Ergebnisse prinzipiell bestätigt (Abb. 39). Dabei muß aber berücksichtigt werden, daß die Messungen bei der Sorte 'Bandit' erst in EC 59 begannen und daher ein anderes physiologisches Zeitintervall erfaßten als bei der Sorte 'Astron'. Die Vitalphase der Fahnenblattetage der Sorte 'Bandit' war um gut zwei Wochen länger als die der Sorte 'Astron'. Neben Sortenunterschieden bei der Reifezeit hatte ein später Stickstoffschub am Standort Haxthausen (organische Düngung, Gülle) eine über die Stickstoffwirkung erklärte

Ergebnisse

Phasenverlängerung zur Folge, so daß an der intakten Fahne der Kontrollpflanzen bis weit in die Kornfüllungsphase hinein noch Werte von über 0,80 für Fv:Fm gemessen wurden. Infolgedessen setzte bei 'Bandit' die Seneszenzphase der Fahnenblattetage gut zwei Wochen später ein als es durch den massiven und gerichteten Abfall der maximalen rel. Elektronentransportwirksamkeit und den Verlust an grüner Blattfläche bei der Sorte 'Astron' meßbar war.

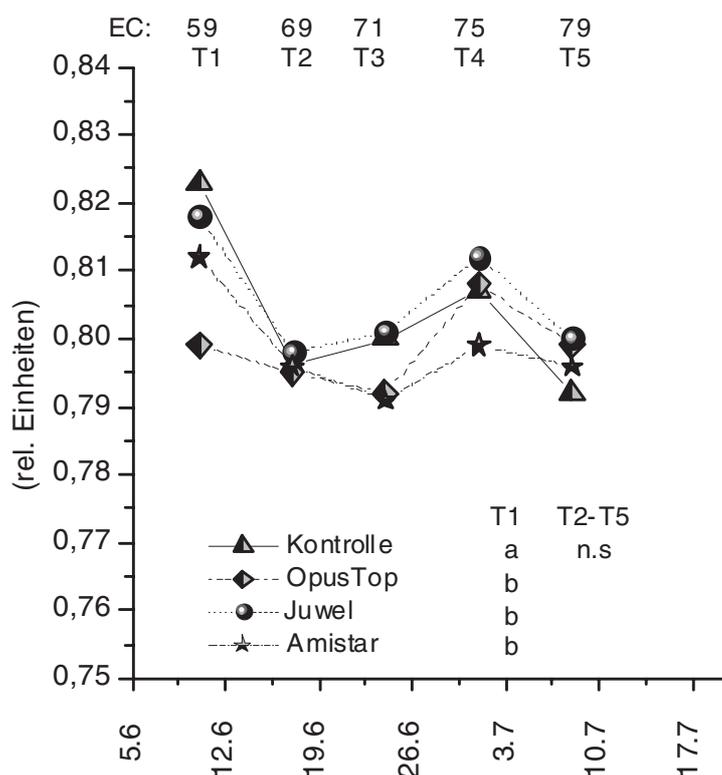


Abb. 41: Veränderung der maximalen rel. Elektronentransportwirksamkeit (Fv:Fm) von 'Bandit' in der Vegetationsphase (Standort Haxthausen 1998, Versuch: HVA, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 120$)

Die Ergebnisse, die an intakten Pflanzen der Kontrollen erzielt wurden, verdeutlichen, daß die Photosynthesysteme der Sorten 'Astron' und 'Bandit' relativ stabile Funktionseinheiten sind, und die an den einzelnen Standorten wirksamen Umweltbedingungen wenig hemmend auf die maximale rel. Elektronentransportleistung des Photosynthesystem II wirkten. Der Abgrenzungsspielraum der Fungizidvarianten fiel, wie erwartet, gering aus (Abb. 40 und 41). Sowohl die Gesundvarianten (3x Opus bzw. Opus Top) als auch die Vergleichsvarianten mit Juwel- bzw. Amistar-Behandlungen differenzierten sich in dem Chlorophyllfluoreszenz-Parameter Fv:Fm an den meisten Terminen kaum. An keiner der untersuchten Sorten traten durch die Behandlungen mit azolhaltigen oder strobilurinhaltenen Fungiziden konstitutive Förderungen der maximalen relativen Elektronentransportwirksamkeit auf. In der Tendenz zeigte sich zeitweilig eine Dämpfung der an den Standorten wirksamen Umwelteinflüsse

durch Behandlungen mit Jewel oder Amistar. Nur einmal traten negative Reaktionen nach der dritten Applikation der azolhaltigen Fungizide Opus bzw. Opus Top auf. Dies läßt auf eine schlechte Pflanzenverträglichkeit der Kombination Azol und hohe Temperaturen (über 30°C Anfang Juni in EC 59/61) schließen. Die Wirkung war reversibel.

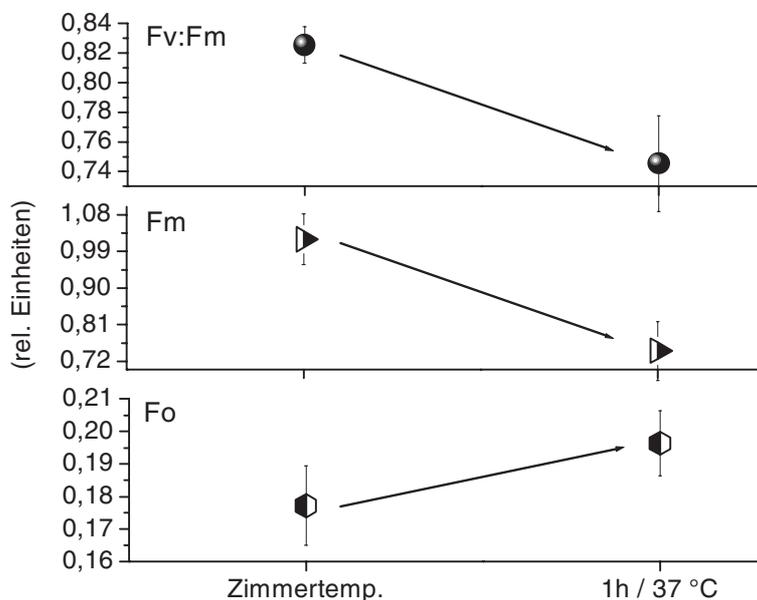


Abb. 42: Veränderung der Grundfluoreszenz (Fo), maximaler Fluoreszenz (Fm) und der maximalen rel. Elektronentransportwirksamkeit (Fv:Fm) von Fahnenblättern nach einstündiger Inkubation bei 37°C im Trockenschrank (n = 120)

Die detaillierte Untersuchung der Wirkung strobilurinhaltiger Fungizide auf die Photosyntheseleistung nach kombinierter Applikation bei Trocken- und Wärmestress wurde ausschließlich in der Vitalphase der Sorten 'Astron' bzw. 'Batis' durchgeführt. Dadurch sollten die Leistungsgrenzen des Kompensationsvermögens unterschiedlich behandelte, vitaler Pflanzen herausgearbeitet werden. Die Wirkung der Stress-Applikation ist in Abb. 42 dargestellt. Charakteristisch tritt die Abnahme der maximalen Fluoreszenz (Fm) und der maximalen rel. Elektronentransportwirksamkeit (Fv:Fm), sowie die Erhöhung der Grundfluoreszenz (Fo) auf.

Die zusätzliche Stressbehandlung war in der Sorte 'Astron' wirksamer als in der Sorte 'Bandit' (Abb. 43 und 44). Hierbei muß berücksichtigt werden, daß die Messungen an Fahnenblättern mit unterschiedlichen physiologischen Zuständen erfolgten. Die Meßtermine können daher nicht als echte Wiederholungen angesehen werden, die sehr ähnliche Tendenz aller Ergebnisse läßt aber Schlußfolgerungen zu. Bei der Sorte 'Astron' war im Vergleich zu den mit Opus-behandelten Pflanzen, an den mit Jewel- und Amistar-behandelten Pflanzen, zu den ersten drei Meßterminen eine signifikant höhere Elektronentransportwirksamkeit (Fv:Fm) nachzuweisen. Die Wirkung der Stressbehandlung fiel zwischen allen Behandlungsvarianten mit zunehmendem Blattalter schwächer aus, was auf eine Form von Altersresistenz gegenüber den einwirkenden Stressfaktoren schließen läßt.

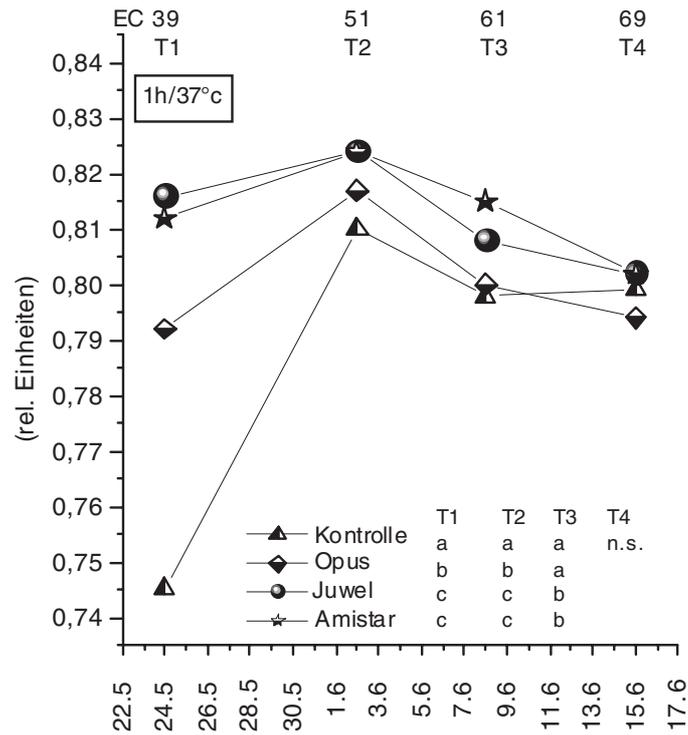


Abb. 43: Veränderung der maximalen rel. Elektronentransportwirksamkeit (Fv:Fm) nach Streß (1h/37°C) (Standort Oberding 1998, Sorte: 'Astron', Versuch: OV1, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 120$)

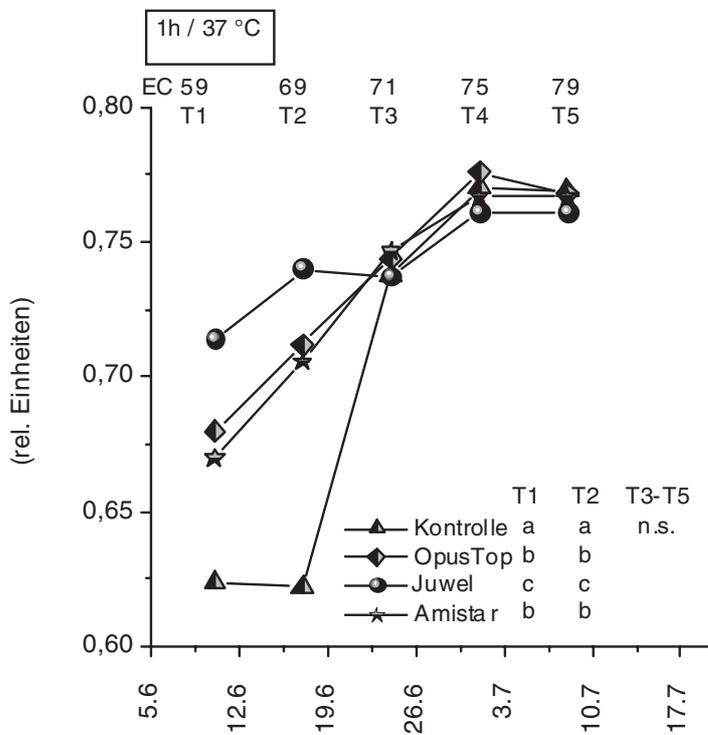


Abb. 44: Veränderung der maximalen rel. Elektronentransportwirksamkeit (Fv:Fm) nach Streß (1h/37°C) (Standort Haxthausen 1998, Sorte: 'Bandit', Versuch: HVA, unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 120$)

5.3.4 Chlorophyllfluoreszenz unter kontrollierten Bedingungen

Die Ergebnisse aus den Feldstudien zeigen, daß Behandlungen mit strobilurinhaltenen Fungiziden die Photosyntheseleistung der Pflanzen positiv beeinflussen und das Streßkompensationsvermögen erhöhen. Dies könnte auf direkten und/oder indirekten Wechselwirkungen der strobilurinhaltenen Fungizide mit dem Photosynthesesystem beruhen. Insbesondere dieser Aspekt wurde unter kontrollierten Wachstumsbedingungen mit der Methode der Chlorophyllfluoreszenz untersucht.

Die Ergebnisse zur Wirkung von Amistar, Juwel und einem strobilurinhaltenen Versuchsprodukt (VP, ZENECA), auf die photosynthetische Elektronentransportrate (ETR) belegen eine zeitabhängige Wirkung der Präparate auf die Photosyntheseleistung der Pflanzen (Abb. 45 und 46). Die Absolutwerte und die Statistik sind in Tab. 23 dargestellt. Die ETR war drei Stunden nach Applikation der Fungizide höher, als bei den mit Wasser behandelten Kontrollpflanzen. Der Effekt war bei der zweiten Behandlung noch verstärkt (Abb. 46). Die Steigerungen lagen dann bei Amistar- und Juwel-behandelten Pflanzen über 35% zur Kontrolle. 24 Stunden nach den Behandlungen trat ein Abfall der Elektronentransportaktivität in den Fungizidbehandlungs-Varianten auf, der nach der zweiten Behandlung wiederum deutlicher wurde. VP konnte mit dem Parameter ETR gegenüber der Kontrolle und den Handelsprodukten Amistar und Juwel gut differenziert werden. VP hatte drei Stunden nach Behandlung weniger stark induzierende Wirkung auf den Elektronentransport verglichen zu Juwel bzw. Amistar. Das Versuchsprodukt (VP) hemmte aber jeweils 24 Stunden nach Applikation den Elektronentransport deutlich stärker.

Bei der Betrachtung der längerfristigen Wirkung von strobilurinhaltenen Fungiziden auf den photosynthetischen Elektronentransport ergaben sich bei Messungen, drei Tage und bis zu neununddreißig Tage nach Behandlungen, signifikante Steigerung der ETR verglichen zur Kontrolle (Abb. 45 und 46). In der Statistik unterscheiden sich ebenfalls die Wirkungen von Amistar und Juwel nicht (Tab. 23). Das Versuchspräparat (VP) förderte den Elektronentransport drei und zehn Tage nach Behandlung, erreichte jedoch zu keiner Zeit das Niveau von Amistar- und Juwel-Behandlungen. Neununddreißig Tage nach der zweiten Behandlung sank die ETR mit über 6% unter Kontrollniveau jedoch ohne statistisch gesicherte Signifikanz zur Kontrolle.

Der Anstieg von ETR nach drei Stunden, und der folgende Rückgang, bestätigen die Wirkung der strobilurinhaltenen Fungizide, die als Inhibitoren der Atmungskette pilzlicher Pathogene, auch den pflanzlichen Stoffwechsel beeinflussen. Der zeitlich nachgeschaltete Anstieg des Elektronentransportes weist auf eine lang anhaltende Überkompensation des Stoffwechsels und/oder einer Förderung des Chloroplasten betriebenen Elektronentransportes hin. Der kinetische Vergleich zur Wirkung des Herbizidwirkstoffes Bentazon (Abb. 47) auf den Elektronentransport verweist auf eine Überkompensation, als Reaktion auf eine zeitlich begrenzte Behinderung des Stoffwechsels. Im Folgenden wird dies näher untersucht.

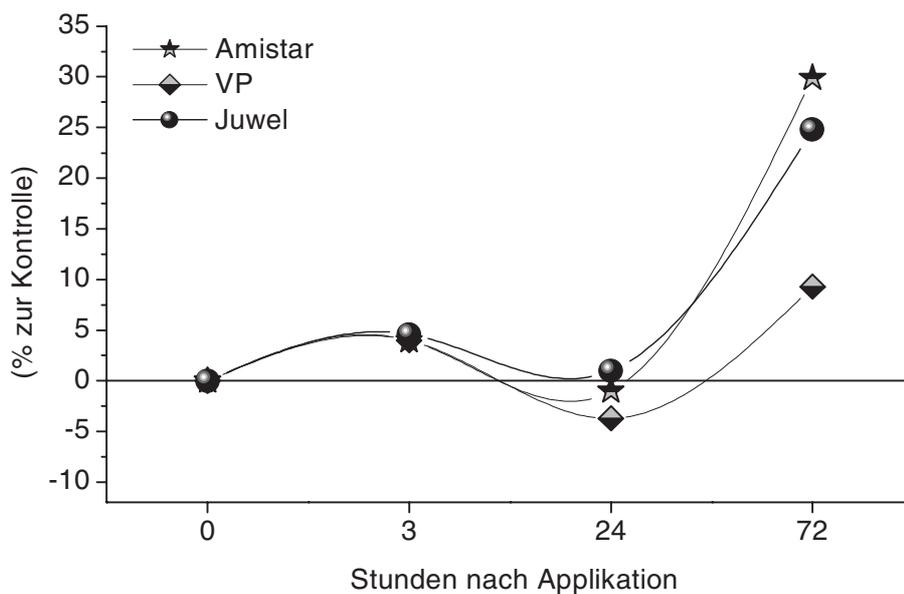


Abb. 45: Veränderung der Elektronentransportrate (ETR) von Weizen 'Astron' nach der ersten Behandlung mit Amistar, Jewel und einem Versuchsprodukt (VP, ZENECA) am 13.5., EC 39 (n= 50)

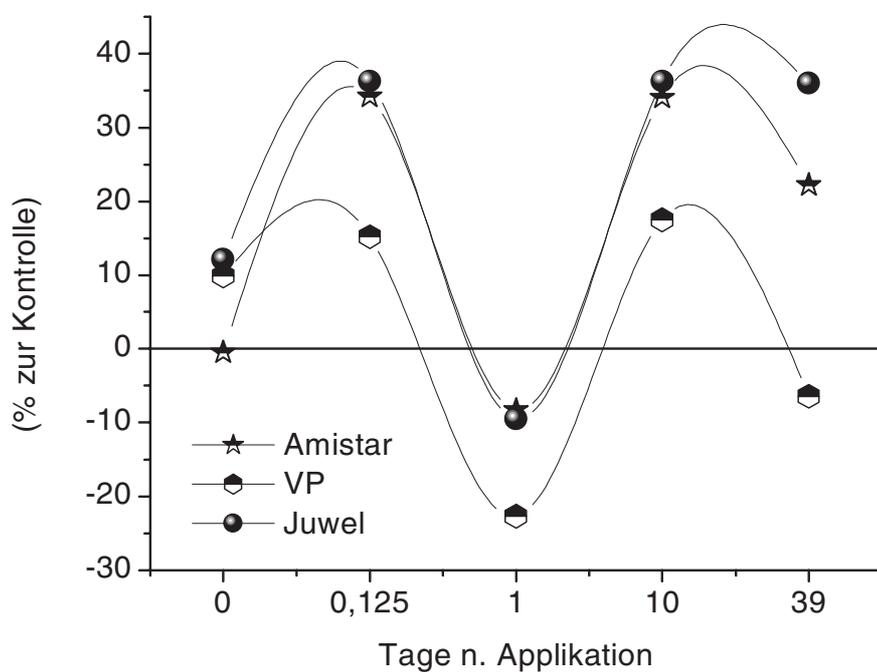


Abb. 46: Veränderung der Elektronentransportrate (ETR) von Weizen 'Astron' nach der zweiten Behandlung mit Amistar, Jewel und einem Versuchsprodukt (VP, ZENECA) am 29.5., EC 49 (n= 50)

		Kontrolle	Amistar	VP	Juwel
Datum Applk.	Zeit n. Applk.				
13.5.	0	232,6			
	3 Stunden	232,6 a	241,9 b	241,8 b	243,4 b
	24 Stunden	256,7 a	254,1 a	247,2 a	259,3 a
	72 Stunden	144,3 a	187,4 b	157,6 a	180,1 b
29.5.	0	172,2 a	171,4 a	189,2 bc	193,1 c
	3 Stunden	87,1 b	116,9 d	100,3 c	118,7 d
	24 Stunden	152,0 c	139,4 bc	117,4 ab	137,5 abc
	10 Tage	96,4 a	129,4 c	113,32 b	131,48 c
	39 Tage	136,9 ab	167,3 c	128,2 a	186,2 c

Tab. 23: Elektronentransportraten (ETR) von Weizen 'Astron' nach erster und zweiter Behandlung mit Amistar, Juwel, Versuchsprodukt (VP, ZENECA) (unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, $n = 50$)

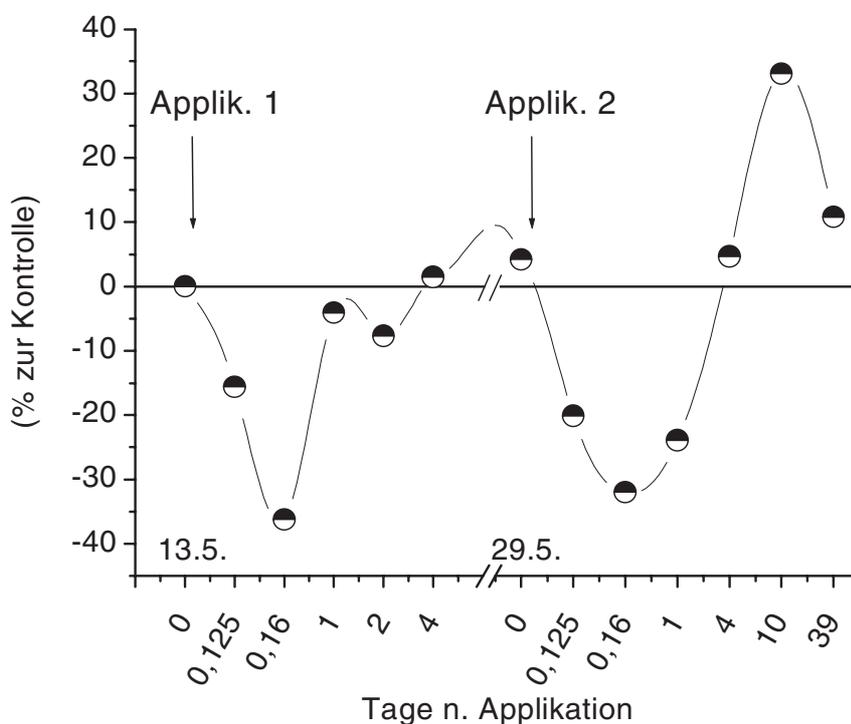


Abb. 47: Veränderung der Elektronentransportrate (ETR) von Weizen 'Astron' jeweils nach der ersten und zweiten Applikation (Applik.) mit dem Herbizid Basagran (Wirkstoff: Bentazon, 2,0 l/ha) am 29.5. EC 49 ($n = 50$)

Der Rückgang der Elektronentransportrate 24 Stunden nach Behandlung mit den strobilurinhaltigen Fungiziden deutet auf eine direkte Wechselwirkung der Präparate mit dem Elektronentransport der Chloroplasten. Der Vergleich mit der Wirkung des Herbizid Basagran (Wirkstoff: Bentazon) sollte weitere Erkenntnisse liefern. Bentazon ist ein Elektronentransporthemmer am D₁-Proteinkomplex des Photosystem_{II} (s. Schema in Abb. 48), der von einkeimblättrigen Pflanzen in metabolen Stoffwechselprozessen rasch inaktiviert wird. Die Hemmwirkung und die Inaktivierung von Bentazon am D₁-Protein kann anhand einer charakteristischen Fluoreszenzkinetik verfolgt werden (Abb. 48). Fünf Stunden nach Applikation steigt die Grundfluoreszenz (F_o), infolge des wirksamen Elektronenrückstaus an dem primären Elektronenakzeptor Q_A, massiv an. Ungleich schwächer ist die Abnahme der maximalen Fluoreszenz (F_m) und der maximalen rel. Elektronentransportwirksamkeit (F_v:F_m). Der nachgeschaltete Elektronentransport war nach vier Stunden auf über 35% abgesunken (Abb. 47). Die bei einkeimblättrigen Pflanzen relativ schnelle Metabolisierung des Hemmstoffes Bentazon konnte einen Tag nach der Behandlung anhand des Wiederaufstiegs der Elektronentransportrate erfaßt werden. Bereits vier Tage nach Applikation erreichte der Elektronentransport Werte wie vor der Behandlung. Zehn und neunundreißig Tage nach Applikation lag die ETR deutlich über dem Niveau der Kontrolle und deutet auf eine Überkompensationsreaktion hin.

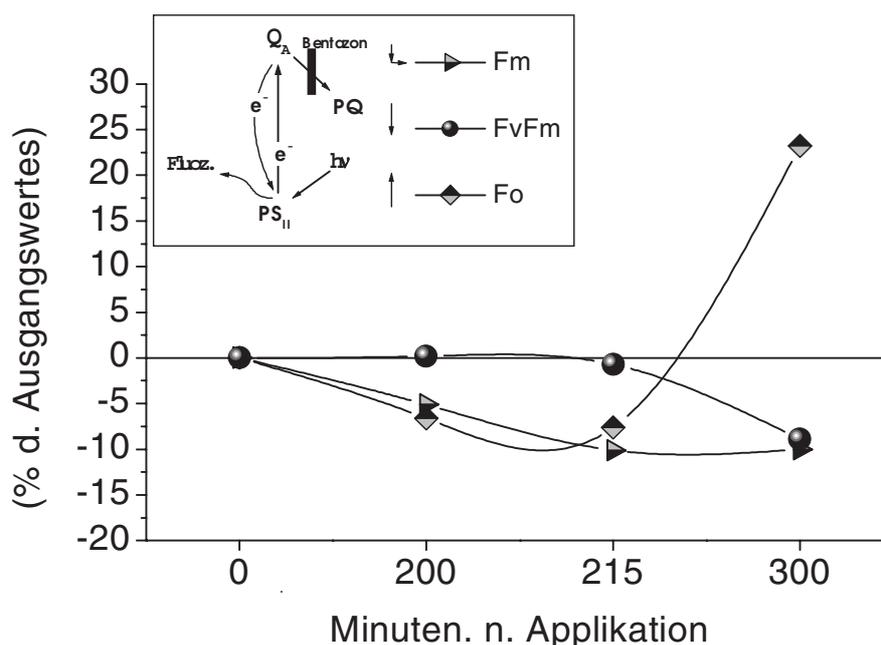


Abb. 48: Veränderung der Grundfluoreszenz (F_o), maximalen Fluoreszenz (F_m) und der maximalen rel. Elektronentransportwirksamkeit (F_v:F_m) nach Applikation von 2,0 l/ha Basagran (Wirkstoff Bentazon) (Sorte: 'Astron', n = 50)

Die Parameter F_o, F_m und F_v:F_m wurden zum Zeitpunkt der stärksten Reduktion des Elektronentransportes (1. Tag nach Behandlung, s. Abb. 46) infolge der Behandlung mit den

strobilurinhaltenen Fungiziden Jewel, Amistar und dem Versuchspräparat (VP) gemessen, und mit der Wirkung von Bentazon zur gleichen Zeit verglichen (Abb. 49).

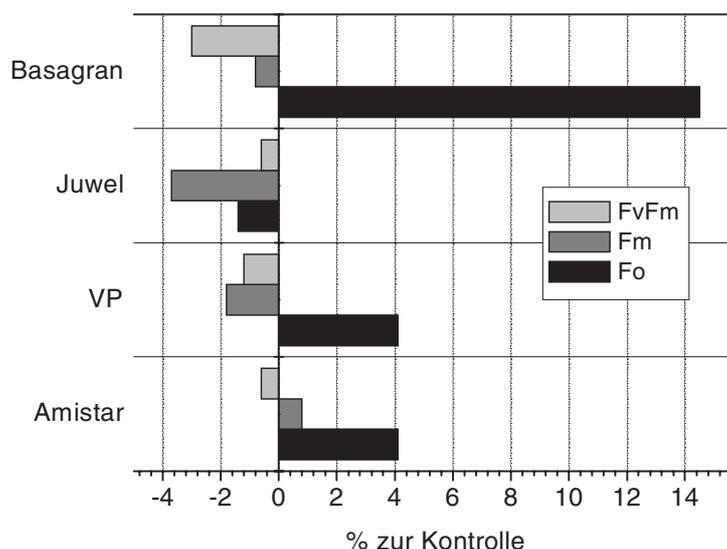


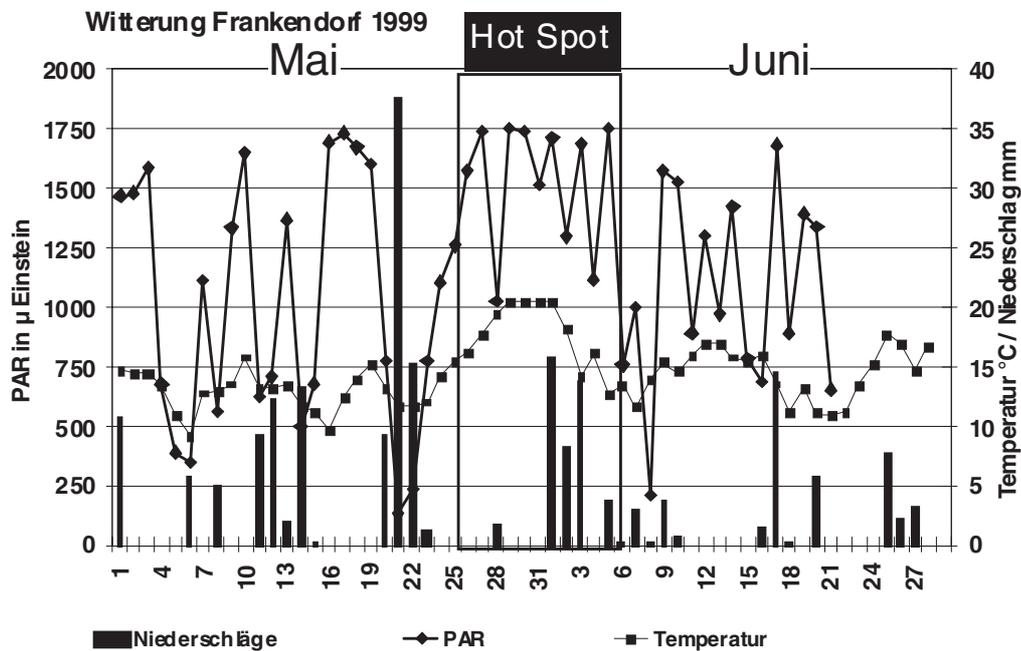
Abb. 49: Veränderung der Grundfluoreszenz (Fo), maximalen Fluoreszenz (Fm) und der maximalen rel. Elektronentransportwirksamkeit (Fv:Fm) ein Tag nach Applikation von 2,0 l/ha Basagran (Wirkstoff: Bentazon) und voller Aufwandmengen von Jewel, Amistar und einem Versuchsprodukt (VP, ZENECA) (Sorte: 'Astron', n = 50)

	Kontrolle	Amistar	VP	Jewel	Basagran
Fo	0,145 ab	0,151 b	0,151 b	0,143 a	0,166 c
Fm	0,908 ab	0,915 b	0,892 ab	0,874 a	0,901 ab
Fv:Fm	0,841 a	0,836 b	0,831 b	0,836 b	0,816 c

Tab. 24: Veränderung der Grundfluoreszenz (Fo), maximalen Fluoreszenz (Fm) und der maximalen rel. Elektronentransportwirksamkeit (Fv:Fm) ein Tag nach Applikation von 2,0 l/ha Basagran (Wirkstoff: Bentazon) und voller Aufwandmengen von Jewel, Amistar und einem Versuchsprodukt (VP, ZENECA) (Sorte: 'Astron', unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanz an, Duncan-Test, $p \leq 0,05$, n = 50)

Die Parameter Fo, Fm und Fv:Fm veränderten sich einen Tag nach Applikation der strobilurinhaltenen Fungizide im Vergleich zur Kontrolle (Abb. 49). Die absoluten Zahlen und die Statistik sind in Tabelle 24 aufgeführt. Insbesondere der Parameter Fv:Fm, als ein Maß für die maximale Elektronentransportwirksamkeit, war bei allen Fungizidvarianten, verglichen zur Kontrolle, reduziert. Dieses Ergebnis belegt eine Streßreaktion infolge der Fungizidbehandlungen. Signifikanz wurde gegenüber der Kontrolle und gegenüber der Basagran-Behandlung errechnet (Tab. 24).

gezeigt; in Abb. 52 ist der gleiche Zeitabschnitt mit Daten zur UVB-Intensität und photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) dargestellt.



Wetterdatenquelle: Fink / LBP München

Abb. 51: Witterungsdaten für den Zeitraum Mai 1999 bis Juni 1999 (Standort Frankendorf, PAR = photosynthetisch aktive Strahlung)

Nach einer vorausgehenden, mäßig warmen und niederschlagsreichen Witterungsperiode in den ersten beiden Maidekaden, tritt am Standort Frankendorf ab dem 25. Mai ein Witterungsumschwung auf. Mit dem Begriff Hot Spot ist in Abbildung 51 eine, durch sehr hohe photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) und Temperaturen charakterisierte Streßphase gekennzeichnet, die sich über den Zeitraum 26. Mai bis 5. Juni erstreckt. In diesem Zeitabschnitt wird auch eine hohe UVB-Intensität gemessen, die in guter Näherung dem Verlauf der PAR entspricht (Abb. 52). Die Wintergerste ist zu dieser Zeit im Entwicklungsstadium EC 59/61.

Chlorophyllfluoreszenz-Messungen wurden über den Zeitraum 21. Mai bis 10. Juni durchgeführt (Abb. 53). Für die Auswertung wurde der Parameter Fv:Fm gewählt. Fv:Fm ist ein Maß für die maximale rel. Elektronentransportwirksamkeit des Photosystems II und wird als wesentlicher Parameter in der Streßphysiologie angegeben, insbesondere für die Detektion von Photoinhibition. Ab dem 24. Mai ist eine Niveauabsenkung für Fv:Fm bei allen Varianten gemessen worden. Dies beruht auf der alterungsbedingt abnehmenden Photosyntheseaktivität des Fahnenblattes. Markant tritt am 28. Mai (Hot Spot) ein massiver Einbruch in dem Parameter Fv:Fm bei der unbehandelten Kontrolle auf. Die, zu diesem Zeitpunkt zweimal mit Fungiziden behandelten Fahnenblätter, reagieren gedämpft. Insbesondere die Jewel Top-Variante vermag diese Streßphase nahezu unbeeinflusst zu überstehen. Für die Kontrolle ist nachfolgend ein massiver Wiederaufstieg bei der max.

Quantenausbeute gemessen worden, auf den ein schlagartiger, irreversibler Einbruch um den 1. Juni folgte. Die Versuchsglieder mit Fungizidbehandlungen folgen diesem Vitalitätsverlust etwa 8 (Opus Top) bis 13 Tage (Juwel Top) später.

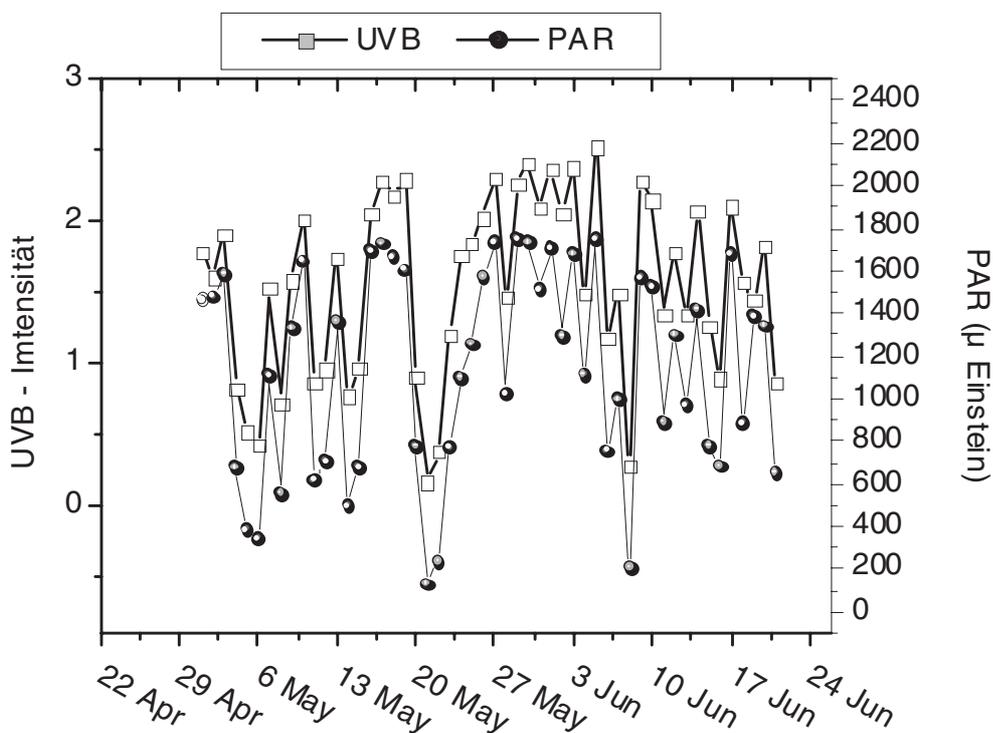


Abb. 52: UVB-Intensität (dimensionslos) und photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) für den Zeitraum Mai 1999 bis Juni 1999, Standort Frankendorf

Der Parameter Fv:Fm lief den Fahnenblattnekrosen voraus. Vor allem in der Kontrolle tritt unmittelbar nach dem massiven Einbruch von Fv:Fm, als Folge einer mehrere Tage andauernden Streßphase (Hot Spot), am 28. Mai unwiderruflich die Nekrosebildung ein (Abb. 54). Diese Nekrosen wurden als 'Nichtparasitäre Blattflecken' eindeutig diagnostiziert (OBST, mündl. Mitt. 1999), vermischten sich in späteren Entwicklungsphasenabschnitten aber zunehmend mit Symptomen der Netzfleckenkrankheit (*Drechslera teres*). Die Netzfleckenkrankheit beschleunigte die Nekrosebildung. Opus Top konnte die 'Nichtparasitären Blattflecken' gut unterdrücken. Eine vollständige Verhinderung wurde jedoch nicht erreicht. Besonders effektiv konnte die Juwel Top-Behandlung die nichtparasitäre Krankheit verhindern, und in Kombination mit der ausgesprochen guten Fungizidleistung war eine gegenüber den Azol-Behandlungen verlängerte Assimilationsphase gemessen worden.

