

Ueber
die Bedeutung des Eisens für den
pflanzlichen und thierischen
Organismus.

Ein Beitrag zur Theorie der Pflanzenernährung.

Von

DR. JOHANN HAMMERSCHMIED.

Vortrag, gehalten am 19. Jänner 1876.

Ich werde versuchen, die Rolle zu enthüllen, welche das Eisen bei den Lebensvorgängen im pflanzlichen und thierischen Organismus spielt, womit zugleich die hohe Bedeutung nachgewiesen werden soll, welche dem Eisen, voraus vor allen anderen anorganischen Stoffen, für die gesammte organische Welt zukommt.

Zum näheren Verständnisse der dabei zur Sprache kommenden Erscheinungen und Thatsachen und behufs Erklärung derselben erscheint es unerlässlich, einige Bemerkungen über die Verbreitung des Eisens und über dessen chemisch-physikalische Eigenschaften vorzuschicken.

I.

Das Eisen ist das verbreitetste aller Metalle. Gedenken findet es sich allerdings nur an wenigen Stellen der Erde, und hier nur in geringer Menge, wie z. B. als eine 5 Centimeter starke Ader im Chloritschiefer bei Kanaan in Nordamerika, in Eisenkiesknollen bei Mühlhausen und Chotzen, mit Platin am Ural, im Goldsande am Altai; dafür findet sich das Eisen in zahlreichen, mannigfachen Verbindungen, wovon einige in

grosser Massenhaftigkeit auftreten, in allen Gesteinen und Mineralien und verleiht denselben wesentlich ihre Färbung, sei dies nun eine gelbe, rothe, braune, grüne, schwarze u. s. f. Dasselbe gilt von sämtlichen Edelsteinen: dem Rubin, Saphir, Smaragd, Opal, Karneol, Amethyst, Granat, Topas u. s. f., die alle wenigstens Spuren von Eisen enthalten und diesem hauptsächlich ihre herrlichen Farben verdanken. Selbst der wasserhelle Diamant birgt kleine Mengen von Eisen in sich, denn, wenn derselbe im reinen Sauerstoffe verbrannt wird, wobei sich Kohlensäure bildet, so bleibt ein kleiner Aschenrückstand, der aus Eisenoxyd und Kieselsäure besteht. Dass im Diamant das Eisen gleich dem darin enthaltenen Kohlenstoffe nur als einfaches Element, also im reinen Zustande enthalten sei, und dass das nach dem Verbrennen des Diamanten zurückgebliebene Eisenoxyd nur ein Verbrennungsproduct ist, gleichwie es die Kohlensäure ist, kann wohl kaum bezweifelt werden. Ebenso ist die Kieselsäure, eine Verbindung des Siliciums mit Sauerstoff, als ein Verbrennungsproduct anzusehen. Dieses enge, feste Aneinanderschliessen der drei Grundstoffe: Kohlenstoff, Eisen und Silicium, ist sehr bezeichnend und bedeutungsvoll für unsere nachfolgenden Betrachtungen.

Der Diamant scheint nach Allem, besonders aber weil man in demselben organische Ueberreste gefunden hat, ein Resultat von Umsetzungen pflanzlicher Gebilde zu sein, worauf auch sein Eisen- und Siliciumgehalt hinweist, welche beide Elemente in der Cellulose der

Pflanzen enthalten sind, worauf wir später zurückkommen werden.

Auch der reinste, weisse Kalk, der dichteste weisse Marmor, ist nicht frei von Eisen. Dasselbe kommt hier als Oxyd vor, in der Regel in Verbindung mit Kieselerde und Thonerde, in allen Kalken (den mesozoischen, jurassischen, tertiären u. s. f.). Hiernach erklärt sich das Auftreten der sogenannten terra rossa, d. i. eines rothen Thones oder rothen Lehmes auf den vegetationslosen, kahlen Plateaux aller Kalkgebirge, welcher rothe Thon eben nichts anderes ist, als der eisenhaltige, thonige und kieselige Rückstand, der zurückblieb, nachdem der Kalk (einfach kohlen-saure Kalk) auf diesen Plateaux durch die Kohlensäure der Luft in doppelt kohlen-sauren Kalk verwandelt worden war, der im Wasser löslich ist, und von den atmosphärischen wässerigen Niederschlägen fortgeführt wurde.

Dass unter solchen Verhältnissen alle Ackererden, die ja nur ein Product der Verwitterung von Gesteinen und Mineralien sind, Eisen enthalten, ist selbstverständlich.

Eisen findet sich auch in jedem Quellwasser, und manche Quellen enthalten reichliche Mengen davon, bis zu 0.2 Gramm in tausend Gramm Wasser, in diesem gelöst als doppelt kohlen-saures Eisenoxydul. Man nennt diese Wässer Eisen- oder Stahlwässer, oder Eisensäuerlinge und benützt sie häufig zu medizinischen Zwecken, vorzüglich zur Behebung von Blutarmuth.

Nebenbei sei bemerkt, dass jedes Quellwasser ausser Eisen, noch Kieselerde, Thonerde, Kalkerde, Bittererde, Kali, Natron, Amoniak, Chlor, Schwefelsäure, Kohlensäure und Spuren von Phosphorsäure, in, besonders nach der Beschaffenheit des Bodens, aus welchem diese Stoffe ausgelaugt werden, wechselnden Mengen enthält.

Auch das Meerwasser, welches sich vom gewöhnlichen Quellwasser in der Wesenheit nur durch seinen grossen Kõchsalzgehalt unterscheidet, enthält die Bestandtheile des Quellwassers, also auch das Eisen in gelöstem Zustande. Auf dem Meeresboden selbst lagern grosse Mengen Eisen in der Form eines rothen Thones, oder der terra rossa von ähnlicher Zusammensetzung wie jene der terra rossa auf den Kalkplateaux. Bei der mikroskopischen Untersuchung dieses auf dem Meeresgrunde in ungeheueren Erstreckungen abgelagerten rothen Lehmes, der fast ausschliesslich aus einem Silicate des rothen Eisenoxydes und von Thonerde besteht, zeigten sich in allen Fällen ganze und mehr oder weniger zerbrochene und zerriebene Schalen von Globigerinen in grosser Menge.

Diese kleinen Lebewesen gehören den Protozoën oder Protisten, oder Urthieren, und insbesondere der Klasse der Rhizopoden (Wurzelfüsser) oder Foraminiferen an. Der Leib dieser Thierchen zeigt unter dem Mikroskope nicht die geringste Spur von Organen, sondern besteht nur aus einem weichen, kontraktilen Protoplasma- oder Sarkodeklümpchen. Diese Thierchen ernähren sich gleich den Amöben, indem sie ihren weichen

Körper, oder von diesem eigens ausgesendete Fortsätze (Scheinfüsse) um den Gegenstand, mit dem sie sich ernähren wollen, gewissermassen herumgiessen, und in dieser Lage so lange verharren, bis sie dem Gegenstande die resorbirbaren Substanzen entzogen haben.

Diese Thierchen nun erzeugen durch ihre Lebenthätigkeit aus ihrem Protoplasmaleibe ein festes Gehäuse, einen Panzer oder Skelett, oder ein Gerüste, in Form von durchlöcherten Schalen, durch deren Löcher, sowie zwischen den Schalen, sie zur Aufsuchung und Aufnahme von Nahrung in der eben geschilderten Weise Fortsätze ihres Leibes herausstrecken. Diese Schalen bestehen der Hauptmasse nach aus kohlen saurem Kalke, Kieselsäure, Thonerde und rothem Eisenoxyd.

Diese Globigerinen bevölkern, nebst den ebenfalls zu den Rhizopoden gehörigen Radiolarien, und nebst den ebenfalls einen ähnlich zusammengesetzten Panzer besitzenden und den Protisten beizuzählenden Diatomeen in ungeheuren Mengen die Meere, worin es an geeigneter Nahrung für diese Thierchen nicht fehlt, indem in allen Meeren, besonders in den flacheren Regionen, welche die Continente und Inseln zunächst umgeben, dann wo Klippen und Steine liegen, grosse Massen von Algen wachsen und in den wärmeren Meeren es ungeheure schwimmende Sargassowiesen (von Seetangen) gibt, wovon fortwährend grosse Mengen absterben, die zu Boden sinken und schliesslich in eine weiche Masse zerfallen, welche für jene Thierchen ganz

oder doch zum Theile resorbirbar ist und somit zu ihrer Ernährung dienen kann.

In dem Verhältnisse, als die Dicke und das Gewicht der Schalen der Globigerinen durch neue, von dem Sarkodenkörper dieser Thiere erzeugte Ansätze zunimmt, sinken sie aus den oberen Meeresschichten in die tieferen, bis endlich auf den Meeresgrund hinab, wo sie eine Zeitlang weiter leben, und sich (ob durch Knospung oder geschlechtliche Fortpflanzung, ist unbekannt) vermehren. Während die jungen, kleinen und specifisch leichten Thierchen in die oberen Schichten des Meeres emporsteigen, sterben die älteren Mutterthiere ab, und unterliegen die Schalen derselben unten am Meeresgrunde der lösenden Wirkung der mit der Tiefe des Meeres an Menge zunehmenden freien Kohlensäure in ähnlicher Weise, wie der Kalk auf den kahlen Plateaux der Kalkgebirge, und bleibt der, wesentlich aus Kieselerde, Thonerde und Eisenoxyd bestehende Rückstand in Form eines röthlichen Schlammes am Boden des Meeres zurück. (William B. Carpenter.)

Erwähnt sei hier noch die Theorie, dass die Mehrzahl der Kalken nichts anderes, als erhärteter und veränderter Globigerinenschlamm sei, ferner die Theorie (von Neumayr), wonach die Hochöfen, welche das Eisen-erz der terra rossa verschmelzen, eigentlich den minimalen Eisengehalt der winzigen Foraminiferenschalen verhütten (verschmelzen).

Der grosse Gehalt des Meerwassers an freier Kohlensäure kann, nach meiner Meinung, nur von der

Verwesung (Gährung) der abgestorbenen und zu Boden gesunkenen pflanzlichen und thierischen Organismen des Meeres selbst herrühren. Diese Kohlensäure löst in der bezeichneten Weise nicht nur die Schalen der abgestorbenen Globigerinen etc., sondern auch den Kalk der in das Meerwasser, namentlich an den Küsten frei hineinragenden, kalkigen Gesteinsmassen, die ohne Ausnahme auch Kieselsäure und Eisenoxyd führen, und verschafft somit diesen Thieren wieder das Material zum Aufbaue ihrer Gerüste oder Panzer.

Die im Ueberschuss vorhandene, freie Kohlensäure dient wiederum den sehr zahlreichen, an vielen Stellen des Meeres ungemein massenhaft vegetirenden pflanzlichen Organismen zu ihrem Aufbaue.

Dem Angeführten zufolge fehlt es also den pflanzlichen und thierischen Organismen auf unserer Erdoberfläche, ob sie nun auf dem Festlande, oder im Meere leben, nirgends an Eisen, welches, wie wir uns bald überzeugen werden, für die Existenz jener Organismen unumgänglich nothwendig ist.

II.

Was nun die chemisch-physikalischen Eigenschaften des Eisens betrifft, so gibt hierüber der Schmelzprocess, durch welchen das Eisen aus den Erzen gewonnen wird, den besten Aufschluss.

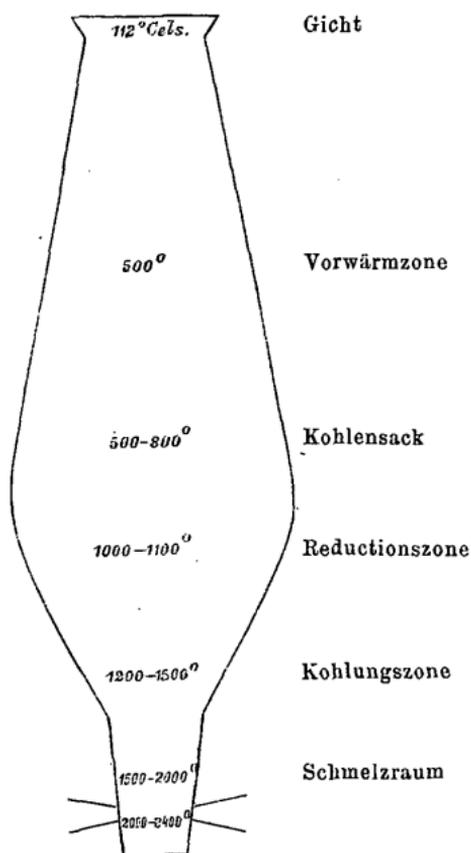
Zur Darstellung des Eisens werden die sogenannten oxydischen Verbindungen des Eisens benützt, und zwar folgende:

- a) kohlensaures Eisenoxydul, sogenannter Spatheisenstein;
- b) Eisenoxydhydrat, sogenannter Brauneisenstein;
- c) Eisenoxyd, sogenannter Rotheisenstein, Haematit, rother Glaskopf;
- d) Eisenoxyduloxyd oder Magneteisenstein;
- e) die sogenannten geschwefelten Verbindungen, nämlich die Verbindungen des Eisens mit Schwefel, der Schwefelkies, der Magnetkies, werden erst in neuerer Zeit in England zur Eisengewinnung benützt, nachdem man sie zuvor abgeröstet hat, wobei man schwefelige Säure zur Schwefelsäure-Fabrikation erzeugt.

Die chemischen Vorgänge bei diesem Eisenschmelzprocesse sind in Kürze folgende: Der Schmelzraum (siehe Figur) oder das Gestelle wird beim Inbetriebsetzen oder Anlassen des Ofens bis zur sogenannten Rast mit Brennmaterial (Holzkohlen allein oder Holz mit Koks) angefüllt; darauf werden bis oben zur Gicht abwechselnd Schichten von Brennumaterial und von Erz und Zuschlägen gesetzt, welche letztere die Bestimmung haben, eine leichtflüssige Schlacke zu erzeugen. Nach Anzünden des Brennmaterials im Gestelle entsteht unmittelbar vor den Formen oder Düsen durch die, unter starker Pressung hier einströmende, gewöhnlich erhitzte Luft die grösste Hitze von 2000 bis 2400^o C. — Der Sauerstoff der einströmenden Luft verbindet sich mit dem Kohlenstoffe des Brennmaterials zu Kohlensäure und der Stickstoff der Luft bei dieser grossen Hitze ebenfalls mit Kohlenstoff des Brennmaterials zu Cyan, das

sich mit den Alkalien des Brennmaterials zu Cyanalkalien verbindet.

Es ist auch mit Grund anzunehmen, dass bei der bemerkten hohen Temperatur das im Brennmaterial und



in der einströmenden Luft enthaltene Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt wird und dass der Wasserstoff sich mit dem Kohlenstoffe zu Kohlenwasserstoff und der Sauerstoff mit Kohlenstoff zu Kohlensäure sich verbindet.

Diese gasförmigen Verbindungen, nämlich: Kohlensäure, Cyanalkalien und Kohlenwasserstoff steigen im Ofen empor und treffen hier auf die abwechselnden Schichten von Kohlen oder Koks und von Eisenerzen.

Die Kohlensäure gibt auf diesem Wege nach oben an die daselbst bereits sehr erhitzte Kohle einen Theil ihres Sauerstoffes ab und wird dadurch in Kohlenoxydgas verwandelt oder reduziert.

Das so gebildete Kohlenoxydgas, dann das Kohlenwasserstoffgas und die Dämpfe der Cyanalkalien lockern bei ihrem weiteren Aufwärtsziehen die Masse der herabsinkenden Beschickung (Eisenerze und Zuschläge) wobei sich flüchtige Substanzen, z. B. Schwefel von dem Eisenerze trennen und nach Oben durch die Gicht entfernen. Das Kohlenoxydgas entzieht bei der in dieser Zone des Ofens (der sogenannten Reduktionszone) herrschenden hohen Temperatur von circa 800° C. dem oxydischen Eisenerze den Sauerstoff, reducirt also dasselbe zu metallischem Eisen, welches in Form einer schwarzen, schwammigen Masse frei wird, die ungleichmässig in den noch ungeschmolzenen, erdigen Bestandtheilen vertheilt ist. Von dem Momente dieses Freiwerdens an entreisst das metallische Eisen bei seinem Hinabsinken in den nach unten sich verengenden, bis auf 1000° bis 1100° erhitzten Ofenraum — die sogenannte Rast — den Cyanverbindungen und den Kohlenwasserstoffverbindungen, wahrscheinlich auch dem Kohlenoxydgase, den Kohlenstoff und verbindet sich bis zur Sättigung mit demselben,

wohl auch direct mit dem glühenden Kohlenstoffe: das Eisen wird, wie man sich ausdrückt, gekohlt. Der Raum des Hochofens, wo dieses geschieht, heisst die Kohlunzone, die nach unten in das Gestell oder den Schmelzraum übergeht.

Mit dem Eintritte der Sättigung des Eisens mit Kohlenstoff, oder der Kohlun, wird dieses Eisen flüssig, so dass es als Roheisen in den Herd, die tiefste Stelle des Schmelzraumes unmittelbar unter der Form hinabtropfen kann. Dasselbe thun die vor den Formen ebenfalls flüssig gewordenen erdigen Bestandtheile, die als flüssige Schlacke über dem specifisch schwereren flüssigen Roheisen sich ansammeln und nach aussen abfliessen, während das flüssige Roheisen von Zeit zu Zeit, bei Oefen mit geschlossener Brust abgesehen (abgestochen) wird, oder bei Sumpfofen mit Vorherd ausgeschöpft und in die Giessformen gegossen wird.

Das durch den so eben geschilderten Hochofenprocess gewonnene metallische Eisen (Roheisen) enthält chemisch gebundenen, richtiger gelösten Kohlenstoff, und zwar beträgt der Kohlenstoffgehalt 2 bis 6 Procent, oder 2 bis 6 Pfund im Centner. Nebst diesem chemisch gebundenen Kohlenstoffe enthält das Roheisen auch mechanisch beigemengeten Kohlenstoff, nämlich den Graphit, welcher bei dem Erstarren des flüssigen Roheisens in seinen blasigen Zwischenräumen oder Lücken ausgeschieden wird.

Ausser Kohlenstoff enthält das Roheisen noch viele andere, die Güte des Eisens mehr, weniger

beeinträchtigende Stoffe, wie die beigelegte Analyse eines sogenannten Spiegeleisens (aus Br. Kerl's Eisenhüttenkunde) zeigt:

Analyse eines Roheisens (Spiegeleisen).

