Interaktionen zwischen Pflanzen, Mikroorganismen, Wirkstoffen und Luftschadstoffen

Autor(en): **Hasler, Thomas / Frey, Beat / Schüepp, Hannes**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Botanica Helvetica**

Band (Jahr): **100 (1990)**

Heft 1

PDF erstellt am: **27.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-69715

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Botanica Helvetica 100/1, 1990

0253-1453/90/010121-11 $ 1.50 + 0.20/0
© 1990 Birkhäuser Verlag, Basel

Interaktionen zwischen Pflanzen, Mikroorganismen, Wirkstoffen und Luftschadstoffen

Thomas Hasler, Beat Frey und Hannes Schüepp
Eidg. Forschungsanstalt, CH-8820 Wädenswil, Schweiz

Manuskript angenommen am 23. Januar 1990

Abstract

Hasler Th., Frey B. and Schüepp H. 1990. Interactions between plants, microorganisms, pesticides and air pollutants. Bot. Helv. 100: 121–131.

Development of obligate parasitic fungi is frequently inhibited on plants damaged, latent or acute, by air pollutants. Frequency and severity of infection of non-obligate parasitic fungi, however, may be increased. These facts are important since the numerous and ubiquitous non-obligate parasitic fungi cause severe crop losses. The influence of air pollutants on formation and distribution of fungal inoculum has not yet been fully elucidated. Some active ingredients belonging to the antioxidants, fungicides or growth regulators, may decrease the expression of injuries due to ozon on various plant parts. No such active ingredients, however, are recommended to control ozon injuries in practice. Special consideration has to be given to the influence of air pollution on the complex interactions between plants, pathogens and active ingredients. Depending on the year, various symptoms appear which cannot be attributed to a specific factor.

Key words: Air pollution, ozon, development of fungi, pathogens, fungicides.

Einleitung

Die vielseitigen Einflüsse der Luftschadstoffe auf die komplexen Interaktionen zwischen Pflanze und Mikroorganismen werden einerseits durch genetische Eigenschaften bestimmt und sind andererseits von witterungs- und standortbedingten Faktoren abhängig. Luftschadstoffe können direkt auf den Stoffwechsel der Pflanze einwirken und dadurch die Pflanze latent (verborgen) oder sichtbar schädigen (Keller 1977). Sie können aber auch die biochemischen Beziehungen der Pflanze zu den Mikroorganismen beeinflussen, insbesondere die Anfälligkeit der Wirtspflanzen gegenüber Krankheitserregern vermindern oder erhöhen. Auch die Konkurrenzbeziehungen zwischen den auf und in der Pflanze lebenden Mikroorganismen können sich unter dem Einfluß von Luftschadstoffen wesentlich verändern. Pathogene und symbiontische Mikroorganismen, aber auch Endo- und Epiphyten, die Wachstum und Entwicklung der Pflanze an sich wenig beeinflussen, verstärken oder verringern oft die Sensibilität der Wirtspflanzen gegenüber Luftschadstoffen. In den letzten Jahren wurde erkannt, daß Luftschadstoffe für die Pflanzen einen Streßfaktor bedeuten, der sich insbesondere auf die Entwicklung von

Pilzkrankheiten auswirkt. Zusammenstellungen über diesen Themenkreis geben Laurence (1980) und Heagle (1973, 1982). Die Einflüsse der Luftschadstoffe auf die Interaktionen in der Pflanzen-Mikroorganismen-Beziehungen sind in Abb. 1 dargestellt.

In einem vom Bund mitgetragenen interkantonalen Projekt wurde der Gesundheitszustand der Feldobstbäume untersucht. In den Kantonen Zürich, Schwyz, St. Gallen, Graubünden und Aargau sowie im Fürstentum Lichtenstein wurden insgesamt 6244 Bäume untersucht. Bei den Erhebungen im Felde wurde der Gesundheitszustand sowie alle Schäden, Krankheiten und Besonderheiten, insgesamt 90 Merkmale, berücksichtigt. Aufgrund des unbefriedigenden Gesundheitszustandes der Wälder in der Schweiz wurde den Schädigungen, die allenfalls mit der Einwirkung von Schadstoffen in der Luft oder im Boden im Zusammenhang stehen könnten, spezielle Aufmerksamkeit geschenkt. An den Obstbäumen konnten jedoch keine auf Luftschadstoffe zurückzuführende Symptome festgestellt werden. Einerseits sind Obstbäume gegenüber Luftschadstoffen recht widerstandsfähig und andererseits ist nicht auszuschließen, daß unterschwellige Schädigungen durch Symptome anderer Schadfaktoren überdeckt werden.

