

**Nr. 25**

**Fluorwasserstoff-  
Wirkungen auf Pflanzen**

Herausgeber:

Landesanstalt für Immissionsschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Str. 6

D-4300 Essen 1

1982

ISSN 0720-8499

Wirkungen von Fluorwasserstoff-Immissionen  
auf die Vegetation

<sup>[aus]</sup>  
Dr. H. van Haut und Dr. G.H.M. Krause

[1982]

## WIRKUNGEN VON FLUORWASSERSTOFF-IMMISSIONEN AUF DIE VEGETATION

Dr. H. van Haut, Dr. G.H.M. Krause

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

Unter den fluorhaltigen Luftverunreinigungen kommt dem Fluorwasserstoff die größte Bedeutung zu. Die Gefahr für die Vegetation geht praktisch von der Einwirkung auf die oberirdischen Pflanzenteile aus. In einem Überblick werden die Wirkungen auf zellulärer Basis - die mit der Schadstoffaufnahme über das Blatt eingeleitet werden - mit den Reaktionen der gesamten Pflanze und auch des gesamten Pflanzenbestandes in Verbindung gebracht. Indirekt sind auch Tierschädigungen möglich, und zwar durch F-Anreicherungen in Futterpflanzen.

Für den praktischen Immissionsschutz sind die auch als Luftqualitätskriterien bezeichneten Immissions-Wirkungsbeziehungen von ausschlaggebender Bedeutung; sie stellen nämlich die wissenschaftliche Grundlage dar für die Festlegung noch zulässiger Fluorwasserstoff-Gehalte der Luft.

Zum Schutze der Vegetation sind von der VDI-Kommission "Reinhaltung der Luft" für Fluorwasserstoff Maximale Immissions-Werte empfohlen worden. Je nach Empfindlichkeit der Pflanzenarten liegen die Mittelwerte entsprechend dem derzeitigen Diskussionsstand für die Vegetationsperiode zwischen 0.3 und 1.4  $\mu\text{g HF}/\text{m}^3$  Luft, die Monatsmittel zwischen 0.4 und 2.0  $\mu\text{g}$  und die Mittelwerte über 24 Stunden zwischen 2.0 und 4.0  $\mu\text{g HF}/\text{m}^3$  Luft.

Auf die Anreicherung von Fluorid in Pflanzenorganen als einem weiteren Kriterium zur Abschätzung von Vegetationsgefährdung wird ebenfalls eingegangen.

## S u m m a r y

Hydrogen fluoride is the most important phytotoxic compound of the atmospheric fluorides. The risk for vegetation is centered principally on the above-ground plant parts. In this paper effects at a cellular level, which begin with the fluoride uptake through the leaves, will be shown to be connected to effects in the entire plant and on the entire plant stands. Risks for animals are indirectly possible due to uptake of contaminated fodder.

Air quality criteria such as dose-effects-relationships are very important for practical air pollution control; they represent the scientific basis for setting limits of allowable fluoride concentrations in the atmosphere.

For the protection of vegetation the following maximum ambient concentrations have been suggested by the VDI-Commission "Reinhaltung der Luft". Depending on the sensitivity of the plant, according to the present state of discussion, the average concentration over the growing season are  $0.3-1.4 \mu\text{g HF} \cdot \text{m}^{-3}$ ; the monthly averages range from  $0.4-2.0 \mu\text{g HF} \cdot \text{m}^{-3}$  and the 24 hour averages are between  $2.0$  and  $4.0 \mu\text{g HF} \cdot \text{m}^{-3}$ .

The accumulation of fluoride in plant tissues as a further criterion for determining risks for vegetation will also be discussed.

## E i n l e i t u n g

Unter den als Gase und Schwebstoffe auftretenden fluorhaltigen Luftverunreinigungen sind die wasserlöslichen, gasförmigen Verbindungen am pflanzenschädlichsten. Die größte Bedeutung besitzt Fluorwasserstoff, der aus zahlreichen Emittenten ausgeworfen wird und auch aus Umsetzungen anderer Fluorverbindungen wie Fluor ( $F_2$ ), Siliciumtetrafluorid ( $SiF_4$ ) und Kieselfluorwasserstoffsäure ( $H_2SiF_6$ ) entsteht.

Als Hauptquelle für Fluorwasserstoff-Immissionen werden Aluminiumwerke angesehen, in deren Umgebung dann auch häufiger akute Pflanzenschädigungen in Form von Blattnekrosen zu beobachten sind. Aufgrund experimenteller Untersuchungen sind zur kurzfristigen Auslösung derartiger Blattschädigungen HF-Konzentrationen oberhalb von  $10 \mu g/m^3$  Luft notwendig. Da sich Fluorid in den Blättern anreichert, können aber auch länger anhaltende niedrige HF-Konzentrationen im Bereich von  $1 \mu g/m^3$  dazu führen. Weiterhin wird Fluorwasserstoff durch Schmelz- und Brennprozesse beim Verarbeiten von Lehmen und Tonen sowie sonstigen Steinen und Erden frei, außerdem bei der Herstellung von Superphosphat-Düngemitteln aus Rohphosphaten, die fluorhaltigen Apatit enthalten. Neben Flußsäurefabriken können auch Emaillierwerke, Glashütten, Glasätzereien, Ziegeleien, Porzellan- und Tonwarenfabriken, Stahl- und Metallhütten sowie Kraftwerke auf Kohlebasis Fluor in die Atmosphäre abgeben.

Die Gefahr für die Vegetation geht praktisch alleine von den Einwirkungen der gasförmigen F-Verbindungen auf die oberirdischen Pflanzenteile aus. Indirekte Wirkungen nach Anreicherung von Fluor in Böden sind lediglich in der nahen Umgebung stark emittierender Anlagen beobachtet worden [1]. Aus der Nichtbeteiligung des Fluors am Stoffaufbau und am Stoffwechsel nahezu aller Pflanzenarten erklärt sich, daß Fluor in der Pflanzenzelle nicht entgiftet wird. Nach Untersuchungen von JACOBSON et al. [2] liegt Fluor in der Pflanze nahezu ausschließlich in ionogener Form vor. Für den hohen Phytotoxizitätsgrad des Fluors mag weiterhin mitbestimmend sein, daß es sich besonders stark in Chloroplasten anreichert [3]. Je nach Pflanzenart sowie in Abhängigkeit von Konzentrationshöhe und

Einwirkungsdauer wirkt Fluorwasserstoff etwa 10 bis 100fach toxischer als Schwefeldioxid. Einen Überblick über die verschiedenen nach Fluorid-Einwirkungen auftretenden Pflanzenschädigungen in Art und Ausprägung vermittelt Tabelle 1 (s. Anhang). In dieser Aufstellung werden die Wirkungen auf zellulärer Basis - die mit der Schadstoffaufnahme über das Blatt eingeleitet werden - mit den Reaktionen der gesamten Pflanze und auch des gesamten Pflanzenbestandes in Verbindung gebracht. Einzelheiten gehen aus den zusammenfassenden Darstellungen von GUDERIAN [4] sowie WEINSTEIN [5] hervor.

