

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse  
**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein  
**Band:** 123 (1972)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Auswirkungen der Motorfahrzeugabgase auf die Vegetation : eine Literaturübersicht  
**Autor:** Keller, T.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-765050>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Auswirkungen der Motorfahrzeugabgase auf die Vegetation. Eine Literaturübersicht

Von Th. Keller

Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf ZH

Oxf.: 425.1

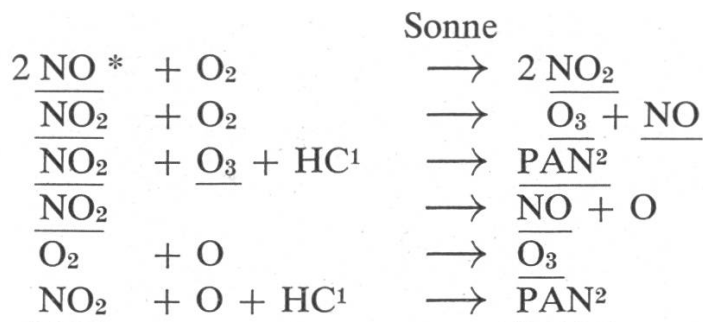
## Einleitung

Neben dem Staub (Pneumabrieb, Asphaltabrieb, Asbest von Bremsbelägen usw.), welcher von der Strassenrandvegetation teilweise ausfiltriert wird, entwickelt der Motorfahrzeugverkehr vor allem grosse Mengen von Auspuffgasen. Die Staubablagerungen vermögen in der Regel die Vegetation nicht ernsthaft zu gefährden, wenn sie auch die Vitalität der Pflanzen beeinträchtigen, weil die Staubaufgabe zum Beispiel die Kohlensäure-Aufnahme (Assimilation) vermindern kann. Zu diesen Stäuben gehören auch die von Benzinmotoren ausgepufften Bleiverbindungen, welche in letzter Zeit aus human- und veterinärmedizinischen Gründen vermehrte Beachtung gefunden haben. Zu den «primären» Auspuffgasen zählen unter anderen:

- $\text{CO}_2$  (in den auftretenden Konzentrationen unschädlich);
- $\text{CO}$  (für Pflanzen unschädlich bei für den Menschen bereits giftigen, niedrigen Konzentrationen);
- $\text{SO}_2$  (vor allem in Auspuffgasen von Dieselmotoren; für Pflanzen giftiger als für den Menschen);
- nitrose Gase ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ );
- Äthylen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ );

sowie unverbrannte Kohlenwasserstoffe (Treibstoff).

Nach amerikanischen Berichten (zum Beispiel *Thompson*, 1969; *Darley*, 1969) können einige dieser Abgaskomponenten unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung «photochemische» Reaktionen mit dem Sauerstoff der Luft eingehen, wobei «sekundäre» gasförmige Substanzen mit oxidierender Wirkung entstehen. Diese «Oxidantien» verursachen vor allem die Pflanzenschäden durch den berühmt-berüchtigten «smog» (nicht nur in Kalifornien!). Die Reaktionen können folgendermassen verlaufen:



\* unterstrichene Komponenten sind für Pflanzen giftig

<sup>1</sup> HC = unverbrannte, ungesättigte Kohlenwasserstoffe

<sup>2</sup> PAN = Peroxy-acetyl-nitrat (bzw. Peroxyacynitrate)

Bei der durch den Motorfahrzeugverkehr verursachten Luftverunreinigung handelt es sich somit stets um ein Gemisch mit mehreren Komponenten giftiger Gase! Lange glaubte man, diese Reaktionen würden nur bei intensiver Sonneneinstrahlung, wie in Kalifornien, vor sich gehen. Das Auftreten von «smog»-Symptomen an Pflanzen in Holland und im Ruhrgebiet lassen jedoch befürchten, dass mit der Zunahme des Motorfahrzeugverkehrs das «smog»-Problem auch in weiten Gebieten Europas, einschliesslich der Schweiz, akut werden könnte!

