

UNTERSUCHUNGEN
ÜBER DIE
WURZELN DER GETREIDEPFLANZEN

I

*DIE WURZELFORMEN, IHR BAU, IHRE AUFGABE
UND LAGE IM WURZELSYSTEM*

VON

P. KOKKONEN

TUTKIMUKSIA
VILJELYSKASVIEN JUURISTA

I

*JUURIMUODOT, NIIDEN RAKENNE, TEHTÄVÄ JA
ASEMA JUURISTOSSA*

HELSINKI 1931

Vorwort.

Schon im Jahre 1927 veröffentlichte ich eine vorläufige Mitteilung über Untersuchungen an den Wurzeln von Kulturpflanzen (Über das Verhältnis der Winterfestigkeit des Roggens zur Dehnbarkeit und Dehnungsfestigkeit seiner Wurzeln. Acta Forestalia Fennica 33, 3. 1927). Infolge eiliger Arbeiten und anderer Umstände, wie Krankheit u. a., konnte ich damals die geplante Veröffentlichung nicht endgültig druckfertig machen, und erst, als ich im Frühjahr 1930 vom Unterrichtsministerium ein Stipendium für die Arbeit erhalten hatte, wurde es mir möglich, sie zum Abschluss zu bringen.

Da die Untersuchung jetzt fertig vorliegt, ist es mir eine angenehme Pflicht, dem Zentralkomitee für landwirtschaftliche Versuchstätigkeit für die von ihm gewährte Unterstützung, mit der ich das Material sammeln konnte, und dem Unterrichtsministerium, dessen Stipendium die schliessliche Fertigstellung der Arbeit ermöglicht hat, meinen Dank auszusprechen. Ausserdem danke ich besonders Herrn Professor Dr. K. LINKOLA, der mir die Einsammlung des Materials auf mancherlei Weise erleichtert und mich während meiner Arbeit mit Ratschlägen und Aufmunterungen unterstützt hat.

Helsinki, im Januar 1931.

Der Verfasser

HELSINKI 1931

DRUCKEREI-A.G. DER FINNISCHEN LITERATUR-GESELLSCHAFT

Inhaltsverzeichnis.

| | Seite |
|---|-------|
| Vorwort | |
| Einleitung | 5 |
| I. Untersuchungsmethode | 8 |
| II. Die Wurzelformen, ihr Bau, ihre Aufgabe und Lage im Wurzelsystem | 15 |
| 1. Material | 15 |
| a. Der Roggen | 15 |
| Die Wurzeln und Wurzelsysteme des Roggens vom ersten Sommer | 16 |
| Die Wurzeln und Wurzelsysteme der überwinterten Wintergetreidesorten | 40 |
| b. Der Weizen | 67 |
| c. Die Gerste | 76 |
| d. Der Hafer | 82 |
| 2. Die Wurzelformen, ihr Bau, ihre Aufgabe und Lage im Wurzelsystem | 85 |
| 3. Die Wurzeln und Wurzelsysteme zu verschiedenen Zeiten der Wachstumsperiode | 97 |
| III. Der Einfluss der Saatchichte auf die Zahl der Stütz- und Nährstützwurzeln .. | 113 |
| IV. Zusammenfassung | |
| Erklärung der Tafeln | 119 |
| <i>Suomenkielinen selostus.</i> | 124 |

Einleitung.

Meine Untersuchungen über den Bodenfrost¹ haben mich dazu geführt, die Wurzeln der Kulturpflanzen zu studieren. Ich wollte nämlich Aufschluss darüber gewinnen, ob die Winterfestigkeit in irgendeinem Zusammenhang mit der Dehnbarkeit der Wurzeln steht, einer Eigenschaft, deren die Pflanzen wegen der durch den Bodenfrost hervorgerufenen Vergrößerung des Bodenvolumens bedürfen. Bei der Untersuchung der Dehnbarkeit der Wurzeln fand ich, dass die früheren Auseinandersetzungen über die Wurzeln nicht so vollständig waren, dass man auf Grund derselben die bei den Wurzeln² vorkommenden Formen und andere Umstände hätte befriedigend erklären können. Da es für die Feststellung der Dehnbarkeit der Wurzeln notwendig war, deren Alter und Form sowie auch deren Aufgabe während jeder Wachstumsperiode zu kennen, musste eine individuelle Untersuchung dieser Fragen vorgenommen werden.

Die Wurzeln der Kulturpflanzen sind schon lange und von Zeit zu Zeit sogar in sehr bedeutendem Masse Gegenstand der Forschung gewesen. Im eigentlichen Sinn wurde mit ihrer Untersuchung in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts begonnen, wo auch auf anderen Gebieten der Landwirtschaft grosse Fortschritte zu beobachten waren. Soll doch selbst J. v. LIEBIG ausgesprochen haben: »Die Kenntnis der Wurzeln unserer

¹ KOKKONEN, P.: Beobachtungen über die Struktur des Bodenfrostes. Acta Forestalia Fennica 27,3. Helsinki, 1926.

² KOKKONEN, P.: Über das Verhältnis der Winterfestigkeit des Roggens zur Dehnbarkeit und Dehnungsfestigkeit seiner Wurzeln. Vorläufige Mitteilung. Acta Forestalia Fennica 33,3. Helsinki, 1927.

Kulturpflanzen ist die Grundlage zu einem rationellen Ackerbau.» Insbesondere hat man das Leben und die Entwicklung der Wurzeln studiert und zahlreiche Messungen über deren Gewicht im Verhältnis zum Gewicht des Halmes ausgeführt. THIEL, MÜLLER, KRAUS, ECKERT, GAROLA u. a.¹ haben die Entwicklung und die Biologie der Wurzeln untersucht und in einigem Umfang Messungen über die Menge der Wurzeln im Verhältnis zu den oberirdischen Teilen vorgenommen. Das letztere Verhalten ist namentlich von OPITZ studiert worden. Danach hat man fast in allen Ländern Untersuchungen über das Gewicht der oberirdischen Teile der Wurzeln im Verhältnis zueinander angestellt². Wird doch die Entwicklung und Ausbildung der Wurzeln durch die in den verschiedenen Gegenden herrschenden natürlichen Verhältnisse beeinflusst, weshalb eine derartige Untersuchung, obwohl anderswo ausgeführt, dazu angetan ist, die Wirkung lokaler Verhältnisse auf die Entwicklung der Wurzeln zu beleuchten.

Im Zusammenhang mit den eingangs erwähnten Untersuchungen wurden gleichzeitig wichtige Beobachtungen an den Wurzeln und Wurzelsystemen gemacht. Während des Keimens entstehen bei den Graspflanzen, an denen sich keine Hauptwurzel entwickelt, 3—8 sehr dünne Keimwurzeln. Diese wachsen im Boden hauptsächlich nach unten. Einige Zeit nach dem Keimen beginnen sich an den Reserveknotten oberhalb der Keimstelle sogenannte Kronenwurzeln zu bilden, die vor allem die Aufgabe des Nährstofftransportes der Pflanze übernehmen. Die Kronenwurzeln können in mehreren »Kränzen« auftreten je nachdem, wie tief hinab das Korn bei der Aussaat geraten ist. Liegt das Korn tief, so bilden sich zwei oder mehrere »Wurzelkränze«, wobei (GROTFELT) die an dem Zwischen-

¹ Vgl. BECKER, J.: Handbuch des Getreidebaues. Erster Band: Getreidebau. Berlin 1927. S. 15—18. — SCHULZE B.: Studien über die Bewurzelung unserer Kulturpflanzen. 1906. — OPITZ, KURT: Untersuchungen über Bewurzelung und Bestockung einiger Getreidesorten. Mitteilungen der Landwirtschaftlichen Institute der Königlichen Universität Breslau II. Berlin, 1904. S. 749—816.

² Vgl. SIMOLA, E. F.: Maanlaatuja ja maan kosteussuhteiden vaikutuksesta eräiden kaura- ja ohralaatuja morfologiisiin ominaisuuksiin. Suomen maanviljelystäloudellinen koelaitos. Tieteellisiä julkaisuja N:o 19. Helsinki, 1923. — ROOTSI, N.: Kultuurtaimede juuresadest (Über die Wurzelteile der Kulturpflanzen). Katseasjanduse Nõukogu Toimetused nr. 3. Tartus, 1928.

bündel sitzenden Wurzeln Zwischenwurzeln und die weiter oben im »Kranze« befindlichen Kronenwurzeln oder Seitenwurzeln (Adventivwurzeln) genannt werden¹. Die Keimwurzeln sind im allgemeinen kurzlebig, und an ihnen findet die Bildung von Wurzelhaaren immer nur auf einer kurzen Strecke nahe dem Ende der Wurzel statt. Dagegen ist die Wurzelhaarbildung bei den anderen Wurzeln ganz allgemein. Die Wurzeln wie auch die Wurzelhaare haben den Zweck, die Pflanzen im Boden zu befestigen und ihnen Wasser und Nährstoffe aus dem Boden zuzuführen. Nach den früheren Untersuchungen sind die Wurzelgebilde beim Wintergetreide stets grösser und kräftiger als beim Sommergetreide. Im Zusammenhang mit den verschiedenen Zwecken der Wurzeln muss auch ihre Aufgabe, die Pflanzen zu stützen, erwähnt werden; bei dieser Stützung werden die am obersten »Wurzelkranz« befindlichen Wurzeln von einer von aussen her wirkenden Kraft, wie der des Windes, betroffen, wobei in der Wurzel Biegung und Druck entstehen, und als Widerstand hiergegen ist in den Wurzeln der Zentralteil entwickelt, die Zentralzylinder der Wurzeln sind verstärkt, und zur Erhöhung der Biegefestigkeit ist in den äussersten Rindenzellen der Wurzel eine Steinzellenschicht entstanden, wie z. B. bei dem Mais. Ferner sind von den Wurzeluntersuchungen die Längenmessungen an den Wurzeln zu erwähnen, wie sie besonders von SCHULTZ² ausgeführt worden sind. Die Lage und Verteilung der Wurzeln der Kulturpflanzen im Boden haben WEAVER und andere Forscher studiert³. Die Einwirkung der physikalischen Eigenschaften des Bodens auf die Menge der Wurzeln und oberirdischen Teile ist von v. SEELHORST u. a.⁴ untersucht worden.

¹ Vgl. GROTFELT, GÖSTA: Suomalainen peltokasviljelys. Helsinki, 1924. S. 52—54.

² Vgl. OPITZ, KURT.: a. a. O.

³ Vgl. WEAVER, J. E.: Root Development of Field Crops. New York, 1926, und selbst zitierte Literatur.

⁴ Vgl. OPITZ, KURT.: a. a. O.

I. Untersuchungsmethode.

Die Erziehung des Untersuchungsmaterials war aus dem in der Einleitung erwähnten Grunde nicht einheitlich. Da das eigentliche Studium der Wurzelformen im Frühjahr in Angriff genommen wurde, blieb die Prüfung der Wurzeln der Herbst- und Winterperiode aus dem gleichzeitig gesäten Material sehr mangelhaft. Um die auf diese Weise entstandene Lücke zu füllen, wurde im Sommer des Jahres 1927 aus dem Wintergetreide Roggen neben dem Sommergetreide gezogen. Am 5. Juni wurden folgende Sorten gesät: Roggen: Kaski-Roggen (unveredelter einheimischer Roggen), Iisalmi-Roggen (desgleichen) und Petkus-Roggen (deutscher veredelter Petkuser); Gerste: Olli-Gerste, Halikko-Gerste, Vega-Gerste und Goldgerste; Hafer: Kytö-Hafer, Ylitornio-Hafer und Siegeshafer. Dasselbe Material wurde auch bei den Untersuchungen über die Dehnbarkeit der Wurzeln angewandt. Das überwinterte Material, das am 20. August 1926 gesät war, umfasste folgende Roggensorten: Iisalmi-Roggen, Ostola-Roggen (einheimischer unveredelter), Vaasa-Roggen (veredelter Vasa-Roggen, Veredelungsprodukt aus Svalöf) und Petkuser, und die folgenden Weizensorten: Svea, Ostfinnischer Weizen, Bore, Thule II und Bours Winterweizen.

Das Material für die Untersuchungen wurde wesentlich im botanischen Garten der Universität gezogen, wo ich ein ugf. 10 m langes und 1 m breites Beet zur Benutzung erhielt. Der Boden war im allgemeinen Moränen-tonboden. In dieses Land wurden am 20. August 1926 vier Roggensorten gesät, und zwar Iisalmi-Roggen, Ostola-Roggen, Vaasa-Roggen und Petkus-Roggen.

Im folgenden Sommer stand mir ein Sandtonacker zur Verfügung, in den am 5. Juni die obenerwähnten drei Sorten Winterroggen und Sommergetreide gesät wurden.

In Tikkurila wurde ein Material, dessen Aussaat am 20. August 1926 stattfand, auf einem Tonacker gezogen. Das Material umfasste die Roggensorten: Iisalmi-Roggen, Ostola-Roggen, Vaasa-Roggen und Petkus-Roggen

sowie die vorgenannten Weizensorten. Tikkurila liegt 15 km von Helsinki entfernt, weshalb der Transport des Materials Unbequemlichkeiten verursachte, womit es zusammenhängt, dass nicht immer Parallelmaterial erhalten werden konnte. Besonders die Beobachtungen über die Wurzeln blieben unvollständig.

Es wurde versucht, die Untersuchungen gleichmässig zu verschiedenen Zeiten der Wachstumsperiode auszuführen, um feststellen zu können, von welcher Beschaffenheit die Wurzeln äusserlich und ihrem inneren Bau nach zu jeder Zeit der Wachstumsperiode waren. Die hauptsächlichsten Feststellungen über die Wurzeln und Wurzelsysteme wurden zu folgenden Zeiten gemacht:

| | |
|--------------|------|
| 20. April | 1927 |
| 7.—12. Mai | 1927 |
| 22.—25. » | 1927 |
| 5.—14. Juni | 1927 |
| 28.—30. » | 1927 |
| 2.—14. Juli | 1927 |
| 18.—25. » | 1927 |
| 1.—8. August | 1927 |

Die Untersuchungen über die Wurzelformen standen in ganz enger Verbindung mit den Untersuchungen über die Dehnbarkeit der Wurzeln, weshalb die gleichen Wurzeln bei beiden benutzt wurden derart, dass die Feststellungen über die Wurzelformen zuerst ausgeführt und danach ein Teil der Wurzeln gedehnt und andere für die mikroskopischen Arbeiten zurückbehalten wurden.

Bevor man die Pflanzenindividuen aus dem Boden entfernte, wurde deren Kräftigkeit, Üppigkeit nach einer 1—5 gradigen Skala geschätzt, wobei 1 ganz schwaches, verkümmertes Wachstum und 5 kräftige, üppige Individuen bezeichnete.

Die zur Untersuchung erforderlichen Wurzeln wurden mit einem kleinen Spaten aus dem Boden herausgenommen, wobei soviel Erde um die Wurzeln herum gelassen wurde, dass sie jedenfalls nicht in der Nähe des Wurzelstocks (in ca. 15—20 cm Abstand) zerrissen. Die Wurzelsysteme nebst der Erde wurden in das Laboratorium geschafft, und daselbst wurde die Erde mit Wasser abgewaschen oder richtiger abgspült. Diese Abspülung erfolgte behutsam, damit die an den Wurzeln befindlichen Verzweigungen und Wurzelhaare möglichst gut erhalten blieben. Ebenso wurde auch versucht, die Anheftung der Wurzeln selbst am Halm beim Waschen

unverändert zu lassen. Die Reinigung der Wurzeln im Herbst, Winter und Frühjahr war auch sehr leicht zu bewerkstelligen, da die Erde ganz los sass, aber im Sommer und besonders bis zur Reifezeit des Getreides war das Entfernen der Erde sehr mühsam, denn dann war diese ausserordentlich fest zwischen den Wurzeln zusammengebacken. Wenn die Wurzelsysteme auf diese Weise gereinigt waren, wurde zuerst nachgesehen, was für eine Wurzelsystemform das Individuum besass.

Solcher Formen wurden drei unterschieden:

1. das normale oder einbüschelige Wurzelsystem,
2. das zweibüschelige Wurzelsystem und
3. das mehrbüschelige Wurzelsystem.

Bei dem normalen oder einbüscheligen Wurzelsystem sind sämtliche Wurzeln an den ganz nahe beieinander gelegenen Knoten von der Keimstelle aufwärts angeheftet. Bei dem zweibüscheligen Wurzelsystem, welches entsteht, wenn der Same zu tief in den Boden gerät, befinden sich die Keimwurzeln und eine oder die andere dünne Wurzel weiter unten bei der Keimstelle, und auf sie folgt ein verhältnismässig kurzer (0.3—1.5 cm langer), dünner unterirdischer Wurzelstock, an dem sich in bestimmtem Abstand vom Erdboden Knoten gebildet haben, denen »Wurzelkränze« ansitzen. An dem unteren Knoten sind nur einige, 4—8 Wurzeln, an dem oberen dagegen befinden sich die eigentlichen Wurzeln. Bei dem mehrbüscheligen Wurzelsystem ist der Same noch tiefer als im vorhergehenden Fall geraten, weshalb sich zwischen dem eigentlichen Wurzelsystem und der Keimstelle ein oder mehrere Knoten mit »Wurzelkränzen« bilden. Die wenigen an diesen Knoten sitzenden Wurzeln sind dünn. In der Nähe der Erdoberfläche bilden sich eine Reihe von Knoten nahe beieinander aus, und diese Reihe stellt, wie in dem vorhergehenden Fall, das eigentliche Wurzelsystem dar.

Von dem Wurzelsystem eines oder zweier oder bisweilen auch mehrerer Individuen wurde während der jeweils wichtigsten Periode ein Bild gezeichnet, um die Lage der verschiedenen Wurzeln deutlich zur Anschauung zu bringen. Meistens mussten die an dem Wurzelsystem befindlichen, oft ziemlich verwelkten Blätter weggenommen werden, weil sie den freien Überblick störten. Oft wurden auch Wurzeln weggeschnitten, um die Stellung der anderen Wurzeln besser sichtbar zu machen.

Nach der Feststellung des Wurzelsystems wurden die Wurzeln mit der Schere vom Halm losgetrennt, und es wurde zur Klassifikation der Wurzeln geschritten.

Bei der Klassifikation der Wurzeln wurde nur der äussere Habitus in Betracht gezogen, indem dieselben nach den verschiedenen Eigenschaften des letzteren unterschieden wurden. Derartige Eigenschaften waren: die Farbe der Wurzeln, ihre Verzweigung, Behaarung, Dicke, Steifheit, Länge und Lage im Wurzelsystem, wiewohl letztere jedoch in manchen Fällen weniger, d. h. eigentlich nur derart Berücksichtigung fand, dass konstatiert wurde, an welcher Stelle des Wurzelsystems eine Wurzel von bestimmter Beschaffenheit auftrat.

Die Farbe der Wurzeln, die im allgemeinen in deren ganzer Länge die gleiche war, variierte im allgemeinen zwischen hell und dunkelbraun (zuweilen von hell bis zu grün), und dabei wurden von der ersteren folgende Grade unterschieden: sehr hell, hell, hellgelb, gelb, gelblich braun, braun und dunkelbraun sowie schwarzbraun. Die Differenzen zwischen hell und grün wurden bei der Klassifikation der Wurzeln nicht näher beachtet, weil in manchen Fällen an derselben Wurzel alle Farbenschattierungen auftraten, was auf den Lichtverhältnissen und nicht, wie die erstere Farbenvariation, auf der Wachstumsperiode beruhte.

Bei der Verzweigung der Wurzeln wurden drei Grade unterschieden: fast unverzweigte, etwas verzweigte und stark verzweigte. Als unverzweigt wurde eine Wurzel dann betrachtet, wenn schwache Ansätze von Zweigen daran zu beobachten waren. Als etwas verzweigt wurde eine Wurzel definiert, wenn die Zahl der Zweige auf einer Strecke von 5 cm unter fünf betrug, und als stark verzweigt, wenn die Zahl der Zweige auf derselben Strecke fünf überstieg. Bei jungen Wurzeln wurde kein so grosses Gewicht auf die Reichlichkeit der Verzweigungen gelegt, weil bei ihrer Klassifikation irgendein anderer bemerkenswerterer Umstand ausschlaggebend war.

Hinsichtlich der Behaarung der Wurzeln wurden nur solche mit zahlreichen Haaren, mit spärlichen Haaren und nackte Wurzeln sowie fleckenweise behaarte auseinandergelassen.

In bezug auf die Dicke der Wurzeln waren zwei verschiedene Momente zu beachten, und zwar die Dicke im Vergleich zwischen verschiedenen Wurzeln und die Dicke an derselben Wurzel. Die erstere Dicke wurde hauptsächlich durch Messungen bestimmt, die letztere durch Schätzung der Dickenvariationen in der ganzen Länge der Wurzel. Die Dicke der dünnsten Wurzeln konnte weniger als 0.1 mm betragen, und die dicksten Wurzeln konnten bis auf 2.5 mm steigen, so dass mithin in den Dickenverhältnissen der Wurzelsysteme sehr grosse Unterschiede bestanden. Bezüglich der Dickenvariationen an ein und derselben Wurzel wurden Wurzeln folgender Art unterschieden:

1. Wurzeln mit dickem Hals,
2. Wurzeln mit dünnem Hals und
3. gleichmässig dicke Wurzeln.

Bei den Wurzeln mit dickem Hals war der Halsteil (0.5—1.0 cm vom Ansatz der Wurzel) bedeutend dicker als etwas weiter unten (1.5—3.0 cm vom Ansatz). Dieser Unterschied konnte sehr augenfällig sein, z. B. betrug die Dicke des Wurzelhalses 0.1 cm von der Anheftungsstelle der Wurzel entfernt 0.7 mm und die Dicke der Wurzel 1.5 cm von ihrer Anheftungsstelle entfernt nur 0.3 mm. Bei anderen Wurzeln ist der Hals sehr dünn und weiter unten etwas dicker, z. B. 0.1 cm von ihrer Anheftungsstelle betrug die Dicke der Wurzel 0.3 mm und 2 cm von der Anheftungsstelle 0.5 mm, so dass die Wurzel weiter unten bedeutend dicker war. Bei einer Gruppe von Wurzeln war überhaupt keine Variation der Dicke zu bemerken oder diese war so gering, dass sie makroskopisch nicht sichtbar war; die Wurzel war also durchgehends als ziemlich gleichdick zu betrachten.

Die Steifheit der Wurzel war ausserordentlich wechselnd. In dieser Hinsicht konnten, die ganze Wachstumsperiode in Betracht gezogen, unterschieden werden ganz steife, stabförmige Wurzeln, elastische, ganz weiche und biegsame Wurzeln und elastische, einigermassen an Stahldraht erinnernde Wurzeln. In bezug auf die Steifheit wurden unterschieden ganz steife Wurzeln, die ihrer ganzen Ausdehnung nach steif waren, Wurzeln mit steifem Hals, bei denen der steife Teil immer 0.5—8 cm lang zum Wurzelhals gehörte und der übrige Teil weich und biegsam war, weiche, schlaffe Wurzeln und elastische Wurzeln, wobei in den beiden letzteren Fällen die ganze Wurzel die gleiche Beschaffenheit zeigte. Die elastischen Wurzeln sind ihrer ganzen Länge nach elastisch.

Die Länge wurde namentlich bei jungen Wurzeln beachtet. Im Frühjahr z. B. kamen ganz kurze bis 15—20 cm lange Wurzeln vor, die sich während der Frühlingsperiode entwickelt hatten. Bei der Klassifikation dieser wurde die Länge berücksichtigt.

Es wurden also bei der Klassifikation nach dem Äussern die vorstehend angeführten Umstände in Betracht gezogen und die Klassen hauptsächlich mit Berücksichtigung der Farbe, der Dicke, der Verzweigung, der Steifheit und der Länge der Wurzeln unterschieden. Die Wurzelklassen stellten sich mithin folgendermassen dar: zur I. Klasse wurden gezählt die dünnen, dunkelbraunen, wenig verzweigten und gleichmässig dicken Wurzeln, zur II. Klasse die dünnen, gelben, wenig verzweigten und gleichmässig dicken Wurzeln, zur III. Klasse die dünnen, gelblichen, stark

verzweigten Wurzeln, zur IV. Klasse die verhältnismässig dünnen, gelblichen, stark verzweigten und dickhalsigen Wurzeln usw.

Bei der Behandlung der Wurzelformen wurde der Aufgabe der Wurzeln in der Lebenstätigkeit der Pflanze besondere Beachtung gewidmet. Die Wurzeln haben im wesentlichen zwei Aufgaben: 1) die Pflanze zu stützen und im Boden zu befestigen, und 2) der Pflanze aus dem Boden mit Hilfe des Wassers Nährstoffe zuzuführen. Bei der Stützung und Befestigung der Pflanze kommen die mechanischen Eigenschaften der Wurzel in Betracht, wie ihre Festigkeit, ihre Dehnbarkeit usw. Wenn die Pflanze lang ist, wirkt der Wind in der Weise auf sie ein, dass er sie mehr oder weniger biegt, aus welcher Bewegung in den Wurzeln Druck und Dehnung entsteht, je nachdem auf welcher Seite sich die Wurzeln im Verhältnis zum Wind befinden. Da der Wind in den meisten Fällen sehr wechselnd ist, kann man annehmen, dass seine Einwirkung sowohl in bezug auf den Druck als die Dehnung auf allen Seiten der Pflanze gleich ist. In dieser Hinsicht werden also die Dehnungs- und Druckfestigkeitseigenschaften der Wurzel und besonders die Lage der Wurzeln im Wurzelsystem betrachtet, denn von dem letzteren Umstand hängt die Wirkungskraft dieser Eigenschaften in sehr bemerkenswertem Grade ab. Ausserdem werden die Organe berücksichtigt, über die die Wurzel bei ihrer Befestigung im Boden verfügt, d. h. die Wurzelhaare.

Was den Transport der Nährstoffe anbelangt, muss der innere Bau der Wurzel diesem Zweck angepasst sein, d. h. sie muss möglichst viel solche Organe enthalten, welche imstande sind, der Pflanze in genügender Menge Wasser zuzuführen. In den Wurzeln wendet sich dabei die Aufmerksamkeit den im Zentralzylinder befindlichen grossen Gefässen zu, deren Zahl und Grösse auf die Ausführung der erwähnten Aufgabe einwirkt.

Schon früher wurde bemerkt, dass bei der Klassifikation der Wurzeln in Gruppen die Steifheit der Wurzel in Betracht gezogen wurde. Diese stellt denn auch bei der Unterscheidung der Wurzelformen eine wichtige Eigenschaft dar. Die Steifheit wurde in diesem Fall, wie oben angegeben, geschätzt.

Das Äussere der Wurzel wurde bei der Behandlung der Wurzelform insofern berücksichtigt, als die zu der gleichen Wurzelform gehörenden Wurzeln in ihrer Form Gemeinsamkeiten hatten, z. B. wurden alle dickhalsigen zu einer Wurzelform gezählt, zu einer anderen die dünnhalsigen und gleichmässig dicken. Doch bestanden hier gewisse Variationen, so dass die eigentliche Wurzelform auf Grund des Äussern nicht ganz genau bestimmt werden konnte. Dagegen war es möglich, die verschiedenen

Wurzelformen deutlich nach dem anatomischen Bau der Wurzel zu unterscheiden. Auf den Wurzelquerschnitten wurden vor allem der Zentralzylinder und der Rindenteil der Wurzel beachtet. Der Bau und die grossen Gefässe des Zentralzylinders, denen je zwei Vasalteile (Hadrome) entsprechen, waren Gegenstand sorgfältiger Prüfung. Hinsichtlich des Rindenteils der Wurzel wurden unterschieden: Wurzeln, bei denen der Rindenteil zum grössten Teil fehlte, Wurzeln, bei denen der Rindenteil vorhanden war, und Wurzeln, bei denen der Rindenteil besonders mächtig, aus dickwandigen Zellen gebildet war. Auch wurde untersucht, wie sich der Querschnitt der Wurzeln vom Hals nach der Spitze fortschreitend veränderte.

Die Querschnitte wurden als Freihandschnitte angefertigt und mit dem mikrographischen Apparat des Instituts für Fischereiforschung photographiert. Um die Variationen und Veränderungen des inneren Baus bei ein und derselben Wurzel aufzuklären, wurden Serienbilder vom Hals der Wurzel nach deren Spitze aufgenommen, wobei der Abstand der Bilder von dem jeweils aufzuhellenden Umstande abhing.

Die Bezeichnung der Wurzelklassen in dieser endgültigen Veröffentlichung wurden denen in der vorläufigen Mitteilung entgegengesetzt geändert. Im Vorliegenden entspricht immer die Klasse I der früheren höchsten Klasse und die höchste Klasse der früheren Klasse I. Diese Änderung erscheint dadurch gerechtfertigt, dass die Wurzeln mit wenigen Ausnahmen zu derselben Klasse der ganzen Wachstumsperiode gehören.

II. Die Wurzelformen, ihre Aufgabe und Lage im Wurzelsystem.

1. Das Material.

Da diese Untersuchungen nicht von vornherein die Form der Wurzeln und ihren inneren Bau aufzuklären bestimmt waren, war das dafür zur Verfügung stehende Material nicht annähernd homogen, sondern musste später eigens durch Erziehung neuen Materials ergänzt werden, wie schon oben erwähnt wurde. Infolgedessen hat sich das Einsammeln des Materials auf mehrere Jahre von 1926 an verteilt. Die grössten Einsammlungen fanden in den Jahren 1926—1928 sowie 1930 statt. I. J. 1926 wurden Bodenfrostuntersuchungen und orientierende Wurzeluntersuchungen, vor allem über die Dehnbarkeit der Wurzeln ausgeführt. 1927—1928 wurden die Untersuchungen über die Wurzelform angestellt und 1930 Versuche über einige auf die Entwicklung der Wurzeln einwirkende äussere Faktoren, besonders über den Einfluss der Saatedichte auf die Reichlichkeit der verschiedenen Wurzelformen gemacht.

Das aus den Beobachtungen gewonnene Material ist nach den Getreidearten und bei jeder von diesen nach der Entwicklung geordnet, selbst wenn die zeitliche Aufeinanderfolge der Untersuchungen eine andere gewesen ist.

a. Der Roggen.

Das Roggenmaterial ist hauptsächlich in den Jahren 1926—1928 gesammelt und stammt vorzugsweise von vier Roggensorten, nämlich von Kaski-, Iisalmi-, Ostola- und Petkus-Roggen. Ausserdem sind auch Beobachtungen an Vaasa-Roggen gemacht worden. Da man im Herbst 1926

noch nicht ahnen konnte, dass sich die Untersuchungen auch auf die Wurzelformen beziehen würden, kamen damals eigentliche statistische und anatomische Studien über die Wurzelsysteme und Wurzeln fast gar nicht zur Ausführung. Um diesem Mangel abzuweichen, wurden im folgenden Sommer, um die Mitte dieser Jahreszeit, die vorerwähnten Sorten gezogen, die am 5. VI. ausgesät wurden. Im Spätsommer wurden dieselben Sorten in der Zeit zwischen dem 15. und 25. August gesät zu dem Zweck, die eventuellen Unterschiede zwischen der im Sommer gewachsenen und den während der eigentlichen Wachstumsperioden auf den Herbst zu entstandenen jungen Saaten festzustellen.

Die Wurzeln und Wurzelsysteme des Roggens vom ersten Sommer.

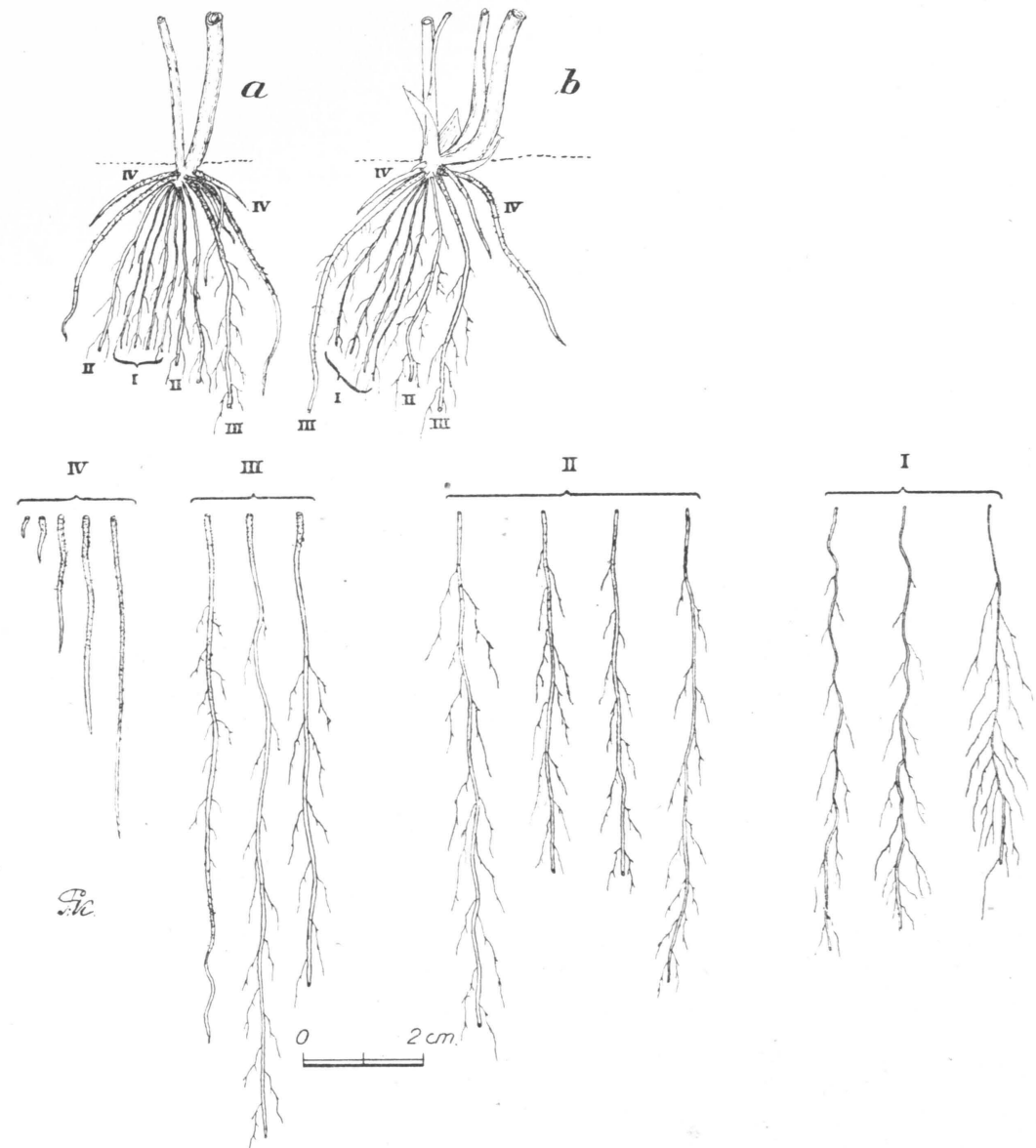
1. Kaski-Roggen: Gesät am 5. VI. 1927. Untersucht am 12. VII. 1927. (Figur 1.) Beobachtungen durch im selben Herbst gesätes gleichaltiges Material ergänzt. Der Roggen durchgehends junge Saat. Diese ausserordentlich üppig. Die Wurzeln waren sämtlich biegsam, weich und hell sowie sehr voll.

Die folgende Tabelle veranschaulicht die Zahl und allgemeine Beschaffenheit der untersuchten Individuen:

| Zahl der Individuen | Stärke 1—5 | Durchschnittliche | |
|---------------------|------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| | | Zahl der Halmansätze pro Individuum | Zahl der Wurzeln pro Individuum |
| 11 | 5.0 | 2.7 | 17.0 |

Auf Grund ihres Äussern konnten die Wurzeln in vier Klassen gruppiert werden.

Zu Klasse I gehörten die zuerst nach der Keimung entstandenen Wurzeln. Sie waren sehr dünn (0.14—0.30 mm), im allgemeinen stark verzweigt, gleichmässig dick und zuweilen am Halse dünn. Der Halsteil der Wurzel war oft unverzweigt und etwas gelblich, der übrige Teil hell. Der Zentralzylinder hatte gewöhnlich einen Durchmesser, der mehr als die Hälfte vom Durchmesser der Wurzel betrug. Die Länge der Wurzeln schwankte zwischen 7 und 16 mm. Diese Wurzeln befanden sich zu unterst im Wurzelsystem, in dem Teil desselben, der zuerst nach der Keimung entstanden ist, weshalb sie als Keimwurzeln bezeichnet werden können.



Figur 1. Wurzelsysteme und Wurzeln des Kaski-Roggens am 12. VII. 1927. Individuen im Saatstadium. Gesät am 5. VI. 1927.

a und b normale Wurzelsysteme.

Klasse I: Keimwurzeln. II—IV. Nährwurzeln.

Die gestrichelte Linie in den Wurzelsystembildern a und b bezeichnet, wie auch in allen folgenden Figuren, die Bodenoberfläche.

Der Querschnitt der Klasse I oder der Keimwurzeln war sehr einfach. Man fand da im Zentralzylinder der Wurzel ein grosses Gefäss in der Mitte und um dieses herum ein sehr kräftiges Zellgewebe, in dem die Siebteile und Hadrome abwechselnd gelagert waren und die sehr schwer zu unterscheiden sind. Die Rinde war verhältnismässig dünn und umfasste nur einige Reihen von Zellen mit dünner Membran. Die äussersten Zellreihen waren etwas auseinandergerissen, was durch das Austrocknen des Erdbodens und die davon herrührende Reibung bei den Bodenbewegungen verursacht worden sein dürfte (vgl. Tafel I. 1—2).

Die Wurzeln der Klasse II waren verhältnismässig dünn (0.25—0.50 mm) und in ihrer ganzen Länge ziemlich gleichdick. Im allgemeinen waren sie verzweigt, aber die wenig verzweigten Wurzeln hatten sich mit Wurzelhaaren bedeckt. Die Wurzeln waren biegsam und sehr hell. Der Zentralzylinder betrug nicht einmal die Hälfte des Durchmessers. Die Länge war dieselbe wie in der vorhergehenden Klasse. Die Wurzeln der Klasse II befanden sich am Wurzelsystem oberhalb der Keimwurzeln (vgl. Figur 1).

Mitten in dem Zentralzylinder der Wurzeln traten 4—6 grosse Gefässe auf, deren jedem zwei Hadrome (Vasalteile) entsprechen. Zuweilen wurden an einer Wurzel, die ganz nahe bei einer Keimwurzel sass, nur zwei grosse Gefässe angetroffen. Der sonstige Bau des Zentralzylinders war der Hauptsache nach derselbe wie bei den Keimwurzeln. Doch schien es, als ob das Zellgewebe im Zentralzylinder etwas grössere Zellen enthielte als in den Keimwurzeln. Hiervon rührte es her, dass die Sieb- und Vasalteile deutlicher als bei den ersteren Wurzeln zu unterscheiden waren. Wie erwähnt, waren diese Wurzeln im allgemeinen dünn und variierten von 0.25—0.40 mm. In der Richtung zur Wurzelkrone nimmt die Anzahl der grossen Gefässe ab, aber deren Durchschnitt wächst im allgemeinen.

Die folgenden Zahlen geben das Verhältnis des Durchmessers und des Zentralzylinders am Hals der Wurzel an:

| Beobachtung Nr. | Durchmesser | | Zahl d. grossen Gefässe |
|--------------------|------------------|------------------------------|----------------------------|
| | der Wurzel mm | des Zentral- zylinders mm | |
| 1 | 0.34 | 0.18 | 4 |
| 2 | 0.38 | 0.18 | 5 |
| 3 | 0.48 | 0.23 | 6 |
| 4 | 0.32 | 0.18 | 4 |
| 5 | 0.39 | 0.19 | 5 |
| 6 | 0.40 | 0.20 | 6 |

| Beobachtung Nr. | Durchmesser | | Zahl d. grossen Gefässe |
|--------------------|------------------|------------------------------|----------------------------|
| | der Wurzel mm | des Zentral- zylinders mm | |
| 7 | 0.29 | 0.14 | 4 |
| 8 | 0.39 | 0.18 | 5 |
| 9 | 0.37 | 0.17 | 5 |
| 10 | 0.35 | 0.17 | 5 |

Der Durchmesser des Zentralzylinders betrug bei diesen Wurzeln, wie die vorstehenden Zahlen zeigen, im allgemeinen weniger als die Hälfte vom Durchmesser der Wurzel. Mehr als die andere Hälfte des Durchmessers umfasste die um den Zylinder auftretende Rinde, die von grossen, dünnwandigen, wassergefüllten Zellen gebildet wurde. Diese Wurzeln haben, nach ihrem Bau zu schliessen, die Aufgabe, Wasser und damit Nährstoffe aus dem Boden in die Pflanze zu befördern, so dass man sie diesem Zweck gemäss als Nährwurzeln bezeichnen kann.

Zu der Klasse III gehörten ihrem Äussern nach zweierlei Wurzeln, stark verzweigte und ziemlich unverzweigte, die beide im allgemeinen verhältnismässig dick waren (0.4—0.9 mm). Am Halse waren sie mit Wurzelhaaren bedeckt und dicker als weiter unten. Die ältesten waren sehr verzweigt und die jüngsten dicht mit Zweiganfängen besetzt. Diese Wurzeln waren 9—25 cm lang. Sie waren sehr biegsam und hell gefärbt. Ihre Lage im Wurzelsystem war oberhalb der vorhergehenden Wurzeln (vgl. Figur 1).

Im Querschnitt glichen die Wurzeln dieser Klasse denen der vorhergehenden Klasse. Die Zahl der grossen Gefässe im Zentralzylinder war grösser, gewöhnlich 5—7. Der Rindenteil war im allgemeinen etwas dicker als in Klasse II, wie die folgenden Zahlen zeigen (vgl. Tafel I. 4 und 7):

| Beobachtung Nr. | Durchmesser | | Zahl d. grossen Gefässe |
|--------------------|------------------|------------------------------|----------------------------|
| | der Wurzel mm | des Zentral- zylinders mm | |
| 1 | 0.78 | 0.33 | 6 |
| 2 | 0.90 | 0.42 | 7 |
| 3 | 0.84 | 0.38 | 7 |
| 4 | 0.56 | 0.26 | 5 |
| 5 | 0.68 | 0.31 | 6 |
| 6 | 0.75 | 0.34 | 7 |
| 7 | 0.38 | 0.27 | 7 |
| 8 | 0.84 | 0.40 | 5 |
| 9 | 0.78 | 0.35 | 6 |
| 10 | 0.65 | 0.30 | 5 |

Der Durchmesser des Zentralzylinders beträgt merklich weniger als die Hälfte des Durchmessers der Wurzel. Die Zahl seiner grossen Gefässe geht nicht über 7 hinaus.

Die Wurzeln dieser Klasse waren also Nährwurzeln.

