

## Die Phosphatfrage in der gegenwärtigen Weltwirtschaft.

Von Dr. P. KRISCHE, Berlin-Lichterfelde.

(Eingeg. 28.5. 1922.)

Mit dem Aufschwung der Naturwissenschaften, mit der Entwicklung ihrer Anwendung in der Technik und mit der daraus hervorgegangenen Industrialisierung hat sich eine Vermehrung der Erdbevölkerung ergeben, wie sie die Weltgeschichte vorher niemals aufzuweisen hatte. Seit 1800 hat sich die Bevölkerung in Europa in großen Gebieten verdoppelt, in anderen gar verdreifacht.

Mit der Zunahme der Erdbevölkerung erhob sich in drängender Form das Problem, für dieses Mehr von Menschen die notwendigen Lebensmittel zu schaffen, was nur durch Erweiterung der Kulturläche, ferner durch Steigerung der Ernten auf der Flächeneinheit zu erreichen war. Die Frage der richtigen Ernährung der Pflanzen, der Kulturgewächse, zwecks Steigerung der Ernte wuchs daher zu einem weltwirtschaftlichen Problem ersten Ranges aus.

Am Ende des vorigen Jahrhunderts stand bei dieser Frage im Vordergrund die Beschaffung des notwendigen Stickstoffes. Im Jahre 1898 machte der damalige Vorsitzende der Britischen Gesellschaft der Wissenschaften, Sir William Crookes, darauf aufmerksam, daß die Versorgung mit Stickstoff aus den Salpeterwerken Chiles nicht genüge, daß deren Erschöpfung bevorstehe, und daß die größte Entdeckung, die man zu erwarten habe, die Luftstickstoffbindung in einer für die Ernährung der Pflanze brauchbaren Form sei. Von den Lippen des berühmten Gelehrten erklang das damals bedeutungsvolle Wort: „Starvation may be averted through laboratory“. Er fügte hinzu: „Die chemische Wissenschaft, verbunden mit der Ausnutzung der Wasserkräfte, die bis zum heutigen Tage noch wenig berücksichtigt wurden, werden unsere Nachkommen vor diesen furchtbaren Geißel bewahren“.

Durch die Leistungen der Stickstoffindustrie ist in der überraschend kurzen Zeit von 20 Jahren das Stickstoffproblem ein für allemal erledigt. Wegen der Stickstoffversorgung der Pflanzen für noch so ausgedehnte Kulturländer, noch so starken Bedarf hochgezüchteter, in intensiver Kultur stehender Pflanzen brauchen wir nicht mehr in Sorge zu sein. Die Stickstoffversorgung ist gesichert.

Neben dem Stickstoff sind Phosphorsäure, Kali und Kalk die Pflanzennährstoffe, die in erster Linie in der landwirtschaftlichen Düngung zwecks Erzielung guter Ernten zur Verwendung gelangen. Die Vorräte an Kali und Kalk sind nach Kenntnis der bereits erschlossenen Kalisalzlagerstätten und Kalklager so groß, daß für absehbare Zeit ein Mangel an diesen beiden Nährstoffen nicht zu befürchten ist.

Anders steht es dagegen mit der Phosphorsäure. Während das Stickstoffproblem für alle Zeiten gelöst ist, beginnt die Phosphorsäurefrage einen ernsten Charakter anzunehmen. Es handelt sich hierbei darum, einmal eine einigermaßen zuverlässige Übersicht über die vorhandenen Phosphorsäurequellen zu erlangen, da diese nach der bisherigen Kenntnis nicht den Umfang der Kali- und Kalklagerstätten besitzen, ferner um die Frage, wie die vorhandenen Phosphorsäuremengen möglichst rationell zu bewirtschaften sind.

### I. Die verschiedenen Phosphorsäurequellen und die Entstehung der Phosphatlager.

Die ursprüngliche Quelle sämtlicher vorhandener Phosphate sind die phosphorhaltigen Eruptivgesteine, die in frischem Zustande bis 3% Phosphorsäure enthalten können. Die wichtigste Phosphatverbindung dieser Art ist der Apatit, ein fluor- und chlorhaltiges Calciumphosphat. Von diesen ursprünglichen, primären Phosphorsäurequellen zu unterscheiden sind die großen Phosphatlagerstätten, die den sogenannten Phosphorit, einen phosphorsauren Kalk enthalten und die das Ergebnis eines verwickelten Umwandlungsprozesses sind. Neben dem sogenannten Rohphosphat in Form der Calciumphosphatgesteine spielen noch die als Konglomerate auftretenden phosphorhaltigen Eisensteine (Minette Lothringens), ferner die sogenannte Blaueisenerde, der Vivianit, eine Rolle, sowie der Raseneisenstein, der sich namentlich unter der Grasnarbe der Niederungsmoore befindet, und dessen Phosphorsäuregehalt bis zu 40% steigt. Die Entstehung dieser verschiedenen Arten von Phosphoriten ging so vor sich, daß bei der Zersetzung von Tierleichen, bei der Auflösung von Schaltieren, Knochen, Knorpel, Eiweiß usw. sich Ammoniumphosphat bildete, das mit Calciumlösung zur Ausfällung von Calciumphosphat gelangte. Pflanzen wie Tierkörper liefern also mit den toten organischen Verbindungen, den Phosphatiden, die Quelle für die großen Phosphatlagerstätten. Oft vollzieht sich der Vorgang auch derart, daß sich an geeigneten Stellen, namentlich auf Inseln regenloser Landstriche, wie auf den Chincha-Inseln vor Peru, durch das Brutgeschäft von Millionen von Seevögeln, deren Exkrementen mit Federn, Knochen, Vogelleichen, Fischen, Muscheln usw. bis zu 60 Meter hoch ablagern in Form der sogenannten Guanolager,

und daß die Auslaugung dieser Guanomassen zur Bildung der Kalkphosphate in den darunter befindlichen Gesteinsmassen führt.