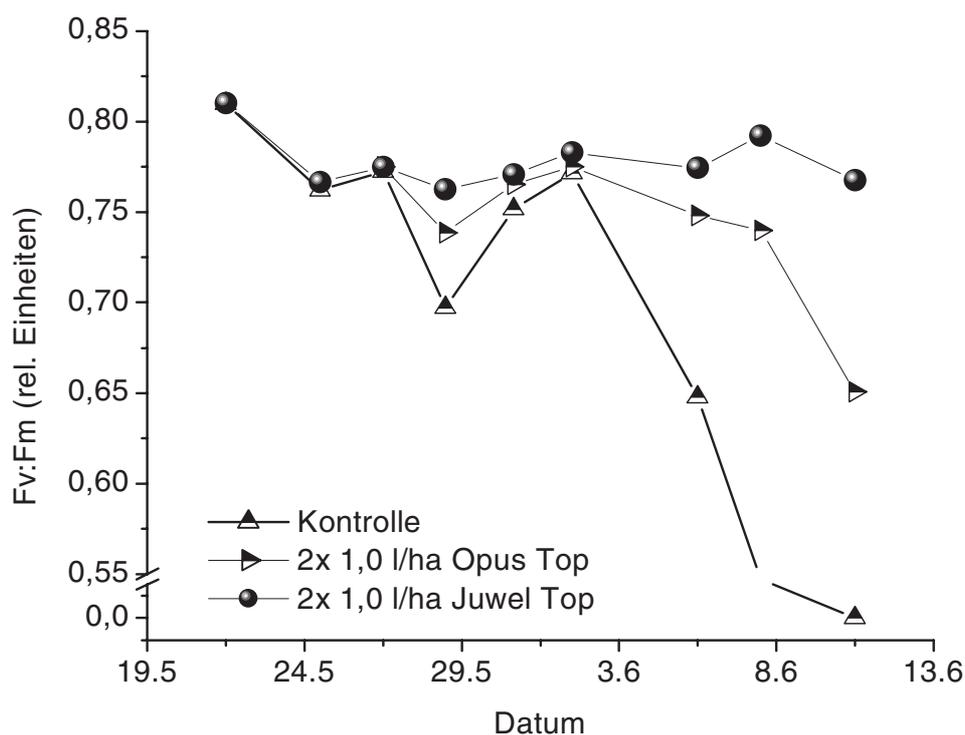


Abb. 53: Verlauf der max. rel. Quantenausbeute (Fv:Fm) von Photosystem II (oben) im Zeitraum 19. Mai bis 11. Juni 1999 (Standort Frankendorf, Sorte: 'Anthere', n = 120)

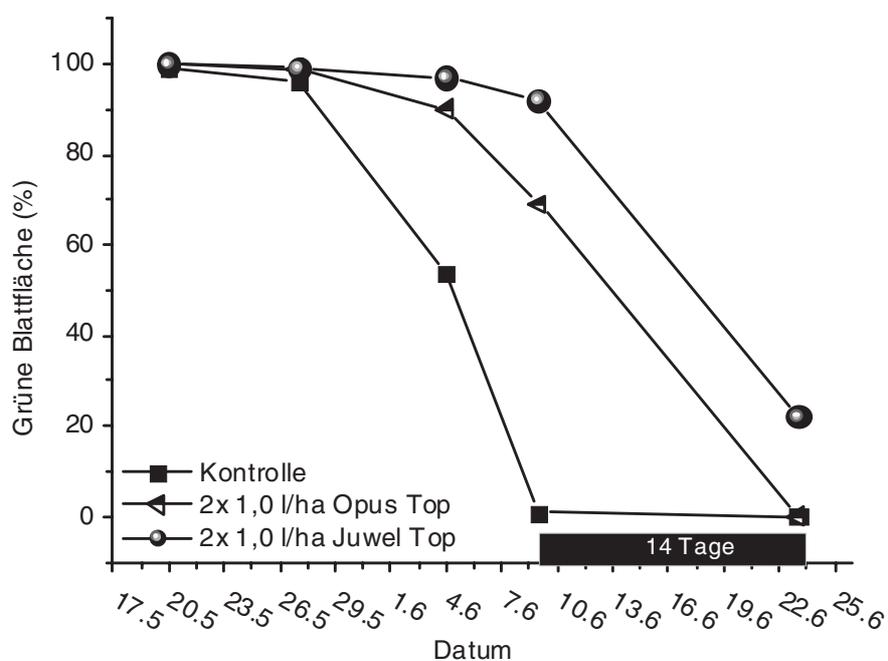


Abb. 54: Abnahme der grünen Fahnenblattfläche bei Fungizidvarianten und unbehandelter Kontrolle der Wintergerstensorte 'Anthere' (Standort Frankendorf 1999, n = 4)

5.4 Wirkung strobilurinhaltiger Fungizide auf Abreifeparameter

5.4.1 Ethylenentwicklung

Ethylen, ein gasförmiges Pflanzenhormon, ist in vielfältige Aspekte pflanzlicher Wachstums- und Entwicklungsprozesse eingebunden. Ein Anstieg der Synthese von Ethylen ist assoziiert mit Reaktionen auf externe Einflüsse wie biotischem und abiotischem Streß. Eine wesentliche Rolle nimmt dieses Pflanzenhormon bei der Steuerung der Seneszenzabläufe ein. Die im Feld beobachtete ausgedehnte grüne Blattflächenvitalität von mit strobilurinhaltigen Fungiziden behandelten Pflanzen im Vergleich zu Behandlungen mit Fungiziden anderer Wirkungsweise, kann daher auch auf eine wirksamere Hemmung der Ethylensynthese zurückzuführen sein.

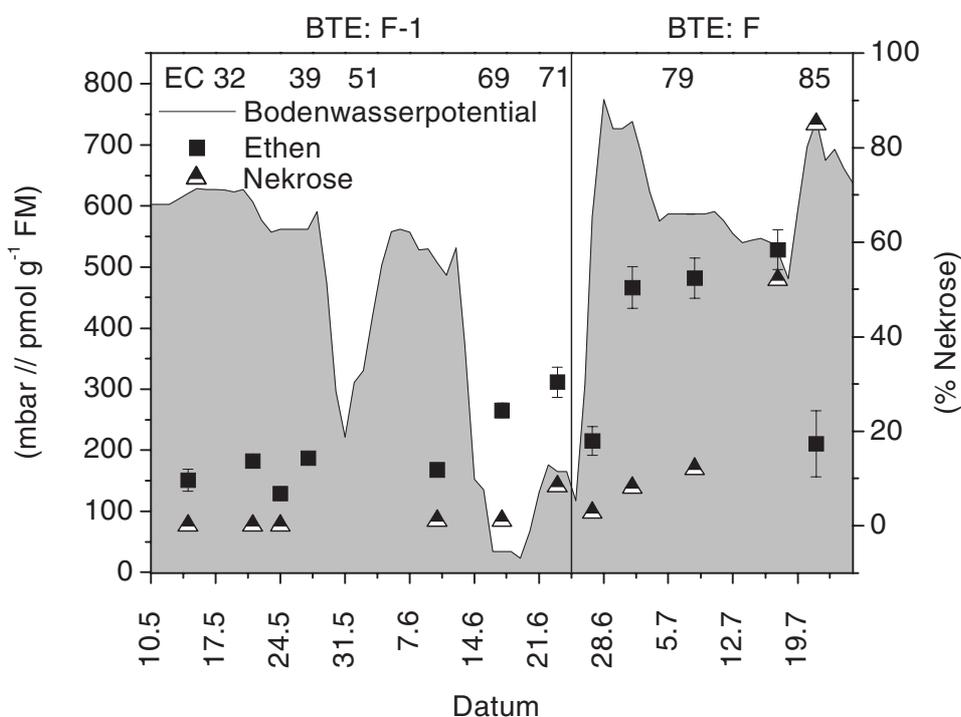


Abb. 55: Veränderung der Ethylen- und Nekrosebildung einer Kontrolle bei vorherrschendem Bodenwasserpotential (graue Fläche) im Entwicklungsabschnitt EC 32 bis EC 85 (Standort Oberding 1998, Sorte: 'Astron', Versuch: OV1, DTR-Erstbefall 29.6., BTE = Blatttage, FM = Frischmasse, vertikale Balken zeigen die Standardabweichung an, n = 10)

Ethylenentwicklung in der Kontrolle

Die Abbildung 55 zeigt die Entwicklung der Ethylenfreisetzung einer am Standort Oberding mit 0,3 l/ha Fortress und 1,5 l/ha Bravo vorbehandelten Kontrolle (Sorte 'Astron'). Wie bereits erwähnt, konnte dadurch eine wirksame Dämpfung der Schaderregerentwicklung auf oberen Blattetagen bis weit in die Blütephase erreicht werden. Über den

Entwicklungsabschnitt EC 32 bis EC 75 wurde Ethylen der Blattinsertion F-1, anschließend der Fahnenblatttage detektiert. Dadurch konnte die Reaktion von vitalen Blättern gegenüber Einflüssen der Umwelt und auch Prozesse der Seneszenz untersucht werden. Während der ersten fünf Messungen waren die Ethylenwerte (Blatttage F-1) niedrig und schwankten nur leicht um ein mittleres Niveau von ca. 170 pmol Ethylen/g Frischmasse. Die vitalen Blätter reagieren auf die angespannte Bodenwasser-Situation verhalten. Erst mit fortschreitender Blattalterung, Zunahme der Nekrosewerte der Blatttage F-1 und Temperaturspitzen bis 31°C (21.6.) steigen die Ethylenwerte deutlich an. Das anschließend untersuchte Fahnenblatt weist erst mit dem Übergang in die Kornfüllung zunehmende Meßwerte auf, die ein Maximum (ca. 550 pmol Ethylen/g Frischmasse) zur Gelbreife (EC 85) erreichen. Die Daten geben Hinweise auf eine durch den Schaderreger DTR induzierte Veränderung der Hormonhomöostase. Ein deutlicher Krankheits- und Seneszenzfortschritt der Fahne, angezeigt durch den schlagartigen Anstieg der Nekrosewerte auf über 10% zu EC 79/81 wird durch eine drastische Zunahme der Ethylenwerte begleitet. Als Folge des massiven Verlustes an physiologisch aktiver Blattfläche (> 80% Nekrose) ist die Ethylensynthese zum letzten Meßtermin stark reduziert.

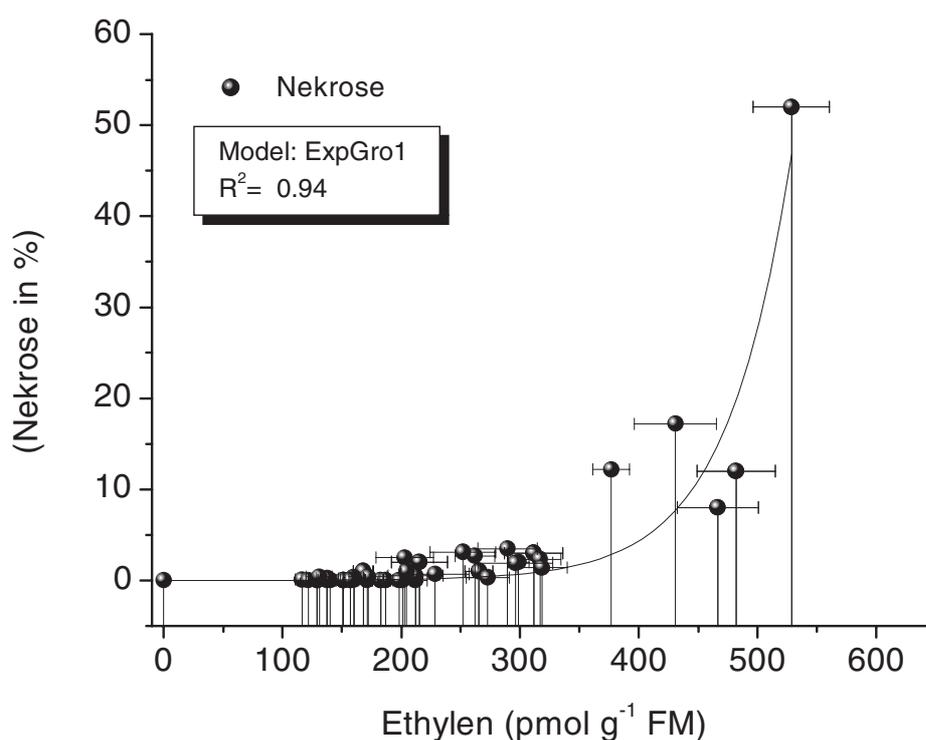


Abb. 56: Beziehung zwischen Nekroseprogression und Ethylenbildung (Standort Oberding 1998, Sorte: 'Astron', Versuch: OV1, horizontale Balken geben die Standardabweichung der Ethylenwerte an, n = 10)

Es wurde eine generelle Beziehung zwischen der Nekroseprogression und den gemessenen Ethylenwerten über den Zeitraum EC 32 bis EC 79/80 festgestellt (Abb. 56). Der Kurvenverlauf wird in guter Näherung durch eine exponentielle Wachstumskurve beschrieben, und vereint letztendlich ein Mischsignal aus Pathogenwirkung und Seneszenzfortschritt. An gesunden Pflanzen ist die Methode der Ethylen detektion dann ein geeignetes Werkzeug, den 'Grün-Effekt' als Folge einer seneszenzverzögernden Wirkung strobilurinhaltiger Fungizide zu beschreiben und gegen Fungizide anderer Wirkungsweise zu vergleichen.

Ethylenentwicklung bei Gesundvarianten

In Abb. 57 sind die zur Kontrolle prozentual veränderten Ethylenmengen nach Fungizidbehandlungen dargestellt. In der Vitalphase der Blattinsertionen F-1 und F wurden keine aussagekräftigen Differenzierungen zwischen den Gesundvarianten und der teilbehandelten Kontrolle gemessen (T 0). Dieser Aspekt wurde auch schon bei der Beschreibung der Photosyntheseaktivität erarbeitet. Aus diesem Grund wird die Darstellung der Wirkung strobilurinhaltiger Fungizide auf die Alterungs- und Seneszenzphase beschränkt.

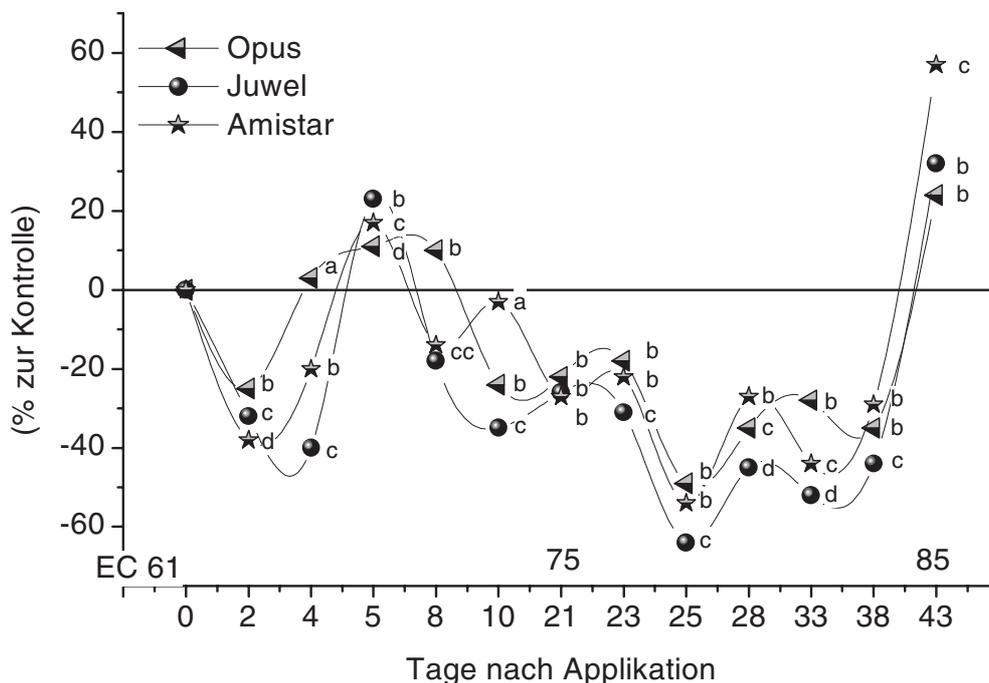


Abb. 57: Zeitlicher Verlauf der Ethylenbildung in Tagen nach der letzten Applikation verschiedener Fungizide an der Sorte 'Astron' (Standort Oberding 1998, Versuch: =V1, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanz bei $p \leq 0,05$, Duncan Test, $n = 10$)

Ergebnisse

Nach Behandlung mit Jewel und Amistar war die Ethylenbildung am zweiten Tag zunächst um ca. 35% bis 40% gegenüber der noch befallsfreien Kontrolle reduziert. Auch das Präparat Opus dämpfte die Ethylenbiosynthese, war aber um etwa 10% schwächer in der Wirkung als die getesteten Strobilurinpräparate. Am Tag fünf waren in allen Fungizidbehandlungen deutlich erhöhte Ethylenmengen nachzuweisen, die etwa 10% bis 25% über Kontrollniveau lagen, wobei Opus bis zum Meßtag acht noch erhöhte Ethylenwerte aufwies. Neun Tage nach Behandlung lagen die Ethylenmengen aller Fungizidvarianten dann weit unter Kontrollniveau, und bewegten sich bis achtunddreißig Tage nach Behandlung um eine mittlere Verminderung der Ethylensynthese von 35%. Die effektivste Wirkung konnte statistisch für die Jewel-Variante ermittelt werden. Der drastische Abfall der produzierten Ethylenmenge der Kontrolle zu EC 85 (Abb. 55, > 80% Nekrose) ist die Ursache für den zwischen 30% (Jewel und Opus) und 60% erhöhten Ethylenausstoß der Fungizidvarianten, aber auch ein Indikator für die schlagartig einsetzende Abreife dieser Behandlungsvarianten. Die zum vorletzten und letzten Meßtermin ermittelten Nekrosewerte (Tab. 25) spiegeln diesen Sachverhalt wider und sind mit der in Abb. 56 gezeigten Beziehung zwischen Nekrose und Ethylensynthese konsistent.

	Nekrose in %	
	16. 07. EC 83	23.07. EC 85
3x 1,5 l/ha Opus	22,4	78,6
3x 1,0 l/ha Jewel	6,4	75,9
3x 1,0 l/ha Amistar	12,4	83,0

Tab. 25: Fahnenblattnekrosen der Sorte 'Astron' in den Fungizidbehandlungen am Standort Oberding 1998 ('Astron', n = 10)

Ethylenwirkung der Einzelwirkstoffe

Für Epoxiconazol (Opus) und BAS 490 (Kresoxim-methyl) ist eine Ethylen-reduzierende Wirkung unter kontrollierten Bedingungen beschrieben. Inwieweit diese unter Feldbedingungen auftritt und sich gegenüber der Wirkung von Jewel und Amistar unterscheidet wurde geprüft. Epoxiconazol, BAS 490, Jewel und Amistar zeigen die oben beschriebene reduzierende Wirkung auf die Ethylenbiosynthese zwei und drei Tage nach Applikation (Abb. 58). Die Zeitkinetik belegt, daß BAS 490 auch fünf Tage nach Behandlung, verglichen zur Kontrolle und zu Epoxiconazol und Amistar, noch eine deutliche Ethylen-reduzierende Wirkung hat. Der zu diesem Zeitpunkt auch bei den Jewel-behandelten Fahnenblättern festgestellte Ethylenpeak kann auf der spezifischen Wirkung von Epoxiconazol oder auch auf physiologisch wirksame Einflüsse von Formulierungshilfsstoffen beruhen. Prinzipiell kann aus dem Versuch eine Ethylen-reduzierende Wirkung für alle geprüften Einzelwirkstoffe abgeleitet werden. In der Effizienz bis zu fünf Tage nach Behandlung bildet sich eine Rangfolge aus: BAS 490 > Amistar > Opus. Das Kombinationsprodukt Jewel (Epoxiconazol und BAS 490) lag bei der Ethylenwirkung

zwischen BAS 490 und Amistar. Ein synergistischer Effekt, infolge der Kombination der Wirkstoffe Epoxiconazol und BAS 490, ist bei Juwel nicht festzustellen.

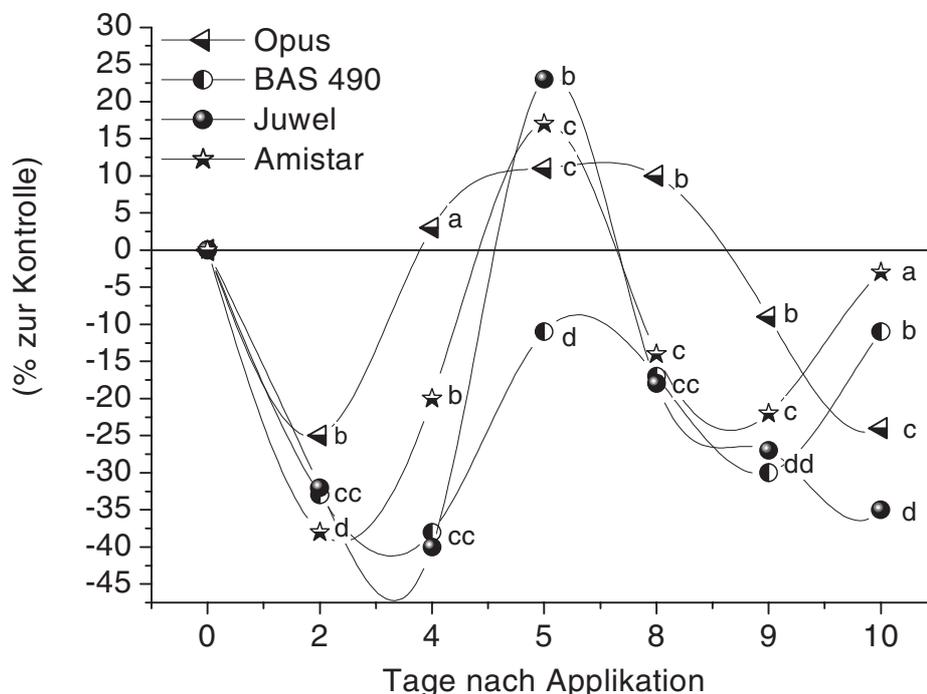


Abb. 58: Wirkung von Einzelwirkstoffen und dem Kombinationsprodukt Juwel (Epoxiconazol und BAS 490) auf die Ethylenbildung (Standort Oberding 1998, Sorte: 'Astron', Versuch: OV1, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanz bei $p \leq 0,05$, Duncan Test, $n = 10$)

Ethylenwirkung bei zeitlich gestaffelter Strobilurin-Behandlung

Im folgenden wurde die Frage untersucht, zu welchem Behandlungszeitpunkt die stärkste Ethylen-dämpfende Wirkung von Juwel und Amistar ausgeht. Hierzu wurden auf Basisbehandlungen (3x 1,25 l/ha Sportak Delta), die eine gesunde Pflanzenentwicklung sicherstellen sollten, gestaffelt volle Aufwandmengen von Juwel bzw. Amistar gegeben. Als Vergleich diente die unbehandelte Kontrolle, die Basisbehandlung 3x Sportak Delta und die Versuchsstandards 3x Juwel bzw. 3x Amistar. Sportak Delta wurde gewählt, da von diesem Präparat, anders als bei Opus Top, keine aktive Beeinflussung der Ethylenbiosynthese bekannt ist.

Der geringe Befallsdruck ermöglichte den Vergleich der Gesundvariante Sportak Delta mit den Staffelvarianten. Dargestellt (Abb. 59) ist ein Ausschnitt aus dem Gesamtversuch (s. Anhang). Die besondere Witterung und die Stickstoffmineralisierungsprozesse im Versuchsjahr 1997 am Standort Roggenstein waren ausschlaggebend für eine ungewöhnlich lange vegetative Phase. Deshalb ergeben sich bei der unbehandelten Kontrolle noch zu EC 89 hohe Ethylenmeßwerte, die in diesem Umfang in der Vegetationsperiode 1998, die am Standort Oberding durch eine schnelle, gekoppelte Abreife gekennzeichnet war, nicht

auftraten. In den gestaffelt behandelten Varianten (Sportak Delta + Juwel oder Amistar) wurde unabhängig vom Behandlungstermin ein deutlich Ethylen-reduzierender Zusatzeffekt festgestellt. In der Tendenz ist eine stärkere Ethylen-dämpfung zu späteren Applikationszeitpunkten von Juwel und Amistar festzustellen, wie in dem Detaillausschnitt in Abb. 60 zu EC 89 gezeigt wird. Statistisch ist dies jedoch nicht eindeutig differenzierbar. Der Vergleich der Nekrose- und Ethylenwerte einzelner Behandlungsvarianten zu diesem Zeitpunkt zeigt einen über die fungizide Leistung hinausgehenden Einfluß der Strobilurine auf den pflanzlichen Ethylen-Stoffwechsel. Dieser tritt insbesondere zwischen den Behandlungen Sportak Delta und Sportak Delta + Juwel bzw. +Amistar in EC 32 markant hervor, die zum Meßzeitpunkt (EC 87) einen vergleichbaren Fungizidschutz aufweisen müßten (der in erster Linie durch die letzte Sportak Delta-Behandlung gegeben ist). In der Summenwirkung tritt ab EC 75 (Abb. 59) eine deutliche Niveauverschiebung bei der Ethylenproduktion auf. Kontrolle und Gesundstandard-Variante haben signifikant höhere Ethylenwerte als die Staffelvarianten und die Dreifachbehandlungen mit Amistar bzw. Juwel. Insgesamt wird durch den Versuch gezeigt, daß Juwel und Amistar, unabhängig vom Behandlungszeitpunkt, die Ethylensynthese nachhaltig hemmen können.

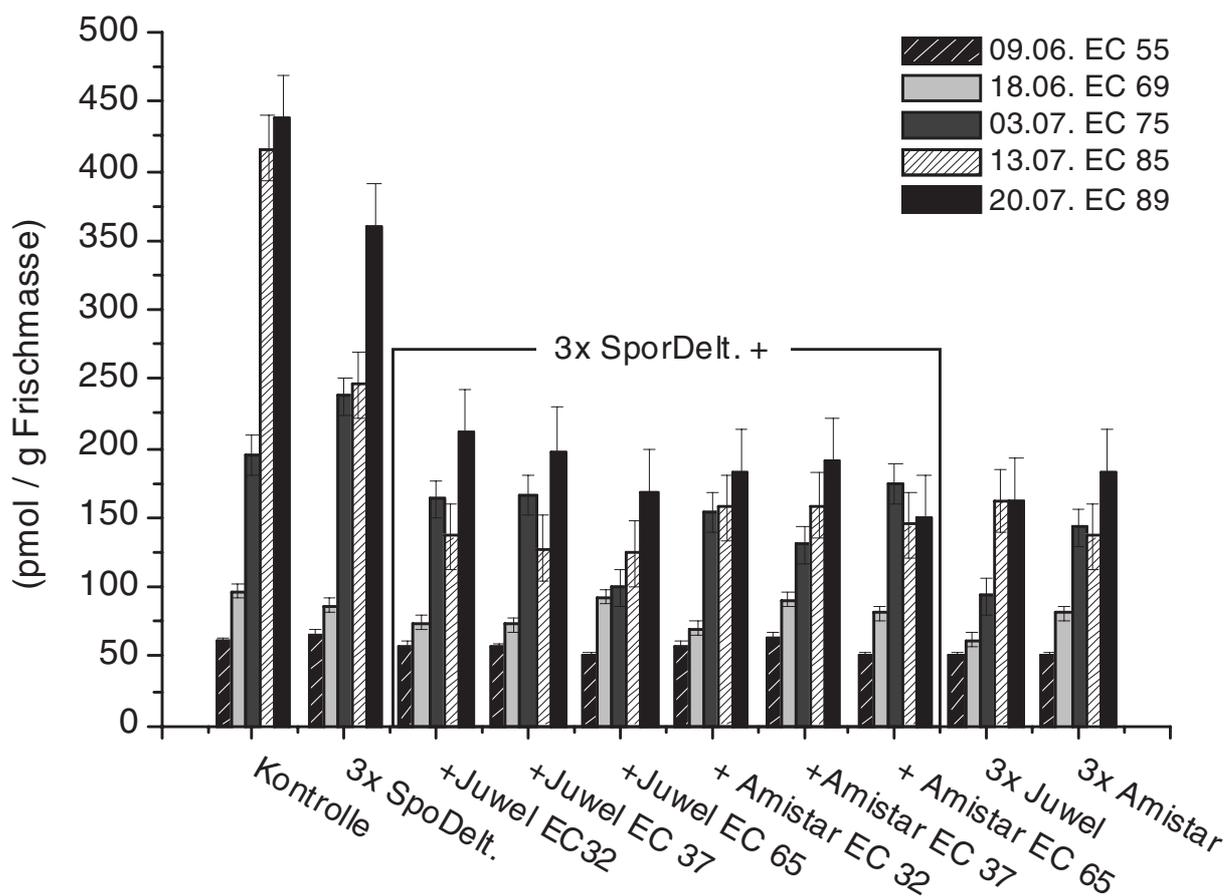


Abb. 59: Ethylenentwicklung an zeitlich gestaffelt, mit Juwel- bzw. Amistar-behandelten Fahnenblättern (Standort Roggenstein 1997, Sorte: 'Bussard' EC 55 – EC 89, Versuch RV3, SporDelt. + = Gesundbehandlung 3x 1,25 l/ha Sportak Delta und zu den angegebenen EC Stadien eine zusätzliche Applikation mit 1,0 l/ha Juwel bzw. 1,0 l/ha Amistar, vertikale Balken gegen die Standardabweichung an, n = 10)

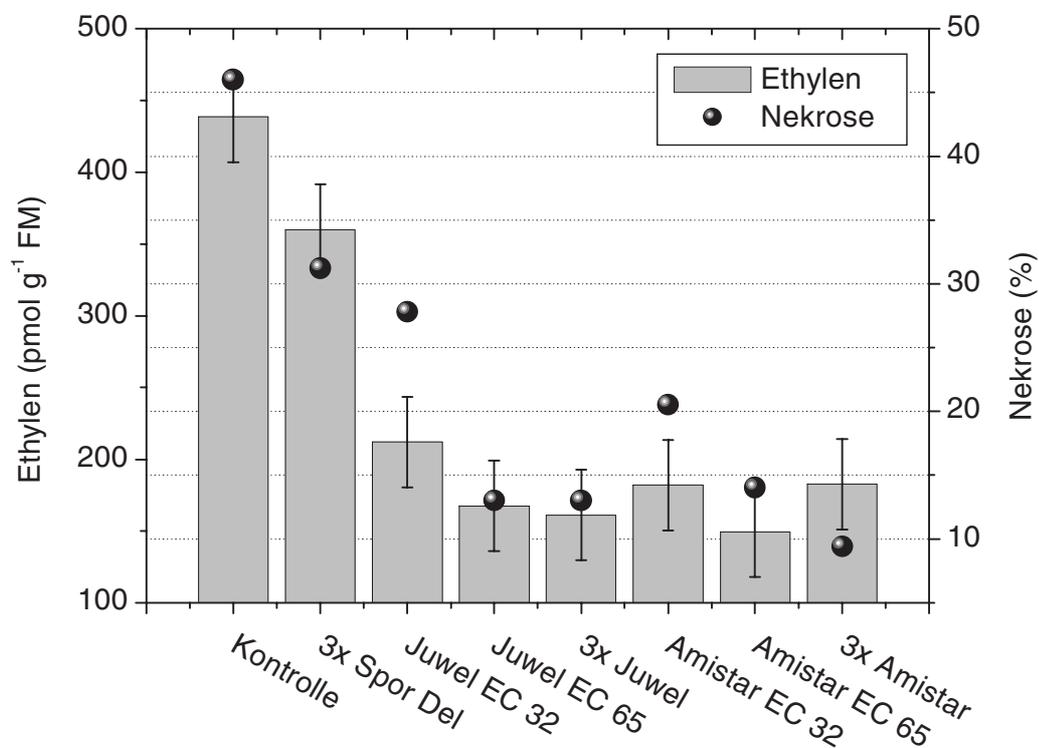


Abb. 60: Detailausschnitt: Ethylen und Nekrose der Fahnenblatttage zum 21.7. (EC 89) der in Abb. 59 dargestellten Behandlungsvarianten (vertikale Balken geben die Standardabweichung der Ethylenwerte an, n = 10)

Vergleichende Betrachtung der Ethylenwirkung über die Versuchsjahre 1997 und 1998

In Tabelle 26 wird eine Zusammenstellung der mittleren Ethylenwirkung verschiedener Behandlungsvarianten im relativen Vergleich zu Kontrollen und zu dem Fungizidstandard Opus Top aufgeführt. Zugrunde liegen sechs Versuche aus den Versuchsjahren 1997 und 1998 mit den Sorten 'Astron', 'Batis', 'Bandit' und 'Bussard'.

Gegenüber der Kontrolle traten signifikante Reduktionen des Ethylenausstoßes in Bereichen von 22% (Sportak Delta) bis 39% (Juwel) auf. Die Behandlung mit Sportak Delta fiel um ca. 13% schwächer gegenüber dem Gesundheitsstandard Opus bzw. Opus Top aus. Amistar dämpfte im Mittel der Jahre und Sorten den Ethylenausstoß um ca. 7%, die oben beschriebene stabilere Juwel-Wirkung drückte sich in der Mittelwertbetrachtung mit Reduktionswerten von etwa 12% gegenüber der Vergleichsvariante aus. In der Summe werden auch in der

Ergebnisse

Gesamtbetrachtung, die zusätzlich Sorteneigenschaften und Jahrgangseffekte einschließen, die oben dargestellten Aussagen der Einzelstandortbetrachtung wiedergeben.

	n	Ethylen (pmol/g FM)	Vergleich in % zu	
			Kontrolle	Opus/Top
Kontrolle	43	391,7 a		45,3
3x 1,25 l/ha Sportak Delta/	23	303,9 b	-22,4	12,7
3x 1,5 l/ha Opus/Top	38	269,5 bc	-31,2	
3x 1,0 l/ha Amistar	43	250,4 c	-36,1	-7,1
3x 1,0 l/ha Juwel	43	237,4 c	-39,4	-11,9
Gesamt		190		

Tab. 26: Wirkung von Fungizidbehandlungen auf die Ethylenbildung (Mittelwerte aus sechs Versuchen in zwei Versuchsjahren 1997 und 1998 von Blattetagen F und F-1 der Sorten: 'Astron', 'Bandit', 'Batis' und 'Bussard', FM = Frischmasse, Opus/Top = Behandlungen mit Opus bzw. Opus Top, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanz bei $p \leq 0,05$, Duncan Test, n = Anzahl Wiederholungen)

5.4.2 DNase-Aktivität

Die vorliegende Untersuchung sollte die Frage klären ob strobilurinhaltige Fungizide eine meßbare Wirkung auf die Seneszenzphysiologie von Weizenpflanzen haben. Frühe (EC 32) und späte (EC 65) Applikationen der Fungizide Jewel (1,0 l/ha) und Amistar (1,0 l/ha) - ausgebracht auf eine Gesundbehandlung (3x 1,25 l/ha Sportak Delta) - wurden mit der Gesundvariante selbst (3x 1,25 l/ha Sportak Delta) und mit Dreifachapplikationen der strobilurinhaltigen Fungizide Jewel (1,0 l/ha) bzw. Amistar (1,0 l/ha) behandelten Pflanzen verglichen (Versuch RV3, Standort Roggenstein 1997).

