

39. B. Frank: Ueber die auf den Gasaustausch bezüglichen Einrichtungen und Thätigkeiten der Wurzelknöllchen der Leguminosen.

Mit Tafel XV.

Eingegangen am 22. Mai 1892.

Nach den bisherigen anatomischen Untersuchungen der Wurzelknöllchen der Leguminosen schrieb man diesen Organen eine gewöhnliche Korkhaut zu, mit welcher sie an ihrer ganzen Oberfläche umhüllt sind, weshalb sie nicht bloss in Bezug auf osmotischen Austausch von Flüssigkeiten, sondern auch in Bezug auf Gaswechsel von ihrer äusseren Umgebung als ziemlich streng abgeschlossen betrachtet wurden.

Die Wurzelknöllchen, insbesondere diejenigen der Erbse, welche ich genauer untersucht habe, besitzen allerdings ein aus mehreren Schichten von Korkzellen bestehendes, das ganze Knöllchen gleichmässig überziehendes Hautgewebe. Dasselbe besitzt aber eine eigenthümliche, die Permeabilität für Gase bedingende Einrichtung, welche den bisherigen Beobachtern entgangen ist. Alle Korkzellen haben nämlich hier luftführende Intercellulargänge zwischen sich, welche mit der Aussenluft in directer Communication stehen, wie es in den Lenticellen der Fall ist (Fig. 2). Diese Ventilationseinrichtung ist nicht etwa auf einzelne Stellen des Wurzelknöllchens beschränkt, sondern die gesammte Korkhülle zeigt diese Structur und ist daher gewissermassen wie eine einzige grosse Lenticelle zu betrachten. Der Luftgehalt der peripherischen Gewebe giebt sich auch schon dadurch zu erkennen, dass die frischen Knöllchen, sowie man sie eben aus dem Boden herausnimmt, einen Silberglanz zeigen, der sich besonders hervorhebt, wenn man sie in's Wasser taucht.

Das System der luftführenden Intercellulargänge geht durch die Korkhaut und durch das Rindengewebe des Knöllchens continuirlich hindurch und reicht also bis an die Aussenseite des Meristems, welches sich im Scheiteltheile des Knöllchens über dem Bacteroïdengewebe befindet und welches auch als eine cambiale Schicht den übrigen Umfang des Bacteroïdengewebes umkleidet und so dasselbe von dem lufthaltigen Rindengewebe scheidet. Denn das Meristem, sowohl das endständige wie die cambiale Schicht, besitzt keine luftführenden Intercellulargänge. Dagegen treten diese wieder in dem ganzen Bacteroïdengewebe von der Region an auf, wo dasselbe aus dem Meristem hervorgeht (Fig. 1).

Um zu erfahren, ob diese Luft von aussen aus dem Erdboden in die Knöllchen eindringt, oder ob sie aus den Zellen der letzteren selbst entbunden und abgeschieden wird, erzog ich Erbsenpflanzen in Wassercultur, wobei eine Normalnährlösung, jedoch ohne Stickstoffverbindungen angewandt und dieselbe mit ein wenig Erbsenboden geimpft wurde, um das zur Bildung der Knöllchen erforderliche Rhizobium einzuführen. Regelmässig bildeten sich an allen Versuchspflanzen Knöllchen, die bald nach der Keimung sichtbar wurden. Diese entstanden hier also von vornherein unter Wasser, und die Wurzeln waren nie mit Luft in Berührung gewesen. Trotzdem nahmen die Knöllchen, sobald sie etwas grösser geworden waren, einen im Wasser sehr deutlich hervortretenden Silberglanz an, welcher anzeigte, dass die ganze Oberfläche derselben Luft im Gewebe enthielt. Das mikroskopische Bild des Durchschnittes durch ein solches Knöllchen zeigt die Luftvertheilung so, wie sie in Fig. 1 dargestellt ist. Die ganze um das Knöllchen herumgehende Rinde ist überall von luftführenden Intercellulargängen (in der Figur tiefschwarz gehalten) durchsetzt; dieselben beginnen an der freien Oberfläche und dringen in radialer Richtung, sowie auch seitlich zwischen die Zellen ein und in die Tiefe. Sie laufen am Scheitel des Knöllchens bis an das Meristem, welches keine Intercellulargänge hat, und an den übrigen Theilen bis an das cambiale Gewebe, welches das Bacteroïdengewebe von der Rinde trennt und in welchem die Fibrovasalstränge des Knöllchens als Procambiumbündel entstehen. Dieses Gewebe wird aber nicht von den Luftgängen durchbrochen, wiewohl es nur eine wenigzellige Schicht bildet, durch welche die Luft des Rindengewebes von derjenigen des Bacteroïdengewebes getrennt ist. Auf Querschnitten durch die Knöllchen überzeugt man sich, dass der ganze Cambiumring, also nicht bloss die Procambiumbündel, sondern auch das Interfascicularcambium luftfrei sind; nur im letzteren kommen allenfalls einige Stellen vor, wo Luftgänge von aussen und innen aneinandertreffen, jedoch findet man das nur so selten, dass eine regelmässige Luftcommunication zwischen innen und aussen dadurch nicht bedingt werden kann. Die Wurzelrinde, auf welcher das Knöllchen sitzt, hat wie gewöhnlich grosse luftführende Intercellulargänge, die jedoch die Wurzelepidermis nicht durchbrechen und also nach aussen keine Communication haben. Diese stehen aber an den Rändern der Insertionsstelle des Knöllchens mit dem luftführenden Gewebe der Knöllchenhaut in Verbindung, so dass also auch von dort aus die ganze Luft in die Knöllchenhaut gelangt sein könnte. Aber das Bacteroïdengewebe des jungen Knöllchens ist auch von der Luft der Wurzelrinde geschieden durch eine luftfreie cambiale Gewebeschicht, in welcher später die Gefässbündelverbindungen zwischen Knöllchen und Wurzel entstehen. So ist das ganze Bacteroïdengewebe eigentlich wie eine Insel rings von luftfreiem cambialen Gewebe eingeschlossen, und

