

Humus sind unter gleichen Bedingungen auch nicht bei Gegenwart von leicht assimilierbaren Kohlehydraten in irgend nennenswertem Umfang abbaufähig. Gesamtschlußfolgerung auch hier: Es müssen im Humus große Mengen biologisch nicht abbaufähiger¹⁾ organischer Stickstoffverbindungen vorhanden sein.

Mit diesen Ergebnissen ist nun die Frage nach dem biologischen Abbau der organischen Stickstoffkörper des Humus noch immer nicht erschöpft. Es ist möglich, nunmehr noch eine letzte Arbeitshypothese aufzustellen. Zwar können die landwirtschaftlichen Gewächse sich den Stickstoff aus dem Humus nicht aneignen, jedoch besteht die Möglichkeit, daß die perennierenden Gewächse, besonders die Holzarten, hierzu unter Mitwirkung der Mykorrhizapilze imstande sind. Diese Annahme ist bis zu einem gewissen Grade gerechtfertigt, da die Holzarten im sauren Humus mit wenigen Ausnahmen gut gedeihen und normale Stickstoffernährung zeigen. Immerhin sind auch hier wieder zwei Möglichkeiten offen. Die Holzarten zeigen dies normale Wachstum und die normale Stickstoffernährung im Waldhumus oder in einem mit stärkerer Waldhumusdecke versehenen Boden entweder, weil sie mit Mykorrhiza zusammen den Stickstoff des Humus aufschließen, oder, weil sie, auch mit Mykorrhiza zusammen den Stickstoff der Luft assimilieren.

Über diese Fragen liegen auch schon einige Arbeiten vor, jedoch ist das Problem bis heute noch ungelöst.

In weiteren Untersuchungen wollen wir diese letzte mit dem biologischen Abbau der organischen Stickstoffverbindungen des Humus in Beziehung zu bringende Frage zu lösen versuchen.

8. Die wissenschaftliche und praktische Bedeutung einer Schwefeldüngung*).

Von B. Heinze-Halle (Saale).

In unseren landwirtschaftlichen Zeitschriften wurde neuerdings wiederholt über Düngungsversuche mit Schwefel berichtet, die zum Teil auffallend günstige Wirkungen zeigen; bei Nachprüfungen solcher Versuche wurden jedoch meist keine deutlichen und einwandfreien Ertragssteigerungen beobachtet, ja bisweilen

*) Nach einem Vortrage des Verf. in der Sitzung des Sonderausschusses für Bodenbiologie im Februar 1922 während der landw. Woche in Berlin.

¹⁾ In praktisch angemessenen Zeiträumen.

wurden sogar erhebliche Minderernten festgestellt. So wird namentlich von Matenärs¹⁾ und Adolf Meyer²⁾ von besonders erfolgreichen Versuchen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika berichtet, denen wir gleich die wenig günstigen Ergebnisse der Versuche von Gerlach³⁾ wie auch von Thalau⁴⁾ und Pfeiffer⁵⁾ gegenüberstellen wollen. Allerdings müssen und können diese Nachprüfungen (auch im Sinne von Gerlach selbst) nur als vorläufige Versuche betrachtet und bewertet werden.

Ebenso wurde vor einiger Zeit besonders von französischen Forschern von neuem auf die günstige Wirkung des Schwefels auf das Pflanzenwachstum hingewiesen. Auch haben sie bereits die Wirkung des Schwefels näher zu erklären versucht, soweit dies auf Grund ihrer bisherigen Versuche möglich war. Wie bei allen Düngungsfragen und Düngungsversuchen finden wir auch hier Unregelmäßigkeiten und Widersprüche, die nur durch weitere Versuche aufgeklärt werden können.

Die Schwefeldüngungsfrage hatte früher eine geringere praktische Bedeutung. In der jetzigen, fast trostlosen Wirtschaftslage, in die wir geraten sind, hat sie jedoch zweifellos in verschiedener Hinsicht eine erhöhte Bedeutung gewonnen.

Die Schwefelfrage selbst ist im gärtnerischen und landwirtschaftlichen Betriebe schon ziemlich alt: Es ist schon seit etwa 60 Jahren — besonders was die Entwicklung der Reben anbelangt — bekannt, daß namentlich wiederholte Schwefelungen, die u. a. gegen die Oïdiumkrankheit des Weinstockes, gegen den echten „Meltau“, vorgenommen werden, in verschiedener Hinsicht günstig wirken.

Bei rechtzeitiger Anwendung des Schwefels kann diese gefürchtete, auch bei uns in Deutschland oft geradezu verheerend auftretende Pilzkrankheit (die wegen des Asche-ähnlichen Befalls der Blätter auch „Äscher“ oder „Aescherig“ genannt wird) erfolgreich bekämpft werden. Jedenfalls können die durch diesen Pilz bedingten Schädigungen sehr gemildert werden. Wenn aber außer den Blättern der Reben auch noch die Beeren stark vom „Aescher“ befallen werden, so kann ein weitgehendes Vertrocknen und Faulen der Beeren und damit eine vollständige Mißernte eintreten, wenn die Krankheit nicht rechtzeitig mit Schwefel (S) bekämpft wird. Im übrigen scheint nach unseren bisherigen Kenntnissen der Schwefel hierbei weniger mechanisch (als pulveriger Belag oder Überzug) zu wirken, als vielmehr chemisch wirksam zu werden und zwar hauptsächlich durch die allmählich gebildeten Schwefelverbindungen SO_2 (schwefelige Säure) und H_2S (Schwefelwasserstoff) wirksam zu sein.