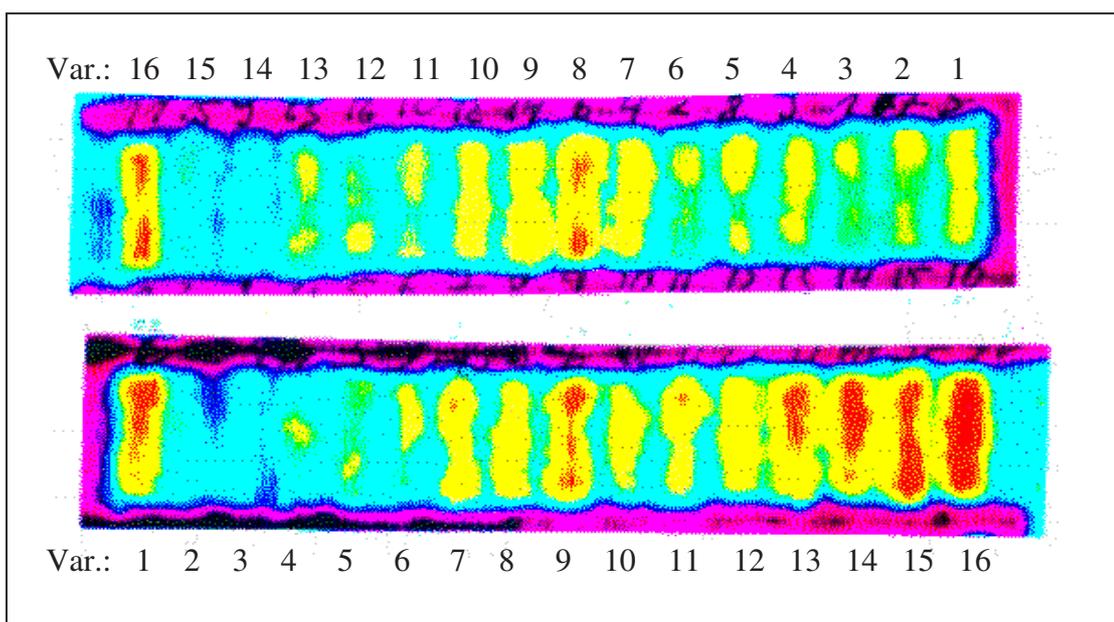


Abb. 61: Remission (DAEDALUS Linespektrometer, Kanal 7, Bandbreite 769 nm bis 900 nm) von Parzellen unterschiedlicher Behandlungsvarianten am 21.7.1997 (EC 89) der 1. (unten) und 5. (oben) Wiederholung im Timingversuch RV3 (Standort Roggenstein, Sorte: 'Bussard', Falschfarbendarstellung, Aufspreizung 30%, Var. = Variante, Behandlungsplan s. Anhang)

In der Kornreifephase wurde (21.7.1997, EC 89) an einer aus dem Bestand entnommenen Mischprobe von Fahnenblättern ausgewählter Behandlungsvarianten die DNase-Aktivität bestimmt (Behandlungsplan RV3 s. Anhang). Während einer Flugkampagne der DLR (Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrttechnik) wurde zeitgleich die Remission des Bestandes aufgenommen (Abb. 61). Nach Auswertung eines den Vegetationszustand beschreibenden Spektralkanals (Kanal 7; 769 nm bis 900 nm) sind deutliche Unterschiede im Remissionsgrad der einzelnen Behandlungsvarianten auszumachen. Kontrolle (Var. 2) und Gesundstandard (Var. 3, 3x 1,25 l/ha Sportak Delta) weisen in der Falschfarbendarstellung dunklere Töne auf, während zusätzliche Behandlungen mit 1,0 l/ha Jewel (Var. 4 – 8) bzw. 1,0 l/ha Amistar (Var. 10 – 14) auf die Gesundbehandlung in den warmen gelben und orangenen Tönen abstrahlen. Die Intensität der Abstrahlung der ganzen Parzellen nimmt mit der zeitlich in Richtung EC 69 gestaffelten Applikation von Jewel und Amistar zu (Var. 4 > 8

bzw. Var. 10 > 14). Sie ist in den Applikationsvarianten 3x Juwel (Var. 9) bzw. 3x Amistar (Var. 15) am ausgeprägtesten (s. Behandlungsplan im Anhang). Daß dies nicht auf Unterschiede eines nicht diagnostizierten Bodengradienten zurückzuführen ist (vergl. Abb. 27), zeigt die Wiederholung 5, die, in umgekehrter Reihenfolge angelegt, das gleiche Farbmuster zeigt. Nach der numerischen Verrechnung der Remissionswerte dieses Spektralkanals und der Auswertung der DNase-Aktivitäten ausgewählter Behandlungsvarianten, konnte ein inverses 1:1-Verhältnis zwischen der aktuellen DNase-Aktivität und dem Remissionsgrad festgestellt werden. Dies ist in Abb. 62 dargestellt.

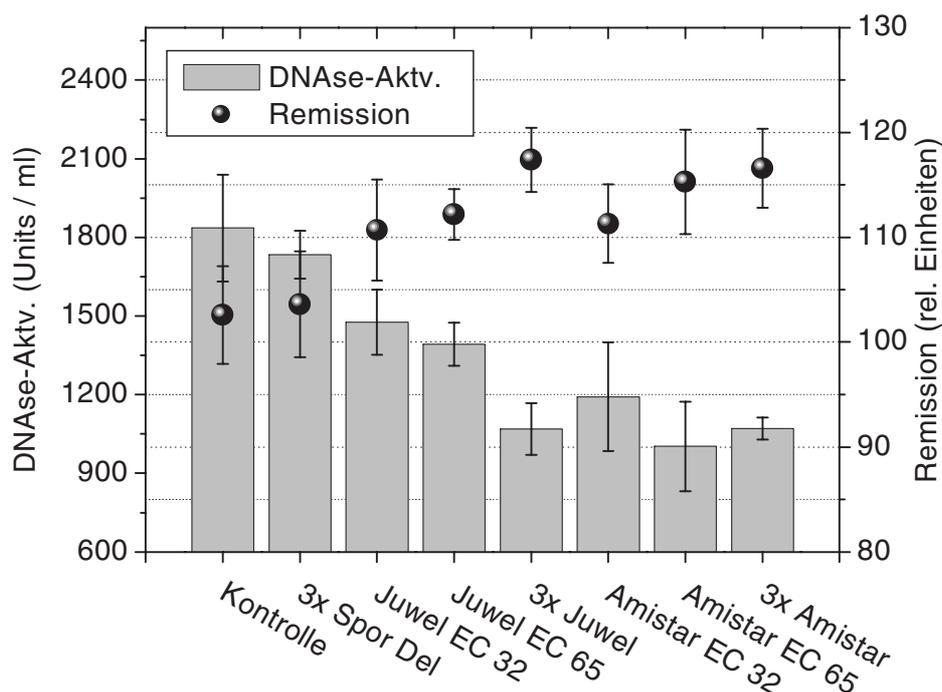


Abb. 62: Gegenüberstellung von DNase-Aktivität und Remission (Kanal 7) im Timingversuch RV3 (Standort Roggenstein 21.7.1997, Sorte: 'Bussard', vertikale Balken geben die Standardabweichung an, n = 80 für DNase-Aktivität, n = 4 für Remission)

Der Remissionsgrad wird in guter Näherung durch den Summenanteil (Blattetagen F bis F-2) grünen, bzw. nekrotischen Gewebes beeinflusst, wie in Abb. 63 (oben) für die hier untersuchten Behandlungsvarianten ausgeführt ist. Daraus kann geschlossen werden, daß die Remission zu diesem Zeitpunkt den Seneszenzgrad der betrachteten Varianten wiedergibt, der durch die DNase-Aktivität belegt ist. So ist der identische Verlauf der behandlungsbedingt veränderten Ethylen- und DNase-Aktivitäts-Werte (Abb. 63 unten) auf eine Wirkung seneszenzphysiologischer Abläufe zurückzuführen. Im Einzelnen wirkten sich alle auf die Gesundvariante (3x Sportak Delta+), gestaffelt applizierten strobilurinhaltenen Fungizide, auch in einer Verminderung der DNase Aktivität aus. Dabei ist eine Parallelität mit den in diesem Versuch auch erfaßten Ethylenresultaten festzustellen. Applikationen in EC 32 waren signifikant wirksamer als der Gesundstandard Sportak Delta. Der späte Termin (EC

65) und die Dreifachbehandlungen mit Juwel und Amistar hatten die ausgeprägtesten Wirkungen auf die DNase-Aktivität. Amistar hatte im Vergleich zu Juwel in allen Behandlungsvariationen einen stärkeren, hemmenden Einfluß auf die Enzymaktivität.

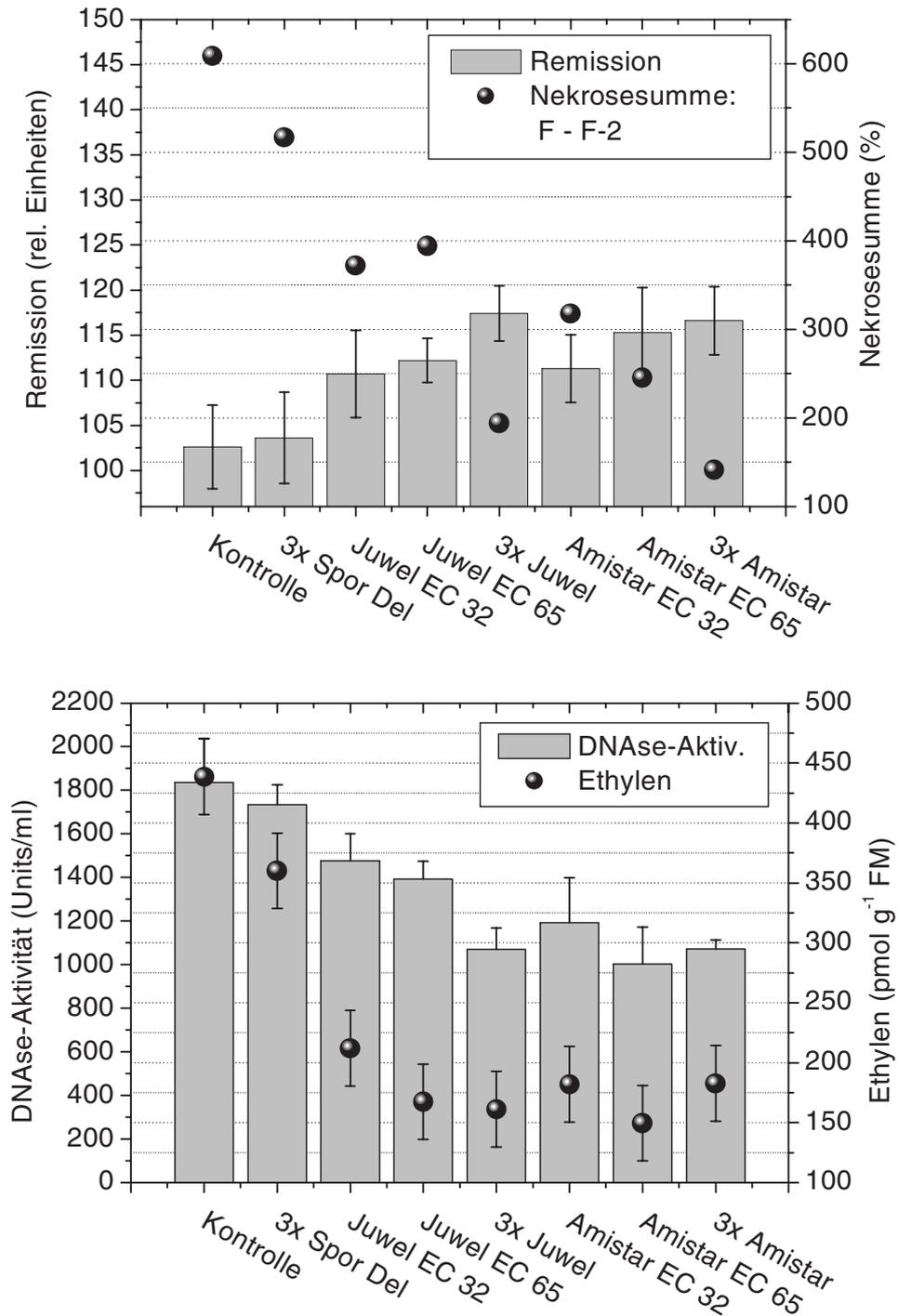


Abb. 63: Gegenüberstellung Remission (Kanal 7) und Nekrosesumme (Blatttagen F bis F-2) (oben) und DNase-Aktivität und Ethylenfreisetzung (unten) (Standort Roggenstein 21.7.1997, Sorte: 'Bussard', Timingversuch RV3, vertikale Balken geben die Standardabweichung an, DNase-Aktivität: n = 80, Ethylenfreisetzung: n = 10, Nekrosesumme und Remission: n = 4)

5.4.3 Blattflächenvitalität

Die Zeit, in der ein grünes Blatt assimilatorisch aktiv sein kann, hat einen direkten Bezug zum Korntrag. Mit einfachen Methoden wurde die Blattflächenvitalität im Feldversuch und unter kontrollierten Versuchsbedingungen im Mitscherlichgefäß-Versuch in regelmäßigen Abständen erfaßt.

Untersuchungen zur Blattflächenvitalität im Feldversuch

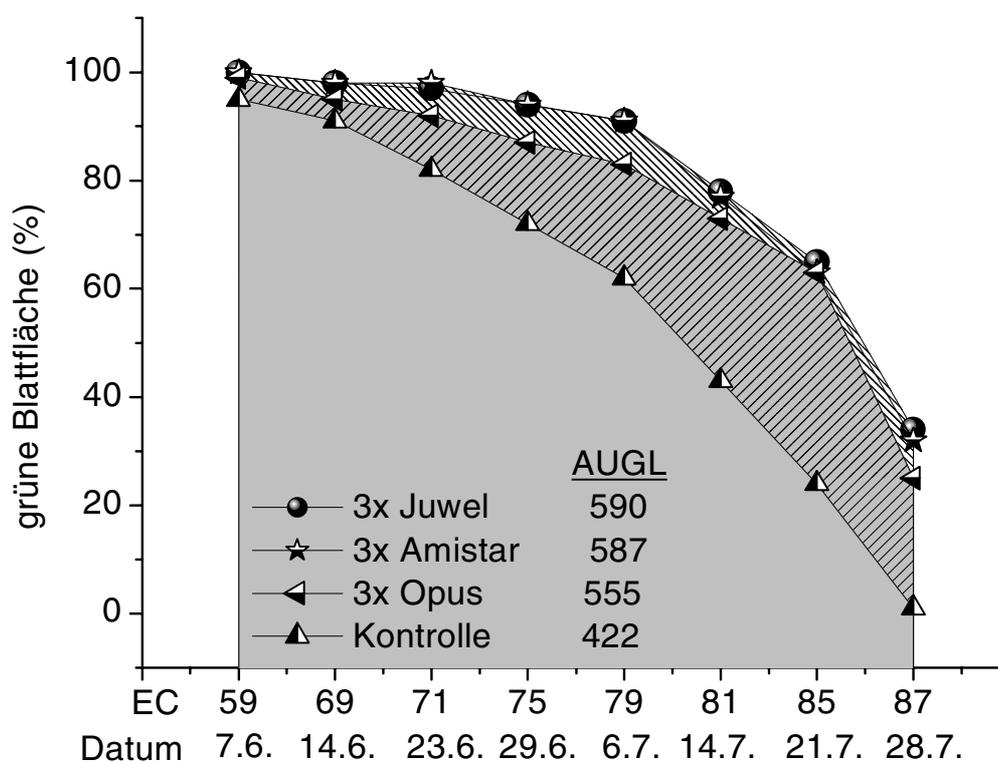


Abb. 64: Fallstudie zur Abnahme der grünen Blattfläche der Blattetagen F bis F-3 (Mittelwert) bei verschiedenen Fungizidvarianten (Standort Oberding 1998, Sorte: 'Astron', Versuch: OV1, AUGL = area under green leaves)

In Abb. 64 ist die Abnahme grüner Blattfläche als Mittelwert über die Blattetagen F bis F-3 der Sorte 'Astron' über den Entwicklungszeitraum EC 59 bis EC 87 dargestellt. Wie sich in der Versuchsserie von 1996 bis 1998 immer wieder beobachten ließ, treten mit Jahrgangseinflüssen Unterschiede in der Blattflächenvitalität von strobilurinbehandelten gegenüber mit Opus/Top-behandelten Pflanzen auf. Sie bilden sich gegen Ende der Blüte aus, und differenzieren sich dann bis zur ausklingenden Kornfüllung (EC 79/81) weiter. In der

Phase der Kornreife tritt in der Regel eine abrupte Abreife der oberen Blattetagen bei den Strobilurinvarianten auf.

Das Integral unter der grünen Blattfläche (AUGL = area under green leaves), kann als ein Maß für die strahlungsaufnehmende Fläche dienen. Abstufungen zwischen den Behandlungsvarianten, die im Bereich von AUGL 555 (Opus) bis AUGL 587 (Amistar) und AUGL 590 (Juwel) liegen, resultieren aus den in der Phase EC 71 bis EC 79/81 auftretenden Aufspreizungen (Abb. 64)

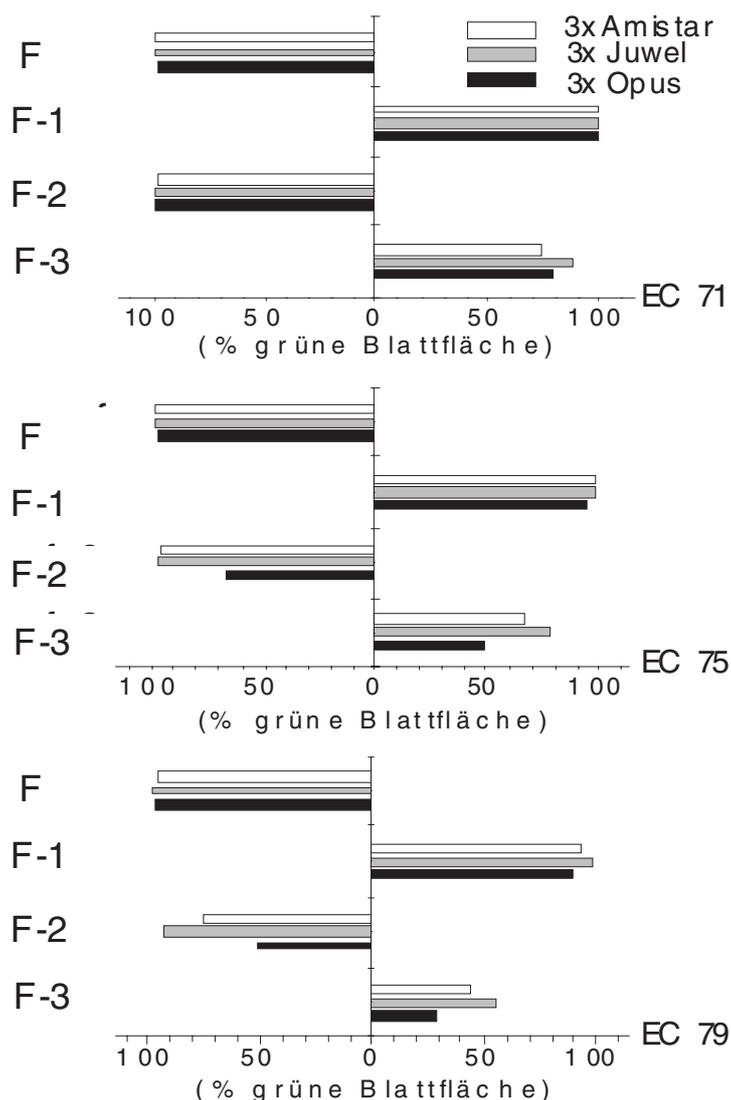


Abb. 65: Abreifeprofil der Blattetagen F bis F-3 unterschiedlicher Fungizidvarianten im Versuch OV1 am Standort Oberding 1998 (Sorte: 'Astron')

Eine Detailstudie, die ein Abreifeprofil der Blattetagen F bis F-3 in dem Entwicklungsphasenabschnitt EC 71 bis EC 79 für die verschiedenen Behandlungsvarianten dokumentiert, ist in Abb. 65 gegeben. Daraus wird ersichtlich, daß in der Kornfüllungsphase Unterscheidungen zwischen den Behandlungsvarianten in erster Linie auf den Blattetagen F-

Ergebnisse

3 und F-2 auftreten. Insbesondere können die Strobilurinvarianten zu den Terminen EC 75 und EC 79 noch größere assimilierende Blattflächen aufrechterhalten, als die Gesundvariante (3x Opus).

Die Fahnenblattfläche ist in allen Gesundvarianten bis in die Phase der Kornreife hinein gesund. Dies ist in den Abreifeszenarien der Abbildung 66 für die Sorten 'Astron' (OV1), 'Batis' (OV2) und 'Bandit' (HVA) auf der Basis der Blattgrünintensität (Spadmetermessungen) nochmals dargestellt.

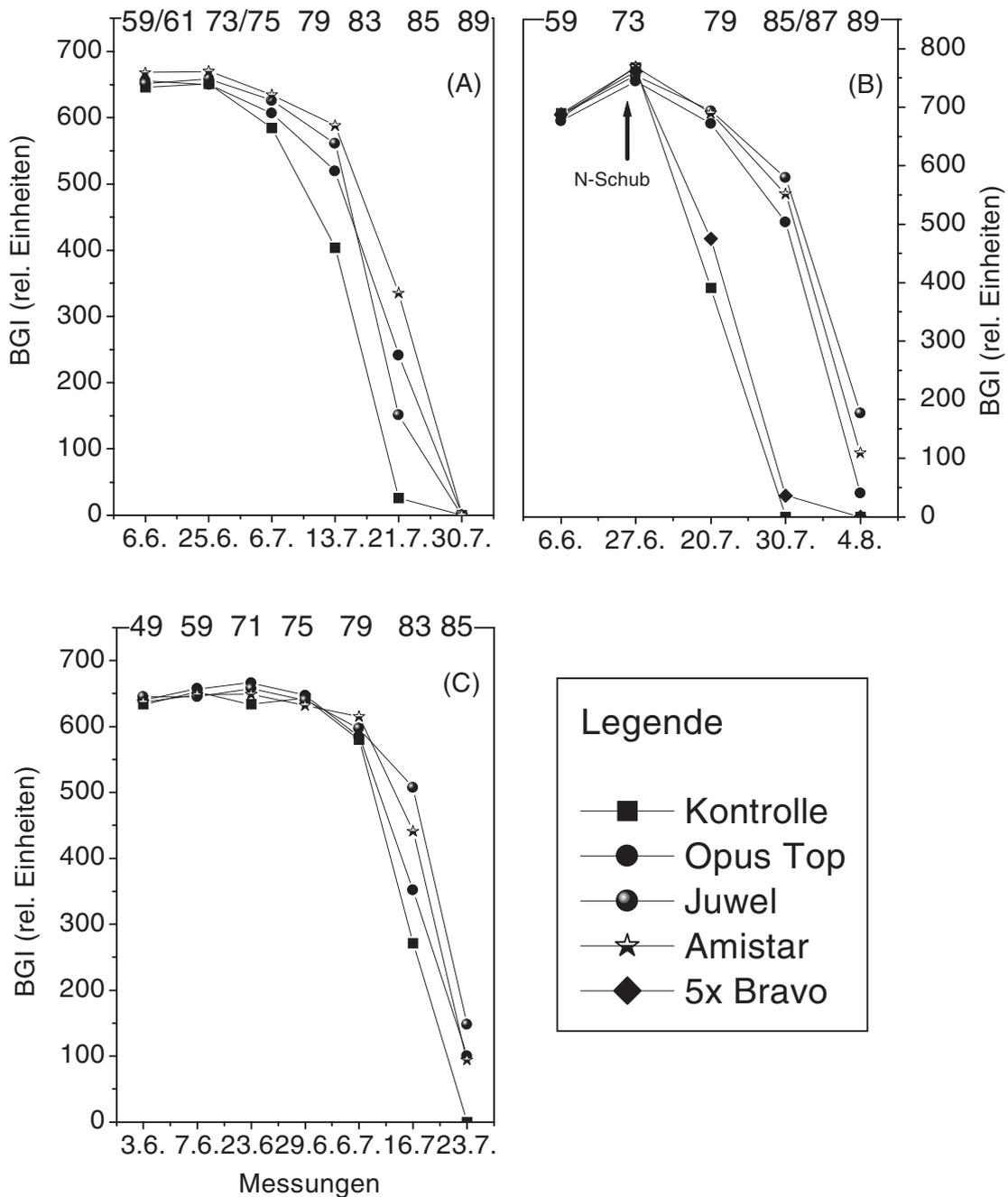


Abb. 66: Abreifestudien von Fahnenblättern unterschiedlicher Behandlungsvarianten [(A) = 'Batis' Versuch OV2, (B) = 'Bandit' Versuch HVA, (C) = 'Astron' Versuch OV1, BGI = Blattgrünintensität]

Ergebnisse

Die Bedeutung der Abreifeverzögerung der Blattetagen F-2 und F-3 für das, die Gesundvarianten differenzierende Ertragsniveau wird in Abb. 67 analysiert. Dargestellt ist die Beziehung der Erträge aller Varianten im Versuch OV1 (Sorte 'Astron') und die durchschnittliche Abnahme grüner Blattfläche (= Nekroseprogression) der oberen vier Blattetagen (F – F-3) im Zeitraum EC 69 bis EC 83. Dabei bestand keine Beziehung zwischen Kornertrag und der zu EC 69 bonitierten durchschnittlichen grünen Blattfläche. Zunehmend enger wurden die Korrelationen zu EC 71 und EC 75. Die stärkste Beziehung zwischen Ertrag und grüner Blattfläche bestand in EC 79 zum Ende der Kornfüllung. Anschließend wird sie wieder schwächer.

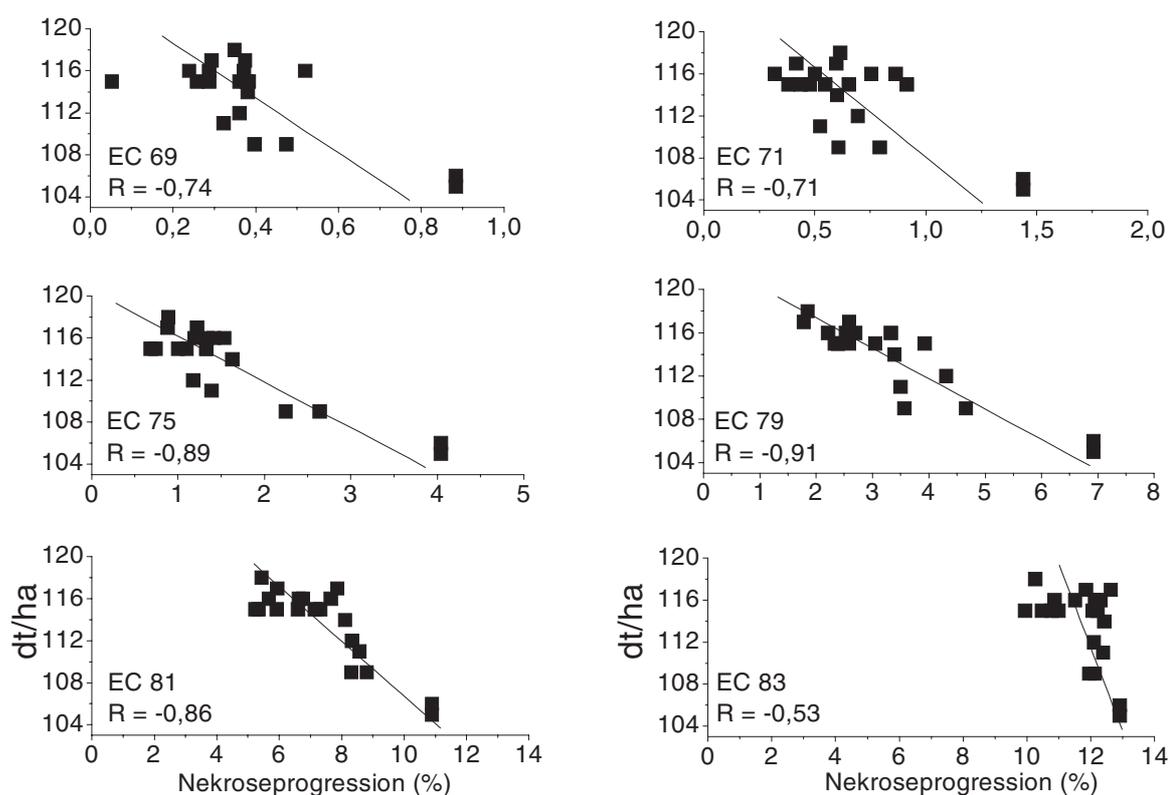


Abb. 67: Beziehung zwischen Kornertrag (dt/ha) und durchschnittlicher Nekroseprogression (%) zu unterschiedlichen Entwicklungsphasen der Winterweizensorte 'Astron' (ausgewertet sind alle Versuchsglieder (=20) des Versuches OV1, Standort Oberding 1998, n = 4)

In der Betrachtung der Beziehung zwischen assimilierender Blattfläche und Kornertragsniveau, wird eine enge, lineare Beziehung zwischen Kornertrag (dt/ha) und durchschnittlicher Nekroseprogression (%) pro Tag in der Entwicklungsphase der Kornfüllung bei der Winterweizensorte 'Astron' gefunden (Fallstudie Abb. 68).

Dies gilt in erster Näherung für jede der in dieser Erhebung angebauten Sorten, aber nicht, bei einer Entkopplung der Korn- und Strohreife, wie sie in massiver Ausprägung im Versuchsjahr 1997 am Standort Roggenstein auftrat. Auch in Jahren mit optimalen Wachstumsbedingungen sind optische Vorteile bei strobilurinholden Fungiziden, in Bezug

auf vergleichbar starke Azolfungizide nicht unmittelbar auch ertragswirksam. Solche Erkenntnisse wurden im Versuchsjahr 1996 am Standort Roggenstein gewonnen.

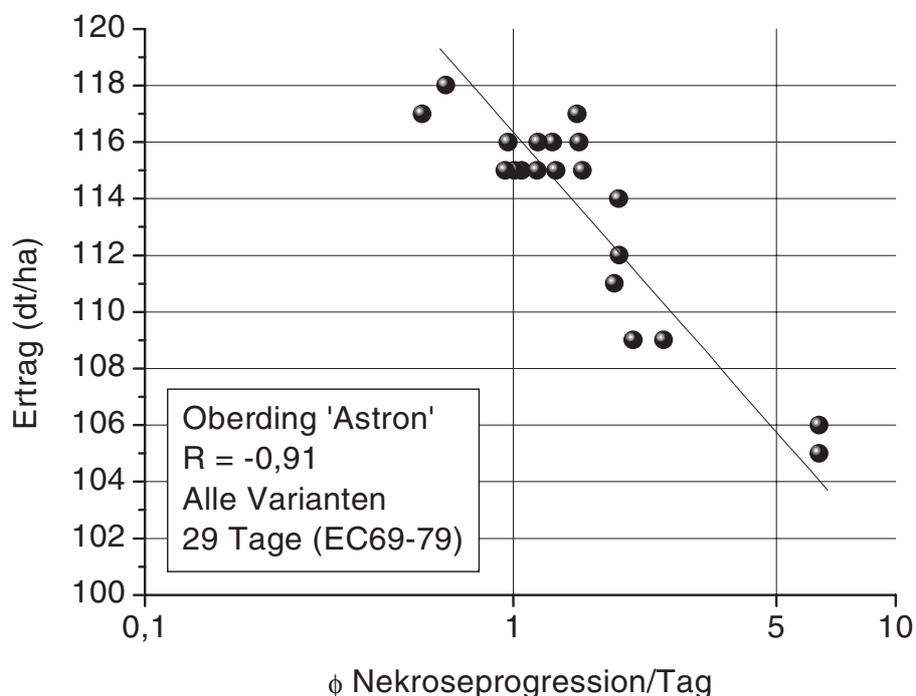


Abb. 68: Fallstudie der Beziehung zwischen Kornertrag (dt/ha) und durchschnittlicher Nekroseprogression (%) pro Tag in der Entwicklungsphase der Kornfüllung bei der Winterweizensorte 'Astron' (Standort Oberding 1998, Versuche: OV1)

Untersuchungen bei kontrollierten Versuchsbedingungen

Eine prinzipielle Untersuchung unter kontrollierten Bedingungen sollte die Frage untersuchen, ob strobilurininhaltige Fungizide bei weitestgehend streßfreien und gut kontrollierbaren Umweltbedingungen ein abreifverzögerndes Potential haben. Dazu wurde die Blattgrünintensitätsabnahme als Maß für den Seneszenzfortschritt verwendet.

An, aus dem Freiland zu EC 31 entnommenen Pflanzen (Mitscherlichgefäß-Kultur) wurde über den Zeitraum EC 51 bis EC 89 mit dem SPAD-Meter zerstörungsfrei der Abbau von Chlorophyll gemessen (Abb. 69). Berücksichtigt wurden die oberen vier Blattetagen mit Amistar- (2x 1,0 l/ha), Kresoxim-methyl-behandelter (2x 1,0 l/ha) oder unbehandelter Pflanzen. Jedes Blatt wurde an drei Blattabschnitten vermessen (Spitze, Mitte, Basis, s. Abb. 35). Hierdurch wird die Chlorophyllausstattung des gesamten Blattes beschrieben. Wassermangel und Schaderregerbefall traten in den Mitscherlichgefäß-Versuchen zu keiner Zeit auf. Der Chlorophyllabbau der Pflanzen folgte dem für Weizen typischen sequentiellen Seneszenzmuster und setzte auf der physiologisch ältesten Blattetage F-3 zuerst ein.

Anschließend folgten die darüber stehenden Blätter. Eine Erhöhung des Chlorophyllgehaltes konnte bei allen Fungizidbehandlungen nicht gemessen werden und bestätigt die Versuchsergebnisse zum Chlorophyllgehalt.

Gegenüber den zweimal mit Amistar- bzw. Jewel-behandelten Pflanzen zeigten die SPAD-Meterwerte der befallsfreien Kontrolle deutlich schnellere Seneszenz auf allen Blatttagen (Abb. 69). Behandlungen mit Amistar differenzierten sich in der Hauptwirkung auf der Blatttage F-3 gegenüber der Kresoxim-methyl-Variante. Amistar-Behandlungen bewirkten dann eine deutliche Verlängerung der grünen Blattflächenvitalität im Entwicklungsphasenabschnitt EC 69 bis EC 87.

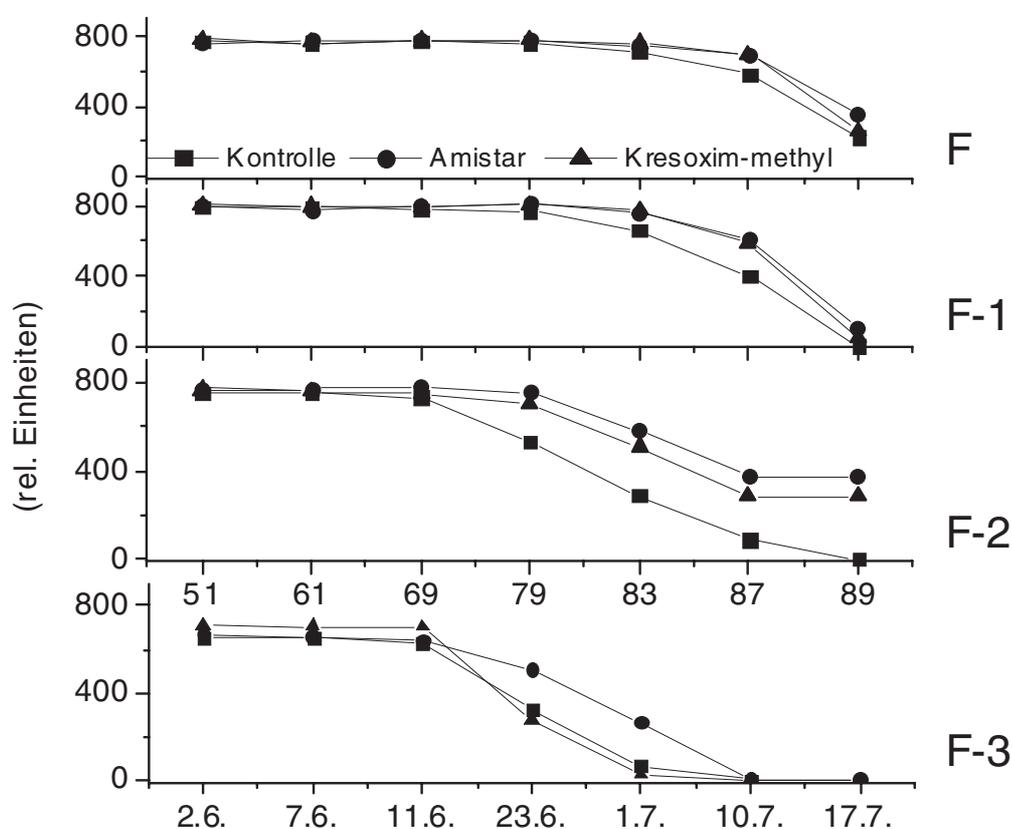


Abb. 69: Zeitliche Veränderung der Blattgrünintensität der Blatttagen F bis F-3 Amistar- und Jewel-behandelter Pflanzen (Mitscherlichgefäß-Versuch, F bis F-3 = Blatttagen, Kresoxim-methyl = BAS 490)

5.4.4 Eosinreife

Die in den meisten Fällen ertragswirksam längere Blattflächenvitalität der obersten Blattetagen an Gesundvarianten mit Juwel- bzw. mit Amistar-behandelten Pflanzen, im Vergleich zu Gesundvarianten, sind auf Veränderungen der seneszenzphysiologischen Abläufe zurückzuführen. Ob auch eine Wirkung auf die physiologische Kornreife besteht, wurde mit einer Färbemethode bestimmt, bei der Ährenhalme in Eosinrot inkubiert, und nach mindestens einer Stunde die gefärbten Spindelstufen bonitiert wurden. Aus der Summe der einzelnen Boniturnoten wurde eine rel. Einfärbungsdistanz (RED in %) berechnet.

