

PHYTON

ANNALES REI BOTANICAE

VOL. 23, FASC. 2 PAG. 177—324 30. 9. 1983

| | | | | |
|------------------|---------|---------|---------|-------------|
| Phyton (Austria) | Vol. 23 | Fasc. 2 | 177—184 | 30. 9. 1983 |
|------------------|---------|---------|---------|-------------|

Beeinflussung der spektralen Absorptionseigenschaften der Blätter von *Hedera helix* durch Staubimmissionen¹⁾

Von

Helmuth SIEGHARDT *)

Mit 5 Abbildungen

Eingelangt am 1. März 1982

Key words: dust, *Hedera helix*, incident global radiation, spectral absorptivity

Summary

SIEGHARDT H. 1983. Effects of dust pollution on spectral absorptivity of leaves of *Hedera helix* L. — *Phyton* (Austria) 23 (2) : 177—184, with 5 figures. — English with German Summary.

Changes of spectral properties of dust covered and of cleaned leaves of *Hedera helix* L. were observed. A considerable increase of absorbed incident global radiation in a wave range in between 750 to 1350 nm is obtained on the upper dust covered surface of *Hedera*-leaves. Effects on leaf temperature and energy balance are also expected.

Zusammenfassung

SIEGHARDT H. 1983. Beeinflussung der spektralen Absorptionseigenschaften der Blätter von *Hedera helix* durch Staubimmissionen. — *Phyton*

¹⁾ Publikation Nr. 51 der MaB-Projektgruppe Urbanökologie.

*) Dr. Helmuth SIEGHARDT, Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, Althanstraße 14, 1091 Wien (Austria).

(Austria) 23 (2) : 177—184, mit 5 Abbildungen. — Deutsch mit englischer Zusammenfassung.

Die diffuse spektrale Reflexion, Transmission und Absorption der Blätter des Efeus (*Hedera helix* L.) ist nach Kontamination durch Staub verändert. Während die Strahlungsabsorption im sichtbaren Bereich der Globalstrahlung (400—750 nm) bei gereinigten und verstaubten Blättern zwischen 80 und 90% beträgt — durch eine sehr hohe Ausnutzung der photosynthetisch wirksamen Strahlung (PhAR) im Bereich der Absorptionsbanden der Photosynthesepigmente ist die Absorptivität besonders hoch — kann im nahen IR (750—1350 nm) die Erhöhung der Energiemenge aus der Strahlungsabsorption den Strahlungshaushalt und die Energiebilanz der Blätter über die Blattertemperatur direkt beeinflussen.

1. Einleitung

Ausdifferenzierte Blätter sind in ständiger Interaktion mit den mikroklimatischen Umweltparametern, von denen die einfallende Strahlung als Energiequelle für photoenergetische Prozesse von dominierender Bedeutung ist. Das Blatt von *Hedera helix* ist mit seinem adaxialen Palisadenparenchym und abaxialen Schwammparenchym auch ein kompliziertes optisches System, das den Strahlungsfluß durch das Blatt nicht nur abschwächt, sondern in dem die Strahlung diffus reflektiert, transmittiert und absorbiert wird. Nur ungefähr 70% der photosynthetisch nutzbaren Strahlung wird in den Chloroplasten grüner Blätter absorbiert, der Rest geht als Wärme weitgehend ungenützt verloren (vgl. LARCHER 1980).

Im urbanen Bereich sind neben den gasförmigen Luftverunreinigungen Flugstaubimmissionen von großer Bedeutung, die je nach Herkunft, Aggregatzustand und chemischer Zusammensetzung der Einzelstaubpartikel zu einer unterschiedlichen Belastung grüner Blätter werden können. Die biologischen Wirkungen solcher Stäube reichen von physiologisch-chemischen („verborgenen“) Auslenkungen des Stoffwechsels (STEINHÜBEL 1963, DARLEY 1966, MASEK 1972, BRANDT & RHOADES 1973, AUCLAIR 1976, 1977, FLÜCKIGER & al. 1977, MAIER & al. 1979) über anatomisch-morphologischen Veränderungen im Blattgewebe (CZAJA 1960, 1961, 1962 a und b, MANNING 1971) bis zur Beeinträchtigung von Wachstum, Stoffproduktion (Ertrag) und Qualität von Pflanzen (FORTMANN 1961, BOHNE 1963, BORKA 1980, 1981). Die rein physikalisch-thermische Wirkung der Staubimmissionen auf die optischen Eigenschaften von Blättern ist bis jetzt, von wenigen Ausnahmen abgesehen, noch wenig berücksichtigt worden (vgl. ELLER 1977 a und b, ELLER & BRUNNER 1975, ELLER & WILLI 1977).