Eisen	82·860	Schwefel . .	0·014
Mangan . . .	10·707	Aluminium .	0·077
Kohlenstoff .	4·323	Nickel . . .	0·016
Kalium . . .	0·063	Kobalt . . .	Spur.
Natrium . . .	Spur.	Kupfer . . .	0·066
Calcium . . .	0·091	Titan	0·006
Silicium . . .	0·997	Lithium . . .	Spur.
Magnesium .	0·045	Antimon . .	0·004
Arsen	0·007	Stickstoff . .	0·014
Phosphor . .	0·059	Sauerstoff . .	0·665
	Chlor	} in Spuren	
	Brom		
	Jod		

Das Roheisen, entweder von einem schwarzen, körnigen Gefüge, (graues Roheisen) oder von einem weissen strahlartigen Gefüge (Spiegeleisen) mit grösserem Kohlenstoffgehalt, ist spröde, nicht schmied- und schweissbar, und geht in der Weissglühhitze direct in den flüssigen Zustand über, wodurch es besonders zum Gusse geeignet ist.

Entfernt man vom Roheisen einen Theil des Kohlenstoffes und so viel als möglich, von den andern beigelegten schädlichen Stoffen, wie Schwefel, Phosphor, Silicium etc. durch Verbrennen, indem man es bis zum Schmelzen erhitzt und nun Luft zuleitet, was man als

„Frischen“ bezeichnet; so erhält man Stab- oder Schmiedeeisen. Dasselbe enthält 0·1 bis 0·5 Procent Kohlenstoff.

Der Stahl steht in Bezug auf den Kohlenstoffgehalt zwischen dem Roheisen und Stabeisen. Er enthält 0·6 bis 2 Procent Kohlenstoff, und wird erhalten:

1. Durch Frischen von Gusseisen nicht ganz bis zum Stabeisen, sondern nur bis zur Hälfte, oder durch einen, mit starker Pressung durch flüssiges Roheisen geleiteten Luftstrom, durch den sogenannten Bessemerprocess.

2. Durch mehrtägiges Glühen von Stabeisen und Kohlenpulver in verschlossenen Kästen (cementiren).

Man erhält chemisch reines Eisen, das fast silberweiss ist, durch sehr starkes Erhitzen mit etwas Eisenoxyd unter einer Decke von grünem Glase; reduziert man Eisenoxyd oder Eisenchlorur durch Wasserstoff, so erhält man das reine Eisen als schwarzes Pulver, welches an der Luft unter rascher Verbindung mit dem Sauerstoffe der Luft und in reinem Sauerstoffgase, in diesem mit glänzendem Lichte, verbrennt, Eisenoxyduloxyd und Eisenoxyd bildend. Glüht man Eisen in Wasserdampf, so wird Wasser zersetzt, indem sich das Eisen mit dem Sauerstoffe des Wassers zu Eisenoxyduloxyd verbindet und der Wasserstoff frei wird.

In ganz trockener Luft bleibt das Eisen bei gewöhnlicher Temperatur unverändert; in feuchter Luft dagegen bildet sich unter dem Einflusse der in der Atmosphäre stets vorhandenen Kohlensäure kohlen-saures Eisenoxydul, welches bald mehr Sauerstoff auf-

nimmt und unter Ausscheidung der Kohlensäure in Eisenoxydhydrat (Rost) übergeht. Die freigewordene Kohlensäure greift im Vereine mit dem atmosphärischen Wasserdampfe das nächst angrenzende Eisen in der bezeichneten Weise an, und so kommt es, dass das Rosten des Eisens rasch vorwärts schreitet.

Auch unter Wasser oxydirt sich das Eisen und wenn es in fein vertheiltem Zustande als Eisenschwamm vorhanden ist, so verhindert es die Fäulniss von unreinem Wasser, eben weil es, nach meiner Meinung, den im Wasser enthaltenen Sauerstoff (von der absorbirten Luft) an sich reisst, also den zur Fäulniss, eigentlich zum Leben der die Fäulniss bewirkenden kleinsten Organismen (Bakterien) nothwendigen Sauerstoff für sich zu seiner Oxydation in Anspruch nimmt.

Eisenoxydulsalze verhalten sich nach der Beobachtung Schönbein's genau so, wie die rothen Blutkörperchen als Ozonüberträger, was so viel sagen will, dass die Eisenoxydulsalze gleich den rothen Blutkörperchen den Sauerstoff an sich zu verdichten und festzuhalten vermögen, und ihn an eine leicht oxydirbare oder leicht verbrennliche Substanz wieder abgeben.

Aus dem hiermit geschilderten chemisch-physikalischen Verhalten des Eisens ist — als für unsere weiteren Betrachtungen von grösster Bedeutung — Folgendes hervorzuheben:

a) Die durch die vorstehende Analyse eines Roh Eisens constatirte Anziehung des Eisens, die es auf eine lange Reihe von Elementen, wohl auf

sämtliche, in den verschmolzenen Erzen und Zuschlägen und in dem verbrannten Brennmaterialen enthaltenen Elemente mit einer Stärke ausübt, dass es selbst die ungewein leicht verbrennlichen, nämlich die grösste Verwandtschaft zum Sauerstoffe besitzenden Stoffe, wie vor Allem: den Kohlenstoff, dann das Kalium, Natrium, Calcium, den Phosphor, Schwefel etc., vor dem Verbrennen, selbst bei der vor dem Formen bestehenden enormen Hitze von 2000° und darüber schützte, sie also so fest an sich haltend, ohne mit ihnen eine eigentliche chemische Verbindung einzugehen, dass sie dem mit grosser Macht auf sie eindringenden Sauerstoffe der durch die Formen einströmenden Luft nicht zum Opfer fielen.

Diese kräftige Attraktion des Eisens gegenüber einer so grossen Anzahl von Elementen muss dem Eisen die Rolle einer mächtigen Führerschaft bei der Wanderung der Stoffe aus dem anorganischen Naturreiche in das organische zuweisen.

b) Die starke chemische Affinität des Eisens zum Sauerstoffe, wie unter Anderem die Verbrennung des chemisch reinen Eisens in atmosphärischer Luft beweist.

c) Die starke Verwandtschaft des Eisens mit der Kohlensäure als einer Verbindung von Kohlenstoff mit Sauerstoff (CO_2), wie die Verbindung der Kohlensäure mit Eisen in den, in grosser Menge in der Natur vorkommenden Eisenerzen, dann das Rosten von Eisen etc., bezeugen. Diese Eigenschaft ist von der aller-

grössten Wichtigkeit, wie wir sehen werden, für die Zerlegung der Kohlensäure durch die eisenführenden Chlorophyll- oder blattgrün-haltigen Zellen sämtlicher Pflanzen unter dem Einflusse des Lichtes.

d) Die Verdichtung und Bindung des Sauerstoff- und des Stickstoffgases, ohne sich damit chemisch zu verbinden und die Fähigkeit, den verdichteten, oder ozonisirten Sauerstoff wieder an andere Stoffe abzugeben.

Diese letztere Eigenschaft verleiht dem Eisen, welches im Blute aller Thiere, sowie in den Gewebssäften aller in Bezug auf die Ernährung dem Thierreich zuzugesellenden Pilze enthalten ist, die eminenteste Wichtigkeit bei dem Transporte der Gase, nämlich der Aufnahme des Sauerstoffes in den thierischen Körper gleichwie in die Gewebe der Pilze und der Kohlensäure aus denselben Körpern.

Wir werden schon nach diesen wenigen Andeutungen über die hier bezeichneten Haupteigenschaften des Eisens die sicherste Basis für unsere nun folgenden Betrachtungen über den Einfluss und die Mitwirkung des Eisens bei den Lebensvorgängen im pflanzlichen und thierischen Organismus besitzen.

III.

Nachdem wir nun das für unseren Zweck Wichtigste über die Verbreitung und über die chemisch-physikalischen Eigenschaften des Eisens kennen gelernt

haben, wollen wir an die Betrachtung über die Bedeutung des Eisens für den pflanzlichen und thierischen Organismus gehen.

Um die volle Bedeutung des Eisens für die Pflanzenwelt zu ermessen, ist die Beantwortung folgender Fragen nothwendig, und zwar:

1. Enthält jeder Pflanzenorganismus Eisen und kann der Pflanzenorganismus ohne Eisen bestehen?

2. Welche Elementarorgane des Pflanzenleibes enthalten in ausgesprochener Weise Eisen, und welchen Functionen oder Thätigkeiten stehen diese eisenführenden Pflanzenorgane vor?

Zu 1. Der Pflanzenleib besteht, sowie der Thierleib, aus organischen und anorganischen Substanzen. Zu den vorzüglichsten organischen Substanzen, welche, ohne Unterschied, der Pflanzenleib aus anorganischen Stoffen und zwar aus Kohlensäure und Wasser, aus einigen phosphorsauren und schwefelsauren Salzen und aus gewissen stickstoffhaltigen Verbindungen (Salpetersäure oder Ammoniak) bereitet, gehören:

a) Die sogenannten Kohlehydrate (Cellulose, Stärke, Zuckerarten oder Glycose, Inulin, Gummi, Pflanzenschleim), welche aus Kohlenstoff und den Elementen des Wassers bestehen und die Elemente des Wassers (Sauerstoff und Wasserstoff) in demselben Verhältnisse, wie im Wasser enthalten.

Die an die Kohlehydrate unmittelbar sich anreihenden organischen Pflanzensäuren enthalten ausser Kohlenstoff und den Elementen des Wassers noch ein

Plus (Mehr) einer gewissen Menge Sauerstoff, während viele ätherische Oele, Wachs, die Harze, wie die Kohlehydrate, ebenfalls den Kohlenstoff und die Elemente des Wassers, dann aber noch ein Plus einer gewissen Menge Wasserstoff enthalten. Die ätherischen oder flüchtigen Oele enthalten nur die Elemente: Kohlenstoff und Wasserstoff.

b) Die Eiweisskörper und Proteinstoffe, welche dem Gewichte nach zwar den kleinsten Theil der Masse der Pflanzen ausmachen, aber für die Bildung der pflanzlichen Elementarorgane, namentlich des eigentlichen Zellenleibes oder des sogenannten Primordialschlauches der die Assimilation (die Ernährung, den Aufbau) und den Stoffwechsel besorgenden Zellen unentbehrlich sind. Diese Eiweisskörper (Pflanzeneiweiss, Kleber, Legumin, Asparagin, Leucin) enthalten in sehr complexen, d. i. in hochzusammengesetzten Verbindungen die Elemente des Kohlenstoffes, Sauerstoffes, Wasserstoffes und auch den Stickstoff.

Diese hier aufgezählten organischen Substanzen des Pflanzenleibes sind verbrennbar und entfernen sich in Gas- oder Dampfform beim Verbrennen der Pflanzen.

Jede Pflanze hinterlässt nach dem Verbrennen eine Asche, die aus anorganischen Verbindungen besteht. Constant kommen in der Asche aller Pflanzen vor: Kalium, Natrium, Magnesium und Calcium, gebunden an Phosphorsäure, Schwefelsäure, Kohlensäure und Chlor, ausserdem Eisen, Silicium, Mangan und geringe Mengen von Fluor. In den See-

pflanzen finden sich ausserdem noch wägbare Mengen von Brom und Jod. Die in vielen Pflanzen noch aufgefundenen salpetersauren Salze, die vermöge des Stickstoffgehaltes der Salpetersäure (NO_5) sehr wichtig als Nahrungsmittel der Pflanzen sind, ebenso noch andere in manchen Pflanzen vorkommende Elemente, wie Aluminium, Kupfer, Zink, Lithium, Barium, Cesium, Rubidium etc. gehören nicht zu den constanten und auch nicht zu den für die Pflanzen nothwendigen anorganischen Pflanzenbestandtheilen. Bezüglich der in der Pflanzenasche vorkommenden kohlensauren, schwefelsauren und phosphorsauren Salze ist mit Beziehung auf das über die Verbrennung des Diamanten angeführte (S. 348) zu bemerken, dass sie mindestens zum grössten Theile von dem Verbrennungsprocesse, nämlich von der dabei stattfindenden Oxydation des Kohlenstoffes, des Schwefels, des Phosphors und wohl auch von der Oxydation der alkalischen Basen (Kalium, Natrium) so wie der erdigen Basen (Magnesium, Calcium) herkommen.

Es findet sich also in den Pflanzen das Eisen in Gesellschaft derselben anorganischen Stoffe, wie im Quell- und Meerwasser und wie im Roheisen, im Stahle und im Stabeisen.

Angesichts dieser Thatsachen wird man unwillkürlich zu der Folgerung verleitet, dass es das Eisen ist, welches vermöge seiner, aus der vorne angeführten Analyse des Roheisens klar ersichtlichen starken Anziehung zu allen in der Pflanze aufgefundenen Elementen, eben diese Elemente aus der Erde, beziehungsweise aus dem

die Erde durchtränkenden Wasser in den Pflanzenleib hinüber geleitet, dahin überführt, mit anderen Worten, dass dem Eisen die Führerschaft, die Führerrolle bei der Wanderung der anorganischen Stoffe aus dem Mineralreiche in das Pflanzenreich zugefallen ist.

Nachstehende Betrachtung erhebt die hier über die eine Rolle des Eisens ausgesprochene Vermuthung, wenn nicht zur vollen Gewissheit, so doch zur grossen Wahrscheinlichkeit:

„Die wegen ihrer grossen Fruchtbarkeit bekannte schwarze Erde Russlands und namentlich Podoliens, welche niemals Dünger irgend welcher Art erhalten hat und seit einer langen Reihe von Jahren: 18 Hektoliter Roggen, 22 Hektoliter Hafer und 30.000 Kilogramm Runkelrübe pro Hektar produzierte, besteht nach Grandeaus, im „Naturforscher“ (1872, Nr. 22) mitgetheilten Untersuchungen, aus einer eigenthümlichen Verbindung organischer Substanzen mit dem Kiesel, der Phosphorsäure, dem Eisen, Kalk und der Magnesia. Im Boden, höchst wahrscheinlich mit den erdigen Basen vereint, wird diese complizirte Substanz der Erde in ihrem natürlichen Zustande weder durch Wasser entzogen, noch durch saure oder alkalische Lösungen. Man muss zu ihrer Gewinnung vorher ihre Verbindung mit dem Kalke vernichten. Behandelt man daher die Erde mit einer schwachen Säure und dann mit einer Ammoniaklösung, so löst sich die schwarze Substanz, und die Erde bleibt farblos zurück. In der dunkelbraunen Lösung kann man durch gewöhnliche Reagen-

tien weder Schwefelsäure, noch Eisen, noch Magnesia, Kalk oder Kieselsäure nachweisen. Dampft man aber diese Lösung zur Trockene ein, so erhält man einen glänzend schwarzen, spröden, in Alkalien löslichen Körper, der beim Glühen 2 bis 60 Procent Asche gibt, in welcher man mittelst Salpetersäure phosphorsaures Eisen, Mangan, Kalk, Magnesia und Kali ausziehen und den Rest als kieselsaures Eisen erkennen kann.“

Hieran können wir folgende Betrachtung knüpfen: Bei dieser chemischen Behandlung der Erde wurde der kohlensaure Kalk derselben durch die schwache Säure in Kohlensäure und Kalk zerlegt, welcher letzterer sich mit der hinzugefügten Säure verband, während die freigewordene Kohlensäure sich mit dem unmittelbar nach der Säure hinzugefügten kohlensauren Ammoniak vereinigte. Dieses doppelt kohlensaure Ammoniak war somit das Lösungsmittel für die bezeichneten Bodenbestandtheile. Um diese aber, behufs ihrer Auflösung, aus ihrer früheren festen Vereinigung zu bringen, musste die Kette dieser Verbindung, durch die Loslösung und Entfernung eines Gliedes der Kette, und zwar des Kalkes, zerrissen werden, in Folge dessen die übrigen Glieder auseinanderfielen. Mit der Entfernung des Kalkes aus jener festen Verbindung wurde aber nichts anderes bewirkt, als die Freimachung des Eisens, das mit diesem Kalk innig verbunden war. Das Eisen also war das Hauptbindeglied, der Kitt für das festere Zusammenhalten des Kalkes, des Kiesels; des Kali, der Magnesia, des Schwefels, des

Phosphors u. s. f. Nur von einem Stoffe liess das Eisen bei dem bemerkten chemischen Behandeln der Erde nicht ab, nämlich von der Kieselsäure. Die aufgezählten mineralischen Stoffe sind aber gerade diejenigen, welche constant in den Pflanzen vorkommen und unerlässlich sind für ihre Existenz, für ihren Aufbau und ihre Fortpflanzung.

Alle diese Stoffe im Boden festzubannen, sie für alle die zahlreichen Pflanzen, sobald sie sich auf einem Boden ansiedeln, in Bereitschaft zu halten, ist die höchst wichtige Bestimmung des Eisens.

Daraus, nämlich aus der besprochenen Eigenschaft des Eisens, aus seiner bindenden Kraft gegenüber den oben genannten und noch vielen vielen andern, für das Pflanzenreich weniger belangreichen Elementen, erklärt sich die von Liebig, Thomson u. A. festgestellte Thatsache, dass die Ackererde das Vermögen besitzt, diejenigen organischen Stoffe, welche unentbehrliche Nahrungsmittel der Pflanzen sind, aufzusammeln und mit grosser Kraft zurückzuhalten. Regenwasser nimmt beim durchfiltriren durch Ackererde keine Spur von Kali, von Ammoniak, von Phosphorsäure und von Kieselerde auf, und lässt man Regen- oder anderes Wasser, welches Ammoniak, Kali, Phosphorsäure, Kieselsäure aufgelöst enthält, durch Ackererde filtriren, so verschwinden diese Stoffe beinahe augenblicklich aus der Lösung. Die Ackererde vermag also Lösungen diese Stoffe zu entziehen und zu absorbiren und sie, ähnlich

wie Kohle, Farb- und Riechstoffe, mit einer gewissen Kraft festzuhalten.

Die Capacität, oder der Sättigungspunkt, den verschiedene Bodenarten für die oben genannten Stoffe haben, ist nach der chemischen Zusammensetzung der Bodenarten verschieden.

Sandboden, ein Gemenge, in welchem die Kieselerde als Grundbestandtheil vorwaltet, absorbirt am wenigsten; mehr absorbirt der Mergelboden, in welchem der kohlen saure Kalk den wesentlichen Grundbestandtheil ausmacht; am meisten hält von den gelösten Stoffen der Thonboden zurück, in welchem Kieselsäure, Thonerde und Eisenoxyd die vorherrschenden Grundbestandtheile bilden. Sonach besitzt die eisenreichste Bodenart, nämlich der Thonboden, auch die höchste Capacität für die oben genannten Grundstoffe und deren Verbindungen.