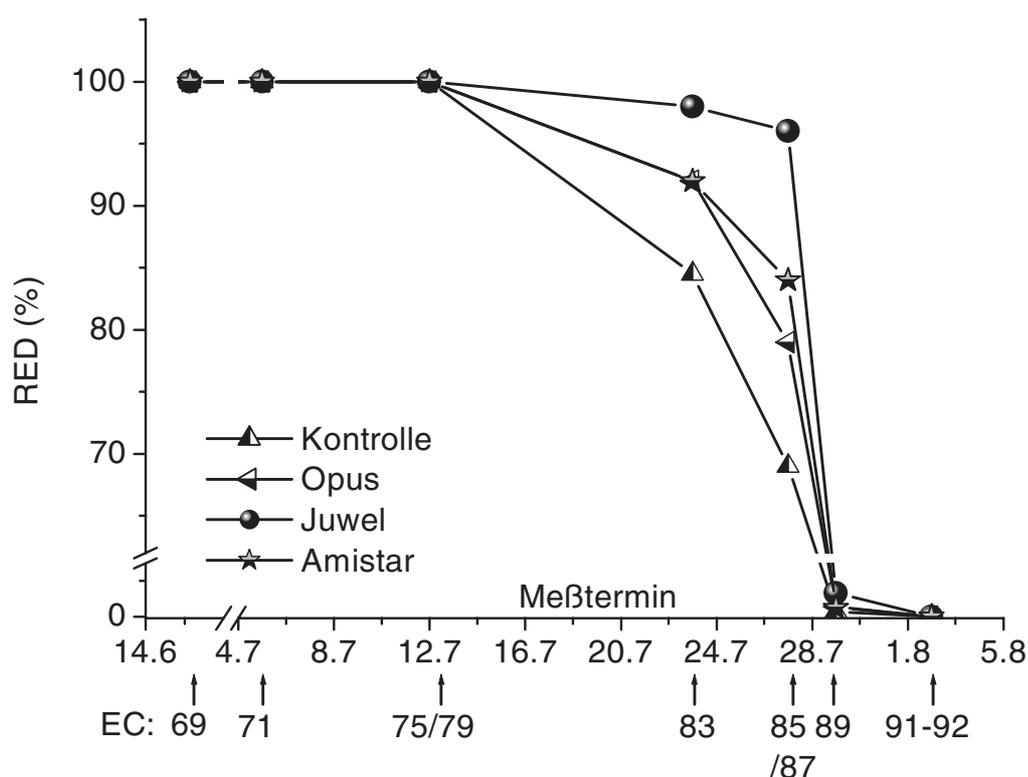


Abb. 70: Relative Einfärbedistanz (RED) der Ähren ausgewählter Fungizidvarianten über den Zeitraum 18. Juni. bis 2. August 1998 (Standort Oberding, Sorte: 'Batis', RED = rel. Einlagerungsdynamik, n = 120)

In Abbildung 70 werden die im Beobachtungszeitraum 1998 an der Sorte 'Batis' gemessenen RED-Werte als Mittelwerte für ausgewählte Behandlungsvarianten dargestellt. Die ersten drei Meßtermine zeigten keine Differenzierungen in der RED, die über alle Varianten bei 100% lag. Erst nach dem 12. Juli (EC 75/79) gliederten sich die Fungizidbehandlungen von der Kontrolle ab, die relativ höhere Einfärbung der Ährenspindel zur Kontrolle hielt bis etwa zum 27. Juli an, danach brachen alle Varianten die Translokation der Färbelösung in die Ähre abrupt ab. War die Progression der RED-Abnahme in der Kontrolle nach Mitte Juli eher

stetig, wies die RED-Kurve der Jewel-Variante (3x 1,0 l/ha) ein über lange Zeit konstant hohes Niveau auf, das dann schlagartig endete. Es gleicht damit dem, schon bei der Fahnenblattreife, aufgezeigten Abreifemuster. Die dreimal mit Opus- (1,0 l/ha), bzw. Amistar- (1,0 l/ha) behandelten Pflanzen lagen bei der RED-Bestimmung zwischen Kontrolle und Jewel-Variante. Nur in einem kleinen Zeitfenster von vier Tagen (23.7. bis 27.7.) wurde eine geringfügig höhere Einfärbung der Ähre der mit Amistar-behandelten Pflanzen festgestellt.

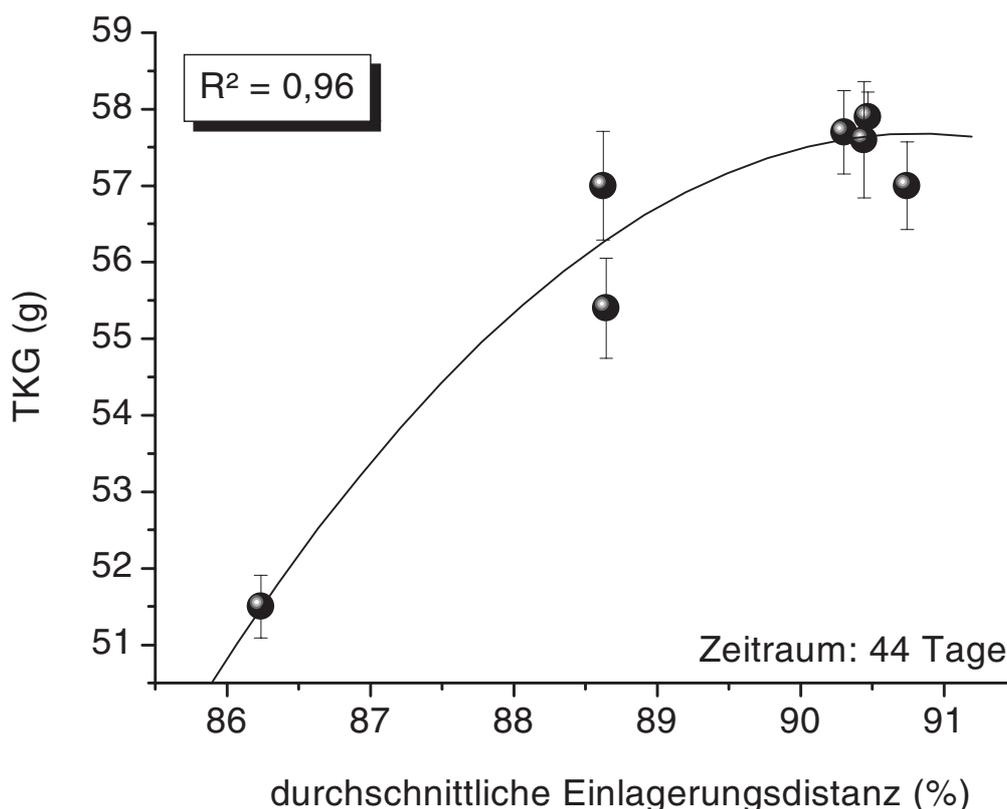


Abb. 71: Beziehung zwischen Tausendkorngewicht (TKG) und der durchschnittlichen Einlagerungsdistanz pro Tag (%)

Mit der Eosinfärbemethode konnte die physiologische Reife 1998 als gerichtet sequentieller Vorgang verfolgt werden. Inwieweit sich die oben dargestellten Unterschiede bei dem Parameter RED auf die Ertragsergebnisse beziehen lassen, wird in Abb. 71 gezeigt. Über die Bestimmung des Integrals unter der RED-Kurve der einzelnen Varianten und durch Division der betrachteten Zeitspanne von 44 Tagen, ergab sich mit $R^2 = 0,96$ ein hohes Bestimmtheitsmaß zwischen der durchschnittlichen Einlagerungsdistanz und dem Tausendkorngewicht.

6 Diskussion

Über die nichtfungiziden Wirkungen strobilurinhaltiger Fungizide, die in dem Phänomen des 'Grün-Effekt' zur Ausprägung kommen, ist unter Feldbedingungen derzeit wenig geforscht. In den vorliegenden Untersuchungen wurden deshalb folgende Themenkomplexe bearbeitet.

- Die Ertragswirksamkeit strobilurinhaltiger Fungizide, die über die bloße Vermeidung der Schädigung phytopathogener Pilze hinausgeht
- Die qualitative und quantitative Beschreibung von Abläufen der Aufwuchsleistung gesunder Pflanzen nach Anwendung strobilurinhaltiger Fungizide
- Die Wirkung von strobilurinhaltigen Fungiziden auf die photosynthetische Primärproduktionsleistung der Pflanzen
- Der Einfluß strobilurinhaltiger Präparate auf Alterung und Seneszenz ertragsessentieller Blattorgane

Spezielle Fragestellungen wurden unter kontrollierten Versuchsbedingungen bearbeitet. Dem Problem der Abgrenzung fungizider Effekte gegenüber physiologischen Zusatzwirkungen der Strobilurine wurde im Feldversuch durch die Arbeit mit Gesundvarianten (Dreimalbehandlungen) begegnet. Zusätzliche Wirkungen auf Wachstum, Entwicklung und Ertragsbildung gegenüber den besten Fungizidstandard-Behandlungen sind dann auf physiologische Zusatzeffekte der Strobilurine zurückzuführen.

• **Physiologische Effekte strobilurinhaltiger Fungizide auf den Ertrag**

Das dieser Arbeit zugrundeliegende Gesundvariantenkonzept war in der Lage, die Pflanzen bis weit in die Kornreifephase hinein befallsfrei zu halten. Dabei kam der Versuchsanstellung ein geringer bis allenfalls mittlerer Krankheitsdruck zugute. Damit können, ausgehend von der Versuchsfrage nach dem Einfluß strobilurinhaltiger Fungizide auf physiologische Abläufe der Ertragsbildung, direkte Pathogeneinflüsse in dieser Arbeit weitestgehend ausgeschlossen werden.

Im Dreijahresdurchschnitt war die Ertragsleistung durch die strobilurinhaltigen Fungizide Jewel und Amistar im Vergleich zu den Fungizidstandard-Behandlungen um 7% gesteigert. Die Angaben in der Fachliteratur liegen meist höher. Bei Weizen und Gerste werden positive Ertragswirkungen strobilurinhaltiger Fungizide gegenüber azolhaltigen Fungiziden von ca. 16% berichtet. (z.B. GOLD *et al.*, 1995; HANHART & FRAHM, 1996; OBST & STECK, 1996; KONRADT *et al.*, 1996; PETERSEN & KONRADT, 1997; KÖHLE *et al.*, 1997; SCHEID, 1997; SAUR *et al.*, 1997; YPEMA & GOLD, 1999; BAYLES, 1999; HANHART, 2000). Bei Roggen findet WERNER (1999) Ertragssteigerungen von 10% bis 12%. Die Unterschiede zu den eigenen Ergebnissen erklären sich aus differierenden Versuchsfragen. Während die zitierten Autoren die fungizide Leistung bewerten, und einen gewissen Anteil nicht erklärbarer Ertragseffekte auf physiologische Wirkungen der Strobilurine zurückführen, wird in der vorliegenden Arbeit ausschließlich die Ertragswirksamkeit als Folge physiologischer Zusatzwirkung

bewertet. Dann aber ist der Spielraum für Ertragssteigerung bei befallsfreien, vitalen Pflanzen geringer.

Von außerordentlicher Bedeutung für die Ertragsbildung waren auch die Wachstumsbedingungen in der Versuchsserie 1996 bis 1998. Sie waren sehr heterogen und wichen teilweise stark vom langjährigen Mittel ab. So herrschten 1996 nahezu optimale Bedingungen für das Pflanzenwachstum und die Kornbildung, in denen selbst die unbehandelten Kontrollen Erträge von bis zu 100 dt/ha erzielten. Konträr dazu waren die Wachstumsbedingungen 1997. Trockenheit bis zur Blüte des Weizens beeinträchtigte seine Entwicklung massiv. Kleinräumige Bodenunterschiede auf den Versuchsflächen zeichneten sich in der Vegetation ab. Auf den schwächeren Teilstücken kam es zu starken Ertragseinbußen. So wurden auch, verglichen zu den Kontrollen, negative Ertragsergebnisse bei der Azol- und der Amistar-Behandlung am Standort Roggenstein gemessen. Ursache hierfür war ein in zwei Richtungen verlaufender Bodengradient. Unbemerkt bei der Versuchsflächenauswahl war er besonders stark in dem ZENECA-Versuch (OV2) mit Amistar ausgeprägt. Dagegen war 1998 ein aus ertragsphysiologischer Sicht hochinteressantes Versuchsjahr, in dem bei schnellem und frequentem Wechsel von Streß- und optimalen Wachstumsbedingungen die Leistungsfähigkeit der Strobilurine sehr deutlich zum Ausdruck kam. Insgesamt hat die durchschnittliche Mehrertragsleistung Strobilurin-behandelter Weizenbestände von 7%, infolge der sehr unterschiedlichen Versuchsbedingungen, ein statistisch solides Niveau erhalten.

Die Analyse der Ertragsstrukturkomponenten ergab, daß Juwel- oder Amistar-Behandlungen, verglichen mit den Azol-Behandlungen, das Tausendkorngewicht signifikant steigerten. Dies bestätigt die Aussagen von *OBST & STECK (1996)*, daß Juwel- und Amistar-Behandlungen die Wirkung der herkömmlichen Fungizide im Tausendkorngewicht übertreffen. *WERNER (1999)* stellt dies auch bei der Sommergerste fest. Die weiteren Ertragsstrukturparameter 'Ährentragende Halme pro Quadratmeter' und 'Kornzahl pro Ähre' waren nicht verändert.

Die Abstufungen beim Kornertrag zwischen den Behandlungsvarianten wurden durch das Tausendkorngewicht bestimmt. Das konnte durch Korrelationsanalysen belegt werden. *DARBY et al. (1985)*, *PREW et al. (1985)*, *ENTZ et al. (1990)* und *COCHRANE (1996)* zeigen, daß die vorrangige Wirkung von Fungiziden in der Förderung des Tausendkorngewichtes liegt. Die Gewichtssteigerungen durch die Juwel- oder Amistar-Behandlungen gegenüber den Gesundheitsstandards gehen aber über diese rein fungizide Wirkung hinaus. Betrachtet man neben der Endospermiebildung selbst, die derzeit bekannten Einflußgrößen auf die Ausbildung des TKG, die *AUSTIN et al. (1977)*, *BINDINGER et al. (1977)* und *FREDERICK & BAUER (1999)* vorrangig bei der Limitierung der Rate und Dauer der Kornfüllung sehen, werden solche physiologischen Prozesse durch den Einsatz der Strobilurine stimuliert, die einen Einfluß auf Rate und Dauer der Kornfüllung haben. Der in der Kornfüllungsphase besonders deutlich ausgeprägte 'Grün-Effekt' bei den Strobilurin-behandelten Weizenbeständen, als sichtbares Phänomen der Pflanzenvitalität, bietet dafür die wesentlichen Systemvoraussetzungen.

Die auf physiologische Zusatzwirkungen zurückgeführten Ertragswirkungen stellten sich bei allen der insgesamt sieben, sich im Resistenzgrad gegenüber Pilzkrankheiten und abiotischem Streß unterscheidenden Winterweizensorten ein. Eine Präferenz der physiologischen Zusatzwirkungen gegenüber den derzeit vorhandenen Winterweizensorten

wird daher ausgeschlossen. In Untersuchungen von *BAYLES (1999)*, der diese Frage an 10 Weizen- und Gerstensorten untersucht hat, wird ebenfalls ein klarer Ertragsvorteil (13,6% bei Weizen, 6,7% bei Gerste) nach Strobilurin-Behandlung gegenüber konventionellen Azol-Fungiziden in den Sorten belegt. Bei ertragsschwächeren, aber hochgradig krankheitsresistenten Sorten, war die Ausprägung des Ertragsvorteils bei Winterweizen jedoch weniger stark. Die zugrundeliegenden Mechanismen sind noch weitgehend unklar, könnten aber Bestandteil der Erklärung für die hier gefundene, signifikante, doch variable Beziehung ($R = 0,72$) zwischen den Faktoren Behandlung und Kornertrag sein.

Die Stickstoffversorgung der Pflanzen ist ein signifikant ertragswirksamer Produktionsfaktor. Die Assimilationsrate der aufgenommenen Stickstoffverbindungen bei Nitrat ernährten Pflanzen wird durch die Aktivität der Nitratreduktase bestimmt (*KAISER & BRENDLE-BEHNISCH, 1991; KAISER et al., 1993*). *KÖHLE et al. (1997)* und *GLAAB & KAISER (1999)* erwähnen, daß in unbehandelten Pflanzen sowohl die Menge als auch die Aktivität der Nitratreduktase bei dem Übergang aus der Licht- in die Dunkelphase schnell abnimmt. In zellfreien Präparationen von Spinat- und Weizenpflanzen wurde dieser Vorgang durch BAS 490 gehemmt. Die Untersuchungen an, aus dem Freiland entnommenen, Juwel-behandelten Blättern zeigten zumindest im Versuchsjahr 1997 diesen Effekt nicht (*KAISER, mündl. Mitteilung 1997*). Die eigenen Ergebnisse zur Stickstoffverwertung der Gesamtpflanze geben bei verschiedenen Winterweizensorten keinen statistisch gesicherten Beleg für eine generelle Förderung der Stickstoffverwertung nach Behandlungen mit strobilurinhaltigen Fungiziden. Dennoch sprechen einige Daten für eine kurzfristig verbesserte, bzw. schnellere Stickstoffaneignung nach der Behandlung mit strobilurinhaltigen Fungiziden, wie weiter unten diskutiert wird.

Aus der Praxis wird immer wieder berichtet, daß strobilurinhaltige Fungizide, im Vergleich zu Azol-Fungiziden, die Rohproteinwerte senken. Diese Aussagen werden durch die vorliegenden Daten aus drei Versuchsjahren mit sehr unterschiedlichen Wachstumsbedingungen nicht bestätigt. Die Rohproteingehalte Amistar- und Juwel-behandelter Weizensorten lagen in keinem Fall unter dem Niveau der Azol-Varianten. Eine, durch die Strobilurin-Behandlung über die fungizide Leistung hinausgehende Förderung bei diesem Qualitätsparameter, wurde allerdings auch nicht gemessen. Aus ertragsphysiologischer Sicht ist dies sowohl für die eine, als auch für die anderer Betrachtung erklärbar. Hier sind Verdünnungseffekte beim Rohproteingehalt – infolge der höheren Kornerträge Strobilurin-behandelter Pflanzen – und die unterschiedliche Dynamik der Stickstoff- und Kohlenhydrat-Einlagerung in das Korn, zu nennen. Detailliert werden diese Vorgänge von *SATORRE & SLAFER (1999)* beschrieben, so daß an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen wird.

• **Physiologische Effekte strobilurinhaltiger Fungizide auf das vegetative System**

Unter Ausschluß der Krankheiten kann der Nachweis der Wirkung von strobilurinhaltigen Fungiziden auf physiologische Abläufe der Ertragsbildung auf verschiedenen Ebenen erfolgen. Untersuchungen auf molekularbiologischer Ebene, aber auch solche auf stoffwechselphysiologischer Ebene hinsichtlich Veränderungen von Enzymaktivitäten und Metabolitgehalten, sind sehr aufwendig und für den Feldeinsatz wenig geeignet. Die Varianz

im Feldversuch übersteigt oftmals den Umfang der zur Verarbeitung gelangenden Probenmenge. Es empfehlen sich daher für die Beschreibung von physiologischen Abläufen der Ertragsbildung im Feldversuch Methoden, die hoch integrierende Aussagen über den Zustand des Bestandes geben, denn letztendlich wird die Wirkung einer Behandlungsvariante am Bestandesertrag bewertet. Demnach ist es sinnvoll, auch die Bestandesphysiologie zu überblicken. Hier bietet die Spektroskopie und die Fernerkundung (Remote-Sensing) vielversprechende Möglichkeiten. Aber auch die flächenhafte Bestimmung der Trockensubstanz beschreibt Wirkungen von Fungiziden ausreichend gut.

Eine generell konstitutive, das heißt statistisch gesicherte Förderung der Trockensubstanzbildung konnte in der vorliegenden Versuchsserie 1996 bis 1998 durch die Behandlung mit Juwel oder Amistar gegenüber Standardfungizid-Behandlungen mit Opus Top bzw. Opus nicht festgestellt werden. *BERTELSEN (1999)* untermauert dieses Ergebnis mit Daten zu Weizen aus kontrollierten Bedingungen. Behandlungen mit Amistar differenzierten sich in seinen Versuchen bei der Trockensubstanzbildung weder zur unbehandelten Kontrolle, noch zur Behandlung mit dem Azolpräparat Opus. Dagegen berichten *GOLD et al. (1995)* und *GROSSMANN & RETZLAFF (1997)* - ebenfalls bei kontrollierten Bedingungen - über eine fördernde Wirkung von BAS 490 auf die Trockensubstanzbildung. Wenngleich hier eine Diskrepanz bei den Ergebnissen der zitierten Autoren vorliegt, kann für die eigenen Versuchsergebnisse folgendes festgestellt werden: 1996 und 1998 waren die Bedingungen für Wachstum und Entwicklung des Weizens nahezu optimal. Selbst die Kontrollen waren lange Zeit vital und leistungsfähig. Bei solchen Wachstumsbedingungen, in denen die Wasser-, Nährstoff- und Lichtversorgung im Gesamttablauf der ertragsphysiologischen Vorgänge nicht limitierend sind, werden Streßeinflüsse und moderate Pathogeneffekte, von dem Pflanzenbestand gut kompensiert (*MADEIRA, 1995*). Es ist zudem evident, daß die derzeitig angebauten Winterweizensorten in ihrem Leistungsvermögen durch die Standortgegebenheiten limitiert sind. Gewährleistet der Fungizidschutz allein schon die Ausbildung des möglichen Leistungspotentials, ist eine weitere Abgrenzung physiologischer Zusatzwirkungen auf die Trockensubstanzbildung kaum mehr möglich.

Die Trockensubstanzbestimmung des Jahres 1997 ergab in einem ganz anderen Aspekt interessante Ergebnisse. Die Wuchsleistung nach der Trockenstreßphase war sehr viel höher in den Behandlungsvarianten Juwel sowie Opus Top und zusätzlich BAS 490 (Maximal-Variante) verglichen mit den Opus Top-Behandlungen. Der Blattapparat der Kontrollen und Opus Top-behandelten Pflanzen zeigte noch die charakteristischen Symptome lichtfliehender, steiler Blattstellung und Blattrollen (Verdunstungsschutz) der vorausgegangenen Trockenstreßphase im Mai, als die Juwel-Variante sich bereits vital und entspannt präsentierte, erkennbar an den bereits lichtsuchenden, umgeklappten, großen Fahnenblättern (vergl. Abb.31). Gleiches wurde für die Maximal-Variante festgestellt. Diese, mit insgesamt 8 l/ha BAS 490 überzogene Behandlungsvariante differenzierte sich gegenüber der dreimal mit 1,0 l/ha Juwel behandelten Variante nur in der Tendenz, was darauf schließen läßt, daß über einen bestimmten oberen Grenzaufwand (hier 3 l/ha Juwel) hinaus keine weitere Förderung der Biosynthese möglich ist. Dazu kommt die Standortlimitierte Ausbildung des Leistungsvermögens. Wenngleich eine konstitutive Wirkung auf die Trockensubstanzbildung nicht festgestellt wurde, belegen die Ergebnisse das Potential eines verbesserten, kurzfristig wirksamen Streßkompensationsvermögens der Strobilurin-behandelten Weizenpflanzen, das unter anderem in einer komplexen Einflußnahme von BAS

490, auf phytohormonell gesteuerte Wachstums- und Regulationsprozesse gesehen wird (KÖHLE *et al.* 1997; GROSSMANN & RETZLAFF, 1997; GROSSMANN *et al.*, 1999).

Weitere Ergebnisse untermauern, daß Weizenpflanzen die mit strobilurinhaltenen Fungiziden behandelt wurden, die Wirkung von Umweltstress besser kompensieren können, als solche die mit Azol-Fungiziden behandelt wurden. So förderten die Behandlungen mit Jewel oder Amistar die Ausbildung der Fahnenblattfläche der stressempfindlichen Sorte 'Astron'. Die Blattflächen der Gesundstandard-Behandlungen (Opus bzw. Opus Top) waren dagegen deutlich kleiner. Besonders ausgeprägt waren diese Unterschiede bei den Behandlungsvarianten in dem Trockenstressjahr 1997. Nach HSIAO *et al.* (1973) spiegelt sich in der ausgebildeten Blattfläche selbst die Wirkung von mildem Trockenstress sicher wider. Da die Vorgänge der Zellstreckung sehr sensibel auf eine Absenkung des Zellwasserpotentials reagieren, führen Wasserdefizite während der Blattexpansion zu reduzierten Blattflächen. Relativ dazu größere Fahnenblätter – wie bei den Strobilurin-Varianten festgestellt – sind dann die Folge eines besseren 'Wassermanagements'. Die Ursachen hierfür sehen GROSSMANN *et al.* (1999) in einer um das zweifache höheren Abscisinsäure-Konzentration bei BAS 490-behandelten Blättern. Abscisinsäure bewirkt die Verengung der Spaltöffnungen und setzt dadurch die Transpiration herab (HARTUNG & DAVIES, 1991). Dieser Effekt reduziert den Wasserverbrauch und steigert somit die Wassernutzungseffizienz. Insbesondere die Förderung der Wassernutzungseffizienz, nach Behandlung mit Jewel und Amistar, konnte mit den Gaswechsellmessungen belegt werden, und wird weiter unten diskutiert.

Hinweise auf einen Strobilurin-bedingten Hormoneffekt, als weiterer Einflußgröße für die Blattflächenexpansion geben GROSSMANN & RETZLAFF (1997), die Auxin-ähnliche Wirkungen mit Wachstumsstimulierung finden. Phytohormone wie Auxine, Gibberelline und Brassinolide induzieren die Elongation von Zellen über die longitudinale Achse, wohingegen Cytokinine und Ethylen die Expansion von Zellen über die transversale Achse regeln (SHIBAIKA, 1995). Es ist davon auszugehen, das zumindest für den Wirkstoff BAS 490 über den Auxin-ähnlichen-Effekt, aber auch über dessen Cytokinin- und Ethylenwirkung (s. unten) eine Beeinflussung der Blattzellenexpansion möglich ist. Für den Wirkstoff Azoxystrobin (als Solowirkstoff in Amistar) liegen keine Literaturangaben über hormonartige Wirkungen vor. Die Wirkungen auf die Blattfläche lassen aber den Schluß zu, daß der Wirkstoff Azoxystrobin ähnliche Veränderungen in der Pflanze bewirkt wie BAS 490.

Die geförderte Fahnenblattexpansion der Strobilurin-behandelten Pflanzen der Sorte 'Astron' kann zudem die Folge eines effizienteren Wurzelsystems während der Stresssituation sein. Hinweise darauf kommen von GROSSMANN & RETZLAFF (1997) und GROSSMANN *et al.* (1999). Neben einer Verbesserung des Wasseraneignungsvermögens wird auch eine kurzfristig verbesserte Stickstoffaneignung möglich. Ein verbesserter Stickstoffversorgungszustand fördert das Längen- und Flächenwachstum der Blätter, was bei SANDER (1993) und MARSCHNER (1995) als Folge einer veränderten Phytohormonbalance diskutiert wird. Dieser Aspekt wird indirekte durch die Ergebnisse mit der Sorte 'Batis' untermauert, bei der die strobilurinhaltenen Fungizide, aber auch die Fungizide anderer Chemie, kaum Effekte auf die Blattflächenexpansion hatten. 'Batis' ist eine sogenannte *low input*-Sorte. Sie ist tolerant gegenüber mildem Wasser- und Nährstoffstress, was in einer verbesserten Wurzeleistung gesehen wird.

Insgesamt kann gefolgert werden, daß strobilurininhaltige Fungizide das Potential haben, die Wirkung von Umweltstreß zu dämpfen. Die Ausprägung dieses Potentials hängt dann von der spezifischen Reaktionslage der Sorte und der Wirksamkeit des Stresses ab.

Für die Beobachtung dynamischer Abläufe der Bestandesentwicklung unterschiedlicher Behandlungsvarianten wurde die zerstörungsfreie Methode der Remissionsspektroskopie 1997 am Standort Roggenstein geprüft.

Zuerst wird eine allgemein gehaltene Diskussion zur Interpretation der Remissionssignaturen gegeben.

Veränderungen in der Bestandesarchitektur (Bestandesdichte, Biomasse, Blattflächenindex, Blattstellung) und der Pigmentausstattung (Blattgrün, Nekrosebraun) während der Meßkampagne wurden als Veränderungen in den Remissionssignaturen registriert. So war bei der ersten Messung (EC 61) der Aufwuchs des Winterweizen durch den massiv wirksamen Trockenstreß (Mai bis Anfang Juni) noch verhalten. Der Bestand war licht und hellgrün. Der zweite Meßtermin (EC 65) wurde in die Phase des Übergangs zu günstigeren Wachstumsbedingungen gelegt. Die Bestände absorbierten vor allem rotes Licht stärker als zuvor (Erhöhung der Chlorophyllgehalte), die Remission im NIR stieg an (Erhöhung der vitalen Biomasse). Die physiologischen und physikalischen Zusammenhänge dieser spektralen Veränderungen sind größtenteils bekannt. Bereits Mitte der 60er Jahre wurden die Grundlagen von *THOMAS et al. (1966)* erarbeitet. Neuere Untersuchungen von *HUNT & ROCK (1989)* zeigen an, im Labor spektral vermessenen, Laubblättern die typischen Änderungen der Remissionssignatur während des Prozesses der Austrocknung. Dabei nimmt der Remissionsgrad über den gesamten Wellenlängenbereich, mit abnehmendem Gewebewassergehalt, zu. Physiologische Modifikationen führen aufgrund des Wassermangels zu einer Verringerung der Photosynthesepigmente und -rate und dadurch zu einer Erhöhung im sichtbaren Wellenlängenbereich (VIS = 400 nm bis 700 nm), dessen Remissionsverhalten vorwiegend vom Pigmentgehalt abhängt (*GATES et al., 1965; RIPPLE, 1986*). Im nahen Infrarot (NIR = 700 nm bis 1050 nm) ist die Erhöhung des Remissionsgrades verbunden mit Veränderungen der Zellstruktur als Folge des Turgorverlustes (*GAUSMAN, 1974; RIPPLE, 1986*). Übertragen auf die eigenen Ergebnisse beschreiben die beiden Remissionssignaturen demnach den Übergang aus der Trockenstreßphase in die Vitalphase. Im sichtbaren Bereich des Lichtes erklären die Literaturangaben die eigenen Ergebnisse hinreichend genau. Der Anstieg der NIR-Rückstrahlung vom ersten zum zweiten Termin steht aber in einem gewissen Widerspruch dazu. Nach der Literatur müßte die NIR-Remission abnehmen. Die Ursache liegt darin begründet, daß die zitierten Autoren die Veränderung der Remission von Einzelblättern untersucht haben. Auf der Bestandesebene entspräche dies einer vollständig geschlossenen Bestandesoberfläche. Das heißt, die Remissionssignatur würde nur durch Vegetationscharakteristika selbst beeinflusst. In einem realen Pflanzenbestand ist die Remission des Bodens zu berücksichtigen. Zum ersten Meßtermin war infolge der geringen NIR-Remission des Bodens (*AHLRICHS & BAUER, 1983*) und der anteilig schwächeren Remission des dünnen Pflanzenbestandes die Gesamtückstrahlung im nahen Infrarot schwächer, als in dem vitaleren, durch höhere Biomasse charakterisierten Bestand zum zweiten Meßtermin.

Mit der Abnahme des Chlorophyllgehaltes und der zunehmenden Entwässerung des Pflanzengewebes und dem sequentiellen Verlust an assimilierender Blattfläche bei Alterung und/oder Krankheit, nimmt die Lichtrückstrahlung roten und blauen Lichts zu, und aus den beschriebenen Zusammenhängen von veränderten Zellstrukturen und zunehmendem Bodenhintergrund nimmt die Remission im nahen Infrarot ab. So dokumentiert die spektrale Differenzierung der unterschiedlich Fungizid-behandelten Parzellen zu EC 83, den für strobilurininhaltige Fungizide (Juwel bzw. Opus Top + BAS 490) typischen 'Grün-Effekt'. Spektral ist dieser durch die noch stärkere Absorption des photosynthetisch aktiven roten Lichtes und die höheren Remissionswerte im NIR-Bereich charakterisiert, verglichen zum Gesundstandard Opus Top und zur unbehandelten Kontrolle. Die Remissionssignatur zu EC 89 zeigt einen nahezu linearen Anstieg, dem die typischen Absorptions- und Remissionscharakteristika pflanzlichen Lebens fehlen. Der Bestand ist abgereift, die Signatur wird hauptsächlich durch die spektrale Charakteristik des Bodens beeinflusst.

Vegetationsindices sind Verhältniswerte, die aus verschiedenen Wellenlängenbereichen einer Remissionssignatur errechnet werden. Sie beschreiben signifikante Beziehungen zwischen der spektralen Remission und pflanzenphysiologischen Zuständen (*ROUSE et al., 1974; RICHARDSON & WIEGAND, 1977; DUSEK et al., 1985; HUETE & JACKSON, 1988; DOCKTER et al., 1988; GUYOT & BARET, 1991; PENUELAS et al., 1993; PENUELAS et al., 1994; ARAUS, 1996; REYNOLDS, 1999; SERRANO et al., 2000*). Die Indices können folglich als pflanzenphysiologische Parameter betrachtet werden. In der vorliegenden Arbeit wurden die Indices NDVI (Normalisierter Differenz Vegetations-Index, *ROUSE et al., 1974*) und WBI (Wasserbanden-Index, *PENUELAS et al., 1993*) verwendet. Insbesondere der NDVI reduziert nach Untersuchungen von *ASHLEY & REA (1975)* Einflüsse des Sonnenstandes auf die Höhe der Remission. Detektiert werden die Bestandesdichte und die Grünfärbung des Bestandes. Der WBI zeigt eine semi-quantitative Beziehung zwischen Gewebewassergehalt und Remissionsgrad bei 970 nm (*PENUELAS et al., 1993; ARAUS, 1996*). Wesentlich direktere Messungen des Gewebewassergehaltes sind im kurzwelligen Infrarotbereich (1050 nm – 2200 nm) zu finden (*TUCKER, 1980*). Diese konnten mit dem hier verwendeten Feldspektrometer aber nicht detektiert werden.

Mit Beginn der Blüte (EC 61) bis zur Mitte der Blüte (EC 65) stieg der NDVI in allen Behandlungsvarianten an und erreichte ein Maximum. Die biologischen Hintergründe ergeben sich aus den bei den Remissionssignaturen diskutierten Zusammenhängen. In den nachfolgenden Messungen charakterisierte der 'Grün-Effekt' der Strobilurin-behandelten Parzellen die Unterschiede im NDVI zu den anderen Behandlungsvarianten. Dies kann daraus geschlossen werden, weil der NDVI die Summe grüner, vitaler Blattmasse berücksichtigt (*ROUSE et al., 1974, BÜKER, 1992; PENUELAS et al., 1994*). Durch den Verlust der grünen Blattfläche und des Chlorophylls als sichtbares Zeichen der Seneszenz, nahm der NDVI folglich zum letzten Meßtermin (EC 89) bei allen Varianten markant ab. Differenzierungen traten zu diesem Zeitpunkt nur noch zwischen Behandelt und Unbehandelt auf.

