

Die Wurzelknöllchen der Sojabohne.

Von Prof. Dr. O. Kirchner.

Mit Tafel I.

Seit mehreren Jahren machte ich gelegentlich die wiederholte Beobachtung, dass im Hohenheimer botanischen Garten die Wurzeln der Sojabohne, von der einige Sorten schon seit zehn Jahren daselbst an verschiedenen Stellen angebaut werden, niemals Knöllchen besaßen, obgleich in ihrer Nachbarschaft etwa hundert verschiedene Arten von Papilionaceen, welche sämmtlich die normalen Wurzelknöllchen aufweisen, gezogen werden, und man also voraussetzen musste, dass diejenigen Organismen, welche die Bildung der Knöllchen an den Papilionaceen im Allgemeinen hervorrufen, im Boden des Gartens allgemein verbreitet seien. In der mir zu Gebote stehenden Literatur fand ich keine Angabe über das Vorhandensein von Wurzelknöllchen an *Soja hispida*; das Fehlen dieser Knöllchen wird vielmehr von Morek¹⁾ für die von ihm untersuchten Pflanzen ausdrücklich angegeben. Frank hat nur die an der Pflanze vorkommenden, durch *Heterodera radicolola* hervorgerufenen Wurzelgallen beobachtet²⁾. Prof. Tschirch dagegen schrieb mir, dass er Wurzelknöllchen von *Soja*, welche er aus Aegypten erhalten, untersucht, aber nichts darüber veröffentlicht habe.

Da man auf Grund der zahlreichen neueren Untersuchungen über die Wurzelknöllchen der Papilionaceen immer mehr die Ansicht bestätigt fand, dass jene Organe bei keiner Art der genannten Familie fehlen, wenn auch bisweilen einzelne Individuen sie nicht besitzen³⁾, so vermuthete ich, dass die von mir beobachtete Abwesenheit der Knöllchen bei *Soja* im hiesigen botanischen Garten vielleicht mit einer nicht ganz normalen Entwicklung der Pflanzen ausserhalb ihrer ursprünglichen Heimath und in ungünstigeren klimatischen Verhältnissen zusammenhänge, und wendete mich im Herbst 1891 an Herrn Hofrath Prof. Dr. O. Kellner, damals Professor der Agricultur-

1) D. Morek: Ueber die Formen der Bakteroiden bei den einzelnen Species der Leguminosen. Inaug.-Diss. Leipzig 1891. S. 30.

2) Sitzungsber. des Bot. Vereins der Provinz Brandenburg. 30. September 1881.

3) Vgl. u. a. Brunchorst: Ueber die Knöllchen an den Leguminosenvurzeln. Berichte der Deutschen bot. Gesellschaft. Bd. 3, 1885, S. 251. — Tschirch: Beiträge zur Kenntniss der Wurzelknöllchen der Leguminosen. Daselbst, Bd. 5. 1887, S. 59.

chemie an der Universität in Tokio, mit der Bitte, Erkundigungen über das Vorkommen jener Knöllchen in Japan einzuziehen. Derselbe kam meinem Wunsch auf's bereitwilligste nach und übersandte mir im Sommer 1892 eine getrocknete, mit Knöllchen besetzte Wurzel einer noch jungen, am 30. Juni aus dem Boden genommenen *Soja*-Pflanze; also auch diese Art macht von der allgemeinen Regel, dass die Papilionaceen die Fähigkeit zur Bildung von Wurzelknöllchen besitzen, keine Ausnahme, und es handelte sich nun für mich darum, festzustellen, aus welchem Grunde sich diese Fähigkeit hier nicht geltend machte, und zu untersuchen, ob sie sich nicht von neuem hervorrufen lasse.

Inzwischen waren die höchst sorgfältigen Untersuchungen von Nobbe etc.¹⁾ veröffentlicht worden, aus denen hervorgeht, dass z. B. die in den Knöllchen der Erbse lebenden Bacterien nicht im Stande sind, die Knöllchenbildung an den Wurzeln der Robinie zu veranlassen, und umgekehrt, dass also „die Erbsen- und Robinienbacterien in ihrer physiologischen Wirkung Unterschiede zeigen, die nur durch die Annahme, dass dieselben, wenn nicht verschiedene Arten oder Varietäten, so doch mindestens Rassen- oder Ernährungsmodifikationen repräsentiren, erklärt werden können“²⁾. Zu einer ähnlichen Anschauung neigte schon früher Beyerinck³⁾, indem er auf Grund morphologischer und biologischer Verschiedenheiten eine Anzahl von Gruppen und Typen seines *Bacillus radicum* aufstellte, die er zwar nicht als gesonderte Arten angesehen wissen will, innerhalb deren er aber dennoch einige Varietäten aufstellt. In einer späteren Veröffentlichung unterscheidet jedoch derselbe Autor mehrere Arten von Knöllchenbacterien, indem er sagt⁴⁾: „Der Unterschied zwischen den verschiedenen Papilionaceenbacterien ist grösser, als ich das früher annahm. So gehört *Bacillus Ornithopi* (sic!) augenscheinlich zu einer anderen Art wie *Bacillus Fabae*. Denn *Vicia Faba*, inficirt mit einer in 1889 isolirten Cultur von *Bacillus Ornithopi*, erzeugte durchaus keine Knöllchen. Daraus erklärt sich zu gleicher Zeit, warum die Serradella, deren Knöllchen den nämlichen Bacillus wie *Ornithopus perpusillus* enthalten, in unseren Gärten⁵⁾ völlig frei bleibt von Knöllchen, selbst wenn sie in der Mitte zwischen *Vicia*-Arten wächst, welche damit reich beladen sind.“ Diese Anschauungen, auf meine vorläufigen Erfahrungen mit der Sojabohne angewendet, führten mich zu der

