

würfel (Fig. 6, 7 und 8) erst hinsichtlich tieferer Zonen statthat. Entsprechend sind die Wachstumsverhältnisse für die erstgenannten Formen ungünstiger als für die letzteren. In dem Verhältnis von Würfel zu Rhombendodekaeder kommt zu Ungunsten des ersteren das größere Maß des Abstandes seiner Lagen hinzu. Unter Mitwirkung solcher Umstände werden die Würfel Flächen spärlich versorgt; sie bleiben nahe dem Ursprung und erscheinen, im Sinne der Darlegungen von F. Becke¹⁴⁾ und A. Johnsen¹⁵⁾, bei solch kleinbleibenden Zentralabständen am Kristall mit großer Flächenentwicklung.

Für den Wechsel der Steinsalz-Kristalltracht unter dem Einfluß von Lösungsgeossen¹⁶⁾ müssen, wie auch J. J. P. Valetton vermerkte, die R. Marcschen Vorstellungen in Betracht gezogen werden. In reiner Lösung zu virtuellem, starken Normalenwachstum begünstigte, also nicht am Kristall auftretende Flächen (Oktaeder und Pyramidenwürfel) werden voraussichtlich durch Adsorptionen in ihrer Normalengeschwindigkeit des Wachstums gedämpft und damit realisiert.

[A. 175.]

Die Kalisalze im Tier- und Pflanzenkörper, die Grundlage ihrer weltwirtschaftlichen Bedeutung.

Von P. KRISCHE, Berlin-Lichterfelde.

Es ist mir eine besondere Genugtuung, über die physiologische Bedeutung des Kaliums einen Beitrag für die Ehrengabe zu Heinrich Prechts 70. Lebensjahr zu liefern, da unser Altmeister der Kaliindustrie bereits in jungen Jahren dieser Frage seine Aufmerksamkeit zugewandt hat und auf Probleme hinwies, die in der letzten Zeit, wie ich noch ausführen werde, außerordentlich brennend geworden sind.

Die weltwirtschaftliche Bedeutung des Kaliums, die niemals so sichtbar zum Ausdruck kam wie während der vollständigen Umkämpfung der weltwirtschaftlichen Beziehungen während des Weltkrieges, liegt zuletzt in der physiologischen Rolle des Kaliums im Tier- und Pflanzenkörper begründet.

Obwohl wir seit nahezu 100 Jahren bereits durch die Untersuchungen von Pflanzen- und Tieraschen über den Kaligehalt beider unterrichtet sind und soviel wissen, daß die Rolle des Kaliums in beiden nicht unbedeutend ist, so ist es bisher immer noch nicht gelungen, eine deutliche und klare Erkenntnis über die physiologische Rolle des Kaliums im Tier- und Pflanzenkörper zu gewinnen.

Ich kann daher hier nur zusammenfassend berichten über die Arbeiten und Ergebnisse, welche auf diesem Gebiet bisher gezeitigt worden sind, und die Auffassungen verfolgen, die auf Grund dieser Ergebnisse vertreten wurden.

1. Die physiologische Rolle des Kaliums im Tierkörper.

a) Allgemeines. Über die physiologische Rolle des Kaliums im Tierkörper läßt sich kaum mehr sagen, als daß es durchaus notwendig für jeden normalen Daseinsprozeß organischer Wesen ist, über das einzelne dagegen ist man, abgesehen von wenigen Anläufen zur Erkenntnis, lediglich auf unbestimmte Vermutungen angewiesen. Bekennt doch O. Kellner¹⁾ in seinem grundlegenden Werke: Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere, ganz offen: „Über die Bedeutung des Kaliums in den Geweben ist nichts Sicheres bekannt.“

Jedenfalls ist das Kalium ein chemischer Bestandteil des Tierkörpers und findet sich besonders in den Zellgebilden vor, so im blutfreien Muskel, in den Nerven, den Drüsen und Blutkörperchen, auch im Fleischsaft, der Ernährungsflüssigkeit und in der Milch (als phosphorsaures Kalium). In der Muskelsubstanz ist sogar reichlich Kalium enthalten. Nach Kellner gibt 1 kg verbrannter Muskelsubstanz 8 g Asche, und darin sind 9–10% Kali. Die Asche von Ochsenblut enthält 60% Alkalien, von Schafblut 52%, von denen ein Teil als Kali nachgewiesen ist.

Aus diesen Tatsachen geht ohne weiteres hervor, daß dem Kalium bei der Ernährung und dem Stoffwechsel verschiedene wichtige Aufgaben zufallen. Gleich den anderen kohlen-sauren oder phosphorsauren Alkalien scheint das Kali zufolge seiner chemischen Eigenschaften dahin zu wirken, daß die sich im Körper bildenden Säuren leicht und rasch gebunden werden, so daß sie das Zellenleben nicht besonders beeinträchtigen und ohne störenden Einfluß auf die osmotischen Zellenvorgänge durch die Nieren ausgeschieden werden können. Solche Säuren bilden sich z. B., wenn ein Teil des Nährstoffeiweißes durch Fermente der Bauchspeicheldrüse und durch Bakterien in Stoffe zersetzt wird, die bei der Ernährung nicht weiter verwertet werden. Die bei derartigen Fäulnisvorgängen sich bildenden Stoffe sind bei den Wiederkäuern namentlich Phenol, Kresol,

Indol, Skatol usw., die sich gewöhnlich mit Schwefelsäure gepaart als Ätherschwefelsäuren an Kali und Natron gebunden im Harn vorfinden. Daß das Kalium tatsächlich ein unentbehrlicher Nährstoff ist und in beträchtlichen Mengen vom Tierkörper assimiliert wird, beweist auch die Tatsache, daß vom säugenden Jungvieh Kali neben anderen anorganischen Stoffen in den Organismus eingeführt wird. Bei einem Verzehr von 9 l Milch nimmt ein Kalb z. B. 62 g Gesamtasche auf. Von den 16 g Kali, welche in dieser Gesamtasche enthalten sind, werden 3½ g, also etwa 21% des Verzehrs an Kali, angesetzt. Wie unentbehrlich und spezifisch in seinen Funktionen das Kali ist, ergibt sich weiter aus der Tatsache, daß es nicht gelingt, den Kaligehalt der Organe durch das nahverwandte Natron zu ersetzen. Das Mischungsverhältnis der Stoffe, die an dem Aufbau der am Stoffwechselprozeß lebhaft beteiligten Organe mitwirken, ist außerordentlich konstant, besonders z. B. bei der Milchdrüse. Nun enthalten ja alle landwirtschaftlichen pflanzlichen Futterstoffe außerordentlich viel Kali, so daß man meinen sollte, es könnte auch bei knapper Fütterung nie an dem nötigen Kali fehlen. Hier ist aber zu beachten, daß der größte Teil des assimilierten Kalis lediglich als Durchgangsstoff dient und schnell wieder ausgeschieden wird, einmal, wie oben erwähnt, an Säuren gebunden, weiterhin als Chlorkalium. G. Bunge²⁾ hat schon 1873 die Vermutung ausgesprochen, daß der Kalireichtum der Pflanzen die Ursache des hohen Kochsalzbedürfnisses der Pflanzentresser sei. „Wenn nämlich ein Kalisalz, z. B. kohlensaures Kalium, in wässriger Lösung mit dem Chlornatrium zusammentrifft, so findet eine teilweise Umsetzung statt; es bildet sich Chlorkalium und kohlensaures Natron. Nun ist bekanntlich Chlornatrium der Hauptbestandteil unter den anorganischen Salzen des Blutplasmas. Wenn also Kalisalze durch Resorption der Nahrung in das Blut gelangen, so erfolgt auch dort jene Umsetzung. Es bildet sich Chlorkalium und das Natronsalz der Säure, die an das Kali gebunden war. Statt des Chlornatriums enthält das Blut jetzt ein anderes, seiner Zusammensetzung nicht angehöriges Natronsalz. Es ist ein fremder Bestandteil oder ein Überschuß eines normalen Bestandteils — z. B. kohlensaures Natron — im Blute aufgetreten. Die Niere aber hat die Funktion, die Zusammensetzung des Blutes konstant zu erhalten, also jeden abnormen Bestandteil und jeden Überschuß eines normalen auszuschleiden. Deshalb wird das gebildete Natronsalz zugleich mit dem Chlorkalium durch die Niere ausgeschieden, und das Blut ist an Chlor und Natron ärmer geworden. Dem Organismus ist also durch Zufuhr von Kalisalzen Kochsalz entzogen worden. Dieser Verlust kann nur durch Wiederersetzung von außen gedeckt werden. Es erklärt sich daraus, daß Tiere, die von kalireicher Nahrung leben, ein Bedürfnis nach Kochsalz haben.“ Andererseits geht aber daraus hervor, daß ein reichlicher Zuschuß von Kochsalz einen Kalimangel hervorrufen kann. Das kann sich unter Umständen bei der Ernährung geltend machen, denn die phosphorsäurehaltigen Albuminate, die Bildner der Muskelsubstanz, werden, wie Professor Dunkelberg in seinem sehr interessanten Buche „Die Grasweide“ angibt (Paul Parey, Berlin 1905) vom Tier nur assimiliert, wenn genügend Kalisalze in aufschließbarer Form in der Nahrung enthalten sind.