In der Berechnung des Wasserbanden-Index (WBI) fand die Beurteilung des rel. Gewebewassergehaltes der Behandlungsvarianten besondere Berücksichtigung (*PENUELAS et al., 1993*). Bis EC 83 wiesen die Strobilurin-Varianten die niedrigsten WBI-Werte auf. Damit kann auf höhere Gewebewassergehalte geschlossen werden, was wiederum ein Anzeichen für höhere Stoffwechselaktivität ist. Die mit der Nekrotisierung bei

fortschreitender Seneszenz gekoppelte Entwässerung des Blattgewebes war in den Fungizidvarianten verglichen mit der Kontrolle verzögert. Deutlich ausgeprägter trat dies noch in den Behandlungsvarianten Juwel und Kombination Opus Top + BAS 490 auf. Vergleichbar zum NDVI-Ergebnis nähern sich die WBI-Werte innerhalb der Fungizidbehandlungen zum letzten Meßtermin (EC 89) deutlich an. Damit wird über die Spektroskopie objektiv gezeigt, daß selbst im Jahr 1997, in dem eine Entkopplung der Korn- und Strohreife (GERHARD & HABERMAYER, 1998) zu einer extremen Verzögerung der Abreife des Strohs geführt hat, die Strobilurine die Vitalphase des behandelten Bestandes ausdehnen können, die Gesamtreifezeit aber nicht beeinträchtigen. Solche Ergebnisse werden auch von WERNER (1999) für Roggen und Gerste berichtet; sie konnte keine Abreifeverzögerung nach Behandlung mit Juwel oder Amistar feststellen.

Wesentliche Voraussetzung für hohe Kornerträge ist die gesunde Blattfläche (Strahlungseindringung = radiation interception RI) mit ausreichend hohen Chlorophyllgehalten und lange andauernde Turgeszenz bzw. Vitalität im Zeitraum zwischen Blüte und Ende der Kornfüllung. Da beide Indices (NDVI und WBI) ertragsessentielle Parameter wie Pigmentgehalt, grüne Blattfläche, Wassergehalt erkennen und quantitativ beschreiben, überrascht ihre enge Korrelation zum Kornertrag nicht. Das Integral unter der Kurve von NDVI und von WBI im Entwicklungsphasenabschnitt EC 65 (Mitte Blüte) bis zur physiologischen Kornreife (EC 89) stand dabei in einer linearen Beziehung ($R_{NDVI} = 0,96$, $R_{WBI} = -0,98$) zum erzielten Ertrag der Behandlungsvarianten.

Insgesamt hat sich die Spektroskopie in den eigenen Versuchen als eine brauchbare Methode erwiesen, die wesentliche Merkmale der Strobilurin-Wirkungen aufzeigte. Mit dieser Methode können verschiedene, ertragsphysiologisch relevante Parameter sehr einfach und sehr schnell auf der Ebene ganzer Versuchspartzellen erreicht werden. Es ist nicht nur eine objektive Datenerfassung möglich, vielmehr ist eine globale Vergleichbarkeit von Vegetationsdaten erreichbar.

• Physiologische Effekte strobilurinhaltiger Fungizide auf das Photosynthesesystem

Der Einfluß strobilurinhaltiger Fungizide auf die Ausbildung des Photosyntheseapparates wurde auch anhand der Chlorophyllgehalte bewertet. Der durch Strobilurine hervorgerufene 'Grün-Effekt' wird oftmals auch im Zusammenhang mit einer intensiveren Grünfärbung als bei Präparaten älterer Chemie diskutiert (GOLD *et al.*, 1995; GROSSMANN & RETZLAFF, 1997). Die hier erfaßten absoluten Chlorophyllgehalte und die mit dem Spadmeter bestimmten Blattgrünintensitäten weisen nach, daß der Chlorophyllgehalt nicht konstitutiv durch die Behandlung mit Strobilurinen gesteigert wird. Die Ergebnisse zeigen, daß das Phänomen 'Grün-Effekt' nicht auf Veränderungen der Chlorophyllausstattung des Photosyntheseapparates beruht, sondern die Folge einer verlängerten Standzeit grüner Blattfläche ist (s. unten).

Die Gaswechsellmessungen im Feldversuch belegen eine, im Durchschnitt von drei Versuchsjahren, um 19% höhere Assimilationsrate Strobilurin-behandelter Pflanzen verglichen zu den Gesundstandards. Die Differenzierungen traten während der Phase der Blüte bis zum Ende der Kornfüllung auf. Die Wirkung ist damit die zeitliche Ausdehnung

einer einmal erreichten Assimilationsrate der Fahnenblattetage. Ein direkter Bezug zwischen der zeitlichen Ausdehnung der Assimilationsintensität und dem Tausendkorngewicht ist dabei evident, da das TKG positiv mit der Rate und Dauer der Kornfüllung korreliert, letztere wiederum positiv mit der Blattflächenvitalität (*SIMMONS, 1987; GELANG et al., 2000*). Es zeigen sich hier Effekte einer Blatt-verjüngenden Wirkung strobilurinhaltiger Fungizide, wie sie später noch besprochen werden. Entgegen den bei *GROSSMANN & RETZLAFF (1997)* und *KÖHLE et al. (1997)* an Weizen beschriebenen Wirkungen von Kresoxim-methyl (BAS 490), nämlich einer sechs Tage nach Behandlung verstärkten Kohlendioxid-Assimilation, wurde in den eigenen Erhebungen im Feldbestand, in der vegetativen Phase 1, 3 und 6 Tage nach Behandlung mit Jewel oder Amistar keine auf die Behandlung mittelbar zu beziehende Assimilationssteigerung gemessen. Diese Diskrepanz zeigt die Problematik des Transfers von Labordaten, die für die Interpretation von Wachstums- und Entwicklungsphänomenen in natürlichen Systemen herangezogen werden. Es sei daran erinnert, daß die Intensität der apparenten Photosynthese des Blattes unter natürlichen Bedingungen durch eine Vielzahl äußerer und organismuseigener Faktoren permanent beeinflusst wird: Licht, CO₂-Konzentration, O₂-Konzentration, Temperatur, Luftzirkulation und -feuchte, Wasserzustand, Ionenversorgung, Entwicklungszustand, Blattmorphologie, Chlorophyllgehalt, Aktivität der photosynthetischen und respiratorischen Enzyme, Diffusionswiderstand für Gase an der Epidermis und vieles mehr. Diese Faktoren zeigen nicht nur eine unterschiedlich ausgeprägte zeitliche Dynamik, sondern häufig auch eine komplexe gegenseitige Wechselwirkung. Es ist daher praktisch unmöglich, Laborergebnisse ungeprüft auf dieses Multifaktorensystem zu übertragen.

In der Tat sind einige streßverbundene Reaktionen von Pflanzen erst in Langzeitstudien zu finden, (*LICHTENTHALER, 1996*), wie beispielsweise in der vorliegenden Erhebung die Effekte der Strobilurine auf die Blattflächenexpansion, die neben vielen anderen Faktoren auf eine verbesserte Wassernutzungseffizienz (WUE) hinweist.

Der Gaswechselfaktor Wassernutzungseffizienz (WUE) der das Verhältnis Assimilation zu Transpiration beschreibt (*SINCLAIR et al., 1984; TYREE & ALEXANDER, 1993*) war bei den Anwendungen mit Jewel oder Amistar gegenüber dem Gesundstandard deutlich positiv gesteigert. Dies kann auf einem verbesserten Wassermanagement der Strobilurin-Varianten in der Phase Blüte bis Ende Kornfüllung beruhen. Einige der physiologischen Hintergründe für eine verbesserte WUE sind bereits bei der Fahnenblattexpansion diskutiert worden. Ein weiterer Ansatz soll hier betrachtet werden. Die WUE als Produkt aus Assimilation zu Transpiration wird durch stomatäre und nichtstomatäre Faktoren beeinflusst (*BUNCE, 1988; MATTHEWS & BOYER, 1989*). Es wird derzeit angenommen, das eine höhere Wassernutzungseffizienz durch partiellen Schluß der Spaltöffnungen bewirkt wird. Dadurch wird die Wasserdampfabgabe stärker eingeschränkt als die Kohlendioxidaufnahme (*BAEUMER, 1992; LARCHER, 1994*). Zwar werden bei zunehmender Spaltenverengung für beide Gase die stomatären Diffusionswiderstände erhöht, doch liegt, anders als beim Diffusionsvorgang für Wasserdampf, für Kohlendioxid der größte Diffusionswiderstand in der flüssigen Phase des Cytoplasmas der Mesophyllzellen. Dieser Widerstand bleibt von der Öffnungsweite der Spalten unberührt. Somit könnte die gesteigerte WUE bei den Strobilurin-behandelten Fahnenblättern auf eine verbesserte Mesophyllkapazität für die Photosynthese beruhen. Eine hohe photosynthetische Mesophyllkapazität könnte von optimaler Blattanatomie herrühren oder auf eine effizientere Photosynthesemaschinerie pro Blattflächeneinheit (*AUSTIN et al., 1982*), oder größerer Calvincyklus-Kapazität, größere

steady state (Fließgleichgewicht) Kapazität für den photosynthetischen Elektronentransport und/oder Photophosphorylierung. Die Wirkung ist jedoch immer in einem Anstieg der Assimilationsrate, bei an die Umweltbedingungen angepaßter Transpiration, zu messen (FARQUHAR & SHARKEY, 1982). Die Wirkung einer verbesserten Wassernutzungseffizienz hat für das Korngewicht eindeutige Konsequenzen. In den meisten Winterweizen-Regionen unterliegt die Phase der Kornfüllung verschiedenen Streßeinflüssen, welche oftmals mit erhöhten Temperaturen und defizitärer Wasserversorgung einhergehen. Einige Studien bei Weizen und anderen Getreidearten zeigen, daß Pflanzenwasserdefizite während der Kornfüllung substantiell das Korngewicht beeinflussen (RAHMAN & YOSHIDA, 1985), mit der Folge verfrühter Blattseneszenz (SAVIN & NICOLAS, 1996), sinkender Kornfüllungsraten (CUTFORTH *et al.*, 1988; HOSSAIN *et al.*, 1990) und Verkürzung der Kornfüllungsperiode (BROOKS *et al.*, 1982; NICOLAS *et al.*, 1984). Ein verbessertes 'Wassermanagement' kann diese Wirkungen mildern. Inwieweit die Wassernutzungseffizienz im Feldversuch direkt durch die Strobilurin-Wirkstoffe beeinflusst wird, ist weiterhin unklar. Die vorliegende Datenlage spricht dafür, daß es sich hierbei um sekundär Effekte handelt, die sich aus einer Strobilurin-bedingten Vitalitätssteigerung ergibt und sich in dem Phänomen des 'Grün-Effekt' ausdrückt.

Die Atmung (Respiration) setzt die bei der Photosynthese in Energiebausteinen gespeicherte Sonnenenergie in pflanzenverfügbare Stoffwechselenergie um. Erhöhte Atmungsraten deuten auf erhöhte Stoffwechselaktivität, wie sie beispielsweise bei Kompensationsreaktionen gegenüber abiotischem und biotischem Streß gemessen werden. In gewissem Maße ist sie damit auch eine Konkurrenzreaktion der Photosynthese. Eigene Messungen der Dunkelatmung an dreimal mit Opus Top-, Jewel- oder Amistar-behandelten Pflanzen lieferten unter natürlichen Bedingungen keine verwertbaren Ergebnisse. Dies war vor allem auf die sehr lange Dunkelinkubationszeit, die 30 Minuten und mehr pro Meßzyklus ausmachte, zurückzuführen. Die Ursache für die, bei Tageslicht auftretende, sehr lange Inkubationszeit könnte auf der Überlagerung der lichtgetriebenen, etwa 2 bis 5 mal intensiveren Lichtatmung (Photorespiration) beruhen (MOHR & SCHOPFER, 1992). Die Konsequenz ist ein zu kleiner Stichprobenumfang, der zudem durch tageszeitliche Einflüsse der Umwelt (ABDEL-KADER, 1996) (Licht, Temperatur, CO₂-Konzentrationsunterschiede) und tageszeitliche Rhythmen (MCCLUNG, 2000) beeinflusst ist. Messungen während der Nacht wurden durchgeführt, erwiesen sich aber aufgrund der unzulänglichen Arbeitsbedingungen als nicht sinnvoll. Die Frage nach einer meßbaren Wirkung der strobilurinhaltenen Fungizide Jewel und Amistar auf die pflanzlichen Mitochondrien ist im Feldversuch weiterhin ungeklärt. Unter kontrollierten Bedingungen zeigen RETZLAFF (1996) und KÖHLE *et al.* (1997) die Inhibition der Dunkelatmung nach Behandlung von Blättern mit Kresoxim-methyl, die sich sechs Stunden nach Abdunkelung dem Nullpunkt näherte. In Experimenten von BERTELSEN (1999), in denen die Dunkelatmung von Weizen im Gewächshaus gemessen wurde, konnte kein hemmender Effekt auf die Atmung nach Behandlung mit Amistar gemessen werden. Er stellt vielmehr einen Anstieg in der Dunkelatmung 12 Stunden nach Behandlung fest, die dann wieder auf vergleichbares Niveau zur Kontrolle absinkt.

Ein weiterer, die photosynthetische Leistungsfähigkeit beschreibender Parameter ist der CO₂-Kompensationpunkt. Er beschreibt den Gleichgewichtszustand zwischen der CO₂-Fixierung durch die Photosynthese und der CO₂-Freisetzung durch Atmungsvorgänge. Betrachtet man die aus zwei Jahren (1995 und 1996) erzielten Ergebnisse der CO₂-

Kompensationspunkt-Messung, wurde prinzipiell eine Absenkung des CO₂-Kompensationspunktes durch die Fungizidbehandlungen festgestellt. Zum Gesundstandard lag er in der Kontrolle um 32% nach oben verschoben, während zwischen den Fungiziden (Azole und Strobilurine) ein Unterschied von 7% zugunsten der Strobilurin-Varianten errechnet wurde. Dabei ergaben sich die Differenzierungen zwischen diesen beiden Fungizidgruppen vor allem aus der starken Absenkung des CO₂-Kompensationspunktniveaus bei der Juwel-Variante im Versuchsjahr 1995. Eine Absenkung des CO₂-Kompensationspunktes nach Blattapplikation von BAS 490 finden auch *RETZLAFF (1995)* und *KÖHLE et al. (1997)*. *GERHARD et al. (1998)* vermuten als Hauptursache für die Absenkung des CO₂-Kompensationspunktes die effektive Vermeidung der Schadwirkung phytopathogener Pilze und damit einen Fungizideffekt. Dazu können indirekte Effekte des 'Grün-Effektes' der Strobilurin-Varianten eine Niveauverschiebung zum Gesundstandard bewirken.

Für BAS 490 sehen *KÖHLE et al. (1997)* den Kompensationspunkt-Effekt in einer deutlichen Absenkung der Dunkelatmung begründet, während die Photosynthese selbst und die Photorespiration nicht beeinflusst wird. Gerade die Absenkung der Photorespiration, die bei der Juwel-Variante sehr massiv war, erklärt einen Teilaspekt der CO₂-Kompensationspunkt-Wirkung von Juwel (1995) in den eigenen Versuchen. Nach *RICHTER (1988)* wird nämlich die Höhe des CO₂-Kompensationspunkt von der Höhe der Photorespiration mitbestimmt.

Die Gaswechsellmessungen erlaubten durch *in situ*-Messungen eine Bewertung der Leistungsfähigkeit Strobilurin-behandelter Pflanzen, die sich in der betrachteten Summe der Einzelparameter positiv gegenüber der Gesundvariante abheben konnte. Die Ergebnisse aus den Gaswechsellmessungen geben vor allem eines wieder: Eine ausgedehnte vitale Fahnenblattassimilation, die als Folge des 'Grün-Effektes' der Strobilurine eine wesentliche ertragsphysiologische Gesetzmäßigkeit widerspiegelt: Die einmal erreichte Assimilationsintensität so lange als möglich aufrechtzuerhalten (*MOHR & SCHOPFER, 1992*).

Der Photosyntheseprozess ist von grundlegender Bedeutung für den gesamten pflanzlichen Stoffwechsel. In den vergangenen 20 Jahren wurden Chlorophyllfluoreszenz-Messungen als effizientes Werkzeug für die Photosynthesegrundlagenforschung und in der Öko-, Streß- und Seneszenzphysiologie angewandt (*LICHTENTHALER & RINDERLE, 1988; KRAUSE & WEIS, 1991; D'AMBROSIO et al., 1992; GOVINDJEE, 1995; SCHINDLER & LICHTENTHALER, 1996; LICHTENTHALER & MIEHE, 1997*). Zwischen der Chlorophyllfluoreszenz und der Effizienz der photosynthetischen Energieumwandlung besteht eine eindeutige quantitative Beziehung, da die Fluoreszenz aus den gleichen, durch Lichtabsorption entstandenen Anregungszuständen stammt, die alternativ entweder photochemisch umgesetzt werden oder in Wärme übergehen können. Das Interessante an der Methode ist, daß man in einen lebenden Organismus hineinblicken und beurteilen kann, wie gut die auf eine Pflanze eingestrahlte Lichtenergie umgesetzt wird, wie schnell die Elektronen abfließen, wie Herbizide diesen Fluß hemmen (*SCHREIBER, 1997*) und wie Fungizide ihn beeinflussen.

Der Chlorophyllfluoreszenz-Parameter ETR, der im stationären Lichtzustand ein Maß für die apparente Elektronentransportrate ist, eignete sich im Feldversuch sehr gut für ein Screening des aktuellen, im Fließgleichgewicht (steady state) arbeitenden Aktivitätszustand des Photosyntheseapparates.

In der vegetativen Phase (Vitalphase) traten teilweise gesteigerte Raten im Elektronentransport Strobilurin-behandelter Fahnenblätter auf. Es stellte sich heraus, daß im Gesamtzusammenhang keine unmittelbare Beziehung zur Behandlung bestand. Folglich wurden sie als Momentaufnahmen registriert, aber nicht weiter ausgewertet. Differenzierende Abstufungen bei der Elektronentransportrate traten dann aber zwischen den Behandlungsvarianten gegen Ende der Blüte im Übergang in die Kornfüllungsphase auf. Das ist konform mit den Ergebnissen der Gaswechsellmessungen. Die im Schnitt der drei Versuchsjahre um ca. 15% höhere Elektronentransportrate bei Strobilurin-Varianten gegenüber den Gesundheitsstandards sind dann auf eine längere Assimilationstätigkeit mit hoher Intensität zurückzuführen. *BAYSORFER & BASSHAM (1985)* beobachten eine starke Abhängigkeit zwischen der Photosyntheserate und der 'sink'-Kapazität der Ähre. Die höheren Elektronentransportraten können dann auf einer höheren 'sink'-Kapazität der Ähre beruhen, relativ zu dem Vergleichsstandard, und wiederum Folge und/oder Ursache der hohen Tausendkorngewichte Strobilurin-behandelter Pflanzen sein.

Der Parameter $F_v:F_m$ ist ein Maß für die maximale Lichtquantenausbeute des Photosystem II (PS II) (*GENTY et al., 1989*). $F_v:F_m$ wird in der Literatur als aussagekräftiger Chlorophyllfluoreszenz-Parameter für die Beschreibung von Streß auf das Photosynthesystem beschrieben. Bei vitalen Blättern vieler Pflanzenarten werden Werte von ca. 0,83 gemessen (*BJÖRKMAN & DEMMING, 1987*). Werte unterhalb von 0,83 sind eine Indikation für streßbedingte Photoinhibition. Die Wirkung von Bodenwasserdefiziten auf den Funktionszustand des Photosynthesystems, mit mehrmals gemessenen Werten von 700 mbar bis 800 mbar in der Vegetationsperiode 1998 am Standort Oberding (Sorte 'Astron') und am Standort Haxthausen (Sorte 'Bandit'), fiel in den vorliegenden Messungen bei allen Behandlungsvarianten geringer aus als erwartet. Auch die Kombination von Bodenwasserdefiziten und Temperaturspitzen über 30°C vor allem gegen Anfang Juni hatte keine deutliche Reduktion von $F_v:F_m$ unter 0,82 zur Folge, was auf eine nur geringfügige und vor allem reversible Hemmung des Photosynthesystems schließen läßt. Dies steht im Widerspruch zu der Aussage, daß die Photosynthese sensitiv auf Hitze reagiert (*BERRY & BJÖRKMAN, 1980; YORDANOV et al., 1986*). Die optimale Temperatur für Weizen liegt im vegetativen und generativen Wachstum bei 18°C-24°C (*WARDLAW et al., 1980; CAMP et al., 1982; AL-KHATIB & PAULSEN, 1984; STONE & NICOLAS, 1994*). Bei Perioden von 28-32°C (5-6 Tage) in der späten Wachstumsphase (Blüte und Kornfüllung) reagiert Weizen mit Ertragseinbußen von 20% und mehr (*STONE & NICOLAS, 1994*). Ursache ist die beschleunigte Seneszenz, die reduzierte Blattflächenvitalität und die Senkung der Photosyntheseaktivität (*HARDING et al., 1990*). Der Widerspruch zu den Literaturangaben läßt sich dadurch erklären, daß einerseits Temperaturspitzen auftraten, jedoch keine längeren Perioden solcher Temperaturen (insgesamt waren, wie schon zuvor beschrieben, die Umweltbedingungen 1998 optimal für hohe Ertragsleistungen des Weizens). Andererseits wurde die Wirkung der Umweltbedingungen ausschließlich an der Fahnenblattetage untersucht. Dabei muß berücksichtigt werden, daß das 'Gesamtsystem Pflanze' ein Puffersystem darstellt, das kurzfristigen Streß dämpfen kann, zugunsten jüngerer, ertragsessentieller Blätter. *GEORGIEVA et al. (2000)* geben beispielsweise für intakte Pflanzen von *Pisum sativum* einen Abfall in $F_v:F_m$ bei 1h/45°C-Behandlung von 0,818 auf 0,817, nach 5h/45°C auf 0,793 an. Dies demonstriert die relative Stabilität ganzer Pflanzen gegenüber Hitzestreß, verglichen zu abgetrennten Blättern. Untersuchungen von *VONWILLERT et al. (1995)* unterstützen die Aussage einer höheren Pufferkapazität intakter Pflanzen, verglichen zu

Einzelblattmessungen. Aus den vorliegenden Ergebnissen des Streßindikators Fv:Fm ist der Schluß zu ziehen, daß die Pflanzen während ihrer Vitalphase ausreichend an die vorherrschenden Umweltbelastungen adaptiert waren. Differenzierungen zwischen den Behandlungsvarianten an Fahnenblättern in der Vitalphase intakter Pflanzen konnten deswegen auf der Photosynthese-Ebene mit der Chlorophyllfluoreszenz-Methode nicht nachgewiesen werden.

Temperatur- und Trockenstreßbehandlungen an Fahnenblättern sollte die Leistungsgrenzen des Photosynthesystems in Abhängigkeit von der Fungizidanwendung aufzeigen. Die Leistungsgrenzen der Fahnenblattetage unterschiedlicher Behandlungsvarianten konnten durch die Streßbehandlung und mit dem Parameter Fv:Fm gut herausgearbeitet werden. Konform mit den oben zitierten Literaturangaben zeigte sich jetzt eine Abnahme von Fv:Fm nach Streßbehandlung (1h, 37°C). Dies beruht auf der bei wirksamen Temperaturen größer 30°C beginnenden Abnahme von Kapazität und Lichtquantenertrag des Photosynthesystems (BERRY & BJÖRKMAN, 1980). Es wird angenommen, das PSII die thermolabilste Komponente in der Photosynthesekette ist (HAVAUX *et al.*, 1991; HAVAUX, 1993), hier vor allem der wasserspaltende Komplex (ENAMY *et al.*, 1994; YAMANE *et al.*, 1998). Seine Schädigung führt zu einem Rückstau der eingestrahlenen Lichtquanten, Fo (Grundfluoreszenz) steigt an. Fm (maximale Fluoreszenz) sinkt infolge eines Elektronenrückstaus, der von einer Temperatur-gehemmten Calvincyklus-Aktivität herrührt. Im Ergebnis nimmt Fv:Fm ab auf Werte, die bis unter 0,65 reichen, wie sie in der hier vermessenen Kontrolle auch auftraten. Zu den ersten drei Meßterminen hatten Juwel- und Amistar-behandelte Fahnenblätter (Sorte 'Astron') gegenüber der zusätzlichen Streßbehandlung signifikant höhere Toleranz, verglichen mit der Gesundvariante und der Kontrolle. Die höhere Toleranz wird direkt mit den bei diesen Varianten festgestellten größten Blattflächen in Verbindung gebracht und zeigt sich in den geringeren Abnahmen des Parameters Fv:Fm nach Streßbehandlung. Wegen der relativ höheren Gesamt-Blattwassergehalte sind verbesserte Pufferkapazitäten gegenüber dem gesetzten Streß wahrscheinlich. Mit zunehmendem Alter der Fahnenblätter nahm die Streßtoleranz der Kontrollvariante und des Gesundstandards zu, was sich einmal in einer generell geringeren Abnahme des Parameters Fv:Fm nach Streßbehandlung zeigte und dann die schwache Differenzierung zu den Varianten mit Juwel- und Amistar-Behandlungen erklärt. Die zugrundeliegenden Mechanismen sind bekannt. So akklimatisieren sich Pflanzen während des Wachstums an die vorherrschenden Temperaturbedingungen. Sie bilden eine 'Altersresistenz' aus. Auch moderater Trockenstreß, der im Freiland immanent vorherrscht, induziert die Hitzetoleranz von PSII (HAVAUX, 1992; EPRON, 1997; LU & ZHANG, 1999). Bei der Sorte 'Bandit' wurde diese Veränderung der Reaktionslage mit zunehmendem Alter der Pflanzen ebenfalls beobachtet. Dadurch, daß die Messungen im Vegetationszyklus später als bei der Sorte 'Astron' begannen, dafür aber bis gegen Ende der Kornfüllung andauerten, ließ sich das Phänomen der 'Altersresistenz' sehr deutlich darstellen. Differenzierungen zwischen den Behandlungsvarianten traten deswegen jedoch nur zu den ersten beiden Meßterminen (EC 59, EC 69) auf. Hier dämpfte die Juwel-Behandlung den zusätzlichen Streß am besten.

Die durch den Parameter Fv:Fm gemessene Dämpfung nach Streßbehandlung bei den Strobilurin-behandelten Fahnenblättern könnte zusätzlich auf einer kurzfristig effizienteren Stickstoffaneignung beruhen, wie es breites an anderer Stelle schon diskutiert wurde. Für die Beteiligung des Stickstoffs (= N) sprechen einerseits die größeren Blattflächen, andererseits neuere Ergebnisse zur Wirkung von Stickstoff bei Streß. Viele Studien zeigen, daß

kurzfristig wirksamer Stickstoffmangel die Empfänglichkeit gegenüber Photoinhibition (= Abnahme von Fv:Fm) steigert (HENLEY *et al.*, 1991; VERHOEVEN *et al.*, 1997; RAMALHO *et al.*, 1997; LU & ZHANG, 2000 a; LU & ZHANG, 2000 b). Eine Schutzwirkung des Stickstoffs gegenüber Wasser- und Hitzestreß zeigen die Ergebnisse von SHANGGUAN *et al.* (2000). Wurden die jüngsten voll entwickelten Weizenblätter einer defizitär N-versorgten Variante in ihrem Fv:Fm mit solchen einer optimal N-versorgten Variante bei ausreichender Wasserversorgung verglichen, dann traten keine Unterschiede bei Fv:Fm auf. Erst durch einen zusätzlichen Wasser- und Temperaturstreß wird ein Unterschied zwischen diesen Stickstoffvarianten sichtbar: Bei N-Defizit tritt eine starke Hemmung ein (Fv:Fm sinkt ab), wogegen das optimal N-versorgte Blatt sich tolerant gegenüber der Streßwirkung und vergleichbare Werte zu den optimal versorgten Pflanzen zeigte. Als Ursache nehmen sie einen über den N-Mangel limitierenden Rubisco-Gehalt (geringeres Energie-Quenching, dadurch höhere photooxidative Wirkung) an und eine direkte Wirkung auf das Photosystem II. Wie auch LU & ZHANG (2000 a, 2000 b) finden sie noch keine hinreichend genaue Erklärung für die protektive Wirkung von Stickstoff gegenüber Hitze. Sie vermuten eine Steigerung der 'heat shock'-Proteine, die sich als wichtige Substanzen im adaptiven Schutz des Photosystems II gegenüber Hitze bewiesen haben (DOWNS *et al.*, 1998; DOWNS *et al.*, 1999). Zumindest für Juwel und BAS 490 wird eine kurzfristige Steigerung der Stickstoffeffizienz gezeigt (KÖHLE *et al.*, 1997; GROSSMANN *et al.*, 1999) und eine positive Wirkung auf die Synthese der 'heat shock'-Proteine angenommen (RADEMACHER, *mündl. Mitteilung* 2000).

Die Ergebnisse zur Wirkung der Strobilurine auf den photosynthetischen Elektronentransport unter kontrollierten Bedingungen an der Winterweizensorte 'Astron' belegen prinzipiell eine zeitabhängige Wirkung der Präparate auf die Photosyntheseleistung der Pflanzen, die in den Freilandmessungen unbemerkt blieb. Ein in drei Phasen untergliedertes Reaktionsmuster der photosynthetischen Elektronentransportrate nach Applikation von Juwel, Amistar und einem neuen Strobilurin-Wirkstoff (VP, ZENECA) bestätigen zudem die Wirkung strobilurinhaltiger Fungizide, die als Inhibitoren der Atmungskette pilzlicher Pathogene auch den pflanzlichen Stoffwechsel beeinflussen. Drei Stunden nach Behandlung tritt ein markanter Anstieg des Elektronentransportes auf, der nach 24 Stunden abfällt und dann in der dritten Phase nachhaltig auf hohem Niveau weiter läuft. In ihren Grundzügen findet sich dieses Reaktionsmuster in den von TESCHE bei HOCK & ELSTNER (1995) beschriebenen Streßkonzept von SELYE (1953) wieder: Danach ist Streß ein Zustand nichtspezifischer Spannungen, der von Stressoren ausgelöst wird und in drei Phasen untergliedert ist:

1. Alarmreaktion
2. Widerstands- oder Adaptationsreaktion
3. Erschöpfungsreaktion.

Die Erschöpfungsreaktion wird hier nicht weiter betrachtet, beschreibt aber den Zustand der Pflanzen, in dem der Grenzbereich der Resistenz überschritten wird, und es zum Erkranken, zum Verfall und zum Absterben des Organismus kommt. Bei der Alarmreaktion werden kurzfristig charakteristische, aber hinsichtlich des Stressors häufig unspezifische Reaktionen ausgelöst (TESCHE, 1990). So wird z.B. die Membranpermeabilität erhöht,

Atmungssteigerung und weitere Stoffwechselreaktionen gefunden. Da alle Streßfaktoren die an irgendeinem Pflanzenteil wirksam sind, einen direkten oder indirekten Effekt auf die Photosynthese haben (*LICHTENTHALER & RINDERLE, 1988*), könnte der Anstieg der Elektronentransportrate, drei Stunden nach Verabreichung der Fungizidpräparate, auf einen erhöhten Bedarf an Triosephosphaten im Calvin-Zyklus beruhen, um den erhöhten Bedarf an Energieäquivalenten für gesteigerte metabolische Reaktionen bereitzustellen. Der Rückgang der Elektronentransportrate, 24 Stunden nach Behandlung mit den strobilurinhaltenen Fungiziden unter Kontrollniveau, deutet den Übergang von der Alarmreaktion zur Adaptationsreaktion an. Warum das Versuchsprodukt den Elektronentransport in dieser Phase stärker hemmt als Juwel und Amistar, kann hier nicht erklärt, vielmehr nur festgestellt werden.

Untersuchungen von *SCHRETZENMAYER (1966)*, *GREER (1983)* und von *TESCHE (1990)* haben gezeigt, daß im Verlauf der Adaptationsreaktion (Phase 2) nicht nur eine zeitlich begrenzte Anpassung an Belastungen möglich ist, sondern auch Langzeitreaktionen zu beobachten sind, die nach Abklingen der Belastung erhalten bleiben (*SANDERMANN et al., 1990*). Sind Langzeitwirkungen mit einer Resistenzerhöhung verbunden, so kennzeichnen sie nach *TESCHE (1989)* Stabilisierungsreaktionen. Aufgrund der vorliegenden Daten und Erkenntnisse aus der Literatur wird die Hypothese aufgestellt, daß die Anwendungen von Juwel, Amistar und dem Versuchsprodukt Streß für die Pflanze bedeutet, der eine systemisch erworbene Resistenz (SAR) induziert und eine Stabilisierungsreaktion bewirkt. *BERGMANN et al., 1999* nennen dies, eine simulierte Alarmreaktion der Pflanze zu stimulieren, der dann eine quantitative Resistenz folgt. In Anlehnung an die Humanmedizin (*HECHT, 1982*) sollte bei der Wirkung der strobilurinhaltenen Fungizide nicht von Streß sondern von Eustreß gesprochen werden (*TESCHE, 1995*). Inwieweit ein Eustreß über die Wirkstoffe selbst, oder die Formulierungshilfsstoffe induziert wird, kann hier nicht geklärt werden.

Um die Eustreß-Hypothese mit zusätzlichen Daten zu untermauern, wurde die spezifische Wirkung des Herbizids Basagran untersucht und mit der Wirkung der strobilurinhaltenen Fungizide verglichen.

Der Wirkstoff Bentazon, das aktive Agens im Basagran, verdrängt den sekundären Elektronen-Akzeptor QB am D1-Protein des Photosystems II. Dies führt zu einem Rückstau eingestrahelter Photonen in den Antennenpigmenten, worauf vor allem die Grundfluoreszenz F_0 charakteristisch zunimmt und F_v/F_m , ein Maß für die maximale Elektronentransportwirksamkeit (*GENTY et al., 1989; KRAUSE & WEIS, 1991*), sowie der Elektronentransport selbst drastisch abnehmen. Die bei monokotylen Pflanzen relativ schnelle Metabolisierung des Hemmstoffes Bentazon wurde einen Tag nach der Behandlung anhand des Wiederaufstiegs der Elektronentransportrate erfaßt. Bereits vier Tage nach Applikation erreichte der Elektronentransport wieder Werte wie vor der Behandlung. 10 und 39 Tage nach Applikation lag die Elektronentransportrate deutlich über dem Niveau der Kontrolle. Die Daten belegen, daß im Anschluß an die eigentliche Herbizid-Wirkung von Bentazon eine Adaptationsreaktion folgt, die prinzipiell Parallelen zur Wirkung der strobilurinhaltenen Fungizide aufweist und damit die Eustreß-Hypothese mit der Folge gesteigerter Widerstandskraft gegenüber Streß verursachenden Umwelteinflüssen stützt.

Ausgeprägt tritt die durch strobilurinhaltige Fungizide hervorgerufene Streßresistenz bei Gerste auf. Seit etwa Mitte der 90er Jahre werden europaweit (vor allem aber in

Süddeutschland, Österreich, Irland, Schottland) sogenannte 'Nichtparasitäre Blattflecken' (Abb. 32) an Winter- und Sommergerste verschärft wahrgenommenen. Strobilurinhalte Fungizide haben gegen diese Krankheit eine sehr gute protektive Wirkung. Besonders ausgeprägt ist diese bei Jewel und Jewel Top (Nachfolgepräparat von Jewel mit zusätzlich 150 g/l Fenpropimorph). Es bestehen bei Wintergerste Verwechslungsmöglichkeiten mit dem Schadbild des Schwächeparasiten *Ramularia collo-cygni* (OBST *et al.*, 1995; OBST & HUBER, 1996; OBST & BAUMER, 1998; SACHS, 1998).

Einige Wintergerstensorten, wie beispielsweise 'Anthere' sind regelmäßig massiv durch diese Krankheit betroffen. Im Vegetationsjahr 1999 zeigten sich die ersten Symptome gegen Ende Mai auf dem Fahnenblatt in der Kontrolle. Die Wintergerste war im Entwicklungsstadium der Blüte. Eine Verwechslung mit *Ramularia collo-cygni* wurde durch regelmäßige Bonituren ausgeschlossen. Opus Top schützte das Fahnenblatt gut vor 'Nichtparasitären Blattflecken', eine vollständige Verhinderung wurde nicht erreicht. Das Fahnenblatt war, verglichen zur Kontrolle, erst etwa zwei Wochen später abgereift. Besonders effektiv konnte die Jewel Top-Behandlung die nichtparasitäre Krankheit verhindern. In Kombination mit der ausgesprochen guten Fungizidleistung wurde ein gegenüber Opus Top ausgeprägter 'Grün-Effekt' festgestellt.

Witterungskonstellationen, aber auch das physiologische Alter des Blattgewebes hatten einen Einfluß auf die Initiation der Symptomausbildung in der Kontrolle. Nach einer mäßig warmen und niederschlagsreichen Witterungsperiode in den ersten beiden Maidekaden trat ab dem 25. Mai 1999 ein abrupter Witterungsumschwung auf, der bis zum 5. Juni andauerte. Die als Hot Spot bezeichnete Witterungsphase war durch sehr hohe photosynthetisch aktive Strahlung, UVB-Intensitäten und Temperaturen charakterisiert und die Wintergerste befand sich in der Blüte. Diese Witterungs- und Entwicklungsphasen-Konstellation wird von OBST & BAUMER (1998) als auslösendes Kriterium für 'Nichtparasitäre Blattflecken' postuliert. Die Ursache dafür ist nach den eigenen Chlorophyllfluoreszenz-Untersuchungen Photoinhibition, die durch das Zusammenwirken der erfaßten Witterungsparameter Sonnenstrahlung, UVB-Strahlung und der Temperatur ausgelöst wurde (Ozon-Messungen liegen nicht vor). Vier Tage nach Beginn der Hot Spot-Phase trat in der Kontrolle ein massiver Rückgang von Fv:Fm, ein Maß für die maximale relative Elektronentransportwirksamkeit des Photosystems II (KRAUSE & WEIS, 1991; GENTY *et al.*, 1989), auf. Die Abnahme des Parameters Fv/Fm, wird allgemein als valides Diagnosemittel bei der frühen Erfassung von Photoinhibition verwendet (GAMON & PEARCY, 1989; EPRON *et al.*, 1992; ÖGREN & SJÖSTRÖM, 1990).