Die Klasse IV wurde von relativ kurzen jungen Wurzeln ohne Seitenzweige gebildet, die fast ganz mit Wurzelhaaren bedeckt waren ausser an der Spitze, wo eine Strecke von 1—2 cm nackt war. Die Länge der Wurzeln schwankte von 0.1—6 cm und die Dicke von 0.5—1.0 mm. Diese Wurzeln waren sehr biegsam und weiss.

Der Querschnitt der Wurzeln dieser Klasse war ähnlich wie bei den vorher beschriebenen Nährwurzeln, obwohl sich der Bau des Zentralzylinders noch nicht voll entwickelt hatte. Der Rindenteil umfasste den grössten Teil der Wurzel, denn der Durchmesser des Zentralzylinders betrug etwas über ein Drittel vom Gesamtdurchmesser der Wurzel (vgl. Tafel I. 10).

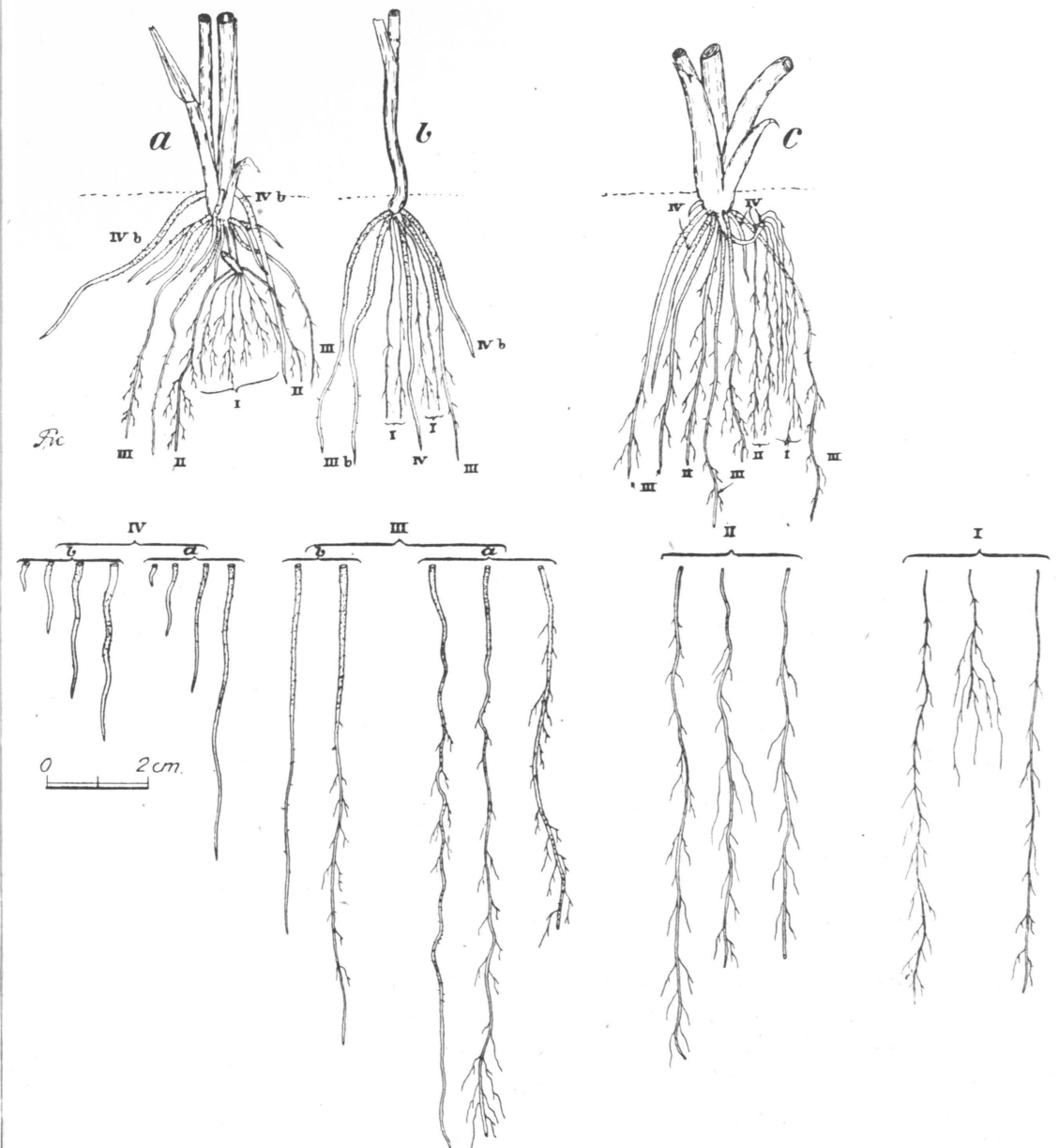
Die Wurzeln dieser Klasse befanden sich im Wurzelsystem ganz oben.

Die durchschnittliche Zahl der zu den verschiedenen Klassen gehörenden Wurzeln bei den untersuchten Individuen wird durch die folgenden Ziffern angegeben:

| Zahl der Individuen | Durchschnittliche Zahl der Wurzeln in den verschiedenen Wurzelklassen | | | | Zusammen |
|---------------------|---|------|------|------|----------|
| | I | II | III | IV | |
| 11 | 4.7 | 5.1 | 3.9 | 3.3 | 17.0 |
| % | 27.7 | 30.0 | 22.9 | 19.4 | 100.0 |

Wie die Ziffern erkennen lassen, kamen durchschnittlich ungefähr fünf Keimwurzeln auf ein Individuum. Am meisten Wurzeln wies Klasse II und am wenigsten Klasse IV auf.

Als allgemeine Beobachtung wurde verzeichnet, dass das Wurzelsystem um so ausgedehnter und kräftiger war, je mehr Halmansätze an einem Individuum entstanden waren. Es war bei dem Kaski-Roggen sehr einheitlich. Sämtliche Wurzeln befanden sich am Basalende der Halmansätze und bildeten ein einziges Büschel oder m. a. W. ein einbüscheliges oder normales Wurzelsystem. Die feinsten Wurzeln, d. h. die der Klasse I, traten zu unterst an der Keimstelle auf, von da nach oben die Wurzeln der anderen Klassen, und die dickeren Wurzeln hafteten mit ihrer Basis fast ganz aneinander. Zu oberst sassen die dicken Wurzeln der Klasse IV, die verhältnismässig kurz, die obersten bei manchen Individuen unter 1 cm lang waren.



Figur 2. Wurzelsysteme und Wurzeln des Petkus-Roggens am 12. VII. 1927. Gesät am 5. VI. 1927. a mehrbüscheliges Wurzelsystem. Halmtragendes Individuum. — b normales Wurzelsystem. Halmtragendes Individuum. — c zweibüscheliges Wurzelsystem. Individuum im Saatstadium. Klasse I: Keimwurzeln. — Klasse II: Nährwurzeln. — Klasse III a: Nährwurzeln. — Klasse III b: Nährstützwurzeln. — Klasse IV a: junge Nährwurzeln. — Klasse IV b: junge Nährstütz- und Stützwurzeln.

2. Petkuser: Gesät am 5. VI. 1927. Untersucht am 12. VII. 1927. (Figur 2.) Von dem Roggen waren etwa 90 % junge Saat, das übrige bildete schon Halme. Der Petkus-Roggen blieb, im Frühjahr ausgesät, nicht ganz im Saatstadium, sondern manche Individuen standen schon im Halm. Saat sonst üppig.

Die folgende Tabelle gibt die Zahl und Beschaffenheit der untersuchten Individuen an:

| Zahl der Individuen | Stärke 1—5 | Durchschnittliche | |
|---------------------|------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| | | Zahl der Halmansätze pro Individuum | Zahl der Wurzeln pro Individuum |
| 10 | 5.0 | 3.8 | 18.8 |

Nach dem Äussern konnten die Wurzeln, die sämtlich von heller Farbe waren, wie die Wurzeln des vorhergehenden Roggens in vier Klassen eingeteilt werden:

Klasse I umfasste wie vorher die Keimwurzeln, die am allerdünnsten und in bezug auf ihre Lage die untersten im Wurzelsystem waren. Sie waren 0.14—0.25 mm dick, stark verzweigt und biegsam. Ihre Länge betrug 7—12 cm. Der Basalteil war wie bei dem vorhergehenden Roggen etwas gelblich.

Der Querschnitt der Wurzeln dieser Klasse war ähnlich wie bei dem vorhergehenden Roggen. In dem Zentralzylinder der Wurzeln befand sich ein grosses Gefäss und um den Zentralzylinder eine verhältnismässig dünne Rindenschicht, deren äusserste Zellen auseinandergerissen waren.

Die Wurzeln der Klasse II waren im allgemeinen gleichmässig dick (0.3—0.6 mm). Sie wiesen ausser ganz in der Nähe der Spitze gar keine Wurzelhaare auf, waren verzweigt und sehr biegsam. Ihre Länge betrug 7—15 cm. Im Wurzelsystem waren sie oberhalb der vorhergehenden Wurzeln befestigt. Die Zahl der Wurzeln hing vor allem von der Üppigkeit und Stärke der Individuen ab.

Der Querschnitt der Wurzeln der Klasse II war ähnlich wie bei der oben beschriebenen Nährwurzel in der entsprechenden Klasse des Kaski-Roggens.

Die Wurzeln der Klasse III waren am Basalteil verhältnismässig dick (1.0—1.6 mm) und weiter unten ziemlich dünn (0.4—0.7 mm). Einige waren gleichmässig dick (0.5—0.9 mm). Für diese Klasse war es charakteristisch, dass die Wurzeln an ihrem Basalteil im allgemeinen behaart waren, und in manchen Fällen konnte sich die Behaarung fast über die ganze Wurzel

erstrecken. Die Wurzeln waren im allgemeinen verzweigt. Die jüngeren, deren Länge nur 7—15 cm betrug, zeigten wenig Zweige, aber an den älteren konnte die Verzweigung sogar sehr dicht sein. Bei den Individuen im Saatstadium waren die Wurzeln dieser Klasse immer biegsam. Dagegen wurden bei den halmtragenden Individuen sowohl steife als biegsame, ihrem Äussern nach zu dieser Klasse gehörige Wurzeln angetroffen, wobei die steifen stets oberhalb der weichen sass. Im allgemeinen waren die verschiedenartigen Wurzeln von gleichem Aussehen, obwohl die steifen etwas kürzer und weniger verzweigt als die weichen waren. Die Steifheit erstreckte sich bei den untersuchten Individuen allgemein bis auf 20—30 mm vom Hals der Wurzel. Der weiche Teil der Wurzel war im allgemeinen sehr verzweigt. Die Wurzeln der Klasse befanden sich oberhalb der Wurzeln der vorhergehenden Klassen und zwar, wie schon früher bemerkt, so, dass die steifen Wurzeln der halmtragenden Individuen zu oberst angeheftet waren.

Die Querschnitte der weichen und schlaffen Wurzeln dieser Klasse waren übereinstimmend und ganz ähnlich wie bei den Nährwurzeln der entsprechenden Klassen des Kaski-Roggens. Bei den steifen Wurzeln der Klasse III war der Bau des Zentralzylinders zwar ganz gleich wie bei den Nährwurzeln des vorhergehenden Roggens, aber die äussersten Zellen des Rindenteils hatten dicke Membranen, wodurch die Steifheit des Basalteils der Wurzel verursacht war. Von den Zellen dieser Art waren in der Regel 2—4 Reihen vorhanden. Der Querschnitt des weichen Teils der Wurzel war ganz ähnlich wie der der Nährwurzeln. Die Steifheit ermöglicht es den Wurzeln gut, den Halm zu stützen, der Zentralzylinder kann der Pflanze Nährstoffe zuführen, wie bei den eigentlichen Nährwurzeln. Man kann diese Wurzeln also Nährstützwurzeln nennen, weil sie damit beauftragt sind, teils Nahrung in die Pflanze zu befördern und teils sie zu stützen, solange der Halm noch kurz ist, aber doch schon einer Stütze bedarf (vgl. Tafel I. 11).

Die folgenden Zahlen geben das Verhältnis des Durchmessers der Nährstützwurzeln und ihres Zentralzylinders an:

| Beobachtung Nr. | Durchmesser | | Zahl der grossen Gefässe im Zentralzylinder |
|-----------------|---------------|-------------------------|---|
| | der Wurzel mm | des Zentralzylinders mm | |
| 1 | 0.75 | 0.35 | 5 |
| 2 | 1.33 | 0.35 | 7 |
| 3 | 1.24 | 0.44 | 6 |
| 4 | 1.12 | 0.39 | 5 |

| Beobachtung der Nr. | Durchmesser | | Zahl der grossen Gefässe im Zentralzylinder |
|------------------------|------------------|----------------------------|---|
| | der Wurzel mm | des Zentralzylinders mm | |
| 5 | 1.38 | 0.46 | 6 |
| 6 | 1.17 | 0.48 | 6 |
| 7 | 1.06 | 0.46 | 7 |
| 8 | 1.02 | 0.39 | 7 |

Wie die obigen Zahlen zeigen, ist an dem steifen Teil der Wurzel der Durchmesser des Rindenteils viel grösser als der des Zentralzylinders, so dass der letztere im allgemeinen weniger als ein Drittel vom Gesamtdurchmesser der Wurzel misst.

Zu Klasse IV gehören dem Äussern nach ähnliche Wurzeln wie bei dem Kaski-Roggen. Diese Wurzeln waren jung, verschieden lang, von der ganz kurzen, eben gebildeten (0.1 cm) bis zu 6 cm langen. Die Basalpartie der Wurzeln war mit dichten Wurzelhaaren bedeckt und die Spitze etwa 2—4, ja 6 cm weit ganz nackt. Bei den Individuen, die schon einen Halm entwickelt hatten, waren diese Wurzeln steif und etwas dicker als bei denen im Saatstadium. Die Dicke der steifen Wurzeln betrug bei manchen Individuen bis 20 mm und die der biegsamen 0.8—1.4 mm. Alle diese Wurzeln befanden sich im Wurzelsystem zu oberst. Von Farbe waren sie hell.

Der Querschnitt der weichen und biegsamen Wurzeln war derselbe wie der der gewöhnlichen Nährwurzel. Die Zahl der grossen Gefässe war 6—8. Bei den kurzen Wurzeln war der Zentralzylinder noch nicht voll entwickelt. Der der steifen Wurzeln dieser Klasse war schwach. Hier waren die Siebteile und die Gefässe sehr deutlich voneinander zu unterscheiden, und nur hier und da zeigte sich ein Stützzellengewebe. Die mittleren Teile des Zentralzylinders waren dünnwandig und bildeten ein Gewebe aus relativ grossen Zellen. Der Durchmesser des Zentralzylinders betrug etwa ein Drittel vom Durchmesser der ganzen Wurzel. Die äusseren Zellschichten des Rindenteils bestanden aus sehr dickwandigen Sklerenchymzellen, die die Wurzel stabartig versteiften. Die ganze Wurzel, abgesehen von dem unteren Ende, dessen Querschnitt ähnlich wie bei der Nährwurzel aussah, war steif. Da diese Wurzeln im Wurzelsystem ganz zu oberst, oft an den Knoten über dem Erdboden angeheftet waren, war ihre Hauptaufgabe, den Halm zu stützen. Diese Wurzeln können also als Stützwurzeln bezeichnet werden (vgl. Tafel I. 12).

Die folgenden Zahlen geben das Verhältnis des Durchmessers der Stützwurzeln und ihres Zentralzylinders an:

| Beobachtung Nr. | Durchmesser | | Zahl der grossen Gefässe | Länge der Wurzel cm |
|--------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | der Wurzel mm | des Zentralzylinders mm | | |
| 1 | 1.25 | 0.60 | 6 | 7 |
| 2 | 1.05 | 0.41 | 5 | 5 |
| 3 | 1.16 | 0.51 | 6 | 5 |
| 4 | 1.45 | 0.68 | 8 | 7 |
| 5 | 1.05 | 0.40 | 5 | 4 |
| 6 | 1.35 | 0.59 | 7 | 5 |
| 7 | 1.40 | 0.62 | 8 | 6 |
| 8 | 1.26 | 0.53 | 7 | 5 |

Der Durchmesser des Zentralzylinders der Stützwurzeln betrug nicht einmal die Hälfte des Durchmessers der Wurzel. Die Zahl seiner grossen Gefässe schwankte zwischen 5 und 8 und die Länge der ganzen Wurzel zwischen 4 und 7 cm.

Die durchschnittliche Zahl der zu den verschiedenen Wurzelklassen gehörenden Wurzeln an den untersuchten Individuen ergibt sich aus folgenden Ziffern:

| Zahl der Individuen | Durchschnittliche Zahl der Wurzeln pro Individuum in den verschiedenen Wurzelklassen | | | | Zusammen pro Individuum |
|------------------------|---|------|------|------|----------------------------|
| | I | II | III | IV | |
| 10 | 6.0 | 3.8 | 4.9 | 4.1 | 18.8 |
| % | 31.9 | 20.2 | 26.1 | 21.8 | 100.0 |

Wie diese Zahlen erkennen lassen, kamen auf das Individuum 6 Keimwurzeln und annähernd 5 Wurzeln der III. Klasse. Die anderen Klassen waren schwächer vertreten.

Bei dem Petkus-Roggen wurden alle oben beschriebenen Wurzelformen angetroffen. Es fanden sich normale oder einbüschelige Wurzelsysteme, die im allgemeinen verhältnismässig wenig Wurzeln besaßen, zumal wenn das Individuum nicht strauchtig geworden war (vgl. Figur 2 b). An dem einbüscheligen Wurzelsystem traten Wurzeln von allen Wurzelklassen auf. Bei manchen Individuen wurde ein zweibüscheliges und bei einigen ein mehrbüscheliges Wurzelsystem beobachtet. Das unterste Wurzelbüschel war an der Keimstelle des Samens entstanden und wurde von den Keimwurzeln und zuweilen ausserdem von ein paar Nährwurzeln gebildet. Der unterirdische Stamm war von ähnlichem Bau wie der oberirdische, aber

er war viel dünner und mitunter gekrümmt. Die Länge dieses Stammes war sehr wechselnd. Bei einigen Individuen mass er 2—4 mm, am häufigsten aber 10—14 und zuweilen 25 mm. In der Nähe des Erdbodens, gewöhnlich 1.0—1.5 cm unter der Oberfläche, begann ein anderes (an einem mehrbüscheligen ein drittes, viertes usw.) Wurzelbüschel, das im Hinblick auf die Zahl der Wurzeln und sein Aussehen als das eigentliche Wurzelsystem zu betrachten ist. Besonders bei allen Individuen im Saatstadium war das an der Erdoberfläche befindliche Wurzelbüschel ausserordentlich dicht. Die Wurzeln des zweiten und der oberen Wurzelbüschel waren bei Individuen im Saatstadium Nährwurzeln, also Wurzeln der Klassen II—IV. Bei den halmtragenden Individuen wurden am oberen Büschel oft Stützwurzeln angetroffen, und zwar zuweilen oberhalb des eigentlichen Büschels, ja über dem Erdboden an den untersten Knoten des Halmes. In diesem Fall bildeten die Stützwurzeln oft das oberste Büschel des Wurzelsystems, wobei das frühere normale Wurzelsystem ein anderes Büschel erhielt. Bei den anderen Wurzelsystemformen kam ein Büschel hinzu. Zuweilen stiess man auf ein Individuum, das zwei Stützwurzelbüschel besass. Im allgemeinen waren an den Stützwurzelbüscheln wenig Wurzeln (2—4 St.) (vgl. Figur 2 a).

3. Iisalmi-Roggen. Gesät am 5. VI. 1927. Untersucht am 12. VII. 1927. (Figur 3.) Der Roggen war ausserordentlich üppig und im vollen Saatstadium. Die Wurzeln waren sämtlich biegsam, weich und im allgemeinen hell.

Die folgende Tabelle gibt die Zahl und allgemeine Beschaffenheit der untersuchten Individuen an:

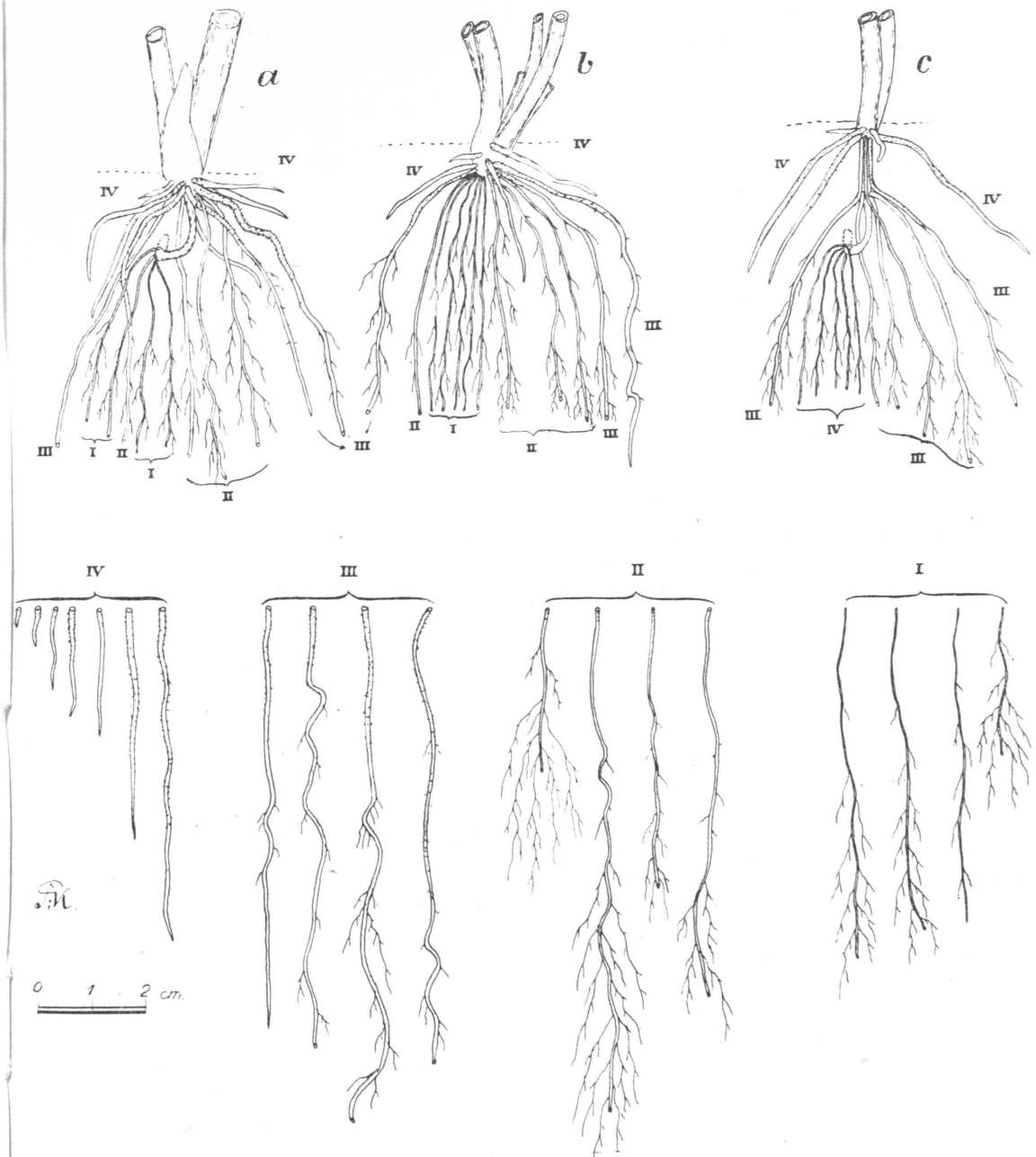
| Zahl der Individuen | Stärke 1—5 | Durchschnittliche | |
|---------------------|------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| | | Zahl der Halmansätze pro Individuum | Zahl der Wurzeln pro Individuum |
| 10 | 5.0 | 3.9 | 20.4 |

Nach dem Äussern konnten die Wurzeln auf dieselbe Weise wie bei dem Kaski-Roggen in vier Klassen eingeteilt werden.

Die Wurzeln der Klasse I waren Keimwurzeln, und zwar von ganz derselben Art wie bei dem Kaski-Roggen.

Die Wurzeln der Klasse II waren Nährwurzeln und gleich denen des Kaski-Roggens.

Die Wurzeln der Klasse III waren von ganz derselben Art wie bei dem Kaski-Roggen.



Figur 3. Iisalmi-Roggen am 12. VII. 1927. Individuen im Saatstadium. Gesät am 5. VI. 1927. a zweibüscheliges Wurzelsystem. — b normales oder einbüscheliges Wurzelsystem, — c mehrbüscheliges Wurzelsystem.

Klasse I: Keimwurzeln. II—IV: Nährwurzeln.

Die Klasse IV war vollständig von der Art wie bei dem Kaski-Roggen. Die Querschnitte stimmen ebenfalls mit denen beim Kaski-Roggen überein.

Die folgenden Zahlen geben das Verhältnis des Durchmessers der Wurzeln von verschiedenen Klassen und ihres Zentralzylinders am Hals der Wurzeln an (vgl. Tafel I):

| Beobachtung Nr. | Durchmesser der Wurzel des Zentralzylinders mm | | Anzahl der grossen Gefässe | Durchschnittl. Durchmesser der grossen Gefässe |
|-----------------|--|------|----------------------------|--|
| Klasse I | | | | |
| 1 | 0.15 | 0.08 | 1 | 0.030 |
| 2 | 0.17 | 0.09 | 1 | 0.032 |
| 3 | 0.18 | 0.11 | 1 | 0.036 |
| 4 | 0.14 | 0.09 | 1 | 0.032 |
| 5 | 0.20 | 0.12 | 1 | 0.039 |
| Klasse II | | | | |
| 1 | 0.35 | 0.16 | 4 | 0.041 ¹ |
| 2 | 0.40 | 0.18 | 6 | 0.042 |
| 3 | 0.28 | 0.13 | 5 | 0.040 |
| 4 | 0.39 | 0.18 | 5 | 0.041 |
| 5 | 0.40 | 0.23 | 6 | 0.042 |
| Klasse III | | | | |
| 1 | 0.62 | 0.29 | 6 | 0.041 |
| 2 | 0.78 | 0.34 | 6 | 0.045 |
| 3 | 0.80 | 0.38 | 7 | 0.039 |
| 4 | 0.58 | 0.26 | 5 | 0.043 |
| 5 | 0.85 | 0.40 | 7 | 0.042 |
| Klasse IV | | | | |
| 1 | 0.70 | 0.31 | 6 | 0.041 |
| 2 | 0.60 | 0.26 | 5 | 0.039 |
| 3 | 0.81 | 0.36 | 7 | 0.037 |
| 4 | 0.92 | 0.42 | 7 | 0.042 |

Wie man aus den vorstehenden Ziffern ersieht, war der Zentralzylinder der Keimwurzeln im Vergleich zum Durchmesser der Wurzel relativ am dicksten, denn er betrug erheblich mehr als die Hälfte der Wurzel-

¹ Es hat kein Grund vorgelegen, den mittleren Fehler des Mittelwerts zu berechnen. Es sei nur erwähnt, dass der Mittelwert bloss einiger Fälle berechnet worden ist, wobei es sich ergab, dass der mittlere Fehler zwischen 0.0011—0.0054 mm schwankte.

dicke, während er bei Klasse IV viel kleiner als die Hälfte des Wurzel-durchmessers war. Der Durchmesser der grossen Gefässe in den Zentralzylindern der verschiedenen Wurzeln ist ziemlich gleich gross.

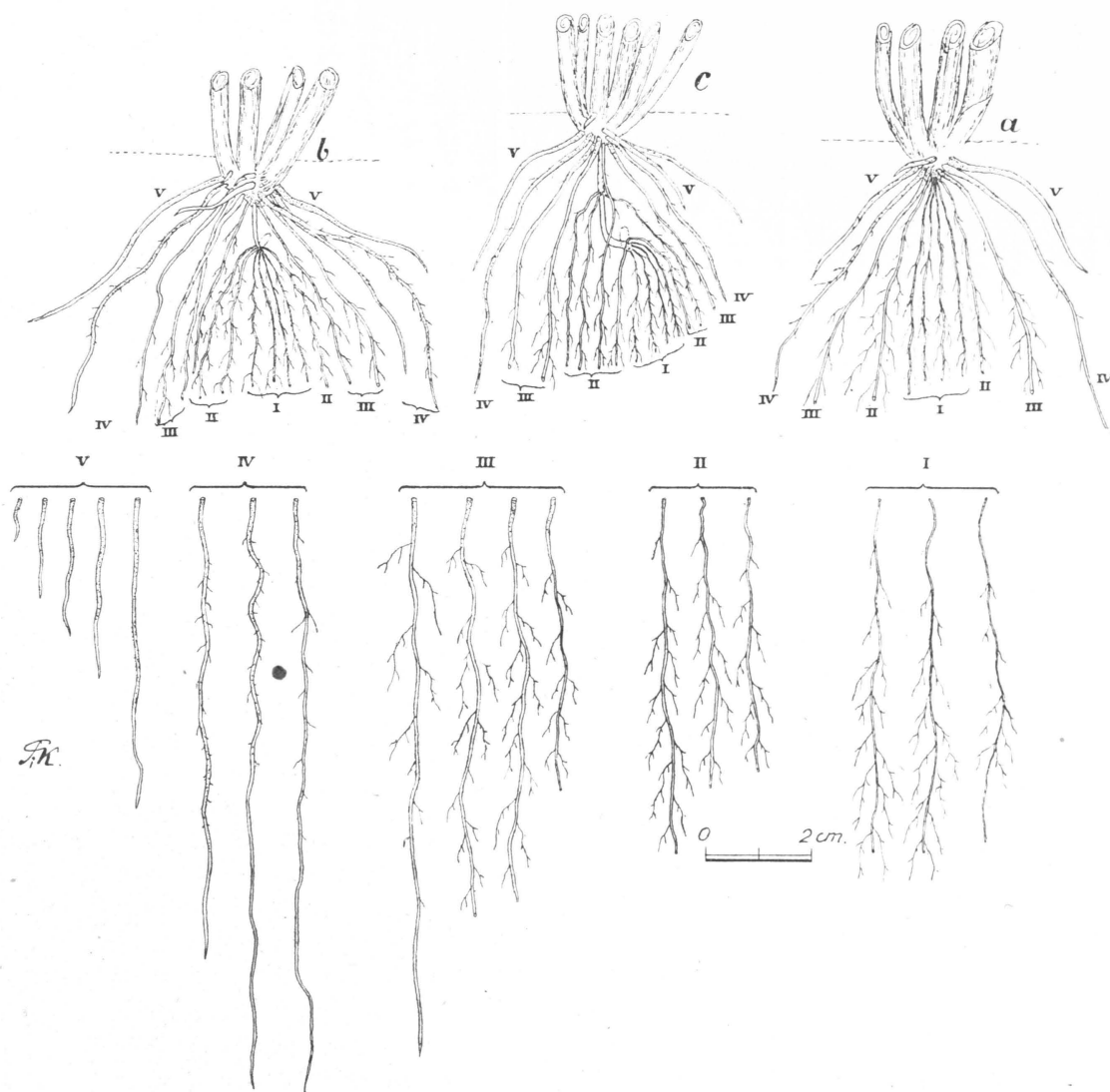
Die durchschnittliche Zahl der zu den verschiedenen Wurzelklassen gehörigen Wurzeln an den untersuchten Individuen geht aus den folgenden Ziffern hervor:

| Zahl der Individuen | Durchschnittliche Zahl der Wurzeln pro Individuum in den verschiedenen Wurzelklassen | | | | Zusammen pro Individuum |
|---------------------|--|------|------|------|-------------------------|
| | I | II | III | IV | |
| 10 | 6.7 | 4.7 | 4.3 | 4.7 | 20.4 |
| % | 32.8 | 23.1 | 21.0 | 23.1 | 100.0 |

Die Zahl der Wurzeln in den verschiedenen Klassen ist ungefähr dieselbe wie im obigen Beispiel.

An den untersuchten Individuen fanden sich wie bei dem oben beschriebenen Petkus-Roggen dreierlei Wurzelsysteme. In dem normalen Wurzelsystem (Figur 3 b), in dem die Keimwurzeln zu unterst, über diesen die ältesten Nährwurzeln und ganz oben die jüngsten Nährwurzeln sass, traten sämtliche Wurzeln nahe beieinander an demselben Büschel auf. In dem einbüscheligen oder normalen Wurzelsystem waren also die Wurzeln ganz wie in den Mantel eines nach unten gekehrten Kegels befestigt, wobei die Keimwurzeln an der Spitze des Kegels und von da aufwärts der Altersfolge nach die übrigen Wurzeln, die älteren zu unterst und die jüngeren zu oberst auftraten. Bei dem lialmi-Roggen wurden ausserdem zwei- und dreibüschelige Wurzelsysteme angetroffen. In dem zweibüscheligen Wurzelsystem war der Wurzelstock 10—15 mm lang, meistens gebogen (vgl. Figur 3 a). In dem dreibüscheligen Wurzelsystem (vgl. Figur 3 c) sass die Keimwurzeln am untersten Knoten; an dem mittleren Knoten befanden sich dünne Nährwurzeln (1—3 St.) und an dem dritten Knoten dicke Nährwurzeln, von denen die untersten abwärts längs des Wurzelstockes bis zum mittleren Knoten liefen, wo sie erst nach den Seiten ausinandergingen. Hieran dürften die Dichtigkeitsverhältnisse des Bodens schuld gewesen sein. In einem anderen Fall zeigten sich in den zwei- und mehrbüscheligen Wurzelsystemen am untersten Knoten Keimwurzeln und ausserdem einige wenige Nährwurzeln, an dem Zwischenknoten Nährwurzeln und am obersten Knoten Nährwurzeln in der Weise, dass die ältesten zu unterst und die jüngsten zu oberst auftraten.

4. Kaski-Roggen. Gesät am 5. VI. 1927. Untersucht am 5. VIII. 1927. Der Roggen war ausserordentlich üppig und in vollem Saatstadium.



Figur 4. Wurzelsysteme und Wurzeln des Kaski-Roggens am 3. VIII. 1927. Gesät am 5. VI. 1927. Alle Individuen im Saatstadium und Wurzeln biegsam und weich.

a normales Wurzelsystem,
b zweibüscheliges Wurzelsystem,
c mehrbüscheliges Wurzelsystem.

Klasse I: Keimwurzeln. — Klasse II: älteste Nährwurzeln. — Klasse III: Nährwurzeln.
— Klasse IV: jüngere Nährwurzeln. — Klasse V: jüngste Nährwurzeln.

Die Wurzeln waren sämtlich weich, biegsam, die jüngsten von ihnen hell und die übrigen gelblich.

Die folgende Tabelle zeigt die Zahl und Beschaffenheit der untersuchten Individuen:

| Zahl der Individuen | Stärke 1—5 | Durchschnittliche | |
|---------------------|------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| | | Zahl der Halmansätze pro Individuum | Zahl der Wurzeln pro Individuum |
| 10 | 5.0 | 8.2 | 35.8 |

Auf Grund ihres Äußern konnten die Wurzeln wie folgt in fünf Gruppen eingeteilt werden (vgl. Figur 4):

Klasse I bildeten die sehr dünnen Keimwurzeln, die im Wurzelsystem zu unterst sassen. Es waren ihrer am häufigsten 4, aber verhältnismässig viel Individuen hatten 5. Die Keimwurzeln waren sehr dünn, 0.10—0.25 mm. Am Basalteil waren sie ziemlich unverzweigt, aber weiter unten wiesen sie viel Zweige auf. Sie waren ihrer ganzen Länge nach fast gleichmässig dick und gelblich.

Der Querschnitt der Wurzeln war ähnlich wie bei dem am 12. VII. 1927 untersuchten Kaski-Roggen, nur schien der Rindenteil etwas mehr reduziert zu sein (vgl. Tafel I. 1—2).

Die zu Klasse II gehörenden Wurzeln waren etwas dicker (0.25—0.50 mm) als die vorhergehenden, sie befanden sich oberhalb der Keimwurzeln und entsprachen der Klasse II der früheren Periode. Sie waren durchgehends gleichmässig dick, doch konnten einige auch an der Basis dünn sein. Sämtliche Wurzeln waren sehr verzweigt, und ihre Länge schwankte zwischen 20 und 35 cm. Ihre Farbe war gelblich.

Der Querschnitt der Wurzeln ist ganz von derselben Art wie bei dem am 12. VII. 1927 untersuchten Kaski-Roggen (vgl. Tafel I. 3).

Klasse III entsprach völlig der Klasse III der vorhergehenden Periode. Die Wurzeln waren also Nährwurzeln und unterschieden sich von den vorhergehenden Klassen dadurch, dass ihr Basalteil bedeutend dicker als der untere Teil und sehr behaart war. Die Dicke des Basalteils variierte von 0.30—0.70 mm. Die Wurzeln waren im allgemeinen stark verzweigt und hell. Manche von ihnen waren noch kurz, 10—14 cm lang, andere sogar zweimal so lang. Die Lage der Wurzeln im Wurzelsystem war oberhalb der vorhergehenden Wurzeln.

Der Querschnitt der Wurzeln war der gleiche wie bei dem am 12. VII. 1927 untersuchten Kaski-Roggen (vgl. Tafel I. 4—9).

Die Klasse IV bildeten die relativ wenig verzweigten und hellen Wurzeln, deren Länge zwischen 10 und 12 cm schwankte. Fast die ganze Wurzel war mit Haaren bedeckt; nur die Spitze war auf einer Strecke von 2—4 cm nackt. An dem behaarten Teil fanden sich kurze, 3—7 mm lange Wurzelhaaransätze ziemlich dicht beieinander. Der Basalteil, dessen Dicke 0.8—1.0 mm betrug, war an den Wurzeln dieser Klasse auf dieselbe Weise verdickt wie an denen der vorhergehenden Klasse. Die Wurzeln waren oberhalb der vorhergehenden Klassen befestigt.

Der Querschnitt war derselbe wie bei den Nährwurzeln am 12. VII. 1927 (vgl. Tafel I. 7).

Klasse V umfasste die obersten, verhältnismässig dünnen, 0.3—0.7 mm dicken und hellen Wurzeln des Wurzelsystems, an denen noch keine Zweigbildung auftrat, sondern die mit einer dichten Haardecke bedeckt waren, welche jedoch die Spitze der Wurzeln 0.5—2.0 cm weit nackt liess. Am Halse waren sie dick (0.6—1.1 mm) und verdünnten sich relativ schnell. Die Länge der Wurzeln variierte von 0.2—7 cm.

Der Querschnitt der Wurzeln war ähnlich wie bei den Nährwurzeln, obwohl noch nicht vollständig ausgebildet (vgl. Tafel I. 10).

Die folgenden Zahlen geben das Verhältnis des Durchmessers und des Zentralzylinders am Hals der Wurzel in verschiedenen Klassen an:

| Beobachtung Nr. | Durchmesser der Wurzel mm | des Zentral- zylinders mm | Zahl der grossen Gefässe |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Klasse I | | | |
| 1 | 0.13 | 0.10 | 1 |
| 2 | 0.17 | 0.14 | 1 |
| 3 | 0.20 | 0.18 | 1 |
| 4 | 0.14 | 0.12 | 1 |
| 5 | 0.15 | 0.11 | 1 |
| 6 | 0.18 | 0.16 | 1 |
| Klasse II | | | |
| 1 | 0.36 | 0.17 | 5 |
| 2 | 0.48 | 0.22 | 6 |
| 3 | 0.28 | 0.14 | 4 |
| 4 | 0.37 | 0.18 | 5 |
| 5 | 0.23 | 0.15 | 5 |
| 6 | 0.41 | 0.20 | 6 |

| Beobachtung Nr. | Durchmesser der Wurzel mm | des Zentral- zylinders mm | Zahl der grossen Gefässe |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Klasse III | | | |
| 1 | 0.38 | 0.19 | 5 |
| 2 | 0.56 | 0.27 | 6 |
| 3 | 0.63 | 0.32 | 7 |
| 4 | 0.42 | 0.20 | 5 |
| 5 | 0.49 | 0.23 | 5 |
| 6 | 0.68 | 0.32 | 8 |
| Klasse IV | | | |
| 1 | 0.81 | 0.37 | 5 |
| 2 | 0.95 | 0.39 | 6 |
| 3 | 0.92 | 0.41 | 7 |
| 4 | 0.88 | 0.40 | 6 |
| 5 | 0.80 | 0.37 | 6 |
| 6 | 0.83 | 0.38 | 5 |
| Klasse V | | | |
| 1 | 0.70 | 0.32 | 6 |
| 2 | 0.53 | 0.24 | 6 |
| 3 | 0.46 | 0.21 | 5 |
| 4 | 0.67 | 0.31 | 7 |

Wie die vorstehenden Ziffern zeigen, war der Rindenteil der Wurzeln von Klasse I bereits abgenutzt, denn er bildete nur 1/3—1/9 vom Durchmesser des Zentralzylinders und einen noch geringeren Teil vom Gesamtdurchmesser der Wurzel. In den Klassen II und III betrug der Durchmesser des Zentralzylinders etwa die Hälfte des Gesamtdurchmessers der Wurzel, und in den Klassen IV und V war der Zentralzylinder bedeutend kleiner als die Hälfte des Wurzeldurchmessers, so dass der Rindenteil den grössten Teil vom Querschnitt der Wurzel ausmachte. Die Zahl der grossen Gefässe der Nährwurzeln variierte in den verschiedenen Wurzeln von 4—8, ohne dass grössere Unterschiede zwischen den verschiedenen Klassen auftraten.

Die durchschnittliche Zahl der zu den verschiedenen Wurzelklassen gehörigen Wurzeln an den untersuchten Individuen ergibt sich aus den folgenden Ziffern:

| Zahl der Individuen | Durchschnittliche Zahl der Wurzeln pro Individuum in den verschiedenen Wurzelklassen | | | | | Zusammen pro Individuum |
|---------------------|--|------|------|------|------|-------------------------|
| | I | II | III | IV | V | |
| 10 | 4.8 | 5.8 | 12.6 | 5.6 | 7.0 | 35.8 |
| % | 13.4 | 16.2 | 35.2 | 15.6 | 19.6 | 100.0 |

In den zwei ersten Klassen ist die Zahl der Wurzeln ungefähr dieselbe wie bei der früheren Untersuchung. In der dritten Klasse aber sind es ihrer schon viel mehr als vorher, und zwar über ein Drittel aller Wurzeln.

Die Wurzelsysteme waren bei dem Kaski-Roggen auch von dreierlei Art wie in der früheren Periode bei dem Iisalmi-Roggen (vgl. Figur 4). In den mehrbüscheligen Wurzelsystemen sassen, wie schon früher erwähnt, die Keimwurzeln zu unterst. An derselben Stelle, oberhalb der Keimwurzeln, konnten 1—3 Nährwurzeln auftreten, die immer zur Wurzelklasse II gehörten. An den Zwischenknoten befanden sich ebenfalls oft 2—4 Wurzeln derselben Klasse. In den eigentlichen Wurzelsystemen, an denen auch die Halmansätze angingen, waren alle Wurzeln ausser solchen der Klasse I vertreten. Doch wurden in Wurzelsystemen, die mehr als zwei Knoten hatten, an dem obersten Büschel im allgemeinen keine Wurzeln der Klasse II, sondern nur solche der Klassen III, IV und V beobachtet.