Wir sehen also auch hier das Eisen mit seiner starken Anziehung gegenüber den in der Erde gelösten, für die Pflanzen unentbehrlichen mineralischen Stoffe wirkend auftreten, diese Stoffe zu sich herbeiziehen, sie mit einer gewissen Festigkeit um sich zu schaaren, wie wir es im Roheisen, aus dessen vorne angeführten Analyse gegenüber denselben Stoffen (Silicium, Kalium, Calcium, Natrium, Schwefel, Phosphor, Magnesium etc.) gesehen haben.

Wenn ein an organischen Ueberresten, an Humusreicher Boden einer Lösung von kieselsaurem Kali alles Kali entzieht, dagegen die Kieselsäure ungelöst zurück-

lässt, so liegt der Grund hiervon nur in der Abwesenheit einer hinreichenden Menge von Eisen; denn ein an Humus ganz verarmter, jedoch eisenreicher Thon- oder Kalkboden entzieht jener Lösung nicht nur alles Kali, sondern auch die ganze Kieselsäure. Dass aber der humusreiche Boden das Kali aus der Lösung aufnimmt, beruht wohl nur auf der Verwandtschaft des Kali zum Stickstoffe der im Humus vorhandenen stickstoffhaltigen Substanzen (zersetzte und in Zersetzung begriffene organische Verbindungen), welche Verwandtschaft (zwischen Kali und Stickstoff) eine ziemlich starke ist, wie wir vorne beim Eisenhochofen-Processus aus der daselbst auftretenden Verbindung des Cyans (eine Verbindung von Stickstoff und Kohlenstoff) mit den Alkalien, namentlich mit dem Kali des Brennmaterials, gesehen haben.

Ganz frei von Eisen ist auch der Humus (Torf) nicht, weil ja die Pflanzen und Pflanzenbestandtheile, aus deren Ueberresten der Humus besteht, Eisen enthalten. Diesem Eisengehalte des Humus ist es auch und zwar wegen der starken Anziehung des Eisens für den Phosphor vorzüglich zuzuschreiben, dass der Humus die Eigenschaft besitzt, die ihm in irgend einer Form dargebotene, für das Gedeihen der Pflanzen, namentlich für die Diffusions- und Filtrationsvorgänge in dem Pflanzengewebe, d. i. für das leichtere Durchdringen der von der Wurzel gelösten Stoffe durch die Zellenmembranen des Pflanzengewebes so wichtige Phosphorsäure zurückzuhalten, also auch beim Compostiren von Phosphoriten aus dem hier dargebotenen phosphorsauren

Kalke die Phosphorsäure aufzuschliessen und zu extrahiren, während der freigewordene Kalk von den im Humus vorhandenen organischen Säuren, den Humussäuren, zurückgehalten, gebunden wird.

Was man bei dem oben angeführten Experimente mit der schwarzen Erde Russlands durch das doppelt kohlen saure Ammoniak erreicht, nämlich die Auflockerung, die Freimachung, mit einem Worte die Aufschliessung der übrigen mineralischen, für die Pflanze wichtigen Bodenbestandtheile, dasselbe bewerkstelligen die Pflanzen zum Zwecke ihrer Ernährung durch eine, von ihren Wurzeln, ja schon beim Keimungsprocesse, ausgeschiedene Säure. Folgende, dem „Naturforscher“ (vom Jahre 1875, Nr. 42) entlehnte Notiz aus dem Berichte über die Thätigkeit der botanischen Section der schlesischen Gesellschaft im Jahre 1874 möge die Säurebildung wachsender Pflanzen demonstrieren:

„Lässt man Samen (Gerstenkörner) zwischen feuchtem Lackmuspapier keimen, so heften sich, wie Ferdinand Cohn in der Wanderversammlung der schlesischen Botaniker zu Camenz zeigte, die Wurzeln dicht an das Lackmuspapier und färben dasselbe so intensiv roth, dass man selbst von der Rückseite den Verlauf der Wurzeln in hellrothen Linien auf dem blauen Grunde sich abzeichnen sieht. Durch wiederholten Zusatz von blauer Lackmustinctur erhöht man die Intensität der rothen Färbung, welche die Ausscheidung einer starken, nicht flüchtigen Säure durch die Wurzel evident

macht, welcher mit Recht die Lösung der im Boden absorbirten, an sich zum Theil unlöslichen Nährstoffe der Pflanze zuzuschreiben ist.“

Ueber die Natur dieser, von den Wurzeln lebender Pflanzen ausgeschiedenen Säuren dürfte die Beobachtung Aufschluss zu geben geeignet sein, wonach Platten von weissem Marmor unter der Erde in Berührung mit Wurzeln derart angegriffen wurden, dass sie an ihrer Oberfläche unregelmässig gelagerte Furchen zeigten, und die weitere Beobachtung, dass selbst die feinsten Wurzeln einer Ulme in einem noch härteren quarzigen Sandsteine mit einem kalkigen Cemente eingedrungen sind.

In diesen beiden Fällen wurde also der Kalk durch die von den Wurzeln bereitete Säure gelöst.

Die im Pflanzenreiche verbreitetste Säure ist die Oxalsäure ($C_2 O_4 H_2$), ihre starke Verwandtschaft zum Kalke und ihre leichte Zersetzbarkeit, selbst in Verbindung mit dem Kalke, ist bekannt, und es liegt daher nichts näher, als die Vermuthung, dass durch die Thätigkeit der zelligen Organe in den Wurzeln, die von den Wurzeln aus dem Boden mit dem darin befindlichen Wasser aufgenommene Kohlensäure zu Oxalsäure (die als eine Verbindung von Kohlensäure mit Wasserstoff = $2 C O_2 + 2 H$ angesehen werden kann) reduziert wird, welche aus dem Kalke jener festen Gesteine die Kohlensäure austrieb, und sich mit dem Kalke zu oxalsaurem Kalke verband, der in Form von feinen,

nadelförmigen Krystallen oft massenhaft in vielen Pflanzen abgelagert sich vorfindet.

Durch diese, auch theoretisch nachweisbare Thätigkeit der Pflanzenwurzeln werden mehrere für das Pflanzenleben höchst wichtige Zwecke erreicht, und zwar:

a) Die Ueberführung des für den Aufbau (Assimilation) der Pflanzen unerlässlichen Kalkes. Derselbe spielt nach den neuesten, im Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft (Bd. VIII) mitgetheilten Versuchen von Jos. Böhm bei der Umbildung der Stärke in die Formbestandtheile der Pflanze, vorzüglich in die Cellulosenmembran, dieselbe wichtige Rolle, wie bei der Bildung der Knochen, die vorwaltend aus phosphorsaurem Kalke bestehen, im Thierleibe.

In der That findet sich, nach Ladenburg, in der Asche auch der reinsten Cellulose: Kalk, Eisenoxyd und Kieselsäure.

b) Die Freimachung des in jedem Kalke enthaltenen und nicht minder als der Kalk wichtigen Eisens, sowie der gleichfalls in jedem Kalke enthaltenen Kieselsäure behufs deren Ueberführung in die Pflanzen, wofür der Beleg im constanten Vorkommen dieser drei Mineralkörper in der Cellulose gegeben ist.

c) Die Freimachung von Kohlensäure, ebenfalls aus dem Kalke, deren Kohlenstoff den wichtigsten Baustein für den Pflanzenkörper bildet.

Die Führerschaft bei der Wanderung der in dem gezeigten Beispiele aus dem Kalke frei-

gemachten, sowie der noch übrigen, dem pflanzlichen Organismus sich einverleibenden anorganischen Stoffe, nämlich des Kalkes, der Kieselsäure und der Kohlensäure hinüber in den Pflanzenleib müssen wir dem Eisen vindizieren, wovon die unwiderleglichen, weil lediglich auf den chemisch-physikalischen Eigenschaften beruhenden Gründe schon oben von verschiedenen Gesichtspunkten und nach mehreren Richtungen vorgebracht worden sind. Es ist nur noch zu untersuchen, welcher Stoff oder Bestandtheil in der Pflanzenzelle für die Einwanderung des Eisens und mit diesem der übrigen, für das Pflanzenleben wichtigsten anorganischen Stoffen das Bestimmende, das Orientirende sei, oder mit anderen Worten, welcher Stoff vorzugsweise das Eisen mit seinen anorganischen Verbündeten in den Leib der Pflanzenzelle hineinzieht? Als diesen Stoff der Pflanzenzelle müssen wir in erster Linie den Kohlenstoff erklären, zwischen welchem und dem Eisen, nach dem vorne beim Eisenschmelzprocesse über die chemischen Eigenschaften des Eisens Bemerkten die denkbar grösste Affinität oder Anziehung besteht. Betrachten wir z. B. die Kartoffelknolle mit ihrer gewaltigen Masse von Amylum (Stärke) von der Zusammensetzung $C_{36} H_{62} O_{31}$ nach Naegeli, so wird der grosse Kohlenstoffgehalt des in Keimung begriffenen Kartoffelknollens als ein hinreichend starkes Anziehungscentrum gegenüber dem, ausserhalb des Knollens in der Keim- oder Nährflüssigkeit befindlichen Eisen

und seinen mineralischen Begleitern erscheinen. Und in der That vermag, nach einem mit zahlreichen, in destillirtem Wasser angekeimten Erbsensamen von Rud. Weber durchgeführten Versuche, der Same jeder Pflanze sich zum kräftigen Pflänzchen zu entwickeln in einer künstlich zusammengesetzten Lösung, die in einem, fortwährend nur mit destillirtem Wasser versehenen Boden von reinem Quarzsande phosphorsaures Kali, salpetersauern Kalk, schwefelsaure Magnesia und salpetersaures Kali enthält, nach Verhältnissen wie sie eben der Zusammensetzung der Asche in der Versuchspflanze entspricht, also z. B. procentisch mehr Kalk für die Erbse, für den Klee, mehr Kali für die Rübe, die Kartoffelknolle, mehr Kieselsäure für die Monokotyledonen, zu denen die Gräser und Getreidearten gehören, mehr Phosphorsäure für die Cerealien (Getreidearten). Hievon findet bei allen Pflanzenarten das Kali und die Phosphorsäure in der relativ grössten Menge bei der Erzeugung des Samens, der Kalk bei der Bildung der Cellulose in der Zellenmembran die Verwendung. Von dem Kali müssen wir annehmen, dass es die im Chlorophyll gebildete Stärke und das im Protoplasma des Primordialschlauches gebildete Eiweiss in eine lösliche, diffundirbare Form bringt; der Phosphor ist in Verbindung mit dem Eisen eine vorzugsweise reduzierende Substanz im Chlorophyll, und der Kalk bedingt in Verbindung mit dem Eisen und der Kieselsäure die Festigkeit der Zellenmembran und dabei deren Permeabilität (Durchdringbarkeit) für

flüssige und gasförmige Stoffe. Daher kommt es, dass nach Böh m's neuesten Versuchen die Kalksalze bei der Umbildung der organischen Baustoffe in Formbestandtheile des Pflanzenleibes, die ohne Zellenmembran nicht denkbar sind, eine ebenso wichtige Rolle spielen, wie der Kalk bei der Bildung des Knochengerüstes im thierischen Körper. Mit dem Kalke wird aber immer auch Eisen der Pflanze zugeführt und dieses ist unerlässlich zum Gedeihen jeder Pflanze.

Pflanzen also, welche in kurzer Zeit eine grosse Menge neuer Formelemente, neuer Zellen und viel Zellstoff oder Cellulose erzeugen, wie der Klee, die Erbsen, brauchen hiezu viel Kalk; Pflanzen, die viel Stärke und Zucker, der sich aus ersterer entwickelt, produziren, benöthigen viel Kali zur Ueberführung der Stärke in den löslichen Zustand; Pflanzen, welche in ihrem Gerüste viel Kieselerde führen, wie die Getreidearten, in den Halmen, nehmen die Kieselsäure vorzüglich auf; Pflanzen endlich, die eiweissreichen und viel Samen erzeugen, bedürfen hiezu viel Phosphor, wie unsere Getreidearten, da bekanntlich der Phosphor vorzüglich im Keime oder Samen der Pflanzen sich vorfindet. Ohne Eisen geht keiner der angeführten mineralischen Nährstoffe in die Pflanze über, und mit der Entziehung des Eisens stellt jede Pflanze ihre Thätigkeit ein, hört jedes Pflanzenleben, jede Assimilation und jede Gewebsbildung auf, und stirbt jede in der kräftigsten Entwicklung stehende Pflanze in kurzer Zeit ab.

IV.

Wir sind nun bei der Beantwortung der zweiten der im Eingange dieses Abschnittes vorangestellten Fragen angelangt, nämlich: Welche Elementarorgane der Pflanze enthalten Eisen und welche Thätigkeiten gehen von diesen eisenführenden Pflanzenorganen aus?

Vor der Beantwortung dieser Frage, müssen wir uns darüber klar werden, was man gegenwärtig unter Elementarorganen des Pflanzenleibes versteht.

Zu diesem Zwecke müssen wir uns vor Augen halten, was das Mikroskop uns von der Struktur des Pflanzenleibes bisher kennen lehrte.

Das Beste, was sich in gedrängter Kürze hierüber mittheilen lässt, ist Nachstehendes, aus Brücke's jüngst im Drucke veröffentlichten Vorlesungen über Physiologie (I. Band, Seite 70 bis 71):

„Als das Mikroskop zuerst zum Studium pflanzlicher und thierischer Gewebe verwendet wurde, beobachtete man, dass ein dünner Schnitt von einem Pflanzengewebe lauter kleine polyedrische Höhlen zeigt. Man war ursprünglich der Meinung, dass dies Höhlen in einer continuirlichen Substanz seien, ähnlich so, wie die Löcher im Brode Höhlen in einer continuirlichen Substanz sind. Dutrochet wies aber nach, dass dies nicht so sei, sondern dass der Pflanzenleib aus lauter kleinen schlauchartigen Gebilden aufgebaut sei, die sich gegen einander abgeplattet haben, dass also jede dieser einzelnen

Höhlen durch besondere Wandungen begrenzt, und die Höhle eines ganz für sich bestehenden Gebildes sei. Diese kleinen Schläuche nannte man Zellen, und Robert Brown, der berühmte englische Botaniker, wies nach, dass bei weitem in den meisten dieser Zellen, wie man damals und längere Zeit später glaubte, in allen Zellen ein sogenannter Kern vorhanden sei, das heisst, ein runder Körper, der gewöhnlich nicht in der Mitte, sondern seitlich an der Wand liegt, und den eben Robert Brown mit dem Namen des Zellkernes bezeichnete. Auf diese Weise unterschied man an den Zellen, aus welchen die Pflanze gebildet wird, drei Theile; eine feste äussere Hülle, die Zellmembran, einen flüssigen Inhalt, den sogenannten Zellinhalt, und endlich einen festen Körper im Inneren, den Zellkern.

Als nun später Schwann seine berühmten Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Struktur und dem Wachstume der Thiere und Pflanzen veröffentlichte, als er nachwies, dass die thierischen Gewebselemente und der ganze Thierleib sich ebenso aus einer Summe von ursprünglich ähnlichen Grundformen oder Gebilden aufbaue, wie der Pflanzenleib, da ging die Nomenclatur, die für die Pflanzenzelle gebildet war, auch auf die thierische Zelle über, und man war überzeugt, dass alle diese Zellen aus einer membranösen Hülle, aus einem flüssigen Inhalte, und aus dem Zellkerne bestünden. In neuerer Zeit hat man seine Vorstellungen hierüber wesentlich ändern müssen. So richtig

an und für sich die Parallele ist, welche Schwann zwischen den thierischen und den pflanzlichen Zellen, oder, wie wir lieber sagen wollen, zwischen den thierischen und pflanzlichen Elementarorganismen gezogen hatte, so hatte er sich doch in Rücksicht auf den Bau der thierischen Zelle geirrt, und das hing damit zusammen, dass damals der Bau der Pflanzenzelle selbst noch nicht verstanden war. Das Verständniss des Baues der Pflanzenzelle konnte erst aufgehen, nachdem uns Hugo v. Mohl auf der Innenseite der Cellulosemembran noch ein eigenes Gebilde kennen gelehrt hatte, welches er mit dem Namen des Primordialschlauches belegte, und von dem er richtig aussagte, dass es früher da sei, als die Cellulosemembran. Dieser Primordialschlauch war der eigentliche Leib des Elementarorganismus, und die sogenannte Zellenmembran war nichts anderes, als das Gehäuse, welches dieser Leib um sich gebildet hatte, in ähnlicher Weise, wie eine Muschel oder eine Schnecke ein Gehäuse um ihren Körper bildet. Wenn man nun die jetzt bekannten Theile der Pflanzenzelle mit der Thierzelle vergleicht, so muss der Kern der Pflanzenzelle mit dem der Thierzelle verglichen werden: der Leib der Thierzelle aber, die Substanz, die um den Kern gelagert ist, besteht, wie die neueren Untersuchungen gezeigt haben, im jugendlichen Zustande, ähnlich dem Amöbenleibe, aus einem Protoplasma, das wiederum der Substanz des Primordialschlauches analog ist und ganz den Charakter eines amöbenartigen Organismus

(S. 350) an sich trägt. Der Primordialschlauch ist also der eigentliche Zellenleib, der dem Leib der thierischen Zelle zu vergleichen ist. Die Höhle im Innern der Pflanzenzelle, die mit Flüssigkeit gefüllt ist, ist etwas, was in der Regel in der Thierzelle kein Analogon findet, und ebenso ist auch die Cellulosemembran, die auswendig den Primordialschlauch, also den Zellenleib umgibt, etwas, was in der Regel in der Thierzelle kein Analogon findet.

Die thierische Zelle ist also für uns zunächst ein Protoplasmaklumpchen, welches contractil ist, welches Fortsätze ausstreckt, und in welchem wir, wenigstens bei weitem in den meisten Fällen, im Innern noch ein Gebilde unterscheiden, das wir mit dem Namen des Kernes belegen.

Die pflanzliche Zelle, in ihrer allgemeinen Fassung, braucht auch nichts weiter, aber im Verlaufe ihrer weiteren Entwicklung bekleidet sie sich nach aussen mit einem Gehäuse, und innen bildet sich eine Höhle, in welcher sich Flüssigkeit ansammelt.“

Die jugendliche Zellenmembran, und wohl auch die Membran aller Zellen, so lange diese als assimilirende, d. i. den Aufbau des Pflanzenleibes und die Aufspeicherung von Reserve-Material, z. B. im Wurzelknollen, im Samen besorgende Elementarorgane thätig sind, ist ein zartes, auch für das bewaffnete Auge strukturloses Häutchen, das jedoch Oeffnungen oder Poren besitzen muss, welche es möglich machen, dass die molekulare Wanderung der durch die Thätigkeit des Proto-

plasma im Primordialschlauche gebildeten, oben aufgezählten Assimilations- und Umwandlungsproducte von Zelle zu Zelle mittelst der sogenannten Diffusion bis hin zu den Stätten des Verbrauches und der Aufbewahrung vor sich gehen kann.

