

SCHRIFTENREIHE

DES VEREINS FÜR WASSER-, BODEN- UND LUFTHYGIENE
BERLIN-DAHLEM / GEGRÜNDET IM JAHRE 1902

HERAUSGEGEBEN IM AUFTRAGE DES
VEREINS FÜR WASSER-, BODEN- UND LUFTHYGIENE
VON PROF. DR. E. TIEGS

Nr. 13

Außenlufthygiene

2. Folge

Von

Dr. H. Bethge, M. Büsscher, Dr. H. Zinkernagel
Prof. Dr. A. Löbner

LU 46
0068
12



GUSTAV FISCHER VERLAG · STUTTGART

1958

03-L446 0068/2

Standort: Bibliothek 2

SCHRIFTENREIHE

DES VEREINS FÜR WASSER-, BODEN- UND LUFTHYGIENE
BERLIN-DAHLEM / GEGRÜNDET IM JAHRE 1902

HERAUSGEGEBEN IM AUFTRAGE DES
VEREINS FÜR WASSER-, BODEN- UND LUFTHYGIENE
VON PROF. DR. E. TIEGS

Nr. 13

Außenlufthygiene

2. Folge

Von

Dr. H. Bethge, M. Büsscher, Dr. H. Zinkernagel

Prof. Dr. A. Löbner

EX LIBRIS

Dr. med. Gertrud Müller
Ltd. Dir. und Prof.

* 31. 3. 1919 † 30. 4. 1980



Umweltbundesamt

Fachbibliothek
Umwelt

GUSTAV FISCHER VERLAG · STUTT GART

1958

DS 2022833

Alle Rechte vorbehalten

Copyright by Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem

Printed in Germany

Druck: A. W. Hayn's Erben, Berlin West

Spektralphotometrie und Rauchschadendiagnostik

Von

Dr. H. BETHGE

Aus dem Bundesgesundheitsamt,
Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem

Mit 2 Abbildungen im Text

Die folgenden Untersuchungen stellen eine Erweiterung und Ergänzung der in der Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Nr. 12 (1957) erschienenen Arbeit dar. Was die allgemeine Versuchsanordnung und die benutzte Apparatur anbetrifft, so muß auf die in der erwähnten Arbeit enthaltenen Angaben verwiesen werden; ebenda findet sich auch ein ausführliches Literaturverzeichnis.

Bei der Anwendung der spektralphotometrischen Methode zum Nachweis von Rauchschäden an Pflanzen handelt es sich um einen Vergleich der Extinktionskurven der Blätter von unter Umständen geschädigten Pflanzen mit den von ungeschädigten Pflanzen entnommenen Blättern. Da es in der Natur niemals zwei Individuen der gleichen Art gibt, die in allen Eigenschaften genau übereinstimmen, ist es zur Vermeidung von Fehlschlüssen unbedingt erforderlich, zunächst die Variationsbreite ungeschädigter Pflanzen festzulegen.

Zunächst mußte ermittelt werden, welchen Einfluß Meßfehler auf das Ergebnis haben. Das verwendete Spektrometer gestattet, die Durchlässigkeit einer Lösung auf ganze Skalenteile abzulesen und Zehntel zu schätzen. Ein Fehler in der Ablesung um einige Skalenteile kann bei dem Logarithmus der Extinktion — und dieser wird bei den Kurven als Ordinate verwendet — eine gewisse Abweichung bedingen, die um so größer ist, je höher die Durchlässigkeit ist. — Dabei ist zu bemerken, daß sich der Lichtzeiger, namentlich bei Beginn einer Meßreihe, erst nach einer gewissen Zeit, die 30 bis 60 Sekunden und mehr betragen kann, auf einen konstanten Wert einstellt. Ferner bewirken die unvermeidlichen Erschütterungen eine merkliche Schwankung, wodurch naturgemäß die Genauigkeit der Messung beeinträchtigt wird.

Bei der Durchführung einer Meßreihe kann man entweder nacheinander die Durchlässigkeit des Lösungsmittels für die einzelnen Wellenlängen und anschließend die entsprechenden Werte für die Chlorophylllösung feststellen; in diesem Falle muß man die prozentuale Durchlässigkeit der letzteren rechnerisch ermitteln. Oder man stellt durch Änderung des Widerstandes zunächst die Durchlässigkeit der Acetonlösung auf 100 ein und mißt dann anschließend die Durchlässigkeit der Chlorophylllösung für die gleiche Wellenlänge in Prozenten des Lösungsmittels. Abgesehen von dem Wegfall der logarithmischen Rechnung bietet die zweite Methode noch den Vorteil, daß manche Fehlerquellen in der Apparatur, wie z. B. Änderung der Lichtintensität durch geringe Abweichungen in der Zentrierung der Lampe oder durch Ermüdungserscheinungen der Photozelle, auf ein Mindestmaß herabgedrückt werden. Im Gegensatz zu den Messungen, wie sie der ersten Arbeit zugrunde lagen, wurde

im folgenden stets die zweite Methode benutzt. Im übrigen liefern beide Methoden innerhalb der unvermeidlichen Fehlergrenzen im wesentlichen dasselbe Resultat. Dies ergibt sich aus einem Versuch, bei dem die gleiche Lösung unmittelbar nacheinander auf beide Arten ausgemessen wurde. Nach der ersten Methode ergab sich für $\Delta = \log E_{590} - \log E_{535}$ ein Wert von 0,212, nach der zweiten $\Delta = 0,229$. Die Abweichung beträgt also nur 7,4 % des letzteren Wertes.

Um einen Anhaltspunkt zu haben, wie stark sich in der Praxis diese Instrument- und Meßfehler auf das Ergebnis auswirken, wurden innerhalb eines Zeitraums von 100 Minuten zehn Messungen mit derselben Lösung ausgeführt. Dabei ergaben sich für Δ nacheinander folgende Werte: 0,239; 0,243; 0,243; 0,241; 0,237; 0,249; 0,253; 0,241; 0,254; 0,254. Der Mittelwert ist 0,245, die größten Abweichungen nach oben und unten betragen in Prozenten des Mittelwertes + 3,7 % und - 3,3 %; sie sind also so gering, daß sie gegenüber den sonstigen Fehlerquellen kaum in Betracht kommen.

Nach dem LAMBERT-BEERSchen Gesetz soll die Konzentration keinen Einfluß auf die Form der Extinktionskurve, ausgedrückt durch die Größe Δ , haben. In einer Meßreihe wurde nun untersucht, welche Unterschiede die Δ -Werte bei verschiedenen Konzentrationen zeigen. Setzt man die Ausgangslösung mit 100 an, so ergibt sich folgendes:

Konzentration	100 %	80 %	67 %	55 %	49 %
Δ	0,280	0,269	0,287	0,270	0,298

Der Mittelwert von Δ ist 0,281, und die Abweichungen von diesem Wert nach oben und unten betragen + 6,1 % und - 4,3 %; die Schwankungen sind also nur gering, außerdem unregelmäßig und lassen keine Beziehung zur Konzentration der Lösung erkennen. Daher kann man das LAMBERT-BEERSche Gesetz als erfüllt ansehen. Immerhin sollte man für Vergleiche zwischen verschiedenen Meßreihen nach Möglichkeit von gleichen Konzentrationen ausgehen, da, wie eingangs schon erwähnt wurde, z. B. Ablesungsfehler bei verschiedenen Konzentrationen das Ergebnis in verschiedenem Maße beeinflussen können. In unseren Versuchsreihen wurde daher von einer Konzentration ausgegangen, die bei 640 $\mu\mu$ Wellenlänge eine Durchlässigkeit von etwa 30 % gegenüber dem Lösungsmittel aufwies.

Viel größer als die Instrument- und Meßfehler sind aber die Schwankungen, die durch das Objekt selbst bedingt sind. Schon die von verschiedenen Ästen desselben Baumes entnommenen Blattproben weisen unter Umständen erstaunlich große Differenzen auf, vor allem, wenn die Zweige in bezug auf Belichtung und Erwärmung ungleichen Bedingungen ausgesetzt sind. So waren die Süd- und die Nordwestseite eines im Institutsgarten stehenden Apfelbaumes durch andere Bäume stark beschattet, während die Äste auf der Südost- und der Westseite während mehrerer Stunden volles Sonnenlicht erhielten. Auf der Nordseite reflektierte die hohe Wand des nur wenige Meter entfernten Institutsgebäudes reichlich Licht und Wärme. Mitte August, also zu einer Zeit, in der die Krone des Baumes voll entwickelt war, wurden fünf aus gleicher Höhe, aber von verschiedenen Ästen des Baumes stammende Blattproben entnommen. Sie ergaben der Reihe nach für Δ die Werte: 0,248; 0,237; 0,164; 0,189; 0,232. Geht man von dem Durchschnittswert 0,214 aus, so betragen die größten Abweichungen + 13,8 % und - 23,4 %! Dabei war eine

direkte Beziehung zur Besonnung nicht festzustellen, so daß außerdem noch andere Ursachen, wie verschiedener Feuchtigkeitsgehalt des Bodens, Konkurrenz der Nachbarpflanzen u. a., eine maßgebliche Rolle spielen. Da der Apfel in der Praxis bei der Untersuchung von Rauchschäden eine wichtige Bedeutung hat, sollten zur Untersuchung möglichst frei stehende Bäume ausgewählt und die Blätter stets von denselben Seiten der Bäume entnommen werden! — Am gleichen Tag wurden von einem Strauch des Geißblatts (*Lonicera tatarica*) die Sonnen- und Schattenblätter untersucht. Dabei wurde im ersten Fall $\Delta = 0,186$, im zweiten $\Delta = 0,260$ gemessen, also Abweichungen vom Mittelwert 0,223 von $\pm 16,6\%$ gefunden.

Wenn schon die einzelnen Teile desselben Baumes so erhebliche Unterschiede aufweisen, dann wird das um so mehr zu erwarten sein, wenn man verschiedene Individuen derselben Art miteinander vergleicht. Für solche Untersuchungen eignet sich der Apfelbaum weniger, weil die einzelnen Sorten — es handelt sich ja um hochgezüchtete Kulturformen — recht verschiedene Ansprüche an Bodenbeschaffenheit, Feuchtigkeit, Wärme usw. stellen. Daher wurde die folgende Untersuchungsreihe an *Lonicera tatarica* durchgeführt; von der mehrere Sträucher in einer Hecke nahe beieinander standen. Es wurden bei vier Sträuchern für Δ die Werte: 0,223; 0,195; 0,249; 0,288 gefunden. Vom Mittelwert 0,239 weichen die Einzelwerte bis $+ 20,9\%$ und $- 18,4\%$ ab.

Daß man für den Nachweis von Rauchschäden nur völlig grüne Blätter verwenden soll, ist wohl selbstverständlich. Nicht nur herbstlich verfärbte Blätter ergaben erheblich kleinere Werte für Δ , sondern auch anthozyan-

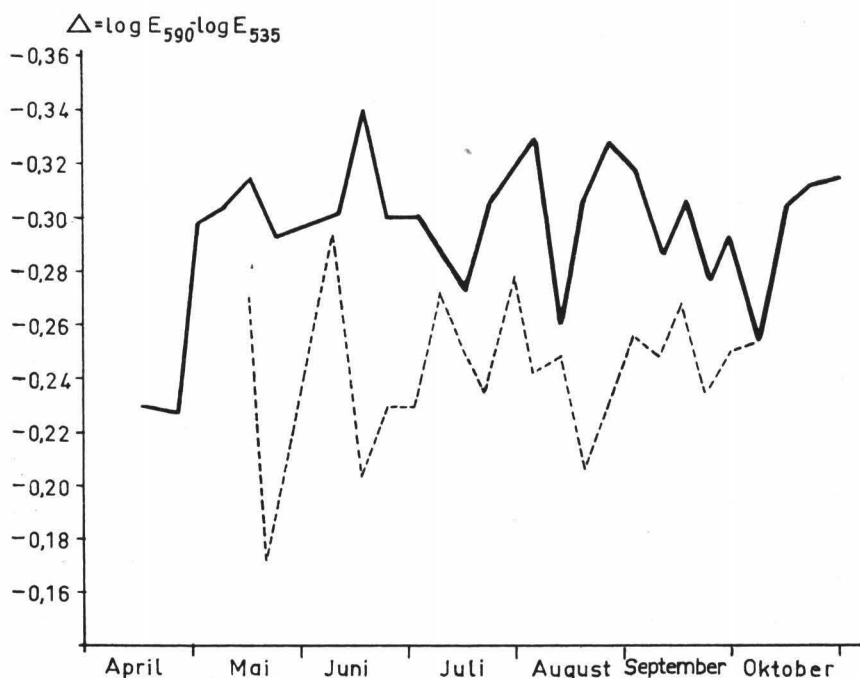


Abb. 1. Jahreszeitliche Schwankungen der Extinktionskurve (gemessen durch $\Delta = \log E_{590} - \log E_{535}$). Apfel ----; Geißblatt (*Lonicera tatarica*) —

haltige, wie bei Blutbuche, Bluthasel, Blutpflaume und anderen Ziergehölzen. Im Vorgarten des Instituts steht ein Strauch der rotblättrigen Blutpflaume (*Prunus pissardi*), bei dem einzelne Zweige in die grüne Stammform zurückgeschlagen waren. Sowohl rote als auch grüne Blätter wurden spektroskopiert. Dabei ergab sich, daß der Δ -Wert bei grünen Blättern 0,260, bei roten dagegen nur 0,186 betrug, also um 74 Einheiten der letzten Stelle, d. h. um 28,5 %, geringer war.

Bekanntlich zeigt die Form der Extinktionskurve einer Pflanze im Verlauf der Vegetationsperiode gewisse Schwankungen. Es liegt nun die Annahme nahe, daß diese Änderungen in einer gewissen Beziehung zu bestimmten klimatischen Faktoren stehen. Die Assimilation hängt ja außer von anderen Einflüssen vor allem von der Beleuchtungsstärke ab, und so wäre es denkbar, daß der Wert von Δ sich mit der Sonnenscheindauer ändert. Um diese Frage zu entscheiden, wurden im Jahre 1957 während der Vegetationszeit in kürzeren Abständen Proben vom Apfel und Geißblatt entnommen, selbstverständlich jedesmal von der gleichen Seite des Baumes bzw. Strauches. Wie aus Abb. 1 zu entnehmen ist, sind die Schwankungen der Δ -Werte recht unregelmäßig. Im übrigen unterscheiden sich beide Pflanzen auch in der Länge ihrer Vegetationsperiode. Während *Lonicera tatarica* bereits im März ihre Laubblätter entwickelt, lassen sich beim Apfel geeignete Blattproben erst im Mai entnehmen. Im übrigen weisen die ganz jungen, noch nicht ausgereiften Blätter so stark abweichende Extinktionskurven auf, daß sie für die Rauchschadendiagnostik nicht zu verwenden sind und daher in der Abb. 1 nicht auftreten.

