

Physiologische Einflüsse des neuen Getreidefungizides Jewel®* auf die Ertragsbildung

(Physiological effects of the new fungicide Jewel®* on yield in cereals)

Von H. Köhle, K. Grossmann, G. Retzlaff und A. Akers, Limburgerhof

Zusammenfassung: Jewel®, das neue Fungizid der BASF mit den Triazol- und Strobilurinwirkstoffen Epoxiconazol und Kresoxim-methyl, wirkt breit und lang anhaltend gegen Erreger von Getreidekrankheiten. Darüber hinaus beeinflusst Jewel® in Abhängigkeit von der applizierten Wirkstoffmenge die behandelten Pflanzen selbst: in verschiedenen pathogenfreien pflanzlichen Testmodellen wurden Veränderungen bei der C- und N-Assimilation sowie dem Gehalt an Ethylen und anderen Phytohormonen gemessen. Diese Prozesse werden von einer erhöhten Bildung von Biomasse und einem ausgeprägten „Grüneffekt“ der Pflanzen begleitet. Der Gesamtkomplex dieser wirkstoffbedingten Pflanzenreaktionen auf metabolischer und regulatorischer Ebene wird in Bezug zur Entwicklung von Ertragskomponenten gesetzt und als mögliche Ursache einer befallsunabhängigen „physiologischen Leistung“ von Jewel® diskutiert.

Summary: Jewel®, a new fungicide developed by BASF Aktiengesellschaft combines two active ingredients: the strobilurin compound Kresoxim-methyl and the triazol compound Epoxiconazole. In addition to its excellent and long lasting fungicidal activity against all important cereal crop pathogens, Jewel® has influence on the C- and N-assimilation of the plant as shown in test systems free of pathogens. The contents of ethylene and other plant hormones are also modified, which may be the reason for enhanced stress resistance and greening effects of plants after treatment with Jewel®. Since these special metabolic and regulatory changes are independent of fungal attack, the physiological effects of Jewel® are discussed to be the most likely cause for the superior increase in yield compared to other fungicides.

Einführung und Zielstellung

Die Bildung organischer Materie als der Ertrag einer Kulturpflanze ist das komplexe Ergebnis eines Zusammenspiels zwischen dem photosynthetisch aktiven Gewebe, der „Quelle“ (*source*) und den verschiedenen „Verbrauchsorten“ (*sinks*) in der Pflanze. Diese Wechselwirkung hängt vom genetischen Potential der Pflanze ab und wird durch eine Reihe äußerer Faktoren wie Klima, Boden und Konkurrenz mit anderen Organismen modifiziert: das bekannte Modell der begrenzenden Wirkung des Minimalfaktors nach Liebig kann daher von der Nährstoffverfügbarkeit auf die gesamten dynamischen Wechselwirkungen erweitert werden (Abb. 1). Für den praktisch orientierten Physiologen besteht eine reizvolle Aufgabe darin, die Minimalfaktoren im System aufzuspüren und nach Möglichkeit Verbesserungen im Sinne des praktischen Pflanzenbaus zu finden.

Phytopathogene Pilze beeinträchtigen die beiden Schlüsselprozesse der Ertragsbildung: durch den Befall wird zunächst die photosynthetisch aktive Blattfläche vermindert, und in der Folge beeinträchtigt die Verschiebung der *source/sink*-Beziehungen die Assimilatverlagerung vom Entstehungsort in die Frucht, was sich meist noch gravierender auf den Ertrag auswirkt (Abb. 2). Daher führen alle nach den Richtlinien des integrierten Pflanz-