Auch beim Stoffwechsel der tätigen Muskeln spielt das Kali eine gewichtige Rolle, ist also nicht unwesentlich an der Produktion von lebendiger Kraft beteiligt. Wenn der Muskel in anhaltende Tätigkeit versetzt wird, so gerät er bald in einen Zustand geringerer Leistungsfähigkeit, er ermüdet. Die Ursache dieser Ermüdung ist in der Ansammlung von verschiedenen Umsatzprodukten zu finden, sogenannten Ermüdungsprodukten, zu denen neben Phosphorsäure, Milchsäure und Kohlensäure auch die Kalisalze gehören.

W. Mayer³⁾ führt die tierphysiologischen Versuche von Löb an, nach denen die im Pflanzen- und Tierkörper zirkulierenden Lösungen physiologisch im Gleichgewicht stehen. Eine Lösung von Chlornatrium ist z. B. für die Organismen giftig, wird aber durch Zuführung von Chlorkalium entgiftet.

Jedes Kation oder Anion für sich übt demnach eine Giftwirkung aus. Ihre Giftwirkungen heben sich gegenseitig auf und entgiften die Lösung.

b) Versuche von Urbeanu, Bukarest. Nach der Auffassung von Dr. Urbeanu⁴⁾ besteht die „wunde Seite unserer Ernährungslehre“ darin, daß sie sich einseitig auf die Beschaffung von Eiweiß, Fett und Kohlehydraten beschränkt, wobei noch die Eiweißbeschaffung übergebührlich bewertet wird, und daß sie die ebenso wichtige Beschaffung der mineralischen Nährstoffe vernachlässigt. Schon vor 30 Jahren, auf dem ersten rumänischen Kongreß für Medizin, im Jahre 1884 in Bukarest, hat Dr. Urbeanu in dem Vortrag: „Ätiologie der Pellagra, vom chemischen Standpunkt aus betrachtet“, die physiologische Notwendigkeit der mineralischen Nährstoffe im allgemeinen, der Kaliumsalze im besonderen betont, den Mangel der letzteren in der üblichen Ernährungsweise des rumänischen Bauers hervorgehoben und ihn in eine enge, kausale Verbin-

¹⁴⁾ F. Becke, Schriften des Vereins z. Verbreitung naturw. Kenntn. in Wien, 37, H. 15 [1897].

¹⁵⁾ A. Johnsen, Vortrag, Vers. d. Naturf. u. Ärzte 1910.

¹⁶⁾ Aus reiner Lösung erhält man Chlornatrium in Würfelform, in einer stark harnstoffhaltigen oder mit Formamid versetzten Lösung Kristalle mit Oktaederflächen, in glykokollführenden Lösungen solche mit Pyramidenwürfeln.

¹⁾ O. Kellner, Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere. 1. Aufl. Berlin 1905. Verlag Paul Parey. Jetzt 9. Aufl.

²⁾ G. Bunge, Zeitschr. f. Biol. 1873, 104; 1874, 110; Lehrbuch der physiol. u. pathol. Chem. 1898.

³⁾ W. Mayer, Neuere Ansichten über die Rolle des Kaliums im Pflanzen- und Tierkörper. Zeitschr. f. angew. Chem. 1921, Aufsatzteil, S. 589.

⁴⁾ Prof. Dr. Urbeanu, Die Gefahr einer an Kaliumverbindungen zu armen Ernährungsweise und ihre Beziehung zu Ernährungskrankheiten. Verlag Urban & Schwarzenberg, Berlin, 1916, broschiert M 5.

dung mit dem Auftreten der Pellagra gebracht, jenem furchtbaren Würgengel der rumänischen Kleinbauernschaft.

Auf diesem Wege ist der Verfasser in den folgenden 30 Jahren fortgeschritten und kam zu der Auffassung, daß die Kaliummenge geradezu ein Maßstab für die Beurteilung des physiologischen Wertes der Nahrung ist. In einer Tabelle, welche wir mit der Tabelle 1 wiedergeben, bringt er eine Zusammenstellung der gebräuchlichsten Nahrungsmittel, geordnet nach ihrem Kaliumgehalt. Auf Grund von Hunderten von Ernährungsversuchen stellte *Urbanu* ein physiologisches Kaliumminimum von 4 g K_2O für den Normalkostsatz von 2500 Kalorien fest und vertritt ein Kaliumweißverhältnis von 6 g K_2O auf 100 Eiweiß.

Tabelle 1.

Mittlerer prozentualer Gehalt der Asche der gebräuchlichsten Nahrungsmittel an mineralischen Nährstoffen, nach dem steigenden Verhältnis von Kaliumoxyd zur Phosphorsäure geordnet.

Art der Nahrungsmittel	Gesamt- asche	Kalium- oxyd	Phos- phor- säure	alle anderen Salze	Kalium- oxyd: Phosphor- säure
100 g	g	%	%	%	
Kartoffeln	0,98	60,0	16,9	23,1	1:0,28
Früchte (frische) . . .	0,50	46,2	14,1	39,4	1:0,24
Knollen und Wurzeln . .	0,85	33,0	16,0	51,0	1:0,50
Gemüse und Salat . . .	0,90	34,7	17,9	47,4	1:0,50
Frauenmilch	0,45	33,8	22,8	43,4	1:0,68
Hülsenfrüchte	1,10	39,0	37,0	24,0	1:0,94
Kuhmilch	0,72	24,6	26,3	49,1	1:1,06
Fleisch (Säugetiere) . .	1,30	40,0	46,0	14,0	1:1,15
Fleisch (Geflügel) . . .	1,30	30,1	35,9	33,6	1:1,18
Getreide (Weizen, Roggen)	0,50				
Gerste, Hafer, Hirse,					
Mais	bis 3,00	23,5	36,7	39,8	1:1,56
Fische (frisch)	1,30	21,3	33,8	44,9	1:1,58
Eier	0,92	19,2	38,0	42,8	1:2,00
Reis (entschält, poliert) .	0,40	19,6	47,2	33,2	1:2,40
Käse	3,00	13,3	38,4	48,3	1:2,90

In langjährigen Versuchen an Hühnern hat er nachgewiesen, daß bei ausgesprochen kaliarmer Nahrung Krankheitserscheinungen auftreten. Ausgesprochener Mangel an Kaliumverbindungen erzeugt nach diesen Versuchen nach kurzer Zeit Erscheinungen akuter Form, weniger ausgesprochener Mangel führt nach den langdauernden Versuchen *Urbanu* zu Erscheinungen chronischer Form.