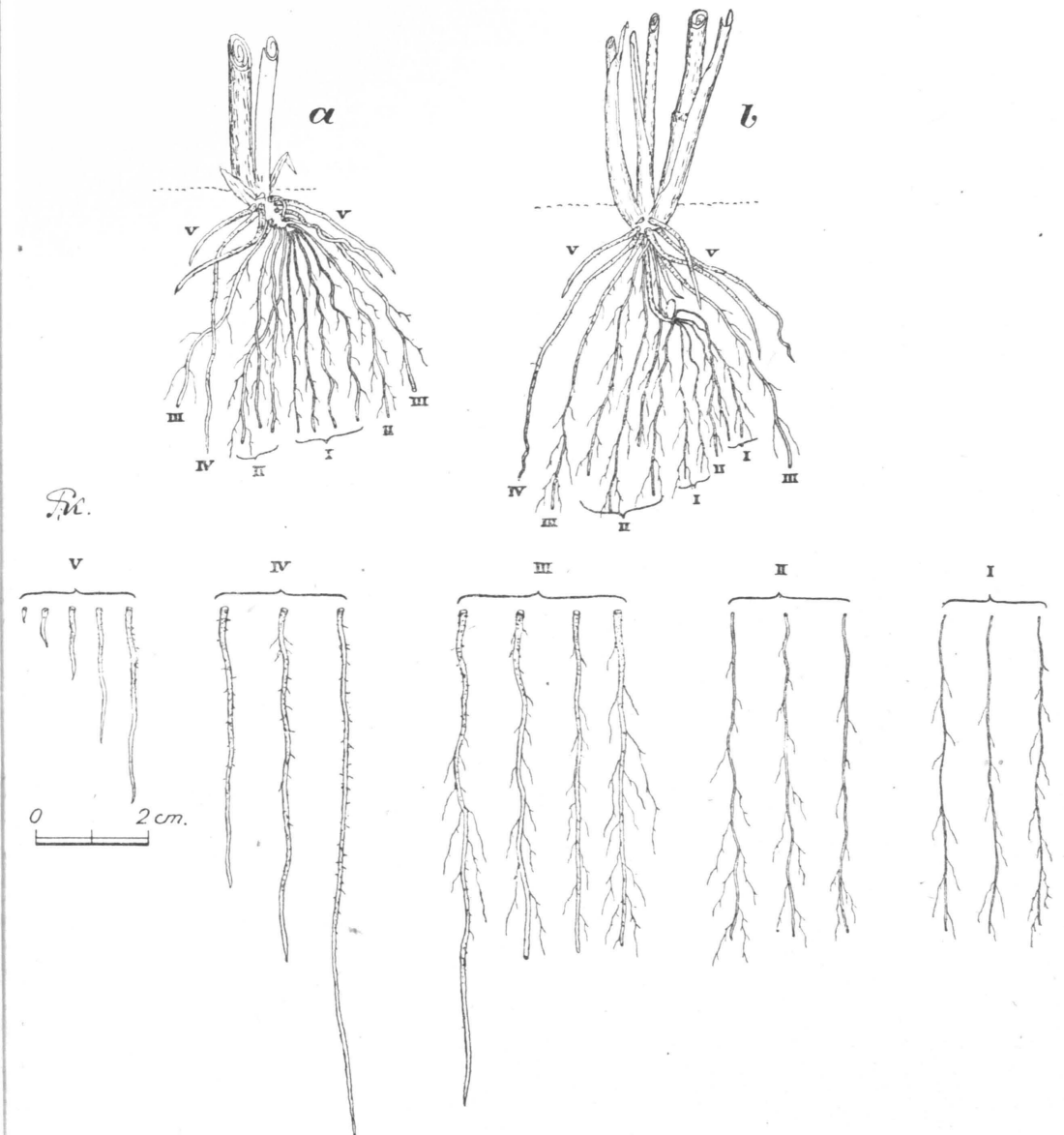
5. Iisalmi-Roggen. Gesät am 5. VI. 1927. Untersuchung ausgeführt am 4. VIII. 1927. Die Saat war ausserordentlich üppig, und sämtliche Individuen waren im Saatstadium geblieben, worauf es beruhte, dass die Wurzeln ganz weich und sehr biegsam, die jüngeren hell und die älteren etwas gelblich waren.

Die folgende Tabelle veranschaulicht die Zahl und Beschaffenheit der untersuchten Individuen:

| Zahl der Individuen | Stärke 1—5 | Durchschnittliche | |
|---------------------|------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| | | Zahl der Halmansätze pro Individuum | Zahl der Wurzeln pro Individuum |
| 10 | 5.0 | 8.2 | 35.6 |

Nach dem Äussern konnten die Wurzeln ganz ebenso wie bei dem vorhergehenden Roggen in fünf Gruppen eingeteilt werden, die alle ohne Ausnahme den entsprechenden Klassen desselben glichen (vgl. Figur 5).

Ihrem inneren Bau nach waren die Wurzeln des Iisalmi-Roggens ganz von derselben Art wie die des Kaski-Roggens.



Figur 5. Wurzelsysteme und Wurzeln des Iisalmi-Roggens am 4. VIII. 1927. Gesät am 5. VI. 1927. Alle Individuen im Saatstadium; und Wurzeln biegsam und weich.

a normales Wurzelsystem,
b zweibüscheliges Wurzelsystem.

Klasse I: Keimwurzeln — Klasse II: älteste Nährwurzeln. — Klasse III: ebenfalls Nährwurzeln. — Klasse IV: jüngere Nährwurzeln. — Klasse V: junge Nährwurzeln.

Die durchschnittliche Zahl der zu den verschiedenen Wurzelklassen gehörigen Wurzeln an den untersuchten Individuen wird aus den folgenden Ziffern ersichtlich:

| Zahl der Individuen | Durchschnittliche Zahl der Wurzeln pro Individuum in den verschiedenen Wurzelklassen | | | | | Zusammen pro Individuum |
|---------------------|--|------|------|------|------|-------------------------|
| | I | II | III | IV | V | |
| 10 | 5.2 | 5.0 | 8.6 | 7.8 | 9.0 | 35.6 |
| % | 14.6 | 14.0 | 24.2 | 21.9 | 25.3 | 100.0 |

Wie die Zahlen zeigen, sind die drei letzten Klassen die wurzelreichsten, in den zwei ersten ist die Menge der Wurzeln die gleiche wie in der früheren Periode.

Das Wurzelsystem war entweder ein- oder zweibüschelig. Bei dem ersteren war die Form des Büschels oft länglich, denn die Wurzeln waren auf einer langen Strecke angeheftet (vgl. Figur 5 a).

6. Petkuser. Gesät am 5. VI. 1927 und untersucht am 4. VIII. 1927. Wie bei der vorhergehenden, einen Monat früher ausgeführten Untersuchung wurden auch am Petkuser jetzt zu etwa 15 % von der Individuenzahl solche angetroffen, die einen vollständigen Halm besaßen. Aus diesem Grunde waren die Wurzeln dieser Individuen anders entwickelt als bei den Individuen im Saatstadium. Auf Grund des Äußern konnten die Wurzeln des Petkus-Roggens in fünf Gruppen eingeteilt werden wie die der vorhergehenden Roggensorten (vgl. Figur 6).

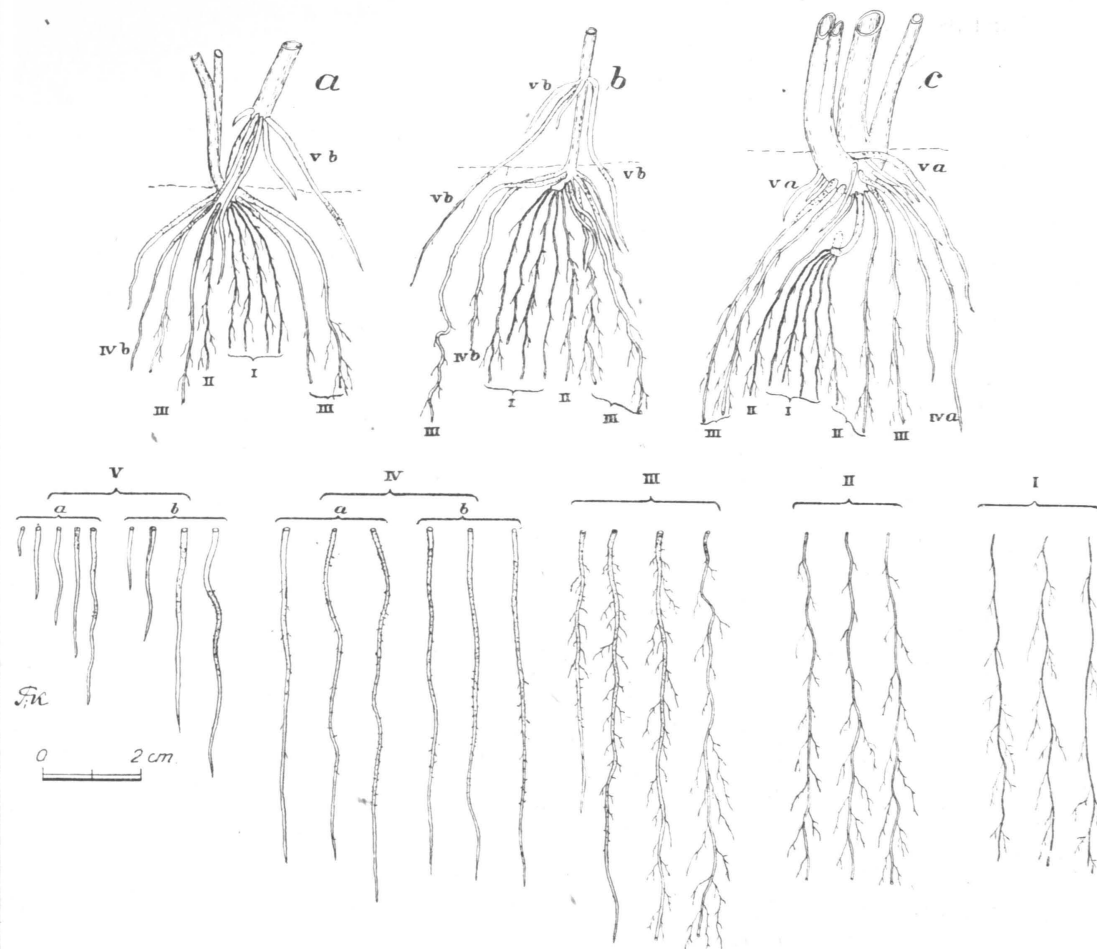
Die folgende Tabelle gibt die Zahl und Beschaffenheit der untersuchten Individuen an:

| Zahl der Individuen | Stärke 1—5 | Durchschnittliche | |
|---------------------|------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| | | Zahl der Halmansätze pro Individuum | Zahl der Wurzeln pro Individuum |
| 10 | 5.0 | 8.1 | 37.1 |

Die Wurzeln der Klasse I entsprachen vollständig denen der Klasse I des lialmi- und Kaski-Roggens, sie waren also Keimwurzeln, deren Querschnitt von derselben Art wie bei den am 12. IX. 1927 untersuchten Individuen war; nur der Rindenteil war etwas mehr abgetragen.

Die Wurzeln der Klasse II waren in bezug auf das Aussehen, die Dimensionen und auch die Verzweigung denen der Klasse II des vorhergehenden Roggens ähnlich. Ebenso stimmte der Querschnitt der Wurzeln mit dem in der Klasse II des vorhergehenden Falles überein.

Die Wurzeln der Klasse III glichen im Äußern denen der entsprechenden Klasse des Kaski- und lialmi-Roggens. Ein Unterschied bestand darin, dass manche Wurzeln dieser Klasse am Hals etwas dicker als die entsprechenden Wurzeln der beiden genannten Roggensorten waren.



Figur 6. Wurzelsysteme und Wurzeln des Petkus-Roggens am 4. VIII. 1927. Gesät am 5. VI. 1927. Von den Individuen die einen (c) im Saatstadium, die anderen mit Halm. a normales Wurzelsystem. Halmtragendes Individuum, an dessen Stengel sich über dem Erdboden ein »Wurzelkranz« gebildet hat. — b normales Wurzelsystem. Halmtragendes Individuum. — c Zweibüscheliges Wurzelsystem. Individuum im Saatstadium. Klasse I: Keimwurzeln. — Klasse II: älteste Nährwurzeln. — Klasse III: jüngere Nährwurzeln als die vorhergehenden. — Klasse IV a: jüngere Nährwurzeln als in der vorhergehenden Klasse. — Klasse IV b: Nährstützwurzeln. — Klasse V a: jüngste Nährwurzeln — Klasse V b: Stützwurzeln.

Die Wurzeln hatten den Querschnitt von Nährwurzeln.

In Klasse IV wies der Petkus-Roggen zweierlei Wurzeln auf, die einander im Äussern ganz gleich waren und auch mit den entsprechenden Wurzeln des Kaski- und Isalmi-Roggens übereinstimmten. Die einen dieser Wurzeln waren steif und die anderen biegsam. Steife Wurzeln wurden bei den Individuen angetroffen, die einen Halm gebildet hatten. Dagegen hatten die Individuen im Saatstadium nur weiche Wurzeln. Im übrigen waren die Wurzeln dieser Gruppe in bezug auf die Länge, die Dicke und die Behaarung den entsprechenden Wurzeln der vorher beschriebenen Roggensorten ähnlich.

Der Querschnitt der weichen und biegsamen Wurzeln der Klasse war von ganz derselben Art wie bei den Nährwurzeln und der der steifen Wurzeln derselbe wie bei den Nährstützwurzeln des Petkus-Roggens am 12. VII. 1927 (vgl. Tafel I. 11).

Klasse V umfasste wie bei den vorhergehenden Roggensorten die jüngsten Wurzeln, von denen bei diesem Roggen ebenfalls zweierlei Arten vorhanden waren: steife und biegsame. Steife Wurzeln fanden sich nur bei den halmtragenden Individuen und weiche, biegsame bei den Individuen im Saatstadium. Bei ein und demselben Individuum kamen nicht zugleich beiderlei Wurzeln vor. Bei den halmtragenden Individuen waren die steifen Wurzeln dieser Gruppe oft an den Halmknoten über dem Erdboden befestigt.

Der Querschnitt der weichen und biegsamen Wurzeln war ähnlich wie bei den Nährwurzeln, der der steifen von gleicher Art wie bei den Stützwurzeln, und der biegsame Teil der steifen Wurzeln wies denselben Querschnitt wie die Nährwurzeln auf (vgl. Tafel I. 12).

Die folgenden Zahlen geben das Verhältnis des Durchmessers und des Zentralzylinders am Hals der Wurzel in verschiedenen Klassen an:

| Beobachtung Nr. | Durchmesser | | Zahl der grossen Gefässe |
|--------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | der Wurzel mm | des Zentralzylinders mm | |
| Klasse I | | | |
| 1 | 0.16 | 0.14 | 1 |
| 2 | 0.14 | 0.12 | 1 |
| 3 | 0.18 | 0.17 | 1 |
| 4 | 0.20 | 0.18 | 1 |
| 5 | 0.16 | 0.14 | 1 |

| Beobachtung Nr. | Durchmesser | | Zahl der grossen Gefässe |
|--------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | der Wurzel mm | des Zentralzylinders mm | |
| Klasse II | | | |
| 1 | 0.49 | 0.24 | 6 |
| 2 | 0.41 | 0.19 | 5 |
| 3 | 0.39 | 0.19 | 5 |
| 4 | 0.28 | 0.14 | 6 |
| 5 | 0.31 | 0.15 | 5 |
| Klasse III | | | |
| 1 | 0.41 | 0.20 | 6 |
| 2 | 0.57 | 0.26 | 5 |
| 3 | 0.68 | 0.32 | 6 |
| 4 | 0.56 | 0.26 | 6 |
| 5 | 0.38 | 0.19 | 5 |
| Klasse IV | | | |
| 1 Nährstützwurzel | 0.97 | 0.41 | 6 |
| 2 » | 0.87 | 0.40 | 5 |
| 3 » | 0.83 | 0.37 | 7 |
| 4 Nährwurzel | 0.78 | 0.36 | 5 |
| 5 » | 0.83 | 0.40 | 6 |
| 6 » | 0.95 | 0.42 | 6 |
| Klasse V | | | |
| 1 Stützwurzel | 0.70 | 0.32 | 8 |
| 2 » | 0.65 | 0.31 | 9 |
| 3 » | 0.70 | 0.32 | 10 |
| 4 Nährwurzel | 0.70 | 0.32 | 7 |
| 5 » | 0.65 | 0.31 | 6 |
| 6 » | 0.61 | 0.30 | 6 |

Wie die obigen Ziffern zeigen, ist der Durchmesser des Zentralzylinders in Klasse I nur etwas kleiner als der Durchmesser der Wurzel, so dass der Rindenteil im Lauf des Sommers ziemlich vollständig verschwunden ist. In den übrigen Klassen misst der Zentralzylinder nicht halb so viel wie der Wurzeldurchmesser, und daher ist der Rindenteil hier gut erhalten. Bei den Stütz- und Nährstützwurzeln ist der Rindenteil bedeutend dicker als der Zentralzylinder.

Die durchschnittliche Zahl der zu den verschiedenen Wurzelklassen gehörenden Wurzeln bei den untersuchten Individuen geht aus den folgenden Ziffern hervor:

| Zahl der Individuen | Durchschnittliche Zahl der Wurzeln pro Individuum in den verschiedenen Wurzelklassen | | | | | Zusammen |
|---------------------|--|------|------|------------|-------|----------|
| | I | II | III | IV | V | |
| | | | | a b | a & b | |
| 10 | 5.4 | 7.0 | 7.4 | 5.6 (2.3) | 11.7 | 37.1 |
| % | 14.5 | 18.9 | 20.0 | 15.1 (6.2) | 31.5 | 100.0 |

In Klasse V kommen die meisten Wurzeln, d. h. fast ein Drittel von der Gesamtzahl vor. In den übrigen Klassen im grossen ganzen dieselbe Menge wie in dem vorhergehenden Beispiel.

So hatte der Petkus-Roggen in dieser Periode Keimwurzeln (Klasse I), Nährwurzeln (Klassen II und III sowie weiche Wurzeln in Klasse IV), Nährstützwurzeln (steife Wurzeln in Klasse IV) und Stützwurzeln (steife Wurzeln in Klasse V).

Die Wurzelsysteme der Petkus-Sorten im Saatstadium waren ganz ähnlich wie die des Iisalmi- und Kaski-Roggens. Dagegen zeigten die Individuen, die einen vollständigen Halm hatten, insofern ein anderes Wurzelsystem, als Stützwurzeln relativ hoch an den untersten Gelenken des Halmes, ja 2—4 cm über der Bodenfläche angetroffen wurden.

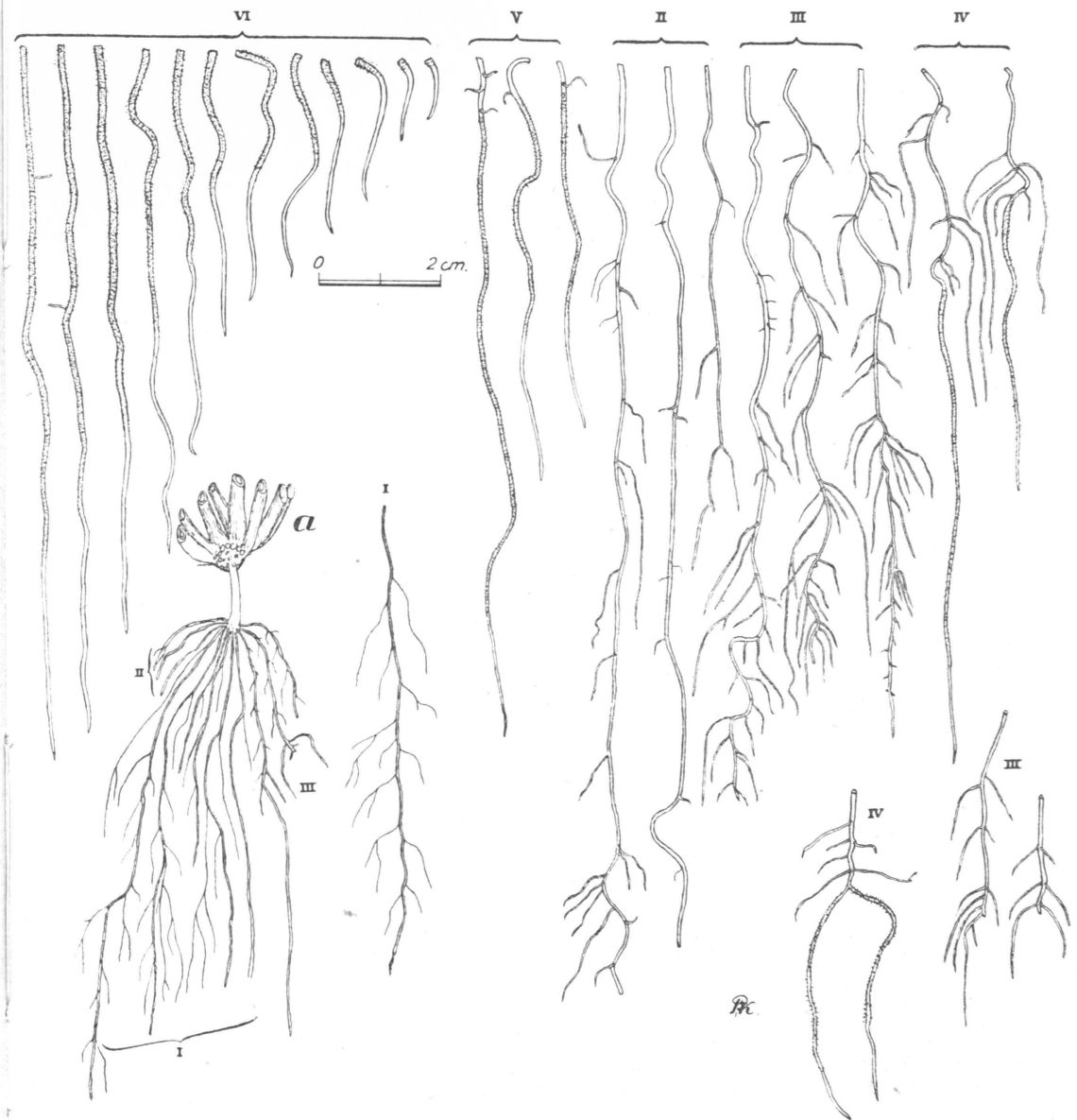
Die Wurzeln und Wurzelsysteme der überwinterten Wintergetreidesorten.

7. Iisalmi-, Ostola-, Vaasa- und Petkus-Roggen. Gesät am 20. VIII. 1926. Untersucht am 7.—12. V. 1927. Die junge Saat war ausserordentlich kräftig, so dass der Roggen vollständig überwintert hatte. Die Saat hatte sich nach dem Winter etwas entwickelt.

Aus der folgenden Tabelle werden Zahl und Beschaffenheit der untersuchten Individuen ersichtlich:

| Roggensorte | Zahl der Individuen | Stärke 1—5 | Halmansätze z. Z. der Untersuchung | | | Zahl der Wurzeln pro Individuum |
|----------------|---------------------|------------|------------------------------------|-----|-----------------------|---------------------------------|
| | | | urspr. Anzahl | St. | % von d. urspr. Menge | |
| Iisalmi-Roggen | 16 | 4.6 | 7.8 | 5.9 | 75.7 | 42.9 |
| Ostola-Roggen | 15 | 4.2 | 7.2 | 4.3 | 59.5 | 42.7 |
| Vaasa-Roggen | 12 | 4.6 | 7.8 | 4.8 | 61.5 | 31.9 |
| Petkus-Roggen | 14 | 3.9 | 9.9 | 5.8 | 58.6 | 25.2 |

Ihrem Äussern nach können die Wurzeln in sechs Klassen-gruppirt werden, wie Figur 7 zeigt:



Figur 7. Wurzeln des Ostola-Roggens am 7. V. 1927. Gesät am 20. VIII. 1926. Saat nach dem Winter einigermaßen entwickelt, aber Halmwachstum noch nicht eigentlich begonnen.

a zweibüscheliges Wurzelsystem.
 Klasse I: Keimwurzeln, überwintert. — Klasse II: älteste Nährwurzeln, grösstenteils überwintert. — Klasse III: älteste Nährwurzeln, grösstenteils überwintert. Mehrere Wurzeln abgerissen; Zweigbildung des Frühjahrs schwach. — Klasse IV: Nährwurzeln mit überwintertem Basalteil. Der im Frühjahr entstandene Kronenteil der Wurzel unverzweigt und unbehaart ausser am unteren Ende. — Klasse V: Nährwurzeln mit kurzem überwintertem Basalteil. Der im Frühjahr gebildete Teil sehr lang. — Klasse VI: ganz im Frühjahr ausgebildete Wurzeln.

Die Wurzeln der Klasse I waren sehr dünn (0.09—0.25 mm), biegsam und gleichmässig dick. Sie waren Keimwurzeln, die sich über den Winter erhalten hatten. Im Wurzelsystem befanden sie sich ganz unten. Auf das Individuum entfielen 4—7 Stück. Sie wiesen viel Verzweigungen auf, von denen jedoch die meisten abgestorben waren. In manchen Fällen waren die Keimwurzeln nach dem Winter noch recht lebensfähig. Ihrer Farbe nach waren die Wurzeln gelblich, einige verhältnismässig dunkel.

Der Querschnitt der Wurzeln war derselbe wie bei der Keimwurzel des früher beschriebenen Roggens. Der Rindenteil war während des Winters fast ganz abgefallen (vgl. Tafel II. 1—3).

Die Klasse II bildeten die überwinterten, nach den Keimwurzeln entstandenen Nährwurzeln. Die Seitenzweige waren in den meisten Fällen während des Winters abgestorben, aber im Frühjahr hatten sich neue zu entwickeln begonnen, obwohl sie sehr wenig zahlreich waren. Die quergehenden Wurzeln hatten in manchen Fällen den über der Rissstelle befindlichen Seitenzweig sehr kräftig ausgebildet, so dass daraus oft eine neue Teilung der Wurzel hervorgegangen war. Die Dicke dieser Wurzeln betrug 0.2—0.6 mm. Sie waren gleichmässig dick, gelblich und ziemlich biegsam. Bei den Wurzeln, die sich erholt hatten, war der ältere Teil dünner als der jüngere, im Frühjahr entstandene.

Im inneren Teil der Wurzeln hatten während des Winters Veränderungen stattgefunden. Bei manchen von den Wurzeln der Klasse, vor allem den dickeren, hatte sich der Rindenteil fast ganz von dem Zentralzylinder abgelöst, so dass er um diesen herum eine beinahe lose Scheide bildete (vgl. Tafel II. 8 und 11). Um den Zentralzylinder sassen da noch einige, gewöhnlich zwei Zellreihen fest. Die Ablösung des Rindenteils war durch das Gefrieren des Wassers in der Wurzel im Verein mit dem Bodenfrost verursacht worden. (Hier sei die Beobachtung angeführt, dass der Rindenteil der mehrjährigen Gräser ganz fehlt, woran das Gefrieren des Wassers in der Pflanze, die Frostbildung im Boden und die von dem Austrocknen hervorgerufenen Bodenbewegungen schuld sind.) An mehreren dickeren überwinterten Nährwurzeln fehlt also der Rindenteil bis auf einige Zellreihen um den Zentralzylinder. Dagegen hatten die dünnen Wurzeln die Wirkungen des Bodenfrostes überstanden, obgleich bei ihnen die Zellen des Zentralzellengewebes im Rindenteil sich infolge der Ausdehnung des Eises vergrössert hatten (vgl. Tafel III. 12). Bei den dünnen und einigen dickeren Nährwurzeln waren also die Zellen in der Mitte des Rindenteils durch das Gefrieren des Wassers erweitert worden.

Klasse III wurde von den später im Herbst als die vorhergehenden entstandenen Nährwurzeln gebildet, die sonst jenen glichen, aber sehr viel erholte weisse und gedrungene Zweige hatten.

Der innere Bau der Wurzeln dieser Klasse war, nach den Querschnitten zu schliessen, durchaus derselbe wie in der vorhergehenden Klasse. Der im Frühjahr gewachsene Teil hatte den Bau der früher beschriebenen nicht überwinterten Nährwurzel.

Zu Klasse IV gehörten die im vorhergehenden Sommer verhältnismässig kurz (3—5 cm) gebliebenen Wurzeln (der gelbe Teil der Wurzel), die im Frühjahr angefangen hatten, sowohl Seitenzweige zu treiben als in die Länge zu wachsen. An den untersuchten Individuen war die Länge der Wurzel bis auf 10 cm gestiegen, und diese war ihrer ganzen Länge nach bis auf einen 2 cm von der Spitze befindlichen nackten Teil behaart. Der im Frühjahr entwickelte Teil war ganz weiss. Zu dieser Klasse könnte man auch die kurz abgerissenen kurzen Wurzeln zählen, die kräftige Nebenwurzeln zu treiben angefangen hatten. Die Dicke der Wurzeln betrug 0.3—0.8 mm. Der im Frühjahr entstandene Teil war 0.2—0.4 mm dicker als der im Herbst gebildete.

Der innere Bau der Wurzeln dieser Klasse war ganz der gleiche wie in der vorhergehenden Klasse.

Klasse V bildeten die verhältnismässig kurzen Wurzeln, von denen sich der kurze gelbe Basalteil im Herbst gebildet hatte (Länge dieses Teils 0.5—1.5 cm) und aus denen im Frühjahr an den untersuchten Individuen 7—15 cm lange weissbehaarte, an der Spitze nackte Wurzeln geworden waren. Der im Herbst entwickelte Teil der Wurzel war kurz (0.5—1.0 cm) und hatte kurze (0.5—1.0 cm) Seitenzweige. Die Dicke der Wurzeln betrug 0.6—1.0 mm. Der im Herbst gebildete Teil war dünner als der im Frühjahr entstandene, obwohl nicht so viel wie in der vorhergehenden Klasse.

Der innere Bau der zu dieser Klasse gehörigen überwinterten Wurzeln war ziemlich derselbe wie in Klasse III, doch hatte sich der Rindenteil nicht so vollständig wie an den älteren dicken Wurzeln abgelöst (vgl. Tafel II. 10). Der im Frühjahr gebildete Teil zeigte einen ähnlichen inneren Bau wie der der Nährwurzeln des Kaski-Roggens am 12. VII. 1927.

Zu Klasse VI gehörten die ganz im Frühjahr entstandenen Wurzeln, die an den untersuchten Individuen noch fast ausnahmslos ohne Seitenwurzeln waren. Sie waren ganz mit Haaren bedeckt ausser am Spitzenteil, der 1—5 cm lang nackt war. An einigen der längsten (15—18 cm) Wurzeln

sassen ein paar Ansätze von Seitenzweigen. Die Dicke der Wurzeln dieser Gruppe betrug 0.8—1.2 mm. Sie waren sehr biegsam und weiss.

Die Wurzeln dieser Klasse befanden sich oberhalb der übrigen Wurzeln nahe der Erdoberfläche.

Der innere Bau der Wurzeln dieser Klasse (vgl. Tafel II. 7) ist ein ähnlicher wie bei den Nährwurzeln, z. B. des Kaski-Roggens, im Saatstadium (12. VII. 1927). Die folgenden Zahlen beleuchten das Verhältnis zwischen dem Durchmesser und dem Zentralzylinder der Wurzel:

| Beobachtung Nr. | Durchmesser der Wurzel mm | Durchmesser des Zentralzylinders mm | Verhältniszahl |
|--------------------|---------------------------------|---|----------------|
| 1 | 1.16 | 0.32 | 3.62 |
| 2 | 0.84 | 0.26 | 3.23 |
| 3 | 0.89 | 0.26 | 3.42 |
| 4 | 0.93 | 0.27 | 3.44 |
| 5 | 0.97 | 0.29 | 3.38 |
| 6 | 1.19 | 0.34 | 3.50 |
| 7 | 1.05 | 0.31 | 3.39 |
| 8 | 0.80 | 0.25 | 3.20 |

Wie die vorstehenden Zahlen zeigen, befrägt der Zentralzylinder weniger als ein Drittel des Durchmessers der Wurzel.

Die Entwicklung des Zentralzylinders der Wurzel ist noch nicht abgeschlossen.

Die durchschnittliche Zahl der zu den verschiedenen Wurzelklassen gehörenden Wurzeln an den untersuchten Individuen ergibt sich aus den folgenden Ziffern:

| Roggensorte | Zahl der Individuen | Durchschnittl. Zahl der Wurzeln in d. versch. Klassen pro Individuum | | | | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|----------------|---------------------|--|------|------|------|-----|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | |
| Iisalmi-Roggen | 16 | 1.9 | 7.4 | 5.5 | 1.8 | 2.4 | 23.9 | 42.9 |
| % | | 4.4 | 17.2 | 12.8 | 4.2 | 5.6 | 54.6 | 100.0 |
| Ostola-Roggen | 15 | 4.5 | 6.9 | 2.4 | 1.5 | 1.5 | 13.7 | 30.5 |
| % | | 14.7 | 22.6 | 7.9 | 4.9 | 4.9 | 45.0 | 100.0 |
| Vaasa-Roggen | 12 | 5.0 | 6.7 | 1.9 | 1.0 | 0.9 | 16.4 | 31.9 |
| % | | 15.7 | 21.0 | 6.0 | 3.1 | 2.8 | 51.4 | 100.0 |
| Petkus-Roggen | 14 | 3.6 | 6.3 | 1.9 | 0.7 | 2.2 | 10.5 | 25.2 |
| % | | 14.8 | 25.0 | 7.5 | 28.0 | 8.7 | 41.7 | 100.0 |

Wie die obigen Ziffern zu erkennen geben, bilden in dem Wurzelsystem die überwinterten Wurzeln, die Klassen I—V, etwa die Hälfte von der Zahl der Wurzeln und die im Frühjahr gewachsenen, Klasse VI, die andere Hälfte.

Durch den Bodenfrost verursachte Beschädigungen kamen, von der oben beschriebenen Ablösung der Rinde abgesehen, an den überwinterten Wurzeln in der Weise vor, dass der Rindenteil der Wurzel infolge der von dem Bodenfrost ausgeübten Dehnung abgerissen war, so dass ein Teil der Wurzel gar keine Rinde aufwies. Dies beruht darauf, dass die Dehnbarkeit der Rinde nur ein Viertel von der Dehnbarkeit des Zentralzylinders beträgt. Das Abreißen des Rindenteils schien nicht in vielen Fällen durch das Absterben der Wurzel verursacht worden zu sein. Ausser den vorhergehenden wurden noch zahlreiche andere abgerissene Wurzeln angetroffen. Da sich der Boden an manchen Stellen viel mehr hob, als die Wurzel Dehnungsfähigkeit besass, riss dieselbe ab. Es wurden einige Wurzelsysteme notiert, in denen der Bodenfrost alle Wurzeln wie mit der Schere geschnitten in demselben Niveau abgerissen hatte.

Von der Lage der Wurzeln im Wurzelsystem sei hier erwähnt, dass die Keimwurzeln natürlicherweise zu unterst sassen, dann kamen die überwinterten Nährwurzeln, die Klassen II—V, und zu oberst befanden sich die im Frühjahr gebildeten Nährwurzeln. Die im Frühjahr entstandenen neuen Wurzeln traten im Wurzelsystem immer oberhalb der überwinterten auf, und keimnal wurden sie zwischen den überwinterten Wurzeln beobachtet, was ich jedoch nicht für unmöglich halten möchte, da man unter den alten Wurzeln der mehrjährigen Gräser hin und wieder eine junge Wurzel findet.

Die folgende Tabelle gibt die Menge der verschiedenen Wurzelsystemformen und die Zahl der abgerissenen Wurzeln an:

| Roggensorte | Bei den untersuchten Individuen war das Wurzelsystem | | | Untersuchte Individuen St. | Wurzeln pro Individuum | Überwinterte Wurzeln | | Abgerissene Wurzeln pro Individuum | | |
|----------------|--|---------------|-------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|-------------|------------------------------------|-------------|-------------------------|
| | normal | ein-büschelig | zwei- od. mehrbüschelig | | | St. | % von allen | St. | % von allen | % von den überwinterten |
| Iisalmi-Roggen | 15 | 1 | — | 16 | 43.0 | 18.0 | 41.9 | 14.0 | 32.6 | 72.8 |
| Ostola-Roggen | 9 | 4 | 2 | 15 | 30.5 | 16.8 | 55.1 | 12.9 | 42.3 | 71.8 |
| Vaasa-Roggen | 7 | 3 | 2 | 12 | 31.9 | 15.5 | 48.6 | 13.6 | 42.7 | 87.7 |
| Petkus-Roggen | 10 | 4 | — | 14 | 25.2 | 14.7 | 58.3 | 12.0 | 47.6 | 81.6 |

Wie man aus der Tabelle sieht, haben die abgerissenen Wurzeln 30—50 % von sämtlichen Wurzeln ausgemacht, und von den überwinterten Wurzeln sind durchschnittlich 70—90 %, je nach der Roggensorte, abgerissen gewesen.

8. Iisalmi-, Ostola-, Vaasa- und Petkus-Roggen. Material in Tikkurila auf einem Acker der Versuchsanstalt gezogen. Gesät am 20. VIII. 1926, untersucht am 22. V. 1927. Der Roggen befand sich noch ziemlich ganz im Saatstadium, und es hatten sich nur einigermaßen (20—25 cm hoch) Halme gebildet. Im allgemeinen war die Saat bei allen Sorten kräftig, obwohl Petkus und Vaasa licht waren. Die folgende Tabelle zeigt die Beschaffenheit und Stärke der untersuchten Individuen und die Zahl der Wurzeln:

| Roggensorte | Zahl der Individuen | Stärke 1—5 | Zahl der ursprüngl. Halman-sätze | Halmansätze z. Zeit der Untersuchung % von d. urspr. Menge | Zahl d. Wurzeln pro Individuum |
|----------------|---------------------|------------|----------------------------------|--|--------------------------------|
| Iisalmi-Roggen | 15 | 4.2 | (5.3) | 4.4 (83.0) | 22.7 |
| Ostola-Roggen | 15 | 4.3 | (7.7) | 6.8 (88.3) | 27.6 |
| Vaasa-Roggen | 14 | 4.4 | (6.3) | 5.3 (84.1) | 23.7 |
| Petkuser | 14 | 4.1 | (6.9) | 4.8 (69.5) | 22.6 |

Die ursprüngliche Zahl der Halmansätze ist ganz unsicher, denn während des Frühjahrs haben die kleinsten von ihnen bereits verschwinden können, weshalb die betreffenden Zahlen eingeklammert sind.

Dem Äussern nach konnten die Wurzeln ganz auf dieselbe Weise wie in der vorhergehenden Untersuchungsserie klassifiziert werden, wobei die Klassen I—VI unterschieden wurden. Ein Unterschied bestand nur bezüglich der Wurzeln der Klasse V, die etwas länger als bei dem Roggen der vorhergehenden Untersuchungsperiode und reicher an Seitenwurzeln waren. Im allgemeinen war der im Frühjahr entwickelte Teil in allen Wurzelgruppen nur etwas grösser als bei der vorhergehenden Untersuchung, obwohl die Untersuchungen durch zwei Wochen getrennt waren. Das beruht darauf, dass die natürlichen Wachstumsbedingungen auf dem Acker in Tikkurila schlechter als im Botanischen Garten der Universität waren.

Die durchschnittliche Zahl der zu den verschiedenen Wurzelklassen gehörigen Wurzeln an den untersuchten Individuen ergibt sich aus der folgenden Tabelle:

| Roggensorte | Zahl der Individuen | Durchschnittliche Zahl der Wurzeln in den verschiedenen Klassen pro Individuum | | | | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|----------------|---------------------|--|------|------|-----|-----|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | |
| Iisalmi-Roggen | 15 | 1.1 | 8.8 | 2.0 | 0.2 | 0.3 | 11.1 | 23.7 |
| % | | 5.5 | 37.2 | 8.4 | 0.8 | 1.3 | 46.8 | 100.0 |
| Ostola-Roggen | 15 | 2.1 | 10.2 | 3.7 | 0.8 | 0.3 | 10.5 | 27.6 |
| % | | 7.6 | 36.9 | 13.4 | 2.9 | 1.1 | 38.1 | 100.0 |
| Vaasa-Roggen | 14 | 2.7 | 6.4 | 1.4 | 0.6 | 0.8 | 11.9 | 23.8 |
| % | | 11.3 | 26.9 | 5.9 | 2.5 | 3.4 | 50.0 | 100.0 |
| Petkuser | 14 | 3.6 | 5.9 | 1.3 | 0.2 | 0.7 | 11.2 | 22.9 |
| % | | 15.7 | 25.8 | 5.7 | 0.9 | 3.1 | 48.8 | 100.0 |

Wie die obigen Ziffern erkennen lassen, bildet auch jetzt, wie in dem vorhergehenden Beispiel, die letzte Klasse in dem Wurzelsystem des Roggens annähernd die Hälfte, und von den anderen sind die im Herbst gebildeten Nährwurzeln am stärksten vertreten. Hierbei ist zu beachten, dass dieses Material in Tikkurila auf einem Tonacker erzogen ist, weshalb man annehmen darf, dass es sich in seinen Wurzelsystemen merkbar von dem vorhergehenden Beispiel unterscheidet. Vergleicht man die Wurzelsysteme mit dem obigen, so findet man, dass sich an dem Roggen vom Tonacker in Tikkurila im Herbst ein Wurzelsystem mit zahlreicheren Wurzeln gebildet hatte als an dem Roggen, der auf Sandboden im Botanischen Garten der Universität gewachsen war.

In ihrem Querschnitt waren die Wurzeln von derselben Art wie im vorhergehenden Beispiel (vgl. Tafel III). Hier werden jedoch einige Zahlen angeführt, die die Wurzelsysteme und die Überwinterungsfrage beleuchten.

Die folgende Tabelle gibt die Menge der verschiedenen Wurzelsysteme

| Roggensorte | Bei den untersuchten Individuen war das Wurzelsystem | | | Untersuchte Individuen | Wurzeln pro Individuum | Überwinterte Wurzeln | | Abgerissene Wurzeln pro Individuum | | |
|----------------|--|---------------|-------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|-------------|------------------------------------|-------------|--------------------------|
| | normal | ein-büschelig | zwei- od. mehrbüschelig | | | St. | % von allen | St. | % von allen | % von den über-winterten |
| Iisalmi-Roggen | — | 15 | — | 15 | 23.7 | 12.6 | 53.6 | 11.3 | 47.6 | 89.8 |
| Ostola-Roggen | 2 | 13 | — | 15 | 27.6 | 17.1 | 61.8 | 13.9 | 50.4 | 81.8 |
| Vaasa-Roggen | 2 | 12 | — | 14 | 23.8 | 12.0 | 50.2 | 11.4 | 47.6 | 95.0 |
| Petkuser | 8 | 6 | — | 14 | 22.9 | 11.7 | 51.1 | 11.7 | 51.1 | 100.0 |

und die Zahl der abgerissenen Wurzeln im Vergleich zu der Gesamtsumme der Wurzeln und den überwinterten Wurzeln an.

