

Pflanzenschäden durch SO₂, Autoabgase und luftgetragene Chlorkohlenwasserstoffe - ihre Merkmale¹

Von Lore Kutschera-Mitter

(Eingegangen am 10. Februar 1987)

Einleitung

Die Schäden an der Vegetation durch luftgetragene Schadstoffe nehmen von Jahr zu Jahr zu. Die Kenntnis ihrer Ursachen und ihres jeweiligen Erscheinungsbildes sind wesentliche Voraussetzungen dafür, daß die öffentlichen Stellen die notwendigen Maßnahmen zu ihrer Eindämmung treffen können.

Der Beitrag, den die Pflanzensoziologie dazu leisten kann, besteht darin, daß sie die Veränderung der floristischen Zusammensetzung und der Wuchsformen der Pflanzenbestände in Zusammenhang mit den kennzeichnenden Schadbildern an Sproß und Wurzeln der Einzelpflanzen, wie es schon Schubert (1977) am Beispiel der Wirkung von Industrieabgasen darlegt, verfolgt. Durch Untersuchungen, die sich über mehrere Jahrzehnte erstreckten und die vorwiegend im ostalpinen Raum, besonders in Kärnten, durchgeführt wurden, war es möglich, die Entwicklung mehrerer dieser Schäden in ihrem Ausmaß und in ihrer verschiedenen Erscheinungsform zu verfolgen. Daraus ergaben sich Hinweise auf den Zusammenhang zwischen den Schadstoffquellen bzw. der Art des Schadstoffes und des Schadbildes. Außerdem konnte festgestellt werden, daß die Schäden nicht nur am Wald, sondern auch am Knieholz und stellenweise in noch stärkerem Maße an den krautigen Pflanzen auftreten.

Schäden durch SO₂

Bis in die Mitte der 70er Jahre waren vor allem starke Schäden an der Vegetation im Bereich von Industrieanlagen und Kalorischen Werken zu beobachten. Es handelte sich überwiegend um SO₂-Schäden. In der Umgebung einer Industrieanlage in Kärnten, deren SO₂-Ausstoß um eine Zehnerpotenz höher liegt als der von Kalorischen Werken und der kurzfristig selbst diesen Wert bedeutend übersteigt, zeigten sie sich besonders deutlich. So wurden in diesem Gebiet Halbstundenwerte von SO₂ bis zu 8,3 mg/m³ Luft gemessen (Kutschera 1983 u. z. Lit.). Sie führten im Industriegelände und in der näheren Umgebung zu einem stellenweise völligen Absterben der ursprünglichen Vegetation. Von einem Stieleichen-Hainbuchen- und einem Stieleichen-Zitterpappel-Birkenwald, die einen Hügel im Werksgelände bedecken, blieben nur wenige 15–50 cm hohe, in Kriechform wachsende Eichen übrig. Die Gräser und Kräuter waren vollständig vernichtet worden. Statt diesen siedelten sich an einigen Stellen besonders angepaßte Formen von *Silene vulgaris*, *Poa alpina* und *Agrostis stolonifera* an. *Silene vulgaris* tritt in der für Bergwerkshalden und Hüttenbetriebe kennzeichnenden Unterart *Silene vulgaris* ssp. *humilis* auf. Die Form von *Poa alpina* wurde noch nicht näher beschrieben. Sie zeichnet sich durch breite, kurze bis mittellange Blattspreiten, dicht horstförmigen Wuchs, stark ausgebildete Tunika und die Entwicklung zahlreicher Halme mit großen Rispen aus. Die Rispen bilden eine Schutzdecke nach Art eines Baldachins über die vegetativen Teile während mehrerer Wochen. Dadurch können

¹ Die Arbeit wurde gefördert durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, die Stadt Klagenfurt und die Landesregierung Kärntens, Abteilung 19. Für die gewährte Hilfe danke ich vielmals.

diese längere Zeit ohne Schädigung assimilieren und den Wurzeln Speicherstoffe zuführen. Die dichte Überschirmung der vegetativen Teile mit Blütenständen ist auch für *Agrostis stolonifera* Form Arnoldstein bezeichnend. Die Art überzieht den vegetationslos gewordenen Boden in ebener oder wenig geneigter Lage. *Poa alpina* kommt vor allem auf schwach bis steil geneigten Hängen und kalkreicheren Böden vor.