¹⁾ Vergl. dessen Mitteilungen über Schwefeldüngung in der D. ldw. Presse 1920, Nr. 43.
²⁾ Vergl. dessen Mitteilungen zur Schwefelfrage. D. ldw. Presse 1921, Nr. 14.

³⁾ Vergl. die Mitteilungen über die Düngung mit Schwefel in den Mitt. d. Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft 1921, Stück 52.

⁴⁾ Vergl. die betreffenden Mitteilungen in den ldw. Versuchsstationen, Bd. 42, S. 101.

⁵⁾ Vergl. dessen Mitt. in Fühlings ldw. Ztg. 1916, Bd. 65, S. 193.

Neben diesen unmittelbaren Wirkungen auf das Pflanzenwachstum konnte aber — bei den später vielfach schon unter die regelmäßigen Weinbergsarbeiten aufgenommenen Schwefelungen der Weinstöcke — gleichzeitig eine auffallend günstige Wirkung des Schwefels auf das ganze Wachstum der Stöcke und auf ihren Ertrag beobachtet werden, ohne daß allerdings schon damals eine befriedigende Erklärung für die Art und Weise der Wirkung gegeben werden konnte. Diese auffallende Erscheinung wurde bald nach den ersten Anwendungen des Schwefels schon von Henri Marès beobachtet und zwar nach den Mitteilungen von Degruilly in einer französischen Zeitschrift über die ertragssteigernde Wirkung des Schwefels⁶⁾. Die Ergebnisse seiner Beobachtungen finden sich nach Degruilly in einem Buche von Marès (*Livre de la ferme*) zusammengestellt, in dem er über die Wirkung des Schwefels u. a. folgendes besonders hervorhebt: „Der Schwefel spornst das Wachstum der Rebe an und begünstigt die Befruchtung. Er gibt ihr auf diese Weise zugleich die nötige Kraft, um gegen die Angriffe des auf ihr schmarotzenden Pilzes anzukämpfen . . .“

Weiterhin schreibt er: „Von allen bei der Pflege des Weinstockes vorgenommenen Neuerungen ist die Maßnahme einer planmäßigen und in bestimmten Zeiträumen wiederholten Anwendung des Schwefels — sei es nun, um den echten „Meltau“ zu bekämpfen, sei es aber auch, um auf die Befruchtung und auf das Wachstum der Reben einzuwirken — die wichtigste und wertvollste, die ersonnen und in der Praxis aufgenommen wurde. Die Wirkung des Schwefels auf die Erträge der Weinberge ist entscheidend. Im Verein mit einer guten Pflege und unter Verwendung von Düngemitteln sind die Erträge zugleich regelmäßiger und ergiebiger geworden . . .“ — „Das Wachstum der geschwefelten Reben ist üppiger . . .“

„Ferner begünstigt der Schwefel das Reifen der Trauben in einer auffallenden Weise. Nach den gemachten Beobachtungen wird die Traubenreife durch das Schwefeln um etwa 10 Tage beschleunigt. Die Trauben werden verbessert; ebenso ist auch der Wein der geschwefelten Weinberge in Südfrankreich schöner in der Farbe und besser im Geschmack . . .“

Der Schwefel kann schon nach Marès' bzw. Degruilly's Mitteilungen für den Weinberg auch als Düngemittel oder vielmehr als Verbesserungsmittel von ganz besonderer Bedeutung angesehen werden.

Seit Henri Marès schon so genau die allgemeinen günstigen Wirkungen des Schwefels angab, sind etwa 60 Jahre vergangen. Sie wurden in der Praxis vollauf bestätigt, namentlich im südlichen Frankreich.

Merkwürdigerweise hatte man sich nun damals und auch späterhin bis in die neueste Zeit hinein noch gar nicht damit beschäftigt, auch einmal näher zu prüfen, ob der Schwefel auf andere Pflanzen eine ähnliche Wirkung ausübt, wie sie in den Weinbergen beobachtet wurde, — und zwar abgesehen als Mittel gegen die Meltaukrankheiten anderer Pflanzen. Auch war damals noch gar nichts Näheres darüber bekannt, wie der Schwefel sonst noch auf den Weinstock und auf den Boden einwirkte. Allerdings konnte früher auch noch keine genauere Erklärung über die Art der Schwefelwirkung gegeben werden, da ja manche Einzelheiten noch nicht bekannt waren und zum Teil auch jetzt noch nicht sicher bekannt sind.

Neuere Versuche von uns⁷⁾ und anderen (die zunächst meist in Ver-

⁶⁾ Vergl. dessen Mitteilungen in der Märznummer der Zeitschrift *Le Progrès agricole et viticole*: „Sur l'action fertilisante du soufre“ 1912.

⁷⁾ Diese Versuche wurden im Anschluß an die s. Zt. von W. Krüger u. d. Verf. durchgeführten umfangreichen Untersuchungen über die Wirkung des Schwefelkohlenstoffes auf Boden und Pflanzenwachstum in Angriff genommen und sind im Zentralblatt f. Bakt., II 1906 und 1907, S. 469, 628 und 629 mit erwähnt. Dort wurde von uns auch auf die allgemeine ertragssteigernde Wirkung des Schwefels hingewiesen und seine Wirkung namentlich als eine bakteriologisch-chemische erklärt.

bindung mit Schwefelkohlenstoffversuchen angestellt wurden) haben ergeben, daß wir bei der Wirkung des Schwefels im Boden und auf die Entwicklung der Pflanzen in der Hauptsache mit chemischen und mikrobiologischen Wirkungen und damit also mit mittelbaren Düngewirkungen rechnen müssen. Ähnliche Erklärungen und Mitteilungen erfolgten bald auch von einigen französischen Wissenschaftlern.