Gasförmige Fluorverbindungen sind mittelbar - d.h. nach Anreicherung in Futterpflanzen - auch für Tierschädigungen von Bedeutung [6]. Insbesondere bei Rindern und Schafen können Futtermittel mit Fluoranreicherungen neben Zahnschäden auch Frakturen und Kallusbildungen an den Extremitäten auslösen, begleitet von Lahmheit, Inappetenz, Störungen in der Fruchtbarkeit und Rückgang in der Milch- und Fleischproduktion.

Für die Beurteilung von Gefährdungen sowohl an Pflanzen als auch an Tieren kommen somit zwei Kriterien in Betracht, nämlich der Gehalt der Atmosphäre an gasförmigen Fluorverbindungen und die Fluorakkumulation in der Pflanze. Der veterinärmedizinische Aspekt kann als weitgehend geklärt angesehen werden [9]. Beispielsweise darf der mittlere F-Gehalt im Futter 3 bis 4 mg/100 g in der Trockensubstanz (30 bis 40 ppm) nicht überschreiten, wenn bei Milchkühen eine chronische Fluorosis mit wirtschaftlichen Folgewirkungen unterbleiben soll [6, 10, 11, 12, 13].

## 2. Fluorid - Anreicherung und schädigung

Über immissionsbedingte Fluoridanreicherungen in Pflanzen und das Auftreten von Schädigungen liegen zahlreiche Untersuchungen vor, die von verschiedenen Autoren zusammenfassend dargestellt worden sind [13, 14, 15, 16,].

Während der Anreicherungsphase des Fluors in den Blättern treten häufig zunächst ausgeprägte Blattchlorosen und in der Folge nach Akkumulation zu letalen Konzentrationen auch Blattrandnekrosen auf. Die Schädigungssymptome variieren mit der Pflanzenart [17]. Bei den breitblättrigen Dikotylen wird das Fluor zu den Blatträndern transportiert und ruft dort im allgemeinen rotbraune oder auch elfenbeinfarbene Nekrosen hervor, die sich durch eine schmale, dunkler gefärbte Zone von dem gesunden Gewebe absetzen können; aber auch Interkostalnekrosen werden beobachtet. Bei den monokotylen Pflanzenarten wie Getreide, Mais, Lilien und Gladiolen äußern sich die akuten Schädigungen in Form elfenbeinfarbener bis brauner Nekrosen, die vorwiegend von den Blattspitzen ausgehen. Ebenfalls bei den Nadelgehölzen treten rotbraune Spitzennekrosen auf, die sich in Abhängigkeit von der einwirkenden HF-Konzentration bis zur Nadelbasis erstrecken können.

Das Auftreten einer Blattschädigung setzt eine Mindestanreicherung voraus, die im allgemeinen ein Mehrfaches des natürlichen F-Gehaltes beträgt. Diese natürlichen F-Gehalte liegen je nach Pflanzenart im allgemeinen zwischen 5 und 25  $\mu\text{g}$  F/g Trockensubstanz [15, 18].

Vergleichende Untersuchungen über F-Akkumulation und Schädigungsgrad haben zur Aufstellung von Resistenzgruppen geführt [9]. So zeigen besonders empfindliche Arten aus der Familie der Iridiaceen und der Liliaceen sowie verschiedene Koniferen- und Prunusarten noch bei F-Gehalten unterhalb von 50 ppm TS Blattchlorosen oder Blattnekrosen. Zur Gruppe der empfindlichen Pflanzen, die bei F-Gehalten zwischen 50 bis 200 ppm geschädigt werden, zählen neben den übrigen Iridiaceen und Liliaceen noch weitere Nadelhölzer sowie ein Teil der Papilionaceen und der Gramineen. Relativ widerstandsfähige Arten können bis zu mehreren

hundert ppm F im Gewebe enthalten, ehe Blattchlorosen oder Blattnekrosen auftreten.

Bei der F-Anreicherung in Pflanzen, die HF-Einwirkungen ausgesetzt waren, hat sich gezeigt, daß eine annähernd lineare Funktion zur Konzentration und zur Einwirkungsdauer besteht [19, 20, 21]. Es ist noch hervorzuheben, daß Wachstums- und Ertragsdepressionen nach HF-Einwirkungen auch bei Abwesenheit der erwähnten sichtbaren Schädigungssymptome eintreten können.

Die Beurteilung von Vegetationsgefährdungen anhand der F-Gehalte in der Pflanzensubstanz ist speziell unter Immissionskonstellationen mit stark schwankenden HF-Konzentrationen problematisch, denn die Schadwirkung hängt ja außer von der Höhe des absorbierten Fluors noch von seiner Anreicherungs geschwindigkeit ab. F-Gehalte in Pflanzenorganen ermöglichen zwar eine Risikobeurteilung für Tiere und - mit Einschränkungen - auch für Pflanzen; sie liefern aber noch keine Anhaltspunkte dafür, wie hoch die F-Gehalte in der Luft sein dürfen, damit Gefährdungen an Pflanzen und Tieren unterbleiben.

Für die Festlegung noch zulässiger Verunreinigungsgrade als Konvention sind damit Untersuchungen über quantitative Beziehungen zwischen dem HF-Gehalt der Luft und den Wirkungen an Pflanzen notwendig.

### 3. I m m i s s i o n s - W i r k u n g s b e z i e h u n g e n

Für den praktischen Immissionsschutz nach dem Luftqualitätsprinzip [22, 23] - wonach die Luft so rein wie erforderlich zu halten ist - sind die auch als Luftqualitätskriterien (Air quality criteria) bezeichneten Immissions-Wirkungsbeziehungen von entscheidender Bedeutung. Sie stellen nämlich die wissenschaftliche Grundlage dar für die Festlegung von Standards oder Grenzwerten durch die Legislative.

Zur Ermittlung quantitativer Beziehungen zwischen dem HF-Angebot und der Wirkung werden im allgemeinen Begasungsexperimente, sei es nun unter kontrollierten klimatischen Bedingungen in Klimakammern, oder in freilandnahen Expositionskammern, die kleinen

Gewächshäusern gleichen, sowie Untersuchungen in der Umgebung von F-Quellen durchgeführt. Nachfolgend wird eine Übersicht über die Wirkungen definierter HF-Mengen auf Forstkulturen sowie auf landwirtschaftliche und gärtnerische Pflanzenarten gegeben.

