I. Original-Artikel.

(Nachdruck verboten.)

Rauchschäden und einschlägige bodenkundliche Fragen.

Von Prof. Dr. Graf zu Leiningen-Westerburg, Wien.

Unter „Rauchschäden“ im weiteren Sinne faßt man heutzutage alle Beschädigung zusammen, welche durch Feuerungsgase, Abgase aus industriellen Anlagen, sowie durch Flugstaub an der land- und forstwirtschaftlichen Vegetation verursacht werden. Flugstaub ist ja in vielen Fällen von den gasförmigen Produkten kaum zu trennen, insofern er zugleich mit letzteren auftritt.

Die Literatur, welche hierüber vorliegt, hat sich von Jahr zu Jahr erweitert, dennoch blieb der Zusammenhang der ganzen Frage mit den Bodenverhältnissen etwas im Hintergrunde. Ich möchte aber glauben, daß gerade für den Forstmann Veranlassung besteht, die Rauchschäden einmal von diesem Gesichtspunkte aus zu würdigen und so soll denn in kurzen Zügen Bekanntes und Unbekanntes hier zusammengefaßt und dargestellt werden.

Bei allen Rauchschäden, die langsam verlaufen (chronisch), ist die Bodengüte für die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen bis zu einem gewissen Grade von Einfluß; auch kann eine Erholung der Bestände, zumal wenn die Ursachen der Rauchschäden eingeschränkt werden oder ganz zu wirken aufhören, auf gutem Boden noch am ehesten erhofft werden.

So werden frische Böden die ganze Ernährung und besonders den Transpirationsstrom der Pflanzen günstiger gestalten; letzterer ist ja bei einer Schädigung der Blattorgane ohnehin in Frage gestellt. — Ein mittlerer Feuchtigkeitsgrad des Bodens wirkt fördernd auf die Verwesung der Streu ein, die unter dem Einfluß von Rauchschäden wesentlich beeinträchtigt ist. — Wo größere Niederschlagsmengen herniedergehen, wird

Boden und Streu dann und wann durchgewaschen und damit von Pflanzengiften wenigstens teilweise wieder befreit. Die ungünstige Wirkung einer Speicherung von schwefliger Säure usw. in trockenen Böden ist ja von bekannt nachteiligem Einfluß; es bildet sich in solchen Fällen leicht Rohhumus und auch die Wurzeln der Pflanzen leiden hierbei sehr.

Außerordentlich wichtig ist gerade bei Rauchschäden ein genügender Kalkgehalt des Bodens; ist dieser in Form von Kalziumkarbonat vorhanden, so kann man seine Wirksamkeit am höchsten einschätzen; allein auch Kalk in Form von Silikaten (Hornblende, Augit, Kaltnatronfeldspate, wie sie im Basalt, Melaphyr, Diabas usw. vorkommen) gelangt zur Geltung; muß man doch annehmen, daß er gerade durch die Einwirkung der schwefligen Säure, welche aus den Rauchgasen her stammt, aus den Silikaten in Freiheit gesetzt wird. Wo Kalk im Boden mangelt, sollte er in irgend einer Weise, auf billigste Art zugeführt werden. Freilanddüngung bei chronischen Rauchschäden dürfte sich überhaupt lohnen und hier wäre für das forstliche Versuchsweisen noch eine dankbare Betätigung gegeben.

Ein kalkarmer Boden kann durch die jahrzehntelange Einwirkung schwefliger Säure allmählich gänzlich entkalkt werden: In Berührung mit den Bodenteilchen geht die schweflige Säure bald in Schwefelsäure über und schließlich wird der Kalkgehalt durch letztere bis zur völligen Erschöpfung aufgebraucht; bei eigentlichen Kalkböden ist das jedoch kaum zu befürchten.

Kalkung zu Rohhumus wird in Rauchschadensgebieten auch angezeigt erscheinen, um die genannten Säuren, welche bekanntlich die Verwesung hemmen (bakterientötend sind) unschädlich zu machen. Das Gesagte gilt übrigens so ziemlich für alle Schadensquellen, nicht nur für schweflige und Schwefelsäure.

Betritt man ein Rauchschadensgebiet, so beobachtet man, daß sich die Waldbodenflora in einer auffallenden Umwandlung befindet: An Stelle von Gräsern und Kräutern (Humuszehrer!) treten Kleinsträucher (Humusmehrer!) auf, bis endlich auch diese absterben und der Mineralboden nackt daliegt. Am Fuße der Stämme bilden sich kahle Flächen aus, verursacht durch das Abfließen gifthaltiger Gewässer aus dem Kronendach. Selbst die Moose verschwinden und an den Stämmen selbst sind keine Flechten mehr zu finden. Letztere sind meist sehr empfindlich gegen Rauchgase, wohl deswegen, weil ihr ganzer Thallus diesen ausgesetzt ist und in feuchtem Zustande geradezu absorbierend wirkt. Indes zeigen manche Holzarten, so z. B. die Buche auf kalkreichem Boden eine geringere Besiedelung durch Flechten, auch dort, wo von Rauchschäden

keine Rede sein kann, so daß man in der Diagnose etwas zurückhaltend sein muß. (Meger.)