Die akuten Erscheinungen stellen sich binnen kurzer Zeit nach Beginn des Versuches ein, und zwar in den ersten drei bis sechs Wochen, bestehen in Beschwerden im Gehen oder im Fliegen und führen zur Lähmung der Extremitäten. Die chronischen Erscheinungen stellen sich erst nach wenigen Monaten ein, kennzeichnen sich nicht durch Lähmungen, sondern bestehen der Hauptsache nach in krankhaften Veränderungen der Funktion der Haut, der Verdauungsorgane und des Nervensystems, sich äußerlich durch folgende Symptome kundgebend: Rötung und Schwellung der Haut am Kopf, Hals, Brust und Beinen, Ausfallen der Federn oder der Haare an diesen Teilen; Blutungen aus dem Mund, Schwellung der Zunge, Verfall der Kräfte und Tod. Hausratten geben ein Bild von Erscheinungen, welche von denen der anderen Tiere vollständig abweichen. Die Krankheitssymptome erscheinen bei Ratten viel später als bei anderen Tieren, nicht vor 10 bis 12 Monaten und zeichnen sich aus durch Jucken auf dem Kopf und Schwanz, hierauf am ganzen Körper; Kürzerwerden des Schwanzes durch Schwellung, Rötung und Abfallen des Endes; Erscheinungen von roten Flecken am ganzen Körper, von Ulcerationen auf dem nackten Schwanz und auf den Füßen; ganz zuletzt treten Darmblutungen ein. Die chronischen Erscheinungen sind von starker Entartung der Nervensubstanz bei sämtlichen Versuchstieren begleitet.

Dr. *Urbanu* kommt deshalb auf Grund seiner Versuche zu folgenden Grundsätzen über eine normale Kost:

Die Bestimmung und Feststellung der Normalkost nur auf dem Grundsatz der Eiweiß- und Kalorienmenge allein ist unzulänglich, und eine nur auf diesem Grundsatz fußende Ernährungsweise kann den physiologisch normalen Prozeß der Ernährung auf die Dauer nicht sichern. Die Berücksichtigung der mineralischen Nährstoffe im allgemeinen, der organischen Kaliumverbindungen im besonderen ist von gebieterischer Notwendigkeit, ohne deren Einhaltung die normale Beschaffenheit der Nahrung sich nicht herstellen läßt.

Sämtliche Getreidearten enthalten, selbst für den Fall einer ausschließlichen Ernährung, wohl ausreichende Mengen von Eiweiß und Kalorien, nicht aber auch von Kaliumverbindungen. Der Mangel an Kaliumverbindungen hat zur Folge, daß Brot, Mais, Hirse, weißer, nicht gedämpfter Reis usw. zur ausschließlichen oder vorherrschenden Ernährung nicht ausreichen, und daß die Mitwirkung anderer, sie ergänzender Nahrungsmittel in genügend großer Menge eine naturphysiologische Notwendigkeit ist.

Die ausschließliche oder vorherrschende Ernährung mit Volkshaltungsmitteln, wie auch mit Kostsätzen führt zu spezifischer Unterernährung, welche sich durch pathologische Erscheinungen kundgibt. Diese pathologischen Erscheinungen sind bei Tieren, je nach

Art und Dauer der Unterernährung, d. h. je nach der Größe des Mangels an organischen Kaliumverbindungen und der Art der fehlenden Kaliumverbindungen, akuter oder chronischer Form und erinnern an die Ernährungskrankheiten des Menschen: Beriberi, Skorbut, Pellagra u. a.

Das physiologische Kaliumminimum, auf die Tagesration von 2500 Wärmeeinheiten bezogen und mittels mühsamen, zeitraubenden Ernährungsversuchen an Tieren bestimmt, entspricht bei gemischter Kost 4 g Kaliumoxyd enthaltenden Kaliumverbindungen, bei vegetarischer Kost etwa 5 g.

Besonders kalireiche Nahrungsmittel, die zur Herstellung der notwendigen Kaliumaufnahme sich vorzüglich eignen, sind vor allem Kartoffeln, Früchte, Knollen und Wurzeln, Gemüse, Salat und Hülsenfrüchte. In der Gesamtasche dieser Nahrungsmittel sind nämlich enthalten folgende Prozente Kaliumoxyd: in den Kartoffeln 60,0 in den frischen Früchten 46,2, in den Knollen und Wurzeln 33,0, im Gemüse und Salat 34,7, in Hülsenfrüchten 39,0, im entschälten Reis dagegen nur 19,6, im Getreide nur 23,5.

c) Das Kalium in der Nährsalzkultur. Neuerdings ist der Münchner Arzt Dr. Greither⁵⁾ in verschiedenen Schriften für eine Nährsalzkultur eingetreten, in der er besonderen Wert auf die Wirkung des Kaliums in der Bekämpfung von Kristallauflösungen im Körpergewebe (Gicht) legt. In Übereinstimmung mit anderen Forschern, so von Professor Dr. *Albu*, weist er auf die wichtige Bedeutung der Mineralsalze für den menschlichen Körper hin, die nach *Albu* folgende Aufgaben zu leisten haben:

1. Sie sind Zell- und Gewebsbildner, sie sind am Aufbau, am Wachstum und an der Neubildung aller Gewebe des Organismus in verschiedenem Grade beteiligt.

2. Sie vermitteln die osmotische Spannung in den Zellen und Geweben, im Blut und Säften und sind dadurch indirekte Träger der Energie.

3. Sie regulieren die Reaktion des Blutes und der Gewebssäfte, sowie den Ablauf vieler Fermentwirkungen, besonders im Verdauungskanal.

4. Sie wirken als Katalysatoren für eine große Reihe chemischer Vorgänge im Organismus, sie wirken z. B. als Sauerstoffüberträger für die Oxydationen, sie erzeugen die Veränderungen der Eiweißkörper im Zellprotoplasma, die mit den Funktionen derselben untrennbar verbunden sind.

5. Sie sind die Vermittler der im lebenden Protoplasma ununterbrochen ablaufenden autochthonen Vergiftungs- und Entgiftungsprozesse, wobei sie durch ihren teilweisen Antagonismus das Gleichgewicht halten.

6. Sie vermitteln wahrscheinlich einen großen Teil der sogenannten intermediären Stoffwechselprozesse, anscheinend besonders dort, wo sie sich in den drüsigen Organen abspielen. Sie greifen allenthalben richtunggebend in die Zersetzung und Assimilation der organischen Substanzen ein.

Dr. Greither tritt unter anderm dagegen auf, daß das Kalium ein sogenanntes Herzgift sei und beruft sich auf *Bunge*, der über die Wirkung auf Tier- und Menschenkörper folgendes erfahren hat:

„Mit den Kalisalzen verhält es sich folgendermaßen. Die erregende Wirkung auf die Herztätigkeit, die *Kemmerich* beobachtet hat, war gar keine Kaliwirkung, sondern einfach dem Umstande zuzuschreiben, daß *Kemmerich* seine Versuche an Kaninchen anstellte. Die Kaninchen sind bekanntlich schreckhafte Tiere: man kann ihnen injizieren, was man will, die indifferentesten Stoffe — Zuckerlösung, Kochsalzlösung — es tritt immer eine Pulsbeschleunigung ein. Ja, es genügt das bloße Einführen der Schlundsonde, um diese Wirkung hervorzubringen. Durch zahlreiche Versuche an Hunden und Menschen habe ich mich überzeugt, daß nach Einführung von Kalisalzen in den Magen niemals auch nur die geringste Pulsbeschleunigung eintritt.“

Nach Greither ist nur das Kalium der für den menschlichen Körper geeignete Gewebsreiz, da es allein von den Alkalien einen solchen ausübt, dabei, soweit es überschüssig eingenommen wurde, leicht wieder ausgeschieden wird und sich, soweit es zum Gewebsaufbau Verwendung findet, in den gesunden Zellen einlagert.