dennoch ist es selbst reichlich von Luftgängen durchzogen. Um jede einzelne Bacteroidenzelle gehen continuirlich lufthaltige Intercellulargänge herum, und somit bilden die letzteren auch hier unter sich ein communicirendes System (Fig. 3). Diese Intercellulargänge und die Luft, welche sie ausfüllt, entstehen hier genau in dem Stadium, wo die Bacteroidenzellen sich aus dem Meristem differenziren. Man sieht an dieser Stelle vorzugsweise radiale Linien, in welchen die intercellulare Luft auftritt, und die erste dieser Linien coincidirt mit der Grenze zwischen Meristem und Bacteroidengewebe, quer durch das Knöllchen gehend, beide Gewebe von einander abgrenzend (Fig. 1 b).

Aus Vorstehendem geht jedenfalls das Eine mit Sicherheit hervor, dass bei der Entstehung der Knöllchen unter Wasser die in denselben enthaltene Luft von der Pflanze selbst ausgeschieden werden muss und dass speciell die im Bacteroidengewebe befindliche Luft von diesen Zellen selbst in gasförmigem Zustande entbunden wird. Da die im Wasser wachsenden Knöllchen überhaupt von einem Luftmantel umgeben sind, der ihre Benetzung hindert, so kann das submerse Knöllchen auch kaum etwas Tropfbarflüssiges direct aufnehmen, was ja auch die verkorkten Zellen seiner Oberfläche erschweren würden. Man muss es hiernach für sehr wahrscheinlich halten, dass das Material zur Bildung der Inhaltsbestandtheile des Knöllchens, die ja unter Wasser ebenso normal und vollständig erzeugt werden, wie im Erdboden, dem Knöllchen überhaupt erst von der Pflanze aus zugeleitet wird.

Auch bei den im Erdboden wachsenden Wurzelknöllchen macht das Umhülltsein mit Luft den Eindruck, als käme es darauf an, die Berührung der Knöllchen mit der Feuchtigkeit des Bodens zu verhindern und sie vielmehr im Contact mit Luft zu erhalten, was also jedenfalls eine directe diosmotische Aufnahme in Wasser gelöster Nährstoffe von aussen nicht als eine Function der Knöllchen erscheinen lässt.

Dass der Contact der Knöllchen mit Luft angestrebt wird, zeigt sich auch in der Bevorzugung der der Bodenoberfläche nahe gelegenen Wurzeltheile seitens der Knöllchen, was ich früher eingehend erörtert habe. Ich bemerke hier noch, dass, wenn Klee auf Moorboden wächst, der schon in wenigen Centimetern Tiefe wegen Luftmangel von den Wurzeln überhaupt gemieden wird, die Wurzelknöllchen sich nur in der ganz oberflächlichen Bodenschicht bilden; ja dieselben scheinen hier sogar negativ geotropisch zu sein, indem sie sich deutlich aufwärts krümmen und dadurch oft wirklich an der Bodenoberfläche hervorschauen.

