

DIE WIRKUNG VON VERSTÄUBTEM KALK UND ZEMENT AUF PFLANZEN *)

von

ALPHONS TH. CZAJA

(Aus dem Botanischen Institut der Technischen Hochschule Aachen)

Mit 9 Abbildungen

I. EINLEITUNG

Es ist schon öfter die Frage behandelt worden von der Wirkung von Kalk- und Zementstaub auf die Pflanzen, ohne daß einmal eine klare und bestimmte Antwort darauf gegeben worden wäre. Im Handbuch der Pflanzenkrankheiten (P. SORAUER, 6. Aufl. Bd. I, 1934, S. 301) schreibt E. TIEGS: „Die Frage der Schädigung des Flugstaubes aus Zementfabriken ist nach E. HASELHOFF (1919) nicht eindeutig zu beantworten. Äußerlich hatte er an den Pflanzen keine Merkmale einer Schädigung beobachtet. WILCK (1916) berichtet über Schäden von Flugstaub (Ätzkali, Kalk, Karbid) einer Karbidfabrik.“

E. HASELHOFF (1932, S. 252) stellt in dem Abschnitt „Flugstaub“ des zusammenfassenden Werkes (Entstehung, Erkennung und Beurteilung von Rauchschäden) fest: „Auch der Staub aus Zementfabriken ist für das Pflanzenwachstum im allgemeinen nicht schädlich. Es bleibt aber zu beachten, daß Zementstaub stark alkalisch reagiert und deshalb je nach der Art und der Zeit der Verstaubung der Pflanzen mit diesem Staube eine Beeinträchtigung der Entwicklung der Pflanzen hierdurch wohl möglich ist. E. HASELHOFF (1919, S. 289) hat in sechsjährigen Versuchen bei Bestäubung von Roggen, Weizen, Hafer, Bohnen, Erbsen, Möhren, Runkelrüben, Zuckerrüben, Gras mit recht erheblichen Mengen Zement kein eindeutiges Ergebnis erzielt. Selbst bei derselben Pflanze hat in dem einen Jahre die Bestäubung den Ertrag geschädigt, in dem andern Jahre ihn begünstigt. Äußerliche Merkmale der Einwirkung des Staubes sind an den Pflanzen nicht beobachtet worden. Auf welche Ursache die verschiedene Wirkung zurückzuführen war, konnte nicht aufgeklärt werden. STEFFECK (1902, S. 113) hat die Schädigung von Rübenfeldern durch Staub und Dämpfe einer Zement-

*) Herrn Professor Dr. GUSTAV BREDEMANN zum 80. Geburtstag gewidmet.

fabrik festgestellt; es muß aber dahingestellt bleiben, ob das Pflanzenwachstum durch den Zementstaub oder den Steinkohlenrauch des Betriebes gestört worden ist. Weiter hat V. KOHLSCHÜTTER (1918) über die Schädigung großer Orangenfarmen in Kalifornien berichtet; feiner Zementstaub soll nicht nur die Entwicklung der Pflanzen gehindert, sondern auch die reifen Pflanzen unverkäuflich gemacht haben. Letzterer Schaden trifft allgemein da zu, wo Staubarten in stärkerem Grade die Pflanzen verschmutzen; den Grund für die erstere Schädigung sieht EWERT (1920) in dem sehr starken Befall mit Zementstaub. G. J. PEIRCE (1910, S. 283) nimmt an, daß der Zementstaub durch die Luftfeuchtigkeit oder Regen zu einer festen Kruste erstarrt, wodurch die Photosynthese beeinträchtigt wird und allgemeine Störungen im Ernährungsvorgange hervorgerufen werden. Diese Vorgänge dürften aber noch weiter zu klären, gegebenenfalls in einem Schadensfalle darüber besondere Feststellungen zu treffen sein."

Die Versuche von E. HASELHOFF wurden in den Jahren 1913—1918 unter anderem mit Zementstaub und verschiedenen Pflanzen durchgeführt. Die oben schon genannten einjährigen Kulturpflanzen wurden auf bestimmten Parzellen angebaut und ein Teil davon jede Woche mit einer bestimmten Menge Zementstaub überstäubt. Im Jahre 1913 wurden je qm 10 g, in den Jahren 1914 und 1915 je qm 4 g und vom Jahre 1916 ab nur noch 1,25 g je qm gestreut. Am Ende jedes Jahres wurden die Pflanzen abgeerntet und nach Samen, Körnern, Laub, Früchten, Wurzeln etc. je Pflanze getrennt Frisch- und Trockengewicht bestimmt und der Ernteertrag je Jahr und Pflanzen mit solchem von nichtbestäubten Parzellen verglichen. Das Ergebnis wurde nach Ertragssteigerung und Ertragsminderung aufgeteilt. In der Tabelle I ist für den Zementstaub für die verschiedenen Jahre eine Übersicht gegeben.

TABELLE I
Zementstaubwirkungen nach E. HASELHOFF 1920

	1913	1914	1915	1916	1917	1918
	Hafer Bohnen Möhren Gras	Weizen Gerste Möhren	Weizen Hafer Möhren Runkelrüben	Weizen Roggen Möhren Bohnen	Roggen Bohnen Zuckerrüben Runkelrüben	Erbsen
Zementstaub	+ + + +	+ ? -	- - - +	+ + + +	- ? - +	-

+ = Ertragssteigerung; - = Ertragsminderung

HASELHOFF (S. 311) beschließt seine Versuche und Ausführungen folgendermaßen: „Ob aber durch die Bestäubung mit staubartigen festen Substanzen nicht auch indirekt eine Schädigung des Wachstums und der Entwicklung der Pflanzen herbeigeführt wird, muß nach diesen Versuchen dahingestellt bleiben. Diese Annahme liegt nahe, wenn man aus den Versuchsergebnissen entnehmen muß, daß auch der von Sulfiden freie Gichtgasfilterstaub, Zementstaub, . . . vereinzelt ertragsvermindernd gewirkt haben, obwohl man hier nach der Zusammensetzung dieser Staubarten eine solche Wirkung nicht erwarten sollte.“ „Die Wirkung von Zementstaub ist unentschieden geblieben“. Diese Untersuchungen von E. HASELHOFF aus dem Jahre 1920 sind aber die einzigen ausführlichen geblieben. Auf diese Untersuchungen stützen sich sämtliche übrigen Aussagen.

Zu den Versuchen HASELHOFF's ist zu bemerken, daß er an keiner Stelle seiner Ausführungen eine Definition gibt, was unter Zementstaub zu verstehen ist. Es ist ferner unzulänglich, daß die jeweils über 1 qm Pflanzenbestand bestimmte Menge (g) Zementstaub verstäubt wird, ohne Feststellungen zu treffen, wieviel Staub auf die Blätter gelangt und darauf liegen geblieben oder vom Luftzug wieder weggeführt worden ist. Es wird auch nicht gesagt, ob die Blätter feucht waren und dadurch der Staub haften konnte oder nicht. Es ist auch unbekannt geblieben, ob in den Jahren der Ertragssteigerungen bzw. -minderungen durch Regenfälle oder anhaltende Trockenheit die Einwirkung des Staubes mutmaßlich beeinflusst worden ist. Schließlich ist durch keine irgendwie geartete direkte Untersuchung der mit Staub belegten Pflanzenteile (Blätter, Stengel) festgestellt worden, ob eine direkte Wirkung auf die Pflanzen durch den Zementstaub erfolgt ist.

Auf S. 231 schreibt HASELHOFF weiterhin: „In der Nähe von Soda-Fabriken sind Pflanzenschäden durch Sodastaub festgestellt worden. Aus Kalkbrennereien entweicht ätzkalkhaltiger Staub. Letzterer findet sich auch in dem Staub von Karbidfabriken, Zementwerken usw.“ Auf S. 251: „Die aus Karbidöfen entweichenden Rauchabgänge enthalten feinverteilten Kalk, der auf die Blätter ätzend wirken kann.“ „Aus Kalkbrennereien kann ätzkalkhaltiger Flugstaub entweichen, der die Pflanzen durch seine ätzende Wirkung schädigt. Sonstiger, aus dem unveränderten Rohmaterial herrührender Staub der Kalkwerke ist für das Pflanzenwachstum nicht schädlich. Gleiches gilt für den Staub aus Steinbrüchen und Gipswerken.“

Nach JANSON (1914, S. 300) soll jeder Staubbefall, besonders aber von Ätzkalk, die Obstblüte dadurch schädigen, daß die Narbenflüssigkeit durch den auf die Narben gelangten Staub aufgebraucht und dadurch der Befruchtungsvorgang verhindert wird. Nach

seinen Angaben soll starke Bewässerung während der Blütezeit die Schädigung mildern. Nach verschiedenen Angaben soll besonders die Bildung einer zusammenhängenden Zementkruste auf den Blättern die Lichteinwirkung verhindern und damit die Photosynthese beeinträchtigen (PEIRCE, 1910; 1919). G. BREDEMANN (1932, S. 370): „Liegen unlösliche Staubkrusten, z.B. Zementstaub, in dichter Schicht auf den Blättern, so kann bisweilen die schädliche Wirkung des Lichtentzuges an dem Bleichen der Chloroplasten erkannt werden.“ PARISH (1910) nimmt allgemeine Störungen der Ernährung und besonders der Belüftung der Blätter durch die Zementschicht an. In dem referierten Schrifttum sind zahlreiche Angaben über die Wirkung von Kalk- und Zementstaub und über einige andere Staubarten mit ähnlicher Wirkung vorhanden, ohne daß aber klare und eindeutige Stellungnahmen getroffen sind.

In den nachfolgenden Untersuchungen sollen zur Klärung der Kalk- und Zementstaubwirkungen einige grundsätzliche Fragen angegangen werden. Es sollen besonders folgende Punkte behandelt werden.

