

# Die Wurzelknöllchen der Hülsenfrüchte und deren Beziehungen zur Stickstoffassimilation der Pflanzen.

Vortrag von P. Koch vor der Versammlung vom 5. Mai 1891.

---

Fast allgemeine Anerkennung finden noch heute die Lehrsätze, betreffend die Ernährung der Pflanzen, die Boussingoult vor 50 Jahren auf Grund sorgfältiger und umfassender Culturen von Pflanzen in reinem Quarzsand unter Zusatz von Nährsalzen verschiedener Art aufstellte:

Dieselben nehmen durch die Blätter Kohlensäure aus der Luft auf und durch die Wurzeln Wasser aus der Erde, und in diesem gelöst Kohlensäure, mineralische Salze und Stickstoff in Form von salpetersauren Salzen.

Und ferner: dieser Stickstoff in Form von Salpetersäure, sofern dieselbe nicht in künstlichen Düngern oder gelöst im Regenwasser dem Boden direct zugeführt wird, stammt sämmtlich aus stickstoffhaltigen, thierischen und pflanzlichen Abfällen, die durch Verwesung und andere Prozesse in Salpetersäure übergeführt werden.

Diesem Lehrsatz entsprechend, den Boussingoult zum Theil in die Worte einkleidete: die Pflanzen nehmen Stickstoff nur in Form von im Boden vorhandener Salpetersäure auf und sind nicht im Stande, den Stickstoff der Luft sich zu eigen zu machen, — den auch Strecker in Tharand noch vor 25 Jahren durch eine Reihe gründlicher Untersuchungen unterstützte, — erntet auch im Allgemeinen der Landwirth in seinen Früchten nur so viel Stickstoff, als er im Dünger dem Boden zuführte.

Dagegen war mit diesem Lehrsatz nicht in Einklang zu bringen die alte Erfahrung der Landwirthe, dass eine jede Ernte von Erbsen, Klee, Lupinen und anderen Hülsenfrüchten, ohne selbst gedüngt zu sein und trotzdem dieselbe in sich eine

bedeutende Menge Stickstoff aufspeicherte, doch dem Boden so viel Stickstoff in löslicher Form hinterlässt, dass ohne erneute Düngergabe die folgende Halmfrucht gute Ernte giebt.

Schon Thaer nannte deshalb die Halm- und Körnerfrüchte Bodenerschöpfer, die Hülsenfrüchte (Leguminosen) Bodenbereicherer, während heute Schultz-Lupitz auf Grund derselben Erfahrungen die Bezeichnungen: Stickstofffresser und Stickstoffsammler einander gegenüber gestellt hat.

Woher aber dieser von den Leguminosen aufgenommene und im Erdboden mindestens auf derselben Höhe erhaltene Stickstoff stamme, darüber gingen die Meinungen sehr auseinander. Die Einen glaubten, dass derselbe in den massenhaften Wurzelresten des Klees etc. nur in einer leichter löslichen Form sich befinde, die Anderen schlossen, dass der Stickstoff durch die langen Wurzeln nur aus tieferen Bodenschichten heraufgeholt werde, und andere Meinungen mehr, die jedoch durch v. Heyden und andere Forscher als unhaltbar nachgewiesen wurden.

Es begannen deshalb Pflanzen-Physiologen einerseits und Agrikulturchemiker andererseits von Neuem zu forschen und zu suchen.

Erstere waren schon lange auf die den Leguminosen eigenthümlichen Wurzelknöllchen aufmerksam geworden, die man bisher als Gallen, als Wohnungen von Parasiten angesehen hatte. Seit 20—25 Jahren setzte eine grosse Zahl von Forschern, wie zuerst 1866 der Russe Waronin, Treviranus, Bréant, Marschall Ward, Ericson, Vuillemin, Brunckhorst und ganz besonders in letzter Zeit: Beyerinck, Prazmowski aus Czernichow bei Krakau, Prof. Hellriegel-Bernburg, B. Frank-Berlin ihre Lebensaufgabe daran, Wesen und Wirken dieser sonderbaren Gebilde zu erforschen.

