

Aus der Sektion Forstwirtschaft der Technischen Universität Dresden,  
Bereich Pflanzenchemie (Leiter des Bereiches: Prof. Dr. habil. F. Fischer)

## Zur Phytotoxizität von Ammoniak<sup>1</sup>

Von Eberhard Ewert

Mit 1 Abbildung und 1 Tabelle

(Eingegangen am 5. Juni 1978)

Die phytotoxische Wirksamkeit von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) ist seit längerer Zeit bekannt. Während in der Vergangenheit nur einige wirtschaftlich unbedeutende lokale Schädigungen beschrieben wurden, beispielsweise in Gewächshäusern, wobei Ammoniak aus Dung oder Kältemaschinen freigeworden ist (Sorauer 1877; Ramsey u. a. 1928), hat sich die Situation heute grundlegend geändert.

Vor allem die enorm gestiegene industrielle Harnstoffproduktion, bei der Ammoniak als Ausgangsprodukt eingesetzt wird, und die Intensivhaltung von Geflügel, Schweinen und Rindern hat dazu beigetragen, daß durch  $\text{NH}_3$ -haltige Immissionen in der Umgebung derartiger Objekte wirtschaftlich relevante Schäden an landwirtschaftlichen und forstlichen Pflanzenbeständen entstanden sind (Ewert, 1978).

Nach früheren Beschreibungen der Schadefekte durch andere Autoren unternahm Garber (1935) die ersten grundlegenden Untersuchungen zur Physiologie der Ammoniak-Wirkung auf Pflanzen. Beschreibungen des äußerlich sichtbaren Schädigungsverlaufes folgten durch Steinbrink (1965). Danach sind die ersten Zeichen einer Ammoniakeinwirkung bei Gurkenblättern Aufheilungen an den Blatträndern. Später erschläft die Blattspreite der intoxiierten Blätter, während die Stiele noch stabil bleiben, bis schließlich die gesamte Pflanze welk wird und eingeht. Begasungsversuche mit Konzentrationen von 1000 ppm  $\text{NH}_3$  beschreiben Thornton u. a. (1939). Bei dieser hohen Konzentration reagierten die Versuchspflanzen sofort. Tomaten waren nach 3 Minuten, Buchweizen nach 5 und Tabak nach 8 Minuten zu 50 % der Blattoberfläche geschädigt, d. h. nekrotisch verfärbt. Vines u. a. (1960) fanden nach Einwirkung von  $\text{NH}_3$  im gleichen Konzentrationsbereich Atmungshemmungen verschiedener Pflanzenarten. Die Wirkung auf Enzyme prüfte Mayer (1930). Mit einer 0,06-m- $\text{NH}_3$ -Lösung ließ sich die Chlorophyllaseaktivität hemmen.

Garber (1967) fand, daß sich Ammoniak-Schädigungen mikroskopisch gut von Schäden durch andere Noxen unterscheiden lassen. Epidermis und Mesophyllzellen sind dunkelbraun bis schwarz gefärbt. Diese im Gegensatz zu braunen  $\text{SO}_2$ -Nekrosen mehr dunkle Färbung ist an vielen Laubgehölzen und landwirtschaftlichen Pflanzen auch mit bloßem Auge gut feststellbar und wird auch von anderen Autoren beschrieben. In unseren eigenen Begasungsversuchen färbten sich besonders beide Erlenarten und Kartoffelkraut fast schwarz. Garber (1967) führt die dunklen Verfärbungen auf Gerbstoffausfällungen zurück, wobei die Intensität der Färbung durch den unterschiedlichen Gerbstoffgehalt der Pflanzenarten variiert. Garber (1972) beschreibt ebenso das flächenweise Absterben eines 15- bis 20jährigen Kiefernbestandes durch die Abluft

<sup>1</sup> 129. Mitteilung des Arbeitskreises Rauchschadenforschung Tharandt.

einer Geflügelfarm. Im geschädigten Pflanzenmaterial wurde  $\text{NH}_3$  qualitativ nachgewiesen, Kontrollproben ungeschädigter Bäume blieben  $\text{NH}_3$ -frei. Der Gesamtstickstoffgehalt lag dabei in geschädigten Nadeln doppelt so hoch wie bei gesunden.  $\text{NH}_3$ -Bestimmungen in der Luft wurden nicht unternommen. Die beschriebenen Schadsymptome sind die gleichen, wie sie in der Umgebung von KIM-Anlagen in der DDR festgestellt wurden.