Umfangreichere praktische Versuche über die Wirkung des Schwefels als Düngemittel, wie auch u. a. über seine Brauchbarkeit zur Bekämpfung des Kartoffelschorfes wurden bei uns in Deutschland besonders von Bernhard⁹⁾ (Landwirtschaftslehrer in Kreuznach) auf Grund französischer Berichte¹⁰⁾ ausgeführt und besprochen. Übrigens wurden Bernhard's Versuche in der Hauptsache von der Agrikultur-Abteilung der Schwefelproduzenten in Hamburg angeregt. Diese Versuche sprechen entschieden zugunsten einer Schwefelbehandlung des Bodens; sie verlieren aber gleich den meisten Versuchen der französischen Forscher insofern erheblich an Wert, als anscheinend fast überall keine Kontrollversuche, bei Freilandversuchen keine oder nur selten Vergleichsstücke vorgesehen waren. So wichtig nun die Bernhard'schen Versuche immerhin auch in praktischer Hinsicht sein mögen, in wissenschaftlicher Hinsicht bringen sie nur unsichere Vermutungen über die Wirkung des Schwefels. Seine Versuche sind aber besonders wichtig hinsichtlich der Bekämpfung des Kartoffelschorfes. —

Soweit wir jetzt die Wirkungen des Schwefels auf Boden und Pflanzenwachstum kennen, müssen wir neben den Wirkungen auf die Bodenorganismen (auf die verschiedensten Kleinlebewesen pflanzlicher und tierischer Art) auch die allmähliche Umwandlung des Schwefels im Boden in Schwefelsäure und schwefelsaure Verbindungen (Sulfate) berücksichtigen. Die zunächst entstehenden S-Verbindungen SO_2 und H_2S beeinflussen vor allem das Organismenleben im Boden. Die Umwandlung des Schwefels in die verschiedensten S-Verbindungen ist in hohem Maße von der Art des Bodens, von seinem Wassergehalte, von seiner Durchlüftung, von der Bodenwärme, von der Feinheit des Schwefels und seiner Verteilung im Boden abhängig. Der Schwefel (der selbst in kolloidaler Form auftreten kann) und seine mannigfachen Verbindungsformen dürften auch die Kolloidstoffe, die Quellstoffe des Bodens und damit dessen Durchlüftung bisweilen erheblich beeinflussen.

Die Bildung von Schwefelsäure und Sulfaten im Boden bei einer S-Behandlung konnte früher von uns und anderen auch bei der Behandlung des Bodens mit Schwefelkohlenstoff (CS_2) festgestellt werden. Alsdann zeigt die Wirkung des Schwefels auch auf das Pflanzenwachstum viel Ähnlichkeit mit der Wirkung des Schwefelkohlenstoffes. Nach unseren bisherigen Versuchen scheint sich jedenfalls ähnlich wie beim CS_2 auch beim Schwefel eine deutliche ertragsteigernde Wirkung meist erst dann bemerkbar zu machen, wenn die Behandlung des Bodens längere Zeit vor der Bestellung erfolgt. Wenn aber der Schwefel, — zumal in größeren Gaben — erst bei der Bestellung oder kurz vor ihr gegeben wird, dann können zuweilen sogar auffallende Schädigungen der Pflanzen auftreten. Volle Klarheit über dieses Verhalten können natürlich erst weiter ausgedehnte Versuche mit möglichst verschiedenartigen Böden bringen. Vegetationstopfversuche, die wir mit Schwefel und gleichzeitiger Kalk- und Stickstoffdüngung anstellten, hatten noch keine auffallenden Ergebnisse zugunsten einer Schwefeldüngung geliefert. Bei alledem spielt wahrscheinlich auch die Durchlüftung des Bodens eine große

⁹⁾ Siehe die betreffenden Mitteilungen in der D. landw. Presse, Jg. 1909—1912.

¹⁰⁾ Und zwar von Boullanger, Degruilly, Müntz u. Moreau-Berillon, deren Mitt. sich in den *Comptes rendus de l'Académie des sciences* und in den Zeitschriften „Le progrès viticole et agricole“ und „L'Engrais“ finden: Die betreffenden Versuche wurden von Bernhard vorwiegend in der D. landw. Presse 1908—1910 besprochen.

Rolle. — (Vergl. hierzu auch unseren Beitrag zur Schwefelfrage in den „Naturwissenschaften“ 1913 H. 5.) —

Es wurde in unseren früheren Mitteilungen auch schon auf die üppige Pflanzenentwicklung im Gebiete älterer und neuerer vulkanischer Ausbrüche hingewiesen und die Vermutung geäußert, daß bei der guten Pflanzenentwicklung in dem oft sehr steinigem Erdreich gerade der hohe Gehalt des Bodens an Schwefel- und Schwefel-Verbindungen eine bedeutsame Rolle spielen möge, wenn die Wasser-Verhältnisse günstige sind. Auch nach diesen Beobachtungen dürfte in den Weinbergen der oftmals weit bessere Stand der geschwefelten Reben zum Teil auf jene Schwefelmengen zurückgeführt werden müssen, die beim „Schwefeln“ der Weinstöcke — zur Bekämpfung der gefürchteten Oidiumkrankheit — in den Boden gelangen und dort chemisch, physikalisch und biologisch wirksam werden.