Wie aus den Zahlen ersichtlich wird, stellten die überwinterten Wurzeln etwas mehr als die Hälfte der Wurzeln und 90—100 % von den abgerissenen Wurzeln gemäss der Überwinterungsfähigkeit der verschiedenen Roggensorten dar.

9. Iisalmi-, Ostola-, Vaasa- und Petkus-Roggen. Gesät am 20. VIII. 1926. Untersucht am 28. V.—2. VI. 1927. Material im Botanischen Garten der Universität erzogen. Wachstum im allgemeinen kräftig und Halme durchschnittlich 40 cm lang.

Aus der folgenden Tabelle geht die Zahl und Beschaffenheit der untersuchten Individuen hervor:

| Roggensorte | Zahl der Individuen | Stärke 1—5 | Zahl der Halmansätze pro Individuum | | | Zahl d. Wurzeln pro Individuum |
|----------------|---------------------|------------|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| | | | urspr. Anzahl | urspr. Stück | urspr. Menge | |
| Iisalmi-Roggen | 13 | 4.6 | (7.3) | 6.9 | (94.5) | 50.2 |
| Ostola-Roggen | 15 | 4.7 | (7.4) | 6.7 | (90.5) | 54.3 |
| Vaasa-Roggen | 14 | 4.6 | (12.4) | 11.1 | (89.5) | 50.9 |
| Petkuser | 15 | 4.0 | (4.5) | 3.8 | (84.5) | 26.9 |

Wie im vorhergehenden Fall ist auch hier die ursprüngliche Zahl der Halmansätze unsicher, weil anzunehmen ist, dass ein Teil während der warmen Zeit im Frühjahr verschwunden ist, weshalb die betreffenden Ziffern in Klammern gesetzt sind.

Ihrem Äussern nach können die Wurzeln auf dieselbe Weise wie bei der Untersuchungsperiode 7.—12. V. 1927 in die Klassen I—VI eingeteilt werden. In Klasse V sind die Wurzeln etwas länger entwickelt, das Wurzelsystem wird also länger und reicher an Seitenzweigen. Im allgemeinen ist bei allen Wurzeln der im Frühjahr ausgebildete Teil grösser als bei den früheren Untersuchungen.

Klasse I entsprach in bezug auf den Querschnitt und das Äussere der Wurzeln durchaus denen bei der Untersuchung am 7.—12. V. 1927.

Klasse II verhielt sich ebenfalls in jeder Hinsicht wie die entsprechende Klasse am 7.—12. V. 1927.

Klasse III stimmte sonst mit der am 7.—12. V. 1927 überein, nur war der im Frühjahr entwickelte Teil der Wurzel länger.

Klasse IV zeigte gleichfalls dasselbe Verhalten, doch war der im Frühjahr entwickelte Teil bedeutend ausgedehnter als bei den am 7.—12. V. 1927 untersuchten Wurzeln der entsprechenden Klasse.

Klasse V, an deren Wurzeln nur ein kleiner Teil im Herbst ausgebildet ist, ist der Hauptsache nach ähnlich wie am 7.—12. V. 1927, aber mit dem Unterschied, dass die lebenden Wurzeln mehr an Länge zugenommen haben als nach der ebenerwähnten Zeit.

Klasse VI umfasst wie bei der Untersuchung am 7.—12. V. 1927 alle ganz im Frühjahr gebildeten Wurzeln, die ihrer Form nach ausserordentlich voll und rund sind (vgl. Tafel III. 15—16). An Länge haben sie sehr merkbar zugenommen, wie die folgenden Zahlen zeigen:

| Roggensorte | Länge der fünf längsten im Frühjahr gebildeten Wurzeln cm | | | | Zunahme der Länge in der Zeit vom 12.—28. V. 1927 |
|----------------|---|---------|-------------|---------|---|
| | 12. V. 1927 | längste | 28. V. 1927 | längste | |
| Iisalmi-Roggen | 21.6 | 25 | 27.4 | 30 | 5.8 |
| Ostola-Roggen | 18.8 | 21 | 34.6 | 40 | 13.8 |
| Vaasa-Roggen | 15.4 | 17 | 20.4 | 27 | 5.8 |
| Petkus-Roggen | 14.4 | 16 | 18.6 | 20 | 4.2 |

Wie man aus den vorstehenden Zahlen ersieht, ist das durchschnittliche Längenwachstum der Wurzeln ganz besonders beachtenswert.

Der innere Bau der Wurzeln war auch ähnlich wie am 7.—12. V. 1927 (vgl. Tafel III).

Die durchschnittliche Zahl der zu den verschiedenen Klassen gehörenden Wurzeln ist aus der folgenden Tabelle zu ersehen:

| Roggensorte | Zahl der Individuen | Durchschnittliche Zahl der Wurzeln in den verschiedenen Klassen pro Individuum | | | | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|----------------|---------------------|--|------|------|-----|------|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | |
| Iisalmi-Roggen | 13 | 4.6 | 5.9 | 7.4 | 0.5 | 4.9 | 26.9 | 50.2 |
| % | | 9.1 | 11.7 | 14.7 | 1.0 | 9.8 | 53.6 | 100.0 |
| Ostola-Roggen | 15 | 4.7 | 4.7 | 9.0 | 0.7 | 3.5 | 31.7 | 54.3 |
| % | | 8.7 | 8.7 | 16.6 | 1.3 | 6.4 | 58.3 | 100.0 |
| Vaasa-Roggen | 14 | 5.6 | 4.8 | 5.7 | 0.5 | 6.8 | 27.5 | 50.9 |
| % | | 11.0 | 9.4 | 11.2 | 1.0 | 13.4 | 54.0 | 100.0 |
| Petkuser | 15 | 3.7 | 4.0 | 3.3 | 0.7 | 3.5 | 11.7 | 26.9 |
| % | | 13.7 | 14.9 | 12.3 | 2.6 | 13.0 | 43.5 | 100.0 |

Wie man aus den vorstehenden Zahlen sieht, bildet jetzt Klasse VI, also die im Frühjahr gebildeten Wurzeln, mehr als die Hälfte von allen

Wurzeln. Nur beim Petkus-Roggen betragen die Wurzeln weniger als die Hälfte von der ganzen Menge, was natürlich bloss zufällig sein kann, denn die Überwinterung war bei dieser Roggensorte schwach, weshalb in der Entwicklung der Individuen grosse Variationen auftreten.

Die Menge der Wurzelformen und die Wirkungen des Überwinterns auf die Wurzeln werden durch folgende Zahlen beleuchtet:

| Roggensorte | Bei den untersuchten Individuen war das Wurzelsystem | | | Untersuchte Individuen Stück | Wurzeln pro Individuum | Überwinterete Wurzeln | | Abgerissene Wurzeln pro Individuum | | |
|----------------|--|----------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------|------------------------------------|-------------|--------------------------|
| | normal | einbuscheliger | zwei- od. mehrbuscheliger | | | St. | % von allen | St. | % von allen | % von den überwintereten |
| Iisalmi-Roggen | 13 | — | — | 13 | 50.2 | 23.4 | 46.5 | 17.8 | 35.5 | 76.1 |
| Ostola-Roggen | 14 | 1 | — | 15 | 54.3 | 23.6 | 43.5 | 18.5 | 34.1 | 78.4 |
| Vaasa-Roggen | 12 | 2 | — | 14 | 50.9 | 23.4 | 46.0 | 18.6 | 29.9 | 79.5 |
| Petkuser | 13 | 2 | — | 15 | 26.9 | 15.3 | 56.9 | 13.0 | 41.3 | 85.5 |

Wie die obigen Ziffern zeigen, umfassen die überwintereten Wurzeln weniger als die Hälfte aller Wurzeln. Die während des Winters abgerissenen Wurzeln machen durchschnittlich ein Drittel von allen Wurzeln und über $\frac{2}{3}$ der überwintereten aus, wobei die Verhältniszahl für die nicht-veredelten Sorten kleiner als für die veredelten ist.

10. Iisalmi-, Ostola-, Vaasa- und Petkus-Roggen. Gesät am 20. VIII. 1926. Untersucht am 30. VI.—4. VII. 1927. Der Roggen war ausserordentlich üppig, 1.40—1.70 m lang und im Anfang der Blüte.

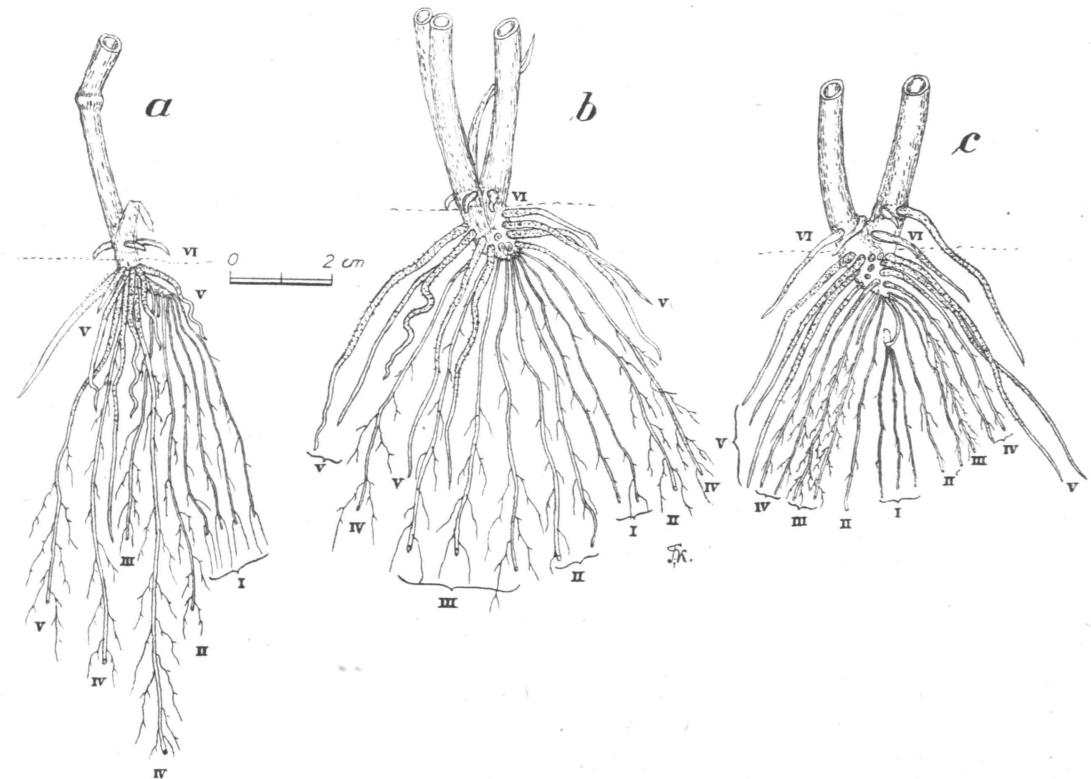
Die Beschaffenheit und Zahl der untersuchten Individuen sowie die Zahl der Halme werden aus den folgenden Ziffern ersichtlich:

| Roggensorte | Untersuchte Individuen St. | Länge der Halme m | Zahl der Halme pro Individ. | Wurzeln an den Individuen |
|----------------|----------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Iisalmi-Roggen | 10 | 1.70 | 5.2 | 68.4 |
| Ostola-Roggen | 10 | 1.70 | 3.8 | 60.5 |
| Vaasa-Roggen | 10 | 1.60 | 3.7 | 58.2 |
| Petkus-Roggen | 10 | 1.40 | 3.5 | 43.9 |

Nach ihrem Äussern können die Wurzeln wie im vorhergehenden Fall in sechs Klassen gruppiert werden (vgl. Figur 8 a—d).

Klasse I bildeten die Keimwurzeln, die in diesem Entwicklungsstadium des Roggens verhältnismässig dünn (0.07—0.20 mm) und oft wenig verzweigt sowie bei manchen Individuen teilweise abgestorben und vertrocknet waren. Von Farbe waren die Wurzeln der Klasse dunkelgelb. Der Rindenteil der Wurzel war eingetrocknet. Die Wurzeln waren unbehaart und elastisch.

In ihrem Querschnitt waren die Wurzeln der Klasse ganz ähnlich wie im vorhergehenden Fall (28.—30. V. 1927) Keimwurzeln. Als einzige Verschiedenheit können wir ansehen, dass die Wurzel im Durchschnitt bezüglich



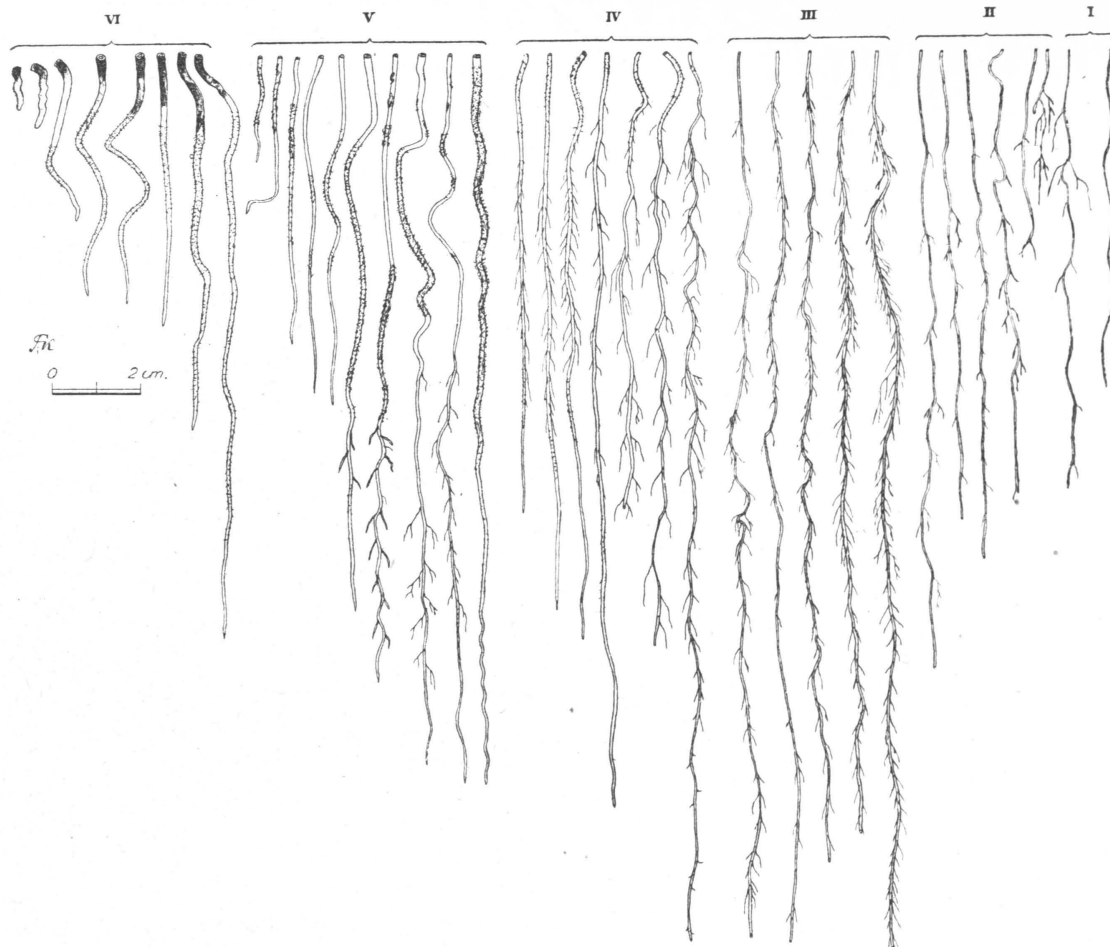
Figur 8 a—d. Wurzelsysteme des Iisalmi-Roggens (Figur 8 a—c) am 3. VII. 1927. am 20. VIII. 1926. In Blüte stehend, Länge des Halms 160 cm.

a normales Wurzelsystem, in dem die Stützwurzeln ein Nebenbüschel bilden,
b normales Wurzelsystem, in dem die Stützwurzeln ein Nebenbüschel bilden,
c zweibüscheliges Wurzelsystem, in dem die Stützwurzeln ein Nebenbüschel bilden.

Wurzelklassen (Figur 8 d): Klasse I: Keimwurzeln, die bereits abgestorben sind. — Klasse II: älteste Nährwurzeln, die ebenfalls als abgestorben zu betrachten sind. — Klasse III: älteste lebende Nährwurzeln. — Klasse IV: Nährstützwurzeln. — Klasse V: hauptsächlich Stützwurzeln, aber auch einige Nährstützwurzeln. — Klasse VI: Stützwurzeln.

ihres Durchmessers etwas reduziert war, was hauptsächlich von der Schrumpfung des Rindenteils herrührte, wie die Zahlen auf S. 54 erkennen lassen (vgl. Tafel III. 1—3).

Klasse II bildeten die spärlich verzweigten, gleichmässig dicken, elastischen, unbehaarten Nährwurzeln, die immer oberhalb der Keimwurzeln



Figur 8 d. Wurzelklassen.

ansetzten. Von Farbe sind die Wurzeln dunkelgelb. Ihre Dicke schwankt zwischen 0.20 und 0.40 mm. Der Rindenteil war im allgemeinen geschrumpft und teilweise abgefallen. Nur einige Zellschichten waren von der Rinde um den Zentralzylinder herum erhalten. Der Querschnitt der Wurzeln

dieser Klasse war ziemlich derselbe wie bei den Nährwurzeln in der vorhergehenden Untersuchungsperiode (28.—30. V. 1927) (vgl. Tafel III. 4—6). Der die Mittelpartie der Wurzel umgebende, meistens durch den Bodenfrost abgelöste Rindenteil war in manchen Fällen schon verschwunden oder abgefault und im übrigen sehr stark reduziert. Die Zahlen auf S. 54—55 beleuchten die Querschnittsdimensionen der Wurzeln.

Die zu Klasse III gehörenden Wurzeln waren stark verzweigt, gleichmässig dick (0.20—0.45 mm), im allgemeinen unbehaart und elastisch. Sie waren ebenso wie die vorhergehenden Gruppen sämtlich überwinterte Wurzeln. Der Rindenteil der Wurzeln war verhältnismässig stark geschrumpft. Die Farbe war bräunlich gelb. Diese Wurzeln sassen oberhalb der vorhererwähnten.

Der innere Bau der Wurzeln war ähnlich wie in der vorhergehenden Klasse. Die Zahlen auf S. 55 geben die Querschnittsdimensionen der Wurzeln an.

Zu Klasse IV gehörten zum Teil im Frühjahr und Herbst gebildete Nährwurzeln, die bei der vorhergehenden Untersuchung (28.—30. V. 1927) die Klassen VI und V repräsentierten. Ihrem Äussern nach waren sie am Hals relativ dick (0.50—0.85 mm) und behaart und weiter unten gleichmässig dick (0.35—0.60 mm) und stark verzweigt. Die Wurzeln dieser Gruppe waren in manchen Fällen am längsten. Von Farbe waren sie verhältnismässig hell. Ausserdem waren sie weich und sehr biegsam.

Die Wurzeln der Klasse hatten am nächsten den Querschnitt der Wurzeln von Klasse VI bei der vorhergehenden Untersuchung (28.—30. V. 1927), mit dem Unterschied nur, dass der Rindenteil sehr erheblich geschrumpft war, so dass die Wände der Zellen runzelig aussahen. Dies rührte wahrscheinlich von dem grossen Wasserbedarf der Pflanze her, weshalb die dünnwandigen Zellen der Rinde einen Teil ihrer Feuchtigkeit an die Pflanze hatten abgeben müssen. Die Zahlen auf S. 54 beleuchten die Querschnittsdimensionen der Wurzeln.

Klasse V umfasste Wurzeln von relativ wechselndem Aussehen (vgl. Figur 8). Am Hals waren dieselben meistens dick (0.6—1.4 mm), die einen fleckenweise, die anderen vollständig behaart. Weiter unten, 6—10 cm entfernt, begannen sich die Wurzeln zu verzweigen. Der Basalteil war fast bis an den Anfang der Zweige hart, stabförmig. Der verzweigte Teil der Wurzel war sehr biegsam. Die Wurzeln dieser Klasse befanden sich oberhalb der vorhergehenden Gruppen, aber doch unter der Bodenoberfläche. Ihre Farbe war hell. Die Erde war besonders an dem behaarten Teil sehr fest angebacken.

Der Querschnitt des steifen Teils der Wurzeln dieser Klasse war ähnlich wie der der früher beschriebenen Nährstützwurzel. Die äussersten Zellreihen der Rinde bestanden also aus Sklerenchymzellen, weshalb die Wurzel in diesem Teil versteift war (vgl. Tafel IV. 12—16). Der Bau des Zentralzylinders war ebenso wie bei den Nährwurzeln. Der Querschnitt des biegsamen Teils der Wurzel stimmte mit dem bei den Nährwurzeln überein. Die Zahlen auf S. 55 beleuchten die Querschnittsdimensionen der Wurzeln.

Die Wurzeln, welche Klasse VI bilden, wichen in ihrem Äussern vollständig von den vorhergehenden ab. Der Basalteil der Wurzel war grün oder gelb, ja sogar sehr hell je nachdem, wie die Wurzel sich zum Licht verhalten hatte. Dieser gefärbte Teil, der sich ganz über der Bodenoberfläche befand, entbehrte stets der Wurzelhaare. Dagegen sassen an dem im Boden steckenden Wurzelteil ausserordentlich viel Haare, ausser ganz an der Spitze der Wurzel. Diese Wurzeln waren sehr dick, 1.0—2.4 mm. Nach den Feldbeobachtungen begannen sie sich dann zu bilden, wenn der Roggen Ähren ansetzte und der Halm mehr einer Stütze bedürftig war. Sie waren fast ganz steif, und zwar auch in dem Teil, der im Boden steckte. Wie erwähnt, befand sich ein Teil dieser Wurzeln über der Bodenoberfläche an den untersten Knoten des Halmes, ja die jüngsten konnten verhältnismässig weit oben, 3—4 cm über der Bodenoberfläche sitzen, so dass sich manche gar nicht bis in die Erde erstreckten.

Der Querschnitt war bei den Wurzeln dieser Klasse ähnlich wie bei der früher besprochenen Stützwurzel. Zieht man den Bau der Wurzel und ihre Lage im Wurzelsystem in Betracht, so hat die Wurzel hauptsächlich den Zweck, den Halm zu stützen (vgl. Tafel IV. 18—25).

Die folgenden Zahlen geben die Querschnittsdimensionen der Wurzeln an:

| Beobachtung Nr. | Abstand des Querschnitts vom Hals der Wurzel cm | Durchm. d. Wurzel mm | Durchm. d. Zentralzylinders mm | Durchm. d. Rindenteils mm | Grosse Gefässe im Zentralzylinder | Durchm. d. grossen Gefässe mm | Beschaffenheit d. Wurzel auf dem Querschnitt |
|------------------|---|----------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--|
| Klasse I | | | | | | | |
| 1 | 0.1 | 0.27 | 0.17 | 0.10 | 1 | 0.042 | Keimwurzel |
| 2 | 0.1 | 0.19 | 0.17 | 0.02 | 1 | 0.043 | » |
| 3 | 0.1 | 0.23 | 0.17 | 0.06 | 1 | 0.043 | » |
| 4 | 0.1 | 0.21 | 0.19 | 0.02 | 1 | 0.041 | » |
| Klasse II | | | | | | | |
| 1 | 0.2 | 0.44 | 0.27 | 0.17 | 4 | 0.046 | Nährwurzel |

| Beobachtung Nr. | Abstand des Querschnitts vom Hals der Wurzel cm | Durchm. d. Wurzel mm | Durchm. d. Zentralzylinders mm | Durchm. d. Rindenteils mm | Grosse Gefässe im Zentralzylinder | Durchm. d. grossen Gefässe mm | Beschaffenheit d. Wurzel auf dem Querschnitt |
|-------------------|---|----------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--|
| Klasse II | | | | | | | |
| 2 | 0.2 | 0.63 | 0.27 | 0.36 | 5 | 0.040 | Nährwurzel |
| 3 | 0.2 | 0.63 | 0.42 | 0.21 | 7 | 0.042 | » |
| 4 | 0.2 | 0.40 | 0.17 | 0.23 | 3 | 0.041 | » |
| 5 | 0.3 | 0.40 | 0.25 | 0.15 | 4 | 0.046 | » |
| 5 | 5.0 | 0.45 | 0.25 | 0.20 | 3 | 0.059 | » |
| 5 | 10.0 | 0.48 | 0.29 | 0.19 | 1 | 0.099 | » |
| 5 | 15.0 | 0.36 | 0.25 | 0.11 | 1 | 0.097 | » |
| 5 | 20.0 | 0.36 | 0.25 | 0.11 | 1 | 0.105 | » |
| 5 | 25.0 | 0.36 | 0.25 | 0.11 | 1 | 0.105 | » |
| 5 | 30.5 | 0.36 | 0.27 | 0.09 | 1 | 0.109 | » |
| Klasse III | | | | | | | |
| 1 | 0.2 | 0.42 | 0.25 | 0.17 | 4 | 0.040 | » |
| 2 | 0.1 | 0.63 | 0.34 | 0.29 | 7 | 0.043 | » |
| 3 | 0.2 | 0.74 | 0.34 | 0.40 | 6 | 0.042 | » |
| 4 | 0.2 | 0.43 | 0.30 | 0.13 | 6 | 0.041 | » |
| 5 | 0.2 | 0.53 | 0.38 | 0.15 | 6 | 0.041 | » |
| Klasse IV | | | | | | | |
| 1 | 0.1 | 0.74 | 0.32 | 0.42 | 6 | 0.038 | » |
| 2 | 0.2 | 0.97 | 0.42 | 0.55 | 6 | 0.037 | » |
| 3 | 0.1 | 0.76 | 0.34 | 0.42 | 5 | 0.036 | » |
| 4 | 0.2 | 0.84 | 0.34 | 0.50 | 5 | 0.038 | » |
| 5 | 0.2 | 0.86 | 0.35 | 0.51 | 5 | 0.037 | » |
| Klasse V | | | | | | | |
| 1 | 0.2 | 1.62 | 0.57 | 1.05 | 10 | 0.034 | Stützwurzel |
| 2 | 0.2 | 1.68 | 0.62 | 1.06 | 11 | — | » |
| 3 | 0.3 | 1.08 | 0.50 | 1.08 | 8 | — | » |
| 4 | 0.2 | 1.41 | 0.53 | 0.88 | 8 | 0.037 | » |
| 5 | 0.3 | 1.51 | 0.55 | 0.96 | 10 | — | » |
| Klasse VI | | | | | | | |
| 1 | 0.3 | 1.60 | 0.55 | 1.05 | 10 | — | » |
| 2 | 0.3 | 1.79 | 0.65 | 1.14 | 10 | — | » |
| 3 | 0.3 | 1.72 | 0.72 | 1.00 | 10 | 0.039 | » |
| 4 | 0.3 | 2.10 | 0.92 | 1.13 | 13 | — | » |
| 5 | 0.3 | 1.55 | 0.64 | 0.91 | 11 | 0.037 | » |

Wie man aus den obigen Ziffern sieht, variiert der Durchmesser des Zentralzylinders in den verschiedenen Klassen merklich. In Klasse I umfasst er im allgemeinen den grössten Teil vom Durchmesser der Wurzel, so dass der Rindenteil ziemlich ganz verschwunden ist (vgl. Tafel IV). In den übrigen Klassen ausser in V und VI, beträgt der Zentralzylinder ungefähr die Hälfte des Wurzeldurchmessers. In den Klassen V und VI misst er viel weniger als die Hälfte, ja in manchen Fällen sogar nur ein Drittel. Der Durchmesser der grossen Gefässe des Zentralzylinders ist an der Basis der Wurzel ziemlich konstant (0.035—0.025 mm), aber bei ein und derselben Wurzel nimmt er nach deren Spitze hin zu, und zwar so, dass mit der Abnahme der Zahl der Gefässe deren Durchmesser viel grösser wird.

Die folgende Tabelle zeigt die durchschnittliche Zahl der zu den verschiedenen Wurzelklassen gehörenden Wurzeln an den untersuchten Individuen:

| Roggensorte | Zahl der Individuen | Durchschnittl. Zahl der Wurzeln in d. verschiedenen Wurzelklassen pro Individuum | | | | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|----------------|---------------------|--|-----|------|------|------|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | |
| Iisalmi-Roggen | 10 | 2.9 | 3.9 | 11.0 | 16.8 | 22.6 | 11.3 | 68.4 |
| % | | 4.2 | 5.6 | 16.1 | 24.6 | 33.0 | 16.5 | 100.0 |
| Ostola-Roggen | 10 | 3.5 | 2.1 | 13.1 | 11.0 | 22.3 | 8.5 | 60.5 |
| % | | 5.8 | 3.5 | 21.7 | 18.2 | 36.8 | 14.0 | 100.0 |
| Vaasa-Roggen | 10 | 1.9 | 3.2 | 11.0 | 11.4 | 20.8 | 9.9 | 58.2 |
| % | | 3.3 | 5.5 | 18.9 | 19.6 | 35.7 | 17.0 | 100.0 |
| Petkus-Roggen | 10 | 2.1 | 3.2 | 5.7 | 2.9 | 20.4 | 9.6 | 43. |
| % | | 4.9 | 7.3 | 13.0 | 6.6 | 46.5 | 20.8 | 100.0 |

Wie man aus den vorstehenden Zahlen sieht, bilden die Wurzeln der zwei letzten Klassen, also die zuletzt entwickelten, reichlich die Hälfte von allen Wurzeln. Wurzeln der zwei ersten Klassen, also älteste, sind nur zu 10 % von den Wurzeln vorhanden. Sie haben gewissermassen ihre Bedeutung in der Nahrungs- und Wasserwirtschaft der Pflanze verloren. Dagegen sind die Wurzeln der Klassen III und IV zahlreich vertreten, indem sie zusammen etwa 40 % der Wurzeln ausmachen.

In den Wurzelsystemen wurden ähnliche Variationen zwischen dem normalen und dem mehrbüscheligen angetroffen wie in dem vorhergehenden Fall. Oberhalb des eigentlichen Wurzelbüschels traten in dem Wurzelsystem zahlreiche Wurzeln an den untersten Knoten des oberirdischen Teils des Halmes auf.

11. Iisalmi-, Ostola-, Vaasa- und Petkus-Roggen. (In Tikkurila gewachsenes Material.) Gesät am 20. VIII. 1926. Untersuchung am 12.—15. VII. 1927 ausgeführt. Der Roggen blühte und fing an, Körner zu bilden, Länge 140—170 cm, dem Aussehen nach nicht so üppig und voll wie der im Botanischen Garten der Universität gewachsene. Alle Wurzeln waren etwas dünner und kürzer, was auf der Verschiedenheit in der Beschaffenheit der Standorte beruhte.

Folgende Ziffern veranschaulichen die Zahl und Beschaffenheit der untersuchten Individuen und die Zahl ihrer Halme und Wurzeln pro Individuum:

| Roggensorte | Zahl der untersuchten Individuen | Durchschnittliche Länge der Halme m | Zahl pro Individ. | Wurzeln pro Individuum |
|----------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------|
| Iisalmi-Roggen | 7 | 1.70 | 3.0 | 30.8 |
| Ostola-Roggen | 7 | 1.70 | 2.8 | 35.2 |
| Vaasa-Roggen | 7 | 1.60 | 1.7 | 27.7 |
| Petkus-Roggen | 7 | 1.40 | 1.6 | 30.4 |

Auf Grund des Aussehens lassen sich in dem Wurzelsystem sechserlei Wurzeln unterscheiden (vgl. Figur 9).

Zu Klasse I gehörten die Keimwurzeln, die in diesem Stadium bereits abgestorben und sehr dünn (0.08—0.25 mm) waren. Sie waren nicht biegsam, sondern eher elastisch. Von Farbe waren die Wurzeln dunkelbraun. Sie befanden sich wie an den früher untersuchten Individuen zu unterst im Wurzelsystem (Figur 9). Ihr Rindenteil war fast ganz verschwunden. Die Seitenzweige waren abgebrochen, woraus hervorging, dass die Lebensfähigkeit der Wurzeln aufgehört hatte.

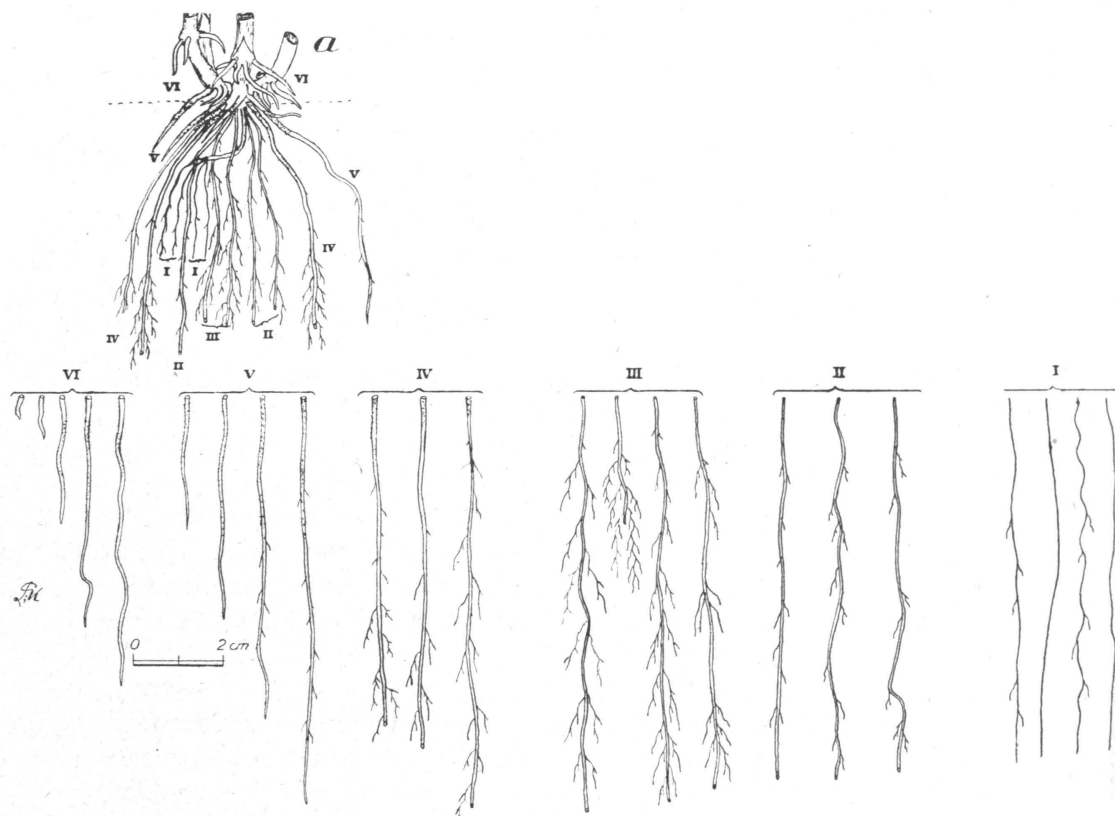
Zu Klasse II gehörten verhältnismässig dünne (0.20—0.60 mm) Wurzeln von bräunlich gelber Farbe. Wurzelhaare waren fast gar nicht vorhanden. Die Wurzeln waren sehr biegsam, und ihre Länge schwankte relativ stark (30—50 cm). Die Wurzelzweige waren nicht besonders zahlreich, und die meisten waren sogar abgestorben. Die Wurzeln sasssen etwas oberhalb der Wurzeln der vorhergehenden Klasse. Im allgemeinen waren die Wurzeln dieser Klasse dünnhalsig, wobei der Basalteil mancher dünner als weiter unten war. Der Rindenteil war sehr geschrumpft und reduziert, ja oft fast ganz verschwunden (vgl. Tafel IV. 2).

Klasse III bildeten die hellgelben und weichen Wurzeln, deren einige etwas Haare am Basalteil aufwiesen. Sie waren biegsam und einigermassen

elastisch. Ihre Länge variierte von 30—60 cm und ihre Dicke von 0.2—0.8 mm. Wurzelverzweigungen, die lebendig waren, fanden sich reichlich besonders am unteren Teil der Wurzeln. Die Wurzeln sassen im Wurzelsystem oberhalb der vorhergehenden.

Ihrem Querschnitt nach stimmten die Wurzeln vollständig mit den Nährwurzeln überein.

Zu Klasse IV gehörten die hellgelblichen Wurzeln, deren Haarbedeckung am Basisteil ausserordentlich ausgiebig war. Die Biegsamkeit



Figur 9. Wurzelsystem und Wurzeln des Isalmi-Roggens (in der Versuchsanstalt Tikurila gewachsen) am 12. VII. 1927. Gesät am 20. VIII. 1926. Bereits in Blüte stehend, Länge 160 cm.

a Zweibüscheliges Wurzelsystem, in dem die Stützwurzeln ein oder zwei Nebenbüschel bilden.

Klasse I: Keimwurzeln, abgestorben. — Klasse II: älteste Nährwurzeln, abgestorben. — Klasse III: älteste Nährwurzeln, noch lebend. — Klasse IV: Nährstützwurzeln. — Klasse V: teils Nährstützwurzeln, aber grösstenteils unterirdische Stützwurzeln. — Klasse VI: oberirdische Stützwurzeln.

dieser Wurzeln war durchweg verhältnismässig gut. Die Länge schwankte zwischen 20 und 50 cm, die Dicke zwischen 0.3 und 0.9 (1.3) mm, und die Verzweigung war im allgemeinen relativ wechselnd; die kurzen Wurzeln hatten sehr wenig Zweige und die längeren verhältnismässig viel. Die Wurzeln der Klasse befanden sich oberhalb der Wurzeln der vorhergehenden Klasse, gewöhnlich über dem eigentlichen Wurzelsystem am ersten Knoten des Halmes.

In bezug auf den Querschnitt glichen sie durchweg den Nährwurzeln. Die am Hals der Wurzel sitzenden Haare hatten sehr viel Erde um sich herum.

Die Wurzeln der Klasse V waren hell. Wurzelhaare waren ausserordentlich zahlreich an der ganzen Wurzel vorhanden, ausser an der Spitze, die 1—2 cm lang nackt war. Die Erde war sehr fest an dem behaarten Teil der Wurzel angebacken, so dass sie recht schwer abzulösen war. Der obere Teil der Wurzel (etwa 2—5 cm weit) war ganz steif, und der untere Teil, der im allgemeinen verhältnismässig viel Verzweigungen aufwies, war biegsam und weich. Die Länge der Wurzeln variierte von 3—20 cm und die Dicke von 0.5—1.6 mm; die letztere betrug am Basisteil 0.8—1.6 mm und an dem weichen Spitzenteil 0.3—0.8 mm. Die Wurzeln sassen im Wurzelsystem an den Knoten oberhalb der vorhergehenden Wurzeln. Seinem Querschnitt nach war der verhärtete Teil von derselben Art wie die vorher beschriebenen Nährstützwurzeln, die Aussenfläche des Rindenteils der Wurzel wurde also von Sklerenchymzellen gebildet, von denen die Steifheit der Wurzel herrührte. Der Zentralzylinder der Wurzel war ähnlich wie bei den Nährstützwurzeln. In dem biegsamen Teil der Wurzel war der Querschnitt wie bei den Nährwurzeln. Diese Wurzeln hatten also teilweise die Aufgabe, der Pflanze Nahrung zuzuführen und ihren Halm zu stützen.

Zu Klasse VI gehörten die im Wurzelsystem zu oberst befindlichen dicksten, unverzweigten und steifen Wurzeln. Die meisten von diesen sassen an den unteren Knoten des Halmes über der Bodenoberfläche. Ihr Basisteil war gewöhnlich grün, und er wurde um so heller und gelber, je näher man dem Erdboden kam. Die Länge des grünen und gelben Teiles betrug 1—5 cm. Auf die Färbung der Wurzel schienen in hohem Grade die Lichtverhältnisse einzuwirken derart, dass das Grün bei den stark belichteten Wurzeln klarer und kräftiger war, wogegen es bei Wurzeln die im Schatten gewachsen waren, fast ganz fehlte. Der im Boden steckende Teil der Wurzel war weiss. Der weisse Teil der Wurzel war, ausser 1.5—3.0 cm der Spitze, dicht mit Haaren besetzt. Die Erde haftete ausserordentlich fest an den Wurzeln und den Wurzelhaaren. Von der Wurzel

war der grünlich gelbe Teil ganz und die oberste Partie des weissen besonders steif und stabförmig. Der untere Teil war, wenn die Wurzel mehr als 4—5 cm mass, biegsam und geschmeidig. Die Länge der Wurzeln variierte sehr stark gemäss dem Alter derselben (0.3—15 cm), und die Dicke war verhältnismässig bedeutend, 0.8—1.8 mm. Die Wurzeln sassen, wie gesagt, zu oberst, an den untersten Knoten des Halmes, die sich merkbar, nämlich bis 4—5 cm über dem Erdboden befanden.

Ihrem Querschnitt nach waren die Wurzeln dieser Klasse von derselben Art wie die früher besprochenen Stützwurzeln, d. h. die äusseren Zellschichten ihres Rindenteils waren aus Sklerenchymzellen gebildet, wodurch die Wurzel versteift wurde, und der Zentralzylinder zeigte einen schwachen Bau. Diese Wurzeln haben also den Zweck, den Halm zu stützen.

