©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Carinthia II	169./89. Jahrgang	S. 167–193	Klagenfurt 1979

Wasserhaushalt und Produktivität staubbelasteter Pflanzen in der Umgebung einer Zementfabrik in Kärnten

Von Rudolf MAIER, Margarethe ALTGAYER, Wolfgang PUNZ, Christine RAMMER, Rosemarie SCHINNINGER, Helmuth SIEGHARDT, Herbert SLAD, Christine WINTER
Aus dem Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien

(Mit 16 Abbildungen und 3 Tabellen)

ZUSAMMENFASSUNG

An drei unterschiedlich stark immittierten Standorten in der Nähe einer Zementfabrik wurden ökophysiologische Untersuchungen durchgeführt.

Der Tagesgang der Wasserdampfabgabe staubkontaminierter Pflanzen ist durch ein relativ hohes Vormittagsmaximum charakterisiert, dem dann bei stark immittierten Pflanzen eine kontinuierliche Einschränkung der Transpiration folgt.

Der Chlorophyllgehalt nimmt im allgemeinen mit der Stärke der Immission zu, der kalorimetrische Wert dagegen fällt.

Die Photosynthese der immittierten Blätter von *Corylus* ist bei hoher Einstrahlung niedriger als bei unbelasteten Pflanzen, bei niedriger Einstrahlung kehrt sich die Relation um.

SUMMARY

Ecophysiological investigations were carried out around a cement plant; three sites were chosen with regard to their different degree of pollution.

Evapotranspiration of dust-contaminated plants during a day showed a maximum before noon followed by a continuous decrease of transpiration with heavy contaminated plants.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

In general, chlorophyll content increased with contamination whereas calorimetric values decreased.

Under conditions of high solar radiation, photosynthesis of contaminated leaves was lower than photosynthesis of uncontaminated leaves; at low light levels, the inverse effect could be observed.

1. EINLEITUNG

Die Herstellung von Zement bringt Emissionen mit sich, die durch das Produktionsverfahren gegeben sind: Stäube bei der Rohmaterialgewinnung und -aufbereitung, Stäube beim Brennprozeß, bei der Vermahlung des durch das Brennen erhaltenen Klinkers, und schließlich bei der Verpackung und Verladung des Zements (HAGSPIEL 1971).

Die Kontaminierung der Vegetation mit den Emissionen der Zementwerke ist in erster Linie die Staubbelastung, da die gasförmigen Emissionen, nach HAGSPIEL (1971), entsprechend niedrig liegen. Ebenso schließt CZAYA (1960), der sich sehr eingehend mit der Zementstaubwirkung auf Pflanzen beschäftigte, Rauchgasschäden aus.

Wir wollten die Wirkung solcher Stäube an Ort und Stelle in der Umgebung einer Zementfabrik auf Parameter des Wasserhaushaltes wie auch der Produktivität der Pflanzen untersuchen. Das bringt den Vorteil, die tatsächliche Situtation im betreffenden Immissionsgebiet zu erfassen, was ja durch einen Laboratoriumsversuch nur modellmäßig aufgezeigt werden kann, hat aber gleichzeitig den Nachteil, daß die Ergebnisse solcher Freilanduntersuchungen durch den Verlust des klimastabilisierten Umraumes weniger sicher interpretierbar werden. Man kann das aber in ausreichendem Maße umgehen, indem man möglichst viele Fakten in Querverbindungen bringt, die dann in den meisten Fällen sehr wohl den Zustand der Pflanze in ökophysiologischer Sicht zu beurteilen erlauben. Dies wollten wir zum einen mit dieser Exkursion bestätigt finden; zum anderen sind die Ergebnisse ein weiterer konkreter Ansatzpunkt in Hinblick auf die Diskussion der Wirkung von Zementwerkstäuben auf Pflanzen (Literaturübersicht bei GARBER 1967, 1973, BERGE und JAAG 1970, LERMAN und DARLEY 1975).

2. STANDORT

Entlang des westlichen Ufers der Görtschitz erstreckt sich ein aus Gosaukreide aufgebauter Kalkstock (THIEDIG 1970), der zur Herstellung von Zement und Zementprodukten abgebaut wird. Die dabei anfallenden Stäube schlagen sich in der näheren Umgebung des Werkes, u. a. auf der Vegetation, nieder.

Für unsere Untersuchungen wurden drei Standorte mit gestufter Immission ausgewählt, die im wesentlichen im Kleinklima sowie in der

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Exposition vergleichbar schienen. Zumindest an zwei Standorten, an einem staubbelasteten, wie dem kaum staubkontaminierten Standort, war auch der Bodentyp der gleiche. Die Lage der Standorte ist in Abb. 1 wiedergegeben. Standort 1, eine größere Waldlichtung in Hanglage, wurde als wenig staubbelastet gewählt. Standort 2, ein Waldsaum, hat den gleichen Bodentypus wie Standort 1. In beiden Fällen liegt unter einer Humusschichte in etwa 30 cm Tiefe das zerklüftete Muttergestein. Der Hang, auf dem sich Standort 2 befindet, ist angerissen, so daß eine fast senkrecht zur Oberfläche verlaufende Gesteinsschichtung sichtbar wird. Standort 2, künftig als „Steinbruch" ausgezeichnet, gilt bereits als belastet. Am stärksten immittiert ist Standort 3, „Werk", in unmittelbarer Nähe der Zementfabrik. Im Gegensatz zu den Standorten 1 und 2 ist hier der Boden tiefgründiger.

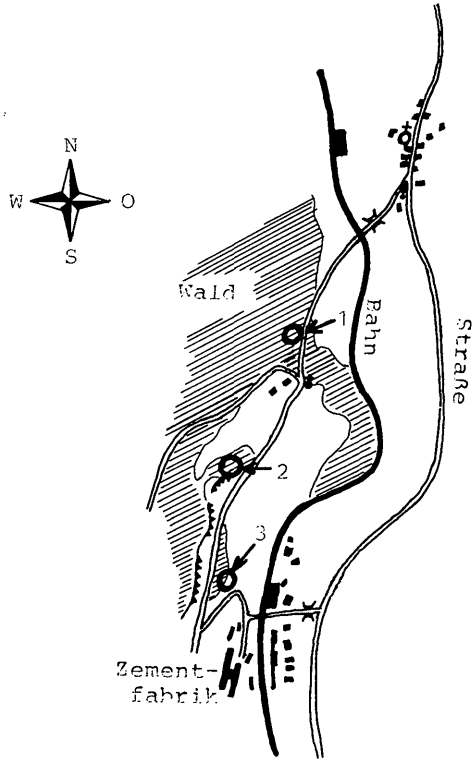


Abb. 1: Lageskizze der Versuchsstandorte. 1: Waldlichtung, 2: Steinbruch, 3: Werk

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

3. UNTERSUCHTE PFLANZEN

(Da im Text allein auf Gattungsnamen hingewiesen wird, seien hier die vollständigen Namen der Pflanzen nach EHRENDORFER (1973) angeführt):

Pteridium aquilinum (L.) KUHN
Pinus sylvestris L.
Picea abies (L.) KARSTEN
Corylus avellana L.
Cornus sanguinea L.
Fraxinus excelsior L.
Crataegus monogyna JACQ.
Salix sp.
Cirsium arvense (L.) SCOP.
Rubus fruticosus agg.
Viburnum lantana L.
Rhamnus frangula L. (= *Frangula alnus* MILL.)
Quercus robur L.
Genista pilosa L.

4. METHODEN

4.1. Klima

Auf dem Standort Steinbruch war während der Untersuchungstage eine Dauerregistrierung von Boden- und Lufttemperaturen installiert. Die Messungen, kombiniert mit einem Meßstellenumschalter und einem batteriebetriebenen Schreiber (Minigor, GOERZ) erfolgten mit NTC-Fühlern (Telethermometer, YELLOW SPRINGS).

In Verbindung mit den Transpirationsuntersuchungen wurde jeweils die Verdunstung grüner Filterpapierscheibchen (3 cm Durchmesser) mit Standardevaporimeter bestimmt. Zudem wurde mit ASSMANN-Aspirationspsychrometern die relative Luftfeuchtigkeit und die Temperatur an den jeweiligen Meßplätzen festgestellt. Ferner registrierten Thermohygrographen zu Vergleichszwecken u. a. mit umliegenden meteorologischen Stationen die 2-m-Temperatur und die dazugehörige Luftfeuchtigkeit.

Die Lichtmessungen erfolgten auf thermoelektrischer Basis mit Hilfe des LI-185 Quantum/Radiometer/Photometers (LAMDA INSTRUMENTS Corp.) bzw. mit Sternpyranometern nach DIRMHIRN.

4.2. Messungen an Pflanzen

Die Wasserdampfabgabe wurde nach der Schnellwägemethode (STOCKER 1929; vgl. auch RAWITSCHER 1955) wie auch mit Hilfe der Porometrie (vgl. KÖRNER 1972) bestimmt. Zur Ergänzung der Transpirationsmessungen versuchten wir auch die Infiltrationsmethode (MOLISCH 1912), die anderwärts zu durchaus brauchbaren Resultaten führen kann (z. B. HÜBL 1963, MAIER und MAIER 1974), in diesem Fall aber eher kritisch beurteilt werden muß.

An einigen Pflanzen wurde mehrmals am Tage zwischen 9 und 17 Uhr an jeweils 5 Parallelproben das Sättigungsdefizit (STOCKER 1929) der Blätter bestimmt. Die Blätter kamen, mit den Stielen im Wasser, für 24

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Stunden in eine dampfgesättigte Kammer; dann wurden sie 48 Stunden bei 85° C getrocknet. Die Berechnung erfolgte nach der Formel

$$\frac{\text{Sättigungsgewicht} - \text{Frischgewicht}}{\text{Sättigungsgewicht} - \text{Trockengewicht}} = \text{Defizit in \% Sättigungswassergehalt.}$$

Die Bestimmung des Chlorophyllgehalts erfolgte nach der Methode von SCHOPFER (1970). Jeweils zwei Proben wurden nach der Entnahme tiefgefroren, im Labor wurde das Chlorophyll extrahiert und gemessen. Als Bezugspunkt diente das Trockengewicht.

Die Messung der Photosynthese erfolgte „pH-metrisch", d. i. eine modifizierte kolorimetrische Methode (vgl. LANGE 1956, PUNZ 1977, WINTER unveröff.); dabei wird die Abnahme der CO_2-Konzentration in der Zeiteinheit im geschlossenen System (infolge der photosynthetischen Aktivität der Pflanze wird CO_2 verbraucht) über eine geeignete Indikatorflüssigkeit erfaßt. Die Ergebnisse sind Mittelwerte aus zwei bis drei Parallelmessungen.

