

Springer-Lehrbuch

Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz

Bearbeitet von
Horst Börner, Klaus Schlüter, Jens Aumann

überarbeitet 2009. Taschenbuch. xvi, 690 S. Paperback

ISBN 978 3 540 49067 8

Format (B x L): 15,5 x 23,5 cm

Gewicht: 2150 g

[Weitere Fachgebiete > Chemie, Biowissenschaften, Agrarwissenschaften > Botanik > Pflanzenpathologie, Pflanzenkrankheiten](#)

Zu [Inhaltsverzeichnis](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

**beck-shop.de**
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

2 Abiotische Schadursachen

Sowohl die Kulturen des Ackerbaus als auch des Obst-, Wein- und Gemüsebaus müssen qualitativ hochwertige Produkte hervorbringen, die den Ansprüchen des Marktes gerecht werden. Zierpflanzen sollen das arttypische gesunde Erscheinungsbild aufweisen, einen dekorativen Blattapparat aufbauen und einen reichen Blütenansatz bilden. Dazu benötigen alle Pflanzenarten **optimale Wachstumsbedingungen**. Sind diese nicht gegeben, ist bereits mit einer erhöhten Disposition (Anfälligkeit) gegenüber Krankheitserregern zu rechnen.

Wenn an Pflanzen Schadsymptome sichtbar sind, kommen neben Krankheitserregern und Schädlingen auch zahlreiche abiotische Ursachen in Betracht (Abb. 2.1).

2.1 Temperatur

Kulturpflanzenarten unterscheiden sich – in Abhängigkeit von ihrer Herkunft – ganz besonders in ihrer **Temperaturempfindlichkeit**. Man unterscheidet dabei drei Formen der Temperatureinwirkung: **Kälteschäden** bei Temperaturen unter 0°C; **Kühleschäden** oberhalb des Gefrierpunktes und **Hitzeschäden**.

Kälteschäden

Eine Temperaturabsenkung unter den Gefrierpunkt des Wassers hat in den Zellen und Geweben der Pflanzen erhebliche Folgen, weil es zur **Zellzerstörung durch die Bildung von Eiskristallen** kommt. Diese setzt **zuerst**

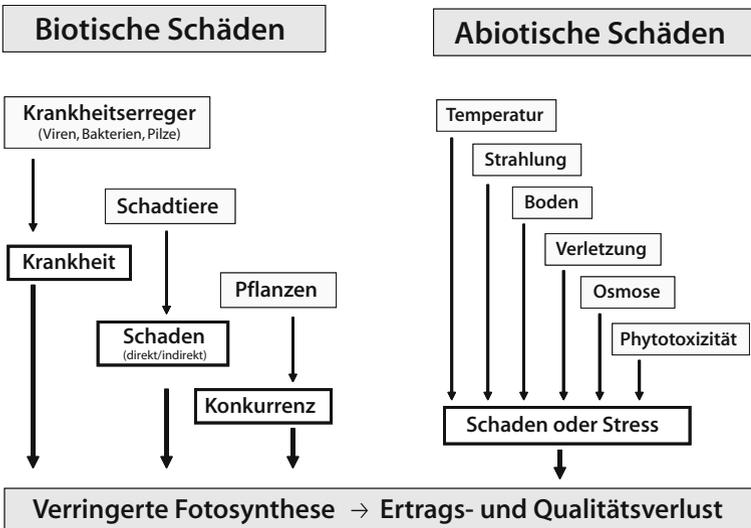


Abb. 2.1 Schadensursachen an Kulturpflanzen

in den **Interzellularen** ein; hier ist der Gefrierpunkt höher als im Zytoplasma, welches die stärkere Salzkonzentration aufweist. Durch die Eisbildung verändert sich das Wasserpotential und Wasser tritt aus dem Zytoplasma aus. Der Zelltod wird meist durch eine Zerstörung der Membranen ausgelöst, die sowohl vom starken Wasserverlust des Plasmas als auch durch die mechanische Belastung über die Eisnadelkristalle hervorgerufen werden kann.