Leicht waren diese Untersuchungen nicht, manche Irrthümer und Fehlschlüsse konnte man sich gegenseitig nachweisen, — und bestehen auch heute noch über manche Erscheinungen und Wirkungen Meinungsverschiedenheiten, — aber auf Grund jahrelanger rastloser Untersuchungen lässt sich doch folgendes feststellen:

1. Wurzelknöllchen findet man an allen, ca. 6000 Leguminosenspecies der ganzen Erde, einjährigen wie baumartigen und auf allen Bodenarten, auf denen überhaupt Leguminosen wachsen, und wird selbst Samen einer exotischen Mimosa in

unseren nordischen Gärten ausgesät, so findet man an dem Sämling Wurzelknöllchen.

2. Diese Knöllchen sitzen je nach der Pflanzenart an verschiedenen Stellen der Wurzel: Während dieselben bei Erbse und Klee in Zahl von 20, 40, 60 und mehr gleichmässig vertheilt an den feinen Seitenwurzeln sitzen, an der Mitte oder am oberen Ende derselben, so dass jede Seitenwurzel mindestens ein Knöllchen aufweist, hat die Lupine 1 Hauptknöllchen am oberen Ende der Pfahlwurzel, das oft die Grösse einer Kartoffel bis 3 cm Durchmesser erreicht, nicht ausgeschlossen Knöllchen an den Nebenwurzeln. Hat sich durch irgend einen Umstand jene eine Knolle an der Hauptpfahlwurzel nicht gebildet, so bilden sich mehrere an den oberen Enden der Seitenwurzeln; und bilden sich von oben aus abgehend noch sogenannte Adventivwurzeln, so erhalten auch diese ihre Knöllchen.

3. Es ist also keine Willkür, sondern ein gewisses System in der Bildung der Knöllchen, dass die Verbindung der Seitenwurzeln mit der Hauptwurzel oder dem Hauptstamm immer über ein Knöllchen führt.

4. Die Masse der Knöllchen, das Product aus ihrer Zahl und Grösse, ist in den oberen Bodenschichten viel bedeutender als in den tieferen und wird bei ca. 0,5 Meter Tiefe fast gleich Null.

5. In mageren Böden bildeten sich viele Knöllchen, die klein bleiben; in humusreichen Böden oft weniger Knöllchen, die wohl bis zu Erbsen- und Bohnengrösse anwachsen können.

6. Die Knöllchen bilden sich jedoch nicht, wenn man Samen in Boden säet, sei dies nur Quarzsand oder Humusboden aller Art, — den man durch Erhitzung auf 90—100° C. im nassen oder trockenen Zustande sterilisirt, also von allen Lebewesen befreit hat.

Eine Ausnahme machten wiederholt nur Buschbohnen, wofür sich später die Erklärung fand, dass den Samen schon die Knöllchen bildenden Lebewesen anhafteten.

7. In solch sterilisirtem Humusboden oder in Quarzsand mit Zusatz von Nährsalzen bilden sich jedoch Knöllchen dann, wenn man nach Hellriegel ein wenig Aufguss, oder nach Frank eine winzige Menge eines Kulturbodens oder selbst humusarmen Sandbodens (4 Gramm auf den Blumentopf), oder Theile zerriebener Knöllchen, oder nach Prazmowski Reinkulturen des Knöllcheninhalts beimengt.

Es bilden sich mehr Knöllchen bei Zusatz guter Garten- oder Ackererde, als bei einer Gabe von Moorboden oder Haideerde.

Wird diese sogenannte Infection oder Impfung mit Kulturboden, Knöllcheninhalt oder auch Aussaaten des letzteren schon bei dem Setzen des Samens gegehen, so erscheinen die Knöllchen schon oben an der Hauptwurzel; geschieht der Zusatz zum Boden erst nach dem Aufgehen der jungen Pflanzen, so bilden sich die Knöllchen erst an den jüngeren Wurzeln.

Eine solche Bodenimpfung oder Knöllchen-Aussaart hat nur auf Hülsenfrüchte den besprochenen Erfolg, keinerlei Wirkung aber auf Halmfrüchte und andere Pflanzen.

8. In Kulturböden und geimpften sterilisirten Versuchsböden kann man stets die Anfänge der Knöllchen schon entdecken, nachdem die ersten Blätter sich gebildet haben.

