

## Kombinationswirkungen zwischen der Belastung von Pflanzen durch troposphärisches Ozon und Pflanzenschutzmittel

HANS BRUNNERT

Institut für Produktions- und Ökotoxikologie

### 1 Einleitung

Durch die in den letzten 150 Jahren rapide ansteigende Industrialisierung sind Pflanzen heute in viel stärkerem Ausmaß anthropogenen Schadeinwirkungen ausgesetzt als in der vorindustriellen Zeit. Das können in die Atmosphäre emittierte Schadgase wie Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Fluorwasserstoff (HF) und Ozon (O<sub>3</sub>) sein oder die große Zahl von Xenobiotika, die über die industriellen Produktionsprozesse oft unbeabsichtigt in die Umwelt gelangen. Xenobiotika sind dadurch charakterisiert, daß sie in der Natur ursprünglich nicht vorkommen. Die meisten der eingesetzten Pflanzenschutzmittel müssen aufgrund ihrer chemischen Struktur ebenfalls zu den Xenobiotika gerechnet werden. Sie werden in der landwirtschaftlichen und gärtnerischen Pflanzenproduktion gezielt eingesetzt, um Nutzpflanzen vor Schädlingen (Insekten, Pilz) oder unerwünschten Konkurrenten ("Unkräuter") zu schützen. In der Praxis kommt es häufig vor, daß Pflanzenschutzmaßnahmen in Zeiten mit erhöhten Belastungen durch troposphärisches Ozon durchgeführt werden müssen. Es ist daher nicht auszuschließen, daß sich Ozon und Pflanzenschutzmittel, die beide als Stressoren anzusehen sind, in ihrer Wirkung auf Pflanzen gegenseitig beeinflussen. Dabei ist sowohl ein Einfluß des Ozons auf die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln in Betracht zu ziehen (Sanders et al. 1993; Hatzios, 1983a; Dixon et al., 1995) als auch umgekehrt eine Modifikation der Schadwirkung des Ozons durch die eingesetzten Pflanzenschutzmittel. Anhand der in der Literatur veröffentlichten Daten soll nur der zweite Aspekt näher untersucht werden, nämlich der modifizierende Einfluß von Pflanzenschutzmitteln auf die Schadwirkung von Ozon auf Pflanzen.

### 2 Physiologisch-biochemische Grundlagen der Wirkung von Ozon und Pflanzenschutzmitteln auf Pflanzen

#### 2.1 Ozon

Die durch Autoverkehr und industrielle Aktivitäten verursachte Emission von Methan (CH<sub>4</sub>), Stickoxiden (NO<sub>x</sub>), Kohlenmonoxid (CO) und flüchtigen Kohlenwasserstoffen (VOC), die Vorläuferverbindungen für O<sub>3</sub> sind, hat die O<sub>3</sub>-Konzentration in den für die Pflanzenproduktion genutzten ländlichen Regionen der Nordhemisphäre, verglichen mit der vorindustriellen Zeit, verdoppelt bis verdreifacht. Derzeit wird mit einer Steigerungsrate der O<sub>3</sub>-Konzentration von 1-2 % pro Jahr gerechnet (Bender und Weigel, 1995).

Darstellungen über die Chemie der Ozonbildung geben Krupa und Manning (1988), sowie Chameides und Lodge (1992). Ozonschäden an Pflanzen wurden zuerst Ende der 40er Jahre in Südkalifornien beobachtet und stellen inzwischen weltweit ein Problem dar. Die troposphärischen Ozonkonzentrationen

sind starken Schwankungen unterworfen und folgen Jahres- und tageszeitlichen Zyklen.

Die Ozonbelastung von Pflanzen wirkt sich vielfältig auf ihre Stoffwechselleistungen aus und kann zu reversiblen oder irreversiblen Schäden führen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, diese Ozonwirkungen zu klassifizieren.

In der Literatur wurden akute und latente Ozonschädigungen an Pflanzen sowie primäre und sekundäre Effekte der Ozoneinwirkung auf Pflanzen unterschieden (Bender und Weigel, 1995). Für das Verständnis der in der Literatur geäußerten Hypothesen zur Ozonwirkung ist die Kenntnis der Primäreffekte des Ozons besonders wichtig.

Akute Schädigungen sind dadurch charakterisiert, daß sie bei kurzzeitiger Einwirkung einer hohen Ozonkonzentration schon nach wenigen Stunden sichtbare Schäden an den Pflanzen verursachen. Dabei handelt es sich entweder um Chlorosen oder Nekrosen, die vorwiegend an der Ober-, aber auch auf der Unterseite von Blättern beobachtet werden können. Abhängig von der Spezies können sich Chlorosen durch Braun- oder Rotfärbung, aber auch durch Bleichung der Blattfarbstoffe als weiße Flecken äußern. Nekrosen machen sich meist als punktförmige schwarze Flecken bemerkbar, die eine Zerstörung von Zellen des besonders O<sub>3</sub>-empfindlichen Palisadenparenchyms anzeigen (Krupa und Manning, 1988).

Latente Schädigungen werden in der Regel durch langzeitige Exposition von Pflanzen schon durch geringere Ozonkonzentrationen hervorgerufen. Sie manifestieren sich z. B. durch Wachstumsinderungen, Ertragseinbußen oder verfrühte Seneszenz, wobei über das Ausmaß der Ertragseinbußen sowie die Konzentration und Einwirkungsdauer, die zu einem maximalen Effekt führen, noch Unklarheit herrscht (Legge et al., 1995).

Über die Primäreffekte der Ozonschädigung auf der subzellulären und zellulären Ebene gibt es Vorstellungen und Hypothesen, die aber durch experimentelle Befunde erst teilweise gestützt werden. So ist nicht geklärt, ob das Ozonmolekül Zellorganellen direkt durch ozonolytische Reaktionen schädigt oder indirekt durch Bildung von radikalischen Folgeprodukten des Ozons. Die aus Modellrechnungen ermittelte geringe Eindringtiefe des Ozonmoleküls in die Mesophyllzellen spricht eher für die Primärschädigung durch radikalische Ozonfolgeprodukte (Laisk et al., 1989). Für diesen Fall wird angenommen, daß es in der Zelle durch Ozon zu einer radikalischen Kettenreaktion durch Peroxidation kommt, in der die Radikalfolgeprodukte des Ozons (Hydroxyl-, Hydroperoxyl- und Superoxid-Radikale) die Zellmembranen oxidativ verändern (Salin, 1987) und damit durch Änderung der Permeabilitätseigenschaften die Zellorganellen schädigen. Als bevorzugte Angriffsorte werden die Doppelbindungen ungesättigter Fettsäuren, die SH-Gruppen membrangebundener Proteine und die Oxidation der Esterbindungen von hydrophilen Kopfgruppen in membrangebundenen Phospho- und

Glucolipiden angesehen (Guderian, 1994). Da die Integrität der Zellmembranstrukturen Voraussetzung für das ungestörte Funktionieren aller StoffwechsellLeistungen der Zelle ist, werden bei ozongeschädigten Pflanzen vielfältige Veränderungen und Beeinträchtigungen der StoffwechsellLeistungen gefunden.

Diese Folgereaktionen werden als sekundäre Effekte der Ozon-schädigung bezeichnet. Sie beeinflussen die StoffwechsellLeistungen der Pflanzen auf vielfältige Weise und manifestieren sich auf allen Organisationsebenen vom subzellulären Bereich der Einzel-pflanze bis zu ökologischen Auswirkungen in Pflanzengesell-schaften (Bender und Weigel, 1995). Sekundäreffekte wurden z. B. auf Photosynthese und Photorespiration, sowie auf den Kohlehydrat-, Stickstoff- und Lipidstoffwechsel beobachtet. Auch die Produktion sekundärer Pflanzenstoffe wird beeinflusst, z. B. die Pigmentbildung in ozongeschädigten Blättern. Weiterhin kommt es zu Verschiebungen in der Kohlenstoffallokation als Folge eines geänderten Quellen-Senkenverhältnisses in der Assimilatverteilung (Cooley und Manning, 1987). Im Freiland wird die Abschätzung sekundärer Ozonwirkungen dadurch erschwert, daß abiotische und biotische Faktoren die Ozonwirkung wesentlich modifizieren. Diese Faktoren können die Ozonwirkung sowohl verstärken wie abschwächen. Da eine ausführliche Darstellung der sekundären Effekte den Rahmen dieser Übersicht überschreiten würde, sei auf zusammenfassende Arbeiten von Runeckles und Chevone (1992), Chappelka und Chevone (1992) und Bender und Weigel (1995) verwiesen.

Etwas eingehender sei aber auf Schutzmechanismen eingegangen, die bei oxidativen Schädigungen, wie sie durch Ozonbelastung entstehen, aktiviert werden (Alschner und Amthor, 1988; Asada und Takahashi, 1987).

Aktivierete Sauerstoff-Spezies entstehen in der Zelle nicht nur durch Ozonbelastung, sondern im Verlauf des normalen Stoffwechsels (besonders bei der Photosynthese). Aber auch durch weiteren abiotischen (Hitze, Frost, Trockenheit, Schadstoffbelastung) und biotischen (Pathogenbefall) Stress entsteht aktivierter Sauerstoff. Im Verlauf der Evolution haben Pflanzen Mechanismen entwickelt, über Antioxidantien wie Ascorbat, Glutathion, Alpha-Tocopherol oder Polyamine aktivierte Sauerstoffspezies abzufangen (Alschner und Amthor, 1988; Alschner, 1989). Miteinander verkoppelte Enzymsysteme wie Superoxiddismutase, Ascorbatperoxidase und Glutathionreduktase katalysieren in den Chloroplasten die Synthese von Antioxidantien und die schnelle Umwandlung von hochreaktiven, und damit für die Zelle giftigen Sauerstoffspezies in weniger schädliche oder ungiftige Verbindungen (Salin, 1987). In den Peroxisomen sorgt das Enzym Katalase für einen schnellen Abbau von  $H_2O_2$ . Obwohl ein Einfluß von Ozon auf die Antioxidantienkonzentration in ozonbelasteten Zellen nachgewiesen wurde, sind die Ergebnisse insofern noch widersprüchlich, als sowohl ein Anstieg, wie auch ein Abfall des Antioxidantientiters beobachtet wurde (Bender und Weigel, 1995). Die pflanzeigenen Schutzmechanismen spielen bei der Hypothesenbildung über die Kombinationswirkung von Ozon und Pflanzenschutzmittel eine wichtige Rolle.

## 2.2 Pflanzenschutzmittel

Pflanzenschutzmittel werden u. a. nach den Zielorganismen, gegen die sie wirken sollen eingeteilt (Herbizide, Fungizide, Insektizide, Akarizide usw.). Potentielle Pflanzenschutzmittel werden auch heute noch mehr oder weniger zufällig gefunden (Screeningverfahren). Die Wirksamkeit eines Pflanzenschutzmittels besteht im Allgemeinen darin, daß das Pflanzenschutzmittel bestimmte Stoffwechselwege im Schadorganismus behindert oder unterbricht. Nur in Ausnahmefällen können spezifische, nur im Schadorganismus vorhandene Stoffwechselreaktionen zur Bekämpfung genutzt werden, z. B. die Chitinsynthese in Pilzen. In den meisten Fällen, und das gilt besonders für die Herbizide, sind sich Schadorganismus und zu schützende Kulturpflanze in ihrem Stoffwechsel so ähnlich, daß grundsätzlich auch die Kulturpflanze durch das Pflanzenschutzmittel geschädigt werden kann. So beruht z. B. die Wirkung etwa der Hälfte der Herbizide in der Schädigung der Photosynthese, speziell des lichtabhängigen Photosystems II, das auch die Kulturpflanzen besitzen. Aus diesem Grund müssen sich die zu schützende Kulturpflanze und der Schadorganismus deutlich in ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer bestimmten chemischen Verbindung unterscheiden oder die Kulturpflanzen müssen Entgiftungsmechanismen aufweisen, die das "Unkraut" nicht besitzt. Pflanzenschutzmittel stellen also für das "Unkraut", ebenso wie für die Kulturpflanze Stressoren dar. Bei der Entwicklung von chemischen Pflanzenschutzmitteln besteht die Herausforderung darin, Verbindungen zu finden, die für den einzudämmenden Zielorganismus langfristig schädlicher sind, als für die zu schützende Kulturpflanze, d. h. bei einer bestimmten Pflanzenschutzmittelkonzentration muß sich die Kulturpflanze wieder erholen können, das "Unkraut" aber nicht (Lichtenthaler, 1996). In neuester Zeit wird versucht, die Unterschiede in der Sensitivität gegenüber Pflanzenschutzmitteln dadurch zu erhöhen, daß man durch gentechnische Methoden gezielt Resistenzen gegen ein bestimmtes Herbizid in die Kulturpflanze einführt und sie so gegen dessen Toxizität unempfindlicher macht (Hérquart et al., 1993). Sowohl die Herbizide wie die Fungizide gehören sehr verschiedenen Substanzklassen an und haben daher unterschiedliche Stoffwechselwege ihrer Zielorganismen als Angriffsziel. Auf Einzelheiten soll hier nicht eingegangen werden.

