

Untersuchungen über den Einfluß der Düngung und des Pflanzenertrags auf die Reaktion eines ungepufferten Quarzsandes

VON ERNST WEISSERMEL, Königsberg (Pr.)

Die Zahl der Aufsätze, Referate und Abhandlungen über die Wasserstoffionenkonzentration und speziell die Bodensäure, die in den letzten Jahrzehnten veröffentlicht worden sind, geht in die Legion. Wenn man sich einen kleinen Einblick in diese umfangreiche Literatur zu verschaffen sucht, erkennt man bald, daß trotz einzelner Gegensätze im allgemeinen doch eine gewisse Einheitlichkeit in den grundlegenden Anschauungen über Wesen, Formen und Ursachen der Bodenazidität zweifellos vorhanden ist, wenn auch einzelne Theorien durch die Ergebnisse zukünftiger Forschungen noch Abänderungen erfahren oder durch einwandfreiere Beweisführung besser gefestigt werden mögen. Meist pflegen die Verfasser ihren Ausführungen einen kurzen Überblick über den augenblicklichen Stand der Säureforschung vorzuschicken, so daß derjenige, der sich mit dem Studium dieser aktuellen Fragen beschäftigt, gezwungen ist, hundertfach — nur mit anderen Worten — Dinge zu lesen, die längst Allgemeingut des Säureforschers — auf physiologischem oder chemisch-physikalischem Gebiet — geworden sind. Da jedoch ähnliche, unter gleichen Bedingungen angestellte Versuchsarbeiten über die hier zu untersuchenden Fragen noch nicht vorliegen, scheint es am zweckmäßigsten, einige kurze Betrachtungen allgemeinerer Natur vorzuschicken, um dann sofort in medias res einzutreten.

Es sei darum hier nur kurz auf die bereits von der großen Mehrzahl der Forscher anerkannten KAPPENSchen Theorien der verschiedenen Aziditätsformen hingewiesen. Nach KAPPEN ist das Vorkommen freier Mineral- und Humussäuren äußerst selten. Die häufigsten Formen der Bodensäure sind vielmehr latent und an das Vorhandensein von Zeolithen gebunden, die unter besonderen Umständen durch Ionenaustausch mit den Salzen der Bodenlösung die Möglichkeit geben, diese latente Azidität in Freiheit zu setzen, so daß sie jetzt erst wirksam und meßbar wird. Ursächliche Voraussetzung für derartige Umsetzungen ist die vorhergegangene

Verarmung der Zeolithe an basischen Bestandteilen und ihr Regenerationsvermögen aus den Salzen der Bodenlösung. Auf die theoretische Erklärung für die Entstehung der einzelnen Formen und die Methoden ihrer Bestimmung soll hier nicht weiter eingegangen werden, und sei deshalb auf die Spezialliteratur verwiesen.

Je ärmer ein Boden an Zeolithen ist, um so weniger ist die Möglichkeit für das Auftreten der verschiedenen Aziditäten gegeben. In Abhängigkeit von dem Gehalt an zeolithischen Bestandteilen steht auch die Größe des Pufferungsvermögens. Zwei Tatsachen, die bei den vorliegenden Untersuchungen besondere Beachtung verdienen, da bei einem möglichst reinen Quarzsande demnach der Einfluß der Düngung und des Pflanzenertrages auf die Wasserstoffionenkonzentration weder durch Puffersubstanzen noch latente Aziditäten wesentlich beeinträchtigt werden kann.

Wenn hier insbesondere von dem Einfluß der Düngung und des Pflanzenertrages auf die Wasserstoffionenkonzentration die Rede sein soll, so muß gesagt sein, daß auch die umgekehrte Einwirkung, der Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration auf die Düngung, bzw. ihre Löslich- und Wirksamkeit, und den Pflanzenertrag zweifellos vorhanden ist. Beide Erscheinungen treten gewissermaßen in gegenseitige Wechselwirkung, so daß schließlich ein Gleichgewichtszustand von Düngung und Pflanzenertrag auf der einen und der Reaktion auf der anderen Seite resultieren muß. Da jedoch wenigstens stets zwei dieser zu beachtenden Faktoren gleichzeitig variiert sind, ist eine strenge Abgrenzung ihrer Wirksamkeit naturgemäß nicht möglich. Außerdem können der Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration auf die Löslichkeit der Nährstoffe und ihre direkte Einwirkung auf die Reaktion und den Pflanzenertrag experimentell kaum voneinander getrennt werden, so daß für eine diesbezügliche Fragestellung nur eine kombinierte Untersuchung und Beantwortung möglich ist, eine Aufgabe, mit der sich in jüngster Zeit bereits eine große Anzahl von Forschern eingehend beschäftigt hat. Im praktischen Mittelpunkt dieser Untersuchungen hat vorzugsweise die Feststellung der für die einzelnen Kulturpflanzen verschiedenen, günstigsten Bodenreaktion gestanden.