In einem Freilandversuch in der Umgebung eines F-Emittenten wiesen Ponderosa-Kiefern und Gladiolen-Varietäten nach 2wöchiger Exposition Schädigungen in Form von Blattnekrosen noch an Standorten mit mittleren Konzentrationen von 0,7 bis 0,4  $\mu\text{g}/\text{HF m}^3$  Luft auf [24, 25]. Orangen-Bäume zeigten nach zweijährigen kontinuierlichen Einwirkungen von 0,8 bis 4  $\mu\text{g HF}/\text{m}^3$  Behinderungen im Trieb- und Dickenwachstum, verminderte Blattgrößen bei starken Chlorosen, Verzögerungen im Blühbeginn, geringere Erträge, Beeinträchtigungen in der äußeren Beschaffenheit der Früchte sowie niedrigere Vitamin-C-Gehalte auf [26]. Vergleichbare Effekte sind in weiteren Experimenten nach 27monatiger Einwirkung von 0,8  $\mu\text{g HF}/\text{m}^3$  festgestellt worden [27].

In Begasungsexperimenten traten an empfindlichen Forstkulturen wie Fichte (*Picea abies*), Weymouthkiefer (*Pinus strobus*), Nordmannstanne (*Abies nordmanniana*), Eberesche (*Sorbus intermedia*) und Rotbuche (*Fagus silvatica*) oft schon nach mehrtägiger Einwirkung von 1,3  $\mu\text{g HF}/\text{m}^3$  Luft so starke Blattschädigungen auf, daß bei langanhaltendem Einfluß mit starken Wuchsbehinderungen gerechnet werden muß [17]. In Begasungsexperimenten mit 1  $\mu\text{g}$ , 4 und 8  $\mu\text{g}$  beobachteten ADAMS et al. [25] an empfindlichen Pflanzen wie Pfirsich (*Prunus persica*) Lärche (*Larix occidentalis*), Douglastanne (*Pseudotsuga menziesii*) und Flieder (*Syringa vulgaris*) nach 60- bis 110stündiger Einwirkung noch bei der niedrigsten Konzentration Blattschädigungen.

Empfindliche gärtnerische Pflanzenarten wie Tulpen, Narzissen, Hyazinthen und Krokus wiesen bei mittleren Konzentrationen von 1,5 bzw. 2,0  $\mu\text{g HF}/\text{m}^3$  Luft nach 12tägiger Einwirkung starke wertmindernde Schäden auf; Gladiolen und Knollenbegonien wurden bereits durch eine 3tägige Begasung mit 1  $\mu\text{g HF}/\text{m}^3$  geschädigt [17]. SPIERINGS und WOLTING [28] fanden an der Tulpen-Varietät "Paris" nach 16tägiger Begasung mit 0,6  $\mu\text{g HF}/\text{m}^3$  starke Blattspitzennekrosen. Die hochempfindliche Gladiolen-Sorte "Picardy" wurde noch bei einer HF-Konzentration von 0,08  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nach fünf-

wöchiger Einwirkung stark geschädigt [29].

In Gräsern und Kleearten kam es noch bei durchschnittlichen Konzentrationen von  $0,85 \mu\text{g HF}/\text{m}^3$  Luft nach 14tägiger Einwirkung zu tiertoxikologisch bedenklichen Fluoranreicherungen bis 85 ppm F in der Trockensubstanz; bei der wenig höheren Begasungskonzentration von  $1,1 \mu\text{g HF}/\text{m}^3$  erfolgten Fluoranreicherungen bis zu 330 ppm. Die Wuchsleistung war jedoch nicht beeinträchtigt. Während Rotklee und Weißklee schwache Blattnekrosen aufwiesen, blieben die untersuchten Grasarten symptomfrei [17]. Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen BENEDICT et al. [30]. So wies die im Wuchs unbeeinflusste Luzerne nach fünfwöchiger Begasung mit  $0,8 \mu\text{g HF}/\text{m}^3$  Luft einen F-Gehalt von 124 ppm F in der Trockensubstanz auf; eine signifikante Ertragseinbuße an Luzerne, Knaulgras und Endivie wurde nach 20tägiger Begasung mit  $100 \mu\text{g HF}/\text{m}^3$  festgestellt. Ein Gemisch aus Rotklee und Wiesengras reicherte bei 7tägiger Begasung mit  $1,9 \mu\text{g HF}/\text{m}^3$  einen F-Gehalt von 51 ppm in der Trockensubstanz an [31]. Nach 40stündiger Einwirkung von  $5 \mu\text{g HF}$  wurde bei Luzerne ein F-Gehalt von 78 ppm festgestellt [32].

Wintergerste (*Hordeum vulgare*) zeigte nach 12tägiger Einwirkung von  $3,3 \mu\text{g HF}$  zur Zeit der Bestockung signifikante Wachstumsmin-  
derungen; Hafer (*Avena sativa*), Saatwicke (*Vicia sativa*), Gelbe Süßlupine (*Lupinus luteus*) und Felderbse (*Pisum sativum*) wurden erst bei Begasungskonzentrationen oberhalb von  $4 \mu\text{g HF}/\text{m}^3$  im Wuchs behindert [17].

Da das Fluorid-Ion verschiedene Enzymreaktionen hemmen kann, sind physiologische Schädigungen der Pflanze ohne äußerlich erkennbare Schädigungsmerkmale möglich. Untersuchungen über die Auswirkungen von Fluorid auf den Gaswechsel von Pflanzen haben ergeben, daß je nach Pflanzenart und Konzentrationshöhe die Dunkel-  
atmung stimuliert oder reduziert wird [21, 33]. McNULTY und NEWMAN [34] beobachteten bei der Gladiolevarietät "Snow Princess" einen Anstieg in der Respiration nach HF-Einwirkung. Bei Bohnen bewirkte die Zugabe von Natriumfluorid (NaF) zur Nähr-  
lösung ebenfalls eine verstärkte Atmung [43]. Andererseits wurden nach Einwirkung niedriger NaF-Konzentrationen bei *Prunus spec.*

auch Atmungsminderungen beobachtet [34], ebenso bei Bohnenpflanzen nach HF-Begasungen [35, 36].

Über den Einfluß von Fluorwasserstoff auf die  $\text{CO}_2$ -Aufnahme der Pflanze liegen verschiedene Untersuchungsergebnisse vor. THOMAS und HENDRICKS [37] fanden Korrelationen zwischen der Abnahme in der Photosynthese und der Zunahme der Nekrosenbildung an Gladiolenblättern nach HF-Begasungen. Kurzzeitversuche, insbesondere mit höheren Konzentrationen, verursachten nur eine vorübergehende Reduktion in der Photosynthese; nach der Exposition erholten sich die Pflanzen wieder. Nach BENNETT und HILL [38] bewirkte eine 2stündige Begasung von Wintergerste sowie Luzerne mit  $0,8 \mu\text{g HF/m}^3$  Luft eine Absenkung der Photosyntheseleistung um 20 % ohne sichtbare Blattschädigungen.