Aus der Kurve ist ersichtlich, daß die Δ -Werte bei *Lonicera* durchweg höher liegen als beim Apfel. In der folgenden Übersicht sind die Durchschnittswerte für die gesamte Vegetationsdauer, sowie die größten Abweichungen nach oben und unten zusammengestellt.

Pflanze	Durchschnittswert von Δ für die ganze Vegetationsperiode	Größte Abweichung nach oben in %	Größte Abweichung nach unten in %
Geißblatt	0,295	+ 18,6	— 22,4
Apfel	0,244	+ 24,2	— 29,5

Demnach weist der Apfel noch bedeutendere Schwankungen auf als das Geißblatt. — Aus Abb. 1 ist ferner ersichtlich, daß die Kurven für beide Pflanzen erst im September einigermaßen parallel verlaufen, also zu einer Zeit, in der keine neuen Blätter mehr gebildet werden. Während der Sommermonate, in denen noch nicht alle Blätter völlig entwickelt sind, verhalten sich die Blätter beider Pflanzen offenbar verschieden gegenüber denselben meteorologischen Einflüssen. Damit hängt wohl auch die verschiedene Länge der Vegetationsdauer zusammen, die bei *Lonicera* sieben Monate beträgt, beim Apfel dagegen nur fünf; die erstgenannte Pflanze entwickelt nämlich nicht nur ihre Laubblätter früher, sondern behält auch ihre grüne Farbe im Herbst länger. Erst mit dem Einsetzen einer auch dem bloßen Auge deutlichen Verfärbung sinkt der Wert für Δ sprunghaft. Konnte am 29. Oktober bei *Lonicera* noch $\Delta = 0,257$ gemessen werden, so war der Wert eine Woche später auf 0,050 zurückgegangen.

Wie schon mehrfach betont wurde, ist es für die Feststellung eines Rauchschadens wichtig, möglichst viele Pflanzenarten zu untersuchen. Dabei ist es zunächst notwendig, die Werte für Δ bei ungeschädigten Pflanzen festzustellen. Zu diesem Zwecke wurden die Extinktionskurven von 63 verschiedenen Pflanzen in der Zeit von Mitte August bis Anfang November 1957 bestimmt. Natürlich wurden nur Pflanzen mit völlig grünen Blättern berücksichtigt, die noch keine Anzeichen einer Herbstverfärbung erkennen ließen. Die zuletzt untersuchten Pflanzen waren naturgemäß Nadelhölzer oder immergrüne Sträucher. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in der folgenden Übersicht zusammengestellt, wobei die Pflanzen nach steigenden Werten für Δ angeordnet sind.

Name der Pflanze		Tag der Probe- entnahme	Δ
<i>Lactuca sativa</i>	Kopfsalat	22. 8.	0,211
<i>Picea pungens</i>	Blaufichte	14. 11.	0,212
<i>Fragaria vesca</i>	Gartenerdbeere	22. 8.	0,218
<i>Juglans regia</i>	Walnuß	20. 9.	0,219
<i>Lycopersicum esculentum</i>	Tomate	21. 8.	0,223
<i>Betula pendula</i>	Birke	24. 9.	0,230
<i>Rosa canina</i>	Hundsrose	26. 9.	0,232
<i>Tilia platyphyllos</i>	Linde	16. 8.	0,233
<i>Malus domestica</i>	Apfelbaum	15. 8.	0,241
<i>Cornus alba</i>	Hartriegel	20. 8.	0,242
<i>Abies alba</i>	Edeltanne	29. 10.	0,245
<i>Juniperus communis</i>	Wacholder	15. 11.	0,246
<i>Dryopteris filix mas</i>	Wurmfarn	13. 9.	0,250
<i>Crataegus monogyna</i>	Weißdorn	4. 10.	0,250
<i>Calystegia sepium</i>	Zaunwinde	16. 8.	0,251
<i>Tsuga americana</i>	Schierlingstanne	29. 10.	0,253
<i>Euphorbia peplus</i>	Wolfsmilch	22. 8.	0,255
<i>Picea abies</i>	Fichte	1. 11.	0,257
<i>Thuja occidentalis</i>	Lebensbaum	7. 11.	0 257
<i>Taxus baccata</i>	Eibe	31. 10.	0,260
<i>Polygonum cuspidatum</i>	Knöterich	4. 10.	0,262
<i>Taraxacum officinale</i>	Löwenzahn	22. 8.	0,268
<i>Philadelphus coronarius</i>	Pfeifenstrauch	12. 9.	0,268
<i>Phaseolus coccineus</i>	Feuerbohne	17. 9.	0,268
<i>Ribes uva-crispa</i>	Stachelbeere	4. 10.	0,268
<i>Pinus strobus</i>	Weymouthskiefer	1. 11.	0,268
<i>Juniperus sabina</i>	Sadebaum	12. 11.	0,268
<i>Pyrus sativa</i>	Birnbaum	20. 8.	0,269
<i>Rheum rhubarbarum</i>	Rhabarber	19. 9.	0,269
<i>Vitis amurensis</i>	Amur-Rebe	10. 10.	0,269
<i>Aesculus hippocastanum</i>	Roßkastanie	15. 8.	0,273
<i>Plantago major</i>	Wegerich	26. 9.	0,275
<i>Rubus idaeus</i>	Himbeere	20. 9.	0,277
<i>Bergenia cordifolia</i>	Bergenie	17. 10.	0,278

Name der Pflanze		Tag der Probe-entnahme	Δ
<i>Prunus avium</i>	Süßkirsche	17. 9.	0,280
<i>Bryonia alba</i>	Zaunrübe	27. 9.	0,283
<i>Apium graveolens</i>	Sellerie	24. 9.	0,284
<i>Clematis vitalba</i>	Waldrebe	27. 9.	0,284
<i>Galinsoga parviflora</i>	Knopfkraut	1. 10.	0,286
<i>Trifolium pratense</i>	Wiesenklees	22. 8.	0,287
<i>Vitis vinifera</i>	Weinstock	12. 9.	0,287
<i>Ulmus campestris</i>	Feldulme	13. 9.	0,287
<i>Geranium pusillum</i>	Storachschnabel	11. 10.	0,287
<i>Acer platanoides</i>	Spitzahorn	16. 8.	0,288
<i>Sambucus niger</i>	Holunder	20. 8.	0,288
<i>Solanum nigrum</i>	Nachtschatten	20. 8.	0,288
<i>Urtica dioica</i>	Brennnessel	20. 8.	0,291
<i>Fraxinus excelsior</i>	Esche	16. 8.	0,294
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	Akazie	15. 10.	0,298
<i>Begonia burchellii</i>	Begonie	22. 10.	0,305
<i>Prunus domestica</i>	Pflaumenbaum	13. 9.	0,306
<i>Lonicera tatarica</i>	Geißblatt	15. 8.	0,311
<i>Ailanthus glandulosa</i>	Götterbaum	12. 9.	0,311
<i>Solidago canadensis</i>	Goldrute	11. 10.	0,311
<i>Tropaeolum majus</i>	Kapuzinerkresse	10. 10.	0,312
<i>Buxus sempervirens</i>	Buchsbaum	7. 11.	0,313
<i>Impatiens parviflora</i>	Springkraut	11. 10.	0,318
<i>Ligustrum vulgare</i>	Liguster	18. 10.	0,318
<i>Ribes rubrum</i>	Johannisbeere	16. 8.	0,324
<i>Aegopodium podagraria</i>	Giersch	18. 10.	0,324
<i>Cucurbita pepo</i>	Kürbis	15. 8.	0,325
<i>Chenopodium album</i>	Melde	3. 10.	0,338
<i>Malva neglecta</i>	Wegmalve	18. 10.	0,342

Im Durchschnitt dieser 63 Pflanzen ergab sich für Δ ein Wert von 0,275. Der größte Wert war 0,340, lag also um 24,4 % über dem Durchschnitt, während der niedrigste mit 0,211 um 23,3 % vom Durchschnitt abwich.

Die Abbildung 2 zeigt, wie sich die Zahl der Pflanzen auf die einzelnen Werte von Δ verteilt. Man erkennt deutlich das Häufigkeitsmaximum zwischen den Δ -Werten von 0,240 bis 0,320. Zwischen diesen Grenzen liegen die Δ -Werte von 50 unter den untersuchten 63 Pflanzen, d. h. fast 80 %. Nach beiden Seiten fällt die Kurve mehr oder minder steil ab.

Die Zusammensetzung des Chlorophylls dürfte bei allen höheren Pflanzen die gleiche sein, jedenfalls sind die Abweichungen von dem Durchschnittswert nicht größer als die Schwankungen bei ein und demselben Individuum während der Vegetationsperiode. Ferner besteht keine Beziehung zwischen den Δ -Werten und der systematischen Verwandtschaft der einzelnen Pflanzen!

Schon aus der Abbildung 1 geht hervor, daß entgegen früheren Ansichten eine durchgreifende Veränderung der Extinktionskurve gegen den Herbst hin nicht eintritt, solange die Blätter völlig grün bleiben. Um nun fest-

zustellen, ob diese Tatsache allgemein zutrifft, wurden 20 der in der Übersicht S. 7 aufgeführten Pflanzen nach etwa zwei Wochen nochmals untersucht. Dabei ergab sich, daß elfmal die früheren, neunmal die späteren Δ -Werte überwogen. Es war also keine allgemeine Abnahme oder Zunahme nachweisbar, sondern es verhalten sich die einzelnen Pflanzen in dieser Hinsicht verschieden. — Nun ist allerdings die Zahl der Messungen noch zu gering, um daraus weitgehende Folgerungen abzuleiten, und die Ergebnisse dieser Arbeit sind daher nur als vorläufig zu betrachten. Immerhin geben sie für die Praxis einige wichtige Hinweise.

Wegen der mannigfachen Fehlerquellen und der großen Variationsbreite der Pflanzen sollten bei Rauchschadenuntersuchungen von den einzelnen in

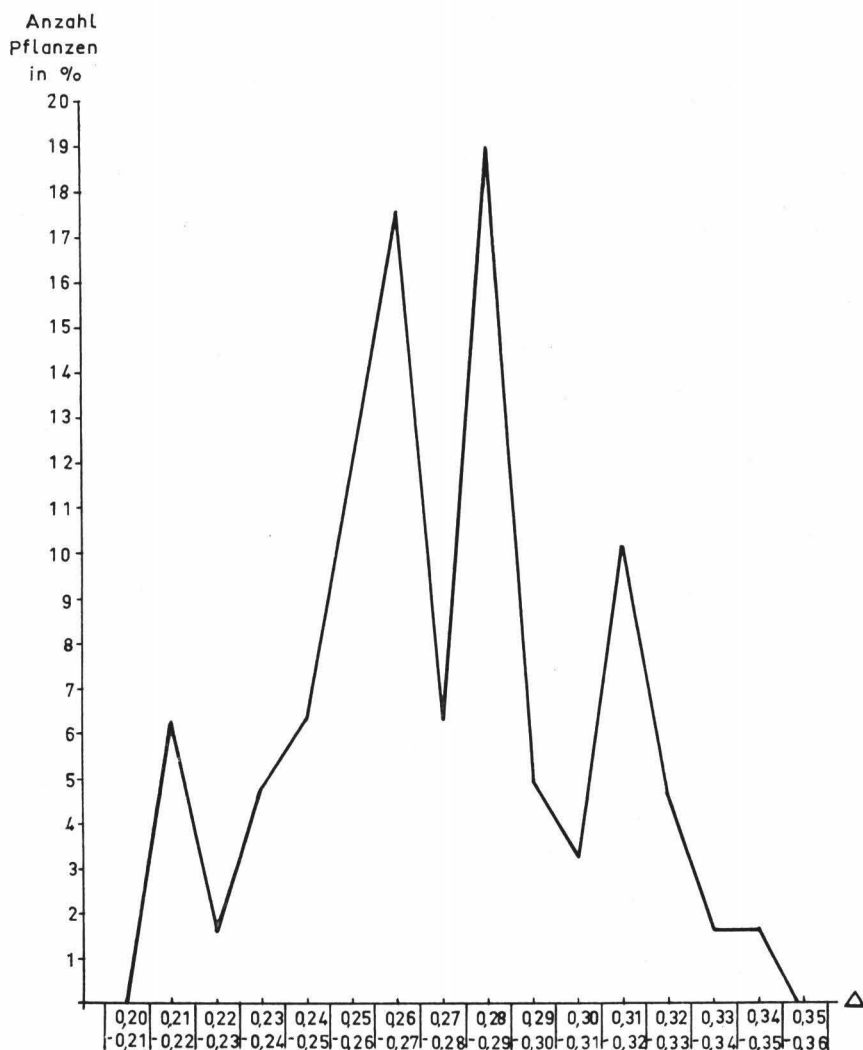


Abb. 2. Häufigkeitsverteilung auf die verschiedenen Werte von Δ in Prozenten der untersuchten Pflanzenarten.

Frage kommenden Pflanzen mehrere (etwa fünf) über die Vegetationszeit möglichst gleichmäßig verteilte Δ -Werte ermittelt und aus ihnen der Durchschnittswert errechnet werden. Dabei sind die Blätter von der gleichen Pflanze und möglichst von demselben Ast zu entnehmen. Frei stehende Pflanzen sind den teilweise beschatteten vorzuziehen. Die gleichzeitig zu untersuchenden Kontrollpflanzen sollen unter möglichst gleichen klimatischen Bedingungen stehen und gleiche Bodenbeschaffenheit aufweisen, d. h. also räumlich nicht zu weit von dem Rauchschadengebiet entfernt sein. Die gemessenen Δ -Werte werden auf zwei Stellen hinter dem Komma abgerundet. Weichen nun die Mittelwerte der beiden Meßreihen um weniger als 5 Einheiten der letzten Stelle ab, so ist daraus allein noch kein sicherer Beweis für Rauchschädigung erbracht. Erst wenn in dem fraglichen Gebiet der Δ -Wert um 5 Einheiten oder mehr unter dem im rauchfreien Gebiet ermittelten Wert liegt, ist auf Rauchschaden um so sicherer zu schließen, je größer diese Differenz ist.