Nach Untersuchungen von Kliche u. a. (1973) an einer 1000er Milchviehanlage enthält die Abluft neben Ammoniak vor allem auch Schwefelwasserstoff, Trimethylamin und weniger Di- und Monomethylamin, wobei Trimethylamin in seiner toxischen Wirkung dem Ammoniak gleichzusetzen ist (Hausschild 1961).

In der Abluft eines Schweinestalles bestimmten Miner u. a. (1969) Ammoniak, verschiedene Alkylamine (vor allem Triäthylamin), Merkaptane, Aldehyde bis zum Kohlenstoffatom 10, Ketone und Alkohole.

Obwohl verschiedene Methoden zur  $\text{NH}_3$ -Bestimmung beschrieben wurden (Häntzsch u. a. 1970; Kurczatowa 1971; Leithe u. a. 1967; Rauh u. a. 1969), haben sich die meisten bisherigen Schadstoffbestimmungen auf qualitative Ermittlungen beschränkt, so daß nur recht unsichere Kenntnisse über  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen in Ställen und der Umgebung der Stallanlagen vorliegen. Keller (1971) fand bei der Untersuchung von Immissionsschäden in der Nähe einer Hühnerfarm in etwa 6 m Entfernung von den Ventilatoren der Entlüftungsanlage 1,3 bis 10,0 mg  $\text{NH}_3/\text{m}^3$  und in einem Abstand von 20 m im Waldbestand noch 2,6 bis 5,9 mg  $\text{NH}_3/\text{m}^3$ . Der ursächliche Zusammenhang zwischen den zu beobachtenden Vegetationsschäden und Ammoniak steht wegen der sehr geringen Konzentration aller anderen genannten Schadstoffe in den Abgasen außer Zweifel. Schadverschärfend könnte sich die relativ hohe Temperatur der Abgase im Winter dann auswirken, wenn die Abluft direkt in benachbarte Waldbestände geblasen wird. Der natürliche Vegetationsrhythmus wird dadurch gestört und kann die Ursache für Frostschäden sein.

Da bisher wenig über phytotoxische Wirksamkeit, Schwellenwerte und Resistenzverhalten der Pflanzen gegenüber Ammoniak bekannt ist, sollten eigene Begasungsversuche mit Testpflanzen zu ersten Anhaltspunkten führen, um daraus Maßnahmen zur Minderung der Schäden ableiten zu können.

Das Vorhaben erstreckte sich auf die Entwicklung und Erprobung einer Anlage zur Dosierung und Begasung mit Ammoniak, auf Konzentrationsmessungen in den Kabinen, und schließlich sollte während mindestens zweier Vegetationsperioden eine möglichst große Anzahl verschiedener Pflanzenarten in wechselnden Begasungsreihen mit unterschiedlichen  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen bei verschiedenen Begasungszeiten dem Schadgas ausgesetzt werden.

#### Apparaturen, Testpflanzen, Begasungszeiten

Für das Einstellen der zu begasenden Pflanzen standen zwei gut abgedichtete Gewächshauskabinen mit je 10 m<sup>3</sup> Volumen zur Verfügung. Ammoniakgas wurde Stahlflaschen entnommen, in Puffergefäßen mit Quecksilber als Sperrflüssigkeit gespannt, über Wösthoff-Mischpumpen vorverdünnt und dem Hauptluftstrom zugesetzt. Die vorgegebene Gaskonzentration ließ sich somit rechnerisch ermitteln. Aus den Begasungskabinen wurden regelmäßig Proben entnommen, um die berechnete Konzentration zu überprüfen. Dabei erfolgte die Ammoniak-Bestimmung photometrisch nach Zugabe von Nefjlers-Reagenz. Ammoniak-Bestimmungen im oder auf dem Pflanzenmaterial wurden nicht durchgeführt.

Die Testgaskonzentrationen wurden auf Werte zwischen 1 ppm und 30 ppm  $\text{NH}_3$  eingestellt. Die am häufigsten verwendeten Konzentrationen für empfindliche Pflanzen-

arten waren 2,8 ppm und für relativ harte Arten bis zu 28 ppm. Mit Konzentrationen um und unter  $1,0 \text{ mg NH}_3/\text{m}^3$  konnte auch bei Langzeitbegasungen bis zu 500 Std. keine sichere Schädigung mehr nachgewiesen werden. In dieser Größenordnung dürfte der phytotoxische Schwellenwert liegen.