9. Die Knöllchen vergrössern sich bis zur Blüthe, werden fleischroth. Mit Beginn der Samenbildung jedoch, wenn nicht Hungerzustand der Pflanze dies beschleunigt, hört das Wachsthum auf; die Knöllchen unter Annahme gelbgrüner, später brauner Färbung werden weich, verlieren ihren Inhalt, so dass nur die hohle Korkhülle zurückbleibt, die nun oft den Wohnsitz für Insekten und Larven abgiebt.

\*

\*

\*

Mit der Knöllchenbildung im engsten Zusammenhang steht nun auch die ganze Entwicklung der Pflanze.

Bei all' den zahlreichen, von den verschiedensten Forschern angestellten Topfkulturen von Erbsen, Bohnen, Lupinen zeigte sich folgendes:

a. Bei Kultur in reinem Quarzsand mit Nährsalzen ohne salpetersaure Salze bekommen die Pflanzen gar keine Wurzelknöllchen, wachsen schlecht und dünn, bleiben klein und jämmerlich, blühen wohl, bringen aber keine Frucht, und der Stickstoffgehalt der ganzen Pflanze beträgt nicht mehr als der des ausgelegten Samens. Getreidearten gehen dabei ganz zu Grunde, verhungern.

b. In demselben reinen Quarzsand mit Nährsalzen und Zusatz von salpetersaurem Kalk oder

c. in sterilisirtem humusarmem Sandboden hatten die Pflanzen zwar auch keine Knöllchen, aber fanden Dank dem Salpetersäuregehalt der Bodenmischung genügend Nahrung; sie

wuchsen schnell, wurden grösser, blühten, brachten Früchte, aber ihr Wachsthum stand genau im Verhältniss zum Salpetersäurezusatz resp. dem Stickstoffgehalt des humusarmen Bodens. War dieser erschöpft, so hörte das Wachsthum der Leguminose auf und die chemische Untersuchung ergab nicht mehr oder nicht weniger Stickstoff in Pflanze und Boden zusammen, als vorher zugesetzt war.

Die Leguminosen können also unter sonst günstigen Ernährungsbedingungen auch ohne Wurzelknöllchen leben.

d. In Quarzsand mit mineralischen Nährsalzen ohne Salpetersäure, aber mit Zusatz weniger Gramme guter Ackererde (am wirksamsten für Erbse und Lupine zeigte sich Erde von den Lupine-Wiesen von Schultz-Lupitz) oder von Knöllcheninhalt oder Knöllchenaussaat erhielten die Pflanzen einen mehr oder weniger reichen Besatz von Wurzelknöllchen. Ausnützend den Stickstoffgehalt des Samens wachsen die Pflanzen gut bis zum vierten Blatt, beginnen dann aber laut Beobachtungen von Hellriegel und von Prazmowski zu kränkeln, durchlaufen einen Hungerzustand, der unter Gelbwerden der unteren Blätter 8 bis 14 Tage andauert. (Frank hat bei seinen Versuchen nicht solch' deutlich ausgeprägten Hungerzustand beobachtet.) Nach dieser Zeit jedoch beginnt fast plötzlich ein frisches Wachsthum, die Pflanzen holen bald die mit Salpetersäure ad b. gedüngten Pflanzen ein und überholen dieselben, ein kräftiges dunkelgrünes Blattwerk zur Schau tragend, Blüten und Früchte ansetzend.

Halmgewächse müssen auch hier elend verhungern.

Die äussere Untersuchung ergibt: die Knöllchen, die sich Anfangs gebildet, sind während des Hungerzustandes entleert; neue haben sich an den jungen Wurzeln gebildet.

Die Ueberwindung des Schwächezustandes und damit zusammenhängende Entleerung der Knöllchen ward besonders noch durch Prazmowski an Wasserkulturen inficirter Pflanzen nachgewiesen.