Zur Bestimmung der Energiegehalte von Blättern, Nadeln wie auch der Sporophylle beim Adlerfarn wurde das Material in einem ventilierten Trockenschrank bei 80° C bis zur Gewichtskonstanz (12–24 h) getrocknet und anschließend in einer Schlagmühle (CULATTI) pulverfein gemahlen, zu Tabletten gepreßt (Gewicht ca. 0.5 g) und in einem adiabatischen IKA-Kalorimeter (Fa. JANKE und KUNKEL) in reiner Sauerstoffatmosphäre bei ca. 25 bar verbrannt (Näheres zur Methodik vgl. SIEGHARDT 1974). Aus statistischen Gründen wurden pro Probe 3–5 Verbrennungen gemacht. Die Energiegehalte sind in cal/g aschefreie Trockensubstanz angegeben.

5. ERGEBNISSE

5.1. Die klimatische Situation

Abb. 2 zeigt das Lokalklima (Temperaturbedingungen und Niederschlagstätigkeit) vom 25. 6. bis 10. 7. 1977 (Stationsblätter des Hydrographischen Dienstes). Was zur späteren Interpretation der Ergebnisse wesentlich erscheint, sind die Regenfälle vor den Meßtagen bzw. auch am Nachmittag des ersten Meßtages (30. 6.) selbst. Damit ist gewährleistet, daß eine ähnliche Wassersituation im Boden an den drei Standorten gegeben ist, was einen Vergleich von Transpiration wie auch der Sättigungsdefizite und der Photosynthese von dieser Seite her erlaubt (Wassergehalt in 10 cm Tiefe am 2. 7.: 81–84%). Da längerfristige Klimaregistrierungen an den Standorten fehlen, muß bei Vergleichen ökophysiologischer Daten, die nicht allein von der tagesklimatischen Situation her interpretiert werden können, sondern als Resultat des Klimas über lange

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

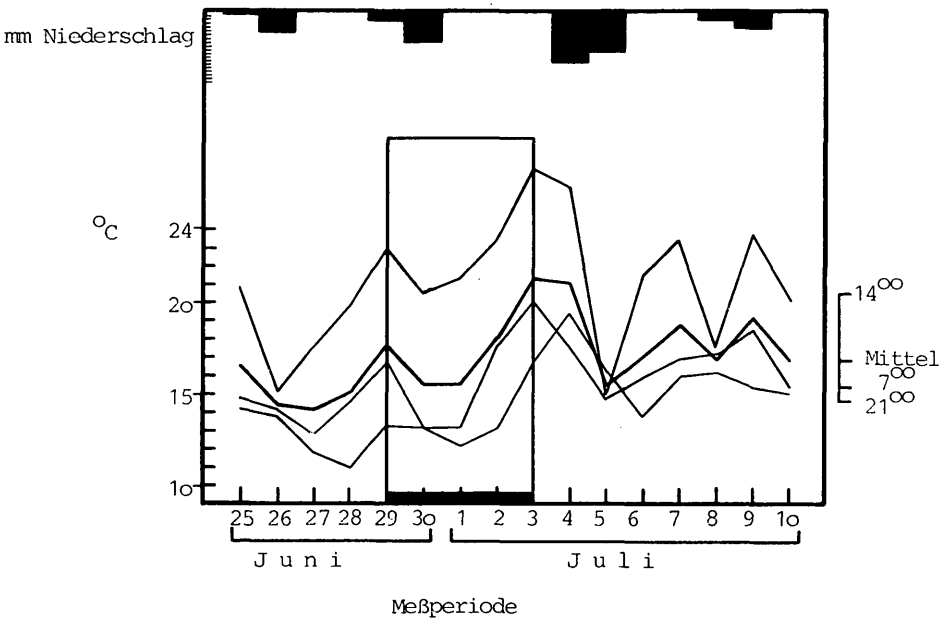


Abb. 2: Temperatur (7, 14, 21 Uhr und Tagesmittel) und Niederschlag im Werksbereich in der Zeit vom 25. 6. bis 10. 7. 1977 (Stationsblätter des Hydrographischen Dienstes)

Zeit zu sehen sind (z. B. Energiegehalte), diese Gegebenheit ins Kalkül gezogen werden.

Die vorherrschende Witterung gleicht das Klima an den drei Standorten aus, wie dies die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit in 2 m Höhe an den Standorten Steinbruch und Werk zeigen (Abb. 3). Genauso geben dies die mikroklimatischen Daten wieder, welche in Abb. 7, 8 den Transpirationstagesgängen beigegeben sind. Dort ist z. B. zu sehen, daß die klimatische Situation am 30. 6., nämlich überwiegend starke Bewölkung, ein sehr ähnliches Mikroklima an den Standorten Waldlichtung (kaum belastet) und Steinbruch (belastet) ausbildet. Die Transpirationsmessungen an diesem Tag sind somit im wesentlichen vergleichbar. In Abb. 4 ist der Verlauf der Boden- und bodennahen Lufttemperatur in der Zeit vom 29. 6. bis 2. 7. 1977 am Standort Steinbruch dargestellt. Zu sehen ist vor allem, daß im Vergleich zu den anderen Meßtagen einer relativ warmen Nacht ein verhältnismäßig kühler Vormittag am 30. 6. folgt, mit einer kurzen Erwärmung vor Ausbruch eines Gewitters. Nach 14 Uhr fallen die Temperaturen rapid. In den gewitterfreien Tagen, 1. und 2. 7., kommt es wieder zu einer entsprechen-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

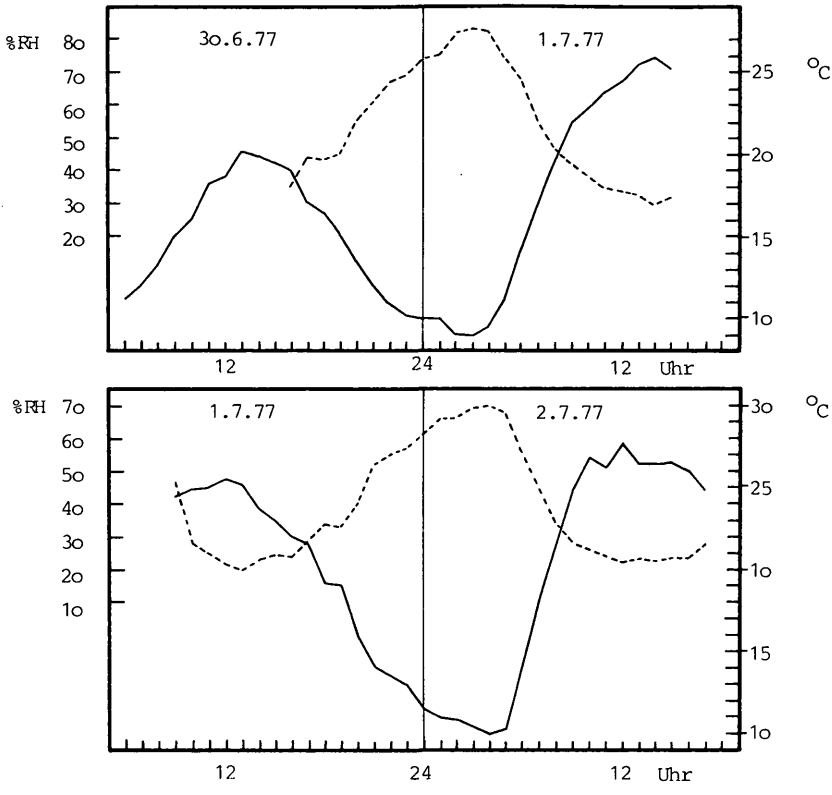


Abb. 3: Wetterhüttenklima an den Standorten Steinbruch (30. 6.–1. 7. 1977) und Werk (1. 7.–2. 7. 1977). Durchgezogene Linie: Temperatur, unterbrochene Linie: relative Luftfeuchtigkeit

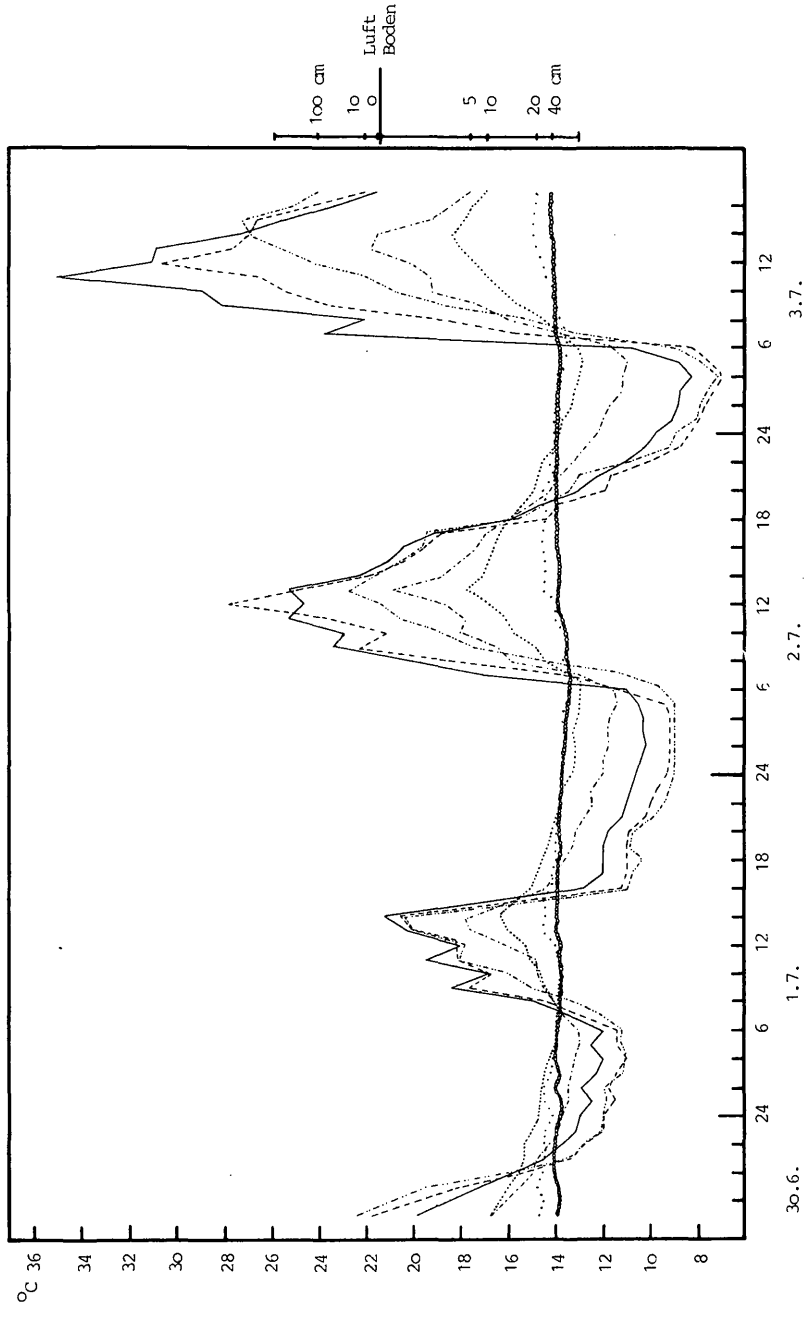
den Tageserwärmung, zugleich bedingt die nächtliche Ausstrahlung die zunehmend stärkere Abkühlung des Bodens während der Nachtstunden.