Getestet wurden 48 verschiedene Gehölze und Straucharten sowie 10 landwirtschaftliche Pflanzenarten. Die Testpflanzen waren in Mitscherlich-Gefäßen angezogen und wurden mit diesen auch in die Begasungskabinen eingestellt. Bei Gehölzen handelte es sich somit um 3- bis 5jährige Pflanzen.

Die Begasungen wurden größtenteils kontinuierlich, also „rund um die Uhr“ ausgeführt. Diskontinuierliche Tests dienten zur Ergänzung der Versuchsanstellungen. Die Gesamtbegasungszeiten betragen bei höchsten Schadgaskonzentrationen und empfindlichen Arten 1 bis 5 Stunden sowie bei niedrigen Konzentrationen in Verbindung mit resistenteren Arten bis zu 500 Stunden.

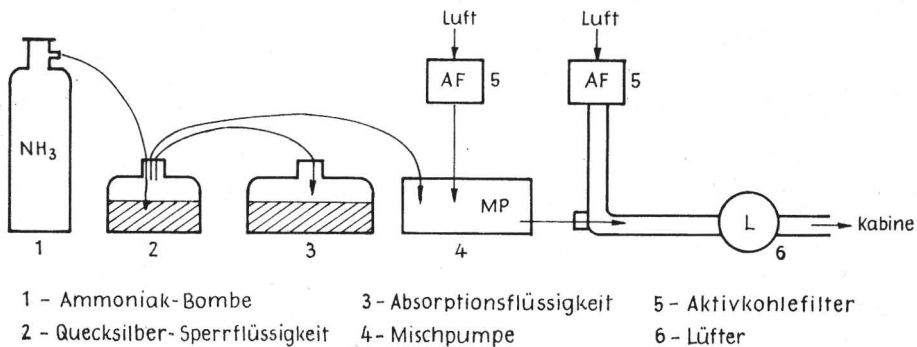


Abb. 1. Apparatur zur Herstellung von  $\text{NH}_3$ -Luft-Gemischen

### Schadsymptomatik

Die äußerlich sichtbaren Zeichen von Schädigungen an den Assimilationsorganen der Versuchspflanzen nach  $\text{NH}_3$ -Einwirkung sind bei weitem nicht so einheitlich, wie das bei anderen Schadgasen wiederholt beobachtet worden ist. Die bisher beschriebene Dunkelbraun- bis Schwarzfärbung nach Ammoniakwirkung war vor allem bei einigen Laubgehölzen (besonders Erle) und an Kartoffelkraut festzustellen. Andere Pflanzenarten, besonders Fichten und Rüben, zeigten dagegen an jungen Trieben bzw. Blättern Aufhellungen, die sich auch im weiteren Verlauf während und nach den Testbegasungen nicht dunkel verfärbten, was bei anderen Schadgasen oft beobachtet wurde. Die älteren Nadeljahrgänge von Fichten waren allerdings ebenfalls dunkelgrau, dunkelbraun oder fast schwarz verfärbt.

Besonders unterschiedliche Farbvarianten konnten an Weymouthskiefer (*Pinus strobus*) beobachtet werden, die gegenüber  $\text{NH}_3$  sehr empfindlich reagiert und auch bei niedrigen Konzentrationen schon nach wenigen Stunden Begasungsdauer sichtbar geschädigt wurde. Während die vorjährigen und älteren Nadeln insgesamt dunkelblau verfärbt wurden, wobei alle Nadelspitzen über eine Länge von etwa 2–3 mm hellbraune Tönungen zeigten, blieben die Basalteile des diesjährigen Nadeljahrganges unverfärbt hellgrün, und von den Nadelspitzen begann eine dunkle blaugrüne Färbung (die Begasungen erfolgten zwischen Juni und August).

An anderen Kiefernarten (*Pinus silvestris*, *P. nigra*, *P. mugho*) herrschten im allgemeinen braune Nekrosen vor. In allen Fällen jedoch begannen sichtbare Schädigung

gen an älteren Nadeljährgängen wesentlich früher als bei den diesjährigen und hatten dort auch stets zuerst das gesamte Nadelmaterial erfaßt.

An *Taxus*, *Thuja* und *Chamaecyparis* waren  $\text{NH}_3$ -Nekrosen stets braun gefärbt und wären von Verfärbungen, wie sie nach  $\text{SO}_2$ -Einwirkungen zu beobachten sind, okular nicht zu unterscheiden gewesen.