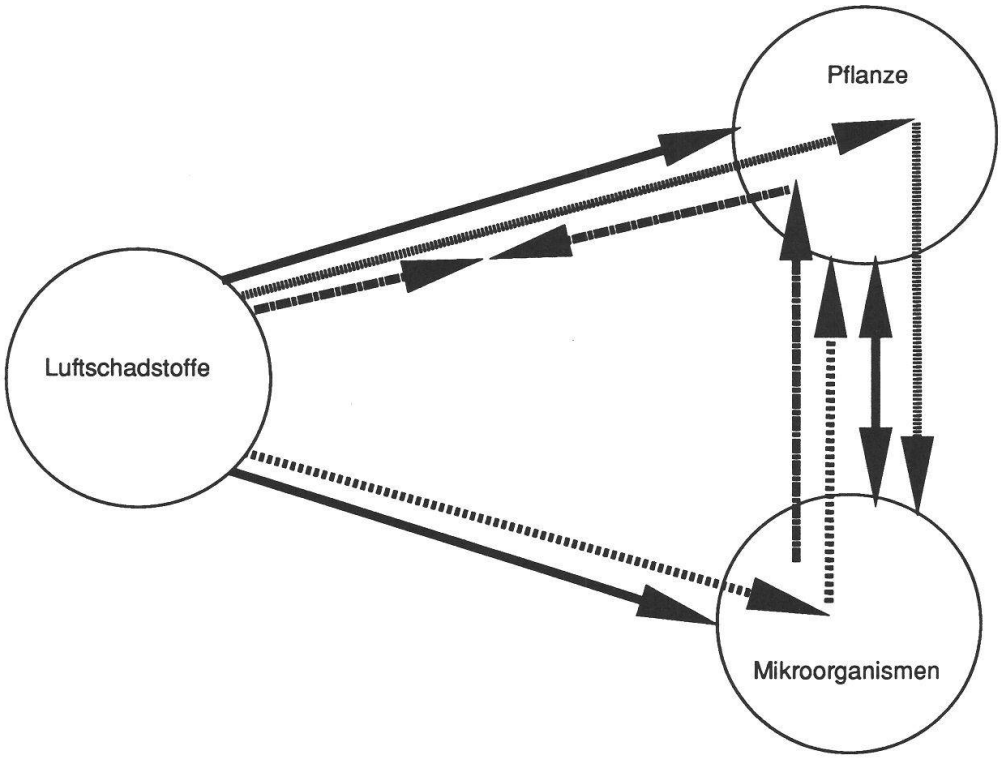

Abb. 1. Darstellung der Interaktionen zwischen Luftschadstoffen, Pflanzen und Mikroorganismen

- Luftschadstoffe beeinflussen den Stoffwechsel der Pflanze wie auch der auf oder in ihr lebenden Mikroorganismen, insbesondere deren Wachstum, Fruchtkörper- und Sporenbildung.
- Die Einwirkungen der Luftschadstoffe verändern die biochemischen Beziehungen der Pflanze zu den Mikroorganismen, insbesondere ihre Eignung, als Wirtpflanze zu dienen.
- Die Einwirkungen der Luftschadstoffe verändern die Konkurrenzbeziehungen zwischen den Mikroorganismen, sowie deren Verhalten gegenüber der Wirtspflanze.
- Die Mikroorganismen können die Sensibilität der Wirtspflanze gegenüber Luftschadstoffen beeinflussen.

Um allfällige durch Luftschadstoffe verursachte Schäden möglichst frühzeitig zu erkennen und um wirkungsbezogene Messungen durchführen zu können, wurden Bioindikatorpflanzen (Zeigerpflanzen) verwendet, deren Reaktionen auf Luftschadstoffe zuvor genau getestet wurden.

Beim routinemäßigen Einsatz der Bioindikatoren spielt deren Standardisierung eine wichtige Rolle. Eine entsprechende Vereinheitlichung für Reaktionsindikatoren wurde am Institut für Landeskultur und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim (Stuttgart) weitgehend realisiert. Folgende Arten beziehungsweise Varietäten wurden in diesem Projekt eingesetzt: Tabak (*Nicotiana tabacum*, Sorte BEL W3), sensibel auf Ozon, Buschbohne (*Phaseolus vulgaris,* Sorte Pinto), sensibel auf Ozon und Stickoxide, Ackerbohne (*Vicia faba,* Sorte Herra), sensibel auf Schwefeldioxid und Stickoxide. Im weiteren wurden auch Versuche mit Pappeln, Spinat und Klee durchgeführt. An den vier untersuchten Standorten zeigten die Bioindikatorpflanzen erhebliche Ozonschäden, während an Obstbäumen keine auf Ozon zurückzuführende Symptome festgestellt wurden. In verschiedenen Gebieten wurden 1988 und 1989 auch auf Reben je nach Sorte, Klon und Unterlage an den untersten 4–6 Blättern erhebliche Ozonschäden beobachtet.

Die vorliegende Arbeit gibt eine Literaturübersicht zum Thema der Interaktionen zwischen Pflanzen, Mikroorganismen, Wirkstoffen und Luftschadstoffen. Dabei wird besonders der Frage nachgegangen, ob und in welcher Weise sich die Disposition latent oder sichtbar durch Ozon geschädigter Pflanzen gegenüber Infektionskrankheiten verändert.

1. Direkter Einfluß von Luftschadstoffen auf Pilze

Ozon ist die wichtigste pflanzenschädigende Komponente der Photooxidantien. Aus diesem Grund wurden die meisten Arbeiten mit dieser Leitsubstanz durchgeführt.