Welches physiologische Bedürfniss mag nun eigentlich hinter dieser zur Schau getragenen Vorliebe für Luft verborgen sein? Für die Hypothese, dass der elementare Luftstickstoff in den Wurzelknöllchen verarbeitet wird, liegt es nahe anzunehmen, dass es hier auf directe Einsaugung der zu assimilirenden stickstoffhaltigen Luft abge-

sehen sei. Nun ist aber in den erwähnten Thatsachen ein Beweis für diese Deutung noch nicht zu finden. Denn dieselben liessen sich ebenso gut vereinbaren mit der anderen Annahme, dass es nicht auf eine Absorption von Luft ankommt, sondern dass umgekehrt eine Entbindung von Gasen erleichtert werden soll.

Die Structur des Hautgewebes der Wurzelknöllchen, welches wir mit einer einzigen grossen Lenticelle verglichen, deutet sicher auf eine erhöhte Respirationsthätigkeit, aber auch auf nicht mehr als eine gewöhnliche Respiration, wie sie allen Pflanzentheilen und besonders solchen, in denen sich lebhafte Wachstums- und Stoffbildungsthätigkeiten vollziehen, eigen ist. Wenn wir nach Organen in der Pflanzenwelt suchen, welche den Wurzelknöllchen in dieser Beziehung am nächsten zu vergleichen wären, so sind das die von JOST¹⁾ näher untersuchten aufwärts wachsenden Wurzeln verschiedener Palmen- und Pandanaceen-Species, da diese auch in der Wurzelrinde Durchlüftungsräume besitzen, welche frei in die Atmosphäre münden, und da sie als Athmungsorgane sich dadurch charakterisiren, dass sie aus dem Erdboden vertical hervorwachsen, in Folge von Aërotropismus, wie JOST annimmt.

Wir haben die Entstehung der Luft im Durchlüftungssystem der Wurzelknöllchen auf eine Entbindung aus den betreffenden Zellen, nicht auf ein Einströmen von Luft aus der Umgebung zurückgeführt. Wohl aber könnten die Durchlüftungsräume des Hautgewebes, einmal entstanden, späterhin als beständige Einzugswege für Luft von aussen functioniren. Nur freilich geht aus der obigen anatomischen Untersuchung hervor, dass an eine directe Luftzuleitung zu den Bacteroidenzellen, in denen sich ja also gerade die Eiweissmassen bilden und anhäufen, kaum zu denken ist, da dieses Gewebe so gut wie gänzlich ausser Luftcommunication mit der Rinde und der Aussenwelt sich befindet. Die Luft, welche die Intercellulargänge des Bacteroidengewebes enthalten, dürfte also nur dieselbe Bedeutung haben, wie diejenige, welche allgemein in parenchymatischen Geweben aufzutreten pflegt. Wenn es in den Wurzelknöllchen gasabsorbirende Zellen geben sollte, so wären sie eher in der Rinde des Knöllchens zu suchen. Dass aber auch dies schwerlich in bedeutendem Grade der Fall sein kann, lehren uns die unter Wasser wachsenden Knöllchen.

Fragt man sich, wie die Luft, welche von den Knöllchen ausgeschieden wird, eigentlich entsteht, so kann man erstens daran denken, dass von allen lebenden Zellen Kohlensäure als Athmungsproduct erzeugt wird, zweitens aber daran, dass in jedem Wasser, welches die Pflanzen von aussen aufnehmen und welches dann den Saft ihrer Gewebe darstellt, atmosphärische Gase aufgelöst sind, welche auch wieder abgeschieden werden können.

1) Botanische Zeitung, 1887, pag. 601.

Eine makrochemische Gasanalyse mit der in Wurzelknöllchen enthaltenen Luft anzustellen hat wegen der immerhin geringen Grösse dieser Objecte seine Schwierigkeit. Ich habe auf mikrochemischem Wege über die Zusammensetzung der Interellularluft der Wurzelknöllchen wenigstens einigermaßen mich aufzuklären gesucht, indem ich bei genauer Einstellung bestimmter intercellularer Luftlinien unter dem Mikroskope auf ein etwaiges Verschwinden oder Abnehmen derselben achtete, wenn ich einmal verdünnte Kalilauge, ein anderes Mal Pyrogallussäure und Kali zu dem Präparat treten liess. In beiden Fällen blieben aber diese Luftlinien erhalten und nicht einmal eine Abnahme derselben war erkennbar. Wenn nun auch eine solche Beobachtung keinerlei Messung zulässt, so scheint mir aus ihr doch hervorzugehen, dass diese Luft weder rein aus Kohlensäure, noch rein aus Sauerstoff bestehen kann, sondern mindestens sehr reich an Stickstoff sein muss. Mit anderen Worten: es ist auch auf diesem Wege keine Beobachtung zu machen, welche dafür spräche, dass in den Knöllchen gasförmiger Stickstoff verzehrt wird.