### Symptome einer Pflanzenschädigung

Die Erfahrung in Nordamerika hat gezeigt, dass die Vegetation, bzw. die Urproduktion, namhafte Schäden erleiden kann, bevor überhaupt sichtbare Symptome auftreten! Langanhaltende, niedrige Konzentrationen können Wuchsdepressionen, vorzeitigen Blattfall, mangelhafte Blühwilligkeit, geringeren Fruchtertrag usw. hervorrufen (zum Beispiel *Darley*, 1969; *Taylor* und *MacLean*, 1970). Solche Schäden lassen sich am besten nachweisen, indem man Pflanzen in Kammern mit normaler Aussenluft bzw. mit Aktivkohle gefilterter Luft nachzieht. Auf diese Weise erzielte *Freebairn* (1960) in sauberer Luft 2,9 kg Tomaten pro Stock gegenüber 1,9 kg Tomaten in Normalluft. Ähnliche Resultate erreichte *Thompson* (1969) mit Orangen.

In der Regel wird unterschieden zwischen akuten, chronischen und physiologischen («unsichtbaren») Schädigungen der Vegetation. Akute Schädigungen treten vor allem bei relativ hohen Konzentrationen auf; chronische und physiologische Schädigungen werden durch niedrigere, dafür langanhaltende Konzentrationen verursacht. In Tabelle 1 sind die Symptome akuter und chronischer Schädigungen zusammengefasst. Ausgezeichnete Farabbildungen finden sich vor allem bei *Heck* et al. (1970, Äthylen), *Hill* et al. (1970, Ozon), *Taylor* und *MacLean* (1970, nitrose Gase, PAN) sowie *van Haut* und *Stratmann* (1967, nitrose Gase).

Die physiologischen Folgen einer langdauernden Einwirkung niedriger Konzentrationen dieser Gase (ausgenommen Äthylen) sind ähnlich und bestehen vor allem in einer Reduktion der Kohlensäure-Assimilation (Photo-

*Tabelle 1*  
Symptome der Schädigung durch verschiedene Luftverunreinigungen

| <i>Schadgas</i>  | <i>akute Schädigung</i>  | <i>chronische Schädigung</i>                             | <i>Autor<sup>1</sup></i> |
|--|--|--|--------------------------|
| nitrose Gase<br>(NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ) | Zellkollaps, Nekrose;<br>wachsiges Aussehen  | Chlorose,<br>vorzeitiger Blattfall                       | (26)<br>(26)<br>(21, 9)  |
| O <sub>3</sub> (Ozon)                                    | dunkle Pigmentflecken<br>(«stipple») bzw. helle<br>«Wetterflecken» auf der<br>Blattoberseite<br><br>Nekrosen, Chlorosen,<br>Bänderung<br>gelb/orange/braune<br>Flecken an Föhrennadeln | Chlorose<br><br>Bleichung                                | (25)<br><br>(13, 14)     |
| PAN  | Zellkollaps im Schwamm-<br>parenchym; Blattunterseite<br>silbrig oder bronz<br>glänzend. Nekrose   | Chlorose<br>vorzeitiger Blattfall                        | (25)<br>(21)             |
| Äthylen  | Gewebekollaps, Nekrose,<br>vor allem an Blüten-<br>blättern  | Chlorose, Epinastie, Blatt-<br>fall, Blühschwierigkeiten | (24)<br>(10)             |

<sup>1</sup> Nummer entsprechend Literaturverzeichnis

synthese) und als Folge davon in Wuchsstörungen, geringerer Trockengewichtszunahme, geringerem Fruchtertrag usw. Für Ozon wurde gefunden, dass schon eine 5- bis 24stündige Einwirkung von 0,1 ppm bei Tabak Pollenkeimung und Pollenschlauchwachstum stark beeinträchtigt (USDHEW, 1970 b). Da Äthylen eine hormonale Wirkung besitzt und als Wuchsregulator wirkt, der auch bei der Fruchtreifung eine wichtige Rolle spielt, erstaunt es nicht, dass dieses Gas vor allem Störungen des Wachstums und des Blühens hervorruft. So bewirken 0,1 ppm nach mehreren Stunden Blütenabfall bei Tomate; nach wenigen Tagen verhindert diese Konzentration das Öffnen der Nelkenblüten. Empfindliche Orchideenblüten werden aber schon in 24 Stunden durch 0,01 ppm geschädigt, und die empfindlichste Pflanze, *Tagetes*, reagiert sogar nach einer 20stündigen Einwirkung von 0,001 ppm (!) mit Epinastie (Aufwölbung der Blattspreite mit nach unten gebogenen Blatträndern) (vergleiche Tabelle 2). Äthylen erhöht auch die Peroxidase- und Zellulase-Aktivität (Gahagan et al., 1968).