## 3 Kombinationswirkung zwischen Ozon und Pflanzenschutzmitteln

Grundsätzlich kann die Kombinationswirkung von zwei Einflußgrößen (hier Ozon und Pflanzenschutzmittel) auf eine Zielgröße (hier die Kulturpflanze) additiv, synergistisch oder antagonistisch sein. Von Wechselwirkung spricht man nur beim Auftreten von synergistischen und antagonistischen Effekten. Bei einem additiven Effekt addiert sich zu der oft nachteiligen Wirkung von Pflanzenschutzmitteln auf Morphologie, Physiologie und Biochemie der Pflanzen eine Schädigung durch Ozon. Bei einem synergistischen Effekt ist die Schädigung der beiden Noxen größer als die Summe der Wirkungen der Einzelstoffe und bei einem antagonistischen Effekt fällt die Schädigung geringer aus als aus der Addition der Einzelwirkungen zu erwarten wäre.

Man kann in diesem Fall von einem Schutzeffekt sprechen.

Seit sich Ende der 60er Jahre abzuzeichnen begann, daß luftgetragene Schadstoffe, insbesondere Ozon, nicht nur sichtbare morphologische Schäden an Pflanzenorganen (vorwiegend Blättern) hervorrufen, sondern auch Ernteverluste mit sich bringen können, wurden zahlreiche Versuche unternommen, die Pflanzen durch Behandlung mit Chemikalien vor solchen Schäden zu schützen. Neben Antioxidantien der verschiedensten Art (pflanzeigene und künstliche) wurden schützende Stäube und Wachse als Schutzüberzüge, Wachstumsregulatoren (Phytohormone) und die verschiedensten Pflanzenschutzmittel (Fungizide, Herbizide, Insektizide) auf ihre Schutzwirkung gegen luftgetragene Schadstoffe, insbesondere Ozon untersucht. Die zuweilen beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln beobachtete Schutzwirkung gegenüber Ozon, war oft das Ergebnis von Zufallsbeobachtungen. Eine Zusammenfassung der älteren Arbeiten geben Ormrod und Adedipe (1974).

Im folgenden soll der Schwerpunkt auf die Kombinationswirkung zwischen Ozon und solchen Verbindungen gelegt werden, die neben anderen Eigenschaften zumindest auch Pflanzenschutzwirkung zeigen. Andere Verbindungen, die als Schutzstoffe erprobt wurden, wie pflanzeigene (endogene) und -fremde (exogene) Antioxidantien, Pflanzenhormone, Wachstumshemmer und Seneszenzinhibitoren, die keine Pflanzenschutzwirkung haben, sollen hier ebenso außeracht bleiben wie die umfangreiche Literatur über den ausschließlich für experimentelle Zwecke genutzten Schutzstoff gegen Ozonschäden Ethylendiharnstoff (EDU). Die meisten der untersuchten Pflanzenschutzmittel gehören zu den Fungiziden und den Herbiziden.

Daß es Kombinationswirkungen zwischen Pflanzenschutzmitteln und Ozon gibt, ist schon seit längerer Zeit bekannt. Die Mehrzahl der Untersuchungen konzentrierte sich auf die Frage, ob der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln als erwünschten Nebeneffekt die Pflanzen auch gegen Ozonschäden schützen kann. Es gibt darüber nur wenige neuere zusammenfassende Arbeiten (Sanders et al., 1993; Manning und Krupa, 1992; Pandey und Agrawal, 1993).

### 3.1 Kombinationswirkung Fungizide-Ozon

In Tabelle 1 (siehe Anhang) wurden aus der Literatur entnommene Daten zur Kombinationswirkung von Fungiziden und Ozon zusammengestellt. Die verwendeten Pflanzenschutzpräparate wurden gemäß ihrer Zugehörigkeit zu chemischen Stoffklassen aufgelistet. Nur die mit einem Stern (\*) versehenen Präparate waren 1995 in Deutschland zugelassen, viele der jetzt zugelassenen Fungizide sind auf ihre Kombinationswirkung mit Ozon nicht systematisch untersucht.

Die meisten Publikationen sind in den 70er Jahren erschienen und stammen von einer begrenzten Zahl von Untersuchergruppen. Weiterhin ist festzustellen, daß sich die Versuchsbedingungen bei den verschiedenen Untersuchergruppen nicht unbeträchtlich unterscheiden. So wurden, was die Ozonbehandlung anbetrifft, Begasungsverfahren mit unterschiedlichen Konzentrationen über verschiedene Zeiträume unter mehr oder weniger standardisierten Bedingungen eingesetzt. Manche Untersuchungen wurden auch bei natürlicher Umgebungsbelastung durchgeführt, wobei die

Ozonkonzentration durch Messung erfaßt wurde. Bei den Fungiziden wurden neben Einzelsubstanzen auch Formulierungen aus mehreren Substanzen, wie sie von der Industrie angeboten werden, eingesetzt. Bei diesen Kombinationspräparaten ist die Beurteilung der Einzelwirkungen nicht möglich. Als Versuchspflanzen dienten vor allem Bohnensorten, Weizen, Kartoffel, Tomate, Wein und Tabak, aber auch Gräser und Zierpflanzen. Bei der Applikation der Fungizide wurden Sprüh- und Gießverfahren angewandt sowie verschiedene Methoden zur Einarbeitung des Pflanzenschutzmittels in den Boden. Als Testkriterien wurden vor allem sichtbare Schäden an den Pflanzen und der Ertrag benutzt, aber auch Pflanzenfrisch- und -trockengewichte, Knöllchenbildung bei stickstoff-fixierenden Pflanzen und Chlorophyllgehalt. Von den eingesetzten Fungiziden wurde besonders die Schutzwirkung der Benzimidazolverbindung Benomyl gegenüber Ozonschäden an verschiedenen Kulturpflanzen untersucht.

Trotz der sehr heterogenen Versuchsbedingungen können folgende verallgemeinernde Feststellungen gemacht werden: In fast allen untersuchten Substanzklassen wurden Verbindungen gefunden, die einen Schutzeffekt gegenüber Ozonschädigung ausübten, wobei vollständiger Schutz selten erreicht wurde. Die Versuchsbedingungen hatten Einfluß auf das Ausmaß des Schutzes. Dabei haben sich folgende Variablen als kritisch erwiesen:

- Die Konzentration des Fungizids. Mit steigender Konzentration erhöht sich auch die Schutzwirkung. Gleichzeitig führen erhöhte Konzentrationen aber auch zu morphologischen Veränderungen (z. B. Stauchung des Sprosses, erhöhter Chlorophyllgehalt) und teilweise auch zu Schädigung der Wirtspflanzen (Verwelken, Wuchshemmung, Wurzelschäden).
- Die Applikationsform: Das Besprühen der Pflanzen erweist sich im Allgemeinen als weniger wirksam als das Begießen des Substrates oder die Einarbeitung des Fungizids in den Boden.
- Die Häufigkeit der Anwendung: Nach einmaliger Behandlung läßt die Schutzwirkung häufig nach. Wiederholte Behandlung mit dem Fungizid verlängert meist auch den Zeitraum über den der Schutz anhält.
- Die zeitliche Abfolge von Pflanzenschutzmittel und Ozoneinwirkung. Es war z. B. nicht gleichgültig, ob die Ozoneinwirkung vor oder nach dem Pflanzenschutzmitteleinsatz erfolgte (Hatzios und Yang, 1983). Auch der Zeitpunkt des Auflaufens der Pflanzen war von Bedeutung.
- Sortenunterschiede. Bei der Bohne *Phaseolus vulgaris* haben Manning et al. (1974) unterschiedlich ausgeprägte Schutzwirkungen durch Benomyl bei den Sorten 'PintoIII' und 'Tenderwhite' festgestellt.

### 3.2 Kombinationswirkung Herbizide-Ozon

Die in der Literatur gefundenen Ergebnisse zur Kombinationswirkung von Herbiziden und Ozon wurden in Tabelle 2 (siehe Anhang) zusammengestellt. Wegen der chemischen Heterogenität der Herbizide wurde in der tabellarischen Aufstellung auf eine Anordnung nach chemischen Substanzklassen verzichtet. Nur die mit einem Stern (\*) versehenen Präparate waren 1995 in Deutschland zugelassen, viele der jetzt zugelassenen Herbizide sind nicht auf ihre Kombinationswirkung mit Ozon untersucht.

Ähnlich wie bei den Kombinationswirkungen von Fungiziden und Ozon sind es auch hier nur wenige Untersuchungsgruppen, die in den 70er und Anfang der 80er Jahre die Kombinationswirkung von Herbiziden und Ozon untersuchten. Die Untersuchungen wurden am häufigsten an Tabakpflanzen vorgenommen, daneben wurden die Kulturpflanzen Mais, Hirse, Tomate, Bohne und Zuckerrübe als Versuchspflanzen verwendet. Die Applikationsweisen für die Herbizide unterschieden sich bei den verschiedenen Arbeitsgruppen. Sowohl Sprühapplikationen wie auch Gießen und Einarbeitung in das Substrat wurden praktiziert. Die zeitliche Abfolge zwischen Ozonbegasung und Herbizideinsatz scheint ebenso einen Einfluß auf die Ozonschädigung zu haben wie der Zeitpunkt der Herbizidanwendung (vor oder nach dem Auflaufen der Pflanzen).

Neben den Blattschädigungen wurden häufig auch die Pflanzentrockengewichte als Testkriterium herangezogen. Besonderes Interesse fand die Art der Kombinationswirkung (additiv, synergistisch, antagonistisch).

Es wurden vor allem additive und antagonistische Effekte und seltener synergistische Effekte beobachtet.

#### **4 Hypothesen zu den Mechanismen der Kombinationswirkung von Pflanzenschutzmitteln und Ozon**

Zur Kombinationswirkung von Pflanzenschutzmitteln und Ozon gibt es zwar einige Hypothesen, die aber durch die experimentellen Befunde erst teilweise abgesichert sind. Die Entwicklung von Hypothesen wird dadurch erschwert, daß die der Ozonschädigung zugrunde liegenden Mechanismen nur teilweise bekannt sind.

Verschiedene Hypothesen zielen auf den Einfluß der anfangs erwähnten Schutzmechanismen von Pflanzen gegen oxidativen Stress. Die potentiell schädliche Wirkung zumindest einiger der eingesetzten Pflanzenschutzmittel wie z. B. des Herbizids Paraquat beruht auf der Erzeugung freier Radikalspezies (Shaltiel und Gressel, 1986). Wenn infolge von Ozonbelastung weitere freie Radikale erzeugt werden, könnten die Schutzmechanismen gegen oxidative Beschädigung der Zellmembranen überladen werden und somit ihre Radikalfängerfunktion nicht mehr ausreichend ausüben können (Sanders et al. 1993). Dies würde eine synergistische, d. h. eine über einen additiven Effekt hinausgehende Wirkung mancher Herbizide in Verbindung mit Ozonbelastung erklären.