Im Modellversuch sollte geprüft werden, ob die optischen Eigenschaften von Efeublättern unter künstlicher Verstaubung so verändert werden, daß Auswirkungen auf den Energie- und Strahlungshaushalt

und die Energiebilanz der Blätter zu erwarten und mit den Bedingungen im Freiland zu vergleichen sind.

2. Material und Methodik

Die spektralen Eigenschaften künstlich verstaubter und gereinigter Sonnenblätter von *Hedera helix* L. wurden im Labor mit einer Meßvorrichtung nach ELLER 1972 ermittelt. Die spektralen Kenngrößen diffuse Reflexion R und diffuse Transmission T wurden im sichtbaren Bereich der Globalstrahlung (400—750 nm) und im kurzwelligen Infrarot (750—1350 nm) mit einem ISCO-Spektroradiometer SR mit Zusatzeinrichtung (Ulbricht'sche Kugel) direkt gemessen ($\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ Wellenlänge). Der Absorptionsgrad A kann nach der Gleichung: $A = 1 - (R + T)$ berechnet werden. Die gleichen, mit destilliertem Wasser gereinigten Blätter werden zur Kontrolle herangezogen.

3. Ergebnisse und Diskussion

Unter der Berücksichtigung der Blattanatomie von *Hedera helix* (bifacial-dorsiventrales Laubblatt) wurde die Blattoberseite getrennt von der Blattunterseite auf ihre spektralen Eigenschaften untersucht. In Abb. 1 und 2 sind die Werte der Transmission, der Reflexion und der Absorption für die Spektralbereiche 400—750 nm (PhAR) und 750—1350 nm (kurzwelliges IR) dargestellt. Vergleicht man die optischen Eigenschaften des gereinigten Efeublattes mit denen des künstlich verstaubten Blattes, so zeigen sich deutliche Parallelen im Verlauf von Transmission, Reflexion und Absorption. Im sichtbaren Bereich (400—750 nm) ist die Absorption durch die Ausnutzung der photosynthetisch wirksamen Strahlung durchwegs hoch, die Werte liegen sowohl beim gereinigten als auch beim verstaubten Blatt zwischen 80 und 90% spektraler Intensität, über 700 nm nimmt die Lichtabsorption infolge der optischen Eigenschaften der Photosynthese-Pigmente abrupt ab; erst ab etwa 1100 nm nehmen die Werte allmählich und ab Wellenlängen über 1300 nm sehr stark zu. Die Ursache dieses Anstieges dürfte in der hohen Absorption von Wassermolekülen liegen, wobei je nach Wassergehalt der Blätter Absorptionsmaxima zwischen 975 und 1200 nm regelmäßig auftreten (vgl. ELLER & WILLI 1977).

Auf der mit Staub bedeckten Blattoberseite des Efeublattes ist die Strahlungsabsorption im sichtbaren Bereich der Globalstrahlung (400—750 nm) etwas geringer, im nahen IR (750—1350 nm) dagegen wesentlich größer als beim gereinigten Blatt. Der Staub wirkt dabei als Difflusor für die einfallende Strahlung, wobei Größe, Form und Morphologie der Einzelstaubpartikel für das Ausmaß der diffusen Reflexion und Absorption entscheidend sind (vgl. Abb. 4). Helle Kalk- und Ze-