ARRHENIUS¹⁾ hat dabei für Hafer zwei Optima gefunden, von denen das eine zwischen pH 5 und 6 und das andere — nach

¹⁾ ARRHENIUS. Kalkfrage, Bodenreaktion und Pflanzenwachstum. Akadem. Verlagsges. Leipzig 1926.

seiner Theorie durch sekundäre Einwirkungen oder die günstigste Hydroxylionenkonzentration hervorgerufene — Wachstumsoptimum zwischen pH 8 und 9 liegt. Die Reaktion liegt bei den hier verarbeiteten Versuchen in der Nähe dieses zweiten Optimums, dessen genauere Lage sich aus vorliegenden Ergebnissen nicht ersehen läßt, da man zu diesem Zwecke die Reaktion durch als Wachstumsfaktoren möglichst indifferente Zusätze, wie H_2SO_4 oder $NaOH$ hatte variieren müssen.

Als Grundlage für die vorliegende Arbeit diente ein Vegetationsversuch, der mit dreihundert Gefäßen auf der Bodenuntersuchungsstation der MITSCHERLICH-Gesellschaft in Pr.-Holland angestellt wurde. Die Beschaffenheit und Behandlung der Vegetationsgefäße entsprach den in MITSCHERLICH'S „Bestimmung des Düngerbedürfnisse des Bodens“¹⁾ gegebenen Vorschriften. Die Gefäße wurden mit je 6 kg Hohenbockaer Sand und 50% der vollen Wasserkapazität angesetzt und folgendermaßen gedüngt.

Tabelle 1

Grunddüngung: 0,5 g NaCl, 1 g $MgSO_4$, 3 g NH_4NO_3

	—	0,2	0,5	1,2	3,0 g	K_2SO_4
—	1—4	5—8	9—12	13—16	17—20 ¹⁾	
0,2	21—24	25—28	29—32	33—36	37—40 ²⁾	
0,5	41—44	45—48	49—52	53—56	57—60 ³⁾	
1,25	61—64	65—68	69—72	73—76	77—80 ⁴⁾	
3,5	81—84 ⁵⁾	85—88 ⁷⁾	89—92 ⁸⁾	93—96 ⁹⁾	97—100 ⁶⁾	
Rhenania- Phosphat						

Tabelle 2

Grunddüngung: 0,5 g NaCl, 1 g $MgSO_4$, 5 g K_2SO_4

	—	0,2	0,5	1,2	3,0 g	NH_4NO_3
—	101—104	105—108	109—112	113—116	117—120 ¹⁾	
0,2	121—124	125—128	129—132	133—136	137—140 ²⁾	
0,5	141—144	145—148	149—152	153—156	157—160 ³⁾	
1,25	161—164	165—168	169—172	173—176	177—180 ⁴⁾	
3,5 g	181—184 ¹⁰⁾	185—188 ¹¹⁾	189—192 ¹²⁾	193—196 ¹³⁾	197—200 ⁵⁾	
Rhenania- Phosphat						

1) E. A. MITSCHERLICH, Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. Paul Parey, Berlin. 2. Aufl.

^{1—13)} Die mit gleicher Anmerkung versehenen Gefäße haben die gleiche Düngung erhalten. Vgl. nächste Seite.

Tabelle 3

Grunddüngung: 0,5 g NaCl, 1 g MgSO₄, 3,5 g Rhenania-Phosphat

	—	0,2	0,5	1,2	3,0 g	NH ₄ NO ₃
—	201—204	205—208	209—212	213—216	217—220 ⁹⁾	
0,2	221—254	225—228	229—232	233—236	237—240 ⁹⁾	
0,5	241—244	245—248	249—252	253—256	257—260 ⁹⁾	
1,2	261—264	265—268	269—272	273—276	277—280 ⁹⁾	
3,0 g K ₂ SO ₄	281—284 ¹⁰⁾	285—288 ¹¹⁾	289—292 ¹²⁾	293—296 ¹³⁾	297—300 ⁹⁾	

Sämtliche Düngemittel wurden chemisch rein in Lösung zugesetzt, nur Rhenania-Phosphat mußte in ungelöster Form gegeben werden. Es wurde ein besonders hochprozentiges, nicht handelsübliches Phosphat mit 29,34% zitratlöslicher Phosphorsäure verwandt.

Da das zur Verfügung stehende Leitungswasser einen sehr hohen Kaligehalt von 7 mg K₂O pro Liter aufwies, wurden alle Gefäße, die nicht Kalivolldüngung erhalten hatten, mit Regenwasser angesetzt und gegossen. Hierin ist zweifellos ein Mangel in einer einwandfreien Versuchsanstellung zu sehen, da damit die geforderte Gleichstellung aller Wachstumsfaktoren in Frage gestellt wird. Denn, wie MITSCHERLICH auf Grund von Versuchen, die mit verschiedenem Wasser angestellt wurden¹⁾, zeigte, übt tatsächlich die Beschaffenheit des Wassers durch seinen mehr oder minder großen Gehalt an gelösten Salzen einen Einfluß auf die Höhe des Pflanzenertrages aus. Da Ertragsdifferenzen die Ursache für Reaktionsunterschiede sein können, mußte der genannten Tatsache bei Auswertung der Versuchsergebnisse in diesen Fällen besonders Rechnung getragen werden, um eine Beeinträchtigung in der Brauchbarkeit des Gesamtergebnisses auszuschalten.