Nach unseren jetzigen Kenntnissen über die Wirkung des Schwefels auf Boden und Pflanzenwachstum beeinflussen der Schwefel und seine Verbindungen, insbesondere SO_2 , H_2S und CS_2 die Bodenorganismen, die pflanzlichen und tierischen kleinsten Lebewesen ganz gewaltig. Viele solcher Kleinwesen werden abgetötet, manche werden in ihrer Entwicklung gehemmt, andere werden oft schon kurze Zeit nach der Behandlung wieder gefördert und vermehren sich dann auffallend stark. Ähnlich wie mit Chlorkalk, Schwefelkohlenstoff, Formalin, Karbolsäure und anderen keimtötenden Mitteln kann man auch mit Schwefel eine allgemeine Bodenreinigung vornehmen und so nach neueren Erfahrungen der Amerikaner auch „Bodenmüdigkeit“ und „Pflanzenmüdigkeit“ mit Schwefel bekämpfen. Ebenso wie durch eine CS_2 -Behandlung des Bodens ist auch durch eine Schwefelbehandlung oftmals eine auffallende Aufschließung von Mineralstoffen und des organischen Stickstoffes des Bodens bedingt. Auch freilebende stickstoffsammelnde Bodenorganismen, sowie Leguminosenorganismen scheinen auf eine bisher noch nicht näher geklärte Weise bisweilen günstig beeinflußt zu werden. Weitere Versuche ergaben, daß auch die Ammoniak- und Salpeterbildung im Boden oft stark begünstigt wird.

Hierbei möchten wir nicht unerwähnt lassen, daß auch einzelne französische Forscher schon vor einer Reihe von Jahren die Wirkung des Schwefels auf Boden und Pflanzenwachstum in der Hauptsache wenigstens als eine bakteriologisch-chemische erklärten. So berichteten Boullanger und Dugardin¹⁰⁾ über ihre Versuche folgendes: „In einer früheren Mitteilung hatte der eine nachgewiesen, daß die in sehr geringer Menge der Erde verschiedener Topfkulturen zugesetzte Schwefelblüte eine sehr günstige Wirkung auf das Pflanzenwachstum ausübt und die Erträge dieser Kulturen in gewöhnlichem, nicht sterilisierten Boden deutlich erhöht.“ Im keimfrei gemachten Boden ist jedoch diese Wirkung nur ganz schwach.“

„Die letztere Feststellung schien somit anzuzeigen, daß der Schwefel nur mittelbar wirkt, indem er zweifellos im Boden bisweilen auch manche nützliche Mikroben in ihrer Tätigkeit wesentlich begünstigt. Wir haben weitere Versuche (schreiben Boullanger und Dugardin) angestellt, diese Frage näher zu klären.“

Nach Wiedergabe von 4 Versuchen (mit Zahlen) wird sodann noch folgendes berichtet und betont: „Man sieht, daß bei Gegenwart einer Stickstoffverbindung, die durch Mikroben leicht zersetzt werden kann, die Arbeit der Ammoniakbildner durch eine Schwefelgabe wesentlich unterstützt wird, denn nach 10 Tagen wurde in der geschwefelten Erde die Hälfte mehr NH_3 , wie in der unbehandelten gewöhnlichen Erde gefunden. Die Nitrate haben

¹⁰⁾ Vergl. deren Mitteilung in den oben angegebenen Zeitschriften.

allerdings nach den vorliegenden Versuchen etwas abgenommen. Die Gesamtstickstoffmengen wiesen bei diesem Versuche keine Unterschiede auf. Die Bakterien, die freien N-bindern (*Azotobacter*, *Clostridium*) wurden nach den bisherigen Versuchen der genannten beiden Forscher nicht beeinflusst¹¹⁾. Bei anderen Versuchen der beiden Forscher wurde ein ähnliches Ergebnis hinsichtlich der salpeterzersetzenden Organismen gefunden, also keine Beeinflussung festgestellt im Gegensatz zu neueren Versuchen von Gehring, auf die wir noch kurz zu sprechen kommen, und bei denen mitunter eine sehr starke Salpeterzersetzung (namentlich bei Anwesenheit von Thiosulfaten) beobachtet wurde.

Boullanger und Dugardin schreiben die günstige Wirkung des Schwefels vor allem dem belebenden Einflusse zu, der durch den Schwefel auf die Ammoniakbildner und Salpeterbildner ausgeübt wird. „Die Pflanze findet (nach deren Versuchen) — bei Gegenwart von Schwefel größere Mengen unmittelbar aufnehmbarer Ammoniakverbindungen vor und die günstige Form der N-Ernährung soll sich durch eine erhebliche Steigerung der Erträge kundgeben, ganz ähnlich jener, die bei Anwendung von schwefelsaurem Ammoniak als N-Dünger erzielt werden kann.“ — Bei diesen Versuchen darf man jedoch nicht übersehen, daß die auf solche Weise gebildeten größeren Ammoniakmengen ausschließlich den N-Verbindungen des Bodens entstammen und daß infolgedessen meist erst N-haltige organische Düngemittel zugeführt werden müssen, um nach der Ansicht der genannten französischen Forscher den Pflanzen einen stärkeren Verbrauch an Bodennickstoff zu ermöglichen.