- 1.) Die Eigenschaften und direkten Wirkungen des Kalk- und Zementstaubes,
- 2.) Lassen sich an mit Kalk- und Zementstaub belegten Pflanzen direkte Schäden nachweisen?
- 3.) Wirkungen von Kalk- und Zementstaub auf die Pflanzenzelle.

II. DIE EIGENSCHAFTEN VON KALK- UND ZEMENTSTAUB

Da in allen mir bekannt gewordenen Untersuchungen über die Wirkung von Kalk- und Zementstaub 1.) keine genaue Definition der zu den Untersuchungen benutzten oder bei eingetretenen Verstaubungen vorgefundenen Staubarten gegeben worden sind, und 2.) das Verhalten und die Eigenschaften der verschiedenen Staubarten, besonders die Oberflächenwirksamkeit der Staubpartikel, nicht untersucht worden sind, so läßt sich aus den mitgeteilten Befunden oder Schlüssen kein klares Bild gewinnen.

Es wurden daher genau definierte Staubarten auf ihre Eigenschaften und ihr Verhalten untersucht, teils solche, welche im praktischen Gebrauch auftreten oder auch Ausgangs- bzw. Endmaterialien darstellen können, teils solche, welche bei Verstaubungen im Freien isoliert wurden.

Zu den Untersuchungen wurden pulverförmig verwendet:

- 1.) Weißkalk (Baukalk, Branntkalk)
- 2.) Portlandzement.

Diese Materialien finden Verwendung an Baustellen. Diese werden

beim Ab- oder Umfüllen verstaubt, sowohl an den Baustellen, wie auch ganz besonders an den Orten ihrer Herstellung. Es soll also unter Kalk- und unter Zementstaub in dieser Untersuchung das Gleiche verstanden werden, was der Laie auch darunter begreift, nämlich die beiden zum Bauen verwendeten Materialien mit den Eigenschaften, welche diese für den Verwendungszweck besitzen müssen, wenn sie in Pulverform benutzt werden. Weiterhin wurden das Ausgangsmaterial für 1) und 2) geprüft,

- 3.) natürlicher Kalkstein, gemahlen,
also Kalziumkarbonat und vergleichshalber chemisch gewonnenes
- 4.) Calciumcarbonat, gefällt
- 5.) Calciumhydroxyd (Löschkalk).

Zum Vergleich wurde auch

- 6.) Gips (Calciumsulfat)

geprüft, welcher auch als Staub auftreten kann.

Nicht eingeschlossen werden konnten dabei Stäube, welche bei der Herstellung dieser verschiedenen Güter durch die Schornsteine in die Luft übergehen und sich dann in der näheren und weiteren Umgebung absetzen. Diese standen mir bislang nicht zur Verfügung.

Die hier zu betrachtenden Staubarten rechnen zu den unlöslichen Stäuben, denen im allgemeinen schädliche Wirkungen auf die verschiedenen Substrate, auf denen diese abgelagert werden, also auch auf die Pflanzen, nicht nachgesagt werden.

Die Löslichkeitsdaten der hier in Frage kommenden Substanzen sind in Tabelle II enthalten.

TABELLE II

Calciumcarbonat	CaCO_2	20°	0,001%	100°	0,002%
Calciumhydroxyd	$\text{Ca}(\text{OH})_2$. . .	0°	0,17 %	80°	0,09 %
Calciumsulfat	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{aq}$	0°	0,23 %	100°	0,22 %

Die Löslichkeiten sind so gering, daß diese praktisch vernachlässigt werden können. Aber diese Substanzen können mit Wasser Hydrate bilden, hydrolysieren und geben dann Hydroxyl-Ionen an das Wasser, also an ihre nächste Umgebung ab, sie wirken alkalisch. Sie sind also trotz der sehr geringen Löslichkeit nicht indifferent. Beim Befeuchten mit Wasser tritt bei diesen Substanzen, wie natürlich auch beim Kalk (CaO) und beim Zement, welcher in erheblichem Umfang auch CaO enthält, Hydrolyse auf, welche je nach der Natur der betreffenden Verbindung schwächer oder stärker sein kann. Der Grad der Hydrolyse kommt zum Ausdruck in der Reaktion an der Oberfläche der befeuchteten Staubpartikel und kann durch den pH-Wert charakterisiert werden. Zur Messung dieses pH-Wertes wurden

verschiedene pH-Papiere (Indikator-Papiere) von geeigneten pH-Bereichen verwendet. Von solchen Indikator-Papieren steht heute eine ganze Reihe als sogen. Universal-Indikator-Papiere (weite pH-Bereiche) und Spezial- oder Original-Indikator-Papiere (enge pH-Bereiche) zur Verfügung. Es wurden folgende benutzt:

TABELLE III

Indikator-Papiere	Abkürzungen	
Bayer Indikator-Papier Nr. 7; pH 5,5– 8	B. Nr. 7;	5,5– 8
Bayer „ „ Nr. 8; pH 6,4– 8,4	B. Nr. 8;	6,4– 8,4
Bayer „ „ Nr. 9; pH 8,0–10,0	B. Nr. 9;	8,0–10,0
Bayer „ „ Nr. 10; pH 8,7–10,3	B. Nr. 10;	8,7–10,3
Bayer „ „ Nr. 12; pH 12,0–14,0	B. Nr. 12;	12,0–14,0
Dr. Höll Orig.-pH-Papier Phenolrot pH 6,4– 8,4	Dr. H. Ph. Rot;	6,4– 8,4
Dr. Höll Orig.-pH-Papier Thymolblau pH 8,0–10,4	Dr. H. Thym. Bl.;	8,0–10,4
Dr. Höll Orig.-pH-Papier Thymolphthalein pH 10,8–13,0	Dr. H. Th. Phthal.	10,8–13,0
Dr. Höll Orig.-pH-Papier Tropaeolin pH 12,4–14,0	Dr. H. Trop.;	12,4–14,0
Merek Universal-Indikator-Papier:	pH 1 –10	M.U. 1 –10
Merek Spezial-Indikator-Papier:	pH 5,4– 7,0	M.S. 5,4– 7,0
Merek „ „ „ :	pH 8,2–10	M.S. 8,2–10
Merek „ „ „ :	pH 9,5–13,0	M.S. 9,5–13,0
Riedel-de-Haen Univ.-Indikator-Papier:	pH 1 –11	R.U. 1 –11
Riedel-de-Haen Spez.-Indikator-Papier:	pH 5 – 9	R.S. 5 – 9
Riedel-de-Haen „ „ „ :	pH 9 –13	R.S. 9 –13

Die Oberflächen-Reaktion der Zementstaub-Teilchen

Eine kleine Menge Zement wurde auf einen Objektträger gebracht und mit wenig dest. Wasser befeuchtet. Ein kleines Stück Indikatorpapier wurde nach kurzer Zeit darauf gelegt und der Farbumschlag nach einiger Zeit kontrolliert.

Indikator-Papier	Farbumschlag
B. Nr. 12; 12,0—14,0	pH = 12,0
R. S.; 9—13	pH = 12,0
Dr. H. Th. Phthal.; 10,8—13,0	pH = 12,0
Dr. H. Trop.; 12,4—14,0	pH = 12,4

Die Oberflächen-Reaktion der Kalkstaub-Teilchen (CaO)

Die Feststellung wurde in gleicher Weise wie bei Zement getroffen.

Indikator-Papier	Farbumschlag
B. Nr. 12; 12,0—14,0	pH = 12,0
R. S.; 9—13	pH = 12,0
Dr. H. Th. Phthal.; 10,8—13,0	pH = 12,0
Dr. H. Trop.; 12,4—14,0	pH = 12,4

Die Oberflächen-Reaktion von Calcium-Hydroxyd (Ca(OH)₂)

Indikator-Papier	Farbumschlag
R. U.; 1—11	pH = 11
R. S.; 9—13	pH = 11
M. S.; 9,5—13	pH = 11

Die Oberflächen-Reaktion von natürlichem Kalkstein, pulverisiert (CaCO₃)

Indikator-Papier	Farbumschlag
M. U.; 1—10	pH = 8
M. S.; 6,4—8,0	pH = 8
R. U.; 1—11	pH = 8
R. S.; 5—9	pH = 8

Die Oberflächen-Reaktion von gefälltem Calcium-Karbonat (CaCO₃)

Indikator-Papier	Farbumschlag
M. U.; 1—10	pH = 8
M. S.; 6,4—8,0	pH = 8,0
B. Nr. 8; 6,4—8,4	pH = 8,0
Dr. H. Ph. Rot; 6,4—8,4	pH = 8,0—8,2
R. U.; 1—11	pH = 8
R. S.; 5—9	pH = 8 —8,5

Die Oberflächen-Reaktion von Gips (CaSO₄)

Indikator-Papier	Farbumschlag
M. S.; 5,4—7,0	pH = 7
R. U.; 1—11	pH = 7
R. S.; 5—9	pH = 7

Die Veränderung des pH-Wertes von befeuchtetem Kalk- und Zementstaub an der Luft.