Da während des Vegetationsverlaufes sich einige auffallende Besonderheiten zeigten, sei hier ein kurzer Vegetationsbericht gegeben:

Die Gefäße wurden am 6. 5. mit je 50 Körnern Petkuser Gelbhafer angesät. Nach ca. zehn Tagen begann der Aufgang, wobei die Gefäße mit höheren Stickstoffgaben eine Verzögerung bis zu einigen Tagen erkennen ließen. Etwa drei Wochen nach der Aussaat zeigten die Gefäße 1—4, 21—24 und 41—44 auffällige Krankheitserscheinungen, völlige Wachstumsunterbrechung und z. T. Ab-

¹⁾ E. A. MITSCHERLICH, Vegetationsversuche mit verschiedenen Kalidüngesalzen und zur Phosphorsäure-Kalkdüngung. Lw. Jahrb. Bd. 53 S. 510.

sterben der Pflanzen durch unterirdischen Gewebeerfall. Die Ursache dieser Erscheinung scheint weniger auf Kalkmangel, als vielmehr auf die einseitig hohe Konzentration der Stickstoffdüngung zurückzuführen zu sein. Zeigten doch die kalifreien Gefäße 61—64, 81—84 und 201—220, die gleichzeitig eine höhere Rhenania-Phosphatgabe erhalten hatten, zunächst noch eine durchaus normale Entwicklung. Auch stellten sich bei einem Versuch, der am 17. 6. analog Gefäß 1—100, aber mit nur 2 g Ammoniumnitrat und 65% der vollen Wasserkapazität angesetzt wurde, die eben erwähnten Schädigungen nicht ein¹⁾.

Am 31. 5. wurde der Hafer von 50 auf 35 Pflanzen je Gefäß verzogen. In den kalifreien Gefäßen 61—64, 81—84 und 201—220 hatten sich, wenn auch merklich kümmernd, noch alle Pflanzen am Leben erhalten, in den Gefäßen 1—4, 21—24 und 41—44 war dagegen der Pflanzenbestand bereits recht lückenhaft, so daß häufig weniger als 35 Pflanzen je Gefäß noch vorhanden waren. Der Wassergehalt wurde allmählich gesteigert und auf die volle Wasserkapazität gebracht. Anfang Juni zeigten alle Gefäße mit Stickstoffvolldüngung einen schlechteren Stand als diejenigen mit der nächst geringeren Stickstoffgabe. Ebenso blieben die Gefäße 37—40 und 57—60 mit Kalihöchstgabe zunächst merklich in der Entwicklung zurück. Ob Unterschiede in Konzentration oder Reaktion eine ungleichmäßig verlaufende Kurve für die Nährstoffaufnahme und dadurch diese auffälligen Erscheinungen verursacht haben, mag dahingestellt bleiben und soll hier nicht weiter untersucht werden. Jedenfalls ließ die Weiterentwicklung Mitte Juni bereits einen Ausgleich im Sinne der gemäß der Düngung zu erwartenden Erträge erkennen — Ausnahme Gefäß 137—140. Dieser Umschwung ging in der Gefäßreihe 1—100 unter plötzlicher Farbveränderung, die am meisten bei den bis dahin verhältnismäßig am üppigsten stehenden Gefäßen 33—36 und 53—56 in Erscheinung trat, vor sich. Die Pflanzen zeigten dabei sehr schnell, oft innerhalb einiger Tagesstunden, eine hellgrünere Farbe mit gleichmäßig über die gesamte Blattoberfläche verteilten kleinen dunkleren Flecken, die aber auch bald gänzlich verschwanden — vielleicht den Anzeichen einer schwachen Chlorose. Da diese Farbveränderung sich bei dem oben erwähnten, am 17. Juni in ganz ähnlicher Weise angesetzten Versuch wiederholte, dagegen

¹⁾ Der genannte Versuch konnte zu der vorliegenden Untersuchung nicht mit herangezogen werden, da starker Rostbefall besonders die stärker gedüngten Gefäße außerordentlich geschädigt hatte.

die Gefäße 37—40 und 57—60, die mit Leitungswasser gegossen wurden, nicht betroffen hatte, scheint die Annahme berechtigt, daß man die Ursache vielleicht in vorübergehend ungenügender Zufuhr von Eisensalzen — hervorgerufen durch das Gießen mit Regenwasser — suchen kann. Außerdem nimmt mit alkalischer Reaktion die Löslichkeit der Eisensalze ab. Eine höhere Gabe von eisenhaltigem Rhenania-Phosphat — Gefäß 61—100 und 201—300 —, bzw. die Behandlung mit Leitungswasser — Gefäß 101—200 — schien das weitere Auftreten der gleichen Erscheinung verhindert zu haben. In der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode ließen auch die kalifreien Gefäße 61—64, 81—84 und 201—220 ähnliche Schädigungen erkennen, wie die bereits im Mai bei den Gefäßen 1—4, 21—24 und 41—44 beobachteten. Besonders auffallend zeigten sich dieselben auf den Gefäßen 61—64, 81—84 und 217—220. Einzelne Pflanzen gingen nach und nach ein, und die übrigen vermochten nicht zu schossen, behielten dagegen bis zur Ernte grüne Blätter, so daß Körner überhaupt nicht geerntet wurden. Zweifellos ist die Ursache hierfür in dem Mißverhältnis der einseitig hohen Stickstoff- und Phosphorsäureernährung zu der völlig ungenügenden Kalizufuhr zu suchen. Derartige Erscheinungen sind auch von anderen Versuchsanstellern unter ähnlichen Bedingungen schon mehrfach beobachtet worden. — Die Gefäße 21—24 und 41—44 mit geringerer Phosphorsäuredüngung, die, wie oben erwähnt, schon zu Beginn der Vegetationsperiode an besonderen Schädigungen gelitten hatten, erholten sich noch rechtzeitig und bildeten, wenn auch bei vermindertem Pflanzenbestand, normal Körner aus.