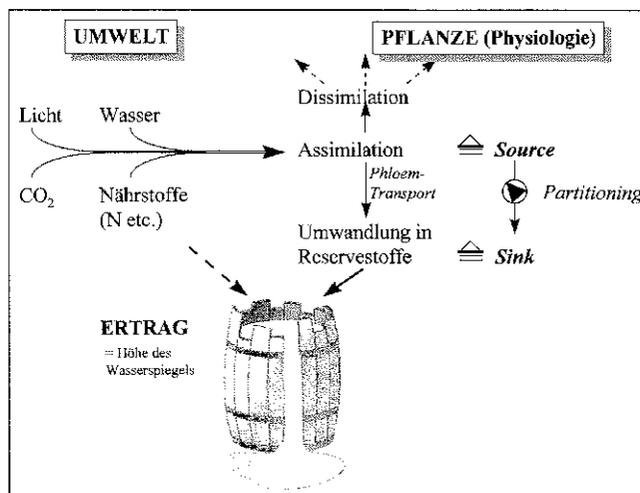


Abb. 1 Faktoren und Prozesse der Ertragsbildung

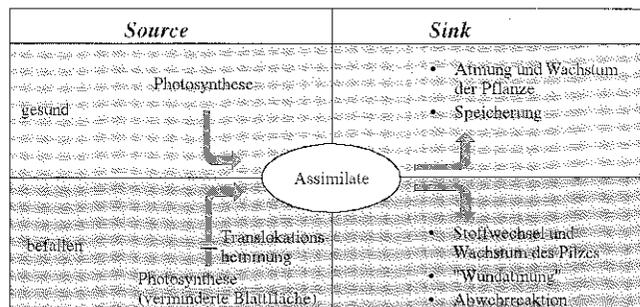


Abb. 2 Einfluß der Fungizidleistung auf die Ertragsbildung

* ® = Registriertes Warenzeichen der BASF Aktiengesellschaft

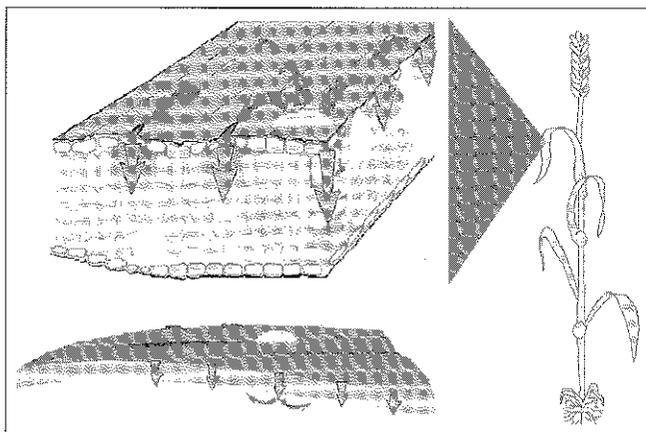


Abb. 3 Modell der Quasisystemischen Verteilung von Kresoxim-methyl

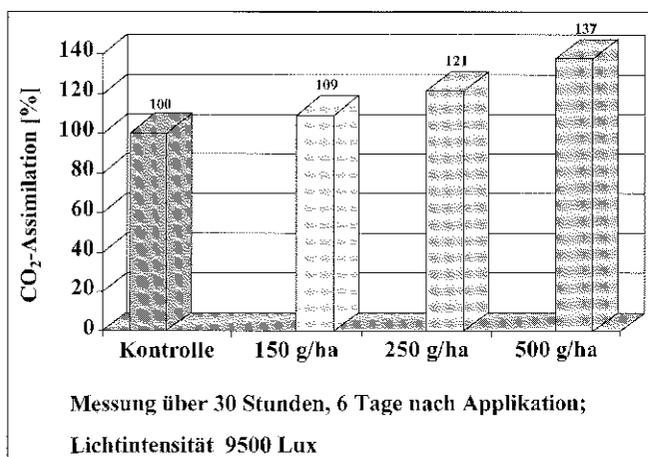


Abb. 4 Kresoxim-methyl steigert die CO₂-Assimilation von Weizenpflanzen

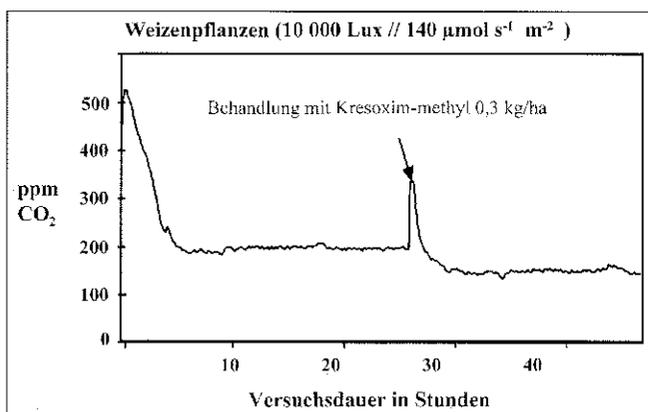


Abb. 5 Einfluß von Kresoxim-methyl auf den CO₂-Kompensationspunkt

zenbaues durchgeführten Fungizidbehandlungen zu Ertragssteigerungen, deren Ausmaß jeweils vom gegebenen Infektionsdruck und dem Wirkungsgrad der Maßnahmen abhängt: dies gilt auch und insbesondere für das breit wirksame Getreidefungizid Juwel®. Über diese primäre Fungizidwirkung hinaus zeigten Versuche mit erhöhten Wirkstoffaufwandmengen, wie sie im Rahmen von Pflanzen-

schutz-Zulassungsverfahren zur Bestimmung der Pflanzenverträglichkeit durchgeführt werden, bei Juwel® weitere Steigerungen der Erträge in Korrelation mit den ausgebrachten Wirkstoffmengen, obwohl der Pilzbefall bereits mit normalen Aufwandmengen vollständig kontrolliert wurde. Dieser zusätzliche, von der Fungizidwirkung unabhängige Ertragseffekt bestätigte sich in speziell angelegten Wiederholungsversuchen (z. B. in „Gesundlagen“ mit nur geringem Befallsdruck) und in der praktischen Anwendung: mittlerweile ist davon auszugehen, daß von den beiden Juwel®-Komponenten vor allem der Strobilurinpartner Kresoxim-methyl auch in der gesunden Pflanze physiologische Prozesse positiv beeinflussen kann. Nachdem hier in einem vorangegangenen Artikel (Saur u. a. 1997) die Fungizidleistung von Juwel® und der Einfluß auf die grüne Blattmasse im praktischen Einsatz im Vordergrund standen, möchte die vorliegende Übersicht im verfügbaren Rahmen den aktuellen Kenntnisstand über physiologische