Die Schädigungen können durch verschiedene Umweltfaktoren sowie Erbanlagen und betroffenes Entwicklungsstadium modifiziert werden. So sind für Tabak wie auch Stoben (*Pinus strobus* L.) oder Gartenpflanzen



Abbildung 1

Vom «smog» geschädigte Ponderosaföhre mit schütterer, chlorotischer Benadelung (rechts). Der geschwächte Baum wurde nachträglich von Borkenkäfern befallen und stirbt ab. Die Abbildung illustriert die unterschiedliche Empfindlichkeit der Einzelbäume innerhalb der Art (die linke Ponderosaföhre ist widerstandsfähiger und besitzt noch eine normale Krone) als auch die unterschiedliche Empfindlichkeit der verschiedenen Arten (die Bäume am linken Bildrand bzw. zwischen den Ponderosaföhren im Hintergrund gehören weniger empfindlichen Arten an).

Sorten (Klone) unterschiedlicher Empfindlichkeit für Ozon bekannt, welche als Bioindikatoren der Luftverunreinigung eingesetzt werden. Die unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Waldbaumarten für den kalifornischen «smog» geht aus Abbildung 1 hervor. Bodentrockenheit scheint die Empfindlichkeit der Pflanzen herabzusetzen, während bezüglich des Einflusses von Ernährungszustand oder Luftfeuchtigkeit noch widersprüchliche Befunde vorliegen. In Starklicht nachgezogene Pflanzen erwiesen sich als PAN-empfindlich, in Schwachlicht nachgezogene dafür als empfindlich für Ozon und nitrose Gase. PAN scheint besonders junge Blätter zu schädigen, welche noch nicht voll entwickelt sind, nitrose Gase dagegen beeinträchtigen vor allem voll entwickelte, mittelalte Blätter. Ein geringer Gehalt an Kohlehydraten erhöht möglicherweise die Ozon-Empfindlichkeit junger Nadeln von *Pinus strobus* (Barnes und Berry, 1969). Sprühungen mit Vitamin C schützten gärtnerische Kulturen bis zu einem gewissen Grade vor Ozonschäden (Freebairn, 1960), doch boten hohe natürliche Vitamin C-Gehalte keinen Schutz für Nadeln der *Pinus ponderosa* (Miller et al., 1969).



## Schädigende Konzentrationen

Seit langer Zeit wird versucht, durch kontrollierte Begasungsversuche den schädigenden Konzentrationsgrenzwert für die verschiedenen phytotoxischen Gase zu ermitteln. Tabelle 2 fasst einige Resultate derartiger, neuerer Versuche zusammen.

Den meisten Begasungsversuchen haftet der Nachteil an, dass sie mit einzelnen Komponenten durchgeführt wurden, wogegen die durch den Motorfahrzeugverkehr hervorgerufene Luftverunreinigung stets ein Gemisch darstellt. Auch wenn Ozon in diesem Gemisch unter den pflanzenschädlichen Gasen vorherrscht und als wichtigster phytotoxischer Bestandteil zu betrachten ist (*Heggstad*, 1969), so bleibt doch zu beachten, dass Pflanzenschädigungen durch Gemische von Luftverunreinigungen stärker sein können als die additive Wirkung zweier Komponenten, welche einzeln einwirken würden (*Taylor*, 1970). Eine derartige synergistische Wirkung von  $\text{SO}_2$  und  $\text{O}_3$  an Tabak wiesen *Menser* und *Heggstad* (1966) mit Versuchskonzentrationen (0,028 ppm  $\text{O}_3$ , 0,28 ppm  $\text{SO}_2$ ) nach, welche einzeln keine sichtbaren Schädigungen hervorriefen. Dieser Nachweis gelang auch *Dochinger* (1968, zitiert nach USDHEW, 1970 b), der mit einer achtstündigen Begasung während 20 aneinanderfolgenden Tagen mit 0,05 ppm  $\text{SO}_2$  + 0,05 ppm  $\text{O}_3$  an *Pinus strobus* eine schwache bis mässige Schädigung induzierte. Ebenso stellten *Dunning* et al. (1970, zitiert nach USDHEW, 1971) fest, dass Tabak durch eine vierstündige Begasung mit 0,1 ppm  $\text{NO}_2$  + 0,1 ppm  $\text{SO}_2$  geschädigt wurde!

