

Wie der Autobahnverkehr Pflanzen schädigt

■ Luftverschmutzung / Autoabgase / Wasserhaushalt / Windgeschwindigkeiten / Staubpartikel / Trockenheitsschäden / Spaltöffnungen

Der Automobilverkehr verändert unsere Umwelt in starkem Maße. Die Luftverschmutzungen in gewissen Gegenden Kaliforniens (Los-Angeles-Smog) und an anderen Orten legen dafür ein deutliches Zeugnis ab. Auch entlang unserer Autobahnen sterben immer wieder viele Pflanzen trotz aller gärtnerischer Künste ab. Dabei fanden wir oft Symptome, die den typischen Trockenheitsschäden glichen. Eingehende Untersuchungen haben nun erwiesen, daß dabei die Spaltöffnungen der Blätter eine Schlüsselrolle spielen.

Im Verlaufe unserer Untersuchungen über Pflanzenschäden im Nahbereich von Autobahnen in der Nähe von Basel konnten wir oft Symptome feststellen, die den typischen Trockenheitsschäden glichen. Die Blätter waren wesentlich kleiner: Ausgemessene Blattspaltenflächen verschiedener Holzarten betragen bei Pflanzen im Mittelstreifen weniger als die Hälfte von Kontrollpflanzen, und Blattränder zeigten Verbrennungen.

Zuerst glaubten wir, daß diese Schädigungen auf die periodischen Windstöße zurückgeführt werden müssen, die von etwa 30 000 vorbeifahrenden Fahrzeugen pro Tag mit Geschwindigkeiten von 130 km/h verursacht wurden.

Um Schädigungen durch andere, mögliche Faktoren auszuschalten, planten wir Laborversuche, in denen ein Windstrahl periodisch über eine Zone von jungen Bäumen strich, deren Blätter gerade im Begriff waren, auszutreiben [4]. Alle sechs Sekunden traf ein Windstoß auf die Pflanzen. Die Windgeschwindigkeiten wurden so gehalten, daß sie am Ort des Auftreffens auf die Pflanzen etwa denen an der Autobahn entsprachen. Ebenso war die Frequenz der Windstöße typisch für die Autobahnverhältnisse an unseren Versuchsstandorten. Bis zu einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s war kaum eine Verringerung der Blattfläche beobachtbar, bei 6 m/s betrug sie noch etwa 50%, bei 13 m/s weniger als 20%. Diese drastische Verringerung der Blattoberfläche muß wahrscheinlich auf gestörte Wasserverhältnisse zurückgeführt werden. Es gibt mehrere mögliche Mechanismen, die eine solche Beziehung erklären könnten.

Es zeigte sich aber bald, daß die Situation komplizierter sein muß. Die Pflanzen besitzen an den Blattunterseiten, manchmal auch an den Blattoberseiten, Spaltöffnungen, durch welche das lebenswichtige CO₂ aufgenommen wird, durch welche

aber auch ständig Wasser verloren geht. Diese Spaltöffnungen können über einen sinnvollen Apparat geschlossen werden, wenn die Gefahr eines exzessiven Wasserverlustes besteht. Dies ist manchmal über die Mittagszeit der Fall (höchster Sonnenstand), und dann werden bei den meisten Pflanzen die Spaltöffnungen auch nachts geschlossen.

Wir würden also erwarten, daß dem Winde ausgesetzte Pflanzen im Nahbereich der Autobahn geschlossene Spaltöffnungen aufweisen. Wir beobachteten aber gerade das Gegenteil.

Es ist nämlich möglich, den Diffusionswiderstand durch diese Spaltöffnungen zu messen. Ist er hoch, ist dies ein Zeichen, daß die Spaltöffnungen geschlossen sind und umgekehrt. Am Vormittag und am Nachmittag fanden wir bei Kontrollpflanzen (200 m von der Autobahn entfernt) und bei Pflanzen an der Autobahn ähnliche, niedrige Diffusionswiderstände, das heißt die Spaltöffnungen müssen in beiden Fällen offen gewesen sein. Um die Mittagszeit und nachts erhöht sich der Widerstand bei den Kontrollen auf ein Mehrfaches, während bei den Pflanzen an der Autobahn kaum Veränderungen beobachtet werden können. Die Spaltöffnungen an der Autobahn bleiben also offen. Dadurch entstehen hohe Wasserverluste.