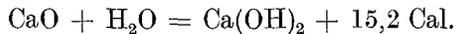
TABELLE IV

Kalkstaub	Zementstaub
frisch angerührt	
Dr. H. Th. Phthal. 10,8–13,0 pH = 12	Dr. H. Th. Phthal. 10,8–13,0 pH = 12
nach 24 Stunden	
Dr. H. Th. Phthal. 10,8–13,0 pH = 11	R. S. 9–13 pH = 11
nach 48 Stunden	
R. S. 9–13 pH = 11	R. S. 9–13 pH = 10
Dr. H. Th. Phthal. 10,8–13,0 pH = 11	R. U. 1–11 pH = 10
nach 6 Tagen	
R. S. 9–13 pH = 10	R. U. 1–11 pH = 8
R. U. 1–11 pH = 10	B. Nr. 8; 6,4–8,4 pH = 8,0
B. Nr. 10; 8,7–10,3 pH = 10,3	R. S. 5–9 pH = 8
B. Nr. 9; 8,0–10,3 pH = 10	Dr. H. Ph. Rot 6,4–8,4 pH = 8,2
Dr. H. Thy. Bl. 8,0–10,4 pH = 10,2	
nach 17 Tagen	
M. S. 8,2–10 pH = 10	M. S. 5–9 pH = 8,0
R. S. 9–13 pH = 10,0	M. U. 1–11 pH = 8
nach 47 Tagen	
R. U. 1–11 pH = 10	R. U. 1–11 pH = 8
R. S. 9–13 pH = 10	R. S. 5–9 pH = 8
M. U. 1–10 pH = 10	M. U. 1–10 pH = 8

Es ist zu erwarten, daß die starke Oberflächen-Alkalität der Kalk- und Zementstaubteilchen nicht dauernd erhalten bleibt, sondern durch die fortwährende Berührung mit der Luftkohlenensäure beim sogen. Abbinden dieser Staubteilchen sich verringert. Es sollte

nun dieses Absinken der Alkalität verfolgt werden. Dazu wurde je auf eine Glasplatte Kalk- bzw. Zementpulver aufgetragen, mit Wasser befeuchtet und an der Luft gehalten. Täglich wurden diese inzwischen angetrockneten Pulvermassen wieder mit Wasser befeuchtet und der pH-Wert an der Oberfläche mit entsprechenden Indikator-Papieren festgestellt. Erst nachträglich bildeten diese eine Kruste. Es zeigte sich folgender Verlauf. (Tab. IV).

Kalk- und Zementstaub besitzen bei Berührung mit Wasser zunächst die gleich starke Alkalität von $\text{pH} = 12$ an der Oberfläche der einzelnen Partikel, welche auch beim Zement von der Anwesenheit von Calcium-Oxyd bzw. Calcium-Hydroxyd herrührt. Infolge der Wasseraufnahme des Kalkpulvers reagiert dieses nach der Gleichung



Bei Zutritt von Wasser in begrenzten Mengen, wie es z.B. bei dem Auftreffen von Kalkstaub auf die mit Wasser imbibierten Zellwände eintritt, bleiben die Kalk- und Zementteilchen auch weiterhin pulverförmig, so daß auch beim Absetzen von mehr Kalkstaub es nicht gleich zur Krustenbildung kommen kann. Das gilt auch für die Bestäubung von feuchten Oberflächen mit Zementpartikelchen. Erst wenn diese Stäube in erheblichen Mengen und fortgesetzt auf die Oberfläche auftreffen und wenn Wasser in Form von Niederschlägen oder Tau zugeführt wird, kann es zur Entstehung von Kalk-etc. Krusten führen.

Mit der Bildung von Calcium-Hydroxyd sinkt die alkalische Reaktion an der Oberfläche von Kalk- und Zementteilchen ab auf etwa $\text{pH} = 11$. Auch diese Reaktion bleibt nicht konstant bestehen. Mit der allmählichen Aufnahme von Luftkohlenensäure und der erfolgten Karbonatbildung verringert sich die Alkalität sowohl der aufgetroffenen Kalk- wie auch der Zementteilchen und nähert sich nach einiger Zeit einem Grenzwert, welcher bei den beiden Staubarten konstant bleibt, vorausgesetzt, daß inzwischen keine neuen und frischen Staubteilchen aufgetroffen sind. Dieser konstante Grenzwert beträgt beim Zementstaub $\text{pH} = 10$ und beim Kalkstaub $\text{pH} = 8$. Diese Werte wurden sowohl in den oben mitgeteilten Modellversuchen ermittelt, wie auch im Freien bei natürlichen Verstaubungsfällen festgestellt (vergl. dazu S. 193-197). Mit diesen unterschiedlichen pH-Werten lassen sich Bestäubungen unterscheiden, welche mit Zement- und solche mit Kalkstaub eingetreten sind. Der konstante Endwert des älteren Kalkstaubes $\text{pH} = 8$ deckt sich mit dem pH-Wert von angefeuchtetem gefälltem Calcium-Karbonat und demjenigen von gepulvertem natürlichem Kalkstein. 21 Jahre alter Bunkerbeton (Westwall) zeigte einen weiteren Abfall der Oberflächen-Alkalität auf $\text{pH} = 8$:

M. U. 1—10: pH = 8 R. U. 1—11; pH = 8
 M. S. 6,4—8,0: pH = 8 R. S. 5— 9: pH = 8.

Die stark alkalischen Stäube sind ferner in der Lage, bei schwachem Befeuchten Phenolphthalein-Papier intensiv rotviolett zu färben und zwar Calcium-Hydroxyd (pH = 11), Kalk- und Zementstaub (pH = 12). Da Phenolphthalein einen Umschlagsbereich von pH 8—9,8 besitzt, bedeutet das eine Möglichkeit, diese bei Befeuchten stark alkalischen Staubarten leicht und sicher mit diesem Indikator gegen andere differenziert nachzuweisen.

III. UNTERSUCHUNGEN AN MIT KALK- UND ZEMENTSTAUB BELEGTEN BLÄTTERN UND STENGELN

Zur Prüfung der Frage, ob an Pflanzenteilen, welche im Freien in der Umgebung von Kalk- und Zementwerken der Einstaubung ausgesetzt sind, direkt nachweisbare Schäden auftreten, wurden an verschiedenen Orten Proben eingesammelt und sowohl der Belag der Organe wie auch auf Querschnitten der Stengel und Blätter der Zustand der Gewebezellen untersucht. Die geprüften Pflanzen waren verschiedener Art. Es wurden besonders solche ausgewählt, welche deutlichen, bzw. reichlichen Belag trugen.

Kalkwerk bei Aachen:

Weißbuchen (*Carpinus betulus* L.) am Straßenrand, etwa 100 m von den Fabrikgebäuden entfernt; Blätter und Zweige waren weiß bestäubt.

Die Reaktion des Belages: Dünne Zweige:

Bayer Nr. 7; 5,5—8,0 Reaktion: pH = 8,0
 Bayer Nr. 8; 6,4—8,4 ,, pH = 8,0—8,4.

Blätter:

Bayer Nr. 7; 5,5—8,0 Reaktion pH = 8,0
 Bayer Nr. 8; 6,4—8,0 ,, pH = 8,0—8,4.

An den Blättern, welche noch grün erschienen, waren die Interkostalfelder zwischen den Seitennerven 1. Ordnung gelblich bis braun verfärbt. Andere Blätter waren im ganzen gelblich gefärbt, nur die Hauptnerven zeigten noch grüne Färbung. Die jüngsten Blätter erschienen durch reichliche Anthocyanbildung mehr oder weniger stark gerötet. Querschnitte durch die gelblich verfärbten Teile der Blattspreite und der im ganzen gelblichen Blätter ließen in den Mesophyllzellen keine Chloroplasten erkennen. Die Zellen waren angefüllt mit einer feinkörnigen gelblichen bis gelblich-grünen Masse, d.h. die Chloroplasten wie der gesamte Zellinhalt waren

zerstört, das Chlorophyll zersetzt. Halbierte Blätter wurden mit der Schnittfläche auf angefeuchtetes Indikatorpapier gedrückt (Bayer Nr. 7 und Nr. 8). In beiden Fällen fand unter dem Querschnitt Umfärbung nach $\text{pH} = 8$ statt. Die Stengel und Blätter wurden während einer längeren Regenperiode eingesammelt. Das Hantieren mit diesen Pflanzenteilen verursachte das eigenartig stumpfe Gefühl an den Händen wie bei der Berührung mit Mörtel bzw. mit Laugen.

Kalkwerk bei Mettmann:

An einer etwa 500 m östlich des Kalkwerkes vorbeiführenden Straße stehende Bäume und Sträucher, welche weißgrau bestäubt waren, ebenso wie die niedrigen Kräuter, waren den vorwiegend westlichen Winden aus der Richtung des Kalkwerkes ausgesetzt. Die Seite des Satteldaches eines Bauernhauses, welche gegen das Werk gerichtet war, trug ebenfalls einen weißgrauen Belag. Trotz des während der Freiland-Untersuchung herrschenden Regenwetters wurden diese Beläge keineswegs abgespült, sondern blieben haften. Aber das von den Blättern und Zweigen abtropfende Wasser verursachte an den Händen das rauhe Gefühl wie nach Berührung mit Mörtel. Zur Untersuchung wurden nur einige Pflanzen herausgegriffen. Die Anzahl hätte mit Leichtigkeit noch vergrößert werden können.

1.) Die Reaktion des weißen Belages der Pflanzenorgane:

Aesculus hippocastanum L.

Blätter: Merck, U. 1—10	Reaktion $\text{pH} = 8$
Bayer, Nr. 7; 5,5—8	„ $\text{pH} = 8$
Bayer, Nr. 8; 6,4—8,4	„ $\text{pH} = 8$

Salix viminalis L.

Blätter: Merck, U. 1—10	Reaktion $\text{pH} = 8$
Bayer, Nr. 7; 5,5—8,	„ $\text{pH} = 8$
Bayer, Nr. 8; 6,4—8,4	„ $\text{pH} = 8$

Sambucus nigra L.

Blätter und Stengel: Merck, U. 1—10	Reaktion $\text{pH} = 8$
Bayer, Nr. 7; 5,5—8	„ $\text{pH} = 8$
Bayer, Nr. 8; 6,4—8,4	„ $\text{pH} = 8$

Robinia pseudacacia L.