McCUNE [39] hat aufgrund von Literaturlauswertungen Dosis-Wirkungsbeziehungen für verschiedene Pflanzenarten aufgestellt. Danach werden empfindliche Nutzpflanzen wie Koniferen, Obstgehölze, Hirse und Zierpflanzen noch bei Konzentrationen von  $0,5 \mu\text{g HF/m}^3$  Luft geschädigt (s. Abbildung 1 im Anhang). Dem Kurvenverlauf ist zu entnehmen, daß neben der Konzentrationshöhe vor allem die Einwirkungsdauer für die Schädigung von Bedeutung ist. Bei der Begrenzung von Fluorwasserstoff-Immissionen ist also der Einfluß langanhaltender niedriger HF-Konzentrationen besonders zu berücksichtigen.

Über das Resistenzverhalten verschiedener wichtiger Kulturpflanzen gegenüber Fluorwasserstoff unterrichtet Tabelle 2 (s. Anhang). Eine zusammenfassende Darstellung über die Dosiswirkungsbeziehungen für Fluorwasserstoff wird in Tabelle 3 (s. Anhang) gegeben.

#### 4. Immissionsgrenzwerte für Fluorwasserstoff

Nach der "Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft" [40] sind für Fluorwasserstoff folgende begrenzende Immissions-Werte festgelegt worden:

$$\text{IW 1} = 0,0020 \text{ mg/m}^3 \text{ Luft}$$

$$\text{IW 2} = 0,0040 \text{ mg/m}^3 \text{ Luft.}$$

Diese Normen sind auf einen generalisierenden Schutz der Vegetation abgestellt und berücksichtigen nicht die unterschiedliche Empfindlichkeit der einzelnen Pflanzenarten.

Eine differenzierte Risiko-Beurteilung ermöglichen die von der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft in der Richtlinie 2310, Blatt 3 [41], zum Schutze der Vegetation als Empfehlung vorgeschlagenen "Maximalen Immissions-Werte für Fluorwasserstoff" (Tabelle 4, siehe Anhang), entsprechend dem derzeitigen Diskussionsstand, d.h. der Fassung der VDI Richtlinie als sogenannte Gründruck (Richtlinienentwurf). Die den einzelnen Empfindlichkeitsstufen zuzuordnenden Pflanzenarten sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Als Grundlage für die Festsetzung dieser Maximalen Immissions-Werte dienten die erwähnten, in Begasungsexperimenten und in der Umgebung von Fluor-Emittenten ermittelten Immissions-Wirkungsbeziehungen, Beeinträchtigungen der physiologischen Leistung sowie F-Anreicherungen, soweit sie mit nachteiligen Auswirkungen auf die Wuchs- und Ertragsleistung der Pflanzen sowie auf die Qualität pflanzlicher Erzeugnisse verbunden waren. Wirtschaftlich genutzte Pflanzenarten aus der Land- und Forstwirtschaft und dem Gartenbau wurden besonders berücksichtigt und für die Wachstumsfaktoren Boden und Klima mittlere, einen normalen Pflanzenwuchs gewährleistende Bedingungen unterstellt.

Mit den maximalen Immissions-Werten für die gesamte Dauer der Vegetationsperiode (April bis Oktober) wird dem schon erwähnten Einfluß langanhaltender niedriger HF-Konzentrationen Rechnung getragen, und zwar für eine Wachstumszeit, in der Fluorwasserstoff besonders stark von der Pflanze aufgenommen wird. Die Immissions-Wirkungsbeziehungen für empfindliche Nutzpflanzen weisen hier auf einen begrenzenden Mittelwert von  $0,5 \mu\text{g HF}/\text{m}^3$  Luft hin. Berechnungen von BRANDT [9], die auf Angaben von BENEDICT et al. [30, 32] und GUDERIAN et al. [17] beruhen, lassen auf einen Wert  $< 0,4 \mu\text{g HF}/\text{m}^3$  schließen, wenn F-Anreicherungen von 30 bis 40 ppm TS über dem Normalgehalt unterbleiben sollen.

Mit der Einhaltung der in Tabelle 4 aufgeführten, noch zulässigen HF-Gehalte der Luft sind die ökonomischen Leistungen der Ve-

getation weitgehend sichergestellt. Mögliche nachhaltige Störungen in der Funktionstüchtigkeit von Ökosystemen blieben bei der Ableitung dieser Werte unberücksichtigt.

Als weiteres Kriterium für die Beurteilung von Vegetationsgefährdungen können bei bestimmten Pflanzenarten die immissionsbedingten Fluorid-Anreicherungen herangezogen werden (vgl. Abschnitt 2). Außerdem haben intensive Studien über die F-Anreicherung in standardisierten Graskulturen zur Aufstellung von Korrelationen zwischen der Aufnahmerate der Graskultur (*Lolium multiflorum*) und der Schädigung anderer Pflanzenarten geführt [21, 42]. So ist an sehr empfindlichen Pflanzenarten mit Schäden zu rechnen, wenn die F-Anreicherung in der Graskultur nach jeweils 14tägiger Expositionszeit während eines Beurteilungszeitraumes von 6 Monaten im Mittel  $30 \mu\text{g/g}$  in der Trockensubstanz (30 ppm) überschreitet. Für empfindliche und weniger empfindliche Pflanzenarten liegen diese Werte bei  $60 \mu\text{g}$  bzw.  $80 \mu\text{g/g TS}$ . Bei F-Anreicherungen  $> 80 \mu\text{g/g TS}$  ist auch mit der Gefährdung von Weidevieh (Milchkühen) zu rechnen.

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

- [1] GARBER K., R. GUDERIAN und H. STRATMANN:  
 Untersuchungen über die Aufnahme von Fluor aus dem Boden durch Pflanzen.  
 Qualitas Plant. Mater vegetabiles, XIV (3) (1967), S. 223-236.
- [2] JACOBSON J.S. und A.C. HILL:  
 Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation: A Pictorial Atlas.  
 Air Pollut. Cont. Assoc., Pittsburgh, Pa., 1970.
- [3] CHANG W. und C.R. THOMPSON:  
 Subcellular Distribution of Fluoride in Navel Orange Leaves.  
 Intern. J. Air Water Pollution, 9 (1965), S. 685-691.
- [4] GUDERIAN R.:  
 Air Pollution. - Phytotoxicity of Acidic Gases and its Significance in Air Pollution Control.  
 Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 127 S. 1977, 127 S.
- [5] WEINSTEIN L.H.:  
 Fluoride and Plant Life.  
 J. Occupational Med. 19, (1977), No. 1, S. 49-78.
- [6] SHUPE J.L., M.L. MINER, L.E. HARRIS und D.A. GREENWOOD:  
 Relative Effects of Feeding Hay Atmospherically Contaminated by Fluoride Residue, Normal Hay plus Calcium Fluoride and Normal Hay plus Sodium Fluoride to Dairy Heifers.  
 Am. J. Vet.Res., 23 (1962), S. 781.