Wenn wir annehmen wollen, daß in 1 l Regenwasser nur 50 mg Schwefeltrioryd (hierin auch schweflige Säure mitingerechnet) enthalten sein soll, ein Fall, der gewiß häufig genug vorkommt, so fallen damit im Jahre auf 1 ha Bodenfläche 180—218 kg Schwefeltrioryd hernieder; Kalk-, Magnesia-, Kalium- und Phosphorsäureverbindungen gehen in Lösung, der Boden verarmt also und außerdem werden oxydische Eisenverbindungen, wie sie ja im gesunden Boden fast immer enthalten sind, in Eisensulfat umgewandelt; dieses schädigt, wenn der Boden an Kalk Mangel leidet, seinerseits auch noch das Pflanzenleben.

Nach A. Wieler verpesteten im Rauchschadensgebiet von Stolberg i. Rh. ganz unglaubliche Mengen von Säuren die Luft um endlich auch vom Boden aufgenommen zu werden; aus 220 Schornsteinen entweichen dort im Tage 86588 kg Schwefelsäure und Salzsäure. Selbst wenn man annimmt, daß diese Gase sich auf einen Umkreis von 40 qkm verteilen, so entfallen für ein Jahr auf den qm doch fast 800 g Säure; davon geht ein großer Teil in den Boden über.

Schweflige Säure und Schwefelsäure treten fast stets gemeinsam auf, nachdem erstere in Berührung mit dem Boden (wie erwähnt) rasch oxydiert wird, so daß in ihm der Hauptschaden eigentlich durch Schwefelsäure angerichtet wird.

So wird also der Boden im Laufe der Zeit in einen Zustand geraten, daß er Pflanzen nur mehr recht mangelhaft ernähren kann und diese infolgedessen kränkeln müssen, auch wenn die Rauchschadensquelle längst aufgehört hat zu wirken. A. Wieler hat die Versauerung und Entkalkung des Bodens mit ihren Schädigungen der Verwurzelung in den Vordergrund gerückt und die Ansicht geäußert, daß die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Blattorgane dagegen verhältnismäßig harmlos wäre; soweit darf man aber doch wohl kaum gehen, denn auf guten, kalkreichen Böden gehen die Bäume schon zugrunde, lange bevor er entkalft ist, ganz allein durch Rauchwirkung; sie können sich erholen, wenn hinsichtlich der Rauchgase Abhilfe getroffen wird (Reinigung der Abgase, Einstellung der betr. Betriebe), so daß Wielers Ansichten in manchen Belangen als erschüttert gelten können. Und doch darf man die Wirkung einer sehr weitgehenden Entkalkung (wie schon angedeutet) auch nicht unterschätzen: Beweisend sind diesbezüglich Versuche von Reuß. Dieser ließ Kästen mit Boden, welcher durch Hüttenrauch verdorben war, in rauchfreie Gegenden bringen, aber auch hier gingen, eben infolge von Kalzmangel die Versuchspflanzen ganz oder teilweise ein,

von der Eiche 100%, vom Ahorn 92%, von der Buche 72%, hingegen von der Fichte und Kiefer nur 8%, aber auch die Nadelhölzer gediehen nicht normal. Betrachtet man diese Zahlen, so sieht man, daß das Verhalten der einzelnen Holzarten sich mit ihrem größeren oder kleineren Nährstoffbedarf¹⁾ vollkommen deckt. Auf jeden Fall geht aus den Versuchen von Reuß hervor, daß derartige verdorbene Böden für die Nachzucht von anspruchsvolleren Holzarten keine guten Aussichten bieten.

Der durch saure Gase erschöpfte Boden macht sich auch bei landwirtschaftlicher Nutzung des Bodens bemerklich; solche Fälle führen Haselhoff und Lindau an. Gerste und Roggen gedieh in der Nähe einer Zinkhütte bei Dortmund sehr schlecht; die Pflanzen waren aber trotz ihrer Niedrigkeit normal grün (wiesen also keine unmittelbaren Rauchschäden auf) so daß die Ursachen für die mangelhafte Entwicklung im Boden zu suchen waren.

In allerengstem Zusammenhang mit der Kalkfrage steht das Vermögen des Bodens, giftig wirkende Metallsalze unschädlich zu machen.

Schon im Jahre 1863 fand Gorup-Besanez, daß aus Schwermetallsalzen die Metalloxyde sehr vollkommen absorbiert wurden, wogegen die ungemein giftige arsenige Säure sich gegenteilig verhielt; Freytag entdeckte bald darauf, daß die Metalloxyde des Flugstaubes schon in den allerobersten Bodenschichten festgelegt wurden und Reuß kannte diese Vorgänge bereits recht genau.