Wirkungen von Kresoxim-methyl allein und in Kombination mit Epoxiconazol zusammenfassen und in Bezug mit den beobachteten Ertragssteigerungen diskutieren (ausführlichere Darstellungen von Teilaspekten sind bereits an anderer Stelle veröffentlicht (Grossmann u. Retzlaff 1997; Siefert u. Grossmann 1996).

Experimentelles

Die Aufnahme- und Verteilungseigenschaften von Kresoxim-methyl wurden durch die Kombination verschiedener quantitativer Verfahren (Köhle 1992; Köhle 1995) und durch Autoradiographie mittels eines Phosphorimagers gemessen; auf der Grundlage dieser Daten und physikochemischer Kennwerte von Wirkstoff und Kutikeln der Pflanze wurde zusätzlich ein Modell zur Numerischen Simulation des Wirkstoffverhaltens auf der Pflanzenoberfläche (Köhle, Daiss u. Riederer, unveröffentlicht) erstellt. Die Resultate werden in dieser Arbeit schematisiert zusammengefaßt.

Die Bestimmungen zum Einfluß von Kresoxim-methyl auf den Gasstoffwechsel bzw. den CO₂-Kompensationspunkt der Pflanzen erfolgte in Anlehnung an das beschriebene Verfahren (Goldsworthy u. Day 1970) in Glasküvetten, die zur Abgrenzung des Blattapparates von den Wurzeln und der sie umgebenden Nährlösung durch einen Zwischenboden unterteilt waren. Die Pflanzen verblieben bei 22° C und einer konstanten Lichtintensität von 140 μmol/s × m² in der Küvette. Zur Ermittlung des CO₂-Kompensationspunktes der unbehandelten bzw. der behandelten Pflanzen wurde nach einer ausreichend langen Adaptionsphase die Außenluftzufuhr in die obere Küvettenhälfte unterbrochen und der sich nach 2–3 Stunden einstellende (konstante) CO₂-Gehalt bestimmt. Dieser Wert entspricht dem Gleichgewichtspunkt zwischen der CO₂-Fixierung durch die Photosynthese und der CO₂-Freisetzung durch die Atmung. Die Anzucht und Analytik des Pflanzenmaterials zur Untersuchung der Einflüsse auf der Ebene der Phytohormone erfolgten wie zuvor beschrieben (Grossmann u. Retzlaff 1997; Siefert u. Grossmann 1996).