Der chemischen Substanz nach besteht die Zellhaut aus der Cellulose mit der reduzierten Formel $C_6 H_{10} O_5$, die, wie die Stärke, ein Kohlehydrat ist. Die Cellulose oder der Zellstoff der Zellenhaut kann verholzen, verkorken, grössere Mengen mineralischer Substanzen z. B. Kieselsäure in den Halmen in sich aufnehmen, verschleimen u. s. f. Zu bemerken ist, dass die Holzsubstanz (Lignin) und die Korksubstanz sauerstoffärmere Verbindungen, als die Stärke und die Cellulose sind, und dass die Formel des Lignins ähnlich jener des Humus ist, woraus Sachs schliesst, dass das Lignin als eine beginnende Humusbildung (unter Abspaltung von Kohlensäure und Wasser) innerhalb der lebenden Pflanze anzusehen ist.

Von mineralischen Stoffen fand Ladenburg in der Cellulose, und zwar in der Asche derselben, die ungefähr zwischen 0·11 und 0·16 Procent der Cellulose ausmachte, $\frac{1}{3}$ Kieselsäure und im Reste der Asche namentlich Eisenoxyd und Kalk. Dieses Vorkommen müssen wir besonders im Auge behalten bei unseren Betrachtungen über die Wirksamkeit des Eisens in der Pflanzenzelle.

Den wichtigsten Antheil an dem Assimilationsprocesse, an dem Aufbaue der Pflanzen bis hinauf zu

den edelsten Producten, der Blüthe und Frucht durch die höchsten Lebensacte der Pflanze und vorzugsweise für diesen letzteren Act haben die Zellen, welche das Blattgrün oder das Chlorophyll enthalten: Die blattgrün- oder chlorophyllhaltigen Zellen. Um die Wichtigkeit des Chlorophylls mit wenigen Worten zu kennzeichnen, glaube ich am besten zu thun, das, was Dr. Lindstedt in der Gaea (1875, Heft 11) hierüber sagt, anzuführen:

„Der Apparat, vermittelt welchen die Pflanze die Kohlensäure zu zerlegen und den Sauerstoff auszugeben im Stande ist, besteht in der chlorophyllhaltigen Zelle und speciell in den mit dem Chlorophyllfarbstoff imprägnirten Protoplasmakügelchen oder Körpern, den Chlorophoren; gesondert und für sich betrachtet ist das Blattgrün nicht im Stande, die Kohlensäure zu reduzieren, obgleich es noch dieselben optischen Eigenschaften zeigt, wie in der unverletzten Zelle, nur in innigster Verbindung mit dem Protoplasma kann es seine Functionen ausüben, wozu dann noch als dritter Factor die Sonnenstrahlen hinzukommen. — Th. de Saussure war der erste, der diese Verhältnisse genauer erkannte, nachdem schon vorher Bonnet, Priestley und Sennebier wichtige Andeutungen gegeben hatten; aber erst in neuerer Zeit ist durch Sachs die Unentbehrlichkeit des Chlorophylls für die Assimilation dargethan worden und von Kraus und Millardet über allen Zweifel erhoben durch den Nachweis, dass in allen, anders als

grün gefärbten Pflanzen, namentlich Algen, dennoch Chlorophyll versteckt (durch andere, z. B. in der Zellenflüssigkeit vorhandene Farbstoffe verdeckt) enthalten sei.

Das hellste Gelb im Spectrum ist die geeignetste Farbe für eine ausgiebige Assimilation, während rechts und links hin schnell die Fähigkeit abnimmt, so dass einerseits die sogenannten chemischen Strahlen (die Strahlen von der grössten Brechbarkeit), d. i. die violetten und ultravioletten, andererseits die Strahlen, welche im Chlorophyll am stärksten absorbirt werden, und eine hohe Wärmewirkung äussern, — das äusserste Roth (Strahlen von der geringsten Brechbarkeit) — fast unwirksam sind.

V.

Nachdem wir nun aus den in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie der Wissenschaften (Bd. LXVII, 2. Abth. S. 466) mitgetheilten, von E. N. Horsdorf abgeführten chemischen Untersuchungen wissen, dass das mit Schwefeläther aus den grünen Blättern ausgezogene Chlorophyll: Eisen, Phosphorsäure, Kalk und Kali enthält, nachdem wir ferner wissen, dass Pflanzen, welchen man das Eisen entzieht, kein Chlorophyll erzeugen, dass sie bleichsüchtig werden (etioliiren, vergeilen, verschnacken) und bei andauerndem Eisenmangel zu Grunde gehen, und dass, wenn man chlorotischen Pflanzen, mit weisslichgrünen oder ganz weissen Blättern, verdünnte Lösungen von Eisensalzen durch die Wurzeln zuführt, die Blätter

nach wenigen Tagen ergrünen, und selbst dann, wenn man die chlorotischen Blätter nur äusserlich mit einer verdünnten Eisensalzlösung bestreicht, die grünen Chlorophyllkörner in dem form- und farblosen Plasma sich wieder zu bilden beginnen: so besitzen wir darin einen weiteren, und wohl auch den kräftigsten, unwiderleglichen Beweis von der eminenten Wichtigkeit des Eisens für das Pflanzenleben.

Wir müssen uns hier auch des Vorkommens des Eisens und zwar in Begleitung von Kalk und Kieselsäure in der Zellhaut erinnern (S. 381) um zu einer beiläufigen Vorstellung über die Wirksamkeit und über die Rolle des Eisens in den beiden Gebilden der Pflanzenzelle, nämlich im chlorophyllhaltigen Protoplasma und in der Zellhaut, zu gelangen.

Das Chlorophyll (griechisch Blattgrün, Pflanzengrün) ist der an das Protoplasma des Primordialschlauches gebundene Farbstoff, welcher im ganzen Pflanzenreiche die grüne Färbung der Blätter, Stengel, überhaupt der blattartigen Gebilde bedingt.

Das Chlorophyll ist im Protoplasma der Zelle entweder gleichförmig vertheilt (wie bei den Algen, etc.), oder es sind, wie in den meisten Pflanzen, gewisse dichter geformte Partien des Protoplasma, von meist elliptischer Gestalt, vom Chlorophyll eingenommen. Diese grün gefärbten Protoplasmatheilchen nennt man Chlorophyllkörper oder Chlorophyllkörner. Zersetzungen des Chlorophylls sind mit Farbenveränderungen,

(roth, braun, gelb etc.) verbunden, worauf die herbstliche Färbung der Blätter beruht. In wintergrünen Gewächsen, z. B. in unseren Nadelhölzern, verlieren die Chlorophyllkörper mit dem Herannahen der kälteren Jahreszeit ihre Begrenzung und Gestalt und lösen sich wolkenförmig in der ganzen Protoplasmamasse auf. Im Frühjahr tritt das Chlorophyll wieder dichter in Form von rundlichen Körnern zusammen, womit die Nadeln wieder ihr frisches, helles Grün erhalten.

Das Chlorophyll fehlt sämmtlichen Pilzen, einigen Orchideen u. s. w., kurz allen Schmarotzerpflanzen, welche sich von bereits vorgebildeten organischen Substanzen (den Säften anderer Pflanzen, oder von in Zersetzung begriffenen vegetabilischen und animalischen Stoffen) ernähren, also sich nicht, wie die eigentlichen chlorophyllhaltigen Pflanzen aus anorganischen Stoffen aufbauen.

Der grüne Farbstoff der Chlorophyllkörper lässt sich mit Alkohol, Aether u. s. w. ausziehen, und es bleiben die früher grün gefärbten Protoplasmatheilchen der Chlorophyllkörper unversehrt in ihrem Volum und in ihrer Gestalt, jedoch jetzt ungefärbt, als Stroma zurück.

Im ausgepressten Pflanzensaft sieht man häufig ein grünlich gefärbtes Coagulum sich abscheiden, das aus einem Eiweisskörper besteht, der freiwillig geronnen ist, und der die Chlorophyllkörner in ähnlicher Weise eingeschlossen hat, wie beim Gerinnen des Blutes das Fibrin die Blutkörperchen

einschliesst. Auch das Blutroth (Haematin) der rothen Blutkörperchen ist an eine eiweissartige Substanz, an ein Stroma gebunden und lässt sich ebenfalls durch verschiedene Mittel ausziehen. Somit ist die physikalische Analogie zwischen den Chlorophyllkörpern und den farbigen Blutkörperchen hergestellt, und wir werden sehen, dass auch ihre Functionen in mehr als einer Beziehung analog sind.

Die Chlorophyllkörper sind in einer fortwährenden Ortsveränderung begriffen und führen Bewegungen aus, die wahrscheinlich von ihrer gegenseitigen Stellung und ihren Beziehungen zur Zellenflüssigkeit und zu dem Zellenkerne bedingt sind. Was den Einfluss des Lichtes auf die Bewegungen der Chlorophyllkörper anbelangt, so hat Frank nachgewiesen, dass sie in dem geschlossenen Raume einer Zelle bei vorwiegend einseitiger Beleuchtung eine Bewegung hin zur Lichtquelle (Lichtwärtsbewegung) vornehmen. Dem entsprechend findet man an dem Rande eines Blattes, welcher dem Fenster zugewendet ist, die Chlorophyllkörner angehäuft. Diese Lichtwärtsgruppierung erfolgt sowohl unter diffusem Himmelslicht als auch bei Beleuchtung durch directes Sonnenlicht. Darin liegt der Unterschied von den grünen, chlorophyllhaltigen, einfachen, freilebenden, selbstständigen Organismen, welche sich nach Famintzin nur zum Lichte mittlerer Intensität hinbewegen, dagegen directes Sonnenlicht meiden, von ihm fliehen. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass freibewegliche chlorophyllhaltige Organismen (Zellen) vom blauen wie vom

weissen Lichte angezogen werden, während rothes Licht sich wie Dunkelheit verhält, die Chlorophyllkörner wohl auch vom blauen Lichte angezogen, vom rothen Lichte aber abgestossen werden.

Daraus lässt sich schliessen, dass die Chlorophyllkörper selbst nichts Dauerhaftes, keine unveränderlich bleibenden Gebilde sind, sondern unter dem Einflusse des stoffbildenden Centrums, des eigentlichen Lebenscentrums der Zelle, d. i. des Zellkernes, einerseits, und der Zellenflüssigkeit und der Zellenhaut andererseits, unausgesetzt Stoffe aufnehmen und Stoffe abgeben. Sonach sind die Chlorophyllkörper als ein Durchgangspunkt für den Stoffwechsel im Protoplasmaleibe der Chlorophyllzelle anzusehen und sie selbst erscheinen als ein Product dieses Stoffwechsels, welcher auf Assimilation gerichtet ist.

Mit anderen Worten: Die Chlorophyllkörper sind Sammelpunkte oder Concentrationsstellen für die sämtlichen anorganischen Stoffe, die hier durch die chemische Einwirkung des protoplasmatischen Zellenleibes (Primordialschlauch sammt Zellkern) in neue chemische Beziehungen zu einander gebracht werden, wovon die totale Umlagerung, die gänzlich neue Gruppierung der Moleküle jener anorganischen Stoffe und hiemit die Schaffung einer organischen Substanz das Endergebniss ist.

Die chemische Zusammensetzung dieses Erstlingserzeugnisses der assimilirenden Thätigkeit der chlorophyllhaltigen Pflanzenzelle kennt man bis jetzt noch

nicht. Man nimmt allgemein die Stärke dafür an, weil sie eben zuerst im Chlorophyllkörper sichtbar in die Erscheinung tritt und zwar zuerst punktförmig klein, dann durch neuen Ansatz sich kugelförmig vergrößernd.

Diese Stärkebildung erfolgt nur unter der Einwirkung des Lichtes und hört auf mit Eintritt der Dunkelheit. Die unter Einwirkung des Lichtes gebildete Stärke wird nicht bloß in der Dunkelheit, während der Nacht, sondern nach Godlewski auch im vollen Lichte während der Anbildung von Stärke, vollständig aber erst während der Dunkelheit der Nacht, vom Zellsafte gelöst und aus der Chlorophyllzelle theils zu Zwecken der Erzeugung von Reservestoffen, theils zum Aufbaue des eigentlichen Pflanzengewebes fortgeschafft und von den zu jenen Zwecken mit der specifischen Thätigkeit oder Fähigkeit ausgestatteten, nicht chlorophyllhaltigen Zellen verwendet, verarbeitet.

Dass bei der berührten Stoffconcentrirung im Chlorophyllkörper dem Eisen die Aufgabe eines Ordners, eines Führers, zufällt, der die übrigen Stoffe, voran die anorganischen, um sich scharrt, und sie festhält, damit der Lichtstrahl seine Arbeit, die, wie wir sehen werden, ein Zerstörungswerk für die anorganischen Verbindungen, namentlich die Kohlensäure, die Salpetersäure, die Phosphorsäure, die Oxalsäure, ist, verrichten kann, dieses ist bei Vergegenwärtigung des über die Eigenschaften des Eisens Gesagten nicht un schwer einzusehen.

VI.

Die volle Bedeutung des Eisens bei den Lebensvorgängen in der Pflanze werden wir aber erst würdigen können, wenn wir diese, zum grössten Theile noch in tiefes Dunkel gehüllten Vorgänge einer näheren Betrachtung unterziehen.

Um sich von den Ernährungsvorgängen in der Pflanze, nach Massgabe der bis jetzt hierüber bekannten Thatsachen, eine möglichst klare Vorstellung zu machen, muss man die Periode vom Beginne der Keimung bis zum Beginne der durch das Auftreten der Chlorophyllkörper sich kennzeichnenden Entwicklung der chlorophyllhaltigen Zelle für sich betrachten und von dem Momente des Auftretens des Chlorophylls die Vorgänge im Pflanzenkörper weiter verfolgen.

Die Keimung des Pflanzensamens beruht auf der Aufnahme von Wasser, ist also eine Quellung. Indem Wasser in das Innere des Samens, nämlich zwischen die Moleküle der denselben zusammensetzenden Substanzen (Eiweisskörper, Kohlehydrate und anorganische Stoffe) dringt, richtiger, hineingezogen wird, und daselbst molekular sich vertheilt, werden die Moleküle dieses Wassers in ihrem Volum reduziert, verdichtet, und Wärme wird frei. (Meine Physik, Wien. Gerold 1871 S. 12, 18 u. s. f.). Hiermit ist die Auflockerung und die Dissociation der Moleküle der das Samenkorn zusammensetzenden Stoffe eingeleitet und neue Beziehungen,

neue gegenseitige chemische Einwirkungen und neue Gruppierungen dieser Stoffe können jetzt Platz greifen, kurz: der Stoffwechsel beginnt, der zur ersten Anlage von Pflanzengewebe führt. In diesen Stoffwechsel und in die damit verbundene neue Stoffgruppierung wird jedenfalls auch das in die intramolekularen Räume des Keimlings eingedrungene Wasser mit seinen beiden Bestandtheilen: Sauerstoff und Wasserstoff, einbezogen. Dasselbe gilt von der in jedem Wasser enthaltenen Luft, ihrem Sauerstoffe und Stickstoffe, und ein Gleiches gilt von der in jedem gewöhnlichen Wasser enthaltenen Kohlensäure und von den darin enthaltenen Mineralsubstanzen. Insbesondere bezüglich des Sauerstoffes müssen wir uns erinnern, dass derselbe im Momente seines Freiwerdens aus irgend einer bis dahin eingenommenen Verbindung als Ozon, d. i. als Sauerstoff im verdichteten Zustande und mit verstärkten oxydirenden Eigenschaften, auftritt. (Das Ozon und seine Bedeutung im Haushalte der Natur und des menschlichen Körpers. Wien. Gerold's Sohn 1873.)

Wird destillirtes Wasser angewendet, das also von anorganischen Beimengungen, mit Ausnahme der Kohlensäure, die sich durch Destillation nicht vollständig aus dem Wasser entfernen lässt, befreit ist; so kann die Entwicklung des Keimlings zum jungen Pflänzchen nur so weit erfolgen, als die Nähr- oder Reservestoffe im Samen das hierzu nöthige Material besitzen, also bis dieses vollständig zu Pflanzengewebe verwendet oder verarbeitet ist. Wenn gleich die hierbei stattfindende Stoffumlage-

rung und die damit einhergehende Wasseraufnahme (Verdichtung) eine Quelle der Wärme ist, die zum Ab-
laufe der bezeichneten chemischen Vorgänge unerlässlich
ist, so ist es doch insbesondere das Eingreifen des,
mit dem Wasser und der Luft aufgenommenen
Sauerstoffes in jene chemischen Prozesse, namentlich
seine Verbindung mit dem Kohlenstoffe der Stärke und
mit dem Kohlenstoffe des Pflanzenfettes (Oeles) im
Samen zu Kohlensäure, woraus die Hauptquelle
jener nothwendigen Wärme entspringt. Wenn
man diese Sauerstoffaufnahme und diese Kohlensäure-
Erzeugung als Athmung bezeichnet, wie man es am
thierischen Organismus thut; so athmen in der That alle
Pflanzen und diese Athmung hat man als sogenannte
innere Athmung der Pflanzen zu verstehen.

Die Möglichkeit, dass Pflanzensamen auch im Eise
keimen und die jungen Würzelchen in dasselbe sich
hineingraben, beruht nur darauf, dass dieser Same den
Wasserdampf, den auch das Eis fortwährend liefert,
(auch Eis verdampft) verdichtet, wodurch auch nach
aussen die zum Schmelzen des Eises erforderliche Wärme
geliefert wird.

Dass das Eisen als solches, das in jedem Samen,
nämlich in den Membranen der Stärke führenden Zellen
und im Protoplasma sämtlicher Zellen des Samens ent-
halten ist (S. 364; 373) bei der Aufnahme und dem
Uebertritte des Wassers, des Sauerstoffes, der
Kohlensäure und der übrigen Mineralkörper
in das Innere des Samens und in die daraus sich

entwickelnden jungen Gewebe thätig ist, kann Angesichts der dem Eisen zukommenden chemisch-physikalischen Eigenschaften (S. 361) wohl nicht bezweifelt werden.

