

Über die
räumliche Ordnung der Pflanzen
auf dem Felde und im Walde

Eine botanisch-bodenwissenschaftliche Studie

von

V. T. Aaltonen

HELSINKI 1923

Vorwort

In den letztvergangenen Jahren wurde im finnischen Staatsbudget ein Posten vorgesehen, um durch Stipendien junge Agrarwissenschaftler bei ausländischen Studienreisen zu unterstützen. Dank einem dieser Stipendien, und von der Finnischen Wissenschaftsakademie bewilligter Unterstützung war es Unterzeichnetem möglich, in den Jahren 1921—22 in Deutschland zu arbeiten und seine Kenntnisse zu bereichern. Die vorliegende anspruchslose Schrift ist ein Resultat dieser Reise und wäre sie kaum ohne die erwähnten Stipendien zu Stande gekommen. Zwei noch in Ausarbeitung begriffene kleinere Schriften hofft der Verfasser ebenfalls in nicht allzu langer Zeit der Öffentlichkeit übergeben zu können.

Ebenso wie Unterzeichneter seinem Vaterlande für die ihm von diesem zugewendete Hilfe zu Dankbarkeit verpflichtet ist, ist es ihm hier eine angenehme Pflicht speziell der Finnischen Wissenschaftsakademie seinen besten Dank für deren Zuschuss, der ihm im Frühjahr 1922 ganz besonders wertvoll war, auszusprechen, desgleichen der Forstwissenschaftlichen Gesellschaft in Finnland, die ihm in ihrer bekannten Publikationsserie Gelegenheit zur Veröffentlichung vorliegender Abhandlung bot.

Helsinki, im Januar 1923.

V. T. Aaltonen

HELSINKI 1923

DRUCKEREI DER FINNISCHEN LITERATUR-GESELLSCHAFT

Die bei Quellenangaben der Zitate vorkommenden Verkürzungen dürften ohne weiteres verständlich sein. Folgende seien hier jedoch erklärt:

A. F. F. = Acta Forestalia Fennica

Landw. Versuchsst. = Die landwirtschaftlichen Versuchsstationen

Journ. f. Landw. = Journal für Landwirtschaft

Landw. Jahrb. = Landwirtschaftliche Jahrbücher

Inhaltsverzeichnis:

Vorwort	S. 7
Zur Einführung	» 9
Allgemeines über die räumliche Ordnung der Pflanzen	» 9
Geschichtliches über bisherige Wurzeluntersuchungen	» 41
1. Die Wurzelsysteme im Allgemeinen	» 41
2. Die Nahrungsaufnahme der Wurzeln	» 49
Über Methoden und Mittel der fortzusetzenden Wurzelforschung	» 57
Einige Versuche mit Mais	» 66
1. Gefäßversuche A	» 66
2. Gefäßversuche B und einige Bestimmungen des osmotischen Wertes der Wurzelzellen	» 73
3. Feldversuche	» 82

Zur Einführung

Es wird wohl kaum jemand behaupten, dass HELLRIEGEL nicht Recht hätte, wenn er sagt: »Jede Pflanze braucht als Naturkörper zu ihrer Existenz und zu ihrer Entwicklung einen gewissen Raum. Auf dem Flecke, den ein Pflanzenindividuum einnimmt, findet nicht gleichzeitig ein zweites Platz«¹⁾. Das ist ja ganz selbstverständlich.

Man hat jedoch dieser Frage sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis ziemlich geringe Aufmerksamkeit geschenkt, und wahrscheinlich viel zu wenig mit Rücksicht auf ihre Bedeutung vom Standpunkte beider. Soweit sie in der Pflanzenbiologie, Pflanzengeographie usw. behandelt wird, geschieht es, in Ermangelung von zureichenden Kenntnissen, ziemlich oberflächlich und einseitig. Im praktischen Pflanzenbau, im Ackerbau, im Waldbau, in der Gärtnerei u. a. hat man beim Auftreten dieser Frage seine Zuflucht meistens zu Massnahmen und Methoden genommen, die die Erfahrung allmählich als ungefähr richtig erwiesen hat. Weil eine solche Erfahrung z. B. im Waldbau natürlich erst nach verhältnismässig langen Zeiträumen und auch sonst schwierig zu erreichen ist, darf man sich nicht allzu sehr darüber wundern, dass besonders die waldbaulichen Bewirtschaftungsmethoden noch ziemlich primitiv und die Resultate verschiedener Massnahmen, wo besonders die räumliche Ordnung der Bäume in Frage kommt, noch mehr oder weniger unsicher sind.

Hauptzweck dieser kleinen Abhandlung, in der die Frage hauptsächlich vom Standpunkte der Wälder und des Waldbaus aus behandelt

¹⁾ HERMANN HELLRIEGEL, Beitr. zu den naturwissensch. Grundlagen des Ackerbaus etc. Braunschweig 1883. 263.

wird, ist der Versuch durch Literaturhinweise und durch Beschreibung von einigen kleineren, vom Verfasser selbst gemachten Versuchen mehr Aufmerksamkeit auf die Erscheinung zu lenken. In der Hauptsache hat nur die einschlägige deutsche Literatur Berücksichtigung gefunden, doch glaubt der Verfasser, dass so das wichtigste hervorgehoben worden ist. Dessen ungeachtet, das man sich zuweilen zu Versuchen, die eigentlichen Kulturpflanzen und die Waldbäume in gewissen Beziehungen neben einander zu stellen, mehr skeptisch und sogar ablehnend verhalten hat, glauben wir, dass ein solches Verfahren hier zweckmässig sein dürfte.

Die zitierte Literatur, die besprochenen Arbeitsmethoden u. a. sind wohl den Agrikulturchemikern, den Botanikern usw. gut bekannt und von ihrem Standpunkte aus betrachtet möchte es daher zwecklos und überflüssig erscheinen, sie hier nochmals so eingehend, wie es weiter unten geschehen ist, auseinanderzulegen. Daher sei hier ausdrücklich betont, dass diese Abhandlung speziell für Forstleute beabsichtigt ist, von denen man ja eine eingehendere Kenntnis der diesbezüglichen Literatur u. a. nicht in gleichem Masse voraussetzen kann.

Allgemeines über die räumliche Ordnung der Pflanzen

Obleich der grösste Teil der enormen Samenmengen, welche von den Pflanzen alljährlich produziert werden, auf verschiedene Weise zu Grunde geht, finden doch immerhin so viele Samen ein günstiges Keimbett und so viele junge Pflanzen eine Entwicklungsmöglichkeit für sich, dass bei weiterer Entwicklung der Pflanzen¹⁾ früher oder später sich ein Mangel in bezug auf den verfügbaren Raum geltend macht. Zwischen den Individuen resp. Arten entwickelt sich allmählich ein »Kampf«, dessen Resultat nach der Pflanzenart, dem Standort, der früheren Pflanzendecke u. a. verschieden ausfallen wird. Wie grosse Mengen von Individuen z. B. in einem Kiefernbestand und in einem Fichtenbestand während ihrer Entwicklung vom Pflanzenstadium zum Haubarkeitsalter in einigen Waldtypen zu Grunde gehen oder »sich ausscheiden«, zeigen z. B. folgende Zahlen aus unseren neuen Ertrags tafeln¹⁾. (S. 9)

Aus diesen Zahlen geht u. a. auch hervor, wie der ganze Abscheidungsprozess von dem Waldtypus abhängt²⁾.

Eine solche Ausscheidung findet auch in den Beständen von anderen Pflanzen sowohl von einjährigen wie von mehrjährigen statt. So existiert

¹⁾ YRJÖ ILVESSALO, Tutkimuksia metsätyyppien taksatorisesta merkityksestä j. n. e. (Mit deutschem Referat: Untersuchungen über die taxatorische Bedeutung der Waldtypen etc.). A. F. F. 15 (1920).

²⁾ Beiläufig sei bemerkt, dass doch die während einer bestimmten Zeit abscheidende Anzahl von Stämmen bei den beiden Baumarten und in verschiedenen Waldtypen relativ ungefähr gleich gross ist. — Übrigens wären spezielle Untersuchungen über diese und hiermit nahe zusammenhängende Frage von dem sogenannten Ausladungsvermögen der Bäume wünschenswert. Man braucht nur z. B. an das bekannte schwache Ausbreitungsvermögen der Fichte in Karelien u. a. denken.

Alter J.	OMT ¹⁾		MT		VT	CT
	Kiefer	Fichte	Kiefer	Fichte	Kiefer	
	Stammzahl pro ha					
30	3245	8050	4370	14800	6090	12600
40	2020	5300	2700	8300	4050	7500
50	1470	3570	1885	5760	2565	5020
60	1150	2810	1415	4220	1830	3655
70	940	2320	1140	3090	1418	2925
80	778	1940	940	2325	1137	2355
90	655	1620	800	1780	943	1880
100	580	1350	703	1445	820	1465
110	550	1135	625	1255	735	1180
120	531	985	570	1140	675	980

der Kampf ebenso auf einem Getreidefelde; während einer oder zwei Vegetationsperioden verkümmert und stirbt auch hier eine kleinere oder grössere Anzahl von Individuen je nach den Bodenverhältnissen, der Saattiefe, der Witterung usw., obgleich nähere statistische Angaben darüber noch fehlen.

Bekanntlich kommen die Pflanzen in der Natur in gesetzmässigen Gruppierungen, in sog. Pflanzenvereinen oder -gesellschaften vor und, wie besonders CAJANDER ²⁾ hervorgehoben hat, spielt der »Kampf ums Dasein« oder im obengenannten Sinne der »Kampf um den Raum« auch in ihrer Entstehung und Entwicklung eine wichtige Rolle. Wir brauchen nur z. B. die Entwicklung der Vegetation auf einer Brandfläche im Walde zu verfolgen um zu sehen, wie es anfangs genügend Raum auch für viele solche Arten gibt, die später von den biologisch kräftigeren Arten verdrängt, verschwinden und wie sich allmählich ein dem betreffenden Standort entsprechender Pflanzenverein od. Waldtyp bildet, der in den meisten Fällen ziemlich stabil sein dürfte. Keineswegs jedoch hört der Kampf damit auf, sondern er herrscht immer weiter und zwar

¹⁾ OMT = Oxalis-Myrtillus-Typ, MT = Myrtillus-Typ, VT = Vaccinium-Typ, CT = Calluna-Typ. — Ueber die Waldtypen vgl. besonders: A. K. CAJANDER, Ueber Waldtypen, A. F. F. 1 (1909) und Fennia 28 (1909); ferner: A. K. CAJANDER und YRJÖ ILVESSALO, Ueber Waldtypen II, A. F. F. 20 (1921) und Fennia 43 (1921).

²⁾ Siehe z. B. die oben erwähnten Abhandlungen über Waldtypen.

nicht nur zwischen den schon vorhandenen Pflanzenindividuen, sondern er richtet sich auch gegen neue Ankömmlinge.

Zwischen den Pflanzen braucht jedoch nicht immer ein Kampf zu herrschen. Sie können auch ziemlich gleichgültig oder indifferent zu einander sein und in gewissen Fällen sich sogar gegenseitig begünstigen. Bekanntlich gibt es viele verschiedene Formen von pflanzlichem Zusammenleben, wie z. B. die Epiphyten, die Lianen, (die Parasiten), die Saprophyten, die Mykorrhizen, die Knöllchenbakterien usw., in welchen man nur in beschränkter Masse oder überhaupt nicht von einem Kampfe reden kann.

Auch behauptet man, dass einige Arten mehr »sozial« oder geeigneter dazu seien eine Gesellschaft zu bilden als andere und dass in einigen Pflanzengesellschaften der Raum besser benutzt sei als in anderen. Je mehr Arten überhaupt zusammen leben um so genauer wird der Raum ausgenutzt, weil die Lebensbedürfnisse der verschiedenen Arten von einander abweichen können, ferner die Befriedigung der gleichen Bedürfnisse zu verschiedener Zeit erfolgt, einige Arten grosswüchsiger als andere sind usw.

Als Beispiel für solche Pflanzengesellschaften, in welchen der Raum möglichst weitgehend ausgenutzt ist, werden oft die tropischen Regenwälder angeführt. In diesen Wäldern kommen alle denkbaren Formen des Zusammenlebens und eine enorme Menge von verschiedenen Arten vor. Es gibt reichlich Schattenvegetation, eine Unmenge von Lianen und Epiphyten, die Baumkronen breiten sich in mehreren »Etagen« aus, es ist »Wald über dem Walde« ¹⁾.

Die Wälder der kälteren Klimazonen dagegen sind ziemlich undicht, die Schattenvegetation ist sehr dürftig und oft fehlt sie beinahe gänzlich, kurz gesagt, der Raum ist nur zum Teil ausgenutzt ²⁾. — Zwi-

¹⁾ Vgl. besonders die Beschreibungen von A. F. W. SCHIMPER in seinem Werke: Pflanzen-Geographie auf physiologischer Grundlage. Jena 1898.

²⁾ Was die Kiefernwälder betrifft, siehe z. B.: V. T. AALTONEN, Kangasmetseen luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa I. (Mit deutschem Referat: Über die natürliche Verjüngung der Heidewälder im finnischen Lappland I.) Comm. ex. inst. quaest. forest. finl. I (1919).

schen diesen Extremen stehen dann die temperierten und subtropischen Wälder.

Schon in unseren hiesigen Wäldern können wir in der in Frage stehenden Beziehung grosse Unterschiede bemerken, wie ein Vergleich z. B. zwischen den nordfinnischen trockenen Heidewäldern und den südfinnischen Hainwäldern zeigt. Der grösste Kubikinhalte pro Ha dürfte in den ersteren ungefähr 200 m³ sein während er in den letzteren ungefähr 600 m³ ist. Also ist der Wuchsraum jedenfalls nach dem Holzertrag in dem einen Falle viel besser ausgenutzt als in dem anderen. Und dass auch die nordfinnischen sowie die südfinnischen Wälder an u. für sich grosse Unterschiede aufweisen können, ist jedem Forstmanne zu Genüge bekannt. So sind z. B. in Mittel- und Südfinnland nach den Ertragstabellen die Gesamterträge von 120-jährigen Kiefern- und Fichtenbeständen auf verschiedenen Waldtypen pro Ha m³ wie folgt:

	OMT	MT	VT	CT	CIT, C-CIT ¹⁾
Kiefer	848	795	593	381	175
Fichte	739	704	—	—	—

In naher Beziehung zur Frage von der Ausnutzung des Raumes stehen auch einige Erscheinungen in den Verjüngungsverhältnissen der Wälder. Man kann u. a. überall bemerken, dass die verschiedenen Altersklassen mehr oder weniger der Fläche nach getrennt vorkommen. Hält man es doch für selbstverständlich, dass »unter dem Walde« keine Baumpflanzen wachsen! In den alten, ± undichten, trockenen Heidewäldern z. B. in Nordfinnland stellen sich zwar auch Pflanzen ein und zuweilen sogar in grossen Mengen, aber sie können doch unter den alten Bäumen nicht lange gedeihen, sie gehen aus oder verkümmern wenigstens stark²⁾. Und der Altersunterschied braucht nicht einmal sehr gross zu sein, damit ein Beobachter schon wahrnehmen kann, wie die älteren oder grösseren Bäume überhaupt auf ihre jüngeren oder kleineren Nachbarn einwirken und diese möglichst weit von sich entfernt halten (Abb. 1).

¹⁾ CIT, C-CIT = Cladonia- (Calluna-Cladonia-)Typ.

²⁾ Vgl.: V. T. AALTONEN, die auf S. 11 genannte Abhandlung.

In den besseren Waldtypen ist der genannte Unterschied nicht so scharf wie in schlechteren, lässt sich jedoch auch in jenen leichter oder schwerer, feststellen, je nach der Dichte des Waldes usw. (Siehe z. B. Abb. 3 u. 4, S. 50). — Die umgekehrte Frage schliesslich, wie kleinere Bäume auf grössere einwirken, ist noch kaum aufgestellt und noch weniger beantwortet worden.

Ausser in Wäldern kann man dieselbe Erscheinung auch anderorts beobachten, wo die Pflanzen einmal nahe genug, d. h. innerhalb ihrer gegenseitigen Wirkungskreise stehen. Man braucht nur z. B. an die Wirkung von Bäumen, welche an Ackerrändern wachsen, auf Feldgewächse zu denken, eine Erscheinung, die besonders auf unseren kleinen,

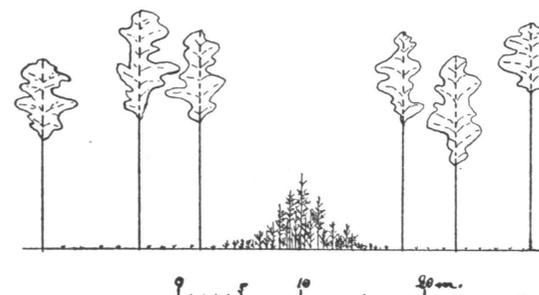


Abb. 1. Profil einer Verjüngungslücke
(Cladonia-Typ)

von Wald umgebenen Äckern allgemein ist. In den Gärten, in den Parks usw. kann man das Gleiche bemerken. In den forstlichen Saat- und Pflanzschulen z. B. sieht man, wie kräftig auf den Parzellen die Randpflanzen wachsen, während die mittleren allmählich mehr und mehr zurückbleiben (Abb. 2). Bekanntlich ist auch der Mehrertrag der Randpflanzen in den Feldversuchen besonders zu berücksichtigen¹⁾.

Es sind dies deutlich ins Auge fallende Erscheinungen. Es ist klar, dass die Pflanzen in den meisten Fällen auf ihre Nachbarn irgend welche Einwirkung ausüben, wenn auch in so geringem Masse und in solcher Form, dass wir diese Einwirkung nicht ohne weiteres entdecken können.

¹⁾ Siehe z. B.: THEODOR PFEIFFER, Der Vegetationsversuch. Berlin 1918. Ss. 49.

Ist nun aber einmal der verfügbare Raum begrenzt und kann nur eine bestimmte Menge von Pflanzen die Möglichkeit zu weiterer Entwicklung finden, so entsteht die Frage, wovon wird es abhängen, welche Individuen in diesem Kampfe siegen, welche untergehen werden. Warum ist der Wuchsraum zuweilen besser, zuweilen weniger gut ausgenutzt? Worauf beruht die Einwirkung der Pflanzen auf einander, die z. B. im Walde zur Abscheidung von so beträchtlichen Mengen von Bäumen führt? Mit welchen Waffen wird der Kampf um den Raum geführt?

In welchem Masse hier die erblichen Eigenschaften (Konstitutio), in welchem Grade die äusseren Verhältnisse (Situatio) bestimmend sind, darüber weiss man leider noch wenig. Da die Entwicklung eines Individuums natürlich davon abhängt, in welchem Masse seine Bedürfnisse und Forderungen befriedigt werden, und die letztgenannten sehr mannigfaltig und zumal bei verschiedenen Pflanzen oft verschieden



Abb. 2.

sind, wird auch das Ergebnis des Kampfes von vielen verschiedenen Faktoren abhängen.

Bekanntlich sind für das Leben der Pflanzen wichtig und entscheidend: die Wärme, das Licht, die Bestandteile der Luft, das Wasser, die Nährstoffe des Bodens; aber unsere Kenntnisse darüber, welche Bedeutung jedem einzelnen Produktionsfaktor in den verschiedenen Fällen und bei verschiedenen Pflanzen zukommt, sind noch ganz unzureichend. Auch sind die diesbezüglichen Untersuchungen hauptsächlich an Kulturpflanzen gemacht worden. Besonders zu berücksichtigen ist auch noch, dass die Forschung der eben genannten Produktionsfaktoren sich mehr auf einzelne Pflanzen gerichtet hat und nicht so viel auf die gegenseitige Wechselwirkung der Pflanzen, worum es sich jetzt vor allem handelt. In der Pflanzenphysiologie, in der Agrikulturchemie und in anderen verwandten Wissenschaftszweigen arbeitet man meist mit Pflanzen, als ob man sie ihrer natürlichen Umgebung, der Wirkungssphäre anderer Pflanzen enthoben hätte. Auch in der Pflanzenökologie wird

mehr Gewicht auf das Verhältnis der Pflanzen zur unorganischen Natur als auf dasjenige zu einander gelegt. Solche Ausnahmen, wie die vorzüglichen Untersuchungen von MÜLLER¹⁾, die Untersuchungen über Mykorrhizen und Knöllchenbakterien, über Fruchtwechsel usw. verändern die allgemeine Sachlage nicht.

Dass die Wärme und die Bestandteile der Luft keine entscheidende Rolle spielen können, ist selbstverständlich. Wichtig dagegen scheinen das Licht und die Nährstoffe des Bodens zu sein und so schreibt man auch besonders dem Lichte eine grosse Bedeutung zu.

SCHIMPER z. B. gibt dem Lichte eine höchstwichtige Bedeutung. Er schreibt u. a. über die tropischen Regenwälder: »Suchen wir in der Flucht der Urwaldbilder das gemeinsame festzuhalten, so fällt in erster Linie das Streben nach Licht in die Augen und die Möglichkeit, diesem Streben beinahe ungehindert zu folgen, ist in der grossen immerdauernden Feuchtigkeit gegeben«. Während das Bedürfnis nach Licht die Vegetation in die Höhe treibt, zieht dasjenige nach Feuchtigkeit sie nach unten. Dasselbe gilt auch im Sommerwalde (in winterkahlem Laubwalde)²⁾. »Doch besteht hier der Kampf ums Licht meist nicht, wie dort [im Regenwalde] in einem Wettbewerb kräftiger Organismen unter sich, in welchem sogar die Hochbäume durch kleine Gewächse besiegt werden, sondern nur in Anpassungen an das ungünstige Lichtklima«. Das Auftreten der Untervegetation hängt ganz von den Lichtverhältnissen ab. Die reichliche Schattenvegetation der wärmeren Klimazonen wird nach SCHIMPER zum Teil durch ihre stärkere Lichtintensität, zum Teil dadurch, dass, wie schon WIESNER (s. u.) gezeigt hatte, das Lichtbedürfnis der Pflanzen in den kälteren Klimaten grösser ist, erklärt. Dieselbe Pflanzenart gedeiht im wärmeren Klima noch in tiefem Schatten, im kälteren nur an kahlen Stellen.

Besonders seitdem WIESNER³⁾ durch seine umfangreichen Studien über das Lichtbedürfnis der Pflanzen gezeigt hatte, eine wie grosse Bedeutung

¹⁾ P. E. MÜLLER, Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin 1887.

²⁾ A. F. W. SCHIMPER, das auf S. 11 genannte Werk. S. 314, 589.

³⁾ J. WIESNER, Der Lichtgenuss der Pflanzen, Leipzig 1907, und andere Abhandlungen.

dem Lichte in der Morphologie, in der Geographie usw. der Pflanzen zukommt, hat man auch im Kampfe um den Raum zum grossen Teil einen Kampf um das Licht gesehen. Doch zog man auch die Konkurrenz, die zwischen den Pflanzen um den Nährstoffen des Bodens herrschen muss, in Betracht, wenn schon dieser Konkurrenz im Allgemeinen nur eine untergeordnete Bedeutung beigemessen wurde.

Der Standpunkt der betreffenden Wissenschaften ist, wie natürlich ist, auch im praktischen Pflanzenbau, im Waldbau, im Ackerbau, usw. herrschend gewesen.