Damit Pflanzen aus den gemäßigten Zonen ihre **Winterhärte** erreichen, muss eine **Konditionierung** erfolgen (engl. *cold acclimation*). Bei Wintergetreide, Raps und Obst- und Ziergehölzen wird dieser Vorgang durch die abnehmende Tageslänge vom Spätsommer bis in den Herbst bei gleichzeitig fallenden Tagestemperaturen ausgelöst. Es wird heute davon ausgegangen, dass entsprechende Gene unter diesen Voraussetzungen aktiviert werden und neue Enzymproteine entstehen. Dadurch treten Veränderungen im Stoffwechsel ein, die beispielsweise durch die Anreicherung von Saccharose und anderen Einfachzuckern eine Absenkung des Gefrierpunktes auslösen und so zum Schutz der Membranen beitragen. Bei frosttoleranten Pflanzenarten haben folglich Temperaturen unter 0°C nach einer Phase der Abhärtung keine Schäden zur Folge.

Aber auch winterharte Pflanzen können **nach dem Austrieb** im Frühjahr unter Frost leiden, weil ihr Stoffwechsel zu diesem Zeitpunkt auf Zellvermehrung, -streckung und -differenzierung angelegt ist. Eine schnelle Abkühlung der wachsenden Pflanzenorgane (z. B. durch Strahlungs-

frost) hat unweigerlich Schäden zur Folge, die an Ziergehölzen häufig zum **Absterben der Jungtriebe** führen. Vor allem Nadelgehölze zeigen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Spätfrösten. Der junge Austrieb („Maitrieb“) stirbt ab und verbräunt. Bei nur leichter Schädigung des jungen Triebes folgt daraus eine **erhöhte Anfälligkeit für Schwächeparasiten** wie Grauschimmel, der dann das junge Gewebe völlig zerstört. Insbesondere in Weihnachtsbaumkulturen (Nordmanntannen, *Abies nordmanniana*) können derartige Schäden immens sein, wenn ein ganzer Nadeljahrgang ausfällt und der Zierwert der Bäume erheblich beeinträchtigt wird.

Obstgehölze besitzen äußerst frostempfindliche Blüten. Bei nächtlichem Strahlungsfrost ist es durch Einsatz einer Frostschutzberegnung möglich, Schäden an den Blüten zu verhindern, weil die bei der Eisbildung freigesetzte Wärmeenergie für die Einhaltung verträglicher Temperaturen sorgt, so dass es nicht zum Absterben der Blüten kommt.

In Ackerbaukulturen hat das Durchfrieren des Bodens einen positiven Effekt auf die Bodenstruktur und bewirkt die **Frostgare**. Wechseln sich Frost und Tauwetter jedoch ständig ab, so führt das Heben und Senken der durchwurzelten Bodenzone zum **Abreißen der Wurzeln** und zum „Auf-frieren“ der Pflanzen, die später vertrocknen.

Kühleschäden

Bei Pflanzen aus subtropischen oder tropischen Klimazonen (z. B. Mais) können Temperaturen auch **oberhalb des Gefrierpunktes** Entwicklungsstörungen auslösen. Für das optimale Wachstum dieser Kulturen liegt die Temperatur bei 20°C oder sogar noch darüber. Fällt die Temperatur unter einen kritischen Wert und kommen während oder kurz nach einer solchen Witterungsphase noch weitere belastende Faktoren dazu (z. B. Einsatz von Herbiziden im Nachauflaufverfahren), dann ist eine nachhaltige Beeinträchtigung der Pflanzenentwicklung möglich.

Auch bei kühle- und kältetoleranten Pflanzen bewirken niedrige Temperaturen während des starken Wachstums im Frühjahr **violette bis rot-violette Verfärbungen** an den Blättern durch die Anreicherung von Anthocyanen. Häufig treten auch **Deformationen** auf.