Die anschliessende chemische Untersuchung ergibt: neben gutem Erntegewicht, und gutem Körnerertrag einen grossen Stickstoffgehalt, der den der Aussaat und der Pflanze a. ohne Impfung um das 20fache, den der Pflanze b. mit Salpetersäuredüngung auch oft um ein ziemliches übertrifft, und enthält ausserdem der Boden auch noch Stickstoff, den derselbe vorher nicht enthielt.

e. Giebt man den Nährsalzen noch etwas salpetersauren Kalk hinzu, so hilft die fertige Nahrung, die die Pflanze im Boden findet, derselben vom 8- bis 14tägigen Hungerzustand ad d., sie wächst schnell, kräftig und bei gleichem Salpetersäuregehalt des Bodens wie im Falle b. bedeutend kräftiger. — Erntegewicht und Stickstofftrag sind bei Salpetersäuredüngung mit Impfung doppelt so gross als bei einfacher Salpetersäuredüngung des sterilisirten Bodens, und auch dieser enthält schliesslich mehr Stickstoff Dank der Impfung.

Zufällige Anwesenheit oder Zufuhr von Amöben und anderen Bakterien, Mikroben, als der der Knöllchen bildenden Lebewesen hatte keine Stickstoffvermehrung in Pflanze und Boden zur Folge, wie Prazmowski durch besondere Versuche nachwies.

Aus Obigem ersieht man, dass es möglich sein muss und möglich ist, durch Impfung, d. h. durch Zufuhr kleiner Mengen guter Ackererde (ca. 4 Kilocentner per Hektar) aus Moorboden kleefähigen Acker zu machen und mit Lupine und Akazie den magersten Sandboden und Kalkboden an Stickstoff zu bereichern, und ohne thierische Düngung, natürlich unter Zusatz passender mineralischer Dünger, auch zum Tragen anderer Früchte fähiger zu machen.

Vor allem haben in dieser Richtung, die Ergebnisse der Wissenschaft in's Praktische zu übertragen, die Herren Prof. Hellriegel-Bernburg, Prof. Fruwirth-Mödling, Dr. Salfeld-Lingen, B. Frank-Berlin sich verdient gemacht, indem sie Impfversuche im Grossen auf Beeten und im Felde machten.

Fruwirth erzielte durch Impfung mit Lupitzer Lupinenboden auf Kalkboden das sechsfache, auf Lehm das Doppelte an Lupinen. Dr. Salfeld-Lingen, der als Nachbar der grossen hannöverschen und friesischen Hochmoore das grösste Interesse an der Kultivirung derselben hat, hat seit 1888 Flächen auf Hochmoor, die erst im vorausgegangenen Herbst trockengelegt und theils mit, theils ohne Brennen, durch Umbrechen, Kalken, Gaben von Kainit und Thomasschlacke aufgeschlossen waren, Versuchen unterworfen: Es wurden Erbsen, Buschbohnen, Pferdebohnen, Wicken und Klee, letzterer unter Hafer, eingesäet, theils ohne Zusatz, theils nach vorausgegangenem Untermischen von holländischem Marschboden oder Seeschlick als Imperde. Auf den ungeimpften gebrannten Flächen verkümmerten Bohnen, Wicken, Klee zum Theil und wiesen grosse Fehlstellen auf,

während auf den geimpften Hochmoorflächen die Pflanzen dichter, üppiger sich entwickelten, dunklere Blätter zeigten. Die Ertragserhöhung betrug auf Neuland: 74 % Korn + 22 % Stroh an Erbsen und Pferdebohnen, auf länger kultivirtem Moor noch 18 % Korn +  $\frac{1}{2}$  % Stroh; Klee auf Neuland gab 36 % Mehrertrag. Auf einem Moor bei Bremen erhielt man sogar den dreifachen Ertrag durch Impfung.

Dem entsprechend zeigten die Wurzeln von den geimpften Flächen reichen Besatz, perlschnurartig gereiht oder traubenförmig, von Wurzelknöllchen, während die andern nur vereinzelt zeigten.

Frank-Berlin brachte auf magerem Sandboden bei Berlin, der bisher nur Kartoffeln und Roggen getragen hatte, bei Lupinen durch einfache Impfung mit Lupinenboden einen um 50—100 % höheren Ertrag hervor. Er stellte fest, dass auf dem ungeimpften Boden die meisten Pflanzen auch Knöllchen hatten und dem entsprechend grün waren und gut gediehen, dazwischen jedoch eine Menge Pflanzen ganz ohne Wurzelknöllchenbildung, dem entsprechend von gelblichem Aeusseren und kümmerlicher Ausbildung, ein Zeichen, wie nothwendig für das gleichmässige und gute Gedeihen der Hülsenfrüchte in ärmeren Böden auch die gleichmässige und grössere Verbreitung der Wurzelknöllchen und ihrer Ursachen ist.