HELLRIEGEL¹⁾ erwähnt, bei Besprechung seiner Untersuchungen über das Lichtbedürfnis der Kulturpflanzen, dass die Feldpflanzen immer bis zu einem gewissen Grade Schattenpflanzen sind. »Mit Ausnahme der ersten Jugendzeit, wo sie das Land noch nicht schliessen, und der letzten Lebensperiode, in welcher sie sich durch Absterben der Blätter wieder lichter stellen, beschattet und benachteiligt damit eine die andere. Die Pflanzen im kleinen Kulturgefässe stehen zu den Landpflanzen in Bezug auf das Licht ungefähr in demselben Verhältnisse, wie ein paar vereinzelt im freien Felde stehende Kiefern zu den im geschlossenen Bestande wachsenden Schwesterbäumen«. Noch fügt H. hinzu, dass in vielen den Feldbau betreffenden Fragen: »wird die Menge des auf eine gegebene Feldfläche fallenden Lichtes und die beste Ausnutzung derselben den ersten und wichtigsten Faktor bilden, den man zu beachten hat«.

MAYER erwähnt u. a., wie das Licht als Produktionsfaktor im Verhältnis zu den anderen Faktoren nicht im Minimum und demnach nicht entscheidend bei der Pflanzenproduktion ist, aber es kann doch beim praktischen Pflanzenbau, wo die Pflanzen sehr dicht stehen und einander beschatten, »das endgültige Mass für das Produktionsvermögen eines Stück Landes« sein²⁾. Nach MAYER sollte man immer die Sonnenenergie so gründlich wie möglich zur Produktion der organischen Substanz aus-

¹⁾ HERMANN HELLRIEGEL, die auf S. 7 genannte Arbeit, S. 405–6. (Siehe auch z. B. S. 399–400.)

²⁾ ADOLF MAYER, Ein Vegetationshaus ohne directes Sonnenlicht. Landw. Versuchsst. 23 (1879). 249–57.

zunutzen versuchen, indem man die Pflanzen möglichst dicht, in gemengten Beständen usw. anbaut. So kann man z. B. von den Gramineen einige als Obergras, einige als Bodengras anbauen, wodurch die gesamte Lichtausnutzung viel vollständiger wird¹⁾. Noch wird nach M. das im Verhältnis zu seiner Bedeutung für die Pflanzenproduktion zu sparsame Vorkommen des Lichts durch das Notleiden der beschatteten Pflanzen (Vergeilen) bei dichtem Stande bewiesen²⁾.

In ihren Untersuchungen über die Bedeutung des Wassers und des Lichts als Produktionsfaktoren bestätigten auch PFEIFFER u. a., dass die Beschattung auf den Ertrag vermindern einwirkte³⁾. In ihren Schlussfolgerungen sagen die Verfasser u. a.: »Die durch ein üppiges Pflanzenwachstum bedingte Selbstbeschattung setzt den Vegetationsfaktor »Licht« herab und trägt daher zu einer allmählich sinkenden Erntesteigerung, sofern letztere durch die günstigere Gestaltung anderer Vegetationsfaktoren verursacht wird, bei. Die Grenze, bei der dieser Einfluss der Selbstbeschattung in Wirksamkeit zu treten beginnt, lässt sich noch nicht mit Sicherheit angeben, ein verhältnismässig schwacher Pflanzenbestand hat aber jedenfalls noch nicht unter dem gekennzeichneten Lichtmangel zu leiden«. Die Selbstbeschattung »beeinträchtigt einerseits die Assimilation, andererseits die Transpiration der Pflanzen und giebt daher zu relativ sinkenden Ernteerträgen Veranlassung«⁴⁾.

¹⁾ ADOLF MAYER, Über die Atmungsintensität von Schattenpflanzen. Landw. Versuchsst. 40 (1892). 203–16.

²⁾ Derselbe, Das Maximum der Pflanzenproduktion. Ibidem 48 (1897). 61–76.

³⁾ TH. PFEIFFER, E. BLANCK und M. FLÜGEL, Wasser und Licht als Vegetationsfaktoren und ihre Beziehungen zum Gesetze vom Minimum. Landw. Versuchsst. 76 (1912). 169–236.

⁴⁾ Nach diesen Verfassern haben u. a. STEBLER und VOLKART eingehende Studien über den Einfluss der Beschattung auf den Rasenbestand von Wiesen und Weiden gemacht und betont, dass die Beschränkung der Transpiration durch die Beschattung vielleicht von noch grösserer Bedeutung als diejenige der Assimilation für die Pflanzen sei, indem dadurch die Aufnahme der Mineralsalze eine Behinderung erlitt.

Siehe auch z. B.: TH. PFEIFFER, E. BLANCK und W. SIMMERMACHER, Beziehungen zwischen dem Einfluss von Licht und Stickstoff als Minimumfaktoren auf das Wachstum der Pflanzen. Landw. Versuchsst. 86 (1915). 45–62.

RUSSELL hebt hervor, dass Licht, welches schon durch ein grünes Blatt gegangen ist, für die Vegetation praktisch ohne Wert ist. »Daher will eine Pflanze nicht im Schatten einer anderen wachsen; ein dichter Bestand, wie bei Hafer, Weizen oder Mais verhindert die Lichtzufuhr für kleinere, darunterstehende Pflanzen und behindert daher durch zu starke Beschattung tatsächlich deren Wachstum, indem es sie gewissermassen erstickt. Das ist oft die billigste Methode, um verunkrautetes Land zu reinigen»¹⁾.

Aus der Literatur über den Pflanzenbau und seine Grundlagen könnte man zahlreiche andere Zitate anführen, in welchen ähnliche Ansichten ihren Ausdruck finden.

Die Dichte der Kulturpflanzen bezw. der jedem Individuum zur Verfügung stehende Standort besitzt im Pflanzenbau eine grosse praktische Bedeutung, denn sie steht in naher Beziehung zur Bodenbearbeitung, zur Düngung, zur Saatmenge usw. Manche Forscher und Praktiker haben deshalb dieser Frage ihre Aufmerksamkeit geschenkt und auch hier sind zuweilen das Licht, zuweilen die Nährstoffe des Bodens als massgebend und entscheidend angesehen worden.

Um die Bedeutung der Grösse des Bodenvolumens zu untersuchen, stellte schon SACHS einige Versuche an²⁾. Er hatte Buchweizen in zwei Blumentöpfen, in dem einen 6, in dem anderen 12 Exemplare, in gleicher Entfernung von einander. Anfangs entwickelten sich die Pflanzen in beiden Töpfen gleich schnell, bald aber liess sich ein Unterschied bemerken und zur Zeit der Samenreife war die Verschiedenheit zwischen den 6 und den 12 Pflanzen »höchst überraschend. Die ersteren waren grosse kräftige Pflanzen mit vielen Zweigen, grossen, dunkelgrünen Blättern und sehr vielen Blüten; die letzteren hatten kaum ein Drittel der Höhe, sehr kleine fahle Blätter und waren von kümmerlichem, zwerghaftem Aussehen».

¹⁾ EDWARD J. RUSSELL—HANS BREHM, Boden und Pflanze. Dresden u. Leipzig 1914. 32.

²⁾ Bericht über die physiologische Thätigkeit an der Versuchsstation in Tharandt von Dr. JULIUS SACHS. II. Wurzelstudien. Landw. Versuchsst. 2 (1860). 1—31.

Ähnliche Versuche haben später noch viele Forscher angestellt und sind sie zu gleichen zuweilen aber auch zu verschiedenen Resultaten gelangt. Weil diese Untersuchungen vom Standpunkte der zu behandelnden Frage aus ein besonderes Interesse erboten, wollen wir im folgenden etwas näher auf sie eingehen.

Die Versuche von ZÖLLER mit Zwergbohnen zeigten, dass es hinsichtlich des Ertrages ziemlich gleichgültig war, ob 2, 3 oder 4 Pflanzen in $3\frac{1}{2}$ l Boden wuchsen¹⁾. In fruchtbarem Boden liefert nach Z. eine grosse Pflanzenzahl grössere Erträge, eine kleinere Pflanzenmenge dagegen einen verhältnismässig niedrigeren Ertrag. In mittlerem Boden wiederum geben eine grössere und eine kleinere Menge von Pflanzen ungefähr gleich hohe Erträge, in einigen Fällen eine kleinere Pflanzenzahl noch höhere als eine grössere. In fruchtbarem Boden kann man demnach eine grössere Aussaatmenge verwenden als in magerem Boden.

Bei seinen Gefässversuchen richtete auch HELLRIEGEL sein Augenmerk besonders auf die Bedeutung des Bodenvolumens und stellte eine Menge von Versuchen an, um sie näher kennen zu lernen. Es zeigte sich, dass die Veränderung des Bodenvolumens — es geschah dies durch Benutzung von verschiedenen grossen Gefässen oder von verschiedenen Pflanzenmengen in gleich grossen Gefässen — auf die Produktion immer eine Einwirkung ausübte; je grösser oder kleiner das einer einzelnen Pflanze zur Verfügung stehende Bodenvolumen war, um so grösser oder kleiner war im Allgemeinen auch der Ertrag. Auch wurde konstatiert, dass wenn den Pflanzen ein besonders grosses Bodenvolumen zur Verfügung steht, sie einen gewissen Luxus treiben, und dass erst nachdem das Bodenvolumen bis zu einer bestimmten Grenze herabgesunken ist, die volle Ausnutzung des Bodenraumes beginnt. Dass die Pflanzenzahl jedoch keinen allzu grossen Einfluss auf die Produktion hatte, das zeigen z. B. folgende, einer Versuchsserie entnommene Zahlen²⁾.

¹⁾ PH. ZÖLLER, Vegetationsversuche und agrikulturchemische Untersuchungen. II. Bewurzelungsversuche. Journ. f. Landw. II. 2 (1867). 193—204. Auch: Journ. f. Landw. N. F. 1 (1866). 199—225.

²⁾ HERMANN HELLRIEGEL, das auf S. 7 genannte Werk. S. 242.

Anzahl der Pflanzen (Gerste) pro Gefäss	Trockensubstanz im Ganzen mg
1	33158
2	31312
3	31224
4	39499
6	38934
8	41815
12	41555
16	41181
24	41654

Das Bodengewicht war in diesen Versuchen 12.5 kg. In einigen anderen Versuchsreihen betragen die Bodengewichte 5 kg und 1.7 kg, und auch in diesen wurde durch Erhöhung der Pflanzenzahl der Ertrag, obgleich nicht um vieles, vergrößert. In jeder Versuchsreihe war eine Grenzlinie zu bemerken, — in der obengenannten Serie zwischen 6 und 8 — oberhalb derer der Ertrag auch durch eine grössere Pflanzenzahl sich nicht mehr vergrößert und unterhalb derer der Ertrag parallel mit der abnehmenden Pflanzenzahl sinkt. — Auf Grund seiner Untersuchungen hält HELLRIEGEL das Bodenvolumen oder den Wuchsraum für einen Produktionsfaktor, eine Ansicht, die er auch schon früher ausgesprochen hatte und gegen die besonders MAYER polemisiert hatte (wie HELLRIEGEL in demselben Zusammenhange erwähnt).

Zu gleichem Resultate gelangte auch LEMMERMANN obgleich nur anfangs bei Benutzung von Sandkulturen ¹⁾. Um die Wasserverhältnisse für Pflanzen gleich zu halten, hat LEMMERMANN später die Wasserkultur (mit Mais und Gerste) angewandt, und hat konstatieren können, dass der Standraum keine besondere Einwirkung ausübt und somit auch nicht einen Produktionsfaktor bilden kann ²⁾.

¹⁾ OTTO LEMMERMANN, Untersuchungen über den Einfluss eines verschieden grossen Bodenvolumens auf den Ertrag und die Zusammensetzung der Pflanzen. Journ. f. Landw. 51 (1903). 1—40, 279—85.

²⁾ Derselbe, Untersuchungen über den Einfluss eines verschieden grossen Bodenvolumens auf die Entwicklung der Pflanzen. Ibidem 53 (1905). 173—77.

Resultate gleichartiger Versuche haben später auch noch u. a. MITSCHERLICH und PFEIFFER publiziert.

MITSCHERLICH hat seine Versuche mit verschiedenen Pflanzen (Senf, Erbsen, Rüben, Buchweizen, Möhren, Hafer) und unter Anwendung von verschieden konzentrierten Nährlösungen ausgeführt. Die Produktion war im Allgemeinen entschieden höher bei Vergrößerung des den Pflanzen zur Verfügung stehenden Bodenvolumens. Die mit Hafer gemachten Versuche ergaben z. B. folgende Resultate ¹⁾:

Nährstoff- konzentration	Relatives Bodenvolumen				
	1:	2:	3:	4:	5:
	Oberirdische Trockensubstanz in Gramm				
1	35.4 ± 1.2	46.9 ± 1.3	53.8 ± 1.2	65.0 ± 1.7	68.9 ± 1.5
2	41.6 ± 2.8	66.7 ± 1.4	70.0 ± 1.9	77.3 ± 0.7	77.1 ± 2.6
4	43.6 ± 1.4	65.6 ± 1.7	89.4 ± 4.0	104.8 ± 1.1	108.0 ± 3.1
8	49.5 ± 1.1	69.6 ± 2.5	79.1 ± 2.8	98.3 ± 3.4	106.2 ± 3.1

Bei den Senfversuchen war die Einwirkung des Bodenvolumens jedoch nicht so hervortretend.

In den Versuchen von PFEIFFER, deren eigentlicher Zweck die Untersuchungen über die Einwirkung der Steine auf die Pflanzenentwicklung war, hatte das Bodenvolumen keinen nennenswerten Einfluss auf den Ertrag von Möhren und angebautem Hafer ²⁾.

Im Allgemeinen zeigen also die Versuche, dass jedenfalls innerhalb bestimmter Grenzen der Ertrag parallel dem zunehmenden Bodenvolumen steigt, wenngleich man letzteres als solches nicht als einen Produktionsfaktor bezeichnen kann. Nur als Träger des Wassers bzw. der Nährstofflösung bildet das Bodenvolumen einen Produktionsfaktor, wie schon u. a. PFEIFFER hervorgehoben hat.

Untersuchungen über die Saattiefe bzw. die Aussaatmenge und

¹⁾ Zitiert nach PFEIFFER, das auf S. 13 genannte Werk. S. 34. (Ursprünglich: Landw. Jahrb. 49 [1916]. 346.)

²⁾ PFEIFFER, das auf S. 13 genannte Werk. S. 32. (Ursprünglich: PFEIFFER und SIMMERMACHER, Landw. Versuchsst. 91.)

über die Saatmethoden stellte besonders WOLLNY an¹⁾. Auch nach ihm steigt der Ertrag mit dem Bodenvolumen bis zu einer gewissen Grenze, aber nicht gleichmässig, sondern zuerst progressiv und dann allmählich sinkend. Was die Aussaatmenge in ihrer Beziehung zur Beschaffenheit des Bodens betrifft, so braucht man zur Erreichung des Ertragsmaximums um so weniger Samen, je fruchtbarer der Boden ist. Bei einer gleich grossen Saatmenge auf fruchtbarem und magerem Boden würde auf ersterem ein Gedränge mit allen seinen nachteiligen Folgen eintreten. Je mehr überhaupt die klimatischen und Witterungsverhältnisse die Pflanzenentwicklung beeinträchtigen, um so grössere Saatmenge ist zu wählen. — Bei der Aussaat muss man den Wuchsraum so gleichmässig wie möglich auf jede einzelne Pflanze verteilen und daher ist die Reihensaat viel vorteilhafter als die Breitsaat. Was die Reihenentfernung betrifft, ist bei gleicher Saatmenge der Ertrag bei einer bestimmten Entfernung am grössten und sinkt wenn die Zwischenräume grösser oder kleiner werden. Das gleiche gilt für das Verhältnis zwischen Ertrag und Entfernung in den Reihen. So muss man auf fruchtbarem Boden in den Reihen grössere Reihenentfernung und kleinere Saatmenge als auf magerem Boden anwenden.

Was besonders die Saatchichte von Mais betrifft, haben u. a. die Versuche von WEISER und ZAITSCHEK gezeigt, dass bei günstigen Witterungsverhältnissen der dicht wachsende Mais die grössten Erträge liefert, in einem trockenen Sommer jedoch der undichter wachsende²⁾.

¹⁾ E. WOLLNY, Untersuchungen über den Einfluss des Standraumes auf die Entwicklung und die Erträge der Kulturpflanzen. Journ. f. Landw. 29 (1881). 25—62, 217—55, 493—536.

— Vgl. noch u. a.:

EDUARD STÖSSNER, Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Aussaattiepen auf die Entwicklung einiger Getreidesorten. Landw. Jahrb. 16 (1887). 1—133.

EDLER und LIEBSCHER, Über die Wirkung von Korn- und Ährgewicht des Saatgutes auf die Nachzucht. Journ. f. Landw. 40 (1892). 47—84.

C. V. SEELHORST und PANAOVIC, Einfluss der Standweite auf die Ausbildung und die chemische Zusammensetzung der Pflanzen. Journ. f. Landw. 46 (1899). 379—89.

²⁾ STEPHAN WEISER und ARTHUR ZAITSCHEK, Über den Einfluss der Saatchichte auf den Ertrag und Nährwert des Futtermais. Landw. Versuchsst. 81 (1913). 49—100.

So erweist sich die undichte Saat als ein Schutzmittel gegen Trockenheit. Zu demselben Resultat bezüglich des Futtermais' ist früher auch schon CSERHATI gekommen¹⁾. Auf frischem Boden gibt die dichte Saat höhere Ernten als die undichte. Im Allgemeinen sind die einzelnen Pflanzen um so kleiner, je dichter die Saat ist, aber eine grössere Pflanzenzahl bewirkt, dass der Ertrag grösser als bei undichter Saat ist. Ausserdem kann man bemerken, dass je weiter man den Futtermais sät, einen um so geringeren Teil der Pflanze machen die Blätter aus.

Ausser auf den Gesamtertrag als solchen scheint die Standweite auch auf andere Eigenschaften der Kulturpflanzen einzuwirken, so z. B. auf die Länge und die Dicke der Halme, auf die Ährenlänge und Kornmenge, auf die chemische Zusammensetzung der Pflanzen, auf die Blüte- und Erntezeit usw.²⁾. Man hat z. B. bemerkt, dass weitstehende Zuckerrüben zuckerärmer, aber an N und Asche reicher als enger stehende sind. — Dass die Standweite speziell für die Knollengewächse (Kartoffeln u. a.) von grosser Bedeutung ist, ist eine bekannte Tatsache.

Wie schon erwähnt, hat man bei diesen Untersuchungen, soweit man überhaupt den Ursachen, auf welchen die Einwirkung einer Veränderung des Bodenvolumens bzw. Wuchsraumes zurückzuführen wäre, Beachtung geschenkt hat, als solche das Licht und die Bodennährstoffe hervorgehoben.

SACHS macht hinsichtlich der Resultate seiner obengenannten Versuche³⁾ darauf aufmerksam, dass die bessere Entwicklung der 6 Pflanzen nicht auf bessere Belichtung zurückzuführen sei, im Gegenteil war die Beschattung bei den 6 Pflanzen stärker als bei den 12 Pflanzen. Die Ursache lag auch nicht in den Wasserverhältnissen, sondern darin, dass die Nährstoffmenge des Bodens wohl für 6 Pflanzen, aber nicht für 12 Pflanzen ausreichend war.

Als Erklärung für seine, im Anfange unserer Abhandlung erwähnte

¹⁾ ALEXANDER CSERHATI, Versuche über den Grünmais. Journ. f. Landw. 38 (1890). 349—74.

²⁾ Siehe z. B. die auf S. 22 erwähnten Abhandlungen von WOLLNY und V. SEELHORST u. a.

³⁾ S. 18.

Äusserung über den Wuchsraum, fährt HELLRIEGEL fort: »Dieser unbestreitbare Satz hat keine praktische Bedeutung für den oberirdischen Teil der Gewächse, denn lange bevor sich zwei benachbarte Pflanzen mit ihren Stämmen und Zweigen räumlich drängen und behindern, treten sie nach zwei anderen Richtungen in Konkurrenz, nämlich in Beziehung auf die Benutzung der in der Atmosphäre vorhandenen Nahrungsmittel und des Lichtes». Die Wurzeln dagegen können sich nicht so ungehindert entwickeln. Auf dem Felde gibt es wohl relativ viel Raum für die Wurzeln, aber z. B. bei Gefässversuchen kann die Einwirkung des Bodenvolumens auf die Entwicklung der Wurzeln und so auch auf die oberirdischen Pflanzenteile sehr bedeutend sein. Nach H. hängt also der Einfluss des dichteren oder lichtereren Bestandes der Pflanzen auf den Ertrag auf dem Felde von »atmosphärischen Nährstoffen« ab, in den Vegetationsversuchen kommt noch das Zusammendrängen des Wurzelwerks hinzu und zwar in einem Grade, »welcher Besorgnis erregen kann«.

Nach MAYER¹⁾ ist die Behauptung, dass der Raum ein Produktionsfaktor sei, insofern richtig, dass eine Pflanze, deren Wurzeln sich entweder in einem kleinen Gefässe oder infolge zu grosser Nähe an eine andere Pflanze nicht frei entwickeln können, unter schwierigeren Bedingungen lebt als eine andere Pflanze, der ein grösserer Raum allein zur Verfügung steht. In einer gleich schwierigen Lage befindet sich eine Pflanze, deren oberirdischen Teile infolge von Beschattung durch benachbarte Pflanzen oder aus anderen Gründen, zurückbleiben. Im ersteren Falle stehen der Pflanze weniger Nährstoffe, im zweiten Falle weniger Licht zur Verfügung.

WOLLNY²⁾ hält als Hauptursache für einen relativ um so höheren Ertrag, je kleiner das einer Pflanze zukommende Bodenvolumen ist, den Umstand, dass die Pflanzen die Bodennährstoffe um so besser ausnützen können. Innerhalb eines kleineren Raumes kommen die Wurzeln in näherer Berührung mit den Bodenteilchen. Aus einer dichteren Stel-

lung herrührende gegenseitige Beschattung wird jedoch nachteilig wirken, weil die Wurzeln sich ebenso wie die Blätter dadurch schlechter entwickeln. Eine sehr dichte Stellung wirkt auch ungünstig auf die Wärmeverhältnisse des Bodens. Noch ist zu berücksichtigen, dass je dichter die Pflanzen wachsen, um so trockener der Boden sein wird, wie u. a. aus folgenden Versuchen von WOLLNY hervorgeht.

Zeit	Pflanze	Die Anzahl der Pflanzen auf 4m ²	Die Feuchtigkeit des Bodens
13/VI 1875	Erbsen	64	20.11 %
		110	14.71 »
		144	11.93 »
13/VI 1875	Kartoffel	9	19.77 »
		25	11.21 »
		49	10.59 »
4/VIII 1875	Rüben	16	23.14 »
		36	17.53 »
		49	15.66 »
4/VIII 1875	Grünmais	16	18.93 »
		36	19.36 »
		100	17.42 »
17/VIII 1875	Grünmais	16	14.15 »
		36	12.10 »
		100	12.13 »

So dürfte auf den niedrigeren Ertrag von dichtstehenden Pflanzen auch die grössere Trockenheit des Bodens einwirken.