Außer Kalium haben alle anderen bekannten Gewebsreizmittel nicht die Eigenschaft, alkalisch zu sein, während den anderen Alkalien, nämlich Kalk, Magnesia und Natrium, wieder die gewebsschädigenden Eigenschaften des Kaliums fehlen und sie auch teilweise mit den Phosphaten (NB. Kalk), deren Ausscheidung unbedingt notwendig ist, schwerlösliche Verbindungen eingehen, zu deren Lösung allzu große Mengen an Säuren notwendig sind, womit uns nicht gedient ist.

Auf Grund dieser Auffassung kommt Greither zu einer ausgesprochenen Kalikur, die in Verbindung steht mit einer eiweißarmen, fast salzlosen Trockenkost, Einnahme von sehr viel Zitronensäure und etwas doppeltkohlensaurem Natrium, Flüssigkeitseinschränkung bis aufs äußerste, Bauchschnellen, heißen Bädern und Sonnenbädern.

Nach dieser Heilkur wird zunächst für eine gründliche Ausleerung des Darmes gesorgt, dann durch Schonung der Darmschleimhaut Einschränkung der Darmfäulnis erstrebt und hierauf durch kalihaltige

⁵⁾ Dr. med. Otto Greither, Das Nährsalz Kalium als Wunderelement der Natur und seine Heilkraft und ausschlaggebende Rolle im Haushalt aller Organismen und besonders des Menschen. Dr. med. Otto Greither, Die neue Nährsalzkur mit Kieselsäure, Kalium, Natrium usw.

Nährsalztabletten die Beseitigung des im Körper befindlichen Krankheitsherdes in Angriff genommen.

d) Versuche Zwaardemakers über die radioaktive Wirkung des Kaliums und ihre Prüfung durch Zondek. Außerordentlich interessante Ergebnisse haben schließlich Versuche gezeigt, die in den letzten Jahren von dem holländischen Physiologen Professor Zwaardemaker in Utrecht veröffentlicht worden sind. Er ging von der von Campbell 1906 gemachten Entdeckung aus, daß das Kalium ständig Strahlen aussendet, wenn auch in geringerem Maße als etwa das Uranium oder Radium. Diese Versuche scheinen einen neuen Weg zu öffnen zur Erklärung der längst bekannten Tatsache, daß das Mengenverhältnis, in welchem Kalium zu anderen Salzen in den Körpergeweben und den diesen umspülenden organischen Flüssigkeiten vorhanden ist, für die Tätigkeit der Muskeln und anderer erregbarer Gebilde von allergrößter Bedeutung ist. Diese Beziehungen lassen sich direkt experimentell untersuchen, und zwar besonders bequem an den Organen kaltblütiger Tiere, welche auch nach dem Tode oder der Lostrennung vom übrigen Körper ihre Lebenseigenschaften noch längere Zeit bewahren. So kann man z. B. tagelang die Zusammenziehungen eines ausgeschnittenen Froschherzens aufzeichnen, wenn dieses Herz mit einer Salzlösung künstlich gespeist wird, die eine bestimmte Zusammensetzung haben muß. Und in dieser Zusammensetzung ist eben das Kalium unentbehrlich. Fehlt es, so stellt das Herz nach kurzer Zeit seine Tätigkeit ein. Nun hat Zwaardemaker gefunden, daß auch in einer kaliumfreien Lösung die Herzstätigkeit erhalten bleibt, wenn das Organ aus nächster Nähe mit einem radioaktiven Präparat bestrahlt wird. Man kann auch in der kaliumfreien Speiseflüssigkeit das Kalium durch andere radioaktive Salze ersetzen. Das Herz arbeitet dann ebensolange gleichmäßig weiter, als wenn die Speiseflüssigkeit das Kalium durch andere radioaktive Salze ersetzen. Zusammengesetzte Menge jener Stoffe eine ebenso große Menge Strahlungsenergie abgeben wie das Kalium.

Weitere Versuche haben dann gezeigt, daß es auch darauf ankommt, welche Stoffe man zu der kaliumfreien Lösung zusetzt, oder in welcher Mischung man sie zusetzt. Einige, die für sich allein das Kalium ersetzen, verlieren ihre Wirkung, wenn sie zusammengesetzt werden. Das beruht nach Zwaardemaker auf den verschiedenen Arten von Strahlen, welche die verschiedenen radioaktiven Stoffe aussenden. Von den nicht weit durchdringenden, nur in nächster Nähe genügend wirksamen Strahlenarten sendet das Kalium nur sogenannte Betastrahlen aus, die, wie die wohlbekannten Kathodenstrahlen, aus negativen Elektrizitätsteilchen, sogenannten Elektronen, bestehen. Das Uranium und Thorium sowie das Radium, seine Emanation und das Polonium dagegen senden sogenannte Alphastrahlen aus, die aus positiv elektrisch geladenen Teilchen des Elements Helium bestehen, in welche Atome jene radioaktiven Elemente zerfallen.

Die biologische Wirkung dieser beiden Strahlenarten hebt sich, wie die Versuche zeigten, gegenseitig auf. Diese verschiedenartige Wirkung wurde bei einer Reihe von anderen Lebensvorgängen wieder gefunden, die durch Kalium oder die anderen radioaktiven Stoffe oder durch Strahlung von außen beeinflusst werden. Als solche bewiesen sich bis jetzt die Zusammenziehung der Skelettmuskeln, die Zusammenziehung der Ringmuskeln der Blutgefäße unter der Wirkung der Gefäßnerven, die Durchlässigkeit der Blutgefäßwände und die Durchlässigkeit der Niere für bestimmte Stoffe. Endlich aber zeigte es sich, daß die Erregbarkeit des Herzmuskels und seine Beeinflussung durch die herzhemmenden Nervenfasern unter dem Einfluß elektrischer Ströme in ganz bestimmter Weise verändert wird, je nachdem ein Überfluß von Stoffen, die Alphastrahlen aussenden, oder von solchen, die Betastrahlen aussenden, in der Speiseflüssigkeit vorhanden ist.

Diese wichtigen Beobachtungen lassen nach Zwaardemaker kaum eine andere Erklärung zu, als daß es die Übertragung elektrischer Ladungen ist, und zwar positiver durch die Alphastrahlen, negativer durch die Betastrahlen, die für die „radiobiologischen“ Wirkungen maßgebend sind. Und zwar nicht nur für diejenigen, von außen wirkender Strahlen, sondern auch für die Rolle, welche die radioaktiven Stoffe im Getriebe der Lebensvorgänge spielen, nämlich das im Muskel- und Nervensystem nie fehlende Kalium und das in Spuren vielleicht allgegenwärtige Radium oder seine Zerfallsprodukte. Daß die Mineralstoffe in flüssigem Inhalt lebender Gebilde als elektrisch geladene Teilchen (Ionen) anwesend und wirksam sind, ist ja ebenso bekannt, wie daß die Lebenserscheinungen weitgehend von elektrischen Erscheinungen begleitet sind, die sich mit feinen Meßinstrumenten nachweisen und aufzeichnen lassen. Das neue Gebiet der „Radiobiologie“ gewinnt so unmittelbaren Anschluß an die „Elektrobiologie“, und es ist wohl von der gemeinschaftlichen Bearbeitung dieser Forschungsgebiete noch mancher Einblick in die Geheimnisse des Lebens zu erwarten.

Neuerdings ist vom Pharmakologischen Institut der Universität Berlin durch S. G. Zondek das Problem der Radioaktivität des Kaliums erneut untersucht worden mit dem Ergebnis einer restlosen Ablehnung der radioaktiven Erfahrungen von Zwaardemaker.