1) Nobbe, Schmid, Hiltner und Hotter: Versuche über die Stickstoff-Assimilation der Leguminosen. — Die landwirthschaftl. Versuchs-Stationen. Bd. 39, 1891, S. 327—359.

2) A. a. O., S. 348.

3) M. W. Beyerinck: Die Bacterien der Papilionaceen-Knöllchen. — Botan. Zeitung, 46. Jahrgang, 1888, S. 725. ff.

4) Ders.: Künstliche Infection von *Vicia Faba* mit *Bacillus radicum*. — Botan. Zeitung, 48. Jahrgang, 1890, S. 843.

5) D. h. bei Delft; sonst, wie z. B. auch in Hohenheim, bildet die Serradella Wurzelknöllchen.

weiteren Vermuthung, dass die Bildung ihrer Wurzelknöllchen im hiesigen botanischen Garten wohl deshalb bisher unterblieben sei, weil die dazu anregende Bacterienform, sei es nun eine besondere Species oder eine an *Soja* angepasste Rasse, in der hiesigen Gegend nicht vorkomme, ja vielleicht in Europa überhaupt nicht einheimisch sei.

Hervorbringung der Wurzelknöllchen durch Bodenimpfung. Ich benützte also das aus Japan stammende Material, um einen Infectionsversuch an *Soja*-Pflanzen zu machen, die in Töpfe ausgesät waren. Derselbe verlief jedoch resultatlos, ohne Zweifel weil die in den ausgetrockneten Knöllchen enthaltenen Bacterien ihre Lebensfähigkeit eingebüsst hatten. Deshalb richtete ich an Prof. Kellner auf's neue die Bitte, mir japanische Sojabohnen-Erde zu weiteren Impfversuchen zu verschaffen, und erhielt darauf hin im Frühjahr 1893 eine Quantität japanischen Bodens, in welchem im Vorjahre Sojabohnen gewachsen waren, wohlverwahrt in einer zugelötheten Blechbüchse, zugeschickt. Es war eine schwarze, ungemein leichte, vulkanische Asche, in welcher sich noch Reste von Sojawurzeln mit Knöllchen erkennen liessen, und die auch nicht stark ausgetrocknet war. Sie wurde dazu verwendet, um Infectionsversuche einerseits an Topfpflanzen, andererseits im freien Lande zu machen.

A. Versuche mit Topfpflanzen.

Für die ersten Versuche wurden zehn grosse Blumentöpfe mit verschiedenen Bodenarten — vier mit einer guten Gartenerde, sechs mit einem unfruchtbaren, schweren Lehmboden — angefüllt, und mit zwei Sorten von Sojabohnen besät, einer früh reifenden gelben, welche ich im Vorjahre unter dem Namen *Kaiba-mame* (Futter-Bohne) aus Japan erhalten hatte, und einer später reifenden gelben, die schon seit längerer Zeit im hiesigen botanischen Garten angebaut wird. Es ergaben sich also zwei Versuchsreihen.

I. Versuche mit Futter-Sojabohne.

Topf 1 und 2 erhielten Gartenboden und wurden am 14. April mit Samen besäet; Topf 3 und 4, ebenfalls mit Gartenboden gefüllt, wurden am 20. April besät; Topf 5—7 wurden mit unfruchtbarem Lehmboden gefüllt und am 20. April besät. Alle Töpfe wurden, um die Keimung der Samen zu befördern, bis zum 27. April in ein Warmhaus gestellt, an diesem Tage kamen sie in ein Frühbeet, und es wurde die Bodenimpfung in der Weise vorgenommen, dass in den Töpfen No. 2, 3, 4, 6 und 7 eine kleine Menge der japanischen Impferde auf die Oberfläche des Bodens neben den jungen Pflanzen ausgestreut wurde. Die Töpfe No. 1 und 5 blieben zur Controle ungeimpft. Während der Dauer des Versuches standen alle Töpfe neben einander und wurden ganz gleichmässig behandelt; als die Pflanzen herangewachsen waren, liess sich erkennen, dass die in den (ungeimpften) Töpfen No. 1 und 5 stehenden sich durch kleinere Blattflächen und eine mehr