Wählt man für solche Untersuchungen mehrere Pflanzenarten aus, so ist zu beachten, daß die Variationsbreite nicht für alle Arten die gleiche ist. Hier sollen weitere Untersuchungen einsetzen, um die auch bei unbeeinflussten Pflanzen im Lauf der Vegetationsperiode möglichen Schwankungen genauer festzulegen.

Zusammenfassung

1. Instrument- und Ablesefehler beeinflussen das Ergebnis im allgemeinen nur in sehr geringem Maße, verglichen mit anderen Fehlerquellen.

2. Wenn auch für die Chlorophylllösung das LAMBERT-BEERSche Gesetz gilt, so sollte bei einem Vergleich verschiedener Meßreihen doch von gleichen Konzentrationen (gemessen durch den prozentualen Wert der Durchlässigkeit gegenüber dem reinen Lösungsmittel bei einer bestimmten Wellenlänge) ausgegangen werden.

3. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Extinktionskurve, gemessen durch den Wert $\Delta = \log E_{590} - \log E_{535}$, sind bei Apfel und Geißblatt (*Lonicera tatarica*) recht beträchtlich. Die größten Abweichungen von dem jeweiligen Mittelwert nach oben und unten betragen beim Apfel + 24,2 % und - 29,5 %, beim Geißblatt + 18,6 % und - 22,4 %, wenn man $\log E$ auf drei Stellen berechnet.

4. Die Extinktionskurven verschiedener Pflanzen weisen erhebliche Unterschiede auf. Bei etwa 80 % der untersuchten Pflanzen liegt der Wert von Δ zwischen 0,240 und 0,320. Dabei besteht keine Beziehung zwischen der Größe Δ und der systematischen Verwandtschaft der einzelnen Pflanzen.

5. Die von verschiedenen Ästen eines Baumes entnommenen Blätter können recht verschiedene Werte für Δ ergeben. Bei Vergleichsproben sollten daher möglichst frei stehende Pflanzen gewählt und die Proben stets von der gleichen Seite der Bäume bzw. Sträucher entnommen werden.

6. Wegen der großen Variationsbreite der Pflanzen sollte bei Rauchschadenuntersuchungen der Wert von Δ auf zwei Stellen hinter dem Komma abgerundet werden. Auf Rauchschaden kann erst mit einiger Sicherheit geschlossen werden, wenn der Δ -Wert der rauchschadenverdächtigen Pflanze um mindestens fünf Einheiten der zweiten Stelle niedriger ist als bei der unter gleichen Boden- und Klimabedingungen stehenden Kontrollpflanze der gleichen Art.

Frau M. BÜSSCHER hat mich auch diesmal wieder in gewohnter Weise unterstützt, wofür ich ihr zu besonderem Dank verpflichtet bin.

Spektralphotometrischer Nachweis von Säureschäden an Pflanzen

Von

M. BÜSSCHER

Aus dem Bundesgesundheitsamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
in Berlin-Dahlem

Mit 1 Abbildung im Text

Mit der in letzter Zeit erfolgten verstärkten Industrialisierung gewinnt erneut die Rauchschadenfrage an Bedeutung. Das erhellt auch aus den vielen Klagen der Anlieger von Fabriken über Vegetationsschäden, die ein volkswirtschaftlich wichtiges Problem geworden sind. — Zum Nachweis solcher Schäden können die verschiedensten Methoden angewendet werden. Da die Ortsbesichtigung, so unentbehrlich sie an sich ist, nur mehr oder weniger subjektive Feststellungen gestattet, sucht man diese Beobachtungen durch chemische, physikalische und botanische Untersuchungen im Laboratorium zu ergänzen, um bestimmte Zahlenwerte zu erhalten. Eine dieser Methoden zur Feststellung von Rauchschäden ist die spektroskopische Untersuchung von säurebeeinflussten Pflanzen, die im folgenden besprochen wird.

Die auffallendste Veränderung in der Pflanzenzelle bei Säureeinwirkung ist die Umwandlung des Chlorophylls in Phäophytin, wobei das Blattgrün einen braunen Farbton annimmt. Bei starker Schädigung läßt sich der Farbumschlag schon mit bloßem Auge erkennen, während zum Nachweis geringerer Verfärbungen das Spektralphotometer dient. — Die benutzte Apparatur ist in einer früheren Veröffentlichung (2) beschrieben worden. — Ein säurebeeinflusstes Chlorophyll zeigt charakteristische Veränderungen im Spektrum, nämlich verstärkte Absorption im Grün und Aufhellung im Gelb. Im Spektralphotometer wird die relative Durchlässigkeit D des Chlorophylls, ausgedrückt in Bruchteilen der Durchlässigkeit des Lösungsmittels (Aceton), gemessen, und zwar genügt für unsere Zwecke der Wellenbereich von $640\text{ }\mu\mu$ bis $500\text{ }\mu\mu$. Daraus werden die Werte für den Logarithmus der Extinktion E berechnet¹⁾. Stellt man die Abhängigkeit dieser Werte von der Wellenlänge graphisch dar, so haben diese Kurven bei verschiedenen Konzentrationen der Chlorophylllösung annähernd die gleiche Form und laufen daher weitgehend parallel. Zur Charakterisierung der Kurven wird die Größe Δ benutzt. Sie ist definiert durch die Gleichung: $\Delta = \log E\ 590\text{ }\mu\mu - \log E\ 535\text{ }\mu\mu$. Die Abnahme gegenüber dem Normalwert kann als Maß für den Grad der Säureschädigung betrachtet werden.

Für die Feststellung von Rauchschäden sind besonders Pflanzen geeignet, deren spektrometrische Meßergebnisse bei niedriger Konzentration des anfallenden Abgases bereits Abweichungen vom normalen Chlorophyll zeigen. In dieser Arbeit wurde die Empfindlichkeit verschiedener Pflanzenarten gegen-

1) Nähere Erläuterung siehe (2).

über Salzsäure untersucht. Zunächst wurde das Chlorophyllspektrum frischer, unbeeinflusster Blätter bestimmt¹⁾, darauf die Chlorophylllösung mit Salzsäure in verschiedenen Konzentrationen versetzt und wiederum spektroskopiert. Als Ausgangslösung diente stets ein Chlorophyllextrakt, dessen Durchlässigkeit bei $640 \mu\mu$ $3/10$ des Lösungsmittels Aceton betrug. Die Untersuchungen erstreckten sich vom Sommer bis Herbst 1957. Es handelte sich dabei um mehr als 60 Pflanzen der verschiedensten Familien, sowohl um angebaute Nutz- und Zierpflanzen als auch um vom Menschen unbeeinflusste Wildpflanzen. Sie stammten sämtlich aus rauchfreiem Gebiet.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt, die eine Übersicht über die Empfindlichkeit der Pflanzen gibt.

Die Zahlenwerte sind errechnet aus der Differenz Δ_A (unbeeinflusstes Chlorophyll) — Δ_B (geschädigtes Chlorophyll). Zur Erläuterung sei auf Abbildung 1 (S. 17) verwiesen.

Es handelt sich hierbei um Meßergebnisse zweier Untersuchungsreihen von Wurmfarb (*Dryopteris filix mas*); Kurve A bezieht sich auf normales Chlorophyll, Kurve B auf säureverändertes. Nun ist, wie bereits erwähnt, die Größe $\Delta = \log E 590 \mu\mu - \log E 535 \mu\mu$, also für Kurve A: $-0,883 - (-1,133) = +0,250$, für Kurve B: $-1,027 - (-0,947) = -0,080$. Die Differenz zwischen ΔA und ΔB beträgt also $+0,330$. Der Deutlichkeit halber sind in Tabelle 1 alle errechneten Differenzen mit 1000 multipliziert. Wir werden diese Zahlen im folgenden stets „Differenzwerte“ nennen. Je größer sie sind, um so stärker ist die Phäophytinbildung und damit die Schädigung.

Nach obigen Berechnungen lassen sich die Pflanzen in bezug auf ihre Resistenz gegen Salzsäure in drei Gruppen einteilen, die durch Übergänge verbunden sind: a) wenig empfindlich, b) normal empfindlich, c) stark empfindlich.

Als normal resistent werden die Pflanzen bezeichnet, deren Differenzwert bei einem Salzsäuregehalt der Chlorophylllösung von 0,0047 % (Tabelle 1) über 50 Einheiten der letzten Stelle liegt. Dieser Wert ist gewählt worden, weil zahlreiche Messungen unbeeinflusster Chlorophyllösungen ergeben haben, daß schon normale Lösungen Abweichungen des Δ -Wertes bis zu 50 Einheiten aufweisen können, also erst Meßergebnisse über 50 Einheiten der letzten Stelle Rückschlüsse auf gewisse Schädigungen zulassen. — Die weitaus meisten Pflanzen können als normal empfindlich bezeichnet werden. Sie gehören den verschiedensten Familien an und betragen in unserem Falle $2/3$ der Gesamtzahl der untersuchten Arten. In der Tabelle 1 sind sie in die Empfindlichkeitsgruppe b) eingereiht.

Ergibt sich erst bei stärkeren Säurekonzentrationen ein Differenzwert über 50, so bezeichnen wir die Pflanzen als wenig empfindlich. Sie stehen in Gruppe a) und sind mit 19 % der Gesamtzahl vertreten. Von ihnen heben sich noch fünf als besonders unempfindlich heraus. Es sind dies: *Rheum rhaponticum*, *Prunus domestica*, *Begonia burchellii*, *Sambucus nigra* und *Lactuca sativa*. Diese zeigen erst bei den drei stärksten von uns angewendeten Konzentrationen Schädigungen. Bemerkenswert ist, daß sich die Mehrzahl dieser Pflanzen durch einen niedrigen pH-Wert des Zellsaftes auszeichnet (17).

¹⁾ Aus grünen Blättern wird durch Verreiben der Blattsubstanz im Porzellanmörser mit Quarzsand und gepulverter Kreide ein Brei hergestellt, der mit Aceton ausgelaugt, filtriert und nötigenfalls noch verdünnt wird.

Tabelle 1

Differenzwerte = Δ unbeeinflusstes Chlorophyll minus Δ geschädigtes Chlorophyll.

Datum	Pflanzen	HCl-Gehalt der Chlorophylllösung in %							Empfindlichkeits- gruppe
		0,0012	0,0024	0,0047	0,0071	0,0094	0,012	0,024	
	<i>Polypodiaceae</i>								
13. 9.	<i>Dryopteris filix mas</i> Schott (Gemeiner Wurmfarne)			2	85	330			a
	<i>Taxaceae</i>								
31. 10.	<i>Taxus baccata</i> L. (Beeren-Eibe)			0	145	374			a
	<i>Pinaceae</i>								
29. 10.	<i>Tsuga americana</i> Farw. (Kanadische Schierlingstanne)		—34	77	246	359			b
29. 10.	<i>Abies alba</i> Mill. (Weiß-Tanne)		—37	133	227	307			b
1. 11.	<i>Picea abies</i> Karst. (Gemeine Fichte)		20	150	290	340			b
14. 11.	<i>Picea pungens</i> Engelm. (Blaufichte, Stechfichte)		36	225	331	340			b
1. 11.	<i>Pinus strobus</i> L. (Weymouths-Kiefer)		43	239	258	339			b
	<i>Cupressaceae</i>								
7. 11.	<i>Thuja occidentalis</i> L. (Abendländischer Lebensbaum)		4	113	280	303			b
15. 11.	<i>Juniperus communis</i> L. (Gemeiner Wacholder)	—32	82	305	340	341			c
12. 11.	<i>Juniperus sabina</i> L. (Sadebaum)		0	257	387	416			b
	<i>Betulaceae</i>								
24. 9.	<i>Betula pendula</i> Roth (Hängebirke)		21	301	343	366			b
	<i>Juglandaceae</i>								
20. 9.	<i>Juglans regia</i> L. (Echte Walnuß)		0	137	192	309			b
	<i>Ulmaceae</i>								
13. 9.	<i>Ulmus carpinifolia</i> Gled. (Feld-Ulme)	— 4	128	314	390	396			c
	<i>Urticaceae</i>								
6. 9.	<i>Urtica dioica</i> L. (Große Brennessel)		21	64	189	383		414	b
	<i>Polygonaceae</i>								
19. 9.	<i>Rheum rhaponticum</i> L. (Rhabarber)					15	310	383	a
4. 10.	<i>Polygonum cuspidatum</i> Sieb. et Zucc. (Spieß-Knöterich)	3	46	264	322	386			b
	<i>Chenopodiaceae</i>								
3. 10.	<i>Chenopodium album</i> L. (Weißer Gänsefuß)			23	131	291		456	a

Tabelle 1 (1. Fortsetzung)

Datum	Pflanzen	HCl-Gehalt der Chlorophylllösung in %							Empfindlichkeits- gruppe
		0,0012	0,0024	0,0047	0,0071	0,0094	0,012	0,024	
27. 9.	<i>Ranunculaceae</i> <i>Clematis vitalba</i> L. (Weiße Waldrebe)		28	314	368	407			b
12. 9.	<i>Saxifragaceae</i> <i>Philadelphus coronarius</i> L. (Großer Pfeifenstrauch)		18	130	285	351			b
4. 10.	<i>Ribes uva-crispa</i> L. (Stachelbeere)		—20	254	343	366			b
5. 9.	<i>Ribes aureum</i> Pursh (Gold-Johannisbeere)		33	65	383	436			b
17. 10.	<i>Bergenia cordifolia</i> A. Br. (Bergenie)		—23	198	336	400			b
6. 9.	<i>Rosaceae</i> <i>Pyrus communis</i> subsp. <i>sativa</i> Aschers. et Graebn. (Garten-Birnbaum)			16	172	272	380	417	a
27. 8.	<i>Malus silvestris</i> subsp. <i>mitis</i> Mansf. (Garten-Apfelbaum)		—18	51	104	326		355	b
4. 10.	<i>Crataegus monogyna</i> L. (Eingrifflicher Weißdorn)	5	75	213	354	365			c
20. 9.	<i>Rubus idaeus</i> L. (Himbeere)	18	55	259	361	361			c
6. 9.	<i>Fragaria virginiana</i> Duch. (Garten-Erdbeere)			11	111	316		329	a
26. 9.	<i>Rosa canina</i> L. (Hecken-Rose)		—27	90	243	329			b
17. 9.	<i>Prunus avinum</i> L. (Süß-Kirsche)		16	76	351	348			b
13. 9.	<i>Prunus domestica</i> L. (Pflaume)				—20	35		224	a
6. 9.	<i>Papilionaceae</i> <i>Trifolium pratense</i> L. (Rot-Klee)		18	134	402	414			b
15. 10.	<i>Robinia pseudo-acacia</i> L. (Weiße Robinie)	7	133	347	376	429			c
17. 9.	<i>Phaseolus coccineus</i> L. (Feuer-Bohne)		—12	254	372	392			b
11. 10.	<i>Geraniaceae</i> <i>Geranium pusillum</i> L. (Kleiner Storchschnabel)	0	44	247	391	423			b
10. 10.	<i>Tropaeolaceae</i> <i>Tropaeolum majus</i> L. (Große Kapuzinerkresse)		4	222	408	463			b
12. 9.	<i>Simaroubaceae</i> <i>Ailanthus glandulosa</i> Desf. (Götterbaum)		23	63	328	381			b
10. 9.	<i>Euphorbiaceae</i> <i>Euphorbia peplus</i> L. (Garten-Wolfsmilch)			43	242		395		a