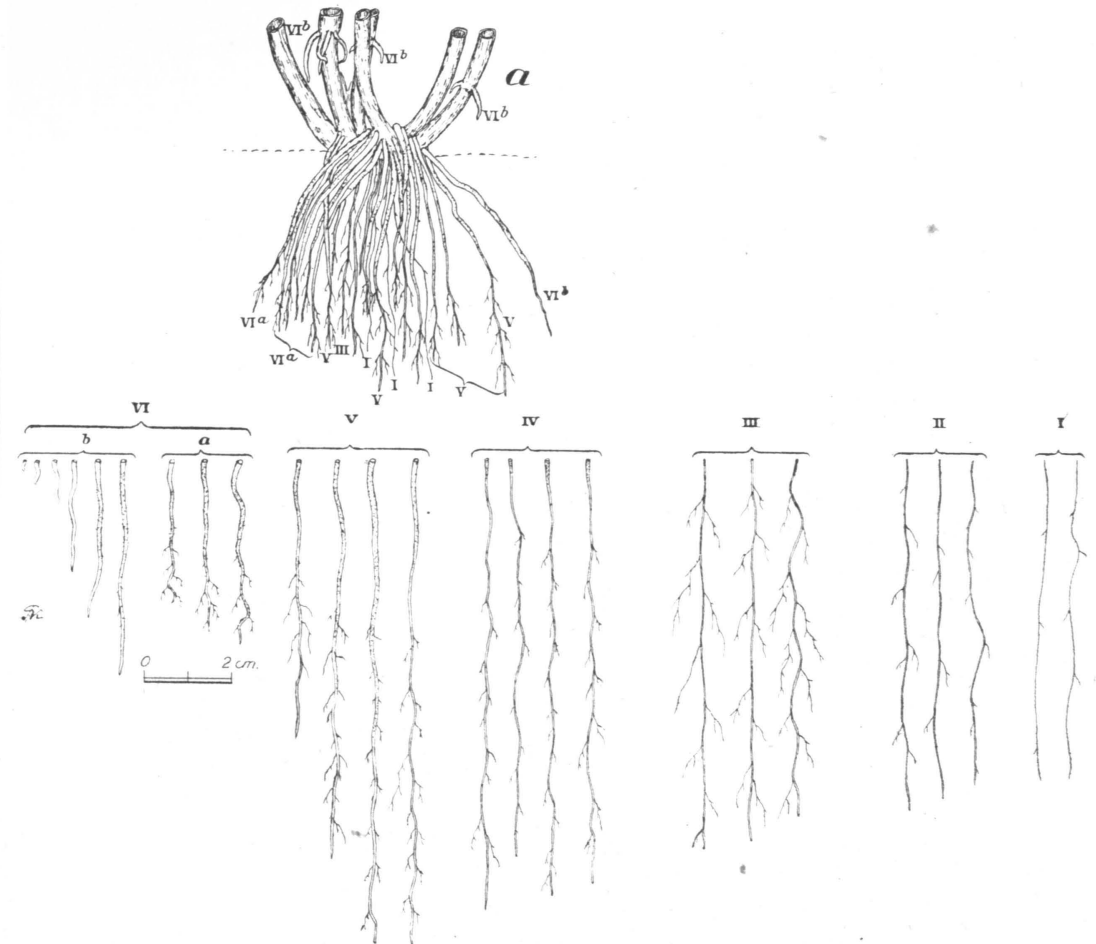
Die folgende Tabelle zeigt die durchschnittliche Zahl der zu den verschiedenen Wurzelklassen gehörenden Wurzeln an den untersuchten Individuen:

| Roggensorte | Zahl der Individuen | Durchschnittliche Zahl der Wurzeln pro Individuum in den verschiedenen Wurzelklassen | | | | | | Zusammen pro Individuum |
|----------------|---------------------|--|-----|------|------|------|------|-------------------------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | |
| lisalmi-Roggen | 14 | 4.1 | 3.0 | 4.0 | 3.0 | 11.7 | 5.0 | 30.8 |
| % | | 13.3 | 9.7 | 13.0 | 9.7 | 38.1 | 16.2 | 100.0 |
| Ostola-Roggen | 15 | 4.6 | 3.3 | 6.9 | 5.1 | 10.0 | 5.3 | 35.2 |
| % | | 13.1 | 9.4 | 19.6 | 14.5 | 27.4 | 15.0 | 100.0 |
| Vaasa-Roggen | 10 | 1.4 | 1.4 | 2.6 | 1.6 | 10.1 | 10.6 | 27.7 |
| % | | 5.1 | 5.1 | 9.4 | 5.8 | 36.4 | 36.2 | 100.0 |
| Petkuser | 12 | 2.9 | 3.0 | 4.3 | 5.0 | 5.1 | 5.1 | 30.4 |
| % | | 9.5 | 9.9 | 14.2 | 19.7 | 29.9 | 16.8 | 100.0 |

Wie die Zahlen der Tabelle erkennen lassen, treten auch in dieser Periode die meisten Wurzeln in Klasse V auf. In den zwei letzten Klassen machen sie etwa die Hälfte der Gesamtmenge aus. In den übrigen Klassen schwankt ihre Zahl. Zu den drei ersten Klassen gehören die im Herbst gebildeten Wurzeln und zu den drei letzten die im Frühjahr und Sommer entstandenen, so dass in dem Wurzelsystem die Herbstwurzeln zahlenmässig durchschnittlich ein Drittel, aber ihrer Funktion nach nur einen ganz unbedeutenden Teil darstellen.

Bei der Untersuchung der verschiedenen Individuen wurden ähnliche Wurzelsysteme angetroffen, wie sie früher vorgeführt sind.

12. lisalmi-, Ostola-, Vaasa- und Petkus-Roggen. Gesät am 20. VIII. 1926. Untersucht am 2. VIII. 1927. Roggen völlig ausgereift und hellgelb gefärbt.



Figur 10. Wurzelsystem und Wurzeln des lisalmi-Roggens am 2. VIII. 1927. Gesät am 20. VIII. 1926. Voll ausgereift.

a normales Wurzelsystem, das an einigen Halmen ausserdem von Stützwurzeln gebildete »Wurzelkränze« über der Bodenoberfläche aufweist.

Klasse I: abgestorbene Keimwurzeln. — Klasse II: abgestorbene Nährwurzeln. —

Klasse III: stark verzweigte Nährwurzeln, die ebenfalls als abgestorben zu betrachten sind. — Klasse IV: Nährstützwurzeln. — Klasse V: zum kleinen Teil Nährstützwurzeln und zum grössten Teil unterirdische Stützwurzeln. —

Klasse VI a: verzweigte, über der Bodenoberfläche beginnende Stützwurzeln. — Klasse VI b: unverzweigte, über der Bodenoberfläche beginnende Stützwurzeln.

Die folgenden Ziffern geben die Beschaffenheit und Zahl der untersuchten Individuen sowie die durchschnittliche Zahl der Halme und Wurzeln an:

| Roggensorte | Zahl der untersuchten Individuen | Zahl der Halme pro Individuum | Zahl der Wurzeln pro Individuum | Zahl der Wurzeln pro Halm |
|----------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Iisalmi-Roggen | 10 | 2.6 | 47.6 | 18.3 |
| Ostola-Roggen | 10 | 4.7 | 56.5 | 12.0 |
| Vaasa-Roggen | 6 | 4.5 | 68.7 | 15.3 |
| Petkus-Roggen | 9 | 3.8 | 71.5 | 18.8 |

Nach dem Äussern können die Wurzeln folgendermassen klassifiziert werden (Figur 10 und Tafel IV).

Klasse I bildeten die dunkelgelben oder braunen, ziemlich unverzweigten, gleichmässig dicken und dünnen (0.09—0.25 mm) Wurzeln. Die Wurzeln waren elastisch und leicht zerbrechlich. Ihre Länge schwankte zwischen 10 und 27 cm. Im Wurzelsystem befanden sie sich zu unterst. Zu dieser Klasse gehörten die Keimwurzeln und ein Teil der der Keimwurzel nahestehenden dünnen Nährwurzeln, die beide schon viel früher ihr Wachstum abgeschlossen hatten.

Die zu Klasse II gehörigen Wurzeln waren im allgemeinen gelb, gleichmässig dick und wenig verzweigt. Ihre Länge variierte von 10—50 cm und ihre Dicke von 0.2—0.7 mm. Sie waren geschmeidig und elastisch, aber nicht so biegsam wie früher, an stark geknickten Stellen brachen sie durch. Im Wurzelsystem sassen sie oberhalb der vorhergehenden Wurzeln. — Ihr Querschnitt war ähnlich wie der der Nährwurzeln, aber der Rindenteil war stark geschrumpft (vgl. Tafel IV. 2—6).

Zu Klasse III gehörten gelbe, dünne, gleichmässig dicke und stark verzweigte Wurzeln, deren Geschmeidigkeit und Biegsamkeit allgemein war. Etwas Wurzelhaare wurden an den oberen Teilen der Wurzeln angetroffen. Die Dicke der Wurzeln variierte von 0.3—0.7 mm und ihre Länge von 8—50 cm. Verzweigungen waren ausserordentlich zahlreich zu beobachten. Im Wurzelsystem waren die Wurzeln oberhalb von Klasse I zusammen mit den vorhergehenden Wurzeln angeheftet. Ihrem Querschnitt nach glichen sie den Nährwurzeln. Der Rindenteil der Wurzel war merkbar geschrumpft (vgl. Tafel IV. 7—11).

Die Wurzeln von Klasse IV waren hellgelb gefärbt, und ihr dicker oberer Teil war 0.2—1.0 cm lang und dicht mit Wurzelhaaren bedeckt.

Dieser Teil war steif, und es haftete Erde sehr fest daran. Auch der übrige Teil der Wurzel hatte eine verhältnismässig dichte Haarbedeckung und zahlreiche Verzweigungen. Die Länge der Wurzeln schwankte von 8—30 cm, die Dicke des steifen Basalteils betrug 1.0—1.6 mm und weiter unten 0.2—0.8 mm. Im Wurzelsystem sassen die Wurzeln der Klasse weiter oben als die der vorhergehenden Klassen. — Ihrem Querschnitt nach waren diese Wurzeln in bezug auf ihren steifen Teil von der Art der Nährstützwurzel und sonst von der Art der Nährwurzel (vgl. Tafel IV. 12—17).

Die Wurzeln von Klasse V waren im allgemeinen lang, dick (0.7—2.2 mm) und in ihrem oberen Teil steif, von Farbe hellgelb; zuweilen war der oberste Teil grün, was darauf beruhte, dass er sich über der Bodenoberfläche befand. Die im Boden steckenden Teile der Wurzeln waren im allgemeinen ausgiebig mit Haaren bedeckt. Der obere Teil der Wurzeln (2—7 cm weit) war ganz steif und stabförmig. Ihre Länge betrug 5—15 cm, und die Dicke ihres Basalteils variierte von 0.7—2.2 mm. Verzweigungen hatte der untere Teil der Wurzel einigermaßen, aber nicht besonders zahlreich. Im Wurzelsystem sassen diese Wurzeln oberhalb der vorhergehenden, ja auch an den untersten Knoten des Halmes über der Bodenoberfläche. — In bezug auf seinen Querschnitt zeigte der steife Teil der Wurzel dasselbe Bild wie die Stütz- oder die Nährstützwurzel und der weiche Teil das der Nährwurzel (vgl. Tafel IV. 18—22).

Zu Klasse VI gehörten kurze, dicke, entweder ganz oder teilweise über der Erdoberfläche befindliche und teilweise im Boden steckende Wurzeln. Von Farbe war der im Boden steckende Teil hellgelb und die über dem Erdboden befindliche Wurzel oder ihr Teil grün oder grünlich gelb. An dem im Boden befindlichen Teil trat im allgemeinen eine sehr dichte Haarbedeckung auf, weshalb die Wurzel sehr intim mit dem Bodenmaterial zusammenhing. Die Wurzeln waren ausserordentlich steif und stabförmig. Ihre Länge variierte von 0.5—6.0 cm und ihre Dicke von 0.6—2.2 mm. Manche (V b) Wurzeln der Klasse hatten zahlreiche kurze Verzweigungen am Spitzenteil, während solche bei anderen (V a) vollständig fehlten. Die unverzweigten Wurzeln befanden sich immer weiter oben. Die jüngsten Wurzeln dieser Gruppe hatten sich verhältnismässig hoch über der Erdoberfläche lokalisiert (4—9 cm), so dass manche von ihnen sich nicht bis zum Boden erstreckten. — Ihrem Querschnitt nach waren die Wurzeln den Stützwurzeln ähnlich (vgl. Tafel IV. 23—25).

Die folgenden Zahlen geben das Verhältnis des Durchmesser und des Zentralzylinders am Hals und weiter unten an der Wurzel in verschiedenen Klassen an.

| Beobachtung Nr. | Abstand von der Basis der Wurzel cm | Durchmesser der Wurzeln mm | Durchmesser des Zentral- zylinders mm | Zahl der grossen Gefässe | Durchschnittl. Durchmesser der grossen Gefässe mm |
|--------------------|---|----------------------------------|--|--------------------------------|--|
| Klasse I | | | | | |
| 1 | 0.1 | 0.10 | 0.10 | 1 | 0.042 |
| 2 | 0.1 | 0.14 | 0.14 | 1 | 0.043 |
| 3 | 0.1 | 0.16 | 0.16 | 1 | 0.040 |
| » | 3.0 | 0.18 | 0.16 | 1 | 0.045 |
| » | 8.0 | 0.19 | 0.16 | 1 | 0.049 |
| » | 14.0 | 0.18 | 0.17 | 1 | 0.059 |
| » | 19.0 | 0.19 | 0.16 | 1 | 0.075 |
| 4 | 0.2 | 0.20 | 0.20 | 4 | 0.030 |
| 5 | 0.2 | 0.22 | 0.22 | 4 | 0.038 |
| 6 | 0.2 | 0.26 | 0.25 | 6 | 0.038 |
| Klasse II | | | | | |
| 1 | 0.2 | 0.42 | 0.32 | 6 | 0.046 |
| 2 | 0.1 | 0.54 | 0.42 | 5 | 0.044 |
| » | 0.8 | 0.58 | 0.36 | 5 | 0.046 |
| » | 2.5 | 0.63 | 0.32 | 5 | 0.047 |
| 3 | 0.3 | 0.38 | 0.29 | 6 | — |
| 4 | 0.3 | 0.67 | 0.31 | 5 | 0.057 |
| 5 | 0.3 | 0.52 | 0.31 | 7 | 0.043 |
| » | 2.5 | 0.46 | 0.31 | 5 | 0.054 |
| » | 5.0 | 0.55 | 0.34 | 5 | 0.067 |
| » | 8.0 | 0.38 | 0.31 | 5 | 0.063 |
| » | 14.0 | 0.36 | 0.29 | 3 (4) | 0.058 |
| » | 24.0 | 0.36 | 0.27 | 2 | 0.099 |
| Klasse III | | | | | |
| 1 | 0.2 | 0.46 | 0.32 | 4 | 0.042 |
| 2 | 0.2 | 0.55 | 0.32 | 4 | 0.042 |
| 3 | 0.1 | 0.70 | 0.32 | 6 | 0.041 |
| 4 | 0.1 | 0.57 | 0.32 | 4 | 0.040 |
| 5 | 0.3 | 0.56 | 0.31 | 7 | 0.037 |
| Klasse IV | | | | | |
| 1 | 0.1 | 0.80 | 0.38 | 6 | 0.042 |
| 2 | 0.1 | 0.97 | 0.36 | 6 | 0.040 |
| 3 | 0.1 | 1.26 | 0.56 | 9 | 0.041 |
| 4 | 0.1 | 1.10 | 0.49 | 5 | 0.042 |
| 5 | 0.1 | 0.86 | 0.38 | 4 | 0.045 |

| Beobachtung Nr. | Abstand von der Basis der Wurzel cm | Durchmesser der Wurzeln mm | Durchmesser des Zentral- zylinders mm | Zahl der grossen Gefässe | Durchschnittl. Durchmesser der grossen Gefässe mm |
|--------------------|---|----------------------------------|--|--------------------------------|--|
| Klasse V | | | | | |
| 1 | 0.2 | 1.18 | 0.50 | 7 | 0.046 |
| 2 | 0.2 | 1.05 | 0.42 | 8 | 0.045 |
| 3 | 0.2 | 1.25 | 0.55 | 7 | 0.046 |
| 4 | 0.2 | 2.10 | 0.88 | 9 | 0.047 |
| 5 | 0.2 | 1.88 | 0.74 | 12 | 0.048 |
| Klasse VI | | | | | |
| 1 | 0.2 | 0.95 | 0.31 | 8 | 0.041 |
| 2 | 0.3 | 1.51 | 0.58 | 10 | 0.043 |
| 3 | 0.2 | 1.78 | 0.68 | 11 | 0.041 |
| 4 | 0.2 | 1.25 | 0.45 | 8 | 0.044 |
| 5 | 0.2 | 2.16 | 0.78 | 12 | 0.040 |
| 6 | 0.4 | 2.11 | 0.84 | 10 | 0.052 |
| » | 5.0 | 0.88 | 0.30 | 6 | 0.032 |
| » | 11.0 | 0.56 | 0.22 | 2 | 0.035 ¹ |
| » | 15.0 | 0.37 | 0.13 | 2 | 0.022 |

Wie die obigen Ziffern erkennen lassen, ist die Rinde an den Wurzeln der Klasse I ganz verschwunden. An den Wurzeln der Klassen II und III ist noch ein Teil der Rinde erhalten, und an denen der Klasse IV findet man Rinde noch zu mehr als der Hälfte des Durchmessers. An den Wurzeln der Klassen V und VI nimmt der Rindenteil fast $\frac{2}{3}$ von der Rinde der Wurzel ein, so dass der Zentralzylinder weniger als $\frac{1}{3}$ vom Wurzeldurchmesser beträgt. In Klasse I dieser Periode fällt ein Teil der älteren Nährwurzeln, weil ihr Durchmesser infolge des Schwundes des Rindenteils stark vermindert ist. Grosse Gefässe sind in den Keimwurzeln 1 und in den Nährwurzeln 4—7, in den Nährstützwurzeln 4—7 und in den Stützwurzeln 7—12 vorhanden. Ihr Durchmesser ist an der Basis der Wurzeln ziemlich der gleiche (Mittel = 0.0421 ± 0.000855 mm), aber bei allen Wurzeln ausser den Stützwurzeln wird er nach der Wurzelspitze zu grösser. Bei den Stützwurzeln nimmt der Durchmesser der grossen Gefässe von der Basis nach der Spitze der Wurzel hin ab, wie dies aus den obigen Ziffern resichtlich wird.

¹ Die Wurzel ist von dieser Stelle nach unten einer Nährwurzel ähnlich.

Die folgende Tabelle veranschaulicht die Verteilung der Wurzeln auf die verschiedenen Wurzelklassen:

| Roggensorte | Zahl der Individuen | Durchschnittliche Wurzelzahl in den verschiedenen Klassen pro Individuum | | | | | | Insgesamt Wurzel pro Individuum | |
|----------------|---------------------|--|-----|------|------|------|------|---------------------------------|-------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | | |
| | | b | | a | | | | | |
| Iisalmi-Roggen | 10 | 1.7 | 4.6 | 9.2 | 6.1 | 16.8 | 4.8 | 46.4 | 47.6 |
| % | | 3.6 | 9.7 | 19.3 | 12.8 | 35.3 | 10.1 | 9.2 | 100.0 |
| Ostola-Roggen | 10 | 1.7 | 4.2 | 11.9 | 3.4 | 18.2 | 8.9 | 8.2 | 56.5 |
| % | | 3.0 | 7.4 | 21.1 | 6.0 | 32.2 | 15.9 | 14.5 | 100.0 |
| Vaasa-Roggen | 6 | 1.7 | 5.5 | 11.5 | 11.0 | 17.5 | 14.0 | 7.5 | 68.7 |
| % | | 2.5 | 8.0 | 16.7 | 16.0 | 25.5 | 20.4 | 10.9 | 100.0 |
| Petkus-Roggen | 9 | 2.2 | 5.9 | 11.8 | 5.0 | 23.6 | 15.0 | 7.9 | 71.5 |
| % | | 3.1 | 8.2 | 16.7 | 7.0 | 33.0 | 21.0 | 11.0 | 100.0 |

Wie man aus den Ziffern der Tabelle ersieht, umfassen die zwei zuletzt angeführten Klassen über die Hälfte sämtlicher Wurzeln. Die im Herbst gebildeten Wurzeln machen im Wurzelsystem des völlig ausgereiften Roggens, also in dem vollständig entwickelten Wurzelsystem zahlenmässig etwas weniger als ein Drittel, aber ihrer Funktion nach einen viel kleineren Teil der Wurzeln aus.

Die Funktion der Wurzeln bei der Aufnahme des Wassers und der Nährstoffe kann nach der Zahl der grossen Gefässe gemessen werden. Die folgende Tabelle beleuchtet die Zahl der Gefässe in verschiedenen Klassen auf Grund der oben mitgeteilten Ziffern:

| Grosse Gefässe pro Individ. | Grosse Gefässe in den Klassen | | | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|------|------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| | Im Herbst gebildete Wurzeln | | | | Im Frühjahr gebildete Wurzeln | | | |
| | I | II | III | Summe | IV | V | VI | Summe |
| Grosse Gefässe pro Individ. | 1 | 3.3 | 4.5 | — | 5.0 | 6.1 | 6.2 | — |
| Iisalmi-Roggen | 1.7 | 15.2 | 41.8 | 58.7 | 30.5 | 100.8 | 55.2 | 186.5 |
| Ostola-Roggen | 1.7 | 13.8 | 54.8 | 70.4 | 17.0 | 109.1 | 102.6 | 228.7 |
| Vaasa-Roggen | 1.7 | 18.2 | 51.8 | 71.7 | 55.0 | 105.0 | 129.0 | 289.0 |
| Petkus-Roggen | 2.2 | 19.5 | 54.8 | 76.5 | 25.0 | 138.0 | 137.4 | 301.4 |

Hiernach repräsentiert also das Wurzelsystem im Herbst nur den 4.—5. Teil von der gesamten Wassertransport- und Nahrungsaufnahmefähigkeit

des Wurzelsystems. — Ausserdem ist aber zu beachten, dass die Lebenstätigkeit der erwähnten Wurzeln oft lange vor der Reifeperiode aufhört, so dass vor dieser die im Frühjahr gebildeten Wurzeln für die Bedürfnisse der ganzen Pflanze sorgen.

b. Der Weizen.

1. Sorten: Thule II, Svea, Ostfinnischer, Baur und Bore. Gesät am 15. VIII. 1926. Untersucht am 24. V. 1927. Das Material war auf dem Tonacker in Tikkurila erzogen, auf dem das *von oben kommende* Eis im Frühjahr viel junge Saat zerstörte und sie lichtete.

Die folgenden Ziffern beleuchten die Zahl und die Eigenschaften der untersuchten Individuen:

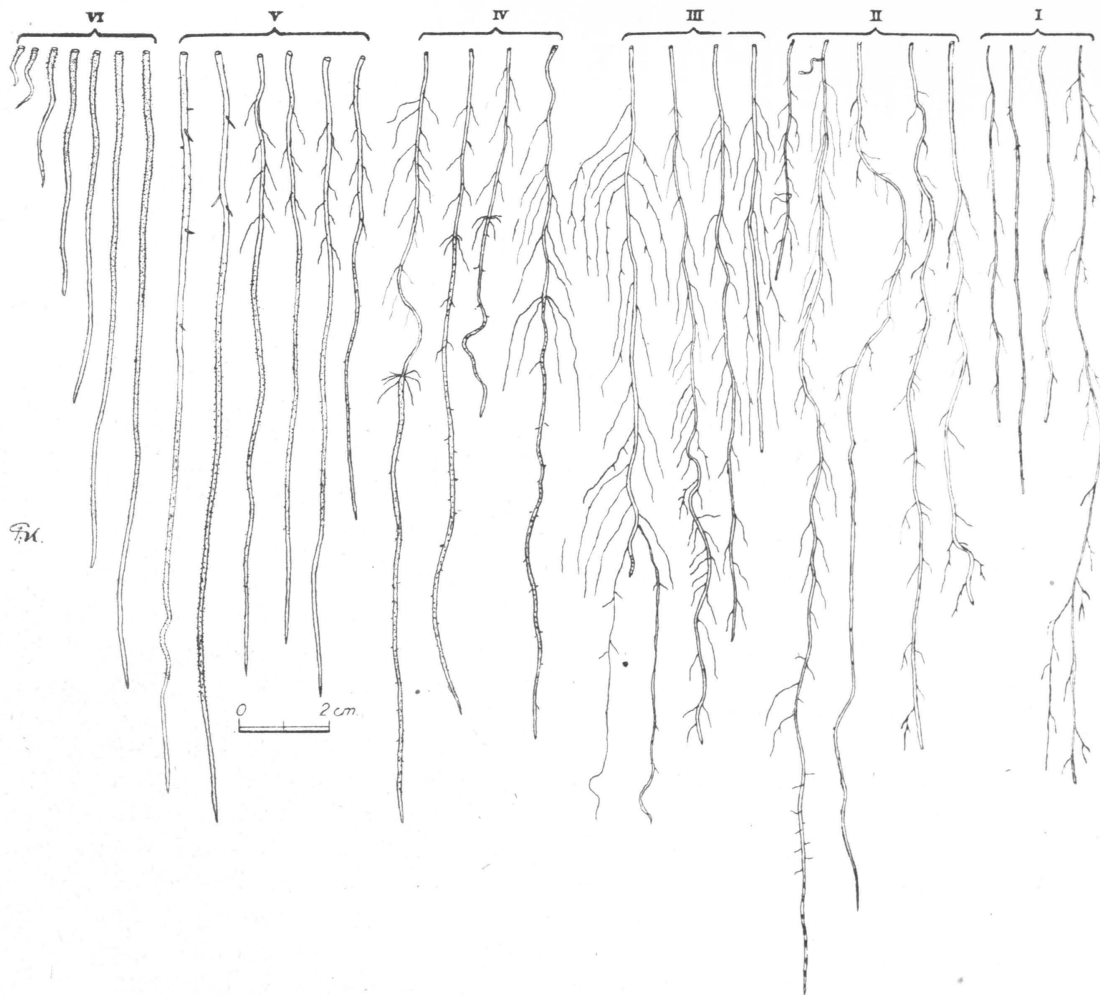
| Weizensorte | Untersuchte Individuen | | Halmansätze erholte | | Wurzeln durchschnittl. pro Individuum |
|---------------|------------------------|------|---------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| | Stärke 0—5 | Zahl | urspr. Anzahl | % v. d. urspr. Anzahl | |
| Thule II | 3.3 | 15 | (6.2) | 5.2 (83.9) | 22.1 |
| Svea | 3.3 | 15 | (6.5) | 5.8 (89.2) | 24.9 |
| Ostfinnischer | 3.8 | 15 | (6.9) | 5.6 (81.2) | 19.9 |
| Baur | 2.4 | 14 | (5.1) | 3.4 (66.7) | 17.2 |
| Bore | 2.4 | 12 | (6.5) | 4.8 (73.9) | 22.0 |

Nach dem Äussern können die Wurzeln in folgende Klassen eingeteilt werden (vgl. Figur 11):

Die Klasse I umfasste dünne (0.12—0.25 mm), geschmeidige, gelb gefärbte, zum Teil verhältnismässig braune, gleichmässig dicke Wurzeln, deren Verzweigung sehr wechselnd war. Die braunen Wurzeln waren meistens unverzweigt, und sie schienen ohne Leben zu sein, da weder im Frühjahr gebildete Seitenzweige noch eine Fortsetzung der Wurzel zu sehen waren. Die gelben Wurzeln hatten zahlreiche Verzweigungen, die hauptsächlich im Frühjahr entstanden waren, denn sie waren hell. Die Wurzeln waren an der Keimstelle angesetzt, stellten daher Keimwurzeln dar.

Der innere Bau der Wurzeln war ganz der gleiche wie bei den Keimwurzeln des Roggens (vgl. Tafel III). Der Rindentheil war teilweise, bei einigen Wurzeln fast vollständig abgefallen, so dass um ihren Zentralzylinder nur einige Zellringe auftraten.

Zu Klasse II gehörten gleichmässig dicke, relativ dünne (0.20—0.65 mm), biegsame, gelbe Wurzeln. Lebende Seitenzweige waren im allgemeinen wenig vorhanden (vgl. Figur 11). Die Wurzeln waren nicht besonders lang, und sehr viele von ihnen waren abgerissen, wobei der Teil oberhalb



Figur 11. Wurzelklassen des Svea-Weizens am 20. V. 1927. Gesät am 15. VIII. 1926. Im Saatstadium, obwohl das Halmwachstum einigermaßen angefangen hat. Klasse I: verhältnismässig abgestorbene Keimwurzeln. — Klasse II: wenig verzweigte älteste Nährwurzeln. Jede der Wurzeln im Winter abgerissen. — Klasse III: stark verzweigte älteste Nährwurzeln. Fast jede der Wurzeln im Winter abgerissen. — Klasse IV: Nährwurzeln, an denen der im Herbst gebildete Teil ziemlich kurz (3—7 cm) ist. An der Grenze zwischen dem Wurzelteil vom Herbst und vom Frühjahr ein »Seitenzweigkranz«. — Klasse V: Nährwurzeln, an denen der im Herbst gebildete Teil ganz kurz (0.5—1.5 cm) ist. — Klasse VI: im Frühjahr gebildet.

der Rissstelle auf einer kurzen Strecke (0.5—3 cm) vertrocknet war, dazu war dieser Teil dunkelbraun gefärbt. Zuweilen fanden sich oberhalb der Rissstelle etwa 5—12 cm weit keine Seitenzweige. Die abgerissenen Wurzeln konnten sehr verschieden lang, 5—20 cm und darüber sein. Die Wurzeln sassen im Wurzelsystem oberhalb der Keimwurzeln; in einem zwei- und mehrbüscheligen Wurzelsystem konnten sie am Zwischenbüschel des unteren Büschels und am eigentlichen Wurzelbüschel ganz unten auftreten.

Der innere Bau war, wie (vgl. Tafel III) ganz derselbe wie bei den Wurzeln der entsprechenden Klasse des Roggens. Die Wurzeln waren mithin älteste Nährwurzeln. Bei den meisten hatte sich der Rindenteil vom Zentralzylinder abgelöst und bildete einen mehr oder weniger isolierten Ring um denselben. Dies ist durch das im Winter erfolgte Gefrieren des Wassers in der Wurzel verursacht worden.

Zu Klasse III wurden die im Äussern vollständig übereinstimmenden Wurzeln wie die in der vorhergehenden Klasse auftretenden gerechnet, nur waren die Wurzeln hier ausserordentlich stark verzweigt. Von Farbe waren sie ebenfalls hellgelb, also etwas heller als die Wurzeln der vorhergehenden Klasse. An dem abgebrochenen Ende der abgerissenen Wurzeln erschien der Zentralzylinder etwas weiter ausserhalb (0.3—1.0 mm) als der Rindenteil. Dies kam daher, dass sich der Rindenteil nicht annähernd so sehr ausdehnt wie der Zentralzylinder, so dass der Rindenteil während der durch den Bodenfrost verursachten Dehnung viel früher abbricht als der Zentralzylinder und dieser nach dem Abbrechen nicht mehr in dieselbe Lage zu jenem zurückkehrt wie vor der Dehnung, sondern länger bleibt. Dies war fast bei allen Wurzeln zu konstatieren. Die Wurzeln waren im allgemeinen am eigentlichen Wurzelbüschel angeheftet.

Der Querschnitt der Wurzeln war im allgemeinen ähnlich wie bei den Wurzeln der vorhergehenden Klasse, nur war die Zahl der grossen Gefässe im Zentralzylinder ausnahmslos grösser als dort.

Zu Klasse IV gehörten die im Herbst kurz (4—7 cm) gebliebenen Wurzeln, die im Frühjahr fast ohne Ausnahme angefangen hatten, in die Länge zu wachsen und Verzweigungen zu bilden. Die Wurzeln waren teils etwas dickhalsig, teils gleichmässig dick. Ganz an der Basis der ersteren fanden sich Haare, aber die der letzteren war beinahe nackt. Die Wurzeln waren merkbar in die Länge gewachsen, und an der Stelle, wo die im Frühjahr entstandene Wurzel anfang, befand sich ein Seitenwurzelkranz, d. h. es gingen da in derselben Höhe mehrere (5—8) Adventivwurzeln aus. Im allgemeinen war der neue Teil der Wurzel dicker (0.5—1.0 mm) als der im Herbst ausgebildete (0.30—0.6 mm). Der erstere Teil war hell und der

letztere hellgelb gefärbt. An dem im Herbst gebildeten Teil befanden sich zahlreiche Verzweigungen, aber Wurzelhaare nur an dem dicken Basalteil. Dagegen hatte der im Frühjahr entwickelte Teil fast gar keine Zweige, wohl aber zahlreiche Wurzelhaare, ausser auf einer kurzen Strecke (0.5—1.0 cm) nach der Spitze zu. Die Wurzeln sassen oberhalb der vorhergehenden Klassen an dem eigentlichen Wurzelbüschel.

Seinem inneren Bau nach war der alte Teil der Wurzeln den Nährwurzeln der vorhergehenden Wurzelklasse ähnlich. Der Querschnitt des im Frühjahr gebildeten Teils entsprach dem der Nährwurzeln, deren Rindenteil intakt und voll war. Die Zellen in der Mittelpartie des Rindenteils der überwinterten Wurzeln waren, obwohl sie sich nicht geradezu losgerissen hatten, viel grösser als die mehr am Rande sowie die mehr in der Mitte liegenden Zellen. Die Zellen des Rindenteils der Frühjahrswurzel waren im ganzen Rindenteil ziemlich gleich gross.

Zu Klasse V wurden die Wurzeln gezählt, deren Basalteil etwa 1—3 cm weit im Herbst entstanden war. Dieser Teil war relativ verzweigt. Die Wurzeln waren am Basalteil ziemlich gleichmässig dick (0.4—0.9 mm), obwohl der weiter unten befindliche im Frühjahr gebildete, unverzweigte und sehr behaarte Teil erheblich dicker (0.6—1.2 mm) sein konnte. Der ältere Basalteil war gelb und der jüngere hell.

Die Wurzeln sassen oberhalb der Wurzeln der vorhergehenden Klassen am eigentlichen Wurzelbüschel.

Der innere Bau der Wurzeln war der der oben beschriebenen Nährwurzeln. Die Rinde des Basalteils war während des Winters etwas lädiert, wie es in der vorgehenden Klasse der Fall war.

Zu Klasse VI gehörten die im Frühjahr gebildeten Wurzeln, die sehr biegsam, weich, voll und hell waren. Die ganze Wurzel war sehr dicht mit Wurzelhaaren besetzt, nur die Spitze der Wurzel war 1—4 cm weit nackt. Sämtliche Wurzeln waren dickhalsig und wurden nach der Spitze hin oft verhältnismässig schnell dünner. Am Hals (0.5 cm) variierte die Dicke von 0.5—1.4 mm. Die Länge der Wurzeln schwankte ziemlich in derselben Weise wie die Dicke. Die längsten Wurzeln massen 20 mm, die kürzesten nur einige Millimeter. Im Wurzelsystem sassen die Wurzeln dieser Klasse am eigentlichen Wurzelbüschel und oberhalb der Wurzeln der vorhergehenden Klassen.

Der innere Bau der Wurzeln war ähnlich wie bei dem im Frühjahr gebildeten Teil der Wurzeln der vorhergehenden Klasse. In den jüngsten Wurzeln war der Zentralzylinder nicht vollständig entwickelt. Der Durchmesser des Rindenteils betrug annähernd $\frac{2}{3}$ vom Durchmesser der Wurzel,

so dass der Durchmesser des Zentralzylinders etwas über $\frac{1}{3}$ vom Durchmesser der Wurzel mass.

Die durchschnittliche Zahl der zu den verschiedenen Wurzelklassen gehörenden Wurzeln an den untersuchten Individuen ergibt sich aus den folgenden Ziffern:

| Weizensorte | Zahl der Individuen | Durchschnittliche Wurzelzahl in den verschiedenen Wurzelklassen pro Individuum | | | | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|---------------|---------------------|--|------|------|-----|------|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | |
| Thule II | 15 | 4.2 | 4.1 | 1.1 | 0.7 | 2.2 | 9.8 | 22.1 |
| % | | 19.0 | 18.5 | 5.0 | 3.2 | 10.0 | 44.3 | 100.0 |
| Svea | 15 | 4.1 | 3.7 | 1.3 | 0.5 | 4.2 | 11.1 | 24.9 |
| % | | 16.5 | 14.9 | 5.1 | 2.0 | 16.9 | 44.6 | 100.0 |
| Ostfinnischer | 15 | 3.8 | 2.2 | 2.5 | 0.5 | 3.0 | 7.8 | 19.9 |
| % | | 19.1 | 11.0 | 12.6 | 3.0 | 15.1 | 39.2 | 100.0 |
| Baur | 14 | 4.1 | 4.4 | 0.4 | — | 1.4 | 6.9 | 17.2 |
| % | | 23.9 | 25.6 | 2.3 | — | 8.1 | 40.1 | 100.0 |
| Bore | 12 | 4.1 | 3.4 | 2.4 | 0.6 | 2.3 | 9.2 | 22.0 |
| % | | 18.6 | 15.5 | 10.9 | 2.7 | 10.5 | 41.8 | 100.0 |

Von den Wurzeln gehörte also annähernd die Hälfte zur Klasse VI. Keimwurzeln sind durchschnittlich 4 pro Individuum vorhanden.

Die folgenden Ziffern geben das Vorkommen der verschiedenen Wurzelformen und der überwinterten Wurzeln sowie die Menge der während des Winters abgerissenen Wurzeln wieder:

| Weizensorte | Bei d. untersuchten Individuen war das Wurzelsystem | | | Untersuchte Wurzelsysteme St. | Wurzeln pro Individuum Überwinterter | | | Abgerissene Wurzeln pro Individuum | | |
|---------------|---|----------|-------------|-------------------------------|--------------------------------------|------|-------------|------------------------------------|-------------|------------------------|
| | norm. | 2-büsch. | mehr-büsch. | | Summe | St. | % von allen | St. | % von allen | % von d. über-wintert. |
| Thule II | 6 | 8 | 1 | 15 | 22.1 | 12.3 | 55.7 | 9.4 | 41.5 | 76.4 |
| Svea | 8 | 5 | 2 | 15 | 24.9 | 13.8 | 55.4 | 9.4 | 37.7 | 68.1 |
| Ostfinnischer | 8 | 6 | 1 | 15 | 19.9 | 12.1 | 60.8 | 8.5 | 42.7 | 70.2 |
| Baur | 12 | 2 | — | 12 | 17.2 | 10.3 | 59.9 | 8. | 51.1 | 85.4 |
| Bore | 8 | 2 | 2 | 12 | 22.0 | 12.8 | 58.2 | 9.7 | 44.1 | 75.8 |

Wie die Zahlen zeigen, bilden die überwinterten Wurzeln die Majorität. Abgerissen sind durchschnittlich mehr als $\frac{3}{4}$ der Wurzeln.

2. Weizensorten: Thule II, Svea, Ostfinnischer, Baur und Bore. Gesät am 15. VIII. 1926. Untersucht am 16.—18. VII. 1927. Wachstum verhältnismässig üppig, Länge des Halmes durchschnittlich 90—95 cm. Die folgenden Ziffern geben die Beschaffenheit und den Wurzelreichtum der untersuchten Individuen an:

| Weizensorte | Zahl der untersuchten Individuen | Stärke der Individuen 0—5 | Zahl der Halme | Wurzeln pro Individuum |
|---------------|----------------------------------|---------------------------|----------------|------------------------|
| Thule II | 8 | 5.0 | 5.9 | 46.6 |
| Svea | 8 | 5.0 | 2.5 | 40.8 |
| Ostfinnischer | 8 | 5.0 | 3.6 | 31.6 |
| Baur | 9 | 4.4 | 2.9 | 35.9 |
| Bore | 9 | 5.0 | 3.0 | 36.8 |

Auf Grund des Äussern konnten die Wurzeln wie die des Roggens der entsprechenden Zeit folgendermassen eingeteilt werden:

Zu Klasse I wurden die ganz dünnen (0.11—0.25 mm), dunkelbraunen, ziemlich unverzweigten, elastisch biegsamen Keimwurzeln gezählt, die schon etwas abgestorben waren.

Der innere Bau war noch deutlich erkennbar, obwohl schon Fäulnis Spuren zu bemerken waren.

Zu Klasse II gehörten die hellgelben, ziemlich nackten, biegsamen, gleichmässig dicken (Dicke 0.2—0.7 mm) Wurzeln. Seitenzweige waren im allgemeinen wenig vorhanden, und auch von diesen war der grösste Teil abgestorben. Die Wurzeln sassen oberhalb der vorhergehenden.

Der innere Bau war im grossen ganzen derselbe wie bei dem entsprechenden Roggen (vgl. Tafel IV, Abb. 2—5 und Tafel V, Abb. 2—5); der Rindenteil der Wurzel war bei den meisten Individuen wie bei dem Roggen zerrissen oder ganz abgefallen.

Zu Klasse III wurden die hellgelben, ziemlich nackten, stark verzweigten, gleichmässig dicken (Dicke 0.3—0.8 mm) Nährwurzeln gerechnet. Sie sassen oberhalb der vorhergehenden am eigentlichen Wurzelbüschel.

Der Querschnitt der Wurzeln dieser Klasse war im allgemeinen ähnlich wie bei dem entsprechenden Roggen, doch mit derselben Einschränkung wie in der vorhergehenden Klasse.

Klasse IV umfasste die sehr hellgelben, am Hals behaarten, geschmeidigen und biegsamen Nährwurzeln. Ihre Dicke variierte von 0.3—0.7 mm.

Verzweigungen waren im allgemeinen zahlreich vorhanden, obwohl beträchtliche Schwankungen zu beobachten waren. Die Wurzeln sassen am eigentlichen Wurzelbüschel oberhalb der der vorhergehenden Klasse.

Der Querschnitt der Wurzeln war ähnlich wie bei dem entsprechenden Roggen.

Zu Klasse V gehörten die hellen, dickhalsigen (0.8—2.0 mm), am Halse dicht behaarten und steifen Wurzeln. Die Länge des steifen Teils variierte zwischen 1 und 4 cm. Die Verzweigung war sehr wechselnd, die einen Wurzeln hatten zahlreiche, andere ganz wenig oder fast gar keine Zweige, und sie befanden sich fast ausnahmslos am weichen Teil der Wurzel, der dünner als der harte Teil (0.5—1.1 mm) war. Die Wurzelhaare banden die Bodenpartikelchen ausserordentlich fest um die Wurzel, weshalb die Erde nur sehr schwer von dieser entfernt werden konnte. Die Wurzeln sassen im Wurzelsystem oberhalb der der vorhergehenden Klassen. Sie hatten den Zweck, die Pflanze zu stützen. Der innere Bau der Wurzeln war von zweierlei Art: der der Nährstützwurzel und der der Stützwurzel. Im allgemeinen befanden sich die letzteren oberhalb der ersteren. Die Wurzeln dieser Klasse waren also, obwohl sie sich im Äussern glichen, Nährstütz- und Stützwurzeln.

Zu Klasse VI wurden die ganz über dem Erdboden befindlichen, in der Farbe sehr wechselnden (grüne, grünlich gelbe, gelbe usw.) und dicken Wurzeln gezählt, die das eigentliche Wurzelbüschel und über der Bodenoberfläche einen oder mehrere »Wurzelkränze« bildeten. Sie waren am Hals sehr dick (1.0—2.4 mm), wurden aber sehr rasch dünner. Die Länge der Wurzeln schwankte noch mehr (0.3—15 cm), und zwar sassen die kürzesten ausnahmslos zu oberst. Nur sehr wenig Wurzeln dieser Klasse reichten bis in den Boden.

Der Querschnitt der Wurzeln war ein ähnlicher wie bei der gewöhnlichen Stützwurzel.