Wie Dr. J. Weigelt<sup>1)</sup> in einem Vortrage vor dem Verbande für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze ausführte, finden natürliche Aufbereitungsvorgänge von Phosphaten, wie sie namentlich in den phosphorsäurereichen Marschböden der Strom- und Flussmündungen vorwiegen, vornehmlich im Bereich des Wellenschlages der Flachseen statt, besonders, wenn die Küstenlinie erheblichen Verschiebungen ausgesetzt ist. Das ist der Fall, wenn beim Zurücktreten des Meeres eben gebildete frische Niederschläge wieder der Küstenbrandung ausgesetzt werden, oder wenn beim Vordringen des Meeres die verwitterte Bodenoberfläche mit den darüber befindlichen mechanischen und chemisch widerstandsfähigen Gesteinresten der Aufbereitung durch das Flutwasser unterliegt. So spielen sich an den Küsten dauernde Verlandung durch die Ablagerung und Zerstörungsvorgänge ab, bei denen die harten und widerstandsfähigen Teile, das sind vornehmlich Kalke, Toneisenstein, in den weichen Meerestonen eingelagert werden. Ähnlich hat sich auch die Bildung der phosphorhaltigen Eisenerze am Nordharzrand (Ilzeder, Peine, Salzgitter) und der Minette in Lothringen vollzogen.

### II. Die für die Phosphatgewinnung wichtigsten Rohstoffe.

Neben den ursprünglichen Phosphorsäurequellen, den phosphorsäurehaltigen Vulkangesteinen, kommen als technisch wichtigste Rohstoffquellen die sogenannten Rohstoffphosphate, Calciumphosphatgesteine, in Betracht. Außerdem Abfallstoffe organischer Natur, welche Phosphorsäure enthalten aus den Aufspeicherungen der Pflanzen und Tiere (Knochenabfälle usw.). Für die Phosphorsäuregewinnung sind darum folgende drei Gruppen von Rohstoffen festzustellen:

1. Phosphorhaltige Eisenerze, die Rohstoffe des Thomasphosphats,
2. Knochenmehl, Naturdünger und andere organische Abfallstoffe,
3. Calciumphosphatgesteine, die Rohstoffe des Superphosphats.

### III. Die vorhandenen Phosphatrohstoffe.

So wünschenswert eine genaue Statistik über die vorhandenen Phosphatrohstoffe ist, so sind wir einstweilen leider noch auf Schätzungen angewiesen. Diese schwanken außerordentlich in ihren Zahlen. Der Bildungsprozeß der Kalkphosphate gibt jedenfalls Anlaß, bei den Schätzungen der Calciumphosphatgesteine nicht zu optimistisch zu sein. Eine ausführliche Übersicht hat kürzlich Prof. Goldschmidt, Christiania<sup>2)</sup>, vorgenommen.

#### a) Phosphorhaltige Eisenerze.

Die wichtigsten Lager an phosphorhaltigem Eisen bilden die sogenannten Minetteerze von Lothringen und Luxemburg, die Hauptquellen der europäischen Thomasphosphaterzeugung, die Eisenerze in Peine, sowie schwedische Erze. Sowohl die Lothringen Minette wie die nordschwedischen phosphorreichen Erze, also diejenigen Eisenerze, die heute in der Hauptsache bei ihrer Verhüttung als Nebenprodukt das Thomasphosphatmehl abwerfen, werden nach der Angabe des Internationalen Geologischen Kongresses von Stockholm 1910 im Laufe des 20. Jahrhunderts größtenteils aufgebraucht werden. Betrug doch die Erzeugung von Thomasphosphat im Jahre 1913 etwa 3 Millionen Tonnen.

#### b) Knochenmehl und andere organische Abfallstoffe.

Über die Gesamterzeugung von Knochenmehl und organischen phosphorsäurehaltigen Abfallstoffen liegt bisher eine zahlenmäßige Schätzung nicht vor. Einen Anhaltspunkt erhält man aus den Einfuhr- und Ausfuhrzahlen von Knochen und Knochenmehl, die vom Internationalen Landwirtschafts-Institut veröffentlicht werden<sup>3)</sup>. Die wichtigsten Ausfuhrländer an Knochenmehl haben demnach 1920 folgend Mengen ausgeführt:

Argentinien . . . . .	73000 t
Chile . . . . .	42000 t
Britisch-Indien . . . . .	79000 t
Belgien . . . . .	10000 t
Frankreich . . . . .	7000 t
<hr/>	
Summe . . . . .	211000 t

<sup>1)</sup> J. Weigelt, Die mitteldeutschen Phosphatlager und die Frage ihrer zweckmäßigen Ausnutzung. Eine Anwendung der Gesetzmäßigkeiten natürlicher Aufbereitungsvorgänge in ihrer Bedeutung für die Sedimentpetrographie. Jahrbuch des Halleschen Verbandes für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze und ihrer Verwertung. Verlag Knapp, Halle a. S. 1921. S. 139.

<sup>2)</sup> V. M. Goldschmidt, Die Phosphatrohstoffe. Die Naturwissenschaften 1921, S. 887.

<sup>3)</sup> Feuilles de documentation de l'Institut International d'Agriculture Rome 1921, Nr. 3.

Die Haupteinfuhrländer hatten 1920 folgende Einfuhrmengen zu verzeichnen:

Japan . . . . .	88000 t
Belgien . . . . .	18000 t
Frankreich . . . . .	18000 t
England . . . . .	16000 t
Schweiz . . . . .	18000 t
Vereinigte Staaten . . . . .	18000 t
Summe . . . . .	176000 t

Deutschland hat 1913 eine Einfuhr von 31000 t, eine Ausfuhr von 32500 t Knochenmehl zu verzeichnen. Die deutsche Landwirtschaft gebrauchte 1913 nach Hoffmann<sup>4)</sup> etwa 80000 t Knochenmehl im Wert von 7 Mill. M. Während des Krieges, nach dem Kriege und in der Nachkriegszeit hat die Verwendung von Knochenmehl in der deutschen Landwirtschaft erheblich zugenommen.