In den letzten Jahren sind einige interessante Zusammenhänge zwischen der Ozonschadwirkung und dem Hormonstoffwechsel von Pflanzen im Rahmen der Stressforschung entdeckt worden, die auch für die Erklärung der Wechselwirkung von Ozon und Pflanzenschutzmitteln von Bedeutung sind. Stimuliert wurde diese Forschungsrichtung durch die Aufklärung des Ethylensyntheseweges aus Methionin (Adams und Yang, 1981). Eine grundlegende Beobachtung war die erhöhte Synthese von Ethylen bei abiotischen und biotischen Stresseinflüssen der verschiedensten Art (Yang und Hoffman, 1984). Nachdem schon länger bekannt war, daß ungesättigte Kohlenwasserstoffe die Schadwirkung von Ozon verstärken (Middleton, 1961), haben Elstner et al. (1985) zuerst vermutet, daß die Konzentration des Pflanzenhormons Ethylen einen Einfluß auf die Schadwir-

kung des Ozons hat, weil es durch Reaktion von Ozon und Ethylen zur Bildung von freien Radikalen kommt, deren membranschädigende Wirkung bekannt ist. Diese Befunde werden durch neuere Arbeiten gestützt (Mehlhorn und Wellburn, 1987; Mehlhorn et al. 1990; Mehlhorn et al., 1991), die u. a. durch den Einsatz der Elektronenspinresonanzspektrometrie nachweisen konnten, daß bei erhöhten Ozonkonzentrationen vermehrt Radikale in den Pflanzen gebildet werden. Durch Untersuchungen mit dem Ethylensynthesehemmer Aminoethoxyvinylglycin (AVG) konnten sie weiterhin zeigen, daß der Anstieg freier Radikale offenbar mit der Reaktion von Ozon mit pflanzeneigenem Ethylen verbunden ist. Aus Versuchen an Bohne und Erbse, die mit Ethylen vorbehandelt waren, kommt Mehlhorn (1990) zu dem Schluß, daß Blattschäden, die entweder durch Ozon oder durch das Herbizid Paraquat erzeugt wurden, durch Prä-Exposition mit Ethylen gemildert werden. Er erklärt diesen Befund damit, daß Ethylen die Synthese von Ascorbat-Peroxidase stimuliert und damit den Schutz der Pflanzen vor  $H_2O_2$ , das im Verlauf der Ozon- oder Paraquateinwirkung neben freien Radikalen entsteht, fördert. Welche Rolle die Superoxiddismutase bei der Ozonentgiftung spielt, ist noch nicht endgültig geklärt. Die Befunde sind widersprüchlich (Bennett et al., 1984; Lee und Bennett, 1982; Chanway und Runeckles, 1984; Pitcher et al.; 1992).

Für das Verständnis der Kombinationswirkung von Pflanzenschutzmitteln und Ozon ist weiterhin von Bedeutung, daß manche Pflanzenschutzmittel auch wachstumsregulierende, also phytohormonähnliche Eigenschaften zu besitzen scheinen und damit als synthetische Wachstumsregulatoren anzusehen sind. Dies gilt besonders für die Fungizide auf Triazolbasis, wie Triadimefon, Triadimenol oder Uniconazol (Fletcher et al., 1986; Fletcher und Hofstra, 1988; Kraus et al., 1991), die zu den Gibberellinhibitoren gezählt werden. Darüber hinaus wurde festgestellt, daß sowohl Triadimefon (Abbas et al., 1989), als auch Uniconazol (Kraus et al., 1991) die Produktion von Ethylen in Gurken- bzw. Weizenkeimlingen reduzieren. Sie üben damit eine ähnliche Wirkung aus, wie der nicht als Pflanzenschutzmittel eingesetzte Wachstumshemmer auf Triazolbasis BAS111W oder die Norbornanodiazetin-Verbindung Tetcyclacis, die beide die Ethylensynthese in Pflanzen hemmen (Grossmann et al., 1989; Sauerbrey et al., 1988).

Diese Befunde deuten darauf hin, daß die Schutzwirkung von Fungiziden gegenüber Ozon, zumindest von solchen auf Triazolbasis, in einer Hemmung der Ethylensynthese beruhen könnte, wodurch gleichzeitig die Produktion von membranschädigenden freien Radikalen unterdrückt würde.

Ein gewisser Widerspruch bei der Erklärung des Ethyleneinflusses auf die Ozonwirkung, den auch Mehlhorn (1990) erkannt hat, besteht allerdings darin, daß einerseits erhöhte Stressethylenausschüttung über die Stimulierung des Ascorbat-Peroxidase-Systems zur verstärkten Entgiftung von zellschädigenden Sauerstoffspezies beitragen soll, es andererseits aber durch Reaktion von Ethylen mit Ozon verstärkt zu peroxidativen Prozessen kommt. Damit würde Ethylen zwei gegenläufige Prozesse in Gang setzen. Mehlhorn (1990) glaubt, daß zu Beginn einer Ozonepisode peroxidative Prozesse vorherrschen, bei länger andauernder Ozonwirkung die Pflanzen aber infolge

einer erhöhten Ascorbatperoxidase-Aktivität resistenter gegenüber Ozonschädigungen werden. Die These, daß ein Zusammenhang zwischen stressbedingter Ethylenkonzentration und Ozonschädigung besteht, ist allerdings nicht unwidersprochen geblieben (Chameides, 1989; Zwoch et al., 1990).

Nach einer älteren Hypothese von Rubin et al. (1980) können Antioxidantien die 'mikrosomalen Mischfunktions-Oxidasen' hemmen. Nach ihrer Hypothese wird dieses sauerstoffabhängige Oxidase-System durch die Einwirkung von Ozon 'hyperaktiv' und oxidiert verstärkt die verschiedensten Zellbestandteile. Antioxidantien sollen dieser ozoninduzierten Hyperaktivität entgegenwirken.

Antagonistische Effekte werden auch damit erklärt, daß einige der Mittel den Verschuß der Stomata fördern (Pandey und Agrawal, 1993; Lee et al., 1990; Sanders et al.; 1993). Messungen der stomatären Leitfähigkeit stützen diese These aber nicht immer (Reilly und Moore, 1982).

## 5 Resumee

Aus der Auswertung der Literatur geht hervor, daß eine größere Zahl von Substanzen mit Fungizid- und Herbizidcharakter auf ihre Wechselwirkung mit Ozon untersucht wurden, bei weitem aber nicht alle. Viele der derzeit in Deutschland zugelassenen Pflanzenschutzmittel wurde in dieser Hinsicht nicht untersucht (Hock und Elstner, 1988). Naturgemäß wurden vor allem die Pflanzenschutzmittel getestet, die in den 70er und Anfang der 80er Jahre gebräuchlich waren, in denen die einschlägigen Untersuchungen hauptsächlich durchgeführt wurden.

Obwohl von vielen Autoren Schutzwirkungen gegen O<sub>3</sub> durch den Pestizideinsatz beobachtet wurden, sind die Ergebnisse der Untersuchungen heterogen, oft widersprüchlich. Dies gilt verstärkt für experimentelle Anordnungen, in denen zusätzlich zu Pestizid und Ozon weitere Stoffe (Schutzstoffe, Wirkungsverstärker) in die Versuche einbezogen wurden. Auch der starke Einfluß von biotischen (Schädlingsbefall) und abiotischen Faktoren (Nährstoffstatus, Feuchte, Trockenheit, Frost, Wind) tragen bei Freilandversuchen zu der starken Variabilität der Versuchsergebnisse bei. Aber selbst die Vielfalt der im Prinzip in Laborexperimenten angewandten, also kontrollierbaren Versuchsbedingungen trugen zur Variabilität der Ergebnisse bei.

Neben Arten- und Sortenunterschieden haben sich die Applikationsart für die Pflanzenschutzmittel (Sprühtechniken, Tauchverfahren, Einarbeitung in das Substrat), und die zeitliche Abfolge von Ozonepisoden und Pflanzenschutzmitteleinsatz als variiierende Faktoren erwiesen. Weiterhin scheinen die Pflanzenschutzmitteldosis sowie die Häufigkeit und Abstände der Anwendungen während des Versuchszeitraums einen Einfluß auf die Wirkungsweise der Pflanzenschutzmittel auszuüben. Aus all diesen Gründen ist der Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersuchungen, selbst wenn sie von der gleichen Pflanzenart und dem gleichen Pflanzenschutzmittel stammen, problematisch.

In zwei zusammenfassenden Arbeiten wird die Frage nach der Zweckmäßigkeit und den Einschränkungen von chemischen Schutzstoffen im Allgemeinen beim Einsatz gegen luftgetragene Schadstoffe gestellt (Guderian et al., 1985; Pandey und Agrawal, 1993). Dabei werden folgende Nachteile aufgeführt:

- Häufige Wiederholung der Applikation, um einen längerdauernden Schutz zu gewährleisten und die hohen Kosten, die beim Einsatz solcher Mittel entstehen, wenn sie wiederholt angewendet werden müssen
- Das eingeschränkte Einsatzspektrum der meisten chemischen Schutzstoffe. Sie wirken nur gegen bestimmte luftgetragene Schadstoffe und nur auf bestimmte Pflanzenarten
- Schad- und Nebenwirkungen der eingesetzten Stoffe, die sich auch nachteilig auf die Umwelt und die Nahrungsmittel auswirken können
- Die Schwierigkeit, Belastungszeiträume durch luftgetragene Schadstoffe vorherzusehen.

Alle diese Einschränkungen und Vorbehalte gelten auch für die Pflanzenschutzmittel, wenn gleichzeitig ein Schutz vor Ozonschädigungen angestrebt wird.

Attraktiv wäre ein Pflanzenschutzmittel als Kombinationspräparat mit gleichzeitiger Schutzwirkung gegen Ozonschäden nur dann, wenn es

- seine Doppelfunktion ohne zusätzliche Arbeitsgänge entfalten würde und
- anderen nicht als Pflanzenschutzmittel eingesetzten Schutzstoffen überlegen oder zumindest ebenbürtig wäre.

Ein Pflanzenschutzmittel mit diesen Eigenschaften ist bis jetzt nicht in Sicht. Daß z. B. Ethylendiharnstoff (EDU) in die landwirtschaftliche Praxis bis heute keinen Eingang gefunden hat, obwohl es oft eine bessere Schutzwirkung gegen Ozonschäden gezeigt hat als die parallel getesteten Pflanzenschutzmittel (Lee et al., 1990; Hofstra et al., 1978; Bisesar, 1982), liegt vermutlich darin, daß für seinen Einsatz eine weitere kosten- und arbeitsintensive Behandlung durchgeführt werden müßte.

## Zusammenfassung

Pflanzen sind im Verlauf ihrer Ontogenese zahlreichen Streßfaktoren ausgesetzt. Neben natürlichen Stressoren wirken sich zunehmend anthropogene Einflüsse wie z. B. Schadgase in der Atmosphäre belastend auf das Gedeihen der Pflanzen aus. So steigt der Gehalt an troposphärischem Ozon in der Atmosphäre in Bodennähe kontinuierlich an. Gleichzeitig sind Pflanzen einer wachsenden Zahl von xenobiotischen Verbindungen ausgesetzt, die meist unbeabsichtigt, aber auch willentlich in die Umwelt gelangen. Zu letzteren gehören auch industriell hergestellte Pflanzenschutzmittel, die ebenfalls als Xenobiotika bezeichnet werden müssen, da sie in der Natur ursprünglich nicht vorkommen. Es ist nicht auszuschließen, daß es zu Kombinationswirkungen zwischen solchen naturfremden Stoffen und Ozon bei ihrer Einwirkung auf Pflanzen kommt.

Anhand einer Literaturstudie wurde untersucht, welche Erkenntnisse über eine mögliche Kombinationswirkung zwischen Ozon und Pflanzenschutzmitteln (Fungizide, Herbizide) bereits vorliegen.

Die Auswertung der Literatur ergab, daß die meisten Untersuchungen aus den 70er und vom Anfang der 80er Jahre stammen. Nur ein relativ kleiner Teil der auf dem Markt befindlichen Pflanzenschutzmittel wurde untersucht. Pflanzen wurden teils definierten Ozonkonzentrationen ausgesetzt, teils aber auch der Umgebungsluft, deren Ozongehalt gemessen wurde. Gleich-

zeitig wurden die Pflanzen mit Pflanzenschutzmitteln behandelt, wobei unterschiedliche Regime im zeitlichen Ablauf von Pflanzenschutzmitteleinsatz, Ozonbegasung und Auflaufen der Pflanzen angewandt wurden. Ein Schutz vor Ozonschäden wurde sowohl beim Einsatz von Fungiziden als auch von Herbiziden festgestellt. Ein vollständiger Schutz wurde allerdings selten erreicht. Wiederholte Pflanzenschutzanwendungen waren erforderlich um einen länger anhaltenden Schutz zu erreichen. Gleichzeitig wurde festgestellt, daß eine Reihe von Randbedingungen Einfluß auf die Wechselwirkung zwischen den Pflanzenschutzmitteln und Ozon hatten, z. B. die Pflanzenschutzmittelkonzentration, die Häufigkeit der Anwendung sowie die Applikationstechniken (Blattbehandlung, Gießen, Einarbeiten in den Boden). Auch die zeitliche Abfolge von Ozonwirkung, Pflanzenschutzmitteleinsatz und Auflaufen der Pflanzen hatte Einfluß auf die Schutzwirkung.

Über die Wechselwirkung zwischen Pflanzenschutzmitteln und Ozon gibt es eine Reihe von Hypothesen, die bisher nur teilweise durch experimentelle Befunde gestützt werden. Sie wurden in einem eigenen Abschnitt zusammengestellt.