## Effektiv gemessene Luftverunreinigungen

Mit Ausnahme des Äthylens gelten die «primären» Abgase ( $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{SO}_2$ , nitrose Gase) als relativ wenig giftig für die Vegetation; in der Tat führen die «Sekundärstoffe» schon bei geringeren Konzentrationen zu Pflanzenschädigungen (*Taylor*, 1970; vergleiche auch Tabelle 2). In Tabelle 2 wurde angegeben, in welchem Konzentrationsbereich schädigende Auswirkungen für die Vegetation zu erwarten sind. Als Gegenüberstellung sei Tabelle 3 zusammengestellt, mit Angaben für die in Stadtluft bereits effektiv gemessenen Konzentrationen.

Für Ozon wurde als zulässiger «Standard» in Kalifornien ein Stundenmittel von 0,15 ppm, in Colorado ein Stundenmittel von 0,1 ppm festgelegt. Der Standard wird in Südkalifornien jedoch oft überschritten. Das Klima spielt eine grosse Rolle, so dass der Standard in den Oststaaten der USA unter 0,1 ppm liegen müsste (*Heggstad*, 1969).

Für die Forstwirtschaft, ja die Urproduktion überhaupt, ist der Umstand bedenklich, dass die Abgase nicht nur die Vegetation am Strassenrand zu schädigen vermögen, sondern dass zufolge der photochemischen Reaktionen grosse Gebiete durch Oxidantien bestrichen werden. So sollen

Tabelle 2

Folgen der Einwirkung verschiedener Konzentrationen einiger Abgase

| Schadgas                      | Konz. <sup>1</sup><br>ppm | Dauer <sup>2</sup>    | Bemerkungen                               | Autor <sup>3</sup> |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|---|--------------------|
| NO <sub>2</sub>               | 3                         | 4—8 h                 | Nekrosen                                  | in (9)             |
|                               | 2—5                       | 8 h                   | 5 % Blattschädigung                       | (26)               |
|                               | 2,5—3                     | 2 h                   | Schädigung in Schwachlicht                | (21)               |
|                               | 1                         | 48 h                  | leichte Nekrosen                          | (26)               |
|                               | 0,5                       | 35 d                  | Chlorose, Blattfall (Orange)              | (26)               |
|                               | < 0,5                     | 10—22 d               | Wuchsdepression                           | (21)               |
|                               | 0,3                       | 10—19 d               | Gewichtsverlust                           | (26)               |
|                               | ≤ 0,25                    | 9 Mte.                | Blattfall, Ertragseinbusse (Citrus)       | (23)               |
|                               | 0,4                       | ?                     | Schädigungsgrenzwert                      | (9)                |
| NO + NO <sub>2</sub><br>(1:1) |                           |                       |   |                    |
| O <sub>3</sub>                | 0,2                       | 4 h                   | Flecken                                   | (4)                |
|                               | 0,15                      | 30 d                  | Assim.einbusse <i>P. ponderosa</i>        | (17)               |
|                               | 0,10                      | 4 h                   | leichte Spitzennekrose, <i>P. strobus</i> | (25)               |
|                               | 0,10                      | 5—7 h/d<br>(1—3 Mte.) | Blühschwierigkeiten                       | (6)                |
|                               | 0,05—0,12                 | 2—4 h                 | Symptome an empfindl. Arten               | (13)               |
|                               | 0,05                      | 8 h                   | Symptome an empfindl. Tabak               | (11)               |
|                               | 0,02                      | 24 h                  | Chlorose (Erdnuss)                        | (25)               |
|                               | 0,01                      | 4—8 h/d<br>(2—4 W)    | chlorot. Flecken an <i>Pinus</i> -Nadeln  | (14)               |
|                               |                           |                       |   |                    |
| PAN                           | 0,1                       | 5 h                   | starke Schädigung an Petunie              | (25)               |
|                               | 0,05                      | 8 h                   | Schädigung empfindlicher Arten            | (16)               |
|                               | 0,02                      | 8 h                   | Schädigung an Bohne und Petunie           | (25)               |
|                               | 0,014                     | 4 h                   | Schädigung empfindlicher Arten            | (19)               |
|                               | > 0,01                    | 1 h                   | Schädigung empfindlicher Arten            | (20)               |
| Äthylen                       | 0,3                       | 24 h                  | Epinastie empfindlicher Arten             | (24)               |
|                               | 0,3                       | 1 h                   | Orchideenblüte geschädigt                 | (24)               |
|                               | 0,1                       | 3 d                   | Nelken öffnen sich nicht                  | (24)               |
|                               | 0,1                       | 48 h                  | Epinastie                                 | (3)                |
|                               | 0,1                       | mehrere h             | Blütenfall bei Tomate                     | (24)               |
|                               | 0,05                      | 6 h                   | Blütenabnormitäten bei Orchideen          | (5)                |
|                               | 0,001                     | 24 h                  | Epinastie an <i>Tagetes spec.</i>         | (10)               |