1.1 Einfluß von Ozon auf obligat oder fakultativ parasitische Pilze

Obligat parasitische Pilze

Im allgemeinen reduziert Ozon das Auftreten und die Schwere von Krankheiten, die von obligat parasitischen Pilzen verursacht werden (Heagle 1970, 1973, 1975, Schreiber und Krupa 1976). Es konnte gezeigt werden, daß Ozon die Sporulation und das Hyphenwachstum von obligat parasitischen Pilzen sowie die Infektionsfähigkeit der Sporen herabsetzen kann. Beim Getreidemehltau (*Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*) wurden jedoch nach mehrfacher Exposition mit subakuten Ozondosen größere Kolonien gefunden als in der Kontrolle (Heagle und Strickland 1972). Relativ hohe Dosen von Ozon können z. B. die Symbiose von obligat biotrophen, vesikularen-arbuskularen Mykorrhiza-Pilzen (*Glomus fasciculatus*) mit den Wurzeln von *Citrus*-Arten unterbinden (McCool et al. 1979). Die Infektionsrate war bei einer täglichen Expositionszeit von 6 h bei 0,9 ppm Ozon während 19 Wochen herabgesetzt. Wurzelwachstum der Pflanzen und Sporulation des Pilzes waren bei exponierten Pflanzen reduziert. Eine geringere Ozonexposition (0,45 ppm, 3 h täglich, 2 Tage pro Woche, während 19 Wochen) hatte hingegen keinen Einfluß auf Wurzelwachstum und Sporulation von *G. fasciculatus,* die Wurzelinfektionen waren jedoch deutlich vermindert. Auch die Sporulation von *G. macrocarpus* auf Sojabohne war bei chronischer Ozonbelastung in „open-top" Kammern unterdrückt (Feicht 1981).

Fakultativ parasitische Pilze

Auf den ersten Blick sind die Angaben in der Literatur verwirrend und widersprüchlich. Bei näherem Vergleich der Angaben zeigt sich, daß die verschiedenen Autoren unterschiedliche Entwicklungsstadien für die Schadstoffexposition wählten. Es ist von größter Bedeutung, ob ein Pilz Schadstoffen während des Wachstums, der Sporulation, der Fruktifikation, der Keimung oder des Eindringens in die Pflanze ausgesetzt wird.

Die Einwirkung von Luftschadstoffen kann die Pathogenität einiger Krankheitserreger erhöhen. Manning et al. (1969) zeigten durch Feldbeobachtungen an Kartoffeln, daß Infektionen von *Botrytis cinerea* an Blättern mit Ozon-Symptomen häufiger waren. Geschädigte Blätter wurden rascher infiziert und starben schneller ab als nicht geschädigte. Die durch Ozon verursachten Nekrosen dienten als Infektionspforten. Wukasch und Hofstra (1977 a, b) erhielten ähnliche Resultate mit *B. squamosa* auf Zwiebeln. Bei Begasungsversuchen in „open-top" Kammern zeigten Zwiebeln in nicht-filtrierter Luft doppelt soviele Läsionen wie in Reinluft.

Weiter ist die Art des parasitierten Wirtsgewebes von großer Bedeutung: Nach Magdycz (1972), Manning et al. (1969, 1970 a) verursachte *B. cinerea* an Ozon geschädigten Geranienblättern mehr Läsionen als an den Kontrollen; an den Blüten jedoch war die Pathogenität geringer (Manning et al. 1970 b, 1972). Die bis heute vorliegenden Arbeiten deuten darauf hin, daß der Parasitierungsgrad primär durch den Effekt von Ozon auf die Wirtspflanze verändert wird. Fakultative Parasiten wie *Helminthosporium maydis* auf Getreide und *Cercospora arachidicola* auf Erdnuß werden in der Regel stärker beeinflußt als die sogenannten Thryptophyten, die nur durch Umwelteinflüsse geschwächte Pflanzen zu befallen vermögen. Ozongeschädigte Föhrennadeln werden jedoch nach Saunders (1973) durch *Aspergillus*- und *Penicillium*-Arten vermehrt befallen, während *Lophodermium pinastri* keine erhöhte Infektionsrate zeigte (Costonis und Sinclair 1972). Auch pathogene Wurzelpilze können durch Ozon beeinflußt werden. 20% mehr Pilzkolonien (*Fusarium oxysporum*) wurden aus Wurzeln von mit Ozon begasten Pinto Bohnen isoliert (Manning et al. 1971 a).

1.2 Einfluß von Ozon auf Pilzwachstum und Sporulation

Pilzkolonien auf künstlichen Medien werden auch durch sehr hohe Ozondosen kaum zum Absterben gebracht. Bereits kleine Dosen können jedoch das Myzelwachstum hemmen, die Bildung von Lufthyphen unterdrücken und die Sporulation vermindern (Hibben und Stotzky 1969, Ingram und Haines 1949, Kormelink 1967, Kuss 1950).