Als weitere besonders angepaßte Pflanze besiedelt *Cardaminopsis halleri*, eine Kennart von Grünlandgesellschaften der montanen Stufe, mit Hilfe ihrer kriechenden Grundachsen den offenen Boden. Sie überzieht die großflächigen Lücken besonders in Glatthafer-Kunsthäfen, die dem Dauco-Arrhenatheretum oder dem Colchico-Arrhenatheretum zuzuzählen sind. Stellenweise tritt vorher faciesbildend *Anthoxanthum odoratum* auf. Die Horste der wenigen verbliebenen Pflanzen von *Arrhenatherum* verbreitern sich in den offenen Beständen auffallend stark. Die älteren Wurzeln sterben frühzeitig ab, und es entstehen zahlreiche neue Wurzeln. Infolge des frühen Absterbens der Wurzelspitzen beträgt die Wurzeltiefe nur etwa 1/3 von jenen ungeschädigter Pflanzen oder noch weniger.

Die Veränderung der floristischen Zusammensetzung der Vegetation und der Wuchsformen ist demnach dadurch gekennzeichnet, daß Arten der montanen und subalpinen Stufe an Stelle von Arten der kollinen Stufe auftreten und daß Sproßhöhe und Wurzeltiefe wie in den höheren Berglagen immer mehr abnehmen. Ein weiteres Merkmal ist, daß die Arten mit besserer Anpassung an SO₂-Belastung in größeren Beständen den offenen Boden besiedeln. Es kommt zu einer mosaikförmigen Verteilung der Arten und Vegetationseinheiten, ein Bild, das ebenfalls an die Vegetationsgliederung in den höheren Berglagen erinnert. Offensichtlich wirkt sich die zeitweise hohe SO₂-Belastung ähnlich wie die wiederholten Kälteeinbrüche und Fröste im Hochgebirge aus. Sie verursachen eine mehrmalige Unterbrechung des Wachstums und damit eine Verkürzung der Vegetationszeit.

In Tälern, die von hohen Bergen umrahmt sind, bewirken außerdem Luftdruck, Windrichtung und die verschiedene Sonneneinstrahlung an Sonn- und Schattseiten oft eine einseitige und schichtweise stärkere Belastung. Dafür bekannt sind die Prallhänge, an denen sich die zugeführten Luftmassen stauen. An Sonnhängen kommt die kürzere Dauer der Schneebedeckung hinzu. An ihnen zeigte sich besonders deutlich die versauernde Wirkung von SO₂ im offenen Grasland. So breiteten sich an niederen Böschungen am Rande üppig wachsender Glatthafer-Kunsthäfen reine *Nardus*-Bestände aus. Sie sind im Frühjahr 2–4 Wochen früher schneefrei. Der starke SO₂-Eintrag hatte selbst in ihnen 0,25–0,5 m² große Lücken geschaffen.

In den letzten Jahren kam es in dem Gebiet infolge der Steigerung der Produktion auch zu arger Schädigung der Vegetation an den steilen Südhängen des Tales bis in etwa 1900 m Seehöhe. Die Emissionsstellen liegen in 560 m Seehöhe. Neben den Fichten und Lärchen, die die schmalen Hangrippen besiedeln, sind bereits die großflächig auftretenden Bestände von *Pinus mugo* stark geschädigt. An ihnen war das besondere Erscheinungsbild der SO₂-Schäden ebenfalls deutlich zu erkennen. Die älteren Jahrgänge der Nadeln sind am stärksten geschädigt. Sie fallen frühzeitig ab, und die Äste verkahlen. Die diesjährigen Nadeln scheinen im Herbst oft noch ungeschädigt zu sein. Ihr frisches Grün hebt sich deutlich von den punkt- und bandförmig verbräunten Nadeln des Vorjahres und den durchwegs rostbraunen Nadeln der früheren Jahrgänge ab.