- [7] ROSENBERGER G. und H.D. GRÜNDER:  
Untersuchungen über Fluorimmissionswirkungen bei Rindern im Bereich einer Flußsäurefabrik.  
Forsch. Ber. d. DFG, S. 68-88, F. Steiner-Verlag, Wiesbaden 1968.
- [8] OELSCHLÄGER W.:  
Problematik der Immissionsmessungen von Fluor hinsichtlich der Wirkungen auf Pflanze und Tier.  
Staub-Reinhaltung der Luft 31, (1971), S. 457-469.
- [9] BRANDT C.S.:  
Ambient Air Quality Criteria for Hydrofluorine and Fluorides.  
VDI-Berichte 164, (1971), S. 23-27.
- [10] SCHMIDT H., W.F. HARRIES und J.L. SHUPE.:  
Fluorose bei Tieren.  
Schweiz. Arch. Tierheilkd., 110 (1968), S. 113.
- [11] SHUPE J.L.:  
Fluorosis in Livestock.  
Am. Petrol. Inst., Air Quality Monograph 69/74, New York 1969.
- [12] SUTTLE J.W.:  
Air Quality Standard for the Protection of Farm Animals from Fluorides.  
JAPCA, 19 (1969), S. 239-242.
- [13] Fluorides, Biological Effects of Atmospheric Pollutants.  
Nat.Acad. Sci., Washington, D.C. (1971).
- [14] CHRISTIANI F. und R. GAUTIER:  
Emanations fluorées des usines: Étude expérimentale de l'action du fluor sur les végétaux.  
Ann. Hygiene Publ., 3 (1925), S. 49-64.

- [15] GARBER K.:  
Die Beeinflussung der Pflanzenwelt durch  
fluorhaltige Immissionen.  
Angew. Bot., 40 (1966), S. 12-21.
- [16] TRESHOW M. und M.R. PACK  
Fluoride.  
In: Recognition of Air Pollution Injury to  
Vegetation; A Pictorial Atlas.  
Eds.: J.S. Jacobson, A.C. Hill.  
APCA, Pittsburgh 1970.
- [17] GUDERIAN R., H. VAN HAUT und H. STRATMANN:  
Experimentelle Untersuchungen über pflanzen-  
schädigende Fluorwasserstoff-Konzentrationen.  
Forsch. Ber. d. Landes NW, Nr. 2017. -  
Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen 1969, 54 S.
- [18] TRESHOW M.:  
Environment and Plant Response.  
McGraw-Hill, New York 1970.
- [19] HITCHCOCK A.E., P.W. ZIMMERMANN und  
R.R. COE:  
Results of Ten Years Work (1951-1960) on the  
Effect of Fluorides on Gladiolus.  
Contrib. Boyce Thompson Inst., 21 (1962),  
S. 303-344.
- [20] McCUNE D.C. und A.E. HITCHCOCK:  
Fluoride in Forage: Factors Determining its  
Accumulation from the Atmosphere and Concen-  
tration in the Plant.  
2nd Intern. Clean Air Congr., Washington,  
D.C. (1970).

- [21] BRANDT C.J.:  
Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf *Lolium multiflorum* und andere Nutzpflanzen.  
Bonn, Univ., Dr. agr.-Diss. v. 13. Aug. 1979.
- [22] PERSSON G.A.:  
Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft.  
Staub-Reinhaltung Luft, 31 (1971), S. 283-284.
- [23] STRATMANN H.:  
Zielsetzung im Bereich des Immissionsschutzes.  
Rationalisierung d. Landes NW, H. 133,  
Bergmann-Verlag, Dortmund 1972.
- [24] ADAMS D.F., C.G. SHAW, R.M. GNAGY, R.K. KOPPE,  
D.J. MAYHEW und W.D. YERKES:  
Relationship of Atmospheric Fluoride Levels and  
Injury Indexes on *Gladiolus* and *Ponderosa Pine*.  
J. Agric. Food Chem., 4 (1956), S. 64-66.
- [25] ADAMS D.F., J.W. HENDRIX und H.G. APPLGATE:  
Relationship among Exposure Periods, Foliar  
Burn and Fluorine Content of Plants Exposed to  
Hydrogen Fluoride.  
J. Agric. Food Chem., 5 (1957), S. 108-116.
- [26] BREWER R.F., F.H. SUTHERLAND, F.B. GUILLEMET  
und R.K. CREVELING:  
Some Effects of Hydrogen Fluoride Gas on Bearing  
Navel Orange Frees.  
Proc. Am. Soc. Hort. Sci., 76 (1960), S. 208-214.
- [27] THOMAS M.D. und E.W. ALTHER:  
The Effects of Fluoride on Plants.  
In: Handbuch der experimentellen Pharmakologie,  
Vol. XX/1, S. 231-366, Springer-Verlag Heidelberg,  
Berlin, New York 1966.

- [28] SPIERINGS F.H. und H.G. WOLTING:  
Der Einfluß sehr niedriger HF-Konzentrationen  
auf die Länge der Blattspitzen-Schädigung und  
den Zwiebelertrag bei der Tulpenvarietät "Paris".  
VDI-Berichte 164, (1971), S. 19-21.
- [29] COMPTON O.C. und C.F. REMMERT:  
Effect of Air-borne Fluorine on Injury and Fluorine  
Content of Gladiolus Leaves.  
Proc. Am. Soc. Hort. Sci., 75 (1960), S. 663-675.
- [30] BENEDICT H.M., J.M. ROSS und R.W. WADE:  
The Disposition of Atmospheric Fluorides by Vegetation.  
J. Air Water Pollution, 8 (1964), S. 279-289.
- [31] MacLEAN D.C., R.E. SCHNEIDER und L.H. WEINSTEIN:  
Accumulation of Fluoride by Forage Crops.  
Contrib. Boyce Thompson Inst., 24 (1969), S. 165-166.
- [32] BENEDICT H.M., J.M. ROSS und R.W. WADE:  
Some Responses of Vegetation to Atmospheric  
Fluorides.  
JAPCA, 15 (1965), S. 253-255.
- [33] YU M.H. und G.W. MILLER:  
Effect of Fluoride on the Respiration of Leaves  
from Higher Plants.  
Plant and Cell Physiol, 8 (1967), S. 483-493.
- [34] McNULTY I.B. und D.W. NEWMAN:  
Effects of Atmospheric Fluoride on Respiration  
Rate of Bush Bean and Gladiolus Leaves.  
Plant Physiol., 32 (1957), S. 121-124.