### c) Calciumphosphatgesteine.

Die Calciumphosphatgesteine bilden die weitaus wichtigsten Rohstoffquellen für das Phosphat und kommen in drei Haupttypen vor: In den Apatitanreicherungen, in den sedimentären und den metasomatischen Phosphatgesteinen.

#### 1. Apatitanreicherungen.

Die Apatitanreicherungen sind auf Eruptivgesteine zurückzuführen. Sie liefern bisweilen ein Erzeugnis von recht hohem Phosphorsäuregehalt, sind aber in dem Umfang der Lagerstätten meistens sehr begrenzt. Die Hauptproduktion fiel in den Jahren 1880—1895 auf kanadischen Apatit, dessen Lagerstätten heute ziemlich erschöpft sind. Während die Produktion an kanadischem Apatit von 8000 t im Jahre 1880 auf 35000 (1890) anstieg, war sie 1895 bereits wieder auf 1000 t gesunken und hat in den nächsten Jahren bis 1915, wo die Produktion aufhörte, nur zwischen 1000 und 2000 t geschwankt.

#### 2. Sedimentäre Calciumphosphatgesteine.

Diese Ansammlungen organischer Produkte, wie Knochen, Exkremeante usw., bilden heute den bei weitem wichtigsten Typus der Calciumphosphatgesteine. Bei diesen Vorkommen spielen eine große Rolle die bereits erwähnten Vorgänge der an der Meeresküste hervorgerufenen Anreicherungen, die vielfach die einzigen abbauwürdigen Teile einer Lagerstätte bilden. Daher stammt auch die vielfach zu beobachtende Erscheinung, daß beim Phosphatbergbau nach dem Abbau solcher Anreicherungen der Betrieb plötzlich eingestellt werden muß.

#### 3. Metasomatische Phosphatgesteine.

Es handelt sich hier um Lagerstätten, die durch chemischen Umsatz zwischen löslichen Phosphaten und Kalkstein entstanden, so z. B. durch Einwirkung von Vogelmist auf Korallen. Hierzu zählen namentlich die zahlreichen Vorkommen an Phosphat des Stillen und Indischen Ozeans, die zwar nicht so umfangreich sind wie die amerikanischen Phosphatlager, dagegen oft sehr hochprozentig.

#### IV. Entwicklung der Weltproduktion an Rohphosphat.

Die Weltproduktion an Rohphosphat, soweit sie zur Herstellung von Superphosphat geeignet ist, verläuft nach Goldschmidt folgendermaßen:

1870 . . . . .	500 000 t
1880 . . . . .	700 000 t
1890 . . . . .	1250 000 t
1900 . . . . .	2600 000 t
1910 . . . . .	5600 000 t

und erreichte ihren Höhepunkt 1913 mit über 7 Mill. t, um 1915 auf 4 Mill. t infolge des Weltkrieges herunterzuschnellen. Genauere Statistiken liegen namentlich über die letzten Jahre vor dem Weltkriege vor, und zwar von Lambert, Brüssel, vom Internationalen Landw. Institut Rom und von Dr. Th. Waage, Berlin<sup>5)</sup>.

Die einzelnen Zahlen der verschiedenen Statistiken schwanken untereinander. Jedenfalls betrug vor dem Kriege die Gesamterzeugung an Rohphosphat rund 5 Mill. t, aus denen etwa 9 Mill. t Superphosphat gewonnen wurden. Über die Entwicklung während des Krieges und der folgenden Jahre liegt eine Statistik vor, die das Internationale Landw. Institut Dezember 1921 veröffentlichte<sup>6)</sup>.

<sup>4)</sup> Hoffmann, Verbrauch an Handelsdüngern in der deutschen Landwirtschaft in den Jahren 1890—1913, Ernährung der Pflanze 1917, S. 143.

<sup>5)</sup> Düngstoffproduktion und Konsum der Welt. Saaten-, Dünger- und Futtermarkt 1912, Nr. 39, S. 1283.

<sup>6)</sup> Feuilles de documentation 1921, Nr. 3, herausgegeben vom Internationalen Landw. Institut Rom.

Tabelle 1.  
Weltproduktion an Rohphosphat 1915—1920 nach der Statistik des Internationalen Landw. Instituts in Rom in Tonnen je 1000 kg.

Länder	1920	1919	1918	1917	1916	1915
Belgien . . . . .	—	—	61 700	138 300	77 740	16 350
Spanien . . . . .	—	25 035	43 303	28 148	14 111	9 080
Frankreich . . . . .	—	—	—	—	25 000	145 000
Norwegen*) . . . . .	—	—	4 562	1 832	2 236	1 901
Canada*) . . . . .	—	22	127	135	184	196
Curacao . . . . .	64 969	10 052	—	3 582	14 468	31 308
Verein. Staaten . . . . .	4 169 839	2 308 442	2 530 729	2 625 757	2 014 196	1 865 124
Japan . . . . .	97 340	122 868	192 271	121 628	114 810	57 716
Insel Christmas . . . . .	70 690	69 719	54 224	91 331	44 918	24 119
Algier . . . . .	456 169	276 040	189 419	305 039	389 211	225 871
Ägypten . . . . .	114 813	29 364	31 147	115 732	125 008	82 998
Tunis . . . . .	1 075 000	815 385	818 962	999 326	1 695 295	1 384 374
Australien . . . . .	—	9 162	12 109	8 764	7 168	5 806
Angaur . . . . .	—	—	30 000	30 000	30 000	30 000
Makatea . . . . .	30 000	35 000	35 000	32 259	39 285	71 724
Insel Ozeanien u. Nauru . . . . .	350 000	—	100 000	100 000	100 000	100 000
	6 428 820	3 701 089	4 103 553	4 601 833	4 693 630	4 051 567

\*) Apatit.