Die **Blüte** kann unter Kälteeinwirkung erheblich leiden, noch bevor sie sich vollständig entwickelt hat. Ein typisches Schadbild im Getreide ist die „Laternenblütigkeit“. Sie tritt besonders häufig in Wintergerste auf. Die Auslösung erfolgt, wenn in der Schossphase die Differenzierung der Ähre abgeschlossen ist und sich die Blütenorgane ausbilden. Kommt es in diesem Zeitraum durch Strahlungsfrost zur Abkühlung des Gewebes auf

Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt, wird die Meiose bei der Pollenentwicklung gestört. Es tritt eine Polleninfertilität auf und die Befruchtung der Blüten sowie die Kornausbildung unterbleiben. Im Gegenlicht erscheinen die „tauben“ Ährchen dann hell durchscheinend und setzen sich deutlich von den befruchteten ab.

Hitzeschäden

Selbst bei starker Sonneneinstrahlung und hoher Lufttemperatur ergibt sich aufgrund der Transpiration bei vitalen Pflanzen ein ausreichender Kühlungseffekt an den Blättern, so dass in gemäßigten Breiten Hitzeschäden eher selten auftreten. Kommt es jedoch zum akuten **Wassermangel**, dann ist mit einer **Überhitzung** des Gewebes und Zelltod zu rechnen. Bereits Temperaturen oberhalb von 40°C führen zur **Protein-Denaturierung** und irreversiblen Schäden durch Enzymzerstörung. Aus diesem Grund sind Pflanzenschäden als Folge einer lang anhaltenden Trockenheit meist auf Überhitzung zurückzuführen.

Wenn erntefeuchtes Getreide mit Warmluft getrocknet wird, kann es bei ungleichmäßiger Luftverteilung ebenfalls zu Überhitzungen kommen. Die Folge ist eine Verringerung der Keimfähigkeit und Triebkraft bei Saatgetreide, da die Embryonen im Korn Schaden genommen haben. Zu hohe Temperaturen bei der Heißwasserbeizung haben den gleichen Effekt.

2.2 Strahlung

Sonnenlicht vermag empfindliche Kulturen zu schädigen. So kennt man braune bis braun-schwarze Blatflecken an der **Wintergerste**, die vor allem nach dem Schossen bei strahlungsreicher Witterung an solchen Blättern auftreten, die dem Sonnenlicht besonders stark ausgesetzt sind. Es lassen sich in solchen Fällen weder biotische Ursachen in Form von Krankheitserregern noch Resistenzreaktionen nachweisen, wie sie bei manchen Gerstensorten in Form der hypersensitiven Reaktion gegen den Echten Mehltau bekannt sind.

Stattdessen spielen hier Umweltfaktoren eine wichtige Rolle, wobei **intensive Sonneneinstrahlung** nach Phasen kühler Witterung, Temperaturschwankungen und möglicherweise auch erhöhte Ozonkonzentrationen der Luft die größte Bedeutung erlangen. Diese **nicht-parasitären Blatflecken** werden international als **PLS** (*physiological leaf spots*) bezeichnet. In der Praxis des Getreidebaus hat sich der Begriff „Sonnenbrand“ eingebürgert.

Es handelt sich dabei um Zellen des Blattgewebes, die als Folge exogener und endogener Faktoren – je nach Sorte – als kleine bis mittelgroße Nekrosen auffällig werden. Bei Wintergerste kann mehr als die Hälfte der photosynthetisch aktiven Blattfläche betroffen sein.

Pflanzen bauen aggressive Verbindungen (z. B. H_2O_2) zu unschädlichen Substanzen ab. Es gibt inzwischen zahlreiche Hinweise darauf, dass Wetter- und Umweltschäden das **antioxidative System** des Getreides in Phasen intensiven Wachstums überlasten und es zu einer **Anreicherung reaktiver Sauerstoffspezies** (*reactive oxygen species*: **ROS**) und **freier Radikale** im Blattparenchym kommen kann. Eine Zerstörung der Pigmente (Chlorophyll u. andere) sowie der Membranen ist die Folge.