In einer lichten Stellung sinkt der Ertrag dadurch, dass zwischen den Pflanzen ungenützter Boden liegt, den die Wurzeln der Pflanzen nicht erreichen können. WOLLNY hebt noch hervor, dass es anfangs keinen Unterschied zwischen einer weiteren und einer dichteren Stellung gibt; Wärme, Licht und Wasser sind ausreichend vorhanden und die Wurzelsysteme sind noch nicht so weit entwickelt, dass sie sich in ihrer Nahrungsaufnahme gegenseitig etwa beeinträchtigen könnten. Als einen Vorteil der Reihensaat gegenüber der Breitsaat erwähnt WOLLNY

¹⁾ S. 20.

²⁾ S. 22 (Journ. f. Landw. 29 [1881]. 25—62.).

noch, dass in der ersteren die Ausnutzung des Lichts vollständiger ist als in der letzteren.

Beim Referieren der obengenannten Untersuchungen von HELLRIEGEL, LEMMERMANN u. a. und auch auf Grund seiner eigenen Versuche glaubt PFEIFFER, wie schon erwähnt ¹⁾, dass das Bodenvolumen oder der Wuchsraum nur als Träger des Wassers bzw. der Nährstoffe einen Produktionsfaktor bildet. Wenn so z. B. Pflanzen verhältnismässig dicht stehen oder der jedem Individuum zukommende Raum relativ klein ist und die Pflanzen infolge dessen klein bleiben, beruht dies darauf, dass jedes Individuum weniger Wasser und Nährstoffe erhalten kann. PFEIFFER hat jedoch besonders darauf aufmerksam gemacht, dass bei einer dichten Stellung die Selbstbeschattung beeinträchtigend auf den Ertrag wirkt. Bei Besprechung der Notwendigkeit von sog. Schutzstreifen in Feldversuchen, erwähnt PFEIFFER ²⁾ u. a. einige Versuche von SCHNEIDEWIND, in denen einige Parzellen von 0.8 m breiten Schutzstreifen umgeben waren und einige unmittelbar aneinander stiessen. Auf den ersteren Parzellen war der Ertrag bedeutend höher und zwar dank der abweichend kräftig entwickelten Randpflanzen. Nach PFEIFFER wäre dies darauf zurückzuführen, dass den Randpflanzen mehr Licht und die Nährstoffe des unbebauten Schutzstreifens zur Verfügung standen.

Auch v. SEELHORST hebt hervor, dass die Pflanzen in einer lichten Stellung mehr Wasser und Nährstoffe erhalten können ³⁾.

In diesem Zusammenhang sei noch die Behauptung erwähnt, die Pflanzen könnten auch mittels der von ihnen ausgeschiedenen Giftstoffe auf einander einwirken. Damit wurden u. a. die Beobachtungen von PICKERING über die nachteilige Einwirkung einer Grasnarbe auf darin stehende Apfelbäume erklärt ⁴⁾.

Schon diese Hinweise auf die einschlägige Literatur zeigen, dass die auf dem Gebiete des Anbaus von Kulturpflanzen gemachten Beobach-

¹⁾ S. 21.

²⁾ Das auf S. 13 genannte Werk, Ss. 49.

³⁾ Die auf S. 22 genannte Abhandlung von v. S. und PANAOTOVIC.

⁴⁾ RUSSELL-BREHM, das auf S. 18 genannte Werk. Ss. 152-3.

tungen und Untersuchungen noch keine endgültige Antwort darauf gegeben haben, wovon die Einwirkung der Pflanzen auf einander eigentlich abhängt. Bald wird auf die oberirdischen bald auf die unterirdischen Pflanzenorgane das Hauptgewicht gelegt und kann sogar ein und derselbe Forscher einander widersprechende Erklärungen geben, ganz abgesehen davon, dass die Erscheinung gerade von dem jetzt in Frage stehenden Standpunkte aus überhaupt noch nicht behandelt worden ist.

Im Waldbau und in der Waldbauwissenschaft hat man hinsichtlich der Wirkung von Bäumen auf einander oder der räumlichen Ordnung im Allgemeinen dem Lichte eine massgebende Rolle zugewiesen, obgleich eingehendere Untersuchungen noch fehlen ¹⁾. Die Bäume sind, wie bekannt, in lichtfordernde und schattenertragende Arten gruppiert worden und bei waldbaulichen Massnahmen, wie bei Verjüngungs- und Durchforstungshieben, hat diese Einteilung eine wichtige Richtschnur gebildet. Zwar sind einige Forstmänner der Meinung gewesen, dass auch der Nahrungsaufnahme aus dem Boden eine wichtige, wenn nicht entscheidende Bedeutung bei der Verjüngung und Entwicklung des Waldes zukäme, aber der herrschende Standpunkt ist sich doch gleich geblieben.

Dass die in Frage stehende Erscheinung besonders vom Standpunkte des Waldbaus aus von grosser praktischer und geradezu grundlegender Bedeutung ist, ist augenfällig ²⁾. Ehe man einen Abtriebshieb mit natürlicher Verjüngung erfolgreich ausführen kann, muss man sich darüber klar sein, auf welche Weise und in welchem Masse die Mutterbäume auf die Pflanzen einwirken werden, oder wie der Wuchsraum sich zwischen beiden verteilen wird. Zur Erreichung des grössten oder überhaupt des gewünschten Holztrags bedarf es einer eingehenderen Kenntnis darüber, einen wie grossen Wuchsraum ein Baum beansprucht,

¹⁾ Vgl. z. B.: V. T. AALTONEN, die auf S. 11 genannte Abhandlung, S. 200-44.

Eine neuere gründliche historische Darstellung der Waldbauwissenschaft bietet: ANTON BÜHLER, Der Waldbau nach wissenschaftlicher Forschung und praktischer Erfahrung. Stuttgart, I. Band 1918, II. Band 1922.

²⁾ Vgl. u. a. die diesbezüglichen Ausführungen von C. WAGNER in seinem: Die Grundlagen der räumlichen Ordnung im Walde. Tübingen 1907.

oder wie die Dichte und der Ertrag des Waldes sich zu einander verhalten. Ebenso wenig kann man an einen Unterholzanbau denken, wenn man nicht weiss, wie das Oberholz auf das Unterholz einwirkt oder umgekehrt. Und bei der künstlichen Verjüngung muss man sich darüber im klaren sein, welche Bedeutung dem dichteren oder undichteren Anbau vom Standpunkte der Entwicklung und Ertragsfähigkeit des Waldes aus zukommt.

Es braucht hier kaum betont zu werden, dass unsere bisherigen Kenntnisse noch durchaus unzulänglich sind, um ein klares Bild von diesen und anderen diesbezüglichen Fragen zu gewinnen. Wie weit die in der Entwicklung von Kulturpflanzen festgestellten Gesetzmässigkeiten auch für Waldbäume gültig sind, lässt sich noch nicht genügend übersehen, doch lässt sich vieles sicherlich ohne Weiteres auch auf die letzteren übertragen.

Was die Einwirkung des Standraumes oder Bodenvolumens auf den Holzertrag betrifft, so könnte man allerdings denken, dass die Bäume sich hier wie die Kulturpflanzen verhalten würden. Und dass dieses auch zutrifft, jedenfalls in den ersten Lebensjahren einiger Bäume, geht u. a. aus den Versuchen von MITSCHERLICH und DÜRING mit Fichten- und Erlenpflanzen hervor¹⁾. Im folgenden werden einige Zahlen aus ihrer Abhandlung, aus den Ergebnissen der III:ten Versuchsreihe wiedergegeben (S. 29).

Die Versuche wurden mit 1-jährigen Fichtenpflanzen, 10 pro Gefäss, und mit Haferpflanzen, 35 pro Gefäss, ausgeführt. Das Bodenvolumen wechselte: $\frac{2}{8}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{4}{8}$, $\frac{6}{8}$, $\frac{8}{8}$ und die Pflanzen wurden ausserdem zum Teil mit Phosphorsäure (Thomasmehl) gedüngt. Ohne Phosphorsäuredüngung z. B. waren die Erträge (Trockengewicht in g)²⁾:

¹⁾ EILH. ALFRED MITSCHERLICH und FRANZ DÜHRING, Gefässversuche mit Erlen- und Fichtenpflanzen. 1920. Zeitschr. f. Forst- und Jagdw.—53 (1921). 486—94.

²⁾ Die Phosphorsäuredüngung hatte auf beide Pflanzen den gleichen Einfluss, und braucht man daher nach den Verfassern, zur Feststellung des Düngebedürfnisses der Waldböden keineswegs die Forstpflanzen heranzuziehen, sondern kann hierfür auch jede andere Pflanze z. B. der Hafer, anwenden. Bei Phosphorsäuregaben von 0.40 bis 8.00 g könnte z. B. bei der Fichte das kleinste Bodenvolumen gleich grosse Erträge wie das grösste Bodenvolumen ohne Düngung liefern.

Bodenvolumen in Achteln				
2	3	4	6	8
Haferversuche				
5.9 ± 0.5	9.8 ± 0.6	13.9 ± 0.6	17.2 ± 0.9	18.9 ± 0.7
Fichtenversuche				
26 ± 0.7	33 ± 2.1	40 ± 1.0	40 ± 0.9	35 ± 1.8

Die Wachstumsleistungen der Bestände bei verschiedenen starken Durchforstungen können natürlich auch Aufschluss darüber geben, inwiefern der Ertrag von der Stammzahl bzw. von dem Bodenvolumen abhängt. Wie u. a. die Zusammenstellungen von mitteleuropäischen Versuchsfeldern von BÜHLER zeigen, können bei gleichem oder ungefähr gleichem Alter die Holzmassen auf derselben Bonität gleich oder ungefähr gleich hoch sein, auch wenn die Stammzahlen um 20—50 % niedriger sind. Bezüglich der Fichte gibt BÜHLER u. a. folgende Zahlen an¹⁾:

Revier	Holzart	Gegenw.		Stammzahl	Holzmasse Gm
		Alter	Durchf. Grad		
Weingarten (Wü.)	Fichte	62	B	1042	817
			C	764	767
Hinternah (Preuss.)	—,,—	55	A	1216	398
			B	1160	376
			C	1068	365
Schleusingen (Pr.)	—,,—	77	A	994	482
			B	838	510
			C	693	529

Dass im Walde der jedem Baumindividuum zukommende Raum je nach dem Standort bedeutend wechseln kann, geht u. a. aus unseren Ertragstafeln hervor. Die Bestände der schlechteren Waldtypen sind, wie auch schon erwähnt, lichter als die der besseren, vorausgesetzt natür-

¹⁾ Das auf S. 27 genannte Werk, II. 479.

Noch hat besonders KUNZE Untersuchungen über den Einfluss der Standweite bei Pflanzungen auf die Entwicklung der Bestände gemacht. Ich habe leider seine diesbezüglichen Abhandlungen nicht in Händen gehabt; einige Zahlenreihen gibt u. a. WAHLGREN an. (A. WAHLGREN, Skogsskötsel, Stockholm 1914. 508.)

lich, dass man Bestände mit gleichem Mitteldurchmesser mit einander vergleicht.

Bei der Verjüngung des Waldes bedeutet dies natürlich, dass der Jungwuchs in den schlechteren Waldtypen sich nicht so nahe den Mutterbäumen entwickeln kann als in den besseren Typen, oder: auf den ersteren müssen die Verjüngungslücken grösser sein als auf den letzteren. Man darf jedoch hier nicht die Verjüngung mit der Ansammlung verwechseln. Letztere kann wohl auch in relativ kleinen Lücken und nicht so sehr vom Standorte abhängig erfolgen, wenn nur der Bodenzustand für die Keimung geeignet ist. Die Einwirkung des Wuchsräumens oder die räumliche Ordnung tritt erst dann zum Vorschein, wenn die Pflanzen sich weiter entwickeln, und der Einwirkungsgrad hängt von dem Waldtyp oder Standort ab¹⁾.

Ein gleich grosser Wuchsraum kann also bei Kulturpflanzen als auch bei Waldbäumen je nach den Standortverhältnissen einen grösseren oder kleineren Ertrag liefern oder verschieden grosse Wuchsräume einen gleich hohen Ertrag. Das Bodenvolumen spielt auch hier als Produktionsfaktor eine Rolle insofern, als es der Träger des Wassers und der Nährstoffe ist. Welche Dichte oder welcher Raum jedoch für ein Individuum in jeweiligen Verhältnissen den grössten Ertrag liefert und wie der Standort auf die technischen und anderen Eigenschaften des Holzes einwirkt, dazu bedarf es noch eingehenderer Untersuchungen. In Naturwäldern haben, wie z. B. unsere Ertragstabellen beweisen, die Stammzahlen und Kubikmassen je nach dem Waldtyp, dem Alter des Bestandes und der Holzart eine bestimmte Grösse, ob man jedoch z. B. um den grössten Starkholzertrag, der wirtschaftlich ja so wichtig ist, zu erreichen,

¹⁾ Einige Referate — auch in deutscher Sprache veröffentlichte — aus meinen früheren diesbezüglichen Darlegungen lassen erkennen, dass man die Frage so verstanden hat, als ob ich behauptet hätte, die Wurzelkonkurrenz sei die hauptsächlichste Ursache des Fehlens oder Hinsiechens von Jungwuchs in nordfinnischen Kiefernwäldern. Es sei daher besonders auf den erwähnten Umstand aufmerksam gemacht.

die Bestände ebenso dicht wachsen lassen oder ebensoviel wie die Natur »durchforsten« sollte, das bleibt noch festzustellen.

Wenn nun einmal der Wuchsraum oder die räumliche Ordnung vom Standpunkte des Ertrages und der Entwicklung des Waldes aus eine so grosse Bedeutung hat, so müssen wir natürlich zu erfassen suchen, worauf die Einwirkung der Bäume auf einander eigentlich beruht. Dasselbe gilt natürlich auch — ceteris paribus — für andere Pflanzen.

Der Verfasser hat schon früher darauf aufmerksam gemacht, dass die Beleuchtungsverhältnisse wahrscheinlich nur eine untergeordnetere Rolle spielen¹⁾. Manche Erscheinungen in der Entstehung und Entwicklung des Waldes werden besser verständlich, wenn man das Hauptgewicht auf die Wurzeln und deren Nährstoffaufnahme aus dem Boden legt. Allgemeiner gesagt: im Kampfe um den Raum sind die unterirdischen und nicht die oberirdischen Pflanzenteile entscheidend.

Dass dieser Gedanke keineswegs neu ist, wird, ausser von dem schon erwähnten, u. a. von folgenden Äusserungen KRAEPELINS bestätigt: »Die Enge, die Beschränktheit des verfügbaren Raumes ist es demnach, die wir als die eigentliche Ursache des Vernichtungskampfes der Pflanzenindividuen eines bestimmten Bodenabschnittes betrachten müssen, wobei nach dem gesagten in erster Linie wohl um genügende Ausbreitung und Arbeitsleistung der unterirdischen Ernährungsorgane, in zweiter um das Licht und um ungehinderte Aufnahme der Luftgase gekämpft wird«²⁾. Man hat nur diese Gedanken nicht weiter entwickelt und ihre praktische Bedeutung nicht genügend bewertet.

Wenn wir von diesem Standpunkte aus z. B. die Frage zu beantworten suchen, wie der Wuchsraum in einem Pflanzenverein ausgenutzt wird, so kann man nicht ohne weiteres behaupten, dass dieser in einem dichten Walde stets besser als in einem undichten zur Ausnutzung käme, allerdings nur wenn man solche Wälder in Betracht zieht, in denen die

¹⁾ S. 27.

²⁾ K. KRAEPELIN, Die Beziehungen der Tiere und Pflanzen zueinander. II. Aus Natur und Geisteswelt Bd. 427. Leipzig 1913. 14. (Siehe jedoch auch S. 22—6: Die Bedeutung des Lichts im Konkurrenzkampfe der Pflanzen.)

Pflanzen hauptsächlich ihre Nahrung mit den Wurzeln aus dem Erdboden ziehen. Gewiss ist in den tropischen, immergrünen Regenwäldern der Raum über der Bodenoberfläche viel gründlicher in Anspruch genommen als z. B. in unseren alten, undichten, lappländischen Kiefernwäldern, aber man darf die Ausnutzung des Raumes unter der Bodenoberfläche nicht ausser Acht lassen. Wenn einmal die unterirdischen Pflanzenteile auch hinsichtlich der Benutzung des oberirdischen Wuchsräume massgebend sind, so muss die Ausnutzung des Bodenraumes die Hauptrolle spielen. In den lappländischen Kiefernwäldern kann, ungeachtet der undichten Stellung der Bäume, der Bodenraum trotzdem vollständig und im Allgemeinen ebenfalls der Wuchsräume ebenso gut wie in den tropischen Regenwäldern ausgenutzt sein. Weil das Ertragsvermögen des Waldbodens in den kälteren Klimaten kleiner als in den wärmeren ist, braucht ein und dieselbe Pflanzenart jedenfalls in ersteren einen grösseren Wuchs- oder Bodenraum als in letzteren um einen gleich grossen Ertrag zu liefern. So kann auch der lichte Schlussgrad der nordischen Wälder nicht davon herrühren, dass das Lichtbedürfnis der Bäume in kälteren Klimaten grösser als in wärmeren ist, wie besonders WIESNER behauptet hat, sondern davon, dass in ersteren die Böden magerer als in letzteren sind. Das gleiche gilt natürlich auch für das Auftreten und die Entwicklung des Unterholzes. Ungeachtet dessen, dass es z. B. in den nordischen Kiefernwäldern scheinbar für das Unterholz noch reichlich Raum gäbe, kann doch, wie gesagt, der unterirdische Wuchsräume schon so begrenzt sein, dass das Unterholz keine oder nur wenig Lebensmöglichkeit mehr findet. Wenn man sagt (SCHIMPER, WIESNER u. a.), dass ein und dieselbe Pflanzenart im warmen Klima noch im tiefen Schatten und im kalten Klima nur an kahlen Stellen gedeiht, so vergisst man, dass schon in ein und demselben Klima eine Pflanzenart zuweilen nur auf kahlen Lücken, zuweilen auch verhältnismässig tief beschattet auftreten kann, wie z. B. die Kiefer in unseren Wäldern. Alles hängt nur von dem Standort ab. Augenscheinlich verlangt ein und dieselbe Pflanzenart auch in einem wärmeren Klima je nach der Natur des Standorts zuweilen mehr zuweilen weniger Raum oder »Licht«. In der Tat wechselte auch schon

nach WIESNER das Lichtbedürfnis einer Pflanzenart je nach dem Standort bedeutend; auf fruchtbarem Boden war es immer geringer als auf magererem.

U. a. hat man auch als eine biologisch bemerkenswerte Tatsache hervorgehoben, dass die meisten Bäume in ihrer Jugend mehr Beschattung ertragen können als später. Dass auch hier die Ansamung und die Verjüngung von einander zu trennen sind, braucht kaum nochmals betont zu werden. Je grösser die Baumpflanzen werden, um so mehr fällt natürlich der Kampf um den Raum ins Gewicht.

Im Waldbau führt diese Theorie zunächst dazu, **dass die Bonität des Standorts oder der Waldtyp vor allem darüber entscheidet, welches Ergebnis eine gewisse Massnahme liefern wird, und nicht die Baumarten mit ihrem verschiedenen Lichtbedürfnisgrad.** In einem besseren Waldtyp ist sozusagen die Entfernung, bei welcher die Bäume auf einander wirken können, kleiner, als in den schlechteren Typen. Die Baumpflanzen gedeihen im ersteren Falle auf kleineren Lücken als im letzteren, der Bestand bleibt dichter und liefert einen höheren Holzertrag, alles aus dem Grunde, dass der Boden fruchtbarer ist. Der Anbau des Unterholzes ist daher auch um so mehr am Platze, je besser der Waldtyp ist und umgekehrt.

In letzter Zeit hat man den erwähnten Gesichtspunkten allerdings etwas mehr Beachtung geschenkt, speziell im Zusammenhang mit der sog. Dauerwaldwirtschaft in Nord-Deutschland. Es ist dies doch hauptsächlich nur in der Neigung zum Vorschein gekommen, der Wurzelkonkurrenz in der Verjüngung des Waldes auf ärmeren Böden eine grössere Bedeutung als den Lichtverhältnissen zuzuerkennen.

Über die Verjüngungsverhältnisse der Buche und der Kiefer und von ihrer Beziehung zum Licht erwähnt u. a. BERTOG¹⁾: »Licht' ist der übliche, aber eigentlich nicht richtige Ausdruck. Die Beschirmung wirkt, wenigstens auf unsern Diluvialböden in niederschlagsarmem Klima weitaus am stärksten durch die Wurzeln. Sie entziehen dem Boden

¹⁾ HERMANN BERTOG, Die Buche im nordostdeutschen Kiefernwalde. Neudamm 1921. 38—9.

auf Kosten des Jungwuchses Wasser. Ist die Beschirmung zu stark, so verdurstet dieser. Entscheidend ist dabei der Zustand der obersten Bodenschicht. Deshalb hält Kiefernflug unter starkem Schirm sich nur auf von Natur frischem oder sehr gepflegtem Boden». B. fügt noch hinzu, dass man z. B. in den Bärenthorener (Dauer-)Wäldern von einer Wurzelkonkurrenz zwischen den Mutterbäumen und den Pflanzen nichts spüren kann. Über die Kiefernjungwüchse in denselben Wäldern schreibt auch MÖLLER¹⁾: »Er drängt ganz nahe an die alten Stämme heran, und es ist nirgends zu beobachten, dass in deren nächster Nähe eine Beeinträchtigung des Höhenwuchses beim Jungwuchs einträte...». »Auch die Kiefer kann, wie BORGGREVE schon gelehrt hat, gleich allen anderen Holzarten, den Schatten ihrer Mutterbäume lange ohne Schaden ertragen...»²⁾. Die 1–20-jährigen Pflanzen haben noch Raum genug »auf Flächen, die noch Vorrat genug tragen, um gleichzeitig mehr Derbholz zu produzieren, als dem Durchschnitt des Reviers bei schlagweiser Hochwaldwirtschaft nach alten Grundsätzen möglich ist»²⁾. Und MÖLLER kommt den oben dargestellten Gedanken über Standraum, Standort und Ertrag nahe, indem er sagt³⁾, dass wenn auf irgend einer Fläche weniger ältere Bäume stehen »als dass die natürlichen Holzzeugungsgrundlagen (Produktionsfaktoren) der Fläche voll ausgenutzt sind, ist es also möglich, dass neben und unter ihnen junge Holzpflanzen sich entwickeln können, dann werde ich, wofern natürlicher Anflug oder Aufschlag nicht vorhanden... schleunigst zwischen und unter den stehenden Stämmen künstlich kultivieren...». — In den Vereinsverhandlungen und auch anderswo kommen u. a. solche Äusserungen vor, dass z. B. der Plenterbetrieb ebenso passend für Kiefer wie z. B. für Fichte sei, während man ihn bisher nur für »Lichtholzarten« empfohlen hat. Noch sei erwähnt, dass z. B. WAGNER in seinem bekannten Blendersaumschlag dem Lichte keine so grosse Bedeutung vom Standpunkte der Verjüngung aus zuschreibt⁴⁾. Auch haben die Untersuchun-

¹⁾ A. MÖLLER, Dauerwaldwirtschaft. Berlin 1921. 24.