Zondek prüfte zuerst den Einfluß beliebiger Mengen von Radiumemanation auf das isolierte Froschherz, ohne irgendeine Wirkung auf die Herzfunktion festzustellen. Emanation in der Stärke von 100 bis 15000 Macheinheiten war vollkommen wirkungslos. Auch für die Uranyl-nitrate gilt dasselbe. Die Strahlenwirkung der Emanation (α -Strahlen) kann durch diejenige des im Herzen anwesenden Kaliums

(β -Strahlen) offenbar nicht aufgehoben werden, die beiderseitigen Strahlungen stehen der Menge nach in gar keinem, auch nur angenähert äquivalenten Verhältnis. Nur „äquiradioaktive“ Mengen der Strahlung aber sollten ja einander aufheben. Für das Herz andererseits soll das Ladungsvorzeichen der Strahlung ganz gleichgültig sein. Es hätte also bei dem von Zondek verwendeten Ueberschuß an α -Strahlung ganz gewiß zum mindesten zu einem Stillstand des erweiterten Herzens (diastolischer Stillstand) kommen müssen.

Zondek kommt zu folgenden Schlüssen:

1. Die Versuchsergebnisse Zwaardemakers haben sich in keinem Falle bestätigen lassen.

2. Andere, viel einfachere Versuche ergaben keinen Anhalt für die Richtigkeit der Theorie.

Zondek macht ferner auf die Schwäche der Zwaardemakerschen Theorie aufmerksam, die darin liegt, daß Caesium Kalium ersetzen kann, obwohl es nicht physikalisch radioaktiv ist.

„Zwar läßt sich noch nicht sagen, ob der geringfügigen Radioaktivität des Kaliums nicht doch noch irgendeine Bedeutung im Organismus zukommt, die wir heute noch nicht kennen. Das, glaube ich, ist aber sicher: die Kaliumwirkung, die wir kennen und von der auch Zwaardemaker ausgeht, hängt nicht mit der Radioaktivität zusammen. Meiner Meinung nach ist jeder Versuch, die Kaliumwirkung unabhängig von der Wirkung der anderen Kationen (Na und Ca) zu erklären, verfehlt. Im tierischen Organismus, so besonders im Herzen, bilden Natrium, Kalium und Calcium eine physiologische Einheit. Zwischen ihnen besteht ein weitgehendes Abhängigkeitsverhältnis. Die Wirkung des einen hängt untrennbar mit der des anderen zusammen. Ihrer Wirkungsart können wir nur dann näher kommen, wenn wir für sie eine gemeinsame Grundlage finden.“

Abschließend läßt sich über die bisherigen Untersuchungen hinsichtlich der physiologischen Bedeutung des Kaliums im Tierkörper nur so viel sagen, daß selbst über die Frage, ob dem Kalium eine spezifische Wirkung zukommt, die Ansichten heute noch nicht geklärt sind.

Ähnlich liegt es, wie wir sehen werden, bei den bisherigen Versuchen über die physiologische Rolle des Kaliums im Pflanzenkörper.

2. Die physiologische Rolle des Kaliums im Pflanzenkörper.

a) Allgemeines. Wie W. Mayer⁶⁾ hervorhebt, steht von den mineralischen Bestandteilen des Samens das Kali obenan, da es rund $\frac{1}{4}$ — $\frac{3}{4}$ der Gesamtasche ausmacht. Er stellt eine konstante Größe für die betreffenden Pflanzenarten dar und läßt sich durch Kalidüngung oder durch einen natürlichen hohen Kaligehalt des Bodens nur sehr wenig beeinflussen. Bei den Aschenbestandteilen anderer Pflanzenteile, z. B. der Blätter, ist dies durchaus nicht der Fall. Fand doch Mayer bei seinen Untersuchungen von Tabakblättern in der Versuchstation des amerikanischen Tabaktrustes auf Porto Rico, daß der Kaligehalt der Blätter um 300% schwankte, während der des Samens derselben Pflanze nur Schwankungen bis 25% aufwies.

Neben dem Samen, der die Reservestoffe für den ersten Aufbau der Pflanze enthält, zeigen auch die unterirdischen Reservestoffbehälter der Pflanze, wie Knollen, Rhizome, einen hohen Kaligehalt von $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ der Gesamtasche. Bei den Stengelteilen wurde von verschiedenen Forschern ein Höchstgehalt an Kali während der Periode der stärksten Wachstumsenergie festgestellt. Auch bei den Stämmen der Holzarten ist im Splintholz, das vorwiegend den Lebensfunktionen gewidmet ist, der Kaligehalt höher als in den anderen Stammteilen, ebenso im Gipfel- und Astholz. Auch der Kaligehalt der Blätter ist sehr hoch, selten unter ein Drittel der Reinasche und steigt bis zu zwei Drittel.

Diese Untersuchungen bestätigen die von Liebig zuerst vertretene Auffassung, daß das Kali hauptsächlich vorkommt, wo Kohlehydrate in großen Mengen gebildet oder umgebildet werden (wie Liebig sich ausdrückt: „Das Kali ist mit den Kohlehydraten vergesellschaftet“.) Bestätigt wurde diese Auffassung durch die neueren Kostproben, die auf Veranlassung der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft, des Vereins der Konservenfabrikanten und der Düngerkorporationen von aus Düngungsversuchen stammenden landwirtschaftlichen Produkten angestellt wurden. Die aus dem Teilstück ohne Kali stammenden Früchte erwiesen sich im Geschmack als wenig süß und nüchtern. Bei den Weintrauben ließ sich direkt ein Zusammenhang zwischen dem Zuckergehalt und der Höhe des Kaligehaltes feststellen. Eine Steigerung des Zuckergehaltes zeigte sich namentlich bei den Versuchen zu Süßfrüchten, Apfelsinen und Ananas. Bei den Tabakpflanzen gelang es, den Gehalt an apfel-, wein- und zitronensaurem Kali durch Zuführung von Kalisalzen auf das Doppelte und Dreifache zu erhöhen und damit die Brennbarkeit, das sogenannte Leben, des Tabaks wesentlich zu erhöhen. Man nimmt daher an, daß das Kali im Pflanzenorganismus am Transport der sich bildenden organischen Säure beteiligt ist.

Sekens der Physiologen sind folgende Auffassungen über die Funktion des Kaliums im Pflanzenkörper vertreten worden⁷⁾:

Das Kalium kommt in erster Linie in jugendlichen Organen vor, ferner auch im Verband mit ruhenden und wandernden Reservestoffen. Daher bringen es Liebig und Nobbe mit der Translokation der Kohlehydrate in Verbindung, und Nobbe beobachtete speziell, daß

⁶⁾ W. Mayer: Neuere Ansichten über die Rolle des Kaliums im Pflanzen- und Tierkörper. Zeitschr. f. angew. Chemie 1921. Aufsatzteil, S. 589.

⁷⁾ R. Thiele: Über unsere Kenntnisse von der Wirkung des Kalis bei der Ernährung der Pflanze. Ernährung der Pflanze 1907, S. 88.

z. B. Buchweizenpflanzen die Stärke aus den Blättern nicht entleeren, wenn kein Kali vorhanden ist.

De Vries nimmt an, daß es die Aufgabe des Kalis sei, die Turgorkraft in den Zellen zu erhöhen, weswegen es seinen Hauptsitz in den wachsenden Organen habe.

Bokorny findet, daß zwischen dem Kali und der Kohlensäure-assimilation eine bestimmte Beziehung besteht, und hält es nicht für unwahrscheinlich, daß das Kali einen Bestandteil des assimilierenden Protoplasten bildet.

Löw meint, daß die Kalisalze in der Pflanze einen kondensierenden Einfluß ausüben. Bei der Bildung der Stärkekörner, der Fette und der Proteide fänden demnach chemische Kondensationsvorgänge statt, bei welchen ein Kaliumproteinkörper eine aktive Rolle spiele.

Baumann glaubt, daß der Transport der Kohlehydrate an das Kali gebunden ist, daß daher kaliarme Pflanzen weniger Wärme erzeugen. Diese werden demnach leichter erfrieren, als solche, die mehr Kohlehydrate besitzen, die also eine größere Wärmemenge produzieren. Wenngleich diese Hypothese mehrfachen Angriffen ausgesetzt gewesen ist, so verdient sie doch insofern Berücksichtigung, als wir wissen, daß die Gefrierpunkte sowohl von Zucker-, als auch von Salzlösungen proportional der Konzentration sinken, daß also ein Erfrieren um so weniger statthaben wird, je konzentrierter die Lösungen in den Pflanzen sind.

