

Zeitschrift für angewandte Chemie

37. Jahrgang S. 81—96

Inhaltsverzeichnis Anzeigenteil S. V.

14. Februar 1924, Nr. 7

Mitglieder! Gedenkt der Hilfskasse des Vereins deutscher Chemiker!

Das Vermögen der Hilfskasse ist durch die Geldentwertung schon seit Jahr und Tag in ein Nichts zusammengeschrumpft. Wir haben deshalb auch bereits in der letzten Zeit auf das Bestreben verzichtet, neues Kapital anzusammeln, das doch wieder nur der Geldentwertung zum Opfer gefallen wäre. Wir haben uns vielmehr darauf beschränkt, laufend Beträge zu erbitten, die uns in den Stand setzen, den Ansprüchen, die an die Hilfskasse herantreten, zu genügen. Auch diese Sammlungen sind in den letzten Monaten unterblieben, so daß wir heute nur noch über wenige 100 Goldmark verfügen. Dabei mehren sich jetzt die Fälle dringender Not, in denen wir um Hilfe angegangen werden. Insbesondere ist nach wie vor das Einbruchsg. biet an der Ruhr der Gegenstand unserer Sorge. Wir halten es für abwegig, die Ansammlung eines Vermögens der Hilfskasse ins Auge zu fassen und wollen uns zunächst daher darauf beschränken, die Mittel zur Deckung des laufenden Bedarfes von Ihnen zu erbitten. Infolgedessen sind uns auch kleinere Beiträge von 50, 20 Goldmark und darunter hochwillkommen. Auf jeden Fall möchten wir aber freundlichst bitten, die Spenden in wertbeständiger Form zu leisten. Einzahlungen können zweckmäßig auf das Postscheckkonto des Vereins deutscher Chemiker 12650 Leipzig unter entsprechender Angabe des Verwendungszweckes erfolgen.

Wir sind sicher, daß wir auch diesmal ein geneigtes Ohr finden, und daß uns der Appell an den Opfersinn deutscher Chemiker ausreichende Beträge zuführen wird.

Das Kuratorium der Hilfskasse:
gez. F. Raschig, A. Klages, O. Jordan.

Die Geschäftsführung:
gez. F. Scharf.

Die Bedeutung der Versorgung Deutschlands mit künstlichen Düngemitteln, insbesondere mit Phosphorsäuredüngern, für die Volksernährung.

Von O. LEMMERMANN, Berlin.

(Eingeg. 27.9. 1923.)

Unter den Pflanzennährstoffen spielen die Elemente Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium landwirtschaftlich und volkswirtschaftlich eine besonders wichtige Rolle. In Anbetracht der Zusammensetzung unserer Böden einerseits und des Nährstoffbedürfnisses unserer Kulturpflanzen andererseits müssen wir diese Elemente in großen Mengen in Form der künstlichen Düngemittel anwenden, um so diejenigen Ernteerträge zu erzielen, wie sie heute privatwirtschaftlich und volkswirtschaftlich nötig sind.

Der große Einfluß, den die künstlichen Düngemittel auf die Höhe unserer Ernten und damit auf unsere Volksnährung besitzen, ist oft nachgewiesen worden. Ich will daher nur folgende Zahlen anführen, die sich auf die Verhältnisse Deutschlands beziehen.

In den letzten 25 Jahren vor dem Kriege (1890—1913) stieg der Verbrauch an künstlichen Düngemitteln von rund 16 Mill. dz nach und nach auf rund 107 Mill. dz.

In demselben Zeitraum stiegen unsere Hektarerträge an Roggen um 61 %, d. h. von 11,8 dz auf 19 dz je Hektar, an Kartoffeln um 56 %, d. h. von 101,8 dz auf 158 dz je Hektar.

Diese Zahlen gewinnen noch an Bedeutung, wenn wir sie in Vergleich setzen mit dem Bevölkerungszuwachs desselben Zeitraumes. Dieser war damals erfreulich hoch und betrug 30 %. D. h. also, trotzdem unsere Bevölkerung vor dem Kriege ziemlich stark zunahm (jährlich um etwa 800 000 Menschen), so stiegen doch unsere Ernten in noch höherem Maße, und wir wurden hinsichtlich unserer Volksnährung nicht abhängiger, sondern sogar immer unabhängiger vom Auslande.

Dann kam der Krieg und brachte uns unter andern auch einen Mangel an den Pflanzennährstoffen Stickstoff und Phosphorsäure.

An Stickstoff standen uns z. B. im Jahre 1919 nur 115 000 t in Form künstlicher Düngemittel zur Verfügung gegenüber 185 000 t im Jahre 1913. Also 37,8 % weniger.

An Phosphorsäure war der Ausfall noch größer. Er betrug 58,1 %. Im Jahre 1913 verbrauchten wir in Form von künstlichen Düngemitteln etwa 550 000 t (P_2O_5). Im Jahre 1919 konnten wir nur 230 000 t anwenden.

Auch die Menge und der Nährstoffgehalt des Stalldüngers wurde geringer, und die Folge davon war und mußte ein starker Rückgang der Ernteerträge sein.

Unsere Hektarerträge an Brotgetreide fielen von 1913—19 um 21,3 % (der Hektarertrag sank von 18,3 dz auf 14,4 dz¹⁾). Die Kartoffelerträge sanken in den Jahren 1913—19 um 31 % (der Hektarertrag ging von 142 dz auf 98 dz¹⁾ herab).