Aus der Sicht des Pflanzenschutzes sind vor allem jene Fälle zu beachten, wo das Pilzwachstum, die Sporulation und die Keimung gefördert werden. Auf Agar erhöhte Ozon die Sporulation von *Alternaria oleraceae, A. solani, Macrosphaerella citrullina* und *Colletotrichum orbiculare* (Richards 1949, Hibben und Stotzky 1969). Die Sporulation von *A. oleraceae* erhöhte sich bei Ozonexposition um den Faktor 10 bis 20. Kuss (1950) exponierte 30 Pilzarten aus der Gruppe der Oomyceten, Ascomyceten und Basidiomyceten niedrigen Ozon-Konzentrationen in Petrischalen. Die Sporulation war erhöht bei drei *Alternaria-*, zwei *Fusarium*- und zwei *Glomerella*-Arten. Pyknidien- und Perithecienbildende Pilze produzierten mehr Fruchtkörper als in Reinluft. Auf Äpfeln konnten hohe Ozonkonzentrationen das Wachstum und die Sporulation einiger Pilze hemmen; viele der untersuchten Pilze verhielten sich jedoch indifferent. Auch hohe Ozonkonzentrationen konnten die Infektion von *Penicillium expansum* auf Äpfeln nicht verhindern, der Pilz wurde zwar nicht abgetötet, jedoch wurde das Wachstum der Läsionen verzögert, die Lufthyphen unterdrückt und die Sporulation vermindert (Schomer und McColloch

1948). Kontinuierliche Exposition bei 0,5 ppm Ozon verminderte die Ausbreitung von *Monilinia fructicola* auf Pfirsich (Spalding 1966).

1.3 Einfluß von Ozon auf Sporenkeimung

Der Einfluß auf die Sporenkeimung hängt von der Pilzart, der Morphologie der Spore, der Feuchtigkeit und dem Substrat (Verfügbarkeit der Nährstoffe) ab. Mehrzellige, pigmentierte Sporen und Sporen mit dicken Zellwänden sind normalerweise resistenter gegen Ozon als einzellige, hyaline, dünnwandige Sporen.

Zum Beispiel ist nach Ozonexposition die Keimrate der großen, mehrzelligen Konidien einer *Macrosporium*-Art größer als diejenigen der kleineren, einzelligen Sporen von *Sclerotinia fructicola* und *Penicillium expansum* auf frischen Äpfeln (Smock und Watson 1941). Die Keimraten der großen, meist pigmentierten Sporen von *Chaetomium-, Alternaria-* und *Verticillium*-Arten waren bei hohen Ozon-Konzentrationen gleich wie in den Kontrollen.

2. Indirekte Auswirkung der Luftschadstoffe auf Pilze durch Veränderung der Wirtspflanze

Die Reaktion einer Pflanze auf Luftschadstoffe kann die Disposition der Wirtspflanze und somit ihre Abwehrbereitschaft gegenüber Krankheitserregern beeinflussen. Einerseits stellen Ozonschäden an Geranienblättern Infektionspforten für *Botrytis* dar (Manning et al. 1971 b), andererseits können geschädigte Blattstellen die Infektionsmöglichkeiten für obligate Parasiten reduzieren.

Wie andere Streßfaktoren bewirken Luftschadstoffe in gestreßten Pflanzen die Bildung chemischer Verbindungen wie Phenole (Howell 1970, Menser und Chaplin 1969), Peroxidasen (Curtis und Howell 1971, Curtis et al. 1976, Dass und Weaver 1968) oder Isoflavonoide (Kenn und Taylor 1975), die für Mikroorganismen meist toxisch sind, und somit die Entwicklung von Pilzen hemmen.

Der Zeitpunkt der Einwirkung von Luftschadstoffen im Krankheitszyklus ist von großer Bedeutung. Unterschiede in der Reaktion nach Exposition vor oder nach der Infektion deuten auf mehrere, die Physiologie des Krankheitsverlaufs beeinflussende Faktoren hin.

3. Einfluß von Krankheitserregern auf die Sensibilität der Pflanzen gegenüber Luftschadstoffen

Neben zahlreichen Befunden über den Einfluß von Luftschadstoffen auf Pflanzenkrankheiten zeigen verschiedene Untersuchungen, daß Krankheitserreger die Sensibilität der Wirtspflanze gegenüber Luftschadstoffen verändern können.

Meistens reduziert der Befall eines Krankheitserregers die Sensibilität der Pflanze gegenüber Schadstoffen (Bisessar und Temple 1977, Brennan und Leone 1969, 1970, Davis und Smith 1974, 1976, Keagle und Key 1973 a, Magdycz und Manning 1973, Moyer und Smith 1975). Einerseits wird vermutet, daß dies mit der verminderten Aufnahme von Luftschadstoffen zusammenhänge, was mit einer gestörten Funktion des Stomatas erklärt werden könnte. Andere Autoren postulieren, daß in infizierten Pflanzen der veränderte Kohlenhydratstoffwechsel für diesen Effekt verantwortlich ist (Brennan und Leone 1970, Davis und Smith 1974). Blätter von Pinto-Bohnen (*Phaseolus vulgaris*) waren gegenüber Ozonbelastung unempfindlich, wenn ihr Zuckergehalt außergewöhn-

lich hoch oder niedrig war (Dugger et al. 1962). Niedrige Zuckerkonzentrationen um die Infektionshöfe herum werden für eine lokal herabgesetzte Ozonsensibilität verantwortlich gemacht. Es wird auch diskutiert, ob Substanzen, die eine Pflanze vor Ozonschäden schützen, von der Infektionsstelle ins umgebende Pflanzengewebe diffundieren. Der Schutz von Weizen gegenüber Ozonschädigung durch *Puccinia graminis* bereits vor der Penetration seiner Keimhyphen läßt vermuten, daß von den keimenden Sporen produzierte Substanzen die Physiologie der Pflanze verändern und diese so vor der Schädigung schützen (Heagle und Key 1973 b).