Einzelergebnisse und Diskussion

Aufnahme und Verteilung

Wirkstoffe können nur dann in physiologische Prozesse der Pflanze direkt eingreifen, wenn sie in das eigentliche „lebende“ Kompartiment, den Symplasten, aufgenommen werden. Während dies für Epoxiconazol durch seine systemische Eigenschaft sichergestellt ist (Akers et al. 1990; Gold et al. 1992), erfüllt Kresoxim-methyl diese Grundvoraussetzung in spezieller Weise: aufgrund seiner quasisystemischen Eigenschaften verteilt sich der Wirkstoff nach der Spritzapplikation zunächst von den lokalen (Primär-)Depots kontinuierlich und verlustarm in der oberflächennahen stationären Grenzschicht (*boundary layer*) der Pflanze und wird von dort in einem Gleichgewichtsprozeß durch die epikutikulären Wachsschichten der Pflanze resorbiert (Bildung eines flächendeckenden Sekundärdepots). Dieser Wirkstoffanteil im apoplastischen System ist für die ausgezeichnete Fungizidwirkung entscheidend. Bei der Rückverteilung gelangt jedoch ein erheblicher Teil des Kresoxim-methyls (abhängig vom Öffnungszustand der Stomata im Modellversuch bis über die Hälfte des aufgenommenen Wirkstoffes!) mit dem Gasstoffwechsel in die Atemhöhlen der Pflanze, kann sich dort weiterverteilen und wegen fehlender kutikulärer Sperrschichten leicht in den Symplasten übertreten. Auf diese Weise beschränkt sich die Verteilung des Wirkstoffes nicht auf die für systemische Fungizide meist akropetale Translokation, sondern ist sehr gleichförmig (Abb. 3).

Einfluß auf den Gasstoffwechsel

Weizenpflanzen zeigen sechs Tage nach Behandlung mit Kresoxim-methyl bereits bei einer Dosis, die der in Praxis empfohlenen Aufwandmenge entspricht, eine verstärkte CO₂-Assimilation; höhere Aufwandmengen verstärken den Effekt. (Abb. 4).

Zugleich senkt Kresoxim-methyl den gemessenen CO₂-Kompensationspunkt der Pflanzen. Dieser CO₂-Kompensationspunkt markiert die CO₂-Konzentration in der Meßatmosphäre, bei der die Menge an photosynthetisch fixiertem und respiratorisch freigesetztem CO₂ exakt gleich sind und daher kein Nettoflux stattfindet. Wirtschaftlich betrachtet entspricht dies dem „break even point“ im Pflanzenstoffwechsel, also der Situation, bei welcher der Gewinn gerade die Kosten deckt: Je niedriger der Kompensationspunkt liegt, umso höher ist die photosynthetische Effizienz (Abb. 5).

Als Ursache dieser Verbesserung in der Gasstoffwechselbilanz kommt die gemessene deutliche Hemmung der Dunkelatmung (Abb. 6) in Frage, während die Photosyn-

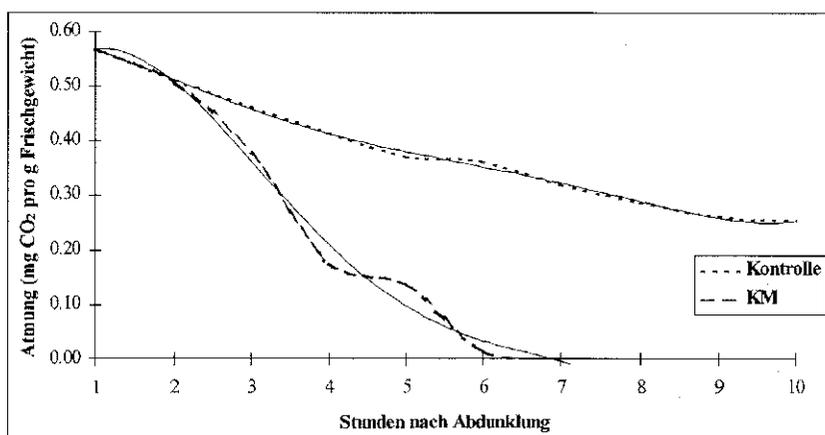


Abb. 6 Einfluß von Kresoxim-methyl auf die Dunkelatmung von Weizen

theserate selbst und die Photorespiration nicht beeinflusst wird (Daten hier nicht gezeigt).