Natürlich ist das Steigen der Ernten vor dem Kriege und das

Sinken derselben seit dem Kriege nicht allein bedingt worden durch die bessere bzw. schlechtere Ernährung der Kulturpflanzen. Denn wir wissen, daß noch eine Reihe anderer Faktoren von Einfluß ist auf die Höhe unserer Ernten: 1. die Züchtung und der Anbau ertragreicher Früchte, 2. die immer mehr verbesserte Bodenbearbeitung und Pflege, 3. die Bekämpfung der Pflanzenkrankheiten usw.

Aber unter den Faktoren, die wir beherrschen, ist die Düngung der wichtigste.

Auf Grund von Schätzungen kann man annehmen, daß die bessere Ernährung der Pflanzen durch stärkere Düngung zu 50 %, die Züchtung und der Anbau ertragreicher Sorten zu 30 %, die übrigen Maßnahmen zu 20 % an der Steigerung unserer Ernten beteiligt sind.

Bei dieser großen Bedeutung der künstlichen Düngemittel für unsere Volksnährung ist nun die weitere Frage von Wichtigkeit, ob uns die Pflanzennährstoffe, auf die es praktisch vor allem ankommt, heute in genügender Menge zur Verfügung stehen oder nicht. Das ist hinsichtlich des Kalis und Kalkes ohne weiteres der Fall. Anders ist es um die Beschaffung des Stickstoffs und der Phosphorsäure bestellt.

An Stickstoff können wir heute in Deutschland etwa 380 000 t in Form künstlicher Düngemittel herstellen. Das ist an und für sich eine erhebliche Menge und eine ganz gewaltige Leistung unserer Stickstoffindustrie, namentlich wenn man bedenkt, daß wir kurz vor dem Kriege (1914) nur etwa 220 000 t Stickstoff in Form künstlicher Düngemittel anwandten. Wenn wir diese Zahlen miteinander vergleichen, so ist dabei allerdings zu bedenken, daß uns vor dem Kriege mehr und nährstoffreicherer Stalldünger zur Verfügung stand. Wir hatten einen größeren Viehbestand und versüßten alljährlich etwa 200 000 t Eiweißstickstoff in Form ausländischer Kraftmittel (Ölkuchen usw.), dessen Stickstoff zum größten Teil in den Stalldünger überging, und so auf das Feld gelangte. Aber diese Menge von 380 000 t Stickstoff, die wir heute erzeugen können, reicht für unseren Bedarf nicht aus.

Wie groß ist unser Bedarf? Das ist eine viel umstrittene Frage, deren Beantwortung schließlich davon abhängt, welches Ziel wir uns hinsichtlich der Höhe unserer Ernten setzen wollen oder setzen müssen.

Es ist ja oft die Meinung und die Hoffnung ausgesprochen worden, daß wir unsere Ernten in Deutschland mit Hilfe der uns zur Verfügung stehenden Düngemittel noch ganz gewaltig steigern könnten. Das ist auch richtig. Aber man muß sich anderseits vor übertriebenen Hoffnungen hüten und bedenken, daß die Höhe unserer Ernten letzten Endes begrenzt wird durch die klimatischen Faktoren (Licht, Wärme, Kohlensäure der Luft usw.), auf die wir keinen Einfluß haben. Man kann wohl mit Adolf Mayer als richtig annehmen, daß wir unter den für uns gegebenen klimatischen Verhältnissen im Maximum etwa 100—120 dz organische Substanz auf je 1 ha erzeugen können.

Um diese Zahlen etwas bildkräftiger zu machen, will ich mitteilen, daß sie einer Erntemenge von etwa 40—48 dz Getreidekörner nebst Stroh auf je 1 ha oder von etwa 300—360 dz Kartoffeln nebst Kraut auf je 1 ha entsprechen.

Auf guten und sehr intensiv bewirtschafteten Böden gewinnen wir diese Ernten zum Teil schon heute. Aber wir dürfen nicht an-

¹⁾ Die Abweichungen dieser Zahlen von den oben angegebenen röhren daher, daß die Erträge dieser Statistik von den zuständigen Stellen um 10 % gekürzt worden sind, z. B. Kartoffeln 158 — 16 : 142 dz.

nehmen, daß wir sie als Durchschnittserträge für ganz Deutschland in absehbarer Zeit erreichen werden. Paul Wagner, dem eine große auf Versuchstätigkeit gestützte Erfahrung zur Seite steht, nimmt an, daß wir im großen Durchschnitt in Deutschland auf je 1 ha Ernten in der Höhe von rund 27 dz Getreidekörner nebst Stroh oder rund 200 dz Kartoffeln nebst Kraut erzeugen können.

Das bedeutet schon eine sehr erhebliche Steigerung der Vorkriegszeit. Aber selbst eine solche durchschnittliche Höhe der Ernten wird nicht von heute auf morgen zu erreichen sein, zumal wir ja heute noch nicht einmal wieder die Friedenshöhe der Ernten erreicht haben. Wohl aber wird es möglich sein, unsere Getreideernte innerhalb kürzester Zeit auf etwa 22—23 dz, d. h. um etwa 4—5 dz auf je 1 ha zu steigern und in entsprechender Weise auch die Ernten der übrigen Kulturgewächse. Das würde für unsere Volksnährung bereits von der allergrößten Wichtigkeit sein. Es läßt sich nun berechnen, daß wir, um dieses Ziel zu erreichen, etwa 600 000 t Stickstoff in Form künstlicher Düngemittel anwenden müssen.