²⁾ Ibidem, S. 44.

³⁾ — S. 46.

⁴⁾ Siehe S. 27.

gen von HESSELMAN wenigstens indirekt gezeigt, dass das Licht an sich nicht so wichtig ist, wie man im Allgemeinen geglaubt hat¹⁾.

Obgleich man also dem Licht zuletzt nicht mehr die grosse Bedeutung zuschrieb, die man ihm früher beimass, hat man doch auch das Wesen der Wurzelkonkurrenz oder des Kampfes um den Raum nur halb verstanden und oberflächlich behandelt. So erwähnt z. B. BERTOG²⁾, wenn er den Anbau von Buchenunterholz in Kiefernwäldern empfiehlt: »die Kiefer vermag ebenso wie die anderen lichtbelaubten Bäume die volle Ertragsfähigkeit des Bodens nicht auszunutzen». Darum gedeiht im Kiefernwalde die Bodenvegetation, die jährlich eine grosse Menge von Nährstoffen ohne einen entsprechenden Nutzen verbraucht (nach BORGGREVE nimmt eine mittlere Heidelbeerernte aus dem Boden ebensoviel Kali und Phosphorsäure wie der jährliche Holzzuwachs); mit dem Buchen- u. a. unterbau kann man diese Nährstoffmenge nutzbringend anwenden. B. erwähnt nichts davon, ob das Unterholz infolge seiner Nahrungsaufnahme aus dem Boden etwa beeinträchtigend auf den Hauptbestand wirken könnte. — Dass die Wurzelkonkurrenz jedoch z. B. in den Bärenthorener Wäldern ebenso wie anderswo wirkt, ist klar, denn auch da erscheint der Jungwuchs erst, nachdem der Mutterbestand genügend licht geworden ist und — im Allgemeinen — die Bäume wachsen auch da in bestimmten Entfernungen von einander.

Was endlich die Durchforstungen betrifft, so sind ihre naturwissenschaftlichen Grundlagen noch wenig erklärt und es gibt keine Übereinstimmung in ihrer praktischen Durchführung, hinsichtlich des Durchforstungsgrades, der Zeit der Durchforstungen usw. Man kann mit BÜHLER sagen³⁾: »Bis auf die neueste Zeit sind über keinen einzigen entscheidenden Punkt der Durchf. einheitliche Anschauungen vorhanden;

¹⁾ HENRIK HESSELMAN, Studier över salpeterbildningen i naturliga jordmåner och dess betydelse i växtekologiskt avseende. Meddel. f. stat. skogsforsöksanst. 13–14 (1916–1917). 297–528.

— Om våra skogsförnygringsåtgärders inverkan på salpeterbildningen i marken och dess betydelse för barrskogens förnyring. Ibidem, 923–1076.

²⁾ Die auf S. 33 genannte Abhandlung. S. 25.

³⁾ Das auf S. 27 genannte Werk, II. 435.

was von der einen Seite als richtig bezeichnet wird, wird von der anderen Seite verworfen und umgekehrt».

In einschlägigen Lehr- und Handbüchern u. a. wird im Allgemeinen die Einwirkung der Durchforstungen auf die nachgebliebenen Bäume so erklärt, dass die Stellung der letzteren hinsichtlich des Lichtes besser wird. Jedenfalls zieht man im Allgemeinen nur die Kronen der Bäume in Betracht. Je nach dem Entwicklungsgrad der Kronen werden die Bäume klassifiziert und diese Klassifizierung dient als Grundlage für die Durchforstungen. Dass man jedoch so nicht auf einer richtigen und genügenden Grundlage steht, scheint ziemlich sicher. Die oberirdischen Teile bzw. Kronen können z. B. einander beschatten oder nicht beschatten aber damit ist noch nicht gesagt, wie die unterirdischen Teile bzw. die Wurzeln sich zu einander verhalten und wenn die letztgenannten entscheidend sind, sollten sie massgebend sein und bestimmen, welcher Baum zu entfernen ist, welcher stehen bleiben soll. So kann z. B. die Klassifizierung der Bäume nach der Kronenentwicklung in nützliche, schädliche und gleichgültige in einigen Fällen richtig, in anderen falsch sein. Ein Baum kann z. B. sehr »gleichgültig« sein, seine Krone beeinträchtigt in keiner Weise die Entwicklung des »nützlichen« Nachbars, aber auch der erstgenannte nimmt Nährstoffe aus dem Boden und der Nachbar kann wenigstens entsprechend weniger bekommen. Man muss jedoch annehmen, dass die Folgen einer Durchforstung hauptsächlich darin bestehen, dass der Bodenraum der durch den Hieb entfernten Bäume, mit seinem Wasser und seinen Nährstoffen »frei« wird und nach dem Hiebe den zurückgebliebenen Stämmen zur Verfügung steht. Wenn man die Durchforstungen, Lichtungshiebe u. a. von diesem Standpunkte aus betrachtet, so versteht man auch die Einwirkung des Standorts besser. Derselbe Durchforstungsgrad wird in besseren Waldtypen eine andere Wirkung als in schlechteren haben, weil zur Erreichung eines gleich grossen Holzertrags in ersteren ein kleinerer Bodenraum als in letzteren nötig ist. Kurz gesagt: die Durchforstungen in unserem Sinne sind in erster Linie »Durchforstungen der Wurzeln«.

Die Reinigung der Bäume von ihren Ästen wird im Allgemeinen darauf zurückgeführt, dass die Äste oder die Blätter sich gegenseitig beschatten. Besondere Untersuchungen über diese Erscheinung haben WIESNER, HESSELMAN u. a. gemacht. Es scheint jedoch, dass auch die Reinigung von Ästen — und so auch z. B. der Stammform¹⁾ — in naher Beziehung zur Standortsgüte und so zur Nahrungsaufnahme aus dem Boden steht. Bekanntlich beginnt dieser Prozess früher und geht auf einem fruchtbareren Boden schneller von statten als auf ärmerem.

Selbstverständlich ist die räumliche Ordnung der Bäume und deren Abhängigkeit vom Standorte auch bei der künstlichen Verjüngung zu berücksichtigen; weil man den Standraum später in dem erforderlichen Masse vergrössern kann, und die Einwirkung von kleinen Pflanzen auf einander gering ist, bleibt jedoch hauptsächlich nur in Betracht zu ziehen, dass die Pflanzen genügend dicht und gleichmässig über die Fläche verteilt wachsen werden.

Was schliesslich den Anbau von sogen. Überhältern betrifft, soweit er noch in Frage kommt, geschieht er natürlich mehr oder weniger auf Kosten des Jungwuchses, um so mehr, je näher dieser dem Überhälter steht und je ärmer der Boden ist, weil jedem Baumindividuum aus dem Boden um so weniger Nährstoffe zu Teil werden.

Wie beim Waldbau, so ist es auch beim Anbau von Ackergewächsen, im Allgemeinen von 1—2-jährigen Gewächsen, wichtig, die Einwirkung der unterirdischen Pflanzenteile auf einander zu berücksichtigen. Dass diese sich hier jedoch in gewissen Hinsichten anders gestaltet als bei Waldbäumen, braucht kaum besonders betont zu werden. Die Witterungsverhältnisse z. B. spielen hier eine wichtige Rolle und ausserdem sind die Unterschiede im Entwicklungsgrade und in den Grössenverhältnissen zwischen verschiedenen Individuen nur gering, weil alle im Allgemeinen gleichaltrig oder beinahe gleichaltrig sind.

Das wichtigste ist also nicht, wie z. B. HELLRIEGEL²⁾ betont, das auf eine Fläche kommende Licht und die möglichst gründliche Aus-

¹⁾ Vgl.: O. J. LAKARI, Tutkimuksia männyn muodosta. (Mit deutsch. Referat: Untersuchungen über die Form der Kiefer.) A. F. F. 16 (1920).

²⁾ S. 7.

nutzung desselben, sondern das jedem Individuum zukommende Bodenvolumen und seine Nährstoffe. Soll man die Pflanzen möglichst dicht und gemischt anbauen, wie z. B. MAYER¹⁾ empfiehlt, so muss auch dieses mit Berücksichtigung des gegenseitigen Verhältnisses der unterirdischen Pflanzenteile geschehen. Bei der »Selbstbeschattung«, die z. B. PFEIFFER²⁾ erwähnt, ist auch das Gedränge der unterirdischen Pflanzenteile wichtiger als das der oberirdischen. Dieses ergibt sich auch aus Versuchen und Untersuchungen, die über den Einfluss der Aussaatmenge und Saatkichte auf den Ertrag ausgeführt worden sind. Wenn z. B. die dichte Saat in einem normalen bzw. feuchten Jahre einen grösseren Ertrag liefert als die undichte Saat, und in einem trockenen Jahre das Resultat ein entgegengesetztes ist, so lässt sich das nur dadurch erklären, dass in beiden Fällen die Nahrungsaufnahme aus dem Boden oder die Einwirkung der Wurzeln auf einander die Ertragshöhe bestimmt hat. Bei gleichen Witterungsverhältnissen muss man also, um einen gleich grossen Ertrag zu erreichen, den Pflanzen auf magererem Boden mehr Raum als auf fruchtbarerem geben und zur Erreichung des Maximalertrages aus einer gleich grossen Fläche im ersteren Falle die Pflanzen undichter als im letzteren wachsen lassen. Dass man jedoch auf dem ärmeren Boden grösste Saatkichten anwenden kann, hängt von anderen Umständen ab.

Mit den Durchforstungen im Walde ist gewissermassen zu vergleichen z. B. das Vereinzeln der Rüben u. a., mit dessen Hilfe man, wie bekannt, die Erträge mehr oder weniger, je nach dem Lichtungsgrade, den Nährstoffgehalt des Bodens usw. bedeutend aufbessern kann. Doch ist wohl kaum behauptet worden, dass der höhere Ertrag den veränderten Lichtverhältnissen zu verdanken wäre. — Was nun noch das Absterben der niederen Blätter bei den Kulturpflanzen betrifft, das um so bedeutender ist, je dichter die Pflanzen stehen, so wird dieses gewöhnlich, ebenso wie bei Waldbäumen, auf das ungenügende Licht

¹⁾ S. 17.

²⁾ S. 17.

zurückgeführt. Interessant in dieser Hinsicht sind u. a. die Untersuchungen über die Bestockung der Kulturpflanzen¹⁾.

Die Bekanntschaft mit der Bewurzelung der Gewächse ist die Grundlage des Feldbaues, hatte schon LIEBIG gesagt. Dass man dem Standort und den unterirdischen Pflanzenteilen beim Feldbau im Allgemeinen mehr Aufmerksamkeit gewidmet hat als beim Waldbau, — auch falls die Pflanzen nicht wegen ihrer Wurzeln angebaut waren — braucht hier kaum erwähnt zu werden. Aber eine klare Auffassung davon, worauf die gegenseitige Einwirkung der Pflanzen eigentlich beruht, hat man auch auf diesem Gebiete nicht gehabt.

Was den Gartenbau betrifft, so sind die Verhältnisse hier in manchen Hinsichten denjenigen im Waldbau ähnlich. So ist u. a. der Unterschied im Entwicklungsgrade von neben einander wachsenden Pflanzen, von Bäumen und kleineren Gewächsen, oft verhältnismässig gross und demgemäss auch die Einwirkung der Pflanzen auf einander beträchtlich. In welchem Masse hier die obengenannten Gesichtspunkte Beachtung gefunden haben, ist mir nicht genügend bekannt, aber schon die von mir durchgesehene Literatur lässt vermuten, dass der Gartenbau in dieser Hinsicht keine Ausnahme vom Waldbau und vom Ackerbau macht²⁾.

Ehe man nun tatsächlich den unterirdischen Pflanzenteilen im Kampfe um den Raum und ums Dasein eine solche Bedeutung zumessen darf, wie oben behauptet wurde, muss natürlich auf Grund zweckmässiger Untersuchungen geprüft werden, ob die Theorie und die Tatsachen mit einander im Einklang stehen. Die Form und die Grösse des Wurzelsystems (Länge, Verzweigung, Gewicht usw. der Wurzeln), seine Abhängigkeit von der Pflanzenart, vom Standort, von anderen Pflanzen

¹⁾ z. B.:

E. SCHRIBAU, Experimentelle Untersuchungen über die Bestockung des Getreides (Übers. von W. RIMPAU). Landw. Jahrb. 29 (1900). 589—628.

W. RIMPAU, Untersuchungen über die Bestockung des Getreides. Ibidem 32 (1903). 317—36.

²⁾ Es sei erwähnt, dass z. B. in dem Werke von HANS MOLISCH, Pflanzenphysiologie als Theorie der Gärtnerei (Jena, 1921) über diesbezügliche Erscheinungen nichts geäussert wird.

usw. müssen genau bekannt sein. Ferner müssen wir darüber unterrichtet sein, ob und auf welche Weise die Wurzeln bei der Nahrungsaufnahme aus dem Boden auf einander wirken und wie letztgenannte in allen ihren Einzelheiten eigentlich vor sich geht. Wie weit die wissenschaftliche Forschung in dieser Hinsicht bisher gekommen ist, dürfte aus der folgenden Literaturbesprechung hervorgehen.

Geschichtliches über bisherige Wurzeluntersuchungen

1. Die Wurzelsysteme im Allgemeinen

Die bisher über die Wurzeln und die Nahrungsaufnahme aus dem Boden gemachten Untersuchungen sind hauptsächlich auf die Kulturpflanzen gerichtet gewesen. Die Zerstreutheit des Materials sowie der Zweck dieser Abhandlung bedingen es, dass hier nur ein kurzer Überblick über die schon vorhandene umfangreiche Literatur in Frage kommen kann¹⁾. Obgleich die Untersuchungen und Versuche grösstenteils an 1—2-jährigen Pflanzen vorgenommen worden sind, dürften ihre Ergebnisse doch in manchen Hinsichten sicher auch für die Waldbäume gültig, und eine Kenntnis derselben auch aus dem Grunde wünschenswert sein, weil sie künftigen, besonders auf Waldbäume gerichteten Untersuchungen Anregungen und Winke bieten können.

Aus den Untersuchungen, die man über Form, Verzweigung, Grösse usw. der Wurzeln angestellt hat, ergibt sich u. a., dass ebenso wie die oberirdischen Teile der Pflanzenarten grosse Unterschiede unter einander aufweisen, man auch bei den unterirdischen Teilen charakteristische

¹⁾ Ausführlichere Zusammenfassungen über die Wurzelliteratur sind u. a. in folgenden Abhandlungen zu finden:

T. FREIDENFELT, Studien über die Wurzeln krautiger Pflanzen. Flora 91 (1902). 115—208. (Es werden 505, bis zum Schlusse des Jahres 1900 erschienene Schriften, welche die Biologie, Morphologie und Anatomie der Wurzeln behandeln, angeführt.)

KURT OPITZ, Untersuchungen über Bewurzelung und Bestockung einiger Getreidearten. Mitt. d. Landw. Inst. der Königl. Univ. Breslau, 2 (1904). 749—816.

R. POLLE, Über den Einfluss verschieden hohen Wassergehalts, verschiedener Düngung und Festigkeit des Bodens auf die Wurzelentwicklung des Weizens und der Gerste im ersten Vegetationsstadium. Dissert. Ausz. in: Journ. f. Landw. 58 (1910). 297—344.

Unterschiede feststellen kann. So hat man gezeigt, dass bei den Dikotyledoneen sich eine mehr oder weniger typische Pfahlwurzel entwickelt, die den Ausgangspunkt für die später erscheinenden vielen Nebenwurzeln bildet, während die Monokotyledoneen keine besondere Pfahlwurzel besitzen, sondern sog. Flachwurzler sind. Zu erstgenannter Gruppe gehören u. a. die Leguminosen, zu letzterer u. a. die Gramineen. Auch bei verschiedenen Rassen und Varietäten ein und derselben Pflanzenart hat man in dieser Hinsicht charakteristische Unterschiede feststellen können¹⁾.

U. a. hebt HELLRIEGEL besonders hervor, dass die Entwicklung der oberirdischen Pflanzenteile in hohem Grade von dem Entwicklungsgrade der Wurzeln abhängig ist und er spricht von einer speziellen Wurzelarchitektur, die den verschiedenen Pflanzenarten ebenso charakteristisch ist, wie die Architektur der oberirdischen Teile²⁾. HELLRIEGEL glaubt auch, dass die verschiedenen Ansprüche der von ihm untersuchten Erbse, Bohne und Lupinen an die physikalischen Eigenschaften des Bodens am besten durch die verschiedene Entwicklung und die Form ihrer Wurzelsysteme erklärt werden³⁾.

Was die Länge, das Gewicht und die Grösse der Wurzeln überhaupt betrifft, so hat man auch schon in bezug hierauf eine Menge Untersuchungen gemacht. Weil die Entwicklung der Wurzeln sich als von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens stark abhängig erwiesen hat und es zudem auch ziemlich schwierig ist, die Wurzeln vollständig aus dem Boden herauszupräparieren, so darf man sich nicht allzu sehr darüber wundern, dass diese Untersuchungen nicht immer zu übereinstimmenden Resultaten geführt haben.

Die Untersuchungen über die Länge der Wurzeln in vertikaler Richtung haben gezeigt, dass sie im Allgemeinen bedeutender ist, als man annehmen könnte. U. a. gehen die Wurzeln der Getreidearten ungefähr 1 Meter tief, und nach DOST⁴⁾ jedenfalls gehen die Wurzeln von vielen

¹⁾ Was die Wurzelformen und Wurzeltypen krautiger Pflanzen betrifft siehe z. B. : FREIDENFELT, die auf S. 41 genannte Abhandlung.

²⁾ Das auf S. 7 genannte Werk. S. 121.

³⁾ Ibidem, S. 163.

⁴⁾ Zitiert nach OPITZ (die auf S. 41 genannte Abhandlung).

Pflanzen noch tiefer, bei Luzerne und Esparsette sogar bis 10 und 20 Meter tief. Aus den Untersuchungsergebnissen von HELLRIEGEL seien hier folgende Zahlen erwähnt, die die Menge von Wurzelfasern in verschiedenen Tiefen auf einer Fläche von 400 cm² angeben¹⁾:

	Winterroggen	Gerste	Hafer
bei 25 cm Tiefe	600 Fas.	25 cm — 348 Fas.	22 cm — 271 Fas.
„ 50 „	376 „	50 „ — 136 „	44 „ — 231 „
„ 92 „	12 „	88 „ — 2 „	66 „ — 82 „
			87 „ — 16 „
			104 „ — 0 „

Ähnliche Untersuchungen hat auch v. SEELHORST gemacht. Er ist jedoch nicht geneigt seine Resultate weiter zu verallgemeinern, weil Witterungsverhältnisse, Bodenart u. a. bedeutend auf dieselben einwirken können²⁾.

In der von mir durchgesehenen Literatur habe ich keine besondere Angaben darüber antreffen können, wie weit die Wurzeln der Kulturpflanzen sich in horizontaler Richtung ausbreiten können, eine beklagenswerte Tatsache namentlich deshalb, weil bei der Einwirkung der Pflanzen auf einander gerade dieser Umstand von grosser Bedeutung ist. Was besonders die Wüstenpflanzen betrifft, so geht aus den Beobachtungen von FITTING, CANNON u. a. hervor, dass ihre Wurzeln ziemlich weit seitwärts, aber nicht tief reichen³⁾. — Nach NOBBE haben z. B. die Gerstenwurzeln zusammen eine Länge von 520 m und sie füllen ein kegelförmiges Bodenvolumen, dessen Höhe 1 m und Grundflächendurchmesser 35 cm (Volumen ung. $\frac{1}{2}$ m³) sind, aus.

¹⁾ Das auf S. 7 genannte Werk, S. 257—8.

²⁾ C. VON SEELHORST, Beobachtungen über die Zahl und den Tiefgang der Wurzeln verschiedener Pflanzen bei verschiedener Düngung des Bodens. Journ. f. Landw. 50 (1902). 91—104.

³⁾ HANS FITTING, Aufgaben und Ziele einer vergleichenden Physiologie auf geographischer Grundlage. Jena 1922.

Vgl. auch: FRIEDRICH NOBBE, Zur Kenntnis der Bewurzelung der Gräser. Landw. Versuchsst. 15 (1872). 391—7.

Schon oben wurde erwähnt, dass die Grösse des Wurzelsystems (die Ausdehnung, das Gewicht) auch von der Natur des Standorts abhängt. Abgesehen von dem selbstverständlichen Umstande, dass in einem festen und steinigem Boden schon der mechanische Widerstand für die Ausbreitung der Wurzeln bedeutend sein kann, so scheinen auch die Feuchtigkeitsverhältnisse und der Nährstoffgehalt des Bodens eine wichtige Rolle zu spielen.

NOBBE¹⁾ konnte bei seinen Gefässversuchen mit Mais, wobei der Boden schichtenweise auf verschiedenen Höhen gedüngt wurde, die schon früher von SACHS²⁾ gemachte Beobachtung bestätigen, dass in einer konzentrierteren Nährlösung die Wurzeln kurz und zusammengedrängt, aber reichlich verzweigt, in einer mehr verdünnten Lösung oder nur im Wasser dagegen lang mit dünnen und wenigen Nebenwurzeln sind. SACHS erwähnt besonders, dass die grosse Länge der Wurzeln in feuchtem Sandboden eine Folge von der relativ verdünnten Nährlösung sei³⁾. DETMER hat u. a. die Maiswurzeln im Gartenboden, im Sand, in einem Gemisch aus diesen beiden und in der Wasserlösung untersucht und festgestellt, dass die Länge der Wurzeln in der Wasserlösung die grösste war, dann folgten der Sand, das Gemisch aus Sand und Gartenboden und zuletzt der Gartenboden⁴⁾. Um die Abhängigkeit der Wurzelentwicklung von der Feuchtigkeit und Düngung des Bodens zu untersuchen, haben auch noch TUCKER und v. SEELHORST eine Menge von Versuchen gemacht⁵⁾. Nach ihnen haben die Wurzeln in trockenem Boden das grösste Gewicht und die oberirdischen Teile wiegen entsprechend weniger. Die Wurzeln des trockenen Bodens lie-

¹⁾ FRIEDRICH NOBBE, Ueber die feinere Verästelung der Pflanzenwurzel. Landw. Versuchsst. 4 B (1862). 212—24.

²⁾ JULIUS SACHS, Wurzelstudien, Ibidem 1 (1859). 1—
—»— Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen. Leipzig 1865. 177 u. a.

³⁾ Die auf S. 18 genannte Abhandlung. S. 16.

⁴⁾ W. DETMER, Ueber den Einfluss äusserer Verhältnisse auf die Wurzelentwicklung. Landw. Versuchsst. 15 (1872). 107—13.