Die Ernteerträge, als absolute Trockensubstanz festgestellt, waren die folgenden:

I. Grunddüngung: 0,5 g NaCl, 1 g MgSO₄, 3 g NH₄NO₃

	—	0,2	0,5	1,2	3,0 g	K ₂ SO ₄
	1,20	2,20	2,60	2,15	2,60	
	+ 0,04	+ 0,04	+ 0,23	+ 0,15	+ 0,04	
0,2	7,10	13,80	15,90	16,10	22,60	
	+ 1,15	+ 0,54	+ 0,46	+ 0,27	+ 0,28	
0,5	9,40	28,75	37,80	41,65	64,20	
	+ 1,10	+ 0,35	+ 0,48	+ 0,85	+ 0,99	
1,25	3,80	35,70	58,90	68,40	98,90	
	+ 0,20	+ 1,60	+ 0,50	+ 1,99	+ 0,67	
3,5	4,30	41,20	67,30	77,40	90,80	
	+ 0,10	+ 0,99	+ 0,31	+ 0,83	+ 0,10	
Rhenania- Phosphat						

II. Grunddüngung: 0,5 g NaCl, 1 g MgSO₄, 3 g K₂SO₄

	—	0,2	0,5	1,2	3,0 g	NH ₄ NO ₃
—	1,25	4,20	3,25	2,75	2,45	
	± 0,06	± 0,01	± 0,07	± 0,10	± 0,16	
0,2	1,30	7,00	19,20	27,60	23,25	
	+ 0,05	± 0,10	± 0,50	± 0,12	± 0,29	
0,5	1,15	6,50	17,60	46,45	65,00	
	+ 0,07	± 0,12	± 0,31	± 0,37	± 0,63	
1,25	1,20	6,50	17,30	45,95	100,90	
	± 0,02	± 0,15	± 0,23	± 0,70	± 1,07	
3,5 g	1,20	6,90	17,00	46,30	103,10	
	+ 0,01	+ 0,07	+ 0,29	± 0,92	± 0,80	
Rhenania- Phosphat						

III. Grunddüngung: 0,5 g NaCl, 1 g MgSO₄, 3,5 g Rhenania-Phosphat

	—	0,2	0,5	1,2	3,0	NH ₄ NO ₃
—	1,45	5,90	11,20	11,30	5,20	
	± 0,05	± 0,16	± 0,39	± 0,86	± 0,60	
0,2	1,40	6,55	14,95	36,20	45,40	
	± 0,06	± 0,34	± 0,18	± 0,38	± 1,20	
0,5	1,40	7,00	15,85	40,80	71,80	
	± 0,07	± 0,40	± 0,66	± 0,11	± 0,70	
1,2	1,40	7,50	18,00	40,75	81,75	
	± 0,06	± 0,11	± 0,50	± 0,50	± 1,16	
3,0 g	1,20	6,80	16,50	44,45	102,60	
	± 0,01	+ 0,13	+ 0,13	± 0,28	± 2,00	
K ₂ SO ₄						

Die Ursache für die außerordentlich großen Versuchsfehler der ersten senkrechten Reihe ohne Kalidüngung mit 0,2 und 0,5 g Rhenania-Phosphatgabe ist in dem bereits erwähnten, ungleich lückenhaften Pflanzenbestande dieser Gefäße zu suchen. Auf den Gefäßen 61—64 und 81—84 mit höherer Rhenania-Phosphatgabe sind keine Körner geerntet worden. Die relativ hohen Erträge ohne Kalidüngung mit 0,2 und 0,5 g Rhenania-Phosphat sind zweifellos auf geringe K₂O-Beimengungen im Rhenania-Phosphat zurückzuführen, die infolge des hohen Wirkungswertes von Kali auch schon in so geringfügigen Mengen genügten, sichtbare Ertragssteigerungen hervorzurufen. Die Ursache für die auffallend hohe Ertragsdifferenz zwischen den mit 1, 2 und 3 g K₂SO₄ gedüngten Gefäßen liegt in der Behandlung mit verschiedenem Wasser: Die letzte Reihe wurde mit Leitungswasser gegossen, ebenso wie die letzte wagrechte

Reihe der Ertragstabelle III. Doch tritt hier die dadurch zu erwartende Ertragssteigerung erst bei den beiden höchsten Erträgen auf, ein Beweis dafür, daß die hohe Rhenania-Phosphatdüngung die Wirkung des Leitungswassers, bzw. den durch ungenügende Löslichkeit vorübergehend hervorgerufenen Mangel an einem oder mehreren, sonst unbeachteten Nährstoffen — wahrscheinlich Eisen-salzen — in hohem Maße zu ersetzen vermag. — Die Übereinstimmung der Erträge der mit gleicher Düngung versehenen Gefäße ist nur zwischen der letzten wagrechten Reihe von Tabelle I und der letzten senkrechten Reihe von Tabelle III unbefriedigend. Diese Abweichung erklärt sich aus dem Einfluß ungleicher Lichtwirkung. Da die Gefäße einzeln in der Reihenfolge der wagrechten Reihen aufgestellt waren — diese Aufstellung wiederholte sich der Zahl der Parallelen entsprechend vier mal —, mußten die Gefäße mit Stickstoff-Phosphorsäure-Volldüngung der Tabelle III denjenigen der Tabelle I gegenüber in dieser Beziehung begünstigt werden.