Man weiß also, daß aus Zink-, Kupfer- und Quecksilbersalzlösungen bei Gegenwart von Kalk im Boden eine Ausfällung des giftigen Metallions in Form einer unlöslichen Verbindung vor sich geht, oder, daß es absorbiert wird. Letzteren Vorgang kann man sich etwa so denken, daß im Boden vorhandene, wasserhaltige Tonerdesilikate (kurz gesagt „Ton“) kolloider Natur, Gele, welche mit Kalk abgesättigt sind, Zink usw. aufnehmen und entsprechende Mengen von Kalk dafür abgeben.

Die Voraussetzung für eine derartige Entgiftung des Bodens ist also unter allen Umständen die Gegenwart einer genügenden Menge von Kalk im Boden.

Zink gelangt aus Hüttenwerken als staubförmige Zinkblende in die Luft, oxydiert sich bei Gegenwart von Feuchtigkeit und schädigt nun — im Bodenwasser als Zinksulphat gelöst — die Pflanzen. Dementsprechende Vorgänge spielen sich bei der Verhüttung anderer sulfidischer Erze (Kupfer, Eisen usw.) ab. In solchen Fällen wirkt nun das Vorhanden-

¹⁾ Nach den bekannten Untersuchungen von Thormayer und R. Weber (Forstl. naturw. Zeitschr. 1893, Heft 6).

rein von Kalk im Boden vorteilhaft, da hierdurch derartige Metalle festgelegt werden und dann die Pflanzenwelt durch sie nicht beeinträchtigt werden kann. Durch vitriolartige Lösungen wird außerdem auch die Verwesung von Streuresten gehemmt, so daß sich schließlich Rohhumus anhäuft: Aus den Sulfaten bildet sich nämlich in Gegenwart organischer Stoffe freie Schwefelsäure, welche — als Antiseptikum wirkend — die Verwesungsbakterien schädigt. Ist aber der Boden genügend kalkreich, so wird die Säure neutralisiert und kann weiter nicht mehr schaden.

Von den Pflanzengiften nimmt das Blei eine Ausnahmestellung ein; zwar wurde gelegentlich davon in Böden von Rauchschadensgegenenden bis zu 2 v. H. festgestellt, jedoch in schwerlöslicher Form, an welcher auch eine saure Reaktion des Bodens infolge Anwesenheit von Humuskolloiden nichts zu ändern vermag, so daß Bleiverbindungen im Boden kaum zu Schaden vermögen.

Daß kalkhaltige, kolloid veranlagte Bodenarten z. B. Koterde tatsächlich die Fähigkeit besitzen, die Metallionen z. B. Eisen aus Sulfatlösungen herauszunehmen (wofür dann entsprechende Mengen von Kalk abgegeben werden,) habe ich früher schon darlegen können, das gleiche gilt für Kupfer. Von 20 g einer Koterde, welche nur 0,683% CaO enthielt, wurden 65 ccm einer Kupfervitriollösung (1:100) ihres Gehaltes an Kupfer durch Ausfällung beraubt. War jedoch diese Koterde vorher durch Behandlung mit Kohlensäure an Kalk verarmt, so wurde von ihr das Kupfer aus nur mehr 20 ccm Lösung aufgenommen.

Analoge Verhältnisse waren festzustellen bei Kaolin, dessen Absorptionsfähigkeit ohnehin eine geringe ist. 20 g böhmischen Kaolins verbrauchten 50 ccm Lösung, 20 g vorher mit kohlensäurehaltigem Wasser behandelt nur 20 ccm Lösung, bis eine Reaktion auf Kupfer eintrat.

Von 40 g eines sehr kolloid veranlagten roten Tones (aus Quarzporphyr hervorgegangen, sehr kalkarm) wurden nur 30 ccm Kupfersulfatlösung von Kupfer befreit.

Rohhumus (aus Kiefernbeständen des „Brant“ bei Pilsen) verhielt sich auch unvorteilhaft in dieser Beziehung; 20 g davon nahmen das Kupfer aus nur 45 ccm der gleichen Lösung heraus, dafür war Tonerde, Kalk und Magnesia in Lösung gegangen; auf diese Weise verarmt also Rohhumus immer noch mehr an Mineralstoffen und verwest dann um so schwieriger.

Mit der geringen Absorptionsfähigkeit des Bodens (selbst wenn er kalkhaltig ist) gegenüber Arsenik hängt es zusammen, daß dieses Gift (selbst unter $\frac{1}{10}\%$ im Boden enthalten) die Pflanzenwelt so sehr zu schädigen vermag. Es gelingt aber unschwer, diesen äußerst gefährlichen

Stoff durch Kondensation in Flugstaubkanälen vor dem Entweichen aus Hüttenwerken zu bewahren, so daß es den Boden nicht verderben kann. Arsenige Säure in Staubform auf die Blattoorgane gelangend scheint im Allgemeinen recht unschädlich zu sein.