Ganz insbesondere muss dem Eisen vorzugsweise das Geschäft der Abspaltung des Sauerstoffes, das Geschäft der Reduction der von den Pflanzen aufgenommenen hochoxydirten anorganischen Verbindungen (Kohlensäure, Wasser, Salpetersäure, Schwefelsäure, Phosphorsäure, Kieselsäure, Kali, Kalk, Natron) zufallen, welcher abgespaltene Sauerstoff mit dem Kohlenstoffe der Kohlensäure und dem Wasserstoffe des Wassers und mit den Grundstoffen oder Elementen der genannten Säuren, beziehungsweise Salzen, in das Pflanzengewebe selbst eingeht, dieses aufbauen hilft.

Der im Ueberschusse vorhandene, zu dem bezeichneten Zwecke des Pflanzenaufbaues und der Stoffumwandlungen im Pflanzenleibe nicht verwendbare Sauerstoff, desgleichen die überschüssige Kohlensäure und die mit dem Wasser in die Pflanzen eingedrungene Luft entweichen (diffundiren) aus der Pflanze nach aussen, also zunächst in die den Keimling umgebende Keimflüssigkeit, beziehungsweise in den umgebenden Boden, wenn die sich entwickelnden Wurzeln mit ihren assimilirenden Zellen ihre Thätigkeit aufnehmen.

Vorzüglich müssen wir den in der Eigenschaft als Ozon sich entbindenden und nach Aussen diffundirenden Sauerstoff mächtige Wirkungen auf die im Boden oder

im Keimwasser befindlichen organischen und anorganischen Substanzen zuschreiben; denn dieser Sauerstoff vermag beiderlei Substanzen, insoferne sie verbrennlicher Natur sind, zu zerstören, also die Cellulose von Pflanzenabfällen im Humus in Humussäure umzuwandeln, welche nach E. Simon's neuesten Versuchen auf der landwirthschaftlichen Station zu Gemblons die höchst wichtige Eigenschaft besitze, den Stickstoff der Luft zu absorbiren und Ammoniak zu bilden, während Kohlensäure ausgeschieden wird. Ebenso wird jener freiwerdende Sauerstoff das im Boden befindliche Ammoniak zu zerlegen im Stande sein, indem er mit dem Wasserstoffe des Ammoniaks sich zu Wasser verbindet und den für die Pflanze so wichtigen Stickstoff frei und zum Uebertritte in den Pflanzenleib geeignet macht.

Die ausgeschiedene Kohlensäure nebst der Oxalsäure (S. 371) vermag eine Reihe von Mineralsubstanzen des Bodens zu lösen und sie so der Aufsaugung durch die Wurzeln zugänglich zu machen. Wir können uns bei einer solchen Sachlage auch erklären, wie so nach Jeannets Versuchen (Annal. de Chimie et de Phys. Août 1875) die Wurzeln wachsender Pflanzen den Fäulnisprocess durch Zerstörung der diesen Process bedingenden und unterhaltenden Bacterien aufzuhalten im Stande sind.

VII.

Mit dem Auftreten der Chlorophyllkörper in der Pflanzenzelle kommt eine neue Bildungsstätte für den Pflanzenaufbau und die Stoffumwandlung hinzu.

Die Hauptthätigkeit dieser Chlorophyllkörper ist, wie schon wiederholt hervorgehoben wurde (S. 382, 383) auf die Abspaltung des Sauerstoffes aus der Kohlensäure, oder auf die Reduction derselben gerichtet. Dazu ist aber das Licht unerlässlich, welches nach meiner Theorie (meine Physik, S. 30 bis 38) die Sauerstoffmoleküle in ihrer Verbindung mit dem Kohlenstoffe, nicht minder die Sauerstoffmoleküle in ihrer Verbindung mit den bezeichneten mineralischen Grundstoffen lockert und diesen Sauerstoffmolekülen den zu ihrer Ausdehnung, zu ihrer Umwandlung in die Gasform erforderlichen Aether liefert. Die gelben Lichtstrahlen sind, als die kräftigsten, auch die wirksamsten bei jenen Zerlegungen, beziehungsweise Reductionen. Und dass auch im Chlorophyllkörper das darin enthaltene Eisen der geeignetste Körper ist, die bezeichneten Reductionen der hochoxydirten Mineralsubstanzen und die Ueberführung der anorganischen Grundstoffe (des Kohlenstoffes, des Stickstoffes, des Kaliums, des Calciums, des Siliciums, des Phosphors und des Schwefels) in den Pflanzenleib zu vermitteln und die Führerschaft bei dieser Stoffwanderung hin zu den einzelnen Verbrauchsorten und Reservestätten zu übernehmen, dieses wurde ebenfalls schon an anderen Stellen hervorgehoben und begründet.

Das Zwingende für die Bewegung, beziehungsweise für das Steigen der Säfte im Pflanzenkörper bis hin in die Chlorophyllzellen der Blattorgane oder blattartigen Gebilde liegt vorzüglich in der Wasserdampfung durch die Spaltöffnungen (Stomata) der grünen

Pflanzentheile und in der Ausscheidung des Sauerstoffes durch dieselben Stomata.

Der einzelne Spaltöffnungsapparat bei einer Pflanze ist um so grösser, je grösser das ihr zur Verfügung stehende Wasserquantum ist, so zwar, dass nach Versuchen z. B. Gerstenpflanzen bei 10 0/0 Wasserzufuhr 138.202 Spaltöffnungen, bei 20 0/0 Wasser 179.712, bei 60 0/0 Wasser 226.401 Spaltöffnungen hatten. Da nun aus der Analyse der Gewichtsmengen Trockensubstanz sich ergeben hat, dass dieselben mit dem zugeführten Wasserquantum steigen; so folgt daraus, dass zur Production einer grösseren Menge Trockensubstanz durch vermehrte Wasserzufuhr auch eine absolut grössere Menge Spaltöffnungen thätig ist. (Sorauer Botanische Zeitung 1873, Nr. 10). Hiermit ganz im Einklange steht die Erfahrung, dass das theilweise Entblättern der Zuckerrübe (für Viehfütterung) die Zuckerproduction in der Rübe herabsetzt, indem durch die Verminderung der Blätter nicht nur die Anzahl der verdunstenden Spaltöffnungen, sondern auch der assimilirenden Organe, die Chlorophyllzellen, vermindert wird. Neuere Versuche von Violette und Corenwinder haben dieses deutlich gezeigt, Corenwinder wies nach, dass die nicht entblätternen Rüben pro Hektar 86.500 Kilogramm ergaben, während die Ernte auf einer gleichen Fläche bei theilweise entblätternen Rüben nur 71.900 Kilogramm Rüben ergab und dass der Zuckergehalt der ersteren Rüben 9.32 Procent, der der letzteren aber nur 6.21 Procent betrug. Ferner nimmt die entblätternen Rübe

aus dem Boden einen der Qualität des Zuckers schädlichen Ueberschuss von Mineralsubstanzen auf.

Erklärung: Je weniger Blätter, desto weniger Kohlensäure zerlegende Elementarorgane (Chlorophyllzellen), desto weniger Kohlensäure wird zerlegt, desto weniger Kohlenstoff kann zur Production von Zucker ($C_6 H_{12} O_6 + H_2 O$) verwendet werden. Auch die Mineralsalze, welche mit der Ernährungsflüssigkeit von den Wurzeln mit der daselbst in Wasser gelösten Kohlensäure in den Leib der Rübe geleitet werden, finden wegen Zurückbleiben der Entwicklung der Formelemente der Rübe, d. i. von Zellenprotoplasma und namentlich von Zellenmembranen nicht die volle Verwendung und werden als solche im Ueberschusse in der Zellenflüssigkeit, welche den Zucker gelöst enthält, abgelagert, während die mit dem Wasser aufgenommene und im Chlorophyll nicht zur Verwendung gekommene, nämlich vom Lichte unter Mitwirkung des Eisens nicht zerlegte Kohlensäure durch die Rinde (Schale) nach Aussen diffundirt. Diese Diffusion der Kohlensäure vollzieht sich nach unserer wohlbegründeten Vorstellung über die Wirksamkeit des Eisens im Pflanzenorganismus unter besonderer Mitwirkung des in den Zellenmembranen (den Schalen, der Rinde) abgelagerten, in diese Membranen eingebetteten Eisens, das die im Innern der Rübe angehäuften, hochgespannte Kohlensäure anzieht und sie auf der Aussenseite der Rübe an die äussere Luft oder an den umgebenden Boden absetzt, wie Aehnliches in der Lunge

höherer Thiere geschieht. Eine Wasserabsorption durch die Blätter der Pflanzen konnten Risler und Duchartre nicht constatiren.

Mit den Obigen in Uebereinstimmung stehen folgende Versuchsergebnisse von Risler (Archives des sciences phys. et nat. Novemb. 1871).

Mit dem Wasser entzieht die kräftigere Pflanze der schwächeren auch die Nährstoffe, welche in derselben gelöst sind.

Wenn ein und derselbe Boden ältere Pflanzen einschliesst, deren Transpiration sehr kräftig ist, und junge Pflanzen, deren Organe wenig entwickelt sind, so ziehen die Wurzeln der ersteren die Feuchtigkeit des Bodens mit grösserer Kraft an sich, als die der letzteren, welche darunter leiden, wenn der Boden nicht genügend Wasser für beide enthält.

Eine Ernte braucht um so mehr Wasser, je dichter die Saat ist.

Ein Boden leidet um so weniger von Trockenheit, je besser gedüngt er ist.

Unter den verschiedenen Strahlen des Sonnenspectrums bewirken die gelben Strahlen die stärkste Transpiration der Pflanzen, überhaupt begünstigen die leuchtenden Strahlen mehr die Verdunstung, als die erwärmenden (Dehérain), woher es rührt, dass gewisse Pflanzen leichter im Schatten leben können, als andere.

Oefters wurde beim Herannahen eines Unwetters eine Vermehrung der Transpiration beobachtet. Diese Erscheinung möchte ich auf einen grösseren Ozongehalt

der Luft und auf stärkere elektrische Strömungen (unsichtbare elektrische Entladungen) zurückführen, durch welche, ähnlich wie durch die Lichtstrahlen Aether (Elektricität nach meiner Theorie. Meine Physik, S. 56) zugeführt wird.

Abgesehen vom Feuchtigkeitsgrade beobachtet man eine periodische Bewegung der Spaltöffnungen grüner Pflanzentheile und zwar ein Oeffnen im Tageslicht, und am stärksten im directen Sonnenlichte, und im Schliessen zur Nachtzeit: (Czech.)

Auf die Spaltöffnungen der nicht grünen Theile, z. B. in dem Perigon, von rothen, weissen und blauen Blumen bleibt das Licht ohne Einfluss, eben weil diese nicht grünen Theile keine chlorophyllhaltigen Zellen besitzen, also auch keine Kohlensäure zerlegen und somit auch keinen Sauerstoff und keinen Wasserdampf in der unzertrennlichen gegenseitigen Verbindung ausscheiden, sondern wahrscheinlich nur der atmosphärischen Luft und allenfalls diffundirender überschüssiger Kohlensäure zum Austritte dienen.

Hieran schliessen sich die Beobachtungen von Barthelemy, wornach die Menge Wasser, welche eine Pflanze in 24 Stunden ausscheidet, bei gleicher Wasserzufuhr, mit der Temperatur sinkt und bei jungen Pflanzen grösser ist, als bei alten.

War die Pflanze einige Stunden der Sonne exponirt und wird sie dann in Schatten gebracht, so fährt sie fort, eine beträchtliche Menge Wasserdampf auszusenden und kommt nur langsam auf ihr Regime. In trockener

Kohlensäure nimmt die Menge des von den Blättern ausgeschiedenen Wassers ab, nach unserer Meinung wohl vorzüglich aus dem einfachen Grunde, weil dem sich ausscheidenden Wasserdampfe und dem mit diesem austretenden Sauerstoffe der Raum zu ihrer Ausdehnung durch die vorhandene Kohlensäure beschränkt ist.

Bei behinderter Wasserverdunstung verarmt die Pflanze an Mineralsubstanzen, mit Ausnahme der Phosphorsäure; die Bildung der Pflanzensäuren bleibt sehr zurück, auch die Bildung der sogenannten neutralen Stoffe, wie der Cellulose und der Harze leidet, während die stickstoffhaltige Substanz nicht merklich vermindert ist. Zugleich bleibt die in den Chlorophyllkörnern gebildete Stärke unbenützt liegen und häuft sich in der Pflanze an. (Schloesnig's Versuche an Tabakpflanzen.)

Nach Weber's jüngsten Versuchen (landwirthschaftl. Versuchs-Stationen Bd. XVIII) ist die Aufnahme mineralischer Nährstoffe in gleicher Weise von der Lichteinwirkung abhängig, wie die Kohlensäurezerlegung in den grünen Pflanzentheilen. Es spricht diese Thatsache für unsere Ansicht über die Reductionsvorgänge im Chlorophyll. Die von Weber durch die Zeitdauer von 44 Tagen unter Fensterglas gezogenen Erbsenpflänzchen waren am gleichmässigsten entwickelt; sie hatten wohl die kürzesten Stengelglieder, aber breite, fleischige Blätter und das grösste Gewicht lufttrockener Substanz. Hierauf kamen die in derselben Zeit unter gelbem Lichte gewachsenen; sie unterschieden sich nur durch ihre gestreckteren Stengel. Die am meisten ge-

streckten Glieder bei dem kleinsten Gewichte von Trockensubstanz zeigten die Pflanzen unter dem grünen und violetten Glase, ähnlich wie die Pflanzen im Dämmerlichte des Kellers. Unter gelbem und rothem Glase zeigte sich eine sehr bemerkenswerthe Phosphorsäure-Aufnahme, noch verhältnissmässig stärker, als im directen Sonnenlichte, unter Blau der vierte Theil, unter Violet fast gar keine solche Aufnahme; um so auffallender trat die grosse Menge Kalk und Kali hervor, welche von den Pflanzen unter blauem Glase aufgenommen worden ist.

Eine befriedigende Erklärung für alle diese Erscheinungen zu geben, ist nach unserer Theorie über das Wesen des Lichtstrahles (meine Physik, S. 34) nicht schwer. Die gelben und rothen Lichtstrahlen spalten am raschesten unter Mithilfe des Eisens, das die Kohlensäure festhält, diese in ihre Bestandtheile, den Kohlenstoff, der als Baustoff in den Pflanzenleib übergeht, und in den sich entfernenden Sauerstoff. Je weniger Lichtstrahlen in derselben Zeiteinheit einwirken oder je schwächer diese Lichtstrahlen sind, wie die blauen und violetten im Verhältnisse zu den rothen und gelben, desto weniger Kohlenstoff wird in einer Zeiteinheit zerlegt, desto weniger Material zur Bildung von Gewebe und von Reservestoffen wird somit der Pflanze überliefert. Dabei diffundirt die nicht zur Zerlegung gekommene Kohlensäure, welche mit dem Wasser vom Boden her in die Pflanzen eingetreten, durch die Spaltöffnungen und die Rindensubstanz in die äussere Luft, während die mitgeführten und gelösten

Mineralstoffe, da sie nicht verdunsten können, in der Pflanze wegen nicht weiterer Verwendung liegen bleiben, wie der Kalk, das Kali etc.

Auch der grosse Gehalt von Eisenoxyd war bei diesen Pflanzen sehr hervorstechend. Als Nährstofflösung für diese Pflanzen wurde benützt: saures phosphorsaures Kali, salpetersaurer Kalk, salpetersaures Kali und schwefelsaure Magnesia in reinem Quarzsand; dazu nach Bedürfniss destillirtes Wasser. Zur Erzeugung von 1000 Gewichtstheilen verbrennlicher (organischer) Masse nahmen jene Pflanzen unter blauem Glase fast doppelt so viel Kalk auf, als jene unter rothem Glase. Diese im „Naturforscher“ einfach mitgetheilten Beobachtungen nöthigen uns zu einigen erläuternden Bemerkungen und zwar: Auch der reinste Quarzsand enthält Eisen, ebenso ist der Kalk nie ohne Eisen; auch im destillirten Wasser ist noch Kohlensäure enthalten, und was die geringere Menge Trockensubstanz betrifft, so ist sie eine Folge der geringeren Menge von zerlegter Kohlensäure durch die schwächern blauen Lichtstrahlen, während der grössere Kalkvorrath in der Pflanze auf eine verstärkte Wasserverdunstung durch die Spaltöffnungen der Versuchungspflanze, die eine grössere Aufnahme von Wasser und darin gelösten Kalk durch die Wurzeln zur Folge hat, zurückzuführen ist.

Die mit Spaltöffnungen reichlicher versehene Blattseite muss sich, nach meiner Meinung, desshalb von der Lichtquelle abwenden, also bei Sonnenbeleuchtung nach unten kehren, weil den Lichtstrahlen (Sonnenstrahlen)

eine stossende und zugleich wärmende Wirkung zukommt (meine Physik S. 11, 37), welche die Wasserverdunstung auf der mit reichlichen Spaltöffnungen versehenen entgegengesetzten Seite begünstigt, gleichwie es bei einem mit Wasser gefüllten von unten, durch einen die Wärme leicht aufnehmenden und sie gut leitenden Boden erwärmten Gefässe an der freien oberen Oeffnung dieses Gefässes der Fall ist. Am Blatte lässt sich die verdickte Oberhaut (Cuticula) der oberen Seite mit dem Gefässboden vergleichen.

VIII.

Im Nachstehenden wollen wir noch den Stand der gegenwärtig vorherrschenden Ansichten über den Act der Reduction der Kohlensäure und über die ersten Producte derselben, sowie über deren weitere Assimilation, endlich über die Entstehung der Eiweissstoffe kurz skizziren und einige Bemerkungen hinzufügen:

Die Chlorophyllkörper oder Chlorophoren können nur im innigsten Contacte, nur in innigster Verbindung mit dem Protoplasma die Kohlensäure reduzieren, wozu noch die Sonnenstrahlen mitwirken müssen.

Herford vermuthet, dass sich der Reductionsprocess der Kohlensäure in Gegenwart von Eisenoxydulphosphat vollzieht. Diese mir erst durch die Gaea (1875 Heft 11) bekannt gewordene Ansicht nähert sich jener, die ich in Bezug auf die Bedeutung des Eisens für die Reduction der Kohlensäure mir gebildet habe. Ich bin nämlich der

Meinung, dass das Eisenoxydul und die Phosphorsäure im Protoplasmaleibe der Chlorophyllzelle, gleichwie die Kohlensäure unter Einwirkung des Lichtes reduziert oder entsauerstofft werden. Zu diesem Behufe muss das Eisenoxydul und die Phosphorsäure vom Protoplasma festgehalten und muss ihr innerer, molekularer Zusammenhang, nämlich der zwischen den Eisen- und Phosphormolekülen und den Sauerstoffmolekülen, in einem gewissen Grade gelockert werden, damit die Lichtstrahlen leichtere Arbeit haben, das ist, die Trennung dieser Moleküle von einander vollenden können.