\* \* \*

Lernen wir nun, nachdem wir die endgiltige Wirkung kennen gelernt haben, auch das Wesen und die Entstehung der Wurzelknöllchen kennen, an der Hand der Untersuchungen von Frank, Beyerinck und Prazmowski.

Die Wurzelknöllchen verdanken ihre Bildung einem Spaltpilz, durch Beyerinck und Prazmowski *Bacterium Radicicola*, durch Frank *Rhizobium Leguminosarum* genannt, der, wie alle Spaltpilze — stickstoffhaltig, in den Böden lebt, in denen Hülsenfrüchte wachsen; wahrscheinlich für alle Leguminosen identisch, allenfalls in Abarten zerfallend, — der sich auch, aus den Wurzelknöllchen entnommen, auf passenden Nährböden züchten lässt.

Dieser Spaltpilz, wahrscheinlich angezogen durch gewisse gasförmige Ausscheidungen der jungen Leguminosenwurzeln, nähert sich denselben in Schwärmen und sucht Eingang in die feinen Saugwurzeln. Dies geschieht bei verschiedenen

Leguminosenarten auf verschiedene Weise, die im Wesen der Wurzeln bedingt sein muss.

Bei der Lupine suchen die Bakterien eine Vertiefung zwischen den Epidermiszellen auf und dringen dort ein, bei anderen wie *Phaseolus vulgaris* scheinen bestimmte Erhöhungen der Wurzel dieselben anzulocken, und man findet ganze Schwärme wie in einer Gallerte angeheftet auf kleinen Buckeln der Wurzeln, alle senkrecht zur Wurzel gerichtet, wie auf dieselbe zustrebend und andererseits die Epidermiszellen pallisadenartig emporwachsend, gleichsam denselben entgegenstrebend. Bei der Erbse dringt der Bakterienschwarm nahe dem Ende der feinen durchscheinenden Wurzelhärchen in dieselben ein und ist hier am besten in seinem Fortschreiten zu beobachten.

Der Länge des Haares folgend dringen die Bakterien in dem Haar vor, einen silberglänzenden, stark lichtbrechenden Schlauch in demselben erzeugend, dessen äussere Natur noch nicht genügend erforscht ist. Wahrscheinlich vermehren sie sich schon auf diesem Wege durch Spaltung und hüllen sich in eine aus Zersetzungsproducten des Plasma und Zellsaftes des Haares gebildete Gallerte, die, schlauchförmig, an der Spitze von undeutlicher wolkenähnlicher Form, das Haar durchzieht. Dieser Schlauch durchsetzt nun die Wand der ersten Epidermiszelle, dann die gegenüberliegende der zweiten, jedesmal vorher und nachher anschwellend — vielleicht indem die Vermehrung augenblicklich stärker ist, als das durch die Zellwand verzögerte Längswachsthum. So durchsetzt der Schlauch, stellenweise auch zu Blasen anschwellend, die äusseren Rindenzellen, bis derselbe auf die mit Zellkorn und Plasma erfüllten inneren Rindenzellen, die Endodermiszellen trifft. Hier fängt der stark lichtglänzende Schlauch an, sich zu theilen und wo er auf Zellkorn und Plasma derselben trifft, umfängt er diese gleichsam. Diese Zellen, indem zugleich die betroffenen Zellkerne sich theilen, theilen sich und vermehren sich wiederholt durch Theilung, bleiben zwar kleiner, füllen sich aber mit einer grossen Menge Plasma. Die Vertheilung des Schlauches geht ungefähr radial nach allen Richtungen, bis zum Hauptfibrovasalstrang, und werden dadurch natürlich in den äusseren Rindenschichten immer mehr Zellen durch Theilung gebildet, so dass sich dadurch ein kugelförmiger Körper ausbildet, der ziemlich schnell durch lebhaftes Plasma-bildung und Zellentheilung sich vergrössernd, sich aussen mit einer festen Korkschicht umgiebt, andererseits durch Intercellular-



räume mit dem Hauptfibrovasalstrang der Wurzel in Verbindung tritt, der die Verbindung für die Nährflüssigkeiten der Pflanze vermittelt.