Bei **Winterweizen** sind physiologisch bedingte Blattflecken ebenfalls bekannt, die sich meist nur in Form punktförmiger Aufhellungen, aber auch durch hell- bis dunkelbraune Nekrosen bemerkbar machen. Diese Symptome treten besonders häufig nach Phasen kühler, feuchter Witterung mit anschließendem, strahlungsreichem Hochdruckwetter auf. Ähnlich wie bei Gerste ergeben sich Unterschiede in der Symptomausprägung zwischen den Sorten. Ältere Weizensorten zeigen sogar flächig ausgedehnte Marmorierungen. Diese sind denen bestimmter Viruskrankheiten ähnlich, so dass Verwechslungen leicht möglich sind. Seit längerer Zeit ist bekannt, dass Fungizide (z. B. Chlorthalonil, Azole, Strobilurine) PLS teilweise oder sogar vollständig unterdrücken können, wenn deren **Applikation vor** der Strahleneinwirkung stattfand.

2.3 Boden

Böden bilden die natürlichen Substrate, in denen sich Kulturpflanzen verankern, Haarwurzeln ausbilden und große Mengen von Wasser und gelösten Nährstoffen aufnehmen. Aber nicht jeder Boden befindet sich dabei zu jeder Zeit im Idealzustand, so dass abiotische Schäden häufig ihre Ursache in den Bodeneigenschaften haben.

Verdichtung/Staunässe

Bodenverdichtungen – insbesondere im Untergrund – haben Staunässe und Sauerstoffmangel zur Folge, wodurch Wachstumsschäden ausgelöst werden. An den oberirdischen Pflanzenteilen macht sich das als rot-violette Verfärbung durch verstärkte Bildung von Anthocyanen bemerkbar. Eine Abgrenzung der Ursache ist nicht immer einfach, da auch Phosphormangel

und Frost zu einer solchen Farbstoffanreicherung führen. Daneben sind gelbliche Verfärbungen und ein Verdorren der Blattränder zu beobachten. Derartige Symptome werden häufig unzutreffend auf den Befall mit Schadorganismen zurückgeführt.

Mangel an Nährelementen

Nährstoffmangelsymptome werden oft falsch interpretiert und auf Schadorganismen zurückgeführt. Die Unterscheidung in einem Pflanzenbestand ist jedoch vielfach schon anhand der Verteilung des Schadbildes möglich: **Nährstoffmangelsymptome** sind daran zu erkennen, dass sie meist **flächen-deckend** im Bestand auftreten, während **biotische Schäden** der Wurzeln überwiegend **nesterweise** vorliegen und häufig eine scharfe Abgrenzung aufweisen.

In den zurückliegenden Jahren hat es sich vor allem im Ackerbau eingebürgert, bei der Minereraldüngung relativ reine Nährstoffe mit Betonung der Makronährelemente (N, P, K, Mg, S) einzusetzen. Viele der heute üblichen Grunddünger enthalten meist überhaupt keine Mikronährelemente mehr. Insbesondere im Ackerbau und Feldgemüsebau kann auf Hohertragsstandorten deshalb immer häufiger ein **latenter Mangel an Mangan, Kupfer, Zink, Bor oder Molybdän** festgestellt werden. Die dadurch in der Pflanze ausgelösten Stoffwechselstörungen erhöhen ihre Disposition für pilzliche und tierische Schadorganismen.