Diese Menge zu beschaffen, muß also unsere größte Aufgabe für die nächste Zukunft sein. Tun wir es nicht, so müssen wir um so mehr Nahrungsmittel aus dem Auslande kaufen, falls wir sie bezahlen können, oder wir müssen weiter hungern und verkümmern. Leider liegen ja die Verhältnisse für eine bessere Stickstoffversorgung in Deutschland heute wenig günstig, zumal unsere Stickstoffindustrie durch den räuberischen Einfall der Franzosen und Belgier in ihrer Produktion sehr gestört worden ist. Infolgedessen konnten für die Ernte 1923 nur etwa 288 000 t Stickstoff geliefert werden, die aber wohl nicht einmal alle aufs Feld gelangt sind. Und aus diesem Grunde wird auch die diesjährige Ernte trotz der vielfach günstigen Witterung nicht so hoch ausfallen, wie viele das glauben annehmen zu dürfen²⁾.

Für die Ernte 1924 wird unsere einheimische Stickstoffindustrie noch weniger Stickstoffdünger abliefern können, und die Folge davon wird sein, daß die Ernte im Jahre 1924 entsprechend gering sein wird, wenn es uns nicht noch rechtzeitig gelingt, mehr Stickstoff zu beschaffen.

Hinsichtlich des Stickstoffs können wir also zusammenfassend sagen, daß wir theoretisch zwar unabhängig vom Auslande geworden sind, wir produzieren auch schon mehr Stickstoff als vor dem Kriege, wo wir 100 000 t in Form von Salpeter einführten, daß aber unsere jetzige Stickstoffherstellung für den gegenwärtigen Bedarf Deutschlands noch nicht ausreicht.

Ungünstiger liegen die Verhältnisse hinsichtlich unserer Phosphatversorgung. Die Sachlage ist folgende: Vor dem Kriege haben wir (1914) jährlich etwa 650 000 t Phosphorsäure in Form von künstlichen Düngemitteln angewendet, und zwar zumeist in Form von Superphosphat und Thomasmehl. Von beiden Düngemitteln haben wir etwa gleich große Mengen berechnet auf P_2O_5 verbraucht.

Die Rohphosphate, die wir zur Herstellung des Superphosphates benötigen, haben wir vollkommen aus dem Auslande bezogen und auch einen Teil der Eisenerze, die wir zu Thomasmehl verarbeiteten. Infolge der Abtretung der lothringischen Erzgruben haben wir sodann etwa ein Drittel unserer Thomasmehlerzeugung (rund 600 000 t) mit etwa 100 000 t Phosphorsäure verloren, wenigstens vorläufig. Unsere Abhängigkeit vom Auslande ist dadurch also noch größer geworden als vor dem Kriege, denn die deutschen Phosphatlagerstellen, die wir kennen (Lahn, Amberg), spielen nur eine ganz untergeordnete Rolle.

Da wir nun aber unsere Einfuhr an Phosphaten wegen unserer schlechten Geldverhältnisse einschränken müssen, so ist die Folge, daß wir seit dem Kriege erheblich weniger Phosphat zur Düngung angewandt haben als vor dem Kriege. Im letzten Jahre, d. h. für die Ernte 1923, sind an die Landwirtschaft rund 295 000 t Phosphorsäure geliefert worden, d. h. also rund 55 % weniger als im Jahre 1914. Diese an und für sich ungünstigen Verhältnisse haben sich infolge des Ruhreinbruches und seiner wirtschaftlichen Folgen noch weiterhin verschlechtert.

Wir müssen damit rechnen, daß uns für die Ernte 1924 nur rund 150 000 t Phosphorsäure zur Verfügung stehen werden. Angesichts dieser Sachlage ist es für uns von größter Wichtigkeit, über folgende zwei Punkte Klarheit zu gewinnen: 1. ob wir in Deutschland mit geringeren Phosphorsäuremengen auskommen können als vordem Kriege, ohne daß dadurch die notwendige Erhöhung unserer Ernten Schaden erleidet; 2. oder ob wir entsprechend der als notwendig anerkannten Verstärkung unserer Stickstoffdüngung mindestens dieselbe Phosphatmenge oder mehr anwenden müssen als vor dem Kriege, damit der Stickstoff voll zur Wirkung kommt?

Vor dem Kriege verbrauchten wir in Form künstlicher Düng-

mittel, wie schon erwähnt, rund 200 000 t Stickstoff und 650 000 t Phosphorsäure. Wir kennen nun ziemlich genau das Nährstoffbedürfnis der verschiedenen Kulturpflanzen und wissen, daß im Durchschnitt durch eine normale Fruchtfolge auf je 100 Teile Stickstoff etwa 50 Teile Phosphorsäure verbraucht werden. Wir wissen ferner, daß unter den Verhältnissen der Praxis der Stickstoff in Form künstlicher Düngemittel zu etwa 60 %, die Phosphorsäure in Form künstlicher Düngemittel zu etwa 10 % ausgenutzt werden.