Einfluß auf die Aktivität der Nitratreduktase

Bei Nitrat-ernährten Pflanzen stellt die von der Nitratreduktase katalysierte Reduktion zum Nitrit beim Aufbau stickstoffhaltiger Verbindungen wie Aminosäuren und Nukleotiden den geschwindigkeitslimitierenden Schritt dar. In unbehandelten Pflanzen nimmt sowohl die Menge als auch die Aktivität der Nitratreduktase beim Übergang

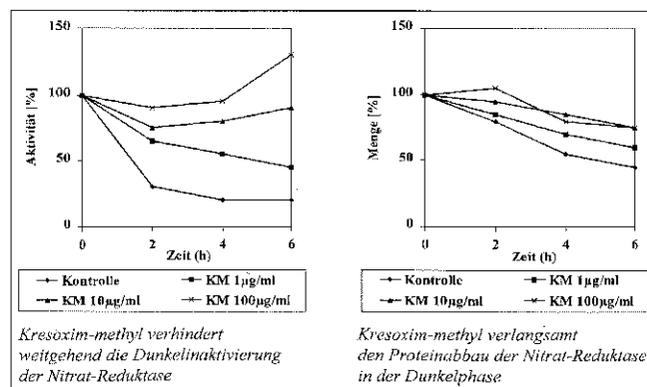


Abb. 7 Kresoxim-methyl kann die Aktivität und Menge der Nitrat-Reduktase erhöhen

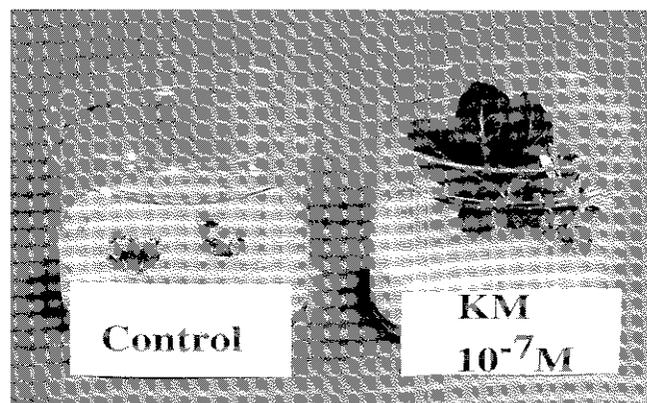


Abb. 8 Differenzierung von Tabakstengel-Explantaten unter Einfluß von Kresoxim-methyl

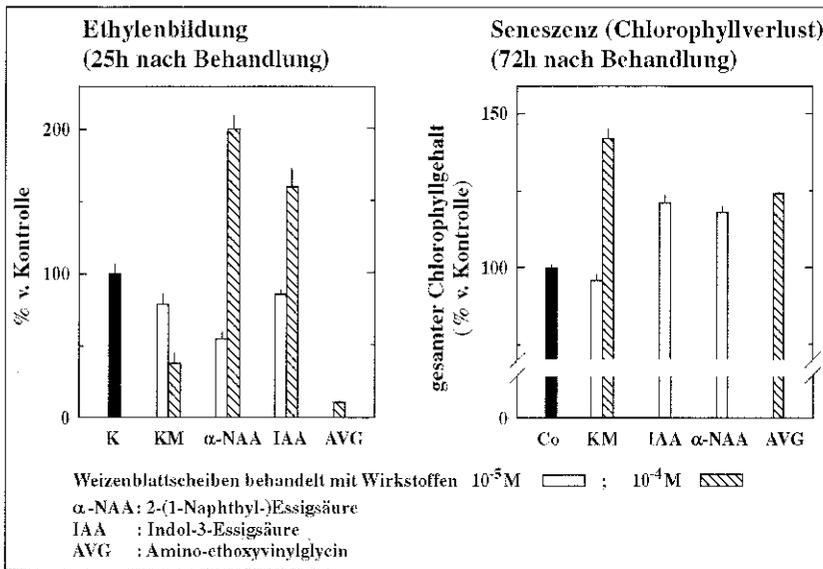


Abb. 9 Kresoxim-methyl (KM) hemmt die Ethylenbildung und Streß-induzierte Blattseneszenz