- [35] APPLGATE H.G. und D.F. ADAMS:  
"Invisible Injury" of Bush Beans by Atmospheric  
and Aqueous fluorides.  
Intern. J. Air Pollut., 4 (1960), S. 231-248.
- [36] APPLGATE H.G. und D.F. ADAMS:  
Effect of Atmospheric Fluoride on Respiration  
of Bush Beans.  
Bot. 121 (1960), S. 223-227.
- [37] THOMAS M.D. und R.H. HENDRICKS:  
Effects of Air Pollutants on Plants.  
In: Air Pollution Handbook, MacGraw-Hill  
Book Comp., New York 1956.
- [38] BENETT J.H. und A.C. HILL:  
Inhibition of Apparent Photosyntheses by Air  
Pollutants.  
J. Environ. Qual., 2 (1973), S. 526-530.
- [39] McCUNE D.C.:  
On the Establishment of Air Quality Criteria, with  
References to the Effects of Atmospheric Fluorine  
on Vegetation.  
New York American Petroleum Institute, Air  
Quality Monograph 69-3, (1969), 33 S.
- [40] Allgemeine-Verwaltungsvorschrift zum Bundes-  
Immissionsschutzgesetz (TA-Luft) vom 28.8.1974.  
GMB1. der Bundesministerien, Nr. 24 vom 4.9.1974,  
S. 426-452.
- [41] VDI-Richtlinie 2310, Blatt 3 (Entwurf):  
Maximale Immissions-Werte für Fluorwasserstoff  
(Sept. 1978).

[42]

SCHOLL G.:

Vorschläge für die Begrenzung der Aufnahme-  
rate von Fluorid in standardisierten Graskulturen zum  
Schutze von Pflanzen und Weidetieren.

Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions-  
und Bodennutzungsschutz des Landes NW, Heft 37,  
S. 129-137, Verlag Girardet Essen 1976.

[43]

McNULTY I.B.:

The Influence of Fluoride on Leaf Respiration.

Proc. 9th Intern. Bot. Congr., 2 (1959), S. 245.

T a b e l l e n - u n d B i l d a n h a n g

Tabelle 1:

## Klassifikation von Fluorid-Wirkungen an Pflanzen [ nach 4 ]

Zelle	Art und Grad der Schädigung in der jeweiligen		
	Gewebe oder Organ	Organismus	Ökosystem
Schadstoffaufnahme	Schadstoffaufnahme	Schadstoffaufnahme	Schadstoffanreicherungen in Pflanze, Boden sowie Oberflächen- und Grundwasser
Wirkungen auf Enzyme und Metaboliten	Veränderte Assimilation, Respiration oder Transpiration	Wachstumsmodifikation	Tiergefährdung durch Schadstoffanreicherung (z.B. Fluorose)
Änderungen bei Zellorganellen und Metabolismen	Veränderungen im Wachstum und in der Entwicklung	Erhöhte Anfälligkeit gegenüber biotischen und abiotischen Einflüssen	Verschiebungen und Verarmungen bei Pflanzengesellschaften
Störungen im Reaktionsablauf	Chlorosen	Zuwachs-, Ertrags- und Qualitätsminderungen	Minderungen in der Befähigung zur Selbstregulierung
Zelluläre Modifikationen	Nekrosen	Pflanzentod	Auflösung von Beständen und Assoziationen
Zellstörungen und Zelltod	Tod oder Abwurf von Pflanzenorganen		Ausbildung vegetationsfreier Zonen (Rauchblößen)

Tabelle 2: Fluorwasserstoff-Resistenz von Pflanzen

Sehr empfindliche Pflanzen	Empfindliche Pflanzen	Weniger empfindliche Pflanzen
----------------------------	-----------------------	-------------------------------

## L A U B G E H Ö L Z E

	Kirsche, Pflaume u.a. (Prunus spec.) Weinrebe (Vitis vinifera) Buche (Fagus silvatica) Eberesche (Sorbus aucuparia) Hainbuche (Carpinus betulus) Walnuß (Juglans regia) Haselnuß (Corylus avellana) Johannisbeere (Ribes spec.) Stachelbeere (Ribes uva-crispa) Flieder (Syringa vulgaris) Rose (Rosa spec.)	Ahorn (Acer spec.) Eiche (Quercus spec.) Robinie (Robinia pseudo- acacia) Birke (Betula spec.) Birne (Pirus communis)
--	---	---

## N A D E L G E H Ö L Z E

Tanne (Abies spec.) Fichte (Picea spec.)	Blaufichte (Picea pungens) Tanne (Abies spec.) Kiefer (Pinus silvestris) Weymouthskiefer (Pinus strobus) Lärche (Larix spec.)	Eibe (Taxus baccata) Wacholder (Juniperus spec.) Schwarzkiefer (Pinus nigra austriaca)
---	--	--

Tabelle 2: Fortsetzung

L A N D W I R T S C H A F T L I C H E U N D G Ä R T N E R I S C H E K U L T U R E N		
Zwiebel ( <i>Allium cepa</i> ) Porree ( <i>Allium porrum</i> )	Ackerbohne ( <i>Vicia faba</i> ) Erdbeere ( <i>Fragaria chiloensis</i> ) Luzerne ( <i>Medicago sativa</i> ) Klee ( <i>Trifolium spec.</i> ) Saatwicke ( <i>Vicia sativa</i> ) Lupine ( <i>Lupinus spec.</i> ) Getreide, Futtergräser ( <i>Gramineae</i> )	Kartoffel ( <i>Solanum tuberosum</i> ) Tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> ) Kohl ( <i>Brassica oleracea ssp.</i> ) Rübenarten ( <i>Beta spec.</i> )

## Z I E R P F L A N Z E N

Gladiole ( <i>Gladiolus spec.</i> ) Iris ( <i>Iris spec.</i> ) Krokus ( <i>Crocus spec.</i> ) Kaiserkrone ( <i>Fritillaria imperialis</i> ) Tulpe ( <i>Tulpia gesneriana</i> ) Scilla ( <i>Scilla spec.</i> ) Hyazinthe ( <i>Hyacinthus spec.</i> ) Maiblume ( <i>Convallaria majalis</i> ) Narzisse ( <i>Narcissus spec.</i> )	Nelkengewächse ( <i>Caryophyllaceae</i> ) Schmetterlingsblütler ( <i>Papilionaceae</i> )	Kornblütler ( <i>Compositae</i> ) Storchschnabel- gewächse ( <i>Geraniaceae</i> ) Geranie ( <i>Pelagonium sepc.</i> ) Heidekrautge- wächse ( <i>Ericaceae</i> )
--	---	--

