

n' und n' sind. Die engste Bahn ist auch die energieärteste, für sie ist die Ablösungsarbeit am größten, sie ist die Grundbahn, die das Atom im unangeregten Normalzustand hat, für die n = 1 ist. Der so berechnete Bahnenradius ist nun gleich dem *gaskinetischen Atomdurchmesser*. Dies ist immerhin eine bemerkenswerte Übereinstimmung.

Ferner: wenn man das Elektron entfernt, so hat man das Atom ionisiert, denn es ist nur noch der positive Kern übriggeblieben. Die Abtrennungsarbeit aus den Bahnen, also auch aus der Grundbahn ist nun bekannt und so muß sich aus rein spektroskopischen Daten die Ionisierungsarbeit ergeben. Auch hier konnte Bohr auf die Übereinstimmung mit der Erfahrung hinweisen.

Weiterhin gelang es Bohr auf Grund seiner Theorie die Rydberg-Konstante aus rein elektrischen Daten zu berechnen unter Zuhilfenahme einer sehr naheliegenden und, wie sich später ergab, sehr fruchtbaren Zusatzannahme. Das dritte Kepler'sche Gesetz besagt, daß sich die Quadrate der Umlaufzeiten umgekehrt proportional zu den Kuben der großen Achsen verhalten $\omega^2 = \frac{k}{r^3}$. Dieses Gesetz kann auch auf die stationären Bahnen im Atom angewendet werden, also, da die Radien proportional sind den Quadraten der Termnummern,

$$\omega^2 = \frac{k^2}{(n^3)^3}, \quad \omega = \frac{k}{n^3}.$$

Würde also das Elektron, wie es klassig notwendig wäre, in derselben Frequenz ausstrahlen, in der es umläuft, so müßten auch die ausgestrahlten Frequenzen der dritten Potenz der Termnummer umgekehrt proportional sein. Anderseits ergibt sich auch aus dem Bohrschen Atommodell, daß die Frequenzen, die ausgestrahlt werden, wenn das Elektron von der n-ten auf die n-1-te Bahn übergeht, sich bei hohen Termnummern demselben Gesetz nähern, und zwar um so besser, je höher die Quantenzahlen oder Termnummern werden. Diese Korrespondenz zwischen der Bohrschen und der klassischen Theorie ist nicht so erstaunlich, wie es auf den ersten Blick scheint. Denn die Quantentheorie, auf die sich ja die Bohrsche Theorie stützt, besagt doch, daß die Quanten der Schwingungszahl proportional sind. Sie werden also um so kleiner, je kleiner die Schwingungszahlen werden; und je kleiner die Quanten sind, um so kontinuierlicher wird der Emissionsvorgang und um so mehr werden deshalb die klassischen Gesetze erfüllt sein. Für sehr kleine Schwingungszahlen geht also die Quantentheorie in die klassische Theorie über. Diese Analogie und Proportionalität veranlaßte nun Bohr, für den Grenzwert sehr kleiner Frequenzen (oder was dasselbe ist, sehr großer Termnummern) die Umlaufzahlen direkt den quantenmäßig zu erwartenden Frequenzen gleich zu setzen. Dadurch bekam er eine neue Gleichung zwischen Bahnenradius und Rydberg-Konstante und konnte diese nun aus den bekannten Größen e, m und h berechnen und erhielt sie vollkommen übereinstimmend mit dem spektroskopischen Wert.

Es fehlt nur noch ein rationaler Ausdruck für die Festlegung der stationären Zustände. Indessen ergab sich auch dafür ein überraschendes Ergebnis. Unter dem Impulsmoment einer solchen Bewegung, wie sie das Elektron beschreibt, versteht man das Produkt seiner Masse mal Geschwindigkeit mal dem Abstand vom Kern, und nun ergibt eine einfache mathematische Rechnung, daß für die stationären Zustände das Impulsmoment des Elektrons gleich ist einem ganzen Vielfachen der

Planckschen Konstanten h geteilt durch 2π . Damit ist nun auch eine Quantenregel für die stationären Bahnen gegeben von einer Einfachheit, daß sie sich auch auf andere Verhältnisse übertragen läßt.

Es wäre natürlich möglich gewesen, diese Regel als drittes zu den beiden andern Bohrschen Prinzipien zu stellen, und dann aus ihr alles weitere abzuleiten.

Im folgenden Abschnitt werden wir zeigen, wie sich die Bohrschen Prinzipien auf kompliziertere Verhältnisse als das H-Atom anwenden lassen. [A. 261.]

Über die Verbreitung des Jodes in der Natur und seine physiologische Bedeutung im pflanzlichen und tierischen Organismus¹⁾

von JULIUS STOKLASA, Prag.

Unter Mitwirkung von Dvořák, Bareš, Silhavy, Štrupl.
(Eingeg. 30. Sept. 1926.)

Das in der unübersehbaren Länge der geologischen Zeiträume entstandene biogene Element Jod ist endogenen oder exogenen Ursprungs. Schon in der ersten Entwicklungsphase unseres Planeten war wahrscheinlich Jod vorhanden, und zwar als freies Jod in nebularem Zustande. Namentlich aber in der letzten Phase, bei fortschreitender Verdickung der Erstarrungskruste, auf welcher sich die Wasserdünste kondensiert und zur Bildung der Hydrosphäre geführt haben, fand das Jod große Verbreitung. Das Jod findet sich in der Lithosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre. Seine größte Verbreitung verdankt das Jod den Prozessen der Eruption glutflüssiger, zum Teil durch Explosion zerstörter Magnen, die sich nach den Massenausbrüchen früherer geologischer Zeitalter gegenwärtig auf die Tätigkeit der Vulkane beschränkt und mit der Exhalation von Gasen und Dämpfen durch Solfataren, Mofetten und Fumarolen in Verbindung steht.

Wir haben im Jahre 1906 Studien am Vesuv ange stellt und fanden, daß tatsächlich alle Exhalationen, sowie die Lava, Lapillen, Bomben und Asche Jod enthalten. Und zwar konstatierten wir in der Lava einen Judgehalt von 1082 γ Jod pro 1 kg. (γ = 0,001 mg.) Auch in dem Ammoniumchlorid, welches in großen Kristalldruse in der Umgebung des Vesuvs vorkommt, konnten wir Jod konstatieren. Wir fanden pro 1 kg 1258 γ Jod.

Die gelben bis orange-roten Inkrustate von Schwefel, Gips und Alaun, welche sich in den Solfataren bei Neapel bilden, sind ebenfalls jodhaltig, und zwar beträgt der Judgehalt pro 1 kg 1053 γ Jod. Das Vesuvian vom Vesuv enthält pro 1 kg 1073 γ Jod. In den Eruptionsprodukten des Mont Pelée auf der Insel Martinique fanden wir (1902) gleichfalls gewisse Mengen Jod, und zwar durchschnittlich 1654 γ Jod pro 1 kg. Alle aus der Erdtiefe aufsteigenden heißen Quellen juvenilen Ursprungs enthalten Jod, und zwar bis 6000 γ Jod pro 1 kg. Mineralquellen und deren Absätze enthalten manchmal Jod in großen Quantitäten, so daß sie als Jod-

¹⁾ In der neuesten Zeit wird der Verbreitung und der physiologischen Funktion des Jodes große Aufmerksamkeit geschenkt. Ich beschäftige mich mit meinen Mitarbeitern schon längere Zeit mit diesem Problem, und diese Arbeit soll eine kurze Skizze der Resultate unserer Forschungen darstellen. Ich möchte hervorheben, daß die schönen und ausführlichen Untersuchungen von Th. v. Fellenberg, besonders die exakte Methode zur Bestimmung des Jodes uns neue Wege für unsere Forschungen gewiesen haben und es uns ermöglichten, unsere Untersuchungen zu vertiefen und zu erweitern.

quellen bezeichnet werden. Fellenberg hat in den Schweizer Mineralwässern, und zwar im Waldegg Jodwasser bis 6310 γ pro 1 kg gefunden.