Abb. 5 gibt den Verlauf der globalen Einstrahlung an den Meßtagen am Standort Steinbruch wieder.

5.2. Die Staubbelastung der Vegetation

Wurde eingangs erwähnt, daß Zementwerke seitens der SO_2–Belastung eine untergeordnete Rolle spielen, so gilt dies nach KOFLER (1978) auch für das Gemeindegebiet, in dem das Zementwerk liegt. In seiner Luftgütekarte, veröffentlich in der „Lufthygienischen Modellstudie für das Bundesland Kärnten", wird diesem Raum die Luftgütekategorie 2 („wenig SO_2–belastet", 5.0–11.9 mg SO_3/dm^2 in 28 d im Winterhalbjahr)

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 1: Chemische Analyse der Stäube in den Abgasen des Brennofens eines Zementwerkes (1976, Durchschnittswerte)

	Rohmehl	Klinker	Ofenabgasstaub
Glühverlust	35.5	0.4	25.0
unlösl. in HCl		0.8	
SiO_2	13.6	21.5	18.4
Al_2O_3	4.1	6.0	4.8
Fe_2O_3	1.8	2.8	2.0
MnO	–	–	–
CaO	42.4	65.5	48.1
MgO	0.6	0.9	0.6
K_2O	0.64	0.8	0.7
Na_2O	0.13	0.2	0.2
Cl	0.016	0.02	Spuren
SO_3	Spuren	0.7	0.1

zugeordnet. Die Situation der Staubbelastung in derselben Studie drückt die Einstufung der Luftgüte in Kategorie 3 und 4 aus: 3 – im unverbauten Gemeindegebiet in Hang- und Tallage (arithmetisches Jahresmittel: 9.5 g/m² in 28 d), 4 – im verbauten Gemeindegebiet und im unverbauten Gelände in Tallage (arithmetisches Jahresmittel: 14.00 g/m² in 28 d; als Vergleich dazu: Kategorie 1 – im verbauten Gebiet: 4.6, im Freiland: 2.3g/m² in 28 d).

Die Abgas- bzw. Abluftstäube von Zementwerken bewegen sich in der Korngröße zwischen 0.5 und 200 µm und setzen sich nach HAGSPIEL (1971) aus Rohmaterial- bzw. Rohmehlstaub (Kalkstein-, Mergel- und Tonstaub) und CaO mit Alkaliengehalten bis zu 50% zusammen. Weiters emittieren Zementfabriken Klinker- und Zementstaub (im wesentlichen Kalziumsilikate und -aluminate), bei Kohlenfeuerung auch Kohlenstaub, die sich in erster Linie im näheren Werksbereich niederschlagen. Die durchschnittliche Zusammensetzung der in den Abgasen eines Zementbrennofens enthaltenen Stäube, deren größter Anteil in entsprechenden Entstaubungsanlagen abgeschieden wird, ist für das hier beschriebene Zementwerk aus der Tabelle 1 zu ersehen (Angaben der Werksleitung).

Zur Ausbildung der bekannten „Zementkrusten" auf den Pflanzen ist nach CZAYA (1961) bei entsprechend hoher Immission ein zweiphasiger Ablauf, der zu einer Zweischichtigkeit der Kruste führt, maßgebend. Die als Aerosol in der Luft fein verteilten, als Kondensationskerne fungierenden Staubteilchen werden, sobald sie auf Pflanzen auftreffen, durch die Transpiration (stomatäre und kutikuläre) hydratisiert, d. h. abgebunden.

Abb. 4: Verlauf der Temperatur im Boden (5–40 cm), an der Bodenoberfläche und in der Luft (10 und 100 cm) am Standort Steinbruch in der Zeit vom 29. 6. bis 2. 7. 1977

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

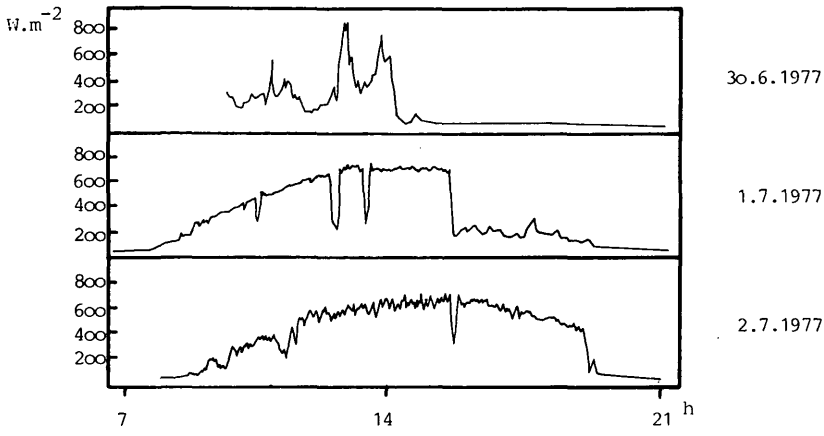


Abb. 5: Globale Einstrahlung am 30. 6., 1. 7. und 2. 7. 1977 (Steinbruch)

Eine Schichte, vornehmlich aus Kalziumsilikaten, entsteht, die nach Entfernen ein Abbild des betreffenden Pflanzenorgans wiedergibt. Die zweite Schichte der „Zementkruste" bildet sich durch die Feuchtigkeit der Atmosphäre ohne Beteiligung der Transpiration, welche die weiter anfliegenden Teilchen durch Hydratation miteinander verklebt. Voraussetzung für die Krustenbildung auf Pflanzen sind nach CZAYA (1961,

Tab. 2: Staubmengen auf Blätter bzw. Nadeln an den Standorten Waldlichtung (weniger belastet), Steinbruch (belastet), Werk (stark belastet)

Pflanze	Standort	Staubauflage mg/dm² Blattfläche	Staubauflage mg/g Blatt-trockengewicht
Picea	Waldlichtung	–	4.8
	Steinbruch	–	34.1
	Werk	–	1756.7
Pinus, junge Nadeln	Waldlichtung	–	1.6
	Steinbruch	–	8.9
	Werk	–	10.0
Pinus, alte Nadeln	Waldlichtung	–	3.5
	Steinbruch	–	19.8
	Werk	–	561.2
Cornus	Waldlichtung	0.8	1.7
	Steinbruch	8.0	12.8
	Werk	92.1	135.9
Corylus	Waldlichtung	2.3	4.7
	Steinbruch	9.8	19.1
	Werk	114.4	228.3

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

1962) deshalb: Abbindungsfähiger „Zementstaub" in feinster Verteilung, Bildung eines Aerosols in feuchter Luft und hohe Transpirationsbereitschaft der Pflanzen.

Die Stärke der Kruste ist, abgesehen von der Immissionsstärke, also auch witterungsabhängig. Bei fortdauernder trockener Witterung kann es daher durch Mangel an Wasser nur verzögert zur Krustenbildung kommen. Die Partikel können nicht verkleben und werden durch den Wind von den Pflanzen abgeblasen.

Wie die Tabelle 2 zeigt, ist die Staubbelastung von Nadelbäumen, absolut gesehen, naturgemäß höher als jene von Laubgehölzen, da Nadeln mehrere Jahre dem Baum erhalten bleiben, während der Laubbaum seine Blätter jährlich wechselt. Ein Vergleich der diesjährigen Nadeln *(Pinus)* mit etwa gleich alten Laubblättern *(Corylus, Cornus)* ergibt aber, daß Nadeln an sich schwächere Staubfänger sind als Laubblätter.

5.3. Einfluß von Staubauflagen auf die Temperatur und Strahlungsabsorption von Blättern

Absolute Temperaturbestimmungen an Blättern sind meist, sofern man sich nicht der berührungslosen Temperaturmessung bedient, mit gewissen Fehlern verbunden. Sinnvoll erscheinen daher im Freiland simultane Messungen, die in der Relation zueinander vergleichbar sind, in

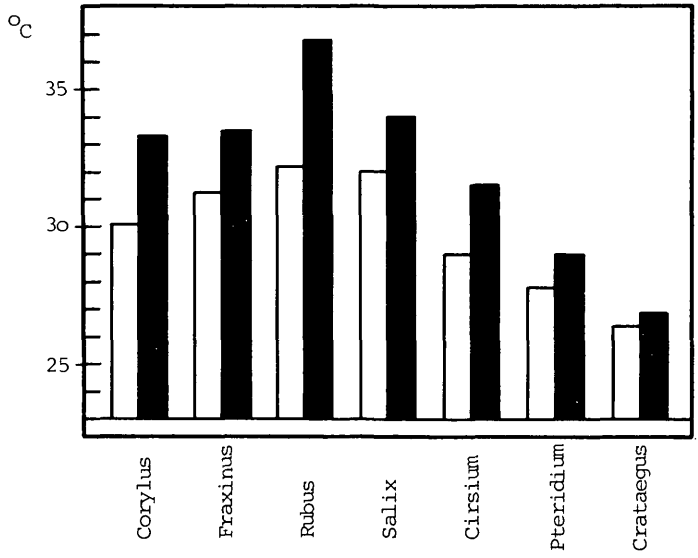


Abb. 6: Temperatur verstaubter und gereinigter Blätter (Werk); leere Blöcke: gereinigte, schwarze Blöcke: verstaubte Blätter

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

deren Absolutwert also bei beiden Messungen ein gleich hoher methodischer Fehler integriert ist. Wir verwendeten einen NTC-Fühler in einem Styroporblock, der an die Unterseite des Blattes angepreßt wurde. Die Sonnenexposition der Blätter zur Sonne betrug in jedem Falle ca. 90°. Mit einer weichen Bürste und Aqua destillata wurde der Belag soweit als möglich entfernt; Kontrollblätter wurden nur befeuchtet. Nach Abtrocknen wurde die Temperatur an der Blattunterseite bestimmt. Durchwegs haben die verstaubten Blätter, am Standort Werk gemessen, eine höhere Temperatur als die gereinigten (Abb. 6). STEUBING und KIRSCHBAUM (1976) fanden an zementbestäubten Sonnenblumen den gleichen Effekt.