Nach weiteren vorläufigen Versuchen von uns selbst mit Schwefel und gleichzeitigen Stickstoffdüngungen müssen wahrscheinlich auch noch unbekannte Einflüsse bei der Frage über die Wirkung des Schwefels und seiner Verbindung auf Boden und Pflanzenwachstum berücksichtigt werden. Wahrscheinlich werden auch die Bodenquellstoffe (die mannigfachen organischen und anorganischen Kolloidstoffe unserer Böden), auf die schon kurz hingewiesen wurde, je nach den Wasserverhältnissen in verschieden starker Weise beeinflusst. Auch scheinen (wie bei allen Düngungen) gerade bei der Schwefelbehandlung der Wassergehalt des Bodens, wie auch die Niederschläge eine wichtige Rolle zu spielen. Die Bodendurchlüftung wird zweifellos auch bei einer Schwefeldüngung beeinflusst und bisweilen wesentlich begünstigt. Bei früheren Versuchen in Töpfen und im Freilande mit verschiedenen Versuchspflanzen erhielten wir nur dann erhebliche Mehrernten von etwa 15—20%, wenn der Schwefel in verhältnismäßig kleinen Mengen von 10 g Schwefel auf 1 qm Fläche bzw. $\frac{1}{2}$ —1 g je Topf längere Zeit vor der Bestellung gegeben wurde: Größere Mengen Schwefel sowie kleinere Mengen Schwefel (die erst kurz vor der Bestellung gegeben waren) wirkten fast ausnahmslos stark drückend auf das Ernteergebnis. Bei einigen neuen Freiland-

¹¹⁾ Damit ist natürlich noch nicht gesagt, daß es unter anderen Bedingungen ebenso ist und bleibt.

versuchen auf sandigem Boden wurden von uns noch keine deutlichen Ertragssteigerungen beobachtet; allerdings war auch die Witterung sehr trocken. Gute Versuchspflanzen scheinen übrigens nach neueren Versuchen, vor allem auch nach amerikanischen Beobachtungen, für Schwefeldüngungsversuche neben Kartoffeln, Luzerne und Kleearten besonders Tomaten, Lupinen, Oelbohnen (Soja hispida) und Maissorten zu sein. Unsere vorläufigen Versuche mit Schwefel und gleichzeitigem Zusatz von organischen Stoffen haben noch kein eindeutiges Ergebnis geliefert. Die Ergebnisse waren sogar meist ungünstig: Es ist aber möglich, daß eine reichliche Kalkzufuhr (die bisher unterblieb) bei weiteren Versuchen die Ergebnisse günstiger gestaltet. Da nach manchen nordamerikanischen Versuchen Schwefeldüngungen auf Böden, die an organischen Stoffen besonders reich sind, nicht vorteilhaft sind und vermieden werden sollen, so spielt der jeweilige höhere oder geringere Gehalt des Bodens an Kalk jedenfalls eine wichtige Rolle, wenn eine Schwefel-Behandlung einen nennenswerten Erfolg bringen soll.

Einen wichtigen Beitrag hat neuerdings zur Schwefel-Frage A. Gehring geliefert. Nach dessen Versuchen¹²⁾ müssen hierbei besonders die sog. „Thionsäurebakterien“ oder „Thiosulfatbakterien“, die schon vor längerer Zeit von Omelianski, Nathanson, Beijerinck und anderen aufgefunden und in verschiedener Richtung näher untersucht wurden, berücksichtigt werden.

Thiosulfate entstehen in der Natur sehr leicht bei der Oxydation von H_2S und Sulfiden; aber auch andere Schwefelverbindungen können von diesen besonderen Organismen oxydiert werden: Nach Beijerinck kann vor allem auch der Schwefelwasserstoff den „Thionsäureorganismen“ als Kraftquelle dienen; nach Lieske auch der freie Schwefel und unterschwefeligs saures Natrium. Nach Gehrings neueren Untersuchungen sind gerade diese kleinen Lebewesen in der Natur weit verbreitet und namentlich dann in Ackerböden reichlich vorhanden, wenn noch durch Düngung mit Schwefelverbindungen besonders günstige Lebensbedingungen für sie geschaffen werden. Sie können sowohl von der obersten Ackerkrume, wie auch aus 25 cm Tiefe gewonnen werden. Sie finden sich im Teichschlamm und Grabenschlamm, in Wiesenböden, in Buchenwaldböden, in Komposterden und im Torf, in Moorböden. Für die Bildung des in Mooren auftretenden Pyrits

¹²⁾ Vergl. dessen Mitteilungen in der D. landw. Presse 1921, Nr. 29.

werden andere Organismen, nämlich Diatomeen verantwortlich gemacht.¹⁸⁾ Auch andere Algen sowie Schimmelpilze müssen bei der Schwefelverarbeitung durch Organismen berücksichtigt werden.

Nach Gehrings Versuchen scheinen die „Thiosulfatbakterien“ unter bestimmten Bedingungen Nitrat ziemlich schnell und reichlich zu zersetzen, und zwar besonders reichlich dann, wenn noch eine Kohlenstoff=(C)=Quelle, eine Carbonatquelle vorhanden ist. Damit würden die Ergebnisse mancher amerikanischen Schwefeldüngungsversuche, nach denen Böden, die reich an organischen Stoffen sind und für eine solche Düngung weniger dankbar waren, z. T. eine nähere Erklärung finden. Gehring konnte unter diesen Bedingungen starke Salpeterzersetzung sowohl in Flüssigkeitszuchten, wie auch in feuchtem Boden mit 17% Wasser, in Komposterden, Buchenwaldboden und Torf feststellen; auch wurde von ihm beobachtet, daß die verschiedenen Oxydationsstufen des Schwefels unter den gewählten Bedingungen eine verschieden starke Zersetzung des Salpeters hervorrufen: Es wurden nämlich nach Gehring bei Zusatz von

0,5 g Na ₂ S	in 100 g Boden	3,9 mg Salpeterstickstoff
0,5 „ S	„ 100 „ „	2,1 „ „
0,5 „ Na ₂ SO ₈	„ 100 „ „	3,9 „ „
0,5 „ Na ₂ S ₂ O ₈	„ 100 „ „	6,0 „ „

zersetzt.