Aus den hier angeführten Meinungen geht deutlich hervor, daß man über die physiologische Wirkung des Kalis in der Pflanze noch wenig orientiert ist, und daß es jedenfalls noch erster Forschung bedarf, ehe diese wichtige Frage endgültig gelöst sein wird.

Da man, wie oben erwähnt, festgestellt hat, daß das Kali in den jugendlichen oder in den wachsenden Organen vorkommt, so lag es nahe, zu prüfen, ob durch dasselbe bei jenen Geweben eine Veränderung nach der einen oder der anderen Seite eintritt.

Tacke beobachtete denn auch, daß durch Mangel an Kali eine auffallende Schlafheit und geringe Widerstandsfähigkeit der Getreidehalme eintritt.

Schneidewind⁸⁾ stellt unter Hinweis auf die Versuche von Hellriegel und Willfahrt, nach denen die Produktion von Kohlehydraten bei Zuckerrüben, Kartoffeln und Gräsern ganz von den verfügbaren Mengen an Kali abhängig ist, fest: Aus solchen Versuchen und aus der Tatsache, daß diejenigen Pflanzen, welche viel Kohlehydrate produzieren, auch größere Kalimengen aufnehmen, schließt man, daß das Kali bei der Produktion, Translokation und der Niederlegung der Kohlehydrate eine wichtige Rolle spielt. Das Kali steht demnach zu den Kohlehydraten in ähnlicher Beziehung wie die Phosphorsäure zum Eiweiß.

Seit langem ist die Frage erörtert, ob dem Kalium eine besondere Rolle in der Pflanzenernährung zukommt, die durch dem Kalium verwandte Elemente, wie das Natrium, nicht ersetzt werden kann. Adolf Mayer⁹⁾ weist auf die Tatsache hin, daß Natrium im Boden wohl in derselben Menge vorkommt wie Kali, trotzdem aber mit Ausnahme der Salzpflanzen (Halophyten) in der Pflanze gegenüber dem Kali ganz zurücktritt. Von den Kulturgewächsen erwies sich bei den langjährigen Düngungsversuchen nur die Futterrübe als ausgesprochen natriumbedürftig.

Im allgemeinen zeigte sich, daß das Chlornatrium dann eine günstige Wirkung auf die Pflanzenernährung aufweist, wenn es gemeinsam mit Kali gereicht wird. Die Frage, ob es in Verbindung mit Kalium einen Teil von dessen physiologischen Leistungen zu vollbringen vermag, wird von Maercker¹⁰⁾ als unentschieden hingestellt. („Namentlich wenn nicht genügend Kali zur Verfügung steht, vermag das Natron die Entwicklung der Pflanze günstig zu beeinflussen, wobei dahingestellt sei, ob es tatsächlich auch dieselben physiologischen Leistungen wie das Kali zu vollbringen imstande ist.“)

Während Wagner¹¹⁾, Gerlach¹²⁾, Schneidewind¹³⁾, Stutzer¹⁴⁾ und Briem¹⁵⁾ die Ansicht vertreten, daß Natrium unter Umständen als direkter Pflanzennährstoff in Betracht kommt und dabei das Kalium z. T., wenn auch nicht in seiner wichtigsten Funktion (Assimilation) ersetzen könne, vertritt Stahl-Schröder¹⁶⁾ nur eine indirekte Wirkung des Natriums dadurch, daß es das Kalium im Boden aus zeolithischen Verbindungen freimacht. Nach ihm kann Natrium nur zur Befreiung des unentbehrlichen Aschebedarfs der Pflanze bei starkem Natron- und knappem Kaligehalt des Bodens dazu führen, daß in der Asche größere Natronmengen als Ersatz des fehlenden Kalis vorhanden sind. Sonst vermöge das Natron keine pflanzenphysiologische Funktion des Kaliums zu übernehmen. Insbesondere wurde durch Krüger der Nachweis geliefert, daß das Natrium das Kali in den Pflanzen nicht ersetzen kann. Die von ihm zu Zuckerrüben ausgeführten Versuche zeigen, daß Kali unbedingt zur

Ausbildung zu Zucker nötig ist, und ³ das Kochsalz das Kali in dieser Rolle nicht vertreten kann.

Neuerdings sind auf Veranlassung des Deutschen Kalisyndikats Untersuchungen über die physiologische Bedeutung des Kaliums erneut durch die Biologische Reichsanstalt Dahlem aufgenommen worden, und es liegt bereits eine erste Veröffentlichung von Dr. von Brehmer¹⁷⁾ vor.

Während die früheren anatomischen Untersuchungen am Getreidehalm ausgeführt wurden, befaßten sich die Dahlemer Untersuchungen mit einer ausgesprochenen Kalipflanze, d. h. einer Pflanze mit hohem Kalibedürfnis, der Kartoffel.

b) Versuche von Stoklasa-Prag. Langjährige Untersuchungen über die physiologische Bedeutung des Kaliums wurden weiterhin von Professor Stoklasa-Prag¹⁸⁾ unternommen, namentlich über die Bedeutung des Kalis bei der Bildung der Kohlehydrate, so namentlich bei der Zuckersynthese. Schon im Jahre 1912 veröffentlichte Professor Stoklasa eine Arbeit „Ist das Kali an dem Auf- und Abbau der Kohlehydrate der höheren Pflanzen beteiligt?“, und 1916 hat der gleiche Forscher in einer umfangreichen Veröffentlichung „Beiträge zur Kenntnis der Ernährung der Zuckerrübe“, „Physiologische Bedeutung des Kalium-Ions im Organismus der Zuckerrübe“, seine langjährigen Arbeiten über diese Frage zusammengefaßt. Mit Hilfe der ultravioletten Strahlen war es Stoklasa zum ersten Male gelungen, auf künstlichem Wege aus anorganischen Bestandteilen, Kohlensäure und Wasser, unter Beiwirkung von Kali (KOH), Zucker künstlich herzustellen. Aus diesen Versuchen geht hervor, daß das Kali vor allem bei der Bildung der Kohlehydrate und bei dem Säfteaufstieg (Turgeszenz) sowie bei allen mit ihm zusammenhängenden Erscheinungen eine bedeutende Rolle spielt. Nach Stoklasa ist das Kali auch bei der Bildung von Chlorophyll maßgebend, d. h. bei der Bildung des Pflanzengrüns, jener wunderbaren chemischen Verbindung, die bei der Bildung von Stärke in den Pflanzen eine Rolle spielt.

Neben Stoklasa hat Professor Willstätter neuerdings das Chlorophyll untersucht und die chemische Zusammensetzung als die einer Magnesiumverbindung ermittelt.