#### Interactions between the tropospheric ozone burden on plants and pesticides

During ontogenesis plants have to cope with numerous natural and anthropogenic stresses. For instance, increasing amounts of noxious gases in the atmosphere affect plant-life. At the same time plants are exposed to increasing numbers of xenobiotic compounds from anthropogenic sources which dissipate mostly unintended into the environment. Pesticides (fungicides, herbicides), however, which have also to be regarded as xenobiotic compounds, are brought into the environment to protect agricultural plants against biotic stresses (fungi, insects, weeds). It cannot be excluded that gases of the atmosphere, like ozone and pesticides interact, thus modifying their effects on plants.

In a literature review the hitherto known interactions between ozone and pesticides were investigated.

The methods used to detect possible interactions between pesticides and ozone varied greatly. Some of the investigators exposed plants to defined artificial ozone concentrations produced in greenhouses or fumigation-chambers, others exposed plants to ambient ozone concentrations in the atmosphere. Moreover, very different regimes and application methods were used when administering pesticides to the plants.

From most experiments it can be derived that fungicides and herbicides can protect plants against ozone damage. However, complete protection is hardly achieved with a one shot treatment and repeated treatments are necessary in general to provide protection for longer periods of time. Moreover, many other factors as for instance the concentration or the pesticides, the application methods (foliar spray, soil drench), the number of repeated treatments and the time schedule of pesticide treatments in relation to ozone episodes had some influence on the interaction of ozone with pesticides.

In the literature various hypotheses have been published on the interaction of ozone and pesticides, which are only partly supported

by experimental results. A compilation of these hypotheses is given in a separate chapter of this literature survey.

#### Dank

Herrn Prof. Dr. H.-J. Weigel danke ich für die Anregung zur Bearbeitung des Themas und Herrn Dr. J. Bender für Diskussionen und die kritische Durchsicht des Manuskripts.

#### Literatur

- Abbas, S.; Fletcher, R.A.; Murr, D. P. (1989): Alteration of ethylene synthesis in cucumber seedlings by triadimefon. - *Canadian Journal of Botany* 67, 278-280.
- Adams, D. O.; Yang, S. F. (1981): Ethylene the gaseous plant hormone: mechanism and regulation of biosynthesis. - *Trends in Biochemical Sciences* 6, 161-164.
- Alscher, R. G. (1989): Biosynthesis and antioxidant function of glutathione in plants. - *Physiology of Plants* 77, 457-464.
- Alscher, R. G.; Amthor, J. S. (1988): The physiology of free-radical scavenging: maintenance and repair processes. - In: *Air Pollution and Plant Metabolism* (Schulte-Hostede, S.; Darall, N.M.; Blank, L.W.; Wellburn, A. R., eds.). Elsevier, London, S. 94-115.
- Asada, K.; Takahashi, M. (1987): Production and scavenging of active oxygen in photosynthesis. - In: *Photoinhibition* (Kyle, D. J.; Osmond, C. B.; Arntzen, C. J., eds.). Elsevier, Amsterdam, S. 227-287.
- Bender, J.; Weigel, H.-J. (1995): Zur Gefährdung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen durch troposphärische Ozonkonzentrationen. - *Berichte über Landwirtschaft* 73, 136-156.
- Bennett, J. H.; Lee, E.H.; Heggstad, H. E. (1984): Biochemical aspects of plant tolerance to ozone and oxyradicals: superoxid dismutase. - In: *Koziol, M. J.; Whatley F. R. (Hrsg.) Gaseous air pollutants and plant metabolism*. Butterworths, London S. 413-424.
- Bisessar, S. (1982): Effect of ozone, antioxidant protection, and early blight on potato in the field. - *Journal of the American Society for Horticultural Science* 107, 597-599.
- Carney, A. W.; Stephenson, D. R.; Ormrod, D. P.; Ashton, G. C. (1973): Ozone-herbicide interactions in crop plants. - *Weed Science* 21, 508-511.
- Cathey, H. M.; Heggstad, H.E. (1972): Reduction of ozone damage to *Petunia hybrida* Vilm. by use of growth regulating chemicals and tolerant cultivars. - *Journal of the American Society for Horticultural Sciences* 97, 695-700.
- Cathey, H. M.; Heggstad, H. E. (1973): Effects of growth retardants and fumigations with ozone and sulfur dioxide on growth and flowering of *Euphorbia pulcherrima* Willd. - *Journal of the American Society for Horticultural Science* 98, 3-7.
- Chamides, W. L. (1989): The chemistry of ozone deposition in plant leaves: the role of ascorbic acid. - *Environmental Science and Technology* 23, 595-600.
- Chamides, W. L.; Lodge, J. P. (1992): Tropospheric Ozone: formation and fate. - In: *Lefohn, A.S. (Hrsg.) Surface Level Ozone Exposure and their Effects on Vegetation*. Lewis Publishers, Chelsea, Mi. S. 5-30.

- Chanway, C. P.; Runeckles, V. C. (1984): The role of superoxide dismutase in the susceptibility of bean leaves to ozone injury. - *Canadian Journal of Botany* 62, 236-240.
- Chappelka, A. H.; Chevone, B. I. (1992): Tree Responses to Ozone. - In: Lefohn, A.S. (Hrsg.) *Surface Level Ozone Exposure and their Effects on Vegetation*. Lewis Publishers, Chelsea, Mi S. 271-324.
- Clarke, B.B.; Henninger, M.R.; Brennan, E. (1978): The effect of two antioxidants on foliar injury and tuber production in 'Norchip' potato plants exposed to ambient oxidants. - *Plant Disease Reporter* 62, 715-717
- Cooley, D. R.; Manning, W. J. (1987): The impact of ozone on assimilate partitioning in plants. - A review. *Environmental Pollution* 47, 95-113.
- Curtis, L. R.; Edgington, L.V.; Littlejohns, D. J. (1975): Oxathiin chemicals for control of bronzing of white beans. - *Canadian Journal of Plant Science* 55, 151-156.
- Dass, H. C.; Weaver, G. M. (1968): Modification of ozone damage to *Phaseolus vulgaris* by antioxidants, thiols and sulfhydryl agents. - *Canadian Journal of Plant Science* 48, 569-574.
- Dixon, J.; Hill, M. R.; Cobb, A. H.; Sanders, G. E. (1995): Ozone pollution modifies the response of sugarbeet to the herbicide phenmedipham. - *Water, Air and Soil Pollution* 85, 1443-1448.
- Dixon, J.; Hill, M. R.; Cobb, A. H.; Sanders, G. E. (1996): A Study of Antagonism Between the Herbicide Phenmedipham and Ozone in Sugarbeet. - *Pesticide Science* 46, 286-287.
- Elstner, E. F.; Osswald, W.; Youngman, R. J. (1985): Basic mechanisms of pigment bleaching and loss of structural resistance in spruce (*Picea abies*) needles: advances in phytomedical diagnostics. - *Experientia* 41, 591-597.
- Fletcher, R. A.; Hofstra, G. (1985): Triadimefon a plant multi-protectant. - *Plant Cell Physiology* 26, 775-780.
- Fletcher, R. A.; Hofstra, G. (1988): Triazoles as potential plant protectants. - In: Berg, D.; Plempel, M. (Hrsg.) *Sterol Biosynthesis Inhibitors*. Ellis Horwood Publishers, Chichester, S. 321-331.
- Fletcher, R. A.; Hofstra, G.; Gao, J. (1986): Comparative fungitoxic and plant growth regulating properties of triazole derivatives. - *Plant Cell Physiology* 27, 367-371.
- Grossmann, K.; Häuser, Ch.; Sauerbrey E.; Fritsch, H.; Schmidt, O.; Jung, J. (1989): Plant growth retardants as inhibitors of ethylene production. - *Journal of Plant Physiology* 134, 538-543.
- Guderian, R. (1994): Von lokaler Belastung zum globalen Problem. Essener Unikate. - *Berichte aus Forschung und Lehre: Naturwissenschaft* 4/5, Essen S. 58-75. Universität Essen.
- Guderian, R.; Tingey, D. T.; Rabe, R. (1985): Effects of Photochemical Oxidants on Plants. - In: Guderian, R. (Hrsg.) *Air Pollution by Photochemical Oxidants*. Ecological Studies 52, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 131-333.
- Hatzios, K. K. (1983): Interactions of the herbicides EPTC and EPTC plus R-25788 with ozone and antioxidants in corn. - *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 31, 1187-1191.
- Hatzios, K. K. (1983): Effects of CGA-43089 on responses of sorghum (*Sorghum bicolor*) to metolachlor combined with ozone or antioxidants. - *Weed Science* 31, 280-284.
- Hatzios, K. K.; Yang, Y. S. (1983a): Responses of ozone-fumigated sorghum and velvetleaf to chlorsulfuron, fluazifop-butyl and sethoxydim. - 377. Proceedings, Southern Weed Science Society, 36th annual meeting.
- Hatzios, K. K.; Yang, Y. S. (1983b): Ozone-herbicide interactions on sorghum (*Sorghum bicolor*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) seedlings. - *Weed Science* 31, 857-861.
- Hérouart, D.; Bowler, C.; Willekens, H.; Camp, W, van; Slooten, L.; Montagu, M, van; Inze, D. (1993): Genetic engineering of oxidative stress resistance in higher plants. - *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences* 342, 235-240.
- Hock, B.; Elstner, E. F. (Hrsg.) (1988): *Schadwirkungen auf Pflanzen. Lehrbuch der Pflanzentoxikologie*. - B I -Verlag, Mannheim, Wien, S. 348.
- Hofstra, G.; Littlejohns, D. A. Wukasch, R. T. (1978): The efficacy of the antioxidant ethylene-diurea (EDU) compared to carboxin and benomyl in reducing yield losses from ozone in navy bean. - *Plant Disease Reporter* 62, 350-352.
- Kender, W. J.; Taschenberg, E. F.; Shaulis, N. J. (1973): Benomyl protection of grapevines from air pollution injury. - *Journal of the American Society for Horticultural Science* 8, 396-398.
- Kendrick Jr., J. B.; Darley, E. F.; Middleton, J. T. (1962): Chemotherapy for oxidant and ozone induced plant damage. - *International Journal of Water and Air Pollution* 6, 391-402.
- Klingaman, G. L.; Link, C. B. (1975): Reduction of air pollution injury to foliage of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. using tolerant cultivars and chemical protectants. - *Journal of the American Society for Horticultural Science* 100, 173-175.
- Kraus, T. E.; Murr, D. P.; Fletcher, R. A. (1991): Uniconazole inhibits stress-induced ethylene in wheat and soybean seedlings. - *Journal of Plant Growth Regulation* 10, 229-234.
- Krupa, S. V.; Manning, W. J. (1988): Atmospheric ozone: formation and effects on vegetation. - *Environmental Pollution* 50, 101-137.
- Laisk, A.; Kull, O.; Moldau, H. (1989): Ozone concentration in leaf intercellular air spaces is close to zero. - *Plant Physiology* 90, 1163-1167.
- Lee, E. H.; Bennett, J. H. (1982): Superoxide dismutase a possible protective enzyme against ozone injury in snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). - *Plant Physiology* 69, 1444-1449.
- Lee, E. H.; Rowland, R. A.; Mulchi, C. L. (1990): Growth regulators serve as a research tool to study the mechanism of plant response to air pollution stimuli. - *British Society for Plant Growth Regulation. Monograph* 20, 127-137.
- Legge, A. H.; Grünhage, L.; Nosal, M.; Jäger, H.-J.; Krupa, S. V. (1995): Ambient ozone and adverse crop response: An evaluation of North American and European data as they relate to exposure indices and critical levels. - *Angewandte Botanik* 69, 192-205.
- Lichtenthaler, H. K. (1996): Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. - *Journal of Plant Physiology* 148, 4-14.