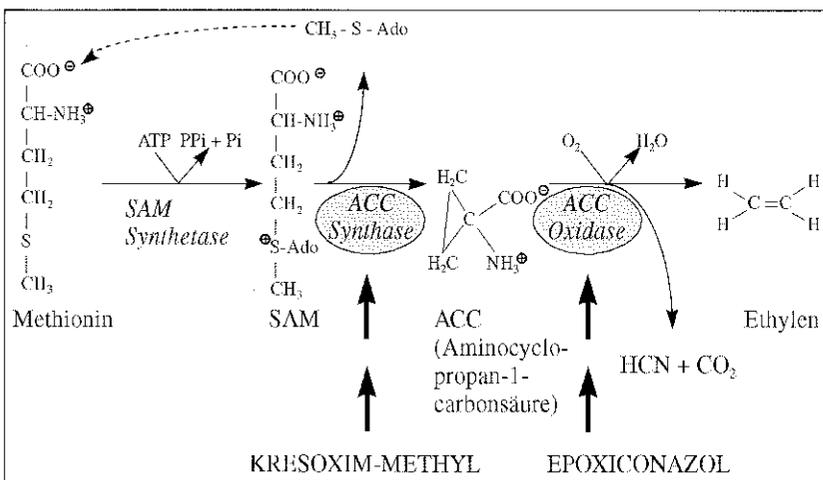


Abb. 10 Wirkorte von Epoxiconazol und Kresoxim-methyl in der Ethylenbiosynthese-Kette

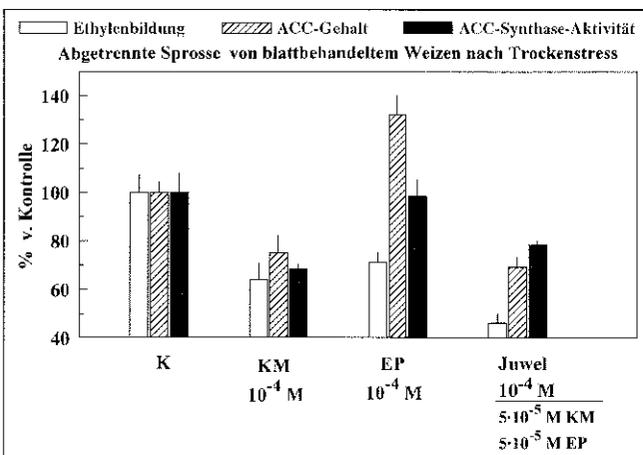


Abb. 11 Hemmung der Ethylen-Biosynthese durch Kresoxim-methyl (KM) und Epoxiconazol (EP)
 Synergistische Wirkung von Juwel®

aus der Licht- in die Dunkelphase rasch ab. Wie von Kaiser und Glaab (persönliche Mitteilung) gezeigt, werden diese Verluste in zellfreien Präparationen aus Spinat- und Weizenpflanzen durch Kresoxim-methyl gehemmt (Abb. 7).

Einfluß auf die Regulation durch Phytohormone

Der komplexe Einfluß von Kresoxim-methyl auf phytohormonell gesteuerte Wachstums- und Regulationsprozesse von Pflanzenzellen wird augenscheinlich bei der Zugabe des Wirkstoffes zum Medium von kultivierten Tabakstengel-Explantaten: die Zellen differenzieren sich und bilden „richtige“ Pflanzenorgane (Abb. 8). Von den verschiedenen bisher bekannten bioregulatorischen Einzeleffekten von Kresoxim-methyl (Grossmann u. Retzlaff 1997) wird im Rahmen dieser Übersicht als wahrscheinlich wichtigste Komponente die in ganzen Pflanzen, Blattscheiben und Sprossen von Weizen gefundene Hemmung der streßabhängigen Ethylenbildung und der damit verbundene geringere Chlorophyllverlust bzw. Blattseneszenz gezeigt (Abb. 9). Ähnlich Epoxiconazol, das den letzten Schritt der Ethylenbildung aus der Vorstufe 1-Aminocyclopropan-1-carbonsäure (ACC) hemmt, greift Kresoxim-methyl regulierend in die Biosynthesekette ein: unter Einwirkung von Kresoxim-methyl verringert sich die Menge der ACC-Synthase, welche die Bildung von ACC aus S-Adenosyl-methionin (SAM) katalysiert (Abb. 10): beide Fungizidpartner als Juwel® gemeinsam appliziert führen zu

einer synergistischen Kombinationswirkung (Abb. 11).