Es ergibt sich daraus folgende Gesamtproduktion in den einzelnen Jahren: 1920: 6428820 t; 1919: 3701089 t; 1918: 4103553 t; 1917: 4601833 t; 1916: 4693630; 1915: 4051567. Im Jahre 1920 wurde also die höchste Vorkriegserzeugung von 1913 bereits wieder ungefähr erreicht.

#### V. Die vorhandenen Lagerstätten an Rohphosphaten.

Eine Übersicht über die wichtigsten Fundorte von Phosphaten und Guano hat zuerst M. Ullmann in seiner Schrift<sup>7)</sup> zum 25jährigen Jubiläum des Vereins Deutscher Düngerfabrikanten geschildert.

Über den Umfang der Lagerstätten hat 1916 G. Heinrich<sup>8)</sup> eine Schätzung veröffentlicht. Er kommt dabei zu folgenden Mengen an Rohphosphat:

in Rußland im Gouvernement Saratow 51000 t Phosphorit mit einem Gehalt von 14,5—17,6% Phosphorsäureanhydrid ( $P_2O_5$ ).

Im Gouvernement Pensa, Kreis Krasnoslobodsk 1 Mill. t mit durchschnittlich 21,7%  $P_2O_5$ .

Im Gouvernement Moskau, Kreis Podolsk und Bronnizy 80000 t von durchschnittlich 24,5%  $P_2O_5$ .

Tunis und Algier nach den Angaben von Samojloff 35 Mill. t mit 29%  $P_2O_5$ .

Spanien etwa 1 Mill. t mit 80% Tricalciumphosphat (= 36,8%  $P_2O_5$ ).

Belgien und Hennegau etwa 3 Mill. t mit 70% Tricalciumphosphat (= 32,2%  $P_2O_5$ ).

Vereinigte Staaten 9516 Mill. t mit 75% Tricalciumphosphat (= 34,5%  $P_2O_5$ ).

Südsee-Inseln 60 Mill. t mit 82% Tricalciumphosphat (= 36%  $P_2O_5$ ).

Heinrich stützt sich auf die geologischen Schätzungen, und zwar hinsichtlich Rußlands auf die Kommission des Moskauer landwirtschaftlichen Institutes zur Erforschung der Phosphorite, Moskau 1911 (russisch), nach dem Referat in „Neues Jahrbuch für Mineralogie usw.“ (1912, S. 335), redigiert von J. Samojloff, der auch die Phosphoritvorkommen in Algier und Tunis geschätzt hat. Die Schätzungen der amerikanischen Länder beruhen auf dem Bericht, den der Ackerbauminister der Vereinigten Staaten dem Kongress über den Vorrat an Phosphaten erstattete.

Auf Grund dieser Unterlagen gelangt Heinrich zu einem hauptsächlich amerikanischen Weltbestand an Rohphosphat von rund 9,5 Milliarden t, aus dem 19,6 Milliarden t Superphosphat mit 16% Phosphorsäure zu gewinnen wären.

Zu anderen und fraglos richtigeren Ergebnissen gelangt Goldschmidt in einer neueren, sehr sorgfältig ausgearbeiteten Statistik der Phosphatlagerstätten in seiner bereits zitierten Arbeit in den „Naturwissenschaften“. Zu beanstanden ist vor allem Heinrichs Schätzung der amerikanischen Phosphatlager, die wohl etwas im Stil des Landes der unbegrenzten Möglichkeiten ausgefallen ist. Goldschmidt gibt über die wichtigsten heute erzeugenden Lagerstätten folgende Übersichten:

Die Hälfte der heutigen Weltproduktion liefern die Vereinigten Staaten, das wichtigste Erzeugungsland für Calciumphosphatgesteine. Die gesamte Erzeugung der Staaten an Rohphosphat beträgt etwa 3 Mill. t jährlich; dagegen werden durch die amerikanische Landwirtschaft dem Boden jährlich mehr als das Doppelte an Phosphat, also

<sup>7)</sup> Dr. Martin Ullmann, Die deutsche chemische Düngerindustrie. Festschrift zum 25jährigen Jubiläum der Begründung des Vereins Deutscher Düngerfabrikanten, 1880—1905. Druck Deutscher Verlag G. m. b. H., Berlin.

<sup>8)</sup> Dr. G. Heinrich, Die Vorräte der Erde an Phosphorsäure und anderen künstlichen Düngemitteln und die intensive Landwirtschaft. Verlag Ebering, Berlin 1916.

mehr als 6 Mill. t entzogen. Stellt man noch den ständig steigenden Bedarf an Phosphaten infolge der Intensivierung der Landwirtschaft in Rechnung, so kommt man auf einen Eigenbedarf der Vereinigten Staaten von 10 Mill. t Rohphosphat jährlich. In Florida sind bisher 20 Mill. erzeugt worden, und die noch vorhandenen gewinnbaren Reserven werden dort auf etwa weitere 20 Mill. geschätzt. Für den künftig steigenden Verbrauch rechnet man in den Vereinigten Staaten besonders mit den westlichen Phosphatgebieten in den Staaten Idaho, Utah, Wyoming und Montana. Es handelt sich hierbei um Reserve, die auf etwa 100 Mill. t geschätzt sind. Ein großer Teil dieser Reserven kann nur durch Bergbau erschlossen werden.

Neben diesen Lagern sind noch sehr große Mengen niedrigprozentiger Phosphatgesteine in den Vereinigten Staaten vorhanden. Das Apatitvorkommen in Kanada ist erschöpft, dagegen ist neuerdings im westlichen Teil von Kanada die nördliche Fortsetzung des „Westlichen Phosphatgebietes“ der Vereinigten Staaten festgestellt worden.

#### Süd- und Mittelamerika.

Auf den westindischen Inseln Aruba und Curaçao werden jährlich etwa 1 Mill. t Rohphosphat gewonnen. Es ist möglich, daß auch in Südamerika Phosphatquellen vorhanden sind.