- Mackay, C. E.; Senaratna, T.; McKersie, B. D.; Fletcher, R. A. (1987): Ozone induced injury to cellular membranes in *Triticum aestivum* L. and protection by the triazole S-3307. - *Plant Cell Physiology* 28, 1271-1278.
- Manning, W. J.; Feder, W. A.; Papia, P. M. (1972): Influence of long-term low levels of ozone and benomyl on growth and nodulation of Pinto bean plants. - *Phytopathology* 62, 497.
- Manning, W. J.; Feder, W. A.; Vardaro, P. M. (1973a): Reduction of chronic ozone injury of poinsettia by benomyl. - *Canadian Journal of Plant Science* 53, 833-835.
- Manning, W. J.; Feder, W. A.; Vardaro, P. M. (1973b): Benomyl in soil and response of Pinto bean plants to repeated exposures to a low level of ozone. *Phytopathology* 63, 1539-1540.
- Manning, W. J.; Feder, W. A.; Vardaro, P. M. (1974): Suppression of oxidant injury by benomyl: effects on yields of bean cultivars in the field. - *Journal of Environmental Quality* 3, 1-3.
- Manning, W. J.; Krupa, S. V. (1992): Experimental methodology for studying the effects of ozone on crops and trees. - In: Lefohn, A. S. (Hrsg.) *Surface Level Ozone Exposures and their Effects on Vegetation*. Lewis Publishers, Chelsea, S. 93-156.
- Manning, W. J.; Vardaro, P. M. (1973): Suppression of oxidant injury on beans by systemic fungicides. - *Phytopathology* 63, 1415-1416.
- Mehlhorn, H. (1990): Ethylene-promoted ascorbate peroxidase activity protects plants against hydrogen peroxide, ozone and paraquat. - *Plant, Cell and Environment* 13, 971-976.
- Mehlhorn, H.; O'Shea, J. M.; Wellburn, A. R. (1991): Atmospheric ozone interacts with stress ethylene formation by plants to cause visible plant injury. - *Journal of Experimental Botany* 42, 17-24.
- Mehlhorn, H.; Tabner, B. J.; Wellburn, A. R. (1990): Electron spin resonance evidence for the formation of free radicals in plants exposed to ozone. - *Physiologia Plantarum* 79, 377-383.
- Mehlhorn, H.; Wellburn, A. R. (1987): Stress ethylene formation determines plant sensitivity to ozone. - *Nature* 327, 417-418.
- Mersie, W.; Mebrahtu, T.; Rangappa, M. (1990): Response of corn to combinations of atrazine, propyl gallate and ozone. - *Environmental and Experimental Botany* 30, 443-449.
- Middleton, J. T. (1961): Photochemical air pollution damage to plants. - *Annual Review of Plant Physiology* 12, 431-448.
- Miller, P. M.; Tomlinson, H.; Taylor, G. S. (1976): Reducing severity of ozone damage to tobacco and beans by combining benomyl or carboxin with contact nematicides. - *Plant Disease Reporter* 60, 433-436.
- Moyer, J.; Cole, H., Jr.; Lacasse, N. L. (1974): Reduction of ozone injury on *Poa annua* by benomyl and thiophanate. - *Plant Disease Reporter* 58, 41-44.
- Musselman, R. C. (1985): Protecting grapes from ozone injury with ethylenediurea and benomyl. - *American Journal of Enology and Viticulture* 36,38-41.
- Obst, A.; Baumer, M.; Huber, G. (1995): Nichtparasitär bedingte Blattverbräunung bei Gerste - ein Problem von zunehmender Bedeutung? - *Gesunde Pflanzen* 47, 308-314.
- Olszyk, D. M.; Tingey, D. T. (1985): Metabolic basis for injury to plants from combinations of O<sub>3</sub> and SO<sub>2</sub>. - *Plant Physiology* 77, 935-939.
- Ordin, L.; Taylor, O. C.; Propst, B. E.; Cardiff, E. A. (1962): Use of antioxidants to protect plants from oxidant type air pollution. - *International Journal of Water and Air Pollution* 6, 223-227.
- Ormrod, D. P.; Adedipe, N. O. (1974): Protecting horticultural plants from atmospheric pollutants: a review. - *HortScience* 9, 108-111.
- Pandey, J.; Agrawal, M. (1993): Protection of plants against air pollutants: Role of chemical protectants. - *Journal of Environmental Management* 37, 163-174.
- Papple, D. J.; Ormrod, D. P. (1977): Comparative efficacy of ozone-injury suppression by benomyl and carboxin on turf-grasses. - *Journal of the American Society for Horticultural Science* 102, 792-796.
- Pellissier, M.; Lacasse, N. L.; Cole, H. (1971a): Effectiveness of benzimidazole and two benzimidazole derivative fungicides in reducing ozone injury to *Phaseolus vulgaris* 'Pinto III'. - *Phytopathology* 61, 906.
- Pellissier, M.; Lacasse, N. L.; Cole, H. (1971b): Effect of Benomyl on the response to ozone in pinto beans. - *Phytopathology* 61, 131-132.
- Pellissier, M.; Lacasse, N. L.; Cole, H. (1972a): Effectiveness of benomyl and benomyl-folicote treatments in reducing ozone injury to Pinto beans. - *Journal of the Air Pollution Control Association* 22, 722-725.
- Pellissier, M.; Lacasse, N. L.; Cole, H. (1972b): Effectiveness of benzimidazole, benomyl, and thiabendazole in reducing ozone injury to Pinto beans. - *Phytopathology* 62, 580-582.
- Pitcher, L. H.; Brennan, E.; Zilinskas B. A. (1992): The antiozonant ethylenediurea does not act via superoxid dismutase induction in bean. - *Plant Physiology* 99, 1388-1392.
- Reilly, J. J.; Moore, L. D. (1982): Influence of selected herbicides on ozone injury in tobacco (*Nicotiana tabacum*). *Weed Science* 30, 260-263.
- Reinert, R. A.; Spurr, H. W., Jr. (1972): Differential effect of fungicides on ozone injury and brown spot disease of tobacco. - *Journal of Environmental Quality* 1, 450-452.
- Rich, S.; Ames, R.; Zukel, J. W. (1974): 1,4-oxathiin derivatives protect plants against ozone. - *Plant Disease Reporter* 58, 162-164.
- Rubin, B.; Leavitt, J. R. C.; Penner, D.; Saettler, A. W. (1980): Interaction of antioxidants with ozone and herbicide stress. - *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 25, 623-629.
- Runekles, V. C.; Chevone, B. I. (1992): Crop responses to ozone. - In: Lefohn, A.S. (Hrsg.) *Surface Level Ozone Exposures and their Effects on Vegetation*. Lewis Publishers, Chelsea, 189-270.
- Salin, M. L. (1988): Toxic oxygen species and protective systems in the chloroplast. - *Physiologia Plantarum* 72, 681-689.



- Sanders, G. E.; Dixon, J.; Cobb, A. H. (1993): Will increasing ozone pollution associated with global climate change alter crop tolerance to herbicides? *Global Climate Change*. - BCPC Monograph 56, 83-93.
- Sauerbrey, E.; Grossmann, K.; Jung, J. (1988): Ethylene production by sunflower cell suspensions. Effects of plant growth retardants. - *Plant Physiology* 87, 510-513.
- Seem, R. C.; Cole, H. Jr.; Lacasse, N. L. (1972): Suppression of ozone injury to *Phaseolus vulgaris* 'Pinto III' with triarimol and its monochlorophenyl cyclohexyl analogue. - *Plant Disease Reporter* 56, 386-390.
- Seem, R. C.; Cole, H. Jr.; Lacasse, N. L. (1973): Suppression of ozone injury to *Phaseolus vulgaris* L. with thiophanate ethyl and its methyl analogue. - *Journal of Environmental Quality* 2, 266-268.
- Shaatiel, Y.; Gressel, J. (1986): Multienzyme oxygen radical detoxifying system correlated with paraquat resistance in *Coryza bonariensis*. - *Pesticide Chemistry and Physiology* 26, 22-28.
- Sung, S. J. S.; Moore, L. D. (1979): The influence of three herbicides on the sensitivity of greenhouse-grown flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum*) plants to ozone. - *Weed Science* 27, 167-173.
- Taylor, G. S.; Rich, S. (1973): Ozone fleck on tobacco reduced by benomyl and carboxin in soil. - *Phytopathology* 62, 208.
- Taylor, G. S.; Rich, S. (1974): Ozone injury to tobacco in the field influenced by soil treatments with benomyl and carboxin. - *Phytopathology* 64, 814-817.
- Yang, S. F.; Hoffman, N. E. (1984): Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. - *Annual Review of Plant Physiology* 35, 155-189.
- Zwoch, I.; Knorre, U.; Schaub, H. (1990): Influence of SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> singly or in combination, on ethylene synthesis in sunflower. - *Environmental and Experimental Botany* 30, 193-205.
- Verfasser: Brunnert, Hans, WOR Dr. rer. nat., Institut für Produktions- und Ökotoxikologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Dir. u. Prof. PD Dr. rer. nat. Hans-Joachim Weigel.

Tabelle 1: Zusammenstellung der in der Literatur gefundenen Untersuchungen zur Kombinationswirkung von Fungiziden und Ozon

Zeichenerklärung: \* = 1995 in Deutschland im Pflanzenschutz zugelassene Verbindungen; S = Sprühapplikation auf die Blätter; B = Applikation in den Boden (Gießen oder Einarbeiten)

Substanzbezeichnung	Charakterisierung/ Formel	Art/Sorte	Fungizid-Dosis	Ozon-Dosis und Dauer	Effekte	Zitat
<b>Gibberellininhibitor (Nicht-Triazolverbindung)</b>						
Chlormequat	(2chloroethyl) trimethyl ammonium chlorid	Poinsettia ( <i>Euphorbia pulcherrima</i> ) var. 'Anette Hegg' und 'Eckespoint'	S: 2000 ppm B: 1000 u. 2000 ppm	0.30-0,75 ppm 3 h	Testkriterium: Chloroseschäden der Blätter. Sprüh-Behandlung zeigte besseren Schutz als Bodenapplikation. Leichte Reduktion der Sproßlänge.	Cathey, H.M.; Heggstad, H.E. (1973): Journal of the American Society for Horticultural Science 98, 3-7
<b>Gibberellininhibitoren (Triazolverbindungen)</b>						
Triadimefon*	1-(4-chlorophenoxy)-3,3-dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)-2-butanon	Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Seafarer'	S: 1000-2000 µg/ml B: 20-30 µg/ml	400µg/Liter Luft	Testkriterium: Chloroseschäden der Blätter. S: kein Schutz; B: bis 50% Schutz, konzentrationsabhängig. Schutzwirkung auch abhängig vom Zeitraum zwischen Fungizidvorbehandlung und Ozonbegasung.	Fletcher, R.A.; Hofstra, G. (1985): Cell Plant Physiology 26, 775-780
Uniconazole (S-3307)	(E)-1-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl 2-(1,2,4-triazol-1-yl)-1-penten-3-ol	Weizen ( <i>Triticum aestivum</i> ) var. 'Fredrick'	Saatvorbehandlung: 0,03g/kg Saat	0,5 ppm 6h	Testkriterium: Chlorophyll-Fluoreszenz und Chlorose/Nekroseschäden der Blätter. Saatvorbehandlung gewährleistete vollständigen Schutz gegen ozoninduzierte Blattschäden. Die Pflanzen erreichten nur die halbe Höhe der Kontrollpflanzen und enthielten mehr Chlorophyll.	Mackay, C.E.; Senaratna, T.; McKersie, B.D.; Fletcher, R.A. (1987): Plant Cell Physiology 28, 1271-1278
Epoxiconazol*+ Fenpropimorph *(Präparat: Opus top)		Winter- und Sommergerste (viele Sorten)	Epikonazol: 126g/ha Fenpropimorph: 375g/ha	keine näheren Angaben Natürliche Umgebungsbelastung	Testkriterium: Chloroseschäden an den Blättern. Sortenabhängig. Effektiver Schutz gegen nichtparasitäre Blattschäden.	Obst, A.; Baumer, M.; Huber, G. (1995): Gesunde Pflanzen 47 (8), 308-314
<b>Dithiocarbamate</b>						
Zineb* Maneb*	Zinkethylenbis(dithiocarbamat) Manganethylenbis(dithiocarbamat)	Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	S: 0,78-6,25 Lb/gal Staubapplikation 2,5-100% aktive Substanz	ozonierte Benzindämpfe, keine Konzentrationsangabe	Testkriterium: Chloroseschäden an Blättern. Schutzeffekt konzentrationsabhängig. Zineb effektiver als Maneb.	Kendrick, J.B.; Darley, E.F.; Middleton, J.T. (1962): International Journal of Air and Water Pollution 6, 391-402
NiDD Zineb	Nickel di-N-butyl-dithiocarbamat Zinkethylenbis(dithiocarbamat)	Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) Salat ( <i>Lactuca sativa</i> )	Staubapplikation NiDD: 20-65% aktive Substanz Zineb: 100% aktive Substanz	1 ppm 2-2,5 h	Testkriterium: Blattschäden. Nachhaltiger Schutz vor Blattchlorosen und -nekrosen.	Ordin, L.; Taylor, O.C.; Propst, B.E.; Cardiff, E.A. (1962): International Journal of Air and Water Pollution 6, 223-227
NiDD	Nickel di-N-butyl-dithiocarbamat	Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Seaway 65' und 'Clipper'	Staubapplikation 6-35% aktive Substanz. 2-3g/ Pflanze	13-50 ppm ½ h	Testkriterium: Chlorose- und Nekroseflecken. Nahezu vollständiger Schutz vor Ozonschäden.	Dass, H.C.; Weaver, G.M. (1968): Canadian Journal of Plant Science 48, 569-574