Das Protoplasma kann nur durch seinen Gehalt an Kohlenstoff, vermöge dessen starker Verwandtschaft zum Eisen, dieses, auch in der Verbindung mit Sauerstoff als Eisenoxydul, fester an sich binden, während der Phosphor der Phosphorsäure vom Wasserstoffe des Protoplasma vermöge der starken Verwandtschaft zwischen beiden näher an sich gefesselt werden kann. In Folge dessen wird die Anziehung des Eisens und des Phosphors auf den mit jedem von beiden verbundenen Sauerstoff geschwächt und dieser in seiner Verbindung mit Eisen und Phosphor gelockerte Sauerstoff kann sich endlich unter der Einwirkung der gleich Meisseln zwischen die Körpermoleküle eindringenden Lichtstrahlen (Aetherstösse nach meiner Theorie) gänzlich von dem Eisen und dem Phosphor losmachen. Das so reduzierte Eisen betrachten wir nun als den eigentlichen Attractor oder Anzieher für die Kohlensäure, der die Kohlensäure festhält, die nun von den

Lichtstrahlen, welche gleich Hammerschlägen auf die festgehaltene Kohlensäure einwirken, in Kohlenstoff, der in den Zellenleib aufgenommen wird, und in Sauerstoff, der gasförmig sich entfernt, zerspalten (reduziert) wird.

In ähnlicher Weise stellen wir uns die Reduction der Mineralsalze des Kalkes, des Kali, der Kieselsäure vor, nämlich mit Hilfe des Eisens und des Sonnenlichtes. Bei Gaslicht können grüne Pflanzen die Kohlensäure nicht zerlegen, und die Lichtintensität, unter deren andauernder Einwirkung sich Keimpflanzen auf Kosten ihrer Reservestoffe habituell normal entwickeln können, ist geringer, als die zur Zerlegung von Kohlensäure durch grüne Blätter erforderliche. (J. Böhm in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie der Wissenschaften, März 1874.)

Bei Ausschliessung jedes Kohlensäurezutrittes ging nach Godlewski's Versuchen mit dem im Wasser aufgequollenen Samen von *Raphanus sativus* der Keimungsprocess in gewöhnlicher Gartenerde bis zur Entwicklung der Chlorophyllkörner in den Cotyledonen (Keimblättern) so lange normal, wie bei frei vegetirenden Pflänzchen, von statten, bis sämtliche Reservestoffe aus den Cotyledonen verbraucht waren, und namentlich, bis jede Spur von Stärke daraus verschwunden war, worauf auch in den sonst ganz normal gebildeten Chlorophyllkörnern keine Spur von Stärke mehr wahrzunehmen war, zum Beweise, dass sich in den Chlorophyllkörnern ohne Kohlensäure keine Stärke bilden kann.

In kohlensäurefreier Luft verschwindet die Stärke im vollen Lichte ebenso aus den Chlorophyllkörnern, wie in der Dunkelheit; dagegen entwickelt sich die Stärke in amyllumfreien Chlorophyllkörnern schneller in einer Atmosphäre mit 8 Procent Kohlensäure, als in atmosphärischer Luft. Ein höherer Procentgehalt an Kohlensäure ist jedoch der Stärkebildung und überhaupt dem Leben der Pflanze hinderlich; die Pflanzen ersticken, nach unserer Meinung aus dem einfachen Grunde, weil ein so hoher Kohlensäuregehalt der Luft die Wasserverdunstung, und somit auch die Nährstoffzufuhr hemmt.

Wenn Erbsenkeimlinge Salpetersäure und Schwefelsäure verarbeiten, so wird nach Oskar Kellner's Versuchen die Kohlensäureausscheidung gesteigert, woraus zu schliessen sei, dass der Sauerstoff der Salpetersäure und der Schwefelsäure in der Form von Kohlensäure ausgegeben werde. Diese Beobachtung steht ganz im Einklange mit meiner Theorie.

Ueber den Gang der Assimilation in der Pflanze spricht sich A. Baeyer (Bericht der deutschen chem. Gesellschaft zu Berlin 1870) dahin aus, dass durch das Chlorophyll von der Kohlensäure, die aus $C O_2$ zusammengesetzt ist, Kohlenoxyd ($C O$) gebunden werde, während Sauerstoff entweicht, zwei Atome Wasserstoff treten hinzu und bilden Formaldehyd ($C O H_2$), oder in wässriger Lösung ($H O H_2$), unter Einwirkung von im Zellsafte gelösten Alkali treten bei gleichzeitigem Wasseraustritt die Formaldehydmoleküle direct zu

Zucker zusammen, der dann weiter in Stärke, Cellulose u. s. w., in noch unerklärter Weise umgesetzt werde.

Böhm hält ebenfalls dafür, dass das Amylumkorn ein schon viel zu complicirter Körper sei, um es als erstes Assimilationsproduct ansehen zu können.

Nach Walter Naegeli besteht die Stärke aus verschiedenen Modificationen, welche sich durch die verschiedenen Mengenverhältnisse von Stärke, Amylodextrin und Dextrin (von der beiläufigen Formel $C_{36}H_{62}O_{31}$) unterscheiden. Die Stärke ist im unveränderten Zustande unlöslich, sie wird nur dann löslich, wenn eine Quellung vorausgegangen ist.

B. Tollens fand, dass die Stärke mit einem Alkalimetallo (Kalium, Natrium) lösliche Verbindungen gebe, so zwar, dass auf $C_{30}H_{50}O_{25}$ ungefähr ein Atom des Alkalimetalles kommt.

Böhm fand bei seinen Versuchen über die Respiration der Landpflanzen die Zerlegung der Kohlensäure im Lichte durch die grünen Pflanzentheile so langsam, dass er diese Zerlegung nicht für die Quelle der viel schnelleren Stärkebildung im Lichte halten kann (entgegen der Ansicht von Godlewski), sondern vermuthet, dass in den stärkeleeren Zellen, und zwar in deren Inhalt oder Wandung, eine organische Substanz vorhanden sei, die unter der Einwirkung des Lichtes zu Amylum metamorphosire.

Hierbei wurde der nach unserer Ansicht sehr wichtige Umstand übersehen, dass der Pflanze durch das Wasser aus dem Boden eine grosse Menge

Kohlensäure, theils im freien, nämlich im Wasser gelösten Zustande, theils in Verbindung mit Kalk und Eisen etc. in Form von doppeltkohlensauren Salzen zugeführt werden, in deren Zerlegung wir weit mehr die Quelle der Stärkebildung durch Vermittlung des Chlorophylls finden, als in der Zerlegung der atmosphärischen Kohlensäure, die auch nur vermittelt des atmosphärischen Wassers oder Wasserdampfes der Pflanze, und zwar durch deren Wurzeln, oder an abgeschnittenen Pflanzenblättern durch deren Schnittfläche am Stiele zugeführt und im Wege der Diffusion in unmittelbare Berührung mit dem sie zerlegenden Chlorophyll gebracht werden kann.

Bezüglich der Bildung der noch complicirteren Eiweisskörper in der Pflanzenzelle, und zwar in der chlorophyllfreien, und auch in der chlorophyllhaltigen Zelle stellt man sich den Vorgang in der Weise vor, dass die grünen Zellen die Kohlehydrate liefern, welche auf stickstoffhaltige Salze treffen, die von der Wurzel aufgenommen werden und mit diesen zu dem Eiweiss umsetzen. (K. Lindstedt in der Gaea 1875, Heft XI.)

Wir können uns auf Grund unserer bisher entwickelten Anschauungen über die Vorgänge in der chlorophyllhaltigen Pflanzenzelle nur dahin aussprechen, dass die Bildung der Eiweissstoffe gleichzeitig mit der Bildung der Kohlehydrate vor sich geht, indem der in Folge der Reduction der stickstoffhaltigen Salze frei werdende Stickstoff, derselbe also im Entstehungszu-

stande (in statu nascendi) mit den durch die Zerspaltung der Kohlensäure und des Wassers frei werdenden Elementen des Kohlenstoffes, des Sauerstoffes und des Wasserstoffes sich verbindet. Dieser gebildete Grundcomplex (C H N O) eines Eiweisskörpers geht, sowie der gleichzeitig sich bildende Stoffcomplex eines Kohlehydrates (C H O) weitere Verbindungen ein mit den ebenfalls durch die Reductionen der mit der Nährstofflösung zugeführten Salze frei werdenden Atomen des Schwefels, Phosphors, Kaliums, Calciums, Siliciums und Eisens. Beide, die so gebildeten ersten Eiweisskörper und Kohlehydrate, erfahren auf ihrer Wanderung (Diffusion) hin zu den Stätten des Verbrauches, nämlich zur Bildung neuer Zellen, oder zur Ernährung vorhandener Zellen, und zu den Orten der Aufbewahrung als Reservestoffe, z. B. im Samen, durch die specifische Thätigkeit der betreffenden Zellen die Umwandlungen zu den verschiedenen organischen Stoffen, wie wir sie vorne (S. 363, 364) kennen gelernt haben.

Ueber die procentische Zusammensetzung, oder gar über die streng chemische Formel jener ersten Producte der Pflanzenassimilation in der Form von Eiweissstoffen und Kohlehydraten einen sicheren Aufschluss zu erhalten, wird deshalb sehr schwer angehen, weil die Bildung dieser Uranlagen von organischer Substanz mit der denkbar grössten Schnelligkeit vor sich geht und auch ihr Bestand bis zu einer neuen Metamorphose nur als ein äusserst kurzer gedacht werden muss, ein

bestimmtes Untersuchungsobject in dieser Richtung sich also nicht fassen lässt.

Mit Bezug auf das über die Diffusion der Nährstofflösungen in der Pflanze Gesagte müssen wir noch Folgendes über das Wandern der Stoffe in den Pflanzen, im Weichbaste und Parenchym, beifügen, weil auch hier die Mitwirkung des Eisens und der an dasselbe sich kettenden Mineralstoffe ins Auge springt.

In Folge der Verdampfung von Wasser aus den chlorophyllführenden Zellen wird die darin enthaltene Flüssigkeit concentrirter, und diese concentrirtere, dichtere Flüssigkeit einer Zelle wird zum Anziehungscentrum für die weniger concentrirte Flüssigkeit der nächst angrenzenden Zelle u. s. f. Derartige Bewegungen und Wanderungen von Flüssigkeiten verschiedener Concentration der darin gelösten Stoffe von Zelle zu Zelle, wobei begreiflicher Weise die Zellenmembran eine sehr wichtige Rolle spielt, nennt man die *Diffusion*.

Kein Stoff in der Zellenflüssigkeit und in der Zellenmembran (S. 373, 380) erscheint nun mehr geeignet und befähigt, die Direction bei einer solchen Stoffwanderung zu übernehmen als das Eisen. Wir brauchen uns hier nur des früher über die Eigenschaften des Eisens Bemerkten (S. 360 bis 362) zu erinnern und diesem nur noch beizufügen, dass metallisches Eisen auch die Gase, Sauerstoff und Stickstoff, ferner Wasserstoff absorbiren, in sich verdichten kann, ohne sich mit diesen Gasen chemisch zu ver-

binden, indem es dieselben z. B. bei Erhöhung der Temperatur oder im luftverdünnten Raume, ja auch von selbst allmähig wieder unverändert nach aussen abgibt oder ausscheidet.

Ist in Folge einer stärkeren Stoffconcentration in einer grösseren Zellengruppe, z. B. des Fruchtknotens, einmal ein osmotisches Anziehungscentrum geschaffen, so entsteht zu diesem hin ein Strom von löslichen Stoffen, die sich um den Ort der Anziehung anhäufen und daselbst aus dem löslichen in den unlöslichen Zustand übergehen.

Man findet auch nach Dehérain's Versuchen zur Zeit, wenn die Vegetation entwickelter ist, einige Blätter am Fusse krautartiger Pflanzen, wie z. B. unserer Getreidearten, gelb werden, und wenn man sie untersucht, findet man sie des grössten Theiles ihres Wassers beraubt und von ihren organischen Bestandtheilen, und auch von ihren Mineralstoffen entleert, während sich alle diese Substanzen in den jüngeren, oberen Blättern noch reichlich vorfinden. Diese Stoffwanderung aus den unteren, älteren, absterbenden Blättern und aus dem Stengel hin zu dem Fruchtknoten, wo sich der Samen bildet, dauert auch nach der Abtrennung der Pflanze vom Boden fort, woher es kommt, dass eine etwas zu zeitige Ernte der Qualität des Samens in keiner Weise schadet.

Auch auf diese hier stattfindende Stoffwanderung hat die Verdunstung und die Lichteinwirkung grossen Einfluss; denn zu grosse Boden- und Luftfeuch-

tigkeit und zu wenig directes Sonnenlicht, oder zu viel trüber Himmel während der Reife sind in gleicher Weise der letzteren ungünstig. Wir können nicht umhin, bei dieser Aufstapelung von Nährstoffen im Pflanzensamen ebenfalls dem Eisen einen bestimmenden Einfluss auf das hier stattfindende engere Zusammentreten der mineralischen Stoffe, und mit diesen der organischen Substanzen zuzuschreiben.

IX.

Nachdem wir bisher die verschiedenen Lebensvorgänge in der Pflanze, bei welchen die Mitwirkung des Eisens sich herausstellen lässt, in ziemlich eingehender Weise besprochen haben, bleibt uns noch ein besonderer Lebensact der Pflanze, der sogenannte Athmungsprocess in der Pflanze, oder die Pflanzenathmung zur näheren Betrachtung, und die Untersuchung übrig, ob und in welcher Weise hierbei das Eisen in Wirksamkeit trete.

Man präcisirt allgemein diese Athmung, im Gegensatze zur Thierathmung, dahin: „Die Pflanzenwelt athmet Kohlensäure ein und Sauerstoff aus, und die Thierwelt athmet Sauerstoff ein und Kohlensäure aus, weil in ihr (der Thierwelt) ein fortwährender Verbrennungsprocess vor sich geht, und dieser Verbrennungsprocess ist die Quelle der thierischen Wärme (Brücke's Physiologie); derselbe ist aber auch die Quelle der thierischen Arbeitsleistung, insoferne diese durch Muskel-

bewegung (Muskelcontraction) ausgeführt wird, wie ich schon im Jahre 1871 (meine Physik, 1871, S. 72 und 73), auf Grund physikalischer Gesetze nachgewiesen habe und was durch die praktischen Versuche von Pettenkofer, Voit und Fick festgestellt worden ist.

Um sich nun über die Pflanzenathmung möglichst klar zu werden, müssen wir uns die darauf bezüglichen neueren Versuchsergebnisse, wovon einige hier schon Erwähnung fanden, gegenwärtig halten.

1. Bezüglich der Gasdiffusion in Wasserpflanzen, bei denen es sich (nach Van Thieghem) herausstellte, dass durch das Kanalsystem eines in künstliches (sehr kohlensäurereiches) Selterwasser gebrachten Blattes im Dunkeln ein Strom von Kohlensäure vor sich geht, welcher rein physikalischer Natur ist, und auch im Lichte neben dem in der Pflanze unter Einwirkung des Lichtes stattfindenden Sauerstoffstrom (der ausgeschiedene Sauerstoff der vom Chlorophyll zerlegten Kohlensäure) sich vollzieht.

2. Die von Mergel (1874) abgeführten Versuche über die Thermodiffusion der Gase in Folge ungleicher Erwärmung, zufolge welcher Versuche im Pflanzengewebe, ähnlich wie bei der Thermodiffusion der Gase durch poröse Körper (Feddersen) und der einfachen Diffusion zwischen Luftmassen verschiedener Feuchtigkeit (Dufour) Strömungen von verschiedenen Gasen, wie atmosphärischer Luft, Kohlensäure, Stickstoff, Wasserstoff etc. vor sich gehen, und namentlich, wie die Kohlensäure, welche die Wurzeln in einem wässrigen,

mit vielen, sich zersetzenden organischen Resten erfüllten Boden im Ueberschusse aufnehmen, in die Blattfläche dringt und hier, gesättigt mit Wasserdampf sich entfernt, ohne etwas mit der Chlorophyllathmung (Zerlegung von Kohlensäure und Ausscheidung von Sauerstoff) gemein zu haben.

3. Versuche von Edler (1875), wornach bei blattlosen Zweigen die Verdunstung durch die Spaltöffnungen, Lenticellen und Rindenrisse vor sich geht.

4. Die vielen, von Dehérain und Moissan (1874) bereicherten Versuche, zufolge welcher die Pflanzen, ähnlich wie die Thiere während ihres ganzen Lebens, in der Dunkelheit Sauerstoff einathmen und Kohlensäure ausathmen.

5. Die von J. Böhm (i. J. 1873) wiederholten Versuche, aus denen sich ergab, dass Blätter von Luftpflanzen bei der Belichtung innerhalb kohlenstoffhaltigem Wasser etwas schwieriger zur Sauerstoffausscheidung zu bringen sind, als in kohlenstoffhaltiger Luft.

Der Grund hievon dürfte, nach meiner Ansicht, darin zu suchen sein, dass erstens bei dem gleichförmigen Drucke des Wassers auf das in dasselbe getauchte Blatt die Diffusion von Wasser und der darin enthaltenen Kohlensäure, trotz der Belichtung und der damit verbundenen Erwärmung einer Blattseite, im Innern dieses Blattes erschwert ist; dass zweitens die Licht- und Wärmeintensität der einfallenden Lichtstrahlen durch das Wasser abgeschwächt wird und drittens,

dass dem Sauerstoffe, welcher bei der Kohlensäurezerlegung durch das Chlorophyll sich gasförmig ausscheidet, in der Luft viel mehr Gelegenheit geboten ist, die Gasform anzunehmen (sich auszudehnen) und aus dem Blattinneren (mit dem Wasserdampfe) zu entfernen, als unter Wasser, was wieder eine Verlangsamung der Diffusion der Kohlensäure im untergetauchten Blatte, somit eine Verminderung der Kohlensäurezerlegung durch dessen Chlorophyll zur Folge hat.

J. Böhm fand ferner, dass die Benetzung der untergetauchten Blätter mit Wasser für die Fähigkeit, die Kohlensäure zu zersetzen, eine ganz hervorragende Rolle spielt. Unter Wasser gebürstete und dadurch von anhaftenden Luftblasen befreite Blätter von Juglans und Platanus, den beiden hauptsächlich benutzten Versuchspflanzen, gaben im Sonnenlichte nicht bloß geringere Mengen von Gas, sondern dieses Gas erwies sich auch als weit reicher an Sauerstoff.