Man sieht aus diesen Darlegungen jedenfalls, welche wichtige Rolle der Kalk in den Böden von Rauchschadensgebieten spielt, einmal, wenn es sich darum handelt, Pflanzengifte metallischer Natur festzulegen und frei werdende Schwefelsäure usw. zu binden, andererseits hinsichtlich der normalen Verwesung der Streu und nicht zuletzt als Pflanzennährstoff.

A. Wieler hat im Clausthaler Rauchschadensgebiet Versuche mit Düngung und Kalkung angestellt; bei älteren Beständen konnte ein Erfolg nicht festgestellt werden, wohl aber bei jüngeren Pflanzen in Anflugshorsten (größerer Höhentrieb, bessere Farbe der Nadeln); auf ungefalteten Flächen war die Bewurzelung und damit begreiflicherweise auch das Gesamtwachstum der Pflanzen unbedeutender.

Hier sei noch angefügt, daß Pflanzengifte, wenn sie der Vegetation in sehr geringen Mengen dargeboten werden, stimulierend wirken können. Auf landwirtschaftlichem Gebiete wurden in dieser Beziehung bekanntlich in neuerer Zeit vielfach Versuche angestellt. Abgesehen von ihrer unmittelbar wachstumsfördernden Wirksamkeit beeinflussen Pflanzengifte in stärkster Verdünnung auch die Kleinlebewesen des Bodens in einer für die Vegetation günstigen Weise. In diese Klasse gehören selbst Gifte wie Arsenik und Sublimat, und manche Fälle von Bodenmüdigkeit — soweit diese auf Mikroorganismen zurückgeführt werden kann — wurden durch solche Mittel behoben. Bei Rauchschäden wird aber meist mehr Gift zugeführt als die Pflanzen ertragen können, so daß es zu einer Herabminderung des Ertrags, ja zur völligen Vernichtung der Pflanzenwelt kommt.

Stoffe, welche bei Rauchschäden in den Boden gelangen wie z. B. Kalk und Magnesia in mancherlei Form, weiter Chlor-, Fluor- und Schwefelverbindungen (letztere im Boden bald an Kalzium gebunden), werden von den Pflanzen für gewöhnlich auch in rauchfreien Gebieten zur Ernährung gebraucht, allerdings meist in ganz anderer Form: So wie sie sich natürlicherweise schon im Boden vorfinden, schaden sie in der Regel den Pflanzen nicht; aber in jenen Verbindungen, wie sie bei Rauchschäden zugeführt werden, können sie ihnen schädlich werden. Der chemische Nachweis oben genannter Substanzen kann nun bei Gutachten sowohl im Boden wie in der Pflanzenanalyse verlangt werden. Bei der Analyse des Bodens ergeben sich aber insofern Schwierigkeiten, als man in der Regel nur die Gegenwart und die Menge solcher

Substanzen feststellen, nicht aber ohne weiteres sagen kann, ob sie durch Rauchschadensquellen dem Boden einverleibt wurden oder von Natur aus in ihm enthalten sind.

Chloride, Sulfate und Fluoride können durch die chemische Analyse ihrer Menge nach zwar auch im Pflanzentkörper bzw. in seiner Asche konstatiert werden, aber niemand vermag anzugeben, bis zu welchem Grade sie bei Rauchschäden von außen her (also durch die Luft) den Sproßteilen der Pflanzen zugeführt wurden oder inwieweit sie aus den im Boden vorhandenen Verwitterungsprodukten der Gesteine durch die Wurzeln aufgenommen wurden. Das soll gleich an einem Beispiel erläutert werden: Fluor ist mitunter in Form von Flußspat im Boden enthalten; in solchen Fällen nehmen die Pflanzen erfahrungsgemäß kleine Mengen davon durch die Wurzel in ihren Leib auf. Begreiflicherweise treten aber gerade auch in derartigen Gegenden Fluorschäden auf (durch Brennen flußspathaltigen Tones), und dann gelangt Fluor auch noch von außen her bei Veräzung in den Pflanzentkörper hinein. Inwiefern nun die Aufnahme auf dem einen oder anderen Wege vor sich gegangen ist, läßt sich also aus den Ergebnissen der Analyse nicht ableiten, wie ich bereits angedeutet habe. Es mag vielleicht angebracht erscheinen, hier einiges über Fluorschäden darzulegen. Obwohl sich Andeutungen über solche Schadensquellen bis in das Jahr 1879 zurück verfolgen lassen, setzt die eigentliche Literatur über diesen Gegenstand erst viel später ein. Veranlassung zu derartigen Schäden gibt das Brennen von fluorhaltigem Ton in Ziegeleien, Zusatz von Flußspat beim Verhütten von Erzen, die Verwendung von Flußspat in Emailierwerken und Glasfabriken, endlich das Entweichen von Fluoriden (Siliziumfluorid und seine Zersetzungserzeugnisse) aus Superphosphatfabriken. In einer durch die Wurzeln aufnehmbaren Form kommen Fluoride als Verwitterungsprodukte von Gesteinen vor; in Frage kommen Minerale wie Flußspat, Apatit, vielleicht noch Kryolith, während die schwer zersetzlichen Silikate wie Topas und Turmalin zwar an die Pflanzenwurzeln kein Fluor abgeben, wohl aber wenn sie im Ton enthalten sind, beim Brennen ihren Gehalt an Fluor vollständig entweichen lassen.