Maneb	Manganethylenbis(dithiocarbamat)	Tabak ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) var. 'Bel W <sub>3</sub>	0.454-1,362 kg/378,4 Liter	keine Konzentrationen	Testkriterium: Blattflecken. Signifikante Minderung der braunen Blattflecken gegenüber Kontrolle.	Reinert, R.A.; Spurr, H.W. (1972): Journal of Environmental Quality 1, 450-452
DDTC	Diethyldithiocarbamat	Tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> ) var. Flacca	S: 12 mM	0,2-0,65 µl/Liter 2h. Wiederholung am nächsten Tag	Testkriterium: Blattnekrosen. Nur geringer bis kein Schutz vor Ozonschäden.	Olszyk, D.M.; Tingey, D.T. (1985): Plant Physiology 77, 935-939
<b>Pyrimidin-Verbindung</b>						
Triarimol	α-(2,4-dichlorophenyl)-α-phenyl-5-pyrimidinmethanol Ähnliche Struktur wie der Wachstumsregulator Ancymidol Abbauprodukt wie Benomyl: Methyl-2-benzimidazolcarbammat (MBC) Verwandt mit dem zugelassenen Fenarimol	Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Pinto III'	S: 20-200 µg/ml B: 2-10 µg/g Boden	25-35 pphm 4 h	Testkriterium: Blattschäden. Mit 50 µg/ml Reduktion der Ozonschäden auf ein ¼. Bei Bodenbehandlung mit 2µg/g schon wesentlicher Schutz. Bei höheren Konzentrationen Stauchung der Internodien.	Seem, R.C.; Cole, H.; Lacasse, N.L. (1972): Plant Disease Reporter 56, 386-390
		Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Pinto III'	S: 50-100 µg/ml	< 4 pphm (natürliche Umgebungsbelastung)	Testkriterium: Blattschäden Kein Schutzeffekt. Bei Konzentrationen von 75 und 100µg/ml morphologische Veränderungen der Pflanzen (Zwergwuchs)	Manning, W.J.; Vardaro, P.M. (1973): Phytopathology 63, 1415-1416
		Chrysantheme ( <i>Chrysanthemum morifolium</i> ) var. 'Kings Ransom' u. 'Yellow Cess Williams'	B: 30 u. 90 ppm	keine genaueren Angaben	Testkriterium: Blattschäden. Keine Schutzwirkung gegen Ozon. Bei der höheren Konzentration traten Wurzelschäden auf.	Klingaman, G.L.; Link, C.B. (1975): Journal of the American Society for Horticultural Science 100, 173-175
<b>Carboxyanilid-Verbindungen</b>						
Carboxin und verwandte Oxathiin-Verbindungen	5,6-dihydro-2-methyl-1,4-oxathiin-3-carboxanilid	Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Pinto', sowie Baumwolle, Tomate und Tabak	B: 9,5 ppm	25 pphm 2 h	Testkriterium: Blattschäden. Schutz hing von den N-substituierten Gruppen an der Anilidgruppe ab. Gemessen an Carboxin meist Reduktion der Schutzwirkung. Kein Einfluß der Carboxinbehandlung auf den Öffnungsgrad der Stomata.	Rich, S.; Ames, R.; Zuckel, J.W. (1974): Plant Disease Reporter 58, 162-164
Carboxin		Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Seafarer', 'Sanilac', 'Kentwood'	S: 2,24 kg/ha-	0.08- 0.30 ppm (natürliche Umgebungsbelastung)	Testkriterium: Bronzierung der Blätter, Ertrag, Saatkorngröße 25%ige Reduktion der Bronzierung. Ertragssteigerung um max. 20%.	Hofstra, G.; Littlejohn, D.A.; Wukasz, R.T. (1978): Plant Disease Reporter 62, 350-352
Carboxin, kombiniert mit den Kontaktnematiziden Phenamiphos, Fensulfothion, Aldicarb und Oxamyl		Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Pinto'	B: Carboxin: 20 ppm Nematizide: 10 und 20 ppm	25 pphm 1,5 h	Testkriterium: Bronzierung der Blätter. Nematizide allein erhöhten die Ozonempfindlichkeit. (am meisten durch Fensulfothion) Die Kombination von Carboxin und Nematiziden verhinderte die durch Kontaktnematizide erhöhte Ozonempfindlichkeit. Keine Korrelation zwischen erhöhter Ozonresistenz und stomatärer Leitfähigkeit.	Miller, P.M.; Tomlinson, H.; Taylor, G.S. (1976): Plant Disease Reporter 60, 433-436

Substanzbezeichnung	Charakterisierung / Formel	Art/Sorte	Fungizid-Dosis	Ozon-Dosis und Dauer	Effekte	Zitat
Carboxin		Tabak ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) var. 'Conn. 7272'	B: 5 und 10 µg/g verschiedene Applikationsweisen: flüssig, Granulat	teilweise < 5µg/100 Liter Luft (natürliche Umgebungsbelastung)	Testkriterium: Fleckbildung auf den Blättern. Signifikante Reduktion der Flecken an den ersten drei Blättern, vermehrte Fleckbildung an den folgenden Blättern. Bei 10µg/g Boden phytotoxische Effekte (gestauchte Pflanzen, Blattrandvergilbung).	Taylor, G.S.; Rich, S. (1974) <i>Phytopathology</i> 64 (6), 814-817
Carbathiin	2,3-dihydro-5-carboxianilido-6-methyl-1,4-oxathiin	Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Sanilac'	S: 2,2 kg/ha	max 13 pphm (natürliche Umgebungsbelastung)	Testkriterium : Bronzierung der Blätter, vorzeitiger Blattfall. Behandlung mit Carbathiin reduzierte die Blattverfärbung und den vorzeitigen Blattfall. Der Ertrag war um 10-12% erhöht.	Curtis, L.R.; Edgington, L.V.; Littlejohns, D.J. (1975): <i>Canadian Journal of Plant Science</i> 55 (1). 151-156
Carboxin		Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Tempo' und 'Pinto III'	S: 8 und 24µg/ml B: 10%iges Granulat 2,7,5,3 und 7,9g/Reihe (4,6 m Länge) Verschiedene Applikationsformen	<4 ppmh (natürliche Umgebungsbelastung)	Testkriterium: Fleckbildung auf den Blättern Vollständiger Schutz nur mit 10%igem Granulat über 36-40 Tage Besprühen und Saatgutbehandlung brachte keinen Schutz	Manning, W.J.; Vardaro, P.M. (1973): <i>Phytopathology</i> 63, 1415-1416
Carboxin		Rasengräser ( <i>Poa annua</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Agrostis palustris</i> )	Plexiglaskammern S: 0,5 und 1,25 g/Liter Open top-Kammern S: 0,5, 1,25 und 5 g/Liter	20 pphm 4 h/Tag an 3 Tagen  15 pphm 6 h, an 5 Tagen in der Woche	Testkriterium:Fleckbildung, Gewicht. Plexiglaskammerversuche: Kein Schutz gegen Ozon. Phytotoxische Effekte (Verwelkung, Ausbleichung der Blätter) wurden bei beiden Konzentrationen beobachtet. Reduktion der Frischgewichte. Open-Top Versuche: Kein ausreichender Schutz gegen Ozon. Die Kombination aus Carboxin und Ozon erzeugte schwere Schäden an den Pflanzen und Wachstumshemmung.	Papple, D.J.; Ormrod, D.P. (1977): <i>Journal of the American Horticultural Science</i> 102 (6), 792-796
<b>Benzimidazol-Verbindung</b>						
Benomyl*	Methyl-1-(butylcarbamoyl)-2-benzimidazolcarbammat Abbauprodukt: Methyl-2-benzimidazolcarbammat (MBC)	Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Sanilac', 'Seafarer', 'Kentwood'	S: 2,24 kg/ha	0.08- 0.30 ppm (natürliche Umgebungsbelastung)	Testkriterium: Bronzierung der Blätter, Ertrag, Saatkorngröße. Reduktion der Bronzeverfärbung der Blätter um 25% Nur unwesentliche Ertragssteigerung. Die zeitliche Abfolge zwischen Benomylbehandlung und Ozonereignis spielte für die Wirksamkeit eine Rolle	Hofstra, G.; Littlejohn, D.A.; Wukasz, R.T. (1978): <i>Plant Disease Reporter</i> 62, 350-352
Benomyl		Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Tempo' und 'Pinto III'	S: 0,6, 1,2, 2,4 und 3,6 g/Liter  B: 25, 50, 75,	< 4 pphm (natürliche Umgebungsbelastung)	Testkriterium: Fleckbildung auf den Blättern. Die beiden höchsten Konzentrationsstufen gewährleisteten bei beiden Sorten einen 70-80%igen Schutz vor Ozonschäden.	Manning, W.J.; Vardaro, P.M. (1973): <i>Phytopathology</i> 63, 1415-1416

Benomyl		Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Pinto'	100 µg/g	6 pphm 5 Tage/Woche	Testkriterium: Ertrag, Knöllchenbildung, Trockengewicht (Sproß, Wurzel). Nur kurzzeitiger Schutz vor Ozonschäden. Wiederholte Belastung durch Ozon führte nach 10-12 Tagen zu einem Verlust der Schutzwirkung.	Manning, W.J.; Feder, W.A.; Vardaro P.M. (1973b): Phytopathology 63 (12) 1539-1540
Benomyl		Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Tempo', 'Pinto III', 'Tenderwhite'	S: 2,4g/Liter 1 mal /Woche	4pphm über 351 Tage, 9pphm über 40 Tage	Testkriterium: Frisch- und Trockengewichte, Ertrag. Reduktion der Ozonschädigung um 75-80% bei den Sorten 'PintoIII' und 'Tempo', kein Effekt bei 'Tenderwhite'. Sortenunterschiede. Reife und Fruchtbildung bei besprühten Pflanzen verzögert.	Manning, W.J.; Feder, W.A.; Vardaro, P.M. (1974): Journal of Environmental Quality 3, 1-3
Benomyl		Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Pinto III'	B: 25, 50, 75, 100 ppm	6 pphm 8h/Tag	Testkriterium: Wachstum, Knöllchenbildung. Zeitweiliger Schutz gegen Ozonschäden bei 50 ppm und mehr. Bei diesen Konzentrationen traten Vergilbung, Stauchung der Pflanzen sowie Ertragsverluste auf.	Manning, W.J.; Feder, W.A.; Papia, P.M. (1972): Phytopathology 62, 497
Benomyl kombiniert mit den Kontaktneematiziden Phenamiphos, Fensulfothion, Aldicarb und Oxamyl		Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Pinto'	B: Benomyl: 20 ppm Nematizide: 10 und 20 ppm	25 pphm 1,5 h	Testkriterium: Bronzierung der Blätter. Nematizide allein erhöhten die Ozonempfindlichkeit (am meisten durch Fensulfothion). Eine Kombination von Benomyl und Nematiziden verhinderte die durch Kontaktneematizide erhöhte Ozonempfindlichkeit. Keine Korrelation zwischen erhöhter Ozonresistenz und stomatärer Leitfähigkeit.	Miller, P.M.; Tomlinson, H.; Taylor, G.S. (1976): Plant Disease Reporter 60, 433-436
Benomyl		Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Pinto III'	S: 250 µg/ml B: 20, 40, 60, 80, 169 µg/g Boden Verschiedene Einarbeitungsmethoden	25 pphm 4 h	Testkriterium: Blattschäden. Bei Sprühapplikation kein wesentlicher Schutz gegen Ozonschäden. Bei Einarbeitung von 160µg/g in den Boden wurde ein 99%iger Schutz erreicht, bei geringeren Konzentrationen weniger. Gießen des Substrats war weniger effektiv. Es mußten höhere Konzentrationen eingesetzt werden um den gleichen Schutz wie bei Einarbeitung in den Boden zu erreichen.	Pellissier, M.; Lacasse, N.L.; Cole J., H. (1972a): Journal of the Air Pollution Control Association 22, 722-725 Pellissier, M.; Lacasse N.L.; Cole, H. (1971b): Phytopathology 61, 131-132
Benomyl Thiabendazol Benzimidazol	2-(4-thiazolyl)- benzimidazol	Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Pinto III'	B: 20, 40, 60, 80 g/g Boden	25 pphm 4 h	Testkriterium: Blattschäden. Benomyl: 90% weniger Blattschäden mit 40 ppm Benomyl, vollständiger Schutz mit 80 ppm. Thiabendazol: 50% weniger Blattschäden mit 80 ppm Thiabendazol. Das nicht fungizide Benzimidazol bewirkte mit 40 ppm vollständigen Schutz.	Pellissier, M.; Lacasse, N.L.; Cole J., H. (1972b) Phytopathology 62 (5), 580-582 Pellissier, M.; Lacasse N.L.; Cole, H. (1971a): Phytopathology 61, 906
Benomyl Benzimidazol		Sojabohne ( <i>Glycine max.</i> ) var. 'Dare'	30 und 60 ppm 250 und 500 ppm	0.35 µl/Liter Luft	Testkriterium: Blattschäden, Chlorophyllgehalt. Benzimidazol brachte einen besseren Schutz gegen Blattschäden als Benomyl. Der Chlorophyllgehalt gegenüber der nur mit Ozon behandelten Kontrolle (38% des Anfangsgehaltes) betrug bei Benomylbehandlung (60 ppm) 62 % bei Benzimidazol (500 ppm) 82% .	Lee, E.H.; Rowland, R.A.; Mulchi, C.L. (1990): British Society for Plant Growth Regulation Monograph 20