Aus diesen Zahlen läßt sich dann weiter berechnen, daß wir den Pflanzen auf je 100 Teile Stickstoff rund 300 Teile Phosphorsäure zur Verfügung stellen müssen, oder auf je 200 000 t Stickstoff rund 600 000 t Phosphorsäure. Das ist also fast genau das Verhältnis von $N: P_2O_5$, wie wir es vor dem Kriege in Form künstlicher Düngemittel in der Tat angewendet haben. Aber damit ist noch nicht gesagt, daß dieses Verhältnis von $N: P_2O_5$ in der Düngung praktisch notwendig ist. Denn es würde nur notwendig sein unter der Voraussetzung, daß unsere Böden in gleicher Weise phosphorsäurebedürftig sind wie sie stickstoffbedürftig sind. Das ist aber nicht der Fall, sondern wir wissen, daß ihr Stickstoffbedürfnis erheblich größer ist als ihr Phosphorsäurebedürfnis, ja, daß manche Böden zurzeit überhaupt nicht auf eine Phosphorsäuredüngung reagieren. Daraus folgt aber: 1. daß wir auf vielen Böden die Phosphorsäuredüngung nicht in dem Maße zu steigern brauchen wie die Stickstoffdüngung; 2. daß diejenigen Böden, die vor dem Kriege regelmäßig in üblicher Menge mit Phosphat gedüngt worden sind, mehr oder weniger mehr mit Phosphorsäure angereichert worden sind.

Diese Feststellung ist natürlich von großer Bedeutung, denn wenn wir uns das Ziel setzen müßten entsprechend den 500—600 000 t Stickstoff, die wir nötig haben, 1 500 000—1 800 000 t Phosphorsäure in Form künstlicher Düngemittel anzuwenden, so würden wir unter den heutigen Verhältnissen pekuniär gar nicht in der Lage sein, diese Mengen zu beschaffen.

Es ist nun in neuester Zeit von einem bekannten Vertreter der landwirtschaftlichen Betriebslehre, Prof. Dr. Aereboe, die Behauptung aufgestellt worden, daß unsere deutschen Böden so reich an Phosphorsäure seien, daß ihr Vorrat noch für viele Jahrzehnte für eine reichliche Phosphorsäureernährung unserer Kulturpflanzen ausreiche, und daß wir sie überhaupt ohne Zuhilfenahme von Ausland phosphorsäure bewirtschaften könnten. Es kommt nach Aereboe nur darauf an, diese Bodenphosphorsäure durch bestimmte Maßnahmen für die Pflanzen nutzbar, d. h. leichter löslich zu machen. Es ist das das sogenannte Aereboe-Wrangle'sche Düngungssystem, das ja auch in der „Zeitschrift für angewandte Chemie“³⁾ wiederholt besprochen worden ist. Ich brauche deshalb an dieser Stelle nur kurz darauf einzugehen.

Aereboe fordert als Maßnahmen, um die Bodenphosphorsäure aufzuschließen: 1. einen verstärkten Anbau von solchen Pflanzen, die ein größeres Aufschließungsvermögen für die Bodennährstoffe besitzen. Als solche kommen namentlich die verschiedenen Leguminosen in Frage. Diese Pflanzen sollen nach Aereboe nicht mit Phosphorsäure gedüngt werden, sondern eine starke Stickstoff-Kali-Düngung erhalten, um ihr Aufschließungsvermögen für die Bodenphosphorsäure noch zu steigern. Um für die übrigen Kulturpflanzen, wie z. B. die Halmgewächse, die an sich weniger geeignet sind, die Bodennährstoffe aufzunehmen, die Bodenphosphorsäure zugänglich zu machen, sollen sie nach Aereboe mit physiologisch sauren Düngemitteln gedüngt werden, damit durch die dabei entstehenden Säuren die Phosphorsäureverbindungen des Bodens löslich gemacht werden. Um diesen Prozeß nicht zu stören, soll eine Kalkdüngung bei diesen Gewächsen vermieden und auch sonst nur wenig angewandt werden.

Wenn diese Maßnahmen in der Tat zu dem erhofften Ziele führen könnten, so würde das natürlich von der größten Bedeutung für Deutschland sein. Aber leider ist das nicht zu erwarten, und deshalb ist das Aereboe-Wrangle'sche Düngungssystem, trotz mancher richtiger, aber dem Fachmann längst bekannter Gedanken als Lösung des Phosphorsäureproblems ziemlich übereinstimmend abgelehnt worden.

Was zunächst den von Aereboe vorgeschlagenen verstärkten Leguminosenanbau anlangt, so ist dazu zu bemerken, daß er sich in vielen Gegenden wesentlich kaum noch verstärken läßt. Außerdem darf man die aufschließende Wirkung der Leguminosen auf die Bodenphosphorsäure nicht so überschätzen, wie es Aereboe tut. In Wirklichkeit ernähren sich die Leguminosen zunächst durchaus von den leichter löslichen Phosphorsäureverbindungen des Bodens. Sie können allerdings aus anderen Gründen bis zu einem gewissen Grade die Phosphorsäure des Bodens wieder in den Kreislauf der Stoffe zurückführen, und zwar deshalb, weil sie dieselbe vermöge ihres tiefegehenden Wurzelsystems aus dem Untergrunde heraufholen

²⁾ In der Tat sind im Jahre 1923 an Brotgetreide nur 16,3 kg/ha geerntet worden gegenüber 20,3 kg/ha im Jahre 1913.

³⁾ Ztschr. f. angew. Chem. 35, 371 [1922]; 36, 381 [1923].

können. Aber das ist nicht von so ausschlaggebender Bedeutung, um darauf ein besonderes Düngungssystem zu gründen. Außerdem wissen wir, daß gerade einige Leguminosen sehr dankbar für eine Phosphorsäuredüngung sind. Und schließlich ist ja zu bedenken, daß sich ein solcher Umwandlungsprozeß der Bodenphosphorsäure durch die Pflanzen, wie *Aereboe* ihn durch sein System erreichen will, ja schon seit Jahrhunderten in unserem Kulturboden abspielt, und daß deshalb ein etwas verstärkter Anbau von Leguminosen nicht von großer Bedeutung sein kann.