Durch die Pflanzenwurzeln kann Fluor auch aus löslichen Düngern (Apatit, Phosphorit, Knochenmehl) aufgenommen werden, was bei Rauchschadensuntersuchungen ebenfalls in Betracht gezogen werden muß.

Der Nachweis einer Beschädigung der Vegetation durch fluorhaltige Abgase gestaltet sich dann besonders schwierig, wenn eine Holzart z. B. die Kiefer aus dem Boden in völlig gesundem Zustande schon Fluoride durch die Wurzeln entnimmt, unter Umständen sogar mehr

davon als Pflanzen, welche durch fluorhaltige Abgabe Schaden genommen haben; bei Rauchschadengutachten kann nämlich von gegnerischer Seite zur Entkräftung des Analyseergebnisses darauf hingewiesen werden, daß die meisten Pflanzen ja schon normalerweise in ihrer Asche etwas Fluoride enthalten und so wird man vielleicht versuchen glauben zu machen, daß die Beschädigung (Verätzung) der Vegetation durch andere Betriebe verursacht sei, z. B. durch solche, welche schweflige Säure oder andere Gifte in die Luft jagen. Einen derartigen Einwand wird man um so eher erheben können, als aus dem Aussehen der kranken Pflanzen nur selten ein ganz sicherer Schluß gezogen werden kann.

Hierfür ein Beispiel: 100 g Nadeln von vollkommen gesunden Kiefern aus der Gegend von Bozen, welche auf einem Boden stockten, der 0,1 % Fluor (in Form von Flußspat) enthielt, wiesen bei der Analyse 0,0173 % Fluor auf; Rauchschäden waren hier vollkommen ausgeschlossen. Kiefernadeln aus einem Rauchschadensgebiet im sächsischen Erzgebirge wiesen für die gleiche Menge zwar nur 0,0084 % Fluor auf, waren dabei aber schwer geschädigt. Mit Rücksicht auf diese geringe Menge Fluor war es notwendig, gesundes Vergleichsmaterial aus der gleichen Gegend heranzuziehen; in diesem Falle war dann die Entscheidung sehr leicht zu treffen, denn letztere enthielten überhaupt kein Fluor und der Gehalt der kranken Nadeln an Fluor mußte infolgedessen hier unbedingt auf die Ziegelei zurückgeführt werden, welche fluorhaltigen Ton verarbeitete. Ungleich schwieriger wäre die Beweisführung gewesen, wenn die Kiefernadeln auch im gesunden Zustande Fluor enthalten hätten; bei der außerordentlich starken Wirkung dieses Luftgiftes kann nämlich eine bedeutende Anreicherung (wie sie z. B. bei schwefliger Säure stattfindet) nicht zustande kommen, da die Nadeln an akuter Vergiftung sehr bald zugrunde gehen. Aus dem gleichen Grunde kann man auch nicht hoffen, daß mit Annäherung an die Schadensquelle etwa eine deutliche Steigerung des Gehaltes an Fluoriden zu erwarten wäre, wie das bei schwefliger Säure eintreten würde; man sieht also, daß die chemische Untersuchung bei dieser Sachlage häufig nicht imstande sein wird, durch ein Ansteigen der Zahlen für den Fluorgehalt der Asche einen unwiderlegbaren Beweis beizubringen.

Anderes liegen die Verhältnisse, wie schon angedeutet, beim Nachweis der Beschädigung von Waldbeständen durch schweflige Säure.¹⁾ Diese wird bekanntlich im Gange der chemischen Analyse als Sulfat bestimmt.

¹⁾ Schweflige Säure entsteht bekanntlich beim Verbrennen schwefelkieshaltiger Kohle, beim Rösten sulfidischer Erze, in Sulfatzellulosefabriken, chemischen Betrieben wie Ultramarin- und Sodafabriken.