Gehring betont, daß diese starke Nitratzersetzung schon in ungedüngter Ackererde auftrat, und daß daher in Bodenarten, die mehr organische Stoffe enthalten oder besonders gedüngt würden, diese Zersetzung wohl noch wesentlich größer sein würde.

Ich möchte diese Auffassung z. Zt. nicht teilen. Ich glaube, daß bei einer guten Bodendurchlüftung auch bei Zusatz von Schwefel und Schwefelverbindungen die sog. „Denitrifikation“ unter praktischen Verhältnissen keine wesentliche Rolle spielt, wie dies ja im allgemeinen auch ohne Zusatz solcher Stoffe in der Praxis der Fall ist. Da bei diesen Vorgängen meist eine sehr starke Vermehrung von Bodenorganismen einsetzt, so wird naturgemäß viel N vorübergehend als Organismeneiweiß (als Körpermasse) festgelegt*) und die auffallende Salpeterzersetzung dürfte oft nur eine scheinbare sein. Nach längerer Lagerzeit setzt

¹⁸⁾ Nach Versuchen und Mitteilungen von van Bemmelen, die Löhnis in seinem Handbuche der landw. Bakteriologie (Seite 707) erwähnt.

*) Anmerkung. Übrigens kann so bisweilen auch ein erheblicher Teil löslicher Phosphorsäure durch Bodenorganismen vorübergehend festgelegt und den Pflanzen zeitweise entzogen werden.

eine verstärkte Salpeterneubildung ein. Auch kann bisweilen ein ungenügender Kalkgehalt neben reichlichem Wasser-Gehalt bei Schwefelzusatz zum Boden die Salpeterzersetzung (die Denitrifikation) begünstigen und mitunter die Ernteerträge auffallend mindern. Klarheit über diese wichtige Einzelfrage, wie auch über die mannigfache Beeinflussung der kleinsten Lebewesen im Boden bei einer Schwefel-Behandlung und im besonderen auch eine nähere Aufklärung über den Einfluß des Schwefels auf die verschiedensten tierischen Mikroorganismen des Bodens (wie z. B. auf Protozoen, Amöben, Flagellaten u. a.) und deren Bedeutung für die Pflanzenentwicklung kann natürlich erst durch die eingehende Erforschung dieser Organismenwirkungen gewonnen werden. Besonders in Gärten dürfte auch der Einfluß des Schwefels auf Regenwürmer und andere kleine Tiere wichtig sein. Über den Einfluß des Schwefels auf die tierischen Bodenorganismen scheinen noch keine besonderen Untersuchungen vorzuliegen. Wahrscheinlich wird man in dieser Hinsicht im allgemeinen mit ähnlichen Wirkungen wie bei der Anwendung von Schwefelkohlenstoff rechnen müssen, nämlich mit der Abtötung, wenn auch oft nur mit einer kurzfristigen Abtötung großer Mengen solcher kleinster Lebewesen. Später kann bisweilen auch in CS_2 behandelten Böden wieder eine starke Vermehrung solcher Organismen einsetzen. Für die mikrobiologische Reinigung vieler Böden, namentlich solcher, die stark mit Krankheitserregern aller Art durchsetzt sind, hat sich übrigens bisweilen der CS_2 noch wertvoller erwiesen, als Toluol und Karbolineum (z. B. in Moorböden). Zweifellos wird in solchen Fällen auch der Schwefel selbst oft gute Dienste leisten. Die wissenschaftliche Bodenbiologie hat jedenfalls auch hinsichtlich der Schwefelfrage noch ein großes Arbeitsfeld vor sich.

Die Wandlungen, die der Schwefel im Kreislaufe der Stoffe im Boden durchmacht, und zwar zum großen Teile unter der Einwirkung von Mikroorganismen sind nach unseren vorläufigen Kenntnissen kaum weniger zahlreich, als jene, denen der Stickstoff ausgesetzt ist. Bisher wurde allerdings dem Schwefel im landwirtschaftlichen Betriebe eine weit geringere Bedeutung, als dem Stickstoff beigemessen. Seine Bedeutung ist aber wohl größer, als früher meist angenommen wurde. Daher sollte auch der weiteren Erforschung der Schwefelfrage, insbesondere der Schwefeldüngungsfrage, die ihr gebührende Beachtung geschenkt werden.