An Laubgehölzen wurden mehr schwarze als braune Nekrosen verursacht. Oft begann die Schädigung mit einer kleinpunktigen Sprenkelung, unregelmäßig über das ganze Blatt verteilt, bei Robinie und *Amorpha* jedoch meist am Basalteil der Fiederblättchen beginnend, die im Verlauf der Schädigung größere Flächen einnahm, indem die einzelnen Nekrosen ineinander übergingen. Besonders empfindlich reagiert *Alnus glutinosa*, die Schwarzerle. Außerdem fiel auf, daß an jedem Trieb das jeweils jüngste Blatt auch durch hohe Konzentrationen nicht geschädigt wurde. Während in dieser Phase das zweite und dritte Blatt am Trieb beginnende Nekrosen aufwiesen, waren alle älteren Blätter bereits vollständig schwarz verfärbt.

An Futter- und Zuckerrüben war bereits nach kurzer Begasungsdauer ein Kräuseln aller Blattränder zu beobachten. Später einsetzende hellbraune Verfärbungen begannen in den Blattspreiten. Im fortgeschrittenen Schädigungsstadium kam es zum Einrollen der Blätter, wobei eine besonders hohe Brüchigkeit des Blattmaterials auffiel.

An den Getreidearten zeigten sich Nekrosen im Stadium des Ährenschiebens vor allem an den Blattspitzen. Aufhellungen an den Grannen der Ähren – etwa wie nach  $\text{SO}_2$ -Einwirkung – wurden erst nach längerer Einwirkungszeit beobachtet, als die Blätter bereits total nekrotisiert waren.

### Ergebnisse der Testbegasungen

In Auswertung unserer Kurz- und Langzeitbegasungen, erster Beobachtungen in Schädgebieten und nach statistischen Verrechnungen der Versuchsergebnisse wurde der Versuch unternommen, eine vorläufige Resistenztafel für Ammoniak aufzustellen. Als entscheidendes Versuchs-kriterium wurde die Blattempfindlichkeit der geprüften Arten und Sorten nach sichtbaren Merkmalen herangezogen. Einige der getesteten Gehölze ließen sich noch nicht sicher einordnen und wurden deshalb bei der tabellarischen Zusammenstellung nicht berücksichtigt (Tab. 1).

Tabelle 1. Relative Resistenz von Gehölzen gegenüber Ammoniak, zusammengestellt nach sichtbaren Merkmalen der Blatt- bzw. Nadelempfindlichkeit

Sehr empfindlich	
<i>Tilia cordata</i>	<i>Carpinus betulus</i>
<i>Tilia tomentosa</i>	<i>Rhysocarpus opulifolia</i>
<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Pinus strobus</i>
<i>Alnus incana</i>	
mittlere Empfindlichkeit	
<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Eleagnus angustifolia</i>
<i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Berberis spec.</i>
<i>Betula verrucosa</i>	<i>Larix decidua</i>
<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Larix leptolepis</i>
<i>Syringa vulgaris</i>	<i>Taxus baccata</i>
<i>Halimodendron purpurea</i>	<i>Picea abies</i>
<i>Cornus mas</i>	<i>Pinus silvestris</i>
<i>Betula nana</i>	<i>Thuja occidentalis</i>

## relativ gering empfindlich

<i>Quercus rubra</i>	<i>Ptelea trifoliata</i>
<i>Quercus robur</i>	<i>Ligustrum atrovirens</i>
<i>Robinia pseudacacia</i>	<i>Crataegus monogynum</i>
<i>Acer ginnala</i>	<i>Buxus</i>
<i>Acer campestre</i>	<i>Pinus nigra</i>
<i>Acer negundo</i>	<i>Pinus mugho</i>
<i>Amorpha fruticosa</i>	<i>Chamaecyparis spec.</i>
<i>Hamamelis multifolia</i>	

Derartige Resistenzreihen sind noch immer recht umstritten. Auch uns ist klar, daß die verschiedenen Umweltbedingungen das Resistenzverhalten der Pflanzen stark beeinflussen und Angaben über die Widerstandsfähigkeit deshalb nur relativen Wert haben können. Trotzdem halten wir Resistenzprüfungen in der geschilderten Form und entsprechende vorsichtige Schlußfolgerungen für legitim. Wenn die Differenzierung der Arten und Sorten innerhalb der Resistenzreihe nicht zu kleinlich betrieben wird und vielmehr Gruppen unterschiedlicher Resistenz zusammengefaßt werden, haben Resistenzreihen durchaus ihren Wert. Für die Bewirtschaftung land- und forstwirtschaftlicher Schadgebiete sowie für die Begründung von Grüngürteln in Immissionsgebieten sind derartige Untersuchungsergebnisse unerläßlich.