Sulfate ergeben sich hierbei aber auch aus den (in der gefunden wie in der kranken Pflanze enthaltenen) Eiweißverbindungen und damit wäre eine einwandfreie Beweisführung wiederum in Frage gestellt: Der natürliche Gehalt der Pflanzen an schwefelhaltigen Verbindungen stammt aus dem Boden (Gips, Dünger wie Kainit, Ammoniumsulfat usw.) und man hatte früher geglaubt, daß sich der Gehalt an Schwefel in den Pflanzen durch derartige Düngung erhöhen würde; ähnliches mußte auch dort eintreten, wo im Boden sulfatige Verwitterungsprodukte von Mineralen wie Schwefelkies in größerer Menge entstehen. Diese Ansicht kann nach J. Stoklasa aber durchaus nicht allgemeine Gültigkeit haben; hatte doch schon B. von Rusnov darauf hingewiesen, daß der Gehalt des Bodens an schwefelsauren Salzen den Gehalt der Nadeln an SO_2 in besonders günstigen Fällen höchstens zu verdoppeln imstande wäre; aber auch hierbei ergeben sich immer noch so niedrige Zahlen, daß sie bei der Feststellung der Schadensursache nicht als Beweis gegen eine Beschädigung durch schweflige Säure herangezogen werden könnten.

Dennoch muß bei Rauchschadensgutachten der Umstand berücksichtigt werden, daß sich in Gegenden, wo schweflige Säure in der Luft nachgewiesen werden kann, auch im Boden und in den Nadeln Sulfate in etwas größeren Mengen feststellen lassen als in Gebieten reiner Luft.

Die Beweisführung auf analytischer Grundlage wird unter allen Umständen am sichersten gelingen, wenn mit Annäherung an die Schadensquelle der Gehalt der Nadeln an SO_2 zunimmt, sich im Boden jedoch nicht steigert. B. von Rusnov bringt ein Beispiel hierfür aus einem mährischen Rauchschadensgebiete:

Entfernung von der Schadens- quelle	Fichte % SO_2	Tanne % SO_2	Beschädigungsgrad der Nadeln
750 m S	0,72	0,69	stark beschädigt
2500 m S	0,27	0,44	schwach "
3100 m SSW	0,24	0,29	sehr schwach beschädigt
3100 m SE	0,19	0,20	gesund.

Für Beschädigung durch Chlorverbindungen wäre der Nachweis ebenso zu erbringen, denn Chloride werden aus dem Boden oft in erheblicher Menge aufgenommen. Rauchgase aus der Verbrennung von Steinkohle herrührend enthalten mitunter Chlorammonium; demnach ist nicht gerade immer die chemische Industrie der Schadenstifter.

Es wird nach dem Gesagten manche Fälle geben, in denen es immerhin wünschenswert erscheint, die chemische Analyse noch durch andere Beweismittel zu ergänzen.

Diesbezüglich kommt in Betracht die Heranziehung eines Botanikers, am besten eines Phytopathologen; der mikroskopische Befund (z. B. Bräunung der Schließzellen der Spaltöffnungen) ist nicht immer beweisend; die makroskopische Untersuchung (Verfärbung, Flecken usw.) trägt auch oft, da solche Erscheinungen auch auf andere Ursachen: Insekten, Frost, Hitze, Trockenis usw. zurückgeführt werden können. Die Art der Beschädigung (ob diese z. B. durch Fluor oder durch schweflige Säure hervorgerufen ist), kann aus der makroskopischen Besichtigung der Blattorgane ebenfalls nicht immer mit der wünschenswerten Zuverlässigkeit festgestellt werden, da durch grundverschiedene Ursachen oft recht ähnliche Wirkungen erzielt werden können. Zumal bei Rauchschäden, an denen mehrere verschieden geartete Betriebe Anteil nehmen, versagt der botanische Befund in der Regel wohl gänzlich.

Wo sogenannte „kombinierte“ Schäden beobachtet werden, muß man bei einer Begutachtung auch trachten, soweit wie möglich Rohle und Rohstoffe zu untersuchen, welche in den einzelnen Betrieben verwendet werden, festzustellen, welche Erzeugnisse hergestellt werden und ob Reinigungs-vorrichtungen für Abgase usw. eingebaut sind. Wenn allerdings auf engem Raume eine Häufung von Industrieanlagen stattfindet (Karlsbad, Mährisch-Ostau), ist die Frage, welche Arten von Unternehmen für den angerichteten Schaden haftbar sind und inwieweit, fast unlösbar.

Noch wären Fälle zu erwähnen, in welchen der Verdacht auf Rauchschäden nach allen Wahrnehmungen zwar vollkommen gerechtfertigt ist, allein die chemische Analyse den Beweis schuldig bleibt insofern, als z. B. die Zahlen mit Annäherung an die Schadensquelle nicht ansteigen, manche Giftstoffe gar nicht oder doch nur in Spuren nachzuweisen sind. Dies kommt vor, wenn beschädigte Pflanzenteile längere Zeit hindurch der Auslaugung durch Niederschläge ausgesetzt waren. Abgestorbene Teile von Pflanzen (wie sie ja bei Rauchschäden nur allzuhäufig auftreten, werden bekanntlich rasch und vollkommen ausgelaugt und deshalb ist es notwendig, daß nach Tunlichkeit möglichst frisches Material zur Untersuchung gelangt.