**Tabelle 3: Übersicht über Immissions-Wirkungsbeziehungen für Fluorwasserstoff**

Pflanzenart	Konzentration <sup>3</sup> [µg].m <sup>3</sup>	Einwirkungs- dauer	Wirkungs- kriterium	Autor
Gladiolensorte "Picardy"	0,08	5 Wochen	starke Blattschädigungen	[29]
Tulpenvar. "Paris"	0,6	16 Tage	Blattspitzennekrosen	[28]
Ponderosa-Kiefer Gladiolen-Varietäten	0,7 bis 0,4	2 Wochen	Blattnekrosen	[24,25]
Orangenbäume	0,8 bis 4	2 Jahre (kontinuierlich)	kleinere Blattchlorosen, geringe Erträge, niedr. Vitamin C-Gehalte	[26]
	0,8	27 Monate	vergleichbare Effekte	[27]
Gladiolen, Knollenbegonien	1	3 Tage	Blattnekrosen	[17]
Fichte, Lärche, Weymouthkiefer Nordmannstanne Ahorn Eberesche Rotbuche	1,3	nach mehrtägiger Einwirkung	Blattnekrosen	[17]
Pfirsich Lärche Douglastanne Flieder	1 bis 8	60 bis 110 Stunden	Blattschädigungen noch in der untersten Konzentration	[25]
Tulpen Narzissen Hyazinthen Krokus	1,5 bzw. 2:0	12 Tage	starke, wertmindernde Schädigungen	[17]
Gräser Kleearten	0,85	14 Tage	toxikologisch bedenkliche F-Anreicherung bis zu 88 ppm F/TS	[17]

Tabelle 3: Fortsetzung

Pflanzenart	Konzentration [ $\mu\text{g}$ ]	Einwirkungs- dauer	Wirkungs- kriterium	Autor
Luzerne	0,8	5 Wochen	124ppm F/TS	[30]
Gemisch aus Rotklee und Wiesengras	1,9	7 Tage	51 ppm F/TS	[31]
Wintergerste Luzerne	0,8	2 Std.	20 % Absenkung der Photosynthe- seleistung ohne Blattschädigung	[38]

Tabelle 4: Maximale Immissions-Werte für Fluorwasserstoff zum Schutze der Vegetation (in  $\mu\text{g HF/m}^3$  Luft) [41]

Empfindlich- keitsstufe	Mittelwert über 24 Stunden	Monats- mittel- wert	Mittelwert für die Vegetationsperiode ( = 7 Monate )
Sehr empfind- liche Pflanzen	2.0	0.4	0.3
Empfindliche Pflanzen	3.0	0.8	0.5
Weniger empfindliche Pflanzen	4.0	2.0	1.4

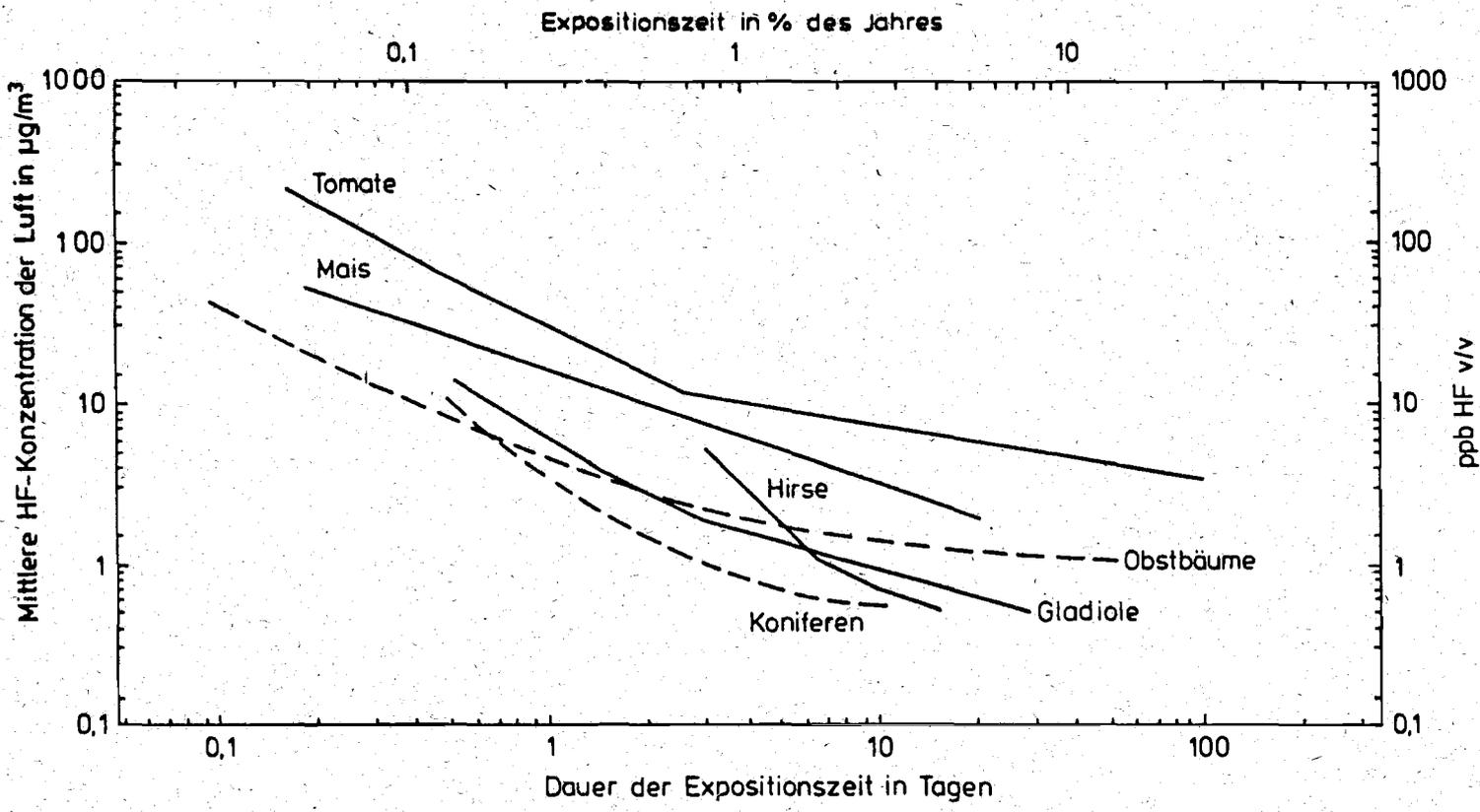


Abb. 1: Dosis-Wirkungsbeziehungen für verschiedene Pflanzen nach HF-Begasung [zusammengestellt nach 39]

Berichte der

LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, ESSEN

- LIS-Berichte -

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus den wissenschaftlichen Untersuchungen der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Einzelexemplare werden Interessenten auf Anforderung kostenlos zur Verfügung gestellt.