An Bäumen bewirkt der verschiedene Gehalt der Luftschichten an SO₂ mitunter vor allem nahe der Emissionsstelle ein zonenweises oder einseitiges Absterben der Äste. In weiterer Entfernung und in größeren Höhen ist dies weniger zu beobachten. Im allgemeinen sterben zuerst die Wipfel ab. An Gräsern und Kräutern führen kurzfristige starke SO₂-Ausstöße zu punkt-, strich- oder fleckenweiser Zerstörung der Gewebe (vgl. Schubert 1977). In weiterer Folge entstehen namentlich bei großblättrigen

Arten wie *Armoracia rusticana* größere Löcher, bis schließlich das ganze Blatt abstirbt (Kutschera-Mitter et al. 1982).

Die Schadbilder, die durch SO₂ verursacht werden, zeigen daher folgende Merkmale:

1. Die jungen Triebe sind in der Regel weniger geschädigt.
2. An Nadelgehölzen mit mehrjährigen Nadeln sind die ältesten Nadeln am meisten betroffen.
3. Die Nadeln fallen vorzeitig ab, mitunter schon im 2. oder 3. Jahr, ältere Astteile verkahlen daher frühzeitig.
4. Die Verbraunung tritt punkt-, strich- oder fleckenweise auf.
5. Besonders an krautigen Pflanzen schreiten die Schäden bis zur Durchlöcherung der Blätter fort.
6. Alle Schäden an Einzelpflanzen oder Beständen treten nahe der Schadstoffquelle oft zonen- und schichtweise auf. Dies gilt vor allem für Berggebiete mit wechselnder Windrichtung. Weiter entfernt sterben zuerst die Wipfel ab.
7. Die Speicherstoffe in den Wurzeln werden frühzeitig verbraucht. Es entstehen in der primären Rinde und im Bast große Lakunen. Die Wurzelspitzen sterben rasch ab. Dadurch ist die seitliche Ausbreitung der Wurzeln und besonders ihr Tiefenwachstum geringer. Wurzeln von Nadelhölzern bilden vor ihrem Absterben oft reichlich Gerbstoffe (Sobotik und Kaimbacher 1983).

Nahschäden durch Autoabgase

Die Schäden durch Autoabgase werden bekanntlich durch eine Summe von Schadstoffen verursacht. Das Auto ist nach der Studie von Prof. Lenz, Tech. Univ. Wien (1983, s. Krapfenbauer 1984) der Hauptemittent von CO mit ca. 86 % und C_xH_y, d. i. von Nichtmethankohlenwasserstoffen, mit ca. 75 %. Sein NO_x-Ausstoß beträgt mehr als 1/3 der Gesamtbelastung, der Rest, d. i. unter 2/3, entstammt der Industrie und den Haushalten. Der Schadstoffausstoß der Flugzeuge, der besonders bei NO_x hoch liegen dürfte, wurde bei dieser Studie noch nicht berücksichtigt.

In naher Umgebung stark befahrener Autostraßen, vor allem im Bereich von teilweise umschließenden Kurven, sind die Schäden am klarsten zu sehen. Durch folgende Merkmale unterscheiden sie sich von den Fernschäden, die vor allem durch Chlorkohlenwasserstoffe unter Lichtwirkung und Oxydantien hervorgerufen werden.