Tabelle 3 zeigt an Blättern aller drei Standorte höhere Transmissionswerte des Lichtes (gemessen mit einem integrierenden Fühler zwischen ca. 400 und 1200 nm) bei gereinigten Blättern (Kontrolle). Im Mittel liegen beim Standort Werk die Transmissionswerte verstaubter Blätter um 18.2% unter denjenigen der Kontrolle, beim Standort Steinbruch um 10.8%, und beim Standort Wald noch um 4.9%.

Sehr ausführlich haben sich ELLER und seine Mitarbeiter in einer Reihe von Arbeiten (z. B. ELLER 1974, ELLER 1977a, b, ELLER und BRUNNER 1974, ELLER und WILLI 1977) mit den Temperatur- und Strahlungsverhältnissen, allerdings bei verkehrsbedingt staubbelasteten Blättern, beschäftigt. ELLER findet als Folge der Verstaubung eine stärkere Strahlungsabsorption im Bereich von 700 bis 3000 nm. Dies führt meist zur Überhitzung der Blätter. Allerdings kann bei sehr hellen Stäuben, bedingt durch eine höhere Reflexion und die damit verminderte Absorption, die Erwärmung des Blattes abgefangen werden.

Tab. 3: Transmission in % des auftreffenden Lichtes (zwischen ca. 400–1200 nm) bei verstaubten und gereinigten Blättern.

	verstaubt	gereinigt
WALDLICHTUNG		
Viburnum	21.7	22.3
Cornus	25.3	28.3
Corylus	27.1	27.9
Rhamnus	20.0	20.7
STEINBRUCH		
Cornus	19.9	21.5
Corylus	26.4	26.5
Viburnum	15.8	18.4
WERK		
Cornus	21.2	23.5
Rubus	17.5	24.8
Acer	22.7	26.8

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

5.4. Transpiration und Wassersättigungsdefizite

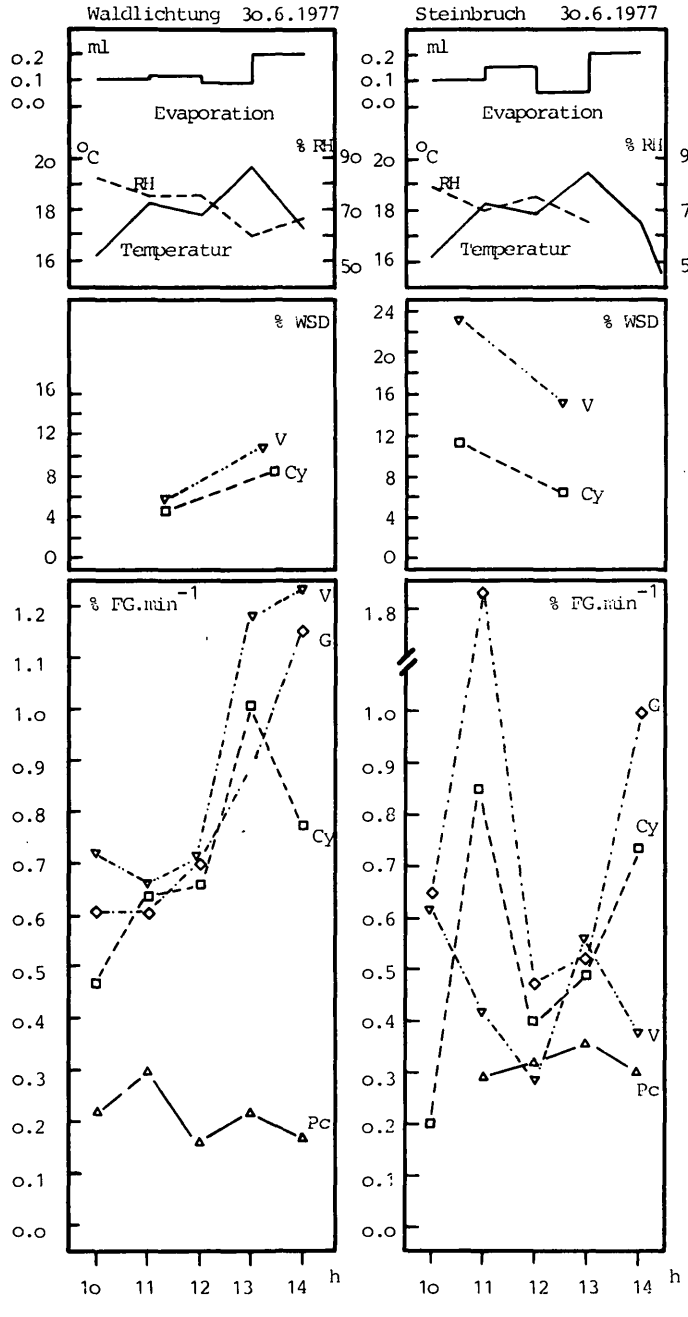
Trotz der günstigen Wasserverhältnisse im Boden durch vorangegangene Niederschläge und vergleichbarem Standortklima (siehe 5.1.) am 30. 6. ist *Corylus, Viburnum* und *Genista* am verstaubten Standort Steinbruch ein deutlich anderer Tagesverlauf der Transpiration zugrunde gelegt als auf der wenig kontaminierten Waldlichtung. Staubbelastete Pflanzen haben einen Vormittagsgipfel der Transpiration, der den Waldlichtungspflanzen fehlt (Abb. 7). Nur die Fichte ordnet sich dieser Gegebenheit nicht ein, was möglicherweise durch die relativ niedrige Transpiration an diesem Tage, die zu keinem ausgeprägten Tagesgang führt, begründet sein kann.

Am 1. und 2. 7. wurde die Transpiration verstaubter Blätter von *Cornus, Corylus* und *Picea* gemessen. Am weniger stark kontaminierten Steinbruch fällt wiederum die relativ hohe Morgentranspiration von *Corylus,* aber auch von *Cornus* auf. Jetzt hat auch die Fichte in der Wasserdampfabgabe einen deutlichen Vormittagsgipfel; ein Phänomen, das zwar bei der Fichte nicht unbekannt ist, aber doch eher als außergewöhnlich bezeichnet werden könnte, wenn man dies mit den Ergebnissen immissionsfreier Fichten bei PISEK und TRANQUILLINI (1951) vergleicht.

Was sich am Steinbruch im Tagesgang der Blatttranspiration andeutet, wird bei den stark verstaubten Pflanzen in Werknähe deutlich. Die Transpirationskurven von *Cornus, Corylus* und *Picea* werden eingipfelig, die Spitze fällt in die Vormittagsstunden (Abb. 8, 9). Der Tagesverlauf der Transpiration bleibt im wesentlichen gleich, obwohl die klimatische Situation am Nachmittag des 1. 7. (stark bewölkt) verschieden von derjenigen am 2. 7. (sonnig) war.

Die Tendenz des ansteigenden Wassersättigungsdefizites (WSD) bei *Corylus* ist einerseits auf der Waldlichtung (Abb. 7), andererseits am Standort Werk (Abb. 8, 9) gegeben – mit dem wesentlichen Unterschied, daß das WSD bei *Corylus* im wenig verstaubten Gebiet weitaus geringer als am stark belasteten Standort ist. Die Korrektur des WSD ist von der Pflanze im einen Falle durchaus möglich, im anderen nicht oder nur sehr schwer. Daß am Standort Werk tatsächlich ein Unvermögen der Korrektur und nicht ein natürlicher Verlauf des WSD vorliegt, zeigt ja die starke Transpirationseinschränkung, die keine Kompensation des WSD erreichen kann (Abb. 8. 9). Zum anderen demonstriert die Hasel am weniger verstaubten Steinbruch, daß unter den Bedingungen an diesem Standort eine Korrektur des WSD noch möglich ist: das WSD nimmt im Laufe des Tages ab (Abb. 8). *Cornus* ist im Vergleich zu *Corylus* der bessere Regulationstyp. Das WSD des Hartriegels zeigt nur bei Pflanzen der Waldlichtung zwischen den beiden Meßzeiten einen Anstieg des WSD im sicher noch unkritischen, vorläufig noch keiner Korrektur bedürfenden Bereich (Abb. 7). An den verstaubten Standorten kann das WSD während des Tages entweder aus dem relativ hohen Vormittagsdefizit im Verlaufe