Ich habe kürzlich nachgewiesen, dass die Erbse dimorphe Wurzelknöllchen besitzt, welche auch in ihrem stofflichen Charakter ungleich sind. Sowohl die Amylodextrinknöllchen wie die Eiweissknöllchen habe ich hinsichtlich der hier vorliegenden Fragen geprüft und beide völlig übereinstimmend gefunden, sowohl die anatomische Orientirung ihres Durchlüftungssystems, als auch was das Verhalten ihrer Interellularluft gegen Reagentien anlangt.

Die Versuche, den Gasaustausch der lebenden Wurzelknöllchen zu verfolgen, ergaben ein sehr überraschendes Resultat, wiewohl sie in Bezug auf die Frage fehlgeschlagen sind, wie die Knöllchen in ihrer normalen Gemeinschaft mit der lebenden Pflanze arbeiten. Es wurden von einer grösseren Anzahl von Pflanzen, die im Garten gewachsen waren und aus dem Boden ausgegraben wurden, die Wurzelknöllchen gesammelt, mit Wasser abgewaschen und dann sofort in eine Eudiometer-röhre mit von Quecksilber gesperrter Luft eingeschlossen. Nur gut gebildete, noch wachsende oder voll ausgebildete Knöllchen wurden dazu gewählt. Eine danebenstehende, nur feuchte Luft enthaltende Röhre liess den Unterschied in den Veränderungen des Luftvolumens besonders anschaulich hervortreten. Die zur Verwendung kommenden Knöllchen wurden frisch gewogen. Sie wurden in das obere Ende der Eudiometerröhre gebracht und daselbst durch ein Wenig reiner Watte festgehalten. Dann wurde die Röhre vertical in Quecksilber gestellt und durch Saugen mittelst eines von unten eingeführten Gummischlauches das Quecksilber bis zu gewünschter Höhe in die Röhre eingelassen. Nachdem der Versuch einige Tage gegangen war, wurde ein Quantum aufgelöstes pyrogallussaures Kali in die Röhre eingeführt, um den Sauerstoff darin zu absorbiren und das Volumen des Stick-

stoffs zu erhalten. In den folgenden Tabellen ist der Quecksilberstand in den Röhren mit Knöllchen nach Abzug des Volumens der angewendeten Knöllchen und der Watte angegeben. Behufs Bestimmung des zuletzt erhaltenen Stickstoff-Volumens musste das Volumen der eingeführten Pyrogallussäure-Lösung abgezogen werden; darauf bezieht sich die letzte in Klammer beigefügte Zahl.

1. Amylodextrinknöllchen der Erbse.

5,763 g Frischgewicht; 7,5 ccm Volumen.

Zeit	Quecksilberstand		<i>b</i>	<i>t</i>
	in der Röhre m. Knöllchen <i>ccm</i>	in der Controlröhre. <i>ccm</i>		
3. Juli 12,30 Uhr Nachmitt.	168,5	44,1	759	24 ° C.
4. „ 12,30 „ „	168,0	43,6	757,5	22 „
5. „ 12,30 « „	172,0	43,5	760	22 „
6. „ 12,30 „ „	178,5	43,5	758	23 „
7. „ 12,30 „ „	182,5	43,8	754	22,5 „
8. „ 12,30 „ „	183,5	43,8	755	22 „
9. „ 12,30 „ „	184,5	43,8	754,5	21 „
10. „ 12,20 „ „	185,5	43,8	754	21 „
11. „ 12,30 „ „	185,5	43,8	754,5	21 „
	nach Einfüh- rung von 9 ccm Pyro- gallussäure 164,0 zuletzt 158,5 (149,5)			

2. Eiweissknöllchen der gelben Lupine.

10,005 g Frischgewicht; 13,5 ccm Volumen.

Zeit		Quecksilberstand in der Röhre mit Knöllchen	<i>b</i>	<i>t</i>
		<i>ccm</i>		
8. Juli	12 Uhr Mittags	54,5	755	22 ° C.
" "	12,30 " Nachm.	54,5	755	22 "
" "	3 " "	57,0	755	22 "
" "	5 " "	60,5	755	22 "
" "	7 " Abends	62,5	755	22 "
9. "	12,30 " Nachm.	69,5	754,5	21 "
10. "	12,30 " "	77	754	21 "
		n. Einführ. v. 6 ccm Pyrogallussäure 52,5 (46,5)		

3. Eiweissknöllchen von Phaseolus nanus.

3,672 g Frischgewicht; 6,5 ccm Volumen.