Zur Bestimmung der Reaktion wurde von je zwei Einzelversuchen eine Probe genommen, an der Luft getrocknet und nach der Methode BILLMANN elektrometrisch untersucht. Da die Untersuchung nicht von allen Proben gleichzeitig und auch nicht sofort nach der Probeentnahme erfolgen konnte, vielmehr meist zwei bis vier Monate dazwischen lagen, wurden bis zu dieser Zeit die zu untersuchenden Proben in feuchtem Zustande in fest verschlossenen Glasflaschen aufbewahrt und erst kurz vor der Untersuchung an der Luft getrocknet. Es zeigte sich, daß bei einer Wiederholung der Untersuchung nicht immer dieselben Werte gefunden wurden, ja oft sogar erhebliche Abweichungen auftraten. Dadurch war es erforderlich, zur Feststellung eines möglichst richtigen Wertes eine größere Anzahl — meist 6—8 — Untersuchungen heranzuziehen. Um eine einwandfreie Mittelbildung zu ermöglichen, mußte auf die einfachen Zahlen, deren negativer Exponent die pH-Werte sind, zurückgegangen werden. Als endgültige Ausdrucksform für die Wasserstoffionenkonzentration schien jedoch der negative Exponent am zweckmäßigsten, nur mußte dabei auf eine Bestimmung des wahrscheinlichen Fehlers und damit der Genauigkeit des erhaltenen Endresultats verzichtet werden. Die auf diese Weise quantitativ gewonnenen pH-Werte wurden durch kolorimetrische Untersuchung nach CLARK und LUBS qualitativ bestätigt. Die Untersuchung des Pufferungsvermögens ergab eine sehr geringe Steigerung desselben gegen Säuren bei höchster Rhenania-Phosphatgabe. Der ungedüngte

Sand vermochte der Reaktionsveränderung durch gesteigerten Laugen- oder Säurezusatz keinen Widerstand entgegenzusetzen und erwies sich deshalb ebenso wie frisch gedüngter Sand vor der Vegetation als durchaus ungeeignet für die elektrometrische Untersuchungsmethode. Es mußte deshalb von einer genauen pH-Bestimmung des gedüngten Sandes vor der Vegetation abgesehen werden. Die Vegetation oder die Dauer der Salzeinwirkung hatte also die Eigenschaften des Sandes in dieser Beziehung günstig beeinflußt.

Die folgende Tabelle gibt die Reaktionszahlen bei gegeneinander variiertes, verschieden hoher Kaliumsulfat- und Rhenania-Phosphat-Düngung wieder:

I. Grunddüngung: 0,5 g NaCl, 1 g MgSO₄, 3 g NH₄NO₃

	—	0,2	0,5	1,2	3,0 g	K ₂ SO ₄
—	7,28 (1,20)	7,26 (2,20)	7,42 (2,60)	7,46 (2,15)	7,47 (2,60)	
0,2	7,54 (7,10)	7,83 (13,80)	8,03 (15,90)	7,96 (16,10)	8,17 (22,60)	
0,5	7,64 (9,40)	7,90 (28,75)	8,07 (37,80)	8,11 (41,05)	8,30 (64,20)	
1,25	7,78 (3,80)	8,13 (35,70)	8,10 (58,90)	8,24 (68,40)	8,48 (98,90)	
3,5 g	8,00 (4,30)	8,36 ¹⁾ (41,20)	8,29 (67,30)	8,39 (77,40)	8,59 (90,80)	
Rhenania- Phosphat						

Die eingeklammerten Zahlen sind die zur besseren Übersicht wiederholten entsprechenden Ernteerträge.

Wenn die gefundenen pH-Werte auch nicht als absolut sicher feststehend angesprochen werden können — der wahrscheinliche Fehler des Mittels aller Bestimmungen für einen Wert konnte aus den genannten Gründen nicht angegeben werden —, so zeigt die Betrachtung der Reaktionszahlen zunächst den zu erwartenden Anstieg der pH-Werte, oder mit anderen Worten ein Sinken der Wasserstoffionenkonzentration mit steigender Rhenania-Phosphatdüngung. Die umgekehrte Erscheinung sollte man bei steigender Kaliumsulfatgabe voraussetzen. Die Zahlen ergeben jedoch eine ständige Zunahme der alkalischen Reaktion, wofür es noch einer besonderen Erklärung bedarf.

¹⁾ Der Wert dürfte unzutreffend sein.

Ganz abgesehen davon, daß schon der Zusatz eines Neutral-salzes den Säuregrad einer Lösung zu erhöhen vermag — nach **ARRHENIUS**¹⁾ glauben einzelne Forscher diese Erscheinung mit der Annahme zu erklären, daß dabei die Dissoziation der größeren Hydroxylionen gegenüber den kleineren Wasserstoffionen zurückgedrängt werde —, so hätte man insbesondere noch eine physiologisch saure Wirkung unter dem Einfluß der Vegetation auf Grund der bisherigen Anschauung zu erwarten. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse scheinen jedoch allen bisherigen Erfahrungen zu widersprechen. Es soll versucht werden, eine theoretische Erklärung hierfür zu finden.