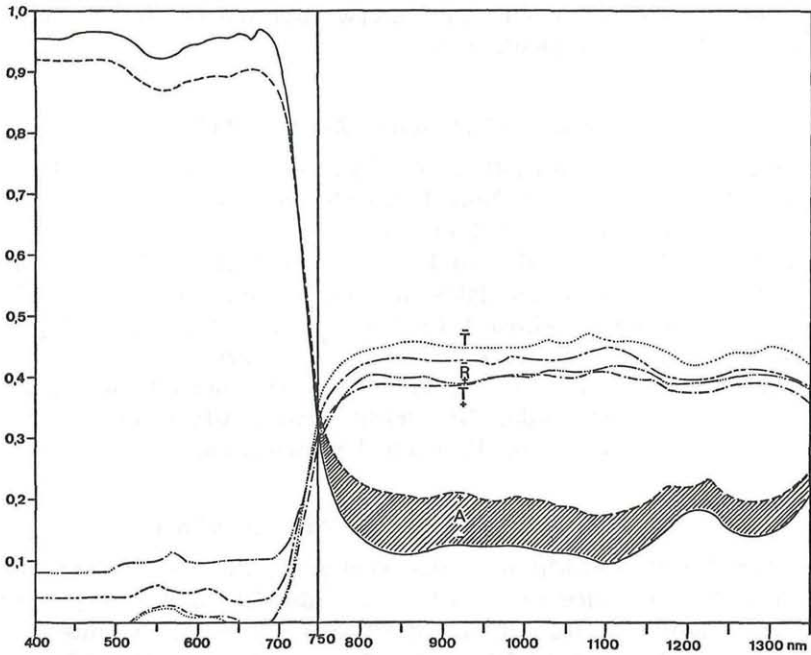


Abb. 1. Spektrale Eigenschaften von *Hedera helix*, Blattoberseite

- A + (-----) = Absorption des verstaubten,
- A - (——) = Absorption des gereinigten Blattes;
- R + (—...—) = Reflexion des verstaubten,
- R - (—...—) = Reflexion des gereinigten Blattes;
- T + (—...—) = Transmission des verstaubten,
- T - (.....) = Transmission des gereinigten Blattes

mentstäube haben ganz andere Reflexions- und Transmissionseigenschaften als z. B. dunkler Straßenstaub; dementsprechend wird die Strahlungsabsorption der mit Staub bedeckten Blätter ganz beträchtlich variieren (vgl. ELLER 1977 a). Eine geringere Energieabsorption als Folge höherer Reflexionswerte im kurzwelligen IR wird den gesamten Energie- und Strahlungshaushalt eines staubbedeckten Blattes z. B. über die Evapotranspiration und den CO₂-Gaswechsel ganz entscheidend mitbeeinflussen.

Die diffuse Transmission ist im Bereich der Absorptionsbanden der Plastidenfarbstoffe sehr gering, jedoch im Grün bis Gelbgrün (~500—560 nm) und im nahen IR gemeinsam mit der Reflexion sehr hoch (vgl. Abb. 1 und 2). Die Transmission hängt von der Blattstruktur, der Blattdicke und verschiedenen Zellinhaltsstoffen ab, die andererseits ab Wellenlängen > 800 nm nur mehr wenig absorbieren. Staubbeläge vermindern die Strahlungstransmission im Efeublatt um 12—16%.