Blätter: Merck, U. 1—10	Reaktion $\text{pH} = 8$
Bayer Nr. 7; 5,5—8	„ $\text{pH} = 8$
Bayer, Nr. 8; 6,4—8,4	„ $\text{pH} = 8$

2.) Untersuchung von Blatt- und Stengelgeweben:

Aesculus hippocastanum: Die bestäubten Blätter zeigen die vorgewölbten Teile der Interkostalfelder zwischen den Seitennerven 1. Ordnung vergilbt. Auf Querschnitten sind in den Palisaden und den Zellen des Schwammgewebes die Chloroplasten vergilbt und körnelig entmischt, z.T. stark deformiert. An manchen Blättern sind diese Gewebeteile schon abgestorben und gebräunt.

Salix viminalis: Die stark bestäubten Blätter zeigen auf Querschnitten leicht gelblich-grüne Chloroplasten, diese sind stark und unregelmäßig deformiert. Bei vielen Blättern tritt die Gelbfärbung gegen die Blattspitze zu auch makroskopisch sichtbar in die Erscheinung. Dabei handelt es sich im wesentlichen um nach abwärts hängende Blätter, an denen das Niederschlagswasser den Kalkstaub besonders an den physikalisch unteren Teil der Spreite zusammengeschlämmt und angereichert hat, während dann der höher gelegene Blatteil noch grün gefärbt ist. In den Zellen mit gelblichen Chloroplasten zeigen mit konzentrierter Schwefelsäure reichliche auftretende Gipsnadeln hohen Kalziumgehalt an. – Die in diesen Blättern lokalisiert auftretenden Schädigungen der Chloroplasten und damit der Zellen am nach unten hängenden Blatteil stellen unter Beweis, daß diese Schädigungen durch den Belag von Kalkstaub hervorgerufen worden sind und nicht etwa durch Rauchgase.

Sambucus nigra scheint eine Testpflanze für Kalkstaubschäden von besonderer Empfindlichkeit zu sein. Zahlreiche Sträucher entlang der genannten Straße besaßen in größerem Umfange abgestorbene Äste und Zweige. Besonders auffällig reagiert die Rinde der Zweige. Die mit dem Kalkstaub belegte Oberseite der plagiotropen Äste und Zweige zeigt die Korkrinde polsterförmig aufgequollen, während an den Seiten und auf der Unterfläche keine Veränderungen festzustellen sind. Hier ist die Rinde noch glatt und mehr oder weniger glänzend, liegt dem Holzkörper noch straff an und besitzt noch die übliche graubraune Farbe. Auch diese Tatsache ist ein Beweis dafür, daß die schädigende Wirkung von dem Kalkstaubbelag ausgeht und nicht zurückzuführen ist auf Rauchgasinflüsse, welche allseitig einwirken. Die anatomische Untersuchung der Rindengewebe zeigt, daß das Korkgewebe zersetzt und aufgequollen ist (Verseifung durch Calcium-Hydroxyd). Das darunterliegende normalerweise noch lebende Gewebe ist gebräunt bis auf den Holzkörper. Auf der Unterseite der Stengel ist noch keine Schädigung zu bemerken.

An anderen Zweigen, an denen die Schädigungen noch nicht so

weit fortgeschritten sind, sind in den Rindenparenchymzellen die Chloroplasten feinkörnig entmischt, der Zellinhalt oft homogen grün und körnelig. In vielen größeren Zellen sind häufig sehr kleine Stärkekörner (Stärkeschoppung) angehäuft und im Zellsaft in BROWNScher Molekularbewegung begriffen. In anderen Zellen des Rindenparenchyms oder auch in eventuell rhexigen entstandenen Interzellularräumen befinden sich an den Zellwänden zahlreiche Kristallbildungen als Calcium-Oxalat. Das Holz- und Markstrahlparenchym ist stark mit Stärkekörnern angefüllt.

Ein Kalkofen bei Aachen:

In der Nähe eines Kalkofens wurde der weiße Belag an Zweigen von *Corylus avellana* L. und *Alnus glutinosa* GAERTN. geprüft, welcher beim Ausfahren des gebrannten Kalkes aus der unteren Ofenöffnung verstäubt wird. Auch dieser Belag ergab den Wert $\text{pH} = 8$, obwohl der frische Branntkalk $\text{pH} = 12$ zeigt. Die Wirkung dieser Verstäubung wird z.B. an den Zweigen der noch unbelaubten Haselsträucher erkannt, deren Rinde stark zerstört war (Abb. 1).

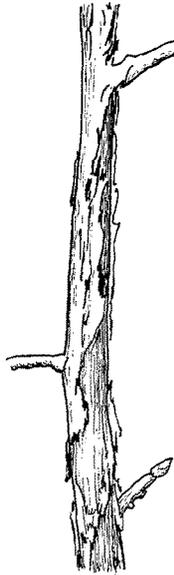


Abb. 1. *Corylus avellana*, Zweigstück, 1 : 1

Zementwerk in der Eifel:

An einer von Norden nach Süden am Zementwerk entlang laufenden Straße wurden verschiedene Pflanzen etwa 500 m vor und hinter

dem Werk, welche mit grauem Belag an Stengeln und auf den Blättern versehen waren, eingesammelt. Der Belag wurde auf die Reaktion, Stengel und Blätter auf den Zustand der Gewebe untersucht.

1.) Die Reaktion des grauen Belages der Pflanzenorgane:

Tilia cordata MILL.

Blätter: Merck, U. 1—10 Reaktion pH = 10
 Riedel, U. 1—11 „ pH = 10

Acer pseudoplatanus L.

Blätter: Merck, U. 1—10 Reaktion pH = 10
 Riedel, S. 9—13 „ pH = 10,3

Prunus spinosa L.

Zweige: Merck, U. 1—10 Reaktion pH = 11
 Riedel, S. 9—13 „ pH = 10,3
 Blätter: Merck, U. 1—10 Reaktion pH = 10
 Riedel, S. 9—13 „ pH = 10
 Bayer, Nr. 10; 7,8—10,3 „ pH = 10,3
 Dr. Höll, Thym. 8,4—10,4 „ pH = 10,4

Rosa canina L.

Blätter: Merck, U. 1—10 Reaktion pH = 10
 Bayer, Nr. 10; 8,7—10,3 „ pH = 10,3
 Riedel, S. 9—13 „ pH = 10,5
 Dr. Höll, Thym. Bl. 8,0—10,4 „ pH = 10,4

Dactylis glomerata L.

Fruchtstand Merck, U. 1—10 Reaktion pH = 10
 u. Blätter: Riedel, S. 9—13 „ pH = 10,5

Tussilago farfara L.

Blätter: Bayer, Nr. 10; 8,7—10,3 Reaktion pH = 10,3
 Merck, U. 1—10 „ pH = 10

Taraxacum officinale L.

Blätter: Merck, U. 1—10 Reaktion pH = 10
 Riedel, S. 9—13 „ pH = 10,5.

2.) Untersuchung der verstaubten Pflanzenorgane:

Tilia cordata: An den Zweigen der Baumkrone befinden sich auf der gegen das Werk gerichteten Seite auf der dünnen Korkschicht dicke Zementbeläge. Auch Querschnitte tragen noch den Belag. Dieser haftet so fest, daß er sich auch beim Schneiden nicht ablöst. Mit konzentrierter Schwefelsäure ist das Kalzium durch die große Menge der auftretenden Gipsnadeln leicht nachzuweisen. Die Korkschicht ist stark verquollen, im Rindengewebe

befinden sich sehr viele Calcium-Oxalat-Drusen. Die Chloroplasten der Zellen sind geschrumpft und körnelig entmischt, gelblich gefärbt. Viele Zweigspitzen sind abgestorben. Die Blätter der Krone an der dem Werk zugekehrten Seite sind auffällig klein im Gegensatz zu denen der abgewandten Seite (Abb. 2). Die Spreite mißt bei vielen vom Stielansatz bis zur Spitze nur 18 mm, bei anderen etwas mehr, während auf der gegenüberliegenden Seite der Krone solche bis zu 100 mm Spreitenlänge vorhanden sind.

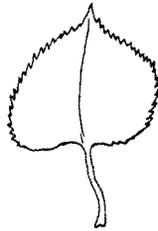


Abb. 2. *Tilia cordata*, Blatt, natürl. Größe, 18 mm lang

Acer pseudoplatanus: Blattquerschnitte:

Die Palisadenzellen lassen eigenartige Deformationen der Chloroplasten erkennen. Diese sind geschrumpft und scheinen miteinander verklebt zu sein. Das Cytoplasma ist verdickt zu strähnigen Massen in den Zellen, verfestigt sich und umschließt die Chloroplasten. Der Zellsaft ist in meist mehreren unterschiedlich großen Vakuolen in den Zellen lokalisiert. In anderen, schon stärker geschädigten Zellen sind derartige Differenzierungen nicht mehr vorhanden. Die Chloroplasten scheinen gequollen. Der gesamte Zellinhalt ist mehr zu einer dunklen Masse geworden, welche mehr und mehr an Differenzierung verliert und sich in Auflösung befindet (Abb. 3). In den Schwammparenchymzellen haben die Schädigungen diesen Grad noch nicht erreicht wie in den unmittelbar unter der Epidermis der Blattoberseite gelegenen Palisadenzellen. Aber auch hier ist die Gestalt der Chloroplasten häufig durch Schrumpfung eckig geworden, diese sind in den Zellen zu Klumpen geballt und offensichtlich verklebt. Fest abgegrenzte Zellsaftvakuolen treten auf. An stark geschädigten Blättern (Abb. 4) fällt die geringere Dicke des ganzen Blattes auf. Die Zellen sind zusammengesunken. Besonders das wesentlich lockere Schwammparenchym mit seinen großen Interzellularen ist fast vollkommen kollabiert. In den aufrecht stehenden Palisaden ist jede Differenzierung verschwunden. In den Zellen, soweit solche noch unterschieden werden können, ist eine einheitlich graugrüne Masse in dicken Strängen vorhanden, dazwischen noch einige Reste der früher scharf abgegrenzten Vakuolen. Noch stärker deformiert