Zweifellos wird das der pflanzlichen Wurzelmembran eigene Wahlvermögen zunächst bestrebt sein, die zur Ernährung der Pflanze erforderlichen Mineralstoffe möglichst als Neutralsalze der Bodenlösung zu entziehen. Eine ungewöhnliche, einseitige Steigerung in der Zufuhr eines schon ohnehin in größeren Mengen aufgenommenen Nährstoffes führt notgedrungen zu einem gewissen Luxuskonsum desselben und zu einer Störung des Gleichgewichts in der Aufnahme basen- und säurebildender Bestandteile. So ist unter Umständen das Zustandekommen der physiologisch-sauren oder alkalischen Reaktion durchaus denkbar. — Auf Grund neuerer Untersuchungen läßt sich jedoch sagen, daß man die physiologische Wirkung verschiedener Düngemittel bisher wesentlich überschätzt hat. So kommt **KAPPEN**²⁾ aus einer ganzen Reihe von Beobachtungen zu dem Ergebnis, daß die praktische Bedeutungslosigkeit der physiologisch-alkalischen Reaktion aller Kalisalze als durchaus erwiesen gelten kann. — Einen gewissen sekundären Einfluß üben zweifellos auch die Wurzelausscheidungen auf die Veränderung der Bodenreaktion aus, worauf hier jedoch nicht näher eingegangen werden kann. Die Annahme, daß bei der Nährstoffaufnahme sich die negativen Säure- und positiven Metall- oder Ammoniumionen möglichst das Gleichgewicht halten, wird weiter bestärkt durch die Forschungen von **PRJANISCHNIKOW**³⁾, daß die Pflanze durchaus befähigt ist, den Stickstoff ebenso als Ammoniak wie als Nitrat aufzunehmen. Die erste Form muß sogar als die günstigere betrachtet

¹⁾ **ARRHENIUS**, Kalkfrage, Bodenreaktion und Pflanzenwachstum. Akadem. Verlagsges. Leipzig 1926, S. 16. — ²⁾ **KAPPEN**, Zur physiologisch-sauren Reaktion der Düngemittel. Deutsche Landw. Presse, 54. Jg., Nr. 11 u. 12. — ³⁾ **PRJANISCHNIKOW**, Zur physiologischen Charakteristik von Ammoniumnitrat. Zeitschr. f. Pflanzenernährung und Düngung 1925 A. S. 242.

werden, da der sonst durch Reduktion unvermeidliche Energieverlust erspart wird. Da in vorliegendem Falle der Stickstoff der Düngung in beiden Formen gegeben ist, ist die Pflanze um so mehr in der Lage, für eine durch ein physiologisch-saures oder alkalisches Düngemittel begünstigte einseitig reaktionsverändernde Nährstoffaufnahme einen Ausgleich zu schaffen.

Mit der Aufnahme der Salze aus der Nährlösung muß bei fortgesetzt ergänzter Wassermenge die Salzkonzentration der Lösung naturgemäß zurückgehen. Wie bei Zusatz eines Neutralsalzes eine Verschiebung der Wasserstoff- und Hydroxyliumverhältnisse zugunsten der Wasserstoffionen eintritt, müßte in dem umgekehrten Falle, also bei Entzug von Neutralsalzen, sich auch eine gegenteilige Einwirkung auf das Wasserstoff-Hydroxyliumverhältnis geltend machen. Zweifellos ist jedenfalls die jeweilige Salzkonzentration von einem gewissen Einfluß auf den Säuregrad einer Lösung. — Durch gleichmäßigen Entzug dissoziierter H- und OH-Ionen aus der Bodenlösung wird eine erneute Dissoziation zur Erhaltung der Konstanz des Ionenproduktes angeregt, die in Abhängigkeit von der gleichzeitig veränderten Salzkonzentration dann zugunsten der einen Ionenart verläuft und eine Verschiebung des Wasserstoff- und Hydroxyliumverhältnisses herbeiführt.

Das Zustandekommen dieser Gleichgewichtsverschiebung könnte man vielleicht auch noch auf eine andere, ähnliche Weise zu erklären versuchen: Bei gleichmäßigem Entzug basen- und säurebildender Bestandteile aus einer alkalischen Lösung muß das Übergewicht der zurückbleibenden Basen und damit der dissoziierten OH-Ionen gegenüber den H-Ionen weiter zunehmen, die Reaktion der Lösung also eine alkalische werden. Der analoge Vorgang in einer sauren Lösung müßte dann naturgemäß die umgekehrte Wirkung zeigen.

Ob und wie weit einer der hier aufgestellten Theorien oder vielleicht beiden eine Existenzberechtigung zukommt, sei dahingestellt. Jedenfalls drängt sich von selbst die Frage auf: Warum ist nicht schon längst eine Hypothese für derartige Reaktionsveränderungen aufgestellt worden? — Zunächst hat man noch niemals den Einfluß der Vegetation in einem so völlig pufferfreien Medium, wie dem vorliegenden, untersucht, und alle mehr oder minder gut gepufferten Böden sind geeignet, ein genaues Ergebnis in dieser Beziehung nicht erkennen zu lassen. Mitunter wurde wohl auch der Einfluß des Pflanzenertrages der physiologischen Wirkung