<sup>1</sup> ppm = cm<sup>3</sup> Schadgas pro m<sup>3</sup> Luft (part per million)<sup>2</sup> h = Stunde, d = Tag, W = Woche, Mte. = Monate<sup>3</sup> die Zahlen in Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis

*Tabelle 3*  
Effektiv gemessene Schadgaskonzentrationen in Stadtluft

| <i>Schadgas</i>             | <i>Konz. (ppm)</i> | <i>Ort</i>  | <i>Autor<sup>1</sup></i> |
|-----------------------------|--------------------|---|--------------------------|
| NO <sub>x</sub>             | 0,25—2,0 (3,90!)   | Los Angeles, «smog»   | in (9)                   |
|                             | 0,05—              | Los Angeles, smogfrei   | in (9)                   |
|                             | 0,037              | Std.mittel, Zürich (Central)                                    | (12)                     |
|                             | 0,055              | Spitze, Zürich (Central)  | (12)                     |
|                             | 0,04—0,66          | amerikan. Städte  | (21)                     |
| NO <sub>2</sub>             | 0,02—0,25          | Pittsburgh  | in (9)                   |
|                             | 0,01—0,06          | Grossstadt im Ruhrgebiet  | in (9)                   |
|                             | 0,005—0,04         | Ländl. Gegend, Westfalen  | in (9)                   |
|                             | 0,03               | Std.mittel, Zürich (Central)                                    | (12)                     |
|                             | 0,048              | Spitze, Zürich (Central)  | (12)                     |
| O <sub>3</sub> <sup>2</sup> | > 0,5              | Los Angeles   | (11)                     |
|                             | > 0,22             | Pasadena  | (25)                     |
| PAN                         | > 0,01             | Süd-Kalif., stagn. Wetter                                       | (19)                     |
|                             | 0,21               | Spitze, Los Angeles   | (19)                     |
|                             | 0,058              | Spitze, Riverside (Kalif.)                                      | (19)                     |
|                             | 0,010              | Monatsmittel d. tägl. Maxima<br>in Riverside, Sept. 66, Juni 67 | (25)                     |
| Äthylen                     | 0,02—0,13          | Stadtluft in den USA  | (24)                     |

<sup>1</sup> Zahlen in Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis

<sup>2</sup> nicht mehr Angaben aufgeführt, da in der Regel der Totalgehalt an Oxidantien gemessen wird

auf rund 10 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Flächen Kaliforniens die Pflanzen unter dem Einfluss dieser Oxidantien Schädigungen erleiden, so dass sich die Schäden auf viele Millionen Dollar belaufen (Darley, 1969). Bei typischen «smog»-Situationen im Raume von Los Angeles entsteht ein riesiges Nebelmeer (siehe Abbildung 2), in welchem die Abgase gefangen sind. Steigt dieser «Nebel» in die Höhe, so wird die Vegetation an den Hängen von den konzentrierten Abgasschwaden bestrichen. In der Folge stirbt auf Tausenden von Hektaren die *Pinus ponderosa* ab, und zwar in den Erholungsgebieten rund 100 ha östlich von Los Angeles (siehe Abbildung 1)! Unter dem Einfluss des «smog» nehmen Harzbildung und Harzflussrate in den Föhren ab, so dass diese Bäume eine erhöhte Disposition für Borkenkäferbefall aufweisen (Stark et al., 1968; Cobb et al., 1968) und von diesen Sekundärparasiten so stark befallen werden, dass sie schliesslich daran eingehen.





*Abbildung 2*

Blick von den San-Bernardino-Mountains auf das «smog»-Nebelmeer von Los Angeles.  
Der aufsteigende Nebel schädigt die Wälder der Hänge.