Die Kontrolle erholte sich nochmals kurzfristig, was sich in einem erneuten Anstieg von Fv:Fm zeigte und als Alarmreaktion oder Klimakterium (MOHR & SCHOPFER, 1992) interpretiert wird, baute dann aber nach dem ersten Juni massiv und irreversibel ab. Die ersten nichtparasitären Punktnekrosen traten einen Tag nach dem Photoinhibitions-Ereignis auf dem Fahnenblatt auf. Insbesondere die Jewel Top-Variante zeigte in dieser Streißphase keine Anzeichen von Photoinhibition und keine Symptome 'Nichtparasitärer Blattflecken'. Warum Jewel Top diese Schutzwirkung hat ist noch nicht geklärt. Hier wird die Hypothese aufgestellt, daß über die schon oben besprochenen physiologischen Wirkungen positive Veränderungen im 'Antioxidativen Schutzsystem' der gegenüber 'Nichtparasitären Blattflecken' empfindlichen Sorte 'Anthere' einstellen. Photoinhibition ist mit oxidativem Streiß (Sauerstoff-Radikale) verbunden und führt zu Zellmembranschäden (BERGMANN *et al.*, 1999). Punktnekrosen sind die ersten sichtbaren Symptome massiver Membranschäden.

- **Physiologische Effekte strobilurinhaltiger Fungizide auf Alterung und Seneszenz**

Ethylen ist ein einfaches gasförmiges Pflanzenhormon. Es ist in vielfältige Aspekte pflanzlicher Wachstums- und Entwicklungsprozesse eingebunden (s. a. Literaturübersicht). Ein Anstieg der Ethylenbiosynthese ist assoziiert mit Reaktionen auf externe Einflüsse wie biotischem und abiotischem Streß und von zentraler Bedeutung für die Steuerung der pflanzlichen Seneszenz (ABELES *et al.*, 1992). Die im Feld beobachtete längere grüne Blattflächenvitalität, die neben der ertragssteigernden Wirkung strobilurinhaltiger Fungizide das markanteste Charakteristikum dieser Wirkstoffgruppe ist, wird von GROSSMANN & RETZLAFF (1997) und GROSSMANN *et al.* (1999) unter anderem in einer direkten Hemmung der ACC-Synthese bei BAS 490 verstanden. In den eigenen Felduntersuchungen konnte ein direkter Einfluß auf die Ethylenbiosynthese ab Beginn der Blüte für Epoxiconazol, BAS 490, Jewel und Amistar festgestellt werden. Bis vier Tage nach Applikation reduzierten die strobilurinhaltigen Fungizide BAS 490, Jewel und Amistar die Ethylensynthese bis zu 40%, verglichen mit der noch befallsfreien Kontrolle. Opus (Epoxiconazol) reduzierte den Ethylenausstoß um ca. 25% gegenüber der Kontrolle. Die Wirkung hielt aber nur bis zu zwei Tage nach der Behandlung an. Die Daten sind konsistent mit den Ergebnissen von GROSSMANN & SIEFERT (1996), GROSSMANN & RETZLAFF (1997) und GROSSMANN *et al.* (1999) die für BAS 490 und Epoxiconazol eine Ethylen-reduzierende Wirkung belegen, und zeigen zusätzlich für Amistar eine direkte Wirkung auf die Ethylenbiosynthese, die bisher nicht bekannt war. Im Anschluß an die reduzierenden Effekte folgte bei den geprüften Getreidefungiziden Opus, Jewel und Amistar ein Anstieg der Ethylenbiosynthese über das Niveau der Kontrolle, der bisher so noch nicht beschrieben wurde. Bei Opus setzte er früher ein und dauerte länger an als bei den strobilurinhaltigen Fungiziden. Nur BAS 490 hatte diesen Ethylen-provozierenden Effekt nicht. So kann der in den Jewel-behandelten Fahnenblättern festgestellte Ethylenpeak auf der spezifischen Wirkung von Epoxiconazol oder auch auf physiologisch wirksame Einflüsse von Formulierhilfsstoffen beruhen. Formulierhilfsstoffe können aggressiv sein und eine Ethylen-provozierende Wirkung haben (RADEMACHER, *mündl. Mitteilung* 2000). Neun Tage nach Behandlung lagen die Ethylenmengen aller Fungizidvarianten dann weit unter Kontrollniveau, und bewegten sich bis 38 Tage nach Behandlung um eine mittlere Verminderung der Ethylensynthese von 35%. Die effektivste Wirkung konnte statistisch für die Jewel-Variante ermittelt werden.

Die ebenfalls ausgesprochen gute Ethylenwirkung von Opus bzw. Opus Top, die sich im Mittel der Versuchsjahre, und über vier unterschiedlich streßempfindliche Sorten nur mit 7% höheren Ethylenwerten gegenüber Amistar und mit ca. 13% höheren Werten gegenüber Jewel differenzierte, ist allein nicht ausreichend für die Erklärung seneszenzverzögernder Effekte. GROSSMANN *et al.* (1999) diskutieren in diesem Zusammenhang einen über die Reduktion der Ethylensynthese bestehenden Einfluß von BAS 490 auf den endogenen Cytokinin-Gehalt. So wird durch Ethylen der Abbau von Cytokinen beschleunigt (BOLLMARK & ELIASSON, 1990; GROSSMANN *et al.*, 1999). Die Reduktion des Ethylens sollte dann in einer Aufrechterhaltung oder Förderung der Cytokinin-Gehalte resultieren. Cytokine spielen eine wichtige Rolle bei der Seneszenzverzögerung (LESHEM *et al.*, 1979; NOODEN & LEOPOLD, 1988; NOODEN *et al.*, 1997) und (GROSSMANN *et al.*, 1991; NAM, 1997 zitiert bei GROSSMANN *et al.*, 1999), wogegen Ethylen den Seneszenzprozeß beschleunigt (ABELES *et al.*, 1992; GRBIC & BLEEKER, 1995; OHTSUBO *et al.*, 1999).

Ein neuer Aspekt, der hier gefunden wurde, ist die in den Timingversuchen festgestellte Unabhängigkeit der Ethylenwirkung strobilurinhaltiger Fungizide vom Behandlungszeitpunkt. *GERHARD & HABERMEYER (1998)* beschreiben diese, vom Behandlungszeitpunkt unabhängige und nachhaltig anhaltende Ethylen reduzierende Wirkung von Jewel und Amistar als memory-Effekt. Die pflanzenphysiologischen Ursachen, die dem memory-Effekt zugrunde liegen, sind komplex und haben bei verschiedenen Behandlungsterminen wahrscheinlich verschiedenste Ursache/Wirkungs-Beziehungen. Letztendlich sind die beeinflussenden Faktoren für den 'Grün-Effekt' auch die Gründe für den memory-Effekt. Ein Beleg dafür geben die DNase-Messung der Fahnenblätter der Behandlungsvarianten im Timingversuch, die als Indikatoren für den Seneszenzgrad (*GROSSMANN & JUNG, 1982*) herangezogen wurden. In Übereinstimmung mit den in diesem Versuch erfaßten Ethylen-Ergebnisse, wirkten sich alle, auf die Gesundgrundlage gestaffelt applizierten strobilurinhaltigen Fungizide, in einer verglichen dazu verminderten DNase-Aktivität aus. Applikationen in EC 32 waren dann signifikant wirksamer als der in diesem Zusammenhang physiologisch inaktive, zugrundeliegende Gesundstandard Sportak Delta. Es wird hier die Hypothese aufgestellt, daß es sich bei den Ethylen- und den DNase-Ergebnissen der frühen Applikationen um Folgeerscheinungen einer frühen Förderung der Vitalität durch strobilurinhaltige Fungizide handelt, die sich sukzessive bis in die späten Entwicklungsphasen vitalitätsfördernd durchziehen und dann seneszenzhemmend wirken. So können die frühen Applikationen wirksam auf die Anlage von Speicherstoffen sein, die in den späten Entwicklungsabschnitten für die Aufrechterhaltung der einmal erreichten Stoffwechsellistung zur Verfügung stehen können (*SCHNYDER et al., 1990; SCHNYDER, 1993*). Für die späteren Behandlungen ist eine direkte Einflußnahme auf die Seneszenzphysiologie wahrscheinlich, und für Ethylen prinzipiell *dargestellt* (*GROSSMANN & RETZLAFF, 1997; KÖHLE et al., 1997; GROSSMANN et al., 1999*). Die Folge ist in den untersuchten Fällen ein vitaler Blattapparat, der eine hohe Pufferkapazität gegenüber Umwelteinflüssen in der Phase der Blüte und der Kornfüllung hat. Amistar zeigt die gleichen Effekte wie Jewel und es ist anzunehmen, daß dies Eigenschaften der Strobilurine im allgemeinen sind.

Die bereits gut dokumentierte Wirkung strobilurinhaltiger Fungizide auf die Abreife oberer Blattetagen (z.B. *SCHEID, 1997; WERNER, 1999*) war auch in diesen Untersuchungen eine vornehmliche Eigenschaft der Strobilurine. Wie sich in der Versuchsserie 1996 bis 1998 beobachten ließ, treten mit Jahrgangseinflüssen Unterschiede in der Blattflächenvitalität von Strobilurin-behandelten gegenüber mit Azolen behandelten Pflanzen gegen Ende der Blüte auf, und differenzieren sich bis zum Ende der Kornfüllung aus. Dieser 'Grün-Effekt' wird hauptsächlich durch die noch größere Blattflächenvitalität der Blattetagen F-2 und F-3 bestimmt. Der 'Grün-Effekt' beschreibt somit eine größere grüne Gesamtblattfläche, wie hier durch die Berechnung des Integrals unter der grünen Blattfläche (AUGL = area under green leaves) gezeigt wird. Der im Feldversuch sichtbare 'Grün-Effekt' konnte in den Gewächshausversuchen eindeutig nachgewiesen werden. Alle Varianten mit strobilurinhaltigen Fungiziden behandelten Pflanzen hatten auch noch zu EC 81 (Übergang Abschluß der Kornfüllung zur Kornreife) im Vergleich zur unbehandelten, befallsfreien Kontrolle eine höhere Blattflächenvitalität. Somit ist der 'Grün-Effekt' ein nichtfungizid bedingtes Phänomen. Die Ursache ist die verzögerte Blattseneszenz. Die ertragsphysiologische Bedeutung verzögerter Blattseneszenz wird von verschiedenen Autoren herausgestellt (*SIMPSON, 1968; EVANS et al., 1975; CAMP et al., 1982; MOHR & SCHOPFER,*

1992; GAN & AMASINO, 1997), und wird durch die eigenen Berechnungen der Beziehung zwischen der AUGL und dem Kornertrag bestätigt. Dabei beruht die evident enge positive Beziehung der AUGL mit dem Kornertrag auf der ertragsphysiologischen Gesetzmäßigkeit, die sink-Kapazität der Ähre, so lange als möglich mit hoher Assimilationsleistung bedienen zu können (MOHR & SCHOPFER, 1992; GAN & AMASINO, 1997). Die Beziehung von AUGL und Kornertrag ist auch ein Beleg für die ertragsphysiologische Relevanz des 'Grün-Effektes'.

Es bestehen unterschiedliche Angaben darüber, welche der oberen Pflanzenorgane letztendlich für die Veränderungen des Ertrages bzw. des TKG relevant sind (z.B. RAWSON *et al.*, 1983; HERZOG, 1986). Die eigenen Analysen messen den Blattetagen F-2 und F-3 die wesentliche ertragsdifferenzierende Bedeutung bei. Dies kann aus der Berechnung der Beziehung zwischen Ertrag und durchschnittlicher Abnahme grüner Blattfläche der oberen vier Blattetagen im Zeitraum EC 69 bis EC 83 gefolgert werden, da nur die Nekroseprogression (Verlust grüner Blattfläche) der Blattetagen F-2 und F-3 die Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten bestimmte. Die engste lineare Korrelation wurde dabei zu EC 75 ($R = -0,89$), und EC 79 ($R = -0,91$), dem Ende der Kornfüllung, gefunden. Vorher und nachfolgend war sie schwächer. Die zugrundeliegenden Sachverhalte sind relativ gut erforscht und werden bei FREDERICK *et al.* (1990) und FREDERICK & BAUER (1999) sehr detailliert beschrieben und hier nicht mehr näher erörtert.

Wenngleich bei der Betrachtung des Verlustes grüner Blattfläche (= Nekroseprogression) ausschließlich die Systemausstattung, nicht aber deren Kapazität betrachtet wird (s. dazu photosynthetische Primärproduktion), zeigen die Ergebnisse an, daß die Optimierung des standortspezifischen Kornertrages nur durch einen möglichst lange intakten oberen Blattapparat erreicht wird. FORRER & ZADOCKS (1983) berichten eine negative Beziehung zwischen der Zunahmerate der nekrotisierten Blattfläche und dem Ertrag. Hier wurde dieser Sachverhalt genauer untersucht. In der die gesamte Kornfüllungsphase integrierenden Betrachtung der Beziehung zwischen assimilierender Blattfläche und Kornertragsniveau, wird eine enge, lineare Beziehung zwischen Kornertrag (dt/ha) und durchschnittlicher Nekroseprogression (%) pro Tag, in der Entwicklungsphase der Kornfüllung, gefunden. Diese Betrachtungsweise schließt das Kompensationsvermögen auf der Ebene der Photosynthese ein. So wird durch den Verlust grüner Blattfläche die Strahlungseindringung (radiation interception RI) wohl reduziert, aber die Strahlungsnutzungseffizienz (radiation use efficiency RUE) weniger stark beeinflusst (GAUNT, 1995). Reift ein befallener oder geschädigter Pflanzenteil ab, kann der Metabolismus vom Rest der Pflanze diesen Verlust kompensieren oder nicht (MADEIRA, 1995). Letztendlich bestimmt die Geschwindigkeit mit der solche Blattflächenverluste auftreten über das Kompensationsvermögen der Pflanze und über den erzielbaren Kornertrag. Bis zu einer kritischen Schwelle kann der Verlust an RI durch eine Steigerung der Leistung der RUE aufgefangen werden. Bei der Sorte 'Astron' lag beispielsweise der Schwellenwert 1998 bei durchschnittlich 1% Verlust grüner Blattfläche (Blatttage F bis F-3) pro Tag in der Phase der Kornfüllung, wenn ca. 100 dt/ha Ertragsziel zugrundegelegt werden.

Eine allgemeingültige Ableitung konnte hier nicht erschöpfend herausgearbeitet werden. Dies hatte verschiedene Ursachen. So kann eine Entkopplung der Korn- und Strohreife die Abreifegeschwindigkeit des Blattapparates senken, aber nicht unbedingt auch zu einem hohen Ertragsniveau beitragen, nämlich dann nicht, wenn die Ähre Notreife zeigt, wie sie in

massiver Ausprägung im Versuchsjahr 1997 am Standort Roggenstein auftrat. In Jahren mit optimalen Wachstumsbedingungen sind optische Vorteile in der Kornfüllungsphase bei strobilurinhaltenen Fungiziden, in Bezug auf vergleichbar starke Azol-Fungizide nicht unmittelbar auch signifikant ertragswirksam, wie 1996 an einigen Standorten festzustellen war. In diesem Zusammenhang kann die Remobilisierung von Vorblütereserven einen wichtigen Erklärungsansatz für die Differenz zwischen optischer Erscheinung des Bestandes während der Kornfüllungsphase und dem erzielten Ertragsergebnis geben. Sind längere Perioden von Photosynthese-reduzierendem Streß (z.B. Wasser, Temperatur, Pathogene) während der Kornfüllungsphase wirksam, werden Vorblütereserven remobilisiert und zu einem signifikanten Anteil für die Kornfüllung verwendet (*BINDINGER et al., 1977; HERZOG, 1986; SCHNYDER et al., 1990; GAUNT & WRIGHT, 1992; SCHNYDER, 1993*). Die Remobilisierungsrate der Speicherkohlenhydrate hängt von der Differenz zwischen aktueller Photosynthese (source) und Assimilatbedarf der Körner (sink) ab (*HERZOG, 1986; SCHNYDER et al. 1990*). *BINDINGER et al. (1977)* schätzen den Beitrag der translozierten, vor der Blüte gebildeten und gespeicherten Assimilaten zur Kornfüllung auf 13%, unter Streßbedingungen auf 27%. Ähnliche Ergebnisse berichtet *SCHNYDER (1993)*.

Mit der Eosinfärbemethode konnte die physiologische Kornreife als gerichtet sequentieller Vorgang verfolgt werden. Ab EC 75/79 gliederten sich bei der Sorte 'Batis' die Fungizidbehandlungen von der Kontrolle ab, die relativ höhere Einfärbung der Ährenspindel zur Kontrolle hielt bis etwa 83/85 an, danach brachen alle Varianten die Einlagerung der Färbelösung abrupt ab. War die Abnahme von RED der Kontrolle eher stetig, war RED der Juwel-Variante über lange Zeit auf konstant hohem Niveau, das dann aber schlagartig zu EC 87/89 endete. In dieser Variante wurden auch die höchsten Kornerträge und Tausendkorngewichte gemessen. Die Opus-, bzw. Amistar-Variante lagen bei der RED-Bestimmung zwischen Kontrolle und Juwel-Variante.

Über die Bestimmung des Integrals unter der RED-Kurve der einzelnen Varianten und durch Division der betrachteten Zeitspanne von 44 Tagen ergab sich mit $R^2 = 0,96$ ein hohes Bestimmtheitsmaß zwischen RED und dem Tausendkorngewicht. Im speziellen konnte im Versuchsjahr 1998 die im Ertrag beste Leistung der Juwel-Behandlung auch mit einer effizienteren Kornfüllung belegt werden. Das Ergebnis weist eine aus der Summe von fungiziden Effekten und zusätzlichen physiologischen Effekten positive Wirkung auf die Kornfüllung aus, die sich in einem höheren Tausendkorngewicht niederschlägt. Dabei wird nicht die Dauer der Kornfüllung als solche verlängert, sondern die Einlagerungsdauer in die einzelnen Spindelstufen. Das heißt, auch die oberen Spindelstufen werden länger mit Assimilaten befüllt als in der Kontrolle und in den übrigen Gesundvarianten, was wiederum ein Anzeichen für die relativ höhere sink-Kapazität der Gesamtähre ist, wie es oben mehrmals angesprochen wurde. Die Konsequenz ist die Förderung der Ausbildung großer Körner, mit hohen Tausendkorngewichten; der markanteste, hier gefundene ertragsdifferenzierende Effekt der strobilurinhaltenen Fungizide zu den Standardgesund-Varianten.

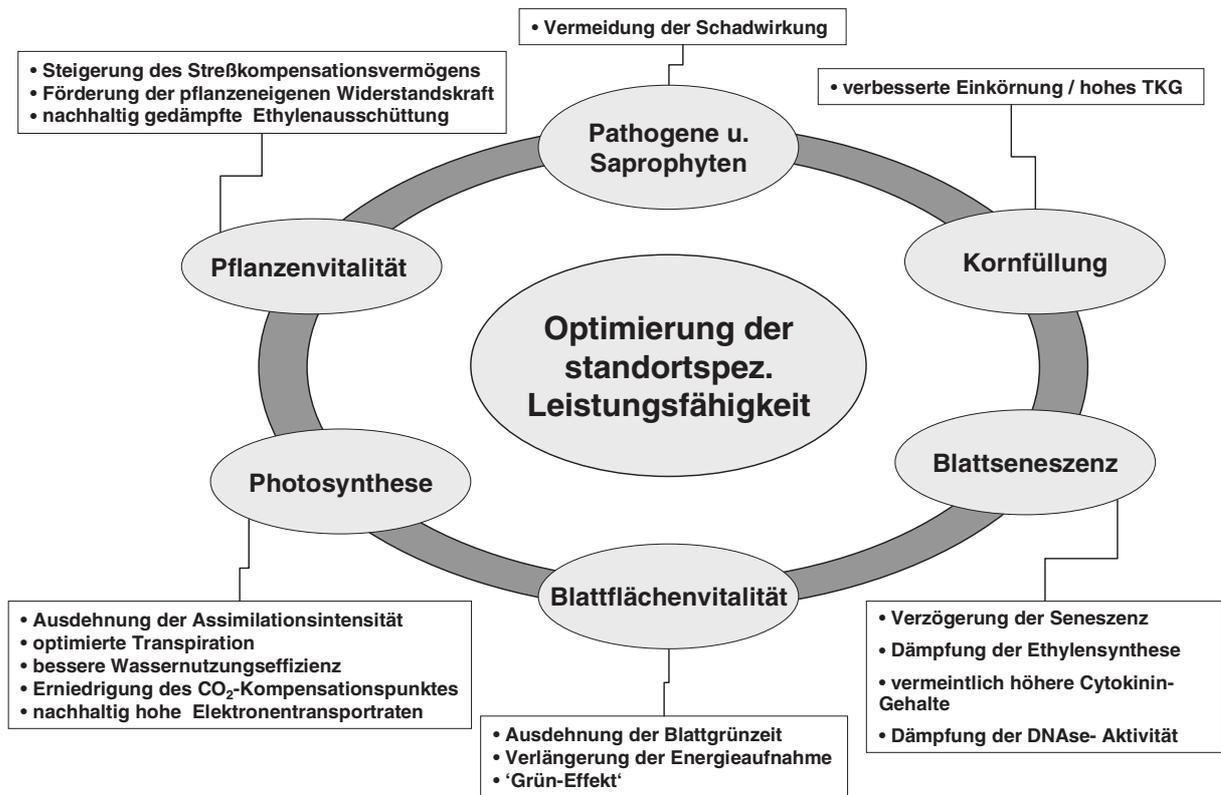


Abb. 72: Modell zum Einfluß strobilurinhaltiger Fungizide auf physiologische Abläufe der Ertragsbildung bei Winterweizen im Feldbestand (WUE = Wassernutzungseffizienz, RI = Strahlungseindringung = radiation interception)

Die Ergebnisse zum Einfluß strobilurinhaltiger Fungizide auf physiologische Abläufe der Ertragsbildung können in einem Gesamtschema zusammengefaßt werden (Abb. 72). Die Hauptwirkung nach Applikation der Strobilurine besteht durch die ausgesprochen gute fungizide Leistung, deren physiologischen Effekte durch die Abwehr von, und den Schutz vor, pilzlichen Schaderregern gut erforscht ist. Der über diesen fungiziden Effekt hinausgehende Ertragszuwachs, der nach den vorliegenden Daten auf 7% beziffert wird, beruht auf dem komplexen Wechselspiel sich gegenseitig beeinflussender Faktoren. So können die Ertragswirkungen strobilurinhaltiger Fungizide aus den derzeit bekannten ertragsphysiologischen Zusammenhängen heraus auf eine generelle Steigerung der pflanzlichen Vitalität oder Pflanzenstärkung zurückgeführt werden, so daß trotz Belastungen das Leistungsvermögen erhalten bleibt. Ein gegenüber Azol-Fungiziden gesteigertes Streßkompensationsvermögen, die Förderung der eigenen Widerstandskraft der Pflanze gegenüber abiotischem Streß und eine nachhaltig gedämpfte Ethylensynthese sind meßbare Wirkungen und Ursachen. Als Folge davon wird eine Förderung der photosynthetischen Primärreaktionen festgestellt, die sich in einer Ausdehnung hoher Assimilationsintensität mit hohen Elektronentransportraten bis weit in die Kornfüllungsphase, einer dabei optimierten

Transpiration und Wassernutzungseffizienz, sowie einer Reduzierung des CO₂-Kompensationspunktes ausdrücken. Als sichtbares Zeichen der gesteigerten Vitalität werden im Feldbestand die Ausdehnung der Blattgrünzeit, die eine Ausdehnung der Energieaufnahme des Sonnenlichtes sicherstellt und das Phänomen des 'Grün-Effekts' wahrgenommen. Die Blattseneszenz wird durch die Strobilurine beeinflusst, indem sie später einsetzt als bei herkömmlichen Fungizidbehandlungen. Sie ist die Folge einer direkten Wirkung auf die Ethylensynthese und der Steigerung der allgemeinen Pflanzenvitalität. So können die damit verbundenen positiven Cytokinin-Effekte eine Wirkung auf die DNase-Aktivität haben. Die verzögerte Seneszenz ist nicht als negative Begleiterscheinung der Strobilurine zu verstehen, sondern als positives Resultat einer in der Phase der Kornfüllung ertragswirksamen hohen Blattflächenvitalität. Da die DNase-Aktivität ein Indikator für das 'Alter' des Pflanzengewebes ist, kann dies auf ein, relativ zu den Azol-Fungiziden, noch jüngeres Blattgewebe zurückgeführt werden. Dies wiederum erklärt die höhere Photosyntheseintensität in der Phase der Kornfüllung. Die Wirkung ist eine, gegenüber den besten Azol-Fungiziden verbesserte Einkörnung und höhere Tausendkorngewichte. In schwierigen Jahren entkoppelter Korn- und Strohreife wird kaum eine Optimierung des Kornfüllungsprozesses erreicht. Der Einsatz der Strobilurine Jewel und Amistar führt zu einer Optimierung des standortspezifischen Ertragspotentials.

7 Zusammenfassung

In der Versuchsserie 1996 bis 1998 wurde der Einfluß strobilurinhaltiger Fungizide auf physiologische Abläufe der Ertragsbildung in Feldversuchen und bei kontrollierten Versuchsbedingungen untersucht. Es wurden folgende Themenkomplexe bearbeitet:

- Die Ertragswirksamkeit strobilurinhaltiger Fungizide, die über die bloße Vermeidung der Schadwirkung phytopathogener Pilze hinausgeht
- Die qualitative und quantitative Beschreibung von Abläufen der Aufwuchsleistung gesunder Pflanzen nach Anwendung strobilurinhaltiger Fungizide
- Die Wirkung von strobilurinhaltigen Fungiziden auf die photosynthetische Primärproduktionsleistung der Pflanzen
- Der Einfluß strobilurinhaltiger Präparate auf Alterung und Seneszenz ertragsessentieller Blattorgane

Die Ergebnisse, die sich immer auf den Vergleich von Strobilurin-behandelten und Azol-behandelten Gesundvarianten (3x Behandlungen) beziehen, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Im Dreijahresdurchschnitt war die Ertragsleistung der strobilurinhaltigen Fungizide Juwel und Amistar im Vergleich zu azolhaltigen Fungiziden um 7% signifikant gesteigert. Das den Versuchen zugrundeliegende Gesundvariantenkonzept schließt Fungizideffekte als Ursache für die Ertragssteigerung aus.
2. Juwel- und Amistar-Behandlungen steigerten konstitutiv, das heißt statistisch gesichert, das Tausendkorngewicht. Die Ertragsabstufungen zu den Vergleichsfungiziden anderer Chemie wurden durch diesen Ertragsparameter bestimmt.
3. Die Ertragswirkung der verwendeten strobilurinhaltigen Fungizide stellten sich bei allen sieben, im Resistenzgrad gegenüber Pilzkrankheiten und abiotischem Streß unterschiedlichen, Winterweizensorten ein. Präferenzen für physiologische Zusatzwirkungen im gegenwärtigen Sortenspektrum werden daher ausgeschlossen.
4. Die Ergebnisse zur Stickstoffverwertung in der oberirdischen Biomasse geben bei verschiedenen Winterweizensorten keinen statistisch gesicherten Beleg für eine Förderung der Stickstoffverwertung nach Behandlungen mit strobilurinhaltigen Fungiziden. Die Rohproteingehalte des Kornes wurden durch die Behandlungen mit Juwel und Amistar, im Vergleich zu Azol-Fungiziden, in keinem Jahr verändert. Eine über die fungizide Leistung hinausgehende Förderung des Rohproteingehaltes wurde in den drei Versuchsjahren nicht gefunden.
5. Eine konstitutive Förderung der Trockensubstanzbildung konnte durch die Behandlungen mit Juwel oder Amistar nicht festgestellt werden. Nach einer langen Trockenstreßperiode im Versuchsjahr 1997 hatten Strobilurin-behandelte Weizenpflanzen jedoch signifikant höhere Trockensubstanzgewichte als Azol-behandelte Pflanzen. Sie konnten sich schneller in der veränderten Umwelt etablieren. Dies wird auf ein behandlungsbedingt verbessertes Streßkompensationsvermögen zurückgeführt.

6. Die Fahnenblattflächen Juwel- und Amistar-behandelter Weizenpflanzen (Sorte 'Astron') waren in den Versuchsjahren 1997 und 1998 signifikant größer als die der Standardfungizid-Behandlungen (Opus Top bzw. Opus). Eine durch die Strobilurine verbesserte Wassernutzungseffizienz und zusätzlich hormonelle Wirkungen werden dafür ursächlich zugrundegelegt. Aus dem Sortenvergleich 'Astron' und 'Batis' wird gefolgert, daß Juwel und Amistar das Potential haben, die Wirkung von Umweltstreß zu dämpfen.
7. Die Remissionsmessungen waren ausgezeichnet in der Lage die dynamischen Wachstumseffekte von ganzen Versuchspartzen im Versuchsjahr 1997 zu erfassen. Die aus den Pflanzenspektren berechneten Vegetationsindices NDVI (Normalisierter Differenz Vegetations-Index) und WBI (Wasserbanden-Index) detektierten die aktivere Wüchsigkeit nach der Trockenstreßphase und den 'Grün-Effekt' der Strobilurin-Varianten, verglichen zu den Gesundvarianten. Damit konnten durch die Spektroskopie schnell, zerstörungsfrei und objektiv die wesentlichen Merkmale Strobilurin-behandelter Weizenbestände erfaßt werden. Da die Indices ertragsessentielle Parameter wie Chlorophyllgehalt, grüne Blattfläche, Gewebewassergehalt erkennen und quantitativ beschreiben, überrascht die starke lineare Beziehung mit dem Kornertrag nicht.
8. Die erfaßten absoluten Chlorophyllgehalte und die mit dem SPAD-Meter bestimmten Blattgrünintensitäten weisen nach, daß der Chlorophyllgehalt nicht konstitutiv durch die Behandlung mit Strobilurinen gesteigert wird. Die Ergebnisse zeigen, daß das Phänomen 'Grün-Effekt' nicht auf Veränderungen der Chlorophyllausstattung des Photosyntheseapparates beruht, sondern die Folge einer verlängerten Standzeit grüner Blattfläche ist.
9. Die Assimilationsrate Strobilurin-behandelter Fahnenblätter war im Schnitt der drei Versuchsjahre um 19% höher, als die der Gesundheitsstandards anderer Chemie. Ursache ist die zeitliche Ausdehnung hoher Assimilationsintensität bis in die Phase der Kornfüllung hinein. Die Gaswechsellmessungen in Feldversuchen belegen gegenüber den Gesundstandards weiterhin eine Verbesserung der Wassernutzungseffizienz, aber keine Wirkung auf die Respiration. Der CO₂-Kompensationspunkt wurde, über die Fungizidwirkung hinaus, nicht signifikant gesenkt. Insgesamt erlaubten die *in situ*-Messungen die Bewertung der Leistungsfähigkeit Strobilurin-behandelter Pflanzen und belegen ihre hohe Blattvitalität, deren Wirkung auf die Ausbildung des Tausendkorngewichts evident ist.
10. Mit Chlorophyllfluoreszenz-Messungen wurden im Durchschnitt der drei Versuchsjahre um ca. 15% höhere Elektronentransportraten der Photosynthese im Fahnenblatt bei Strobilurin-Varianten gegenüber den Gesundstandards gemessen. Konform zu den Ergebnissen aus den Gaswechsellmessungen konnte dies auf eine verlängerte Assimilationstätigkeit mit hoher Intensität zurückgeführt werden.
11. Gegenüber Streß-Applikation (1h, 37°C) zeigten Juwel- und Amistar-behandelte Fahnenblätter die signifikant höchste Toleranz innerhalb der untersuchten Behandlungsvarianten. Dies wurde auf der Photosynthese-Ebene mit dem Chlorophyllfluoreszenzparameter Fv:Fm, als Indikator für Pflanzenstreß, festgestellt. Daraus wird für Juwel und Amistar das Potential einer Förderung der pflanzlichen Widerstandskraft gegenüber kurzfristig wirksamem Streß abgeleitet.

12. Die Ergebnisse zur Wirkung der Strobilurine auf den Elektronentransport der Photosynthese belegen unter kontrollierten Bedingungen prinzipiell eine zeitabhängige Wirkung der Präparate auf die Photosyntheseleistung der Pflanzen, die in den Freilandmessungen registriert werden konnten. Ein in drei Phasen untergliedertes Reaktionsmuster der photosynthetischen Elektronentransportrate nach Applikation von Jewel, Amistar und einem neuen Strobilurin-Wirkstoff (VP, ZENECA) bestätigten zudem die Wirkung strobilurinhaltiger Fungizide, die als Inhibitoren der Atmungskette pilzlicher Pathogene auch den pflanzlichen Stoffwechsel beeinflussen. Es wird gefolgert, daß strobilurinhaltige Fungizide über eine Eustreß-Wirkung eine quantitative Resistenz induzieren können, die eine nachhaltige Förderung der Widerstandskraft der behandelten Pflanzen zur Folge hat.
13. An Wintergerste der Sorte 'Anthere' vermochten Jewel und Jewel Top das Auftreten 'Nichtparasitärer Blattflecken' zu verhindern. Opus Top und Amistar zeigten ebenfalls gute Schutzwirkung, die jedoch im Vergleich schwächer war. Als eine Ursache für die Krankheit konnten Photoinhibitions-Effekte infolge von Umweltstreß festgestellt werden, die nahezu vollständig durch Jewel Top unterdrückt wurden.
14. Im Feldversuch konnte ein direkter Einfluß der Fungizide Epoxiconazol, BAS 490 (Kresoxim-methyl), Jewel und Amistar auf die Ethylenbiosynthese belegt werden. Dabei trat ein Phasenmuster auf. Bis vier Tage nach Applikation reduzierten die strobilurinhaltigen Fungizide BAS 490, Jewel und Amistar die Ethylenbiosynthese bis zu 40%, verglichen mit der befallsfreien Kontrolle. Opus (Epoxiconazol) reduzierte den Ethylenbildung um ca. 25% gegenüber der Kontrolle. Die Wirkung hielt bis zu zwei Tage nach der Behandlung an. Alle getesteten Fungizide, ausgenommen BAS 490, hatten fünf Tage nach Behandlung eine Ethylen-provozierende Wirkung, verglichen zu der Kontrolle. Es folgte eine nachhaltig Dämpfung der Ethylenbiosynthese bis 38 Tage nach Behandlung. Jewel hatte hier die deutlichste Wirkung.
15. Ein bisher neuer Aspekt konnte durch Fungizid-Timingversuche gefunden werden. Unabhängig vom Einsatzzeitpunkt von Jewel und Amistar auf eine Spritzfolge von Sportak Delta zur Gesunderhaltung der Pflanzen während der Vegetationsperiode, wurde eine senkende Wirkung auf die Ethylenbiosynthese in der Phase der Kornfüllung nachgewiesen. Frühe Applikationen waren vergleichbar wirksam auf diesen Parameter wie späte Applikationen und unterschieden sich nur unwesentlich von Dreimalbehandlungen der reinen Präparate (Jewel bzw. Amistar). Sie waren zudem signifikant niedriger als der Gesundstandard (3x Sportak Delta). Diese vom Behandlungszeitpunkt unabhängige Wirkung von Jewel und Amistar auf die Ethylenbiosynthese wird hier als memory-Effekt bezeichnet. Die pflanzenphysiologischen Ursachen, die dem memory-Effekt zugrunde liegen, sind vom Behandlungszeitpunkt abhängig unterschiedlich, werden aber letztendlich auf jene zurückgeführt, die auch Ursache des 'Grün-Effekts' sind.
16. Die DNase-Messung der Fahnenblätter der Behandlungsvarianten im Timingversuch, die als Indikatoren für den Seneszenzgrad herangezogen wurden, zeigten Übereinstimmung mit den Ethylenbiosynthese-Ergebnisse. Die DNase-Aktivität war unabhängig vom Behandlungszeitpunkt von Jewel und Amistar signifikant niedriger, als die der Gesundvarianten. Es wird postuliert, daß es sich bei den Ethylen- und den DNase-

Ergebnissen der frühen Applikationen um Folgeerscheinungen genereller Förderungen der Pflanzenvitalität handelt. Für die späten Behandlungen wird eine direkte Einflußnahme auf die Seneszenzphysiologie gefolgert.