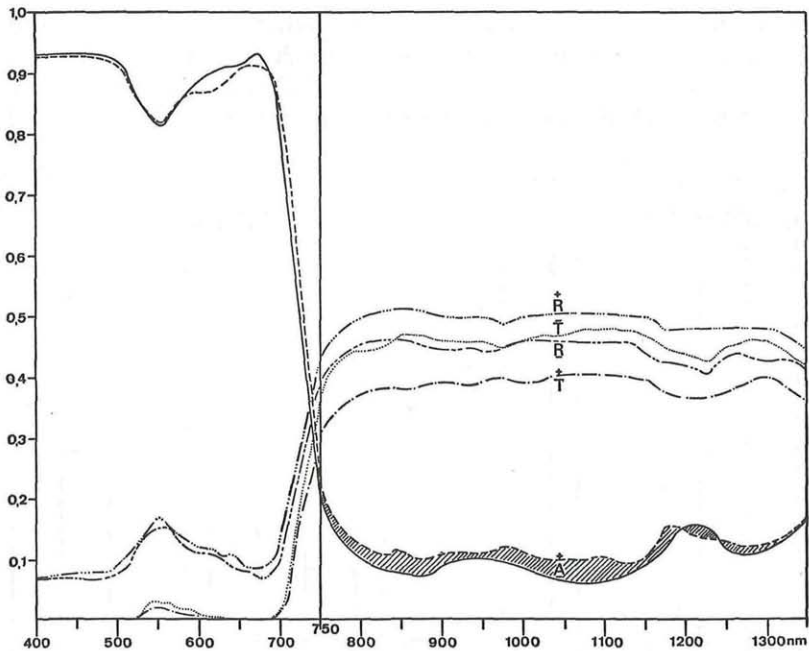


Abb. 2. Spektrale Eigenschaften von *Hedera helix*, Blattunterseite. Signaturen vgl. Abb. 1

Auf der Blattunterseite sind die Unterschiede in der Absorption zwischen verstaubter und gereinigter Blattlamina im PhAR-Bereich und nahen IR viel kleiner als auf der Blattoberseite (Abb. 2). Der Energieinput aus der Strahlungsabsorption ist im nahen Infrarot im Durchschnitt 8–10% geringer als auf der Blattoberseite, die diffuse Reflexion ist um 5% erhöht; ein Effekt, der durch die Staubpartikel mitverursacht, und durch das abaxiale Schwammparenchym des Efeublattes noch verstärkt werden dürfte. Dieses Gewebe ist physikalisch-optisch ein sehr inhomogenes Medium, in dem durch Reflexion, Beugung und/oder Brechung der Strahlung (z. B. an den Grenzflächen der Zellwände und der Interzellularen) multiple Streuung erfolgt, so daß als additiver Effekt eine höhere Reflexion des Blattes resultiert.

Der Energieanteil der Globalstrahlung beträgt im kurzwelligen IR immerhin noch 30–42% (SCHULZE 1970). Für das grüne Blatt ist eine niedrige Absorptivität in diesem Spektralbereich von grundlegender stoffwechselphysiologischer Bedeutung. Bekanntlich tragen Wellenlängen über 800 nm zur Photosynthese nichts mehr bei, so daß die im nahen IR absorbierte Strahlungsenergie überwiegend nur in Wärme umgesetzt wird. Für die Energiebilanz des Blattes ist entscheidend, daß ein überhöhter Energieinput in das Blatt (vor allem im kurzwelligen Infrarot)

aus thermodynamischen Gründen auf der output-Seite entweder durch erhöhte IR-Emission des Blattes, oder durch Wärmekonvektion und Wärmeleitung (z.B. Wärmeverlust durch Wasserverdunstung) kompensiert wird. Wird nun dieser Energie- und Strahlungsfluß im gesam-