#### Afrika.

Die nordafrikanischen Phosphatlager sind nächst den nordamerikanischen die wichtigsten. Sie beginnen in Marokko, dessen Phosphatzone bisher noch nicht genügend bekannt ist. Östlich davon liegen die Lagerstätten von Algier, die vor dem Kriege annähernd  $\frac{1}{2}$  Mill. t lieferten und 1914 eine Reserve von 17 Mill. besaßen. Die bedeutendsten nordafrikanischen Vorkommen sind die Lagerstätten von Tunis mit einer Produktion von 2,2 Mill. t vor dem Kriege und sicher bekannter Reserve von 36 Mill. t. Auch Tripolis soll Phosphatlagerstätten enthalten, ebenso Ägypten, wo 1916 125 000 t gewonnen wurden. Man schätzt die sicheren Reserven in Nordafrika auf 153 Mill. t und eine mögliche Reserve auf 600–700 Mill. t.

Von den Inseln des Stillen und Indischen Ozeans werden folgende Produktionsvermögen und Reserven gegeben:

	Jahresproduktion t	Reserven t
Rasa-Inseln (östlich Formosa)	(1915) 50000	2,8 Mill.
Angaur-Insel	(1913) 90000	3 "
Feis-Insel	—	0,3 "
Huon-Insel (nordwestlich von Neukaledonien)	(1915) 8400	(?)
Christmas-Insel	(1912) 300000	5 (?) ,
Pleasant-Insel (Nauru)	(1910) —	12 "
Ozean-Insel	— 310000	40 "
Makatea	(1917) 114000	10 "
Gesamtproduktion etwa 0,9 Mill. t		Res. etwa 70 Mill. t <sup>9</sup>

#### Europa.

Die einstmals bedeutenden Phosphatlagerstätten in Großbritannien, Belgien, Spanien sind sämtlich fast ganz erschöpft. Das einzige Land, das in Europa noch über bedeutende Mengen verfügt, ist Rußland, dessen Phosphatlager auf 1500 Mill. t angegeben werden. Wahrscheinlich ist allerdings nur ein kleiner Teil dieser Lagerstätten augenblicklich für lohnenden Abbau geeignet.

#### Asien.

Für Sibirien werden Lager niedrigprozentiger Phosphate von etwa 7 Mill. t umfang angegeben.

Zum Schluß gibt der Verfasser einen Überblick über die Gesamtreserven. Die Phosphate werden hierbei eingeteilt in „reiche“ (60–75%, Tricalciumphosphat) und „arme“ (meist um 50%, oder darunter).

Sichere Reserven reicher Phosphate in günstig gelegenen Lagerstätten:

Florida	20 Mill. t
Westindien	3 " t
Nordafrika	53 " t
Stiller und Indischer Ozean	70 " t

Summe 146 Mill. t

entsprechend einer Dauer von 21 Jahren bei einem Weltverbrauch von 7 Mill. t (1913).

Daraus ergibt sich eine Durchschnittslebensdauer der heutigen wichtigsten Phosphatlagerstätten von 21–70 Jahren.

Reserven weniger günstiger Lage und arme Phosphate samt zahlenmäßig unsicheren Angaben:

<sup>9</sup>) Unter den verschiedenen Zahlenangaben, betreffend die Phosphatangaben auf diesen Inseln ist den Mitteilungen der U. S. A. Geol. Survey das Hauptgewicht beigelegt, da sie offenbar auf sehr nüchternen Schätzungen beruhen. Indessen sei erwähnt, daß für Angaur Schätzungen bis 6 Mill. t vorliegen, Feis bis 0,6 Mill., Ozean bis 15 Mill., Nauru angeblich bis 300 Mill., Makatea bis 30 Mill. Die Totalsumme beträgt somit maximal 360 Mill. t, eine sicherlich zu hohe Zahl. Setzt man für Nauru 100 Mill. t, entsprechend dem Material in W. A. Dyes Handbuch der Weltwirtschaftschemie, Bd. 1, 228 [1921] und behält für die anderen Inseln die obengenannten Zahlen, so erhält man als Totalvorrat etwa 130 Mill. t.

Vereinigte Staaten, westliches Phosphatgebiet (ungünstige Lage für überseeische Verschiffung, teilweise vielleicht auch ärmer als angenommen) . . . . .	6000 Mill. t
Nordafrika (Zahlenangabe sehr unsicher, Reserven aber jedenfalls sehr bedeutend) <sup>10</sup> . . . . .	500–600 " t
Rußland (größtenteils vielleicht sogar überwiegend armes Phosphat) . . . . .	1500 " t
Sibirien (sehr armes Phosphat) . . . . .	700 " t
Summe etwa 9 Milliarden t	

Es ergibt sich also, daß die bis jetzt bekannten Phosphatlagerstätten der Erde für eine Belieferung der Landwirtschaft in der weiteren Zukunft leider nicht ausreichen, jedenfalls nicht bei den bisherigen Gestehungskosten der Phosphatdüngemittel. Nach der Größenordnung ist Phosphat 10mal seltener als Kali, Kalk und Magnesia, und darin sieht der Verfasser die eigentliche Ursache des Phosphatproblems. Nach Pierrkowski würde die Auffassung von Goldschmidt, nach der diejenigen Eisenerze, welche die Hauptquellen des Thomasphosphats sind, im Laufe des 20. Jahrhunderts größtenteils aufgebraucht werden, und die vorhandenen Rohphosphatlager nur einen Durchschnitt von 21–70 Jahren haben, in mancher Hinsicht zu pessimistisch sein. Während er die Angaben für die Phosphate des Stillen und Indischen Ozeans für zutreffend hält, nimmt er größere Reserven für die nordafrikanischen Lagerstätten an, namentlich für Marokko, wo eine zuverlässige Erforschung immer noch nicht vorgenommen ist. Er rechnet mit 320 Mill. t in Nordafrika statt der 153 Mill. t von Goldschmidt (53 Mill. und 100 Mill. abbauwürdige Reserven).