Anforderungen sind zu richten an die

Landesanstalt für Immissionsschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Str. 6  
4300 E s s e n 1

- Bericht-Nr. 1: KRAUTSCHEID, S. und P. NEUTZ:  
LIDAR zur Fernüberwachung von Staubemissionen.  
- Nachweis der Kalibrierfähigkeit eines LIDAR-Systems -  
Kurztitel: Fernüberwachung mit LIDAR  
1978. 47 Seiten mit 11 Abbildungen, 6 Tabellen und 4 Literaturhinweisen.  
vergriffen
- Bericht-Nr. 2: BUCK, M.:  
Die Bedeutung unterschiedlicher Randbedingungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität.  
Kurztitel: Randbedingungen bei der Beurteilung der Luftqualität.  
1978. 44 Seiten mit 8 Abbildungen, 10 Tabellen und 20 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 3: SCHEICH, G.:  
Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen und Luftüberwachungsprogramme in den USA.  
Kurztitel: Luftüberwachung und Ausbreitung - Ein USA-Reisebericht -  
1979. 47 Seiten mit 17 Abbildungen und 74 Literaturhinweisen.  
vergriffen
- Bericht-Nr. 4: SPLITZGERBER, H. und K.H. WIETLAKE:  
Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau.  
Kurztitel: Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten.  
1979. 133 Seiten mit 53 Abbildungen, 13 Tabellen und 6 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 5: SPLITZGERBER, H.:  
Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen.  
Kurztitel: Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen.  
1979. 52 Seiten mit 13 Abbildungen, 2 Tabellen und 27 Literaturhinweisen.

- Bericht-Nr. 6:** STRAUCH, H. und K.H. Goldberg:  
Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege.  
Kurztitel: Dämmwirkung von Dachentlüftern.  
1979. 33 Seiten mit 13 Abbildungen, 2 Tabellen und 7 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 7:** KRAUSE, G.M.H., B. PRINZ UND K. ADAMEK:  
Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie für die Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkungen auf Pflanzen.  
Kurztitel: Falschfarbenfotografie - Ein Mittel zur Erkennung von Pflanzenschäden.  
1980. 43 Seiten mit 9 Abbildungen, 2 Tabellen und 11 Karten.
- Bericht-Nr. 8:** WIETLAKE, K.H.:  
Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern.  
Kurztitel: Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schmiedehämmern.  
1980. 59 Seiten mit 15 Abbildungen, 5 Tabellen und 7 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 9:** STRAUCH, H.:  
Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen.  
Kurztitel: Konzept für Lärminderungspläne.  
1980. 49 Seiten mit 11 Abbildungen und 18 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 10:** HILLEN, R.:  
Untersuchung zur flächenbezogenen Geräuschbelastungs-Kennzeichnung  
-Ziele, Methodik, Ergebnisse-  
Kurztitel: Flächenbezogene Geräusch-Immissionen.  
1980. 75 Seiten mit 18 Abbildungen, 7 Tabellen und 12 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 11:** MANNS, H., H. GIES und W. STRAMPLAT:  
Erprobung des Staub-Immissionsmeßgerätes FH62I für die kontinuierliche Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Luft.  
Kurztitel: Schwebstaubmeßgerät FH62I für die automatische Immissionsmessung.  
1980. 26 Seiten mit 10 Abbildungen und 2 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 12:** GIEBEL, J.:  
Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten.  
Kurztitel: Verhalten atmosphärischer Sperrschichten.  
1981. 39 Seiten mit 12 Abbildungen, 3 Tabellen und 4 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 13:** BRÖKER, G., H. GLIWA und E. MEURISCH:  
Abscheidegrade von biologisch- und chemisch-aktiven Aggregaten zur Desodorierung osmogener Abluft von Tierkörperbeseitigungsanlagen.  
1981. 44 Seiten mit 7 Abbildungen, 13 Tabellen und 14 Literaturhinweisen.

- Bericht-Nr. 14:** BRANDT, C.J.:  
Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum und andere Nutzpflanzen.  
Kurztitel: Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum.  
1981. 140 Seiten mit 37 Abbildungen, 22 Tabellen und 149 Literaturhinweisen.  
(Abdruck der Dr. agr.-Dissertation vom 13. August 1979, Rheinische-Friedrich-Wilhelms-Universität, Landwirtschaftliche Fakultät, Bonn)
- Bericht-Nr. 15:** WELZEL, K. und H.D. WINKLER:  
Emission und interner Kreislauf von Thallium bei einem Drehrohrofen mit Schwebegaswärmeaustauscher zur Herstellung von Portlandzementklinker unter Einsatz von Purpurerz als Eisenträger. - 1. Bericht -  
Kurztitel: Thallium-Emissionen bei der Herstellung von Portlandzement-Klinker.  
1981. 67 Seiten mit 29 Abbildungen und 16 Tabellen.
- Bericht-Nr. 16:** PRINZ, B.:  
Umweltpolitik in der VR China und technologische Entwicklung.  
(In Vorbereitung).
- Bericht-Nr. 17:** BRÖKER, G. und H. GLIWA:  
Untersuchungen zu den Dioxin-Emissionen aus den kommunalen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen.  
Kurztitel: Dioxin-Emissionen aus Müllverbrennungsanlagen.  
1982. 25 Seiten mit 2 Abbildungen, 6 Tabellen und 8 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 18:** BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:  
Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region.  
Kurztitel: Entwicklung der Immissionsbelastung in der Rhein-Ruhr-Region seit 1965.  
1982. 56 Seiten mit 7 Abbildungen, 14 Tabellen und 27 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 19:** PFEFFER, H.U.:  
Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen.  
Kurztitel: Das Telemetrische Immissionsmeßsystem TEMES.  
1982. 45 Seiten mit 12 Abbildungen, 4 Tabellen und 23 Literaturhinweisen.

- Bericht-Nr. 20:** BACH, R.W.:  
Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben.  
Kurztitel: Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit.  
1982. 43 Seiten mit 17 Abbildungen, 5 Tabellen und 22 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 21:** STRAUCH, H.:  
Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel.  
1982. 92 Seiten mit 40 Abbildungen und 15 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 22:** SPLITTGERBER, H.:  
Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen.  
Kurztitel: Erschütterungsmeß- und Beurteilungsverfahren.  
1982. 71 Seiten mit 9 Abbildungen, 6 Tabellen und 23 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 23:** KRAUSE, G.M.H.:  
Immissionswirkungen auf Pflanzen - Forschungsschwerpunkte in den Vereinigten Staaten von Amerika. Bericht über eine Reise in die USA und die Teilnahme am 13. Air Pollution Workshop in Ithaca, N. Y., in der Zeit vom 02.05.-24.05.1981.  
Kurztitel: Immissionswirkungen auf Pflanzen - ein USA-Reisebericht - .  
1982. 74 Seiten mit 1 Abbildung und 32 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 24:** RÜLSKE, S.:  
Analyse der Periode sehr hoher lokaler Schadstoffbelastungen im Ruhrgebiet vom 15.01.1982 bis 20.01.1982.  
Kurztitel: Hohe lokale Schadstoffbelastungen im Ruhrgebiet im Januar 1982.  
1982. 80 Seiten mit 31 Abbildungen, 15 Tabellen und 4 Literaturhinweisen.