Auch die aufschließende Wirkung der physiologisch sauren Stickstoff- und Kalidünger ist unter den Verhältnissen der Praxis ganz erheblich geringer als *Aereboe* das auf Grund von Topfversuchen, die unter ganz anderen Verhältnissen angestellt wurden, annimmt.

Es kommt dann noch folgendes hinzu. Wenn die physiologisch sauren Düngemittel in beträchtlicherem Maße aufschließend wirken sollen, so kann das nur geschehen, wenn sie die Reaktion des Bodens sauer machen. Eine stark saure Reaktion ist aber durchaus zu vermeiden, weil dadurch der Fruchtbarkeitszustand des Bodens leidet. Die Agrikulturchemiker haben aus diesem Grunde schon vor Jahren auf diese schädigende Wirkung der physiologisch sauren Düngemittel hingewiesen, und das ist auch der Grund, weshalb die Agrikulturchemiker aus diesen ihnen seit langer Zeit bekannten Eigenschaften der physiologisch sauren Düngemittel nicht die Folgerungen hinsichtlich ihrer Wirkung und Verwendung abgeleitet haben, wie es *Aereboe* jetzt tut. Also ich glaube aus diesen und noch anderen Gründen nicht, daß das System *Aereboe-Wrangell* eine Lösung des Phosphorsäureproblems bedeutet.

Wir werden also die phosphorsäurebedürftigen Böden nach wie vor mit Phosphorsäure düngen müssen, wenn wir einen Rückgang unserer Ernten vermeiden wollen, und so entsteht nun die weitere Frage: Wie ist es um das Phosphorsäurebedürfnis der deutschen Böden zurzeit bestellt, und welche Mengen von Phosphorsäure gebrauchen wir etwa?

Diese Frage ist natürlich außerordentlich schwer zu beantworten, da wir über das Phosphorsäurebedürfnis unserer Böden viel weniger gut unterrichtet sind als über ihr Stickstoffbedürfnis. Früher kümmerte man sich nicht allzuviel darum, weil die Phosphorsäure relativ billig war und weil man lieber zu viel als zu wenig Phosphorsäure anwendete, um nur den teuren Stickstoff sicher zur vollen Wirkung zu bringen. Es sind aber in den letzten Jahren immer mehr Versuche nach dieser Richtung angestellt worden, die uns bereits einige brauchbare Anhaltspunkte liefern, und ich habe es unternommen, dieses Material, soweit es zuverlässig ist, zu sammeln und zusammenzustellen, um mir ein Urteil zu bilden. Es liegen mir zurzeit die Ergebnisse von etwa 500 Versuchen vor, die in den verschiedensten Gegenden Deutschlands angestellt worden sind. Aus diesen geht hervor, daß von den geprüften Böden etwa 40 % zurzeit nicht auf eine Phosphorsäuredüngung reagieren, etwa 20 % reagieren schwach, und 40 % reagieren deutlich. Aus diesen Zahlen, die ich nur als vorläufige Anhaltspunkte bewerte und mit allem Vorbehalt wiedergebe, ergeben sich nun folgende Betrachtungen: Unsere Anbaufläche umfaßt zurzeit etwa 27 873 000 ha (ohne Wald, nur landwirtschaftlich benutzt). Wenn man annimmt, daß Kartoffeln, die in Stalldünger stehen, keine Phosphorsäure brauchen, so verbleiben rund 25 000 000 ha. Von diesen 25 000 000 ha würden unter Zugrundelegung der genannten Zahlen 10 Mill. ha deutlich auf Phosphorsäure reagieren, 5 Mill. ha mäßig oder schwach, und 10 Mill. ha würden zurzeit keine Phosphorsäure brauchen. Wenn wir nun annehmen, daß wir die deutlich auf Phosphorsäure reagierenden Böden mit rund 45 kg/ha, die schwach reagierenden mit 30 kg/ha, die übrigen gar nicht mit Phosphorsäure düngen, so bedeutet das, daß wir rund 600 000 Tonnen Phosphorsäure für Deutschland gebrauchen, mindestens aber 450 000 Tonnen. Es wird abzuwarten sein, ob durch die weiteren Versuche diese Zahlen verschoben werden. Jedenfalls zeigen sie, daß wir doch erhebliche Mengen von Phosphorsäure in Deutschland nötig haben.

Es wird also eine wichtige Aufgabe der chemischen Industrie sein, soweit es in ihrer Kraft steht, dafür zu sorgen, daß diese Phosphorsäuredünger dem deutschen Boden in möglichst billiger und doch wirksamer Form zugeführt werden können und zu untersuchen, ob es möglich ist, die Umwandlung der Rohphosphate in wirksame Phosphorsäuredünger in noch zweckmäßigerer Weise als es bisher geschah vorzunehmen. Auf die verschiedenen Anläufe, die auf diesem Wege bereits gemacht worden sind, will ich an dieser Stelle nicht weiter eingehen, da das abseits meines eigenen Arbeitsgebietes liegt und zudem ein Thema für sich ist, das zu behandeln hier zu weit führen würde.

Ich möchte vielmehr zum Schluß ganz kurz auf einige Unter-

suchungen hinweisen, die ich nach ganz anderer Richtung hin über das Phosphorsäureproblem angestellt habe.