⁵⁾ M. TUCKER u. C. VON SEELHORST, Der Einfluss, welchen der Wassergehalt und der Reichtum des Bodens auf die Ausbildung der Wurzeln und der oberirdischen Organe der Haferpflanze ausüben. Journ. f. Landw. 46 (1898). 52—63.

fern auf einen Gewichtsteil 5.4—7 Gewichtsteile von oberirdischer Masse, die Wurzeln des mitteltrocknen Bodens 8.95—13.13 Gewichtsteile. Ebenso wie die Wurzeln im trockenen Boden die Knappheit des Wassers durch ihre Grösse zu ersetzen versuchen, entwickeln sie sich auch im mageren Boden relativ reichlich. Nach BÜNGER ist auch, falls der Boden konstant trocken ist, die Wurzelentwicklung im mageren Boden die grösste, aber wenn der Boden sehr feucht ist, ist sie im fruchtbareren Boden am grössten. Für das Verhältnis zwischen den Gewichten der Wurzeln und der oberirdischen Teile ist hauptsächlich der Nährstoffgehalt des Bodens massgebend. In magerem und trockenem Boden kommt auf 1 g Wurzelmasse 4.4 g oberirdische Masse, in magerem und feuchtem Boden 5.4 g und in fruchtbarerem Boden sind die entsprechenden Zahlen 10.7 und 8.6¹⁾. Auch nach WAGNER wird das Wurzelsystem in magerem Boden relativ gross, in fruchtbarem Boden kurz und zusammengedrängt²⁾. Die Versuche von POLLE zeigten, dass z. B. bei Weizen die Düngung in Lehm Boden keine besondere Einwirkung auf die Wurzeln hatte, aber in magerem Sandboden hatten die Pflanzen zahlreichere und längere Wurzeln. In feuchtem Boden, sowohl in Lehm Boden wie auch in Sandboden, gab es mehr Wurzeln, aber ihr Gewicht war kleiner³⁾. — Ähnliche Untersuchungen haben auch noch z. B. LANGER⁴⁾, PREUL⁵⁾, v. SEELHORST u. a.⁶⁾ und SCHULZE⁷⁾ gemacht.

¹⁾ HEINRICH BÜNGER, Über den Einfluss verschieden hohen Wassergehalts des Bodens in den einzelnen Vegetationsstadien bei verschiedenem Nährstoffreichtum auf die Entwicklung der Haferpflanze. Landw. Jahrb. 35 (1906). 941—1051.

²⁾ MAX WAGNER, Versuche über den Einfluss verschiedener Ernährungsverhältnisse auf den Verlauf der Nährstoffaufnahme und den morphologischen Bau der Pflanze. Landw. Versuchsst. 69 (1908). 161—233.

³⁾ R. POLLE, die auf S. 41 genannte Abhandlung.

⁴⁾ L. LANGER, Untersuchungen über die Nährstoffaufnahme der Haferpflanze bei verschiedenem Wassergehalt des Bodens und bei verschiedener Düngung. Auszug v. Dissertation von TOLLENS. Journ. f. Landw. 49 (1901). 209—29.

⁵⁾ FRANZ PREUL, Untersuchungen über den Einfluss verschieden hohen Wassergehaltes des Bodens in den einzelnen Vegetationsstadien bei verschiedenem Bodenreichtum auf die Entwicklung der Sommerweizenpflanze. Journ. f. Landw. 56 (1908). 229—71.

⁶⁾ S. 43.

⁷⁾ B. SCHULZE, Studien über die Entwicklung der Roggen- und Weizenpflanze. Landw. Jahrb. 33 (1904). 405—41.

—»— Versuche über die Entwicklung des Hafers unter dem Einfluss der Bewässerung und der Wurzelkürzung. Landw. Versuchsst. 86 (1915). 63—74.

Was die Abhängigkeit der Wurzelentwicklung von dem Bodenvolumen betrifft, so mögen ausser den obengenannten Untersuchungen von HELLRIEGEL auch noch die Versuche von PFEIFFER und SIMMERMACHER (mit Hafer und Senf) erwähnt werden¹⁾. In diesen Versuchen — mit 4, 8, 12, 24 Pflanzen in einem Gefässe — zeigten sich die Erträge ziemlich gleich gross; zwischen den Wurzelgewichten waren die Schwankungen noch kleiner als bei den oberirdischen Teilen.

Es sei noch erwähnt, dass man eine besonders förderliche Einwirkung bei einigen gewissen Stoffen auf das Wurzelwachstum beobachtet hat. Solche Stoffe sind besonders Kalk und Phosphor, aber auch Barium- und Strontiumsalze²⁾.

Man kann also im Allgemeinen sagen, dass die Wurzelentwicklung jedenfalls bei den Kulturpflanzen in naher Beziehung zum Wasser- und Nährstoffgehalt des Bodens steht. In je günstigeren Verhältnissen hinsichtlich des Bodens die Pflanzen leben, um so grösser ist das Verhältnis der Masse der oberirdischen Teile zu der Wurzelmasse. Welche Bedeutung diesem Umstande in der Nahrungsaufnahme aus dem Boden und überhaupt in den gegenseitigen Beziehungen der Pflanzen zu einander zukommt, darauf werden wir noch weiter unten zurückkommen.

Die Wurzeln der Waldbäume kennt man nur mangelhaft. Es lässt sich dies wohl zum Teil dadurch erklären, dass die Schwierigkeiten, denen man begegnet, selbst wenn man auch nur ein ungefähr richtiges Bild von der Ausdehnung, der Form usw. der Wurzeln sogar von grösseren Bäumen zu gewinnen sucht, recht gross sind. Und wie schon aus dem obenbesprochenen hervorgegangen ist, hat sich vorläufig auch noch nicht ein stärkeres praktisches Bedürfnis zu solchen Untersuchungen besonders geltend gemacht oder anregend gewirkt.

NOBBE³⁾ hat einige mühsame Untersuchungen über Wurzeln von

¹⁾ TH. PFEIFFER und W. SIMMERMACHER, Über den Einfluss des Standraumes bzw. verschiedener Bodenarten auf die Wurzelmasse der Pflanzen. Landw. Versuchsst. 90 (1917). 291—320.

²⁾ Vgl. z. B.: PAUL BRUCH, Zur physiologischen Bedeutung des Calciums in der Pflanze. Landw. Jahrb. 30, Ergänzungsbd. 3 (1902). 127—43.

³⁾ FRIEDRICH NOBBE, Beobachtungen und Versuche über die Wurzelbildung der Nadelhölzer. Landw. Versuchsst. 18 (1875). 279—95.

Kiefer, Fichte und Tanne, die er in Gefässen wachsen liess, gemacht. Er hat u. a. die Anzahl und die Länge der Wurzelfasern bestimmt und gelangte zu folgenden Resultaten:

	Anzahl	Länge mm
Fichte	253	1941
Tanne	134	992
Kiefer	3135	11988

Die Oberfläche der Wurzeln war in mm² bei der Fichte 4139, bei der Tanne 2452, bei der Kiefer 20515. — »Die Bewurzelung der fraglichen drei Nadelhölzer differiert in der Jugend in der Art, dass die Kiefer eine 24 mal grössere Anzahl von Wurzelfasern und eine 8 mal grössere aufnehmende Wurzelfläche erzeugt, als die Tanne, und dass sie die Fichte in den gleichen Beziehungen um das Zwölf- resp. Fünffache übertrifft«. Hierdurch erklärt es sich auch nach NOBBE, warum die Kiefer in trockenem und magerem Sandboden, wo die Fichte und die Tanne nicht mehr gedeihen, noch ziemlich gut wachsen kann. Schon im Alter von 6 Monaten beherrscht sie einen Bodenraum, »der ideal betrachtet einem umgekehrten Conus von 80 bis 90 Centimeter Höhe und fast 2000 Quadrat-Centimeter Grundfläche gleicht«¹⁾.

In der forstlichen bzw. dendrologischen Literatur wird bekanntlich als eine allgemein festgestellte Tatsache angegeben, dass z. B. die Kiefer eine Pfahlwurzel hat und die Fichte Flachwurzler ist. Die Ausgestaltung des Wurzelsystems hängt jedoch sehr von der Natur des Standorts ab. In flachgründigem und in besonders steinigem Boden, in Tonboden, in Moorboden und auch in trockenen Heideböden, besonders, wenn sie eine längere Zeit waldlos gewesen sind, bildet sich im Allgemeinen kein regelmässiges Pfahlwurzelsystem. Das Wurzelsystem der Birke ist weniger verzweigt und geht nicht tief, aber doch tiefer als z. B. das der Fichte. Noch hat man festgestellt, dass in trok-

¹⁾ In diesem Zusammenhange sei noch erwähnt, dass die Stoffproduktion der erstjährigen Tanne, Fichte und Kiefer nach NOBBE 120.0, 172.0 und 457.0 mg war, was insofern interessant ist, dass z. B. nach unseren Ertragstabellen die Produktion der Kiefernbestände grösser als die der Fichtenbestände ist.

kenen und mageren Sandböden die Wurzeln im Allgemeinen bedeutend länger als in fruchtbareren Böden werden¹⁾. Gewöhnlich wird auch angegeben, dass im Bestande die Wurzelsysteme viel kleiner als bei einzeln stehenden Bäumen sind. -- Was die Wurzelmasse betrifft, heisst es, dass sie z. B. bei der Kiefer bis 20 %, bei der Fichte 12–15 % von der oberirdischen Masse ausmacht.

Von späteren Untersuchungen über die Wurzeln der dicotylen Holzpflanzen sind besonders diejenigen von BÜSGEN erwähnenswert²⁾. B. unterscheidet zwei Wurzeltypen, die sich in dem Charakter der letzten Auszweigungen eines Wurzelsystems ausprägen, wie er sich darstellt:

1. in der Dicke der einzelnen Wurzelästchen,
2. im Verhältnis zwischen der Länge und Stärke der letzten Nebenzwurzeln zur Länge und Stärke ihrer Mutterwurzel,
3. im Reichtum und Charakter der Verzweigung in den äussersten Regionen des Wurzelsystems.

Bei der Esche z. B. zeigen die letzten Ausläufer des Wurzelsystems nur langgestreckte $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{2}$ mm dicke Zweige, ohne Unterschiede zwischen Mutter- und Tochterwurzel, bei der Rotbuche sind sie kleiner und kommen in grösserer Menge vor. Die Wurzelsubstanz ist in diesen Fällen im Boden auf verschiedene Weise verteilt, was wiederum Unterschiede speziell in der Wasserversorgung bedingt. Den ersteren Typ nennt BÜSGEN extensiv, den letzteren intensiv. Die Bäume mit einem intensiv

¹⁾ Über die Anzahl und Länge der Wurzeln bei 4-monatigen Fichten- und Kiefernpflanzen gibt CAJANDER (A. K. CAJANDER, Metsänhoidon perusteet II. Porvoo 1917. 173, 291) nach TER-SARKISOW folgende Zahlen an:

	Anzahl		Länge mm	
	Fichte	Kiefer	Fichte	Kiefer
Im Sande	218	363	466	713
In feinerem Sande	75	181	188	420
Im Humus	68	54	179	179

WAHLGREN erwähnt eine $5\frac{1}{2}$ -jährige Fichtenpflanze, deren Wurzeln eine Gesamtlänge von 65 m hatten. (A. WAHLGREN, Skogsskötsel, Stockholm 1914. 488–9.)

²⁾ M. BÜSGEN, Studien über die Wurzelsysteme einiger dicotyler Holzpflanzen. Flora 95 (1905). 58–94.

arbeitenden Wurzelsystem können auch auf trockenen Standorten gedeihen, wo ein extensiv arbeitendes System nicht mehr Wasser zu entnehmen vermag.

Die Untersuchungen vom Verfasser in nordfinnischen Kiefernwäldern haben u. a. gezeigt, dass in gleich dichten und gleich alten Beständen desselben Waldtypus und derselben Baumart die Anzahl der Wurzeln ziemlich gleich gross, aber auf verschiedenen Standorten insofern verschieden ist, dass sie in den schlechteren Typen grösser als in den besseren ist¹⁾. Diese Beobachtungen, die jedoch in manchen Beziehungen noch der Ergänzung bedürfen, scheinen also darauf zu deuten, dass jedenfalls bei der Kiefer dasselbe Verhältnis zwischen Wurzeln und oberirdischen Teilen besteht wie bei den Kulturpflanzen²⁾.

Abb. 3 u. 4 (S. 50) stellen ganz schematisch dar, wie man sich die Abhängigkeit der räumlichen Ordnung im Walde von den Wurzelsystemen der Bäume auf Grund bisheriger Kenntnisse vorstellen kann, Abb. 3 auf einem geringeren, Abb. 4 auf einem fruchtbareren Standort. (Die vermuteten Rhizosphären der Wurzeln sind durch schraffierte Flächen gekennzeichnet.)

2. Die Nahrungsaufnahme der Wurzeln

Wenn man die Einwirkung der Wurzeln auf einander näher kennen lernen will, so ist es weder genügend noch das wichtigste, zu wissen, dass einige Pflanzen ein grösseres Wurzelsystem besitzen als andere und

¹⁾ V. T. AALTONEN, Über die Ausbreitung und den Reichtum der Baumwurzeln in den Heidewäldern Lapplands. A. F. F. 14 (1920).

²⁾ Zahlreiche Untersuchungen über die Wurzelsysteme von Bäumen hat in den letzten Jahren auch Geh. Forstr. Prof. Dr. VATER, Direktor der Forstakademie in Tharandt, mit seinen Schülern ausgeführt. Wie aus den von ihm mir freundlichst (IX. 1922) gezeigten Bildern hervorging, sind die Wurzelsysteme z. B. der Kiefer und der Fichte in den von ihm untersuchten Gegenden (in Sachsen) den von mir beschriebenen Wurzelformen aus unserem Lappland sehr ähnlich. Leider hat man die Resultate dieser interessanten Beobachtungen noch nicht veröffentlichen können.

Unveröffentlicht sind vorläufig auch noch die von Dr. MULTAMÄKI und Ing. KOKKONEN bei uns in Moorböden über die Baumwurzeln gemachten Untersuchungen.

dass die Grösse bzw. andere Eigenschaften der Wurzeln von dem Standorte abhängig sind, sondern wir müssen vor allem darüber Bescheid erlangen, wie die Nahrungsaufnahme mittels der Wurzeln eigentlich vonsieht.

Diese Frage ist von grundlegender Bedeutung und zwar nicht nur vom Standpunkte unseres Themas aus, sondern natürlich auch von dem-

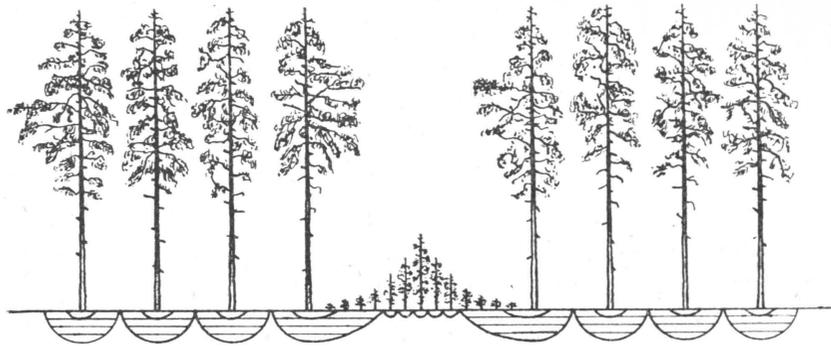


Abb. 3.

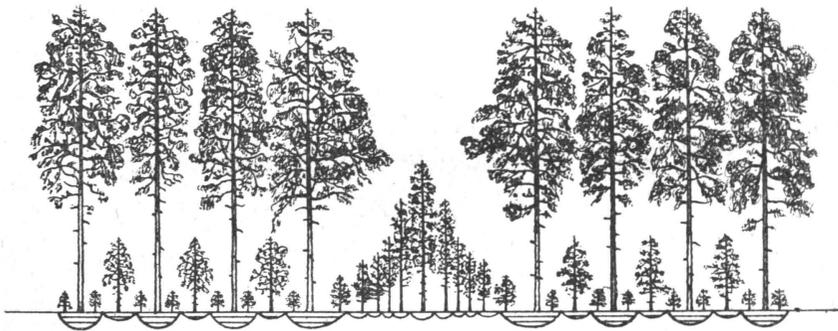


Abb. 4.

jenigen der Pflanzenernährung überhaupt. Leider können wir auch diesen Prozess im einzelnen noch nicht durchschauen; auch in dieser Hinsicht hat man den grünen Pflanzenteilen viel mehr Aufmerksamkeit gewidmet.

Besonders wichtig wäre es zu erfahren, ob zwischen Wurzeln ein und derselben Pflanze oder von verschiedenen Pflanzen tatsächlich eine Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe herrscht und ob einige Wurzeln in dieser Konkurrenz kräftiger als andere sind. Und sollte

ein solcher Wettbewerb bestehen, so müsste man darüber im klaren sein, aus wie grosser Entfernung eine Wurzel bzw. ein Wurzelhaar noch Nährstoffe nehmen kann, und wie diese Entfernung von der Pflanzenart, vom Standorte usw. abhängt. Was wird z. B. dann eintreffen, wenn die Wurzeln von zwei Nachbarpflanzen, die anfangs von einander nichts »gewusst« haben, bei ihrer weiteren Ausbreitung zusammenstossen?

Besondere Beachtung verdienen in dieser Beziehung die von SACHS hervorgehobenen Gesichtspunkte¹⁾. Nach SACHS nehmen die Landpflanzen ihr Wasser durch einen Prozess auf, den er als hygroskopische Bewegung bezeichnet. Die Pflanzen leben von dem Wasser, das von den Flächenanziehungskräften der Bodenteilchen beherrscht wird. Diese Kräfte sind um so stärker, je trockner der Boden infolge der Verdunstung ist und um so grösser muss auch die Anziehungskraft der Wurzelhaare sein. Wenn ein Wurzelhaar Wasser aufnimmt, verursacht es zuerst in den nächsten Bodenteilchen eine Störung in der Gleichgewichtslage, die vordem zwischen den Wasserschichten dieser Teilchen herrschte, denn auf den Oberflächen der Teilchen gibt es jetzt weniger Wasser als ihrer Anziehungskraft entspricht. Eine Folge davon ist, dass diese Teilchen ihren Nachbarn Wasser entziehen und so immer weiter bis wieder ein Gleichgewicht zwischen den Wasserschichten hergestellt ist. »Jedes Wurzelhaar für sich wird zum Centrum einer allseitig gegen dasselbe gerichteten Strömung; für die mit Tausenden von Wurzelhaaren bedeckte Oberfläche eines kleinen Wurzelstückchens resultiert daraus eine ähnliche Bewegung, welche die Wasserteilchen des Bodens vorzugsweise radial gegen die Axe der Wurzel von allen Seiten hinführt«²⁾. Die Schnelligkeit der hygroskopischen Bewegung wechselt je nach der Anziehungskraft der Wurzelhaare, der Beschaffenheit und der Temperatur des Bodens usw. — Die obenbesprochenen Gefässversuche mit 6 und 12 Pflanzen stellte SACHS hauptsächlich an um zu zeigen, dass auch die Nährstoffe mit dem Wasser wandern und die Wurzeln demnach nicht nur auf die in ihrer nächsten Nähe sich befindende Nahrung an-

¹⁾ Die auf S. 18 genannte Abhandlung.
Desgl. das auf S. 18 genannte Werk. Ss. 169.

²⁾ Das auf S. 18 genannte Werk. S. 172.

gewiesen sind. Und diese Annahme wurde auch durch seine Versuchsergebnisse bestätigt. In den beiden Gefässen hatten die Wurzeln so viel Raum, dass man sich jede Wurzel als von ihrer eigenen Bodenhülle umgeben denken könnte; wenn nun die Wurzel nur aus dieser ihre Nahrung aufnähme, so wäre es für sie gleichgültig, ob in $\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung noch eine andere Wurzel die ihrige aufnähme und die Erträge aus 6 und 12 Pflanzen müssten gleich gross sein. Da nun die Erträge aber verschieden hoch waren, muss man annehmen, dass die Wurzeln in beiden Fällen Nahrung aus dem ganzen Gefässraum aufgenommen haben, was sich wieder nur durch die hygroskopische Bewegungen des Wassers erklären lässt. Die Einwirkung der Wurzeln auf einander ist nur dadurch möglich, dass ihre Wirkung sich auf alle Bodenteilchen ausdehnt.

Nach RAMANN¹⁾ nehmen die Pflanzen ihre Nährstoffe sowohl aus der Bodenlösung als aus den festen Bodenteilchen auf. Die Verdunstung und die Wasseraufnahme der Wurzeln verursachen im Boden Wasserströmungen und mittels dieser Bewegung, die immer neue Nährstoffe mit den Wurzeln in Berührung bringt, können diese genügend Nahrung aufnehmen auch wenn sie nur spärlich vorhanden ist. Bei der Nahrungsaufnahme aus den festen Bodenteilchen stehen die Wurzelhaare in enger Berührung mit letzteren und die Aufnahme von Basen wird durch die Vorgänge des Basenaustausches erklärt. Die Art der Nahrungsaufnahme hängt von der Menge der sorptionsfähigen Bestandteile des Bodens ab: »In sorptionsschwachen Böden (Sand, Humus) erfolgt die Ernährung der Pflanzen aus der Bodenlösung, in sorptionskräftigem Boden (Ton) überwiegend aus den festen Bodenteilen. In Mittelböden herrscht bald der eine bald der andere Vorgang vor».

Über die Strömung des Wassers gegen die Wurzelhaare aus den entfernteren Bodenteilchen sprechen auch URSPRUNG und BLUM²⁾. Erwähnt sei auch, dass z. B. nach ODÉN der kserophile Bau der Moorpflanzen von der langsamen Bewegung des Wassers infolge der

¹⁾ E. RAMANN, Über Mineralstoffaufnahme der Pflanzen aus dem Boden. Landw. Versuchsst. 88 (1916). 379–95.

²⁾ A. URSPRUNG und G. BLUM, Zur Kenntnis der Saugkraft V. Ber. der Deutsch. Bot. Gesellsch. 39 (1921). 139–48.

kolloidalen Humusstoffe herrührt¹⁾. — In nassem Moorboden ähneln die Verhältnisse jedoch schon denjenigen in einer Wasserkultur, wo die Wurzeln ihre Nahrung ausschliesslich aus dem Wasser aufnehmen und also im Wasser gegen die Wurzelhaare Strömungen entstehen müssen.

In der Pflanzenphysiologie nimmt man gewöhnlich an, dass die Wurzeln der Landpflanzen die Nährstoffe direkt aus den Bodenteilchen aufnehmen, denn das Bodenwasser ist so arm an solchen, dass sie den Pflanzen nicht lange genügen könnten. Die Wurzeln können die von den Bodenteilchen absorbierten Stoffe aufnehmen und auch sogar noch aufschliessend auf Gesteine wirken.

Was die aufschliessende Wirkung der Wurzeln betrifft, so ist sie eine schon lange bekannte und auch vielfach studierte Erscheinung. Besonders in den letzten Jahren hat man dieser Wirkung ziemlich viel Aufmerksamkeit zugewandt, als man beobachtete, dass das Gedeihen jedenfalls einiger Kulturpflanzen von der Beschaffenheit ihrer Wurzelabscheidungen abhing. Über die Natur und die Bedeutung der von den Wurzeln abgeschiedenen Stoffe sind doch zur Zeit noch verschiedene Anschauungen vorhanden. Im Allgemeinen nimmt man an, dass die aufschliessende Wirkung von der Kohlensäure herrühre. Nach MITSCHERLICH²⁾ kommt nur die Kohlensäure in Betracht und das verschiedene grosse Aufschliessungsvermögen verschiedener Kulturpflanzen ist eine Folge der verschiedenen Grösse, Form, Oberfläche usw. der Wurzeln, ferner der Intensität der Atmung, welche Unterschiede in der Kohlensäureabscheidung bedingt, und schliesslich der verschiedenen Durchlässigkeit der assimilierenden Zellenmembranen. PFEIFFER und BLANCK³⁾ dagegen glauben, dass neben der Kohlensäure auch organische Säuren eine

¹⁾ SVEN ODÉN, Die Huminsäuren. Dresden u. Leipzig, 1919, 1922. (Sonderausg. aus Kolloidchem. Beih. Bd. XI.)