1. Die Schäden treten gleichmäßig an der Ober- und Unterseite der Zweige, mitunter sogar stärker an der Unterseite auf.
2. An Nadelgehölzen sind vorwiegend ältere Jahrgänge, an Laubhölzern voll entfaltete Blätter betroffen.
3. An Nadeln kommt es zu punkt- und strichweiser oder breitzoniger Schädigung. Einzelne Nadeln sind in Längsrichtung zur Hälfte und mehr geschädigt.
4. Leichtere Schäden verursachen eine moosgrüne Verfärbung der Nadeln. Bei stärkeren und länger andauernden Schäden werden die Nadeln oft über eine rotbraune Zwischenstufe schmutzig braun.
5. Im Auflichtmikroskop erscheint das Chlorophyll in den Zellen nicht stärker als die gesamte Zelle geschädigt zu sein. Die grünen Querstreifen mit fehlendem oder schwach ausgebildetem Sclerenchym unter der Epidermis der Nadeln, die sich deutlich von den Rippen mit 1–2(3)schichtigem Sclerenchym unterscheiden, werden nicht durchscheinend. Mitunter kommt es während der Bräunung zu intensiver rotbrauner Verfärbung von Abschnitten dieser Querstreifen.

6. Die Nadeln fallen oft zonenweise ab, die Äste verkahlen von innen nach außen.
7. Die dünneren, kürzeren Verzweigungen verlieren ihre Turgeszenz, sie scheinen zu erschlaffen und hängen fransenförmig herab.
8. Ältere Bäume sind stärker geschädigt als jüngere, sie erscheinen wie zerzaust (vgl. Schütt et al. 1985).

Neuartige Baumschäden vermutlich primär verursacht durch luftgetragene Chlorkohlenwasserstoffe in Verbindung mit Photooxydantien

Ein wesentlich anderes Schadbild als SO₂ und Autoabgase im Nahbereich verursachen die verschiedenen Stoffe, die erst unter Lichteinfluß ihre Schadwirkung entfalten. Unter diesen dürften nach den Untersuchungen von H. und W. Frank (1986) luftgetragene Chlorkohlenwasserstoffe primär die Pflanzen schädigen. Zu ihnen zählen Tetrachlorethen (= Äthylentetrachlorid), Trichlorethen und 1,1,1-Trichlorethan. Nach Darstellung von L. Poyer (s. Frank und Frank) können Chlorethene durch UV-Strahlung über reaktive Triplett-Zustände und Radikale zu den toxischen Verbindungen Phosgen, Dichloracetylen, Chloracetylchlorid sowie zu Chloratomen und anderen abgebaut werden. Sie werden wegen ihrer entfettenden und reinigenden Wirkung seit Ende der 50er Jahre zunächst in geringen Mengen und ab den 70er Jahren in stark zunehmendem Ausmaß in der Metall- und Textilindustrie und im Gewerbe eingesetzt. Seit 1982 dürfte der Verbrauch nahezu gleich geblieben sein. Er liegt allein in der BRD jährlich zwischen 100 000 und 200 000 Tonnen. Gegenüber dem früher verwendeten Benzin haben sie den Vorteil, daß sie nicht brennbar sind. Außerdem sind sie leicht flüchtig. Diese Eigenschaft wurde ebenfalls als Vorteil angesehen. Sie hat sich aber heute als eine sehr große Gefahr für die Vegetation erwiesen.