4. Schutz der Pflanzen vor Luftschadstoffen bei Anwendung chemischer Hilfsstoffe

Chemische Stoffe, die Pflanzen vor Ozonschäden (oxidant stipple) schützen, können folgendermaßen gruppiert werden:

- Antioxidantien können dem Effekt der photochemischen Oxidantien entgegenwirken
- Fungizide können sowohl gegen Pilze als auch gegen photochemische Oxidantien aktiv sein
- Wachstumsregulatoren ändern das Pflanzenwachstum wie auch die Sensibilität gegenüber Photooxidantien.

4.1 Antioxidantien

Stoffe dieser Gruppe verhindern die Reaktion von organischen Komponenten mit Luftsauerstoff, indem sie Ozon an der Blattoberfläche adsorbieren und reduzieren, bevor es in die Pflanze eindringt; somit kommt es nicht zu den oxidativen, schädlichen Prozessen im pflanzlichen Gewebe (Tab. 1). Die primären Angriffsstellen für Ozon sind die Zellmembranen, insbesondere die Lipide können leicht mit Photooxidantien reagieren. Angriffspunkte sind die Doppelbindungen ungesättigter Fettsäuren, die durch Ozon aufgebrochen werden. Um sich vor solchen Schäden zu schützen, verfügen die Pflanzen über „Entgiftungssysteme" für oxidierende Verbindungen. Dabei werden spezielle Enzyme (Oxidasen) aktiviert, die das Ozon zu unschädlichem O_2 reduzieren. Werden diese Oxidasen überaktiviert, können oxidative Prozesse ablaufen, welche ihrerseits auch das Pflanzengewebe schädigen. Die Wirkung von Ascorbinsäure als Antioxidans erwies sich als schwach, weil sie unter dem Einfluß von Ozon zu Dehydroascorbinsäure oxidiert wird (Siegel 1962). Elfving et al. (1976) untersuchten den Einfluß des Antioxidans DPA (Diphenylamine) als Schutz vor Ozon auf Apfelblättern. Die Apfelsämlinge (*Malus pumila*) wurden mit einer Ozonkonzentration von 600 $\mu g/m^3$ während 6 Tagen begast. Die Anwendung von 1000 ppm DPA erfolgte übers Blatt. Es wurde eine eindeutige Reduktion von Ozonschäden auf den Blättern festgestellt, und histologische Untersuchungen zeigten eine wesentlich geringere Zerstörung des Palisadenparenchyms. Die größte Wirkung als Antioxidans erreichte EDU (Äthylen-Harnstoff). Hofstra et al. (1978) stellten fest, daß EDU bei ozonanfälligen Bohnensorten (*Phaseolus vulgaris*) Ozonflecken stärker reduzierte als die systemischen Fungizide Carboxin und Benomyl. Es wurden um 36% höhere Erträge erreicht als bei unbehandelten Kontrollen.

Untersuchungen von Cathey und Heggestad (1982) zeigten, daß EDU als Schutz vor Ozonschäden bei verschiedenen Gemüse- und Zierpflanzen wirkte. Die chemische Wirkung beruht auf einem Schutz der Zellmembran vor der Zerstörung durch freie Radikale, indem oxidationshemmende Enzyme aktiviert werden.

Tab. 1. Antioxidantien welche Kulturpflanzen vor Ozonschäden schützen (nach Kender and Forsline 1983)

Wirkstoff	Anwendung über		Ozonbegasung in „open-tops"	Exposition im Freiland
	Blätter	Boden		
Ascorbinsäure	+		Bohnen, Petunien	Bohnen, Sellerie, Zitrone, Salat, Petunien
Diphenylamine	+		Apfel	Reben
DPX 4891		+		Kartoffeln
Äthylen-Harnstoff	+		Bohnen, Tomaten	Bohnen
Äthylen-Harnstoff		+	Bohnen, Tomaten	
Santoflex	+		Apfel, Bohnen, Melonen	

Tab. 2. Fungizide, welche Pflanzen vor Ozonschäden schützen (nach Kender and Forsline 1983)

Fungizide	Anwendung über		Ozonbegasung in „open-tops"	Exposition im Freiland
	Blätter	Boden		
Benomyl	+		Chrysanthemen, Bohnen	Azaleen, Bohnen, Reben
Benomyl		+	Chrysanthemen, Bohnen, Gurken	Azaleen, Bohnen
Carboxin		+	Bohnen	Bohnen
NiDD	+		Bohnen	Bohnen
Thiophanate	+		Bohnen	
Thiophanate		+	Bohnen, Chrysanthemen	
Triarimol	+	+	Bohnen	
Zineb	+		Bohnen	

4.2 Fungizide

Untersuchungen zeigten bereits in den fünfziger Jahren, daß Behandlungen mit Dithiocarbamaten wie Zineb und Maneb Ozonschäden auf Bohnen der Sorte Pinto (*Phaseolus vulgaris*) vermindern. Die Wirkung dieses Schutzes war lokal begrenzt. Bei niedrigen Konzentrationen (<2 g Wirkstoff/Liter) war ein Schutz bei Ozonkonzentrationen von 0,4 ppm wirkungslos. Es wird vermutet, daß eine Reduzierung von Oxidantien an der Blattoberfläche stattfindet. Bordeauxbrühe erwies sich in diesem Zusammenhang als wirkungslos gegen Ozonschäden (Kendrick und Middleton 1954).