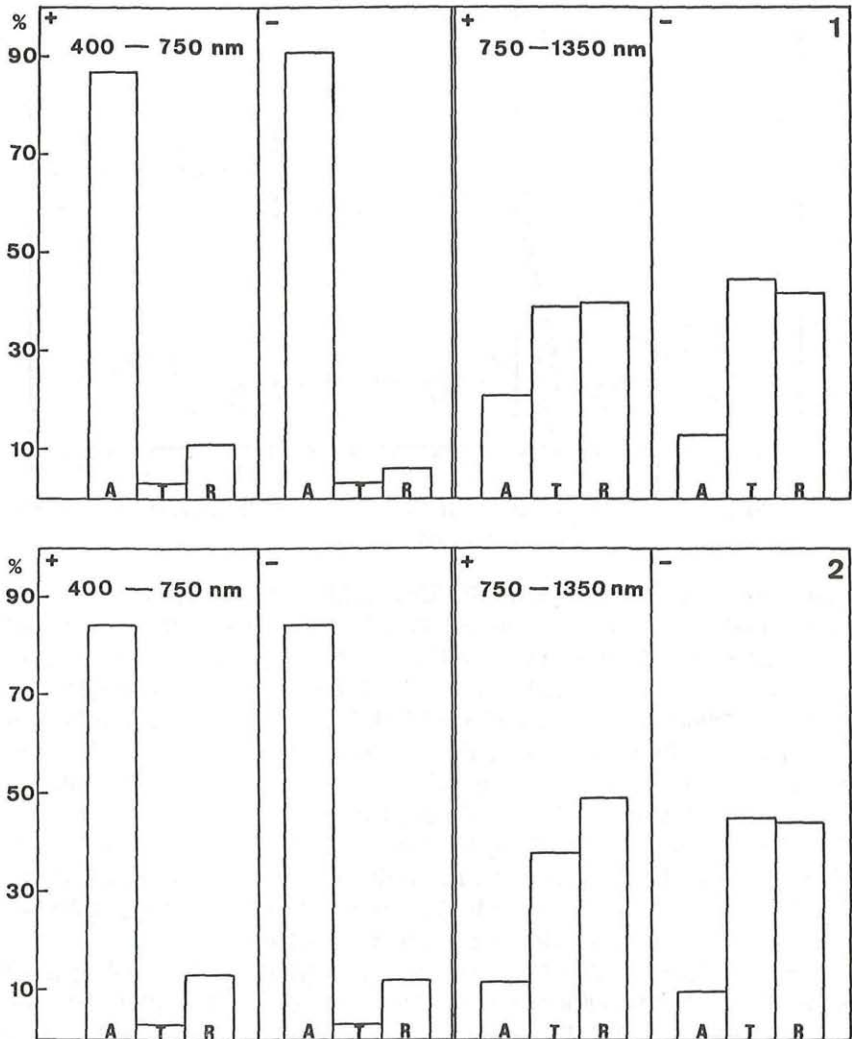


Abb. 3. Relative spektrale Intensität (%) im PhAR-Bereich (400—750 nm) und im nahen Infrarot (750—1350 nm)

+ = kontaminiertes Blatt, - = gereinigtes Blatt; A = Absorption, T = Transmission, R = Reflexion. 1 (oben): Blattoberseite, 2 (unten): Blattunterseite

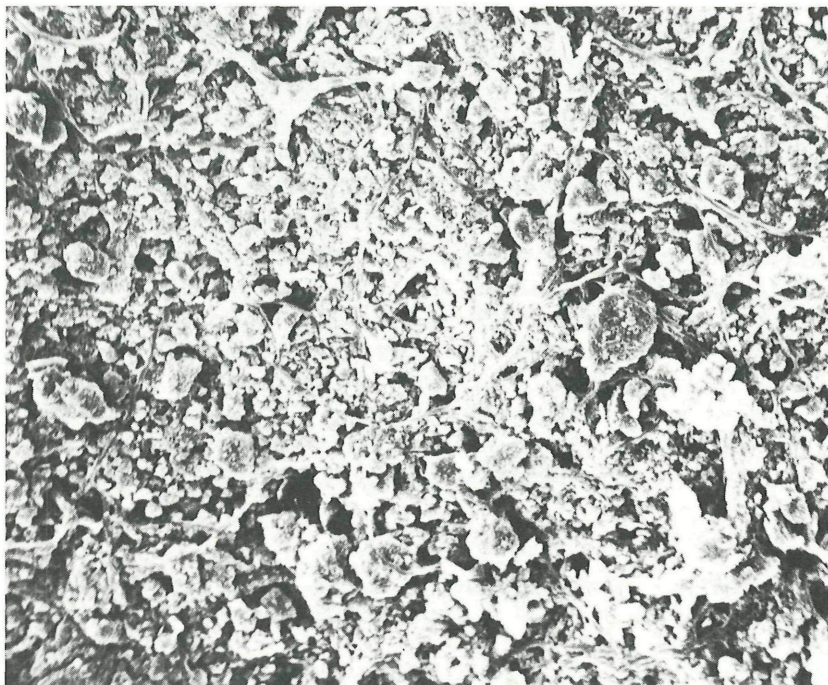


Abb. 5. Staubbedeckte Blattunterseite von *Hedera helix*.
Maßstab wie Abb. 4.