Weshalb wird nun der Spaltöffnungsapparat funktionsunfähig? Wir haben zwei Ursachen gefunden: Wenn wir Blätter oder Nadeln unter dem Mikroskop betrachten, so können wir eine sehr starke Verschmutzung an der Autobahn durch dunkle Staubpartikel feststellen [3,6,9], während Kontrollpflanzen relativ saubere Blattoberflächen aufweisen. Unsere Messungen ergaben eine hyperbolische Abnahme des Luftstaubgehaltes mit der Distanz von der Autobahn, und bei 200 m wurde weniger als ein Drittel der Verschmutzung gemessen.

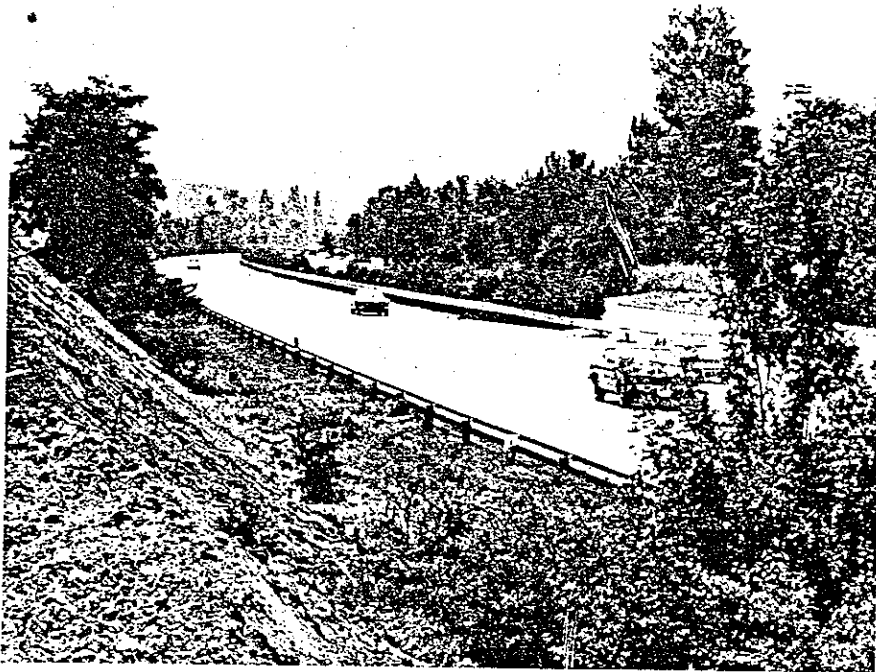
Im Licht- und Rasterelektronenmikroskop [12] stellten wir fest, daß die Staubpartikel in die Spaltöffnungen fallen, dort kleben bleiben und dadurch das Schließen von Spaltöffnungen verhindern.

Um den Einfluß anderer Faktoren möglichst auszuschalten, mußten wir wiederum Laborversuche zu Hilfe ziehen [6]. In einer Versuchsreihe wurde Auspuffstaub gesammelt, etwas zermahlen und mit einem Pinsel auf die Blattflächen aufgetragen mit einer Dosis von 4 mg/cm². Der schwarze Staub klebte gut auf den Flächen und konnte mit einem Wasserstrahl nicht entfernt werden. Messungen von Diffusionswiderständen bestätigten die an der Autobahn gemachten Befunde. Kontrollpflanzen und behandelte Pflanzen zeigten ähnliches Verhalten, solange Diffusionswiderstände niedrig waren. Nachts stiegen die Widerstände bei den Kontrollpflanzen, nicht aber bei staubbehandelten Pflanzen, das heißt die Spaltöffnungen blieben hier offen.

Offenbar blockierten die Staubkörner das Schließen der Spaltöffnungen.