irgendeines Düngemittels zugute geschrieben. Denn man arbeitet häufig mit einseitig hohen Gaben bestimmter Düngemittel, die unter Umständen durchaus physiologisch reaktionsverändernd wirken können, ohne daß diese Wirkung durch ein anderes, physiologisch amphoterer Salz, wie PRJANISCHNIKOW das salpetersaure Ammoniak bezeichnet, kompensiert werden kann; und andererseits müssen wiederum für die Erkennung derart komplizierter Verhältnisse, um überhaupt sichtbare Differenzierungen zu erhalten, extrem variierte Düngergaben und Pflanzenerträge herangezogen werden. Doch sollten dabei physiologische Wirkungen nach Möglichkeit vermieden werden. In der Natur muß dagegen unter dem Einfluß unseres humiden Klimas, das die Basenauswaschung begünstigt, und der ununterbrochenen Regeneration der in Lösung befindlichen Salze aus dem ungeheuren, ungelösten Nährstoffvorrat des Bodens der umgekehrte Vorgang der fortschreitenden Bodenversäuerung überwiegen.

Der Vergleich der Reaktionszahlen innerhalb der wagrechten Reihe mit den entsprechenden Ertragszahlen zeigt deutlich einen gewissen Parallelismus in der Steigerung der alkalischen Reaktion und des Pflanzenertrages. Eine größere Differenz fällt zwischen der ersten und zweiten senkrechten Reihe auf, wo auch der Pflanzenertrag auf Grund der Steigerung der Kaliumsulfatzufuhr von 0 auf 0,2 g pro Gcfäß am meisten ansteigt. Die letzte Reihe weist wiederum durch Behandlung mit Leitungswasser eine erhebliche Ertragszunahme auf, der auch eine größere Differenz der pH-Werte entspricht. — Innerhalb der senkrechten Reihen wird die Reaktion durch die gesteigerte Rhenania-Phosphatgabe und die zunehmenden Erträge in gleicher Richtung beeinflusst, so daß es sich nicht klar erkennen läßt, wie weit die Wirkung des einen oder anderen reaktionsverändernden Faktors geht. In der folgenden Tabelle sind die Reaktionszahlen für die Variation von salpetersaurem Ammoniak gegen Rhenania-Phosphat wiedergegeben:

II. Grunddüngung: 0,5 g NaCl, 1 g MgSO₄, 3 g K₂SO₄

	—	0,2	0,5	1,2	3,0 g	NH ₄ NO ₃
—	7,87 (1,25)	7,96 (4,20)	8,00 (3,25)	7,82 (2,75)	7,50 (2,45)	
0,2	7,98 (1,30)	8,13 (7,00)	8,20 (19,20)	8,15 (27,60)	8,07 (23,25)	
0,5	8,05 (1,15)	8,23 (6,50)	8,28 (17,60)	8,31 (46,45)	8,23 (65,00)	

	—	0,2	0,5	1,2	3,0 g	NH ₄ NO ₃
1,25	8,20 (1,20)	8,30 (6,50)	8,36 (17,30)	8,31 (45,95)	8,48 (100,90)	
3,5 g	8,38 (1,20)	8,40 (6,90)	8,44 (17,00)	8,48 (46,30)	8,61 (103,10)	
Rhenania- Phosphat						

Das salpetersaure Ammoniak hat seiner chemischen Eigenschaft entsprechend in höheren Gaben zunächst deutlich ansäuernd gewirkt, während bei den geringeren Gaben diese Wirkung durch den entgegengesetzten Einfluß der steigenden Erträge zum Teil aufgehoben und in das Gegenteil verwandelt wird. In den beiden unteren wagrechten Reihen lassen Pufferwirkung der verstärkten Rhenania-Phosphatdüngung und steigende Erträge den versäuernden Einfluß des salpetersauren Ammoniaks ganz verschwinden und es tritt auch bei den niederen Erträgen eine durch höhere Rhenania-Phosphatgabe bedingte alkalischere Reaktion auf. Im ganzen zeigen die steigende Rhenania-Phosphatgabe und die höheren Erträge wiederum ein Zunehmen der Alkalität, das durch den entgegengesetzten Einfluß der Ammoniumnitratdüngung bei verschieden hoher Gabe einen ungleichen Verlauf nehmen muß. Im allgemeinen sieht man nur, daß die Wirkungen der alkalischen Phosphorsäuredüngung und der steigenden Pflanzenerträge einerseits und der sauren Stickstoffdüngung andererseits ineinander übergehen und sich nicht völlig isolieren lassen.

Die folgende Tabelle zeigt die Reaktionsveränderung bei verschieden hoher, gegeneinander variiertes Ammoniumnitrat- und Kaliumsulfatdüngung.