gelblich-grüne Färbung von den übrigen unterschieden. Am 13. Juni wurde an herausgenommenen Exemplaren festgestellt, dass in den geimpften Töpfen Wurzelknöllchen gebildet worden waren, und am 7. September waren die Pflanzen völlig ausgereift, sodass die Ernte vorgenommen werden konnte. Die Untersuchung der geernteten Pflanzen ergab, dass von den im ganzen 23 Sojabohnen, welche in den ungeimpften Töpfen No. 1 und 5 gewachsen waren, keine einzige ein Wurzelknöllchen gebildet hatte. Dagegen besaßen von den 20 Pflanzen, die in geimpftem, gutem Gartenboden gewachsen waren (Topf No. 2, 3, 4), 12 (= 60 %) Knöllchen an ihren Wurzeln, und zwar 3 nur wenige, 4 mässig viele, 4 ziemlich viele, und 1 zahlreiche. Die in geimpftem, unfruchtbarem Boden gewachsenen 18 Pflanzen (Topf No. 6 und 7) hatten sämtlich Knöllchen gebildet, und zwar 5 wenige, 2 mässig viele, 6 viele, 5 sehr zahlreiche.

II. Versuche mit gelber Sojabohne.

Drei mit unfruchtbarem Leimboden gefüllte Töpfe wurden am 20. April mit Samen besiecht und mit denen der Abtheilung I bis zum 27. April im Warmhause gehalten; alsdann wurde der Boden der Töpfe No. 8 und 9 mit japanischer Erde geimpft, der Topf No. 10 ungeimpft gelassen. Diese Töpfe wurden ebenso wie die der vorigen Abtheilung, neben denen sie aufgestellt waren, behandelt. Im Aussehen und in der Entwicklung der Pflanzen trat hier kein deutlicher Unterschied zwischen den geimpften und den ungeimpften Töpfen hervor. Als am 13. October die Ernte vorgenommen wurde, hatten sämtliche 11 Pflanzen der beiden geimpften Töpfe reichliche und grosse Wurzelknöllchen, die 4 in dem nicht geimpften Topfe entwickelten kein einziges ausgebildet.

B. Versuche im freien Lande.

Die von den vorstehend beschriebenen Versuchen übrig gebliebene japanische Impferde wurde zu einem Anbau-Versuch im botanischen Garten verwendet. Es wurde dazu eine Fläche von 6 m Breite und 4,60 m Länge, also 27,60 qm Inhalt benützt, welche im Vorjahre Sommerroggen getragen hatte, zu dem eine reichliche Düngung von Stallmist gegeben worden war, so dass sich der Boden (schwerer Leimboden) bei Beginn des Versuches noch in einem guten Düngungszustande befand. Die Sojabohnen (späte Hohenheimer gelbe) wurden in 10 Reihen von je 60 cm Abstand am 27. April ausgelegt; in 2 von diesen Reihen, welche mitten in der Versuchsfläche lagen, wurde beim Auslegen der Samen in unmittelbare Nähe derselben etwas von der japanischen Impferde ausgestreut. Es gingen in jeder Reihe ungefähr 20 Pflanzen auf; diejenigen, welche in den geimpften Reihen standen, liessen während ihrer ganzen Entwicklung keinen deutlichen Unterschied gegen die übrigen erkennen. Nachdem schon im Juni Wurzelknöllchen in diesen Reihen constatirt waren, erfolgte die Ernte sämtlicher Pflanzen

des Stückes am 13. October, obwohl sie sich ungleich entwickelt hatten, und manche völlig ausgereift, andere noch grün waren.

An den Pflanzen der 8 nicht geimpften Reihen fand sich keine Spur eines Wurzelknöllchens vor; dagegen hatten von den 39 Pflanzen, welche in den zwei geimpften Reihen standen, 35 an ihren Wurzeln reichliche und zum Theil sehr grosse und schöne Knöllchen gebildet. Die vier Pflanzen dieser Abtheilung, welche knöllchenlos waren, standen neben einander am Ende der einen Reihe: es stellte sich heraus, dass die japanische Impferde für die zwei Reihen nicht ganz ausgereicht hatte, und diese vier Pflanzen von derselben nichts mehr erhalten hatten.

Aus diesen Versuchen geht mit Sicherheit hervor, dass die Production von Wurzelknöllchen an den Versuchspflanzen durch die Aufbringung der japanischen Impferde hervorgerufen worden ist, dass sich also in dieser Erde die zur Einwanderung in die Sojawurzeln geeigneten Knöllchenbakterien in lebensfähigem Zustande befunden haben müssen. Andererseits ist ersichtlich, dass die im Boden des hiesigen botanischen Gartens vorhandenen Knöllchenbakterien, in welchem seit langer Zeit zahlreiche Arten von Papilionaceen der verschiedensten Abtheilungen dieser Familie wild wachsend und cultivirt sich entwickeln und Knöllchen bilden, nicht im Stande sind, diese Organe an den Wurzeln der Sojabohne zu erzeugen. Da die Soja-Bakterien wahrscheinlich in allen europäischen Ackerböden fehlen, so dürften sich diese Papilionaceen zur Anstellung von vergleichenden Vegetationsversuchen über den Einfluss der Knöllchen auf die Entwicklung der Pflanzen besonders gut eignen, da es genügen wird, diejenigen Pflanzen, welche knöllchenlos sich entwickeln sollen, in gewöhnlichem, die japanischen Bakterien nicht enthaltendem Boden zu erziehen, und also das umständliche Sterilisiren und die sorgfältige Verhütung einer Infection des Bodens wegfallen kann.