Tabelle 1 (2. Fortsetzung)

Datum	Pflanzen	HCl-Gehalt der Chlorophylllösung in ‰							Empfind- lichkeits- prüfung
		0,0012	0,0024	0,0047	0,0071	0,0094	0,012	0,024	
7. 11.	<i>Buxaceae</i> <i>Buxus sempervirens</i> L. (Immergrüner Buchsbaum)			20	300	484			a
3. 9.	<i>Aceraceae</i> <i>Acer platanoides</i> L. (Spitz-Ahorn)		38	178	342	379			b
3. 9.	<i>Hippocastanaceae</i> <i>Aesculus hippo-</i> <i>castanum</i> L. (Gemeine Roßkastanie)		4	77	352	375			b
11. 10.	<i>Balsaminaceae</i> <i>Impatiens parviflora</i> DC. (Kleines Springkraut)		27	263	391	435			b
12. 9.	<i>Vitaceae</i> <i>Vitis vinifera</i> L. (Edler Weinstock)		36	119	295	387			b
11. 10.	<i>Vitis amurensis</i> Rupr. (Amur-Rebe)		—18	105	349	387			b
5. 9.	<i>Tiliaceae</i> <i>Tilia platyphyllos</i> Scop. (Sommer-Linde)		32	79	324	400			b
18. 10.	<i>Malvaceae</i> <i>Malva neglecta</i> Wallr. (Weg-Malve)		—14	150	342	381			b
22. 10.	<i>Begoniaceae</i> <i>Begonia burchellii</i> (Begonie)				—12	281	409		a
24. 9.	<i>Umbelliferae</i> <i>Apium graveolens</i> L. (Küchen-Sellerie)		—4	260	374	393			b
18. 10.	<i>Aegopodium</i> <i>podagraria</i> L. (Zaun-Giersch)	—19	86	332	376	422			c
17. 9.	<i>Cornaceae</i> <i>Cornus alba</i> L. (Weißer Hartriegel)	36	66	298	357	357			c
3. 9.	<i>Oleaceae</i> <i>Fraxinus excelsior</i> L. (Gemeine Esche)		17	174	400	465			b
18. 10.	<i>Ligustrum vulgare</i> L. (Gemeiner Liguster)	31	159	336	345	398			c
5. 9.	<i>Convolvulaceae</i> <i>Calystegia sepium</i> R. Br. (Ufer-Zaunweide)		—16	54	109	331	399		b
5. 9.	<i>Solanaceae</i> <i>Solanum nigrum</i> L. (Schwarzer Nachtschatten)		11	259	335	408			b
6. 9.	<i>Solanum lycopersicum</i> L. (Speise-Tomate)		45	146	260	310	374	403	b

Tabelle 1 (3. Fortsetzung)

Datum	Pflanzen	HCl-Gehalt der Chlorophylllösung in ‰							Empfindlichkeits- gruppe
		0,0012	0,0024	0,0047	0,0071	0,0094	0,012	0,024	
26. 9.	<i>Plantaginaceae</i> <i>Plantago major</i> L. (Großer Wegerich)		— 6	224	371	365			b
5. 9.	<i>Caprifoliaceae</i> <i>Sambucus nigra</i> L. (Schwarzer Hollunder)				21	274	399	450	a
27. 8.	<i>Lonicera tatarica</i> L. (Tatarische Heckenkirsche)		33	68	260	407		459	b
27. 9.	<i>Cucurbitaceae</i> <i>Bryonia alba</i> L. (Weiße Zaunrube)	— 5	25	225	229	394			b
3. 9.	<i>Cucurbita pepo</i> L. (Flaschen-Kürbis)	21	85	106	344	415			c
11. 10.	<i>Compositae</i> <i>Solidago canadensis</i> L. (Kanadische Goldrute)		20	291	365	369			b
1. 10.	<i>Galinsoga parviflora</i> Cavan. (Wenigblütiges Knopf- kraut)		32	295	316	409			b
6. 9.	<i>Taraxacum officinale</i> Web. (Gemeine Kuhblume)		0	53	243	274	333	394	b
10. 9.	<i>Lactuca sativa</i> L. (Grüner Salat)				21		157	377	a

Erläuterungen siehe Text.

Zur Gruppe c) = stark empfindlich zählen wir Arten, bei denen Differenzwerte über 50 sich schon bei schwachen Salzsäurezusätzen ergaben. Es sind dies ungefähr 14 ‰ der untersuchten Pflanzen. Zu ihnen gehören: *Juniperus communis*, *Ulmus carpinifolia*, *Crataegus monogyna*, *Rubus idaeus*, *Robinia pseudo-acacia*, *Aegopodium podagraria*, *Cornus alba*, *Ligustrum vulgare* und *Cucurbita pepo*. Noch bei 0,0024 ‰ Salzsäuregehalt der Chlorophylllösung zeigen sie eine deutliche Schädigung, die erst bei 0,0012 ‰ HCl-Gehalt abklingt¹⁾. Die Pflanzen dieser Gruppe dürften sich daher besonders als Indikatorpflanzen bei Rauchschadenuntersuchungen eignen. Bemerkenswert ist, daß *Ulmus*, *Robinia*, *Crataegus* und *Liguster*, die in Großstädten als Straßenbäume bzw. Heckenpflanzen sehr beliebt sind, eine so erhebliche Empfindlichkeit aufweisen. Es deutet darauf hin, daß der Gehalt der Großstadtluft an Salzsäure im allgemeinen unterhalb der Schädlichkeitsgrenze liegt.

Zur Prüfung, ob die Säurewirkung auf Chlorophyll sich im Laufe längerer Einwirkungszeit verstärkt, wurden drei Meßreihen angesetzt mit je einer Vergleichslösung und vier Chlorophyllextrakten mit abgestuften Salzsäurezusätzen. Als Versuchspflanze diente *Rosa canina*. Die erste Serie ist sofort photometriert worden, die beiden anderen wurden in verschlossenen Reagenzgläsern dunkel aufbewahrt und nach einem bzw. fünf Tagen untersucht. Tabelle 2 bringt das Ergebnis in Differenzzahlen. Schon nach einem Tag Reak-

¹⁾ Andere Autoren geben die spektroskopisch nachweisbare Grenze eines schädigenden Einflusses von Salzsäure auf das Chlorophyll mit 0,001 ‰ an.

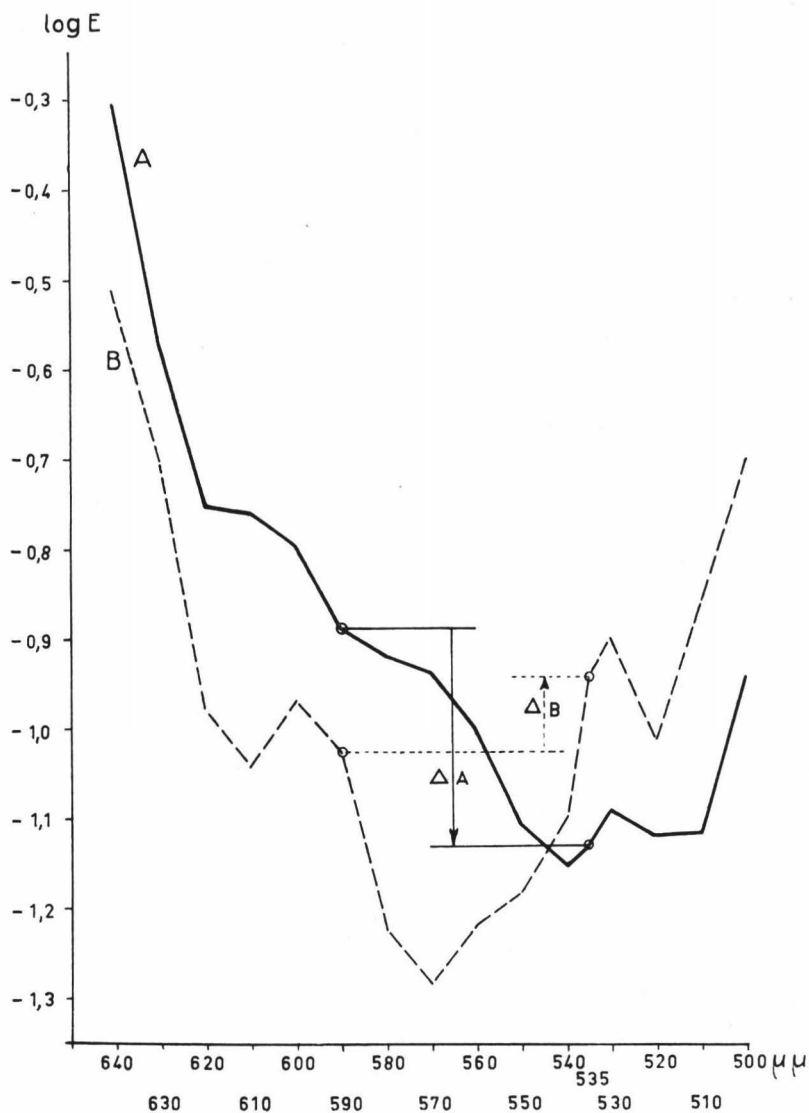


Abb. 1.

tionszeit war eine verstärkte Säurewirkung nachweisbar, die sich nach fünf Tagen noch etwas steigerte¹⁾.

In anderen Versuchsreihen wurde der Frage nachgegangen, ob die Schadenswirkung von Salzsäure umgekehrt proportional der Konzentration der Chlorophylllösung ist. Zu diesem Zweck sind die Extrakte dreier Pflanzen jeweils in zwei verschiedenen Konzentrationen mit gleichen Säurezusätzen photometriert worden; die stärkere ist mit 1, die schwächere in Bruchteilen der

¹⁾ E. M. BURSCHKE (5) stellte bei HF-Zusatz zu Chlorophylllösung nach drei Stunden Einwirkungszeit erhöhte Werte fest.

ersten angegeben. Wie vorauszusehen war, nimmt die schädigende Wirkung der Salzsäure mit erhöhter Verdünnung der Chlorophylllösung zu, allerdings ohne daß eine einfache mathematische Beziehung zwischen Konzentration und Schädigung besteht (siehe Tabelle 3).

Nach unseren Beobachtungen darf für spektroskopische Messungen die Durchlässigkeit der Chlorophyllextrakte nicht zu groß sein, weil sonst die Erkennung der Phäophytinbande und -aufhellung erschwert oder sogar unmöglich gemacht wird. Es ist daher ratsam, bei allen Rauchschadenuntersuchungen von einer mittleren Konzentration auszugehen.

Tabelle 2
Rosa canina, 26. 9. 1957

untersucht nach:	HCl-Gehalt der Chlorophylllösung in ‰			
	0,0024	0,0047	0,0071	0,0094
0 Tagen	— 0,027	+ 0,090	+ 0,243	+ 0,329
1 Tag	± 0,000	+ 0,401	+ 0,414	+ 0,413
5 Tagen	— 0,020	+ 0,415	+ 0,415	+ 0,423

Salzsäurewirkung auf Chlorophyllösungen nach verschieden langer Reaktionszeit. Die Zahlen geben die Differenzwerte an:

Δ unbeeinflusstes Chlorophyll — Δ geschädigtes Chlorophyll.

Tabelle 3
Lonicera tatarica, 1. 10. 1957

	HCl-Gehalt der Chlorophylllösung in ‰			
	0,0024	0,0047	0,0071	0,0094
Konzentration 1	+ 0,012	+ 0,042	+ 0,131	+ 0,270
Konzentration 1/2	+ 0,015	+ 0,245	+ 0,295	+ 0,417

Clematis vitalba, 27. 9. 1957

	HCl-Gehalt der Chlorophylllösung in ‰			
	0,0024	0,0047	0,0071	0,0094
Konzentration 1	+ 0,003	+ 0,153	+ 0,259	+ 0,315
Konzentration 2/3	+ 0,028	+ 0,314	+ 0,368	+ 0,407

Galinsoga parviflora, 1. 10. 1957

	HCl-Gehalt der Chlorophylllösung in ‰			
	0,0024	0,0047	0,0071	0,0094
Konzentration 1	— 0,028	+ 0,157	+ 0,281	+ 0,310
Konzentration 2/3	+ 0,032	+ 0,295	+ 0,316	+ 0,409

Salzsäurewirkung auf Chlorophyllösungen verschieden starker Konzentrationen. Differenzwerte = Δ unbeeinflusstes Chlorophyll — Δ geschädigtes Chlorophyll.

Die in der vorliegenden Arbeit erhaltenen Zahlenwerte sind die Ergebnisse von Laboratoriumsuntersuchungen, bei denen Chlorophylllösungen in Aceton benutzt wurden. In der lebenden Pflanze ist das Chlorophyll in den Zellen eingeschlossen und der Zutritt säurehaltiger Abgase nur durch die Zellwände und das lebende Zytoplasma möglich. Die Phäophytinbildung ist daher gegenüber den Laboratoriumsversuchen erheblich erschwert. Andererseits sind die Pflanzen in der freien Natur eine wesentlich längere Zeit den Säurewirkungen ausgesetzt, so daß also auch unterschwellige Reize im Laufe der Zeit sich summieren und eine merkbare Schädigung auslösen können. Es sind daher die vorliegenden Ergebnisse nur bedingt auf die natürlichen Verhältnisse übertragbar. Im Verein mit anderen Feststellungen geben sie aber gewisse Anhaltspunkte für die Beurteilung von Rauchschäden.

Zusammenfassung

1. Es wurden Chlorophyllextrakte in Aceton von über 60 Pflanzen hergestellt und mit und ohne Salzsäurezusätze verschiedener Konzentrationen spektralphotometrisch untersucht. Die Formveränderungen der Extinktionskurven von unbeeinflussten gegenüber geschädigten Chlorophyllösungen wurden festgestellt.