In Schlesien kommen in der Steinkohlenformation bei Darkau Jodquellen vor, welche einen Jodgehalt von 5284 γ pro 1 kg aufweisen. Sie verdanken ihren Ursprung der Carboniflora, die sich vorwiegend auf höhere Kryptogamen beschränkt, und zwar sind dies die Gattungen *Calamites*, *Lepidodendron*, *Sigillaria* und die Familie der Farne.

Von Oberösterreich bis zum bayrischen Allgäu zieht eine salzwasserführende Erdschicht, stellenweise von gewaltigen Salzlagern gespeist, wie von denen im Salzkammergut und im benachbarten Bayern. Es handelt sich dabei bekanntlich um Rückstände eingetrockneten Meereswassers. Durch besondere Umstände scheint nun an bestimmten Buchten des alten Meeres ein Zusammensintern der jodführenden Algen stattgefunden zu haben. Sozusagen die Zapfstellen dieser jodsalzwasserführenden Schichten sind unsere heutigen, dem Jodgebirge vorgelagerten Jodkurore: Hall-Oberösterreich, Wieße, Tölz, Heilbrunn, Seeg und Sulzbrunn. Die Jodwässer entspringen dort als kalte Quellen.

Das Meer enthält stets Jod, natürlich in ganz geringen Quantitäten, und zwar durchschnittlich pro 1 kg 8–19 γ. Das Jod wird von der Flora und Fauna des Meeres resorbiert. Das Meereswasser enthält Jod in löslicher und unlöslicher Form; letzteres ist an die Mikroorganismen und an das Plankton gebunden. Das elementare Jod entweicht in nicht sehr intensivem Maße aus dem Meere, offenbar wird dieser Prozeß durch die alkalische Reaktion des Meereswassers verzögert. Wir haben die Wasserstoffionenkonzentration des Meereswassers an verschiedenen Stellen gemessen und erhalten nachstehende Resultate:

Meerwasser von Neapel	pH = 7,64
" " Rimini	pH = 7,8
" " Triest	pH = 7,9
" " Trouville	pH = 8,2

Doch entweichen durch die große Wellenbewegung gewisse Quantitäten Jod aus dem Meere, wie dies Fellenberg nachgewiesen hat, die von Wind und Regen auf das Festland gebracht werden. Dieses Jod wird von den an das Meer angrenzenden Böden sowie von den in der Umgebung des Meeres sich entwickelnden pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismen resorbiert.

Daß in der Luft Jod vorhanden ist, wurde schon vielfach ganz exakt nachgewiesen. Fellenberg fand, daß auch der Tau Jod enthält. Er konstatierte weiter, daß der Jodgehalt der Luft an denselben Orte stark schwanken kann; direkt über dem Boden ist die Konzentration an Jod bedeutend größer als in Atmungshöhe und nimmt mit zunehmender Höhe ab. In vulkanischen Gebieten gelangt das Jod durch die Tätigkeit der Vulkane in die Luft, auch bei Verbrennung von Kohle, weiter in Eisenhüttenwerken, beim Betriebe von Ziegeleien, Zement-, Porzellanfabriken und Kalköfen wird Jod in die Atmosphäre ausgeschieden. Die chlorophyllhaltige und chlorophyllose Zelle assimiliert das Jod aus der Luft und benutzt es zum Aufbau neuer lebender Substanz.

Die im Boden lebenden Mikroorganismen, und zwar die Bakterien und Pilze assimilieren Jod, welches sich dann nach ihrem Absterben im Boden akkumuliert, und so finden wir, daß die Vegetationsschichte in der Umgebung des Meeres und der Vulkane stets jodhaltiger ist als in Gegenden, wo keine Jodexhalationen stattfinden. Wir nahmen diesbezügliche Untersuchungen

vor und fanden, daß die Vegetationsschichte des Bodens von Rimini und Triest in einer Entfernung vom Meere von 100–150 m pro 1 kg Trockensubstanz 18200–19270 γ Jod enthält. In Zoppot fanden wir einen Jodgehalt von 17563 γ Jod pro 1 kg Trockensubstanz, und bei Honfleur in der Normandie einen solchen von 16834 γ Jod. Beim Vesuv konstatierten wir einen Jodgehalt von 23480 γ.

Von den am Ufer des Meeres lebenden Pflanzen sind es namentlich die Halophyten, welche dank ihrer elektriven Eigenschaft kleine Quantitäten Jod zu assimilieren vermögen. Das Jod besitzt im Organismus der Halophyten eine spezielle physiologische Funktion und es kann stets neben Chlor nachgewiesen werden. Weiter enthält auch die in der Umgebung des Meeres vorkommende Vegetation stets Jod, und zwar namentlich die Lichenes, Musci, Sphagnum-Arten, Filices, Pinus, Castanea, Fagus, Quercus, Robinia, Hedera, Rumex, Lolium italicum, Avena elatior, von den Gartenpflanzen Pelargonium, Hydrangea usw. Wir konstatierten in diesen Pflanzen einen Jodgehalt von 9357 bis 22954 γ Jod pro 1 kg Trockensubstanz.

Alle in der Nähe des Meeres angebauten Kulturpflanzen sind jodhaltig. Namentlich die Leguminosen, z. B. Luzerne oder Klee, enthalten viel Jod, und zwar pro 1 kg Trockensubstanz durchschnittlich 6874 γ Jod. Dadurch kommt das Jod auch in den tierischen Organismus. Es wirkt, wie jüngst von Niklas, Strobel und Scharrer²⁾ nachgewiesen wurde, sehr günstig auf die Milchproduktion. Auch die Exkremente sind jodhaltig, und durch dieselben wird der Boden wieder an Jod bereichert. Es steht fest, daß das Jod in jeder chlorophylllosen und chlorophyllhaltigen Zelle eine wichtige physiologische Rolle bei den oxydatischen Prozessen der Dissimilation spielt.

In der festen Erdkruste, und zwar in den einzelnen Gesteinen, Felsarten und Gebirgsarten sind verschiedene Quantitäten Jod enthalten. Es enthalten pro 1 kg Trockensubstanz:

Von den jungvulkanischen Gesteinen:

Quarztrachyten	458 γ Jod
Sanidintrachyten	575 γ "
Phonolithen	836 γ "
Basalte	984 γ "

Von den altvulkanischen Gesteinen:

Quarzporphyre	511 γ Jod
Diabase	486 γ "
Melaphyre	509 γ "

Von den plutonischen Gesteinen:

Granite	354 γ Jod
Syenite	428 γ "
Diorite	295 γ "

Wenn wir die Verbreitung des Jodes in den einzelnen Perioden der Entwicklungsgeschichte der Erde und ihrer Bewohner sowie der während jener zur Ablagerung gekommenen Formationen von der ältesten bis zur jüngsten betrachten, so sehen wir, daß die älteste Formation, die archäische oder Urgneisformation verhältnismäßig reich an Jod ist. Die kristallinischen Kalksteine enthalten pro 1 kg Trockensubstanz 1984 γ Jod.

Das Protozeroikum (Algonkium) besteht aus einer außerordentlich mächtigen, oft einem weitgehenden Metamorphismus verfallenen, sedimentären Schichtenreihe, welche jenem enorm langen Zeitraume ihren Ursprung verdankt, in dem das organische Leben auf der Erde erschien und sich allmählich zu der Reichlichkeit

²⁾ Niklas, Strobel u. Scharrer, Biochem. Ztschr. 170, H. 416.

und Höhe entwickelte, in der es sich in der kambrischen Formation vor uns ausbreitet.