Im Gegensatz zu Stoklasa hält darum Willstätter das Magnesium für den bei der Chlorophyllbildung maßgebenden mineralischen Anteil. Nach den Versuchen von Stoklasa ist das Kali nicht nur beim Aufbau, sondern auch beim Abbau der Kohlehydrate bei höheren Pflanzen, also bei der Mechanik der physiologischen Verbrennung — dem Betriebsstoffwechsel — maßgebend beteiligt. Nach seinen Versuchen atmen nämlich kalireiche Kartoffelknollen und Zuckerrübenwurzeln innerhalb der gleichen Zeit und Temperatur mehr Kohlensäure aus als kaliärmere Zuckerrübenwurzeln und Kartoffelknollen. Auch bei Versuchen mit Karotten und Tomaten war jedesmal bei Kaliarmut des Pflanzenorganismus eine schwächere Atmung zu konstatieren. Bei sämtlichen Versuchen in der Verfolgung des Atmungsprozesses konnte Stoklasa die Beobachtung machen, daß diejenigen Pflanzenorgane, welche kalireich sind, eine viel energiereichere Kohlensäureatmung aufweisen, als die kaliarmen. Nach Auffassung von Stoklasa verläuft die photosynthetische Assimilation der Kohlensäure in der chlorophyllhaltigen Zelle, welche eigentlich ein fundamentaler Vorgang bei der Ernährung der Pflanze ist, in der Weise, daß die Kohlensäure, die durch die Spaltöffnungen dringt, von der chlorophyllhaltigen Zelle sofort absorbiert und das vorhandene Kaliumcarbonat in Kaliumbicarbonat umgewandelt wird. Das Kaliumbicarbonat gelangt dann in das Protoplasma der Gewebelemente. Die Reduktion des Kaliumbicarbonats, das in seiner Entstehung begriffen ist, wird durch die Lichtenergie bewirkt. Der Mechanismus dieser photochemischen Reaktion geht in der chlorophyllhaltigen Zelle so vor sich, daß aus Kaliumbicarbonat unter Einwirkung von Licht Ameisensäure, Sauerstoff und Kaliumcarbonat entsteht. Die Ameisensäure zersetzt sich dann weiter in Formaldehyd und Sauerstoff. Der Formaldehyd kondensiert sich bei Gegenwart von Kali zu Hexosen. Das frei entstandene Kaliumcarbonat geht unter Einwirkung von Kohlendioxyd und Wasser in Bicarbonat über, und dieses wird durch den Einfluß des Lichtes weiter zersetzt. Es ist dies also eine zuständige Zirkulation, wo Kali als Katalysator beteiligt ist.

Der gebildete Formaldehyd kondensiert sich bei Gegenwart von Kali zu Kohlehydraten.

Diesen Untersuchungen gemäß ist das Kalium für die Oxydationsprozesse in der Pflanzenzelle von hoher Wichtigkeit. Daß die fermentativen Prozesse des Kohlehydratstoffwechsels in der lebenden Zelle unter Beeinflussung der katalytischen Metallwirkungen vor sich gehen können, wurde in neuester Zeit durch vielfache Experimente nachgewiesen. In Übereinstimmung mit Weevers stellte Stoklasa weiter fest, daß das Kaliumion auch an der Eiweißsynthese beteiligt ist. Diese Theorie wird namentlich durch die neueren Ergebnisse der Kolloidchemie gestützt. Die Vorgänge im Pflanzen- und Tierkörper sind wesentlich kolloidchemischer Natur. Da die stickstoff- und phosphorhaltigen Salze bei der Eiweißsynthese als Pflanzensubstanz festgelegt werden, während die Kalk- und Magnesiumsalze nicht löslich sind, so bleibt als einziges, stets wasserlösliches Element das

⁸⁾ W. Schneidewind, Die Ernährung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Verlag Paul Parey, Berlin 1915.

⁹⁾ Adolf Mayer, Die Ernährung der grünen Pflanzen. 2. Aufl. 1920.

¹⁰⁾ Maercker, Kalisalze. Deutsche Landw. Gesellsch. Berlin 1909.

¹¹⁾ Arbeiten der D. L. G. Heft 96. Die Stickstoffdüngung der landw. Kulturpflanzen.

¹²⁾ Arbeiten der D. L. G. Heft 67.

¹³⁾ Die Kalidüngung.

¹⁴⁾ Arbeiten der D. L. G. Heft 258. D. Landw. Presse 1914, Nr. 97.

¹⁵⁾ D. Landw. Presse 1912, Nr. 31.

¹⁶⁾ Journal f. Landw. Bd. 47.

¹⁷⁾ Bericht der Biologischen Reichsanstalt 1920. „Der Einfluß des Kalis auf den inneren Bau der Kartoffelpflanze.“

¹⁸⁾ P. Krische, Neuere Untersuchungen über die physiologische Bedeutung des Kaliums. Ernährung der Pflanze 1919, S. 75.

Kalium. Auch Stoklasa hat den Einfluß des Kalis bei der Eiweißsynthese untersucht und kommt zu folgendem Schluß:

In kohlenstoffreicher Atmosphäre findet unter Mitwirkung der Sonnenenergie bei Gegenwart von Kohlehydraten bei An- und Abwesenheit des Kaliums die Bildung von Eiweißmolekülen statt. Bei großem Vorrat von organischen Verbindungen in der Pflanzenzelle kann der Aufbau der Eiweißstoffe auch ohne Kali unter Einwirkung der Sonnenenergie vor sich gehen, aber auch ohne Anwesenheit von Licht vollzieht sich der Vorgang der Eiweißbildung, wenn nur genügend geeignete Kohlenstoffquellen und außer dem Kalium alle anorganischen Nährstoffe in der Zelle vertreten sind. Ohne Kalium und bei Abwesenheit von Licht kann der Prozeß der Synthese der Eiweißstoffe nicht verlaufen.

c) Arbeiten des Forschungsinstitutes für Kartoffelbau an der Biologischen Reichsanstalt Berlin-Dahlem. (Dr. v. Brehmer.) Neuerdings ist auf Veranlassung des Deutschen Kalisyndikats das Forschungsinstitut für Kartoffelbau an grundlegende Untersuchungen über die physiologische Rolle des Kaliums im Pflanzenkörper herangegangen. Während die früheren anatomischen Untersuchungen sich mit Getreidearten befaßten, liegt hier eine Untersuchung über die Rolle des Kaliums bei einer ausgesprochenen Kalipflanze, d. h. einer Pflanze mit hohem Kalibedürfnis vor. (Kartoffel.)

Während man früher das Kalium mehr mit der Erzeugung der Kohlehydrate in Verbindung brachte und Stoklasa auch auf diesem Standpunkt steht, folgert v. Brehmer aus Einzelergebnissen von Aschenanalysen, nach denen die eiweißreichen Pflanzenteile, so die Samen und gleichwertige Organe, verhältnismäßig mehr an Kali enthalten als die Holzteile, daß das Kali irgendwie in Verbindung mit den stickstoffhaltigen Lebens- oder Reservestoffen steht.

Bei den v. Brehmerschen Untersuchungen handelt es sich einmal um mikrochemische Untersuchungen und um quantitative Bestimmungen, so um die Anteile an Kalium in den einzelnen Zellgeweben. Solche mikrochemischen Nachforschungen, welche den Kaligehalt der verschiedenen Zellteile der Pflanzen mit dem Mikroskop erkennen ließen, wurden zuerst von Weevers ausgeführt, der u. a. feststellte, daß im Zellkern, den Chromatophoren, dem Chlorophyll kein Kali nachweisbar ist, in den Vakuolen jedoch reichlich, in den Vegetationspunkten, dem Speichergewebe, dem Siebteil Kali in sehr großen Mengen vorhanden ist, ebenso in den lebenden Zellen des sekundären Holzes, im Cambium und in den Pollenkörnern. Für die Pollenkörner gilt die Einschränkung, daß bei bestimmten Pollen, wie z. B. bei Tulpen und Crocus, bisher kein Kali nachgewiesen werden konnte.

Nach den bisherigen Arbeiten läßt sich unter anderm feststellen, daß:

1. Kali in engster Beziehung zu der Lebensfähigkeit der Zellen steht.
2. Kali von Einfluß auf die Wachstumsenergie lebender Zellen ist.
3. Kali nur auf diejenigen lebenden Zellen von Einwirkung ist, welche durch starke Teilungsfähigkeit dem Aufbau der Pflanze oder deren Fortpflanzung dienen.
4. Kali bei der Leitung und Speicherung der gebildeten Assimilationsprodukte indirekt oder vielleicht auch direkt beteiligt ist.
5. Ein Zellwachstum bestimmter Gewebe auch ohne oder wenigstens mit sehr geringen Mengen Kali vor sich gehen kann.

Der letzte Punkt folgert aus der Tatsache, daß der Pollen gewisser Pflanzen kein Kali enthält, trotzdem der Pollen aus eigener Wachstumsenergie heraus in der Lage ist, den Pollenschlauch zu bilden.