Ein Mangel an mineralischen Nährelementen kann allerdings trotz positiver Bodenanalyse gelegentlich auch auf ansonsten gut versorgten Standorten vorkommen. Ein typisches Beispiel ist der während der Hauptwachstumsphase auftretende **Manganmangel** in vielen Kulturen, wenn durch fortschreitende **Austrocknung** der Böden die Pflanzenverfügbarkeit dieses Nährelementes als Folge der Oxidation stark abnimmt und die erscheinenden Blattsymptome für Pilzkrankheiten gehalten werden. So wird zum Beispiel Manganmangel in Wintergerste oft als Befall mit *Rhynchosporium secalis* (*Rhynchosporium*-Blattfleckenkrankheit) interpretiert.

An Hafer führt Manganmangel zur **Dörrfleckenkrankheit**, deren Symptome leicht mit einer pilzlichen Erkrankung zu verwechseln sind. Kupfermangel verursacht weiße Trieb- und Blattspitzen an Getreide und ist auch als „**Heidemoor- oder Urbarmachungskrankheit**“ bekannt. Dieses Schadbild tritt vor allem dann auf, wenn durch hohe Humusgehalte eine ausgeprägte Festlegung von Kupfer erfolgt und/oder durch eine Anhebung des pH-Wertes durch Kalkung ein erheblicher Mangel induziert wird. Problematisch ist die knappe Versorgung mit Kupfer und Zink auch auf Hoch-

ertragsstandorten, da ein latenter Nährstoffmangel den Befall mit Krankheitserregern fördern kann.

In verschiedenen **Gemüsekulturen** (Fruchtgemüse, Kohlgemüse, Salate) und im Kernobst (v. a. Apfel) ist häufig eine **mangelhafte Einlagerung von Calcium** in die Früchte nachweisbar. Dieses Nährelement ist in Pflanzen wenig mobil, wird jedoch in Phasen starken Streckungswachstums vermehrt bei der Ausbildung der Mittellamellen benötigt. Kommt es zum Mangel, dann erfolgt keine hinreichende Stabilisierung der Zellwandstruktur und das Gewebe kollabiert. Eine hohe Versorgung mit Stickstoff, Kalium und/oder Magnesium kann die Kalziumversorgung beeinträchtigen. Auch Phasen starken vegetativen Wachstums führen zu einer unausgewogenen Nährstoffversorgung. Da die Verdunstung bei Früchten weitaus geringer ist als die bei Blättern, wird weniger Kalzium mit dem Transpirationsstrom in die Früchte verlagert. Deshalb tritt Kalziummangel an Blättern seltener auf.

Seit langem bekannt ist dieses Problem bei **Äpfeln**; hier kommt es bei Ca-Defiziten zur **Fleischbräune** (Stippigkeit). Es können auch ausgedehnte Bereiche des Fruchtfleisches oder ganze Kerngehäuse betroffen sein. Bei Eisbergsalat und anderem Salatgemüse, bei Chinakohl und Kopfkohl führt Calciummangel zu Gewebenekrosen, die einer viralen oder bakteriellen Infektion ähnlich sehen. Gelegentlich kommt es aufgrund der Gewebeschäden zu einer Sekundärinfektion durch bakterielle Fäulniserreger.

Vor allem an **Tomaten** und Paprika führt Calciummangel zur **Blüten-Endfäule**. Dabei stirbt das Gewebe um den Blütenansatz ab und verfärbt sich mittel- bis dunkelbraun, was den Eindruck einer Fäule hervorruft. Auch das Auftreten von **Schadorganismen an der Wurzel** kann indirekt Einfluss auf die Nährstoffversorgung haben. Das gilt beispielsweise für den Befall mit pflanzenparasitären Nematoden. Bei **Wintergerste** löst dieser eine Minderversorgung mit Mangan aus, die sich vor allem in Phasen warmer, trockener Herbstwitterung bemerkbar macht.

pH-Wert

Eine weitere Schadursache ist ein suboptimaler pH-Wert des Bodens. Auf vielen Standorten – insbesondere im Ackerbau – wird einer bedarfsgerechten Kalkversorgung des Bodens häufig nicht entsprochen, so dass die tatsächlichen Werte um 0,5–1,0 pH zu niedrig liegen. Dadurch reduzieren sich Verfügbarkeit und Aufnahme von Haupt- und Spurenelementen. Säureempfindliche Kulturen wie Gerste, Zuckerrüben, Gemüse- und Obstarten werden darüber hinaus in ihrer Wurzelentwicklung beeinträchtigt. Als Folge des reduzierten Wachstums ist meist auch eine höhere Krank-

heits- und Schädlingsanfälligkeit zu beobachten, die Wachstumsleistung der Pflanzen lässt zu wünschen übrig und der Zierwert ist oft deutlich gemindert.