III. Grunddüngung: 0,5 g NaCl, 1 g MgSO₄, 3,5 g Rhenania-Phosphat.

	—	0,2	0,5	1,2	3,0 g	NH ₄ NO ₃
—	8,03 (1,45)	8,13 (5,90)	8,22 (11,20)	8,18 (11,30)	7,95 (5,20)	
0,2	8,18 (1,40)	8,32 (6,55)	8,27 (14,95)	8,22 (36,20)	8,12 (45,40)	
0,5	8,30 (1,40)	8,33 (7,00)	8,28 (15,85)	8,18 (40,80)	8,13 (71,70)	
1,2	8,33 (1,40)	8,41 (7,50)	8,29 (18,00)	8,31 (40,75)	8,28 (81,75)	
3,0 g	8,38 (1,20)	8,37 (6,80)	8,40 (16,70)	8,42 (44,34)	8,56 (102,60)	
K ₂ SO ₄						

Unter dem Einfluß der hohen Phosphorsäuregrunddüngung in Form von Rhenaniaphosphat weist die Tabelle im ganzen höhere Reaktionszahlen auf. Doch scheinen der erste und zweite pH-Wert der obersten wagrechten Reihe und der erste Wert der zweiten Reihe auffallend niedrig zu sein, so daß die Vermutung naheliegt, ob nicht die gesteigerte Kaliumsulfatgabe auch noch auf einem anderen, als dem oben theoretisch erklärten, indirekten Wege durch die Erhöhung des Pflanzenertrages die Alkalität des Bodens steigern kann. Wenn eine derartige Möglichkeit auch bestehen sollte, so sprechen die bisherigen Erfahrungen über den reaktionsverändernden Einfluß des Kaliumsulfats noch dagegen, und diese wenigen Beobachtungen rechtfertigen keineswegs eine Änderung unserer Auffassung. Eher dürften Einflüsse zu langer Lagerung — die Bodenproben dieser Versuchsreihe wurden zuletzt untersucht — oder andere unbekanntere Einwirkungen zu einem fehlerhaften Resultat geführt haben. Im übrigen zeigen fast gleiche Reaktionszahlen bei gleich hohen Stickstoffgaben bis zu 0,5 g Ammoniumnitrat pro Gefäß einen starken Parallelismus mit den Pflanzenerträgen. Bei höchsten Stickstoffgaben konkurriert der ansäuernde Einfluß mit der alkalisierenden Wirkung der durch steigende Kaligaben höheren Erträge und gibt der pH-Kurve anstatt der fast wagrecht verlaufenden eine mehr ansteigende Richtung in guter Anlehnung an die Ernteerträge. Die steigenden Ammoniumnitratgaben bei verschieden hoher Kalidüngung zeigen zweifellos wieder die Neigung zur Versäuerung, die zwar unter dem Einflusse der Pufferwirkung einer hohen Rhenania-Phosphatgrunddüngung wesentlich abgeschwächt und schließlich durch den gegenteiligen Einfluß der steigenden Erträge ausgeglichen wird.

Wenn man die bisher hier einzeln betrachteten Untersuchungsergebnisse zusammenfaßt, ergibt sich folgendes:

1. Rhenania-Phosphat wirkt seinem chemischen Charakter entsprechend alkalisierend auf die Bodenreaktion.
2. Ammoniumnitrat zeigte besonders bei höheren Gaben ansäuernde Wirkung.
3. Kaliumsulfat ließ keine besondere Beeinflussung der Reaktion nach irgendeiner Richtung erkennen.
4. Steigende Pflanzenerträge ließen eine alkalischere Reaktion zurück. Am deutlichsten tritt das durch verschieden hohe Kaliumsulfatgaben in Erscheinung, während höhere Ammoniumnitratgaben durch ihre ansäuernde Wirkung hier

einen abschwächenden Einfluß auszuüben oder sogar die Reaktionsveränderung nach der entgegengesetzten Seite zu richten vermögen. Bei steigenden Rhenania-Phosphatgaben sind beide Wirkungen — von Düngung und Pflanzen-ertrag — gleichgerichtet und müssen sich demzufolge addieren. — Ob die theoretische Erklärung für diese auffallende Reaktionsveränderung kritischen Betrachtungen widerstehen können oder bald einer besseren Erklärung Platz machen muß, mag die Zukunft lehren.

Als endgültige Schlußfolgerung für die praktische Nutzanwendung vorstehend zusammengefaßter Untersuchungsergebnisse resultiert, daß bei variierten Düngergaben und dadurch steigenden Erträgen zur Konstanthaltung aller übrigen Faktoren auch die Konstanz der Reaktion besonders zu beachten ist, also mit gepufferten Böden gearbeitet werden muß.

Abstract

The results of the investigations recapitulated are as follows:

1. Rhenania-Phosphat, according to its chemical character, acts alcalising on the soil reaction.
2. Ammoniumnitrat showed an acidifying effect, especially if a higher dose was given.
3. Kaliumsulfat had no influence whatever on the reaction.
4. Increasing produce of plants left an alcalic reaction. This appeared most distinctly, if the doses of Kaliumsulfat were differently high, while higher doses of Ammoniumnitrat, owing to their acidifying effect, showed a weakening effect, or were able even to turn the variations of reaction into the opposite direction. If the doses of Rhenania-Phosphat are increased, the effects of manure and plant produce are both equally directed, and are to be added. — Whether the theoretical explanations for these remarkable reaction variations will prove true in critical examination, or whether they will soon find a better interpretation, is a question of the future.

As a final conclusion for the practical application of the preceding results, it may be accepted that with varying manure-doses and consequently increasing produce, it is necessary besides keeping all other factors constant, to pay special attention to the constancy of the reaction, therefore one ought to work with buffered soils.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Archiv. Zeitschrift für die gesamte Botanik](#)

Jahr/Year: 1929

Band/Volume: [24](#)

Autor(en)/Author(s): Weissermel Ernst

Artikel/Article: [Untersuchungen über den Einfluß der Düngung und des Pflanzenertrags auf die Reaktion eines ungepufferten Quarzsandes 202-216](#)