Der Einsatz dieser Stoffe wurde von öffentlicher Seite nicht nur zugelassen, sondern sogar an Stelle von Benzin angeordnet. Selbst in Fachkreisen hat man ihre Schadwirkung weitgehend unterschätzt oder überhaupt nicht erkannt. Unterschätzt wurde bis 1984 die Gefahr für das Grundwasser. Nahezu unbekannt blieb bis 1985 die enorme Gefahr für die Vegetation über den Transport durch die Luft. Man vermutete, daß die Stoffe wohl einen beschleunigten Effekt auf die Bildung von Photooxydantien haben könnten, daß sie aber nicht direkt schädigend auf die Pflanze einwirken. Deshalb beachtete man sie vor allem in ihrer Wirkung auf den Menschen. Außerdem wurden sie nur als „gesundheitsschädlich“, d. h. nach dem Chemikaliengesetz als mindergiftig; eingestuft. Dies besagt, daß sie infolge von Einatmen, Verschlucken oder einer Aufnahme durch die Haut Gesundheitsschäden von beschränkter Wirkung hervorrufen können. Als verhängnisvoller Irrtum erwies sich bei dieser Einstufung die Nichtbeachtung ihrer geringen Viskosität. Wegen dieser Eigenschaft können sie Schutzdecken gegen Boden- und Wasserverunreinigung wie wasserundurchlässigen Beton und Asphalt durchdringen. Sobald sie in den Boden gelangt sind, bleiben sie fast unbegrenzt erhalten. Denn im Boden findet so gut wie keine Zersetzung dieser Stoffe durch Wasser und Sonnenlicht statt. Auch werden sie im Gegensatz zu Öl und Benzin nach bisherigen Erkenntnissen nicht biologisch abgebaut. Das Grundwasser ist als Trinkwasser ungeeignet, wenn 1 m³ mehr als 25 mg leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe enthält. Demnach verunreinigt 1 kg von obigen Verbindungen 40 000 m³ Wasser. Die Reinigung von Boden und Wasser erfolgt durch Ausblasen und mit Hilfe von Aktivkohlefiltern. Sie ist überaus kostspielig und dauert Jahre.

Die Angaben wurden der Kundeninformation Nr. 7, Herausgeber Verband Chemiehandel, Stand 15. 8. 1985, entnommen. In dieser wird in Hinblick auf die Gefahr der Boden- und Wasserverseuchung darauf hingewiesen, daß es dann unbedeutend sei, wie viele Teile sich in die Luft verflüchtigen.

Hierin zeigt sich die zweite folgenschwere Fehlbeurteilung dieser Stoffe. Nach H. und H. Frank (1986) können nämlich schon geringe Mengen an Chlorkohlenwasserstoffen photosynthetische Pigmente ausbleichen. Chlorethene zerstören unter Einfluß des Lichtes über biologische Vorgänge in der Pflanze das Chlorophyll a und β -Carotin sowie vermutlich auch Membranstrukturen wie Thylakoid-Membran und endoplasmatisches Retikulum (Lichtenegger und Buschmann 1984, Wild 1985). Die hohe Lipidlöslichkeit dieser Verbindungen verstärkt ihre Wirkung. Sie dürften sich vorwiegend in der Cuticula und in den Lipidmembranen anreichern. Die Verteilungskoeffizienten von Tetrachlormethan, CCl₄, Trichlorethen, C₂HCl₃, und Tetrachlorethen, C₂Cl₄, zwischen Lipid und Luft sind bei 22 ° im Bienenwachs 140, 270 bzw. 740, in den Gesamtlipiden der Fichte 400, 1000 bzw. 2200. Die anfängliche Aufnahmegeschwindigkeit von Fichtennadeln für Chlorkohlenwasserstoffe ist etwa 5mal größer als die von Bienenwachs. Die rasche Aufnahme wird durch die große Oberfläche der Wachspfropfen in den Spaltöffnungen, die in Form zahlreicher Nadeln und zerfranster Blättchen ausgeschieden werden, und durch die rauhe Oberfläche der Cuticula ermöglicht.