Das Präkambrium in Böhmen, und zwar die Alaun- und Tonschiefer von Příbram enthalten 300—400 γ Jod pro 1 kg Trockensubstanz.

Das Paläozoikum ist eine bis gegen 50 000 m Mächtigkeit erreichende Schichtengruppe von vorherrschenden Grauwacken, Tonschiefern, Sandsteinen, Konglomeraten und Kalksteinen, in deren unteren Horizonten zum ersten Male sicher erkennbares pflanzliches und tierisches Leben in weiter Verbreitung, reicher Entwicklung und zum Teil außerordentlich großer Anzahl der Individuen überliefert ist. Es erhält die Pflanzenwelt, welche anfänglich fast nur durch Meeresalgen vertreten ist, später ihren paläozoischen Gesamtcharakter durch die vorherrschende Entwicklung zum Teil riesiger Gefäßkryptogamen, namentlich aus der Familie der Calamiten, Farne, Sigillarien und Lepidodendren, denen sich einige Koniferen und später auch Cordaiten und Cycadeen zugesellen, während Dikotyledonen noch gänzlich fehlen. Die Hauptvertreter der paläozoischen Fauna waren Korallen, Echinodermen, und zwar Pelmatozoen, ferner Cephalopoden sowie Brachipoden und Gliedertiere, namentlich Trilobiten.

Es enthalten pro 1 kg Trockensubstanz:

Aus der kambrischen Formation:

Tonschiefer	482 γ Jod
Kalkstein	374 γ "

Aus der silurischen Formation:

Fucoiden	1322 γ Jod
Seetangen	1544 γ "
Spongien	1851 γ "
Orthoceras	956 γ "
Triboliten	784 γ "

Aus der carbonischen oder Steinkohlenformation:

Lepidodendren	1857 γ Jod
Caulopteris	1937 γ "
Die Steinkohle	884 γ "

Aus der permischen Formation (Dyas):	
Calamites	854 γ Jod

Aus der Juraformation:	
Ammonites	1273 γ Jod

Aus der Kreideformation:	
Micraster	1783 γ Jod
Inoceramus	684 γ "
Baculites	562 γ "
Ananchytes	1254 γ "

Aus der Tertiärformation:	
Cerithium	832 γ Jod
Nummulitenkalkstein	1187 γ "
Terebratula	786 γ "
Kalkstein	429 γ "

Aus diesen Angaben sehen wir, daß das Jod in allen geologischen Formationen vertreten ist. Natürlich sind die oberen Schichten aller Minerale und Gesteine viel ärmer an Jod als die tieferen Schichten. Die Versteinerungen enthalten stets mehr Jod als die umgebenden Gesteine.

Durch den Vorgang der Verwitterung, und zwar namentlich durch den Erosionsprozeß wird besonders infolge der katalytischen Wirkung des Eisens, Aluminiums und Mangans verursacht, daß der Judgehalt der Gesteine herabgesetzt wird. Der Boden, das Nährmedium der Pflanzen, enthält je nach seinem geologischen Ursprunge mehr oder weniger Jod.

Überblicken wir das Leben der vorweltlichen Pflanzen, so gewinnen wir den Eindruck, daß die damalige Flora bereits Jod assimiliert haben muß, und dadurch

die schädlichen Wirkungen des Chlors paralysierte. Das für ihren Bau- und Betriebsstoffwechsel nötige Jod fand die vorweltliche Flora, namentlich die Kryptogamen, im Boden vor. Die Pflanzenwelt, die unsere jetzigen Kohlen lieferte, entwickelte sich in ausgedehnten Sümpfen und Morasten, bei frostfreiem, mildem, gleichmäßigem Klima und überwucherte flache Niederungen, sowie Ufer jodhaltiger Wasser. Es waren dies ausgesprochene Hydrophyten und Hygrophen. Das Jod hat dem zu folge die Aufnahme der Chlorionen durch das Wurzelsystem der Pflanzen der früheren Erdperioden reguliert. — Wir finden auch, daß diese Flora wie Calamites, Lepidodendren, Sigillaria und die Familie der Farne keine großen Ansprüche auf Phosphor und Kalium machte, sondern sich mit den Elementen begnügte, die im Boden sehr stark vertreten waren, und zwar mit Silicium, Aluminium, eventuell auch Kalk. Jod war jedoch stets vorhanden und wir können es auch jetzt noch in allen Pflanzenresten konstatieren. Das Jod ist nicht nur als biogenes Element für die Halophyten anzusehen, sondern es gibt noch eine große Anzahl anderer wild wachsender Pflanzen, für die es eine frische Leben hervorrufende Kraft darstellt.

Der Judgehalt des Bodens ist einer der edaphischen Faktoren, welche die spezielle Physiognomie der Pflanzen hervorrufen. Die physiologische Funktion des Jodes ist, wie wir erkannt haben, ungemein wichtig und wertvoll, so daß es von größtem Interesse ist, sich eingehend mit ihrem Studium zu befassen.

Acker und Waldboden enthalten stets Jod, doch schwankt der Judgehalt ungemein. Wir konnten konstatieren, daß die aus dem Silur- und Devonschiefer stammenden Böden in der Umgebung von Prag sehr jodarm sind. Sie enthalten pro 1 kg Trockensubstanz durchschnittlich 110—260 γ Jod. Die aus der Kreide- und Tertiärformation hervorgegangenen Böden sind bereits jodreicher, sie enthalten pro 1 kg Trockensubstanz 330—420 γ Jod. Ziemlich bedeutende Quantitäten Jod finden sich in Basalt-, Phonolith- und Melaphyrböden. Wir konstatierten pro 1 kg Trockensubstanz 650—720 γ Jod. Die an Jod reichsten Böden sind entschieden die Torf- und Moorböden. Sie enthalten pro 1 kg Trockensubstanz 1200—1500 γ Jod. Dies ist dadurch zu erklären, daß die Torfbildner, wie Sphagnum cymbifolium, Sphagnum acutifolium und Sphagnum cuspidatum verhältnismäßig reich an Jod sind. Diese Sphagna enthalten pro 1 kg Trockensubstanz durchschnittlich 4800 γ Jod.

Schon Fellenberg hat gezeigt, daß Erden und Gesteine aus zugesetzten Alkalijodiden elementares Jod abspalten. Er ist der Ansicht, daß diese Reaktion weder durch Bakterien, noch durch organische Enzyme bedingt wird, sondern durch die anorganischen Katalysatoren. Sie ist an die Gegenwart von Luftsauerstoff gebunden.

Dieser Anschauung Fellengergs kann ich nicht vollständig zustimmen, denn wir fanden, daß, wenn der Boden reich an Bakterien ist, oder wenn der Boden mit Pferdeekrementen, welche großen Mengen thermophiler Bakterien enthalten, gedüngt wurde, die Temperatur des Bodens infolge der intensiven Atmung der Bakterien steigt — und zwar kann sie 45—60° erreichen — und daß hierbei verhältnismäßig größere Quantitäten elementares Jod entweichen. Das Jod entweicht, wenn dem Boden Kaliumjodid oder Natriumjodid zugesetzt worden ist, in so großen Mengen, daß sogar ein schädlicher Einfluß auf die Chlorophyllorgane

ausgeübt wird. Die physiologische Ionenwirkung des Jodes auf die verschiedenen Pflanzen ist nicht gleich, es ist auch die Aufnahme des Jodions durch das Wurzelsystem der Pflanzen verschieden.