Zeit	Quecksilberstand in der Röhre mit Knöllchen ccm	b	t
3. Juli 12,30 Uhr Nachmitt.	65,0	759	24 ° C.
4. „ 12,30 „ „	70,0	757,5	22 „
5. „ 12,30 „ „	74,5	760	22 „
6. „ 12,30 „ „	83,0	758	23 „
	n. Einführ. v. 9 ccm Pyrogallussäure 67,9 (58,9)		

4. Eiweissknöllchen von Phaseolus nanus.

3,212 g Frischgewicht; 5 ccm Volumen.

Zeit	Quecksilberstand in der Röhre mit Knöllchen ccm	b	t
8. Juli 12 Uhr Mittags	20,2	755	22 ° C.
„ „ 12,30 „ Nachm.	20,2	755	22 „
„ „ 3 „ „	20,9	755	22 „
„ „ 5 „ „	21,4	755	22 „
„ „ 7 „ Abends	21,7	755	22 „
9. „ 12,30 „ Nachm.	23	754,5	21 „
10. „ 12,30 „ „	33,2	754	21 „
11. „ 12,30 „ „	39,3	754,5	19 „
12. „ 10 „ Vormitt.	43,5	756,5	20 „
13. „ 10 „ „	47,6	761	20,5 „

Diese Versuche zeigen, dass die Knöllchen, sehr bald nachdem sie in die Röhren eingeführt sind, eine sehr lebhaft Gasentbindung erleiden, welche das Volumen der Knöllchen um das Vielfache übertrifft. Dies geschieht im völlig unverletzten Zustande der Knöllchen, wird also

wahrscheinlich durch das Athmungsorgan, welches ihre lenticellenartige Haut darstellt, vermittelt. Reducirt man die Luftvolumina auf 0° und 760 mm Quecksilberdruck, so erzeugten

bei Versuch 1	in 8 Tagen	7,5 ccm	Erbсенknöllchen	16,2 ccm	Gas
" "	2 " 2	" 13,5	" Lupinenknöllchen	21,5	" "
" "	3 " 3	" 6,5	" Bohnenknöllchen	16,8	" "
" "	4 " 5	" 5	" Bohnenknöllchen	25,8	" "

Aus dem Volumen der gewöhnlichen atmosphärischen Luft, welches den Knöllchen anfangs gegeben war (anfängliches Gasvolumen in der Röhre minus Knöllchenvolumen), kann man berechnen, wieviel Stickstoffgas und wieviel Sauerstoffgas sie anfangs zur Verfügung hatten, und aus der Reduction des Gasvolumens nach Einführung von Pyrogallussäure lässt sich das nachherige Verhältniss von Stickstoff und Sauerstoff ermitteln. So finden wir folgende Werthe, die wiederum auf 0° und 760 mm Quecksilberdruck reducirt sind.

Versuch No.	Stickstoffgas		Sauerstoffgas	
	gegeben ccm	nach der Athmung der Knöllchen ccm	gegeben ccm	nach der Athmung der Knöllchen ccm
1. Erbse	122,19	137,7	32,41	33,1
2. Lupine	39,52	42,8	10,48	28,7
3. Bohne	47,10	54,2	12,50	22,2

Wir sehen also, dass immer durch die Athmung der Knöllchen Stickstoffgas ausgeschieden worden ist, gleichzeitig aber auch der Sauerstoff absolut zugenommen hat, besonders stark bei den Eiweissknöllchen.

Die richtige Deutung dieser auffallenden Erscheinung scheint mir nur durch die Annahme gefunden werden zu können, dass die Entbindung von Stickstoff- und Sauerstoffgas aus den Knöllchen kein normaler Lebensact derselben, sondern bereits das Anzeichen eines beginnenden Absterbens und der damit verbundenen stofflichen Rückbildung ist. Unsere obigen Beobachtungstabellen zeigen nämlich deutlich, dass die Gasausscheidung am ersten Tage nach Einbringung der frischen lebenden Knöllchen in die Absorptionsröhren im Allgemeinen nur gering ist und erst in den folgenden Tagen ihre grösseren Werthe erreicht. Insbesondere zeigen die Versuche 2 und 4, dass in der ersten Stunde, nachdem die Knöllchen von der Pflanze entnommen worden sind, von einer Gasausscheidung nichts zu bemerken ist. Dabei ist es nun allerdings interessant zu sehen, dass bereits drei Stunden nach Abnahme der Knöllchen von ihren Wurzeln der Gasentbindungsprocess

langsam anhebt und z. B. bei der Lupine schon nach sieben Stunden eine ansehnliche Höhe erreicht.