Bisher wurden die Schäden unter Lichteinfluß vorwiegend in Beziehung zu dem Gehalt der Luft an Ozon und Peroxyacetylnitrat betrachtet. Die Ozonkonzentration hängt ab vom Verhältnis Stickoxide zu Kohlenwasserstoffen sowie der Temperatur und der Strahlungsintensität. Die günstigsten Voraussetzungen für die Bildung von Oxydantien wie Ozon sind bei einem Verhältnis von C_xH_x1NO_x wie 5 : 1 bis 10 : 1 gegeben. Ab einer Ozonkonzentration von 50 ppb dürften Schädigungen der Nadelbäume auftreten (s. Krapfenbauer 1985 u. z. Lit.). Frank und Frank führen jedoch mehrere Gründe an, daß Ozon als primäre Ursache ausscheidet. Es dürfte sekundär am Schädigungsmechanismus beteiligt sein. So wurden selbst bei 2monatiger Begasung von *Abies alba* mit 600 mg/m³ Ozon keine Schäden beobachtet. Andere Autoren stellten allerdings an verschiedenen Pflanzenarten deutliche Schäden durch Ozon fest, wie Okano et al. (1984) an *Phaseolus vulgaris* und Mooi (1981) an *Populus euamericana*. Dabei traten die höchsten Schäden bei der Verbindung von O₃ mit NO₂ bzw. SO₂ auf.

In den biologischen Eigenschaften unterscheidet sich jedoch das Ozon grundlegend von den Chlorkohlenwasserstoffen. Schon durch die Entstehung über andere Stoffe wie NO_x stellt es erst ein Folgeprodukt dar, während die Chlorkohlenwasserstoffe direkt in die Stoffwechselvorgänge der Pflanze mit Hilfe des Lichtes eingreifen. Ozon scheint weniger auf die Zerstörung der Pigmente einzuwirken. Außerdem wurden schon früher stellenweise hohe Ozongehalte festgestellt, während damals Schadbilder, wie sie seit den 70er und vor allem seit den 80er Jahren auftreten, nicht beobachtet wurden. Vor allem spricht für das direkte Eingreifen der fraglichen Stoffe unter Mitwirkung des Lichtes, daß bei gleichem Ozongehalt der umgebenden Luft schon eine geringe Beschattung eine Minderung der Schäden der Nadeln bewirkt. Der Chlorophyllgehalt in den Zellen stark geschädigter Nadeln ist etwa 80–95 % geringer als jener ungeschädigter oder schwach geschädigter Nadeln. Deshalb ist es nicht ausgeschlossen, daß die neuartigen Baumschäden in Reinluftgebieten auf Chlorkohlenwasserstoffe als primäre Ursache zurückzuführen sind.

Die Merkmale neuartiger, vermutlich auf Chlorkohlenwasserstoffe zurückzuführender Baumschäden unter Einfluß des Lichtes lassen sich daher wie folgt zusammenfassen:

1. Die Schäden treten am stärksten über der Nebelzone und an einzeln stehenden Bäumen, d. i. besonders im Bereich der Baumgrenze, auf. An Wäldern und Tallagen sind deren Randzonen am stärksten betroffen.
2. An Bäumen bestehen große Unterschiede zwischen der weniger geschädigten Schattseite und der stärker geschädigten Sonnseite sowie zwischen der stärker belichteten Ober- und der weniger belichteten Unterseite der Zweige.

3. Die Nadeln vergilben, und die Aufhellung erfolgt vor allem innerhalb der sclerenchymarmen Streifen. Der Bereich dieser Streifen wirkt durchscheinend. Auch außerhalb dieser Streifen ist der Chlorophyllgehalt der Zellen deutlich geringer als bei Nadeln der Schattseiten der Bäume oder ungeschädigter Bäume. Die Nadeln vergilben zuerst an der Spitze.
4. Junge Bäume vergilben stärker als ältere. Es scheint, daß ältere Bäume lange Zeit über genügend Reserven verfügen, die die Neubildung von Chlorophyll ermöglichen.
5. Nahe der Waldgrenze sind von der Vergilbung die Waldbestände auf großen Flächen in ähnlichem Ausmaß betroffen. Einzelne Bäume zeigen nicht auffallend stärkere Schäden als benachbart stehende.
6. Die neugebildeten Zweige und Nadeln sind mitunter weniger als halb so lang wie die früheren Jahrgänge.
7. Der Baum wirkt nicht erschläft und zerfranst, sondern er nimmt eine Starrtracht an.
8. Die Nadeln bleiben trotz der Vergilbung lange Zeit fest mit den Zweigen verbunden. Stark vergilbte Zweige behielten nach dem Abbrechen unter gleichen Bedingungen ihre Nadeln noch 12 bis 20 Tage, während die Nadeln von Bäumen mit Nahschäden durch Autoabgase sie schon nach 1–4 Tagen verloren hatten.