²⁾ EILHARD ALFRED MITSCHERLICH, Eine chemische Bodenanalyse für pflanzenphysiologische Forschungen. Landw. Jahrb. 36 (1907). 309–69.

³⁾ TH. PFEIFFER und E. BLANCK, Die Säureausscheidung der Wurzeln und die Löslichkeit der Bodennährstoffe in kohlensäurehaltigem Wasser. Landw. Versuchsst. 77 (1912). 217–68.

E. BLANCK, Die Veränderung eines sterilen Sandes durch Pflanzenkultur. Journ. f. Landw. 62 (1914). 129–40.

wichtige Rolle spielen. — Man hat u. a. bemerkt, dass die Gramineen sich Wasser und Nährstoffe besser aneignen können als die Leguminosen und in einer Mischung von beiden den letzteren dadurch überlegen sind. Die Leguminosen können doch ihre Ernährung sichern u. a. dadurch, dass sie eine stärkere Wurzelazidität besitzen.

In letzter Zeit hat man im Zusammenhang mit den Untersuchungen über die Bodenazidität auch die Wurzelsäfte studiert und festgestellt, dass ihre Wasserstoffzahl je nach der Pflanzenart bedeutend wechseln kann¹⁾. — Es sei noch erwähnt, dass neuerdings MATTSON darauf aufmerksam gemacht hat, wie die adsorptiv ungesättigten Böden aufschliessend auf schwer lösliche Stoffe einwirken und dass man annehmen dürfte, dass auch die negativen Kolloide der Pflanzenwurzeln OH-Ionen und zugleich Kationen adsorbieren könnten²⁾.

Vom Standpunkte der Wurzelkonkurrenz aus hat die Nahrungsaufnahme der Wurzeln, wie gesagt, eine grundlegende Bedeutung. Wie doch aus dem obenbesprochenen hervorgeht, können wir von diesem Prozess noch kein klares Bild gewinnen.

Was die Nährstoffaufnahme aus der Bodenlösung und aus den festen Bodenteilchen betrifft, wollen wir mit RAMANN u. a. annehmen, dass beides in Frage kommen kann und dass im Boden, sowie schon SACHS vermutet hat, Wasserströmungen gegen die Wurzelhaare stattfinden. Diese Hypothese macht so viele Erscheinungen im Pflanzenleben bzw. im Wurzelleben besser verständlich, dass ihre Annahme berechtigt scheint.

¹⁾ H. KAPPEN, Untersuchungen an Wurzelsäften. Landw. Versuchsst. 91 (1918). 1—40.

J. KÖNIG, J. HASENBAUMER und E. KRÖGER, Einflüsse auf die Bildung von Bodensäure. Zeitschr. f. Pflanzenern. u. Düng. A, 1 (1922). 3—12.

OTTO LEMMERMANN und L. FRESENIUS, Untersuchungen über die Azidität der Böden und ihre Wirkung auf keimende Pflanzen. Ibidem, 12—30.

Über die englische (nordamerikanische) Literatur auf diesem Gebiete im Allgemeinen siehe z. B.: W. J. CLARK, The Determination of Hydrogen Ions. Baltimore 1920.

²⁾ SANTE EMIL MATTSON, Die Beziehungen zwischen Ausflockung, Adsorption und Teilchenladung mit besonderer Berücksichtigung der Hydroxylionen. Inaug.-Dissert. in Breslau 1922. 78. (Auch in den »Kolloidchemischen Beiheften«, Bd. XIV, Heft 9—12.)

Wir müssen uns ferner vorstellen, dass viele Wurzelfasern ihr Wasser und ihre Nährstoffe denselben Stellen des Bodens entnehmen und darauf die Frage aufwerfen, in welcher Richtung das Wasser sich eigentlich bewegen wird. Ebenso wenig wie man nach SACHS annehmen kann, jedes Wurzelhaar besäße seine eigene Bodenülle, woraus es Nährstoffe aufnehme, darf man sich eine jedes Wurzelhaar umgebende Wasserülle denken, weil das Wasser sich von einem Ort nach dem anderen hin bewegt. Eigentümlich genug, haben SACHS und andere Forscher in dieser Hinsicht ihre Gedanken nicht weiter entwickelt.

Selbstverständlich kommen wir hier zunächst zur Frage von der Grösse der saugenden Kraft der Wurzeln. Wenn diese Kraft bei einigen Wurzeln grösser als bei anderen ist, so herrscht selbstverständlich zwischen den Wurzeln eine Konkurrenz ums Wasser, wo die kräftigeren dieses den schwächeren entziehen. Die Beschaffenheit des Bodens wirkt natürlich immer entscheidend auf die Bewegungen des Wassers ein, und in den gegen die Wurzelhaare gerichteten Strömungen kommen viele Verwirrungen vor; wir kommen jedoch dem Ideale um so näher, je einheitlicher und homogener der Boden in Hinsicht seiner Wasserleitungsfähigkeit ist¹⁾.

Ein Unterschied von gewisser Grösse in den Saugkräften von zwei Wurzeln (od. Wurzelzellen) braucht z. B. dann, wenn seine Wirkung in einem trockenen Boden schon merkbar ist, in einem feuchteren Boden

¹⁾ Man kann hier zur Veranschaulichung des Gedankens z. B. an einen ganz einfachen Versuch denken, wo aus einem Gefäss mit Wasser dieses mittels zweier Röhren ausgesaugt wird, während man die Wassermenge im Gefässe konstant erhält. Während einer gewissen Zeit saugen die beiden Röhren natürlich, je nach ihrer Saugkraft, eine bestimmte Wassermenge, ohne irgendwie auf einander einzuwirken, oder m. a. W. ebenso viel, als ob jede allein während dieser Zeit gesaugt hätte, vorausgesetzt jedoch, dass sie sich nicht ganz nahe neben einander befinden. Erst wenn nur eine bestimmte, begrenzte Wassermenge vorhanden ist, macht sich eine Einwirkung der Röhren auf einander geltend. Wenn die eine schwächer oder kräftiger als die andere saugt, kommen den beiden Röhren je nach ihrer Saugkraft auch verschiedene Wassermengen zu. Wenn die eine kräftig genug saugt, kann man sich auch den Fall denken, dass die schwächere Röhre ganz ohne Wasser bleibt, und wenn die Saugkräfte gleich gross sind, erhalten beide Röhren natürlich gleich viel. — Es ist übrigens jedoch ohne weiteres klar, dass die Wurzel-saugung kein so einfacher mechanischer Vorgang ist, wie hier die »Röhrensaugung«.

noch nicht einen besonderen Einfluss auszuüben. Im ersteren Falle kann auch die Möglichkeit vorkommen, dass die schwächeren Wurzeln aus dem Boden nicht mehr Wasser aufnehmen können, während die kräftigeren Wurzeln noch dazu imstande sind.

Dass die in der Entstehung und Entwicklung der Waldbestände wahrnehmbaren Erscheinungen, über welche schon oben berichtet wurde, der Hauptsache nach mit diesen Vermutungen im Einklang stehen, bedarf keiner weiteren Auseinandersetzung. Die Folgen der Wurzelkonkurrenz kommen eben in trockenen, mageren, homogenen Sandböden am deutlichsten zum Vorschein. Und ausser der Knappheit des Wassers und der Nährstoffe als solche, tritt noch die Möglichkeit hinzu, dass die Wurzeln in solchen Böden ihre Nahrung hauptsächlich aus der Bodenlösung nehmen, worauf besonders RAMANN aufmerksam gemacht hat.

Über Methoden und Mittel der fortzusetzenden Wurzelforschung

Wenn auch die bisherigen Wurzeluntersuchungen, wie schon aus dem obenerwähnten hervorgegangen ist, nicht direkt auf die Frage von der Einwirkung der Wurzeln auf einander gerichtet gewesen sind; so liefern sie immerhin wertvolles Material für eine nähere Erklärung dieses Einflusses. Es ist jedoch natürlich, dass die bisherigen Ergebnisse noch unzureichend und fortgesetzte Untersuchungen, in welchen die Aufmerksamkeit besonders auf die Wurzelkonkurrenz gerichtet werden muss, notwendig sind. Auch ist selbstverständlich, dass die Untersuchungen nicht nur vom Standpunkte des theoretischen Interesses aus, sondern zugleich von demjenigen des praktischen Pflanzenbaus mehr als bisher auch auf Holzgewächse, besonders auf die wichtigsten Waldbäume, zu richten sind¹⁾.

Bei dieser Forschungsarbeit kann man sozusagen direkt oder indirekt verfahren.

Man kann seine Untersuchungen direkt auf die Wurzeln und auf ihre gegenseitige Einwirkungen richten. Oder man kann zu einer näheren Kenntnis der entsprechenden Beziehungen zwischen den unterirdischen Teilen gelangen auf Grund von Beobachtungen über die Beziehungen zwischen den oberirdischen Pflanzenteilen.

¹⁾ Hinsichtlich der im Walde speziell über die Wurzelkonkurrenz gemachten Untersuchungen sind dem Verfasser aus der Literatur nur die Beobachtungen von WOODHEAD in Eichenwäldern in England bekannt, welche RÜBEL anführt. (EDUARD RÜBEL, Geobotanische Untersuchungsmethoden. Berlin 1922. 126—7.) Doch scheint auch in diesen Untersuchungen das Wesen der Wurzelkonkurrenz nicht richtig verstanden zu sein.

Zur Erklärung der gegenseitigen Wirkungen der Wurzeln von Waldbäumen kann man natürlich verschiedene Untersuchungen und Versuche anstellen. Besonders wichtig bei diesen, wie überhaupt bei allen forstwissenschaftlichen in der Natur auszuführenden Untersuchungen ist, dass der Standort oder der Waldtyp genau charakterisiert wird. Anfangs sollte man auch die Untersuchungen nur auf die gewöhnlichsten Waldtypen, wo sie am »typischsten« vorkommen, ausdehnen.

So viel wie möglich wären die Wurzeluntersuchungen jedenfalls anfangs in steinarmen Sandböden anzustellen, die hinsichtlich ihrer physikalischen und wahrscheinlich auch chemischen u. a. Eigenschaften möglichst homogen sind. Es ist anzunehmen, dass man in solchen Böden, wo u. a. das Wasserleitungsvermögen überall ziemlich gleichmässig ist und die Wurzeln sich frei, ungestört von Steinen u. a. entwickeln können, am leichtesten die die Entwicklung und gegenseitige Einwirkung der Wurzeln beherrschenden Gesetze entdecken kann. Ausserdem sind in solchen Böden die Beobachtungen technisch leichter auszuführen, was gerade bei Wurzeluntersuchungen nicht wenig bedeutet.

Die Grösse, Form, Stellung im Boden usw. der Baumwurzeln und ihre anderen äusseren Eigenschaften auf verschiedenen Standorten sind vorläufig nur ganz mangelhaft bekannt. Untersuchungen über die Nahrungsaufnahme der Wurzeln mit besonderer Berücksichtigung ihrer Ausscheidungen oder der sog. Wurzelsäuren wären selbstverständlich auch wünschenswert¹⁾.

Da nun die Grösse der Saugkraft der Wurzelzellen sich als so wichtig erweist, entsteht zunächst die Frage, ob man sie auf irgend eine Weise messen könnte, eine Frage, welche u. a. schon vor über 60 Jahren von SACHS aufgeworfen wurde, wenn auch nicht in demselben Sinne, in welchem sie hier aufgetaucht ist.

Bekanntlich ist zur Messung der Saugkraft oder des osmotischen Druckes der Pflanzenzellen schon lange die sogenannte plasmolytische

¹⁾ Es sei erwähnt, dass u. a. RÜBEL (das auf S. 57 genannte Werk, S. 126) für direkte Beobachtungen über den Wurzelwettbewerb Vertikalausstiche im Boden empfiehlt und glaubt, dass man damit noch vieles über die gesetzmässige Zusammensetzung einzelner Pflanzengesellschaften erfahren könnte.

Methode angewandt worden, aber erst in den letzten Jahren haben URSPRUNG und BLUM eine Methode ausgearbeitet, mittels derer man die in Frage stehende Saugkraft der Wurzeln messen kann.

Wenn z. B. eine Wurzelzelle Wasser verliert, so nimmt sie aus dem Boden neues Wasser auf. So lange die Zelle nicht die grösstmögliche Wassermenge hat, setzt das Saugen fort. Anfangs ist die Saugkraft oder der osmotische Druck am grössten, bei weiterem Eindringen des Wassers verringert der Druck sich allmählich und wird schliesslich = 0; der Druck der Zellhaut verändert sich in entgegengesetzter Richtung und ist dann am grössten, wenn die Saugkraft = 0 ist. Indem man den Druck der Zellhaut von der grössten Saugkraft des Zellsaftes subtrahiert, bekommt man die jeweilige Saugkraft der Zelle. Wenn man auf die Zelle einen so grossen Druck einwirken lässt, dass kein Wasser mehr in die Zelle eindringen kann, so ist dieser Druck ein Mass für den osmotischen Druck oder die Saugkraft der Zelle. Er wird nun, wie erwähnt, mittels Plasmolyse gemessen. Die Zelle wird in einer Salzlösung, meist in Kaliumnitrat oder in Rohrzucker gelegt und die sogen. Grenzplasmolyse (plasmolytische Grenzkonzentration) bestimmt. Der osmotische Druck dieser Konzentration entspricht dem osmotischen Druck des Zellsaftes. Tatsächlich ist jedoch der osmotische Wert der Pflanzenzellen im Allgemeinen nicht so hoch, weil der ermittelte Wert die grösste Saugkraft darstellt, die die Pflanze besitzen könnte, wenn sie ganz verwelkt wäre.

Mit dieser Methode hat man eine grosse Menge von Messungen an verschiedenen Pflanzenarten und auf verschiedenen Standorten angestellt. U. a. hat man so feststellen können, dass die osmotischen Werte um so höher sind, je mehr die Wasserversorgung der Pflanzen erschwert wird. FITTING hat solche Messungen besonders an Wüstenpflanzen vorgenommen und festgestellt, dass der osmotische Wert je nach der Pflanzenart, nach den Feuchtigkeitsverhältnissen des Bodens u. a. von 16 bis 100 Atm. wechseln kann. Unter gewöhnlichen Verhältnissen

beträgt er 5–15 Atm.¹⁾. — Zahlreiche Messungen haben auch amerikanische und englische Forscher angestellt²⁾.

URSPRUNG und BLUM haben ausser den osmotischen Wert im Allgemeinen, in der Pflanze speziell dessen Grösse in den Wurzeln untersucht und haben, wie schon erwähnt wurde, auch eine Methode ausgearbeitet, mittels derer man die wirkliche Saugkraft der absorbierenden Wurzelzellen messen kann. U. und B. haben untersucht, wie gross der Widerstand ist, den ein Wurzelhaar überwinden muss, um in Zeiteinheit so viel Wasser aufzunehmen, wie zum normalen Gedeihen der Pflanze nötig ist, indem sie die Kraft, welche zur Überwindung dieses Widerstandes erforderlich ist oder die Saugkraft eines Wurzelhaares, gemessen haben. Dass man den in Frage stehenden Widerstand so bestimmen kann, wurde durch viele Versuche bewiesen. In Versuchen, wo der Widerstand genau bekannt war, war er gleich gross wie die Saugkraft des Wurzelhaares und in Fällen, wo der Widerstand unbekannt war, veränderten die Saugkraft und der Widerstand sich in gleicher Richtung³⁾.

Zur Messung der Saugkraft wurden bei diesen Untersuchungen bestimmt: der osmotische Wert bei Grenzplasmolyse (in Rohrzucker), das Zellvolumen in normalem Zustand (in Paraffin) und bei Grenz-

¹⁾ H. FITTING, Die Wasserversorgung und die osmotischen Druckverhältnisse der Wüstenpflanzen. Zeitschr. f. Botanik 3 (1911). 210–57. (Nicht gesehen; nach: HANS FITTING, die auf S. 43 genannte Abhandlung.)

²⁾ Vgl. z. B. die oben genannte Abhandlung von FITTING: Aufgaben und Ziele etc.

³⁾ Über die Methodik siehe:

A. URSPRUNG und G. BLUM, Zur Methode der Saugkraftmessung. Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch. 34 (1916). 525–39.

Dieselben, Zur Kenntnis der Saugkraft V. Ibidem 39 (1921). 139–48.

Auch: ABDERHALDEN's Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abteil. XI, Teil 2:b, Lfg. 13. Ss. 168.

Von den zahlreichen anderen Abhandlungen von URSPRUNG und BLUM seien erwähnt:

Zur Kenntnis der Saugkraft, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch. 34 (1916). 539–54.

Zur Kenntnis der Saugkraft II, Ibidem 36 (1918). 577–99.

Besprechung unserer bisherigen Saugkraftmessungen, Ibidem 36 (1918). 599–618.

Zur Kenntnis der Saugkraft III, Ibidem 37 (1919). 453–62.

Zur Kenntnis der Saugkraft IV, Ibidem 39 (1921). 70–9.

plasmolyse sowie der Wanddruck und auf Grund dieser Werte wurde die Saugkraft berechnet. Später haben die genannten Verfasser eine einfachere Methode ausgearbeitet, in welcher nur das Zellvolumen in normalem Zustand und in Rohrzucker zu messen ist. Wenn die Saugkraft oder der osmotische Wert der Rohrzuckerlösung grösser als die der Zelle ist, so verkleinert die Zelle sich und umgekehrt. Die Zuckerkonzentration, wo die Zelle sich unverändert hält, entspricht dem osmotischen Wert der Zelle.

In bezug auf die an Wurzeln gemachten Messungen sei erwähnt, dass die Saugkraft von aussen nach innen wächst und die absorbierenden Wurzelzellen im Allgemeinen die niedrigste Saugkraft in der ganzen Pflanze besitzen. Die Saugkraft an der Wurzelspitze war u. a. bei Bohne 7.2, bei Buche 5.2 und bei Efeu 1.3 Atm. Die Unterschiede lassen sich nach U. und B. hauptsächlich durch Feuchtigkeitsverhältnisse erklären; im Allgemeinen erwies sich die Saugkraft in trockenem Boden grösser als in feuchtem. — Gleich anderen Forschern haben auch diese Verfasser ihr Augenmerk nicht auf die Einwirkung der Wurzeln bezw. Pflanzen auf einander mittels der in Frage stehenden Saugkraft gerichtet.

Eine Methode zur Messung der Saugkraft transpirierender Pflanzenteile hat noch NORDHAUSEN ausgearbeitet und er konstruierte einen besonderen Apparat hierfür. Prinzip der Methode ist: aus der Filtrationsgeschwindigkeit des von dem saugenden Pflanzenteil durch ein zylindrisches Tonstück hindurch aufgenommenen Wassers die Saugkraft durch Vergleich mit der entsprechenden Wirkung einer Luftpumpe zu berechnen¹⁾.

Der Apparat in seiner einfachsten Form besteht aus einer 20–30 cm langen Kapillare von c. 0.6 mm lichter Weite, an deren einem Ende

¹⁾ Näheres siehe:

M. NORDHAUSEN, Über die Saugkraft transpirierender Sprosse. Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch. 34 (1916). 619–39.

Derselbe, Zur Kenntnis der Saugkraft und der Wasserversorgung transpirierender Sprosse. Jahrb. f. wissensch. Botanik 58 (1919). 295–335.

Über die Methodik auch in:

ABDERHALDEN's Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abteil. XI, Teil 2:b, Lfg. 13. S. 174–7.

ein 4—5 cm langer, c. 1 cm dicker — von gleicher Dicke wie das Glasrohr — Tonstöpsel befestigt ist. Die Kapillare wird mit Wasser gefüllt, der Tonstöpsel mit Klammern gegen den entrindeten Pflanzenteil gepresst und von einer an das Glasrohr befestigten Skala der Druck in Atm. je nach den Bewegungen des Meniskus abgelesen.

Es scheint möglich, dass man auch mit diesem Apparat einige Messungen an Baumwurzeln anstellen könnte, die geeignet wären, das Wesen der Wurzelkonkurrenz zu beleuchten¹⁾.

Saugkraftmessungen an Baumwurzeln nach den obenbesprochenen Methoden könnten wahrscheinlich in bezug auf den Wurzelwettbewerb interessante Tatsachen an das Tageslicht befördern, obgleich diese Arbeitsmethoden für Untersuchungen im Walde noch weiter entwickelt werden müssten. Wichtig wären u. a. Untersuchungen über die Abhängigkeit der Saugkraft vom Baumalter, von der Baumart und vom Wasser- und Nährstoffgehalt des Bodens.

Ferner wäre es wichtig Zuwachsuntersuchungen — über Längen- und Dickenwachstum — an Wurzeln und mit Berücksichtigung der Wuchsverhältnisse des Stammes anzustellen. Welchen Einfluss auf die Entwicklung der Wurzeln z. B. die Durchforstungen ausüben, ist noch nicht bekannt.

In diesem Zusammenhange sei auch erwähnt, dass, wie Herr Prof. Dr. RAMANN (München) dem Verfasser gegenüber äusserte, die Wurzelspitzen oder im Allgemeinen die assimilierenden Wurzelteile sich immer in einer gewissen Entfernung von einander halten. Wenn es sich nun wirklich so verhielte, so liesse sich wahrscheinlich an solchen Stellen, wo z. B. zwei ältere Wurzeln oder Wurzelteile einander berühren oder überhaupt einander ganz nahe kommen, ein Altersunterschied feststellen. Jedenfalls verdiente auch dieser Umstand einer näheren Prüfung unterworfen zu werden.

Über diesbezügliche Untersuchungen indirekter Natur möge hier noch folgendes hervorgehoben werden.

¹⁾ Herr Prof. Dr. NORDHAUSEN (Marburg), der seinen Apparat dem Verfasser persönlich freundlichst demonstriert hat, glaubte jedoch, dass seine Methode zur Anstellung solcher Messungen nicht genügend genau sei.

Zur Erklärung des Einflusses der Mutterbäume auf die Pflanzen z. B. in Verjüngungslücken, könnte man u. a. die nach der Lücke zu sich ausbreitenden Wurzeln der Mutterbäume abschneiden¹⁾.

Im Walde könnte man auch noch Versuche anstellen, wobei die in der Nähe eines älteren Baumes wachsenden jüngeren Bäume, die den älteren nicht »beschattet« haben, entfernt und die Zuwachsverhältnisse des alten Baumes später untersucht würden. Oder man kann auch umgekehrt verfahren, einem älteren Baume mittels Pflanzung oder Saat »neue Nachbarn« verschaffen und durch Zuwachsuntersuchungen sich über den Einfluss dieser Massnahme auf den älteren Baum zu unterrichten. Ferner könnte man ältere Bäume, die auf den Jungwuchs einzuwirken scheinen, mittels Rindenabchälung ausgehen lassen und zuletzt z. B. unter einen Bestand künstlich Jungwuchs einführen.