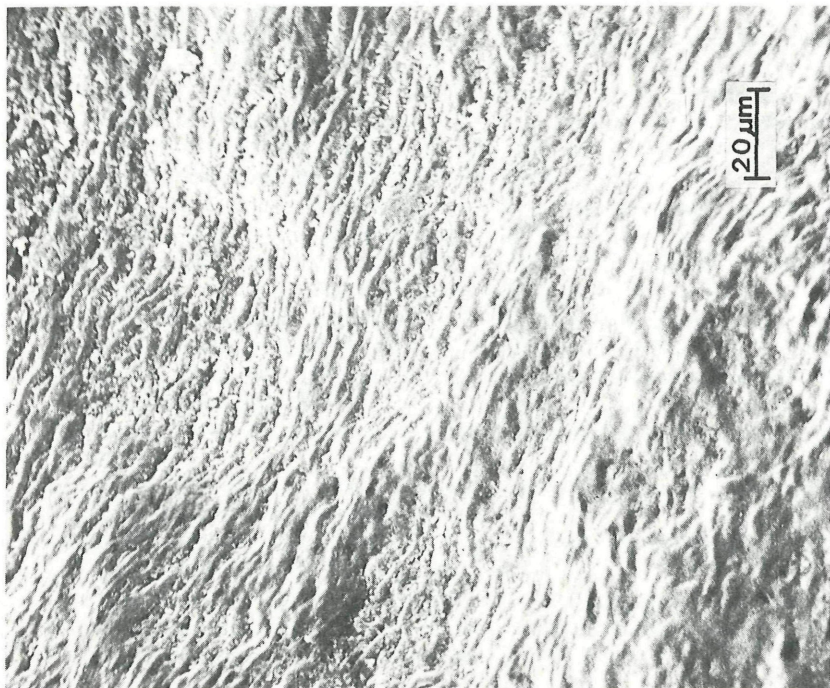


Abb. 4. Staubbedeckte Blattunterseite von *Hedera helix*.

ten System Blatt+Staubbelag durch Verstopfung der Stomata (begleitet vom Verlust der Fähigkeit, die Spaltenweite regulieren zu können) stark behindert (vgl. FLÜCKIGER & al. 1977), kann es lokal zu Überhitzungen der Blätter kommen. In der Folge sind dann Hitzeschäden im Blattgewebe und beträchtliche Einbußen in der Stoffproduktion wahrscheinlich (vgl. ELLER 1974, 1977 b, BORKA 1981).

Bei der Beurteilung des Einflusses von Stäuben auf die spektralen Eigenschaften von Blättern wird sowohl die Qualität und Quantität der Staubauflagen als auch die Dauer der Immissionsbelastung im Hinblick auf das energieabsorbierende Pigmentsystem im grünen Blatt von Bedeutung sein. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß durch den hohen Energieinput im nahen IR, sowohl der Energie- und Strahlungshaushalt als auch die Energiebilanz verstaubter Efeublätter stark beeinflußt werden und darüberhinaus Auswirkungen auf den gesamten Primärstoffwechsel zu erwarten sind.

4. Literatur

- AUCLAIR D. 1976. Effects of dust on photosynthesis. I. — Effects of cement and coal dust on photosynthesis of spruce. — *Ann. Sci. forest.* 33: 247—255.
- 1977. Effects of dust on photosynthesis. II. — Effects of particulate matter on photosynthesis of scots pine and poplar. — *Ann. Sci. forest.* 34: 47—57.
- BOHNE H. 1963. Schädlichkeit von Staub aus Zementwerken für Waldbestände. — *Allg. Forstzeitung* 18: 107—111.
- BORKA G. 1980. The effect of cement dust pollution on growth and metabolism of *Helianthus annuus*. — *Environ. Pollut. Ser. A* 22: 75—79.
- 1981. Effect of cement-kiln dust on the maize plant. — *Acta Agronomica Acad. Sci. Hungaricae* 30: 289—295.
- BRANDT C. J. & RHOADES R. W. 1973. Effects of limestone dust accumulation on lateral growth of forest trees. — *Environ. Pollut.* 4: 207—215.
- CZAJA A. Th. 1960. Die Wirkung von verstäubtem Kalk und Zement auf Pflanzen. — *Qual. Plant. et Mater. Veg.* 7: 184—212.
- 1961. Zementstaubwirkungen auf Pflanzen: Die Entstehung der Zementkrusten. — *Qual. Plant. et Mater. Veg.* 8: 201—238.
- 1962 a. Über das Problem der Zementstaubwirkung auf Pflanzen. — *Staub* 22 (6): 228—232.
- 1962 b. Zementstaubwirkungen auf Forstpflanzen. — *Forstarchiv* 33 (5): 89—93.
- DARLEY E. F. 1966. Studies on the effect of cement-kiln dust on vegetation. — *J. Air Pollut. Cont. Ass.* 16: 145—150.
- ELLER B. M. 1972. Messung spektraler Eigenschaften von Blättern im Felde. — *Verh. Schweiz. Natf. Ges.* 152: 142—145.
- 1974. Straßenstaub heizt Pflanzen auf. — *Umschau* 74: 283—284.
- 1977 a. Beeinflussung der Energiebilanz von Blättern durch Straßenstaub. — *Angew. Botanik* 51: 9—15.