Dass es sich hier um einen Rückbildungsprocess organischer Stickstoffverbindungen handelt, geht auch daraus hervor, dass auch noch gewisse gasförmige stickstoffhaltige Verbindungen entstehen, die offenbar Zersetzungsproducte sind. Erstens konnte etwas Ammoniakgas in der ausgeschiedenen Luft nachgewiesen werden, indem nach Einführung von verdünnter Schwefelsäure in die Absorptionsröhre zur Zeit, wo die Gasentbindung ihre höchste Höhe erreicht hatte, eine kleine Volumverminderung des Gases eintrat. Zweitens hat die ausgeschiedene Luft einen entsetzlichen Leichengeruch, es haben sich also Scatol und Indol gebildet.

Dass dabei auch Kohlensäure gebildet wird, kann nicht befremden. Anfangs ist dieselbe sicher Athmungsproduct, später ohne Zweifel Product der Fäulniss. Mittelst des bekannten Vorlesungs-Versuches zur qualitativen Nachweisung ausgeathmeter Kohlensäure durch Trübung von Barytwasser, welches hinter einem mit lebenden Pflanzentheilen beschickten Gefässe eingeschaltet und in welches mittelst des Aspirators die vorher von Kohlensäure befreite Luft aus dem Respirationsgefäss eingeleitet wird, konnte Kohlensäurebildung von Lupinenknöllchen nachgewiesen werden, sieben Minuten nachdem dieselben aus der Erde von der lebenden Pflanze genommen worden waren. In eine luftdicht verschlossene Flasche, die mit Gaszuleitungs- und Ableitungsrohr versehen war, wurden 2,47 g frische Lupinenknöllchen gebracht. Mittelst Aspirators wurde durch die Flasche ein Luftstrom geleitet, der vor dem Eintritt in Kalilauge gewaschen und beim Austritte durch ein gewogenes Absorptionsrohr mit Schwefelsäure und durch einen gewogenen Kaliapparat geleitet wurde. Die Gewichtszunahme des letzteren ergab folgende Mengen producirtter Kohlensäure. Anfang des Versuches 3. August 12 Uhr Mittags.

4. August	1 ¹ / ₄	Uhr Nachmittags	0,014	g CO ₂
5. "	1 ¹ / ₄	" "	0,009	" "
6. "	1 ¹ / ₄	" "	0,0028	" "
7. "	1 ¹ / ₄	" "	0,0557	" "

Die vorstehenden Mittheilungen lassen erkennen, dass die Wurzelknöllchen der Leguminosen hinsichtlich ihrer Lebensthätigkeit überaus empfindliche Organe sind, die nur im ungestörten Verbande mit der Pflanze normal arbeiten; denn wenn sie von ihr getrennt worden sind, so tritt, ohne dass sie selbst im geringsten verletzt worden wären, schon nach wenigen Stunden ein völliger Umschwung in ihrer Thätigkeit ein, und zwar in dem Sinne, dass die gebildeten organischen Stickstoffverbindungen wieder zum Theil zerfallen und ihr Stickstoff wieder in den elementaren Zustand zurückkehrt und entweicht. Es kommt

dadurch die innige Wechselwirkung, welche zwischen den Wurzelknöllchen und der ganzen Pflanze bestehen muss, und die Oberherrschaft der Pflanze, welche die normalen Vorgänge in den Knöllchen leitet, recht deutlich zum Ausdruck. Vielleicht wird also auch schon das blosse Abschneiden des oberirdischen Theiles der Pflanze auf die Thätigkeit der Wurzelknöllchen zurückwirken. Es macht den Eindruck, als wenn geheimnissvolle dynamische Beziehungen zwischen der Pflanze und den Wurzelknöllchen beständen, ähnliche, wie sie die Physiologie in der Correlation der Organe mehrfach kennt.