2.4 Verletzungen

Pflanzenorgane im Streckungswachstum sind häufig anfällig für mechanische Einwirkungen, die unter anderem durch das Aufeinanderschlagen von Blattspitzen unter Windeinfluss auftreten. Dabei kommt es schnell zur **Beschädigung der Epidermis**, so dass aus dem darunter liegenden Parenchym viel Wasser verdunsten kann und Gewebenekrosen entstehen.

Defekte der pflanzlichen Epidermis bilden **Eintrittsporten für mechanisch übertragbare Viruskrankheiten**, was vor allem in Kartoffelbeständen vorkommt. Befindet sich in einer Pflanzreihe eine Pflanze, deren Mutterknolle mit einem Virus infiziert war, so haben sich diese Viren während des Wachstums in der gesamten Pflanze verbreitet. Beim Durchfahren des Bestandes mit Ackergeräten treten geringfügige Verletzungen an den Blättern auf und mit Viruspartikeln kontaminierter Zellsaft tritt heraus. Dieser gelangt auf Schlepperreifen oder Ackergeräte. Durch Kontakt mit gesunden Pflanzen werden auch diese geringfügig verletzt und die Viren können an oder in den geschädigten Gewebebereich gelangen. Als Verletzung reicht das Abknicken von Blatthärchen bereits aus.

In vielen Regionen kommt es im Laufe des Sommers zu erheblichem **Hagelschlag**. Durch mechanischen Aufprall der Hagelkörner treten dann Verletzungen an allen oberirdischen Pflanzenorganen auf, was zu einer Zerstörung der Pflanzen und im ungünstigsten Fall zu einer völligen Vernichtung des Ernteguts führen kann. Bereits leichter Hagelschlag verursacht Beschädigungen der Epidermis, die zu Eintrittsporten für Krankheitserreger und Schädlinge werden.

2.5 Osmose

Osmotische Schäden kommen häufig durch **Blattdüngung**, **Meereseinfluss** oder **Bodenversalzung** zustande:

- Die Anwendung von Salzen auf grüne Pflanzenteile erfolgt fast ausschließlich in Form von Flüssigdüngung mit Konzentrationen, die unschädlich sind. Bei zu hoher Dosierung entsteht dagegen eine unzulässig

hohe Salzkonzentration auf dem Blatt, wodurch dem Gewebe durch Osmose Wasser entzogen wird. Bei extremen Konzentrationsunterschieden kann der Wasserverlust zur Schädigung der Biomembranen in den Zellen führen, die dann absterben und punktförmige oder zusammenfließende Nekrosen hinterlassen.

- In Meeresnähe finden im Frühsommer bei extrem stürmischer Witterung gelegentlich hohe Salzeinträge statt und lösen an Obst-, Feld- und Ziergehölzen großflächige Blattnekrosen aus, deren Ursache meist im parasitären Bereich vermutet wird.
- Unter ariden Bedingungen setzt eine Versalzung der obersten Bodenschicht durch die erhöhte Verdunstung von kapillar aufsteigendem Bodenwasser ein, weil die gelösten Salze an der Oberfläche auskristallisieren. Im Freiland wird dieser Effekt hauptsächlich in südlichen Regionen beobachtet, in den gemäßigten Breiten eher selten.
- Im Ackerbau führt eine falsch platzierte Unterfußdüngung (z. B. bei Mais oder Zuckerrüben) in trockenen Jahren häufig zu einer erhöhten Salzkonzentration in der Wurzelzone, so dass Haarwurzeln absterben und die Pflanzen Wasser- und Nährstoffmangel erleiden. Folgt auf eine solche Phase dann kaltes, nasses Wetter, so können verschiedene bodenbürtige Krankheitserreger (*Fusarium*-Arten, *Pythium*-Arten und andere) die geschwächten Pflanzen leicht infizieren und zerstören.