Das Plasma, durchsetzt von den im Schlauch enthaltenen Bakterien, erfüllt fast die ganze Zelle, wenig Saft Raum lassend, und wird in diesem Zustand — in dem durch Anwendung von Kalilauge und dadurch bewirkte Auflösung des Plasma selbst die dasselbe durchsetzenden Bakterien, rundlich oder in Stäbchenform und noch bewegungsfähig, nachweisbar sind — Mykoplasma genannt.

Sobald die Theilung der Zellen beendet ist, wird dies Mykoplasma zur sogenannten Bakteroidensubstanz; denn Kalilauge zeigt statt der bisher bewegungsfähigen Bakterien nur noch eine dichte glänzende netzartige Masse in einer weniger glänzenden Gallerte. Diese schwammige Masse zertheilt sich in eine grosse Menge Yförmiger sogenannter Bakteroiden, die zwar eine zitternde Bewegung, aber kein Ortsveränderungsvermögen besitzen, jedenfalls aber wie Plasma, Mykoplasma und die Bakterien selbst mit Jod die braune Reaktion auf Eiweiss zeigen.

Untermischt mit diesen Bakteroidenzellen sind Zellen reich mit Stärkekörnern erfüllt, die zur Nahrung zu dienen scheinen, denn man entdeckt auch darin Bakterien, die, wie man sagt, die Stärkekörner anzufressen scheinen.

Diese Bakteroidenzellen mit den darin enthaltenen Bakteroiden (bestehend aus je einem Schlauch mit 4 bis 5 Bakterien oder Schwärmsporen) bestehen, fleischroth gefärbt, bis zur Blüthezeit der normalen Pflanze. Dann zerfallen diese Zellen, indem der grösste Theil des Inhalts zur Ernährung des Samens aufgebraucht zu werden scheint, während nur einzelne Bakterien zurückbleiben, die dann aus den entleerten Zellen und Knöllchen in die Erde auswandern.

Findet man in guten Kulturböden oft sehr vergrösserte Knöllchen, so findet man in ärmeren Böden oft eine grössere Zahl, aber nicht so weit ausgebildete Knöllchen, denn bei früherem Stickstoffbedürfniss der Pflanze, Mangel an solchem, wird der Knöllcheninhalt, die Bakteroidensubstanz, früher aufgebraucht, wie Prazmowski in Wasserkulturen nachwies: die Knöllchen wurden grünlich und hohl; und in Wasser zerdrückt entlassen sie freigewordene Bakterien, die lustig umher schwärmen.

Der Inhalt dieser Knöllchen mit seinen von Plasma, Mykoplasma und Bakteroidensubstanz einerseits und Stärkemehl andererseits vollgestopften Zellen scheint demnach als Reservenernahrung zu dienen. Nebenher aber scheinen diese Bakterien, wie sie in den Wurzeln einen regen Stoffwechsel und dadurch Ansammlung von Nährstoffen hervorrufen, so auch in der ganzen Pflanze anregend zu wirken. Denn man findet diese Bakterien bei Erbsen, Lupinen in zwar geringer Zahl im Zellsaft und Plasma der Parenchymzellen bis hinauf in die letzten Internodien, die Blattknospen, ja bei den Bohnen sogar bis in die Früchte derselben.

Natürlich findet man sie nicht im Zellsaft der Pflanzen, die auf sterilisirtem Boden ohne Knöllchen aufwuchsen.

Jedenfalls ist diese Form von Bakterien, die Knöllchen-Mikroben: *Bacterium Radicicola* oder *Rhizobium Leguminosarum*, eine von allen anderen Bakterien verschiedene Form, da keine andere bei angestellten Versuchen Knöllchen hervorbrachte, noch die Stickstoff-Assimilation förderte.

Ob diese Bakterien nun wirklich fähig sind, den Stickstoffgehalt der Luft durch ihre Gegenwart allein der Pflanze zu assimiliren, darüber sind die Forscher noch nicht einig, liegt doch hierfür noch nicht genügendes Versuchsmaterial vor.