2. Die Pflanzen lassen sich nach ihrer verschiedenen Empfindlichkeit gegen Salzsäure in drei Gruppen einteilen. Während die große Mehrzahl ($\frac{2}{3}$) eine mittlere Resistenz aufweist, zeigten sich 19 % merklich widerstandsfähiger. Im Gegensatz dazu wurden 14 % schon durch geringere Säurezusätze geschädigt.

3. Die Stärke der Schädigung nimmt mit der Dauer der Einwirkungszeit zu.

4. Bei Zusatz gleicher Säuremengen spielt die Konzentration der Chlorophylllösung eine wichtige Rolle. Die Wirkung der Säuren ist naturgemäß um so größer, je verdünnter die Lösung ist. Einfache mathematische Beziehungen zwischen beiden lassen sich indessen nicht feststellen.

5. Bei sehr schwachen Konzentrationen sind die Durchlässigkeitsunterschiede zwischen geschädigten und ungeschädigten Chlorophyllösungen zu gering, während zu starke Konzentrationen nicht den natürlichen Verhältnissen entsprechen. Daher geht man am besten bei vergleichenden Meßreihen von einer mittleren Konzentration aus, die bei 640 $\mu\mu$ eine Durchlässigkeit von etwa 30 % gegenüber dem Lösungsmittel aufweist.

Literatur

1. BETHGE, H.: Beiträge zur Frage der Empfindlichkeit von Blättern gegen schweflige Säure. Kleine Mitteil. f. d. Mitgl. d. Ver. für Wasser-, Boden- u. Lufthygiene¹⁾ 6 (1930), Nr. 7/10, 224—226.
2. — —: Spektralphotometrische Untersuchungen rauchgeschädigter Pflanzen. Schriftenreihe d. Vereins für Wasser-, Boden- u. Lufthygiene, 1957, Nr. 12, 3—22.
3. BLEASDALE, J. K. A.: Atmospheric pollution and plant growth (Atmosphärische Verunreinigung und Pflanzenwachstum). Nature 169 (1952), 376—377.
4. BOBBROW, R. A.: The effect of smog on the anatomy of oat leaves (Die Wirkung von Smog auf die Anatomie von Haferblättern). Phytopathology 42 (1952), 558—563.

¹⁾ Im folgenden abgekürzt: Kleine Mitt.

5. BURSCH, E. M.: Vegetationsschäden durch Fluor. Schriftenreihe d. Vereins für Wasser-, Boden- u. Lufthygiene, 1956, Nr. 10, 39—83.
6. DÖRRIES, W.: Sind Fleckenbildungen und Verfärbungen an Blattorganen für Rauchwirkung charakteristisch? *Kleine Mitt.* 8 (1932), Nr. 7/11, 181—188.
7. — —: Über ein Laubblattspektroskop. *Ber. d. Dtsch. Bot. Ges.* 50 (1932), H. 2, 47—53.
8. — —: Über die Brauchbarkeit der spektroskopischen Phäophytinprobe in der Rauchschadendiagnostik. *Z. f. Pflanzenkrankh. u. Pflanzenschutz* 42 (1932), 257—273.
9. DRINKER, PH.: Air pollution and the public health (Luftverunreinigung und die öffentliche Gesundheit). *Journ. of the Royal Inst. of Public Health and Hygiene* 20 (1957), Nr. 9, 307—316.
10. EGLE, K.: Rauchgasschäden an Kulturpflanzen. *Mitt. d. Vereinigg. d. Großkesselbesitzer* 46 (1957), 11—12.
11. HEILMEYER, L.: Medizinische Spektroskopie. Verlag G. Fischer, Jena, 1933.
12. HELLER, A.: Verfahren zur Untersuchung der Außenluft und deren Bedeutung für die Lufthygiene. (Vortrag, gehalten auf der Küssinger Tagung der Deutschen Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie am 29. April 1955.) *Schriftenreihe d. Vereins für Wasser-, Boden- u. Lufthygiene*, 1956, Nr. 10, 27—38.
13. LANGE, BR.: Die Photoelemente und ihre Anwendung, 2. Bd., Verlag Barth, Leipzig, 1936.
14. RÖBEN, M.: Über die Phäophytinbildung in Blattorganen nach Hitze- und Kälteeinwirkung. *Kleine Mitt.* 9 (1933), Nr. 7/10, 194—206.
15. — — und M. STERN: Phäophytinbildung in Blattorganen nach Temperatureinwirkungen. *Kleine Mitt.* 11 (1935), Nr. 1/4, 47—56.
16. STERN, M.: Phäophytinbildung in Blattorganen nach Temperatureinwirkungen. (2. und 3. Mitt.) *Kleine Mitt.* 14 (1938), Nr. 1/3, 39—53.
17. — —: Phäophytinbefunde und pH-Werte in Blattextrakten. (4. Mitt.) *Kleine Mitt.* 15 (1939), Nr. 10/12, 321—326.
18. — —: pH-Werte alkoholischer Blattextrakte. (5. Mitt.) *Kleine Mitt.* 17 (1941), Nr. 10/12, 27—34.
19. TIEGS, E.: Rauchschäden. *Sorauers Handbuch der Pflanzenkrankheiten*. Bd. I, 243—309. Verlag Paul Parey, Berlin, 1934.
20. — —: Über den spektralphotometrischen Phäophytinnachweis in Chlorophyll-extrakten. *Kleine Mitt.* 14 (1938), Nr. 1/3, 34—38.
21. WEISSNER: Neuzeitliche Forschungen über Rauchschäden. *Industriekurier*, Wochenausg. Technik u. Forschg. 6 (1953), 95—96.
22. WILLSTÄTTER, R., und A. STOLL: Untersuchungen über Chlorophyll. Methoden und Ergebnisse. Verlag Springer, Berlin, 1913.

Über den Wert der chemischen Bestimmung des Schwefelgehaltes in Blättern bei Rauchschadendiagnosen

Von

Dr. phil. H. ZINKERNAGEL

Wiss. Rat beim Bundesgesundheitsamt,
Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem

Mit 9 Abbildungen im Text

Bei der Beurteilung von Vegetationsschäden in Industriegebieten durch SO_2 -haltige Abgase wird die Feststellung des Schwefelgehaltes in Pflanzenmaterial seit langer Zeit zur Klärung der Frage herangezogen, ob ein derartig bedingter Schaden vorliegt. Dabei geht man von der Tatsache aus, daß der schädliche Abgasbestandteil, das Schwefeldioxyd, mit der atmosphärischen Luft vorwiegend durch die meist an der Blattunterseite befindlichen Spaltöffnungen in die Blätter gelangt. Nach den bisher gemachten Erfahrungen und dem vorliegenden Schrifttum (1, 2, 3) üben dabei schwächere und stärkere SO_2 -Gehalte der Außenluft verschiedenartige Wirkungen auf das pflanzliche Gewebe aus. Geringe SO_2 -Konzentrationen werden in dem feuchten Blattinneren, dem Mesophyll, zum größeren Teil absorbiert, oxydiert, zum geringen Teil aber reduziert oder neutralisiert. Bei langfristigen Begasungen mit solchen verdünnten SO_2 -Luftgemischen können sich auf diese Weise große Schwefelmengen in den Blättern ansammeln, und Proben solchen Pflanzenmaterials haben gegenüber Vergleichsproben aus unbeeinflussten Gebieten einen bedeutend höheren Schwefelgehalt. Erst wenn die Pufferungskapazität in den Blättern erreicht ist, treten Blattverfärbungen beziehungsweise Laubfall auf. Vor dieser Zeit ist eine äußerliche Schädigung des Blattwerks meist nicht sichtbar, und auch später werden keine Kennzeichen einer Schädigung des Blattwerkes festgestellt, wenn die Pflanze entsprechend ihrem Entwicklungszustand Zeit hat, neue Blätter nachzubilden. Die Einwirkung geringerer SO_2 -Gehalte auf die Pflanzen ist daher nur durch das Ergebnis der Blattschwefel-Untersuchung (höhere Schwefelwerte als bei entsprechenden unbeeinflussten Proben) feststellbar.

Bei höheren Schwefeldioxydgehalten in der Außenluft machen sich in mehr oder weniger kurzer Zeit nach der Einwirkung Gewebeschäden, nämlich Fleckenbildungen, an den Blättern bemerkbar, die bei den verschiedenen Pflanzenarten in unterschiedlichen Formen und Farbtönen auftreten. In diesen Fällen sind wohl nach dem Stand der heutigen Erkenntnisse die Erhöhungen der Schwefelwerte in den Blättern von nur geringer Bedeutung (4).

Mit der Bestimmung des Schwefelgehaltes in Blättern werden demnach vor allem mehr oder minder lang andauernde Einwirkungen schwacher SO_2 -Konzentrationen in der Luft in der Nähe von Industrie- und bedeutenderen Feuerungsanlagen erfaßt. Über den Wert derartiger Schwefelwertbestim-

mungen in Rauchschadensfällen sind verschiedene Stimmen laut geworden: Einige Autoren lehnen diese Art der Untersuchung ab, andere Forscher setzen sich dagegen dafür ein.

Wenn die Probeentnahmen unter Beachtung entsprechender Vorsichtsmaßnahmen (5, 6) erfolgen, kann nach jahrzehntelangen Erfahrungen des Instituts die Blattanalyse wesentlich zur Klärung von Rauchschadensfragen beitragen. Zu diesen Vorsichtsmaßnahmen gehören unter anderem die Kenntnis der Betriebsverhältnisse der in Frage stehenden Industriewerke, der Geländegestaltung, der Hauptwindrichtung, des Entwicklungszustandes der Pflanzen und der Umweltfaktoren, wie Boden, Düngung, Grundwasser. Ferner müssen immer entsprechende Vergleichsproben gleicher Art und gleichen Alters mit verarbeitet werden. Wenn dann schließlich die ermittelten Schwefelwerte mit den übrigen örtlichen Befunden zur Übereinstimmung gebracht werden können, wie zum Beispiel Einfluß der Entfernung der einzelnen Probeentnahmestellen von der Rauchquelle, ist die Möglichkeit gegeben, etwas über die Einwirkung der SO_2 -Bestandteile der Luft auszusagen (7).

Schwefel ist ja bekanntlich ein wesentliches Element für die Pflanzen. Sie benötigen es, um organische Stoffe, wie Proteine, Hormone und Enzyme, aufzubauen. Im allgemeinen erfolgt die Aufnahme des Schwefels in Form von Sulfaten aus dem Boden. Wenn in diesem erhöhte Mengen von Sulfaten vorhanden sind, kann auch in von der Industrie unbeeinflussten Gebieten der Schwefelgehalt in den Blättern von Pflanzen ansteigen. Diese Tatsache ist bei der Beurteilung von Rauchschäden auf Grund von Pflanzenanalysen ebenfalls zu berücksichtigen. Der Schwefelbedarf kann aber nach den amerikanischen Forschungsergebnissen (8) auch durch das in die Blätter gelangende SO_2 gedeckt werden. Allerdings ist das Sulfat des Bodens wegen der leichteren Transportmöglichkeit als Nährstoff wirksamer als das SO_2 .

Von verschiedenen Forschern ist immer wieder darauf hingewiesen worden, daß die Schwefelwerte auch normalerweise, ja sogar innerhalb eines Tages, mehr oder weniger große Schwankungen aufweisen (9). TIEGS, der in seinen Arbeiten (10, 11) ebenfalls Zahlenbeispiele dafür angibt, hat für die Beurteilung des Schwefelgehalts in Blättern bei Entscheidungen über Rauchschadenfragen die Forderung aufgestellt, statt der üblichen Angabe in Pro-

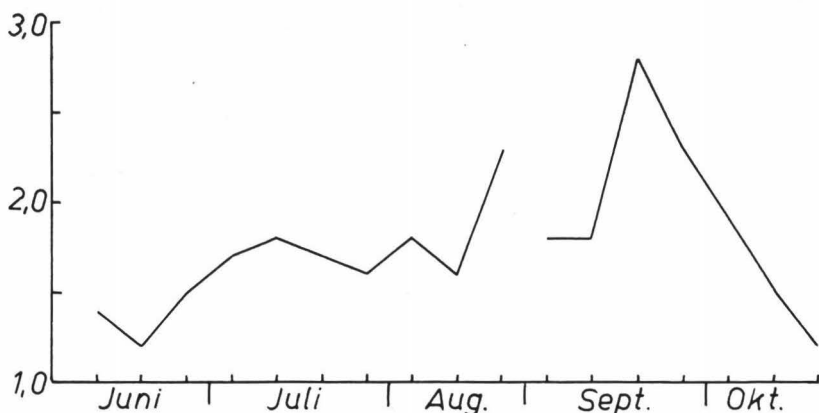


Abb. 1. Apfel: S in 10 000 mm² Blattfläche.

zenten, bezogen auf Trockensubstanz oder Asche, absolute Zahlen zu verwenden. Im Gegensatz zu den sich ständig ändernden Größen des Trockengewichts bzw. der Asche werden die Werte auf eine unveränderliche Größe, nämlich auf eine bestimmte Blattfläche, bezogen. Da solche Angaben über den absoluten Schwefelgehalt der Blätter bisher nur in geringem Umfang zur Verfügung stehen, soll im folgenden über die Veränderungen der Schwefelgehalte in den Blättern ein und derselben Pflanze während der Vegetationsperioden der Jahre 1953 und 1954 berichtet werden.

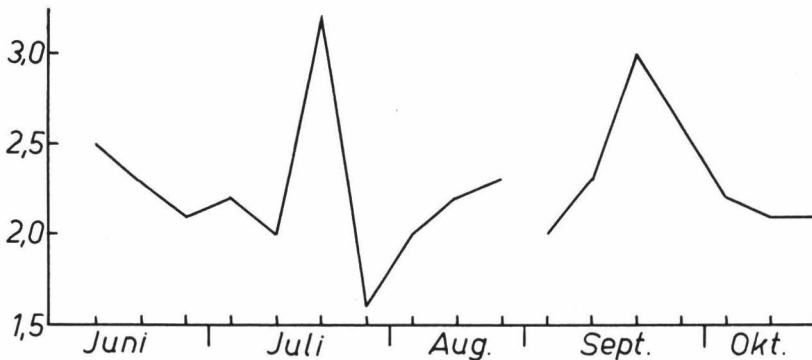


Abb. 2. Apfel: S auf 1 g Trockensubstanz berechnet.