2.6 Phytotoxizität

Zahlreiche Substanzen verursachen unter ungünstigen Bedingungen bei Kulturpflanzen erhebliche Schäden. Besondere Bedeutung kommt hierbei den Agrochemikalien, wie z. B. Pflanzenschutzmitteln und Immissionen zu.

Agrochemikalien

Pflanzenschutzmittel und ihre Wirkstoffe werden im Rahmen der Zulassung auf ihre potentiell schädigende Wirkung auf Pflanzen (Phytotoxizität) geprüft. Schäden treten in der Praxis immer dann auf, wenn Grundprinzipien der sachgerechten Ausbringung missachtet werden. So kann der Einsatz von Fungiziden in wüchsigen Pflanzenbeständen während der warmen und strahlungsreichen Stunden des frühen Nachmittags zu Chlorosen der Blätter oder gar Nekrosen führen, die auf Früchten (Birnen, Äpfel) Berostungen auslösen. Deshalb sollte sich die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln auf die Zeit am frühen Morgen oder Abend beschränken.

Vor allem im Ackerbau – aber auch in Spezialkulturen – kommen „Cocktails“ zum Einsatz. Dabei werden Spritzbrühen aus unterschiedlichen Komponenten (Pflanzenschutzmittel + Blattdünger + Wachstumsregler + Herbizide) gemischt, um die Anzahl der Applikationen möglichst gering zu halten. Auch wenn diese Vorgehensweise eine Rationalisierung bedeutet, werden Kulturpflanzen mit derartigen Mischungen extrem belastet. Pflanzen, die sich in der Hauptwachstumsphase befinden und eine starke Zellstreckung aufweisen, reagieren auf solche „Cocktails“ oft mit Chlorosen und nachfolgender Nekrose der Blattspitzen und Blattränder. Diese Reaktion ist auf die **Verlagerung der Wirkstoffe** mit dem Transpirationsstrom und die starke Anreicherung in den genannten Bereichen zurückzuführen.

Immissionen

In früheren Zeiten gab es häufig in der Nähe von Industrieanlagen staubförmige Emissionen, die in der näheren Umgebung als Immissionen (direkte Staubablagerung) oder mit dem Regenwasser niedergeschlagen wurden. Durch Maßnahmen der Abgasreinigung sind solche Schäden seltener geworden.

Viele gasförmige Bestandteile der Luft werden unter Lichteinfluss zu chemischen Reaktionen angeregt, so dass neue Verbindungen entstehen. Dazu gehören PAN (Peroxiacetylnitrat), Ozon (O_3), Wasserstoffperoxid (H_2O_2), Stickoxide und viele andere Verbindungen. Das verstärkte Auftreten von bodennahem Ozon wird in diesem Zusammenhang oft für Blattnekrosen verantwortlich gemacht, denn es führt aufgrund seiner zelltoxischen Wirkung zu starken Schäden, wenn es mit Pflanzengewebe in unmittelbaren Kontakt kommt.

Literatur

- Berge H (1963) Phytotoxische Immissionen. Parey, Berlin Hamburg
 Bergmann W (1993) Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Spektrum, Heidelberg
 Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM (2007) Mineral nutrition and plant disease. APS Press, St. Paul, USA
 Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, London
 Thomashow MF (1999) Plant cold acclimation. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol 50, 571–599
 Zorn W, Heß H, Marks G (2006) Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Spektrum, Heidelberg