Denn Versuche der Reinzüchtung solcher Bakterien auf passenden Nährböden oder in Nährflüssigkeiten, angestellt durch Prazmowski und durch Frank, ergaben folgendes: die Aussaaten von Knöllchenbakterien, d. h. von Theilen des Knöllchen-Inhalts gedeihen nicht in verdünnter Fleischbrühe, Jauche, Gelatine. — Aber vortheilhaft gezüchtet in Tropfenkulturen, die Verunreinigungen ausschliessen und ständige Beobachtungen unter dem Mikroskop gestatten, gedeihen sie am besten in Lösungen von Zucker mit Asparagin und Salzen, sowie in Erbsenblätteraufguss, der ja auch Asparagin enthält, hierin binnen 8 Tagen starke Ausscheidungen junger Bakterienkolonien bildend.

Sie gedeihen weniger gut in reinem Asparagin, indem sie hierin vollkommen deutliche Absonderung erst in 3 Wochen bilden. Am schwächsten gedeihen sie, aber erst binnen 6 Wochen, in reiner Zuckerlösung mit Zusatz von Salzen.

Unter Benutzung von Kontrollversuchen mit reiner Zuckerlösung ward nun bei jenem letzten Versuch durch Prazmowski nachgewiesen, dass durch die Kultur der Knöllchenbakterien in Zuckerlösung Stickstoff aus der Luft assimilirt worden war.

Daraus erhellt: die Knöllchenbakterien haben wahrscheinlich, wenn auch langsam wirkend, die Fähigkeit, selbst Stickstoff zu assimiliren; leichter jedenfalls ist ihre Ernährung und Vermehrung aus dem in allen Pflanzen in Blättern, Stengeln und selbst in den Wurzeln, als einfachste Verbindung resp. als Urform der Stickstoffverbindungen enthaltenen Asparagin, und zwar in Gegenwart von Kohlehydraten wie Zucker, Stärkemehl.

Wahrscheinlich ist die Stickstoffassimilation durch die Knöllchenbakterien direkt aus der Luft, wenn sie überhaupt durch fortgesetzte Versuche sich bewahrheiten sollte, eine so geringe, dass aus ihr allein die grosse Ansammlung von Stickstoff in gebundener Form in den Pflanzen sich nicht erklären liesse. Vielleicht nur unterstützt sie diese in den unterirdischen Organen: in den Wurzeln im Dunkel der Erde, wo das Sonnenlicht fehlt. Jedenfalls brauchen die Knöllchen zu ihrer Entwicklung der Besonnung der oberirdischen Organe, da sie an im Dunkelschrank gehaltenen Pflanzen sich nicht ausbilden.

Das Wahrscheinlichste ist heute auf Grund vieler durch Frank angestellten Versuche, dass die Knöllchenbakterie, indem sie irgendwie anregend auf den Stoffwechsel und die vermehrte Bildung von Plasma und Chlorophyll wirkt und Reservenernahrung aufspeichert, die Pflanzen kräftiger, üppiger wachsen macht, und diese stärker ausgebildeten Pflanzen selbst in ihren kräftigen, üppigen und zahlreichen Blättern mehr Stickstoff und Kohlensäure assimiliren.

Die Blätter von Hülsenfrüchten mit Wurzelknöllchen, also durchsetzt von Knöllchenbakterien, sind viel zahlreicher, grösser und dunkler grün, da sie viel mehr Chlorophyll enthalten als solche, die nicht geimpft, zwar auf salpetersaurem Kalk wuchsen, oder gar als solche, die ohne Impfung und ohne Düngung wuchsen und ein mehr gelbliches Aussehen hatten.

Es enthielt 1 Quadratmeter Blattfläche an Chlorophyll:

von ungeimpften Erbsen ohne Salpetersäure-Düngung	0,188 gr.
» » » mit » »	0,247 »
» geimpften » ohne » »	0,600 »

also das Dreifache der ungeimpften Pflanzen.

Entsprechend dem grösseren Chlorophyllgehalt ist auch der Gehalt an Stärkemehlkörnern in solchen grünen Blättern grösser.