Zusammenfassende Diskussion

Die physiologischen Effekte von Juwel® können nur im einzelnen unter artifiziiellen Bedingungen untersucht werden; in Praxis sind sie jedoch Teil eines dynamischen, interaktiven Systems, bei dem sich alle Komponenten mehr oder weniger stark beeinflussen. Es ist daher nicht möglich, alle physiologischen Auswirkungen einer aktiven Verbindung zu erfassen, geschweige denn kausal abzuleiten. Dennoch erscheint es auf der Grundlage der vorgestellten Ergebnisse möglich, zumindest ein grob vereinfachtes Gesamtmodell der stimulierenden Wirkung von Juwel® auf die Ertragsbildung zu entwerfen (Abb. 12).

Die metabolische Primärwirkung von Kresoxim-methyl auf die Pflanze besteht in einer zeitlich begrenzten Hem-

mung der mitochondrialen Elektronentransportkette („Dunkelatmung“), wodurch sich der CO₂-Kompensationspunkt verschiebt und die Nettophotosyntheserate bzw. apparente Photosynthese der Pflanze verbessert wird. Mit dieser Primärwirkung einhergehende intrazelluläre pH-Verschiebungen kann weiterhin der regulatorische Einfluß von Kresoxim-methyl auf die Nitratreduktase erklärt werden. Kresoxim-methyl fördert somit die Kohlenstoff- und Stickstoffassimilation.

Über eine auxinartige Sekundärwirkung greift Kresoxim-methyl in das Regulationssystem der Phytohormone ein; vor allem wird, unterstützt durch Epoxiconazol, die Ethylenbildung als Induktor der Seneszenz gehemmt. Damit einher geht die Zunahme von seneszenzverzögernden Phytohormonen aus der Familie der Cytokinine.

Kommen diese Auswirkungen von Jewel® auf metabolischer und regulatorischer Ebene in ertragsphysiologisch entscheidenden Phasen zum Tragen – z. B. während der Bildung der Kornanlagen oder der Ährenfüllung – wäre eine positive Beeinflussung der beiden Ertragsfaktoren Kornzahl und Korngewicht gegeben. Der (aus Gründen der Fungizidwirkung!) empfohlene frühe Anwendungszeitpunkt würde sich unter diesem Aspekt günstig auf die Nährstoffversorgung während der empfindlichen Kornanlagenbildung auswirken (Abb. 13), während die spätere Blatt- und Ährenbehandlung eine verlängerte *Source*-Aktivität zur Kornfüllung sicherstellen könnte.

Interessant erscheint auch der Aspekt einer Reduktion der negativen Folgen von Streß (z. B. kurzfristiger Wassermangel): Jewel® kann durch die Hemmung der streßinduzierten Ethylenbiosynthese pflanzliche „Überreaktionen“ wie das irreversible Auslösen einer Notreife verhindern – ob dies geschieht und wie stark sich das auf den Ertrag auswirkt, hängt natürlich in hohem Maße von den Rahmenbedingungen (Klimafaktoren!) ab, und kann daher weder vorhergesagt noch garantiert werden. Insgesamt betrachtet hilft Jewel®, das sich in erster Linie zur Ertragsicherung durch seine hervorragende Fungizidwirkung für den praktischen Einsatz empfiehlt, auch, das genetische Potential der Pflanze unter den gegebenen Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Ertragsbildung möglichst voll auszuschöpfen.

Literatur

- Akers, A., H. Köhle, R. E. Gold (1990): Uptake transport and mode of action of BAS 480 F a new triazole fungicide. Crop Protection Conference – Pests and Diseases, Brighton, 837–845.
- Gold, R. E., H. Köhle, F. Siefert, K. Grossmann (1992): Aufnahme, Transport und Wirkungsmechanismus von Opus, einem neuen Getreidefungizid. Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem, Heft 283.