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

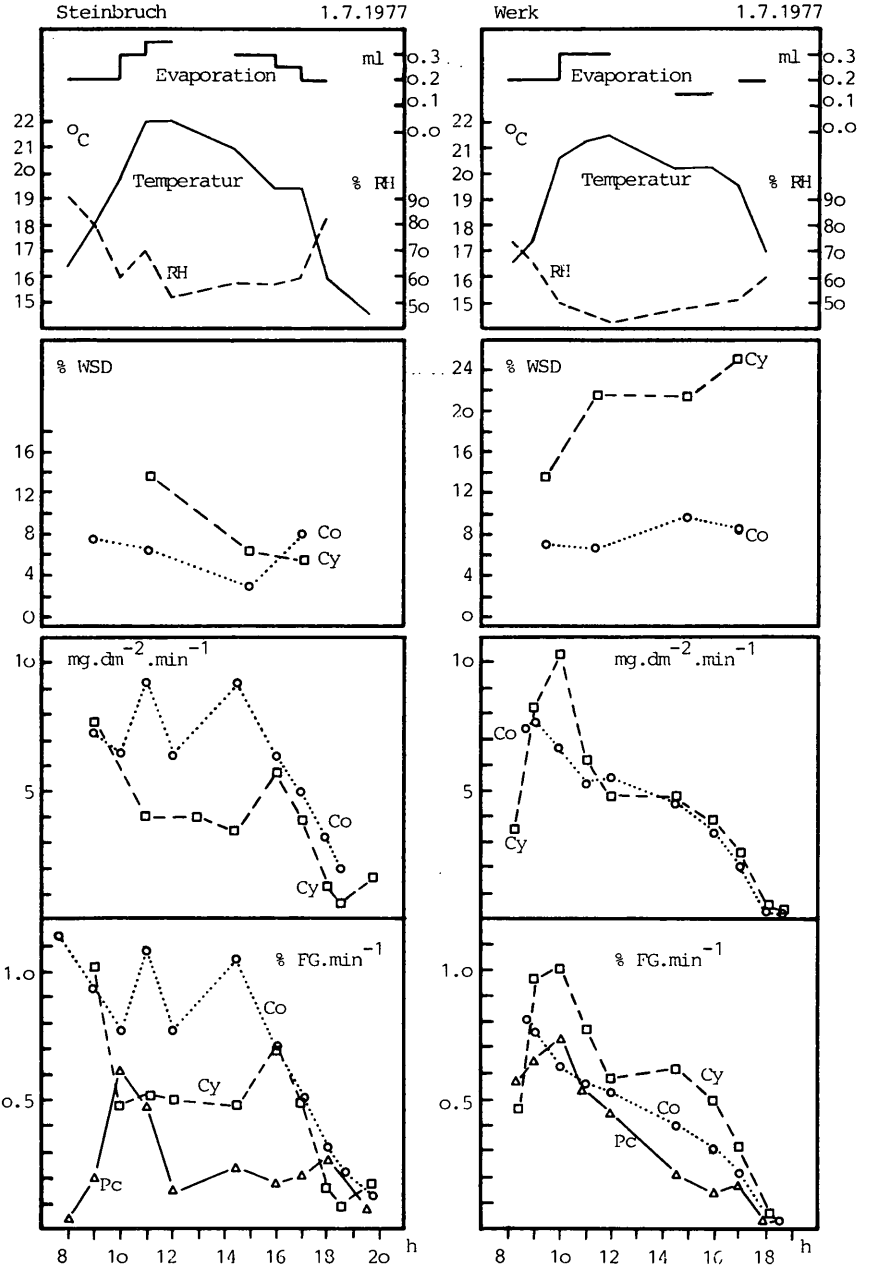
des Tages in einen niederen Bereich gedrosselt werden, oder es wird auf annähernd gleichem Niveau gehalten (Abb. 8, 9).

Der Wasserhaushalt verstaubter Pflanzen zeigt Züge der Belastung wie in Trockenzeiten (vgl. z. B. HÄRTEL 1935, HOFMANN 1936, MAIER und MAIER 1974). An den Meßtagen aber war die Wassersituation günstig, wie dies auch die Pflanzen auf der staubarmen Waldlichtung in ihrem Transpirationsverhalten ausdrücken (Abb. 7). Daher dürfte der Transpirationsverlauf bei Steinbruch- und Werkspflanzen aus einer Wirkung der Zementwerkstäube zu erklären sein. Wie es scheint, kann die Spaltenregelung bei bestaubten Blättern nicht mehr als jenes flexible Spielwerk einer unbeeinflußten Pflanze funktionieren. Die Spaltenregelung ist zwar nicht aufgehoben, dürfte aber nur mehr einer Grobregulierung gleichkommen. CZAYA's Versuche (1960, 1961, 1962) legen nahe, daß Zementstäube durch Freisetzen von OH^- eine Ätzwirkung hervorrufen, die nicht nur an der Blattoberfläche wirksam wird, sondern auch in das Blattinnere gelangt, wo es u. U. zur Zerstörung des Mesophylls kommen kann, so daß auch daraus ein Einfluß auf den Wasserhaushalt denkbar wäre. In jedem Fall bewirkt das Abbinden des Zementstaubs einen innigen Kontakt mit der Blattoberfläche; die Spaltöffnungen werden verstopft, sofern sie in „günstiger" Position zur Immissionsrichtung stehen. Als Beispiel sei auf Abb. 10 verwiesen, die einen Querschnitt einer Spaltöffnung staubfreier Nadeln von *Pinus* (Waldlichtung) bzw. verstaubter Nadeln (Werk) zeigt. FLÜCKIGER et al. (1977), die stark verstaubte Erlen und Birken an einer Autobahn untersuchten, vermuten ebenfalls, daß der gemessene niedrige Diffusionswiderstand der Blätter auf das Unvermögen der Pflanze, die verstopften Spalten zu schließen, zurückzuführen sei.

Die Infiltrationswerte geben im Normalfall zumindest grobe Anhaltspunkte für die Interpretation des Öffnungsgrades der Stomata. Ein Vergleich der Infiltrationswerte unverstaubter (Waldlichtung) und verstaubter (Steinbruch) Pflanzen am 30. 6. scheint auf eine träge Reaktion der Spalten bei verstaubten Blättern hinzudeuten; die Pflanzen auf der Waldlichtung haben eine weitaus stärkere Stomatabewegung. Im Falle zementstaubkontaminierter Blätter ist es fraglich, wie hoch man die Infiltration bewerten darf, denn es gibt bei den verstaubten Blättern keine Korrelation mit dem Transpirationsverlauf. Vorstellbar wäre, daß das Infiltrieren, durch Staubpartikel in den Stomata, einen anderen Verlauf nimmt als bei staubfreien. Dies könnte vor allem bei *Cornus* zutreffen, der noch am späten Abend nach Interpretierung der Infiltrationswerte die Spalten relativ weit offen hat (Abb. 11).

Abb. 7: Transpiration in % FG.min^{-1}, Wassersättigungsdefizit in % (WSD) sowie mikroklimatische Daten (Temperatur T, relative Luftfeuchtigkeit RH, Evaporation E) an den Standorten Waldlichtung (wenig staubkontaminiert) und Steinbruch (staubkontaminiert) am 30. 6. 1977.
Pc: *Picea*, Cy: *Corylus*, G: *Genista*, V: *Viburnum*

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Staubbelastungen der Blätter führen zu einem veränderten Strahlungs- und Temperaturklima (vgl. z. B. ELLER 1974, 1977a, b, ELLER und BRUNNER 1974, ELLER und WILLI 1977), wodurch die Größe der Transpiration verändert werden könnte. Deshalb schien es zweckmäßig, die Transpiration nach dem Tagesverlauf und nicht nach der Höhe der Wasserdampfabgabe zu diskutieren.

Wenn schon die vollständige Entfernung des Belages, ohne das Blatt zu verletzen, kaum möglich ist, so kann man sicherlich nicht erwarten, daß dadurch der Staubpfropfen in den Stomata gelöst wird. Entfernt man aber die Staubkrusten, so transpirieren die gereinigten Blätter stärker als die verschmutzten (Abb. 12). Die höhere Transpiration kann nicht als eine Temperaturwirkung erklärt werden (saubere Blätter sind kühler), sondern man könnte eventuell annehmen, daß (durch Wegfall der Staubkruste) eine erhöhte Evaporation an der Blattoberfläche auftritt. Diese Veränderung der Transpiration durch den Belag, die höhere Blattemperatur, wie die Staubpartikel, die den Stomaapparat stören, bestimmen in ihrer interaktiven Wirkung die Wasserdampfabgabe von Pflanzen, die durch Zementstäube belastet sind.

5.5. Chlorophyllgehalt

Chlorophyllbestimmungen wurden an *Cornus, Corylus, Pinus* (alte und junge Nadeln) und *Viburnum* durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abb. 13 zusammengefaßt.

Betrachtet man zunächst den Chlorophyllgehalt der untersuchten Pflanzenproben, so ist (mit Ausnahme der jungen *Pinus*-Nadeln) prinzipiell eine Zunahme mit sinkender Entfernung vom Werk zu beobachten. Stellt man die Staubauflagen der Blätter bzw. Nadeln in Rechnung (vgl. 5.2.), so wäre es wohl naheliegend, anzunehmen, daß infolge verminderten Lichtgenusses die verstaubten – bzw. mit Zementwerkstaub verkrusteten – Blätter, ähnlich „echten" Schattenblättern, mit einer Steigerung der Chlorophyllsynthese reagieren. Eine – wenngleich geringfügige – Erhöhung des Reflexions- wie auch Minderung des Absorptionsvermögens im Wellenbereich unter 700 nm wird auch von ELLER (1977) bei Straßenstaubauflagen angegeben. Die Tatsache, daß die jüngsten, noch wenig verstaubten Nadeln von *Pinus* keine derartige Tendenz zeigen, scheinen diese Annahme zu stützen. Über eine Senkung des Blattchlorophyllgehaltes und der Photosynthese bei Bohnen berichtet MAŠEK (1972) als Folge von Flugstäuben, z. B. aus Kokereien; erhöhte Werte fand MAŠEK bei Belastung der Pflanzen mit Staub aus einem Hochofen bzw. einem Stahlwerk. Das a/b-Verhältnis (das nach der Literatur bei Schattenblättern niedriger liegen sollte, vgl. EGLE 1960) ergibt eine Verminderung bei

---

Abb. 8: Transpiration in % FG.min^{-1} und mg.dm^{-2}.min^{-1}, Wassersättigungsdefizit in % *(Corylus, Cornus)* sowie mikroklimatische Daten (s. Abb. 7) an den Standorten Steinbruch und Werk am 1. 7. 1977 (Legende siehe Abb. 7; Co: *Cornus)*

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

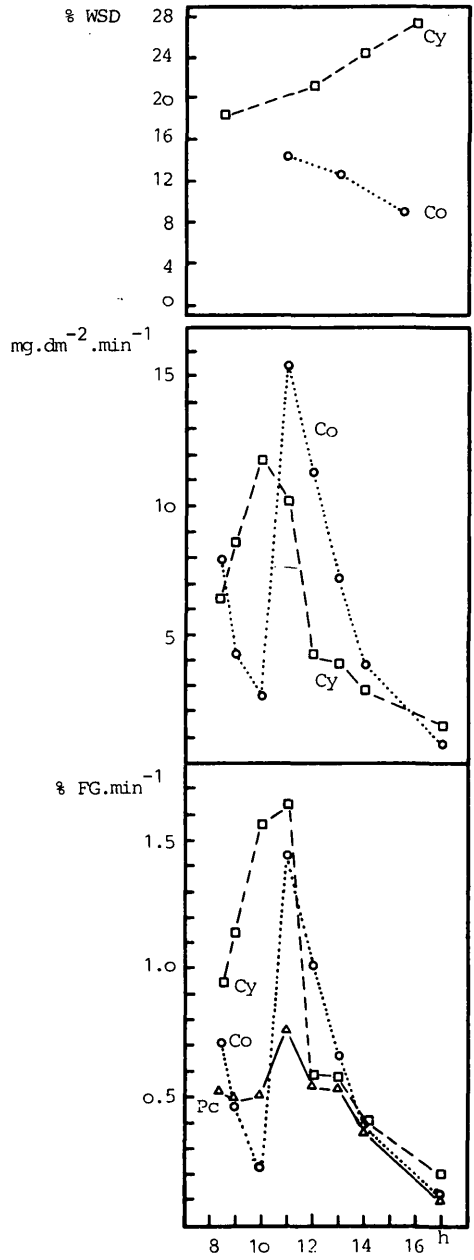


Abb. 9: Transpiration in % FG.min^{-1} und mg.dm^{-2}.min^{-1}, Wassersättigungsdefizit am Standort Werk am 2. 7. 1977 (Legende siehe Abb. 7, 8)