Die folgenden Zahlen beleuchten die Verteilung der Wurzeln auf die verschiedenen Wurzelklassen:

| Weizensorte | Zahl der Individuen | Durchschnittliche Wurzelzahl in den verschiedenen Wurzelklassen pro Individuum | | | | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|-------------|---------------------|--|-----|------|------|------|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | |
| Thule II | 8 | 1.2 | 0.3 | 7.4 | 6.5 | 19.6 | 10.6 | 45.6 |
| % | | 2.6 | 0.7 | 16.2 | 14.3 | 43.0 | 23.2 | 100.0 |
| Svea | 8 | 1.6 | 2.1 | 9.1 | 6.1 | 14.5 | 9.5 | 42.9 |
| % | | 3.7 | 4.9 | 21.2 | 14.2 | 33.8 | 22.2 | 100.0 |

| Weizensorte | Zahl der Individuen | Durchschnittliche Wurzelzahl in den verschiedenen Wurzelklassen pro Individuum | | | | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|---------------|---------------------|--|-----|------|------|------|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | |
| Ostfinnischer | 8 | 1.5 | 2.5 | 7.0 | 7.3 | 13.1 | 4.6 | 36.0 |
| % | | 4.2 | 6.9 | 19.4 | 20.3 | 36.4 | 12.8 | 100.0 |
| Baur | 9 | 2.0 | 2.1 | 8.1 | 5.0 | 11.0 | 5.3 | 33.5 |
| % | | 6.0 | 6.3 | 24.2 | 14.9 | 32.8 | 15.8 | 100.0 |
| Bore | 9 | 1.9 | 1.3 | 8.6 | 6.1 | 11.2 | 8.4 | 37.5 |
| % | | 5.1 | 3.5 | 22.9 | 16.3 | 29.9 | 22.4 | 100.0 |

Wie aus den obigen Ziffern ersichtlich wird, bilden die Klassen V und VI, also die Nährstütz- und Stützwurzeln, reichlich die Hälfte sämtlicher Wurzeln.

3. Weizensorten: Thule II, Svea, Ostfinnischer, Baur und Bore. Gesät am 15. VIII. 1926. Untersucht am 8.—12. VIII. 1927. Weizen reif.

Die folgende Tabelle zeigt die Zahl und Beschaffenheit der untersuchten Individuen:

| Weizensorte | Untersuchte Individuen | Stärke der Individuen | Durchschnittliche Halmzahl pro Individuum | Durchschnittliche Wurzelzahl pro Individuum |
|---------------|------------------------|-----------------------|---|---|
| | | 0.5 | | |
| Thule II | 6 | 5.0 | 5.2 | 46.6 |
| Svea | 6 | 5.0 | 4.2 | 40.8 |
| Ostfinnischer | 6 | 5.0 | 3.2 | 31.6 |
| Baur | 6 | 5.0 | 1.8 | 35.9 |
| Bore | 6 | 5.0 | 3.7 | 36.8 |

Wie die Ziffern erkennen lassen, steht die Zahl der Wurzeln pro Individuum in geradem Verhältnis zur Zahl der Halme.

Ihrem Äußern nach waren die Wurzeln im allgemeinen ähnlich wie die Wurzeln des Roggens der entsprechenden Zeit, weshalb die gleiche Klassifikation auch völlig auf den Weizen anwendbar ist. Hiernach verteilten sich die Wurzeln wie folgt (vgl. Figur 10):

Zu Klasse I wurden die ganz dünnen, dunkelbraunen, unverzweigten, elastischen Keimwurzeln gerechnet, die schon früher abgestorben waren. Sie sassen am untersten Teil des Wurzelsystems.

Der Querschnitt der Wurzeln war von derselben Art wie bei der gewöhnlichen Keimwurzel, aber er zeigte Fäulnis (vgl. Tafel V, Abb. 1.).

Zu Klasse II gehörten die dünnen (0.1—0.3 mm), bräunlich gelben, ziemlich unverzweigten, gleichmässig dicken, abgestorbenen Nährwurzeln, die elastisch steif waren. Sie waren oberhalb der vorhergehenden Wurzeln angeheftet.

Der innere Bau war der der Nährwurzel, wobei jedoch der Rindenteil im allgemeinen vollständiger vom Zentralzylinder abgelöst war (vgl. Tafel V, Abb. 2—5).

Klasse III umfasste die Nährwurzeln, die sehr verzweigt, gleichmässig dick, gelb und teilweise abgestorben waren. Sie sassen im Wurzelsystem oberhalb der vorhergehenden Wurzeln.

Der innere Bau war der gleiche wie in der vorhergehenden Klasse (vgl. Tafel V, Abb. 6—10).

Zu Klasse IV wurden die an der Basis dicken und weiter unten verzweigten Nährstützwurzeln gezählt. Der dickere Basalteil war kurz (0.5—1.5 cm). Die Farbe der Wurzeln war gelb, und namentlich der Basalteil war dicht behaart. Die Wurzel war im allgemeinen geschmeidig ausser dem verdickten Basalteil, der steif war.

Die Wurzeln befanden sich oberhalb der vorhergehenden.

Der innere Bau war der gleiche wie bei den Nährstützwurzeln (vgl. Tafel V, Abb. 11—16).

Zu Klasse V gehörten die verhältnismässig weit (2—7 cm) dickhalsigen Wurzeln, die ihrer ganzen Länge nach mit Haaren bedeckt waren. Weiter unten wurde die Wurzel dünner, verzweigte sich und war biegsam. Die Dicke variierte am Basalteil von 0.7—1.4 mm und weiter unten von 0.5—1.0 mm. Die Wurzeln sassen im Wurzelsystem oberhalb der vorhergehenden.

Der innere Bau war im allgemeinen derselbe wie bei den Stützwurzeln (vgl. Tafel V, Abb. 17—21), nur einige wiesen den Querschnitt der Nährstützwurzeln auf.

Zu Klasse VI wurden die Stützwurzeln gerechnet, die sich entweder ganz oder teilweise über der Erdoberfläche befanden, welcher Teil je nach den Lichtverhältnissen grünlich gelb oder anders gefärbt war. Die Wurzel war fast ganz steif. Es waren zwei Formen zu unterscheiden: kurze Wurzeln (VI b), bei denen der im Boden steckende Teil zahlreiche Zweige hatte, und ziemlich unverzweigte (VI a). Der unterirdische Teil der Wurzel war dicht behaart. Manche Wurzeln, die an den Stengelknoten oberhalb des eigentlichen Wurzelbüschels sassen, erstreckten sich oft nicht bis zum Boden.

Der Querschnitt war ähnlich wie bei den Stützwurzeln.

Die folgenden Zahlen geben die Verteilung der Wurzeln auf die verschiedenen Wurzelklassen wieder:

| Weizensorte | Zahl der Individuen | Durchschnittliche Zahl der Wurzeln in den verschiedenen Klassen | | | | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum | |
|---------------|---------------------|---|-----|------|------|------|------|----------------------------------|-------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | | |
| | | b | | | a | | | | |
| Thule II | 6 | 2.7 | 2.7 | 4.3 | 5.7 | 21.2 | 3.5 | 6.5 | 46.6 |
| % | | 5.8 | 5.8 | 9.2 | 12.2 | 45.5 | 7.5 | 14.0 | 100.0 |
| Svea | 6 | 1.8 | 3.0 | 5.2 | 6.0 | 14.2 | 5.3 | 5.3 | 40.8 |
| % | | 4.4 | 7.4 | 12.7 | 14.7 | 38.8 | 13.0 | 13.0 | 100.0 |
| Ostfinnischer | 6 | 1.7 | 2.5 | 6.2 | 5.2 | 9.8 | 4.2 | 2.0 | 31.6 |
| % | | 5.4 | 7.9 | 19.6 | 16.5 | 31.0 | 13.3 | 6.3 | 100.0 |
| Baur | 6 | 2.5 | 5.3 | 6.3 | 4.3 | 12.5 | 3.5 | 3.5 | 35.0 |
| % | | 7.0 | 9.2 | 17.6 | 12.0 | 34.8 | 9.7 | 9.7 | 100.0 |
| Bore | 6 | 1.8 | 2.5 | 2.5 | 4.3 | 13.2 | 8.5 | 4.0 | 36.8 |
| % | | 4.6 | 6.8 | 6.8 | 11.7 | 35.8 | 23.1 | 10.9 | 100.0 |

Von den Wurzeln gehörte bedeutend mehr als die Hälfte zu den zwei letzten Klassen.

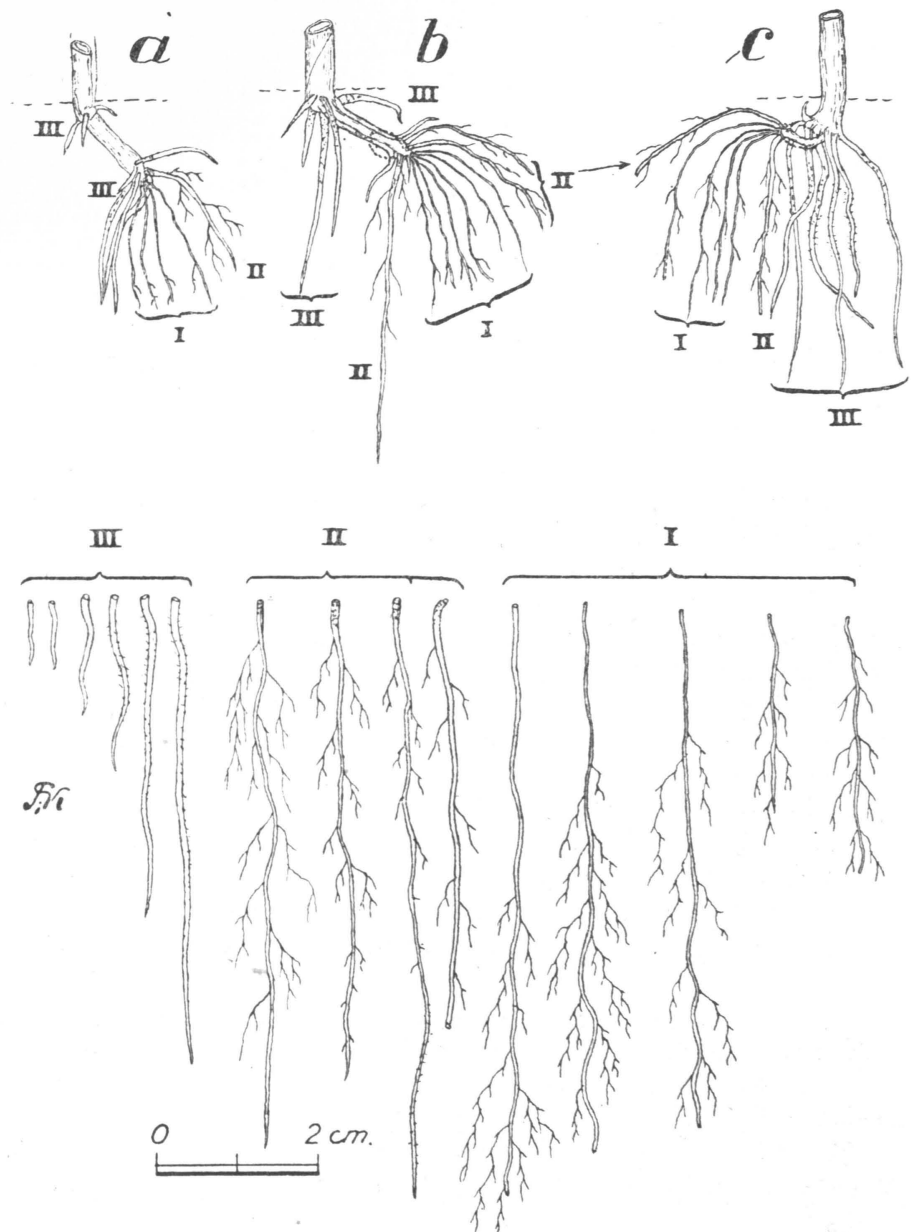
c. Die Gerste.

Für die Untersuchung der Wurzeln der Gerste wurden im Botanischen Garten der Universität, wie schon früher auseinandergesetzt worden ist, folgende Sorten gesät: Olli-Gerste, Halikko-Gerste, Vega-Gerste und Goldgerste, die alle am 5. VI. 1927 gesät wurden. Da gewisse Hindernisse eintraten, konnten die Wurzeln erst Anfang Juli untersucht werden, wo der Halm fast schon sein volles Mass erreicht hatte.

1. Olli-, Halikko-, Vega- und Goldgerste. Gesät am 5. VI. 1927. Untersucht am 6. XI. 1927. Wachstum ausserordentlich üppig, Ähre in Bildung begriffen, Halm etwa 40 cm lang.

Die folgenden Ziffern geben die Beschaffenheit und Zahl der untersuchten Individuen an:

| Gerstensorte | Untersuchte Individuen | Durchschnittliche | | |
|----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|----------|
| | | Halmzahl pro Individuum | Wurzelzahl pro Individuum | pro Halm |
| Olli-Gerste | 15 | 1.0 | 15.2 | 15.2 |
| Halikko-Gerste | 15 | 2.3 | 14.9 | 6.5 |
| Vega-Gerste | 15 | 1.3 | 16.9 | 13.0 |
| Goldgerste | 15 | 2.7 | 17.7 | 6.6 |



Figur 12. Wurzelsysteme und Wurzeln der Vega-Gerste am 4. VII. 1927. Gesät am 5. VI. 1927. Gerste ziemlich gleich lang, beginnt Ähren anzusetzen. — a normales Wurzelsystem, in dem die Stützwurzeln ein Nebenbüschel nahe am Erdboden bilden, — b zweibüscheliges Wurzelsystem, — c zweibüscheliges Wurzelsystem. Klasse I: grösstenteils Keimwurzeln und ausserdem einige Nährwurzeln. — Klasse II: Nährstützwurzeln. — Klasse III: Stützwurzeln.

Nach dem Äussern können die Wurzeln in drei Klassen gruppiert werden (vgl. Figur 12):

Zu Klasse I gehörten die dünnen, gelblichen und nicht mit Wurzelhaaren versehenen Wurzeln. Ihre Länge betrug 3—18 cm und ihre Dicke 0.1—0.3 mm. Die Wurzeln sassen ganz nahe bei dem Samen und waren mithin Keimwurzeln. In ihrem Querschnitt waren sie ähnlich wie die entsprechenden Wurzeln des Roggens und Weizens.

Die zu Klasse II gehörenden Wurzeln waren im allgemeinen hell ausser am Hals, der gelblich, oft behaart und steif und bedeutend dicker als der untere Teil der Wurzel war. Die Länge der Wurzeln variierte von 3—12 cm und ihre Dicke von 0.4—0.7 mm. Die Wurzeln sassen oberhalb der vorhergehenden. Der Querschnitt ihres steifen Basalteils erinnerte sehr an den der Nährstützwurzeln des Roggens. Nur der Zentralzylinder der Wurzel zeigte einen schwächeren Bau. Der Querschnitt des weichen Teils der Wurzel stimmte mit dem der Nährwurzeln des Roggens überein. Demnach entsprechen diese Wurzeln völlig den Nährstützwurzeln des Roggens.

Die zu Klasse III gerechneten Wurzeln waren hell. Ihr Basalteil war steif. Die weiter unten längeren Wurzeln waren geschmeidig. Der steife Basalteil der Wurzeln war sehr behaart; bei den längeren erstreckte sich die Behaarung auch auf den weichen Teil. Die Spitze der Wurzel war im allgemeinen weithin unbehaart. Die Länge der Wurzeln variierte, vor allem je nach dem Alter, von 0.3—10.0 cm und die Dicke von 0.5—0.8 mm. Die Wurzeln sassen weiter oben als die vorhergehenden, zwischen dem ersten und zweiten Knoten des Halmes. Diese Wurzeln hatten keine Verzweigungen. Ihrem Querschnitt nach stimmten sie völlig mit den Stützwurzeln des Roggens und Weizens überein.

Die folgende Tabelle veranschaulicht die Verteilung der Wurzeln der untersuchten Individuen auf die verschiedenen Wurzelklassen:

| Gerstensorte | Untersuchte Individuen | Durchschnittliche Wurzelzahl der Individuen in den verschiedenen Klassen | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|----------------|------------------------|--|------|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | |
| | | Olli-Gerste | 15 | 5.1 | |
| % | | 33.5 | 34.9 | 31.6 | 100.0 |
| Halikko-Gerste | 15 | 5.5 | 5.7 | 3.7 | 14.9 |
| % | | 36.9 | 38.3 | 24.8 | 100.0 |
| Vega-Gerste | 15 | 5.7 | 5.7 | 5.5 | 16.9 |
| % | | 33.7 | 33.7 | 32.6 | 100.0 |
| Goldgerste | 15 | 6.1 | 6.0 | 5.6 | 17.7 |
| % | | 34.5 | 33.9 | 31.6 | 100.0 |

Wie die vorstehenden Ziffern zeigen, verteilen sich die Wurzeln ziemlich gleichmässig auf die verschiedenen Wurzelklassen.

2. Olli-, Halikko-, Vega- und Goldgerste. Gesät am 5. VI. 1927. Untersucht am 19. VII. 1927. Ausserordentlich üppig, Körner schon voll entwickelt. Die folgenden Zahlen geben die Menge und Beschaffenheit der untersuchten Individuen an:

| Gerstensorte | Untersuchte Individuen | Durchschnittliche Wurzelzahl | | |
|----------------|------------------------|------------------------------|----------------|----------|
| | | Halmzahl pro Individuum | pro Individuum | pro Halm |
| Olli-Gerste | 10 | 1.4 | 17.0 | 12.1 |
| Halikko-Gerste | 10 | 2.1 | 18.9 | 9.0 |
| Vega-Gerste | 10 | 1.4 | 20.1 | 14.4 |
| Goldgerste | 10 | 2.2 | 20.2 | 9.2 |

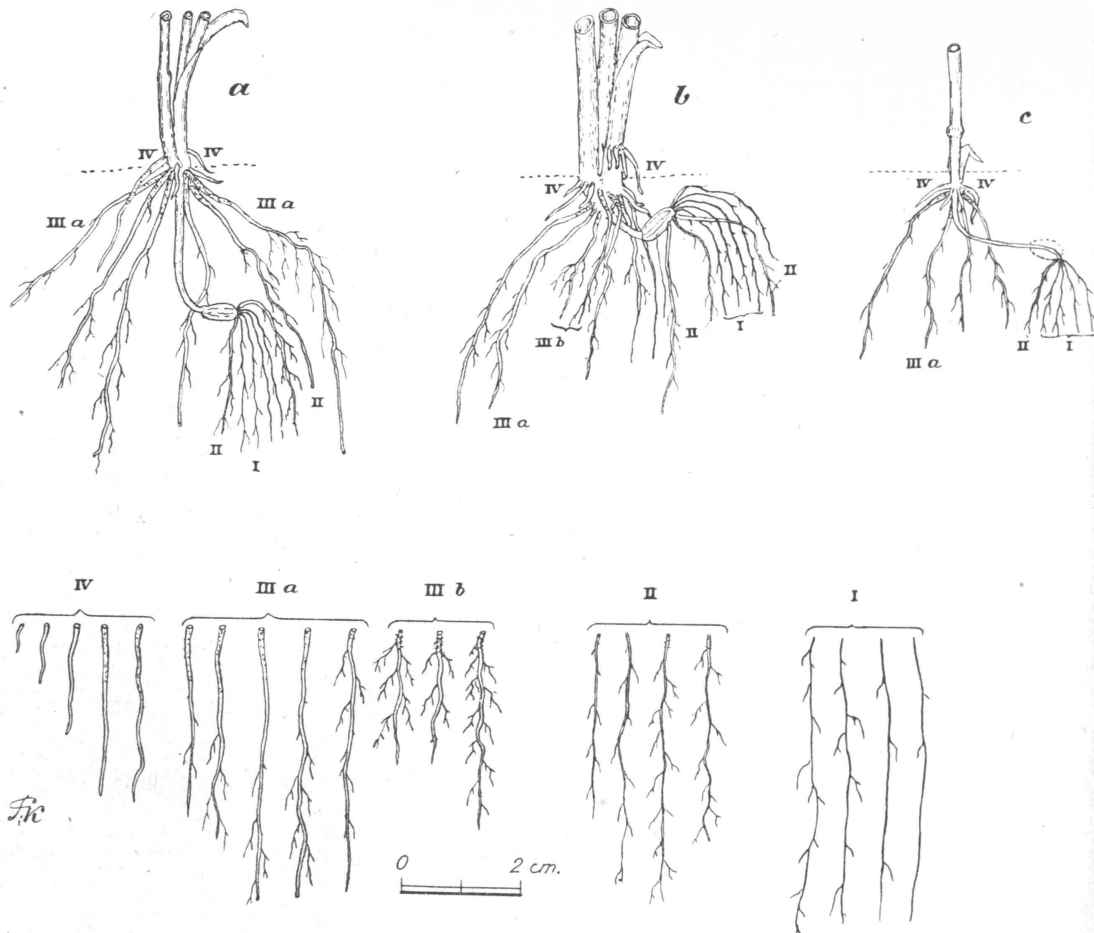
Im Verhältnis zu den am Anfang des Monats erhaltenen Ziffern hatte die Wurzelzahl pro Individuum zugenommen, doch nicht besonders stark.

Nach dem Äussern konnten die Wurzeln in ganz ähnliche Klassen wie am Anfang des Monats eingeteilt werden. Im allgemeinen erschienen die Wurzeln etwas dünner, was hauptsächlich von der Schrumpfung ihres Rindenteils herrührte. Die folgende Tabelle zeigt, wie sich die Wurzeln auf die verschiedenen Wurzelklassen verteilen:

| Gerstensorte | Zahl der untersuchten Individuen | Durchschnittl. Wurzelzahl in den verschiedenen Wurzelklassen pro Individuum | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|----------------|----------------------------------|---|------|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | |
| Olli-Gerste | 10 | 4.9 | 5.4 | 6.7 | 17.0 |
| % | | 28.8 | 31.8 | 39.4 | 100.0 |
| Halikko-Gerste | 10 | 5.2 | 6.2 | 7.5 | 18.9 |
| % | | 27.5 | 31.8 | 39.7 | 100.0 |
| Vega-Gerste | 10 | 5.1 | 6.4 | 8.6 | 20.1 |
| % | | 25.4 | 32.8 | 42.8 | 100.0 |
| Goldgerste | 10 | 5.4 | 6.0 | 8.8 | 30.2 |
| % | | 26.7 | 29.7 | 43.6 | 100.0 |

Wie man erwarten darf, hat sich nur ein Drittel der Wurzeln vermehrt, und zwar durchschnittlich um ca. 50 %, so dass die Wurzeln dieser Klasse den Wasser- und Nährstofftransport besorgen.

3. Olli-, Halikko-, Vega- und Goldgerste. Gesät am 5. VI. 1927. Untersucht am 2. VIII. 1927. Ausserordentlich üppig, völlig ausgereift. Gelb gefärbt. Auf Grund des Äussern konnten die Wurzeln folgendermassen klassifiziert werden (Figur 13):



Figur 13. Wurzelsysteme und Wurzeln der Olli-Gerste am 2. VIII. 1927. Gesät am 5. VI. 1927. Gerste vollreif.

a zweibüscheliges Wurzelsystem, in dem die über der Bodenoberfläche entstandenen Stützwurzeln ein Nebenbüschel bilden, — b zweibüscheliges Wurzelsystem, in dem die Stützwurzeln wie in dem vorhergehenden Fall ein Nebenbüschel über der Bodenoberfläche bilden, — c zweibüscheliges Wurzelsystem.

Klasse I: Keimwurzeln, darunter einige Nährwurzeln. — Klasse II: Nährwurzeln. — Klasse III a: wenig verzweigte Stütz- und Nährstützwurzeln. — Klasse III b: stark verzweigte und kurze Stütz- und Nährstützwurzeln. — Klasse IV: vorzugsweise über der Bodenoberfläche gebildete Stützwurzeln.

Die zu Klasse I gehörenden Wurzeln waren Keimwurzeln, sehr dünn, gleichmässig dick oder dünnhalsig, gelblich und fast nackt. Dicke 0.1—0.4 mm und Länge 6—20 cm. Es waren ihrer bei einem Individuum gewöhnlich 4 und zuweilen 5—6 vorhanden. Die Verzweigung der Wurzeln war im allgemeinen gering, aber bei einigen Individuen wurden zahlreiche Zweige angetroffen, die verhältnismässig geschmeidig waren. Ihrem Querschnitt nach waren die Wurzeln den Keimwurzeln des Roggens ähnlich (vgl. Tafel VI, Abb. 1—4). Ihre Lage war zu unterst im Wurzelsystem. Oft trennte ein »unterirdischer Stamm«, der bei einigen Individuen ein- oder zweiknotig war, die Keimwurzeln vom eigentlichen Wurzelsystem.

Zu Klasse II gehörten die dickhalsigen und weiter unten relativ dünnen Wurzeln, die stark verzweigt waren. Die Dicke der Wurzeln betrug am Basalteil 0.5—0.7 mm und weiter unten 0.2—0.4 mm. Ihre Länge schwankte zwischen 5 und 15 cm. Der dickere Basalteil war steif und behaart. Die Wurzeln sasssen weiter oben als die der vorhergehenden Klasse, einige ganz unmittelbar bei den Keimwurzeln auch in solchen Wurzelsystemen, die einen Wurzelstamm und darin mehrere Knoten hatten. — In ihrem inneren Bau stimmten die Wurzeln mit denen von Klasse II des vorhergehenden Beispiels überein.

Die Wurzeln der Klasse III waren dickhalsig, verzweigt und hell. Fast durchgehends waren sie behaart, und zwar wenigstens der Basalteil sehr stark. Die Dicke der Wurzeln variierte von 0.4—1.0 mm. Der Basalteil war steif und die Wurzel weiter unten biegsam. Die Wurzeln waren hell. In dieser Klasse wurden zwei Wurzeltypen unterschieden: die Wurzeln der Klasse III a waren relativ lang (3—8 cm), der unverzweigte Basalteil ziemlich lang und auch weiter unten mit wenig Wurzelzweigen versehen, die Wurzeln der Klasse III b waren kurz (1.5—4 cm) und der Basalteil sehr kurz, dicht behaart und unten dicht verzweigt. Die Wurzeln sasssen oberhalb der vorhergehenden. Ihrem Querschnitt nach verhielten sich die Wurzeln der Klasse teils wie Nährstützwurzeln, teils wie Stützwurzeln (vgl. Tafel VI, Abb. 5—7).

Zu Klasse IV gehörten kurze, sehr helle, dickhalsige, unverzweigte Wurzeln, deren behaarter Basalteil steif war. Ihre Länge variierte je nach dem Alter der Wurzel zwischen 0.5 und 5 cm und ihre Dicke zwischen 0.4 und 1.0 mm. Die Wurzeln dieser Klasse waren im Wurzelsystem immer zu oberst angeheftet, und die kürzesten Wurzeln befanden sich stets ganz oben. Bei gewissen Individuen traten kurze Wurzeln zahlreich auch über der Bodenoberfläche auf, wobei ihre Farbe grüngelblich war. In bezug auf ihren Querschnitt waren sie von der Art der Stützwurzel (vgl. Tafel VI, Abb. 8—9).

Die folgende Tabelle veranschaulicht die Verteilung der Wurzeln auf die verschiedenen Wurzelklassen:

| Gerstensorte | Zahl der untersuchten Individuen | Durchschnittliche Wurzelzahl in den verschiedenen Wurzelklassen pro Individuum | | | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|----------------|----------------------------------|--|------|------|------|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | IV | | |
| | | | | | b | a | |
| Olli-Gerste | 10 | 4.9 | 4.9 | 2.2 | 5.9 | 4.4 | 22.3 |
| % | | 22.0 | 22.0 | 9.9 | 26.4 | 19.7 | 100.0 |
| Halikko-Gerste | 10 | 4.8 | 5.0 | 2.3 | 5.7 | 4.6 | 22.4 |
| % | | 21.4 | 22.3 | 10.3 | 25.5 | 20.5 | 100.0 |
| Vega-Gerste | 10 | 4.9 | 4.7 | 2.9 | 5.4 | 3.9 | 21.8 |
| % | | 22.5 | 21.5 | 13.3 | 24.8 | 17.9 | 100.0 |
| Goldgerste | 10 | 4.8 | 4.7 | 2.0 | 6.1 | 5.1 | 22.7 |
| % | | 21.2 | 20.7 | 8.8 | 27.8 | 22.5 | 100.0 |

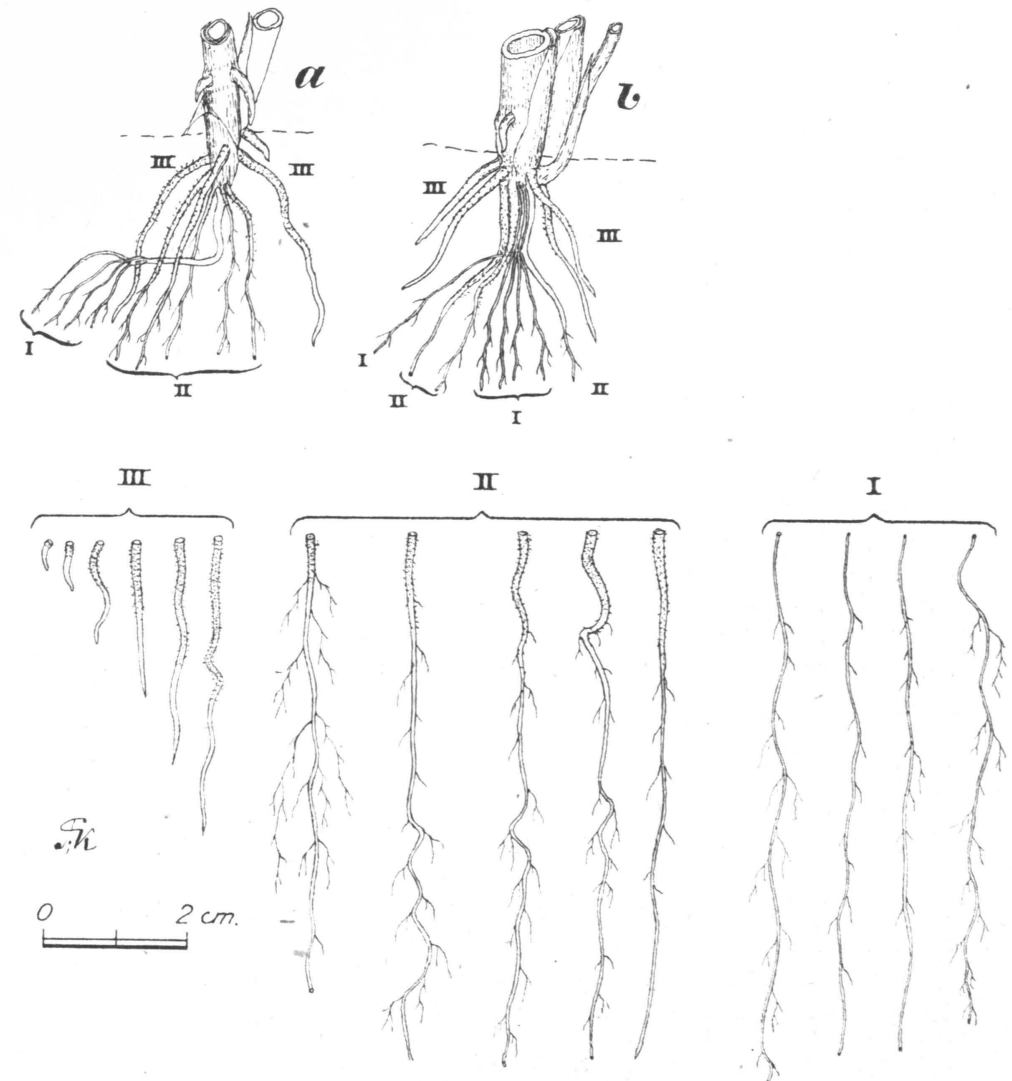
Von den Wurzeln der reifen Gerste bilden die der zwei zuletzt genannten Klassen etwas mehr als die Hälfte. Vergleicht man die Ziffern der Tabelle mit den in der früheren Periode gefundenen Zahlen, so findet man, dass die Zahlen für die Wurzeln der Klassen I, II und III einander ziemlich gut entsprechen; nur die Wurzeln der Klasse III vertreten ihrer Form nach zwei Typen. In der Wuchs- und Reifeperiode des Kornes des Getreides ist Klasse IV hinzugekommen, deren Wurzeln Stützwurzeln sind.

d. Der Hafer.

Für die Untersuchung der Wurzeln des Hafers wurden ebenfalls im Botanischen Garten der Universität, wie bereits bemerkt, folgende Sorten erzogen: Kytö-Hafer, Ylitornio-Hafer und Siegeshafer, die alle am 5. VI. 1927 gesät wurden. Infolge unvorhergesehener Umstände konnten die Wurzeln erst am 8. VII. 1927 untersucht werden, wo der Hafer fast sein volles Mass erreicht hatte.

1. Kytö-, Ylitornio- und Siegeshafer. Gesät am 5. VI. 1927. Untersucht am 8. und 11. VII. 1927. Der Hafer fing an, Rispen zu bilden, und war ausserordentlich üppig.

Aus dem Folgenden sind die Zahl und Beschaffenheit der untersuchten Individuen sowie die Zahl der Halme und Wurzeln zu ersehen:



Figur 14. Wurzelsysteme und Wurzeln des Kytö-Hafers am 8. VII. 1927. Gesät am 5. VI. 1927. Hafer zurzeit Ähren ansetzend.

a zweibüscheliges Wurzelsystem, in dem die Stützwurzeln Nebenbüschel bilden, b normales Wurzelsystem, in dem die Stützwurzeln Nebenbüschel über der Bodenoberfläche zu bilden anfangen.

Klasse I: teils Keimwurzeln, teils älteste Nährwurzeln. — Klasse II: hauptsächlich Nährstützwurzeln, darunter aber auch relativ zahlreiche Stützwurzeln, — Klasse III: Stützwurzeln, der grösste Teil der kürzeren über der Bodenoberfläche gebildet.

| Hafersorte | Zahl der untersuchten Individuen | Durchschnittliche Wurzelzahl | | |
|-----------------|----------------------------------|------------------------------|----------------|----------|
| | | Halmzahl pro Individuum | pro Individuum | pro Halm |
| Kytö-Hafer | 15 | 2.5 | 13.5 | 5.4 |
| Ylitornio-Hafer | 15 | 1.8 | 13.7 | 7.6 |
| Siegshafer | 15 | 2.3 | 16.1 | 7.0 |

Auf Grund des Äussern können die Wurzeln folgendermassen in drei Gruppen klassifiziert werden (Figur 14):

Zu Klasse I gehörten gelb gefärbte, am Halse nackte, geschmeidige Wurzeln von 5—25 cm Länge und 0.1—0.4 mm Dicke. Sie sassen im Wurzelsystem teils in der Nähe des Samens, teils etwas weiter oben, ja zuweilen an dem zunächst nach oben folgenden Knoten des Halms, so dass die einen von ihnen Keim- und die anderen Nährwurzeln darstellten. In bezug auf ihren Querschnitt verhielten sie sich wie die Wurzeln von Klasse I der Gerste.

Die Wurzeln der Klasse II waren gelb, am Halse behaart und dickhalsig sowie weiter unten relativ verzweigt; ausserdem war der behaarte Basalteil (0.5—1.7 cm) steif. Die Länge der Wurzeln betrug 5—20 cm, ihre Dicke am Basalteil 0.6—1.2 mm und weiter unten 0.3—0.5 mm. Sie sassen oberhalb der vorhergehenden Wurzeln. Ihrem Querschnitt nach stimmten sie mit den entsprechenden Wurzeln der Gerste überein.

Die Wurzeln der Klasse III waren sehr ungleich lang und hellgelb. Die ganze Wurzel ausser der Spitze war behaart und steif. Die Länge der Wurzeln variierte von 0.5—0.6 cm und die Dicke der Basis von 0.4—1.2 mm. Sie befanden sich im Wurzelsystem zu oberst, und zwar so, dass die kürzesten fast immer ganz hoch, ja über der Bodenoberfläche an den unteren Knoten angeheftet waren. Der Querschnitt der Wurzeln ist ähnlich wie bei den Stützwurzeln der Gerste.

Die folgende Tabelle gibt die Verteilung der Wurzeln der untersuchten Individuen auf die verschiedenen Wurzelklassen wieder:

| Hafersorte | Zahl der untersuchten Individuen | Durchschnittliche Wurzelzahl in den verschiedenen Wurzelklassen pro Individuum | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|-----------------|----------------------------------|--|------|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | |
| Kytö-Hafer | 15 | 4.9 | 4.0 | 4.6 | 13.5 |
| % | | 36.3 | 29.6 | 34.1 | 100.0 |
| Ylitornio-Hafer | 15 | 4.7 | 5.1 | 3.9 | 13.7 |
| % | | 34.3 | 37.2 | 28.5 | 100.0 |
| Siegshafer | 15 | 5.0 | 5.7 | 5.4 | 16.1 |
| % | | 31.0 | 35.4 | 33.6 | 100.0 |

Wie die Zahlen zu erkennen geben, treten in allen Wurzelklassen ungefähr gleich viel Wurzeln auf. Mit der gleichzeitigen Gerste verglichen ist die Zahl der Wurzeln beim Hafer geringer als bei der Gerste, aber die Verteilung auf die verschiedenen Klassen ist ziemlich dieselbe.

2. Kytö-, Ylitornio- und Siegeshafer. Gesät am 5. VI. 1927. Untersucht am 19. VII. 1927. Hafer ausserordentlich üppig. Korn ziemlich voll. Aus dem Folgenden werden die untersuchten Sorten sowie die Zahlen der Individuen und Wurzeln ersichtlich:

| Hafersorte | Zahl der untersuchten Individuen | Durchschnittliche Wurzelzahl | | |
|-----------------|----------------------------------|------------------------------|----------------|----------|
| | | Halmzahl pro Individuum | pro Individuum | pro Halm |
| Kytö-Hafer | 10 | 2.3 | 15.5 | 6.5 |
| Ylitornio-Hafer | 10 | 1.8 | 14.7 | 8.2 |
| Siegshafer | 10 | 2.8 | 18.2 | 6.5 |

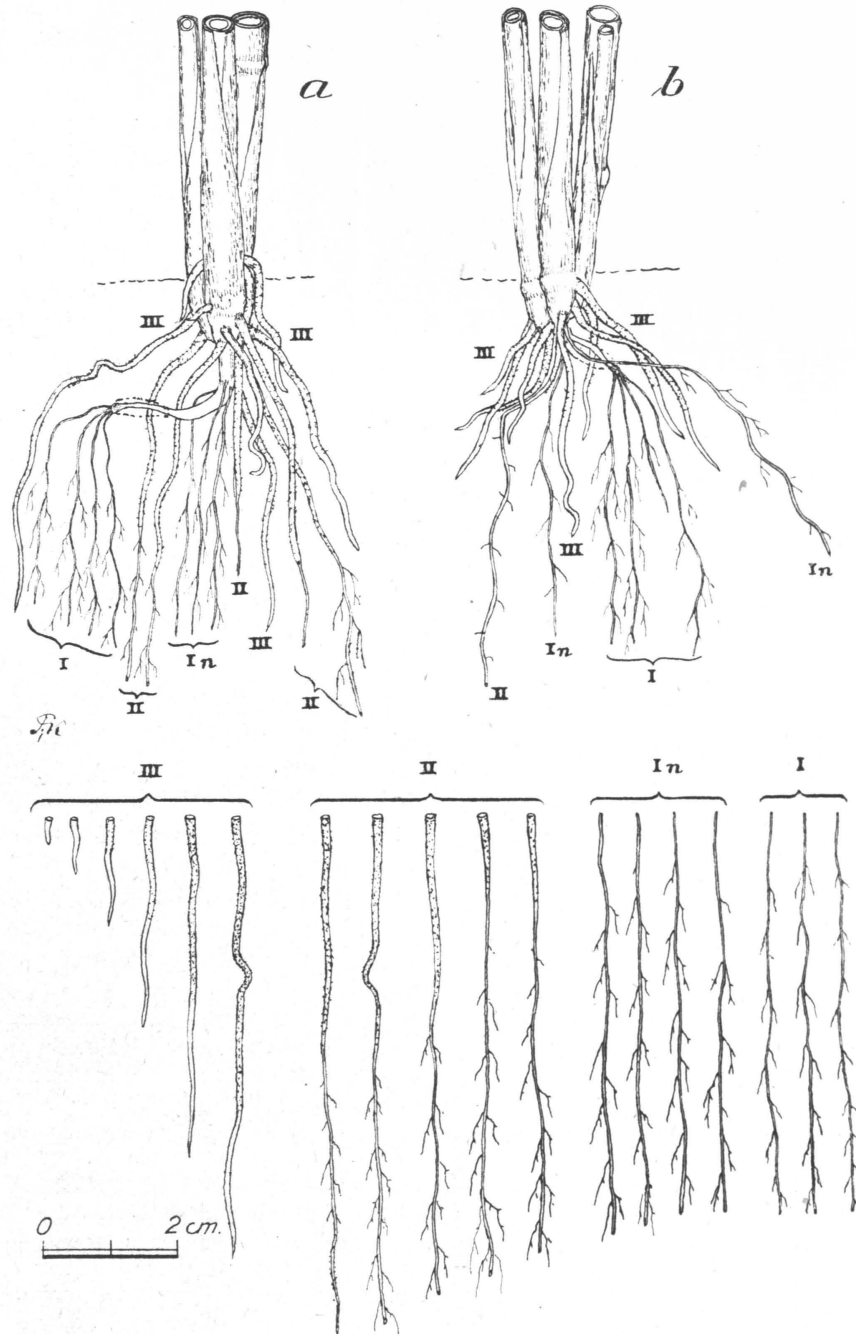
Hinsichtlich des Äussern konnten die Wurzeln in dieselben Klassen wie am 11. VII. eingeteilt werden. Doch war ziemlich deutlich zu bemerken, dass sich die früher zu derselben Klasse gerechneten Nähr- und Keimwurzeln jetzt schon in der Farbe und Verzweigung voneinander unterschieden (vgl. Figur 15). Sie werden indessen im Folgenden mit den Keimwurzeln zusammengefasst, weil sie untereinander gleich aussehen.

Die folgende Tabelle veranschaulicht die Verteilung der Wurzeln der untersuchten Individuen auf die verschiedenen Klassen:

| Hafersorte | Zahl der untersuchten Individuen | Durchschnittliche Wurzelzahl in den verschiedenen Wurzelklassen pro Individuum | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|-----------------|----------------------------------|--|------|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | |
| Kytö-Hafer | 10 | 5.1 | 4.8 | 5.6 | 15.5 |
| % | | 32.9 | 31.0 | 36.1 | 100.0 |
| Ylitornio-Hafer | 10 | 4.6 | 5.9 | 4.2 | 14.7 |
| % | | 31.3 | 40.1 | 28.6 | 100.0 |
| Siegshafer | 10 | 4.6 | 6.4 | 7.2 | 18.2 |
| % | | 25.3 | 35.2 | 39.5 | 100.0 |

Im Vergleich mit der Zahl der Wurzeln der vorhergehenden Untersuchungszeit hat besonders die letzte Gruppe zugenommen.