Durch die angeführten Versuchsergebnisse erhält die von Beyerinck und Nobbe aufgestellte Ansicht, wonach spezifische Bakterienarten oder wenigstens biologisch verschiedene Rassen die Knöllchenbildung bei den einzelnen Gattungen und Tribus der Papilionaceen hervorrufen, eine neue Bestätigung. Um diesen Sachverhalt prägnant auszudrücken, halte ich es für das richtige, mit Beyerinck diejenigen Knöllchenbakterien, welche sich bezüglich der Hervorbringung von Knöllchen gegenseitig nicht vertreten können, für biologisch gesonderte Species anzusehen, selbst wenn sie sich durch auffälligere morphologische und Wachstums-Merkmale nicht von einander unterscheiden lassen. Auch diejenigen Bakterien, welche die Knöllchenbildung bei der Sojabohne veranlassen, sehe ich demgemäss für eine von unsern einheimischen Knöllchenbakterien verschiedene Art an.

Die besprochenen Freiland-Versuche liefern ferner eine schöne Bestätigung der Beobachtungen von Nobbe etc.¹⁾ über die geringe spontane

¹⁾ A. a. O., S. 355. — Die selb.: Ueber die Verbreitungsfähigkeit der Leguminosen-Bakterien im Boden. Die landwirthschaftl. Versuchs-Stationen. Bd. 41, 1892, S. 137.

Verbreitungsfähigkeit der Knöllchenbakterien im Boden: war doch selbst an den 60 cm von den geimpften Reihen seitlich entfernten Pflanzen kein Knöllchen gebildet worden, obgleich die Wurzeln der benachbarten Pflanzen vielfach dureinander wuchsen, und auch in den zwei geimpften Reihen hatten diejenigen vier Pflanzen, die als Keimlinge nicht mit direct aufgestreuter Impferde in Berührung gekommen waren, keine Knöllchen producirt.

Wenn endlich an der ersten mit Topfpflanzen ausgeführten Versuchsreihe die Beobachtung gemacht wurde, dass in unfruchtbarem Lehm Boden die Knöllchenbildung sicherer und reichlicher erfolgte, als in gutem Gartenboden, so steht dies mit zahlreichen Angaben früherer Beobachter im Einklang, wonach Knöllchenbildung und Assimilation von freiem Stickstoff durch die Hülsenfrüchte viel energischer und reichlicher im stickstoffarmem Boden stattfindet, als in stickstoffreichem.

Gestalt und Bau der Wurzelknöllchen. An denjenigen *Soja*-Pflanzen, welche Wurzelknöllchen gebildet hatten, befanden sich die letzteren theils an der Hauptwurzel, zum grösseren Theil aber an Seitenwurzeln erster und zweiter Ordnung, bald nahe an der Bodenoberfläche, bald in tieferen Bodenschichten. (Vgl. Taf. I, Fig. 1.) Die Anzahl der an einem Wurzelsystem vorhandenen Knöllchen war verschieden, indessen im Verhältniss zu manchen anderen Papilionaceen¹⁾ nie besonders gross; sie schwankte von 1 bis gegen 40. Dafür erreichen die Knöllchen eine sehr beträchtliche Grösse. Sie sitzen meist einzeln an den Wurzeln und haben dann eine fast kugelige, am Grunde und am Scheitel etwas abgeplattete Gestalt; wenn sie zu zwei bis mehreren dicht neben einander vorkommen, so flachen sie sich an den Berührungstellen etwas ab und bekommen dadurch oft ein unregelmässig-eckiges Aussehen. Ihre durchschnittliche Breite betrug 6,19 mm bei 4,83 mm durchschnittlicher Höhe; das kleinste gemessene Knöllchen war 1,8 mm breit und 1,7 mm hoch, die beiden grössten 9,6 mm breit, 7,1 mm hoch und 10,3 mm breit, 5,6 mm hoch. Die Ansatzstelle der Knöllchen an den Wurzeln ist so dünn, dass sie beim Herausnehmen der Pflanzen aus dem Boden leicht abreißen. An ihrer Oberfläche zeigen die Knöllchen eine starke, ziemlich regelmässig in der Richtung des Meridians verlaufende Runzelung, welche an frisch aus dem Boden genommenen Exemplaren durch die weissliche Farbe der Runzeln, die von der hellbraunen der dazwischen liegenden glatten Partien deutlich absticht, sehr in die Augen fällt. Der Quere oder der Länge nach durchgeschnitten, lassen die Knöllchen in ihrem Innern ein umfangreiches Bacteriengewebe von speckiger Consistenz erkennen, welches einen welligen Umriss und eine schmutzig fleischrothe, später, wenn die Erschöpfung desselben beginnt, mehr grünliche Färbung zeigt, und häufig durch hellfarbiges, streifenartig sich hindurchziehendes Gewebe in gehirnartig gelappte Partien zerfällt. Nach aussen ist das Bacteriengewebe von einer Rindenschicht, an