Mehrere Autoren (Taylor 1970, Pellissier et al. 1972, Kender und Forsline 1983) erwähnen, daß Benomylbehandlungen bei verschiedenen Pflanzenarten wie Tabak, Reben und Bohnen zu einer Reduktion von Ozonflecken auf den Blättern führen. Auch andere Fungizide aus der Gruppe der Benzimidazole verändern die Ozonanfälligkeit von Pflanzen (Tab. 2). Weder Benomyl noch andere Benzimidazole reagieren mit Ozon direkt.

Seem et al. (1972) stellten bei Triarimol-Behandlungen eine Reduktion von Ozonflekken auf Bohnen (Sorte Pinto) fest. Die Bohnen wurden nach 11 Tagen zum erstenmal mit einer Ozonkonzentration von 0,25–0,35 ppm (> 500 $\mu g/m^3$) während 4 h begast. Triarimol ist ein die Sterolsynthese hemmendes Fungizid (SSH) aus der chemischen Gruppe der Pyrimidine. Neuere Untersuchungen von Flechter (1985), Mackay et al. (1987) zeigen, daß Triazole Ozonschäden verhindern können. Sieben Tage alte Weizenpflänzchen (Sorte Frederick) wurden einer Ozonkonzentration von 1000 $\mu g/m^3$ während einer Periode von 6 h ausgesetzt. Die Blätter entwickelten typische Symptome von Ozonschäden. Die mit Triazol S-3307 (0,03 g/kg Saatgut) behandelten Pflanzen (Samenbeizung) zeigten im Gegensatz zur Kontrolle keine Ozonschäden.

Triazole sind eine Gruppe von SSH-Fungiziden, die je nach dem prozentualen Anteil der verschiedenen Stereoisomere sowohl fungitoxische als auch phytohormonelle Eigenschaften besitzen. Als Fungizide werden sie gegen zahlreiche Pilzkrankheiten in allen Kulturen seit rund 10 Jahren eingesetzt. Ihre Wirkung als Pflanzenhormone beruht auf der Hemmung der Gibberellinsäuresynthese und der Induzierung von Cytokinin und Abscisinsäure (ABA). Erhöhte Cytokininaktivität verzögert das Wachstum der Pflanze. Behandelte Pflanzen werden kürzer, kompakter und bilden dickere, grünere Blätter mit einem signifikant höheren Chlorophyllgehalt. Abscisinsäure induziert eine Schließung der Spaltöffnungen.

Die interessanten und komplexen Interaktionen zwischen den unter Einfluß von Ozon und Triazolen stehenden Pflanzen, Krankheitserregern und der übrigen mikrobiellen Begleitflora sollten eingehend untersucht werden. Oft werden auf Pflanzen Schädigungen unbekannter Ursache beobachtet. In diesem Zusammenhang sind auch allfällige kumultive Effekte von Pestiziden und Luftschadstoffen zu untersuchen.

4.3 Wachstumsregulatoren

Phytohormone wie Indolessigsäure (IAA), Gibberellinsäure (GA) und Abscisinsäure (ABA) können die Anfälligkeit von Pflanzen gegenüber Ozon erniedrigen (Siegel 1962). Die Wirkungen dieser Wachstumsregulatoren beruhen auf einer Wachstumsverzögerung und einer Änderung der Blattstruktur (reduziert Zellgröße, interzellularen Raum und Spaltöffnungen; erhöht Chlorophyllgehalt und Anzahl der Palisadenparenchymzellen). Regulatoren mit Antiseneszenz-Eigenschaften verzögern die ozoninduzierte vorzeitige Alterung. Der spezielle Einsatz von Phytohormonen zur Verhinderung von Ozonschäden wurde aus verschiedenen Gründen nie in Erwägung gezogen.