Von den Wurzelsystemen wurden alle drei Formen angetroffen.



Figur 15. Wurzelsysteme des Kytö-Hafers am 19. VII. 1927. Gesät am 5. VI. 1927. Hafer von voller Länge. Zurzeit in Blüte stehend.
 a mehrbüscheliges Wurzelsystem, in dem die Stützwurzeln über der Bodenoberfläche ein Büschel gebildet haben, — b zweibüscheliges Wurzelsystem, in dem die Stützwurzeln in der Nähe der Bodenoberfläche ein Nebenbüschel zu bilden anfangen.
 Klasse I: Keimwurzeln. — Klasse Ia: Nährwurzeln. — Klasse II: teilweise Nährstützwurzeln und Stützwurzeln. — Klasse III: Stützwurzeln, von denen sich ein Teil über der Bodenoberfläche gebildet hat.

3. Kytö- und Siegeshafer. Gesät am 5. VI. 1927. Untersucht am 8. VIII. 1927. Hafer vollständig reif. Aus dem Folgenden sind die untersuchten Sorten und die Zahlen der Individuen und Wurzeln zu ersehen:

| Hafersorte | Zahl der | Durchschnittliche | |
|-------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | untersuchten Individuen | Halmzahl pro Individuum | Wurzelzahl pro Individuum |
| Kytö-Hafer | 10 | 2.2 | 20.2 |
| Siegeshafer | 10 | 2.6 | 21.8 |

Auf Grund des Äussern konnten die Wurzeln folgendermassen klassifiziert werden:

Die Wurzeln der Klasse I waren sehr dünn (0.1—0.2 mm), gleichmässig dick und fast nackt. Ihre Verzweigung war im allgemeinen gering. Die Farbe der Wurzeln war etwas dunkelgelb. Sie waren im allgemeinen elastisch biegsam. Ihrem Querschnitt nach glichen sie den früher beschriebenen Keimwurzeln (vgl. Tafel VII, Abb. 1—2). Im Wurzelsystem waren sie teils ganz unten (die Keimwurzeln), teils ganz oben (die Nährwurzeln) befestigt. Ihre Zahl war in der Regel 5, mitunter 6—7. Die Wurzeln dieser Klasse entsprachen einem Teil der Klasse I der vorhergehenden Periode.

Zu Klasse II gehörten die dünnen (0.2—0.6 mm) gelblichen Nährwurzeln. Bei einigen von diesen war der Hals auf einer kurzen Strecke etwas verdickt. Die Verzweigung war ausserordentlich reichlich. Der verdickte Basalteil, der 0.2—0.4 cm lang war, war oft etwas steif. Der Querschnitt der Wurzeln war im allgemeinen ähnlich wie bei den Nährwurzeln ausser an dem steifen Basalteil, wo er sich wie bei den Nährstützwurzeln darstellte (vgl. Tafel VII, Abb. 3—5). Im Wurzelsystem befanden sich die Wurzeln dieser Klasse weiter oben als die Keimwurzeln.

Zu Klasse III wurden die steif- und dickhalsigen, weiter unten stark verzweigten Wurzeln gerechnet. Der dicke Basalteil, der eine dicke Haarbedeckung trug, war 1.0—3.0 cm lang und 0.6—1.2 mm dick und wurde nach der Spitze der Wurzel hin verhältnismässig rasch dünner. Unterhalb des steifen Teils befanden sich zahlreiche Seitenzweige, und diese Partie der Wurzel war biegsam und 0.2—0.5 mm dick. Die Färbung der Wurzeln war etwas gelblich. Die Wurzeln dieser Klasse sassens im Wurzelsystem weiter oben als die Wurzeln der vorhergehenden Klasse und nie an den Zwischenknoten des Wurzelstocks. — Der innere Bau der Wurzeln war ähnlich wie allgemein bei den Stützwurzeln (vgl. Tafel VII, Abb. 6).

Klasse IV umfasste die steifen, in bezug auf die Länge sehr variierenden (0.2—0.6 cm), hellen (gewisse oberirdische etwas grün) Wurzeln, welche dick waren (0.5—1.2 mm) und nach der Spitze hin schnell dünner wurden. Sie waren unverzweigt und an der Basis dicht behaart. Der über der Bodenoberfläche befindliche Teil der Wurzel war im allgemeinen nackt. Ihrem Querschnitt nach war die Wurzel der Stützwurzel der Gerste ähnlich. Die Wurzeln sassen zu oberst im Wurzelsystem, einige sogar über der Bodenoberfläche.

Die folgende Tabelle lässt die Verteilung der Wurzeln der untersuchten Individuen auf die verschiedenen Wurzelklassen erkennen:

| Hafersorte | Zahl der untersuchten Individuen | Durchschnittliche Wurzelzahl in den verschiedenen Wurzelklassen pro Individuum | | | | Insgesamt Wurzeln pro Individuum |
|------------|----------------------------------|--|------|------|------|----------------------------------|
| | | I | II | III | IV | |
| Kytö-Hafer | 10 | 4.6 | 4.2 | 7.1 | 20.2 | 20.2 |
| % | | 22.8 | 20.8 | 35.1 | 21.3 | 100.0 |
| Siegshafer | 10 | 4.4 | 4.3 | 7.9 | 5.2 | 21.8 |
| % | | 20.2 | 19.7 | 36.2 | 23.9 | 100.0 |

Wie die Ziffern zeigen, bilden während der Reifeperiode die Stütz- und Nährwurzeln den grössten Teil des Wurzelsystems.

2. Die Wurzelformen, ihr Bau, ihre Aufgabe und Lage im Wurzelsystem.

Aus dem obigen Material wird ersichtlich, dass die Wurzeln der Kulturpflanzen in vier Gruppen klassifiziert werden können:

1. die Keimwurzeln,
2. die Nährwurzeln,
3. die Nährstützwurzeln und
4. die Stützwurzeln.

Die Keimwurzeln sind sehr dünn (am Hals 0.10—0.25 mm), gleichmässig dick, und sie entstehen beim Keimen oder unmittelbar danach. Für ihren Bau ist ein relativ kräftiger Zentralzylinder charakteristisch, in dessen Mitte sich fast ausnahmslos nur ein grosses Gefäss befindet, so dass der Querschnitt der Wurzel durchweg gleichartig ist. Der Rindenteil der Wurzel ist anfangs ziemlich ebenso dick wie der Durchmesser des Zentral-

zylinders, aber infolge der durch den Boden verursachten Reibung verschmälert er sich bald. Nach der Überwinterung ist der Rindenteil beinahe ganz abgetragen. Im jungen Alter der Pflanze führen die Keimwurzeln dieser Nahrung und Wasser zu. Später, wenn sie grösser wird und der Nahrungsbedarf sich ebenfalls steigert und wenn sie zahlreiche andere Wurzeln entwickelt, die den Bedürfnissen der Pflanze entsprechen und den Verhältnissen der Wachstumsperiode angepasst sind, sterben die Keimwurzeln mehr oder weniger ab, beim Wintergetreide mehr als beim Sommergetreide. Die Zahl der Keimwurzeln beträgt beim Roggen 4, manchmal 5 und 6, beim Weizen 3, zuweilen 4 und 5, bei der Gerste 4—5 und beim Hafer 3—4, zuweilen 5.

Die Keimwurzeln befinden sich im Wurzelsystem zu unterst, ganz am unteren Ende des Stammes, in dem Teile des Wurzelsystems, der zuerst während der Keimung entstanden ist.

Die Nährwurzeln fangen an sich einige Zeit nach dem Keimen zu bilden und entstehen so lange, als der Halm noch nicht besonders lang ist. Sie sind weiche, schlaffe, gleichmässig dicke und ziemlich dicke (0.3—1.0 mm) Wurzeln, an denen viel Wurzelverzweigungen sitzen und die sehr lang sind (40—60 cm und sogar darüber). Der Hauptsache nach sind sie behaart, ausser in der Nähe der Wurzelspitze. Ihre Zahl wechselt in sehr hohem Grade, beim Wintergetreide können ihrer im Frühjahr 8—15 auftreten, beim Sommergetreide sind sie viel weniger zahlreich und sind zudem oft von ganz ähnlicher Beschaffenheit wie die Keimwurzeln, so dass nur die Stelle im Wurzelsystem angibt, dass eine Wurzel keine Keim-, sondern eine Nährwurzel ist. Beim Sommergetreide können sie, besonders in trockenen Wachstumsperioden, ganz fehlen. In sehr fetten und hinreichend frischen Böden kommen sie bei üppigem Wachstum verhältnismässig zahlreich vor. In ihrem Äussern wechseln die Nährwurzeln zu den verschiedenen Zeiten der Wachstumsperiode ziemlich stark, weshalb man von ihnen mehrere Klassen unterscheiden kann.

Der Bau der Nährwurzeln variiert während der verschiedenen Wachstumsperioden der Pflanzen ziemlich merkbar. Der Rindenteil einer jungen Nährwurzel ist bei allen Getreidepflanzen viel grösser als der Teil

des Zentralzylinders. Bei dem ausgereiften Getreide sind beide jedoch ziemlich gleich gross. Durch den Einfluss des Winters kann sich beim Wintergetreide der äussere Teil der Rinde von dem Zentralzylinder ablösen und eine Scheide um denselben bilden. Dieser abgelöste Teil verschwindet oft während der Wachstumsperiode, aber bei manchen Individuen kann er als lose Rindenscheide die ganze Wachstumsperiode hindurch erhalten bleiben. Ihrer Farbe nach ist die Rindenscheide im Lauf der Wachstumsperiode dunkelbraun und schliesslich fast schwarz geworden. Die Farbe der jungen Nährwurzeln ist hell, aber beim Älterwerden wird sie gelb, und am Ende der Reifezeit sind die Wurzeln dunkelbraun.

Auf den Querschnitten der Nährwurzeln des Roggens und Weizens und der dickeren Nährwurzeln der Gerste und des Hafers ist die Zahl der grossen Gefässe im Zentralzylinder der Wurzel gewöhnlich grösser als 3, und jedes von ihnen scheint gemeinschaftlich zu zwei Gefässteilen zu gehören.

Die grossen Gefässe des Zentralzylinders, die eigentlich den Pflanzen Wasser und Nährstoffe bringen, sind im Querschnitt gewöhnlich rund. Wo jedoch zwei Gefässe in eines zusammenschmelzen, ist der Querschnitt des Gefässe oval, halbmondförmig. Wenn die Gefässe sehr nahe beieinander liegen, sind die gegenüberliegenden Wände kantig (vgl. die verschiedenen Tafeln). Die grossen Gefässe sind im allgemeinen symmetrisch im Zentralzylinder placiert. Im Stammende der Wurzel gibt es oft Unregelmässigkeiten hinsichtlich der Lage und Grösse der Gefässe.

Die Zahl der grossen Gefässe des Zentralzylinders variiert bei den verschiedenen Wurzelformen. Bei den Keimwurzeln findet sich nur ein grosses Gefäss, bei den Nährwurzeln schwankt die Zahl der grossen Gefässe im Basalteil der Wurzel von 3—7. Nach der Krone der Wurzel hin nimmt die Zahl ab, und schliesslich ist nur ein Gefäss vorhanden. Wie früher hervorgehoben wurde, sind die grossen Gefässe des Zentralzylinders des Weizens, deren Durchmesser von 0.045—0.055, zuweilen bis 0.060 mm variiert, merkbar grösser als die des Roggens, bei dem ihr Durchmesser von 0.035—0.045, manchmal bis 0.050 mm schwankt. In welcher Weise sich die Querschnittfläche der grossen Gefässe von der Basis der Wurzel nach der Krone zu verändert, wird aus der folgenden Tabelle ersichtlich:

| Wurzelform und Nummer der Wurzel | Entfernung des Schnittes von der Basis der Wurzel cm | Zahl | Grosse Gefässe | | Anmerkungen |
|----------------------------------|--|------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| | | | Mittlerer Durchmesser mm | Querschnittfläche mm ² | |
| <i>Weizen:</i> | | | | | |
| Keimwurzel 1 | 0.3 | 1 | 0.060 | 0.00283 | |
| | 4.0 | 1 | 0.065 | 0.00332 | |
| | 8.0 | 1 | 0.072 | 0.00407 | |
| | 12.0 | 1 | 0.075 | 0.00442 | Nicht Krone der Wurzel |
| Nährwurzel 2 | 0.3 | 5 | 0.054 | 0.01145 | |
| | 4.0 | 4 | 0.068 | 0.01452 | |
| | 8.0 | 4 | 0.070 | 0.01540 | |
| | 12.0 | 4 | 0.074 | 0.01720 | |
| | 16.0 | 4 | 0.075 | 0.01768 | |
| | 21.0 | 2 | 0.099 | 0.01540 | Nicht Krone der Wurzel |
| Nährwurzel 3 | 0.3 | 7 | 0.053 | 0.01547 | |
| | 4.5 | 6 | 0.060 | 0.01698 | |
| | 8.5 | 4 | 0.079 | 0.01540 | |
| | 12.5 | 4 | 0.075 | 0.01768 | |
| | 16.0 | 3 | 0.086 | 0.01743 | |
| | 21.0 | 2 | 0.107 | 0.01799 | Nicht Krone der Wurzel |
| Nährwurzel 4 | 0.3 | 6 | 0.049 | 0.01134 | |
| | 4.0 | 6 | 0.059 | 0.01638 | |
| | 8.0 | 5 | 0.065 | 0.01710 | |
| | 14.0 | 2 | 0.103 | 0.01666 | Nicht Krone der Wurzel |
| Nährwurzel 5 | 0.3 | 4 | 0.045 | 0.00660 | Ganz junge Wurzel |
| | 3.0 | 4 | 0.048 | 0.00688 | |
| | 6.5 | 3 | 0.058 | 0.00588 | |
| | 10.0 | 2 | 0.075 | 0.00482 | Länge der Wurzel 10.5 cm |
| Nährwurzel 6 | 0.3 | 5 | 0.045 | 0.00815 | Ganz junge Wurzel |
| | 3.0 | 5 | 0.048 | 0.00860 | |
| | 6.5 | 4 | 0.056 | 0.00764 | |
| | 10.0 | 3 | 0.066 | 0.00648 | Länge der Wurzel 10.5 cm |

| Wurzelform und Nummer der Wurzel | Entfernung des Schnittes von der Basis der Wurzel cm | Grosse Gefässe | | Anmerkungen | |
|----------------------------------|--|----------------|--------------------------|-------------|------------------------------------|
| | | Zahl | Mittlerer Durchmesser mm | | Querschnittsfläche mm ² |
| <i>Roggen:</i> | | | | | |
| Keimwurzel 7 | 0.3 | 1 | 0.050 | 0.00196 | |
| | 5.0 | 1 | 0.067 | 0.00353 | |
| | 9.0 | 1 | 0.071 | 0.00396 | |
| | 14.0 | 1 | 0.073 | 0.00419 | Nicht Krone der Wurzel |
| Nährwurzel 8 | 0.3 | 4 | 0.041 | 0.00528 | |
| | 5.0 | 3 | 0.054 | 0.00687 | |
| | 9.0 | 2 | 0.065 | 0.00664 | |
| | 15.0 | 2 | 0.067 | 0.00706 | Nicht Krone der Wurzel |
| Nährwurzel 9 | 0.3 | 6 | 0.042 | 0.00834 | |
| | 4.0 | 4 | 0.056 | 0.00984 | |
| | 8.0 | 4 | 0.069 | 0.01496 | |
| | 15.0 | 4 | 0.074 | 0.01720 | |
| | 22.0 | 2 | 0.107 | 0.01798 | Nicht Krone der Wurzel |
| Nährwurzel 10 | 0.3 | 7 | 0.045 | 0.01113 | |
| | 4.5 | 6 | 0.056 | 0.01464 | |
| | 9.0 | 5 | 0.071 | 0.01980 | |
| | 14.0 | 4 | 0.077 | 0.01864 | |
| | 19.0 | 3 | 0.093 | 0.02088 | Nicht Krone der Wurzel |
| Nährwurzel 11 | 0.3 | 6 | 0.045 | 0.00954 | |
| | 4.5 | 5 | 0.062 | 0.01510 | |
| | 10.0 | 5 | 0.069 | 0.01870 | |
| | 14.0 | 4 | 0.075 | 0.01767 | |
| | 21.0 | 3 | 0.095 | 0.02127 | Nicht Krone der Wurzel |

Wie aus den obigen Ziffern hervorgeht, nimmt die zusammengerechnete Fläche der grossen Gefässe des Zentralzylinders besonders bei dem Roggen, aber auch bei dem Weizen von der Anheftungsstelle der Wurzel nach deren Krone hin, also abwärts, fast ausnahmsweise zu, obwohl sich die

Zahl vermindert. Ein solcher Bau ist bei dem Wassertransport aus dem Boden in die Pflanze ausserordentlich vorteilhaft, und dadurch wird bewiesen, dass die Keim- und Nährwurzeln die Aufgabe haben, Wasser und Nährstoffe aus dem Boden in die Pflanze zu schaffen. Die Zunahme der Kapillarerhebung¹, die durch die Verminderung des Durchmessers der grossen Gefässe verursacht wird, ist von der Spitze der Wurzel nach deren Basis hin mehrfach grösser als der Abstand der betreffenden Stellen voneinander. Bei den jungen Nährwurzeln ist die Fläche der grossen Gefässe im Kronenende im allgemeinen kleiner als an der Basis.

Die Nährwurzeln befinden sich oberhalb der Keimwurzeln, und zwar entweder ganz nahe bei denselben, wenn das Wurzelsystem einbüschelig ist, oder aber, wenn das Wurzelsystem mehrbüschelig ist, am untersten Büschel oberhalb der Keimwurzeln; an den anderen Büscheln treten sie zu unterst auf. Beim Roggen und Weizen kommen an den Zwischenbüscheln nur Nährwurzeln vor. Die bei dem Wintergetreide im Frühjahr ausgebildeten Nährwurzeln befinden sich immer an dem eigentlichen Wurzelsystem, wo stets zu unterst einige im Herbst gebildete Wurzeln vorhanden sind.

Nach dem Bau und der Lage sowie der Entwicklungszeit der Nährwurzeln zu schliessen, haben diese die Aufgabe, Wasser und Nährstoffe für das Wachsen und die Entwicklung in die Pflanze zu transportieren.

Die Nährstützwurzeln beginnen zu entstehen, sowie der Halm so lang wird, dass er einer Stütze bedarf. Sie bilden sich in dem eigentlichen Wurzelsystem oberhalb der Nährwurzeln aus. An ihrem Hals sind sie dick und dicht mit Wurzelhaaren besetzt, doch werden sie alsbald dünner, die Behaarung nimmt ab, und an den Wurzelverzweigungen sind fast gar keine Haare mehr zu sehen. Die älteren Nährstützwurzeln entwickeln sich zu beträchtlicher Länge (20—30 cm). Ihr Halsteil ist am oberen Ende 0.5—5.0 cm weit steif und stabförmig, der untere Teil dagegen weich und biegsam. Die Zahl der Wurzeln variiert stark (5—20 St.), und zwar sind sie bei dem Wintergetreide viel zahlreicher als bei dem Sommergetreide. Auf

¹ Die Kapillarerhebung findet man aus der Formel $h = \frac{15}{r}$, wo h = die Kapillarerhebung in Millimetern und r = die Kapillarröhrenweite in Millimetern bedeutet.

Grund des Äusseren lassen sich die älteren Nährstützwurzeln nicht von den Stützwurzeln unterscheiden. Die Farbe ist bei den jungen Nährstützwurzeln hell, bei den älteren gelb.

Der Querschnitt des steifen Teils der Wurzeln weicht von dem einer Nährwurzel nur darin ab, dass die peripheren Teile der Rinde der Wurzel aus Sklerenchymzellen gebildet sind, von denen die Steifheit und Stabförmigkeit der Wurzel herrührt; der Zentralzylinder der Wurzel ist von derselben Art wie bei den Nährwurzeln. Der Querschnitt des biegsamen Teils der Wurzeln zeigt das gleiche Bild wie bei den Nährwurzeln.

Bei den Nährstützwurzeln sind die Dimensionen der grossen Gefässe des Zentralzylinders ungefähr die gleichen wie bei den Nährwurzeln.

Die Nährstützwurzeln befinden sich im Wurzelsystem oberhalb der Nährwurzeln am obersten oder eigentlichen Wurzelbüschel. Beim Sommergetreide können einige auch an den unteren Wurzelbüscheln auftreten.

Mit Rücksicht auf ihre Entwicklungszeit und ihren Bau haben diese Wurzeln sowohl den Zweck, Wasser und Nahrung herbeizuschaffen als auch den Halm zu stützen.

Die Stützwurzeln sind im allgemeinen steif und dick und von ganz verschiedener Länge, von der ganz kurzen (0.1—0.2 cm), eben erst zu wachsen beginnenden Wurzel bis zur 10—15 cm langen. Ihre Dicke beträgt 1.0—2.5 mm, und ihre Steifheit ist bedeutend. Die Länge des steifen Teils variiert von ganz geringer Kürze bis zu 6 und sogar 8 cm, unterhalb desselben wird die Wurzel sehr schnell dünner und nimmt im Innern des Bodens einen ähnlichen Bau wie die Nährwurzeln an, ohne aber nur annähernd deren Mass zu erreichen. Die obersten Stützwurzeln, die verhältnismässig hoch über der Erdoberfläche an den unteren Knoten des Halmes sitzen können, erstrecken sich öfters nicht bis zum Boden, sondern bleiben häufig wie spornförmige Haken an dem Halme haften. Die Farbe der Stützwurzeln ist an dem Teil, der über der Erdoberfläche liegt, in manchen Fällen grün oder grünlich gelb, während der im Boden steckende Teil hell oder etwas hellgelb ist. Sowohl der weiche als der harte unter der Erdoberfläche befindliche Teil der Stützwurzeln ist reichlich mit Wurzelhaaren bedeckt, und ausserdem ist der weiche Teil oft stark verzweigt.

Die Entwicklung der Stützwurzeln beginnt beim Roggen gewöhnlich etwas vor der Bildung der Ähren, bei der Gerste und dem Hafer während des Erscheinens der Ähre und setzt sich unter günstigen Bedingungen bis zur Reifezeit des Getreides fort. Während das Getreide reift, verkümmern und schrumpfen die Stützwurzeln.

Der innere Bau der Stützwurzel weicht durchaus von dem der vorhergehenden Wurzelformen ab. Der Zentralzylinder ist nicht so kräftig und enthält im Verhältnis zur Fläche des Querschnitts keine so zahlreichen grossen Gefässe wie in den Nährwurzeln, so dass er hier relativ schwach aus-

Die Grösse und die Fläche der grossen Gefässe im Zentralzylinder der Stützwurzeln werden durch die folgenden Ziffern beleuchtet:

| Nummer der Wurzel | Entfernung des Schnittes von der Basis der Wurzel cm | | Grosse Gefässe Mittlerer Querschnitt. | | Anmerkungen |
|-------------------|--|----|---------------------------------------|------------------------|---|
| | Zahl | | Durchmesser mm | Fläche mm ² | |
| <i>Roggen:</i> | | | | | |
| 1 | 0.3 | 10 | 0.053 | 0.02123 | Die Basis der Wurzel (0—4cm) ist über der Erdoberfläche |
| | 5.0 | 6 | 0.032 | 0.00482 | |
| | 11.0 | 2 | 0.035 | 0.00192 | |
| | 15.5 | 2 | 0.022 | 0.00076 | |
| | 17.5 | 1 | 0.025 | 0.00049 | |
| 2 | 0.3 | 10 | 0.051 | 0.02043 | Länge der Wurzel 18.0 cm |
| | 4.0 | 6 | 0.031 | 0.00452 | |
| | 9.0 | 3 | 0.035 | 0.00289 | |
| | 15.5 | 1 | 0.045 | 0.00159 | |
| <i>Weizen:</i> | | | | | |
| 3 | 0.3 | 11 | 0.054 | 0.02519 | Länge der Wurzel 14.0 cm |
| | 5.5 | 6 | 0.037 | 0.00646 | |
| | 10.5 | 3 | 0.033 | 0.00457 | |
| | 13.5 | 1 | 0.046 | 0.00166 | |
| | 0.3 | 12 | 0.048 | 0.02171 | |
| 4 | 5.0 | 7 | 0.038 | 0.00794 | Länge der Wurzel 16.5 cm |
| | 10.0 | 4 | 0.037 | 0.00430 | |
| | 13.5 | 2 | 0.039 | 0.00239 | |
| | 16.0 | 1 | 0.044 | 0.00152 | |

gebildet ist, dagegen ist aber der äussere Teil der Rinde aus Sklerenchymzellen aufgebaut, worauf die der Wurzel eigene Festigkeit und Steifheit beruht. Der Querschnitt des weichen Teils der Stützwurzeln ist von derselben Art wie bei den Nährwurzeln.

Wie man aus dem Obigen entnimmt, vermindert sich die Zahl der grossen Gefässe bei den Stützwurzeln von der Basis der Wurzel nach deren Krone hin, ebenso nimmt auch die Querschnittsfläche der Gefässe ab, in welcher letzterer Hinsicht sich die Stützwurzeln umgekehrt wie die Nähr- und Keimwurzeln verhalten. Dies zeigt, dass die Stützwurzeln ihre Feuchtigkeit aus der Pflanze, nicht aus dem Boden erhalten, wenn sich die Wurzeln auch bis in den Boden erstrecken. Ausserdem ist zu beachten, dass der Boden in der Wuchs- und Reifeperiode des Kornes so trocken ist, dass er keine Feuchtigkeit für die Pflanzen enthält, weshalb die Stützwurzeln die Feuchtigkeit aus der Pflanze herbeiholen müssen. Diejenigen Stützwurzeln, welche über der Bodenoberfläche zu wachsen anfangen, bekommen ihr Wasser natürlicherweise so lange aus der Pflanze, als sie noch nicht mit dem Erdboden in Verbindung stehen. Die obigen Ziffern lassen erkennen, dass sie die Feuchtigkeit auch von der Pflanze beziehen, nachdem sie in den Boden eingedrungen sind.

Die Zahl der Stützwurzeln variiert ausserordentlich stark (6—25 St.), und sie sind beim Wintergetreide immer verhältnismässig zahlreicher als beim Sommergetreide, was natürlicherweise von dem längeren Halm des Wintergetreides herrührt.

Die Stützwurzeln befinden sich zu oberst an dem eigentlichen Wurzelbüschel und können ausserdem oft über dem Erdboden ein oder zwei, zuweilen sogar drei besondere Stützwurzelbüschel an den unteren oberirdischen Knoten bilden.

Wie man aus dem Bau der Wurzeln, ihrer Anheftungsstelle am Wurzelsystem und ihrer Entwicklungszeit ersieht, haben sie hauptsächlich die Aufgabe, den Halm zu stützen und nur in unbedeutendem Grade Wasser und Nahrung aufzunehmen.

3. Die Wurzeln und Wurzelsysteme zu verschiedenen Zeiten der Wachstumsperiode.

Beim Wintergetreide kann man auf Grund des obigen Materials fünf verschiedene Abschnitte der Wachstumsperiode unterscheiden:

1. die Herbstperiode,
2. die Winterperiode,
3. die Frühlingsperiode,
4. die Vorsommerperiode und
5. die Sommer- oder die Wuchs- und Reifeperiode des Kornes¹.

Die Wachstumsperioden des Wintergetreides sind im allgemeinen analog den von KAIRAMO aufgestellten Jahresperioden des Pflanzenreiches². Nur die Herbstperiode ist bei den Getreidepflanzen besonders in Nordfinnland länger als die entsprechende Jahresperiode.

Die Herbstperiode beginnt mit der Aussaat und reicht bis zum Gefrieren des Bodens, das gewöhnlich mit dem Ende der Bearbeitungsperiode zusammenfällt, sie umfasst mithin etwa 2—3 Monate, von der ersten Hälfte des August bis zur zweiten Hälfte des Oktober oder bis Anfang November und mitunter bis Anfang Dezember, wie im Winter 1926—27. Beim Weizen ist die Herbstperiode immer länger als beim Roggen. August und September sind meistens verhältnismässig warm, obwohl in manchen Jahren in Nordfinnland während des letzterwähnten Monats relativ starke Nachtfröste auftreten können, die mitunter einen für die an der Erdoberfläche befindlichen Pflanzen sehr gefährlichen Erd frost verursachen. Der Boden ist namentlich gegen Ende der Herbstperiode infolge der Herbstregen allgemein mit Wasser gesättigt und darum sehr weich, so dass sich die jungen Pflanzen durch das Gefrieren des Bodens sehr leicht bewegen können.

¹ Die Grenzen der verschiedenen Perioden lassen sich auf Grund der zurzeit vorliegenden spärlichen phänologischen Beobachtungen nicht einmal mit approximativer Genauigkeit bestimmen. Die Versuchsanstalten für Pflanzenbau und Moorkultur in Finnland haben mir von ihnen gesammeltes Material zur Verfügung gestellt, wofür ich den betreffenden Herren Vorstehern meinen besten Dank ausspreche.

² Vgl. KAIRAMO, A. Osw.: Kasvikunnan vuosijaksoittaisista ilmiöistä. Oma Maa II. Porvoo, 1921. S. 629—642.

Die folgende Tabelle veranschaulicht die Länge der Herbstperiode beim Roggen und Weizen an einigen Orten Finnlands¹:

| Ort | Roggen | | | Weizen | |
|-----------|----------|--|-------------------------------|----------|-------------------------------|
| | Saatzeit | Gefrieren des Bodens, Ende der Bearbeitungsperiode | Länge der Herbstperiode, Tage | Saatzeit | Länge der Herbstperiode, Tage |
| Rovaniemi | 28/7 | 11/10 | 73 | — | — |
| Liminka | 13/8 | 30/10 | 77 | — | — |
| Lapua | 16/8 | 8/11 | 82 | — | — |
| Kuopio | 11/8 | 29/10 | 76 | — | — |
| Kuru | 16/8 | 1/11 | 75 | 10/8 | 81 |
| Asikkala | 16/8 | 10/11 | 84 | 10/8 | 90 |
| Porvoo | 20/8 | 18/11 | 88 | 15/8 | 93 |

Wie aus den obigen Ziffern hervorgeht, ist die Herbstperiode des Roggens in Nordfinnland bedeutend kürzer als in Südfinnland. Die Herbstperiode des Weizens ist dagegen merkbar länger als die des Roggens.

Während der Herbstperiode zielt die Entwicklung des Wintergetreides darauf ab, die Pflanze möglichst winterfest zu machen. Aus diesem Grunde bildet sich das Wurzelsystem verhältnismässig mehr als der oberirdische Teil aus.

Das Wurzelsystem der Herbstperiode bilden die Keim- und Nährwurzeln, und diese sind voll, gedrunken, weich und biegsam und von Farbe gelb. Keimwurzeln besitzt der Roggen, wie schon früher erwähnt wurde, 4, zuweilen 5—6 und der Weizen gewöhnlich 3, mitunter 4—6, und sie entstehen unmittelbar beim Keimen. Einige Zeit nach dem Keimen und der Bildung der Keimwurzeln beginnen sich Nährwurzeln zu entwickeln, welche zahlreich (8—20 St.) sind und deren Entwicklung die ganze Herbstperiode hindurch fort dauert. Sowohl die Keim- als die Nährwurzeln wachsen während dieser Periode in die Länge und verzweigen sich. Die Länge der Wurzeln variiert verhältnismässig stark, und zwar sind die

² Vgl. CAJANDER, E.: Maataloudellinen muokkauskauski eri jaksoineen suhteessa maatalouden järjestämiseen Suomessa. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisu. 6 vihko. Helsinki, 1922. S. 26 und 43.

älteren Nährwurzeln im allgemeinen am längsten (40—50 cm). Die Keimwurzeln entwickeln sich im allgemeinen nicht so lang, ebenso bleiben auch die jungen Nährwurzeln sehr kurz, und die jüngsten werden nur einige Zentimeter lang. Die Nährwurzeln können ihrem Äussern nach in 3 Klassen eingeteilt werden (vgl. S. 17, 21).

Am Wurzelsystem befinden sich die Keimwurzeln, wie schon früher auseinandergesetzt wurde, zu unterst und oberhalb derselben die Nährwurzeln fast in der Reihenfolge ihrer Länge, wobei die kürzesten zu oberst und die längeren zu unterst erscheinen.

Die Winterperiode umfasst die Zeit vom Gefrieren des Bodens oder der Bildung des Bodenfrostes bis zum Frühjahr, wenn der Bodenfrost schmilzt. Gewöhnlich kann man den Anfang der Winterperiode in Finnland vom Ende der Bearbeitungsperiode an rechnen. Alsdann kann es am Ende der Winterperiode schon etwas getaut haben, aber der Bodenfrost sitzt doch noch im Boden, und die Nachfröste sind intensiv, so dass viel Bodenfrost auftritt.

Die folgenden Zahlen geben die Länge der Winterperiode in verschiedenen Teilen Finnlands an¹:

| Ort | Winterperiode | | |
|-----------|---------------|------|----------------|
| | Anfang | Ende | Länge in Tagen |
| Rovaniemi | 11/10 | 20/5 | 219 |
| Liminka | 30/10 | 5/5 | 195 |
| Lapua | 8/11 | 7/5 | 179 |
| Kuopio | 29/10 | 28/4 | 179 |
| Kuru | 1/11 | 27/4 | 176 |
| Asikkala | 10/11 | 25/4 | 175 |
| Porvoo | 18/11 | 20/4 | 152 |

Die durchschnittliche Dauer der Winterperiode beträgt in Nordfinnland über 7 und in Südfinnland über 5 Monate. Der Eintritt des Winters ist in verschiedenen Jahren sehr verschieden. In den einen gefriert der Boden sehr zeitig und nackt, in anderen bleibt er lange ungefroren, und oft schneit es darauf. Im ersteren Fall gefrieren die im Boden befindlichen Pflanzen ver-

¹ Vgl. CAJANDER, E.: a. a. O., S. 13.

hältnismässig schnell, so dass ihre eigentliche Lebenstätigkeit dann als eingestellt zu betrachten ist. Im letzteren Fall dagegen hört die Lebenstätigkeit nicht annähernd so unvermittelt auf, sondern dauert einige Zeit unter dem Schnee fort. Besonders die Pflanzenschädlinge, von denen hier *Fusarium nivale* erwähnt sei, gedeihen und richten Verheerungen an. Mit der Zunahme der Kälte gefriert schliesslich nach und nach der unter dem Schnee ungefroren gebliebene Boden. Die Dicke und die Struktur des Bodenfrostes hängen von den Verhältnissen ab. In kalten Wintern beträgt seine Dicke in Südfinnland häufig über 50 cm und in Nordfinland über 1 m¹. Seine Struktur ist je nach den Umständen massiv, hohlräumig oder geschichtet². In den Ackerböden kommen die zwei letzteren Formen vor. Nach den Beobachtungen ist der hohlräumige Bodenfrost den Pflanzen nicht so schädlich wie der geschichtete. Beim Gefrieren hebt sich die Erdoberfläche etwa zu 10—22 % von der Dicke der Bodenfrostschicht³. Noch gefährlicher ist für die Pflanzen eine andere Eigenschaft des Bodenfrostes, nämlich seine Fähigkeit, im Boden befindliche Gegenstände 3—5 mal so viel emporzutreiben, als sich die Erdoberfläche durch den Einfluss des Bodenfrostes hebt. Besonders im Frühjahr ist dieser Umstand von grosser Bedeutung. Wegen der sich alsdann gewöhnlich wiederholenden Nachtfröste tritt infolge des Entstehens des Bodenfrostes häufig mehrmals eine Hebung des Bodens ein. Der während des Winters gehobene Boden senkt sich nicht sofort im Frühjahr nach dem Schmelzen des Bodenfrostes bis auf sein Niveau im Herbst. Erst ungefähr einen oder anderthalb Monate nach dem Auftauen des Bodenfrostes ist die Erdoberfläche ebenso hoch wie im Herbst.

Während der Winterperiode ist die Tätigkeit der Wurzeln infolge ihres Gefrierens unterbrochen, so dass keine eigentlichen organischen Ver-

¹ Vgl. KERÄNEN, J.: Über den Bodenfrost in Finnland. Mitteilungen d. Metereol. Zentralanstalt des finnischen Staates. N:o 12. Helsinki, 1923. — SIMOLA, E. F.: Kirsi- ja vajovesisuhteiden tutkimuksia (Bodenfrost- und Senkwasser untersuchungen). Valtion maatalouskoetöiminnan julkaisu N:o 30. Helsinki, 1930.

² Vgl. KOKKONEN, P.: Beobachtungen über die Struktur des Bodenfrostes. Acta Forestalia Fennica 30, 3. Helsinki, 1926.

³ Vgl. KOKKONEN, P.: Beobachtungen über die durch den Bodenfrost verursachte Hebung der Erdoberfläche und in der Frostschicht befindlicher Gegenstände. Maataloustieteellinen Aikakauskirja. N:o 3. Helsinki, 1930.

änderungen in ihnen stattfinden. Die Bodenfrostbildung und die vom Gefrieren des Wassers in der Wurzel herrührenden mechanischen Kräfte können einen merkbaren Einfluss auf die Form und den Bau der Wurzeln ausüben. Die im Frühjahr sich wiederholenden Nachtfröste, die zu den Erscheinungen der Winterperiode zu rechnen sind, verursachen den Wurzeln mancherlei Schädigungen.

Die Wurzeln der Winterperiode sind ursprünglich von ähnlicher Art wie die der Herbstperiode. Während des Winters finden in den Wurzeln allmählich Veränderungen statt, die sehr wesentlich auf die Überwinterung der Pflanze einwirken. Diese Veränderungen rühren von dem durch die kalte Witterung verursachten Gefrieren des Wassers im Boden und in der Pflanze her. Hier wird nur von den durch mechanische Kräfte hervorgerufenen, hauptsächlich sichtbaren Veränderungen in der Pflanze gesprochen und nicht auf Fragen eingegangen, die sich auf die Lebenstätigkeit der Pflanze und die ihr durch die Kälte verursachten Schädigungen beziehen. Von dem Gefrieren des Wassers im Boden rührt es her, dass sich dieser sehr erheblich ausdehnt, wie schon oben bei dem Einfluss der Bodenfrostbildung erwähnt wurde, die ihrerseits eine Dehnung in den Wurzeln der in der Bodenfrostschicht befindlichen Pflanzen bewirkt. In manchen Fällen kann diese Dehnung so kräftig sein, dass die Dehnungsfähigkeit der Pflanzenwurzel nicht ausreicht, sondern diese zerreisst, weshalb man am Ende der Winterperiode verhältnismässig viel abgerissene Wurzeln findet. Doch nicht alle Wurzeln reissen ganz ab, sondern man beobachtet auch viel solche, an denen nur der Rindenteil abgelöst, aber der Zentralzylinder intakt geblieben ist, denn die Dehnbarkeit des Rindenteils ist viel geringer als die des Zentralzylinders. Solche teilweise abgerissene Wurzeln können sich im allgemeinen erholen. Eine andere bemerkenswerte Wirkung, die der Bodenfrost auf die Wurzeln ausübt, ist die, dass er den ganzen Rindenteil von dem Zentralzylinder ablöst. Äusserlich ist dies im Frühjahr im allgemeinen nicht zu erkennen, denn der lose Rindenteil bedeckt die Wurzel wie eine Scheide, aber während des Sommers beginnt der Rindenteil zu faulen und fällt alsdann ab. Diese letztere Wirkung des Bodenfrostes ist bei älteren Nährwurzeln stärker, bei jüngeren schwächer; manch-

mal ist die Beschädigung so unbedeutend, dass sie nicht beobachtet wird. Die Keimwurzeln scheinen in dieser Hinsicht nicht besonders empfindlich zu sein. Während des Winters wird die Farbe der Wurzeln gelb, nachdem sie im Herbst weiss gewesen ist.

Die Wurzelsysteme verändern sich durch die Einwirkung des Winters nicht besonders, obgleich an ihnen im ganzen genommen einige Wandlungen wahrzunehmen sind. Mitunter zerreisst der Bodenfrost, wenn zufällig eine ausgedehntere Eisbildung im Boden auftritt, alle Wurzeln in der gleichen Höhe, wobei sich das Wurzelsystem fächerförmig gestaltet. Dies braucht jedoch nicht den Tod des Individuums herbeizuführen, denn die abgerissenen Wurzeln erholen sich im allgemeinen, wenn das Frühjahr warm ist. Der hebende Effekt des Bodenfrostes bewirkt oft im Frühjahr, dass das Wurzelsystem als Ganzes an die Oberfläche des Bodens emporgestiegen ist oder dass nur die Spitzen der Wurzeln bis in den Boden reichen.¹ Dies ist nachteilig, falls trockene Witterung eintritt, weil die Wurzeln dann nicht genügend Wasser und Nährstoffe bekommen.

Die Frühlingsperiode oder Einwurzelungsperiode beginnt sofort, wenn aus der obersten Bodenschicht der Bodenfrost etwas geschmolzen und der Boden an der Oberfläche so viel abgetrocknet und erwärmt ist, dass die Lebenstätigkeit der Pflanzen beginnt, und sie dauert fort, bis

| Ort | Beginn der Frühjahrsarbeiten | Anfang der Frühlingsperiode |
|-----------|---------------------------------|--------------------------------|
| Rovaniemi | 25/5 | 15/5 |
| Liminka | 10/5 | 5/5 |
| Lapua | 17/5 | 7/5 |
| Kuopio | 8/5 | 28/4 |
| Kuru | 7/5 | 27/4 |
| Asikkala | 5/5 | 25/4 |
| Porvoo | 30/4 | 20/4 |

¹ Vgl. SIMOLA, E. F.: Tutkimuksia viljelysmaiden jäätymisestä ja kirren sulamisesta maatalouskoelaitoksella vv. 1924, 1925 ja 1926 (Untersuchungen der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt über das Einfrieren des Kulturlandes und das Auftauen des Bodenfrostes in den Jahren 1924—26). Valtion Maatalouskoetoiminnan julkaisuja N:o 5. Helsinki, 1926. S. 45.

der Halm eine beträchtliche Länge (25—40) erreicht, so dass dieser allmählich einer Stütze bedarf. Die Lebenstätigkeit der Pflanzen setzt etwas (6—10 Tage) vor der Zeit ein, wo man mit den Frühjahrsarbeiten für den Hafer anfangen kann. Der durchschnittliche Beginn der Frühjahrsarbeiten und der Anfang der Frühlingsperiode werden aus der vorstehenden Tabelle ersichtlich¹.

I. J. 1927, das einen zeitigen Frühling hatte, begann die Frühlingsperiode in der Gegend von Helsinki um den 20. April und endigte Anfang Juni. In normalen Jahren endigt sie in der Gegend von Helsinki um den 20.—25. Mai und in Nordfinland Anfang Juni. In Nordfinland beträgt ihre Dauer 3—4 Wochen und in Südfinnland 4—5 Wochen.