## Z u s a m m e n f a s s u n g

Im Zusammenhang mit Ammoniakschäden an der Vegetation in der Umgebung industrieller und landwirtschaftlicher Produktionsstätten werden Testbegasungen mit  $\text{NH}_3$  an Versuchspflanzen beschrieben. Der phytotoxische Schwellenwert für  $\text{NH}_3$  wurde bei  $1,0 \text{ mg/m}^3$  gefunden.

Es wird die benutzte Apparatur beschrieben, Schadsymptome der begasten Pflanzen werden erklärt und erste Ergebnisse über die unterschiedliche Resistenz verschiedener Gehölze mitgeteilt.

Ziel der Untersuchung war der Nachweis von geeigneten Holzarten für den Anbau in Schadgebieten.

## S c h r i f t t u m

- Ewert, E.: Vegetationsschäden in der Umgebung landwirtschaftlicher Tierproduktionsanlagen. Luft- und Kältetechnik 74 (1978) 218-220.
- Garber, K.: Über die Physiologie der Einwirkung von Ammoniakgasen auf die Pflanze. Landwirtsch. Vers. Stat. 123 (1935) 277-344.
- Garber, K.: Luftverunreinigung und ihre Wirkungen. Berlin: Gebr. Borntraeger 1967.
- Garber, K.: Schädigung von Kiefernbeständen durch ammoniakhaltige Abluft aus einer Geflügelarm. Vortrag auf der „VIII. Internat. Arbeitstagung Forstl. Rauchschadensachverständiger“, Sopron 1972.
- Häntzsch, S., und E. Lahmann: Ammoniak-Bestimmungen in Großstadtluft. Schriftenr. Verein Wasser-, Boden-, Lufthygiene H. 33 (1970) 35-39.
- Hauschild, F.: Pharmakologie und Toxikologie. Leipzig: VEB Georg Thieme 1961.
- Keller, T., zit. bei Garber, K., und B. Schürmann: Wirkung und Nachweis von Ammoniak-Immissionen in der Nähe von Großstallanlagen. 26. Sonderheft zur Zeitschrift „Landwirtschaftliche Forschung“ 20 (1971) 36-40.
- Kliche, R., G. Mehlhorn und M. Herrmann: Identifizierung und Bedeutung von Schadgasen in industriegemäßen Milchviehanlagen. Mh. Vet.-Med. 28 (1973) 761-800.
- Kurczatowa, G.: Modifizierung der Phenolhypochlorid-Methode zur Bestimmung von Ammoniak in der Atmosphäre. Panstw. Zakl. Hig. 22 (1971) 289-294.

- Leithe, W., und G. Petschl: Bestimmung von Ammoniak in Luft über die Indophenolreaktion. *Z. analyt. Chem.* **230** (1967) 344-347.
- Mayer, H.: Untersuchungen über die Chlorophyllase. *Planta* **11** (1930) 294-330.
- Miner, J. R., und T. W. Hazen: Ammonia and Amines: Components of swine building odor. *Ann. Soc. Agricult. Eng. (St. Joseph, Michigan)* **12** (1969) 772.
- Ramsey, G. B., und L. F. Butler: Injury to onions and fruits caused by exposure to ammonia. *J. agr. Res.* **37** (1928) 339-348.
- Rauh, W., und K. Hammje: Eine verbesserte Methode zur Bestimmung von Ammoniak in der atmosphärischen Luft. *Z. ges. Hyg.* **15** (1969) 941-944.
- Sorauer, F.: Fremde und eigene Beobachtungen auf dem Gebiete der Pflanzenkrankheiten im Jahre 1875, Einfluß von Ammoniakgas. *Landwirtsch. Jb.* **6** (1877), Suppl. H. II, S. 213-214.
- Steinbrink, H.: Schäden an Treibgurken durch Gase. *Nachrichtenbl. Dt. Pflanzenschutzd.* **19** (1965) 80-81.
- Thornton, N. C., und C. Setterstrom: Toxicity of ammonia chlorine, hydrogen cyanide, hydrogen sulfide and dioxide gases. III. Green plants. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* **11** (1939) 343-356.
- Vines, H. M., und R. T. Wedding: Some effects of ammonia on plant metabolism and a possible mechanism for ammonia toxicity. *Plant Physiol.* **35** (1960) 820-825.

Dr. Eberhard Ewert  
Technische Universität Dresden  
Sektion Forstwirtschaft, Bereich Pflanzenchemie  
DDR - 8223 T h a r a n d t  
Pienner Straße 21