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

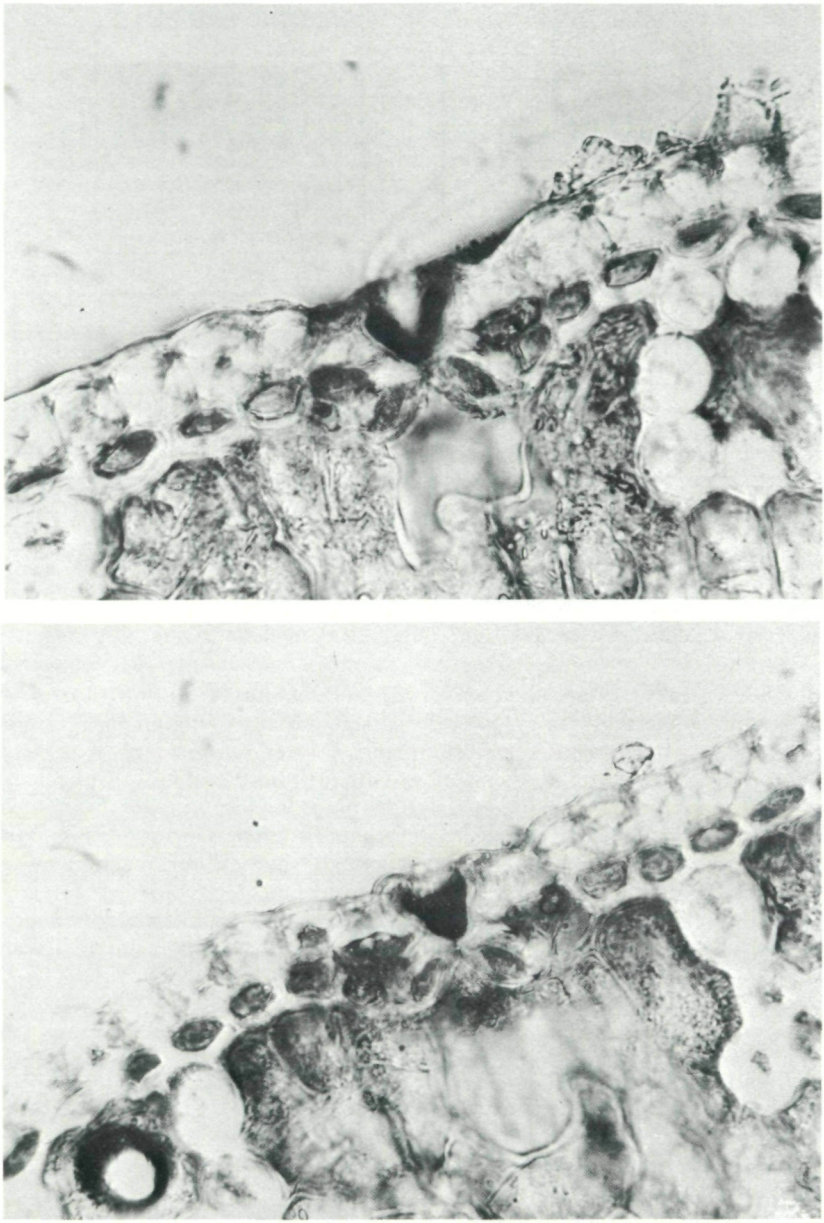


Abb. 10: Spaltöffnungen (Querschnitt) von diesjährigen *Pinus*-Nadeln. Oben: wenig belastet (Waldlichtung), unten: stark belastet (Werk; die Zementkruste wurde entfernt)

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

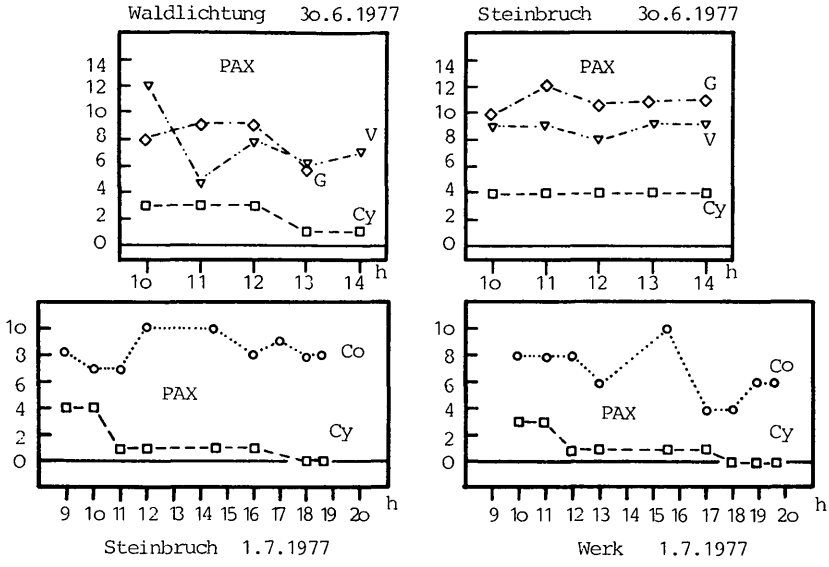


Abb. 11: Verlauf der Infiltrationssumme von Paraffin, Alkohol und Xylol bei wenig belasteten (Waldlichtung), belasteten (Steinbruch) und stark belasteten (Werk) Blättern.
Co: *Cornus*, Cy: *Corylus*, G: *Genista*, V: *Viburnum*

den werknäheren Pflanzen von *Corylus* und *Cornus* (bei *Viburnum* nicht ausgeprägt). Nadeln von *Pinus* – diesjährige wie alte – zeigten dagegen ein maximales a/b-Verhältnis am Steinbruch (in der Jahresbilanz wohl der lichtreichste Standort) und sind nicht eindeutig mit dem Chlorophyllgehalt in Beziehung zu bringen. Eine direkte Schädigung der Pigmente würde sich vermutlich gleichsinnig (d. h. in einer Verminderung von a/b-Verhältnis wie auch Chlorophyllgehalt) bemerkbar machen. Wir konnten an *Picea* und *Pinus* keine Veränderung der Chloroplasten bei bestaubten Nadeln feststellen (allerdings wurden nur Stichproben gemacht), es sei denn, die Nadeln wiesen – was nicht selten der Fall war – Pilzbefall auf (vgl. CZAYA 1960, MANNING 1971).

5.6. Die Photosynthese von *Corylus*

Die Wachstumsbeeinflussung der Pflanzen durch Stäube der Zementindustrie gibt ein äußerst widerspruchsvolles Bild (vgl. neben der eingangs erwähnten Literaturübersicht auch PAJENKAMP 1961, dazu Kommentar von GUDERIAN 1961; PRZEMECK 1970; BRANDT und RHOADES 1973). Das Ergebnis unserer Photosynthesemessungen an *Corylus* ist in Abb. 14 dargestellt.

Auf der Waldlichtung zeigt die Hasel eine deutliche Steigerung der Photosynthese bei höherer Lichtintensität, was insbesondere im Hinblick auf die günstige Wassersituation zu erwarten war. Die stark belasteten

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Pflanzen am Standort Werk hingegen zeigen kaum Photosyntheseunterschiede hinsichtlich der beiden Lichtstufen. Vergleicht man die stark belichteten Pflanzen an den beiden Standorten, so zeigen verstaubte Blätter (Werk) eine niedrigere Photosyntheserate. Eine Verminderung der Photosynthese bei zementstaubimmittierten Pflanzen ist von der Literatur her bekannt (s. GARBER 1973, LINZON 1973, STEUBING und KIRSCHBAUM 1976). Interessant aber ist die relativ hohe Photosyntheserate während der Schwachlichtmessungen stark immittierter Blätter (Werk). Sie ist nicht nur höher als bei verstaubten Blättern im Starklicht, sondern auch deutlich gesteigert gegenüber schwach belichteten unbelasteten Blättern (Waldlichtung). Eventuell ist hier daran zu denken, daß der Staub – etwa über die Temperaturbilanz der Blätter (durch Verschiebung in einen günstigeren Bereich) – die genannten Effekte bedingt.

5.7. Kalorimetrische Daten

Vergleicht man die Energiegehalte der Blätter an den einzelnen Standorten untereinander, ergibt sich folgendes Bild: Die Staubbelastung drückt sich offenbar im Energiegehalt der Blatttrockensubstanz aus, wohl am deutlichsten bei den Fichtennadeln. Im Vergleich zur Waldlichtung

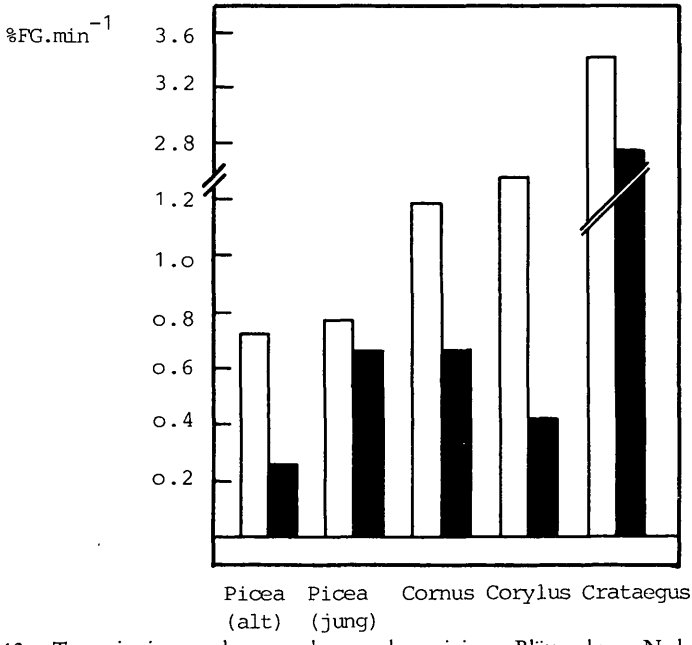


Abb. 12: Transpiration stark verstaubter und gereinigter Blätter bzw. Nadeln; leere Blöcke: gereinigte, schwarze Blöcke: mit Zementkruste bedeckte Blätter bzw. Nadeln