Zugleich aber ist hieraus zu entnehmen, dass es nicht gelingen dürfte, die normalen Processe, welche sich in den Wurzelknöllchen abspielen, für sich allein, ohne Mitwirkung der ganzen Pflanze, dem Experimente zugänglich zu machen. Der Stoffwechsel, den die Wurzelknöllchen im Verbande mit der Pflanze zeigen, muss ein anderer sein, als derjenige, den wir hier an den isolirten Knöllchen kennen gelernt haben. Denn es ist von Bedeutung, dass die Gasentbindung und Stickstoffexhalation jedenfalls in den ersten Stunden unmittelbar nach dem Abschneiden der Knöllchen noch nicht vorhanden sind, wie die obigen Angaben unzweifelhaft erkennen lassen. Es wäre also immerhin möglich, dass die Knöllchen im Verbande mit der Pflanze direct Stickstoff absorbirten. Allein davon lassen die directen Beobachtungen bei den obigen Versuchen unmittelbar nach der Abtrennung der Wurzelknöllchen nichts erkennen; freilich ist bei dem rasch eintretenden Umschwunge in der Thätigkeit dieser Organe die Zeit wohl zu kurz, um etwas derartiges, selbst wenn es thatsächlich bestehen sollte, wahrnehmen zu können. Wollte man aber, um die Frage, ob die Stickstoffassimilation in den Wurzelknöllchen oder in einem anderen Organe der Pflanze ihren Sitz hat, dadurch beantworten, dass man die ganze Pflanze sammt ihren Knöllchen dem Experimente unterwürfe, so würde, abgesehen von den experimentellen Schwierigkeiten, die Thatsache hinderlich sein, dass die Intercellularluft in der ganzen Pflanze communicirt.

Bei der Erforschung der Organe und des Processes der Assimilation des elementaren Stickstoffes wird man wahrscheinlich nicht an eine Absorption von gasförmigem Stickstoff seitens gewisser Zellen zu denken haben, sondern es dürfte sich vielmehr um die schon im absorbirten Zustande in dem Wasser enthaltene Luft handeln, welche der Pflanze von aussen mit dem Wasser zugeführt wird und welche auch in dem in allen Geweben vorhandenen Wasser enthalten ist. In dieser Weise gelöster Stickstoff könnte aber eben sowohl in den oberirdischen Organen wie in den Wurzeln oder auch in den Wurzelknöllchen assimilirt werden. Die Durchlüftungseinrichtungen des Hautgewebes und der Rinde der Wurzelknöllchen, die wir hier kennen gelernt haben, scheinen nur zur Erleichterung der gewöhnlichen Respiration zu dienen.

Pflanzenphysiologisches Institut der Kgl. landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin.

Erklärung der Abbildungen.

-
- Fig. 1. Medianer Durchschnitt durch ein in Wassercultur entstandenes Wurzelknöllchen der Erbse. Die tiefschwarzen Linien bedeuten luftführende Intercellulargänge. *m* das terminale Meristem, welches bei *bb* in das Bacteroidengewebe übergeht, wo zugleich die ersten Luftgänge in diesem Gewebe auftreten. Ringsum das aussen verkorkte mehrschichtige Rindengewebe, überall mit nach aussen mündenden Luftgängen durchsetzt. *ee* Epidermis der Wurzel, *rr* Wurzelrinde.
- Fig. 2. Stück eines Durchschnittes durch die peripherische Korkschicht eines im Erdboden gewachsenen Wurzelknöllchens der Erbse, stärker vergrössert; bei *o* die Oberfläche des Knöllchens, *mm* das Meristem. Die Luftgänge beginnen an der Oberfläche, durchbrechen aber das Meristem nicht.
- Fig. 3. Stück eines Durchschnitts durch das Bacteroidengewebe eines im Erdboden gewachsenen Wurzelknöllchens der Erbse. Die luftführenden Intercellulargänge gehen continuirlich um die Zellen herum.
-