Hierher gehören noch Untersuchungen über den Einfluss der Verjüngungshiebe auf das Wachstum der nachgebliebenen Bäume und auf den Jungwuchs. Auch könnten die Ergebnisse von verschiedenen Durchforstungsgraden unsere Kenntnisse über die Bedeutung der Wurzelkonkurrenz erweitern.

Welches Verhältnis zwischen den Massen (Grössen, Oberflächen) der ober- und unterirdischen assimilierenden Teile besteht, ist noch nicht aufgeklärt. Ebensowenig das gleiche Verhältnis zwischen Stamm, Ästen (mit Blättern) und Wurzeln.

Endlich sind alle Untersuchungen über die Bedeutung der Lichtverhältnisse in der Entstehung und Entwicklung der Wälder dazu geeignet auch über die Wurzelkonkurrenz Aufschlüsse zu geben. Die bisher gemachten diesbezüglichen Untersuchungen waren in mancher Hinsicht mangelhaft nicht nur was die Arbeitsmethoden betrifft, sondern auch insofern, dass der Natur des Standorts zu wenig Aufmerksamkeit

¹⁾ Einige solche Versuche dürfte man schon in Schweden gemacht haben (HESSELMAN). Der Umstand, dass diese Versuche nach Ablauf einiger Jahre noch kein Resultat ergeben haben, beweist noch nichts gegen oder für das Bestehen des Wurzelwettbewerbs, denn solche Versuche müssen während einer längeren Zeit und nach einem sorgfältig ausgearbeiteten sinngemässen Plan ausgeführt werden.

geschenkt wurde. (U. a. wären Versuche mit der sogen. Gasblasenmethode wünschenswert.)

In naher Beziehung zu den eben erwähnten Untersuchungen sind noch Beobachtungen über die Abhängigkeit der Waldbodenvegetation von den Bäumen, von der Baumart, vom Bestandalter, von der Bestanddichte usw.¹⁾. Schon vom Standpunkte der Bestimmung und Charakterisierung von Waldtypen aus wären solche Untersuchungen wichtig. — Eine noch nicht aufgeklärte Frage ist auch das häufig beobachtete und erwähnte Eindringen der Fichte in Kiefernbestände (und in Birkenbestände).

Untersuchungen über die Abhängigkeit der Bodenfeuchtigkeit von Bäumen würden wahrscheinlich auch die Kenntnisse über die Tätigkeit der Wurzeln bereichern, desgleichen Beobachtungen über die Einwirkung der Bäume auf den Nährstoffgehalt des Bodens.

Gefäßversuche mit Waldbäumen sind natürlich nur in beschränktem Masse ausführbar, aber an Feldversuche, in welchen der Wuchsraum auf irgend eine Weise begrenzt wäre, könnte man immerhin denken.

Was im vorstehenden über die zur Aufklärung des Wurzelwettbewerbs im Walde anzustellenden Beobachtungen und Versuchen gesagt ist, passt selbstverständlich in mancher Beziehung auch auf die Kulturpflanzen und überhaupt auf die kurzlebigeren Pflanzen. An solchen Pflanzen sind ja die Untersuchungen wegen ihrer geringeren Grösse leichter auszuführen und u. a. treten die Ergebnisse von Versuchen schneller zum Vorschein, so dass man bei ihnen schon nach kürzerer Zeit Aufschlüsse darüber bekommen kann, welche Bedeutung in ihrem Leben der Wurzelkonkurrenz zukommt. Dass die Untersuchungen über die Wurzeln der Kulturpflanzen auch in anderen Beziehungen wichtig und interessant sind, ist natürlich. Es sei nur noch erwähnt, dass man auf Grund von Wurzelanalysen über das Düngungsbedürfnis des Bodens Klarheit zu gewinnen versucht hat.

Im Gartenbau dürfte der Wurzelwettbewerb auch eine nicht unwichtige Rolle spielen und hier bietet sich gute Gelegenheit zu Versuchen

¹⁾ Vgl. dazu z. B.: YRJÖ ILVESSALO, Vegetationsstatistische Untersuchungen über die Waldtypen. A. F. F. 20 (1922).

und Untersuchungen. Es werden hier z. B. unter Bäumen oft andere Gewächse angebaut. Die Obstgärtner wissen u. a., dass man durch künstlich erzielte Hemmungen und Störungen in der Wurzelregion einiger Pflanzen den Obstertrag erhöhen kann. Gerade der Umstand, dass man im Gartenbau ziemlich leicht mittels verschiedener Massnahmen auf Grösse, Form, Entstehungsort und Richtung der Verzweigungen der Wurzelsysteme einwirken kann, macht, dass speziell hier die Wurzeluntersuchungen wichtig sind. Die oben erwähnten Forschungsmethoden dürften auch auf diesem Gebiete, das auch sonst noch viel zu wenig wissenschaftlich bearbeitet ist, einige neue Gesichtspunkte ans Tageslicht befördern.

*

Es braucht kaum noch besonders betont zu werden, dass man mit solchen Untersuchungen, die im obigen empfohlen wurden, hauptsächlich nur darüber Klarheit gewinnen kann, welche Bedeutung im Kampfe ums Dasein den oberirdischen, welche den unterirdischen Organen zukommt. Warum auf einem Platze eine Pflanzenart biologisch kräftiger als eine andere ist und erstere letztere verdrängt und warum auf einem anderen Platze das Resultat das entgegengesetzte sein kann, dies sind alles Fragen, zu deren Beantwortung die hier besprochenen Forschungsmethoden nicht genügen.

*

Im folgenden sollen noch einige, zur Aufklärung der Wurzelkonkurrenz vom Verfasser mit Mais angestellte Versuche referiert werden.

Einige Versuche mit Mais

Folgende Versuche wurden im Sommer 1922 am agrikulturchemischen und bakteriologischen Institute der Universität Breslau gemacht. Auch an dieser Stelle möchte ich meinen besten Dank dem Direktor des Instituts, Herrn Prof. Dr. PAUL EHRENBERG aussprechen, der mir bereitwilligst die Vegetationshalle, die Versuchsfelder und das Laboratorium seines Instituts zur Verfügung stellte und mir bei der Ausführung der Arbeit mit vielen wertvollen Ratschlägen geholfen hat.

Die Versuche wurden in drei verschiedenen Serien ausgeführt: die Gefässversuche A und B, und die Feldversuche. In Verbindung mit den Gefässversuchen B wurden auch noch einige Bestimmungen über die Saugkraft der Wurzeln gemacht.

1. Gefässversuche A

Hauptzweck dieser Versuche war Klarheit darüber zu gewinnen, welche Einwirkung die grösseren bzw. älteren Pflanzen und die kleineren bzw. jüngeren Pflanzen auf einander ausüben, und auf welche Weise dieser Einfluss von dem Feuchtigkeitsgrade des Bodens abhängt.

Als Versuchsgefässe wurden glacierte Tontöpfe, von 31.5 cm Höhe und 24 cm lichter Weite, benutzt. Der Boden war eine Mischung von Ackerboden, 10.5 kg, und von Odersand, 5.5 kg. Zur Verminderung der Verdunstung wurde noch in jedem Gefässe oberst eine Schicht von 1 kg Glassand hinzugefügt. Der Boden pro Gefäss hatte also ein Gewicht von 17 kg und mit dem Gefässe zusammen betrug das Gewicht 22.5 kg.

In den Versuchen wurden zwei Feuchtigkeitsgrade angewandt:

35 % und 75 %, und werden im folgenden die Gefässe der ersteren Serie trocken, die der letzteren feucht genannt.

Die erste Saat geschah am 17 Mai in 22 Gefässen, von diesen 11 trocken und 11 feucht, mit gewöhnlichem Pferdezaunmais, auf drei Stellen nahe an einander — jede mit zwei Samen — in der Mitte des Gefässes.

22—23. V. kamen die ersten Keimpflanzen zum Vorschein. 29. V. waren die Pflanzen schon 8—10 cm hoch. Dann wurden die überflüssigen Exemplare bis auf 3 Pflanzen pro Gefäss entfernt und die Gefässe auf das bestimmte Gewicht gebracht.

Die Gefässe wurden sämtlich durchschnittlich jeden dritten Tag gewogen und in der Zwischenzeit wurde täglich eine bestimmte, auf Grund der Wägungen abgeschätzte Menge Wasser verabreicht. Man konnte so den Wassergehalt natürlich nur ungefähr konstant halten, jedoch war es dem Verfasser leider nicht möglich die Wägungen häufiger auszuführen. Übrigens war beim Wiegen der Wassergehalt immer etwas niedriger als 35 bzw. 75 % und so ist er auch tatsächlich während der Versuchszeit etwas zu klein gewesen.

Zur Bestimmung des eigenen Gewichtes der Pflanzen wurden die Pflanzen zu bestimmten Zeiten 2—3 mal in einigen Gefässen geerntet und frisch gewogen.

Am 25 Juni wurden die Pflanzen zur Probe aus einem trockenen und aus einem feuchten Gefässe herausgenommen und das Gewicht und die Länge der oberirdischen Teile bestimmt:

Nummer der Gefässe	Wasser %	Oberird. Frischgew. g	Die Mittel-länge cm	Die höchste Länge cm
6	35	83	60	90
29	75	112	70	100

Gleichzeitig wurde in 5 trockenen und in 5 feuchten Gefässen (Nr. 5, 9, 23, 25, 30 und Nr. 11, 12, 22, 27, 28) an den Rändern an 8 Stellen Mais gesät, während in den übrigen 10 Gefässen (trocken Nr. 1, 3, 10, 14, 20, feucht Nr. 2, 7, 8, 21, 26) die 3 Pflanzen in der Mitte allein weiter wuchsen. — Ausserdem wurde noch an demselben Tage in den Gefässen

Nr. 6 und 29, aus welchen die Pflanzen eben zur Probe genommen waren und in 8 neuen gleichartigen Gefässen (trocken Nr. 4, 13, 16, 18, feucht Nr. 0, 17, 19, 24) an den Rändern an 8 Stellen wie früher gesät. Alle Gefässe mit nur Randpflanzen wurden den 28 Juni auf das bestimmte Gewicht gebracht. — Die Anordnung der Versuche dürfte am besten aus folgender Abbildung erhellen.

Am 1. Juli waren die den 25 Juni gesäten Pflanzen schon c. 2 cm hoch. In den Gefässen ohne Mittelpflanzen war vom Samen etwas mehr gekeimt als in den anderen Gefässen.

Am 7. Juli wurden in den Gefässen Nr. 6, 29 usw. in der Mitte 3 anderswo gewachsene Maispflanzen, die ungefähr gleich gross wie die am 17. Mai gesäten Pflanzen waren, von einigen Stäbchen gestützt, auf-

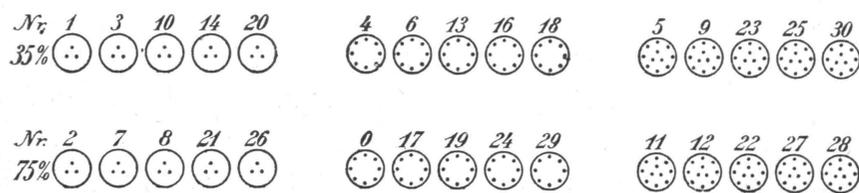


Abb. 5.

gerichtet. So wurde der »Beschattungsgrad« der Randpflanzen in den Gefässen mit »natürlichen« Mittelpflanzen und in denen mit »künstlichen« solchen ungefähr gleich gross und gleichmässig. Die Mittelpflanzen »ohne Wurzeln« trockneten selbstverständlich allmählich ab und die »Beschattung« wurde kleiner, aber der Unterschied zwischen diesen und den »natürlichen« Pflanzen war trotzdem nicht so gross, weil auch bei den letzteren die unteren Blätter allmählich abtrockneten und auch sie also weniger zu beschatten vermochten.

Am 15 Juli waren die jüngeren Pflanzen unter (oder neben) den älteren »lebenden« Pflanzen ungefähr zweimal so gross wie diejenigen unter den »toten« Pflanzen. Zwischen den jüngeren Pflanzen in trocknen und feuchten Gefässen war kein nennenswerter Unterschied festzustellen; dagegen hatten die älteren Pflanzen in den feuchten Gefässen sich augenscheinlich besser als in den trocknen entwickelt.

Am 20 Juli blühten die (älteren) Pflanzen schon in 2 feuchten Gefässen und nach 7—8 Tagen auch in einigen trocknen Gefässen. 29. VII. blühten schon sämtliche Pflanzen.

Zur Gewichtsbestimmung der Pflanzen wurden am 31 Juli folgende Gefässe geerntet, die Pflanzen gewogen und gemessen.

Nummer der Gefässe	Wasser %	Oberird. Frischgew. g	Die Mittel- länge cm	Die höchste Länge cm	
20	35	165	80	120	
7	75	265	80	120	
9	35	d. klein. Pfl.	15	25	40
		d. gröss. Pfl.	180	64	107
11	75	d. klein. Pfl.	18	25	43
		d. gröss. Pfl.	285	70	120
18	35	90	55	94	
0	75	130	50	93	

Für die endgültige Ernte wurden also folgende Gefässe benutzt:

Gefässe ohne Randpflanzen	{ trocken, Nr. 1, 3, 10, 14
	{ feucht, Nr. 2, 8, 21, 26
Gefässe mit 3 »lebenden« Mittelpflanzen und 8 Randpflanzen	{ trocken, Nr. 5, 23, 25, 30
	{ feucht, Nr. 12, 22, 27, 28
Gefässe mit 3 »trocknen« Mittelpflanzen und 8 Randpflanzen	{ trocken, Nr. 4, 6, 13, 16
	{ feucht, Nr. 17, 19, 24, 29

Diese wurden alle am 29 August geerntet und waren die Erträge folgende¹⁾:

¹⁾ Die Pflanzen wurden als solche in kleinen Säckchen im Trockenschrank getrocknet.

Was- ser %	Nr.	Gewicht g				Die Mittellänge cm		Die höchste Länge cm	
		frisch		trocken		Mittel- pfl.	Rand- pfl.	Mittel- pfl.	Rand- pfl.
		Mittel- pfl.	Rand- pfl.	Mittel- pfl.	Rand- pfl.				
35	1	259	—	53.8	—	74	—	105	—
	3	189	—	42.0	—	66	—	102	—
	10	192	—	40.8	—	75	—	84	—
	14	214	—	46.2	—	85	—	92	—
	5	194	20	48.0	3.5	70	27	110	42
	23	176	18	40.8	2.5	68	25	75	39
	25	172	16	35.5	3.1	60	29	88	40
30	156	24	37.0	4.2	63	25	92	45	
75	2	249	—	52.9	—	82	—	130	—
	8	264	—	65.8	—	81	—	163	—
	21	260	—	56.2	—	70	—	108	—
	26	354	—	56.5	—	82	—	153	—
	12	272	22	61.2	4.0	90	29	148	47
	22	258	27	59.7	3.2	86	30	132	48
	27	320	21	62.2	4.8	65	31	88	44
28	249	21	57.2	3.8	80	27	115	45	
35	4	—	155	—	23.7	—	73	—	94
	6	—	50	—	9.3	—	45	—	56
	13	—	168	—	25.7	—	84	—	100
	16	—	195	—	31.4	—	80	—	97
75	0	—	243	—	34.3	—	72	—	94
	17	—	218	—	36.4	—	85	—	107
	19	—	210	—	30.3	—	71	—	104
	29	—	85	—	12.8	—	63	—	75

Die arithmetischen Mittel mit ihren wahrscheinlichen Fehlern sind folgende ¹⁾:

¹⁾ Berechnet nach Formel: $R = \frac{[v]}{n \cdot \sqrt{n-1}} \cdot 0.845$; siehe z. B.: THEODOR PFEIFFER, das auf S. 13 genannte Werk, S. 235. Die Gefässe Nr. 6 und 29 sind aus unten näher besprochenen Gründen hier nicht mitgerechnet.

Was- ser %	Nr.	Gewicht g				Die Mittellänge cm		Die höchste Länge cm	
		frisch		trocken		Mittel- pfl.	Rand- pfl.	Mittel- pfl.	Rand- pfl.
		Mittel- pfl.	Rand- pfl.	Mittel- pfl.	Rand- pfl.				
35	1-14	214 ± 11.22	—	45.7 ± 2.07	—	75 ± 2.44	—	96 ± 3.78	—
	5-30	175 ± 5.12	19.5 ± 1.22	40.3 ± 1.99	3.3 ± 0.26	65 ± 1.83	26.5 ± 0.73	91 ± 4.78	42 ± 0.98
75	2-26	282 ± 17.69	—	57.9 ± 1.95	—	79 ± 2.07	—	139 ± 9.51	—
	12-28	275 ± 11.10	22.8 ± 1.05	60.1 ± 0.79	4.0 ± 0.22	80 ± 3.78	29.3 ± 0.61	121 ± 9.39	46 ± 0.73
35	4-16	—	173	—	26.9	—	79	—	97
75	0-29	—	224	—	33.7	—	76	—	102

Wie aus den Resultaten hervorgeht, haben die grösseren Pflanzen sowohl in den feuchten wie in den trocknen Gefässen auf die kleineren beeinträchtigend gewirkt und in beiden Fällen ungefähr in demselben Verhältnis, wenn man die Trockengewichte berücksichtigt, die hier in erster Linie ausschlaggebend sind.

Was zunächst die so festgestellte Einwirkung der älteren Pflanzen auf die jüngeren betrifft, so ist sie deutlich und bedeutend, jedoch augenscheinlich nicht allein auf die früher vermutete Ursache, auf den Nahrungswettbewerb seitens der älteren Individuen, zurückzuführen. Ein eigenartiger Zufall zwingt uns nämlich zu dieser Annahme. Wie schon aus dem obenbesprochenen hervorgegangen ist, waren in den Gefässen Nr. 6 und 29, in welchen am 25 Juni an den Rändern eingesät wurde, schon früher oder vom 17 Mai ab drei Maispflanzen (das Frischgewicht war am 25 Juni in Nr. 6 83 g und in Nr. 29 112 g) aufgewachsen, und die neuen Pflanzen wurden gesät ohne den Boden auf irgend eine andere Weise zu berühren, als zur Saat durchaus notwendig war. In diesen Gefässen sind nun die Erträge erheblich niedriger als in den anderen ohne vorherigen Anbau von Mais. Obgleich man hier den Ertrag von nur zwei Gefässen berücksichtigen kann, ist der Unterschied doch so gross, dass man ihn schwerlich für zufällig halten kann. Man muss also vermuten, dass auch diejenige Ertragsverminderung, die bei den unter

den grösseren Pflanzen gewachsenen kleineren Pflanzen festzustellen war, zum Teil von derselben Ursache herrührte oder, dass in denselben Gefässen mit oder ohne ältere Pflanzen, die jüngeren in jedem Falle schlechter als in den Gefässen Nr. 4, 13, 16, 0, 17, 19 gediehen wären.

Die Gefässe Nr. 6 und 29 haben also zufällig zu einem Resultat geführt, an das der Verfasser früher nicht gedacht hatte. Eine Erklärung für die in Frage stehende Erscheinung lässt sich wahrscheinlich nicht so leicht geben und sie hier auf einige bestimmte Ursachen zurückführen zu wollen, hat keinen Zweck; um sie im einzelnen zu durchschauen, bedarf es eingehenderer Untersuchungen¹⁾.

Wenn man die Einwirkung der älteren Pflanzen auf die jüngeren in den trocknen und in den feuchten Gefässen mit einander vergleicht, so scheint es, als ob sie — auf das Trockengewicht bezogen — in den ersteren relativ grösser als in den letzteren gewesen wäre, aber der schon erwähnte Unterschied zwischen den jüngeren Pflanzen auch ohne ältere (lebende) Pflanzen, über dessen Grösse in verschiedenen Verhältnissen wir noch keinen Aufschluss zu geben vermögen, macht jedoch einen derartigen Vergleich zweifelhaft. Es sei nur noch hervorgehoben, dass falls ein solcher Unterschied tatsächlich existierte, er jedenfalls in diesem Falle nicht auf etwaige Unterschiede in den Beleuchtungsverhältnissen zurückzuführen wäre, wie schon aus den oben ermittelten Angaben über das Gewicht und die Länge der Pflanzen hervorgeht.

Auch scheint es, dass in den trocknen Gefässen auch die jüngeren Pflanzen ertragsvermindernd auf die älteren eingewirkt hätten. In der trocknen Serie ohne Randpflanzen ist das Gesamttrockengewicht 182,6 g

¹⁾ Bei dieser Gelegenheit sei darauf aufmerksam gemacht, dass der Gedanke von dieser Erscheinung ungesucht auf die Verjüngung des Waldes geleitet wird. Es ist nämlich eine bekannte und vorläufig noch nicht aufgeklärte Tatsache, dass, besonders auf mageren Sandböden, der Jungbestand nach Abtrieb des Altbestandes sich verhältnismässig langsam und schwierig entwickelt. (Vgl. auch: E. RAMANN, »Pufferwirkungen« der sauren kohlen-sauren Salze und ihre Bedeutung für Waldböden. Zeitschr. f. Forst- und Jagdw. 54 [1922]. 4–11.) — Derselbe Umstand wäre also auch überall zu beachten, wo der Jungwuchs nahe am Mutterbaum wächst und die ganze Frage von der Wurzelkonkurrenz im Walde sollte also eigentlich von einem anderen Standpunkt aus, als es bisher geschah, betrachtet werden.

und mit Randpflanzen 161.3 g. In der feuchten Serie sind die entsprechenden Werte 231.4 und 240.3. Auch das Gesamtgewicht von Mittel- und Randpflanzen in den Gefässen Nr. 5–30 ist nur 174.6 g. Die Differenz der Mittelwerte der betreffenden Erträge (in den trocknen Gefässen) beträgt 5.4 ± 2.88 und liegt also innerhalb der 1.9 fachen wahrscheinlichen Schwankung. Für ganz sicher darf man sie also nicht halten, immerhin jedoch für sehr wahrscheinlich. — Wenn eine solche Beeinflussung seitens der kleineren Pflanzen tatsächlich besteht, ist sie einigermassen merkwürdig, denn der Unterschied in der Grösse zwischen den grösseren und kleineren Pflanzen z. B. war so gross, dass man ein solches Ergebnis kaum hätte erwarten können.

Hauptergebnis der jetzt gemachten Versuche ist also, dass ältere Pflanzen auf jüngere ertragsvermindernd eingewirkt haben und dass diese Beeinflussung nicht durch Beschattung zu Stande gekommen ist. (Dass die Beschattung überhaupt keine Einwirkung ausgeübt hätte, wird jedoch damit nicht behauptet.)

Es wäre noch besonders zu untersuchen, warum die Pflanzen in den schon früher einmal angebauten Gefässen niedrigere Erträge geliefert haben. Ferner sollte man grössere Klarheit darüber zu gewinnen suchen, ob die kleineren Pflanzen wirklich auf die grösseren einwirken können, wie oben vermutet wurde. Wünschenswert wären auch Versuche in einem noch weniger Wasser enthaltenden Boden anzustellen und zudem bei demselben Wassergehalt verschiedene Nährstoffkonzentrationen zu benutzen. Auch könnte man als Mittelpflanzen und Randpflanzen verschiedene Arten anwenden.