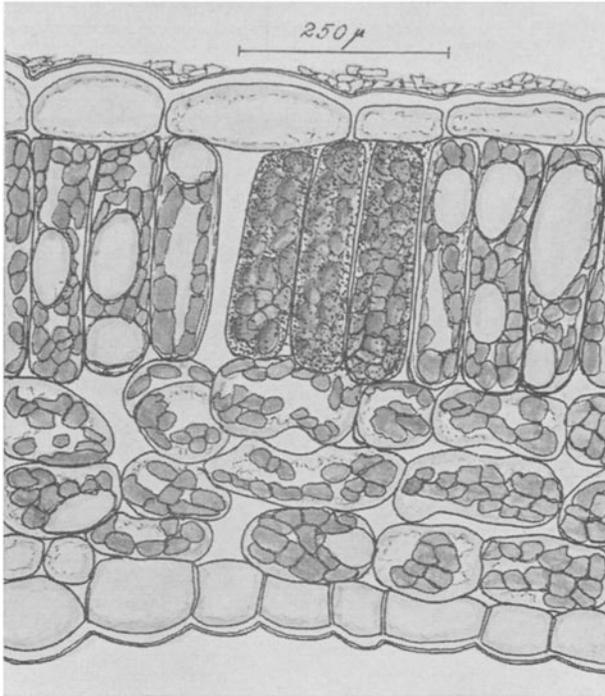


Abb. 3. *Acer pseudoplatanus*, Blatt Q.-S. siehe Text

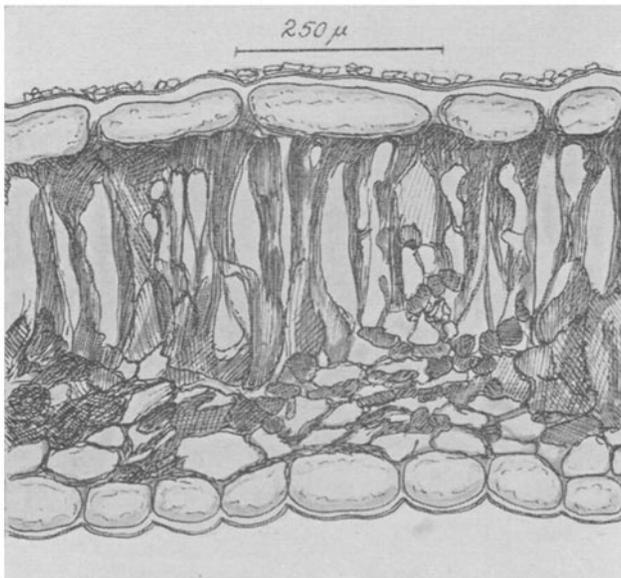


Abb. 4. *Acer pseudoplatanus*, Blatt Q.-S. siehe Text

und in völliger Auflösung begriffen sind die Schwammparenchymzellen. Nur die chlorophyllfreien, derbwandigen Epidermiszellen haben ihre Form noch einigermaßen bewahrt und halten die völlig denaturierten Gewebe noch zusammen.

Prunus spinosa: Die zahlreichen Schlehenbüsche an den Hängen der Straße zeigen durchweg starke Verstaubung. Die Zweigspitzen und zahlreiche Zweige sind abgestorben. Sowohl die belaubten wie die toten Zweige tragen häufig bandförmige Krusten in Richtung auf das Werk. Die Blätter zeigen sämtlich oberseits dicken Belag, der sich nicht einfach abschütteln läßt. Zur Untersuchung wurden Blätter eines mehr abseits stehenden Strauches mit geringerer Verstaubung ausgewählt. Blattquerschnitte: Die Anfänge der Schädigung durch Infiltration der alkalischen Lösung machen sich bemerkbar in einer Deformation der Chloroplasten und weiter in der Störung der gleichmäßigen Anordnung dieser in dem Cytoplasma-Wandbelag, besonders in den unmittelbar unter der oberseitigen Epidermis gelegenen Palisaden- und Sammelzellen. Das Schwammgewebe ist noch weniger beeinträchtigt. (Abb. 5).

Rosa canina: Stengelquerschnitte von jüngeren Trieben lassen das Eindringen der alkalischen Lösung deutlich verfolgen. Die Stengel der Rose sind ausgezeichnet durch eine große Anzahl von gerbstoffführenden Zellen in Mark und Rinde. Von der Stengeloberfläche her sieht man dunkle, etwa keilförmige Zonen vordringen. Hier hat die alkalische Lösung an der Oberfläche der Stengel beim Vordringen in die Rinde in dem Zellsaft mit dem dort vorhandenen Gerbstoff dunkle Fällungen hervorgerufen, welche das weitere Vordringen kennzeichnen.

IV. DIE WIRKUNG VON KALK- UND ZEMENTSTAUB AUF DIE LEBENDE PFLANZENZELLE

Die schon an natürlichen Standorten an verstaubten Pflanzen ausgeführten Untersuchungen und Beobachtungen mit verschiedenen Staubarten sollten in Modellversuchen mit künstlicher Bestäubung im einzelnen noch erweitert werden.

Auf Runkelrübenblätter (*Beta vulgaris* L.) wurden verschiedene Staubarten aufgetragen und zwar in der am besten und sichersten Art der Wirksamkeit. Die zu bestäubende Blattfläche wurde unmittelbar vor dem Auftragen des Staubes mit Brunnenwasser benetzt, darauf dann der Staub aufgetragen, so daß dieser selbst feucht auf der Blattfläche lag. Die Versuche wurden unter Glas ausgeführt, um ein Verwehen oder Abregnen zu verhindern. Der Staub wurde in kontinuierlicher Schicht auf dem mittleren Teil der Spreite gelagert. An den folgenden Tagen wurde nach dem Antrock-

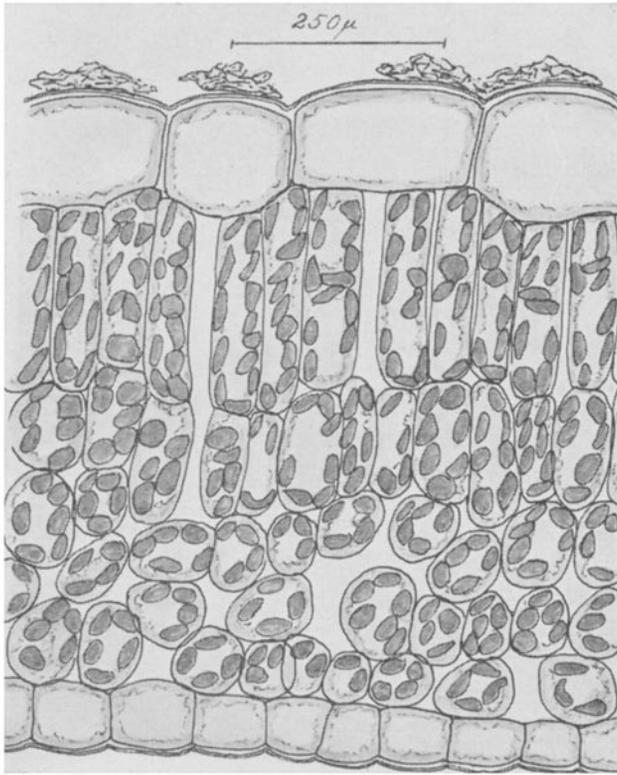


Abb. 5. *Prunus spinosa*, Blatt Q.-S. siehe Text

nen ab und zu durch vorsichtiges Beträufeln der bestäubten Flächen von neuem völlige Benetzung des Staubes bewirkt. Dadurch wurde also erreicht, daß die Eigenschaften der verwendeten Staubarten mit Sicherheit auf die Oberfläche der Versuchsblätter zur Wirkung kommen konnten, es wurde also der Ernstfall verwirklicht. Die Versuchsblätter wurden nach 7 Tagen entnommen und auf Querschnitten wurde der Zustand der Zellen untersucht.

Zur Untersuchung wurden Kalk, Portlandzement, ferner gemahlener natürlicher Kalkstein und gefälltes Kalziumkarbonat verwendet. Die beiden letzteren als Ausgangsprodukte (Kalkstein), dieser aber auch als natürlicher Kalkstaub und das gefällte Kalziumkarbonat als Modellsubstanz. Der Verwendung der beiden letzteren lag aber auch folgende Überlegung zugrunde. Da Kalk- und Zementstaub frisch bei Benetzung mit Wasser an der Oberfläche der Partikel eine Alkalität von $\text{pH} = 12$ entwickeln und diese bei anhaltender Einwirkung auf die lebende Pflanzenzelle erhebliche Schädigung

hervorrufen muß, konnte es von Interesse sein zu prüfen, welchen Einfluß das Kalksteinpulver und das gefällte Kalziumkarbonat ausüben werden, deren Oberflächen bei Befeuchten einen pH-Wert von nur 8 ergibt.

1) Runkelrübenblätter mit Zementstaub belegt:

Untersuchung nach 7 Tagen. Die Blattzellen zeigen auf dem gesamten Querschnitt starke Störungen. Das Bild war nicht einheitlich. Die Chloroplasten erscheinen stark kontrahiert. Diese sind zu spindelförmigen Gebilden geworden, und liegen als solche völlig wirr in den Zellen, d.h. die Achsen der Spindeln sind nach allen Richtungen orientiert (Abb. 6). Die Chloroplasten sind entweder auf den Zellflächen verteilt, oder auch meist einseitig in den Zellen geballt und zwar meist auf der der Oberseite des Blattes abgewandten Seite. In diesen Zellen ist dann eine große Vakuole zu erkennen.