In einer Entgegnung äußert sich Goldschmidt dahin, daß er es für wahrscheinlich hält, daß die marokkanischen Lagerstätten eine Bedeutung für den Weltmarkt erhalten werden, daß es trotzdem kein Zweifel unterliegt, daß die Phosphatreserven weit eher erschöpft sein werden, als die Steinkohlenreserven.

#### VI. Neue Wege im Phosphorsäurehaushalt.

Wenn man einstweilen auch noch nicht mit dem Ausweg zu rechnen hat, daß die Menschheit allein durch allgemeine Durchführung des chinesischen Prinzips gerettet werden kann, nach welchem alle phosphorsäurehaltigen Abfallstoffe, namentlich die menschlichen und tierischen Fäkalien, der Landwirtschaft wieder zugeführt werden, so ist doch eine möglichst rationale Einstellung der Phosphorsäure im Haushalt der Landwirtschaft notwendig. Auch die durch den Weltkrieg hervorgerufene wirtschaftliche Lage hat namentlich die deutsche Landwirtschaft diesen Weg geführt. Die Rohphosphatlager befinden sich ausschließlich in der Hand der Entente und der Vereinigten Staaten von Amerika. Infolge der niedrigen deutschen Valuta verteuert sich die Herstellung des auf Rohphosphate angewiesenen Superphosphats außerordentlich.

Eine besondere Beachtung haben darum die Arbeiten von Fräulein Dr. von Wrangell gefunden, die sich mit einer stärkeren Ausnutzung der im Boden vorhandenen Phosphorsäure durch die Kulturpflanzen befassen.

Ihre erste Arbeit veröffentlichte M. v. Wrangell in den landwirtschaftlichen Versuchsstationen 1920 unter der Überschrift „Ein estländisches Rohphosphat und seine Wirkung auf verschiedene Pflanzen“.

Es handelt sich hierbei um den sogenannten Obolensandstein, der an der Nordostküste Estlands vielfach zutage tritt. Es ist ein lockerer, rötlicher Sandstein, der in seinen oberen Lagen dicht gefüllt ist von Resten von Schalentieren, den sogenannten Obolenschalen. Das Rohgestein enthält etwa 20,7% Phosphorsäure, die in den abgesiebten und gereinigten Obolenschalen auf einen Gehalt von 35–36% ansteigt. Die während des Weltkrieges vorliegende, ausgesprochene Phosphorsäurennot veranlaßte Dr. v. Wrangell, mit diesem einheimischen Rohphosphat Versuche zu verschiedenen Kulturpflanzen auszuführen. Dabei ergab sich auffallenderweise, daß der Obolensandstein bei einigen Pflanzen wie das Thomasmehl wirkte.

Frl. Dr. v. Wrangell faßt das Ergebnis der Arbeit in folgenden Sätzen am Schluß zusammen:

1. Die verschiedenen Pflanzen haben ein sehr ungleiches Aufschließungs- oder Aufnahmevermögen für schwerlösliche Phosphate. Wir können in dieser Hinsicht geradezu zwei Gruppen von Pflanzen unterscheiden, von denen wir die einen als Phosphorsäureaufschließer, die anderen als Phosphorsäurezehrer bezeichnen könnten. Die erste Pflanzengruppe kann ihren Körper mit Hilfe von Rohphosphaten aufbauen und ergibt mit denselben die gleichen oder annähernd die gleichen maximalen Ernteerträge wie mit löslichen Phosphaten. Die Phosphorsäurezehrer verlangen zur Erzielung maximaler Ernteerträge lösliche Phosphate.

2. Die Aufschließung schwerlöslicher Phosphate kann durch physiologisch saure Nebendüngung aufs wirksamste unterstützt werden.

3. Die einzelnen Rohphosphate sind in bezug auf ihre Ausnutzbarkeit sehr verschieden zu verwerten. Kristalline Fluorapatite bleiben wirkungslos, Carbonatapatite, wie der Staffelit, Lahnphosphorit und der estländische Obolensandstein, werden von einzelnen Pflanzen überaus gut bewertet; speziell der Obolensandstein kann in seinem Wirkungswert unter Umständen dem Thomasmehl gleichgestellt werden

<sup>10</sup>) Als wahrscheinlich heute abbauwürdige Phosphatreserven rechnet Goldschmidt 100 Mill. t.

4. Die Anwendung dieser Beobachtungen in der Praxis, bei der Wahl der Pflanzen und Anwendung von Düngemitteln, erscheint aussichtsvoll.

Nachdem v. Wrangell die ungleiche Wirkung der Rohphosphate auf verschiedene Pflanzen festgestellt hatte, studierte sie dann den Verlauf der Phosphorsäureaufnahme bei Mais und Senf bei verschiedener Reaktion der Bodenflüssigkeit und des Bodens, und zwar bei neutraler, alkalischer, mineralisch- und organischsaurer Reaktion, zugleich wurde der Einfluß von kohlensaurem Kalk auf diese Kombinationen geprüft und die Reaktion des Bodens während der ganzen Versuchsdauer kontrolliert. Es wurde nachgewiesen, daß Mais und Senf sich den schwerlöslichen Kalkphosphaten gegenüber verschieden verhalten, indem sie der Mais nur mit Hilfe saurer Reaktion verwertet, während der Senf auch bei mehr alkalischer Reaktion die schwerlöslichen Rohphosphate zu verwerten vermag. Diese verschiedenen Fähigkeiten müssen, wie v. Wrangell einleitend ausführt, in den verschiedenen Kalkphosphatkörpern (Verhältnis von Molekülen CaO zu Molekülen  $P_2O_5$ ) in der Pflanzenasche zum Ausdruck gelangen, denn der Mais nimmt Kalk zu Phosphorsäure etwa in einem Verhältnis von 2–3 Molekülen Kalk zu 1 Molekül Phosphorsäure ( $P_2O_5$ ) auf, während der Senf bei etwa gleicher Phosphorsäureaufnahme 15 Moleküle Kalk aufnimmt. v. Wrangell folgert daraus, daß der Kalkphosphorsäurefaktor 1. einen Rückschluß gestattet auf die Fähigkeit der Pflanzen, schwerlösliche Kalkphosphate zu verwerten, 2. einen Hinweis gibt auf die Bedingungen im Boden, unter welchen die Phosphorsäureaufnahme im Boden verlief, also Bodenreaktion, Verhältnis Kalk zu Phosphorsäure, Grad der Wirksamkeit dieser Stoffe usw. Es zeigte sich in der Tat, daß bei der Wirkung verschiedener Rohphosphate bei verschiedenen Pflanzen der Kalkphosphorsäurefaktor eine Rolle spielt. Am schlechtesten werden die Kalkphosphate von den Getreidearten verwertet, besonders schlecht von Weizen, Roggen (Kalkphosphorsäurefaktor: 1,3), Gerste, etwas besser von Hafer (1,6), Mais (3). Es folgt die Kartoffel<sup>11)</sup>; etwas besser verwerten schon die Leguminosen, Bohnen, Erbsen, Wicken (etwa 7) die Kalkphosphate; gut die Kleearten (12), sehr gut die Rüben, Futter- und Zuckerrüben, ebenso Hanf (23), Tabak, Raps, Senf (15) und Buchweizen.