### **Schlussfolgerungen**

1. Der motorisierte Strassenverkehr entwickelt neben Staub zahlreiche Abgase, welche unter dem Einfluss der Sonnenbestrahlung zusätzlich verschiedene giftige Luftverunreinigungen hervorrufen können.
2. Abgasgemische sind in der Regel für Pflanzen giftiger als Einzelgase, wobei nicht nur eine additive sondern sogar eine synergistische Wirkung zu beobachten oder zu erwarten ist!
3. Neben dem «primären» Äthylen sind vor allem die oxidierenden «Sekundärstoffe» Ozon und PAN (Peroxyacetylnitrat) schon in geringen Konzentrationen für Pflanzen giftig.
4. Verschiedene Pflanzenarten (Abbildung 1), ja selbst verschiedene Individuen derselben Art (verschiedene Sorten) sind unterschiedlich empfindlich für diese Luftverunreinigungen. Zahlreiche Faktoren (Entwicklungszustand, Alter des Pflanzengewebes, Ernährungszustand, Versorgung mit Wasser, Tageszeit, Strahlung usw.) beeinflussen die Anfälligkeit bzw. Widerstandskraft der Pflanzen.
5. Die Vitalität der Pflanzen (und damit die Anfälligkeit für Schwächeparasiten, ungünstige Klimaextreme usw.), aber auch die Wuchsleistung, kann bereits in einem Konzentrationsbereich ungünstig beeinflusst werden, in

dem noch keinerlei sichtbare Symptome einer Schädigung festzustellen sind.

6. Für die Schweiz liegen gerade für die schädlichsten Luftverunreinigungen (Äthylen, Ozon und PAN) keine Messungen vor. Es sind bisher auch noch keine Schädigungen festgestellt worden, die eindeutig einzig auf Motorfahrzeugabgase zurückzuführen wären. Allerdings sind in der Schweiz bisher keine entsprechenden Versuche oder Untersuchungen durchgeführt worden. Es ist jedoch zu befürchten, dass die Verkehrszunahme inskünftig zu schädigenden Abgaskonzentrationen führen könnte.

## Résumé

### Actions des gaz d'échappement de véhicules à moteur sur la végétation.

#### Aperçu de littérature

Cette étude donne un aperçu de littérature parue récemment sur les dommages causés à la végétation par les gaz d'échappement. Etant donné que sous l'action du soleil, ces gaz subissent une réaction «photochimique» et peuvent alors développer de nouvelles substances nocives, les dommages à la végétation ne se limitent pas seulement aux abords immédiats des routes à trafic intense. Parmi les composants toxiques se rangent les gaz nitreux ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), l'éthylène, l'ozone ( $\text{O}_3$ ) et le peroxyacétyl nitrate (PAN). Les symptômes visibles de ces dommages sont décrits dans le tableau 1. Il faut cependant mentionner que des concentrations de gaz ne provoquant pas encore de symptômes visibles peuvent réduire la production ou amoindrir la vitalité de la plante. Les concentrations gazeuses causant des dommages visibles sont groupés dans le tableau 2; il faut préciser que des mélanges de gaz ont une action plus délétère que chaque gaz pris séparément. On a constaté plusieurs fois que des mélanges gazeux ( $\text{O}_3 + \text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2 + \text{SO}_2$ , etc.) pouvaient provoquer des réactions synergiques. Les espèces, et même parfois les diverses sortes d'une espèce accusent souvent une sensibilité différente aux gaz d'échappement (figure 1). L'état du développement, l'âge, la nutrition, l'approvisionnement en eau, l'ensoleillement, etc., ont une influence sur la résistance des plantes.

Bien qu'en Suisse on n'ait pas encore constaté de dommages provenant clairement et uniquement de gaz d'échappement, il est toutefois à craindre qu'il ne résulte de l'accroissement constant de la circulation l'apparition de tels dommages.

Trad.: M. N. Frei-Pont

#### Literaturverzeichnis

- (1) Barnes, R. L.; Berry, C. R., 1969: Seasonal changes in carbohydrates and ascorbic acid of white pine and possible relation to tipburn sensitivity. USDA For. Ser. Res. Note SE 124, 4 pp.
- (2) Cobb, F. W.; Wood, D. L.; Stark, R. W.; Miller, P. R., 1968: Photochemical oxidant injury and bark beetle infestation of ponderosa pine. II. Effect of injury upon physical properties of oleoresin, moisture content, and phloem thickness. Hilgardia 39 (6): 127—134