Auch hievon lässt sich eine Erklärung geben, nämlich, dass die Kohlensäure nur in Verbindung mit Wasser und haftend an diesem, oder gelöst in diesem Wasser, sei es nun flüssiges oder dampfförmiges (Wasserdampf) in das Blattgewebe übertritt und diffundirt. Bekanntlich geben die grünen Blätter der meisten Pflanzen in ausgekochtem, also von der Kohlensäure befreitem Wasser, auch im stärksten Sonnenlichte kein Sauerstoffgas.

6. Die von Sennebier im Jahre 1874 aufgestellte Behauptung, dass die Sauerstoffabscheidung aus

grünen lebenden Pflanzentheilen nur im Lichte stattfinden kann, wenn ihnen Kohlensäure zur Verfügung steht und dass die Kohlensäure der einzige Ausgangspunkt für den Reductionsprozess in der chlorophyllhaltigen Zelle sei, erleidet durch die Versuche von A. Mayer eine wesentliche Modification, indem er nachwies, dass die im Pflanzenreiche weit verbreitete Oxalsäure unabhängig von den im Lichte verlaufenden Reductionerscheinungen auftritt und wo sie verschwindet, dies durch weitere Verbrennung geschieht. Mayer wies auch an den Zweigen von verschiedenen Crassulaceen und Sempervivum-Arten nach, dass sie in einem kohlenstofffreien dunklen Raume Sauerstoff aufnehmen und in einen kohlenstofffreien insolitren (beleuchteten) Raume Sauerstoff abscheiden, und als eine natürliche Folge davon zeigte der ausgepresste Pflanzensaft im ersten Falle eine saure Reaction, zum Beweise des Auftretens einer durch die Sauerstoffaufnahme gebildeten Säure, im zweiten Falle aber eine alkalische Reaction, zum Beweise einer Reduction oder Entsauerstoffung jener Säure. Daher kommt es, dass manche der bemerkten Pflanzen zeitlich morgens einen sauren Geschmack haben, den sie im Laufe des Tages im Lichte verlieren.

Dehérain und Moissan fanden neustens die Menge der von den Blättern im Dunkeln ausgeschiedenen Kohlensäure vergleichbar derjenigen, welche die kaltblütigen Thiere liefern, auch fanden sie, dass die im Dunkeln gehaltenen Blätter mehr Sauerstoff absorbiren, als sie Kohlensäure aus-

scheiden, ferner, dass die Blätter auch fortfahren, Kohlensäure auszusenden in einer des Sauerstoffes beraubten Atmosphäre. Es war somit die innere Verbrennung der Pflanzen nachgewiesen.

Ebenso fand J. Böhm in jüngster Zeit, dass lebende Gewebe von Landpflanzen, in eine sauerstofffreie Atmosphäre gebracht, sofort Kohlensäure so lange entbinden, als sie überhaupt leben; grüne Blätter bei einer Temperatur von 20° C. gegen 48 Stunden lang.

Alle diese und noch andere Thatsachen zwingen zu dem Schlusse, ja haben es auch schon erwiesen, dass die vom Sauerstoff abgeschlossenen pflanzlichen Elementarorganismen (die Pflanzenzellen) sich ohne Zufuhr von Sauerstoff nicht am Leben erhalten können und dass sonach der oben hingestellte Satz: die Pflanzen athmen Kohlensäure ein und Sauerstoff aus, in dieser allgemeinen Fassung nicht weiter aufrecht erhalten werden kann, und dass namentlich der Gegensatz zwischen Pflanzenathmung und Thierathmung in seiner vollen Schärfe nicht besteht.

Nach unserer Theorie der Pflanzenernährung erscheint die Aufnahme von Kohlensäure durch die Pflanzen nicht als eine einfache Einathmung, wie bei den Thieren die Aufnahme von Sauerstoff, sondern die von den Pflanzen aufgenommene Kohlensäure ist vermöge ihres Kohlenstoffes, der in der Pflanze in den Kohlehydraten und Eiweisskörpern (Protoplasma) deponirt wird, ein Nahrungsmittel für die Pflanze, und

der nach Deponirung des Kohlenstoffes sich abscheidende Sauerstoff ist in der Wirklichkeit ein Excret, eine Ausscheidung, die der in der Pflanze vor sich gehenden Reductionsprocess (Entsauerstoffung) mit sich bringt, während der im Thierleibe sich vollziehende Oxydationsprocess die Aufnahme von Sauerstoff aus der Einathmungsluft bedingt.

Den Begriff der Athmung, wie sie beim Thiere vorkommt, festgehalten, athmen auch die Pflanzen, wie die Thiere, Sauerstoff ein, oder nehmen Sauerstoff auf, theils zum Aufbaue ihres Leibes, der ja in allen seinen Bestandtheilen nebst Kohlenstoff und Wasserstoff auch Sauerstoff und in seinen Eiweisskörpern zudem auch Stickstoff neben Mineralstoffen enthält, theils zur Erzeugung innerer Wärme. Dieser zum Zwecke der Wärmeerzeugung von der Pflanze aufgenommene Sauerstoff erscheint und tritt aus der Pflanze wieder aus in der Verbindung mit Kohlenstoff als Kohlensäure, ganz so wie bei dem Thiere der eingeathmete Sauerstoff wieder in der ausgeathmeten Kohlensäure zum weitaus grössten Theile enthalten ist. — Nur ist bei dem Thiere, welches eine viel grössere Menge von Eigenwärme produziert und Muskelbewegungen entwickelt, die Aufnahme von Sauerstoff und die Ausscheidung von Kohlensäure viel bedeutender und gestaltet sich der ganze Lebensprocess im Thierleibe viel ausgesprochener zu einem Oxydations- oder Verbrennungsprocesse.

Zur Instandhaltung dieses Verbrennungsprocesses im Thiere liefert die äussere, oder (für Wasserthiere)

die im Wasser gelöste atmosphärische Luft den nöthigen Sauerstoff.

Die Pflanzen können dagegen den nöthigen Sauerstoff aus mehreren Quellen beziehen, und zwar: erstens, aus der atmosphärischen Luft, welche mit dem Bodenwasser oder mit dem atmosphärischen Wasserdampfe, gleichwie die an das Wasser, beziehungsweise den Wasserdampf gebundene Kohlensäure in die Pflanze eindringt; zweitens aus dem bei der Zerlegung der Kohlensäure und bei der Reduction der hochoxydirten Mineralkörper frei werdenden Sauerstoffe. Wird einer Pflanze der durch die innere Oxydation oder Verbrennung entzogene und als Kohlensäure ausgeschiedene Kohlenstoff nicht ersetzt, so zehrt sie an ihrem eigenen Leibe, wie das hungernde Thier es thut, die Pflanzensubstanz schwindet. Dieses ist schlagend dargethan durch die Versuche von Violette und Corenwinder, welche zeigten, dass Zuckerrüben nach vollständigem Abtragen ihrer Blätter in 44 Tagen fast 45 Procent Zucker verloren, ferner durch die Versuche, wornach eingeerntete Rüben nach zwei Monaten ihres Liegens ein Procent ihres Zuckers verloren haben. In beiden Fällen wurde einfach ein Theil des Zuckers in den Rüben verbrannt, d. i. der Kohlenstoff des Zuckers verband sich mit dem in der in die Rübe diffundirten atmosphärischen Luft oder in dem in die Rübe diffundirten Wasser enthaltenen Sauerstoff zu Kohlensäure, die ausgeschieden wird.

X.

Als denjenigen Theil in der Pflanzenzelle, welcher den ihm zur Verfügung stehenden Sauerstoff unter Mitwirkung des Eisens ansaugt, ihn an sich bindet, verdichtet und ihn auf diese Weise zum Eingreifen in die chemischen Prozesse des Stoffwechsels in der Pflanzenzelle befähigt, können wir nur den eigentlichen Zellenleib, das Protoplasma desselben, und zwar vermöge seines Gehaltes an Eisen ansehen, was schon an früherer Stelle dargethan wurde und später noch ausführlicher gezeigt werden wird. Indem ein Theil des Kohlenstoffes des Protoplasma, welcher durch den im Protoplasma fortwährend vor sich gehenden Stoffwechsel in eine dem Sauerstoff leicht zugängliche, von ihm leicht angreifbare Form gebracht worden ist, sich mit dem Sauerstoffe zu Kohlensäure verbindet, wird die für den ungehinderten Ablauf der chemischen Prozesse im Protoplasma und im Zellensaft nöthige Wärme erzeugt und wird auch in Form von elektrischen Strömen, d. i. von Aetherströmungen (meine Physik, S. 73) die sogenannte lebendige Kraft frei, welche, wie im thierischen Muskel, die verschiedenen Bewegungen im Protoplasmaleibe, als wie: die Körnchenströmungen in demselben, die kleinen Strömchen, welche sich von dem an die Zellwand angeschmiegtten Protoplasma nach dem im Zellinnern gelegenen Kerne ergießen, die Ortsveränderungen der Chlorophyllkörper u. s. w. ermöglichen und vermitteln, wobei jedenfalls

die nach Spannungsausgleichung strebende, aus der Verbrennung im Zellinnern entstandene Kohlensäure in ähnlicher Weise beim Rückflusse des kohlenstoffreichen venösen Blutes in die Lunge beim Thiere eine Rolle spielt (das Ozon S. 97). Den Ersatz für den verbrannten Kohlenstoff erhält das Protoplasma in den lebenden Pflanzen wieder von der im Chlorophyllkörper gebildeten Stärke oder von einem ähnlichen kohlenstoffhaltigen Umwandlungsproducte. Hört die Stärkebildung hier auf, wie in der entblätterten Zuckerrübe, so schwindet eben allmählig der Zucker, indem sein Kohlenstoff nach und nach in den Leib des Protoplasma wandert und hier zu Kohlensäure verbrannt wird, während der übrig bleibende Sauerstoff und Wasserstoff des Zuckers mit einander zu Wasser sich verbinden. Mit dem Momente, wo das Protoplasma für den durch Oxydation oder Verbrennung, durch die sogenannte innere Athmung verlorenen Kohlenstoff keinen Ersatz aus der Zellenflüssigkeit (dem Zellsafte) erhält, hört auch das Leben des Protoplasma auf. Dasselbe gilt, mehr weniger, auch von den übrigen, im Wege des Stoffwechsels aus dem Protoplasmaleibe ausgetretenen Stoffen, die integrirende Bestandtheile eines normalen Protoplasma sind, und nach ihrem Abgange wieder eines Ersatzes durch Zufuhr neuer Nährstofflösung bedürfen.

Mit dem bezeichneten Momente der sistirten Ernährung des Protoplasma treten die bis dahin in einem gewissen, durch den Stoffwechsel erhaltenen labilen Gleichgewichte gestandenen Atomencomplexe des Zellen-

leibes einerseits, und des Zellsaftes andererseits, lediglich ihren gegenseitigen (chemischen) Anziehungen folgend, und hierin durch den erloschenen Process des Stoffwechsels nicht mehr gestört, zu neuen, und zwar festeren chemischen Verbindungen zusammen, deren Producte anorganischer Natur sind, und zwar: Kohlensäure, Ammoniak und Wasser bei der Verwesung; Kohlensäure und Kohlenwasserstoff, nebst Sauerstoff und Stickstoff bei der Sumpfgasgährung; Kohlensäure und Alkohol bei der Alkoholgährung, welche letztere Gährung auch lebende Gewächse (Gewebe) der verschiedensten Art eingehen, wenn man sie vom Sauerstoffe absperrt.

Dasselbe gilt auch von jenen kleinsten Lebewesen, von welchen uns das Mikroskop noch Kunde bringt und die man mit dem Collectiv-Namen Fermente belegt hat, die man gegenwärtig aber als Pilze und Bakterien von einander unterscheidet. (Näheres hierüber findet sich in meiner Abhandlung über die sanitären Verhältnisse und Berufskrankheiten der Arbeiter bei den k. k. österr. Berg-, Hütten- und Salinenarbeitern, S. 6 bis 17. — Wien 1873, Gerold.)

Die Versuche von Brefeld haben nämlich dargethan, dass die Hefenzellen ohne Sauerstoff (in gasförmigem oder gelöstem Zustande) nicht zu wachsen vermögen. Wenn sie den freien Sauerstoff der betreffenden Zuckerlösung verzehrt haben, oder sonst entbehren, so setzen sie zwar eine Zeit lang, besonders wenn sie jung sind (Pasteur), ihr Leben fort und zersetzen dabei

den Zucker in Alkohol und Kohlensäure, jedoch ohne sich zu vermehren, ohne zu wachsen.

Traube fand, dass die Hefenkeime bei Abschluss des Sauerstoffes nicht zur Entwicklung gelangten und Brown zeigte, dass schon eine Verminderung des Luftdruckes die Alkoholgährung zu vermindern und zu verlangsamen im Stande sei. Durch die Verminderung des Luftdruckes, die auf einer Verdünnung der Luft beruht, geschieht nichts anderes, als gleichzeitig eine Verminderung der in einem gewissen Raume enthaltenen Sauerstoffmoleküle. Wir sehen unter niedrigem Luftdrucke, in der dünnen Luft auf hohen Bergen (7000' und darüber), auch nur wegen ungenügenden Sauerstoff die Functionen des Geistes und Körpers erlahmen.

Dass der Hefenpilz anderen Substanzen den Sauerstoff, wenn derselbe nicht mit der Luft ihm dargeboten wird, entzieht, bewies Schützenberger, indem er dem arteriellen, also dem sauerstoffreichen Theile des Blutes Hefe zusetzte, worauf dieses in venöses also in kohlensäurereiches Blut umgewandelt wurde.

Nach Versuchen von Paschutin trat die Fäulniss von eiweisshaltigen Substanzen (wie Muskelfleisch), die unter Stickstoff, Wasserstoff, Kohlensäure und Leuchtgas aufbewahrt wurden, noch nach Monaten nicht ein. Wurden solche Muskelstückchen nachher (selbst nach neun Monaten) der Luft, also dem Sauerstoffe derselben ausgesetzt und etwas befeuchtet, so trat Fäulniss und Organismenbildung (Mikrokokken und Bakterien) wieder ein, jedoch später mehr Schimmelbildung (Pilze).

XI.

Man weiss gegenwärtig, dass die Fäulniss eiweisshaltiger Substanzen (Fleisch etc.), ähnlich wie die Alkoholgährung durch die Bierhefe, durch ein organisirtes Ferment zu Stande kommt und erhalten wird. Es ist nun mit Sicherheit festgestellt (durch Ludwig 1874 und Pflüger 1875) dass auch die kleinen Organismen, welche jenes Fäulnissferment bilden, und die man mit dem Namen Bakterien oder Mikrokokken belegt hat, nicht ohne die Gegenwart und das Zuthun des Sauerstoffes existiren und zu leben vermögen. Dasselbe steht auch fest bezüglich der das Leuchten oder die Phosphorescenz des faulenden Holzes und verwesender Fische bedingenden, winzig kleinen, sich lebhaft bewegenden körnigen Gebilde, (von beiläufig $\frac{1}{40000}$ Zoll Durchmesser) die als Bakterien aufzufassen sind.

Es existirt noch eine ganze Classe von Organismen, die man dem äusseren Ansehen und Verhalten nach zu den Pflanzen zählen kann, ihren Functionen nach aber zu den Thieren rechnen muss: die Pilze und die Schmarotzergewächse, von welchen Organismen es bekannt ist, dass sie, und zwar wie man jetzt weiss, wegen Mangel an Chlorophyll nicht im Stande sind, aus anorganischen Stoffen, und speciell aus Kohlensäure organische Substanzen zu bereiten, sondern sich aus schon bis zu einem gewissen Grade vorgebildeten organischen Stoffen, die in Folge der Zersetzung organischer

Abfälle im Boden vorkommen, oder in der Säftemasse anderer Pflanzen sich vorfinden, ernähren.

Diese Organismen athmen sonach, wie die Thiere, Sauerstoff ein und Kohlensäure aus, und alle diese Organismen besitzen das Eisen, nach unserer wohlbegründeten Anschauung wohl vorzugsweise zur Verrichtung dieses Respirations- oder Athmungsprocesses, nämlich zur Ueberführung des Sauerstoffes aus einer Verbindung, — sei diese nun nur eine mechanische wie in der atmosphärischen Luft mit dem Stickstoffe, oder eine chemische, — in eine neue Verbindung, beim Athmungsprocesse speciell mit dem Kohlenstoffe. Sehr instructiv über die Rolle der Pilze ist ein in jüngster Zeit mit dem *Agaricus campestris* (ein Pilz, der ausser Mannit keinen Zuckerstoff enthält) von Müntz ausgeführter Versuch, woraus zur Evidenz hervorgeht, dass die gewöhnliche Rolle der Pilze darin besteht, die Substanzen, welche ihnen zu Gebote stehen, zu verbrennen, wobei sie sich des äusseren Sauerstoffes bedienen, und dass Pilze, welche gegen die Wirkungen des Sauerstoffes geschützt sind, also in einer sauerstofffreien Atmosphäre durch innere Verbrennung oder Selbstverbrennung, speciell durch die Verbrennung des Mannites Kohlensäure, Alkohol und Wasserstoff liefern, gleichwie die Bierhefe, nach den Beobachtungen von Müntz, dieselbe Verwandlung am Zucker, d. i. an einer Lösung von Glycose vollzieht. (Comptes. rendus T. LXXX.)

Entsprechend dem Verbrennungsprocesse, der in den lebenden Pilzen vor sich geht, fand Makab bei einem riesenhaften Pilze (*Licoperdon giganteum*) eine Temperatursteigerung um 1.2° C. gegen die Temperatur der umgebenden Luft. Wenn also die Aufnahme von Sauerstoff für die Pilze eine Lebensbedingung ist und wenn das Eisen bei dieser Sauerstoffaufnahme den Antheil haben soll, den wir ihm zuschreiben, so müssen die Pilze, ohne Unterschied, Eisen in ihnen führen. Dieses ist nach Boussingault's Analyse auch wirklich der Fall, sowie die Versuche von Raulin (1872) zeigten, dass Eisenzusatz zur Ernährungsflüssigkeit der Pilze, insbesondere der Schimmelpilze, die Entwicklung derselben befördert. Die im Fleische sich entwickelnden und die Fäulniss desselben, und überhaupt die Fäulniss eiweisshaltiger thierischer und pflanzlicher Substanzen (z. B. Pflanzensamen, verschiedener Nahrungsmittel etc.) bedingenden Bakterien finden das zu ihrer Ernährung und zur Aufnahme des Sauerstoffs nöthige Eisen zur Genüge in dem Fleische, beziehungsweise in dem Hämoglobin (dem eisenhaltigen Farbstoffe) des darin enthaltenen Blutes und im rothen Farbstoffe des Muskelfleisches, das dem Hämoglobin ganz analog ist, dann in den verschiedensten, der Fäulniss unterliegenden pflanzlichen Nahrungsmitteln, die alle Eisen enthalten.