Es liegt die Vermutung nahe, daß die Bodenreaktion eine gleiche Rolle spielt. Bei alkalischer Reaktion muß infolgedessen die Kationenaufnahme, bei saurer Bodenreaktion die Anionenaufnahme erhöht werden. Wir können von diesem Gesichtspunkt aus den Ernährungsvorgang als einen elektrolytischen Prozeß ansehen, als ein Wechselspiel der Ionenaufnahme zugleich mit einem ständigen Wechsel der Reaktion an der Kontaktstelle, d. h. der Pflanzenwurzel. Unsere löslichen Düngegesalze wirken deshalb so stark, weil sie alle Elektrolyte, d. h. Salze aus starken Basen und starken Säuren sind; die im Boden befindlichen natürlichen Nährstoffe wirken in diesem Sinne nicht tempobeschleunigend.

Um nun einen Beweis für diese Vermutung zu bringen, wurden verschiedene Versuche ausgeführt, die dazu dienen sollten, die Energieunterschiede, die man im Verhältnis zu Kalk und Phosphorsäure durch saure oder alkalische Reaktion erhält, vorzuführen. Die Versuche wurden in Zementkästen mit 1 cbm Inhalt zu zehn verschiedenen Arten von Pflanzen ausgeführt. Die bisherigen Ergebnisse zeigten, daß im allgemeinen die bereits erkannte Tatsache bestätigt wurde, daß die Getreidearten am wenigsten säureempfindlich sind, eher sogar säureliebend, im Vergleich z. B. zum Senf.

Saure Reaktion bevorzugen resp. vertragen bis zu einer gewissen Höhe . . . Weizen, Roggen, Mais.  
Alkalische Reaktion bevorzugen resp. vertragen bis zu einer gewissen Höhe . . . Gerste, Esparsette, Lupine, Hanf, Senf.

Neutrale Reaktion verlangen resp. bevorzugen . . . Mohn, Rotklee, Wicken.  
Verhältnismäßig gleichgültig gegen Reaktionsänderungen sind . . . Hafer, Erbse, Raps, Buchweizen, Schwedenklee.

Die Beobachtung, daß die Phosphorsäureaufnahme aus Kalkphosphat in Zusammenhang mit dem Kalkgehalt des Bodens mit dem Kalkbedürfnis der Pflanzen steht, daß kalkliebende Pflanzen die Kalke in hervorragender Weise verwerten, die kalkfliehenden dies nur in unvollkommenem Grade tun, führte zu der weiteren Frage, ob die Phosphorsäure lediglich in der Hauptsache als Kalkphosphat im Boden vorhanden ist, und wie es mit den Aluminium- und Eisenphosphaten steht. Es zeigte sich dabei, daß Eisen- und Aluminiumphosphate sehr gut von den Pflanzen verwertet werden, und zwar von den Repräsentanten verschiedener Gruppen in etwa gleicher Weise. Geprüft wurden: Roggen, Hafer, Mais, Wicken, Buchweizen, Senf, Lupine. Anwesenheit von Kalk stört diese Ausnutzung gar nicht oder doch nur in geringem Grade.

Besonders interessant waren die Versuche mit Magnesiumphosphat, das schon in kleinsten Mengen in geradezu drastisch überraschender Weise wirkte und eine große Wachstumsbeschleunigung hervorrief. Ins Auge springend ist vor allem die kolossale Wirkung des Magnesiumphosphats bei den Getreidearten, bei denen es große Wachstums-

beschleunigung und sehr erhöhte Körneransatz hervorruft. Bekanntlich ist der Magnesiagehalt in den Getreidekörnern ein ganz beträchtlicher. Aschenanalysen zeigen ein deutliches Sinken des Kalkgehaltes und ein starkes Steigen des Phosphorsäuregehaltes. Daher die an Schädigung grenzende Wirkung auf kalkliebende Pflanzen bei Abwesenheit von Kalk und die außerordentlich günstige Wirkung auf Getreidearten, für die ein Zuviel an Kalk im Boden stets eine Gefahr bedeutet.

Es wird darum die Frage aufgeworfen, ob man auch andere Phosphorsäureverbindungen als das Kalkphosphat zur Düngung verwenden kann.