Je mehr wir unsere Kenntnisse über den Chemismus der Bakterien- und der chlorophyllhaltigen Pflanzenzelle vertiefen, um so klarer zeigt es sich, daß neben den nie fehlenden 13 biogenen Elementen wie Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel, Chlor, Phosphor, Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium, Eisen und Aluminium noch acht andere Elemente, und zwar Selen, Arsen, Jod, Brom, Fluor, Silicium, Mangan und namentlich Radium eine wichtige physiologische Rolle im Organismus spielen.

Von hoher Bedeutung ist jedenfalls die Tatsache, daß sich das Jod an den Stoffwechselprozessen der Mikroorganismen beteiligt.

Über die Jodabspaltung und Jodspeicherung durch Mikroorganismen berichteten Fellenberg und Geiringer in ihrer Arbeit: „Untersuchungen über das Vorkommen von Jod in der Natur“ (Biochemische Zeitschrift 1924). Sie kamen zu dem Resultate, daß aus neutraler, verdünnter Alkalijodidlösung in der Zeit von 13 Tagen keine Jodabspaltung durch den Luftsauerstoff stattfindet. Eine solche erfolgte aber in ganz geringem Maße in alkalischem, stärker in saurem Medium. — In Gegenwart von Bakterien oder Schimmelpilzen ist die Jodentwicklung schwächer, oder bleibt ganz aus, da das frei gewordene Jod durch die Mikroorganismen gebunden wird. Die Mikroorganismen sind dabei nicht aktiv, sondern rein passiv beteiligt. Das zeigen Versuche mit Hühnereiweiß, die genau gleich ausfielen.

In neutraler Jodidlösung konnte durch Aspergillus niger keine deutliche Jodspeicherung wahrgenommen werden.

Unsere Untersuchungen, ob die Edaphonbewohner, und zwar die Bakterien, welche sich an dem Kreislaufe des Stickstoffes im Haushalte der Natur beteiligen, weiter die Actinomyceten, Pilze, Algen und Protozoen Jod assimilieren, und ob dieses assimilierte Jod, welches, wie wir gefunden haben, meistens in organische Formen umgewandelt wird, den Bau- und Betriebsstoffwechsel der Mikroorganismen beeinflußt, sind sicherlich von großer Wichtigkeit. Diejenigen Bakterien, welche sich durch eine große Atmungsintensität auszeichnen, wie z. B. Azotobakter, Clostridium usw., assimilieren elementaren Stickstoff in sehr energetischer Weise, denn die Assimilation des elementaren Stickstoffes findet nur während des Atmungsprozesses statt. Ebenso assimilieren diese Bakterien auch verhältnismäßig größere Mengen Jod.

Es ist eine interessante Erscheinung, daß die physiologische Wirkung des Jodes ähnlich ist, wie die der Radioaktivität, und zwar der Alphastrahlen.

Das Jod unterstützt, ebenso wie die Alphastrahlen, die Assimilation des elementaren Stickstoffes, weiter die Tätigkeit der Nitrosationsbakterien, welche Ammoniak zu salpetriger Säure oxydieren, und der Nitrifikationsbakterien, die die salpetrige Säure in Salpetersäure umwandeln. Weiter ruft das Jod, ebenfalls wie die Alphastrahlen, eine Depression der Lebensprozesse derjenigen Bakterien hervor, welche die stickstoffhaltigen, organischen Substanzen zersetzen und als Endprodukt Ammoniak bilden (Ammonisationsbakterien) sowie der Denitrifikationsbakterien, welche einen großen Teil der

Nitrate zu Nitriten und schließlich die salpetrige Säure zu Stickstoffmonoxyd, Stickstoffdioxyd und elementaren Stickstoff reduzieren.

Wenn der Ackerboden Jod und Eisen enthält, so ist die Assimilation des elementaren Stickstoffes bedeutend intensiver, als in jodarmen Böden. Es hat der Jodgehalt demnach eine ökonomische Bedeutung für die Stickstoffakkumulation im Boden. Dies gilt natürlich für vollkommen Aerobiose.

Durch den Jodgehalt des Bodens und durch das in organischer Form im Boden vorhandene Eisen wird die Entwicklung der Leguminosen ungemein unterstützt, denn es bilden sich bei Gegenwart von Jod und Eisen zahlreiche Wurzelknöllchen. Die Entwicklung von *Bacillus Radicicola* wird durch das Jod stark gefördert.

Bei unseren mit *Lupinus luteus* ausgeführten Experimenten setzten wir dem Boden pro 14 kg 10 g Ferrihumat zu. Wir teilten den Versuch in zwei Gruppen. Die eine Gruppe erhielt außerdem noch 0,03 g Jod in Form von Kaliumjodid zugesetzt. Die Pflanzen wurden in der Blüte geerntet und das Gewicht der Trockensubstanz pro 10 Vegetationsgefäß betrug:

Bei Zusatz von Jod	96,63 g
mit einem Stickstoffgehalt von . . .	3,24 %
Ohne Zusatz von Jod	65,97 g
mit einem Stickstoffgehalt von . . .	2,63 %

In einem jodreichen Boden läßt sich eine günstige Entwicklung von *Robinia pseudacacia* konstatieren. Das Jod wird von der Pflanze resorbiert und der Aufbau der neuen lebenden Pflanzenmasse geht viel energischer vor sich, weil wahrscheinlicherweise die Assimilation des elementaren Stickstoffes durch die Bakterien gefördert wird. — Ein interessantes Beispiel bietet uns die Kultur von *Robinia pseudacacia* in den Sedimenten, welche bei der Reinigung der Gase in Hochöfen resultieren. Die Eisenerze in Böhmen enthalten stets Jod und dieses sammelt sich in den Sedimenten, so daß diese einen Jodgehalt von 3404 γ pro 1 kg aufweisen. Das Wachstum der *Robinia pseudacacia* wird in diesen Sedimenten so angeregt, daß die Pflanze nach 20 Jahren fast doppelt so groß ist als die *Robinia pseudacacia*, die in den benachbarten Böden der Silurformation, die bloß 524 γ Jod pro 1 kg Trockensubstanz enthalten, kultiviert würde.

Der Jodgehalt der Blätter der *Robinia pseudacacia* betrug pro 1 kg Trockensubstanz:

In den Sedimenten kultivierte Pflanzen	2108 γ Jod
In den aus der Silurformation stammenden Böden kultivierte Pflanzen	989 γ „

Die Schimmelpilze assimilieren Jod in verschiedenen Mengen. Bei den in humusreichen Böden vorkommenden *Mucor*-Arten geht diese Assimilation in besonders energetischer Weise vor sich, wenn das Nährsubstrat Jod enthält.

Auch die Algen, und zwar nicht nur die Meeralgen, sondern auch die Grünalgen (Chlorophyceen), assimilieren Jod in einem jodhaltigen Nährmedium, wie wir uns überzeugt haben, und wie auch die Angaben von Fellenberg vollständig bestätigen. Wir setzen unsere Untersuchungen bezüglich des Jodgehaltes der Schimmelpilze und Algen, sowie der physiologischen Funktion des Jodes im Organismus der Mikroorganismen weiter fort, doch können wir heute bereits behaupten, daß das Jod nicht von allen Mikroorganismen in derselben Intensität assimiliert wird, so daß es hier große Unterschiede gibt.

Bei unseren Studien über die Funktion des Jods, Broms, Fluors konnten wir konstatieren, daß besonders das Jod in hervorragender Weise an dem Bau- und Betriebsstoffwechsel in der chlorophyllosen und chlorophyllhaltigen Pflanzenzelle beteiligt ist.