Substanzbezeichnung	Charakterisierung/ Formel	Art/Sorte	Fungizid-Dosis	Ozon-Dosis und Dauer	Effekte	Zitat
Benomyl		Tabak ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) var 'Conn. 7272'	B: 25 µl/g Boden	<5 pphm natürliche Umgebungsbelastung	Testkriterium: Blattschäden, Welkrate, Pflanzenhöhe, Wurzelbildung. Geringere Fleckbildung auf den ersten 8 Blättern, jüngere Blätter waren nicht mehr geschützt. Die Pflanzen waren kräftiger ausgebildet.	Taylor, G.S.; Rich, S. (1973) <i>Phytopathology</i> 63, 208 Taylor G.S.; Rich, S. (1974): <i>Phytopathology</i> 64, 814-817
Benomyl		Tabak ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) var 'Bel W <sub>3</sub> , 'Florida 2612'	S: 0,227, 0,454, 0,908 kg/378,4 Liter	keine Angaben	Testkriterium: Blattschäden. 59% Reduktion der Blattschäden.	Reinert, R. A.; Spurr, H.W. (1972): <i>Journal of Environmental Quality</i> 1, 450-452
Benomyl		Jährige Rispe ( <i>Poa annua</i> )	B; Gießen :40, 60, 80 µg/ cm <sup>3</sup> Boden Einmischen:20,6 0,100 µg/cm <sup>3</sup> Boden	25 pphm 4 h	Testkriterium: Blattschäden (nekrotische Flecken, Chlorosis). Stärkere Reduktion der Ozonschäden bei Einmischen als bei Gießapplikation.	Moyer, J.W.; Cole Hr., H.; Lacasse, N.L. (1974): <i>Plant Disease Reporter</i> 58, 41-44
Benomyl		Kartoffel ( <i>Solanum tuberosum</i> ) var. 'Norchip'	B: 1,6 kg/ha	<0,09 pp, Natürliche Umgebungsbelastung	Testkriterium: Blattschäden, Ertrag, Größe und spez. Gewicht der Knollen. Keine wesentliche Reduktion der Blattschäden. Auch keine Unterschiede bei den anderen Testgrößen im Vergleich zur Kontrolle.	Clarke, B.; Henninger, M.; Brennen, E. (1978): <i>Plant Disease Reporter</i> 62, 715-717
Benomyl		Wein ( <i>Vitis labrusca</i> ) var. 'Ives' und 'Concord'	S.: 1,12, 3,36, 6,72 kg/ha 3-6 Wiederholungen	Keine Angaben	Testkriterium: Blattschäden. Erst ab 3 Sprühapplikationen Schutzeffekt. Mit weiteren Sprühungen verstärkte sich der Schutzeffekt.	Kender, W.J.; Faschenberg, E.F.; Shaulis, N.J. (1973): <i>HortScience</i> 8, 396-398
Benomyl		Wein ( <i>Vitis labrusca</i> ) var. 'Ives' und 'Concord',	S: 1,12 kg/ha 2-wöchentlich B: 1,12 kg/ha 2-wöchentlich	0,12 ppm Natürliche Umgebungsbelastung	Testkriterium: Blattnekrosen. Sprühverfahren besser geeignet als Bodenbehandlung. Teilweiser Schutz, der nicht über die ganze Saison anhielt. Die Sorte 'Concord' sprach auf die Behandlung besser an als die Sorte 'Ives'.	Musselman, R.C. (1985): <i>Am. J. Enol. Vitic.</i> 36, 38-42
Benomyl		Petunie ( <i>Petunia hybrida</i> ) 65 Sorten	S: 100 ppm	15,30,45,60 pphm	Testkriterium: Blattschäden. Kein Schutzeffekt.	Cathey, H.M.; Heggstad, H.E. (1972): <i>Journal of the American Society for Horticultural Science</i> 97, 695-700
Benomyl		Chystantheme ( <i>Chrysanthemum morifolium</i> ) var. 'King's Ransom' u. 'Yellow Jess Williams'	B:250, 750 ppm 2-wöchentlich	keine genaueren Angaben	Testkriterium: Blattschäden, Blütenzahl, Frischgewicht. Schutz über die gesamte Saison bei der Sorte 'King's Ransom'.	Klingaman, G.L.; Link, C.B. (1975) : <i>Journal of the American Society for Horticultural Science</i> 100, 173-175
Benomyl		Rasengräser ( <i>Poa annua</i> , <i>Poa</i>	Plexiglas-kammern S: 0,5 und 1,25	20 pphm 4 h/Tag an 3 Tagen	Testkriterium: Fleckbildung, Gewicht. Plexiglas-kammern: Reduktion aber nicht Beseitigung der Fleckbildung. Konzentration hatte wenig Einfluß.	Papple, D.J.; Ormrod, D.P. (1977): <i>Journal of the American Horticultural Science</i> 102 (6), 792-796

		<i>pratensis, Agrostris palustris</i>	g/Liter Open top-Kammern S: 0,5, 1,25 und 5 g/l.ITER	15 ppm 6 h, an 5 Tagen in der Woche	Open Top-Kammern: Ozonbedingte Schäden traten erst 3 Wochen nach der Applikation von Benomyl auf und waren weniger schwer.	
Benomyl		<i>Poinsettia (Euphorbia pulcherima)</i> var 'Paul Mikkelsen' u. 'Mikkelwhite'		10pphm 8h/Tag	Testkriterium : Chlorose an den Blättern, Blattseneszenz, Stengeldurchmesser, Frisch- und Trockengewicht. Signifikante Reduktion von Ozonschäden im Vergleich zu den Kontrollen.	Manning, W.J.; Feder, W.A.; Vardaro P.M. (1973): Canadian Journal of Plant Science 53 (4), 833-835
<b>Substituierte Benzolverbindungen</b>						
Thiophanat	Diethyl 4,4'-o-phenylenbis[3-thioallophanat]= 1,2,-Bis-(3-ethoxycarbonyl-2-thiouredo)-benzol	Jährige Rispe ( <i>Poa annua</i> )	B; Gießen :50, 100,200 µg/ cm <sup>3</sup> Boden Einmischen:50,- 100 , 200 µg/cm <sup>3</sup> Boden	25 ppm 4 h	Testkriterium: Blattschäden (nekrotische Flecken, Chlorosen). Thophanat benötigte etwa die doppelte Dosierung wie Benomyl um die gleiche Schutzwirkung zu erzielen. Der Schutz hielt etwa 4 Wochen an.	Moyer, J.W.; Cole Hr., H.; Lacasse, N.L. (1974): Plant Disease Reporter 58, 41-44
Thiophanat-methyl*	Dimethyl diethyl-4,4'-o-phenylenbis[3-thioallophanat=1,2-Bis-(3-methoxycarbonyl-2-thioureido)-benzol	Jährige Rispe ( <i>Poa annua</i> )	B; Gießen :50, 100,200 µg/ cm <sup>3</sup> Boden Einmischen:50,- 100 , 200 µg/cm <sup>3</sup> Boden	25 ppm 4 h	Testkriterium: Blattschäden (nekrotische Flecken, Chlorosen). Gießapplikation: Ab 100 µg/cm <sup>3</sup> vollständiger Schutz. Einmischen: Kein Schutz, hohe Phytotoxizität.	Moyer, J.W.; Cole Hr., H.; Lacasse, N.L. (1974): Plant Disease Reporter 58, 41-44
Thiophanat-methyl		Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var.'Pinto III'	S: 100, 500, 1000 µg/ml B: 100, 200, 1000 µg/g Boden	25-35 ppm 4 h	Testkriterium: Blattschäden. Sprühapplikation: ab 500 µg/ml signifikante Reduktion der Schäden. Einarbeitung in den Boden: Kein konsistentes Ergebnis. Bei beiden Applikationsarten wurden phytotoxische Effekte mit den höheren Dosen beobachtet.	Seem, R.C.; Cole Jr, H.; Lacasse, N.L. (1973): Journal of Environmental Quality 2, 266-268
Thiophanat-ethyl	1,2,Bis (3-ethoxycarbonyl-2-thioureido) benzol	Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Pinto III'	S: 100, 500, 1000 µg/ml B: 100, 200, 1000 µg/g Boden	25-35 ppm 4 h	Testkriterium: Blattschäden. Sprühapplikation: ab 500µg/ml signifikante Reduktion der Schäden. Einarbeitung in den Boden: Signifikante Reduktion der Schäden ab 100 µg/g Boden, nahezu vollständiger Schutz ab 200µg/g Boden. Im Gegensatz zu Thiophanat-methyl geringe phytotoxische Effekte.	Seem, R.C.; Cole Jr, H.; Lacasse, N.L. (1973): Journal of Environmental Quality 2, 266-268
Thiophanat-ethyl		Chystantheme ( <i>Chrysanthemum morifolium</i> ) var. 'King's Ransom' u. 'Yellow Jess Williams'	:250, 750 ppm 2-wöchentlich	Keine genaueren Angaben	Testkriterium: Blattschäden, Blütenzahl, Frischgewicht. Die Sorte King's Ransom wurde über die ganze Saison geschützt.	Klingaman, G.L.; Link, C.B. (1975) :Journal of the American Society for Horticultural Science 100, 173-175
<b>Phtalonitril-Verbindung</b>						
Chlorthalonil*	Tetrachlorisophtalonitril	Kartoffel ( <i>Solanum tuberosum</i> ) var 'Norchip'	S: 1,4 Liter/ha 4 mal in Wochenabstand	Natürliche Umgebungsbelastung. Keine näheren Angaben	Testkriterium: Blattschäden, Blattfall, Knollengewicht. Mäßige Schutzwirkung im Vergleich zur Kontrolle. und im Vergleich zu einer Kombination aus Chlorthalonil und EDU.	Bisessar, S. (1982): Journal of the American Society for Horticultural Science 107, 597-599

Tabelle 2: Zusammenstellung der in der Literatur gefundenen Untersuchungen zur Kombinationswirkung von Herbiziden und Ozon  
 Zeichenerklärung: \* = 1995 in Deutschland im Pflanzenschutz zugelassene Verbindungen