Ich habe mir vor einigen Jahren die Frage vorgelegt, ob ein Teil der Phosphorsäremengen, die die Pflanze aufnimmt, durch andere Elemente in der Düngung ersetztbar ist. Das schien mir an sich durchaus möglich zu sein.

Man nimmt ja im allgemeinen an, daß die sogenannten Kernnährstoffe der Pflanzen in ihren Funktionen nicht durch andere Elemente ersetzt werden können, und das ist selbstverständlich auch nach wie vor richtig. Aber man kann sich anderseits durchaus vorstellen, daß ein Teil der Funktionen, welche die einzelnen Nährstoffe ausüben, durch andere Elemente übernommen werden kann, auch durch solche, die man heute nicht zu den eigentlichen Pflanzennährstoffen zu zählen pflegt.

Man muß m. E. bei einigen Elementen (nicht bei allen) unterscheiden zwischen den ganz speziellen Funktionen, die sie für die direkte Bildung von Pflanzensubstanz besitzen, und zwischen gewissen allgemeinen Funktionen, die sie ausüben, um einen normalen Verlauf des Stoffwechsels zu gewährleisten. Der Kalk ist z. B. für das Leben der Pflanzen einmal nötig als direkter Nährstoff zur Bildung gewisser lebensnotwendiger Pflanzenteile. Als solcher kann er nicht ersetzt werden. Darüber hinaus übt aber der Kalk auch noch andere wichtige Funktionen aus. So wirkt er noch in der Weise, daß er gewisse schädliche Stoffwechselprodukte, die sich in der Pflanze bilden, unschädlich macht. In dieser letzten Funktion kann er auch bis zu einem gewissen Grade durch andere Basen ersetzt werden.

So kann man sich theoretisch auch vorstellen, daß die Phosphorsäure bei gewissen allgemeinen Funktionen durch andere Elemente ersetzt werden kann. Auf Grund mancherlei Erwägungen und Vermutungen schien mir nun vor allem die Kieselsäure geeignet zu sein, die Ernährung der Pflanzen bei Anwesenheit ungenügender Mengen von Phosphorsäure zu verbessern, und die Versuche, die ich jetzt drei Jahre hindurch durchgeführt habe, haben diese Vermutungen durchaus bestätigt. In Hunderten von Versuchen konnte ich ohne Ausnahme feststellen, daß die Ernteerträge durch eine Zugabe von Kieselsäure ganz erheblich gesteigert werden konnten, wenn es den Pflanzen an Phosphorsäure in der Nahrung fehlte. Nicht aber war es der Fall, wenn die Nährstoffe Stickstoff oder Kali in der Nahrung fortgelassen wurden. Die Kieselsäure übte also ihre ertragsteigernde Wirkung speziell bei ungenügender Phosphorsäureernährung der Pflanze aus.

Wie diese Wirkung zu erklären ist, vermag ich heute noch nicht mit Sicherheit zu sagen, da ich meine diesbezüglichen Arbeiten wegen des Neubaues und der Verlegung meines Institutes noch nicht beenden konnte⁴⁾.

Ich möchte aber an der Hand einiger Zahlen die ganz auffallend günstige Wirkung der Kieselsäure zeigen.

Wirkung von Kieselsäure.

a) Düngung mit Phosphorsäure ohne Kieselsäure:

Düngung	ohne P_2O_5	0,1 g P_2O_5	0,2 g P_2O_5	0,3 g P_2O_5	0,7 g P_2O_5
Erträge	1,9 g	6,3 g	11,3 g	21,0 g	28,6 g

Die Höchstbeträge lagen also bei etwa 28,6 g und zu ihrer Erzeugung waren etwa 0,7 g P_2O_5 erforderlich.

Durch 0,1 g P_2O_5 wurden nur 6,3 g Pflanzenmasse geerntet.

b) Düngung mit 0,1 g Phosphorsäure + Kieselsäure:

Düngung . .	0,1 g P_2O_5 ohne SiO_2	0,1 g P_2O_5 + 1 g SiO_2	0,1 g P_2O_5 + 4 g SiO_2	0,1 g P_2O_5 + 8 g SiO_2	0,1 g P_2O_5 + 12 g SiO_2
Erträge . .	6,32 g	10,0 g	17,6 g	23,1 g	25,1 g

Also durch Zugabe von 8–12 g SiO_2 wurden bei einer Düngung von nur 0,1 g P_2O_5 dieselben Erträge erreicht, wie durch 0,7 g P_2O_5 .

c) Düngung mit 0,2 g P_2O_5 + Kieselsäure:

Düngung . .	0,2 g P_2O_5 ohne SiO_2	0,2 g P_2O_5 + 4 g SiO_2	0,2 g P_2O_5 + 8 g SiO_2
Erträge . .	11,3 g	25,3 g	30,1 g

Neben 0,2 g P_2O_5 reichte schon eine Beigabe von 4–8 g SiO_2 aus, um Maximalerträge zu erzielen.

4) Ich will aber ausdrücklich bemerken, daß man die Wirkung der Kieselsäure bei unzureichender Phosphorsäuredüngung auch noch in ganz anderer Weise erklären kann, als ich es vorher andeutete. Ich werde dies demnächst auf Grund unserer diesbezüglichen Versuche in einer besonderen Arbeit darlegen.

d) Düngung mit 0,3 g P₂O₅ + Kieselsäure:

Dünger . .	0,3 g P ₂ O ₅ ohne SiO ₂	0,3 g P ₂ O ₅ + 2 g SiO ₂	0,3 g P ₂ O ₅ + 4 g SiO ₂
Erträge . .	21,0 g	25,6 g	30,6 g

Neben 0,3 g P₂O₅ reicht also schon eine Beigabe von 2—4 g SiO₂, aus, um Maximalerträge zu erzielen.