1) Nobbe etc.: Versuche über die Stickstoff-Assimilation, S. 335, geben z. B. das Vorhandensein von 4572 Knöllchen an einer Erbsenwurzel an.

deren innerer Grenze die Gefässbündel eingelagert sind, umgeben, und um diese zieht sich das die Knöllchen an ihrer Oberfläche abschliessende Korkgewebe. Im einzelnen zeigt der anatomische Bau dieser Gewebe gegenüber demjenigen anderer Papilionaceenknöllchen, wie er für zahlreiche Arten schon von verschiedenen Autoren beschrieben und abgebildet worden ist¹⁾, nur die Besonderheit, dass im Rindengewebe eine vielfach unterbrochene, einschichtige Lage von grossen Sklerenchymzellen mit ziemlich stark verdickter, getüpfelter Wandung eingelagert ist, welche die Festigkeit der Knöllchenhülle erhöht, und auch an erschöpften oder bereits entleerten Knöllchen als eine feste Schale zu erkennen ist. In der Flächenansicht stellen sich diese Sklerenchymester als mehrzellige, plattenartige Complexe von unregelmässigem Umriss dar, welche durch weniger umfangreiche Lagen dünnwandiger Zellen von einander getrennt sind, sodass zwischen ihnen hindurch eine ungehinderte Communication zwischen den äusseren und den inneren Geweben des Knöllchens stattfinden kann. Der Durchmesser der einzelnen Sklerenchymzellen beträgt 50—150 μ , ihre Wanddicke 6 μ ; auf dem Querschnitt liegen sie in unregelmässig-einschichtigen Gruppen meist zu 2—5 neben einander, auf dem Längsschnitt zeigt die von ihnen gebildete Schicht etwas weniger grosse und weniger zahlreiche Unterbrechungen durch dünnwandiges Gewebe. Von der Korkschale ist diese Sklerenchymschicht gewöhnlich durch 2 bis 3 Lagen parenchymatischer Zellen getrennt, deren äusserste sich zum Phellogen ausgebildet hat. Die hell aussehenden Runzeln in der Korkschale rühren von dem Auseinanderreissen des Korkgewebes an diesen Stellen her, welches sonst aus seitlich aneinander schliessenden Korkzellen besteht. Auf der Innenseite der Sklerenchymschicht liegen tangential gestreckte, nach innen allmählich an Grösse abnehmende Zellen, welche direct an das Bacteriengewebe angrenzen und die Gefässbündel zwischen sich so einschliessen, dass diese von dem Bacteriengewebe noch durch einige Parenchym-schichten getrennt sind. Von diesem Rindenparenchym aus erstrecken sich Stränge von schmalen, Stärkeköerner führenden Zellen zwischen das aus grossen, rundlichen, dünnwandigen Zellen bestehende Bacteriengewebe hinein, bei genügender Breite dessen oben erwähnte gehirnartige Zerklüftung hervorbringend. Ein Meristem ist in den Knöllchen nicht vorhanden, auch die bei zahlreichen anderen Papilionaceenknöllchen beobachteten Bacterienschläuche konnte ich nicht auffinden. Dem anatomischen Bau nach schliessen sich die Knöllchen der Sojabohne zunächst an die ebenfalls einjährigen von *Phaseolus* an.

Die Knöllchenbakterien. Die Zellen des Bacteriengewebes sind zum grössten Theil dicht mit Bakterien vollgestopft; die letzteren haben eine stäbchenförmige Gestalt, sind meist leicht gebogen, ihre Länge beträgt 3,2—3,6 μ , ihre Dicke 0,8 μ ; Y-förmig verzweigte Involutionenformen kommen

¹⁾ Vgl. ausser den oben angeführten Arbeiten von Brunchorst, Tschirch und Beyerinck auch A. Prazmowski: Die Wurzelknöllchen der Erbse. I. — Die landwirthschaftl. Versuchs-Stationen. Bd. 37, 1890, S. 161—238.