- (3) *Crocker, W.*, 1948: Physiological effects of ethylene and other unsaturated carbon-containing gases. In «Growth of Plants» p. 139—171. Reinhold, N. Y.
- (4) *Darley, E. F.*, 1969: The role of photochemical air pollution on vegetation. In «Air Pollution», p. 137—142. Wageningen
- (5) *Darley, E. F.; Nichols, C. W.; Middleton, J. T.*, 1966: Identification of air pollution damage to agricultural crops. The Bulletin, Dept. Agr. State Calif. 55 (1): 11—19
- (6) *Feder, W. A.*, 1970: Plant response to chronic exposure of low levels of oxidant type air pollution. Environm. Pollut. 1(1): 73—79. Zitiert nach Air Poll. Abstr. 2 (4): 141
- (7) *Freebairn, H. T.*, 1960. The prevention of air pollution damage to plants by the use of vitamin C sprays. JAPCA 10 (4): 314—317
- (8) *Gahagan, H. E.; Holm, R. E.; Abeles, F. B.*, 1968: Effect of ethylene on peroxidase activity. Physiol. Plant. 21: 1270—1279
- (9) *Haut, H. van; Stratmann, H.*, 1967: Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Stickstoffdioxid auf Pflanzen. Schriftenreihe der LIB Essen, 7: 50—70
- (10) *Heck, W. W.; Daines, R. H.; Hindawi, I. J.*, 1970: Other Phytotoxic Pollutants. In «Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation. A Pictorial Atlas». F 1-F 24. APCA Pittsburgh
- (11) *Heggestad, H. E.*, 1969: Consideration of air quality standards for vegetation with respect to ozone. JAPCA\* 19 (6): 424—426
- (12) *Hess, W.*, 1966: Übersicht über die Luftuntersuchungen in der Stadt Zürich von 1961 bis 1965. Z. Präventivmed. 11 (2): 144—156
- (13) *Hill, A. C.; Heggestad, H. E.; Linzon, S. N.*, 1960: Ozone. In «Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation. A Pictorial Atlas». B 1-B 22. APCA Pittsburgh
- (14) *Linzon, S. N.; Costonis, A. C.*, 1971: Symptoms caused by photochemical air pollution injuries to forest trees. Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien 92: 71—82
- (15) *Menser, H. A.; Heggestad, H. E.*, 1966: Ozone and sulfur dioxide synergism: injury to Tobacco plants. Science 153: 424—425
- (16) *Middleton, J. T.; Darley, E. F.*, 1966: Plant damage: an indicator of the presence and distribution of air pollution. Bull. WHO 34: 477—480
- (17) *Miller, P. R.; Parmeter, J. R.; Flick, B. H.; Martinez, C. W.*, 1969: Ozone dosage response of ponderosa pine seedlings. JAPCA 19 (6): 435—438
- (18) *Stark, R. W.; Miller, P. R.; Cobb, F. W.; Wood, D. L.; Parmeter, J. R.*, 1968: Photochemical oxidant injury and bark beetle infestation of ponderosa pine. I. Incidence of bark beetle infestation in injured trees. Hilgardia 39 (6): 121—126
- (19) *Taylor, O. C.*, 1969: Oxidant air pollutants and plant damage. Proc. 1. Internat. Citrus Sympos. 2: 741—744
- (20) *Taylor, O. C.*, 1970: Agriculture and air pollution. Calif. Air Environment 1 (6): 1—3
- (21) *Taylor, O. C.; MacLean, D. C.*, 1970: Nitrogen Oxides and The Peroxyacyl Nitrates. In: «Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation. A Pictorial Atlas». E 1 — E 14. APCA Pittsburgh
- (22) *Thompson, C. R.*, 1969: Effects of air pollutants in the Los Angeles Basin on citrus. Proc. 1. Internat. Citrus Sympos. 2: 705—709
- (23) *Thompson, C. R.; Hensel, E. G.; Kats, G.; Taylor, O. C.*, 1970: Effects of continuous exposure of Naval oranges to nitrogen dioxide. Preprint UC Riverside, zitiert nach Air Poll. Abstr. 2 (2): 175
- (24) *USDHEW*, 1970a: Air Quality Criteria for Hydrocarbons. Washington D. C.
- (25) *USDHEW*, 1970b: Air Quality Criteria for Photochemical Oxidants, Washington D. C.
- (26) *USDHEW-EPA*, 1971: Air Quality Criteria for Nitrogen Oxides. Washington D. C.

\* JAPCA = Journal of the Air Pollution Control Association