Nun besteht immer noch die Möglichkeit, daß der Auspuffstaub über irgendeine chemische Interaktion die Spaltöffnungen lähmt. Um auch diese Möglichkeit auszuschließen, bestäubten wir Pflanzen mit einem möglichst unreaktivem Material, nämlich mit Silicagel, das zum Füllen von Chromatographiesäulen verwendet wird [7]. Dieses Material ist in sehr großer Reinheit und in ganz bestimmten Korngrößen erhältlich. Die aufgetragene Menge betrug 1 mg/cm². Am Tag waren wiederum die Diffusionswiderstände bei behandelten und Kontrollpflanzen ähnlich, Partikelgrößen von 5 und 12 µm zeigten leicht niedrigere Widerstände. Bei 5 µm Partikelgröße waren die Diffusionswiderstände nachts praktisch unverändert, das heißt die Spaltöffnungen blieben hier weiterhin offen. Bei größeren Partikeln konnten wir nun aber einen Verschuß feststellen. Dieser Unterschied nach Partikelgröße stimmt gut mit der 6 bis 10 µm großen Öffnung der Spaltöffnungen überein: Die größeren Partikel waren einfach zu groß, um in die Spaltöffnungen zu fallen.

Es gibt noch eine andere Autobahnwirkung, die zu übermäßig geöffneten Spaltöffnungen führt. Bereits früher [8,11] wur-



Bei einer Fahrt über die Autobahn fällt dem aufmerksamen Betrachter der Landschaft häufig auf, daß viele Pflanzen entlang des Fahrweges abgestorben sind. Daß das eigene Auto mit Schuld an diesem Pflanzentod sein kann, ist vielen von uns gar nicht bewußt. (Photo: dpa.)

de vorgeschlagen, daß Auspuffgase den Spaltöffnungsapparat lähmten. Um zu prüfen, ob diese Hypothese auch für unsere Pflanzen in Betracht kommt, unternahmen wir Laborexperimente, bei denen weder Wind noch Staubkörner eine Rolle spielen konnten [5]. Auspuffgase wurden durch Aktivkohle filtriert und mit verschiedenen Mengen Luft vermischt. Gemische mit einem Auspuffgasanteil von mehr als 1/200 verursachten niedrige Diffusionswiderstände, also offene Spaltöffnungen, in Dunkelheit und dies trotz hoher CO₂-Konzentrationen, die sonst ein Schließen verursachen müßten. Die Spaltöffnungen werden also sowohl durch Partikel wie auch durch Gase offen gehalten. Allerdings ist die Gaswirkung reversibel: Bereits nach einer halben Stunde in reiner Luft konnte eine deutliche Erholung der Pflanze festgestellt werden.

Die Bedeutung von offenen Spaltöffnungen zu Zeiten, wo diese normalerweise geschlossen sein sollten, ist offensichtlich: Es findet ein zusätzlicher Wasserverlust statt, der zu Trockenschäden führen kann.

Die pflanzlichen Wasserverhältnisse werden weiter kompliziert dadurch, daß die Temperaturen der Blattoberflächen an der Autobahn verschieden sind von den Kontrollpflanzen [1,2]. Die erhöhten Transpirationsraten an der Autobahn sollten eigentlich zu einer Abkühlung führen, die dunklen Blattoberflächen zu einer Erhö-

hung. Das Mikroklima an der Autobahn ist ebenfalls verschieden. Spiegelung von der Autobahn, seitliche Zufuhr von Energie (Advektion), turbulente Mischung sind alle verschieden. In unseren Fällen war der Nettoeffekt all dieser Interaktionen in der Energiebilanz eine um 2 bis 5 Grad erhöhte Blattoberflächentemperatur an der Autobahn, außer wenn die Spaltöffnungen bei den Kontrollpflanzen geschlossen waren und nicht bei den Autobahnpflanzen. Die Folge dieser Temperaturerhöhung auf der Blattoberfläche ist ein höherer Dampfdruck und damit ein vermehrter Wasserverlust [8].