Diese Zahlen zeigen also, daß die Kieselsäure in der Tat imstande ist, die Wirkung der Phosphorsäure, wenn sie in unzureichender Menge vorhanden ist, ziemlich weitgehend zu verbessern. Diese Versuche sind mit Hafer ausgeführt worden.

Nun sind ja die Zerealien ziemlich reich an Kieselsäure, und es taucht deshalb die weitere Frage auf: Wie wirkt Kieselsäure auf Pflanzen, die verhältnismäßig arm an Kieselsäure sind, wie z. B. Leguminosen und Kruziferen?

Es enthalten z. B. in 1000 Teilen lufttrockener Substanz: Halmfrüchte in der Blüte 24,7 g Kieselsäure, Rotklee in der Blüte 1,6 g Kieselsäure und Raps in der Blüte 3,2 g Kieselsäure. Wir haben auch nach dieser Richtung hin Versuche angestellt und z. B. mit Klee und Senf gearbeitet. Die Versuche haben nun ergeben daß die Kieselsäure bei diesen Pflanzen ebensogut wirkte wie bei Zerealien.

Wir fanden z. B., daß wir im allgemeinen durch 0,1 g Phosphorsäure mit Kieselsäure dieselben Erträge ernteten wie durch 0,3 g Phosphorsäure ohne Kieselsäure.

Es konnten also zwei Drittel der Phosphorsäure ersetzt werden. Daraus folgt also, daß es sich bei der Kieselsäurewirkung nicht um eine spezifische Wirkung auf die Zerealien handelt, sondern um eine Wirkung, die sie auf alle Pflanzen (soweit wir sie geprüft haben) ausübt.

Ich sprach bisher immer von der Wirkung der Kieselsäure schlechthweg. Es muß aber bemerkt werden, daß nicht alle Formen der Kieselsäure gleich gut wirken, sondern daß es nötig ist, den Pflanzen die Kieselsäure in einer ganz bestimmten Form darzubieten, wenn sie wirken soll. Auf Grund unserer bisherigen Versuche kann ich mitteilen, daß die am besten wirkende Form die kolloidale Kieselsäure ist. Auf einer Reihe natürlicher Böden wird wahrscheinlich auch das Natriumsilicat und Kaliumsilicat wirken.

Als nicht wirksam haben sich bisher erwiesen die Kieselsäure in Form von Kieselgur und im Phonolith. Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß es möglich ist, diese Stoffe zum Teil in wirksame Formen umzuwandeln.

Die günstige Wirkung der Kieselsäure, über die ich bisher berichtet habe, ist bei Versuchen mit Quarzsand gewonnen, der so gut wie gar keine für die Pflanzen verwertbare Kieselsäure enthielt, und es entsteht nun die weitere Frage: Welche Bedeutung haben die bisherigen Feststellungen für die Düngung der natürlichen Böden? oder um die Frage gleich weiter zuzuspitzen: Lassen sich die Erträge auch auf natürlichen Böden durch die Düngung mit Kieselsäure steigern?

Hierüber möchte ich folgendes sagen: An sich ist es natürlich gleichgültig, ob die Pflanzen in Wasser, Glassand oder natürlichem Boden wachsen. Die Kieselsäure wird überall in der gleichen Weise wirken können. Eine andere Frage ist es aber, ob auf unseren Kulturböden eine besondere Düngung mit Kieselsäure angezeigt ist. Ob das der Fall ist oder nicht, hängt wesentlich davon ab, in welcher Menge und in welchem Verhältnis assimilierbare Phosphorsäure und assimilierbare Kieselsäure in einem Boden vorhanden sind und ferner davon, wie der Boden auf die künstlich zugeführte kolloidale Kieselsäure einwirkt. Meine Untersuchungen über die Wirkung der Kieselsäuredüngung auf natürlichem Boden sind noch nicht abgeschlossen, so daß ich darüber zunächst noch nichts Positives mitteilen kann. Ich möchte aber bemerken, daß man in England bereits vor längerer Zeit und viele Jahre hindurch mit aller Deutlichkeit auf dem Versuchsfelde in Rothamsted eine günstige Wirkung der Kieselsäuredüngung dann beobachtete, wenn die Phosphorsäure in der Düngung fehlte. Die praktischen Erfahrungen bilden also eine gute Ergänzung und Bestätigung meiner zunächst rein wissenschaftlichen Untersuchungen.

Als Erklärung nahm man in England an, daß die gegebene Kieselsäure die Phosphorsäure des Bodens löslicher mache. Das ist aber, wie wir jetzt mit Sicherheit sagen können, nicht der Fall. Es handelt sich um eine andersartige direkte oder indirekte Wirkungsweise. Ich will also die Frage der praktischen Anwendung einer Kieselsäuredüngung zunächst offen lassen. Aber nach einer anderen Richtung lassen sich schon heute aus diesen Versuchen Schlußfolgerungen ziehen.

Es läßt sich heute nicht mehr bezweifeln, daß die ganze Frage der Phosphorsäuredüngung eines Bodens nicht mehr allein beurteilt werden darf auf Grund des Gehaltes des Bodens an Phosphorsäure, sondern daß dabei auch der Gehalt an Kieselsäure berücksichtigt werden muß.