5. Zusammenfassung

Auf den von Luftschadstoffen akute oder latent geschädigten Pflanzen ist die Entwicklung von obligat parasitischen Pilzen meist gehemmt. Bei nicht-obligat parasitischen Pilzen jedoch kann die Häufigkeit und die Schwere von Infektionen erhöht sein. Dieser Befund fällt umso mehr ins Gewicht, als auch die nicht obligat parasitischen Pilze sehr zahlreich, weit verbreitet und für große Schäden verantwortlich sind. Über die Produktion und Verbreitung des Inokulums (Infektionspotential) in Abhängigkeit von Luftschadstoffen ist noch wenig bekannt. Einzelne Wirkstoffe aus der Gruppe der Antioxidantien, Fungizide und Wachstumsregulatoren vermindern die Ausprägung von Ozonschäden auf verschiedenen Pflanzenteilen. Diese Wirkstoffe sind jedoch zum spezifischen Einsatz gegen Ozonschäden nicht empfohlen. Die komplexen Interaktionen zwi-

schen den unter dem Einfluß von Luftschadstoffen stehenden Pflanzen, Krankheitserregern und Wirkstoffen müssen eingehend untersucht werden, insbesondere da je nach Jahr phytotoxische Erscheinungen auftreten, die nicht auf bekannte Ursachen zurückzuführen sind.

6. Literatur

Bisessar S. P. and Temple P. J. 1977. Reduced ozone injury on virus-infected tobacco in the field. Plant Disease Reporter 61: 961–963.

Brennan E. and Leone I. A. 1969. Suppression of ozone toxicity symptoms in virus-infected tobacco. Phytopathology 59: 263–264.

Brennan E. and Leone I. A. 1970. Interaction of tobacco mosaic virus and ozone in *Nicotiana sylvestris*. J. Air Pollut. Control Ass. 20: 470.

Cathey H. M. and Heggestadt H. E. 1982. Ozone sensitivity of herbaceous plants. Modification by ethylenediurea. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 107: 1035–1042.

Costonis A. C. and Sinclair W. A. 1972. Susceptibility of healthy and ozone-injured needles of *Pinus strobus* to invasion by *Lophodermium pinastri* and *Aureobasidium pullulans*. Eur. J. Forest. Pathol. 2: 65–73.

Curtis C. R. and Howell R. K. 1971. Increases in peroxidase isoenzyme activity in bean leaves exposed to low doses of ozone. Phytopathology 61: 1306–1307.

Curtis C. R., Howell R. K. and Kremer D. F. 1976. Soybean peroxidases from ozone injury. Environ. Pollut. 11: 189–194.

Dass H. C. and Weaver G. M. 1968. Modification of ozone damage to *Phaseolus vulgaris* by antioxidants thiols and sulfhydryl reagents. J. Plant. Sci. 48: 569–574.

Davis D. D. and Smith S. H. 1974. Reduction of ozone-sensitivity of pinto bean by bean common mosaic virus. Phytopathology 64: 383–385.

Davis D. D. and Smith S. H. 1976. Reduction of ozone sensitivity of pinto bean by virus-induced local lesions. Plant Disease Reporter 60: 31–34.

Dugger W. M., Tylor O. C., Cardiff E. and Thompson C. R. 1962. Relationship between carbonhydrate content and susceptibility of pinto bean plants to ozone damage. Am. Soc. Hort. Sci. Proc. 81: 304–315.

Elfving D. C., Gilbert M. D. and Edgerton L. J. 1976. Antioxidant and antitranspirant protection of apple foliage against ozone injury. Bul. Env. Contam. Toxicol. 15: 336–341.

Feicht P. G. 1981. Effects of ozone and simulated acid rain on interactions between *Glomus macrocarpus* and Soybean. MS thesis, Raleigh: North Carolina State University.

Flechter R. A. 1985. Triadimefon a plant multi-protectant. Plant Cell Physiol. 26: 775–780.

Heagle A. S. 1970. Effect of low-level ozone fumigations on crown rust of coats. Phytopathology 60: 252–254.

Heagle A. S. 1973. Interactions between air pollutants and plant parasites. Ann. Rev. Phytopathol. 11: 365–388.

Heagle A. S. 1975. Response of three obligate parasites to ozone. Environ. Pollut. 9: 91–95.

Heagle A. S. 1982. Interactions between air pollutants and parasitic plant diseases. In: Unsworth M. H. and Ormod D. P. (Ed.), Effects of gaseous air pollutants in agriculture and horticulture, p. 333–348. London: Butterworths.

Heagle A. S. and Strickland A. 1972. Reaction of *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* to low levels of ozone. Phytopathology 63: 1144–1148.

Heagle A. S. and Key L. W. 1973 a. Effect of ozone on the wheat stem rust fungus. Phytopathology 63: 397–400.

Heagle A. S. and Key L. W. 1973 b. Effect of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* on ozone injury in wheat. Phytopathology 63: 609–613.

Hibben C. R. and Stotzky G. 1969. Effects of ozone on the germination of fungus spores. Can. J. Microbiol. 15: 1187–1196.