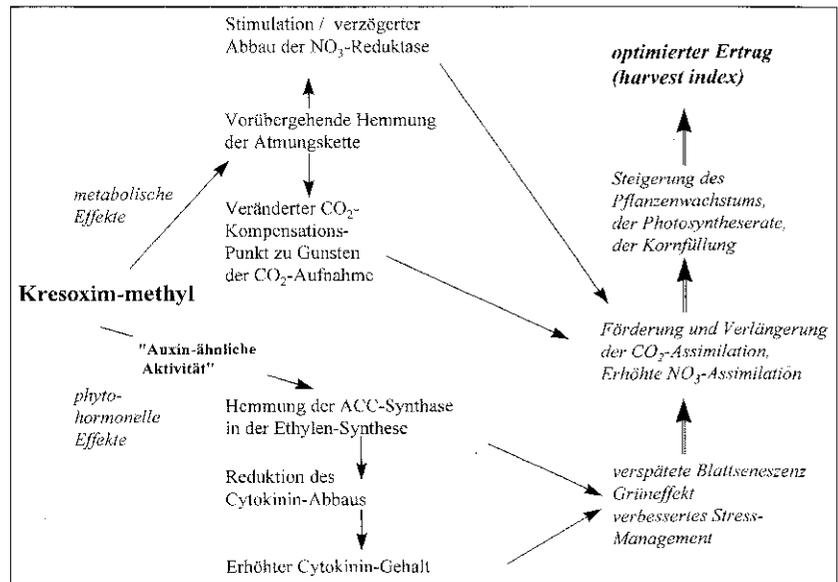


Abb. 12 Physiologische Wirkungen von Kresoxim-methyl

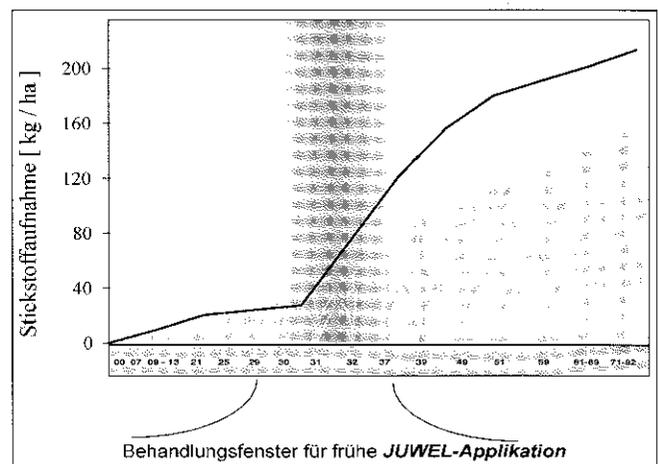


Abb. 13 Stickstoffaufnahme bei Weizen

- Goldsworthy, A., P. R. Day (1970): A Simple Technique for the Rapid Determination of Plant CO₂ Compensation Points.
- Grossmann, K., G. Retzlaff (1997): Bioregulatory Effects of the Fungicidal Strobilurin Kresoxim-methyl in Wheat. Pesticide Science 50, 11–20.
- Köhle, H. (1992): Quantitative Bestimmung der Wirkstoffaufnahme ins Blatt – Methodik und Aussagekraft. Mitteilungen der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft 22/2, 68.
- Köhle, H. (1995): „SPME“ – Ein neues Verfahren zur Bestimmung der Wirkstoffemission behandelter Pflanzen?. Mitteilungen der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft 25/2, 32.
- Saur, R., B.-H. Menck, G. Prigge (1997): Fungizide und ertragsphysiologische Leistungen des neuen Getreidefungizides Jewel. Gesunde Pflanzen 49, 151–158.
- Siefert, F., K. Grossmann (1996): Nichtfungizide Nebenwirkungen von Triazolverbindungen am konkreten Beispiel des Triazolfungizides Epoxiconazol. Gesunde Pflanzen 48, 224–231.

Anschrift der Verfasser: Dr. H. Köhle, Prof. Dr. K. Grossmann, Dr. G. Retzlaff und A. Akers, BASF Aktiengesellschaft, Landwirtschaftliche Versuchsstation, Postfach 120, D-67114 Limburgerhof.