Die Ergebnisse von Fräulein Dr. v. Wrangell hat neuerdings einer der namhaftesten Führer der landwirtschaftlichen Betriebslehre, Prof. Dr. Aereboe, zur Grundlage eines Systems „Neue Düngerwirtschaft ohne Auslandsphosphate“<sup>12)</sup> (System Wrangell-Aereboe) gemacht, das in landwirtschaftlichen Kreisen besonderes Aufsehen erregt hat. Von betriebswirtschaftlichen Erwägungen ausgehend, fordert er, von den billigen Pflanzennährstoffen so viel anzuwenden, daß die volle Ausnutzung der teureren Nährstoffe oder des teuersten Nährstoffes auf alle Fälle sichergestellt ist. „Heute gilt es daher, durch einen erhöhten Aufwand von Stickstoff und Kali an Phosphorsäure zu sparen. Letztere muß ins Minimum gebracht werden, damit ihre höchstmögliche Ausnutzung sichergestellt wird.“ „Stickstoff-Kalidüngung an Stelle der Kali-Phosphatdüngung muß heute also die Lösung der Wiesendüngung sein. Überall gilt es also, diejenigen Pflanzen, welche sich die schwerlöslichen Bodenphosphate in erheblichem Maße aneignen können, daher selbst ein geringes oder kein Düngungsbedürfnis für Phosphorsäure haben und allen anderen Kulturpflanzen diesen Nährstoff in ihren Rückständen in relativ leichtlöslicher Form zuführen können, zu Höchstleistungen nach dieser Richtung zu bringen. Obenan steht hierbei aber die Forderung, daß man diese Pflanzen selbst nicht mit Phosphorsäure düngen, sondern ihnen tüchtig Stickstoff und Kali geben soll. Nur so zwingen wir sie, ihre Fähigkeit der Aneignung der schwerlöslichen Phosphorsäure aufs höchste zu entwickeln. Sie müssen sich mit dieser Aneignung abquälen, was sie niemals tun, wenn wir sie mit leichter löslicher Phosphorsäure düngen.“

„Die Phosphorsäuredüngung zu allen Schmetterlingsblütlern, welche vor dem Kriege richtig war, muß also heute als nicht mehr am Platz verpönt werden. Einseitige Stickstoff-Kalidüngung zu allen schmetterlingsblütigen Pflanzen ist das wesentliche Mittel der Phosphorsäuresparnis.“

Die Forderungen Aereboes haben bereits zu einer lebhaften Auseinandersetzung in der Fachpresse geführt. Die landwirtschaftliche Versuchsstation Hohenheim<sup>13)</sup> macht aus grundsätzlichen agrikulturchemischen Erwägungen Bedenken in der Richtung geltend, ob tatsächlich der Phosphorsäurevorrat des Bodens so stark ist, daß die von Aereboe erwartete Ausnutzung der Wiesen und Schmetterlingsblütlern erfolgen kann. Prof. Morgen rät daher an, erst die Bestätigung der Wrangellschen Topfversuche durch Freilandversuche abzuwarten, ehe man in diesem weitgehenden Umfange das neue System einführt.

Nicht so weitgehend wie Aereboe ist Gerlach<sup>14)</sup> hinsichtlich der Phosphorsäuredüngung, über die er auf der letzten Tagung der Düngerabteilung der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft berichtete. Er vertritt eine sparsame Wirtschaft mit Phosphorsäure, betont allerdings, daß der Raubbau mit Phosphorsäure nur eine Ausnahme bilden soll und der größere Teil der Wirtschaften genötigt sein wird, den Restbetrag an Phosphorsäure in käuflichen Düngemitteln heranzuziehen. Das alte Verhältnis ist 1 Teil Stickstoff zu 3 Teilen Phosphorsäure. Wir müssen mehr Stickstoff geben, auf leichten Böden etwa im Verhältnis von Stickstoff zu Phosphorsäure wie 1:0,8. Bei Kartoffeln, Hülsenfrüchten und Futterpflanzen dürfte ein ähnliches Verhältnis genügen. Bei Wiesen, Mooren und viehlosen Wirtschaften ist eine stärkere Phosphorsäuregabe vonnöten. Wie der Praktiker seine Phosphorsäuredüngung bemessen soll, ist abhängig von zahlreichen Faktoren der Witterung, der Art der Frucht und des verfügbaren Stallmistes.

Es ist unsinnig, allgemeine Düngungsrezepte zu erteilen. Immer wieder muß darauf hingewiesen werden, daß nur der Feldversuch in eigener Wirtschaft über das Maß der Phosphorsäuredüngung aufzuklären vermag. Neben Thomasmehl und Superphosphat lassen sich auch die erdigen Rohphosphate verwenden, vielleicht auch noch zu Senf und Cruziferen auf Mineralböden. Zu Getreide, Hackfrüchten und Hülsenfrüchten sind die Rohphosphate nicht zu verwenden. Alle bisherigen Methoden, durch Mahlung, Mischen mit Kalisalzen usw. die Rohphosphate löslicher zu machen, sind ohne Erfolg geblieben.<sup>15)</sup> So zwingt einmal die in absehbarer Zeit drohende Erschöpfung der Rohphosphatlager, zum anderen die in den valutaschwachen Ländern sich herausstellende Unmöglichkeit, die in der Hand der valutastarken Länder befindlichen Phosphatrohstoffe in genügender Menge zu erwerben, zu einer neuen weltwirtschaftlichen Einstellung und zu neuer Erörterung hinsichtlich des Phosphorsäurehaushaltes.

[A. 122.]

<sup>11)</sup> Prof. Aereboe, Neue Düngerwirtschaft ohne Auslandsphosphate. Betriebswirtschaftliche Vorträge aus dem Gebiete der Landwirtschaft. 6. Heft. Verlag Parey. Berlin 1922.

<sup>12)</sup> Württembergisches Wochenblatt für Landwirtschaft Nr. 17 vom 29. April 1922.

<sup>13)</sup> Ernährung der Pflanze, 1922, Nr. 8, S. 61.

<sup>14)</sup> Die Berechnung des Gesamt-Kalkphosphorsäurefaktors bei den Hackfrüchten ist noch nicht durchgeführt; infolge der verschiedenen Nährstoffverhältnisse im Kraut- und Knollenanteil bietet dieselbe einige Schwierigkeiten.