Maßnahmen zur Minderung der Pflanzenschäden durch luftgetragene Stoffe

Die Belastung der Luft durch SO₂ hat in den letzten Jahren wenig zugenommen. Stellenweise ist sie zurückgegangen. Der Einbau von Filteranlagen und deren Verbesserung haben sich daher bereits bewährt. Auch der erwähnte Betrieb in Kärnten wird ab dem Jahr 1987 oder 1988 seinen SO₂-Ausstoß um mindestens 90 % vermindern. Mit Hilfe eines besonderen Verfahrens wird SO₂ zur Erzeugung von Schwefelsäure zurückgewonnen. Der außerordentlich hohe SO₂-Ausstoß sichert die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens. Ihr Verkauf deckt die laufenden Kosten des Reinigungsprozesses.

Auch Reinigung der Autoabgase mit Hilfe des Katalysators führte in mehreren Staaten zu einer bedeutenden Verbesserung der Luft. Teilnehmer an der Exkursion der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde (IVV) im Jahre 1984 stellten fest, daß die Luft in den großen Städten Japans im Vergleich zum Jahre 1974, in dem die vorangegangene Exkursion durch Japan der IVV stattgefunden hatte, wesentlich besser geworden ist. In der Zwischenzeit wurde der Katalysator eingeführt. Die Luftqualität in Tokio scheint heute besser zu sein als beispielsweise die von Zürich.

Es ist daher höchste Zeit, daß auch in Mitteleuropa und, wenn möglich, in ganz Europa durch Einführung des Katalysators sowie durch andere Maßnahmen der größte Teil der Schadstoffe aus den Autoabgasen entfernt wird. Dazu kann jeder von uns durch Ankauf der entsprechenden Wagen oder durch Umrüstung der alten Wagen beitragen. Eine große, noch wenig erkannte Aufgabe liegt im Abbau des Schadstoffausstoßes durch die Flugzeuge.

Der Verzicht auf die Verwendung von leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen in Industrie und Gewerbe ist kein unlösbares Problem. Techniker und Politiker wie auch die Wirtschaftstreibenden müssen sich diesen Aufgaben ebenfalls mit ganzen Kräften widmen. In Kärnten gibt es noch einen Betrieb, der wie früher für die Kleiderreinigung Benzin verwendet. Er konnte sich nach wie vor wirtschaftlich behaupten. Was immer an Vorteilen der Chlorkohlenwasserstoffe im Vergleich zu Benzin angeführt wird, sie stehen offensichtlich in keinem Vergleich zu den Schäden, den diese an der Vegetation verursachen, wenn sich die bisherigen Befunde bewahrheiten.

Zusammenfassung

Bis in die 70er Jahre traten starke Schäden an der Vegetation vor allem durch hohe SO₂-Gehalte der Luft auf. Im Rahmen pflanzensoziologischer Untersuchungen in der Umgebung eines alten Industriegebietes in Kärnten konnten ihre kennzeichnenden Merkmale festgestellt werden. Nahschäden durch Autoabgase zeigen sich besonders deutlich an Abstellplätzen und im Bereich enger Kurven steiler Straßen. Sie ähneln bei oberflächlicher Betrachtung mitunter Schäden durch SO₂, doch zeigen sich einige deutliche Unterschiede. Ein wesentlich anderes Bild verursachen Schäden, die hauptsächlich in sogenannten Reinluftgebieten unter Einwirkung des Lichtes auftreten. Sie wurden erst seit Ende der 70er Jahre in größerem Ausmaß beobachtet. In auffallender Weise fallen sie zeitlich zusammen mit der starken Zunahme des Einsatzes von luftgetragenen leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen als Reinigungsmittel an Stelle von Benzin in Industrie und Gewerbe. Von diesen werden allein in der BRD pro Jahr 150 000 t erzeugt. Der weitaus größte Teil verflüchtigt sich in die Luft. Sie zerstören nach Frank und Frank (1986) über Stoffwechsellvorgänge in der Pflanze unter Einwirkung des Lichtes das Chlorophyll *a* und das β -Carotin. Damit stimmt überein, daß diese neuartigen Schäden sich in einem Vergilben und Durchscheinendwerden der Nadeln zeigen. Die Wälder nahe der Baumgrenze in lichtreichen Lagen und besonders einzeln stehende Bäume an der Waldgrenze erscheinen wie gelbbraunlich überhaucht.