nur selten vor. Die Bacterien ¹⁾ nehmen Farbstoffe, wie Eosin, Fuchsin und Gentianaviolett, leicht auf und zeigen dann in ihrem Inhalt einige Körnchen von dunkler Färbung. Auf Nährgelatine liessen sie sich durch directe Uebertragung aus dem Knöllchengewebe züchten. Zu diesem Zwecke wurde eine wässrige Abkochung von 100 g frischem Sojakraut auf 500 *ccm* aufgefüllt, derselben 0,25 % Asparagin, 0,5 % Rohrzucker und 7 % Gelatine zugesetzt, und die ganze Flüssigkeit bis zur schwach sauren Reaction neutralisirt. Sowohl in Strichculturen, wie in Plattenculturen trat eine Vermehrung der Bacterien ein, und zwar bei ersteren schneller, sodass die Colonien nach 10 Tagen als paraffinähnliche Tropfen sichtbar waren. (Vgl. Taf. I, Fig. 2.) Auf den Plattenculturen waren nach 15 Tagen zahlreiche, aber sehr kleine, für das blosse Auge unsichtbare Colonien gebildet, und erst nach 21 Tagen waren die grössten so weit herangewachsen, dass man sie mit freiem Auge eben noch erkennen konnte. Das Aussehen der Colonien stimmt mit der Beschreibung überein, welche Beyerinck und Prażmowski für ihre Culturen geben; die Bacterien haben dieselbe Gestalt, wie im Knöllchengewebe, bewegliche Zustände wurden nicht aufgefunden. Wenn man diese Bacterien in eine der von Beyerinck aufgestellten Gruppen ²⁾ einordnen will, so müsste man sie zu der zweiten rechnen, und hier würden sie sich am nächsten an den *Phaseolus*-Typus anschliessen. Wie schon oben bemerkt, halte ich es bei der biologischen Eigenthümlichkeit, dass die Sojabacterien durch andere, welche bei den europäischen Papilionaceen-Arten Wurzelknöllchen hervorrufen, nicht vertreten werden können, für gerechtfertigt, sie von den letzteren als eine gesonderte Art zu unterscheiden. Ob es richtiger ist, die Knöllchenbacterien, wie es Beyerinck gethan hat, in die Gattung *Bacillus* (Cohn) zu stellen, oder sie, wie Prażmowski ³⁾ will, zu *Bacterium* (Ehrbg.) zu rechnen, ist schwer zu entscheiden, da die deutlich stäbchenförmige Gestalt der Zellen mehr für ersteres, der Mangel an Sporen dagegen für das letztere Verfahren spricht. Es scheinen diese Knöllchenbacterien allerdings, wie die bisherigen Culturversuche zeigen, Sporen überhaupt nicht zu bilden, und damit fehlt ihnen ein charakteristisches biologisches Merkmal der Gattung *Bacillus*, sodass man sie wohl vorläufig besser in der Gattung *Bacterium* unterbringen wird. Noch zweckmässiger aber dürfte es sein, die Bacterien der Papilionaceen-Knöllchen in Anbetracht der wichtigen biologischen Eigenthümlichkeiten, welche sie aufweisen, zu einer besonderen Gruppe oder, wie es Frank ⁴⁾ vorgeschlagen hat, zu einer

¹⁾ Bei der Untersuchung und Züchtung der Bacterien hatte ich mich des Rathes und der Unterstützung des Herrn Dr. F. Lafar, Assistenten am hiesigen gährungsphysiologischen Institut und Privatdocenten an der technischen Hochschule in Stuttgart, zu erfreuen, und spreche demselben hierfür auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aus.

²⁾ Die Bacterien der Papilionaceen-Knöllchen, S. 768. ³⁾ A. a. O., S. 203.

⁴⁾ Ueber die Pilzsymbiose der Leguminosen. — Berichte der Deutschen botan. Gesellschaft. Bd. 7, 1889. S. 338.

eigenen Gattung zusammenzufassen; nur muss dann gegen den von Frank gewählten Namen *Rhizobium* das formale Bedenken geltend gemacht werden, dass schon früher eine *Aphiden*-Gattung von Burmeister¹⁾ den Namen *Rhizobius* erhalten hat, welcher bis jetzt in Geltung geblieben ist. Dieser Umstand bestimmt mich zu dem Vorschlage, den Frank'schen Namen durch den bezeichnenderen *Rhizobacterium*²⁾ zu ersetzen, eine Gattung, welche zahlreichere Arten, als die von Frank *Rhizobium Leguminosarum*, von Beyerinck *Bacillus radicum* genannte, die einen zu weiten Umfang besitzt, umfasst. Für die von mir beobachtete und beschriebene Art, die ich *Bacterium (Rhizobacterium) japonicum n. sp.* nenne, ergibt sich folgende Diagnose: Zellen stäbchenförmig, meist leicht gebogen, 3,2—3,6 μ lang, 0,8 μ dick, mit körnigem, bei Färbung mit Anilinfarben hervortretendem Inhalt, ohne Bewegungsvermögen; Colonien auf Nährgelatine langsam wachsend, klein, die Gelatine nicht verflüssigend, erhabene, rundliche Tröpfchen von durchscheinender weisslicher Farbe und paraffinartigem Aussehen bildend. Lebt im Boden in Japan und bringt die Wurzelknöllchen an *Soja hispida* Mnch. hervor.

Einfluss der Knöllchen auf die Entwicklung der Sojabohne. Hinsichtlich der biologischen Bedeutung der Wurzelknöllchen der Sojabohne liegt die Frage nahe, ob die knöllchentragenden Pflanzen eine kräftigere Entwicklung zeigen und einen höheren Samen ertrag liefern, als die knöllchenlosen, ob also die absichtliche Züchtung der Knöllchen vielleicht für die landwirthschaftliche Praxis von Nutzen sein könnte. Da die oben besprochenen Versuche zunächst nur zu dem Zwecke angestellt wurden, um durch Impfung mit japanischem Boden die Bildung von Knöllchen an den *Soja*-Wurzeln überhaupt hervorzurufen, so konnte nicht erwartet werden, dass sie jene Fragen zur Entscheidung bringen würden. Die Entwicklung der in den Töpfen gezogenen Versuchspflanzen wurde wiederholt durch Ausstopfen zum Zwecke der Untersuchung des Wurzelsystemes gestört; die im freien Lande cultivirten Sojabohnen standen nicht in gleichen Abständen von einander und entwickelten sich nicht gleichmässig, und da auch die knöllchenlosen Pflanzen in einem noch reichlich gedüngten Boden wuchsen, so liess sich von vornherein kein bedeutender Unterschied im Ertrage der beiderlei Pflanzen vermuthen. Um aber doch möglicherweise wenigstens einige vorläufige Anhaltspunkte für weitere Untersuchungen zu gewinnen, wurde ein Vergleich zwischen den knöllchenlosen und den knöllchentragenden Pflanzen in der Weise angestellt, dass von beiden Abtheilungen die dem Augenschein nach am besten entwickelten und gut ausgereiften 10 Pflanzen am 13. October