Die Blattproben stammten von einem Apfelbaum im Garten des Instituts in Berlin-Dahlem und wurden wöchentlich einmal während der Monate Juni bis zum Laubfall im Oktober entnommen. Die Entnahme der Blätter erfolgte stets aus der gleichen Höhe und von derselben Seite der Baumkrone und jeweils um die gleiche Zeit, nämlich zwischen 9.30 und 10.00 Uhr. Im zweiten Beobachtungsjahr wurde außerdem noch ein Kastanienbaum in die Untersuchung einbezogen.

Die getrocknete Blattsubstanz wurde in geschlossenen Kolben in Sauerstoffatmosphäre über einer Wasserstoffsuperoxydlösung mittels elektrischer Zündung verascht und der Schwefel gravimetrisch als BaSO_4 ermittelt. Die so aus dem Bariumsulfat errechneten Ergebnisse in mg Schwefel (S) wurden dann in Kurven zusammengestellt, bei denen auf den Abszissen die Entnahmetage und auf den Ordinaten die gefundenen Mengen Schwefel bzw. Trockensubstanz in mg angegeben sind. Außer den Veränderungen des Schwefelgehaltes und der Trockensubstanz einer Blattfläche von 10 000 mm² wurden zu Vergleichszwecken die Schwefelwerte, auf 1 g Trockensubstanz umgerechnet, kurvenmäßig erfaßt.

Bei den 17 Blattproben von dem Apfelbaum aus der Vegetationsperiode 1953 ergibt sich aus der Abb. 1, daß die Schwefelwerte mit zunehmender Jahreszeit, abgesehen von gewissen Schwankungen, einen Anstieg aufweisen, der im September seinen Höhepunkt erreicht, um dann verhältnismäßig steil abzufallen. Der Unterschied zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert beträgt 133 %. Im Gegensatz hierzu ist aus der Abb. 2 zu ersehen, daß die auf Trockengewicht bezogenen Schwefelwerte einen Höhepunkt bereits im Juli erreichen und einen zweiten im September. Die dazwischenliegenden Werte zeigen (außer Schwankungen) den niedrigsten Wert ebenfalls

im Juli. Die Werte liegen sämtlich etwas höher als in der Abb. 1 (Schwefelwerte, bezogen auf 10 000 mm² Blattfläche). Der Unterschied zwischen Höchst- und Niedrigstwert beträgt 100 %.

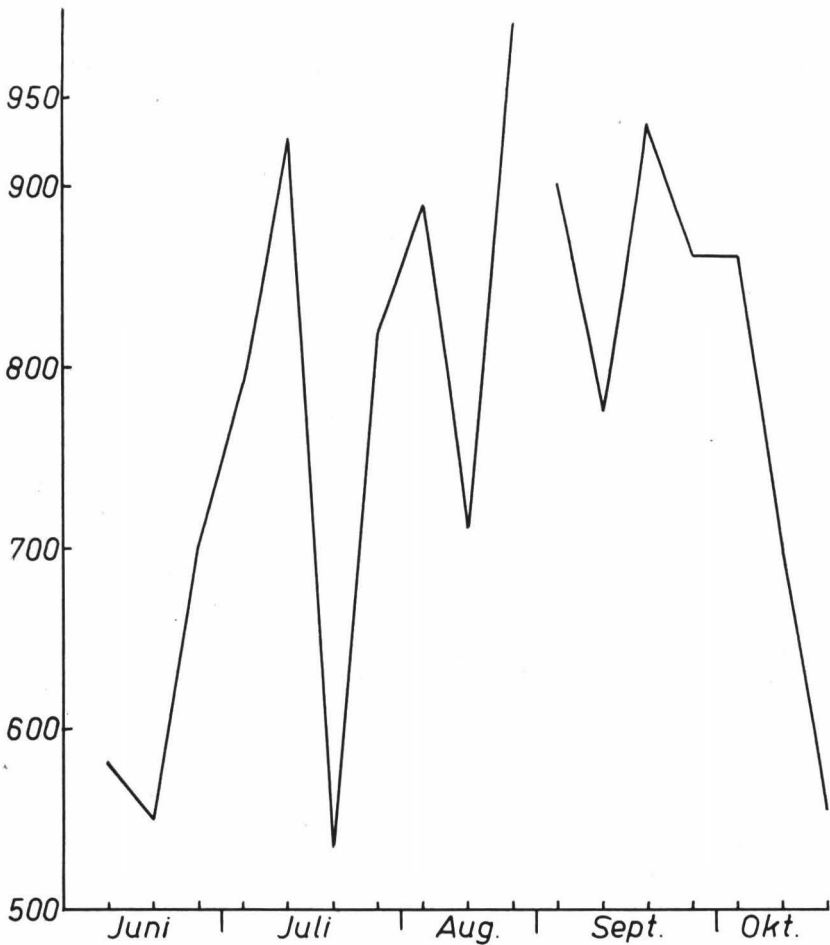


Abb. 3. Apfel: Trockensubstanz in 10 000 mm² Blattfläche.

Die Ermittlungen der Trockensubstanzmenge in 10 000 mm² Blattfläche, die in Abb. 3 wiedergegeben sind, zeigen, daß die Werte während der Vegetationsperiode auch innerhalb kurzer Zeit erheblichen Schwankungen unterliegen. Der Höchstwert wurde im August beobachtet, der Niedrigstwert im Juli. Der Unterschied zwischen diesen beiden Werten beträgt 86 %.

Vergleicht man nun die Ergebnisse vom Blattmaterial des gleichen Apfelbaumes während der Wachstumsperiode des Jahres 1954, so zeigen die entsprechenden Kurven einen anderen Verlauf. Der Schwefelgehalt in 10 000 mm² Blattfläche (Abb. 4) weist einen Anstieg bis zum Juli auf, um dann wieder auf den Anfangswert zurückzugehen. Darauf nehmen die Werte mit Unter-

brechungen bis zum einsetzenden Laubfall zu und erreichen zu diesem Zeitpunkt den Höchstwert. Die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert beträgt 154 %.

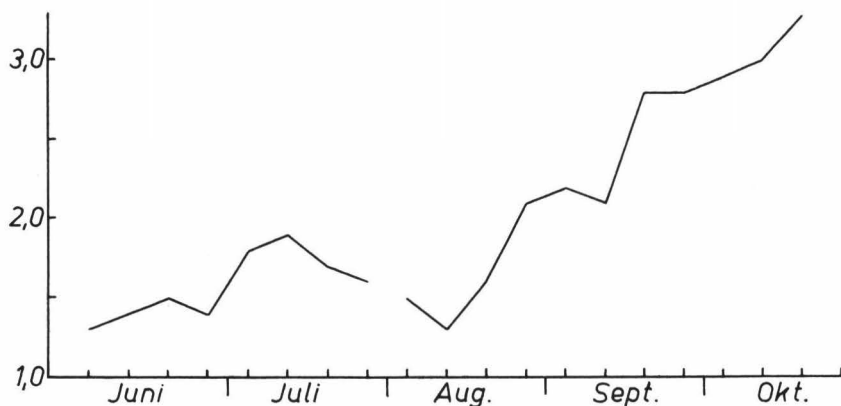


Abb. 4. Apfel: S in 10 000 mm² Blattfläche.

Die Kurve in Abb. 5, in der die Schwefelwerte, bezogen auf Trockensubstanz, wiedergegeben sind, verläuft ähnlich wie die in Abb. 4. Die Werte liegen — ebenso wie während der Vegetationsperiode 1953 (Abb. 2) — höher als die Schwefelwerte, bezogen auf die Blattflächen (Abb. 1 und 4). Die Differenz zwischen Höchst- und Niedrigstwert beläuft sich auf 218 % (Abb. 5). Die Trockensubstanzmenge in 10 000 mm² Blattfläche, deren Werte in Abb. 6 aufgetragen sind, zeigt nicht so starke Schwankungen wie im Vorjahr (Abb. 3). Der Anstieg erreicht auch nicht die gleiche Höhe und beträgt nur 50 % gegenüber dem Anfangswert. Im Gegensatz zu den Schwefelwerten setzt Ende September eine Abnahme ein.

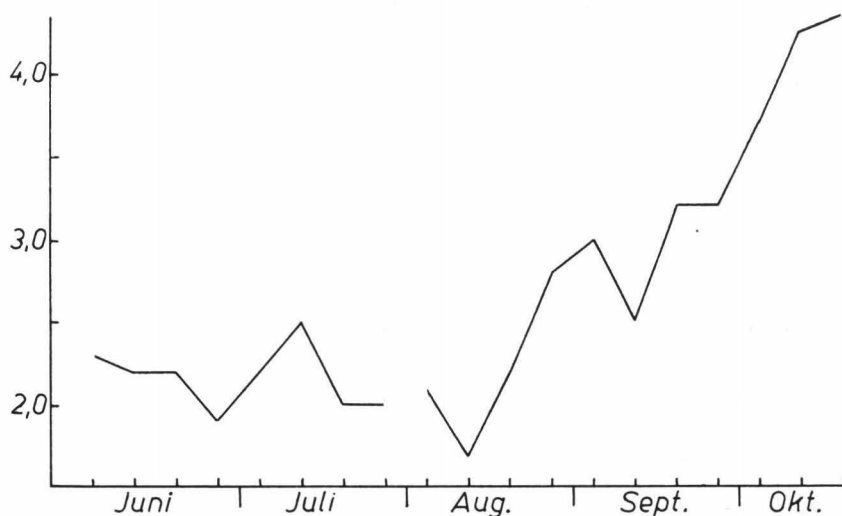


Abb. 5. Apfel: S auf 1 g Trockensubstanz berechnet.

Beim Vergleich der Untersuchungen aus den beiden Beobachtungsjahren ist ersichtlich, daß bei ein und derselben Pflanze der Verlauf der Kurven der Schwefelwerte und der Trockensubstanz beträchtliche Unterschiede aufweist. Diese dürften mit den verschiedenen klimatischen Bedingungen in den einzelnen Jahren in Zusammenhang stehen.

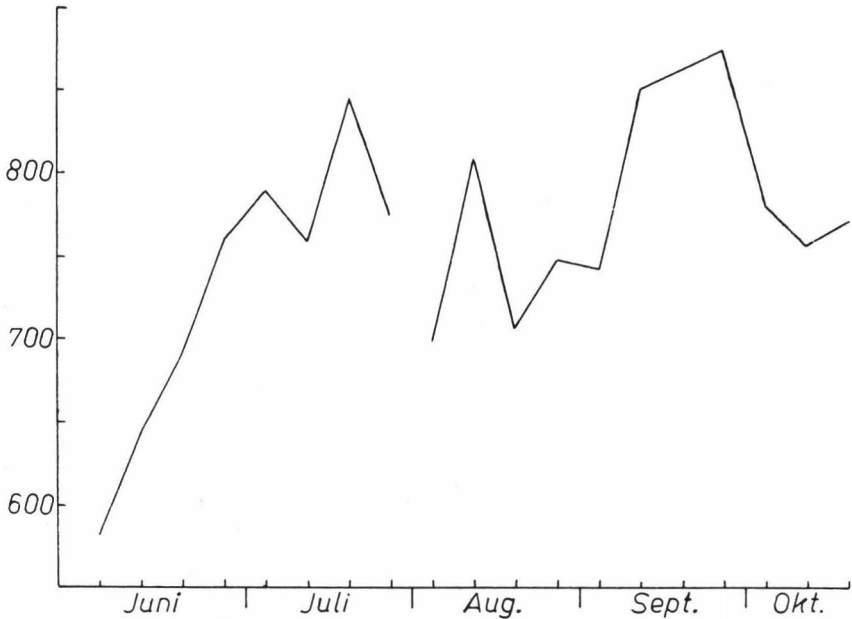


Abb. 6. Apfel: Trockensubstanz in 10 000 mm² Blattfläche.

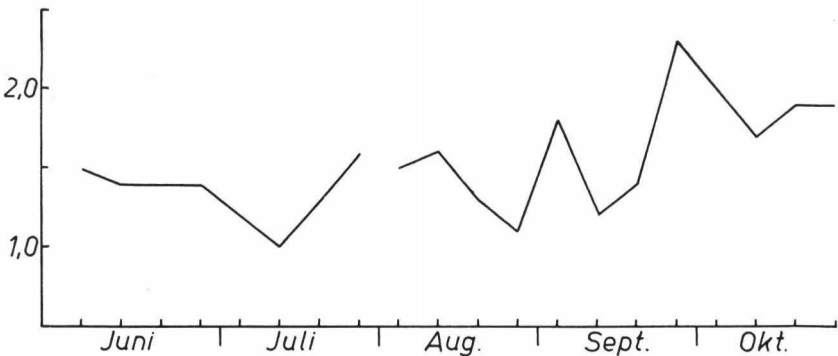


Abb. 7. Aesculus: S in 10 000 mm² Blattfläche.

Nach einer Literaturangabe über Untersuchungen des Schwefelgehaltes bei Apfelbäumen (12) erfuhr das Trockengewicht der Blätter vom Mai bis November eine Zunahme von 26 bis 45 %. Der Schwefelgehalt der Blätter nahm in der gleichen Zeit um 121 % zu.

Wie bereits erwähnt, wurden im Jahre 1954 dieselben Untersuchungen an Blättern eines Kastanienbaums vorgenommen. Die entsprechenden Werte sind in den Abb. 7 bis 9 zusammengestellt. Sie lassen folgendes erkennen:

Abb. 7: Auf 10 000 mm² Blattfläche berechnet, nehmen die Schwefelwerte vom Juni bis Juli ab, um danach (mit einigen Schwankungen) bis zum Höchstwert Ende September anzusteigen. Nach diesem Zeitpunkt erfolgt wiederum eine Abnahme. Die Differenz zwischen Höchst- und Niedrigstwert beträgt 130 %. Aus der Abb. 8 ist ersichtlich, daß die Schwefelwerte, berechnet auf

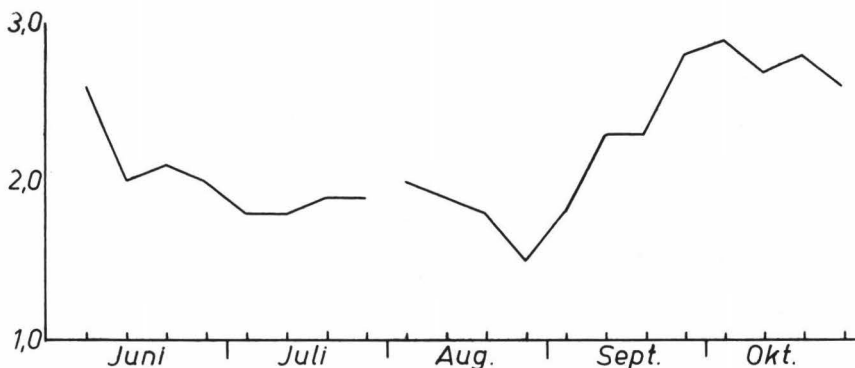


Abb. 8. Aesculus: S auf 1 g Trockensubstanz berechnet.