Wenn der Phosphorsäuregehalt eines Bodens auch ziemlich gering ist, so können die Pflanzen trotzdem Maximalerträge liefern, wenn es ihnen im Boden nicht an den nötigen Mengen assimilierbarer Kieselsäure fehlt. Das zeigen ja deutlich die Versuchszahlen, die ich Ihnen vorher mitgeteilt habe.

Und diese Tatsache gibt uns auch die Erklärung, weshalb manche Böden, die ärmer an Phosphorsäure als an Stickstoff sind, trotzdem nicht auf eine Phosphorsäuredüngung reagieren, wohl aber auf eine Stickstoffdüngung.

Und die Tatsache, daß ein gewisser Mangel an Phosphorsäure im Boden zum Teil ausgeglichen werden kann durch die Kieselsäure des Bodens, erlaubt es uns ferner, die gegenwärtige Phosphorsäurennot, in der wir uns befinden, mit etwas weniger Sorge zu beurteilen. Vielleicht eröffnet uns diese neue Erkenntnis von der Wirkung der Kieselsäure in späterer Zukunft auch noch einmal die Möglichkeit, sie im großen zur Hebung unserer Ernteerträge praktisch nutzbar zu machen.

[A. 197.]

Untersuchungen über die Jodstärke.

Von A. LOTTERMOSER, Dresden.

(Eingeg. 29./9. 1923.)

In Gemeinschaft mit Dipl.-Ing. Ott hat der Verfasser nochmals das Problem der Jodstärke behandelt. Zunächst wurde der mit Steude früher festgestellte Befund bestätigt, daß bei konstant gehaltener Gesamtjodkaliumkonzentration unter der Voraussetzung, daß von Stärke kein Jodkalium aufgenommen wird, das titrierbare Jod nach der Adsorptionsisotherme aufgenommen wird. Das Resultat wurde gewonnen durch Verteilung des Gesamtjods zwischen Stärke, wässrige Jodkaliumlösung und CCl₄ unter Zugrundelegung des empirisch ermittelten Verteilungskoeffizienten des Jods zwischen CCl₄ und $\frac{1}{10}$ n. KJ-Lösung 1,16 bei 25°. Es zeigte sich aber, daß es sich hier um kein Gleichgewicht handelt, da bei Versuchen der Einstellung desselben von „oben“ die erhaltenen Punkte nicht auf der Kurve lagen, weil das Jod von der Stärke nur ganz unvollkommen wieder abgegeben wird. Nach diesem wurde wieder durch Verteilung des Jods zwischen CCl₄, wässrige Jodkaliumlösung und lösliche Stärke, hier aber unter Zuhilfenahme von potentiometrischen Messungen und unter Annahme des Verteilungskoeffizienten des freien Jods zwischen CCl₄ und H₂O zu 85,5 bei 25° die Aufnahme sämtlicher möglichen Molekularten: J⁻; J₂; J₂; KJ und KJ₃ durch Stärke errechnet. Es ist bekannt die Gesamtmenge an KJ und das titrierbare Jod in Wasser + Stärke, ebenso das freie Jod im CCl₄. Alle Werte werden in Konzentrationen, d. h. Molen pro Liter angegeben. Dann hat man, wenn man die Gesamtjodkonzentration mit d und die Gesamtjodkaliumkonzentration mit e bezeichnet, vor der Adsorption (d. h. wenn man sich zunächst die Stärke wegdenkt):

$$\begin{aligned} 1. \quad d &= [J_2] + [KJ_3] \\ 2. \quad e &= [KJ] + [KJ_3] \end{aligned}$$

also 2 Gleichungen mit den 3 Unbekannten [J₂]; [KJ] und [KJ₃]. Eine dritte Gleichung mit diesen 3 Unbekannten erhält man durch Anwendung des Massenwirkungsgesetzes auf das Gleichgewicht: KJ + J₂ ⇌ KJ₃

$$3. \quad \frac{[J_2] \cdot [KJ]}{[KJ_3]} = K = 0,00136 \text{ (bei } 25^\circ)$$

Die Gesamtkonzentration an J⁻ und J₂ vor der Adsorption erhält man endlich durch Multiplikation von [KJ] und [KJ₃] mit dem Dissoziationsgrad, der bei kleiner Konzentration nach Bray für beide derselbe ist.

Nach der Adsorption erhält man die Konzentrationen in der wässrigen Phase auf folgende Weise: Durch Division der Konzentration an freiem Jod im CCl₄ durch 85,5 ergibt sich [J₂] im Wasser, die Bestimmung des Jodjodipotentials führt nach:

$$s = s_0 + \frac{0,0591}{2} \log \frac{[J_2]}{[J^-]} \text{ zur Konzentration an J}^- \text{ außerhalb der Stärke,}$$

$$\text{und } \frac{[J_2] \cdot [J^-]}{[J_2]} = K = 0,00136 \text{ (25°)}$$

ergibt [J₂]⁻ im Wasser. Dividiert man endlich [J⁻] und [J₂]⁻ durch den Dissoziationsgrad und subtrahiert von den erhaltenen Werten [J⁻] oder [J₂]⁻, so erhält man die Konzentrationen an undissoziertem KJ und KJ₃ außerhalb der Stärke.

Subtrahiert man nun von den einzelnen Konzentrationen vor der Adsorption die Konzentrationen in der wässrigen Phase nach der Adsorption und rechnet dieselben auf das angewendete Volumen um, so erhält man die von der angewendeten Stärkmenge aufgenommenen einzelnen Bestandteile, die man natürlich noch auf 1 g Stärke umrechnen kann.