Bei den bisherigen wissenschaftlichen und praktischen Ver-

suchen mit einer unmittelbaren Schwefeldüngung wurden naturgemäß mancherlei Mißerfolge und schlechte Ergebnisse, aber auch einzelne auffallend gute Ergebnisse erzielt: So wurden nach neueren Mitteilungen von Matenärs (siehe oben) Düngungsversuche mit Schwefel in den Vereinigten Staaten von Nordamerika namentlich im Staate Oregon bei Luzerne mit großem Erfolge durchgeführt, zum Teil auch bei solcher Luzerne, die stark mit Rotklee durchsetzt war. Es wurden Mehrernten von 10—100 %, bisweilen auch noch weit höhere festgestellt. In beschränktem Umfange wurden auch bei Getreidearten schon namhafte Steigerungen durch Schwefelgaben beobachtet. Zahlen sind noch nicht bekannt gegeben: Die Ertragssteigerungen bleiben jedenfalls weit hinter jenen der Luzerne zurück. Wo in einem trockenen Jahre wie 1918 keine nennenswerten Ergebnisse erzielt wurden, da waren im nächsten Jahre auch ohne neue Behandlung die Erträge auffallend gute, und zwar zugunsten der Schwefeldüngung um etwa 50 % höher. Über ähnlich gute und z. T. bessere nordamerikanische Versuchsergebnisse wird von Adolf Meyer (s. o.) kurz berichtet. Während im Staate Ohio manche Böden (vor allem an organischen Stoffen reiche Böden) wenig dankbar für eine Schwefeldüngung waren, sollen bei Luzerne im Staate Origen außerordentliche hohe Mehrernten beobachtet worden sein. Die betreffenden Böden waren kali-, kalk-, magnesia- und eisenreich und nach Meyer's Mitteilungen fast niemals sauer.

Auch nach südamerikanischen Versuchen¹⁴⁾ wurden nicht auf jedem beliebigen Boden mit einer Schwefeldüngung bemerkenswerte Ergebnisse erzielt. Bei ausschließlicher Verwendung von Schwefel wurde in Chile der Kartoffelertrag um 72 % erhöht. Ungefähr den gleichen Ertrag gab das Teilstück mit gleichzeitiger Schwefel- und Schafmisdüngung; annähernd gleiche Erträge wurden bei dem unbehandelten Teilstücke und dem nur mit Schafmist gedüngten Teilstücke erzielt. Es fehlen leider die unmittelbaren Vergleichsstücke. Auffallenderweise hat bei diesem Versuche der Stallmist selbst fast gar keine Wirkung ausgeübt. Bei einem anderen Versuche mit Kartoffeln nach Luzerne wurde der Kartoffel-Ertrag durch eine Schwefelgabe um 65 % erhöht. Nach seinen vorläufigen Erfahrungen empfiehlt der Versuchsansteller (Rob. Oparo) die Verwendung von Schwefel auf Böden, die reich an stickstoffhaltigen Stoffen sind, oder in Gegenden, in denen die nötigen

¹⁴⁾ Vergl. El Agricultor 1916 Nr. 109 S. 129 bzw. Internationale agrarische Rundschau. Rom 1916 S. 356.

Mengen Schafmist oder Rindermist vorhanden sind. Bei anderen nordamerikanischen Versuchen von Sched¹⁵⁾ wurden günstige Ergebnisse mit einer Schwefeldüngung bei Tabak und verschiedenen Leguminosen beobachtet, ungünstige jedoch beim Rotklee. Kohlarten lieferten sehr verschiedenartige Ergebnisse. Auf Wiesenböden scheinen noch keine Versuche gemacht zu sein. Bei Untersuchungen auf Luzernefeldern (sofort nach der Schwefelbehandlung und 3 Monate später) wurde festgestellt, daß der Schwefel ziemlich schnell in Sulfate übergeführt wird. In fruchtbaren Böden wird er schneller, als in mageren Böden umgewandelt, sehr langsam im Sande. Wenn der Schwefel in größeren Mengen gegeben wird, so wird der Boden sauer. Die Pflanzenentwicklung wird geschädigt, wenn der betreffende Boden nicht gleichzeitig gekalkt und die Säure abgestumpft wird. Bei Nachprüfungen solcher Schwefelversuche, die bei uns vor längerer Zeit von Pfeiffer, Thalau und neuerdings von Gerlach angestellt wurden, sind bisher noch keine namhaften Ertragssteigerungen festgestellt, vielfach sogar Schädigungen, besonders bei gleichzeitiger Stallmistdüngung. Eine deutliche Förderung der Pflanzenentwicklung durch Schwefel wurde von Pfeiffer bei gleichzeitiger Blutmehlgabe beobachtet. Wie Gerlach betont, war der Einfluß des Schwefels auf die Höhe der Erträge nach seinen bisherigen Versuchen nur sehr gering; gleichwohl hält auch er weitere Versuche für erforderlich und nützlich, um Klarheit über den nicht unwichtigen Gegenstand einer Schwefeldüngung zu schaffen.

Nach unseren früheren Untersuchungen dürfte übrigens (wie ich schon kurz bemerkte) auch bei der schon vielfach erörterten CS_2 -Behandlung des Bodens (die noch keineswegs in allen Einzelheiten klargelegt ist) gerade der Schwefelgehalt eine wesentliche Rolle spielen. Der Schwefelkohlenstoff (CS_2) ist ein gutes Mittel gegen Reblaus, Engerlinge und andere tierische Schädlinge, wie auch ein gutes Mittel gegen Bodenmüdigkeit. Er ist zugleich ein allgemeines Bodenverbesserungsmittel und als solches sehr gut, hat aber bei seinem hohen Preise keine allgemeinere Verwendung in landwirtschaftlichen Betrieben finden können. Praktische Bedeutung hat er in einzelnen Gegenden nur bei wertvolleren Früchten im Obst-, Wein- und Gartenbau, im letzteren besonders in großen Blumenpflanzungen gewonnen. Nach unseren Erörterungen wirkt der Schwefel in mancher Hinsicht jedenfalls ganz ähnlich, wie der

¹⁵⁾ Laut Mitteilungen der Agrikultural Exp. Stat. 1914. Kentucky Bull. 189 S. 595.