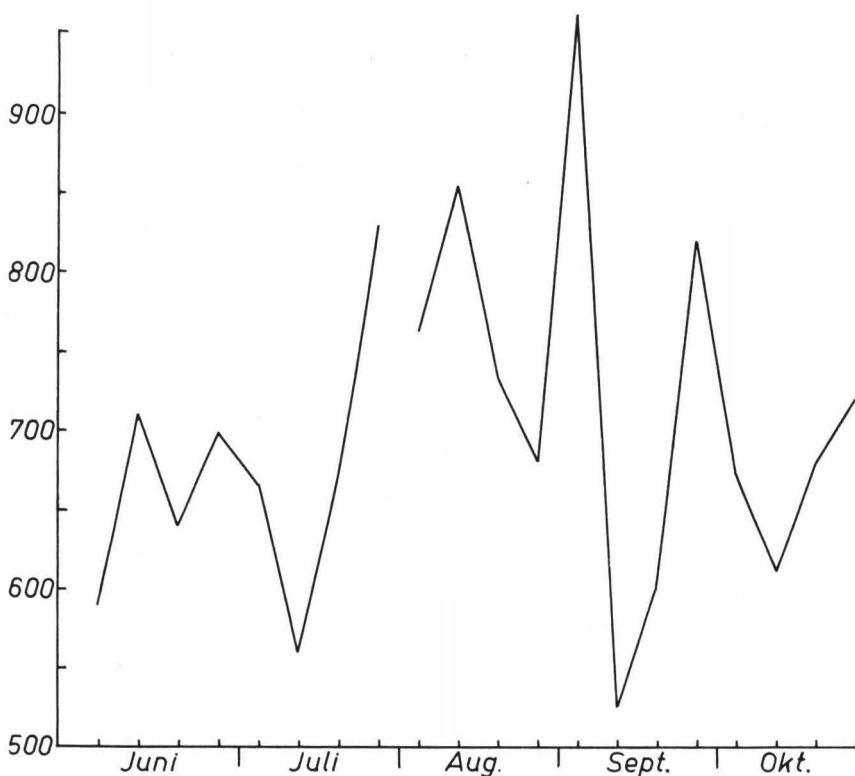


Abb. 9. Aesculus: Trockensubstanz in 10 000 mm² Blattfläche.

Trockensubstanz, ebenfalls zunächst niedriger werden. Der Niedrigstwert wird Ende August erreicht, dann aber von einem Anstieg abgelöst, der bis Anfang Oktober anhält, um schließlich wieder zu sinken. Die Differenz zwischen Höchst- und Niedrigstwert betrug 93 %.

Die Abb. 9 gibt das Bild der Schwankungen der Trockensubstanz in 10 000 mm² Blattfläche wieder. Auch hier ergeben sich innerhalb kurzer Zeit beträchtliche Unterschiede. So wurde Anfang September der Höchstwert ermittelt, der schon eine Woche danach auf den Niedrigstwert fiel. Die Differenz zwischen diesen beiden Werten beträgt 83 %.

Wie aus diesen Untersuchungen und den sich daraus ergebenden Kurven ersichtlich ist, muß bei der Auswertung von Schwefelanalysen in Rauchschadensfällen stets die auch in rauchfreien Gebieten auftretende Schwankung der Schwefelwerte im Laufe der betreffenden Vegetationsperiode besondere Beachtung finden. Mit einem allgemeingültigen Verlauf in der Schwefelbilanz kann nicht gerechnet werden, da in einzelnen Jahren sogar bei ein und derselben Pflanze nach den oben mitgeteilten Befunden beträchtliche Unterschiede auftreten.

Literatur

1. THOMAS, M. D., and G. R. HILL: Plant Physiology 12 (1937), 309—383.
2. — —, R. H. HENDRIKS and G. R. HILL: Ind. Eng. Chem. 42 (1950), 2231—2235.
3. — —: World Health Organization, WHO (Env. San.) 106 (1957), 55 S.
4. MAGILL, P. L., F. R. HOLDEN and CH. ACKLEY: Air Pollution Handbook, McGraw-Hill Book Co., Inc. 1956, New York, Toronto, London.
5. HASELHOFF, E.: Grundzüge der Rauchschadenkunde. Gebr. Borntraeger, Berlin, 1932.
6. — —, G. BREDEMANN und W. HASELHOFF: Entstehung, Erkennung und Beurteilung von Rauchschäden. Gebr. Borntraeger, Berlin, 1932.
7. BERGE, H.: Verunreinigung der Luft. Vortrag, gehalten am 24. Oktober 1957 vor der Industrie- und Handelskammer in Köln.
8. Literatur bei M. D. THOMAS: World Health Organization, WHO (Env. San.) 106, 4. September 1957, S. 3.
9. HOLMES, I. A., E. C. FRANKLIN and R. A. GOULD: Report of the Selby Smelter Commission. Washington 1915.
10. TIEGS, E.: Über den Schwefelgehalt der Blätter. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 48 (1930), 58—62.
11. — —: Über den Schwefelgehalt der Blätter von *Helianthus annuus*. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 56 (1938), 26—29.
12. MARSH, R. S.: Seasonal variations of sulphur content in certain tissues of the apple tree. Bot. Gaz. 75 (1923), 400—413.

Windzähler für Immissionsmessungen

Von

Prof. Dr. A. LÖBNER

Aus dem Bundesgesundheitsamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
in Berlin-Dahlem

Mit 2 Abbildungen und 2 Zahlentafeln im Text

Allgemeines

Den Anlaß zur Konstruktion des nachstehend näher beschriebenen Windzählers gab in erster Linie der große Arbeitsaufwand bei der Auswertung der Registrierstreifen selbstschreibender Windmesser. Für die Auswertung der Registrierstreifen eines Monats braucht ein eingearbeiteter Techniker ohne Anwendung einer Auswerteapparatur zwei bis drei Tage, denn meist fallen bei modernen Windschreibern je Monat mehr als 15 m Registrierstreifen an. Die Auswertung dieser Streifen ohne technische Hilfsapparatur enthält außerdem noch subjektive Fehler, die zum Teil im technischen Aufbau der Schreibvorrichtungen begründet sind. Subjektive Fehltritte ergeben sich vor allem bei der Bestimmung der mittleren Windrichtung bei stark schwankendem und böigem Wind und an den Stellen der Registrierstreifen, an denen die Windrichtung gleichzeitig von zwei Schreibfedern aufgezeichnet wird. Auch Verschiebungen des Schreibspiegels nach zwei Seiten sind nicht selten die Ursache fehlerhafter Richtungsbestimmungen.

Das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene verwendet bei der Beurteilung der Ergebnisse von Immissionsmessungen die prozentuale Windverteilung während des Meßzeitraumes (meist ein Monat). In dieser Verteilung finden sich die Zeiten, während welcher der Wind innerhalb des Meßzeitraumes aus den einzelnen Richtungen einer acht- oder sechzehnteiligen Windrose geweht hat. Die Windanteile aus den einzelnen Richtungen werden, je nach der Einteilung der Registrierstreifen der Windschreiber, in Stunden- oder 10-Minuten-Intervallen ausgewertet und in Prozenten der Meßzeit angegeben. Da derartige Auswertungen im Institut in großer Zahl laufend durchgeführt werden müssen, bestand großes Interesse an einem Windmesser,

dessen Angaben objektiv sind und sich mit möglichst geringem Zeitaufwand auswerten lassen.

Grundsätzliches zum Windzähler und seinen Angaben

Mit finanzieller Unterstützung des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene konnte ich einen Windzähler entwickeln, mit dem wahlweise alle 5 oder 10 Sekunden Windrichtung und Windstärke beobachtet werden, und zwar die Windrichtung nach einer 16teiligen Windrose und die Windstärke nach fünf Geschwindigkeitsstufen. Da absolute Luftruhe, also Windstille, in der Praxis kaum erreicht wird und die modernen Windschreiber Windstille auch nicht gesondert aufzeichnen, sondern nur eine Mindestgeschwindigkeit angeben, bei der das zur Messung benutzte Schalenkreuz zum Anlaufen kommt, ist bei dem neuen Windzähler auf die Beobachtung und Zählung der Windstille zunächst noch verzichtet worden. Die Windstillen sind vielmehr in der niedrigsten Geschwindigkeitsstufe enthalten. Die Anzahl der Beobachtungen wird in 16 Richtungszählern und 5 Zählern für Geschwindigkeitsstufen gespeichert. Durch mehrmalige Zählerablesungen, etwa am 1., 10., 20. und Monatsletzten bzw. Monatsersten des folgenden Monats, und entsprechende Differenzbildung wird die Gesamtzahl der Richtungs- und Geschwindigkeitsbeobachtungen im Monat ermittelt und daraus die prozentuale Verteilung von Windrichtung und Windstärke im Beobachtungsmonat errechnet. Die mehrmalige Ablesung der Zähler ist erforderlich, weil dadurch ein Überlaufen der Zähler bei langen Meßzeiten erkannt werden kann. Bei kürzeren Meßzeiten genügen gewöhnlich zwei Ablesungen, eine am Anfang und eine am Schluß der Meßzeit.

Gegenüber den selbstschreibenden Windmessern hat der Windzähler insofern einen Nachteil, als aus den Zählerablesungen rückschauend nicht festgestellt werden kann, welcher Wind zu welchem Zeitpunkt innerhalb des Meßzeitraumes geweht hat. In diesem Zusammenhang sei aber ausdrücklich betont, daß der hier in Rede stehende Windzähler für die besonderen Anforderungen bei Immissionsmessungen, wie sie vom Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene ausgeführt werden, entwickelt worden ist. Es wird auch kein Anspruch erhoben, mit den heute gebräuchlichen modernen Windmessern in irgendwelche Konkurrenz zu treten. Trotz des Mangels, daß die nachträgliche Feststellung von Windrichtung und Windstärke an einem bestimmten Tag des Meßzeitraumes nicht möglich ist, können mit dem Windzähler alle Aufgaben gelöst werden, bei denen die Windverhältnisse über größere Zeiträume als Integralwert eine Rolle spielen, wie z. B. bei der Ermittlung der vorherrschenden Windrichtung oder der vorwiegend auftretenden Windgeschwindigkeiten in einem bestimmten Gebiet.

Aufbau des Windzählers

Die gesamte Apparatur besteht aus einem Oberteil (Windfahne mit Steuerkopf) und einem Unterteil (Zählerkasten mit Zählwerken und Impulsgeber). Beide Teile sind mit einem 24adrigen Kabel verbunden, in welchem

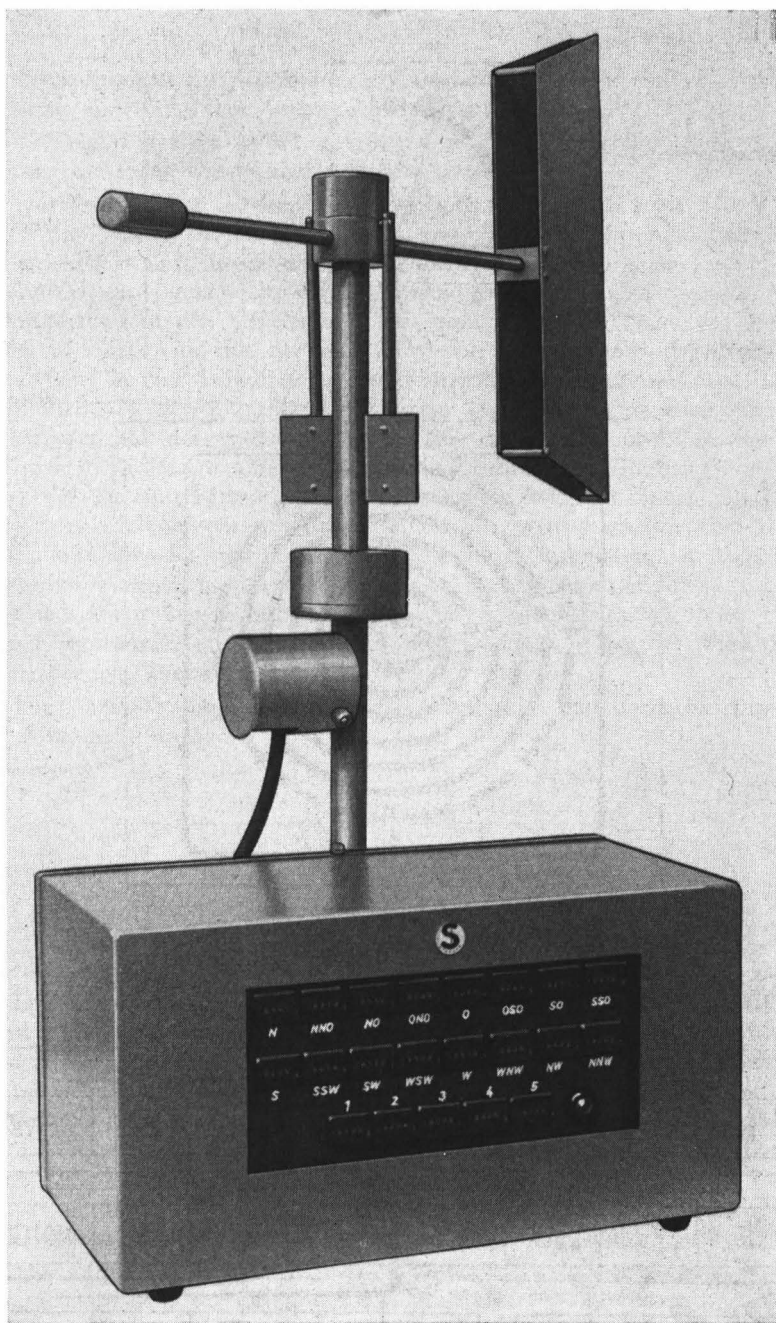


Abb. 1. Windzähler für Immissionsmessungen nach Prof. Dr. LÖBNER*).

(Gesamtansicht)

*) Hersteller der Windzähler für Immissionsmessungen nach Prof. Dr. LÖBNER ist die Firma Fritz Staeger, Berlin-Schöneberg, Bahnstraße 22. Bestellung und Bezug der Windzähler sind aber zunächst nur durch das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem, Corrensplatz 1, möglich.