Sind in einer Nährlösung 0,005 g Jod in Form von Kaliumjodid pro 1 l enthalten, so wirken diese auf gewisse Gramineen bereits nach 22 Tagen giftig. Papilionaceen aber haben diese Konzentration 45 Tage vertragen. Den Hydrophyten und Hygrophen hat eine Konzentration von 0,006 g Jod gar nicht geschadet. *Sphagnum cymbifolium*, *Phragmites communis*, *Carex riparia*, *Sympitum officinale*, *Caltha palustris* haben in der Nährlösung sehr gut vegetiert und es waren keine giftigen Symptome nachweisbar. Dagegen sind die Xerophyten gegen Jod sehr empfindlich. Weniger die Mesophyten, und noch größere Quantitäten Jod vertragen namentlich die Halophyten (Flora der Meeresküste), zu denen *Beta maritima*, die Mutterpflanze unserer *Beta vulgaris* gehört.

Das Jodium spielt bei der Nährstoffaufnahme der Halophyten eine sehr wichtige Rolle und ist auch für die Permeabilität der Plasmaschicht von großer Bedeutung. — Das Nährmedium für die Kultur der Halophyten muß stets Chlorion enthalten. Eine starke Akkumulation des Chlorions im Organismus der Pflanze wirkt schädlich auf die Protoplasmakörper und es tritt Plasmolyse ein. Wenn im Nährmedium aber Jodium enthalten ist, so verhindert dieses eine allzu reiche Aufnahme von Chlor und auch bei Vorhandensein von Chlorion in der Zelle der Chlorophyllapparate wird die giftige Wirkung desselben durch das Jod paralysiert.

Die Zelle wird durch Einwirkung von Jodionen unplasmolysierbar gemacht. Sie hemmen die Aufnahme des Chlorions in die Zelle. Die Austauschvorgänge erfahren durch das Jodium eine starke Reduktion und die Stoffwechselprozesse werden durch die antagonistischen Ionenwirkungen reguliert, namentlich in der gegenseitigen Beeinflussung der Aufnahmgeschwindigkeit zweier im gleichen Sinne geladener Ionen.

Wir führten Versuche mit Halophyten aus, und zwar setzten wir reinem Sande alle Nährstoffe hinzu und pro 18 kg Sand 7,5 g Chlor in Form von Natriumchlorid. Wir konnten konstatieren, daß bei vielen Halophyten, und zwar bei *Beta vulgaris*, *Polygonum maritimum*, und *Rumex maritima* durch Zusatz von Jod, und zwar von 0,02—0,1 g pro 18 kg Sand die giftige Wirkung des Chlorions aufgehoben wird.

Enthielt das Nährmedium bloß Chlorionen und kein Jod, so stieg der Chlorgehalt der Reinasche bedeutend. Bei Gegenwart von Jod wurde der Durchtritt des Chlors in den Plasmakörper verhindert. Die durch die antagonistische Ionenwirkung hervorgerufenen Entgiftungserscheinungen treten deutlich hervor. — Aus unseren langjährigen Experimenten gewannen wir den Eindruck, daß dem Jod beim Lebensprozesse der Halophyten eine wichtige physiologische Funktion zugewiesen ist. Man kann das Jod als ein für die Halophyten unentbehrliches biogenes Element ansehen, welches an allen Aufbau- und Abbauprozessen in der lebenden Zelle lebhaft beteiligt ist.

Wir fanden bei unseren Vegetationsversuchen, daß 0,021 g Jod in Form von Kaliumjodid zu 12 kg Boden zugesetzt, bereits einen günstigen Einfluß auf die Entwicklung der Halophyten ausüben, und zwar zeigte sich dies besonders bei *Ammophila arenaria*, *Hordeum are-*

narium, *Hordeum maritimum*, *Beta maritima*, sowie bei *Lathyrus maritimum* und *Rumex maritima*. Der Ertrag wurde um 45—96% erhöht.

Unsere Vegetationsversuche zeigten, daß sich die Keimlinge dieser Pflanzen, deren Samen ich selbst gesammelt habe, in einem vollkommen jodfreien Nährmedium sehr schlecht entwickeln, so daß wir den Eindruck gewannen, daß bei diesen Pflanzen das Jod einen unentbehrlichen Faktor für den Aufbau neuer lebender Pflanzenmasse darstellt.

Weiter führten wir die Versuche auch mit Hydrophyten aus, und zwar mit *Sphagnum cymbifolium*, *Aspidium Filix mas.*, *Rumex acetosella*, *Ranunculus fluitans*, *Pulmonaria officinalis*, *Sympitum officinale*. Die Erträge wurden ebenfalls um 23—120% erhöht. Der Boden, welchen wir zu diesen Versuchen verwendeten, enthielt 272 γ Jod pro 1 kg Trockensubstanz.

Bei Zusatz von 0,021 g Jod zu 9,5 kg Boden wurde eine günstige Wirkung konstatiert. Bei Zusatz von 0,08 g Jod jedoch zeigte sich bereits ein toxischer Einfluß.

Ich führe im nachstehenden die Resultate unserer Versuche mit *Aspidium Filix mas.* an. Man erntete pro 10 Vegetationsgefäß umgerechnet auf Trockensubstanz: Ohne Zusatz von Jod 178 g, bei Zusatz von Jod 394 g.

Der Judgehalt der ganzen Pflanzenmasse betrug pro 1 kg Trockensubstanz:

Pflanzenmasse aus ungedüngtem Boden . . 180 γ Jod
Pflanzenmasse aus mit jodgedüngtem Boden . 1300 γ "

In wie großen Quantitäten das Jod von gewissen Hydrophyten aus Wasserkulturen aufgenommen wird, zeigen unsere Versuche mit *Hemerocallis fulva*. Der Judgehalt der Pflanzenmasse betrug pro 1 kg Trockensubstanz:

Pflanzenmasse aus jodfreier Nährösung . . 420 γ Jod
Pflanzenmasse aus Nährösung, welcher pro
3200 ccm 0,03 g Jod zugesetzt worden sind 3400 γ "

Wenn wir das Leben der wild wachsenden Pflanzen beobachten, so sehen wir, daß unsere Kenntnisse von der Physiologie ihrer Ernährung noch sehr mangelhaft sind. Ich führe hier als Beispiel *Arctium tomentosum* an, welche sich in der Nähe von Beroun in Böhmen in großem Maße entwickelt. Bei unseren Untersuchungen zur Bestimmung der Faktoren, welche das Wachstum der Pflanze begünstigen, konstatierten wir, daß das Wasser in dieser Gegend jodhaltig ist und aus der Silurformation stammt, die sehr reich an Versteinerungen pflanzlichen und tierischen Ursprungs ist. Der Judgehalt des Wassers beträgt pro 1 kg 25 γ Jod. Der Judgehalt der vollkommen entwickelten Blätter der *Arctium tomentosum* beträgt pro 1 kg Trockensubstanz 2688 γ Jod.

Wir werden durch weitere Forschungen gewiß noch eine große Anzahl anderer wild wachsender Pflanzen finden, für welche das Jod ein biogenes Element darstellt, durch das der Aufbau neuer lebender Pflanzenmasse sehr günstig beeinflußt wird. So z. B. *Nymphaea alba*, welche in ihren Blättern stets Jod enthält und bei Zugabe von Jod zum Nährmedium eine enorme Entwicklung aufweist. Überhaupt alle Nymphaeaceae, sowie alle Cactaceae, reagieren auf das Jod.