An anderen Stellen des Blattes – an denen die Einwirkung offenbar stärker erfolgte – zeigten die Chloroplasten körnelige Zersetzung (Entmischung). In manchen Zellen sind die Grenzen zwischen den einzelnen Chloroplasten mehr oder weniger stark verwischt. Diese Art der Einwirkung ist besonders direkt unter der oberen Epidermis in den Palisadenzellen eingetreten, während nach der Blattunterseite zu mehr die Schrumpfung der Plastiden hervortritt.

Infolge der starken Kontraktion der Chloroplasten erscheinen die Blattzellen wesentlich heller als bei den unbeeinflussten Zellen gesunder Blätter. Die ursprüngliche Farbe des Chlorophylls ist einer mehr gelblichen gewichen. Die Chloroplasten zeigen mehr oder weniger stark körnelige Beschaffenheit. Einschlüsse von Stärke sind zu keiner Tageszeit festzustellen.

2) Runkelrübenblätter mit Kalkstaub belegt:

Untersuchung nach 7 Tagen. Genau wie bei der Bestäubung mit Zement zeigen die Blattzellen auf dem gesamten Querschnitt erhebliche Störungen. Die Chloroplasten sind auch hier stark kontrahiert zu schmalen Gebilden und an den Enden leicht zugespitzt. Diese liegen in den Zellen verstreut und sind ebenfalls ganz unregelmäßig orientiert. In manchen Zellen sind diese Plastiden einseitig geballt und zwar an dem der Oberseite abgewandten Ende der Zellen. An manchen Stellen des Blattes reicht die einseitige Häufung der Plastiden in den Zellen unmittelbar bis an die Epidermis der Oberseite. An diesen Stellen ist wahrscheinlich das Eindringen der alkalischen Lösung in stärkerem Maße erfolgt als an den benachbarten. Die Farbe der geschrumpften Plastiden ist gelblich-grün. Irgendwelche Einschlüsse lassen diese ebenfalls nicht erkennen (Abb. 7).

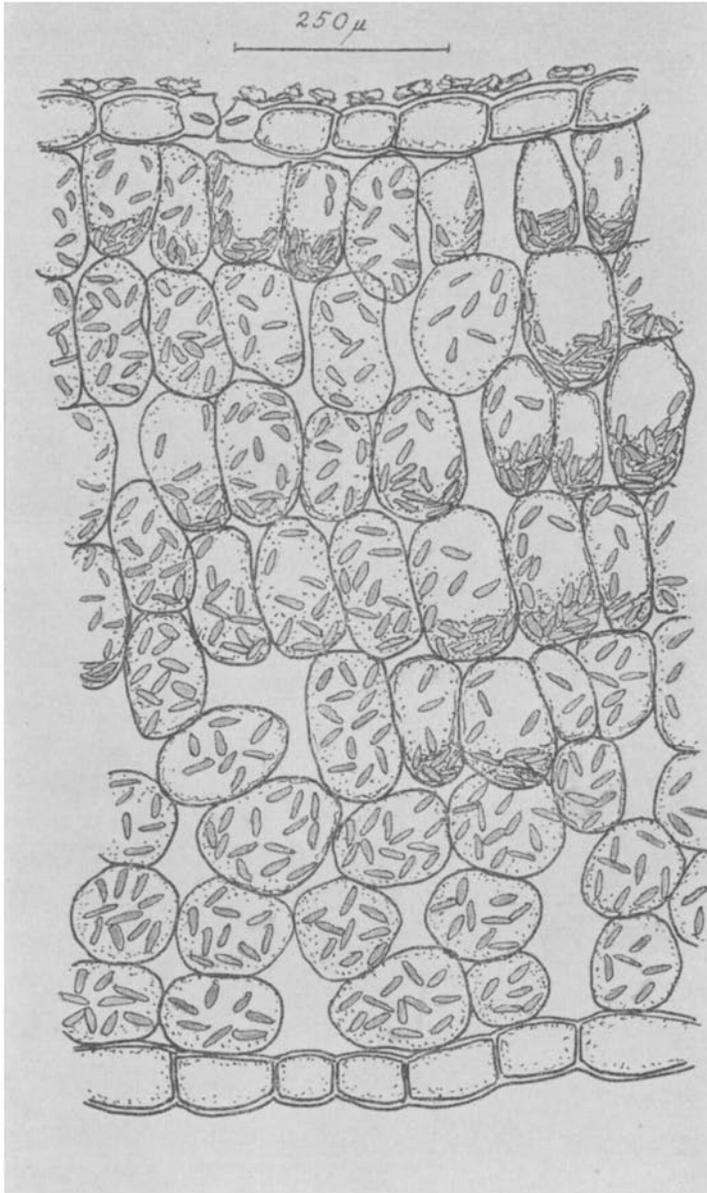


Abb. 6. *Beta vulgaris*, Blatt Q.-S. siehe Text

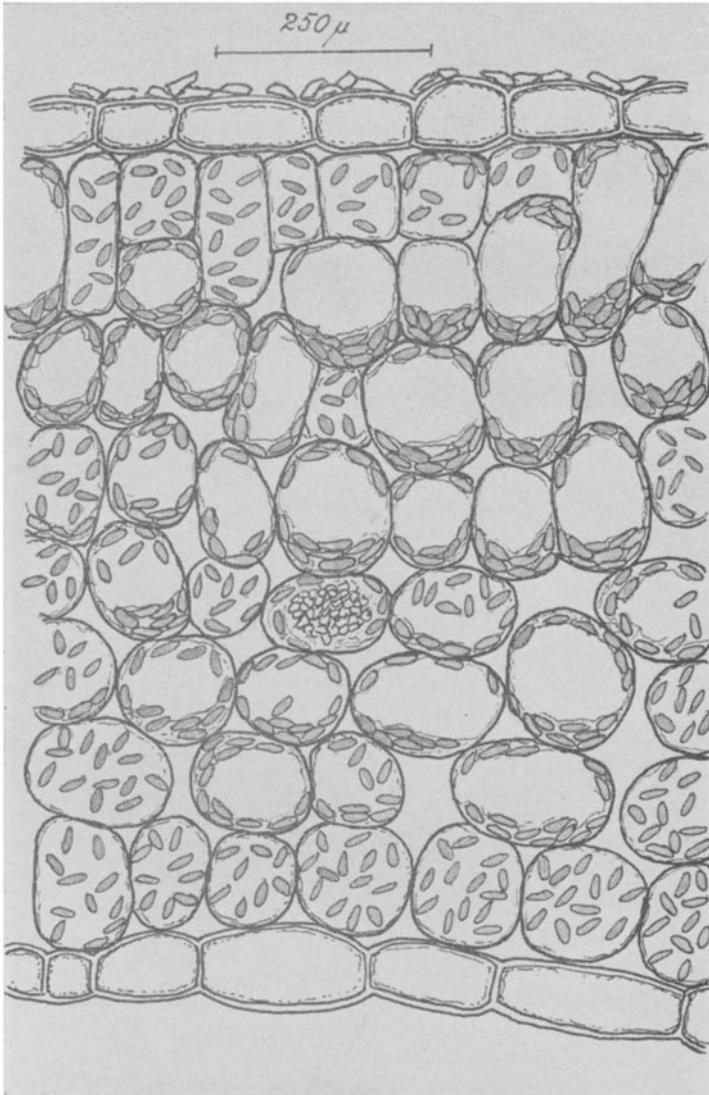


Abb. 7. *Beta vulgaris*, Blatt Q.-S. siehe Text

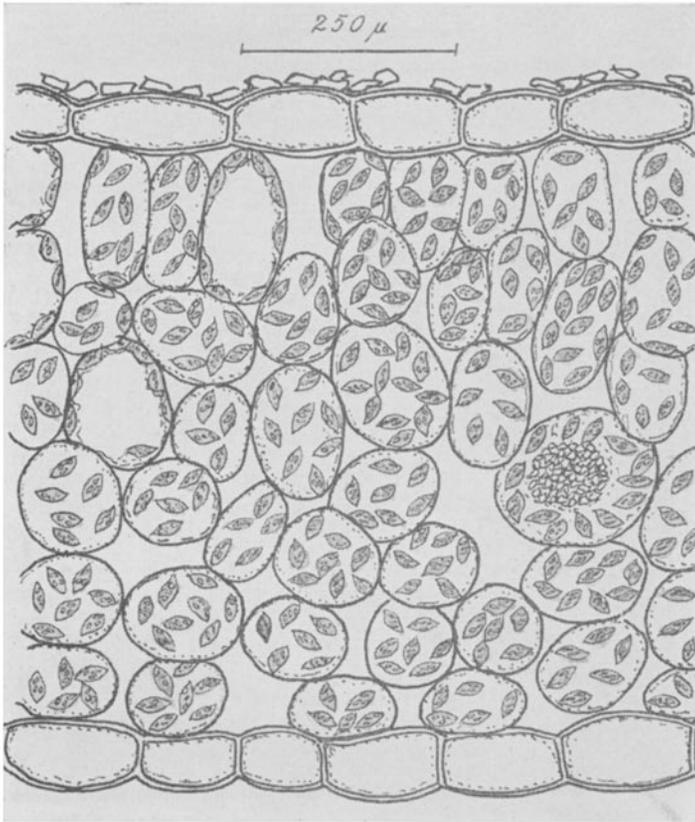


Abb. 8. *Beta vulgaris*, Blatt Q.-S. siehe Text

3) Runkelrübenblätter teils mit gemahlenem Kalkstein (Kalziumkarbonat) belegt, teils mit gefällttem Kalziumkarbonat.