Besonders auffallend ist, daß das Pollenschlauchwachstum bei bestimmten Pflanzen ohne Beteiligung des Kalis stattfinden kann. Da dies Wachstum ohne Eiweißsynthese stattfindet, zieht v. Brehmer daraus den Schluß, daß Kali auf diejenigen Pflanzenteile von besonderer Einwirkung ist, deren Lebenstätigkeit mit Eiweißbildung Hand in Hand geht, also, daß Kali in direkter Beziehung zum Eiweiß steht, und daß die durch die Kalieinwirkungen bedingten Wachstumssteigerungen lebender Zellen erst die Folgeerscheinungen der Beeinflussung des Eiweißes durch das Kali sind.

Durch die mikrochemischen Kaliuntersuchungen suchte v. Brehmer folgendes festzustellen:

1. In welchen Zellen ist Kali zu finden?
2. Erleiden die kalihaltigen Zellen eine Wachstumssteigerung?
3. In welcher Beziehung steht das Kali zum Eiweiß?
4. Hat das Kali einen Einfluß auf die Bildung anderer Kohlehydrate?

Die letzte Frage ist eine Folge der Beobachtung von Liebig, daß Gewächse, die reich an Kohlehydraten sind, sich auch durch großen Kaligehalt auszeichnen.

Die Versuche ergaben bisher, daß tatsächlich durch eine Kaligabe die ohne Kali schwach ausgebildeten Gefäßbündelgruppen gekräftigt wurden. Jedenfalls geht schon aus diesen Untersuchungen hervor, daß bei starker Kalidüngung die lebenden Gewebe der Kartoffelpflanzen, und zwar namentlich diejenigen, welche den Aufbau der Pflanze bewerkstelligen und für die Leitung der gebildeten Stoffe in Frage kommen, eine Steigerung der Wachstumsenergie zeigen.

Die Teilungsenergie der Zellen und die Leitungsenergie für die gebildeten Stoffe steht in direkter Beziehung zum Zellprotoplasma, dem Lebensgrundstoff aller lebenden Zellen. Da bei diesem das Eiweiß der maßgebende Bestandteil ist, so schließt von Brehmer, daß die durch Kalizufuhr begünstigte Zellteilung eine Folgeerscheinung der Einwirkung des Kalis auf Eiweiß ist.

Es steht die Konzentration der Kalilösung offenbar in direkter Beziehung zu dem Zustand des Eiweißes, und eine bestimmte Konzentration an Kali ist nötig, um das Zellprotoplasma und damit das Eiweiß in den für das Wachstum günstigen Zustand zu bringen. Es folgt ferner, daß das Kali zur Gesunderhaltung des Eiweißes wesentlich beiträgt. Weiter folgt aus den Versuchen, daß sehr starker Kalizusatz das Eiweiß als Kristalloid ausfällt, wodurch die Wachstumsenergie der Zellen wiederum herabgemindert wird (es muß bei sehr starker Kalidüngung demnach dafür gesorgt werden, daß genügend Feuchtigkeit vorhanden ist, um die Kalikonzentration nicht zu stark werden zu lassen). Die erhöhte Teilungsfähigkeit der Zellen und die Fähigkeit, reichlich Cellulosewände bilden zu können, steht also in direkter Beziehung zu dem Zustande der Lebensfähigkeit des Protoplasmas (Eiweiß) und ist wiederum abhängig von der Menge und dem Konzentrationsgrad, der die Lebenstätigkeit des Eiweißes stützenden Alkalisalze.

Von Brehmer äußert sich darum am Schluß folgendermaßen:

Wir sehen also in dem Zusammenwirken des Kalis mit dem Eiweiß die „Pointe der Stoffwechselfrage“ bei der Kartoffelpflanze. Die Kartoffel ist kaliliebend. Für sie bedeutet eben das Kali das gleiche wie z. B. das Natrium, der Kalk usw. für andere Kulturpflanzen. Daß nicht bloß dem Kali allein diese hochwertige Einwirkung auf das Eiweiß zukommt, sondern auch einer Reihe anderer anorganischer Stoffe für den gesamten Wechsel der Pflanze in Frage kommen, versteht sich von selbst.

3. Schlußfolgerung.

Aus der hier gegebenen kurzen Übersicht geht so viel hervor, daß die Frage, ob überhaupt eine spezifische Wirkung des Kaliums anzunehmen ist, noch umstritten ist, obwohl langjährige Erfahrungen und Düngungsversuche nachgewiesen haben, daß das Kalium von dem Natrium in der Düngung nicht ersetzt werden kann.

Während die Frage der Ursache der physiologischen Rolle des Kaliums noch dunkel ist, herrscht darüber vollständige Klarheit, daß das Kalium, sowohl im Tier- und im Pflanzenkörper zu den maßgebenden und unentbehrlichen mineralischen Bestandteilen gehört und durch sein Fehlen das organische Leben aufs stärkste beeinträchtigt.

Darauf beruht die weltwirtschaftliche Bedeutung des Kaliums, die mit der Zunahme eines intensiven landwirtschaftlichen Betriebes in den letzten Jahrzehnten außerordentlich zugenommen hat. Nicht nur die Industrie, wie vielfach irrtümlich angenommen, auch die Landwirtschaft hat einen in der bisherigen Wirtschaftsgeschichte noch nicht dagewesenen Aufstieg in der Intensivierung ihrer Produktionskräfte genommen. Nach einer Zusammenstellung von Professor Dade war von 1885—1910 folgende Zunahme der landwirtschaftlichen Produktion in Deutschland auf der Flächeneinheit festzustellen:

Periode	Roggen	Weizen	Gerste	Kartoffeln	Hafer	Wiesenheu
pro ha	pro ha	pro ha	pro ha	pro ha	pro ha	pro ha
dz	dz	dz	dz	dz	dz	dz
1885/86—1889/90	11,8	15,1	15,0	101,7	14,1	32,7
1890/91—1894/95	13,1	16,3	16,4	105,3	14,5	33,2
1895/96—1899/1900	14,2	17,7	16,6	116,5	15,8	40,6
1900/01—1904/05	15,4	19,0	18,5	129,9	17,2	40,2
1905/06—1909/10	16,7	19,9	19,5	139,0	19,2	43,4

Nach dem von den Vereinigten Staaten eingeholten Gutachten der europäischen Agrikulturchemiker beruht diese landwirtschaftliche Produktionszunahme zu 50% in der Anwendung künstlicher Düngemittel. Diese sind eine charakteristische produktive Kraft des intensiven landwirtschaftlichen Betriebes. Nicht nur in Europa, sondern auch in der subtropischen und tropischen Agrikultur ist eine deutliche Entwicklung zur Intensivierung der Betriebsform an Stelle früherer extensiver Betriebsart unter Hinzuziehung neuer jungfräulicher Bodenflächen zu beobachten. Je mehr die Nachwehen des Weltkrieges überwunden werden, wird die durch den Krieg unterbrochene Entwicklung der landwirtschaftlichen Intensivierung erheblich fortschreiten, und damit die weltwirtschaftliche Bedeutung des Kaliums beträchtlich steigern. Mit der Kalidüngung einher geht stets die Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff und Phosphorsäure.

Das Stickstoffproblem, das um 1900 wegen der absehbaren Erschöpfung der chilenischen Salpeterlager bedrohlich wurde, ist durch die Luftstickstoffindustrie überwunden. Es ist, wie schon eingangs bemerkt, von Heinrich Precht in seiner Schrift „Die norddeutsche Kaliindustrie“ darauf hingewiesen worden, daß einmal das Phosphorsäureproblem brennend werden wird, weil Phosphorsäure nicht in derartigen Mengen in den vorhandenen Lagerstätten zur Verfügung steht wie Stickstoff und Kali. Die Voraussicht von Heinrich Precht ist eingetreten. Heute muß sich die Kaliindustrie schon im eigenen Interesse mit der künftigen Regelung des Phosphorsäureproblems befassen.