17. Unterschiede bei der Blattflächenvitalität von Strobilurin-behandelten- gegenüber Azol-behandelten Pflanzen traten in der Regel gegen Ende der Blüte auf, und differenzierten sich bis zum Ende der Kornfüllung weiter aus. Der durch Strobilurine ausgelöste 'Grün-Effekt' wird durch die längere Blattflächenvitalität der Blattetagen F-2 und F-3 charakterisiert. Die enge positive Beziehung des Integrals unter der grünen Blattfläche mit dem Kornertrag weist bei dem vorliegenden Gesundvariantenkonzept den Blattetagen F-2 und F-3 eine wesentliche Bedeutung für die gemessenen Ertragsabstufungen zu und ist ein Beleg für die ertragsphysiologische Relevanz des 'Grün-Effektes'. Die engsten linearen Korrelationen zwischen der grünen Blattfläche und dem Ertrag wurde zu EC 75 ($R = -0,89$), und EC 79 ($R = -0,91$), dem Ende der Kornfüllung, gefunden. Eine schlagartige Abreife der obersten Blattetagen bei Strobilurin-Varianten trat in der Regel in der Phase der Kornreife auf. Ernteerschwerisse wurden nicht beobachtet.
18. In einer die gesamte Kornfüllungsphase integrierenden Betrachtung der Beziehung zwischen assimilierender Blattfläche und Kornertragsniveau, wird eine enge, lineare Beziehung zwischen Kornertrag (dt/ha) und 'durchschnittlicher Nekroseprogression (%) pro Tag' in der Entwicklungsphase der Kornfüllung gefunden. Bei der Sorte 'Astron' lag der Schwellenwert bei durchschnittlich 1% Verlust grüner Blattfläche (Blattetagen F bis F-3) pro Tag in der Phase der Kornfüllung, wenn ca. 100 dt/ha Ertragsziel zugrundegelegt werden.
19. Mit der Eosinfärbemethode konnte die physiologische Reife 1998 als gerichtet sequentieller Vorgang verfolgt werden. Die Juwel-Variante translozierte den Farbstoff Eosin länger in die oberen Spindelstufen, verglichen zu den Gesundvarianten Opus und Amistar. Alle Behandlungsvarianten erreichten aber nahezu zeitgleich EC 89 (Eosinreife). Die Bestimmung des Integrals unter der Kurve der relativen Einlagerungsdistanz (RED) der Behandlungs-Varianten ergab sich mit $R^2 = 0,96$ ein hohes Bestimmtheitsmaß zwischen der RED und dem Tausendkorngewicht.

Insgesamt konnte durch die Feldexperimente gezeigt werden, daß strobilurin-haltige Fungizide physiologische Abläufe der Ertragsbildung beeinflussen. Der über die fungizide Leistung hinausgehende Ertragszuwachs beruht nach den vorliegenden Erkenntnissen auf dem komplexen Wechselspiel sich gegenseitig beeinflussender Faktoren. Eine unmittelbare Zuordnung von Ursache und Wirkung ist schwierig. In der Summe ihrer Einflüsse auf die Pflanze, fördern Juwel und Amistar, verglichen zu den Azol-Standardfungiziden, die Vitalität des vegetativen Systems und steigern die Widerstandskraft der Pflanzen gegen abiotische Schadfaktoren. Sichtbar wird dies in dem Phänomen des 'Grün-Effektes'. In Jahren mit guten Wachstumsbedingungen bietet er die ertragsphysiologischen Voraussetzungen für die Optimierung des standortspezifischen Ertragspotentials durch eine Optimierung der Kornfüllungsprozesse.

8 Literaturverzeichnis

Abdel-Kader, D.; 1996: Ermittlung der Bestandesrespiration und –assimilation auf der Basis von Einzelblattgaswechsellmessungen für die Modellierung des Wasser- und Kohlenstoffhaushalts landwirtschaftlicher Kulturen. Diss. Technische Universität München/Weihenstephan, FAM-Bericht 12, Shaker Verlag.

Abeles, F.B., Morgan, P.W., Saltveit, M.E. (Eds.); 1992: Ethylene in Plant Biology, Academic Press., San Diego.

Ahlrichs, J.S., Bauer, M.E.; 1983: Relation of agronomic and multispectral reflectance characteristics of spring wheat canopies. Agron. J., 75: 987-993.

Akers, A., Köhle, H., Gold, R.E.; 1990: Uptake transport and mode of action of BAS 480 F a new triazole fungicide. Crop Protection Conference – Pests and Diseases, Brighton: 837-845.

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.

Ammermann, E., Löcher, F., Lorenz, G.; 1990: BAS 480 F – A new broad spectrum fungicide. Crop Protection Conference – Pests and Diseases, Brighton: 407-414.

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.

Araus, J.L., Labrana, X.; 1991: Leaf photosynthesis and chloroplast senescence patterns in wheat flag leaves during grain filling. Photosynthetica 25 (1): 3-37.

Araus, J.L.; 1996: Integrative physiological criteria associated with yield potential. In: M.P. Reynolds, S. Rajaram, A. McNab (Eds.): Increasing yield potential in wheat: breaking the barriers, Mexico: CIMMYT: 150-160.

Ashley, M.D., Rea, J.; 1975: Seasonal vegetation differences from ERST imagery. Photogrammetric Engineering and Rem. Sens., 41: 713-719.

Austin, R.B., Edrich, J.A., Ford, M.A., Blackwell, R.D.; 1977: The fate of the dry matter, carbohydrates and ¹⁴C lost from leaves and stems of wheat during grain fill. Ann. Bot. (London), 41: 1309-1321.

Austin, R.B., Morgan, C.L., Ford, M.A., Bhagwat, S.G.; 1982: Flag leaf photosynthesis of *Triticum aestivum* and related diploid and tetraploid species. Ann Bot, 49: 177-189.

Baeumer, K.; 1992: Allgemeiner Pflanzenbau. 3. Aufl. Ulmer, Stuttgart.

Bajji, M., Lutts, S., Kinet, J.M.; 2000: Physiological changes after exposure to and recovery from polyethylene glycol-induced water deficit in roots and leaves of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars differing in drought resistance. J. Plant Physiol., 157: 100-108.

Barker, D.H., Adams III, W.W.; 1997: The xanthophyll cycle and energy dissipation in differently oriented faces of the cactus *Opuntia macrorhiza*. Oecologia, 109: 353-361.

Bartlett, D.W.; 1997: Azoxystrobin: Uptake and systemicity and their fungicidal consequences in wheat. Proceedings, Cinqueieme Conf. Internationale sur les Maladies des Plantes, Tours, 3-5 Decembre 1997.

- Basiouny, F.M., Basiouny K., Maloney, M.; 1994:** Influence of water stress on abscisic acid and ethylene production in tomato under different PAR levels. *J. Hort. Sci.* 69: 535-541.
- Bayles, R.; 1999:** The interaction of strobilurin fungicides with cereal. *Plant Varieties and Seeds*, 12 (2): 129-140.
- Baysdorfer, C., Bassham, J.A.; 1985:** Photosynthate supply and utilisation in alfalfa. A developmental shift from a source to a sink limitation of photosynthesis. *Plant Physiol.*, 77: 313-317.
- Beautement, K., Clough, J.M., Frains, P.J.de, Godfrey, C.R.A.; 1991:** Fungicidal β -methoxyacrylates: From natural products to novel synthetic agricultural fungicides. – *Pestic. Sci*, 31: 499-519.
- Beltrano, J., Bartoli, C., Montaldi, E.R., Carbone, A.; 1997:** Emission of water stress ethylene in wheat (*Triticum aestivum* L.) ears: Effects of rewatering. *J. Plant Growth Regul.*, 21: 121-126.
- Beltrano, J., Carbone, A., Montaldi, E.R., Guiamet, J.J.; 1994:** Ethylene as promotor of wheat grain maturation and ear senescence. *J. Plant Growth Regul.*, 15: 107-112.
- Beltrano, J., Ronco, M.G., Montaldi, E.R.; 1999:** Drought stress syndrome in wheat is provoked by ethylene evolution imbalance and reversed by rewatering, aminoethoxyvinylglycine, or sodium benzoat. *J. Plant Growth Regul.*, 18: 59-64.
- Bergmann, H., Lippmann, B., Leinhos, V., Tiroke, S., Machelett, B.; 1999:** Activation of stress resistance in plants and consequences for product quality. *Journal of Applied Botany*, 73: 153-161.
- Berry, J., Björkman, O.; 1980:** Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 31: 491-543.
- Bertelsen, J.R.; 1999:** Effect of Azoxystrobin on filamentous fungal leaf saprophytes, senescence and yield of winter wheat. Copenhagen, Denmark: Royal Veterinary & Agricultural University, Diss.
- Bilger, W., Schreiber, U., Bock, M.; 1995:** Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*, 102: 425-432.
- Binding, F., Musgrave, R.B., Fischer, R.A.; 1977:** Contribution of stored pre-anthesis assimilate to grain yield in wheat and barley. *Nature (London)*, 270: 431-433.
- Björkman, O., Demming, B.; 1987:** Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence at 77K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170: 489-504.
- Blackmer, T.M., Schepers, J., Varvel, G.E.; 1994:** Light reflectance compared with nitrogen stress measurements in corn leaves. *Agron. J.*, 86: 934-938.
- Bleeker, A.B.; 1998:** The evolutionary basis of leaf senescence: Method to the madness? *Curr. Opin. Plant Biol.*, 1: 73-78.
- Blum, A.; 1997:** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. In: I. Belhassen (Ed.), *Drought Tolerance in higher plants: genetical, physiological and molecular biological analysis*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, pp: 57-70.
- Bollmark, M., Eliasson, L.; 1990:** Ethylene accelerates the breakdown of cytokinins and thereby stimulates rooting in Norway spruce hypocotyl cuttings. *Physiol. Plant.*, 80: 534-540.
- Brooks, A., Farquhar, G.D.; 1985:** Effect of temperature on the CO₂/O₂ specificity of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and the rate of respiration in light. *Planta* 165: 397-406.
- Brooks, A., Jenner, C.F., Aspinell, D.; 1982:** Effects of water deficit on endosperm starch granules and on grain physiology of wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*, 9: 423-436.
- Buchanan-Wollaston, V.; 1997:** The molecular biology of leaf senescence. *J. Exp. Biol.*, 307: 181-199.

Buchenauer, H., Kutzner, B., Koths, T.; 1984: Wirkung verschiedener Triazol-Fungizide auf das Wachstum von Getreidekeimlingen und Tomatenpflanzen sowie auf die Gibberellin-gehalte und den Lipidstoffwechsel von Gerstenkeimlingen. Z. f. Pfl. Krankh. Pfl. Schutz, 91: 506-524.

Buchenauer, H., Röhner, E.; 1981: Effect of triadimefon and triadimenol on growth of various plant species as well as on GA-content and sterol metabolism in shoots of barley seedlings. Pestic. Biochem. Physiol. 15: 58-70.

Buchenauer, H.; 1995: DMI-fungicides – side effects on the plant and problems of resistance. In: Modern Selective Fungicides, H. Lyr (Ed.): 259-279.

Büker, C.; 1992: Fernerkundung von Winterweizen, Zustandsbeschreibung und Ertrags-schätzung durch bodennahe Messungen. Diss. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.

Bunce, J.A.; 1988: Nonstomatal inhibition of photosynthesis by water stress. Reduction in photosynthesis at high transpiration rate without stomatal closure in field grown tomato. Photosynth Res, 18: 357-362.

Bundessortenamt; 1998: Beschreibende Sortenliste. Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte. Landbuch – Verlag.

Caemmerer von, S., Farquhar, G.C.; 1981: Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and gas exchange of leaves, Planta, (153): 397-406.

Calderini, D.F., Abeledo, L.G., Savin, R., Slafer, G.A. ; 1999b: Final grain weight in wheat as affected by short periods of high temperature during pre- and post-anthesis under field conditions. Aust. J. Plant Physiol., 26, 453-458.

Calderini, D.F., Reynolds, M.P., Slafer, G.A.; 1999a: Genetic gains in wheat yield and main physiological changes associated with them during the 20th century. In: E.H. Satorre, G.A. Slafer (eds.). Wheat: ecology and physiology of yield determination. New York: Food Products Press.: pp. 351-377.

Camp, P.J., Huber, S.C., Burke, J.J., Moreland, D.E.; 1982: Biochemical changes that occur during senescence of wheat leaves. Physiol. Plant. 42: 369-374.

Chang, D.Y., Mischke, J.P., Dhillon, S.S.; 1985: DNA changes involving repeated sequences in senescing soybean (*Glycine max*) cotyledon nuclei. Physiol. Plantarum, 64: 409-417.

Chapin, F.S., Bloom, A.J., Field, C.B., Waring, R.H.; 1987: Plant responses to multiple environmental factors. BioScience, 37: 49-57.

Clevers, J.G.P.W.; 1986: Applivation of remote sensing to agricultural field trials. Proefschrift Landbouwwuniversiteit te Wageningen. Niederlande: 277 S.

Clough, J.M., Anthony, V.M., de Fraine, P.J., Fraser, T.E.M., Godfrey, C.R.A., Godwin, J.R., Youle, D.; 1995: The synthesis of fungicidal β -methoxyacrylates. ACS Conference Proceedings series: Eight International Congress of Pesticide Chemistry, Options 2000, Ragsdale N.N., Kearney, P.C. & Plimmer, J.R., Eds., Washington DC, USA: 59-73.

Clough, J.M.; 1993: The strobilurins, oudemansins and myxothiazols, fungizidal derivatives of β -methoxyacrylic acid. – Nat. Prod. Reports, 10: 565-574.

Cochrane, M.P.; 1996: Effects of foliar applications of fungicides during plant growth on grain development and grain germinability in spring barley. Ann. Appl. Biol., 128: 21-35.

Cook, R.J.; 1981: Unexpected effects of fungicides on cereal yields. EPPO Bulletin, 11: 277-285.

Cornic, G., Briantais, J.-M. ; 1991: Partitioning of photosynthetic electron flow between CO₂ and O₂ reduction in a C₃ leaf (*Phaseolus vulgaris* L.) at different CO₂ concentrations and during drought stress. Planta, 183: 178-184.

- Cutforth, H.W., Campbell, C.A., Jame, Y.W., Clarke, J.M., De Pauw, R.M.; 1988:** Growth characteristics, yield components and rate of grain development of two high-yielding wheats, HY320 and DT367, compared to two standard cultivars, Neepawa and Wakooma. *Canadian Journal of Plant Science*, 68: 915-928.
- D'Ambrosio, N., Szabo, K., Lichtenthaler, H.K.; 1992:** Increase of the chlorophyll fluorescence ratio F690/F735 during the autumnal chlorophyll breakdown. *Rad. Environ. Biophys.* 31: 51-62.
- Darby, R.J., Widdowson, F.V., Hewitt, M.V.; 1984:** Comparisons between the establishment, growth and yield of winter wheat on three clay soils, in experiments testing nitrogen fertiliser in combination with aphicide and fungicides, from 1980 to 1982. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 102: 595-611.
- Dickinson, C.H., Wallace, B.; 1976:** Effects of late applications of foliar fungicides on activity of micro-organisms on winter wheat flag leaves. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 76 (1): 103-112.
- Dickinson, C.H., Walpole, P.R.; 1975:** The effect of late applications of fungicides on the yield of winter wheat. *Expl. Husb.* 29: 23-28.
- Dickinson, C.H.; 1981:** Interactions of fungicides with minor pathogens on cereals. *EPPO Bull.*, 11 (3): 311-316.
- Dockter, K., Kühbauch, W., Boochs, F., von Rüsten, C., Tempelmann, U., Kupfer, G.; 1988:** Die spektrale Reflexion von Zuckerrübenbeständen im sichtbaren und infraroten Wellenlängenbereich während des Wachstums. *Mitteilungen d. Gesellschaft f. Pflanzenbau- wissenschaften*, 1: 55-57.
- Downs, C.A., Heckathorn, S.A.; 1998:** The methionine-rich low-molecular weight chloroplast heat-shock protein: evolutionary conservation and accumulation in relation to thermotolerance. *Amer. J. Bot.*, 85: 175-183.
- Downs, C.A., Samantha, L.R., Ryan, L., Heckathorn, S.A.; 1999:** The chloroplast small heat-shock protein: evidence for a general role in protecting photosystem II against oxidative stress and photoinhibition. *J. Plant Physiol.*, Vol. 155: 488-496.
- Dusek, D.A., Jackson, R.D., Musick, J.T.; 1985:** Winter wheat vegetation indices calculated from combinations of seven spectral bands. *Rem. Sens. Envir.*, 18: 255-267.
- Dyer, T.A., Osborne, D.J.; 1971:** Leaf nucleic acids. II. Metabolism during senescence and the effect of kinetin. *J. Exp. Bot.*, 22: 552-560.
- Edwards, G.E., Baker, N.R.; 1993:** Can CO₂ assimilation in maize leaves be predicted accurately from chlorophyll fluorescence analysis? *Photosynthesis Research*, 37: 89-102.
- Enemy, I., Kitamura, M., Tato, T., Isokowa, Y., Ohta, H., Katon, S.; 1994:** Is the primary cause of thermal inactivation of oxygen evolution in spinach PSII membranes release of the 33kDa protein or of Mn? *Biochim. Biophys. Acta*, 186: 52-58.
- 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.
- Epron, D., Dreyer, E., Breda, N.; 1992:** Photosynthesis of oak trees (*Quercus petraea* (Matt)Liebl.) during drought stress under field conditions: diurnal course of net CO₂ assimilation and photochemical efficiency of photosystem II. *Plant, Cell and Environment*, 15: 809-820.
- Epron, D., Godard, D., Cornic, G., Genty, B.; 1995:** Limitation of net CO₂ assimilation rate by internal resistance to CO₂ transfer in the leaves of two tree species (*Fagus sylvatica* L. and *Castanea sativa* Mill.). *Plant, Cell and Environment*, 18: 43-51.
- Epron, D.; 1997:** Effects of drought on photosynthesis and on the thermotolerance of photo-system II in seedlings of cedar (*Cedrus atlantica* and *C. libania*). *J. Exp. Bot.*, 48: 1835-1841.
- Evans, L.T.; 1993:** *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge, UK, Univ. Press: pp. 500.

- Evans, L.T., Wardlaw, I.F., Fisher, R.A.; 1975:** Wheat. In L.T. Evans (ed.). Crop physiology: Some case histories. Cambridge Univ. Press, Cambridge: pp. 101-149.
- Farquhar, G.D., Sharkey, T.D.; 1982:** Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 33: 317-345.
- Fehrman, H., Reinecke, P., Weilhofen, U.; 1978:** Yield increases in winter wheat by unknown effects of MBC-fungicides and captafol. *Phytopath. Z.*, 93: 359-362.
- Fletcher, R.A., Arnold, V.; 1986:** Stimulation of cytokinins and chlorophyll synthesis in cucumber cotyledons by triadimefon. *Physiol. Plant.*, 66: 197-201.
- Fletcher, R.A.; 1985:** Plant growth regulating properties of sterol-inhibiting fungicides. In: Hormonal regulation of plant growth and development, Vol. 2, S.S. Purohit (Ed.), *Agro. Bot. Publ. India*: 103-113.
- Forrer, H.R., Zadocks, J.C.; 1983:** Yield reduction in wheat in relation to leaf necrosis caused by *Septoria tritici*. *Neth. J. Path.*, 89: 87-98.
- Förster, H., Buchenauer, H., Grossmann, K.; 1980:** Nebenwirkungen der systemischen Fungizide Triadimefon und Triadimenol auf Gerstenpflanzen. II. Cytokinin-artige Effekte. *Z. f. Pfl. Krankh. Pfl. Schutz*, 87, 10/11: 640-653.
- Frederick, J.R., Bauer, P.J., Entz, M.H., Van den Berg, C.G.J., Lafond, G.P., Stobbe, E.H., Rossnagel, B.G., Austenson, H.M.; 1990:** Effect of late-season fungicide application on grain yield and seed size distribution in wheat and barley. *Canadian Journal of Plant Science*, 70: 699-706.
- 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.
- Fryer, M.J., Andrews, J.R., Oxborough, K., Blowers, D.A., Baker, N.R.; 1998:** Relationship between CO₂ assimilation, photosynthetic electron transport and active O₂ metabolism in leaves of maize in the field during periods of low temperature. *Plant Physiology*, 116: 571-580.
- Gamon, J.A., Percy, R.W.; 1989:** Leaf movement, stress avoidance and photosynthesis in *Vitis californica*. *Oecologia*, 79: 475-481.
- Gan, S. Amasino, R.M. ; 1995:** Inhibition of leaf senescence by autoregulated production of cytokinin. *Science*, 270: 1966-1967.
- Gan, S. Amasino, R.M.; 1997:** Making sense of senescence. *Plant Physiol.*, 113: 313-319.
- Gan, S., Amasino, R.M.; 1996:** Cytokinins in plant senescence: from spray and pray to clone and play. *BioEssays* 18: 557-565.
- Gates, D.M., Keegan, J., Schleter, J.C., Weidner, V.R.; 1965:** Spectral properties of plants. *App. Opt.*, Vol. 4: 11-20
- Gaunt, R.E., Bryson, R.J.; 1995:** Plant and crop yield potential and response to disease, In: *Aspects of Applied Biology, Physiological responses of plants to pathogens*, ED.: D.R. Walters, J.D. Scholes, R.J. Bryson, N.D. Paul, N. McRoberts, 42: pp. 1-7.
- Gaunt, R.E., Wright, A.C.; 1992:** Disease:yield relationships in barley II. Contribution of stored stem reserves to grain filling. *Plant Pathology*, 41: 688-701.
- Gaunt, R.E.; 1981:** Disease tolerance – an indicator of thresholds. *Phytopathology*, 71: 915-916.
- Gaunt, R.E.; 1995:** The relationship between plant disease severity and yield. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 33: 119-144.
- Gausman, H.W.; 1974:** Leaf reflectance of near-infrared. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 40: 183-191.

- Geisler, G.; 1983:** Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 205 pp..
- Gelang, J., Pleijel, H., Sild, E., Danielsson, H., Younis, S., Sellden, G; 2000:** Rate and duration of grain filling in relation to flag leaf senescence and grain yield in spring wheat (*Triticum aestivum*) exposed to different concentrations of ozone. *Physiologia Plantarum*, 110: 366-375.
- Genty, B., Briantais, J.-M., Baker, N.R.; 1989:** The relationship between quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta*, 990: 87-92.
- Georgieva, K., Tsonev, T., Velikova, V., Yordanov, I.; 2000:** Photosynthetic activity during high temperature treatment of pea plants. *J. Plant Physiol.*, 157: 169-176.
- Gerhard, M., Habermeyer, J., Zinkernagel, V.; 1998:** The impact of strobilurins on plant vitality on winter wheat under field conditions. In: *Modern Fungicides and Antifungal Compounds II*, H. Lyr, P.E. Russell, H.-W. Dehne, H.D. Sisler (Eds.), Intercept Andover: 197-208.
- Gerhard, M., Habermeyer, J.; 1998:** Der Greening-Effekt, *Getreidemagazin*, 4 Jg. (2): 86-90.
- 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:** ICIA5504: A novel, broad-spectrum systemic β -methoxyacrylate fungicide. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference 1992*, 1: 435-442.
- Godwin, J.R., Bartlett, D.W., Heaney, S.P.; 1999:** Azoxystrobin: Implications of biochemical mode of action. Pharmacokinetics and resistance management for spray programmes against septoria diseases of wheat. In: J.A. Lucas, P. Bowyer & H.M. Anderson (eds.) *Septoria on cereals: A Study of Pathosystems* Wallingford, UK, CABI Publ., CAB Int.: 299-315.
- Godwin, J.R., Young, J.E., Hart, C.A.; 1994:** ICIA5504: Effects on development of cereal pathogens. - *Proceedings, Brighton Crop Protection Conference 1994*: 259-264.
- Gold, R.E., Ammermann, E., Köhle, H., Leinhos, G.M.E., Lorenz, G., Speakman, J.B., Stark-Urnau, M., Sauter, H.; 1996:** The synthetic strobilurin BAS 490 F: Profile of modern fungicide. In: *Modern Fungicides and antifungal compounds*, Lyr, H., Russell, P.E. & Sisler, H.D. (Eds.), Intercept, Andover, UK: 79-92.
- Gold, R.E., Köhle, H., Akers, A., Sauter, H.; 1994:** Factors involved in apparent discrepancies of fungicide performance. *BCPC Monograph No. 59: Comparing Glasshouse & Field Pesticide performance II*: 47-56.
- Gold, R.E., Köhle, H., Gall, A., Steiniger, M., Wiede, K., Leinhos, G., Schelberger, K.; 1995:** Kresoxim-methyl. Der neue Wirkstoff nach dem Vorbild der Natur. BASF AG, Limburgerhof.
- Gold, R.E., Köhle, H., Siefert, F., Gossmann, K.; 1992:** Aufnahme, Transport und Wirkmechanismus von Opus – einem neuen Getreidefungizid. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem*, Heft 283.
- 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. *Ann. Appl. Biol.* 136 (1): 77-84.
- Govindjee. H.; 1995:** Sixty three years since Kautsky: chlorophyll a fluorescence. *Austr. J. Olant Physiol.*, 22: 131-169.
- Grbic, V., Bleeker, A.B.; 1995:** Ethylene regulates the timing of leaf senescence in *Arabidopsis*. *The Plant Journal*, 8 (4): 595-602.
- Greenberg, J.T., Guo, A., Klessig, D.F., Ausubel, F.M.; 1994:** Programmed cell death in plants: a pathogen-triggered response activated coordinately with multiple defense functions. *Cell* 77: 551-563.

- Greer, D.H.; 1983:** Temperature regulation of the development of frost hardiness in *Pinus radiata*. D. Don. Aust. J. Plant Physiol., 10: 539-547.
- Groom, Q.J., Baker, N.R.; 1992:** Analysis of light-induced depression of photosynthesis in leaves of wheat crop during the winter. Plant Physiology, 100: 1217-1223.
- Grossmann, K., Jung, J.; 1982:** Zur methodischen Erfassung pflanzlicher Seneszenz-vorgänge. Z. Acker- und Pflanzenbau, 151: 149-165.
- Grossmann, K., Kwiatkowski, J., Caspar, G.; 1999:** Regulation of phytohormon level, leaf senescence and transpiration by the strobilurine kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). J. Plant Physiology 154: 805-808.
- Grossmann, K., Retzlaff, G.; 1997:** Bioregulatory effects of the fungicidal strobilurin kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). Pestic. Sci. 50: 11-20.
- Grover, A., Sabat, S.C., Mohanty, P.; 1986 a:** Effect of temperature and photosynthetic activities of senescing detached wheat (*Triticum aestivum*) leaves. Planta. Cell Physiology, 27, (1): 117-126.
- Grover, A., Sabat, S.C., Mohanty, P.; 1986 b:** Relative sensitivity of various spectral forms of photosynthetic pigments to leaf senescence in wheat (*Triticum aestivum*). Photosynthesis Research, 10, (3): 223-232.
- Guyot, G., Baret, F.; 1991:** Potentials and limits of vegetation indices. Rem. Sens. Envir., 35: 161-173.
- Guyot, G.; 1980:** Analysis of factors acting on the variability of spectral signatures of natural surfaces. Int. Arch. Photogram. Remote Sensing, 16 (7), Hamburg (VII): 382-393.
- Hanhart, H., Frahm, J.; 1996:** Strobilurine - eine neue Fungizidgeneration, Getreide Magazin, 2 Jg., (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. 1. Interaction with senescence processes. Plant Physiology, 92: 648-653.
- Havaux, M., Greppin, H., Strasser, R. ; 1991:** Functioning of photosystem I and II in pea leaves exposed to heat stress in the presence or absence of light. Analysis using in vivo fluorescence absorbance, oxygen and photoacoustic measurements. Planta, 186: 88-98.
- Havaux, M.; 1992:** Stress tolerance of photosystem II in vivo antagonistic effects of water, heat and photoinhibition stresses. Plant Physiol., 100: 424-432.
- Havaux, M.; 1993:** Characterisation of thermal damage to the photosynthetic electron transport system in potato leaves. Plant Sci., 94: 19-33.
- Hayati, R., Egli, D.B., Crafts-Brandner, S.J.; 1995:** Carbon and nitrogen supply during seed filling and leaf senescence in soybean. Crop Sci., 35: 1063-1069.
- He, J., Chee, C.W., Goh, C.J. ; 1990:** 'Photoinhibition' of *Heliconia* under natural tropical conditions: the importance of leaf orientation for light interception and leaf temperature. Plant, Cell and Environment, 19: 1238-1248.
- Heaney, S.P., Knight, S.C.; 1994:** ICIA5504: A novel systemic fungicide for use on fruit, nut and horticultural crops. Proceedings of Brighton Crop Protection Conference 1994: 509-516.
- Hecht, K.; 1982:** Einige Gedanken zum Streßbegriff in der Medizin. Umwelt-Streß: Tagungsbericht der III. Arbeitstagung Umweltbiophysik. Templin, März 1981: 1-5.
- Henley, W.J., Levavasseur, G., Franklin, L.A., Osmond, B., Ramus, J.; 1991:** Photoacclimation and photoinhibition in *Ulva rotundata* as influenced by nitrogen availability. Planta, 184: 235-243.

- Hensel, L.L., Grbic, V., Baumgarten, D.A., Bleeker, A.B.; 1993:** Developmental and age-related processes that influence the longevity and senescence of photosynthetic tissues in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 5: 553-564.
- Herzog, H.; 1986:** Source and sink during reproductive period of wheat – Fortschritte im Acker- und Pflanzenbau, Verlag Paul Paray, Berlin, Hamburg.
- Hock, B.; 1995:** Besonderheiten der pflanzlichen Lebensweise – Gefährdung durch Schadstoffe. In: *Schadwirkungen auf Pflanzen: Lehrbuch der Pflanzentoxikologie – 3., überarb. Auflage.*, B. Hock, E. Elstner [Hrsg.]. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, Oxford: pp. 2-53.
- Horton, P., Bowyer, J.R.; 1990:** Chlorophyll fluorescence transients. In: J. Harwood, J.R. Bowyer (Eds.): *Methods in Plant Biochemistry*. London, Academic Press: pp. 259-296.
- Hossain, A.B.S., Sears, R.G., Cox, T.S., Paulsen, G.M.; 1990:** Desiccation tolerance and its relationships to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science*, 30: 622-627.
- Hsiao, T.C.; 1973:** Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 24: 519-570.
- Huete, A.R., Jackson, R.D.; 1988:** Soil and atmosphere influences on the spectra of partial canopies. *Rem. Sens. Environ.*, 25: 89-105.
- Humbeck, K., Quast, S., Krupinska, K.; 1996:** Functional and molecular changes in the photosynthetic apparatus during senescence of flag leaves from field-grown barley plants. *Plant Cell Environ.* 19: 337-344.
- Hunt, E.R., Rock, B.N.; 1989:** Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectance's. *Remote Sens. Environ.*, 30: 43-54.
- Inada, N., Sakai, A., Kuroiwa, H., Kuroiwa, T.; 1998:** Three – dimensional analysis of the senescence program in rice (*Oryza sativa* L.) coleoptiles – Investigations of tissues and cells by fluorescence microscopy. *Planta*, 205, (2): 153-164.
- Jachmann, H.-T., Fehrmann, H.; 1982:** Effects of phyllosphere micro-organisms on the senescence of wheat leaves. *Z. f. Pfl. Krankh. Pfl. Schutz* 96 (2): 124-133.
- 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.
- Jiang, C.Z., Rodermeil, S.R., Shibles, R.M.; 1993:** Photosynthesis, rubisco activity and amount, and their regulation by transcription in senescing soybean leaves. *Plant Physiol.*, 101: 105-112.
- Johnson, G.N., Young, A.J., Scholes, J.D., Horton, P.; 1993:** The dissipation of excess excitation energy in British plant species. *Plant, Cell and Environment*, 16: 673-679.
- Kaiser, W.M., Brendle-Behnisch, E.; 1991:** Rapid modulation of spinach leaf nitrate reductase activity by photosynthesis. *Plant Physiol.*, 96: 363-367.
- Kaiser, W.M., Spill, D., Glaab, J.; 1993:** Rapid modulation of nitrate reductase in leaves and roots: Indirect evidence for the involvement of protein phosphorylation/ dephosphorylation. *Physiologia Plantarum*, 89: 557-562.
- 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. *J. agric. Sci.*, 99: 661-663.
- King, G.A., Davies, K.M., Stewart, R.J., Borst, W.M.; 1995:** Similarities in gene expression during the postharvest-induced senescence of spears and the natural foliar senescence of asparagus. *Plant Physiol.*, 108: 125-128.
- Köhle, H., Gold, R.E., Ammermann, E.; 1993:** Biokinetic properties of BAS 490 F and some related compounds. *Biochemical Society Transaction*, 22: 65.

- Köhle, H., Grossmann, K., Retzlaff, G., Akers, A.; 1997:** Physiologische Einflüsse des neuen Getreidefungizides Jewel auf die Ertragsbildung. *Gesunde Pflanzen*, 49: 267-271.
- Konradt, M., Kappes, E.M., Hiemer, M, Petersen, H.-H.; 1996:** Amistar – ein Strobilurin zur Bekämpfung von Getreidekrankheiten. *Gesunde Pflanzen*, 48: 126-134.
- Krause, G.H., Weis, E.; 1991:** Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 42: 313-349.
- Larcher, W.; 1987:** Stress bei Pflanzen. *Naturwissenschaften*, 74: 158-167.
- Larcher, W.; 1994:** Ökophysiologie der Pflanzen –5., völlig neubearbeitete Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Lawlor, D.W., Boyle, F.A., Kendall, A.C., Keyes, A.J.; 1987:** Nitrate nutrition and temperature effects on wheat: Enzyme composition, nitrate and total amino acid content of leaves. *Journal of Experimental Botany*, 38, (188): 378-392.
- Lawlor, D.W.; 1990:** Photosynthese. Thieme Verlag, Stuttgart.
- Leshem, Y., Grossmann, S., Frimer, A., Ziv, J.; 1979:** Endogenous lipoxygenase control and lipid associated free radical scavenging as a model of cytokinin action in plant senescence retardation. In: *Advances in Biochemistry and Physiology of Plant Lipids*. Vol. 3, L. Apelquist and C.L. Liljenberg (Eds), Amsterdam: Elsevier: pp. 193-198.
- Levine, A., Pennell, R.I., Alvarez, M.E., Palmer, R., Lamb, C.; 1996:** Calcium-mediated apoptosis in a plant hypersensitive disease resistance response. *Curr. Biol.*, 6: 427-437.
- Lichtenthaler, H.K., Babani, F.; 2000:** Detection of photosynthetic activity and water stress by imaging the red chlorophyll fluorescence. *Plant Physiol. Biochem.*, 38: 889-895.
- Lichtenthaler, H.K., Meier, D., Retzlaff, D., Hamm, R.; 1982:** Distribution and effects of bentazon in crop plants and weeds. *Z. Naturforsch.*, 37c: 889.
- Lichtenthaler, H.K., Miehe, J.A.; 1997:** Fluorescence imaging as a diagnostic tool for plant stress. *Trends Plant Sci*, 2: 316-320.
- Lichtenthaler, H.K., Rinderle, U.; 1988:** The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, Vol. 19: 29-85.
- Lichtenthaler, H.K.; 1996:** Vegetation stress: An introduction to the stress concept in plants. *J Plant Physiol*, 148: 4-14.
- Lord, D., Desjardins, R.L., Dube, P.A., Brach, E.J.; 1985:** Variations of crop canopy spectral reflectance measurements under changing sky conditions. *Photogram. Eng. Remote Sensing*, 51 (6): 689-695.
- Lu, C.-M., Zhang, J.H.; 1999:** Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. *J. Exp. Bot.*, 50: 1199-1206.
- Lu, C.-M., Zhang, J.H.; 2000a:** Photosystem II photochemistry and its sensitivity to heat stress in maize plants as affected by nitrogen deficiency. *J. Plant Physiol.*, 157: 124-130.
- Lu, C.-M., Zhang, J.H.; 2000b:** Photosynthetic CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants. *Plant Science*, 151: 135-143.
- MacKeon, T.A., Fernandez-Maculet, J.C., Yang, S.-F.; 1995:** B 4. Biosynthesis and metabolism of ethylene. In: *Plant Hormones, Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*, Ed.: P.J. Davis. Kluwer Academic Publ., Netherlands: pp. 118-139.
- 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, Asso. O. App. Biologists, UK, 42: pp. 19-31.