Substanzbezeichnung	Charakterisierung/ Formel	Art/Sorte	Herbizid-Dosis	Ozon-Dosis und Dauer	Effekte	Zitat
Diphenamid	N,N-dimethyl-2,2-diphenyl-acetamid Keimungsinhibitor Unbekannter Wirkmechanismus	Tabak ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) var 'Coker 347' u. 'NC 88';	4,5 kg/ha Besprühen der Pflanzen	natürliche Umgebungsbe- lastung Monatsmittel zwischen 3,3 u. 6,3 pphm	Testkriterium: Fleckbildung auf den Blättern bei Feldversuchen. Diphenamid bewirkte eine Reduktion der Blattschäden zwischen der 2. und 4. Woche nach dem Auspflanzen, später in der Saison nicht mehr.	Reilly, J.J.; Moore, L.D. (1982): Weed Science 30,260-263
Diphenamid		Tabak ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) var 'Coker 319' u. 'NC 88';	4,6; 9,2; 18,4 kg/ha Einarbeitung in den Boden	15 µl/Liter Luft 2,5 h an 4 aufeinanderfolgen- den Tagen	Testkriterium: Fleckbildung auf den Blättern, Anzahl der Blätter, Höhe und Trockenwicht der Pflanzen, Zucker. u. Nikotiningehalt. Diphenamid allein erzeugte keine sichtbaren Schäden. Ergebnisse nicht konsistent. Bei beiden Sorten keine wesentliche Beeinflussung der Fleckbildung und der chemischen Zusammensetzung der Pflanzen bei allen drei Konzentrationen.	Sung, S.J.S.; Moore, L.D. (1979): Weed Science 27, 167-173
Diphenamid		Tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> ) var. 'Fireball'	5,6 u. 11,2 kg/ha Keine Angabe über Applikations- weise	7,5; 15; 30 pphm 2 mal 1,5 h	Testkriterium: Sproßtrockengewicht. Ozon und Diphenamid wirkten additiv.	Carney, A.W.; Stephenson, G.R.; Ormrod, D.P.; Ashton, G.C. 1973): Weed Science 21, 508-511
Trifluralin*	α,α,α-trifluoro-2,6- dinitro-N,N- dipropyl-p-toluidin Dinitroanilin  Hemmer des Microtubulusstoff- wechsels	Tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> ) var. 'Fireball'  Bohne ( <i>Pha- seolus vulgaris</i> ) var. 'Seaway'	1,12; 2,24 kg/ha Keine Angabe über Applikations- weise  12,2; 24 kg/ha	5; 15; 30 pphm 2 mal 1,5 h  5; 15; 30 pphm 2 mal 1,5 h	Testkriterium: Sproßtrockengewicht. Ozon und Trifluralin wirkten bei der Tomate additiv.  Ebenfalls additive Wirkung bei der Bohne.	Carney, A.W.; Stephenson, G.R.; Ormrod, D.P.; Ashton, G.C. 1973): Weed Science 21, 508-511
EPTC*	S-ethyl dipropylthiocarbamat Thiocarbamat  Lipid-Biosynthese hemmer	Mais ( <i>Zea mays</i> ) var. 'Pioneer 3780'	4,5; 5,6; 6,7 kg/ha Besprühen des Bodens und Ein- arbeitung in die ersten 5 cm	0,2-0,3 ppm	Testkriterium: Sproßtrockengewichte. EPTC und Ozon wirkten additiv.	Hatzios, K.K. (1983): J. Agric. Food. Chem. 31, 1187-1191
EPTC + R-25788 (Herbizidantidot)		Mais ( <i>Zea mays</i> ) var. 'Pioneer 3780'	4,5, 5,6, 6,7 kg/ha	0,2-0,3 ppm	Testkriterium: Sproßtrockengewichte. Die Kombination EPTC und Ozon wirkte synergistisch.	



Pebulate	S-propyl-butylethyl-thiocarbamat Thiolcarbamat	Tabak ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) var. Delhi 34; 'White Gold'	4,48; 8,96 kg/ha Keine Angabe über Applikationsweise	7,5; 15; 30 ppm 2 mal 1,5 h	Testkriterium: Pflanzentrockengewicht. Ozon und Pebulate wirkten synergistisch.	Carney, A.W.; Stephenson, G.R.; Ormrod, D.P.; Ashton, G.C. 1973): Weed Science 21, 508-511
Pebulate		Tabak ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) var. 'Coker 347; NC 88	4,5 kg/ha Applikation auf den Boden und Einarbeitung	Natürliche Umgebungsbelastung. Monatsmittel zwischen 3,3 und 6,3 ppm	Testkriterium: Fleckbildung auf den Blättern bei Feldversuchen. Kein Effekt von Pebulate auf Ozonwirkung festgestellt.	Reilly, J.J.; Moore, L.D. (1982): Weed Science 30,260-263
Pebulate		Tabak ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) var. 'Coker 319; NC 88	6,2 kg/ha Einarbeitung in den Boden	15 µl/Liter Luft 2,5 h an 4 aufeinanderfolgenden Tagen	Testkriterium: Fleckbildung auf den Blättern, Anzahl der Blätter, Höhe und Trockenwicht der Pflanzen, Zucker. u. Nikotingehalt. Reduktion der Ozonempfindlichkeit der Sorte 'NC 88'.	Sung, S.J.S.; Moore, L.D. (1979): Weed Science 27, 167-173
Phenmedipham* (Betanal E)	3-methoxycarbonylamino-phenyl-(3'-methylphenyl)-carbamat Biscarbamat Photosystem II-Inhibitor	Zuckerrübe ( <i>Beta vulgaris</i> ) var. 'Saxon'	Sprühlösung 10 Liter/ha= 1,14 kg/ha	1.Tag: 125 nl/Liter Luft über 7 h 2. Tag: 100 nl/Liter Luft	Testkriterium: Sichtbare Blattschäden, sowie Frisch- und Trockengewichte der an der Bodenoberfläche abgeschnittenen Pflanzen. Es wurde ein antagonistischer Effekt im Sinne eines Schutzes vor Ozonschäden durch Phenmedipham beobachtet.	Sanders, G.E.; Dixon, J.; Cobb, A.H. (1993) BCPC Monograph No 56
Phenmedipham (Betanal E)		Zuckerrübe ( <i>Beta vulgaris</i> ) var. 'Saxon'	Sprühlösung 114g/Liter 1,14 kg/ha	100 µl/Liter Luft über 2 h an 2 Tagen	Testkriterium: Pflanzenfrischgewicht, Titer von Glutathion-Reduktase und Glutathion-S- Transferase. Antagonistische Effekte im Sinne einer Schutzwirkung.	Dixon, H.; Hull, M.R.; Cobb, A.H.; Sanders, G. E. (1996): Pesticide Science 46, 286-287
Isopropalin	2,6,dinitro-N,N-dipropyl-cumidin	Tabak ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) var. 'Coker 347; NC 88	1,7 kg/ha Applikation auf den Boden und Einarbeitung	Natürliche Umgebungsbelastung. Monatsmittel zwischen 3,3 und 6,3 ppm	Testkriterium: Fleckbildung auf den Blättern bei Feldversuchen. Isopropalin reduzierte Ozonschäden für 2-4 Wochen nach dem Auspflanzen.	Reilly, J.J.; Moore, L.D. (1982): Weed Science 30,260-263
Isopropalin		Tabak ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) var. 'Coker 319; NC 88	2,3 kg/ha Einarbeitung in den Boden	15 µl/Liter Luft 2,5 h an 4 aufeinanderfolgenden Tagen	Testkriterium: Fleckbildung auf den Blättern, Anzahl der Blätter, Höhe und Trockenwicht der Pflanzen, Zucker. u. Nikotingehalt. Die Ozonempfindlichkeit von beiden Sorten wurde durch Isopropalin reduziert.	Sung, S.J.S.; Moore, L.D. (1979): Weed Science 27, 167-173
Benefin	N-butyl-N-ethyl- $\alpha,\alpha,\alpha$ -trifluor-2,6,dinitro-p-toluidin	Tabak ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) var. 'Delhi 34; 'White Gold'	1,40; 2,80 kg/ha Keine Angabe über Applikationsweise	7,5; 15; 30 ppm 2 mal 1,5 h	Testkriterium: Pflanzentrockengewicht. Benefin hat bezüglich der Ozonschädigung eine antagonistische Wirkung.	Carney, A.W.; Stephenson, G.R.; Ormrod, D.P.; Ashton, G.C. 1973): Weed Science 21, 508-511

Substanzbezeichnung	Charakterisierung/ Formel	Art/Sorte	Herbizid-Dosis	Ozon-Dosis und Dauer	Effekte	Zitat
Monolinuron	3-(p-chlorohenyl)- 1-methoxy-1- methylharnstoff Harnstoffderivat Photosynthese- System II - Inhibitor	Bohne ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) var. 'Seaway'	2,24; 4,48 kg/ha Keine Angabe über Applikations- weise	7,5; 15; 30 pphm 2 mal 1,5 h	Testkriterium: Pflanzentrockengewicht. Additiver Effekt von Ozon und Monolinuron.	Carney, A.W.; Stephenson, G.R.; Ormrod, D.P.; Ashton, G.C. 1973: Weed Science 21, 508-511
Atrazin	2.-chlor-4- (ethylamino)-6- (isopropylamin o)-s-triazin s-Triazin Photosystem II - Inhibitor	Mais ( <i>Zea mays</i> ) var. 'Golden Acres	2,5 , 3,5 kg/ha Applikation auf Bodenoberfläche	0.02 u. 0.03 ppmv 6 h	Testkriterium: Trockengewicht, Chlorophyllgehalt. Der Effekt von Atrazin auf die Ozonschädigung war bei 0.2 ppm Ozon additiv, bei 0,3 ppm Ozon antagonistisch.	Mersie, W.; Mebrahtu, T.; Rangappa, M. (1990): Environmental and Experimental Botany 30, 443-449 Rubin, B.; Leavitt, J.R.C.; Penner, D.; Saettler, A.W. (1980): Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology
Chlorsulfuron (DPX4189)	2-chloro-N-[[[4- methoxy-6-methyl- 1,3,5,-triazin-2- yl)amino]carbonyl] benzylsulfonamid Hemmer der Nukleinsäure - synthese (Hemmt Einbau von Thymidin in DNA	Hirse ( <i>Sorghum bicolor</i> ) var. 'Funk G623'  Chinajute ( <i>Abutilon theoprastr</i> )	0,06; 0,12 kg/ha Sprühapplikation auf Pflanzen  0,06; 0,12 kg/ha Sprühapplikation auf Pflanzen	0,1; 0,2 ppmv 6 h  0,1; 0,2 ppmv 6 h	Testkriterium: Sproßtrockengewicht. Additiver Effekt von Ozon und Chlorsulfuron.  Testkriterium: Sproßtrockengewicht. Antagonistische Wechselwirkung zwischen Ozon und Chlorsulfuron.	Hatzios, K.K.; Yang, Y.S. (1983b): Weed Science 31, 857-861
PP009	Butyl-2-[4- [5(trifluoromethyl- 2-pyridinyl)oxy]- phenoxy]propanoat	Hirse ( <i>Sorghum bicolor</i> ) var. 'Funk G623'  Chinajute ( <i>Abutilon theoprastr</i> )	0,6; 1,2 kg/ha auf Sprühapplikation auf Pflanzen  0,6; 1,2 kg/ha Sprühapplikation auf Pflanzen	0,1; 0,2 ppmv 6 h  0,1; 0,2 ppmv 6 h	Testkriterium: Sproßtrockengewicht. Additiver Effekt von Ozon und PP009.  Testkriterium: Sproßtrockengewicht. Synergistische Wechselwirkung zwischen Ozon und PP009.	Hatzios, K.K.; Yang, Y.S. (1983b): Weed Science 31, 857-861
BAS 9052 OH	2[1-(ethoxyamino)- -butyl -5-[2- (ethylthio)-propyl]- -3-hydroxy-2- cyclohexan-on	Hirse ( <i>Sorghum bicolor</i> ) var. 'Funk G623'  Chinajute ( <i>Abutilon theoprastr</i> )	0,6; 1,2 kg/ha Sprühapplikation auf Pflanzen  0,6; 1,2 kg/ha Sprühapplikation auf Pflanzen	0,1; 0,2 ppmv 6 h  0,1; 0,2 ppmv 6 h	Testkriterium: Sproßtrockengewicht. Additiver Effekt von Ozon und BAS 9053 OH.  Testkriterium: Sproßtrockengewicht. Antagonistische Wechselwirkung zwischen Ozon und BAS 9052 OH.	Hatzios, K.K.; Yang, Y.S. (1983b): Weed Science 31, 857-861

Fluazifop-butyl*		Chinajute ( <i>Abutilon theophrasti</i> )	0,6; 1,2 kg/ha Sprühapplikation auf Pflanzen	0,1; 0.2 ppmv 6 h	Testkriterium: Sproßtrockengewicht. Synergistische Wirkung wenn Ozonbegasung vor der Herbizidapplikation stattfand.	Hatzios, K. K.; Yang, Y.S. (1983a): Proceedings, Southern Weed Science Society, 36th annual meeting
Sethoxydim		Chinajute ( <i>Abutilon theophrasti</i> )	0,6; 1,2 kg/ha Sprühapplikation auf Pflanzen	0,1; 0.2 ppmv 6 h	Testkriterium: Sproßtrockengewicht. Additive Wirkung. Zeitpunkt der Ozonbegasung spielte keine Rolle.	Hatzios, K. K.; Yang, Y.S. (1983a): Proceedings, Southern Weed Science Society, 36th annual meeting
Metolachlor*	2-chloro-N-(2-ethyl-6-methylphenyl)-N-(2-methoxy-1-methylethyl)acetamid Keimungshemmer	Hirse ( <i>Sorghum bicolor</i> ) var. 'Funk G522DR'	2,2; 3,9; 5,6 kg/ha Besprühen des Boden und Ein- arbeiten in die ersten 5 cm	0.2-0.3 ppmv 6h	Testkriterium: Sproßtrockengewicht. Additiver Effekt von Ozon und Metolachlor.	Hatzios, K.K. (1983): Weed Science 31, 280-284