¹⁾ H. Burmeister, Handbuch der Entomologie. Bd. 2, Berlin 1839, S. 87.

²⁾ Der von J. Schroeter (Kryptogamen-Flora von Schlesien. Bd. III, 1. Hälfte, S. 134) im Jahre 1886 den damals noch ungenau bekannten Organismen der Papilionaceenknöllchen beigelegte Gattungsname *Phytomyxa* bezeichnet gar nicht die Bacterien, sondern das für einen Schleimpilz angesehenen, mit Bacterien vermischte Zell-Protoplasma der Wurzelknöllchen.

besonders geerntet, und die Anzahl ihrer Hülsen und Samen, sowie das Gewicht der letzteren ermittelt wurden. Dabei ergab sich, dass die beiden Abtheilungen sich weniger durch die Zahl der gebildeten Hülsen und Samen, als vielmehr durch das Gewicht der Samen von einander unterschieden. Es producirten nämlich die 10 schönsten knöllchenlosen Pflanzen zusammen 759 Hülsen mit 1235 Samen von einem Gesamtgewicht von 191 g, sodass also das Gewicht von 1000 Samen 154,6 g betrug. Die 10 schönsten der mit Wurzelknöllchen versehenen Pflanzen¹⁾ trugen zusammen 785 Hülsen mit 1368 Samen, deren Gewicht 255 g betrug, sodass 1000 Samen 186,3 g wogen. Die 10 knöllchenlosen Pflanzen brachten also 66 g Samen weniger, als die Knöllchenpflanzen, oder fast genau 75 % der Ernte der letzteren; das Gewicht der einzelnen Samen betrug bei den knöllchenlosen Pflanzen nur 83 % von demjenigen der Samen der Knöllchenpflanzen, und der Grössenunterschied der beiderlei Samen war in die Augen fallend. Auch die übrigen, weniger guten Knöllchenpflanzen lieferten Samen, von denen 1000 Stück 172,9 g wogen, also immer noch ziemlich viel mehr, als die Samen der 10 besten knöllchenlosen Pflanzen. Nach diesem, wenn auch ungenauen Ergebniss, hat man Grund genug zu der Annahme, dass auch bei *Soja hispida* unter geeigneten Bedingungen sich Vegetationskraft und Ertrag durch die Anzüchtung von Knöllchen wird steigern lassen, und unserer Landwirthschaft vielleicht diese wichtige Culturpflanze Ostasiens nutzbar gemacht werden kann. Von diesem Gesichtspunkte aus sollen im nächsten Jahre neue vergleichende Versuche mit Sojabohnen angestellt werden.

Nachdem die vorstehenden Untersuchungen im wesentlichen abgeschlossen waren, erhielt ich von Herrn Geh. Rath Prof. Dr. F. Cohn, dem ich von demselben Mittheilung gemacht hatte, die Nachricht, dass die im Breslauer botanischen Garten cultivirten Sojabohnen Wurzelknöllchen besitzen, und zugleich eine Sendung von drei mit solchen besetzten Wurzeln, welche am 15. October aus dem Boden genommen waren. Diese Knöllchen hatten eine ähnliche Gestalt, wie die in Hohenheim gezüchteten, doch waren sie stärker abgeflacht, von einer dunkler braunen Farbe, mit weniger ausgeprägten und nicht hell gefärbten Runzeln, und von bedeutend geringerer Grösse; sie hatten meistens nur 2—3, das grösste 5 mm im Durchmesser. Auch der anatomische Bau der Breslauer Knöllchen war im wesentlichen der gleiche, wie derjenige der hiesigen, nur war die Korkschale von einer bedeutenderen und gleichmässigen Dicke. Bei den meisten dieser Knöllchen wurde aber das centrale Gewebe aus Zellen gebildet, welche so grosse Mengen von Stärkekörnern enthielten, dass die durchschnittenen Knöllchen

¹⁾ Es stellte sich später bei der Untersuchung der übrigen Exemplare heraus, dass diese 10 „schönsten“ Pflanzen nicht auch die ertragsreichsten von allen waren, sondern von einigen minder ansehnlichen theilweise übertroffen wurden.