Frank kam nun auf den Gedanken, dass ebenso wie nach Sachsse das Chlorophyll der Blätter unter dem Einflusse des Sonnenlichtes am Tage Kohlensäure aufnimmt und diese in

Stärkemehl umwandelt, so dass am Abend jedes sonnenhellen Tages die Zahl der Stärkekörner grösser ist als am Morgen, so auch eine Aufnahme von Stickstoff durch dieselben möglich sei; und bestärkten ihn in diesem Schlusse folgende Beobachtungen:

- a) Hülsenfrüchte, ausgesät in einen in feuchtem Zustande sterilisirten humusreichen Boden, in dem durch den Einfluss der heissen Dämpfe eine Menge organischer Stoffe in eine löslichere Form umgewandelt sein musste, gediehen auch ohne Knöllchen sehr gut und bereicherten diesen schon an sich stickstoffhaltigen Boden noch mit Stickstoff.
- b) Auch Hafer und Sommerraps bereicherten Humusboden an Stickstoff.
- c) Algen, ausgesät in reinen Sandkulturen und in gut verschlossenen Kolben, nur genährt mit mineralischen Nährsalzen und öfterer Zufuhr chemisch reiner Kohlensäure und gereinigter, ammoniakfreier Luft, gediehen sehr gut und reicherten den Sandboden im Laufe mehrerer Monate merklich mit Stickstoff an, wobei die Algenvegetation sich durch lebhaft grüne Farbe auszeichnete.
- d) Ausgewachsene Blätter von Hülsenfrüchten, wie Trifolium, Medicago, Lathyrus, Lupinus, aber auch von anderen Pflanzengattungen, wie Brassica, Cannabis, wurden am Abend sonnenheller Tage gesammelt und sofort in Untersuchung genommen, auf ihren Gehalt an Asparagin und Stickstoff; von denselben Pflanzen möglichst den ersten gleichförmige Blätter am anderen Morgen gleicherweise gesammelt und untersucht, zeigten bedeutende Unterschiede im Asparagingehalt und Gesamtstickstoff, der bei den tagsüber besonnten Blättern bedeutend grösser war, als nach dem Einflusse der dunklen Nacht.
- e) Aber nicht nur mit der Pflanze in organischer Verbindung stehende Blätter zeigten am Abend sonnenheller Tage grösseren Stickstoffgehalt und besonders grösseren Asparagingehalt als am Morgen vorher, sondern auch abgeschnittene Blätter, von denen ein Theil sofort untersucht ward, flach auf Wasser gelegt, so dass die Stiele eintauchten, um den Feuchtigkeitsgehalt ungefähr auf derselben Stufe zu erhalten und den Tag

über der Wirkung des Sonnenlichtes ausgesetzt, enthielten am Abend mehr Stickstoff als am Morgen.

Es musste also dies Mehr an Stickstoffverbindungen unter dem Einfluss des Sonnenlichtes in den Blättern selbst erzeugt sein.

Die Werkstatt also für die Stickstoffaufnahme, die Stickstoffbindung zu Asparagin, den Stoff, aus dem sich das Eiweiss aufbaut, scheinen demnach die Blätter, speziell das Blattgrün in denselben zu sein.

Weitere Bemühungen der emsigen Forscher werden nicht verfehlen, weitere Aufschlüsse zu geben.

Nach allem bisher Mitgetheilten ist nun zwar die Beförderung der Wurzel-Knöllchenbildung auf guten Böden nicht in der Lage, eine Produktionssteigerung einzuleiten. Aber jedenfalls ist dieselbe für Moorböden und arme Sandböden, die durch Lupinen und Robinienanbau angereichert werden können, ein Segen; und es giebt manch tausend und abertausend Morgen, auf denen selbst Lupinen nicht gedeihen und auf denen mit Impfung sich nachhelfen liesse.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Helios - Abhandlungen und Mitteilungen aus dem Gesamtgebiete der Naturwissenschaften](#)

Jahr/Year: 1891

Band/Volume: [9](#)

Autor(en)/Author(s): Koch Paul

Artikel/Article: [Die Wurzelknöllchen der Hülsenfrüchte und deren Beziehungen zur Stickstoffassimilation der Pflanzen. 1042-1054](#)