Das Verhalten der Blätter mit diesen beiden Staubarten ist völlig übereinstimmend, so daß beide zusammen besprochen werden können.

In beiden Versuchen lassen die Blattzellen eine gewisse Beeinflussung erkennen. Die Chloroplasten zeigen in den grünen Zellen des gesamten Mesophylls etwas veränderte Gestalt. Diese sind nun spitzoval, haben also etwas an Flächenausdehnung eingebüßt. Sie sind in den Zellen so orientiert, daß die lange Achse der Ellipsen nach allen Richtungen verläuft, ganz ähnlich wie unter der Einwirkung von Kalk- und Zementstaub. Aber die Plastiden zeigen noch ihre rein grüne Färbung und enthalten gegen Ende des Tages auch mehrere deutlich längliche Stärkekörner (Abb. 8). Bei diesen Blättern ist also unter der Einwirkung des Staubes zwar eine leichte

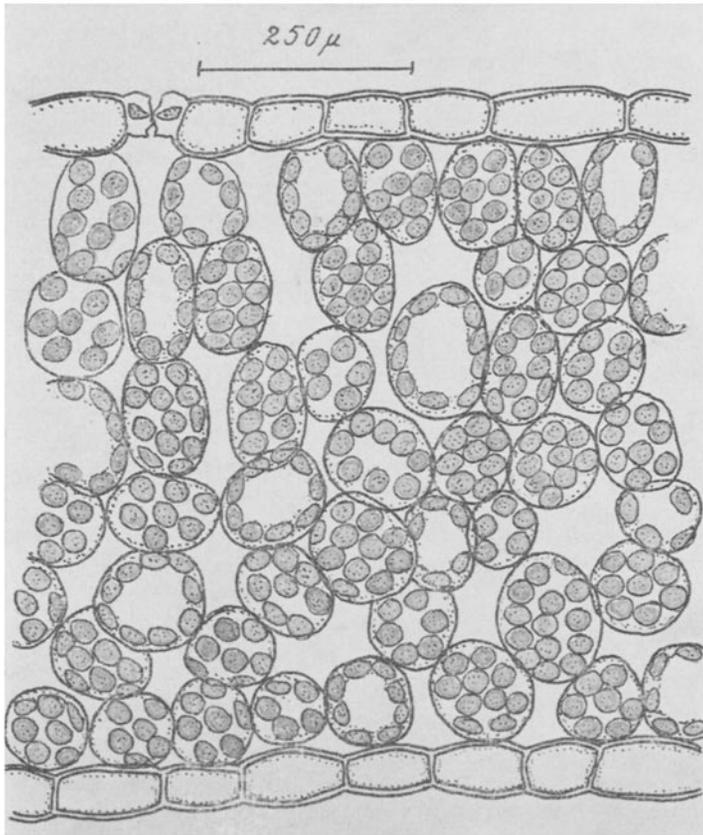


Abb. 9. *Beta vulgaris*, Blatt Q.-S. siehe Text

Beeinflussung der Gestalt und Orientierung der Chloroplasten zu erkennen, aber ihre Funktion ist offenbar nicht beeinflußt worden. Es sei hier noch einmal darauf hingewiesen, daß die Verstaubung in diesen Versuchen immer am mit Wasser benetzten Blatt erfolgte und daß die Blätter nach dem Antrocknen wieder mit Wasser beträufelt wurden. Für die Einwirkung des Staubes waren also die günstigsten Bedingungen geschaffen.

4) Unbehandelte Blätter:

Die Chloroplasten im Mesophyll unbehandelter Blätter besitzen die übliche runde (linsenförmige) Gestalt. Bei sehr dichter Lagerung flachen sich diese gegeneinander ab (Abb. 9). Sie zeigen das bekannte satte Grün des Chlorophylls der Blattzellen. Stärkeeinschlüsse sind im Laufe des Vormittags als zahlreiche kleine Punkte, am Nach-

mittag als rundliche bis längliche Stärkekörner zu acht bis zehn deutlich zu erkennen.

V. DISKUSSION DER UNTERSUCHUNGEN

Die Durchsicht des Schrifttums über die Frage der Kalk- und Zementstaubwirkungen auf die Pflanzen läßt die bestehenden Widersprüche bei der Beurteilung deutlich erkennen. Bezeichnend für die Situation sind die Sätze E. HASELHOFFS (1932, S. 252). „Auch der Staub aus Zementfabriken ist für das Pflanzenwachstum im allgemeinen nicht schädlich. Es bleibt aber zu beachten, daß Zementstaub stark alkalisch reagiert und deshalb je nach der Art und der Zeit der Verstaubung der Pflanzen mit diesem Staube eine Beeinträchtigung der Entwicklung der Pflanzen hierdurch wohl möglich ist.“ Gerade E. HASELHOFF hatte in sechsjährigen Versuchen kein klares Bild von der Wirkung des Zementstaubes gewinnen können. Er hat allerdings – wie schon oben bemerkt – unterlassen, eine direkte Prüfung der Wirkung des Zementstaubes auf die Blätter vorzunehmen, besonders von diesem Staub, dessen stark alkalische Reaktion er doch betont. Außerdem ist die von ihm benutzte Methode der Untersuchung, welche zur Erprobung der Düngerwirkung verschiedener Komponenten im Boden auf Kulturpflanzen Anwendung findet, nicht geeignet, die Wirkung der Verstaubung durch Kalk und Zement auf die Pflanzen festzustellen. Infolge der hohen Aggressivität der Kalk- und Zementstaubteilchen durch die starke Hydrolyse bei der Berührung mit einem feuchten Substrat ist die Möglichkeit einer schädigenden Einflußnahme von HASELHOFF zwar nicht völlig ausgeschlossen worden, eine solche ist aber ganz selbstverständlich. Das gilt ganz besonders dann, wenn es sich um die Blätter oder Stengel von lebenden Pflanzen (oder auch z.B. um die Schleimhäute oder ähnliche Teile von Körperflächen von lebenden Tieren oder auch des Menschen) handelt. Letzteres ist in der Landwirtschaft und im Bauwesen allgemein bekannt und besondere Vorschriften suchen den möglichen Schädigungen vorzubeugen. Es ist auch weiter oben schon darauf hingewiesen worden, daß wiederum bei Kalk- und Zementstaub weder die besonderen Eigenschaften und das Verhalten der Staubpartikel untersucht worden sind, noch deren Wirkung auf lebende Pflanzenteile. Um über die Wirkung von Staubarten auf die lebende Pflanze überhaupt etwas aussagen zu können, ist es aber ganz selbstverständlich, daß die Eigenschaften des Staubes und die Einwirkungen auf das Substrat bekannt sein müssen.

Es ist aber sehr wohl möglich, – auch das ist bei den Versuchen

HASELHOFFS unberücksichtigt geblieben – daß bei einer Bestäubung eines Pflanzenbestandes auch mit diesen aggressiven Staubarten, einmal keine oder nur geringfügige Schädigung entstehen kann, wenn z.B. die Witterungsbedingungen besonders günstig sind. Dabei ist besonders an länger anhaltendes trockenes Wetter zu denken, ohne Nebel oder Tau bzw. Niederschläge, so daß die Oberfläche der Blätter und Stengel vollkommen trocken bleibt. Fällt dann Staub auf die Blätter, so kann dieser eventuell nicht haften bleiben und vom Luftzug wieder weggefegt werden, oder, wenn er auch liegen bleibt, infolge des Fehlens von benetzender Feuchtigkeit seine Wirkung nicht ausüben. Solche Witterungsbedingungen sind aber sicher nicht die Regel und im allgemeinen wird die Oberfläche der Blätter selbst genügend Feuchtigkeit enthalten (Imbibitions-Wasser) oder infolge von Nebel, Tau oder Niederschlägen benetzt sein.

Man kann auch nicht daran denken – wie das in Diskussionen gelegentlich zu hören ist – daß etwa wie bei der direkten Düngung von Pflanzen durch die Blätter mit Mineralsalzen, nun die Bestäubung mit Kalk oder Zement gar Wachstumsförderung bewirken könnte. Bei der Berührung dieser Staubarten mit Wasser kommt es in jedem Falle zu empfindlichen Schädigungen der bestäubten Pflanzenteile.

Bei der Alkalität von $\text{pH} = 12$ der betreffenden Feuchtigkeit auf der Blattoberfläche muß Verseifung der fettsäurehaltigen Kutikula eintreten. Dadurch aber wird der Zugang für die alkalische Lösung in die Epidermiszellen freigegeben. Beim Eindringen in diese wird das Cytoplasma verseift und zerstört. Von hier aus findet ein weiteres Vordringen der alkalischen Lösung in die assimilatorisch tätigen Palisadenzellen und in das darunter liegende Schwammparenchym statt. Die Chloroplasten-Lipoide und das Chlorophyll werden verseift. Damit findet die wichtigste Funktion der Blattzellen ein Ende. Die Chloroplasten nehmen gelbliche Färbung (Karotinoide) an und schließlich finden allgemeine Umsetzungen in den Zellen statt, die nach dem Absterben der Zellorganellen zur völligen Desorientierung des Zellinhaltes führen (Abb. 4). Diese verschiedenen Stadien der Schädigung der Blattzellen wurden an Hand der Befunde von verstaubten Pflanzen festgestellt und beschrieben. Dabei ist es gleichgültig, ob die Schädigungen durch Kalk- oder Zementstaub hervorgerufen werden.

An der Oberfläche der Zweige, welche schon Kork gebildet haben, tritt bei der Verstaubung in entsprechender Weise Verseifung und starkes Aufquellen der Korkzellen ein. Mit der Zerstörung der Korkschichten ist aber der Zugang für die alkalische Lösung zu den Zellen des Rindengewebes freigemacht, welche hier in ähnlicher Weise zerstörend wirken kann wie in den Blattgeweben.