Manches von dem, was bisher gesagt wurde, gilt ohne weiteres oder sinngemäß auch für die Beurteilung von Flugstaubschäden.

So kann z. B. Kalk in der Form von gebranntem Kalk die oberirdischen Pflanzenteile schädigen, in größeren Mengen auch die Wurzeln; gelangt er in den Boden, so wird er bald unschädlich, da er in kohlen-sauren Kalk umgewandelt wird; aber er ist dann durch die Analyse auch nicht mehr zu unterscheiden von dem schon von Natur aus im Boden

enthaltenen (unschädlichen) kohlensauren Kalk. Die Untersuchung solcher Schadensfälle muß also bald nach deren Eintritt vorgenommen werden, denn sonst ist zwischen einem Stoffe, der ursprünglich den Pflanzen schädlich war und einem natürlichen Bodenbestandteil kein Unterschied mehr; analoges gilt für gebrannten Magnesit.

Flugstaub im allgemeinen muß durchaus nicht immer eine Ursache der Zerstörung sein. Vor allem ist ein Eindringen in die Spaltöffnungen kaum je zu befürchten; dem Boden einverleibt verliert er oft unter dem Einflusse von Kalk seine bedenklichen Eigenschaften, auf einer langen Reise durch die Luft mitunter seinen ägenden Charakter. Anderseits kann die Zufuhr von Flugstaub unter der herrschenden Windrichtung besonders in der Nähe von Betrieben zu einer förmlichen Verkrustung des Bodens führen, falls es sich um Zement-, Kalk- oder Magnesitwerke handelt. Leicht ist hier durch den Augenschein oder durch die Prüfung der Reaktion des Bodens (stark alkalisch) der Beweis zu führen, insbesondere wenn solcher Staub auf ursprünglich kalkfreien Bodenarten abgeladen wird. Auch das Verhalten gegen verdünnte Salzsäure (Aufbrausen infolge von Kohlensäureentwicklung) kann in letzterem Falle zu einem Gradmesser der Verstaubung werden; die genauere quantitative Analyse im Laboratorium hat als notwendige Ergänzung nachzufolgen.

In der Schädigung der Vegetation durch Flugstaub treten je nach seiner Art und Menge große Unterschiede auf.

Kleinste Mengen von Kupfer-, Zink-, Quecksilber- und Arsenverbindungen dienen als Reizmittel; wird der Schwellenwert überschritten, so kränkeln die Pflanzen oder sie sterben ab.

Staub von Kalk-, Zement- und Magnesitöfen kann geradezu düngend wirken,¹⁾ wenn er in mäßigen Mengen herniedergeht und der Boden von Zeit zu Zeit bearbeitet wird, denn sonst würde Verkrustung mit all ihren Nachteilen eintreten. In dieser Beziehung wäre anzuführen Abschluß von Luft und Wasser, Behinderung der Samen am Keimen.

Gegenüber den genannten, stark alkalisch reagierenden Flugstaubarten verhalten sich die oberirdischen Teile der einzelnen Pflanzenarten recht ungleichartig, was den Grad der Verätzung anlangt. Holzarten scheinen ziemlich unempfindlich zu sein gegen Flugstaub aus Magnesitwerken, ich habe das nicht nur in der Umgegend von solchen beobachtet

¹⁾ Die Heibelberger Portlandzementwerke haben (nach der „Umschau“) aus dem Staube der Abzugskanäle ihrer Ringöfen Kalisalze gewonnen. Dieser Staub enthält 21 v. H. K_2O an Kieselsäure gebunden; 7 v. H. sind in Wasser, die übrigen Anteile in ganz verdünnten Säuren löslich, kein Wunder also, wenn unter dem Einflusse derartigen Flugstaubes deutliche Düngerwirkungen zustande kommen.

können, sondern diese Überzeugung auch aus Versuchen gewonnen. So habe ich 3 jährige Fichten im Laufe einer Vegetationsperiode wiederholt solange mit Flugstaub aus einem solchen Werke bestaubt, hierauf jedesmal mit Wasser besprüht, bis die ganzen Pflanzen graugelb gefärbt waren; der Boden der Pflanzgartenbeete war schließlich mit einer fingerdicken, harten Kruste überzogen, denn dieser Staub bindet ähnlich wie Zement ab. Die Pflanzen blieben dann noch den Winter und das folgende Frühjahr auf den Beeten stehen und unterschieden sich durch nichts von den nicht bestaubten Kontrollpflanzen. Etwas anders verhalten sich landwirtschaftliche Kulturpflanzen. Größere Samen, z. B. solche von Fisoln entwickeln unter Einwirkung von reichlich Flugstaub aus Magnesitöfen ihre Sproßteile normal, während die Wurzeln zweifellos etwas geschädigt werden und auch an Länge und Verzweigung einbüßen. Kleinere Samenkörnchen (z. B. von Kresse) werden schon durch die Anwesenheit von recht wenig Magnesitstaub (welcher stark alkalisch reagiert) bereits an der Keimung verhindert, oder die Keimlinge gehen sehr bald zugrunde.