Hofstra G, Littlejohns D. A. and Wukasch R. T. 1978. The efficacy of the antioxidant ethylenediurea (EDU) compared to carboxin and benomyl in reducing yield losses from ozone in navy bean. Plant Disease Reporter 62: 350–352.
Howell R. K. 1970. Influence of air pollution on quantities of caffeic acid isolated of *Phaseolus vulgaris*. Phytopathology 60: 1626–1629.
Ingram M. and Haines R. B. 1949. Inhibition of bacterial growth by pure ozone in the presence of nutrients. J. Hyg. 47: 146–156.
Keen N. T. and Taylor O. C. 1975. Ozone injury in soybeans. Isoflavonoid accumulation is related to necrosis. Pl. Physiol. 55: 731–733.
Keller Th. 1977. Begriff und Bedeutung der „latenten Immissionsschädigung". Allg. Forst- u. J.-Ztg. 148: 115–120.
Kender W. J. and Forsline P. L. 1983. Remedial measures to reduce air pollution losses in horticulture. Hort. Sci. 18: 680–684.
Kendrick J. B. and Middleton J. T 1954. Chemical protection of plants from ozonated olefin (smog) injury. Abstr. Phytopathology 44: 494–495.
Kormelink J. R. 1967. Effect of ozone on fungi. MS thesis. Univ. Utah, Salt Lake City, 28 pp.
Kuss F. R. 1950. The effect of ozone on fungus sporulation. MS thesis, Univ. of New Hampshire, 27 pp.
Laurence J. A. 1980. Effects of air pollutants on plant interactions. Z. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 87: 156–172.
Mackay C. E., Senaratna T. and Flechter R. A. 1987. Ozone induced injury to cellular membranes in *Triticum aestivum* and protection by the triazole S-3307. Plant Cell Physiol. 28: 1271–1278.
Magdycz W. P. 1972. The effects of concentration and exposure time on the toxicity of ozone to the spores of *Botrytis cinerea*. MS thesis, University of Massachusetts, Waltham, 39 pp.
Magdycz W. P. and Manning W. J. 1973. *Botrytis cinerea* protects broad beans against visible ozone injury. Phytopathology 63: 204.
Manning W. J., Feder W. J., Perkins I. and Glickmann M. 1969. Ozone injury and infection of potato leaves by *Botrytis cinerea*. Plant Disease Reporter 53: 691–693.
Manning W. J., Feder W. A. and Perkins I. 1970a. Ozone and infection of geranium flowers by *Botrytis cinerea*. Phytopathology 60: 1302.
Manning W. J., Feder W. A. and Perkins I. 1970b. Ozone injury increases infection of geranium leaves by *Botrytis cinerea*. Phytopathology 60: 669–670.
Manning W. J., Feder W. A., Papia P. M. and Perkins I. 1971a. Influence of foliar ozone injury on development and root surface fungi of pinto bean plants. Environ. Pollut. 1: 305–312.
Manning W. J., Feder W. A., Papia P. M. and Perkins I. 1971b. Effects of limestone dust leaf condition, foliar disease incidence and leaf surface microflora of native plants. Environ. Pollut. 2: 68–71.
Manning W. J., Feder W. A. and Perkins I. 1972. Effects of *Botrytis* and ozone on bracts and flowers of poinsettia cultivars. Plant Disease Reporter 56: 814–816.
McCool P. M., Menge J. A. and Taylor O. C. 1979. Effects of ozone and HCl gas on the development of the mycorrhizal fungus *Glomus fasciculatus* and growth of 'Troyer' citrange. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104: 151–154.
Menser H. A. and Chaplin J. F. 1969. Air pollution: Effects on the phenolic and alkaloid content of cured tobacco leaves. Tobacco Sci. 13: 169–170.
Moyer J. W. and Smith S. H. 1975. Oxidant injury reduction on tabacco induced by tobacco etch virus infection. Environ. Pollut. 9: 103–106.
Pellissier M., Lacasse N. L. and Cole H. J. 1972. Effectiveness of benzimidazole, benomyl, and thiabendazole in reducing ozone injury to pinto beans. Phytopathology 62: 580–582.
Richards M. C. 1949. Ozone as a stimulant for fungus sporulation. Phytopathology 39: 20.
Saunders P. J. 1973. Effects of atmospheric pollution on leaf surface microflora. Pestic. Sci. 4: 589–595.
Schomer H. A. and McColloch L. P. 1948. Ozone in relation to storage of apples. U.S.D.A. Circ. No. 765, 24 pp.

Schreiber M. C. and Krupa S. V. 1976. The response of *Phaseolus vulgaris* 'Bountiful' to ozone, *Uromyces phaseoli* and their interaction. Proc. Am. Phytopath. Soc. 3: 226.
Seem R. C. H., Cole H. J. and Lacasse N. L. 1972. Supression of ozone injury of *Phaseolus vulgaris* 'Pinto III' with triarimol and its analogues. Plant Disease Reporter 56: 386–390.
Siegel S. M. 1962. Protection of plants against airborne oxidants: cucumber seedlings at extreme ozone levels. Plant Physiol. 37: 261–266.
Smock R. M. and Watson R. D. 1941. Ozone in apple storage. Refrig. Eng. 42: 97–101.
Spalding D. H. 1966. Appearance and decay of strawberries, peaches and lettuce treated with ozone. U.S.D.A. Mkt. Res. Rept. No. 756, pp. 11.
Taylor G. S. 1970. Tobacco protected against fleck by benomyl and other fungicides. Phytopathology 60: 578.
Wukasch R. T. and Hofstra G. 1977a. Ozone and *Botrytis* interactions in onion-leaf dieback: open-top chamber studies. Phytopathology 67: 1080–1084.
Wukasch R. T. and Hofstra G. 1977b. Ozone and *Botrytis* interactions in onion-leaf dieback: field studies. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102: 543–546.