- ELLER B. M. 1977 b. Road dust induced increase of leaf temperature. — *Environ. Pollut.* 13: 99—107.
- & BRUNNER U. 1975. Der Einfluß von Straßenstaub auf die Strahlungsabsorption durch Blätter. — *Arch. Met. Geoph. Biokl. B.* Bd. 23: 137—146.
- & WILLI P. 1977. Globalstrahlungsabsorption von *Hedera helix* L. unter Straßenstaubimmissionen. — *Gartenbauwissenschaft* 42: 49—53.
- FLÜCKIGER W., FLÜCKIGER-KELLER H., OERTLI J. J. & GUGGENHEIM R. 1977. Verschmutzung von Blatt- und Nadeloberflächen im Nahbereich einer Autobahn und deren Einfluß auf den stomatären Diffusionswiderstand. — *Eur. J. For. Path.* 7: 358—364.
- FORTMANN H. 1961. Die Staubsedimentation und Fragen der Staubwirkung im Gartenbau. — *Gartenbauwirtschaft* 9 (12): 251—253.
- LARCHER W. 1980. *Physiological Plant Ecology*. 2nd Edition. — Springer Berlin—Heidelberg—New York.
- MAIER R., ALTGAYER M., PUNZ W., RAMMER Ch., SCHINNINGER R., SIEGHARDT H., SLAD H. & WINTER Ch. 1979. Wasserhaushalt und Produktivität staubbelasteter Pflanzen in der Umgebung einer Zementfabrik in Kärnten. — *Carinthia II*. 169/89: 167—193.
- MANNING W. J. 1971. Effects of limestone dust on leaf condition, foliar disease incidence, and leaf surface microflora of native plants. — *Environ. Pollut.* 2: 69—76.
- MAŠEK V. 1972. Einfluß der Flugstäube von Hüttenunternehmen auf einige biologische Prozesse der Pflanzen. — *Staub* 32 (3): 112—114.
- SCHULZE R. 1970. Strahlenklima der Erde. — Steinkopff, Darmstadt.
- STEINHÜBEL G. 1963. Veränderungen in den Stärkereserven der Blätter der Gemeinen Stechpalme nach einer künstlichen Verunreinigung durch Staub. — *Biologia (Bratislava)* 18: 23—33.

Dank

Diese Arbeit entstand 1979 während eines Studienaufenthaltes am Institut für Pflanzenbiologie der Universität Zürich.

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. B. M. ELLER für die Einführung in die Methodik der Spektroradiometrie und seine freundliche Diskussionsbereitschaft. Herrn Dr. R. GLÄTTLI danke ich ganz besonders für seine Hilfestellung bei den Feld- und Labormessungen. Frau D. METZGER vom SEM-Labor der Universität Zürich danke ich für die REM-Fotos. Dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung bin ich für die finanzielle Unterstützung zu Dank verpflichtet.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn](#)

Jahr/Year: 1983

Band/Volume: [23_2](#)

Autor(en)/Author(s): Sieghardt Helmuth

Artikel/Article: [Beeinflussung der spektralen Absorptionseigenschaften der Blätter von Hedera helix durch Staubimmissionen. 177-184](#)