Nachstehende Zusammenstellung von Stoffen zeigt nach Moleschott deren Procentgehalt an Eisenoxyd:

Eiweiss des Hühnereies	0·001
Dotter	0·023
Kalbfleisch	0·002
Schweinefleisch	0·004
Ochsenfleisch	0·010
Käse	0·007
Roggen	0·028
Gerste	0·037
Hafer	0·026
Weizen	0·019
Reis	0·012
Erbsen	0·021
Birnen	0·004
Erdbeeren	0·050
Kartoffeln	0·005
Runkelrüben	0·007

Ich nehme auch keinen Anstand, zu behaupten, dass die von Leo Popoff unter Leitung von Hoppe-Seiler, dann von J. Böhm in der jüngsten Zeit einer näheren Untersuchung unterzogene Sumpfgasgärung (Archiv für die gesammte Physiologie Bd. X und Sitzungsberichte der Wiener Akademie, April und Mai 1875) nur unter Vermittlung des Eisens vor sich gehen kann. Diese Gärung besteht in der Wesenheit im Zerfalle der Cellulose, wahrscheinlich nach der Gleichung: $C_6 H_{10} O_5 + H_2 O = 3C O_2 + 3C H_4$, also im Zerfalle in Kohlensäure und Kohlenwasserstoff (Böhm). Da diese Gärung nur an Substanzen, welche Cellulose enthalten, mit Ausschluss alles Sauerstoff-

zutrittes, auftritt, und da eben die Cellulose durch ihren Eisengehalt ausgezeichnet ist (S. 373); so ist wohl keine Behauptung berechtigter, als die obige. Wenn man auch am Gummi arabicum die Sumpfgasgährung hervorrufen kann, so ist zu bedenken, dass diese Substanz Kalk und mit diesem auch Eisen enthält. Ich gehe noch einen Schritt weiter und sage: Jede Gesteinsverwitterung, welche mit Oxydationen verbunden ist, setzt die Gegenwart von Eisen in der Gesteinsmasse oder in dem sie umgebenden Medium voraus.

Wie das Eisen zu einer so universellen Rolle bei den organischen und anorganischen Veränderungen in der belebten und unbelebten Natur komme, darüber geben dessen, im Vorhergehenden schon zu wiederholten Malen hervorgehobenen chemisch-physikalische Eigenschaften den Aufschluss. In letzter Instanz müssen wir uns aber an das Eisenatom oder Eisenmolekül selbst wenden, um von dorthier die Einsicht in den letzten Grund aller Eigenschaften und Wirkungen des Eisens, wohin auch die magnetischen gehören, zu holen. Ich habe mich über diesen letzteren Punkt in meiner Physik (S. 19 und 60), dann in meiner Abhandlung über das Ozon (S. 88 u. s. f.) ausgesprochen, worauf ich mich daher zu beziehen, mir hier erlaube.

Nach dem an diesen citirten Stellen über die Gestalt der Körperatome des Eisens und über die dadurch bedingte ungleiche Vertheilung der ponderablen

Masse im Eisenatom Bemerkten, unterliegt es keiner Schwierigkeit, sich vorzustellen, wie das Eisenatom der Ausgangspunkt von fortwährenden Ortsveränderungen und Strömungen jenes Stoffes, den die Physiker Aether nennen, ist, welche Strömungen nach meiner, im Sinne Redtenbacher's entwickelten Theorie über den Aether (meine Physik 1871), die auch später Edlund, jedoch in abweichender Weise aufstellte, das Wesen der elektrischen Strömungen (Aetherbewegungen) sind. — Da jede Aenderung in der Vertheilung des Aethers im Raume eine Aenderung in der Vertheilung und Lagerung der ponderablen Körperatome, um welche der Aether eine Hülle, eine Atmosphäre bildet, zur Folge haben muss; so ist es klar, dass das Eisen bei der ihm in Bezug auf die Aetherbewegung und Aethervertheilung zukommenden Eigenschaft auch die Locomotion oder Ortsveränderung oder die Wanderung der Moleküle der verschiedensten Körper, wie sie bei den verschiedenen Veränderungen im pflanzlichen und thierischen Organismus vorkommen, und wie sie bei den Verwitterungsprocessen stattfinden, veranlassen und bewirken, und wie es namentlich den Uebertritt des inactiven, atmosphärischen Sauerstoffes in den Pflanzen- und in den Thierleib, so wie in die verschiedenen Gesteinsmassen vermitteln kann. — Schon die eine Thatsache weist auf diese Wirkungen des Eisens, die Thatsache nämlich, dass alle Eisenoxyd- und Eisenoxydulsalze kräftige Ozonüberträger sind, was nach der von mir aufgestellten Ozontheorie

nichts Anderes sagt, als dass das Eisen in diesen Salzen den gewöhnlichen Sauerstoff verdichtet, ihn somit ozonisirt und als activen Sauerstoff wieder an andere Körper abgibt, die von diesem an sie übertragenen Sauerstoffe in statu nascendi angegriffen und oxydirt oder verbrannt werden. — Hierauf beruht im Grunde der ganze Verbrennungsprocess, wie er sich als Athmungsprocess im pflanzlichen und thierischen Organismus darstellt, in welchem letzteren namentlich das Eisen des Blutes als Ozonüberträger fungirt oder thätig ist.

Im Grunde ist der Keimungsprocess im Pflanzensamen und der Furchungsprocess im Dotter des thierischen Eies in seinen ersten Anfängen ein Verwitterungsprocess im obigen Sinne. Nur haben bei ersteren Processen, wo das Protoplasma der Keimzelle oder der Eizelle die ersten Trümmer der Verwitterung (Oxydation) in seinen Leib zum weiteren Aufbaue desselben und zur Vervielfältigung desselben (Vermehrung, Wachsthum) aufnimmt, jene Trümmer ein anderes Schicksal, als die Producte der Verwitterung zusammengesetzter anorganischer Körper. Aber sowohl im Pflanzenkeime, als auch im Thierei und im verwitternden Mineralkörper müssen wir dem darin enthaltenen Eisen die Rolle der Activirung des Sauerstoffes zuerkennen, sobald es sich um Oxydationen in diesen organischen und anorganischen Gebilden handelt.

XII.

Ich habe zu wiederholten Malen betont, dass die Pflanzen die Kohlensäure, welche sie mit Hilfe des Chlorophylls zerlegen, um den Kohlenstoff zu ihrem Aufbaue und zu allen ihren organischen Bildungen zu gewinnen, dem grössten Theile nach aus dem Boden und zwar mit dem durch ihre Wurzeln aufgenommenen Wasser beziehen. Die Absorption der freien gasförmigen Kohlensäure durch die Blätter, — sei es durch die Cuticula oder durch die Spaltöffnungen, — das fortwährende Nachströmen der Kohlensäure aus der Atmosphäre hin zu den Blättern zum Zwecke weiterer Absorption konnte mir physikalisch nie einleuchten. Eine wichtige Frage ist jedenfalls die nach der Quelle der Kohlensäure, welche in so grossen Mengen fortwährend von der gesammten Pflanzenwelt in Anspruch genommen wird, dass der geringe Percenttheil, den die Luft davon enthält (in 10.000 Volumtheilen nach neuester Untersuchung kaum drei und höchstens vier Volumtheile, nach den jüngsten Untersuchungen in der Nähe grosser Wasserflächen der See, wo das Wasser auf die atmosphärische Kohlensäure absorbirend wirkt, bedeutend weniger), unmöglich zur Deckung jenes Bedarfes genügt, besonders wenn man den grossen Bedarf an Kohlensäure von auf einem engeren Raum dicht zusammengedrängten massigeren Gewächsen berücksichtigt. Um jene fragliche Kohlensäure zu finden,

müssen wir unseren Blick auf die in den Meeres-tiefen in unmessbar grossen Mengen angehäuften Kohlensäure richten. (S. 352.)

Der grosse Gehalt des Meerwassers an freier Kohlensäure, die mit der Tiefe zunimmt, hat zwei Hauptquellen:

1. in der der Sumpfgährung analogen Verwesung der abgestorbenen und auf den Meeresboden hinabgesunkenen pflanzlichen und thierischen Organismen;
2. in dem Athmungsprocesse der die Meere in ungeheuren Mengen bewohnenden Thierformen.

Die von den Pflanzenorganismen des Meeres nicht absorbirte, daher überschüssige freie Kohlensäure diffundirt mit dem Meerwasser nach Rücklassung des grössten Theils des Chlornatriums in das die Meere umgebende Festland und mit dem auf letzterem fortwährend verdunstenden Wasser in die Atmosphäre. Nur bei einem solchen, physikalisch unwiderleglichen Vorgänge ist die von Fodor in Klausenburg exact nachgewiesene Zunahme der Kohlensäure mit der Tiefe, selbst im dichtesten, von allen organischen Resten freien Boden; erklärlich, ebenso das stärkere Emporsteigen und die reichlichere Ansammlung dieser Kohlensäure bei Erniedrigung des Luftdruckes, dann während des Tages im Vergleiche zur Nachtzeit (in Folge stärkerer Verdunstung bei Tage); ferner erklärlich die Aenderung des Kohlensäuregehaltes im Boden bei Aenderung der Windrichtung, womit sich die Bodenverdunstung ändern muss. Gleichfalls erklärt sich aus dem geschilderten

Diffusionsvorgänge vom Wasser aus dem Meere in die Festlandsmassen das Vorhandensein von Grundwasser, dessen Stand nach neueren Untersuchungen von atmosphärischen Niederschlägen (Regen, Schnee) ganz unabhängig ist, in weit ab vom Meere und von Flüssen gelegenen Festlandstheilen z. B. in der lybischen Wüste, wo man bei den Tiefbohrungen, nachdem man eine gewisse Gesteinschichte durchbrochen hatte, in Tiefen bis zu 100 Meter und darüber, auf mächtig empordringendes Wasser von einer Temperatur bis zu 30⁰ C. gestossen ist. Nur nebenbei sei es bemerkt, dass nach meiner Meinung die Aufsaugung des Meerwassers durch das Festland als ein wesentlicher Factor bei dem Zustandekommen der Meerströmungen, wie wir sie so ausgeprägt im Golfstrom kennen, betrachtet werden muss, worüber ich mich in einer demnächst von mir erscheinenden besonderen Abhandlung „Grundzüge einer neuen Theorie der Luft- und Meeresströmungen“ näher aussprechen werde. Fragt man endlich nach der Quelle desjenigen Sauerstoffes, welchen alle die unzähligen kleinen und grösseren thierischen und in einer gewissen Beziehung auch die pflanzlichen Meeresbewohner zu ihrem Leben und zwar zur Erhaltung ihres Stoffwechsels, zur Erzeugung ihrer Eigenwärme und ihrer Bewegung brauchen; so lässt sich diese Frage dahin beantworten, dass dieser Sauerstoff durch die unausgesetzt von den kälteren Stellen des Meeres, namentlich im grossen Massstabe von den Polarmeeren zu den Aequatorialgürtel, als der Stelle der stärksten Erwärmung und Ver-

dunstung hinströmenden und auf diesem Wege immer mehr auf den Meeresgrund hinabsinkenden kalten Wassermassen, dann auch von allen in die Meere sich ergießenden Gewässern dem Meere zugeführt wird.

Und auch in den Meeren ist es das hier in grossen Mengen vorkommende Eisen, welches die Uebertragung des Sauerstoffes an sämtliche die Meere bevölkernde pflanzliche und thierische Organismen und den Stoffwechsel in diesen organischen Wesen vermittelt. In gewisser Beziehung athmet also auch die gesammte Erde, insoferne man darunter, nach der Analogie mit den belebten Wesen, die Aufnahme von Sauerstoff und die Abgabe von Kohlensäure versteht, und spielt auch bei diesem Gastransporte, nämlich des Sauerstoffes der Atmosphäre mittelst des flüssigen Wassers in die Meerestiefen und der Kohlensäure aus diesen durch das Festland zurück, entweder unmittelbar in die Atmosphäre oder in die Pflanzenwelt, das Eisen eine wesentliche Rolle.

XIII.

Die Rolle des Eisens im thierischen Organismus liegt viel klarer vor uns, ist hier viel ausgesprochener, als im pflanzlichen Organismus.

Im Organismus der höheren Thiere, die rothes Blut in ihren Blutgefässen führen, das ist bei den Wirbelthieren, haftet das Eisen einzig und allein an den roth gefärbten Blutkörperchen, und zwar an dem rothen Farbstoffe: Blutroth oder Hämatin

genannt, das sich durch verschiedene Mittel aus den Blutkörperchen ausziehen lässt, worauf, wie bei den Chlorophyllkörpern, ein farbloser Eiweisskörper von der Form der Blutkörperchen, das sogenannte Stroma, zurückbleibt (S. 385). Da wir nun wissen, dass diesen farbigen Blutkörperchen das Geschäft der Anziehung des in der eingeathmeten atmosphärischen Luft enthaltenen Sauerstoffes und der Transportirung dieses Sauerstoffes in die verschiedenen Gewebe und Organe des thierischen Körpers obliegt, in welchen Geweben der vom Blute dahin geführte Sauerstoff an die zur Oxydation oder Verbrennung bereit liegenden organischen Substanzen, z. B. das Glycogen in den Muskeln, tritt, und da man ferner weiss, dass bei Verarmung des Blutes an Eisen tief in den Stoffwechsel eingreifende Störungen, wie z. B. die Blutarmuth, beziehungsweise die aus Eisenarmuth hervorgehende Bleichsucht oder Chlorosis, ähnlich wie bei Pflanzen (S. 376, 383), sich einstellen; so kann über die Wirksamkeit und Wichtigkeit des Eisens im thierischen Organismus wohl nicht der leiseste Zweifel obwalten. Dass aber das Eisen im Blute vorzugsweise befähigt ist, den eingeathmeten Sauerstoff festzuhalten und zu binden, wie man sich ausdrückt, zu ozonisiren, und dass es nicht minder befähigt ist, auch die aus der erwähnten Verbrennung hervorgegangene Kohlensäure an sich zu fesseln und an die Stelle des abgetretenen Sauerstoffes zurück zu den Lungen zur Ausscheidung in die äussere Luft zu tragen, dieses kann nach den schon an mehreren vorausgegan-

genen Stellen hervorgehobenen Eigenschaften des Eisens, und insbesondere bei seiner starken Verwandtschaft sowohl zum Sauerstoffe als auch zur Kohlensäure, ebenfalls nicht dem mindesten Zweifel unterliegen. Thatsächlich sind auch die rothen eisenhaltigen Blutkörperchen ausgezeichnete Ozonüberträger, und dies nach meinem Dafürhalten ganz gewiss nur vermöge ihres Eisengehaltes. Aber auch zum Transporte anderer anorganischer Körper, wie der sogenannten mineralischen Nährsalze (Kali, Natron, Kalk, Phosphor, Schwefel etc.), dann der einverleibten medicamentösen Stoffe, in der Blutbahn und hin zu den einzelnen Geweben erscheint das Eisen vermöge seiner Anziehung zu einer grossen Reihe solcher anorganischer Stoffe besonders geeignet.

Da nun auch alle anderen thierischen Organismen, die ein rothes Blut nicht führen, und da auch Thiere, deren Blut überhaupt keine Blutkörperchen enthält, athmen, nämlich Sauerstoff aufnehmen und Kohlensäure ausscheiden; so muss wohl auch diejenige Flüssigkeit, welche in solchen Organismen das Blut darstellt und als Blut fungirt, Eisen enthalten. — Und in der That hat Boussingault im Blute aller dieser Thiere Eisen nachgewiesen. (Compt. rend. vom 27. Mai 1872.) Näheres über dieses hier nur oberflächlich berührte Thema enthält meine Arbeit: „Das Ozon und seine Wichtigkeit im Haushalte der Natur und des menschlichen Körpers,“ Capitel VIII. (Wien bei Gerold's Sohn.)

Da wir von einer ziemlich langen Reihe von anorganischen Stoffen, wie z. B. vom Chloroform, vom Aether, von der Blausäure, dem Chinin u. s. w. wissen, dass unter ihrer Einwirkung ganze Pflanzentheile in einen narkotischen, gelähmten Zustand versetzt werden, worin sich die grünen Theile entfärben, eine bräunliche Farbe etc. annehmen, und da wir eine ähnliche lähmende Wirkung jener Stoffe auch auf die thierischen Organismen bis hinab zu den Hefepilzen und Bakterien kennen; so müssen wir auch hiebei wieder an das Eisen in allen diesen Organismen denken, das durch diese Stoffe in seiner katalytischen Wirksamkeit, den Uebertritt des Sauerstoffes in jene Organismen zu vermitteln, gehemmt und gehindert werden mag, und zwar in der Weise, dass jene (lähmenden) Stoffe das Eisenatom in seinen Valenzen oder Anziehungscentren vollständig in Anspruch nehmen, seine Capacität sättigen, daher dem Eisenatome keine oder nur eine sehr geringe Affinität dem Sauerstoffe gegenüber, behufs dessen Ueberführung in den Protoplasmaleib der organischen Zelle, frei lassen. Diese letztere Erwägung würde vollkommen der jetzigen atomistischen Theorie der Chemiker über die Atomigkeit, das heisst das Sättigungsvermögen oder die Sättigungs-Capacität der Atome der chemischen Elemente, entsprechen.

Einer solchen Anschauung wird man sich insbesondere hingeben müssen, wenn man sich über die

Wirkung so mancher Arzneikörper auf das Blut und durch dieses auf das Nervensystem klar werden will.

Wir hätten somit unserem Programme gemäss das Eisen in seinen Lagerstätten und geheimen Verstecken in der Erdrinde aufgesucht, dessen chemisch-physikalische Eigenschaften beleuchtet, dasselbe auf seinen Wanderungen durch den pflanzlichen und thierischen Organismus verfolgt, die Rolle, die es hierbei spielt, enthüllt und zugleich die hohe Bedeutung nachgewiesen, die dem Eisen für die gesammte organische Welt zukommt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1876

Band/Volume: [16](#)

Autor(en)/Author(s): Hammerschmied Johann

Artikel/Article: [Ueber die Bedeutung des Eisens für den pflanzlichen und thierischen Organismus. Ein Beitrag zur Theorie der Pflanzenernährung. 345-437](#)