Interessant waren die Versuche mit der Zuckerrübe, welche wie bekannt, eine halophytische Pflanze ist. Durch unsere in Vegetationsgefäß, als auch auf dem Versuchsfelde ausgeführten Experimente haben wir nachgewiesen, daß bei Gegenwart aller Nährstoffe der Ertrag

der Zuckerrübe durch das Jod bedeutend gehoben wird. Diese vier Jahre nacheinander ausgeführten Untersuchungen zeigen, daß das Jod die Bildung neuer lebender Pflanzenmasse der Zuckerrübe sehr günstig beeinflußt, und zwar erzielten wir einen durchschnittlichen Mehrertrag von 80 q pro Hektar. Die Experimente führten uns zu der Ansicht, daß das Jod eine gewisse physiologische Funktion im Organismus der Zuckerrübe besitzt, nachdem, wie bekannt, die Zuckerrübe ihre Abstammung von der Beta maritima herleitet, und wie ich mich überzeugt habe, enthält die Beta maritima stets größere Quantitäten Jod, und zwar, wie wir gefunden haben, pro 1 kg Trockensubstanz durchschnittlich:

Blätter	3488 γ Jod
Wurzeln	1094 γ "

Wir haben es jetzt in der Hand, die Erträge unserer Zuckerrübe zu erhöhen. Interessant ist dabei, daß das Jod auch bei der Samenbildung der Zuckerrübe, was Quantität und Qualität anbelangt, sehr günstig wirkt. Ein ganz anderes Verhalten gegen Jod als alle anderen Kulturpflanzen zeigen die Linaceae. Wir konstatieren bei unseren Vegetationsversuchen, daß sich unsere Kulturpflanzen in einem Boden, dem berechnet auf Trockensubstanz pro 8 kg 0,25—0,32 g Jod in Form von Jodkalium zugesetzt werden, überhaupt nicht weiter entwickeln. Die einzige Ausnahme bilden die Linaceae. Linum usitatissimum z. B. entwickelt sich in diesem Boden ganz normal. Die Pflanzengewebe der mit Jod gedüngten Linaceen zeichnen sich durch große Feinheit aus und das Jod spielt eine wichtige physiologische Rolle beim gesamten Aufbau neuer lebender Substanz der Linaceae. Diese Erscheinung verdient ein weiteres gründliches Studium, denn sie ist von großer ökonomischer und technischer Bedeutung für die Textilindustrie.

Das Jod kommt im Pflanzenorganismus zum größten Teile in Form von organischen Verbindungen vor. Jodate und Perjodate sind selten zu finden. Die organischen Verbindungen des Jodes sind durch nascierenden Wasserstoff manchmal zersetzbare und manchmal nicht zersetzbare. Yuzuru Okuda und Toku Eto³⁾ konstatierten, daß alte Algen mehr Jod enthalten als junge, und daß Algen im offenen Meere jodreicher sind, als in den Binnenseen. Aus toten Algen diffundiert die Hauptmenge Jod ins Wasser. Wie bereits O. Gertz⁴⁾ fand, enthalten die Pflanzenorgane der Algen Jodoxydäsen, welche aus den Alkalijodiden freies Jod ausspalten. Es gelang uns in dem ausgepreßten Saft der Halophyten, Hydrophyten und Hygrophyten die Jodoxydäsen mittels der Methode Gertz nachzuweisen.

Die von uns verwendete Methodik war nachstehende: Zum Sieden erhitzter, verdünnter Stärkekleister wurde mit Jodkalium (3 g) und Gelatine (10 g) versetzt und das Gemisch in eine Petrischale gegossen. Nach Abkühlung werden die bei einem Drucke von 350 Atm. ausgepreßten Pflanzensaft den Petrischalen zugesetzt und dann stellt man die Petrischalen an einen dunklen kühlen Ort (am besten in den Eisschrank). Nach 3—12 Stunden konnte man bereits eine Blaufärbung aller Berührungsstellen des Extraktes mit der Jodkaliumstärke wahrnehmen.

Wir konnten die Jodoxydäse bei fast allen von uns untersuchten Halophyten,

³⁾ Yuzuru Okuda und Toku Eto, Journ. Coll. Agric. Tokyo 5, 341—353 [1916].

⁴⁾ O. Gertz, Biochem. Ztschr. 169, 435—448, Lund. Univ.

Hydrophyten und Hygrophyten, und zwar hauptsächlich in den Blättern nachweisen, weiter bei einer großen Anzahl von Mesophyten. Auch mittels der bekannten Reaktion mit Benzidin und Guajakharz konstatierten wir die Jodoxydäsen bei allen Halophyten, Hydrophyten und Hygrophyten, sowie bei den meisten Mesophyten.

Ich habe bereits beobachtet, daß alle Halophyten eine viel energischere Atmung aufweisen als die anderen Pflanzen. Wir führten spezielle Versuche⁵⁾ mit der Wurzel von Beta vulgaris aus, und zwar verwendeten wir Pflanzen, die aus Boden stammten, der mit Jodkalium gedüngt war und für den Kontrollversuch Pflanzen, die aus ungedüngtem Boden stammten.

Alle diese mit jodreichen und jodarmen Wurzeln durchgeführten Experimente zeigen, daß durch das Jod die Atmungsintensität der Pflanzenorgane gehoben wird. Ich führe im nachstehenden bloß einige Durchschnittszahlen unserer zahlreichen Forschungen an. Die Kohlendioxydproduktion pro 1 kg Trockensubstanz betrug in Aerobiose:

Jodarme Wurzeln	2616 mg CO ₂
Jodreiche Wurzeln	4850 " "

Dies ergibt die bedeutende Differenz von 2234 " "

Diese großen Mengen ausgetmeten Kohlendioxydes sind gewiß erstaunlich und stellen die größte Energie des Atmungsprozesses dar, welche wir überhaupt bei den Zuckerrübenwurzeln beobachten konnten. Die Intensität dieser Prozesse wird durch die oxydative Kraft des Jodes bewirkt, und namentlich bei höherer Temperatur geht der oxybiontische Zuckerabbau, also der Zerfall des Zuckermoleküls auf biologischem Wege, in Gegenwart von aktiviertem Sauerstoff sehr intensiv vor sich.

Es ist von hoher Bedeutung festzustellen, ob bei Gegenwart von Radiumemanation, und zwar von Alphastrahlen, die Mechanik der Atmungsprozesse der jodreichen Zuckerrübenwurzeln und Kartoffelknollen noch erhöht wird. Die Atmungsversuche wurden in derselben Weise angeordnet, wie die bereits angeführten Experimente, nur mit dem Unterschiede, daß vor dem Respirationsapparate das Emanatorium aufgestellt wurde, welches 250 g des Joachimsthaler Materials zur Radiumfabrikation enthielt, aus welchem 60 ME = 2184×10^{-8} mcu = $21,840 \times 10^{-12}$ g Ra = 0,00002184 mg Ra entweichen. Durch das Emanatorium wurden pro 24 Stunden 20 l keimfreier und kohlendioxydfreier Luft oder reiner Wasserstoff durchgeleitet. Diese Versuche zeigten uns, daß in Anoxybiose die Atmungsprozesse der jodreichen Wurzeln durch den Einfluß der Radiumemanation keine nennenswerte Erhöhung erfahren, erst in Oxybiose bewirkt die Radiumemanation eine Steigerung der Mechanik der Atmungsprozesse bei den jodreichen Wurzeln. Also nur bei Gegenwart von aktiviertem Sauerstoff kommt der oxybiontische Zuckerabbau durch das Jod zu voller Entfaltung.

⁵⁾ Die genaue Beschreibung der zu diesen Versuchen verwendeten Apparate findet sich in meiner Arbeit: „Über den Chemismus des Zuckerabbaues in der lebenden Pflanzenzelle und den Einfluß der Radioaktivität auf die anaerobe Atmung der Pflanzenorganismen“ (Chemie der Zelle und Gewebe 12, H. 5, 1926), sowie in meinem neuesten Buche „Biophysikalische und biochemische Methoden zur Durchforschung des Bodens“ (Berlin, P. Parey, 1926).