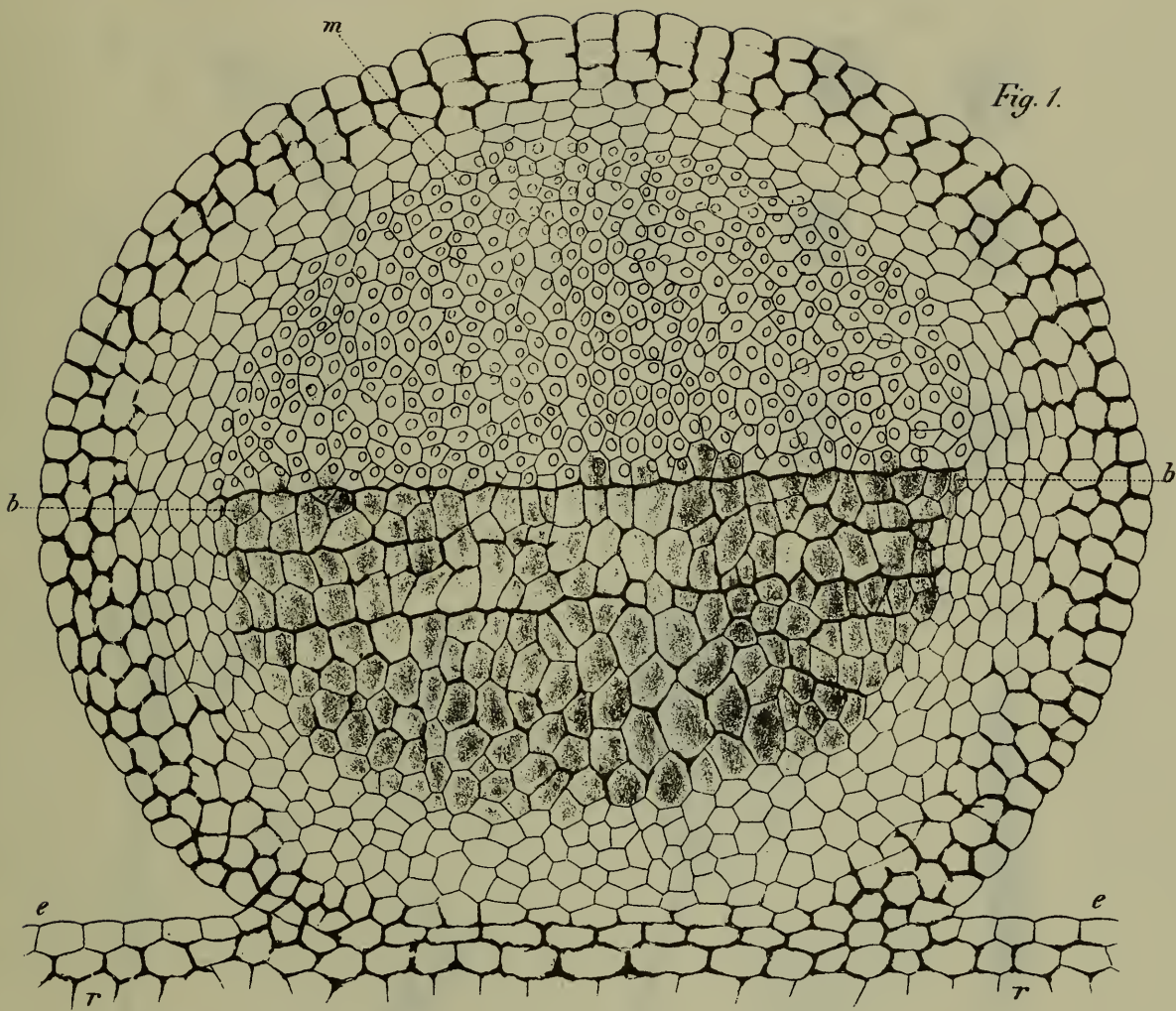


Fig. 1.

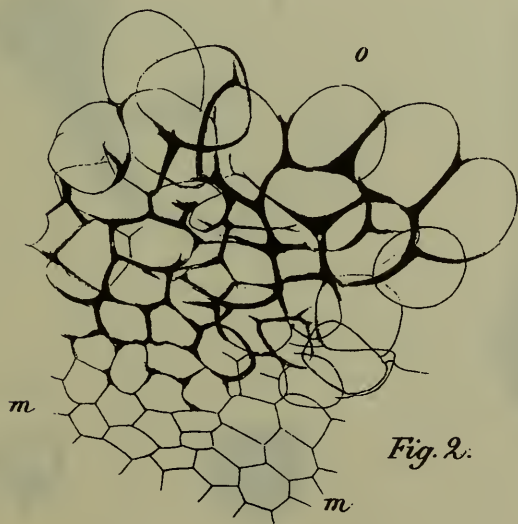


Fig. 2.

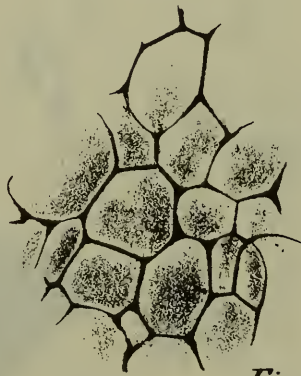


Fig. 3.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1892

Band/Volume: [10](#)

Autor(en)/Author(s): Frank B.

Artikel/Article: [Ueber die auf den Gasaustausch bezüglichen Einrichtungen und Thätigkeiten der WurzelknöUchen der Leguminosen. 271-281](#)