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

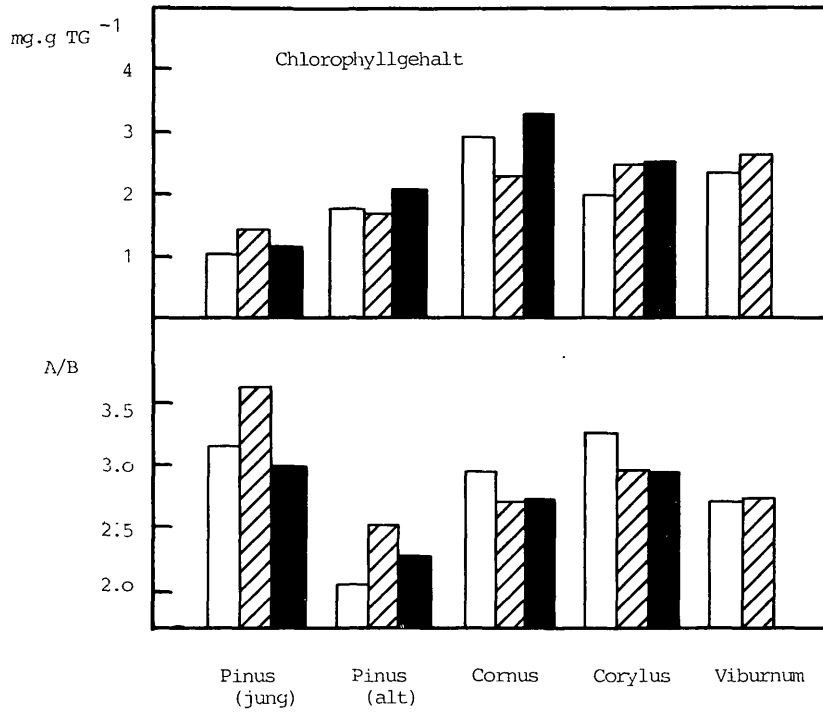


Abb. 13: Chlorophyllgehalt und a/b-Verhältnis von *Pinus, Cornus, Corylus* und *Viburnum* an den drei unterschiedlich stark immittierten Standorten; leere Blöcke: Waldlichtung, schraffierte Blöcke: Steinbruch, schwarze Blöcke: Werk

(wenig belastet) haben Nadeln am Standort „Steinbruch" (belastet) einen im Durchschnitt um 9%, am Standort „Werk" (stark belastet) sogar einen um 33% geringeren Energiegehalt. Ein durchaus ähnliches Bild zeigt sich bei den Blättern der Hasel: Blattproben vom Steinbruch haben einen im Durchschnitt um 6%, jene vom Werk einen um 14% geringeren Energiegehalt. Bemerkenswert ist also die Abstufung im Energiegehalt der pflanzlichen Trockensubstanz je nach Standort: Besitzen Blattproben vom Kontrollstandort (Waldlichtung) die jeweils höchsten Energiegehalte, so zeigen Proben vom belasteten Steinbruch bzw. vom sehr stark immittierten Standort „Werk" die relativ niedrigsten Energiegehalte. Fichtennadeln von Bäumen der Waldlichtung haben mit 4739 ±44 cal den höchsten kalorimetrischen Wert; deulich niedrigere Energiegehalte besitzen Hasel, Hartriegel, Weißdorn bzw. *Pteridium* (vgl. Abb. 15). Am Standort „Werk" haben Fichtennadeln den niedrigsten Energiegehalt aller untersuchten Proben (3130 ±98), gefolgt von Hasel (3701 ±10) und

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Adlerfarn (3894 ±46). Besonders eindrucksvoll wirkt sich die Staubbelastung bei den mehrjährigen Fichtennadeln im Energiegehalt aus. Offenbar werden hier – durch den Staubbelag bedingt – im Zusammenspiel mit den mikroklimatischen Standortsfaktoren im Zuge der Photosyntheseprozesse organische Verbindungen produziert, deren thermochemischer Kaloriengehalt geringer ist als bei Nadeln an Bäumen der unbelasteten Waldlichtung.

Wie die qualitativen Verschiebungen in der Zusammensetzung energiereicher Verbindungen an belasteten und unbelasteten Orten (mit der Einschränkung, daß hier nicht entschieden werden kann, wie weit ein eventuell unterschiedliches Mikroklima das Ergebnis mitbestimmt) ist auch die Menge an gebildeter Stärke unterschiedlich. Abb. 16 zeigt Nadelquerschnitte von *Pinus,* die zum Nachweis von Stärke in LUGOL-sche Lösung gelegt wurden. Was sich bereits bei den diesjährigen Nadeln feststellen läßt, drücken besonders deutlich die Vorjahrsnadeln aus:

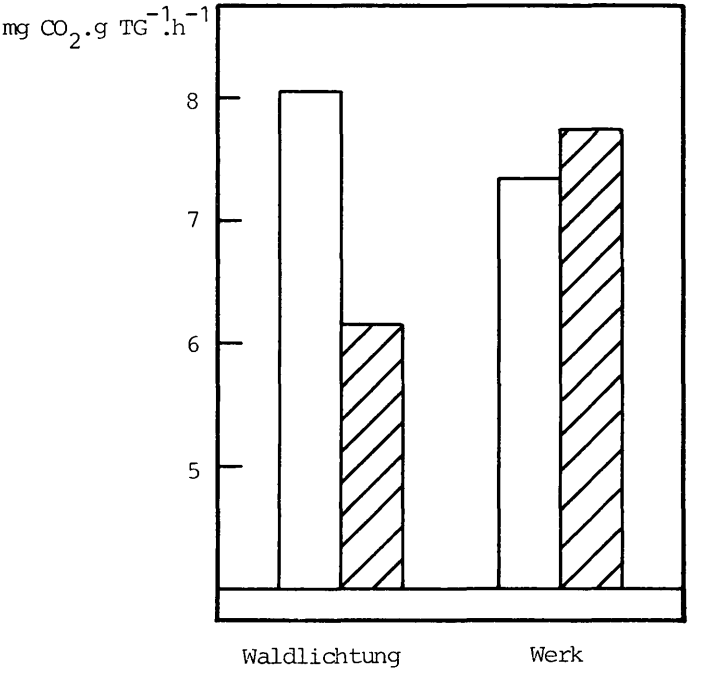


Abb. 14: *Corylus:* Photosyntheserate bei hoher und niedriger Lichtintensität von kaum belasteten (Waldlichtung) und stark belasteten (Werk) Pflanzen. Leere Blöcke: hohe Lichtintensität (700–1000 W.m^{-2}, 23–27° C), schraffierte Blöcke: niedrige Lichtintensität (90–200 W.m^{-2}, 20–23° C)

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

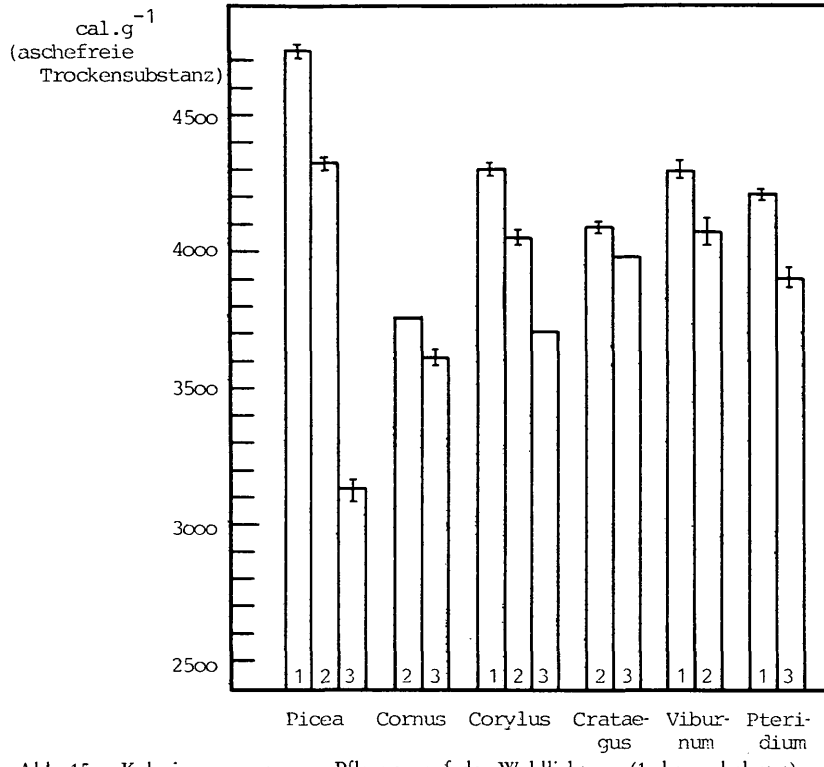


Abb. 15: Kalorimeterwerte von Pflanzen auf der Waldlichtung (1, kaum belastet), am Steinbruch (2, belastet) und beim Werk (3, stark belastet). Die eingezeichnete Abweichung gibt die Standardabweichung wieder

unbelastete Nadeln zeigen eine mehr oder weniger einheitliche, blauschwarze Färbung des Assimilationsparenchyms, belastete Nadeln eine uneinheitlich-mosaikartige, relativ schwache Blaufärbung. Ähnlich reagieren Nadeln von *Picea,* in vielen Fällen ist an den verkrusteten Nadeln der Nachweis von Stärke mit dem Auge nicht mehr registrierbar.