Außer einer möglichst weitgehenden Entschwefelung industrieller Abgase und der Reinigung der Abgase von Auto und Flugzeugen ist daher die Wiederaufnahme der Reinigung durch Benzin an Stelle der durch Chlorkohlenwasserstoffe dringend erforderlich.

Schrifttum

- Frank, H., und W. Frank: Ursachen für „Neuartige Baumschäden“? Photoaktivierung luftgetragener Chlorkohlenwasserstoffe. *Nachr. Chem. Tech. Lab.* **34** (1986) 1, 15–20.
- Krapfenbauer, A.: Wie groß ist der Methan-Anteil am Waldsterben? Manuskript, 9 S.
- Krapfenbauer, A.: Saurer Regen und Waldsterben. In: *Wie lange fahren wir noch? Die Zukunft des Automobils.* Edition Österr. Hochschülersch., Wirtschaftsbetriebe GmbH, Wien 1984, 39–60.
- Krapfenbauer, A.: Waldsterben – Schadensausmaß wächst von Tag zu Tag! *Int. Holzmarkt* **16/17** (1984) 19–22.
- Krapfenbauer, A.: Waldsterben – Hauptverursacher Oxidantien? *Allg. Forstzt.* (1985) 333–336.
- Kutschera-Mitter, L.: SO₂-Schäden an Acker-, Grünland- und Waldbeständen – ihre Merkmale. *Vereinigung für Angew. Botanik, Göttingen* (1984) 172–193.
- Kutschera-Mitter, L., E. Lichtenegger und M. Sobotik: Vegetationswandel unter Schadgasbelastung auf Grün- und Ackerland. *Carinthia II*, **39**, Sonderh. (1982) 121–168.
- Okano, K., O. Ito, G. Tabeka, A. Dhimizu und T. Totsuka: *Res. Rep. Nat. Inst. Environ. Stud. Japan*, No. **66** (1984).
- Mooi, J.: *Mitt. forstl. Bundesversuchsanstalt, Wien*, H. 137 (1981).
- Schubert, R.: Ausgewählte pflanzliche Bioindikatoren zur Erfassung ökologischer Veränderungen in terrestrischen Ökosystemen durch anthropogene Beeinflussung unter besonderer Berücksichtigung industrieller Ballungsgebiete. *Hercynia N. F., Leipzig* **14** (1977) 4, 399–412.
- Schütt, P., W. Koch, H. Blaschke, K. J. Lang, E. Reigber, H. J. Schluck und H. Summerer: *So stirbt der Wald, Schadbilder und Krankheitsverlauf.* 4. Aufl. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München 1985, 127 S.
- W. E. H. und Verbandchemiehandel: *Chlorierte Kohlenwasserstoffe – CKW.* Kundeninformation Nr. 7, Stand 15. 08. 1985, Verband Chemiehandel Köln 1985, 4 S.

Prof. Dr. Lore Kutschera
 Botanisches Institut
 Universität für Bodenkultur
 A - 1180 Wien
 und
 Pflanzensoziologisches Institut
 Kempfstraße 12
 A - 9020 Klagenfurt