innen kreideweiss aussahen und unter Jodzusatze sich sogleich schwarz färbten. In diesen stärkereichen Zellen fanden sich nur sehr spärliche Bacterien von stäbchenförmiger Gestalt. Ausser diesen Stärkeknöllchen fand ich an einer der drei Wurzeln ein, an einer zweiten zwei Knöllchen mit dem gewöhnlichen Bacteriengewebe im Innern; die dritte Wurzel hatte lauter Stärkeknöllchen. Ich unterlasse es vorläufig, über die Ursache und die Bedeutung dieses auffallenden Befundes, bei dem der Nutzen einer Stärkeansammlung am Ende der Entwicklung einjähriger Pflanzen unverständlich bleibt, eine Vermuthung auszusprechen; ich habe Infectionsversuche mit diesem Knöllchenmaterial eingeleitet, und will hier nur darauf hinweisen, dass auch, wie von Tschirch¹⁾ angegeben wird, bei *Phaseolus* und *Robinia* sich „oftmals sehr reichlich Stärke, vom Charakter der Reservestärke, in den Knöllchen findet“; ferner, dass Frank²⁾ bei der Erbse neben den gewöhnlichen Bacterienknöllchen auch solche nachgewiesen hat, in deren centralem Gewebe grosse Mengen kleiner Körnchen enthalten sind, die Frank für Amylodextrin anspricht. Ob diese Stärkeknöllchen einen normalen Entwicklungszustand oder eine Ausnahmegestaltung darstellen, ob sie durch dieselbe Bacterienart, wie die Eiweissknöllchen, hervorgerufen werden, darüber können erst weitere Untersuchungen Auskunft geben.

Hohenheim, den 8. November 1893.

1) A. a. O., S. 66.

2) Ueber den Dimorphismus der Wurzelknöllchen der Erbse. — Berichte der Deutschen botan. Gesellschaft. Bd. 10, 1892, S. 170—178. Vgl. hierzu Moellers Bemerkungen, ebdas., S. 242—250 und S. 568—570; ferner Frank, ebdas., S. 390—395.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel I.

- Fig. 1. Wurzelsystem einer in geimpftem Boden erwachsenen Soja-Pflanze mit 11 Wurzelknöllchen. $\frac{3}{4}$ nat. Gr.
- Fig. 2. Strich-Culturen von *Rhizobacterium japonicum* auf Nährgelatine. $\frac{1}{2}$ nat. Gr.
-

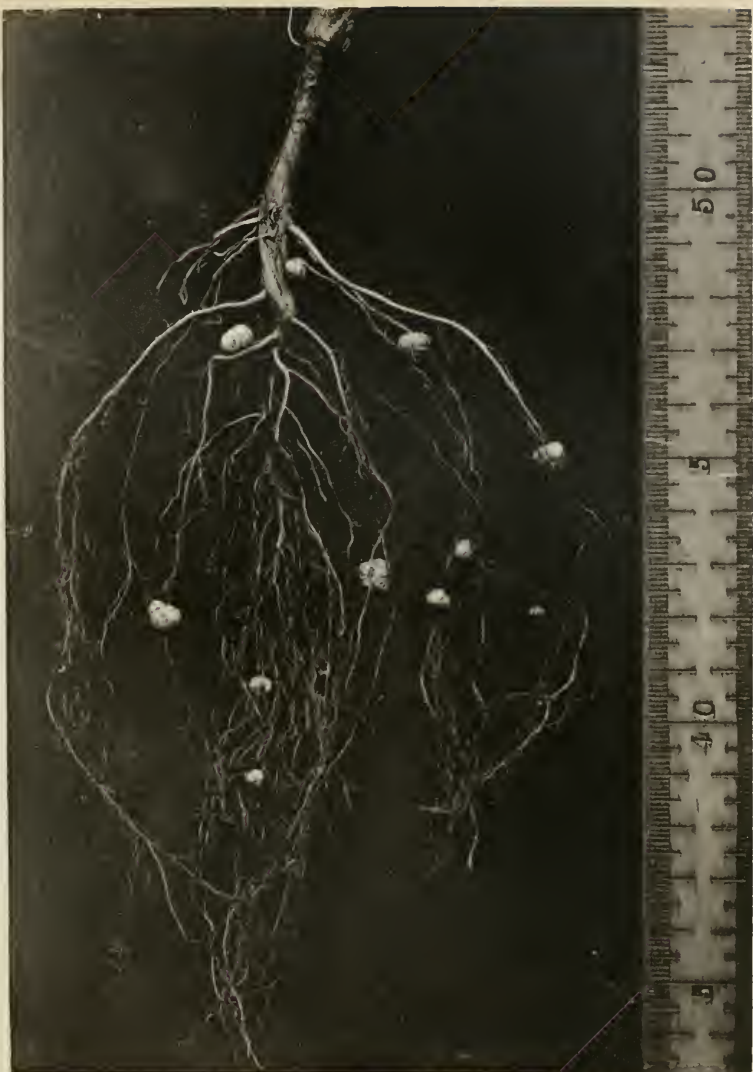


Fig. 1.



Fig. 2.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur Biologie der Pflanzen](#)

Jahr/Year: 1895

Band/Volume: [7_2](#)

Autor(en)/Author(s): Kirchner Oskar

Artikel/Article: [Die Wurzelknöllchen der Sojabohne 213-224](#)