Schwefelkohlenstoff auf Boden und Pflanzenwachstum ein, dessen größere Feuergefährlichkeit aber größere Schwierigkeiten bei seiner Anwendung bietet. Weiterhin ist eine Schwefelbehandlung auch wesentlich billiger, da nach den bisherigen Versuchen der einzelnen Versuchsansteller schon mit 1 kg je 100 qm Boden (oder $\frac{1}{2}$ Ztr. auf 1 Morgen Land) vielfach recht gute Wirkungen und erhebliche Mehrernten beobachtet werden konnten. Der Preis beträgt zur Zeit etwa 10 M für je 1 kg. Wichtig wären auch besondere Versuche mit Schwefel-Düngung in ihrer Beziehung zur Kohlensäurefrage, da auch manche Gärungsvorgänge im Boden durch S in verschiedener Hinsicht beeinflußt werden.

Alle neueren Versuche mit einer Schwefelbehandlung des Bodens eröffnen zweifellos neue Ausblicke für die ganze Frage. Sie kann jedenfalls bei den jetzigen hohen Kunstdüngerpreisen eine größere Bedeutung für unsere Land- und Forstwirtschaft gewinnen, als bisher, ganz abgesehen von der vorteilhaften Wirkung des Schwefels bei der Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten verschiedener Art, insbesondere auch mancher Kartoffelkrankheiten (wie Schorf usw.)¹⁶⁾ Schließlich muß auch die Frage nach der Güte und Haltbarkeit der Erzeugnisse — bei etwaigen regelmäßigen namhaften Mehrerträgen — besonderen Untersuchungen unterzogen werden. Da übrigens kein reiner Schwefel verwandt zu werden braucht, so genügt die billigste Schwefelmarke. Nach einer kurzen Mitteilung von R. Oparo¹⁷⁾ sollen bei uns in Deutschland mit Schwefelkies (Pyrit), der die erforderliche Menge Schwefel enthält, die gleichen günstigen Ergebnisse, wie mit gemahlenem oder sublimiertem Schwefel erzielt worden sein. Leider ist nicht näher angegeben, wo die Versuche gemacht und veröffentlicht wurden. Immerhin würden diese Beobachtungen, wenn sie bei Nachprüfungen Bestätigung finden, sehr wichtig sein, da Schwefelkies, wie auch Wasserkies (Markasit) als Schwefelverbindungen von gleicher Zusammensetzung reichlich in unserem eigenen Lande vorkommen.

In wissenschaftlicher Hinsicht — über das Wesen aller Schwefelwirkungen — können natürlich erst umfangreiche weitere Versuche volle Klarheit bringen. Eine weitere Prüfung der möglichen Ertragssteigerungen durch den Schwefel und damit der Wirtschaftlichkeit einer Schwefeldüngung kann aber schon jetzt durch mög-

¹⁶⁾ Auch kann man durch Schwefel wahrscheinlich manche Rübenkrankheiten pflanzlicher und tierischer Art mit gutem Erfolg bekämpfen und eindämmen.

¹⁷⁾ Die sich in den Berichten 1916 des internationalen landw. Instituts in Rom (S. 857) findet.

lichst zahlreiche Versuche mit verschiedenen Bodenarten und verschiedenen Früchten erfolgen und zwar kann das um so leichter geschehen, als eine Schwefelbehandlung wie eine gewöhnliche künstliche Düngung keine besonderen Schwierigkeiten bietet.

Halle (Saale): 23. Februar 1922.

9. Experimentelle Untersuchungen von M. Helbig u. O. Rößler über die Wasserverdunstung des natürlich gelagerten (gewachsenen) Bodens.

Von E. Krüger, Berlin.

Verfasser berichten in der Allgemeinen Forst- und Jagdzeitung (Sonderdruck September, Oktober) 1921 über umfangreiche Versuche über die für den Wasserhaushalt im Boden, also auch für die Landwirtschaft, so überaus wichtige Frage der Wasserverdunstung aus dem Boden, die umsomehr beachtenswert sind, als sie ein Verfahren anwenden, das ermöglichen soll, die Verdunstung aus dem natürlich gelagerten Boden, d. h. aus dem freien Felde zu ermitteln.

In der Einleitung werden zunächst die bisherigen, älteren Versuche und die dabei angewandten Verfahren kurz besprochen. Besonders wird daran bemängelt, daß all diese Versuche vom „künstlichen“, d. h. von solchem Boden angestellt wurden, der aus seinem natürlichen Verbande herausgerissen wurde, um ihn im Laboratorium zu untersuchen, ohne Rücksicht darauf, daß dadurch der Boden in physikalischer, chemischer (?) und biologischer Beziehung wesentlichen Veränderungen ausgesetzt werde. Insbesondere wird beklagt, daß die meisten Forscher den Versuchsboden zu Beginn bei 105—110° trockneten, um einen in bestimmten Zahlen auszudrückenden Wassergehalt herstellen zu können, wodurch natürlich die kolloidalen usw. Eigenschaften des ursprünglichen Bodens schwer verändert werden.

Solche Erwägungen veranlaßten die Forscher, ein Verfahren zu ersinnen und anzuwenden, bei dem die Verdunstung aus der Feuchtigkeitszunahme der über dem gewachsenen Boden befindlichen Luft bestimmt wurde.

Nachdem sodann 18 Faktoren meteorologischer und bodenphysikalischer Art benannt und kurz besprochen wurden, welche