Laubblätter haben im Vergleich zu Nadeln nicht so deutliche energetische Einbußen; der Grund ist wohl darin zu suchen, daß diese Blätter Jahr für Jahr abgeworfen werden, sich die ständige Staubbelastung also nur während der Zeit der Belaubung stoffwechselphysiologisch bemerkbar macht. Dem Faktor „Zeit" dürfte im Hinblick auf mögliche Produktionseinbußen daher eine nicht unbedeutende Rolle zukommen.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

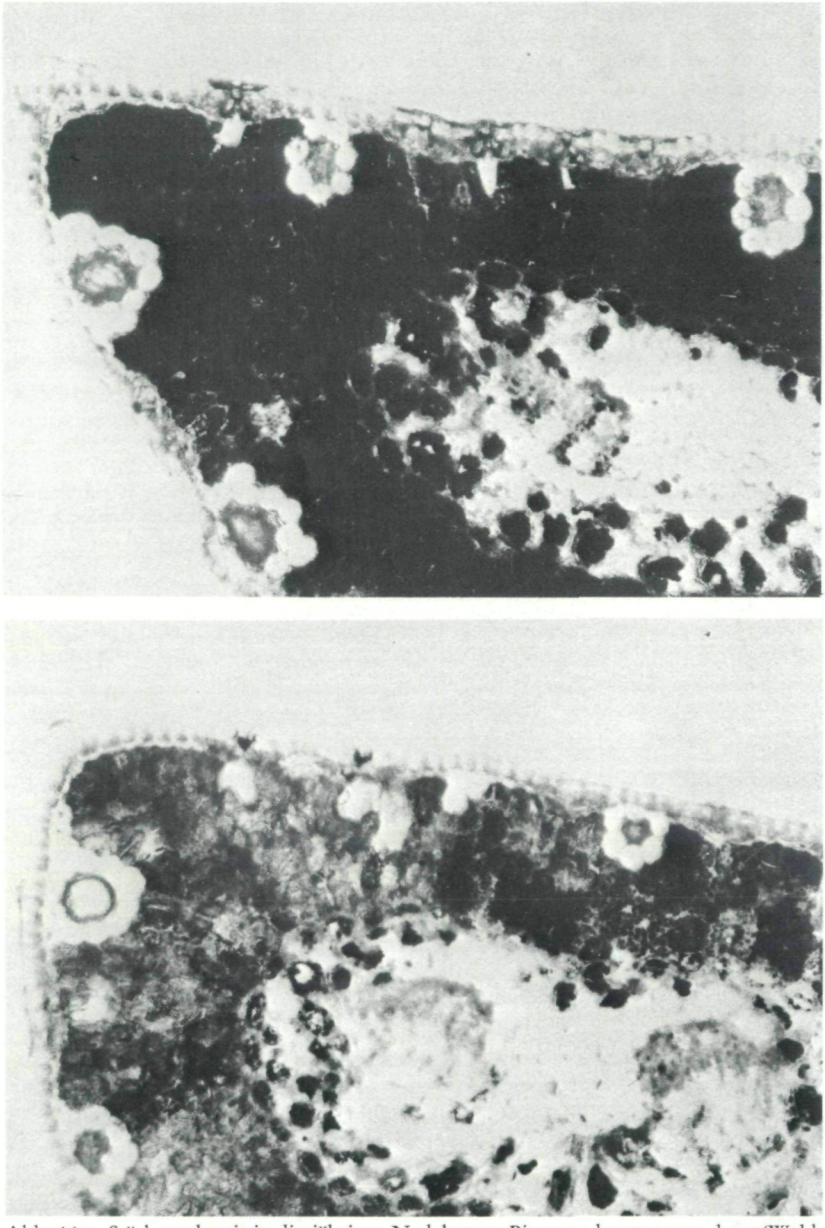


Abb. 16: Stärkenachweis in diesjährigen Nadeln von *Pinus* am kaum verstaubten (Waldlichtung; obere Abbildung) und stark belasteten (Werk; Abbildung unten) Standort

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

DANK

Für die Ermöglichung der Untersuchung sind wir den Herrn Phil. KNOCH, Dipl.-Ing. TRUMMER, Dipl.-Ing. WANKMÜLLER und Dipl.-Ing. Dr. KOZLOWSKI zu herzlichem Dank verpflichtet.

LITERATUR

BERGE, H., und JAAG, O. (1970): Handbuch der Pflanzenkrankheiten, Bd. *4:* „Die nichtparasitären Krankheiten". – Verlag Paul Parey in Berlin und Hamburg.

BRANDT, C. J., und RHOADES, R.W. (1973): Effects of limestone dust accumulation on lateral growth of forest trees. – Environ. Pollut., *4(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): Über das Problem der Zementstaubwirkung auf Pflanzen. – Staub, *22(6):*228–232.

EGLE, K. (1960): Menge und Verhältnis der Pigmente. – In: RUHLAND, Handbuch der Pflanzenphysiologie *V/1:*444–496, Springer Verlag, Berlin–Göttingen–Heidelberg.

EHRENDORFER, F. (1973): Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. – Fischer-Verlag, Stuttgart.

ELLER, B. M. (1974): Straßenstaub heizt Pflanzen auf. – Umschau *74(9):*283–284.

– (1977a): Beeinflussung der Energiebilanz von Blättern durch Straßenstaub. – Angew. Botanik *51:*9–15.

– (1977b): Road dust induced increase of leaf temperature. – Environ. Pollut. *13:*99–107.

–, und BRUNNER, U. (1974): Der Einfluß von Straßenstaub auf die Strahlungsabsorption durch Blätter. – Arch. Met. Geoph. Biokl., *Ser. B. 23:*137–146.

–, und WILLI, P. (1977): Globalstrahlungsabsorption von *Hedera helix* L. unter Straßenstaubimmissionen. – Gartenbauwissenschaft *42(2):*49–53.

FLÜCKIGER, W., FLÜCKIGER-KELLER, H., OERTLI, J. J., und 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.

GARBER, K. (1967): Luftverunreinigungen und ihre Wirkungen. – Gebr. Borntraeger, Berlin-Nikolassee.

– (1973): Luftverunreinigungen, eine Literaturübersicht. – Berichte der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen (CH-8903), Nr. 102.

GUDERIAN, R. (1961): Kommentar zu PAJENKAMP, Einwirkung des Zementofenstaubes auf Pflanzen und Tiere. – Staub *21(11):*518–519.

HÄRTEL, O. (1935): Ökologische Untersuchungen an Pflanzen des Frauensteins bei Mödling mit besonderer Berücksichtigung der hochsommerlichen Trockenzeit. – Diss. Wien.

HAGSPIEL, W. (1971): Probleme der Luftverunreinigung und Luftreinhaltung in Österreich unter besonderer Berücksichtigung der Zementindustrie. – Berg- und Hüttenmännische Monatshefte *116(9):*309–321.

HOFMANN, K. (1936): Experimentell-ökologische Untersuchungen an Pflanzen auf dem Frauenstein bei Mödling, mit besonderer Berücksichtigung der Transpiration. – Beih. Bot. Centralblatt *55A:*212–270.

HÜBL, E. (1963): Über das stomatäre Verhalten von Pflanzen verschiedener Standorte im Alpengebiet und auf Sumpfwiesen der Ebene. – Sitzungsberichte der mathemat.-naturw. Kl., Abt. I, *172 (1./2. Heft).*

KÖRNER, Ch. (1972): Theorie und Praxis der Bestimmung von Diffusionswiderständen. Magisterarbeit Innsbruck (Univ.).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

KOFLER, W. (1978): Die Luftgütekarte des Bundeslandes Kärnten. Schwefeldioxid und Staub. – In: Lufthygienische Modellstudie für das Bundesland Kärnten, Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 19.

LANGE, O. L. (1956): Zur Methodik der kolorimetrischen CO_2-Bestimmung nach ÅLVIK. – Ber. Dt. Bot. Ges. *69*:49–60.

LERMAN, S. L., und DARLEY, E. F. (1975): „Particulates" – Ch. 7 in „Responses of Plants to air pollution", ed. by MUDD, J. B., und KOZLOWSKI, T. T., Academic Press.

LINZON, S. N. (1973): Some effects of particulate matter on vegetation in Ontario. – Proceedings of the third international clean air congress, Düsseldorf: *A*:118–120.

MAIER, R., und MAIER, G. (1974): *Bulbodicum vernum* L. in Kärnten. II. Das Kleinklima sowie Untersuchungen zum Wasserhaushalt und der Temperaturresistenz in der Vegetation des Lichtblumenstandortes. – Carinthia II, *164*:259–286.

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.

MOLISCH, H. (1912): Das Offen- und Geschlossensein der Spaltöffnungen, veranschaulicht durch eine neue Methode (Infiltrationsmethode). Zeitschr. f. Bot., *4*:106–122.

PAJENKAMP, H. (1961): Einwirkung des Zementofenstaubes auf Pflanzen und Tiere. – Zement–Kalk–Gips *14(3)*:88–95.

PISEK, A., und TRANQUILLINI, W. (1951): Transpirations- und Wasserhaushalt der Fichte *(Picea excelsa)* bei zunehmender Luft- und Bodentrockenheit. – Physiol. Plant. *4*:1–27.

PRZEMECK, E. (1970): Wirkung von Zementofenstaub-Immissionen auf landwirtschaftlich genutzte Böden. – Zement–Kalk–Gips *23(3)*:119–124, zitiert nach Staub *30(9)*:404.

PUNZ, W. (1977): Stoffwechselphysiologische Untersuchungen über die Wirkung von kombinierten Umweltgiften auf Flechten. – Diss. Wien.

RAWITSCHER, F. (1955): Beobachtungen zur Methodik der Transpirationsmessungen bei Pflanzen. – Ber. Dt. Bot. Ges. *58(8)*:287–296.

SCHOPFER, P. (1970): Experimente zur Pflanzenphysiologie. – Rombach-Verlag, Freiburg.

SIEGHARDT, H. (1974): Kalorimetrische Untersuchungen zum Energiehaushalt von *Phragmites communic* Trin. und zur Energiebilanz im Röhricht des Neusiedler Sees. – Diss. Wien.

STEUBING, L., und KIRSCHBAUM, U. (1976): Immissionsbelastung der Straßenrandvegetation. – Natur und Landschaft *51(9)*:239–244.

STOCKER, O. (1929): Das Wasserdefizit von Gefäßpflanzen in verschiedenen Klimazonen. – Planta *7*:382–387.

THIEDING, F. (1970): Verbreitung, Ausbreitung und stratigraphische Einstufung neogener Rotlehme und Grobschotter in Ostkärnten (Österreich). – Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg *39*:97–116.

Anschrift der Verfasser: Univ.-Doz. Dr. Rudolf MAIER, Mag. Margarethe ALTGAYER, Mag. Dr. Wolfgang PUNZ, Mag. Dr. Christine RAMMER, Mag. Dr. Rosemarie SCHINNINGER, Dr. Helmuth SIEGHARDT, Herbert SLAD, Dr. Christine WINTER, Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, A-1010 Wien, Luegerring 1.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Carinthia II

Jahr/Year: 1979

Band/Volume: 169_89

Autor(en)/Author(s): Maier Rudolf, Punz Wolfgang, Sieghardt Helmut, Altgayer Margarethe, Rammer Christine, Schinninger Rosemarie, Slad Herbert, Winter Christine

Artikel/Article: Wasserhaushalt und Produktivität staubbelasteter Pflanzen in der Umgebung einer Zementfabrik in Kärnten (Mit 16 Abbildungen und 3 Tabellen) 167-193