- Magnan, N., Lacey, J.; 1985:** The phylloplane microflora of ripening wheat and effect of late fungicide applications. *Ann. Appl. Biol.*, 109: 117-128.
- Manetas, Y., Grammatikopoulos, G., Kyparissis, A.; 1997:** The use of the portable, non-destructive, SPAD-502 (Minolta) chlorophyll meter with leaves of varying trichome density and anthocyanin content. *J. Plant Physiol.*, 153: 513-516.
- Marschner, H.; 1995:** Mineral Nutrition of higher Plants. Academic Press, London: p. 889.
- Matile, P., Winkelbach, F.; 1971:** Function of lysosomes and lysosomal enzymes in senescing corolla of the morning glory (*Ipomea purpurea*). *J. Exp. Bot.*, 22: 759-771.
- Matthews, M.A., Boyer, J.S.; 1989:** Acclimation of photosynthesis to low leaf water potentials. *Plant Physiol*, 74: 161-166.
- McClung, C.R.; 2000:** Circadian rhythms in plants: a millennial view. *Physiologia Plantarum*, 109: 359-371.
- Miceli, F., Crafts-Brandner, S.J., Egli, D.B.; 1995:** Physical restriction of pod growth alters development of soybean plants. *Crop Sci.*, 35: 1080-1085.
- Mohr, H., Schopfer, P.; 1992:** Pflanzenphysiologie, 4te Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York: pp. 597-598.
- Müller, F.; 1984:** Fungizide. In: Pflanzentoxikologie: Der Einfluß von Schadstoffen und Schadwirkungen auf Pflanzen, B. Hock, E.F. Elstner (Eds.), Bibliographisches Institut, Wissenschaftsverlag, Mannheim.
- Müntz, K.; 1984:** Stickstoffmetabolismus der Pflanzen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Nicolas, M.E., Gleadow, R.M., Dalling, M.J.; 1984:** Effect of drought and high temperature on grain growth in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 11: 553-566.
- Niinemets, U., Bilder, W., Kull, O., Tenhunen, J.D.; 1999:** Responses of foliar photosynthetic electron transport, pigment stoichiometry and stomatal conductance to interacting environmental factors in a mixed species canopy. *Tree Physiology*, 19: 839-852.
- Nilsson, H.-E., Johnsson, L.; 1996:** Hand-held radiometry of barley infected by barley stripe disease in a field experiment. *Zeitschrift f. Pflanzenk. U. Pflanzenschutz*, 103 (5): 517-526.
- Nobel, P.S.; 1983:** Biophysical plant physiology and ecology. W.H. Freeman and Company, San Fransisco.
- Nooden, L.D., Leopold, A.C. (Eds.); 1988:** Senescence and aging in plants. Academic Press, San Diego.
- Nooden, L.D., Leopold, A.C.; 1978:** Phytohormones and the endogenous regulation of senescence and abscission. In: Letham, Goodwin & Higgins (eds.). *Phytohormones and related compounds. A comprehensive treatise*. Vol. II, Elsevier/North-Holland Biomed. Press: 329-369.
- Nooden, L.D., Singh, S., Lethan, D.S.; 1990:** Correlation of xylem sap levels with monocarpic senescence in soybean. *Plant Physiol.*, 93: 33-39.
- Nutter, F.W. Jr, Teng, P.S., Royer, M.H.; 1993:** Terms and concepts for yield, crop loss and disease thresholds. *Plant Dis.*, 77: 211-215.
- Obst, A., Baumer, M., Huber, G.; 1995:** Nichtparasitär bedingte Blattverbräunungen bei Gerste – ein Problem mit zunehmender Bedeutung? *Gesunde Pflanzen*, 47, (8): 308-314.
- Obst, A., Baumer, M.; 1998:** Nichtparasitär bedingte Blattverbräunungen an Gerste und anderen Getreidearten. *Getreide Magazin*, 2: 56- 61.
- Obst, A., Huber, G.; 1996:** Flecke geben noch Rätsel auf. *DLG-Mitteilungen*, 3: 58-61.

- Obst, A., Steck, U.; 1996:** Strobilurin-Fungizide gegen Getreideschadpilze. *Getreide Magazin*, 2: 26-28.
- Oerke, E.-C.; 1998:** The importance of disease control in modern plant production. In: *Modern fungicides and Antifungal compounds II*. Eds. H. Lyr, P.E. Russell, H.-W. Dehne and H.D. Sisler. UK Intercept, Andover: pp. 11-17.
- Ögren, E., Sjöström, M.; 1990:** Estimation of the effect of photoinhibition on the carbon gain in leaves of a willow canopy. *Planta*, 181: 560-567.
- Ohtsubo, N., Mitsuhashi, I., Koga, M., Seo, S., Ohashi, Y. ; 1999:** Ethylene promotes the necrotic lesion formation and basic PR gene expression in TMV-infected tobacco. *Plant Cell Physiol.*, 40 (8): 808-817.
- Osborne, D.J., Cheah, K.S.E.; 1982:** Hormones and foliar senescence. *Brit. Plant Growth Regulator Group Monogr.*, 8: 57-83.
- Pellisier, M., Lacasse, N.L., Cole, H.; 1972:** Effectiveness of benzimidazole, benomyl and thiabendazole in reducing ozone injury to pinto beans. *Phytopathology*, 62: 580-582.
- Penuelas, J., Filella, I., Biel, C., Serrano, L., Save, R.; 1993:** The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. *International Journal of Remote Sensing*, 14: 1887-1905.
- Penuelas, J., Gamon, J.A., Fredeen, A.L., Merino, J., Field, C.B.; 1994:** Reflectance Indices associated with physiological changes in Nitrogen- and Water-limited sunflower leaves. *Remote Sens. Environ.*, 48: 135-146.
- Petersen, H.-H., Konradt, M.; 1997:** Amistar - Das Fungizid mit der Innovation in der Getreidepilzbekämpfung. *Getreide Magazin*, 3 Jg. (1): 48-50.
- Pressman, E., Palevitch, D.; 1973:** Cytokinin-like activity of benomyl as a senescence inhibitor in broccoli heads. *Horticultural Science*, 8: 496-497.
- Prew, R.D., Church, B.M., Dewar, A.M., Lacey, J., Magan, N., Penny, A., Plumb, R.T., Thorne, G.N., Todd, A.D., Williams, T.D.; 1985:** Some factors limiting the growth and yield of winter wheat and their variation in two seasons. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 194: 135-162.
- Priestley, R.H.; 1981:** Fungicide treatment increases yield of cereal cultivars by reducing disease and delaying senescence. *EPPO Bull.* 11 (3): 357-363.
- Rahman, M.S., Yoshida, S.; 1985:** Effect of water stress on grain filling in rice. *Soil Science and Plant Nutrition*, 31: 497-511.
- Ramalho, J., Pons, T.L., Groeneveld, H.W., Nunes, M.A.; 1997:** Photosynthetic responses of *Coffea arabica* leaves to a short-term high light exposure in relation to N availability. *Physiol Plant*, 101: 229-239.
- Rawson, H.M., Hindmarsh, J.H., Fischer, R.A., Stockman, Y.M.; 1983:** Changes in leaf photosynthesis with plant ontogeny and relationships with yield per ear in wheat cultivars and 120 progeny. *Aust. J. Plant Physiol.*, 10: 503-514.
- Retzlaff, G.; 1995:** Untersuchungen zur Strobilurinwirkung in Gramineen. *Phytomedizin*, 25: 45.
- Reynolds, M.P., Sayre, K.D., Rajaram, S.; 1999:** Physiological and genetic changes of irrigated wheat in the post-green revolution period and approaches for meeting projected global demand. *Crop Science*, 39: 1611-1621.
- Reynolds, M.P., van Ginkel, M., Ribaut, J.-M.; 2000:** Avenues for genetic modification of radiation use efficiency in wheat. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 51: 459-473.
- Richardson, A.J., Wiegand, C.L.; 1977:** Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogram. Eng. Rem. Sens.*, 43 (12): 1541-1552.

- Richter, G.; 1988:** Stoffwechselfysiologie der Pflanzen – Physiologie und Biochemie des Primär- und Sekundärstoffwechsels. 5. Überarb. u. erw. Auflage, Thieme.
- Ripple, W.J.; 1986:** Spectral reflectance relationships to leaf water stress. Photogramm. Eng. Remote Sens., 52: 1669-1675.
- Römer, W.; 1971:** Untersuchungen über die Auslastung des Photosyntheseapparates bei Gerste (*Hordeum distichon* L.) und Weißem Senf (*Sinapis alba* L.) in Abhängigkeit den Umweltbedingungen. Arch. Bodenfrucht. Pfl. Produk., 15: 415-423.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., Harlan, J.C.; 1974:** Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD: pp. 371.
- Sachs, E.; 1998:** Die Symptome der Netzfleckenkrankheit der Gerste, hervorgerufen durch *Drechslera teres* (Sacc.) Shoem., und deren Verwechslungsmöglichkeiten. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz., 50: 58-63.
- Sander, J.-F.; 1993:** Biochemisch-physiologische Ursachen der durch die Stickstoff-ernährung modifizierten Anfälligkeit des Weizens (*Triticum aestivum* L.) gegenüber dem Echten Mehltau (*Erysiphe graminis* DC f. sp. tritici Marchal). Dissertation, Culliver Verlag, Göttingen.
- Sanderman, H., Langebartels, C., Heller, W.; 1990:** Frühe und 'Memory'-Effekte von Ozon bei Nadelbäumen. Zschr. Für Umweltchem. u. Ökotoxikol., 2: 14-15.
- Satorre, E.H., Slafer, G.A.; 1999:** Wheat: ecology and physiology of yield determination. E.H. Satorre, G.A. Slafer (eds.), New York: Food Products Press.
- Saur, R., Ellenberger, W., Drejza, J.-M.; 1994:** Mehrjährige Versuchsergebnisse mit Opus Top im Getreide. Gesunde Pflanzen 46: 61-66.
- Saur, R., Gold, R.E., Ammermann, E.; 1991:** BAS 480 F, ein neues, breitwirksams Fungizid zur Bekämpfung von Getreidekrankheiten. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniversität Gent 56: 479-489.
- Saur, R., Löcher, F., Schelberger, K.; 1990:** Experiences with BAS 480 F, a new triazole fungicide for the control of cereals diseases in western europe. Crop Protection Conference – Pests and Diseases, Brighton: 831-836.
- Saur, R., Menck, B.-H., Prigge, G.; 1996:** Bekämpfung von Getreidekrankheiten mit dem neuen Fungizid Juwel. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 321: 491.
- Saur, R., Menck, B.-H., Prigge, G.; 1997:** Fungizide und ertragsphysiologische Leistungen des neuen Getreidefungizides Juwel. Ges. Pflanzen, 49, Heft 5: 151-158.
- Sauter, H., Ammermann, E., Benoit, R., Brand, S., Gold, R.E., Grammenos, W., Köhle, H., Lorenz, G., Müller, B., Röhl, F., Schirmer, U., Speakman, J.B., Wenderoth, B. Sauter, H., Ammermann, E., Röhl, F.; 1995:** Strobilurins – from natural products to a new class of fungicides. In: L.G. Copping (ed.) Crop protection agents from nature: Natural products and analogues, Royal Soc. Chem., Cambridge: 50-81.
- Savin, R., Nicolas, M.E.; 1996:** Effects of short periods of drought and high temperature on grain growth and starch accumulation of two malting barley cultivars. Australian Journal of Plant Physiology, 23: 201-210.
- 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.
- Schindler, C., Lichtenthaler, H.K.; 1996:** Photosynthetic CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence and zeaxanthin accumulation in field-grown maple trees in the course of a sunny and cloudy day. J. Plant Physiol., 148: 399-412.

- 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.
- Schönbeck, F.; 1989:** Pflanzengesundheit - eine Herausforderung an den Pflanzenschutz. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 41 (12), 204-207.
- Schreiber, U.; 1997:** Chlorophyllfluoreszenz und photosynthetische Energieumwandlung: Einfache einführende Experimente mit dem Teaching-PAM Chlorophyll Fluorometer. 1. Ausgabe, Heinz Walz GmbH, Effeltrich.
- Schretzenmayer, M.; 1966:** Wasserhaushaltsuntersuchungen mit der Schardakov-Methode. Naturwiss., 53: 160-161.
- Schruft, G.; 1971:** Untersuchungen über einen möglichen cytokininartigen Effekt systemischer Fungizide auf Benzimidazol-Basis. Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten u. Pflanzenschutz, 78: 280-285.
- Selye, H.; 1953:** Einführung in die Lehre vom Adaptionssyndrom. Georg Thieme, Stuttgart.
- Serrano, L., Filella, I., Penuelas, J.; 2000:** Remote Sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. Crop Sci., 40: 723-731.
- Shangguan, Z., Shao, M., Dyckmans, J.; 1999:** Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. J. Plant Physiol., Vol. 156: 46-51.
- Shangguan, Z.; 1997:** Regulation of nitrogen nutrition on photosynthetic characteristics of winter wheat in dryland. Plant Nutrition and Fertilizer Sci., 3: 105-110
- Sharkey, T.D.; 1988:** Estimating the rate of photorespiration in leaves. Physiol. Plantarum, 74: 145-152.
- Siefert, F., Grossmann, K.; 1996:** Nichtfungizide Nebenwirkungen von Triazol-Verbindungen am konkreten Beispiel des Triazolfungizides Epoxiconazol. Gesunde Pflanzen, 48. Jahrg., Heft 6: 224-231.
- Simmons, S.R.; 1987:** Growth, development, and physiology. In: E.G. Heyne (ed.), Wheat and Wheat Improvement. Agron. Series No. 13, Second Edition, American Society of Agronomy, Madison, WI: pp. 77-113.
- Simpson, G.M.; 1968:** Association between grain yield per plant and photosynthetic area above the flag-leaf node in wheat. Can.J.Plant Sci., 48: 253-260.
- Sinclair, T.R., Tanner, C.B., Bennett, J.M.; 1984:** Water-use efficiency in crop production. BioScience, 34: 36-40.
- Skidmore, A.M., Dickinson, C.H.; 1973:** Effect of phylloplane fungi on the senescence of exised barley leaves. Trans. Br. Mycol. Soc. 60 (1): 107-116.
- Slafer, G.A., Satorre, E.H., Andrade, F.H.; 1993:** Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In: G.A. Slafer (ed.), Genetic Improvement of Field Crops. Marcel Dekker, Inc. New Yoirk: pp. 1-68.
- Smart, C.M.; 1994:** Gene expression during leaf senescence. New Phytol., 126: 419-488.
- Stadnik, M.J., Buchenauer, H.; 1999:** Histological and physiological changes in wheat plants by Benzothiadiazol-derivative. Modern Fungicides and antifungal compounds II, Intercept Ltd, PO Box 716, Andover, Hamshire, UK: pp. 357-365.

- Staskawicz, B., Kaur-Sawhney, R., Slaybaugh, R., Adams, W., Galston, A.W.; 1978:** The cytokinin-like action of methyl-2-benzimidazolecarbamate on oat leaves and protoplasts. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 8: 106-110.
- Stone, P.J., Nicolas, M.E.; 1994:** Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21: 887-900.
- Taylor, G.S., Rich, S.; 1974:** Ozone injury to tobacco in the field influenced by soil treatments with benomyl and carbendazim. *Phytopathology*, 64: 814-817.
- Tesche, M.; 1989:** Umweltstreß. In: *Die Fichte*, Bd. II/2, H. Schmidt-Vogt (Hrsg.), Paul Parey, Hamburg, Berlin: pp. 346-384.
- Tesche, M.; 1990:** Long-term response of spruce on short-term SO₂ and drought stress. Intern. Conference on Acidic Deposition – its Nature and Impacts. Glasgow Sept. 1990, Conference Abstracts: pp. 180.
- Tesche, M.; 1995:** Stress bei Pflanzen: Allgemeine und historische Aspekte. In: *Schadwirkungen auf Pflanzen*. B. Hock, E.F. Elstner (Hrsg.). 3. Überarbeitete Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg Berlin Oxford: 418-426.
- Thimann, K.V.; 1987:** Plant senescence: A proposed integration of the constituent process. In: *Plant senescence: Its biochemistry and physiology*. W.W. Thomson, E.A. Nothnagel & R.C. Huffaker (eds.). The American Soc. Pl. Physiol., Baltimore: 1-19.
- Thomas, H., Stoddart, J.L.; 1980:** Leaf senescence. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 31: 83-111.
- Thomas, J.R., Meyers, V.I., Heilmann, M.D., Weigand, C.L.; 1966:** Factors affecting light reflectance of cotton. Proc. 4th Symposium on Remote Sensing of Environment, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan: pp. 305-312.
- Tolstrup, K., Smedegaard-Peterson, V.; 1984:** Saprophytic leaf fungi on barley and their effect on leaf senescence and grain yield. *Växtskyddsnotiser* 48: 66-75.
- Tomlinson, H., Rich, S.; 1973:** Anti-senescence compounds reduce injury and steroid changes in ozonated leaves and their chloroplasts. *Phytopathology*, 63: 903-906.
- Tripathi, R.K., Schlösser, E.; 1977:** Effect of fungicides on the physiology of plants. I. Effect of carbendazim (methyl benzimidazole-2-ylcarbamate) on biochemical changes and membrane permeability of senescing cabbage and cucumber leaves. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit, Gent*, 42: 1073-1080.
- Tripathi, R.K., Vohra, K., Schlösser, E.; 1980:** Effects of fungicides on the physiology of plants. III. Mechanism of cytokinin-like antisenescence action of carbendazim on wheat leaves. *Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten u. Pflanzenchutz*, 87: 631-639.
- Tucker, C.J.; 1980:** Remote Sensing of leaf water content in the near infrared. *Remote Sens. Environ.*, Vol. 10: pp. 23-32.
- Tyree, M.T., Alexander, J.D.; 1993:** Plant water relations and effects of elevated CO₂: A review and suggestions for future research. *Vegetatio*, 104/105: 47-62.
- Valentini, R., Epron, D., De Angelis, P., Matteucci, G., Dreyer, E.; 1995:** In situ estimation of net CO₂ assimilation, photosynthetic electron flow and photorespiration in Turkey oak (*Q. cerris* L.) leaves: diurnal cycles under different levels of water supply. *Plant, Cell and Environment*, 18: 631-640.
- Valladares, F., Pearcy, R.W.; 1997:** Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. *Plant, Cell and Environment*, 20: 25-36.

- Verhoeven, A.S., Demming-Adams, B., Adams III W.W.; 1997:** Enhanced employment of the xanthophyll cycle and thermal energy dissipation in spinach exposed to high light and N stress. *Plant Physiol.*, 113: 817-824.
- Verreet, J.-A.; 1995:** *Angewandte Grundlagen des Integrierten Pflanzenschutzes; Das IPS-Weizenmodell Bayern*; – PR GmbH Werbeagentur & Verlag Aachen.
- von Caemmerer, S.; Farquhar, G.D.; 1981:** Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and gas exchange of leaves. *Planta* 153: 397-406
- von Willert, D.J.; Matyssek, R.; Herppich, W.; 1995:** *Experimentelle Pflanzenökologie, Grundlagen und Anwendung.* –Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York: pp 207-233.
- Wang, H., Bostock, R.M., Gilchrist, D.G.; 1996 a:** Apoptosis: a functional paradigm for programmed cell death induced by a host-selective phytotoxin and invoked during development. *Plant Cell*, 8, 375-391.
- Wang, H., Oppedijk, B.J., Lu, X., Van Duijn, B., Schilperoort, R.A.; 1996 b:** Apoptosis in barley aleurone during germination and its inhibition by abscisic acid. *Plant Mol. Biol.*, 32, 1125-1134.
- Ward, E.R., Uknes, S.J., Williams, S.C., Dincher, S.S., Wiederhold, D.L., Alexander, D.C., Ahl-Goy, P., Metraux, J.P., Ryals, J.A.; 1991:** Coordinate gene activity in response to agents that induce systemic acquired resistance. *Plant Cell*, 3: 1085-1094.
- Wardlaw, I.F., Sofield, I., Cartwright, P.M.; 1980:** Factors limiting the rate of dry matter accumulation in the grain of wheat grown at high temperature. *Aust. J. Plant Physiol.* 7: 387-400.
- Weir, A.F., Bryant, J.A.; 1989:** Partial purification and properties of a chromatin-bound deoxyribonuclease from embryo axes of germinating peas. *Phytochemistry*, 28: 1339-1343.
- Werner, S.; 1999:** *Effekte von Fungizidanwendungen im Roggen- und Sommergerstenanbau und ihr Einfluß auf Ertrag und Verarbeitungsqualität*, Diss. TU-München Weihenstephan.
- White, J.W., Castillo, J.A., Ehleringer, J.; 1990:** Associations between productivity, root growth and carbon isotope discrimination in *Phaseolus vulgaris* under water stress. *Aust. J. Plant Physiol.*, 17: 189-198.
- Wiggins, T.E., Jager, B.J.; 1994:** Mode of action of the new methoxyacrylate antifungal agent ICIA5504. *Biochem. Soc. Trans.* 22: 68.
- Wilson, C.M.; 1975:** Plant nucleases. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 26: 187-208
- Xu, Q., Paulsen, A.Q., Guikema, J.A., Paulsen, G.M.; 1995:** Functional and ultrastructural injury to photosynthesis in wheat by high temperature during maturation. *Environ. Exp. Bot.* 35: 43-54.
- Yamane, Y., Koshino, Y., Koike, H., Satoh, K.; 1998:** Effects of high temperatures on the photosynthetic systems in spinach: oxygen-evolving activities, fluorescence characteristics and the denaturation process. *Photosynth. Res.*, 57: 51-59.
- Yordanow, I., Weis, E.; 1984:** The influence of leaf-ageing on the heat-sensitivity and head-hardening of the photosynthetic apparatus in *Phaseolus vulgaris*. *Z. Pflanzenphysiol.*, Bd. 113: 383-393.
- Young, T.E., Gallie, D.E., DeMason, D.A.; 1997:** Ethylene-mediated programmed cell death during maize endosperm development of wild-type and *shrunk2* genotypes. *Plant Physiol*, 115: 737-751.
- 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.
- Zarembinski, T.I., Theologis, A.; 1994:** Ethylene biosynthesis and action: a case of conservation. *Plant Molecular Biology*, 26: 1579-1597.

9 Behandlungspläne

Roggenstein 1996

DATUM EC	01.05. 30/31	29.05. 39	13.06. 61
1	Kontrolle		
2	Opus Top	Opus Top	Opus Top
3	Opus Top + KM	Opus Top	Opus Top
4	Opus Top	Opus Top + KM	Opus Top
5	Opus Top	Opus Top	Opus Top + KM
6	Opus Top + KM	Opus Top + KM	Opus Top + KM
7	Juwel + KM	Juwel + KM	Juwel + KM
8	Juwel + KM	Juwel	Juwel
9	Juwel	Juwel + KM	Juwel
10	Juwel	Juwel	Juwel + KM
11	KM	KM	KM
12	Juwel	Juwel	Juwel

Versuch: RV1, Sorte: 'Toronto' (Opus Top = 1,5 l/ha, KM = 1,0 l/ha Kresoxim-methyl (= BAS 490), Juwel = 1,0 l/ha)

Roggenstein 1997

DATUM EC	6.5. 30/31	13.5. 32	25.5. 37/39	12.6. 65	21.6. 69
1	Kontrolle				
2	Opus Top		Opus Top		Opus Top
3	Opus Top	50% KM	Opus Top	50% KM	Opus Top
4	Opus Top	100 % KM	Opus Top	100 % KM	Opus Top
5	Opus Top	200 % KM	Opus Top	200 % KM	Opus Top
6	Opus Top	400 % KM	Opus Top	400 % KM	Opus Top
7		100 % KM		100 % KM	
8	Juwel		Juwel		Juwel
9		Juwel		Juwel	
10	Opus Top + 400 % KM		Opus Top + 400 % KM		Opus Top + 400 % KM

Versuch: RV1, Sorte: 'Bussard' (Opus Top = 1,5 l/ha, 100 % KM = 1,0 l/ha Kresoxim-methyl (= BAS 490), Juwel = 1,0 l/ha)

Anhang

DATUM EC	6.5. 30/31	13.5. 32	25.5. 37/39	12.6. 65	21.6. 69
1	Opus Top	Amistar	Opus Top	Amistar	Opus Top
2	Opus Top	400 % Amistar	Opus Top	400 % Amistar	Opus Top
3		Amistar		Amistar	
4	Amistar		Amistar		Amistar
5	Spo. Delta		Spo. Delta		Spo. Delta
6	Spo. Delta		Spo. Delta		Spo. Delta + 200 % KM
7	Spo. Delta		Spo. Delta		Spo. Delta + 200 % Amistar
8	Kontrolle				

Versuch: RV2, Sorte: 'Bussard' (Opus Top = 1,5 l/ha, 100 % KM = 1,0 l/ha Kresoxim-methyl, Amistar = 1,0 l/ha, Spo. Delta = 1,25 l/ha Sportak Delta)

DATUM EC	5.5. 31	13.5. 32	20.5. 37	6.6. 49	15.6. 59
1		Juwel		Juwel	
2	Kontrolle				
3	Spo. Delta zu > EC31 // EC39/43 // EC59/61				
4	+ Juwel				
5		+ Juwel			
6			+ Juwel		
7				+ Juwel	
8					+ Juwel
9	+ Juwel		+ Juwel		+ Juwel
10	+ Amistar				
11		+ Amistar			
12			+ Amistar		
13				+ Amistar	
14					+ Amistar
15	+ Amistar		+ Amistar		+ Amistar
16	+ Amistar		+ Amistar		+ Amistar + Phosphat

Versuch: RV3, Sorte: 'Bussard', der Versuch wurde in EC 29 mit 0,3 l/ha Fortress vorbehandelt, Variante 4 bis 16 haben als Grundlage die in Var. 3 angegebene Gesundbehandlung (Juwel = 1,0 l/ha, Amistar = 1,0 l/ha = 100 %, Spo. Delta = 1,25 l/ha Sportak Delta)

Weihenstephan 1996

DATUM EC	7.5 32	23.5. 39	12.6. 59
1	Kontrolle		
2		Opus Top	Opus Top
3		Juwel	Juwel
4		Amistar	Amistar
5	Opus Top	Opus Top	Opus Top
6	Juwel	Juwel	Juwel
7	Amistar	Amistar	Amistar

Versuch: WV1, Sorte: 'Contra' (Opus Top = 1,5 l/ha, Juwel = 1,0 l/ha, Amistar = 1,0 l/ha)

Weihenstephan 1997

DATUM EC	5.5. 30/31	12.5. 32	26.5. 37/39	10.6. 59	25.6. 69
1	Kontrolle				
2	Opus Top		Opus Top		Opus Top
3	Opus Top	100% KM	Opus Top	100% KM	Opus Top
4	Opus Top	400 % KM	Opus Top	400 % KM	Opus Top
5		100% KM		100% KM	
6	Juwel		Juwel		Juwel
7	Opus Top	Amistar	Opus Top	Amistar	Opus Top
8	Opus Top	400 % Amistar	Opus Top	400 % Amistar	Opus Top
9		Amistar		Amistar	
10	Amistar		Amistar		Amistar
11	Spo. Delta		Spo. Delta		Spo. Delta

Versuch: WV1, Sorten: 'Astron', 'Batis' (Opus Top = 1,5 l/ha, 100 % KM = 1,0 l/ha Kresoxim-methyl (= BAS 490), Juwel = 1,0 l/ha, Amistar = 1,0 l/ha = 100 %, Spo. Delta = 1,25 l/ha Sportak Delta)

Oberding 1998

DATUM EC	07.05. 32	18.05. 37	18.05. 37	05.06. 47	16.06. 61
1	Kontrolle				
2		1,0 l/ha Opus		1,0 Opus	
3		1,0 Juwel		1,0 Juwel	
4		1,0 Amistar		1,0 Amistar	
5		VP 1		VP 1	
6		VP 2		VP 2	
7		VP 3		VP 3	
8		VP 4		VP 4	
9		VP 5		VP 5	
10		VP 6		VP 6	
11	Kontrolle				
12	1,0 Opus		1,0 Opus		1,0 Opus
13	1,0 Juwel		1,0 Juwel		1,0 Juwel
14	1,0 Amistar		1,0 Amistar		1,0 Amistar
15	VP 1		VP 1		VP 1
16	VP 2		VP 2		VP 2
17	VP 3		VP 3		VP 3
18	VP 4		VP 4		VP 4
19	VP 5		VP 5		VP 5
20	VP 6		VP 6		VP 6

Versuch: OV1, Sorte: 'Astron', der Versuch wurde in EC 31 mit 0,3 l/ha Fortress und 1,5 l/ha Bravo vorbehandelt (VP = BASF Versuchspräparate)

DATUM EC	05.05. 32	18.05. 37
1	Kontrolle	
2	1,0 Juwel	1,0 Juwel
3	1,0 Amistar	1,0 Amistar
4	VP 1	VP 1
5	VP 2	VP 2
6	VP 3	VP 3
7	VP 4	VP 4
8	VP 5	VP 5
9	VP 6	VP 6

Versuch: OV3, Sorte: 'Kanzler', der Versuch wurde in EC 31 mit 0,3 l/ha Fortress und 1,5 l/ha Bravo vorbehandelt (VP = BASF Versuchspräparate, Zahlen geben die Aufwandmenge in l/ha an)

Anhang

DATUM EC	05.05. 32	18.05. 37	19.05. 39	05.06. 47	16.06. 61
1	Kontrolle				
2			1,0 Opus		1,0 Opus
3		1,0 Opus		1,0 Opus	
4	1,0 Opus	1,0 Opus			1,0 Opus
5			1,0 Juwel		1,0 Juwel
6		1,0 Juwel		1,0 Juwel	
7	1,0 Juwel	1,0 Juwel			1,0 Juwel
8			VP 1		VP 1
9		VP 1		VP 1	
10	VP 1	VP 1			VP 1
11	Kontrolle				
12			VP 2		VP 2
13		VP 2		VP 2	
14	VP 2	VP 2			VP 2
15	VP 2				
16		VP 3		VP 3	
17	VP 3	VP 3			VP 3
18			Amistar		Amistar
19		Amistar		Amistar	
20	Amistar	Amistar			Amistar

Versuch: OV2, Sorte: 'Batis', der Versuch wurde in EC 31 mit 0,3 l/ha Fortress und 1,5 l/ha Bravo vorbehandelt (VP = BASF Versuchspräparate)

DATUM EC	05.05. 32	18.05. 37
1	Kontrolle	
2	1,0 Juwel	1,0 Juwel
3	1,0 Amistar	1,0 Amistar
4	VP 1	VP 1
5	VP 2	VP 2
6	VP 3	VP 3
7	VP 4	VP 4
8	VP 5	VP 5
9	VP 6	VP 6

Versuch: OV3, Sorte: 'Kanzler', der Versuch wurde in EC 31 mit 0,3 l/ha Fortress und 1,5 l/ha Bravo vorbehandelt (VP = BASF Versuchspräparate, Zahlen geben die Aufwandmenge in l/ha an)

Haxthausen 1998

DATUM EC	07.05. 32	14.05. 37	19.05. 39	02.06. 47	18.06. 61
1	Kontrolle				
2		1,5 Opus Top		1,5 Opus Top	
3		1,0 Amistar		1,0 Amistar	
4		1,0 VPZ 1		1,0 VPZ 1	
5		1,0 Juwel		1,0 Juwel	
6	1,5 Opus Top		1,5 Opus Top		1,5 Opus Top
7	1,0 Amistar		1,0 Amistar		1,0 Amistar
8	1,0 VPZ 1		1,0 VPZ 1		1,0 VPZ 1
9	1,0 Juwel		1,0 Juwel		1,0 Juwel
10	1,5 Bravo	1,5 Bravo	1,5 Bravo	1,5 Bravo	1,5 Bravo
11	1,5 Opus Top + 1,5 Bravo		1,5 Opus Top + 1,5 Bravo		1,5 Opus Top + 1,5 Bravo

Versuch: HVA, Sorte: 'Bandit', (VPZ = Zeneca Versuchspräparate, Zahlen geben die Aufwandmenge in l/ha an)

DATUM EC	07.05. 32	19.05. 39	09.06. 59
1	Kontrolle		
2	1,25 Spor. Delta	1,25 Spor. Delta	1,25 Spor. Delta
3	1,0 Amistar	1,25 Spor. Delta	1,25 Spor. Delta
4	1,25 Spor. Delta	1,0 Amistar	1,25 Spor. Delta
5	1,25 Spor. Delta	1,25 Spor. Delta	1,0 Amistar
6	1,0 Amistar	1,0 Amistar	1,0 Amistar
7	VPZ 1	1,25 Spor. Delta	1,25 Spor. Delta
8	1,25 Spor. Delta	VPZ 1	1,25 Spor. Delta
9	1,25 Spor. Delta	1,25 Spor. Delta	VPZ 1
10	VPZ 1	VPZ 1	VPZ 1
11	1,0 Juwel	1,25 Spor. Delta	1,25 Spor. Delta
12	1,25 Spor. Delta	1,0 Juwel	1,25 Spor. Delta
13	1,25 Spor. Delta	1,25 Spor. Delta	1,0 Juwel
14	1,0 Juwel	1,0 Juwel	1,0 Juwel
15	1,25 Spor. Delta + 1,5 Bravo	1,25 Spor. Delta + 1,5 Bravo	1,25 Spor. Delta + 1,5 Bravo

Versuch: HVB, Sorte: 'Bandit', (VPZ 1 = Zeneca Versuchspräparate, Zahlen geben die Aufwandmenge in l/ha an)

Danksagung

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. V. Zinkernagel gilt mein ganz besonderer Dank für die vertrauensvolle Überlassung dieses interessanten Themas. Seine Unterstützung, die sehr gute Zusammenarbeit und die große Selbständigkeit, die er mir gewährte, waren wesentliche Beiträge die zur Entstehung dieser Arbeit beitrugen.

Für die bereitwillige Übernahme des Koreferats und die fachlichen Anregungen während der Zeit in Weihenstephan, danke ich Herrn Prof. Dr. U. Schmidhalter.

Herrn Prof. Dr. W. Huber möchte ich für die Bereitschaft zum Prüfungsvorsitz danken.

Herr Dr. J. Habermeyer ein sehr herzliches Dankeschön für die wertvolle fachliche Hilfe. Seine Fähigkeit sich aufs Wesentliche konzentrieren zu können war mir eine sehr große Hilfe, im Dickicht der Erkenntnisse, den Weg zu halten. Er ist für mich ein wichtiger Impulsgeber, ein lieber Weggefährte und ein toller Kollege.

Am Anfang einer solchen Arbeit stehen viele Fragen und der Wille zur Erforschung und Lösung. Nur durch das Zusammenspiel aller beteiligten Personen - den Diplomanden: Simone Gerber, Martin Müller, Ulrike Nickel, Serena Rauch und Jan Sabarth, Freunden, Kollegen und den vielen Hilfskräften - kann ein solches Unternehmen gelingen. Mein herzlicher Dank dafür.

Herr J. Dennert war mir während der gesamten Entstehungszeit dieser Arbeit wertvoller und geschätzter Diskussionspartner. Seine stete Bereitschaft zur Diskussion und sein Engagement im Versuchswesen haben ihren Beitrag an dieser Arbeit.

Herrn Dr. R. Müller gilt mein Dank für die Bereitstellung der notwendigen Freilandflächen und Einrichtungen in der Versuchsstation Roggenstein. In diesem Zuge ebenfalls mein Dank an die Mitarbeiter der Versuchsstation Roggenstein, die dafür sorgten, daß in der arbeitsreichen Zeit auch der Spaß nicht zu kurz kam. Ich möchte insbesondere Gabi Huber für ihre Unterstützung meine freundschaftliche Verbundenheit aussprechen.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls für Phytopathologie der TU München-Weihenstephan, die zum Entstehen dieser Dissertation beigetragen haben, insbesondere den Herren Thomas Müller und Karl Deutsch, für die gewissenhafte Anlage und Betreuung der Feldversuche ein aufrichtiges Dankeschön. In diesem Zuge möchte ich auch Herrn Hans Wagner von der FH-Weihenstephan für seine stete Hilfsbereitschaft, sein Engagement im Versuchswesen und seine Fachkenntnisse danken. Er hat mir wertvolle Anregungen gegeben.

Dr. Meier und Dr. Günther von der DLR danke ich für die Bereitstellung der Spektroskopie-Technik und die fachliche Unterstützung. Ich danke Frau Greiner de Mothes für die Durchführung der Gaswechsellmessungen 1995 und 1996.

Nun, ich möchte nicht missen meine Verbundenheit und Sympathie den Herren auszusprechen, die den Fortgang dieser Arbeit mit beeinflußt haben, namentlich Dr. Prigge, Dr. Lehmer, Prof. Dr. Opitz, Herr Werner Lindinger und Herr Joseph Meßmann.

Ein Dankeswort möchte ich noch zum Schluß an meine Monika Löffelmann und an Marion Mertel richten. Habt Dank für die tolle Unterstützung und die Geduld die ihr mit mir hattet.

Lebenslauf

Angaben zur Person

Name: Michael Gerhard
Geburtsdatum: 15.02.1966
Geburtsort: Kamen / Westfalen
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: verheiratet

Schulbildung

1972 - 1976 Grundsule in Unna-Massen
1976 - 1982 Realschule in Unna
1984 - 1987 Ernst-Barlach-Gymnasium in Unna

Berufsausbildung

1982 - 1984 Lehre zum Zierpflanzengärtner in Unna

Zivildienst

1987 - 1988 Kinderklinik Unna Königsborn
1198 - 1989 Umweltamt Kreis Unna

Hochschulausbildung

1989 – 1995 Studium der Naturwissenschaften an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
1996 – 1998 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Phytopathologie der TU München-Weihenstephan, Promotion

Berufstätigkeit

seit 1999 BASF AG, Agrarzentrum Limburgerhof