Ähnliche Verhältnisse hatten sich schon ergeben bei der Untersuchung von Pflanzenschäden durch die Verstäubung mit staubförmigem getrocknetem Wasserglas bei der Herstellung von Waschmitteln (CZAJA, 1951). Diese bestehen zum größten Teil aus Wasserglas, welches versprüht und getrocknet wird. Aus der Trocknungsanlage wurde dieses mit dem Luftstrom ausgestoßen und gelangte einseitig auf Pflanzen, welche dadurch geschädigt wurden. Die Wasserglaspartikel ergeben beim Befeuchten mit Wasser mittels Indikator-Papier gemessen einen pH-Wert von 11 und röten infolgedessen auch Phenolphthalein-Papier intensiv. Sie kommen damit der Oberflächenwirkung der Kalk- und Zementstaub-Teilchen sehr nahe. Der Wasserglasstaub ist allerdings noch etwas aggressiver, da dieser beim Befeuchten noch völlig in Lösung geht, was ja bei Kalk- und Zementstaub nicht der Fall ist.

Kalkstaub, welcher durch Mahlen von natürlichem Kalkstein entsteht, und gefälltes Kalziumkarbonat üben auf lebende Pflanzenzellen unter den günstigsten Bedingungen (Wasserbenetzung) infolge der weit geringeren Hydrolyse nur geringe Wirkung aus. Diese Substanzen ergaben an der Oberfläche der Staubpartikel nur $\text{pH} = 8$. Auf oberirdische Pflanzenteile wird ein solcher Staub im allgemeinen wohl keine schädigende Wirkung ausüben. Ganz anders verhalten sich dagegen die Wurzeln vieler Pflanzen bei der Alkalität von $\text{pH} = 8$ gegen die Partikel des natürlichen Kalksteins im Boden. Die Kalkfeindlichkeit vieler Pflanzen und die Existenz einer Kalkflora, welche unempfindlich gegen diesen pH-Wert sind, beweisen dies.

Die Partikel von Gipspulver und Gipsstaub endlich zeigen bei Befeuchten ihrer Oberflächen nur $\text{pH} = 7$, d.h. es findet hierbei keine Hydrolyse statt. Diese Staubteilchen sind bei Befeuchten ohne jeden Einfluß auf das Substrat, wie HASELHOFF (1931, S. 231) schon bemerkt.

An einigen Beispielen war oben darauf hingewiesen worden, daß die Schäden an Freilandpflanzen allein auf die Wirkung des Kalk- bzw. des Zementstaubes zurückzuführen waren. Die Gleichartigkeit aller untersuchten Schäden und die Übereinstimmung der Symptome mit denen der Modell-Bestäubungsversuche spricht dafür, daß alle hier untersuchten Pflanzenschäden allein auf die Wirkungen von Kalk- bzw. Zementstaub zurückzuführen sind. Mitwirkung von Rauchgasen kann dabei ausgeschlossen werden.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Die primäre Wirkung von auf Pflanzenorgane aufgestaubten Kalk- und Zementteilchen wird untersucht.
2. Kalk- und Zementteilchen ergeben in Berührung mit Feuchtigkeit an ihrer Oberfläche durch Freisetzen von Hydroxyl-Ionen alkalische Reaktion von $\text{pH} = 12$. Diese wurde mittels verschiedener Indikator-Papiere festgestellt.
3. Wird der Kalkstaub an der Luft auf einer Fläche ausgebreitet und mit Wasser angefeuchtet, so geht nach mehreren Tagen die Reaktion an der Oberfläche des Kalkes infolge von CO_2 -Aufnahme aus der Luft auf $\text{pH} = 8$ zurück und behält diesen Wert konstant.
4. Wird Zementstaub auf einer Fläche ausgebreitet und mit Wasser befeuchtet, so geht nach mehreren Tagen die Reaktion an der Oberfläche des Zementes infolge von CO_2 -Aufnahme aus der Luft auf $\text{pH} = 10$ zurück und behält diesen Wert konstant.
5. Wird in gleicher Weise Pulver aus natürlichem Kalkstein (CaCO_3) oder auch gefälltes Kalziumkarbonat auf einer Fläche ausgebreitet und mit Wasser befeuchtet, so stellt sich an der Oberfläche der Teilchen der konstante Wert $\text{pH} = 8$ ein.
6. Gipspulver zeigt bei gleicher Behandlung an der Oberfläche der feuchten Teilchen den konstanten Wert $\text{pH} = 7$.
7. In der näheren Umgebung von zwei Kalkwerken wurde an der Oberfläche von mit Kalk verstaubten Pflanzen (Blättern und Stengeln) bei Befeuchten mit verschiedenen Indikator-Papieren der Wert $\text{pH} = 8$ festgestellt.
8. Desgleichen wurde in der Umgebung eines Zementwerkes an der Oberfläche von mit Zement verstaubten Blättern und Stengeln $\text{pH} = 10$ ermittelt.
9. Die unter 7.) und 8.) genannten Blätter und Stengel von mit Kalk- und Zementstaub bedeckten Pflanzen zeigten schwere Schäden bis völlige Zerstörung der lebenden Zellen.
10. Bestäuben von mit Wasser benetzten Runkelrübenblättern mit Kalk- oder Zementstaub führt schon innerhalb von einer Woche zu starken Schrumpfung der Chloroplasten in allen Mesophyllzellen, so daß mit einer Sistierung der Assimilationstätigkeit zu rechnen ist, da keine Stärkebildung in den Plastiden mehr auftritt.
11. Bestäuben von mit Wasser benetzten Runkelrübenblättern mit gemahlenem natürlichem Kalkstein, bzw. gefällttem Kalziumkarbonat ruft innerhalb von einer Woche leichte Beeinflussung der Gestalt der Chloroplasten im Mesophyll hervor. Trotzdem wird in diesen Plastiden noch Stärke gebildet, deren Funktion also nicht gestört.

SUMMARY

1. The primary effect of the particles of lime and cement dust on plant organs has been investigated.
2. The particles of lime and cement dust when moistened with water show alkaline reaction on their surface by delivery of hydroxyl ions ($\text{pH} = 12$). This fact was confirmed by the aid of indicator papers.
3. If lime dust will be spread on a plain and moistened, the pH-value on the surface of the lime particles will drop to $\text{pH} = 8$ some days after owing to the uptake of CO_2 from the air.
4. If cement dust will be spread on a plain and moistened, the pH-value on the surface of the cement particles will drop to $\text{pH} = 10$ some days after owing to the uptake of CO_2 from the air.
5. If in the same manner pulverized limestone or precipitated calcium carbonate will be spread on a plain and moistened with water, the surface of the particles show the constant $\text{pH} = 8$.
6. Powdery gypsum shows under the same treatment on the surface of the particles the constant $\text{pH} = 7$.
7. In the neighbourhood of two lime factories on the surface of plant leaves and stalks powdered with lime dust and moistened with water the reaction of $\text{pH} = 8$ was stated.
8. In the neighbourhood of a cement factory likewise on the surface of plant organs powdered with cement dust and moistened with water alkaline reaction of $\text{pH} = 10$ was stated.
9. The leaves and stalks mentioned under 7.) and 8.) from plants powdered with lime or cement dust showed serious injuries or total destruction of the living cells.
10. Moistened leaves of beetroots powdered with lime or cement dust already after one week show shrinkage and irregular distribution of the chloroplasts in all cells of the mesophyll. No starch grains are formed in these plastids; photosynthesis has ceased.
11. When moistened leaves of beetroots are powdered with pulverized limestone or precipitated calcium carbonate after one week the chloroplasts in all leafcells show only slight shrinkage, but irregular distribution. In all chloroplasts starch grains are formed, a sign that normal photosynthesis results.

LITERATUR

- ANDERSON, P. J. 1914. The effect of dust from cement mills on the setting of fruit. *Plant World* **17**, 57—68.
- CZAJA, A. TH., 1951. Pflanzenschäden durch staubförmiges Wasserglas. *Z. f. Pflanzenkrankh.* **58**, 54—61.
- EWERT, DR., 1920. Die Einwirkung des Zementstaubes auf den Pflanzenwuchs. *Chemiker-Ztg.* **44**, 653.
- HASELHOFF, E., 1908. Versuche über die Einwirkung von Flugstaub auf Gras. *Landwirtsch. Versuchs-Stat.* **69**, 477—482.
- HASELHOFF, E., 1920. Versuche über die Wirkung von Flugstaub auf Boden und Pflanzen. *Landwirtschaftl. Jb.* **54**, 289—319.
- HASELHOFF, E., 1932. Grundzüge der Rauchschadenkunde, Berlin.
- HASELHOFF, E., BREDEMANN, G. & HASELHOFF, W., 1932. Entstehung, Erkennung und Beurteilung von Rauchschäden. Berlin.
- JANSON, A., 1919. Kalkstaub und Obstblüte. *Gartenwelt* **23**, 300.
- PARISH, S. B., 1910. The effect of cement dust on Citrus-trees. *Plant World.* **13**, 288—291.
- PEIRCE, G. J., 1911. An effect of cement dust on Orange Trees. *Plant World.* **14**, Nr. 1, 1—6.
- PEIRCE, G. J., 1919. The possible effect of cement dust on plants. *Science (NY)* N.S. **XX** **30**, 652—654.
- STEFFECK, 1896. Der Schutz gegen Flurschädigungen durch gewerbliche Einwirkungen. *Arbeiten D. L. G.* Heft **30**, 27—35.
- TIEGS, E., 1934. Rauchschäden, in SORAUER, P. *Handbuch der Pflanzenkrankheiten.* 6. A. Bd. 1, 2. Teil, 243—309.