Um so mehr Widerstandsfähigkeit selbst gegen sehr große Mengen von Magnesitstaub beweist hingegen die Quecke (*Triticum repens*). Sie entwickelt sich auch noch innerhalb geschlossener, dicker Staubkrusten, wie solche in unmittelbarer Nähe der Öfen angetroffen werden, ganz ungestört weiter, bricht mit ihren Kriechtrieben immer wieder durch den Flugstaub und bildet schließlich an solchen Örtlichkeiten, wo alle anderen Gräser und Kräuter zugrunde gehen, einen Reinbestand. Im Volksmund heißt sie deshalb sehr bezeichnend „Magnesitgras“.

Wenn wir bisher von Staub gesprochen haben, wäre wohl auch noch zu erörtern, inwieweit Ruß die Pflanzenwelt zu schädigen vermag. Ein Eindringen des Rußes in die Spaltöffnungen ist bei deren Kleinheit ausgeschlossen; aber der Ruß ist als ein kolloid veranlagter Körper von großer Oberflächenentwicklung imstande, Pflanzengifte (nach Schröder und Neuß Quecksilberverbindungen) zu adsorbieren und hierdurch mittelbar Schaden zu stiften.

Bei meinen Darlegungen habe ich nur eine Anzahl wichtigerer Fragen herausgegriffen, glaube jedoch an Hand dieser Beispiele doch gezeigt zu haben, daß bei Rauchschadensfragen nicht allein der Chemiker oder Botaniker entscheiden kann, sondern daß auch die Bodenkunde in vielen Fällen in ihre Rechte treten muß.

Literatur.

Im Vorhergehenden ist auf folgende Abhandlungen, in welchen sich noch weitere Literaturangaben befinden, Bezug genommen:

- B. Ehrenberg: Wirkungen des Zinks bei Vegetationsversuchen. (Landw. Vers.-Stat. Bd. 72 [1910]). — Die Bodenkolloide 1918.
- E. Haselhoff: Wirkung kupferkalkhalt. Wassers. (Landw. Jahrb. XXI, 1892.)
- W. Graf zu Leiningen: Bestimmung des Fluors usw. bei Rauchschäden. (Naturw. Zeitschr. f. Land- u. Forstw. 1904.) — Entstehung und Eigenschaft der Roterbe. (Intern. Mitt. f. Bodenkunde 1917.)
- F. W. Neger: Die Krankheiten unserer Waldbäume. Stuttgart 1919.
- B. von Kusnez: Rauchschäden im Nadelwald. (Centralbl. f. d. ges. Forstw. 1910.)
- Schröder und Reuß: Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Berlin 1883.
- J. Stoklasa: Rauchgase und Verhältnisse des Bodens. (Vereinschrift f. Forst-, Jagd- und Naturkunde 1916/17.)
- J. Storp: Einfluß von Kochsalz- und zinkkalkhaltigem Wasser usw. (Landw. Jahrb. XII, 1883.)
- A. Wieser: Unters. über d. Einwirk. schwefl. Säure auf die Pflanzen 1905. — Pflanzenwachstum und Kalzmangel im Boden 1912.
(Titel meist gekürzt.)

Das Wachstum im Winde.

Von Forstamtsassessor Dr. Bernbeck in Münchsteinach (Mittelfranken).

(Schluß.)

B. Zwergform und niederliegender Wuchs.

Das Kleinbleiben der Pflanzen im Winde ist das Resultat einer Reihe von Beschädigungen durch Erhöhung der Transpiration im Verein mit einer Alteration der hydrostatischen Verhältnisse in den wasserführenden Geweben, Erniedrigung der Temperaturen und Verminderung der Assimilationstätigkeit hierdurch und infolge von ungünstiger Lichtlage der Blätter. Ferner setzen Verletzungen und wohl alle das Dickenwachstum anregenden Agentien das Längenwachstum herab. Die Verletzungen betreffen hauptsächlich die gestreckteren und höheren Teile. Diese sterben ab oder kümmernd und die basal auswachsenden Erjatztriebe haben oft nicht die gleich große Anlage zum Höhenwachstum.

Im Wachstum begriffene Pflanzenteile werden nach einer gewissen Längen- und Flächenentwicklung in die Windrichtung gezogen und müßten bei gleichbleibender Richtung und Stärke des Windes in solcher Lage verharren. Dieser Fall tritt aber wohl selten in Erscheinung, denn in windstilleren Zeiten richten sich wenig beschädigte Pflanzen in der Regel mit großer Energie in die Normallage ein. Auch verholzte Teile können noch tropistische Bewegungen ausführen. — Dagegen konnte vor dem Wind-