Fassen wir unsere Versuchsergebnisse zusammen: Durch Auspuffstaubpartikel, die in Spaltöffnungen fallen, werden diese am Schließen verhindert. Auspuffgase lähmen den Spaltöffnungsapparat, so daß dieser auch aus diesem Grunde zu ungewöhnlicher Zeit offen bleibt. Dieser Effekt ist reversibel. Der dunkle Straßenstaub auf Blättern entlang Autobahnen erhöht die Blattoberflächentemperaturen. Diese Interaktionen führen zu einem vermehrten Wasserverlust der Pflanzen und damit zu Trockenschäden. Der turbulente Fahrwind scheint ebenfalls die pflanzlichen Wasserbeziehungen ungünstig zu beeinflussen. Wir schließen daraus, daß die „Autobahn-Umwelt“ die pflanzlichen Wasserbeziehungen aus verschiedenen Gründen ungünstig beeinflusst.

Die Arbeiten wurden mit Unterstützung der „Eidgenössischen Stiftung zur Förderung Schweizerischer Volkswirtschaft durch wissenschaftliche Forschung“ durchgeführt.

Wie der Autobahnverkehr Pflanzen schädigt. UMSCHAU 79 (1979) Heft 21, S. 679–680.

Summary:

Dust particles from automobile exhaust can fall into stomatal openings, blocking them from closing at noon and at night, i.e. when stomates are normally closed. Automobile exhaust gases paralyse the stomatal apparatus, again preventing closure. This effect is reversible in clean air. Plants along a freeway are heavily polluted by a dark dust which raises the leaf temperature because of increased absorption of radiant energy. Open stomates at unusual times and raised leaf temperature lead to excessive water losses and to drought injury. Plant water relations are disturbed further through periodic wind gusts caused by passing vehicles.

Literatur:

1. Eller, B.: Straßenstaub heizt Pflanzen auf. UMSCHAU 74 (1974) S. 283-284.
2. Eller, B.: Road dust induced increase of leaf temperature. Environ.Pollut. 13 (1977) S. 99-107.
3. Flückiger, W.; Flückiger-Keller, H.; Oertli, J.J.; Guggenheim, R.: Verschmutzung von Blatt- und Nadeloberflächen im Nahbereich einer Autobahn und deren Einfluß auf den stomatären Diffusionswiderstand. Eur. J. For. Path. 7 (1977) S. 358-364.
4. Flückiger, W.; Oertli, J.J.; Flückiger-Keller, H.: The effect of wind gusts on leaf growth and foliar water relations of Aspen. Oedologia 34 (1978) S. 101-106.
5. Flückiger, W.; Flückiger-Keller, H.; Oertli, J.J.: Inhibition of the regulatory ability of stomata caused by exhaust gases. Experientia 34 (1978) S. 1274.
6. Flückiger, W.; Flückiger-Keller, H.; Oertli, J.J.: Der Einfluß von Straßenstaub auf den stomatären Diffusionswiderstand und die Blatt-Temperatur – ein antagonistischer Effekt. Staub-Reinhalt. Luft 38 (1978) S. 502-503.
7. Flückiger, W.; Oertli, J.J.; Flückiger-Keller, H.: Relationship between stomatal diffusive resistance and various applied particle sizes on leaf surface. Z. Pflanzenphysiol. 91 (1979) S. 173-175.
8. Gates, D.M.: Transpiration and leaf temperature. Ann. Rev. Plant physiol. 19 (1968) S. 211-238.
9. Guggenheim, R.; Flückiger, W.; Flückiger-Keller, H.; Oertli, J.J.: Verschmutzung von Blatt-Oberflächen im Nahbereich einer Autobahn. Bericht des Umweltbundesamtes. (in Druck).
10. Koch, W.: Tagesgang der „Produktivität der Transpiration. Planta 48 (1957) S. 418-452.
11. Mayerink, O.; Mansfield, T.A.: Direct effect of SO₂ pollution on the degree of opening of stomata. Nature 227 (1970) S. 377-378.
12. Ricks, G.R.; Williams, R.J.H.: Effect of atmosphere pollution on deciduous woodland. Part 2: Effects of particulate matter upon stomatal diffusive resistance in leaves of Quercus petraea (Mattuschka) Leibl. Environ. Pollut. 6 (1974) S. 87-109.

Prof. Dr. J.J. Oertli,
Dr. W. Flückiger,
Dr.H. Flückiger-Keller,
Botanisches Institut der Universität Basel,
CH-4056 Basel, Schweiz