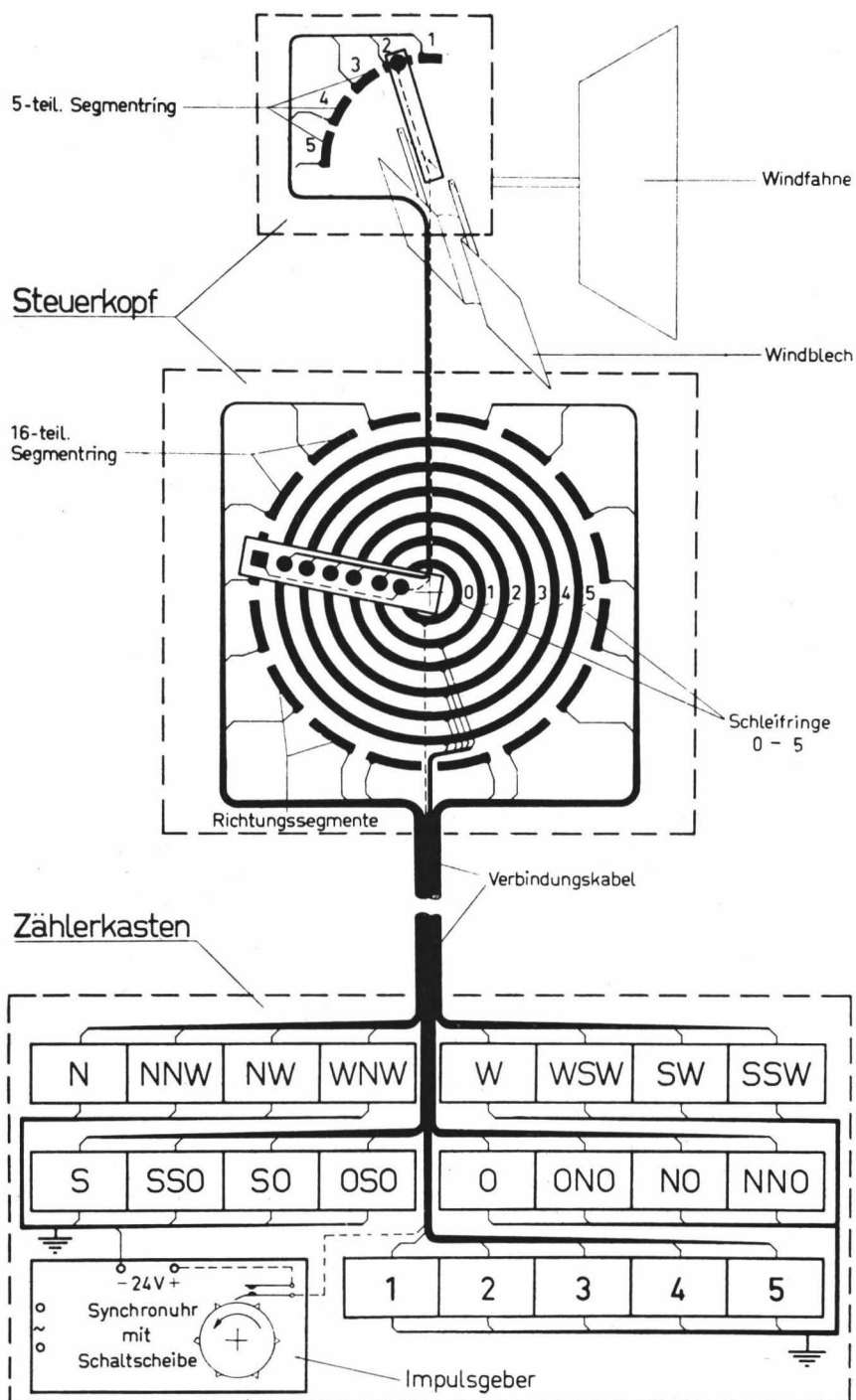


Abb. 2. Schematischer Aufbau des Windzählers.

die Stromleitungen für die einzelnen Zähler untergebracht sind. Die Abb. 1 vermittelt einen bildlichen Gesamteindruck vom Windzähler.

An Hand der in Abb. 2 gegebenen Schemaskizze sollen Aufbau und Wirkungsweise des Windzählers erläutert werden.

Der Impulsgeber in dem an Wechselspannung von 110 bis 240 V anschließbaren Zählerkasten liefert über eine durch Synchronuhr getriebene Schaltscheibe je nach Einstellung alle 5 oder 10 Sekunden einen Impuls von 24 Volt Gleichspannung. Der erzeugte Strom fließt durch eine Ader des Verbindungskabels in den Schleifring 0 des nicht drehbaren Teiles des Steuerkopfes und über eine mit der Windfahne fest verbundene Schleifkohle und einen Hebel in eine Schleiffeder (Stromführung = gestrichelte Linie). Diese Feder wird von der Windfahne auf einem 16teiligen Segmentring entlanggeführt, der auf dem nicht drehbaren Teil des Steuerkopfes befestigt ist. Jedes der 16 Richtungssegmente ist über ein Zählwerk (fünfstellige Gesprächszähler der Fernsprechämter) auf Erde geschaltet, und der Stromimpuls betätigt jedes Mal ein der jeweiligen Windrichtung entsprechendes Zählwerk. Die Schleifkohle, die den Strom vom Schleifring 0 abnimmt, ist Ausgangspunkt eines zweiten, parallelen Stromkreises, der den Stromimpuls über einen mit einem WILDSchen Windblech fest verbundenen Schleifhebel, einen fünfteiligen Segmentring und über die Schleifringe 1 bis 5 in den der Windstärke entsprechenden Geschwindigkeitszähler führt.

Die Anzeigebereiche der Geschwindigkeitszähler sind durch Eichung wie folgt festgestellt worden:

Zähler Nr.	Windgeschwindigkeit
1	0— 4 m/s
2	4— 8 m/s
3	8—11 m/s
4	11—14 m/s
5	>14 m/s

Die Geschwindigkeitsstufe 1 umfaßt die Windgeschwindigkeiten zwischen 0 und 4 m/s, also die für deutsche Verhältnisse am häufigsten auftretenden Windstärken. Die Geschwindigkeitsstufen 2 bis 5 zeigen größere Windstärken an, bei denen eine Beeinflussung der Meßergebnisse zu befürchten ist. So werden z. B. bei starken Winden und erhöhter atmosphärischer Turbulenz in die Luft gebrachte Verunreinigungen intensiver zerstreut, und die Immissionen werden niedriger gefunden. Andererseits aber können starke Winde Verunreinigungen vom Erdboden aufwirbeln und zusätzlich in die Meßgefäße führen, wodurch dann eine Verfälschung des Ergebnisses eintritt.

Die Länge des 24adrigen Verbindungskabels zwischen Steuerkopf und Zählerkasten ist bei der Bestellung des Windzählers anzugeben.

Da im Steuerkopf Schleifkohlen und Schleiffedern verwendet werden, die bei dem Dauerbetrieb des Windzählers der Abnutzung unterliegen, empfiehlt es sich, den gesamten Windzähler jedes Jahr mindestens zweimal einer gründlichen Überprüfung und gegebenenfalls Instandsetzung zu unterziehen. Im übrigen ist für eine sachgemäße und sorgfältige Wartung des Gerätes Sorge zu tragen.

Das Windzähler-Protokoll

Die Auswertung und Deutung der Ablesungen am Windzähler seien an Hand des nachstehend wiedergegebenen Windzählerprotokolls erläutert:

Windverteilung in Berlin-Dahlem, Meteorol. Inst. d. FU, Mai 1957
(gemessen mit 16teiligem Windzähler und 10-Sekunden-Kontakten. Windprozentage sind bezogen auf Gesamtzahl der Beobachtungen = 100 %).

Richtung	Ablesetag				Differenz (d—a)	%
	30. 4. 57 a)	10. 5. 57 b)	20. 5. 57 c)	31. 5. 57 d)		
N	43972	46817	49167	59070	15098	5
NNO	53322	55575	56821	83266	29944	10
NO	46600	49821	50891	70517	23917	8
ONO	40716	45348	48572	56766	16050	6
O	29920	34394	43747	47662	17742	6
OSO	25014	27831	39721	43098	18084	6
SO	28984	31494	42549	44952	15968	5
SSO	25290	26387	35350	36877	11587	4
S	20487	22086	32446	33939	13452	5
SSW	25315	28208	34313	35858	10543	4
SW	29999	34893	40060	41997	11998	4
WSW	34393	48082	52040	54801	20408	7
W	42800	62503	67651	74680	31886	11
WNW	44002	60887	66992	74178	30176	10
NW	36581	43362	48976	52352	15771	5
NNW	39594	44012	46629	50423	10829	4
Summe					293447	= 100 %

Wind / Geschwindigkeitsstufe

1	0 — 4 m/s	46986	99034	149505	206850	159864	56
2	4 — 8 m/s	21159	50842	88403	121838	100679	35
3	8 — 11 m/s	29625	35695	38899	45939	16314	6
4	11 — 14 m/s	22404	24648	25338	27307	4903	2
5	> 14 m/s	22472	23710	23960	24635	2163	1
Summe						283923	= 100 %

Wie aus den viermaligen Aufschreibungen im Monat zu entnehmen ist, sind einige Zählwerke zum Teil sogar zweimal übergelaufen (vgl. die Ablesungen der Geschwindigkeitszähler 1 und 2 am 20. bzw. 31. 5. 1957). Hierbei erscheint eine Ablesung niedriger als die vorhergehende, weil in den Zählwerken die sechste Zählerstelle (im Protokoll unterstrichen) fehlt. Es empfiehlt sich, bei der Durchsicht und vor der Auswertung der Protokolle auf derartige Zählerüberläufe zu achten und die einem Zählerüberlauf folgenden Ablesungen mit der sechsten Zählerstelle entsprechend zu vervollständigen. Nunmehr können die am Anfang der Meßzeit abgelesenen Zählerstände von den am Schluß der Meßzeit festgestellten, auf sechs Stellen ergänzten Zählerständen abgezogen werden. Die sich daraus ergebenden Differenzen stellen die Anzahl

der in der Meßzeit gemachten Beobachtungen der verschiedenen Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten dar. Diese Beobachtungszahlen werden in Prozent der Gesamtsumme der Beobachtungen ausgedrückt und als prozentuale Verteilung der Windrichtung und -stärke im betrachteten Meßzeitraum angegeben. Daß die Gesamtsummen der Richtungs- und Geschwindigkeitsbeobachtungen nicht immer dieselben sind, ist damit zu erklären, daß die Schleifedern jeweils zwei Richtungs- bzw. Geschwindigkeitssegmente gleichzeitig berühren können.

Vergleich der Ergebnisse von Windzähler und Windschreiber

Wie die mit dem Windzähler gewonnenen prozentualen Windverteilungen mit denen übereinstimmen, die mit einem Windschreiber gewonnen wurden, soll ein Vergleich der entsprechenden Ergebnisse eines Windzählers und eines an gleicher Stelle zu gleicher Zeit betriebenen Universal-Windschreibers der Firma Fuess, Berlin-Steglitz, zeigen. Mit der freundlichen Erlaubnis des Direktors des Meteorologischen Instituts der Freien Universität Berlin war es möglich, auf dem Dach des Dahlemer Instituts den Geber eines Windzählers unmittelbar neben dem Geber eines Universal-Windschreibers der Firma Fuess aufzustellen und die Registrierstreifen des letzteren sechs Monate hindurch auszuwerten. Der Ergebnisvergleich berücksichtigt nur die Windrichtung und deren prozentuale Verteilung auf 16 Richtungen. Die absoluten Unterschiede zwischen den mit Windzähler und den mit Windschreiber gewonnenen prozentualen Windrichtungsverteilungen der Monate April bis September 1957 sind in der folgenden Zahlentafel aufgeführt, und zwar in Prozent der Zeit.

Absolute Differenzen zwischen den mit Windzähler und den mit Windschreiber gewonnenen prozentualen Windrichtungsverteilungen, ausgedrückt in % der Zeit.

Richtung	Absolut-Differenzen 1957						Mittlere Absolut- Differenzen %
	April %	Mai %	Juni %	Juli %	Aug. %	Sept. %	
N	2	0	1	1	1	0	0,83
NNO	6	2	1	0	0	1	1,67
NO	5	1	2	0	0	0	1,33
ONO	2	2	3	1	0	0	1,33
O	1	1	0	0	1	0	0,50
OSO	1	1	1	0	1	0	0,67
SO	0	1	1	0	1	0	0,50
SSO	1	0	0	1	0	1	0,50
S	0	3	1	1	6	4	2,50
SSW	0	2	0	1	10	1	2,34
SW	0	1	0	3	3	1	1,33
WSW	1	2	2	2	1	4	2,00
W	3	2	1	2	4	4	2,67
WNW	6	1	3	4	6	4	4,00
NW	2	3	1	3	0	0	1,50
NNW	0	0	1	3	0	0	0,67
Mittelwert							1,52

Die in sechsmonatigen Untersuchungen festgestellten Absolutdifferenzen zwischen den mit Windzähler und den mit Windschreiber erhaltenen prozentualen Windrichtungsverteilungen bewegen sich im einzelnen zwischen 0 und maximal 10 %. Dabei liegt die höchste mittlere Absolutdifferenz bei 4 %, und die über 16 Richtungen gemittelte Absolutdifferenz beträgt nur 1,52 %.

Windzähler der vorbeschriebenen Art sind seit dem Mai 1956 an neun verschiedenen Stellen in Westdeutschland und in Berlin im Probebetrieb. Hierbei haben sich einige technische Veränderungen an der Erstkonstruktion des Windzählers als notwendig erwiesen, die aber in der Zwischenzeit entsprechend berücksichtigt worden sind.

Nachdem der Windzähler so weit entwickelt ist, daß er der fabrikmäßigen Herstellung übergeben werden kann, bleibt mir noch die Pflicht, allen denen herzlich zu danken, die die Arbeiten an dem neuen Windzähler unterstützt und gefördert haben.

Durch die großzügige finanzielle Hilfe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene war es möglich, das erste Modellgerät und die erforderlichen Werkstattzeichnungen bei der Bundesanstalt für chemische und mechanische Materialprüfung anfertigen zu lassen. Bei der Entwicklung der elektrotechnischen Seite des Windzählers hat mir Herr A. ZIESKE als Hochfrequenz- und Fernmeldetechniker mit Rat und Tat zur Seite gestanden.

Auch all denen sei bestens gedankt, die den Probebetrieb der ersten Windzähler ermöglicht und Änderungsvorschläge gemacht haben.



03LU460068.2