Alle Pflanzen, die in ihrem Organismus, und zwar im Saft der ober- und unterirdischen Teile, eine größere Konzentration der Wasserstoffionen aufweisen, assimilieren verhältnismäßig sehr reichlich Jod, wenn das Nährmedium jodhaltig ist. Es sind dies namentlich *Fragaria vesca*, *Epilobium hirsutum*, *Polygonatum officinale*, *Veronica beccabunga*, *Senecio vulgaris* und *Typha latifolia*, bei welchen der Saft des Wurzelsystems eine Wasserstoffionenkonzentration von $p_{\text{H}} = 4,91 - 3,11$ aufweist. Durch Anhäufung des Jodes im Organismus wird die Acidität herabgesetzt, daß die organischen Säuren abgebaut werden. Die Differenzen der Aciditätswerte bei jodarmen und jodreichen Pflanzen sind sehr bedeutend.

Aus allen unseren Beobachtungen ist zu ersehen, daß die Jodoxydasen mit den Atmungsenzymen im Pflanzenorganismus in einer gewissen Beziehung stehen und oxydative Phasen in der chlorophyllosen und chlorophyllhaltigen Zelle hervorrufen. Wir sehen daraus, daß die Gegenwart von Jod im pflanzlichen und tierischen Organismus für die Dissimulationsprozesse sowie für den Abbau der organischen Säuren, namentlich für die Oxydation der Oxalsäure bei der Zuckerrübe von größter Bedeutung ist. — Interessant ist, daß diese oxydativen Erscheinungen bei Gegenwart von Eisen viel energischer vor sich gehen. Unsere Beobachtungen stimmen vollständig mit den letzten Befunden von S. Toda⁶⁾ überein.

Man kann annehmen, daß sich das Jod an den oxybiotischen Phasen der Atmungsprozesse der Meeresflora und -fauna lebhaft beteiligt, da die im Meerwasser lebenden Organismen nicht so viel Sauerstoff zur Verfügung haben, wie die des Festlandes. Wir konstatierten auch, daß das Jod bei den Halophyten einen großen Einfluß auf die Bildung der Furfuroide ausübt, und zwar namentlich wenn als Nährmedium eine Saccharoselösung dient. Die Pflanzen entwickeln sich in einer Saccharoselösung bei Gegenwart von Jod ungemein günstig. Es findet eine bedeutende Produktion an neuer lebender Pflanzenmasse statt, und zwar geht dieselbe auf Kosten der Saccharose vor sich. Diese interessanten Ergebnisse bezüglich der Einwirkung des Jodes auf die Bildung neuer lebender Moleküle im Organismus der Halophyten und auf die Umwandlung der Saccharose in Furfuroide sind ungemein wichtig, denn wir haben immer beobachtet, daß, wenn die Zuckerrübe größere Quantitäten Jod enthält, stets eine sehr energische Umwandlung der Saccharose in Furfuroide stattfindet.

Es ist eine schon längst bekannte Tatsache, daß die in Italien in der Nähe der Küste angebauten Zuckerrüben stets jodreicher sind, als die in einer größeren Entfernung vom Meere gepflanzten. Bei den jodreichen Zuckerrübenwurzeln gehen die Atmungsprozesse auf Kosten der Saccharose viel energischer vor sich und es wurde konstatiert, daß bei Aufbewahrung der Zuckerrüben der Saccharosegehalt bereits nach 30—50 Tagen um 2—4 % abnimmt. Die Verluste sind so zu erklären, daß einerseits die Atmungsprozesse durch das Jod erhöht werden und der Organismus größere Mengen Kohlendioxid ausscheidet, und andererseits findet infolge Einwirkung des Jodes eine Metamorphose der Saccharose in Furfuroide statt.

Daß die Flora der Meeresküste größere Mengen Jod und Furfurol enthält als die Binnenflora ist aus nachstehenden Analysenresultaten ersichtlich:

⁶⁾ S. Toda, Biochem. Ztschr. 171, 113 [1926].

Pflanzen aus der Umgebung von Prag:

	Furfurolgehalt der Trockensubstanz der oberirdischen Pflanzenteile.	Jodgehalt der oberirdischen Pflanzenteile pro 1 kg Trocken-substanz
	Prozent	Prozent
Agrostis caespitosa	3,84	423 γ
Hordeum vulgare	4,27	497 „
Lathyrus silvestris	4,75	588 „
Lotus corniculatus	5,09	456 „

Pflanzen von der Nordseeküste und vom Adriatischen Meere:

	Prozent	Prozent
Agrostis alba	6,99	920 γ
Hordeum arenarium	6,73	944 „
Lathyrus maritimum	7,89	1263 „
Lotus corniculatus	8,43	1311 „

Wir sehen, daß die von der Meeresküste stammenden Pflanzen einen bedeutend größeren Jod- und Furfurolgehalt aufweisen.

Die Exhalationsgase aller Vulkane enthalten stets Jod und es war von Interesse zu erfahren, ob die sich bereits unterhalb des Kraters entwickelnden Pflanzen ebenfalls jodreich sind. Wir analysierten zu diesem Zwecke vom Vesuv stammende Pflanzen, und zwar die ersten Pioniere, welche sich in den Zonen entwickeln, wo die Luft bloß noch ganz geringe Quantitäten Schwefeldioxyd, Fluorwasserstoff, Chlorwasserstoff usw. enthält, so daß Pflanzen bereits vegetieren können. Der Boden enthält in diesen Regionen pro 1 kg Trockensubstanz durchschnittlich 7433 γ Jod. Wir konstatierten bei *Spartium junceum* in der Trockensubstanz der oberirdischen Teile einen Furfurolgehalt von 9,36 % und einen Jodgehalt von 1875 γ Jod pro 1 kg Trockensubstanz. Bei *Robinia pseudacacia* enthielt die Trockensubstanz der Blätter 7,53 % Furfurol und der durchschnittliche Jodgehalt pro 1 kg Trockensubstanz betrug 1618 γ Jod.

Auch die unterhalb des Vesuvs sich sehr gut entwickelnde Weinrebe enthält in den Blättern und Trauben verhältnismäßig große Quantitäten Jod. Wir konstatierten in den reifen Trauben einen durchschnittlichen Jodgehalt von 920 γ pro 1 kg Trockensubstanz und einen Furfurolgehalt von 8,45 %. Natürlich ist auch der aus diesen Trauben gewonnene Wein jodhaltig. Wir untersuchten bei Helgoland und Kiel die sich am sandigen und schlammigen Meeresgrunde in großer Anzahl entwickelnden Algen und fanden, daß zahlreiche dieser Algen reich an Jod und ebenfalls an Pentosen und Pentosanen sind. Auch Methylpentosen enthielten sie in ziemlich bedeutenden Mengen⁷⁾.

Nun treten wir zur Besprechung des Einflusses, den das Jod auf die oxydativen Vorgänge im menschlichen Organismus ausübt. Um zu sehen, wie sich die oxydativen Vorgänge im menschlichen Organismus bei Einwirkung von Jod verhalten und wie durch das den Organismus größtenteils in organischer Form zugeführte Jod die Wasserstoffionenkonzentration des Harnes beeinflußt wird, habe ich Versuche am eigenen Körper vorgenommen. Ich nahm zu diesem Zwecke keine anorganischen Jodverbindungen zu mir, sondern judgesättigte Häuptelsalate, Radieschen und Tomaten, denn bei meinen früheren Experimenten, bei welchen ich Jod in anorganischer Form einnahm, und zwar in Form von Jod-

⁷⁾ Schon vor 26 Jahren sammelte ich mit Geheimrat Prof. Dr. Reinke in Kiel Algen und untersuchte dieselben auf Methylpentosen.

kalium, hatte ich keine günstigen Resultate zu verzeichnen. Bereits nach 14 Versuchstagen konnte ich eine Abnahme der Acidität des Harnes konstatieren und nach einem Monate sank die Konzentration der Wasserstoffibnen des Harnes auf $pH = 5,6 - 6,2$. Vor dem Versuche wies der Harn im Durchschnitte nach dreimonatigen Messungen eine Wasserstoffionenkonzentration von $pH = 4,8 - 5,2$ auf. Alle Messungen wurden elektrometrisch mit dem Apparate von Michaelis ausgeführt.