2. Gefässversuche B und einige Bestimmungen des osmotischen Wertes der Wurzelzellen

Zweck dieser Versuche war zu erfassen, wie das Bodenvolumen und die Ertragsgrösse sich zu einander verhalten und inwiefern die Saugkraft der Wurzeln von dem Feuchtigkeitsgrade des Bodens und von dem Alter der Pflanzen abhängt.

Die Versuche wurden in Zinkgefässen gemacht, deren Durchmesser 23.5 cm, Höhe 18 cm und Gewicht mit Durchlüftungsapparatur 2.400 kg betrug. Ein Teil der Gefässe hatte jedoch ein besonderes Gestell, dessen Gewicht 1.100 kg war, und betrug das Gesamtgewicht dieser Gefässe also 3.500 kg. Als Boden wurde eine Mischung aus demselben Ackerboden und Sand wie in den früheren Versuchen angewandt: 5 kg Ackerboden, 3 kg Odersand und als oberste Schicht 1 kg Glassand. Die Gewichte mit dem Boden (inkl. Bodenwasser) waren also 11.400 und 12.500 kg. Die Feuchtigkeitsgrade waren auch die gleichen wie früher und der Wassergehalt wurde in derselben Weise konstant erhalten. — Der Mais war eine mittelgrosse Sorte (Canstatter Mais).

Es wurden 5 verschiedene Pflanzenmengen pro Gefäss angewandt: 4, 8, 12, 16, 20, sämtlich in vier Gefässen sowohl in der trocknen als auch in der feuchten Serie. Die für Gewichtsbestimmungen und für die Untersuchung der Saugkraft der Wurzeln angebauten Gefässe mitgerechnet war die Anzahl der Gefässe anfangs 64.

Die Saat geschah am 16 Mai.

Die ersten Keimlinge kamen am 20—21 Mai zum Vorschein.

Am 26 Mai wurden die überflüssigen Pflanzen entfernt, die nachgebliebenen möglichst gleichmässig über die ganze Fläche verteilt und alle Gefässe auf das bestimmte Gewicht gebracht.

Zunächst war kein nennenswerter Unterschied zwischen den verschiedenen Gefässen festzustellen; am 10 Juni konnte man jedoch schon bemerken, dass die Pflanzen in den feuchten Gefässen ein wenig grösser waren. Am 22—25 Juni beginnt der Unterschied zwischen den feuchten und den trocknen Gefässen deutlicher hervorzutreten; auch sind in Gefässen, die weniger Pflanzen hatten, diese ein wenig länger und scheinen auch sonst besser zu gedeihen.

Am 25 Juni wurden die Pflanzen in folgenden Gefässen geerntet, gewogen und gemessen.

35 %					75 %				
Anzahl der Pflanzen	Nr. der Gefässe	Frischgewicht g	Die Mittel-länge cm	Die höchste Länge cm	Anzahl der Pflanzen	Nr. der Gefässe	Frischgewicht g	Die Mittel-länge cm	Die höchste Länge cm
4	34	65	45	70	4	33	78	45	70
8	47	62	35	50	8	45	89	40	70
12	58	62	30	45	12	57	80	35	50
16	62 ¹⁾	92	35	55	16	61 ¹⁾	102	40	55
20	24	79	30	50	20	21	95	40	50

Die folgenden Proben wurden am 31 Juli genommen:

35 %					75 %				
Anzahl der Gefässe	Nr. der Gefässe	Frischgewicht g	Die Mittel-länge cm	Die höchste Länge cm	Anzahl der Pflanzen	Nr. der Gefässe	Frischgewicht g	Die Mittel-länge cm	Die höchste Länge cm
4	76	100	50	70	4	35	145	55	95
8	48	115	45	65	8	46	170	50	85
12	40	105	45	60	12	59	130	50	75
16	64	135	50	70	16	63	170	50	65
20	8	138	45	70	20	22	160	50	70

Die ersten Blumen an den Pflanzen wurden in den Gefässen mit 4 Pflanzen Mitte August notiert. Am 9 September, wo die Anzahl der Gefässe schon endgültig war, blühten die Pflanzen in folgenden Gefässen:

Wasser %	Anzahl der Pflanzen				
	4	8	12	16	20
Anzahl der blühenden Gefässe					
35	4	4	1	1	—
75	4	3	3	1	—

¹⁾ Der abweichende Ertrag der Gefässe 61 und 62 ist dadurch zu erklären, dass diese Gefässe im Verhältnis zu den anderen eine etwas bessere Stellung hinsichtlich der Sonne hatten.

Am 13 September wurden alle Gefässe gerntet und waren die Erträge folgende:

35 %						75 %					
Anzahl der Pflanzen	Nr. der Gefässe	Gewicht g		Die Mittel-länge cm	Die höchste Länge cm	Anzahl der Pflanzen	Nr. der Gefässe	Gewicht g		Die Mittel-länge cm	Die höchste Länge cm
		frisch	trocken					frisch	trocken		
4	28	153	34.2	60	100	4	25	186	43.0	65	95
	30	158	39.4	65	95		29	196	44.3	65	90
	32	145	31.5	60	85		31	203	45.0	60	85
	36	145	33.5	60	80		35	200	43.0	65	90
8	38	156	36.0	55	80	8	37	210	48.7	60	85
	40	166	37.7	60	90		39	183	43.7	60	100
	42	163	39.3	60	100		41	197	45.8	65	95
	44	196	40.2	65	90		43	218	47.2	65	90
12	50	169	41.0	55	75	12	49	223	53.0	65	90
	52	158	35.2	50	80		51	222	54.5	60	85
	54	158	37.0	50	60		53	218	50.2	55	85
	56	173	48.7	50	75		55	215	48.8	55	80
16	4	197	39.5	60	80	16	5	216	44.3	60	85
	10	191	39.5	60	80		11	215	49.8	60	80
	15	178	39.3	60	80		13	225	47.2	55	75
	23 ¹⁾	220	47.8	60	75		14	222	53.9	55	90
20	7	168	39.5	50	70	20	17	218	49.7	55	75
	9	170	44.2	55	75		18	207	49.2	65	90
	12	171	39.7	55	70		19	247	52.5	60	85
	16	159	38.5	50	70		20	253	59.0	60	80

Die betreffenden Mittelwerte der Gewichte mit ihren wahrscheinlichen Fehlern sind:

¹⁾ Wegen des an einigen Tagen in die Vegetationshalle eingedrungenen Regens war der Wassergehalt dieses Gefässes während einiger Zeit etwas höher (als 35 %).

35 %				75 %			
Anzahl der Pflanzen	Nr. der Gefässe	Gewicht g		Anzahl der Pflanzen	Nr. der Gefässe	Gewicht g	
		frisch	trocken			frisch	trocken
4	28-36	150 ± 2.56	34.7 ± 1.17	4	25-35	196 ± 2.56	43.8 ± 0.40
8	38-44	170 ± 6.22	38.3 ± 0.71	8	37-43	202 ± 5.85	46.4 ± 0.78
12	50-56	165 ± 3.17	40.5 ± 2.13	12	49-55	220 ± 1.46	51.6 ± 1.04
16	4-23	197 ± 5.85	41.5 ± 1.52	16	5-14	220 ± 1.95	48.8 ± 1.49
20	7-16	167 ± 1.95	40.5 ± 0.91	20	17-20	231 ± 9.15	52.6 ± 1.58

Wie aus diesen Zahlen hervorgeht, sind die Erträge so unregelmässig, dass man kaum von einem bestimmten Verhältnis zwischen der Anzahl und der Ertragsgrösse der Pflanzen reden kann. Höchstens kann man sagen, dass die Gefässe mit 4 Pflanzen etwas niedrigere Erträge als die anderen geliefert haben. Um zu einigen bestimmten Verhältniszahlen zu gelangen, müsste man augenscheinlich noch mehr (über 20) Pflanzen pro Gefäss anwenden, als jetzt geschah. Es dürfte jedoch sicher sein, dass bei einer sehr dichten und bei einer verhältnismässig lichten Stellung die Erträge am geringsten sind und der höchste Ertrag sich irgendwo zwischen diesen, vom Feuchtigkeitsgrade u. a. abhängig, befindet.

Die Anordnung ähnlicher Versuche z. B. mit Waldbäumen wäre sehr wünschenswert, so schwierig sie sich auch gestalten möchten, denn wenn man wirklich solche Versuche anstellen wollte, so müsste man sie von Anfang an so anordnen, dass die Bäume sich während einiger Jahrzehnte ungestört entwickeln könnten.

*

Die ersten Proben für die Saugkraftmessungen wurden am 12 Juni genommen, wo die Pflanzen also, von der Saatzeit an berechnet, 27 Tage alt waren. Die Bestimmungen wurden an zwei Pflanzen, die eine aus einem trocknen, die andere aus einem feuchten Gefässe — beide mit 4 Pflanzen — gemacht. Das Gewicht der »trocknen« Pflanze betrug 7 g und die Länge 25 cm, die entsprechenden Zahlen der »feuchten« Pflanze waren 6 g und 25 cm.

Die zur Probe genommenen Wurzelteile wurden zuerst mit Wasser gespült, zwischen Filtrierpapier getrocknet und sofort in Paraffinöl eingebettet. Die Schnitte (Flächenschnitte) wurden unter Paraffin in der Absorptionszone nahe der Wurzelspitze, c. 15 cm unter der Bodenoberfläche gemacht, und der Umfang der Zellen bei mittelstarker Vergrößerung mit dem **ABBE'schen** Apparat auf Millimeterpapier aufgezeichnet. Dann wurden die Schnitte in mit frischen Rohrzuckerlösungen («pro analysi») angefüllte, verschliessbare Flaschen übergeführt. Im Rohrzucker lagen die Schnitte c. 1 Stunde, nachdem sie im Mikroskop untersucht und wie unter Paraffin gezeichnet wurden. Der osmotische Wert der Zuckerkonzentration, in der die Zelle sich unverändert erhielt, entspricht also dem osmotischen Wert oder der Saugkraft der Zelle¹⁾. — Im Allgemeinen wurden mindestens 5 verschiedene Zellen in einem Schnitte und manchmal 2—3 Schnitte in ein und derselben Zuckerkonzentration untersucht.

Die Ausführung der Bestimmungen in den relativ schmalen und langen Epidermiszellen erwies sich als ziemlich schwierig und war ich gezwungen mit den unmittelbar sich unter der Epidermis befindenden Zellen zu arbeiten. Die gefundenen Werte sind also nur relativ; sie entsprechen nicht der Saugkraft der äussersten assimilierenden Wurzelzellen, kommen jedoch diesen ziemlich nahe und sind wahrscheinlich um einiges niedriger, wie aus den Untersuchungen von **URSPRUNG** und **BLUM** hervorgegangen ist.

Die gefundenen Werte waren für das trockene Gefäss c. 6.7 Atm. und für das feuchte c. 4.2 Atm.

Im folgenden werden einige Messungsergebnisse angeführt, die eine Vorstellung von den Veränderungen des Zellvolumens in verschiedenen Zuckerkonzentrationen²⁾ bei der trocknen Pflanze geben dürften.

¹⁾ Den osmotischen Wert einer Zuckerpflanze kann man direkt z. B. den Tabellen von **MORSE** u. a. entnehmen (**ABDERHALDEN's** Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. XI, Teil 2:b, Lfg. 13, S. 15. — Die Tabellen sind von **URSPRUNG** und **BLUM** nach Berechnungen von **MORSE** u. a. interpoliert).

²⁾ Mol Rohrzucker in 1.1 Lösung.

Konz. 0.200 Mol. — Unters. 5 Zellen (I—V):

I in Paraffin	775,	in Rohrzucker	843
II »	536	»	597
III »	603	»	624
IV »	497	»	556
V »	739	»	871

Konz. 0.250 Mol. — Unters. 4 Zellen (I—IV):

I in Paraffin	521,	in Rohrzucker	520
II »	537	»	493
III »	943	»	971
IV »	1064	»	1046

Konz. 0.300 Mol. — Unters. 5 Zellen (I—V):

I in Paraffin	868,	in Rohrzucker	663
II »	828	»	528
III »	722	»	497
IV »	604	»	419
V »	678	»	587

Die folgenden Proben für diese Bestimmungen wurden am 10 August genommen, wo die Pflanzen 86 Tage alt und also c. 2 Monaten älter als in den ersten Untersuchungen waren. Aus zufälligen Gründen musste man jetzt die Pflanzen aus Gefässen mit 8 Pflanzen nehmen. — Das Frischgewicht der »trocknen« Pflanze war 15 g, die Länge 70 cm, der »feuchten« Pflanze 20 g und 90 cm. Sonst wurden die Bestimmungen genau so wie früher ausgeführt.

Der osmotische Wert war jetzt im trocknen Gefässe c. 9.9 Atm. und im feuchten c. 6.1 Atm.

Folgende Beispiele aus den zahlreichen Messungen zeigen die Veränderungen des Zellvolumens in einigen Bestimmungen.

Wasser 35 %

Konz. 0.300 Mol. — Unters. 5 Zellen (I—V):

I in Paraffin	804,	in Rohrzucker	805
II »	792	»	847

III in Paraffin	754	in Rohrzucker	828
IV »	816	»	1009
V »	846	»	1008

Konz. 0.350 Mol. — Unters. 5 Zellen (I—V):

I in Paraffin	875,	in Rohrzucker	937
II »	1030	»	1116
III »	754	»	861
IV »	903	»	852
V »	948	»	944

Konz. 0.350 Mol. — Unters. 4 Zellen (I—IV):

I in Paraffin	745,	in Rohrzucker	887
II »	523	»	550
III »	511	»	633
IV »	716	»	722

Konz. 0.350 Mol. — Unters. 5 Zellen (I—V):

I in Paraffin	879,	in Rohrzucker	862
II »	933	»	962
III »	625	»	637
IV »	935	»	915
V »	665	»	635

Konz. 0.400 Mol. — Unters. 5 Zellen (I—V):

I in Paraffin	631,	in Rohrzucker	533
II »	713	»	557
III »	574	»	493
IV »	670	»	657
V »	929	»	613

Wasser 75 %

Konz. 0.200 Mol. — Unters. 5 Zellen (I—V):

I in Paraffin	962,	in Rohrzucker	1060
II »	882	»	1016

III in Paraffin	899	in Rohrzucker	984
IV »	1141	»	1260
V »	705	»	758

Konz. 0.200 Mol. — Unters. 6 Zellen (I—VI):

I in Paraffin	484,	in Rohrzucker	571
II »	515	»	693
III »	427	»	507
IV »	396	»	451
V »	501	»	667
VI »	393	»	599

Konz. 0.250 Mol. — Unters. 5 Zellen (I—V):

I in Paraffin	1023,	in Rohrzucker	787
II »	761	»	604
III »	853	»	813
IV »	724	»	629
(V »	435	»	379)

Konz. 0.250 Mol. — Unters. 5 Zellen (I—V):

I in Paraffin	779,	in Rohrzucker	683
II »	834	»	681
III »	650	»	729
IV »	719	»	603
V »	750	»	563

Auch diese Untersuchungen ergeben also, dass die Grösse des osmotischen Wertes und sehr wahrscheinlich auch die Saugkraft der Wurzelzellen von dem Feuchtigkeitsgrade des Bodens abhängt, was mit Hinsicht auf die Wurzelkonkurrenz also bedeuten würde, dass die Pflanzen in trockenem Boden den Wasservorrat besser ausnutzen und auch Wasser aus grösserer Entfernung aufnehmen könnten.

Ausserdem hat sich beim Altern der Pflanzen der osmotische Wert erhöht. Im Verhältnis zu den c. 2 Monaten früher gefundenen Werten

ist der Unterschied im trocknen Gefässe 3.2 Atm. und im feuchten 1.9 Atm. Jedoch scheint es geboten diese Werte vorläufig noch mit Vorsicht zu behandeln. Man muss u. a. berücksichtigen, dass die letzten Bestimmungen in Gefässen mit 8 Pflanzen, die ersten in solchen mit 4 Pflanzen ausgeführt wurden; dieser Umstand kann ohne besondere Bedeutung sein, kann aber auch ebenso gut in irgend einer Weise einwirken. Weiter ist zu berücksichtigen, dass der osmotische Wert zuweilen auch in nahe bei einander belegenen Schnitten wechseln kann und es daher, um zu einem zuverlässigeren Resultat zu kommen, nötig sein würde, noch mehr verschiedene Schnitte zu untersuchen¹⁾. Aus diesen Gründen darf man annehmen, dass die jetzt gemachten Bestimmungen sicher nur die Abhängigkeit des osmotischen Wertes bzw. der Saugkraft von dem Wassergehalt des Bodens bestätigt haben.

Wenn der Wert sich wirklich mit dem Pflanzenalter vergrösserte, so könnte man u. a. die in den trocknen Gefässen (Gefässversuche A) vermutete Einwirkung der jüngeren Pflanzen auf die älteren nur dadurch erklären, dass der Altersunterschied noch zu gering war.

Der Verfasser hatte leider keine Gelegenheit die Saugkraftmessungen auch auf die Gefässversuche A auszudehnen und überhaupt diesen Messungen so viel Zeit zu widmen, wie sie erfordert hätten, damit ihre Ergebnisse eine grössere Tragweite besitzen dürften. Weil vom Standpunkte der Wurzelkonkurrenz aus eben die Beziehung zwischen dem Pflanzenalter und der Grösse der Saugkraft von Wurzeln von grundlegender Bedeutung sein dürfte, wären diesbezügliche Untersuchungen sehr wünschenswert.

3. Feldversuche

Zweck der Feldversuche war, Klarheit darüber zu gewinnen, wie die nahe bei einander wachsenden älteren und jüngeren Pflanzen sich zu einander verhalten, wenn ihre Wurzeln in irgend einer Weise von einander isoliert werden.

¹⁾ Auf diesen Umstand im Allgemeinen hat auch Herr Prof. Dr. URSPRUNG (Freibourg, Schweiz) brieflich den Verfasser aufmerksam gemacht.

Die Versuche wurden in der Nähe der Vegetationshalle an einer Stelle, wo eine Einwirkung von anderen Pflanzen nicht in Frage kam, angestellt.

Es waren zwei Versuchspartzellen (I, II), beide c. 1×3 m² gross, und zwischen den Partzellen ein leerer, 50 cm breiter Streifen. Auf der einen Partzelle (I) wurden 5, unten und oben offene Holzkisten (die Innengrösse $15 \times 50 \times 100$ cm³) in den Boden — die oberen Ränder bis

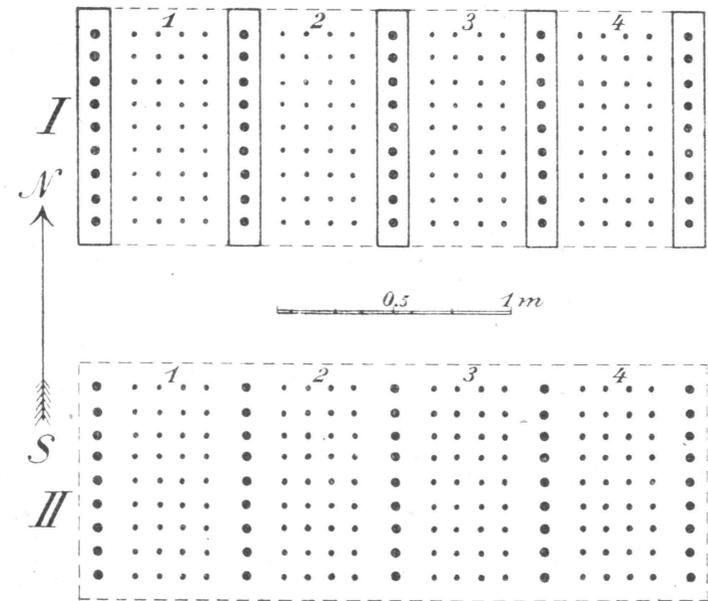


Abb. 6.

zur Bodenoberfläche — versenkt. — Abb. 6 gibt eine Vorstellung von der Versuchsanordnung.

Am 22 Mai wurde in Kisten, an 9 Stellen in einer Entfernung von 10 cm von einander in jeder Kiste, Pferdezahnmals gesät. Gleichzeitig geschah die Saat an den entsprechenden Stellen auf der Parzelle II (vgl. Abb. 6).

Die Pflanzen kamen am 28–29 Mai zum Vorschein. Während der eingetretenen Trockenperiode wurde den Pflanzen auf beiden Parzellen einige Male Wasser gegeben.

Am 23 Juni waren die Pflanzen 20–30 cm hoch und man konnte schon bemerken, dass die in den Kisten stehenden Pflanzen im Verhältnis zu den anderen ein wenig zurückgeblieben waren.

Letztgenannte Erscheinung rührte wahrscheinlich davon her, dass die Wurzeln sich nicht frei entwickeln konnten. Dessen ungeachtet, dass die Kisten zweimal mit Nährlösung gedüngt und auch einige Male bewässert wurden, während die frei wachsenden Pflanzen ohne Düngung und Bewässerung verblieben, war die Entwicklung der letzteren einigermaßen besser. Der Unterschied war jedoch nicht so gross, dass er in bemerkenswertem Grade z. B. auf die Beleuchtungsverhältnisse zwischen den Pflanzenreihen Einfluss gehabt hätte.

Am 15 Juli, als die Pflanzen also 54 Tage alt waren, wurde auf beiden Parzellen zwischen den Reihen an 36 Stellen in einer Entfernung von 10 cm von einander Pferdezaunmais eingesät (siehe Abb. 6). — Die Keimpflanzen kamen am 25–26 Juli zum Vorschein¹⁾.

Die Pflanzen wurden am 3 September geerntet. Infolge einer vor einiger Zeit passierten Beschädigung kann man den Ertrag der jüngeren

¹⁾ Es sei hier hervorgehoben, dass man kaum zu befürchten brauchte, dass die Wurzeln der in Kisten stehenden Pflanzen Wasser und Nährstoffe dem Boden zwischen den Kisten entnehmen würden, obgleich die Kisten nur 50 cm hoch waren. So geht u. a. nach THIEL jedenfalls unter gewöhnlichen Verhältnissen nur ein verhältnismässig kleiner Teil von Maiswurzeln über 50 cm tief; auf einer Fläche von 0.3 m² befinden sich nach ihm folgende Mengen von Wurzeln:

Tiefe m	Wurzel St.
0.1	68
0.2	32
0.3	33
0.4	23
0.5	23
0.6	14
0.7	6
0.8	2
0.9	0

(Zitiert nach VICTOR HENSEN, Ueber die Fruchtbarkeit des Erdbodens usw. Landw. Jahrb. 11 [1882]. 661–98.)

Pflanzen nur aus drei Teilparzellen (I, 1, 2, 4 und II, 1, 2, 4) berücksichtigen. — Die Erträge waren folgende:

	I				II			
	1	2	(3)	4	1	2	(3)	4
Frischgew. g.	162	202	(76)	152	77	50	(41)	60
Trockengew. g.	17.4	21.7	(8.5)	17.5	10.1	6.1	(5.2)	7.3
Die mittlere Länge cm ..	40	45	(36)	38	27	25	(22)	25
Die höchste Länge cm ..	75	70	—	62	47	52	—	43

Die Ertragsunterschiede zwischen der Parzelle mit Kisten (I) und derjenigen ohne Kisten (II) sind, wie aus diesen Zahlen hervorgeht, beträchtlich. Die einzige Erklärung dafür ist, dass die Wurzeln der älteren Pflanzen die Nahrungsaufnahme der jüngeren erschwert haben.