Diese Ergebnisse sind von großer Wichtigkeit und eröffnen uns ganz neue Perspektiven. Wir müssen dem menschlichen Organismus das Jod nicht mehr in anorganischer Form zuführen, sondern wir düngen die Pflanzen mit Jod, und diese jodgesättigten Pflanzen können dann mit Erfolg als jodhaltige Nahrung eingenommen werden. Zu diesem Zwecke eignen sich am besten Kartoffeln, Radieschen und Tomaten. Diese zwei letzten Pflanzen vermögen große Mengen Jod in ihrem Organismus zu akkumulieren. Man kann annehmen, daß die Enzyme, wie Oxydase, Peroxydase und Katalase die organischen Jodverbindungen enthalten, da wir stets das Enzym Jodoxydase nachgewiesen haben. — Bei Gegenwart von Eisen in organischer Form erfahren die oxydatischen Phasen im menschlichen Organismus eine bedeutende Steigerung.

In neuester Zeit haben Kelley⁸⁾ und Hunziker⁹⁾ Versuche mit Jod ausgeführt und konstatieren, daß durch dasselbe der gesamte Bau- und Betriebsstoffwechsel im tierischen und menschlichen Organismus bedeutend unterstützt wird. Es wird durch das Jod die Assimilation in hohem Maße gefördert und die für den Körper so wichtigen Phosphor-, Eisen- und Kaliumionen werden im Organismus zurückgehalten. Kinder, welche mit Genüse ernährt wurden, welches von einem stark mit Jodkalium gedüngten Felde stammte, entwickeln sich auffallend rasch und gut. Auch die sexuelle Tätigkeit wird durch das Jod angeregt. Dies konnten wir auch bei Beta vulgaris konstatieren. Es wurde in der zweiten Vegetationsperiode durch den Einfluß des Jodes die Samenbildung erhöht und es waren auch die Samen viel besser entwickelt. Pickworth¹⁰⁾ stellte Versuche mit Schilddrüsenextrakt an und es zeigte sich, daß der Judgehalt desselben bei der Bekämpfung von Infektionen von größter Bedeutung ist.

Ich erwähne weiter die Arbeiten von Roux, Bayard, Klinger, Bischer, Veil, Sturm, Maurer, welche ebenfalls die physiologische Funktion des Jodes im tierischen Organismus studierten, und zwar beschäftigten sie sich namentlich mit dem Judgehalte der Schilddrüse.

Th. von Fellenberg hat in seiner Arbeit über Joddüngung und Jodfütterung nachgewiesen, daß die Fütterung mit jodreichen Runkelrübenblättern zwar eine nicht sehr große, aber doch merkliche Zunahme des Judgehaltes der Milch bewirkte. Bei Fütterung mit Rübenwurzeln ließ sich eine Zunahme des Judgehaltes nicht konstatieren. Die Hauptmenge des ausgeschiedenen Jodes fand man im Harne und hauptsächlich im

Kote. Ein starkes Defizit in der Bilanz deutet auf eine bedeutende Jodausscheidung durch die Haut hin.

Sehr interessant sind die von Niklas, Strobel und Scharrer¹¹⁾ ausgeführten Versuche. Sie fanden, daß eine Jodgabe von 180 mg pro Tier und Tag eine beträchtliche Steigerung des Milchertrages verursachte. Bei einer Jodgabe von 120 mg pro Tier und Tag war die absolute Fettmenge der Milch höher, der prozentische Fettgehalt erschien, bedingt durch die Steigerung der Milchmenge, niedriger. Bei einer Jodgabe von 180 mg pro Tier und Tag stieg anfangs die absolute Fettmenge und fiel dann wieder, während der prozentische Fettgehalt ständig niedriger war. Irgendwelche Beeinflussung des Gewichtes durch die Jodgaben hat nicht stattgefunden.

Es wäre sehr interessant, diese Versuche fortzusetzen, denn diese Frage ist bezüglich der typischen physiologischen Leistungen des Jodes im Organismus von erheblicher Bedeutung und es ist erforderlich, daß diesem Probleme allgemeine Aufmerksamkeit zugewendet wird.

Das Jod wird seit jeher, wenn auch unbewußt, zu therapeutischen Zwecken verwendet. Das radioaktive Mineralmoor von Franzensbad z. B. enthält stets Jod, und zwar in ziemlich bedeutenden Quantitäten. Wir konstatierten pro 1 kg Trockensubstanz einen Judgehalt von 20,853 γ. Weiter enthalten die Extrakte der Droseraceen nicht nur die energischen proteolytischen Enzyme, sondern auch Jod. Bei Drosera rotundifolia fanden wir 24,930 γ Jod pro 1 kg Trockensubstanz.

Seit den ersten Forschungen über den chemischen Charakter des Jodes, die vor etwa 100 Jahren von dem großen französischen Gelehrten Gay-Lussac inauguriert wurden, machten wir große Fortschritte in unserem Wissen von der physiologischen Bedeutung des Jods nicht nur für alle Geobionten, die das Edaphon bewohnen, sondern für alle höheren Pflanzen und Tiere überhaupt. Ich hoffe, daß es uns gelungen ist, mit diesen hier zusammengefaßten Resultaten unserer Untersuchungen ein Bild von der fundamentalen Funktion des Jods im großen Haushalte der Natur gegeben zu haben.

Literatur:

J. Stoklasa, De la fonction physiologique de l'iode dans l'organisme de la betterave à sucre. (Compt. rend. des séances de l'Academie des Sciences 178, 120., 2. Jänner 1924.)

J. Stoklasa, Die physiologische Funktion des Jodes beim Bau- und Betriebsstoffwechsel in der chlorophyllhaltigen und chlorophyllosen Zelle. (Biochemische Zeitschrift 14. Sept. 1926.)

J. Stoklasa, Das Jod als biogenes Element im Organismus der Zuckerrübe. (Fortschritte der Landwirtschaft 1926.)

J. Stoklasa, Über die Verbreitung des Aluminiums in der Natur. Fischer, Jena 1922. 500 Seiten. [A. 274.]

Rohstofferzeugung der Landwirtschaft

von Dr. H. BAUSCH, Berlin.

(Eingeg. 29. Sept. 1926.)

Im Anschluß an die Zusammenstellung der bergbaulichen Produktion¹⁾ wird im folgenden eine Statistik wichtiger Rohstoffe der Landwirtschaft gegeben, soweit statistische Daten auffindbar waren²⁾.

An Brotgetreide, d. h. Weizen, Roggen und Spelz, wurden in Deutschland an der Wende des Jahr-

¹⁾ H. Niklas, A. Strobel u. K. Scharrer, Biochem. Ztschr. 170, H. 4—6.

²⁾ Z. ang. Ch. 39, 530 [1926].

²⁾ Als Unterlage für das statistische Zahlenmaterial dienten: „Statistische Jahrbücher für das Deutsche Reich“, „Kalen-

⁸⁾ Kelley, Biochemical Journal XIX. Bd., Nr. 4, 1925.

⁹⁾ Hunziker u. Eggengerger, Die Prophylaxis der großen Schilddrüse. Bern u. Leipzig 1924.

¹⁰⁾ Pickworth, Annual Meeting of the Medico-Psychological Association of Great Britain and Ireland, Juli 1925.