Während der Frühlingsperiode, besonders in ihrer ersten Hälfte, kommen oft Nachtfröste vor. Diese verursachen an der Oberfläche der Kulturländereien Bodenfrostbildungen, die den Winter über am Leben gebliebene junge Pflanzen aus dem Boden heben und ihre Wurzeln in sehr beträchtlichem Grade abreißen. Während der Bodenfrost schmilzt, ist der Boden sehr feucht, aber nach dem Verschwinden des ersteren trocknet die Oberfläche des Ackers schneller oder langsamer, hauptsächlich je nach dem Entwässerungssystem (offene Grabenentwässerung und Drainage). Natürlicherweise variieren die Temperaturverhältnisse in den oberen Schichten des Bodens erheblich, weil auch die Temperatur der Luft während des Tages und der Nacht grosse Schwankungen erleidet. Tief dringt jedoch die am Tage herrschend gewesene relativ hohe Temperatur nicht ein, sondern in grösserer Tiefe (10—15 cm) ist das Bodenmaterial verhältnismässig kalt. Gegen das Ende der Periode erwärmt sich der Boden schon tiefer. Oft kommen jedoch in Finnland noch Anfang Juni starke Fröste vor, wie in den Jahren 1921 und 1930.

In der Frühlingsperiode ist die Wachstumstätigkeit sehr lebhaft. Namentlich die Wurzeln wachsen dann schnell, besonders in der Nähe der Erdoberfläche, wo die Temperatur am Tage hoch ist. Unter günstigen Bedingungen kann die Wurzel im Lauf von 24 Stunden 3—4 cm und sogar mehr an Länge zunehmen. Die abgerissenen Wurzeln beginnen neue Seitenzweige oberhalb der Rissstelle zu entwickeln. Oberhalb der im Herbst

¹ Vgl. CAJANDER, E.: a. a. O., S. 13.

entstandenen Wurzeln, ganz dicht unter der Erdoberfläche, die sich im Frühjahr zuerst erwärmt, fangen neue Nährwurzeln an sich zu bilden, deren Längenwachstum am schnellsten ist. In der Frühlingsperiode erneuert sich das Wurzelsystem so kräftig, dass es schon etwa 3—4 Wochen nach dem Schmelzen des Schnees ca. 35 % von den im Frühjahr gebildeten Nährwurzeln umfasst, während das übrige Wurzelsystem aus erholten überwinterten Herbstwurzeln besteht. Sämtliche Wurzeln der Frühlingsperiode sind im allgemeinen voll, gedrunken und leicht waschbar.

Zu Anfang der Frühlingsperiode rekrutiert sich der grösste Teil der Wurzeln aus solchen, die im Herbst, und nur ein geringer Teil aus solchen, die im Frühjahr gebildet sind. Die überwinterten Wurzeln beginnen, indem sie sich erholen, ihr Längenwachstum fortzusetzen, wenn sie während des Winters nicht abgerissen sind, und im letzteren Fall bilden sie auch Seitenzweige. Der im Frühjahr entstandene Teil der Wurzel ist bedeutend dicker als der im Herbst gebildete. Dies kommt daher, dass der Rindenteil im Lauf des Winters durch die Wirkung des Bodenfrostes ganz erheblich reduziert worden ist, während er bei jungen Nährwurzeln, wie schon oben bei der Besprechung der Nährwurzeln des Herbstes erwähnt wurde, viel dicker als der Zentralzylinder ist.

• Die im Herbst gebildeten Wurzeln sind zeitig im Frühjahr noch in der Mehrzahl, aber die am Ende der Frühlingsperiode im Frühjahr entstandenen Wurzeln sind zahlreicher. In der Frühlingsperiode, abgesehen von deren allerletztem Teil, wo sich im Zusammenhang mit dem Halmwachstum Nährstützwurzeln bilden, sind die Wurzeln hauptsächlich Keim- und Nährwurzeln, welche letztere auf Grund ihres Aussehens in 4 Klassen eingeteilt werden können (vgl. S. 40, 43).

Im Wurzelsystem finden während der Frühlingsperiode keine erwähnenswerten Veränderungen statt. Neue Wurzeln entstehen am obersten Wurzelbüschel über den im Herbst gebildeten Nährwurzeln. Es erfolgt also nur in dem eigentlichen Wurzelsystem eine Zunahme der Wurzelzahl. Neue Wurzelbüschel entwickeln sich nicht.

Die Vorsommerperiode oder die Wachstumsperiode des Halmes fängt an, wenn der Halm schon eine beträchtlichere Länge (ca. 25—40 cm)

erreicht hat, was in normalen Jahren in Südfinnland Ende Mai und in Nordfinnland Anfang Juni der Fall ist. Als Abschluss der Periode ist das Ende der Blüte zu betrachten, das in die Zeit zwischen Johanni und den ersten Tagen des Juli fällt. Die Dauer der Periode beträgt ungefähr einen Monat.

Während des ersten Teils der Periode ist der Erdboden noch frisch, aber bereits um die Mitte und am Ende ist er in normalen Jahren verhältnismässig trocken, ja sehr trocken, und da findet man in dem Acker tiefreichende Risse.

Der oberirdische Teil des Wintergetreides, der Halm, wächst während der Periode in die Länge, und am Ende der Periode hat das Getreide sein volles Mass erreicht. In der Frühlingsperiode bilden sich infolge des Längenwachstums des Halmes ausschliesslich Nährstützwurzeln und ausserdem gegen Ende der Periode auch eigentliche Stützwurzeln, welche beide in erster Linie die Aufgabe haben, den Halm zu stützen. In der ersten Zeit der Periode entwickelt sich ferner das Wurzelsystem relativ schnell, aber am Ende derselben beginnt seine Ausbildung, von der Entwicklung der Stützwurzeln abgesehen, aufzuhören. Die dichte Haardecke und die Verzweigungen der Nährstützwurzeln und der Stützwurzeln haben den Zweck, die Wurzel fest im Boden zu verankern und die sei es auch nur geringe Feuchtigkeit des Bodens für die Pflanze auszunützen. Im übrigen spielen die Feuchtigkeit und der Nährstoffgehalt des Bodens, besonders die erstere, in der Entwicklung der Wurzel eine äusserst wichtige Rolle. In trockenen Jahren und Perioden entwickeln sich nicht annähernd so viel und so dicke Wurzeln wie in feuchten Zeiten. In trockenen Sommern fangen die Querschnitte der Wurzeln an, sich am Ende dieser Periode zusammenzuziehen. Die Nährwurzeln haben in dieser Periode schon ihre volle Länge erreicht und dringen tief in den Boden ein, aus welchem sie genügend Wasser und Nährstoffe für die ebenstätigkeit der Pflanze erhalten. Sie können am Ende der Periode auf Grund ihres Aussehens in 2 Klassen eingeteilt werden (vgl. S. 51, 53). Die Keimwurzeln sind am Ende der Periode schon abgestorben.

Während der Vorsommerperiode nimmt das Wurzelsystem im grossen

ganzen seine endgültige Gestalt an. Zu dem Wurzelsystem der vorhergehenden Perioden kommen am Anfang der Periode verhältnismässig zahlreiche Nährstützwurzeln und von der Mitte bis zum Ende der Periode Stützwurzeln hinzu. Die Nährstützwurzeln beschränken sich auf die oberste Partie des eigentlichen Wurzelbüschels, ebenso auch ein Teil der Stützwurzeln. Andere Stützwurzeln aber setzen sich an den oberhalb des eigentlichen Wurzelbüschels befindlichen nahegelegenen Knoten des Halmes an, an denen sie ein oder zwei, mitunter sogar mehrere Wurzelbüschel bilden. Diese Büschel können auch über dem Erdboden liegen. Die Stützwurzeln richten sich schräg gegen den Boden, und an dem Teil, der sich in den Boden verlegt, erscheinen zahlreiche Wurzelhaare und zuweilen Wurzelverzweigungen, mit denen die Wurzel sehr fest in den Boden greift. Dadurch verstärken die Stützwurzeln den Halm, so dass er sich gegen die Winde und Niederschläge behaupten kann.

Die Sommer- oder Wuchs- und Reifeperiode des Kornes beginnt nach dem Ende der Blüte und reicht bis zur Reife des Getreides. In normalen Jahren schliesst die Blüte Ende Juni oder Anfang Juli ab, und das Getreide kann in der ersten Hälfte des August geschnitten werden. Der Abschluss der Wuchs- und Reifeperiode des Kornes wird durch die folgenden Beobachtungen des Verfassers beleuchtet:

| Ort | Jahr | Vollreife | Erntezeit |
|----------|------|-----------|-----------|
| Iisalmi | 1926 | 2/8 | 10/8 |
| » | 1927 | 4/8 | 14/8 |
| Helsinki | 1927 | 28/7 | 4/8 |
| Vehmaa | 1930 | 30/7 | 6/8 |
| Turku | 1930 | 30/7 | 4/8 |

Wie die vorstehenden Daten zeigen, kann der Abschluss der Wuchs- und Reifeperiode des Kornes vorsichtig berechnet 5 Tage früher als die durchschnittliche Erntezeit nach den Untersuchungen von CAJANDER angesetzt werden.

Die Sommerperiode scheint eine Dauer von 4—5 Wochen zu haben. Reim Roggen tritt sie ungefähr eine Woche früher ein als beim Weizen.

Die folgende Periode beleuchtet die Erntezeit des Roggens und die Zeit des Abschlusses dieser Periode:¹

| Ort | Erntezeit | Abschluss der Wuchs- und Reifeperiode des Kornes |
|-----------|-----------|--|
| Rovaniemi | 21/8 | 16/8 |
| Liminka | 17/8 | 11/8 |
| Lapua | 14/8 | 8/8 |
| Kuopio | 13/8 | 8/8 |
| Kuru | 9/8 | 4/8 |
| Asikkala | 6/8 | 1/8 |
| Porvoo | 6/8 | 1/8 |

Unter normalen Verhältnissen ist der Boden zu dieser Zeit sehr trocken und stark rissig. Oft reichen die Risse sehr tief in den Boden hinab.

Während der Sommer- oder Wuchs- und Reifeperiode des Kornes finden in dem eigentlichen Wurzelsystem keine erwähnenswerten Veränderungen statt. Nur Stützwurzeln wachsen in den ersten Zeiten der Periode hauptsächlich oberhalb des eigentlichen Wurzelbüschels und oft über der Bodenoberfläche an den unteren Knoten des Halmes hinzu. Die einen dieser Wurzeln gelangen nicht bis in den Boden, weshalb sie vertrocknen. Andere Stützwurzeln, die sich im Boden befinden oder bis in denselben hinabreichen, sind an ihrem im Boden steckenden Teil, wie in der vorhergehenden Periode, sehr dicht mit Haaren bedeckt, ausser ganz an der Wurzelspitze. Ausserdem können manche Stützwurzeln Verzweigungen haben. Die Wurzelhaare und -verzweigungen haben, wie schon früher erwähnt wurde, hauptsächlich die Aufgabe, die Stützwurzeln fest im Boden zu verankern, und sie dienen nur in unbedeutendem Grade oder beinahe gar nicht dazu, Wasser und Nahrung aufzunehmen, denn der innere Bau der Stützwurzel zeigt, dass diese ihre Feuchtigkeit aus der Pflanze bekommt, nicht aus dem Boden, der zu dieser Zeit, besonders an der Oberfläche, ziemlich trocken ist. Das Längenwachstum der anderen Wurzeln hat in dieser Periode allgemein aufgehört, die Wurzeln beginnen auch zu vertrocknen,

¹ Vgl. CAJANDER, E.: a. a. O., S. 26.

und gegen Ende der Periode sind sämtliche Wurzeln infolge des Austrocknens steif und an der Oberfläche runzelig geworden. Die früher ganz weichen Nährwurzeln, die in dieser Periode ihrem Äussern nach in zwei Klassen zerfallen (vgl. S. 60, 62), sind jetzt elastisch steif und braun, ja sogar dunkelbraun gefärbt. Von der Lebenstätigkeit der Wurzeln ist nur der Wassertransport erhalten geblieben, und auch dieser ist stark reduziert.

Wie gesagt, wächst in der Wuchs- und Reifeperiode des Kornes zuweilen eine oder die andere Stützwurzel am oberen Teil des eigentlichen Wurzelbüschels oder an den unteren Knoten des Halmes oberhalb der eigentlichen Wurzelbüschel hinzu. So hat das Wurzelsystem seine endgültige Form erhalten: unterhalb des eigentlichen Wurzelbüschels befinden sich zuweilen 1 oder 2 Wurzelbüschel, an denen die Keim- und die ältesten Nährwurzeln in dieser Periode ziemlich ganz abgestorben sind. Von Farbe sind diese Wurzeln dunkel-, ja schwarzbraun, und sie sind dünn, unverzweigt und elastisch. An dem eigentlichen Wurzelbüschel sitzen zu unterst die Nährwurzeln, die im allgemeinen sehr vertrocknet und dünn sind. Die ältesten von ihnen sind dunkelbraun und am Anfang der Periode lebendig, gegen Ende derselben aber ziemlich abgestorben. Über ihnen befinden sich die Nährstützwurzeln, deren Dicke geringer als in den früheren Perioden ist. Oberhalb dieser Wurzeln erscheinen die Stützwurzeln, von denen manche über dem eigentlichen Wurzelbüschel oft 1 oder 2, ja auch 3 Wurzelbüschel bilden. Von diesen liegen alle oder einige über der Erdoberfläche. Ein Teil der Stützwurzeln reicht nicht bis in den Boden hinab, sondern sie haften spornartig an den unteren Knoten des Halmes. Sowohl die Nährstütz- als die Stützwurzeln sind während dieser Periode und besonders gegen deren Ende hin infolge des Austrocknens dünner geworden, und ihre Oberfläche zeigt Runzeln und rauhe Stellen.

Die Abschnitte der Wachstumsperiode des Sommergetreides würden folgende sein:

1. die Saatperiode,
2. die Periode der Ährenbildung und Blüte und
3. die Wuchs- und Reifeperiode des Kornes.

Die Saatperiode des Sommergetreides beginnt mit der Aussaat und reicht bis zum Hervorbrechen der Ähren. Diese Periode fällt in ihrem späteren Teil ziemlich mit der Vorsommerperiode des Wintergetreides zusammen. Im Frühjahr findet die Aussaat des Sommergetreides jedoch etwas zeitiger statt, als die Sommerperiode des Wintergetreides beginnt. Die folgende Tabelle¹ gibt die Saatzeit für einige Orte an:

| Ort | Gerste Saatzeit | Hafer Saatzeit |
|-----------|--------------------|-------------------|
| Inari | 15/6 | — |
| Sodankylä | 4/6 | — |
| Rovaniemi | 1/6 | — |
| Liminka | 26/5 | 17/5 |
| Kuopio | 29/5 | 18/5 |
| Lapua | 29/5 | 21/5 |
| Kuru | 28/5 | 16/5 |
| Asikkala | 24/5 | 15/5 |
| Porvoo | 23/5 | 10/5 |

Die Saatzeit fängt für den Hafer ungefähr 2 Wochen früher als für die Gerste an. Ebenso endigt die Periode für die Gerste etwas früher als für den Hafer. Anfang und Mitte Juli beginnt unter normalen Verhältnissen die Ährenbildung. Die Dauer der Periode ist durchschnittlich in Südfinnland 6—7 und in Nordfinland 4—5 Wochen. Bei der Gerste ist sie immer kürzer als beim Hafer. Zu Beginn der Periode ist der Boden frisch, aber am Ende derselben im allgemeinen trocken.

Die Saatperiode würde die Zeit vom Keimen des Samens bis zum Erscheinen der Ähre umfassen. Alsdann bildet das Sommergetreide Keimwurzeln und ihnen ziemlich ähnliche Nährwurzeln.

Während der Saatperiode ist das Wurzelsystem des Sommergetreides sehr einfach. Es umfasst die Keimwurzeln und ausserdem 2—4 wie diese aussehende Nährwurzeln. Die letzteren treten im allgemeinen oberhalb der Keimwurzeln entweder an demselben Büschel oder ein Teil an demselben

¹ Vgl. CAJANDER, E., a. a. O., S. 51 und 62.

und andere an den oberen Büscheln auf. Gegen Ende der Periode, wenn der Halm bereits eine gewisse Länge erreicht hat, bilden sich an dem eigentlichen Wurzelbüschel einige Nährstützwurzeln, ja auch Stützwurzeln.

Die Periode der Ährenbildung und Blüte oder die Ährenperiode beginnt beim Erscheinen der Ähren und hört bei der Beendigung der Blüte auf. Bei der Gerste fällt sie in die Zeit von Anfang Juli bis zum Ende des Monats, in frühen Jahren in das Ende des Juni. Beim Hafer setzt sie eine Woche später als bei der Gerste ein und schliesst auch später, durchschnittlich Anfang August ab. Die Dauer der Periode beträgt bei der Gerste in Südfinnland 3 Wochen, in frühen Jahren 2 Wochen, bei dem Hafer ist die Periode etwas länger.

In der Ährenperiode kommen zu den Wurzeln der vorhergehenden Periode während der Blüte die Stützwurzeln hinzu, die sich auch noch später besonders an den unteren Knoten des Halmes über der Bodenoberfläche bilden. Im allgemeinen sind die Wurzeln beim Sommergetreide weniger zahlreich als beim Wintergetreide, selbst wenn das Wachstum verhältnismässig üppig ist. In trockenen Jahren kann die Gesamtzahl der Wurzeln zuweilen unter 10 pro Individuum betragen, wogegen sie in nassen Jahren auf 20—25 steigen kann.

Zu dem Wurzelsystem kommen während der Ährenperiode hauptsächlich Stützwurzeln hinzu, von denen die einen an dem eigentlichen Wurzelbüschel auftreten und andere, besonders gegen Ende der Periode, weiter oben, ja sogar über der Bodenoberfläche neue Wurzelbüschel bilden.

Die Wuchs- und Reifeperiode des Kornes beginnt bei der Gerste in normalen Jahren kurz nach dem 15. Juli und in sehr frühen um die Mitte des Monats oder etwas vorher, und sie endigt in der zweiten Hälfte des Augusts und in frühen Jahren Anfang August. Bei dem Hafer fängt diese Periode gegen Ende Juli an und schliesst in der ersten Hälfte des Septembers ab; in frühen Jahren etwa 2—3 Wochen vorher.

Die untenstehenden Beobachtungen beleuchten das Verhältnis der Wuchs- und Reifeperiode des Kornes zu der Erntezeit bei der Gerste und dem Hafer:

| Ort | Jahr | Ende der Reifeperiode des Kornes | | Erntezeit | | Unterschied in Tagen | |
|------------------|------|-------------------------------------|-------|-----------|-------|-------------------------|-------|
| | | Gerste | Hafer | Gerste | Hafer | Gerste | Hafer |
| Iisalmi | 1926 | 10/8 | 25/8 | 15/8 | 30/8 | 5 | 5 |
| » | 1927 | 14/8 | 30/8 | 20/8 | 5/9 | 5 | 6 |
| » | 1928 | 6/8 | 30/8 | 11/8 | 4/9 | 5 | 4 |
| Vehmaa | 1930 | 30/7 | 15/8 | 5/8 | 21/8 | 6 | 6 |
| Jokioinen | 1930 | 29/7 | 15/8 | 4/8 | 20/8 | 6 | 5 |
| Durchschnittlich | | | | | | 6 | 5 |

Wie die Zahlen erkennen lassen, weicht die Erntezeit von der eigentlichen Reifeperiode gewöhnlich im Durchschnitt bei der Gerste um 6 und beim Hafer um 5 Tage ab, doch so, dass sie in Nordfinnland bedeutend kürzer als in Südfinnland zu sein scheint, und zwar wahrscheinlich in beiden Fällen um 4 Tage. Die folgende Tabelle gibt den Abschluss der Wuchs- und Reifeperiode des Kornes für Gerste und Hafer an:¹

| Ort | Gerste | | Hafer | |
|-----------|------------------------|---|------------------------|---|
| | Erntezeit ² | Ende der Wuchs- und Reifeperiode des Kornes | Erntezeit ² | Ende der Wuchs- und Reifeperiode des Kornes |
| Inari | 24/8 | 20/8 | — | — |
| Sodankylä | 24/8 | 20/8 | — | — |
| Rovaniemi | 21/8 | 17/8 | — | — |
| Liminka | 27/8 | 22/8 | 5/9 | 1/9 |
| Kuopio | 27/8 | 21/8 | 8/9 | 3/9 |
| Lapua | 28/8 | 22/8 | 9/9 | 4/9 |
| Kuru | 26/8 | 20/8 | 10/9 | 5/9 |
| Asikkala | 30/8 | 24/8 | 10/9 | 5/9 |
| Porvoo | 29/8 | 23/8 | 12/9 | 7/9 |

¹ Die Zahlenangaben sind durch die früher erwähnten Daten der Versuchsanstalten für Pflanzenbau komplettiert.

² Vgl. CAJANDER. E.: a. a. O., S. 51 und 62.

Der Boden ist während der in Rede stehenden Periode im allgemeinen trocken. Die erste Hälfte ist trockener als die zweite, wo namentlich der Hafer von Herbstregen betroffen wird.

Während der Wuchs- und Reifeperiode des Kornes vermehren sich die Wurzeln fast gar nicht, abgesehen von den Stützwurzeln, deren noch einige hinzuwachsen können.

Das Wurzelsystem ist zu Anfang der fraglichen Periode schon ziemlich vollständig. Nur in manchen nassen Jahren kann an den oberen Stützwurzelbüscheln eine oder die andere Stützwurzel wachsen, die sich oft nicht bis an die Bodenoberfläche zu erstrecken vermag. Bei dem vollständigen Sommergetreidewurzelsystem sind im allgemeinen die gleichen Wurzelformen zu beobachten wie bei dem Wintergetreide, obwohl häufig irgendeine Wurzelgruppe fehlen kann, und was die Wurzelform betrifft, zeigt das Wurzelsystem bei dem Sommergetreide in den grossen Zügen dieselben Merkmale wie bei dem Wintergetreide.

III. Der Einfluss der Saattiefe auf die Zahl der Stütz- und Nährstützwurzeln.

Wie oben bereits auseinandergesetzt wurde, hängt das Auftreten der Nährstütz- und der Stützwurzeln in der Weise mit der Entwicklung des Halmes zusammen, dass sich von diesen Wurzeln um so mehr bilden, je länger der Halm wächst. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Pflanze ihrem Bedürfnis entsprechend Stütz- und Nährstützwurzeln entwickelt. Hiernach sollte es sich so verhalten, dass die Pflanze da, wo der Halm hinreichend gestützt ist, diese Wurzeln nicht in nennenswerter Menge auszubilden brauchte, und dass sie dort, wo den Halmen eine Stütze fehlt, kräftig Stützwurzeln entstehen liesse. Wenn die Halme sehr nahe beieinander liegen (dichte Saat), sind sie gut gestützt, falls keine starken äusseren Kräfte (heftige Winde, Niederschläge u. a.) auftreten. Befinden sich die Halme andererseits sehr weit voneinander (weitläufige Saat), dann haben sie keine Stütze aneinander, sondern jeder Halm muss sich allein aufrechterhalten. Unter diesen Umständen sollte bei der dichten Saat die Zahl der Stütz- und Nährstützwurzeln kleiner als bei der weitläufigen Saat sein. Zur Beleuchtung dieser Frage wurden Versuche mit Gerste, Hafer und Weizen angeordnet. Von jedem Getreide wurden vier Quadrate mit den Saattiefenmengen 60, 120, 180 und 240 kg besät. Die Saattiefe jedes Quadrates betrug $6 \times 9 \text{ m} = 54 \text{ m}^2$, und zwar wurden zwei Quadrate nebeneinander besät, weil zugleich beabsichtigt war, den Einfluss des Randes der Aussaat auf die Menge der Stützwurzeln zu studieren. Dieser Versuch misslang jedoch wegen des trockenen Sommers, denn die Halme wuchsen sehr kurz (30—40 cm). Ausser zu dem ersteren Versuch konnte auch für gewisse

Die Zahl der Stütz- und Nährstützwurzeln für verschiedene Getreide-

| Nr. der Parallelproben. | Siegshafer bei der Saatmenge kg auf 1 ha | | Gerste bei der Saatmenge kg auf 1 ha | | | |
|-------------------------|--|----------|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| | 25 | 250 | 60 | 120 | 180 | 240 |
| 1 | 9.8±0.64 | 2.2±0.43 | 5.7±0.48 | 5.9±0.34 | 3.6±0.45 | 1.3±0.19 |
| 2 | 7.0±0.54 | 3.5±0.42 | 7.1±0.40 | 6.9±0.50 | 3.8±0.32 | 2.0±0.39 |
| 3 | 11.1±0.95 | 3.1±0.43 | 9.3±1.08 | 6.1±0.47 | 4.7±0.45 | 1.3±0.23 |

andere Zwecke gesäter Hafer zur Untersuchung benutzt werden; die Saatgutmenge betrug in diesem Fall 25 bzw. 250 kg.

Die Stütz- und die Nährstützwurzeln lassen sich auf Grund des Aussehens beim reifen Getreide nicht mit hinreichender Genauigkeit unterscheiden, weshalb sie zusammengerechnet wurden, denn beide Wurzelformen haben ja den Zweck, die Pflanze zu stützen, obwohl ihnen ausserdem die Zuführung der Nahrung obliegt. Die Untersuchung der Wurzeln fand an ausgereiftem Getreide statt. Es wurden auf jedem Quadrat an drei verschiedenen Stellen etwa 30 cm von der Saatreihe entfernt alle Individuen genommen, die dann im Laboratorium einzeln geprüft wurden. Auf den weitläufig besäten Quadraten musste, um eine genügende Individuenzahl zu erhalten, etwas mehr als eine Reihe entnommen werden. Doch blieb im letzteren Fall die Individuenzahl kleiner als auf den dichtbesäten Quadraten, was auch aus den mittleren Fehlern der Mittelwerte in der obenstehenden Tabelle ersichtlich wird.

Die selbe Tabelle gibt die Zahl der Stütz- und Nährstützwurzeln von Gerste, Hafer und Weizen bei wechselnder Saatgutmenge an.

Wie die Tabelle erkennen lässt, besteht ein ausserordentlich grosser Unterschied in der Zahl der Wurzeln bei dichten und bei weitläufigen Aussaaten. Der Siegshafer hat bei weitläufiger Saat durchschnittlich 9 Stütz- und Nährwurzeln und bei dichter Saat nur 3. Die Gerste hat bei weitläufigster Saat im Mittel 7 und bei dichtester 2 Wurzeln; der Hafer bei weitläufigster Saat 7 und bei dichtester 4 Wurzeln und der Weizen bei weitläufigster Saat 7 Wurzeln und bei dichtester nur 2. Obwohl sich die

arten bei wechselnder Saatmenge.

| Hafer bei der Saatmenge kg auf 1 ha | | | | Sommerweizen bei der Saatmenge kg auf 1 ha | | | |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|--|----------|----------|----------|
| 60 | 120 | 180 | 240 | 60 | 120 | 180 | 240 |
| 7.4±0.71 | 6.7±0.46 | 3.3±0.20 | 2.7±0.37 | 7.1±0.81 | 6.4±0.54 | 3.3±0.18 | 1.5±0.21 |
| 7.2±0.51 | 6.4±0.46 | 3.7±0.30 | 3.7±0.45 | 6.4±0.41 | 6.4±0.32 | 3.7±0.28 | 2.0±0.24 |
| 8.4±0.64 | 6.9±0.57 | 3.8±0.42 | 4.0±0.39 | 7.0±0.61 | 5.2±0.36 | 3.1±0.20 | 1.4±0.19 |

nächsten Saatedichtequadrate nicht besonders deutlich voneinander unterscheiden, weichen die äussersten doch vollständig voneinander ab, so dass die Zahl der Stütz- und Nährstützwurzeln offenbar in der Weise von der Saatgutmenge abhängig ist, dass bei den dichtesten Aussaaten weniger als bei weitläufigeren vorhanden sind. Die Ungleichmässigkeiten der vorstehenden Ergebnisse können recht gut von dem trockenen Sommer herrühren, in dem sich das Bedürfnis jener Wurzeln nicht so deutlich geäussert hat, weil der Halm kurz blieb.

IV. Zusammenfassung.

Zusammenfassend können wir sagen:

1. Die Wurzeln der Kulturpflanzen zerfallen nach ihrer Aufgabe, ihrer Entwicklungsperiode, ihrem Bau und ihrer Lage im Wurzelsystem in:

- a. Keim- oder Samenwurzeln,
- b. Nährwurzeln,
- c. Nährstützwurzeln und
- d. Stützwurzeln.

2. Die Aufgabe der Keimwurzeln ist, Wasser und Nahrungsstoffe in die Pflanze zu transportieren, während diese ganz jung ist, und ebenso haben die Nährwurzeln die Aufgabe, die Pflanze während ihrer eigentlichen Wachstumsperiode mit Wasser und Nahrungsstoffen zu versorgen. — Die Nährstützwurzeln dienen dazu, teils Wasser und Nahrungsstoffe in die Pflanze zu überführen, teils die Halme zu stützen, solange sie noch verhältnismässig kurz sind. — Die Aufgabe der Stützwurzeln ist lediglich die Stützung der Halme, wenn die Pflanze ihre volle Länge erreicht hat.

3. Die verschiedenen Wurzelformen haben je ihre eigene Entwicklungsperiode. Die Keimwurzeln entwickeln sich teils bei der Keimung, teils unmittelbar danach, während die Pflanze klein ist, und sie können fast die ganze Wachstumsperiode hindurch am Leben bleiben. Sie sorgen in den ersten Zeiten der Pflanze für deren Wasser- und Nahrungsstoffbedarf. — Einige Zeit (ca. 2—3 Wochen) nach der Keimung, während sich die Pflanze im Saatstadium befindet, beginnen sich Nährwurzeln zu bilden, die in höherem Grade als die Keimwurzeln befähigt sind, Wasser (im Zentralzylinder 3—7 grosse Gefässe) und Nahrungsstoffe in die Pflanze zu transportieren, und manche der Nährwurzeln können sehr tief in den Boden eindringen und von dort Grundwasser in die Pflanze leiten. Die Nährwurzeln leben und funktionieren im grossen ganzen bis zum Ende der Wachstumsperiode und für den Wassertransport noch nach der Ernte des Getreides. — Wenn die Pflanze einen Halm auszubilden anfängt, bedarf sie einer Stütze, und alsdann beginnt sie Nährstützwurzeln zu entwickeln,

die durch die Umwandlung der am Aussenrand der Rinde ihres Basalteils befindlichen Zellreihen in Sklerenchymzellen steif und fest werden, wodurch die Pflanze die für sie nötige Stütze erhält. Der Bau des Zentralzylinders dieser Wurzeln zeigt ausserdem, dass sie in der Wasserversorgung der Pflanze eine gewisse Rolle spielen. Die Nährstützwurzeln bilden sich, während der Halm ziemlich niedrig ist, und sie leben bis zum Ende der Wachstumsperiode. — Wenn die Pflanze ihre volle Länge zu erreichen beginnt, genügt die von den vorhergehenden Wurzeln gewährte Stütze nicht mehr, sondern sie muss Stützwurzeln entwickeln, in denen die äusseren Zellschichten des Rindenteils auf einer verhältnismässig grossen Strecke (4—7 cm) zu Sklerenchymzellen geworden sind, die die Wurzeln versteifen, und an denen in der ganzen Länge der im Boden sitzenden Wurzel je nach Bedarf Wurzelhaare und -zweige entstehen können, welche die Wurzel ausserordentlich fest im Boden verankern und dadurch der Pflanze eine kräftige Stütze geben. Die Stützwurzeln beginnen sich zu bilden, wenn der Halm beinahe sein volles Mass erreicht hat, sie bilden sich in solcher Menge, wie die Pflanze sie braucht, und bleiben den Rest der Wachstumsperiode hindurch am Leben.

4. In ihrem Bau unterscheiden sich die verschiedenen Wurzelformen relativ stark voneinander: die Keimwurzeln sind dünn, verhältnismässig lang und in jüngerem Alter verzweigt. Relativ früh reduziert sich der Rindenteil der Wurzel, und am Ende der Wachstumsperiode ist gar nichts mehr von ihm vorhanden. Im Zentralzylinder findet sich nur ein grosses Gefäss, dessen Querschnittfläche von dem Hals der Wurzel nach unten zunimmt. — Die Nährwurzeln weichen äusserlich nur darin ab, dass sie 2—4 mal dicker als die Keimwurzeln sind. Ihr Rindenteil bleibt beim Wintergetreide verhältnismässig gut durch die Herbstperiode hindurch erhalten; im Winter zerreisst er infolge des Bodenfrostes, und im folgenden Frühjahr und Sommer verschwindet er allmählich, so dass die älteren Nährwurzeln fast ohne Rinde sind. Bei einjährigen Kulturpflanzen ist der Schwund des Rindenteils geringer. Im Zentralzylinder der Nährwurzeln beträgt die Zahl der Gefässe im Basalteil 3—7, und nach der Spitze der Wurzel hin vermindert sie sich bei der vollent-

wickelten Wurzel bis zu einem. Aber die zusammengerechnete Querschnittfläche der grossen Gefässe nimmt vom Basalteil der Wurzel nach der Spitze hin zu. Dieses Verhalten ist für die Fähigkeit der Wasseraufnahme von ausserordentlicher Wichtigkeit. — Die Nährstützwurzeln weichen ihrem Äussern nach von der vorhergehenden Wurzelform darin ab, dass sie an ihrem Basalteil dicker als weiter unten sind. Dieser dickere Teil ist steif. Seinem Querschnitt nach ist der Zentralzylinder ähnlich wie bei den Nährwurzeln. Nur die zusammengerechnete Querschnittfläche der grossen Gefässe des Zentralzylinders vergrössert sich zuweilen vermindert sich oder zeigt an den verschiedenen Stellen der Wurzel keine nennenswerten Veränderungen. In dem steifen Teil sind die äussersten Zellreihen des Rindenteils aus dickwandigen Sklerenchymzellen gebildet. — Die Stützwurzeln unterscheiden sich von den vorhergehenden dadurch, dass sie in relativ grosser Ausdehnung sehr steif und am Basalteil dick sind. Die Zahl der grossen Gefässe des Zentralzylinders beträgt bei diesen Wurzeln im Basalteil 5—12 oder mehr, sie nimmt aber von der Basis nach der Spitze hin sehr schnell ab, und schliesslich ist nur ein Gefäss zu finden. Die zusammengerechnete Querschnittfläche der grossen Gefässe vermindert sich ebenfalls in derselben Richtung ausserordentlich schnell, woraus ersichtlich wird, dass die Wurzel beim Wachsen das erforderliche Wasser aus der Pflanze und nicht wie die übrigen Wurzeln aus dem Boden erhält.

5. Die Lage der Wurzelformen im Wurzelsystem ist immer regelmässig. Zu unterst sitzen die Keimwurzeln, über diesen die Nährwurzeln in mehreren Kränzen. Etwas weiter oben befinden sich die Nährstützwurzeln und zu oberst, ja sogar über der Erdoberfläche die Stützwurzeln. In bezug auf die Aufgabe eignet sich für die Keim- und Nährwurzeln auch der unterste Teil des Wurzelsystems, denn da sind sie ja dem für die Pflanze so wichtigen Wasser, den Nahrungsstoffen, die sie der Pflanze zuzuführen haben, am nächsten. Die Stützwurzeln erfüllen, da sie so hoch oben wie möglich angeheftet sind, in dieser Weise die Aufgabe des Stützens am besten.

Erklärung der Tafeln.

Tafel I. Querschnitte von Wurzeln des Roggens am 7. VII 1927. Gesät 5. VI. 1927.

| Schnitt Nr. | Beschaffenheit der Wurzel | Wurzelklasse | Abstand des Schnitts von der Basis der Wurzel cm | Vergrösserung | Die zusammengerechnete Fläche der grossen Gefässe im Zentralzylinder mm ² . | Anmerkungen |
|-------------|---------------------------|--------------|--|---------------|--|-------------------------|
| 1. | Keimwurzel | I | 0.2 | 115/1 | 0.00042 | Rindenteil lädiert |
| 2. | Dieselbe Wurzel | I | 10.0 | 115/1 | 0.00126 | Ebenso |
| 3. | Nährwurzel | II | 0.2 | 115/1 | — | Rindenteil heil |
| 4. | Nährwurzel | III | 0.3 | 82/1 | 0.00599 | Ebenso |
| 5. | Dieselbe Wurzel | III | 7.0 | 82/1 | 0.00795 | Ebenso |
| 6. | » » | III | 10.0 | 82/1 | 0.01175 | Ebenso |
| 7. | Nährwurzel | III | 0.3 | 58/1 | 0.00567 | Ebenso |
| 8. | Dieselbe Wurzel | III | 12.0 | 58/1 | 0.00867 | Ebenso |
| 9. | » » | III | 17.0 | 58/1 | 0.01640 | Ebenso |
| 10. | Nährwurzel | IV | 0.3 | 70/1 | — | Jüngere Wurzel |
| 11. | Nährstützwurzel | III | 0.3 | 70/1 | — | Sehr junge bei Petkuser |
| 12. | Stützwurzel | IV | 0.3 | 46/1 | — | Bei Petkuser |

Tafel II. Querschnitt von Wurzeln des Roggens am 12. V. 1927. Roggen am 20. VIII. 1926 gesät.

| | | | | | | |
|----|-----------------|-----|------|-------|---------|---|
| 1. | Keimwurzel | I | 0.5 | 130/1 | 0.00075 | Rindenteil zerrissen |
| 2. | Dieselbe Wurzel | I | 1.5 | 130/1 | 0.00066 | Ebenso |
| 3. | » » | I | 10.0 | 130/1 | 0.00196 | Ebenso |
| 4. | Nährwurzel | III | 0.5 | 87/1 | 0.00481 | Rindenteil durch den Bodenfrost zerrissen |

| Schnitt Nr. | Beschaffenheit der Wurzel | Wurzelklasse | Abstand des Schnitts von der Basis der Wurzel cm | Vergrößerung | Die zusammen-gerechnete Fläche der grossen Gefässe im Zentral-zylinder mm ² . | Anmerkungen |
|-------------|---------------------------|--------------|--|--------------|--|---|
| 5. | Dieselbe Wurzel | III | 5.0 | 87/1 | 0.00725 | Ebenso |
| 6. | » » | III | 15.0 | 36/1 | 0.00622 | Ebenso |
| 7. | Nährwurzel | VI | 0.5 | 36/1 | — | Nicht überwintert |
| 8. | » | II | 0.5 | 48/1 | — | Rindenteil durch den Bodenfrost abgelöst |
| 9. | » | II | 0.5 | 81/1 | — | Zentralzylind. stark durch den Bodenfrost zerrissen |
| 10. | Nährwurzel | II | 0.5 | 48/1 | 0.01163 | Rindenteil durch den Bodenfrost abgelöst |
| 11. | Dieselbe Wurzel | II | 8.5 | 48/1 | 0.01321 | Ebenso |
| 12. | » » | II | 18.0 | 48/1 | 0.01327 | Ebenso |

Tafel III. Querschnitte von Wurzeln des Roggens am 28. V. 1927. Der Roggen hat das Saatstadium zurückgelegt, und die Halmansätze sind durchschnittlich 20—25 cm lang.

| | | | | | | |
|-----|--------------------------------|-----|------|------|---------|---|
| 1. | Keimwurze | I | 0.3 | 80/1 | 0.00221 | Rindenteil durch den Bodenfrost zerstört |
| 2. | Dieselbe Wurzel | I | 8.0 | 36/1 | 0.00246 | Ebenso |
| 3. | » » | I | 15.0 | 36/1 | 0.00419 | Ebenso |
| 4. | Nährwurzel | III | 0.3 | 80/1 | 0.00493 | Rindenteil ganz durch den Bodenfrost abgelöst |
| 5. | Dieselbe Wurzel | III | 2.0 | 63/1 | 0.00538 | Rindenteil durch den Bodenfrost abgelöst |
| 6. | » » | III | 10.0 | 63/1 | 0.00503 | Schnitt 0.2 cm oberh. der Rissstelle |
| 7. | Dieselbe Wurzel Seitenzweig | | | 80/1 | — | Seitenzweig oberh. der Rissstelle u. Schnitt 0.5 cm von der Wurzel |
| 8. | » » » | | | 80/1 | — | Ebenso |
| 9. | » » » | | | 80/1 | — | Ebenso |
| 10. | » » » | | | 63/1 | — | Seitenzweig 3.0 cm von d. Basis d. Wurzel ausgehend u. Schnitt am oberen Ende |

| Schnitt Nr. | Beschaffenheit der Wurzel | Wurzelklasse | Abstand des Schnitts von der Basis der Wurzel cm | Vergrößerung | Die zusammen-gerechnete Fläche der grossen Gefässe im Zentral-zylinder mm ² . | Anmerkungen |
|-------------|---------------------------|--------------|--|--------------|--|---|
| 11. | Nährwurzel | V | 0.2 | 65/1 | 0.00344 | Wurzeln ganz wenig durch den Bodenfrost zerrissen |
| 12. | Dieselbe Wurzel | V | 2.0 | 65/1 | 0.00545 | Ebenso |
| 13. | » » | V | 6.0 | 80/1 | 0.00916 | Ebenso |
| 14. | » » | V | 15.0 | 80/1 | 0.00793 | Ebenso |
| 15. | Nährwurzel | I | 0.4 | 80/1 | 0.00349 | Rindenteil vollständig erhalten |
| 16. | Dieselbe Wurzel | I | 5.0 | 80/1 | 0.00424 | Ebenso |

Tafel IV. Querschnitte von Wurzeln des Roggens am 3. VIII. 1927. Roggen am 20. VIII. 1926 gesät. Getreide reif.

| | | | | | | |
|-----|-----------------|-----|------|-------|---------|--|
| 1. | Keimwurzel (P) | I | 0.5 | 135/1 | — | Rindenteil ziemlich ganz zerstört u. Wurzel in Fäulnis |
| 2. | Nährwurzel (P) | II | 0.2 | 130/1 | 0.00428 | Rindenteil fast vollständig durch den Bodenfrost u. andere Faktoren zerstört |
| 3. | Dieselbe Wurzel | II | 4.0 | 130/1 | 0.00681 | Ebenso |
| 4. | » » | II | 8.0 | 130/1 | 0.00578 | Ebenso |
| 5. | » » | II | 12.0 | 130/1 | 0.00567 | Ebenso |
| 6. | » » | II | 18.0 | 130/1 | 0.00569 | Wurzelteil ganz abgenutzt |
| 7. | Nährwurzel (P) | III | 0.2 | 83/1 | 0.01113 | Rindenteil grösstenteils durch den Bodenfrost u. a. verschwunden |
| 8. | Dieselbe Wurzel | III | 4.0 | 83/1 | 0.01187 | Rindenteil fast ganz verschwunden |
| 9. | » » | III | 10.0 | 83/1 | 0.01508 | Ebenso |
| 10. | » » | III | 14.0 | 65/1 | 0.01511 | Ebenso |
| 11. | » » | III | 18.0 | 65/1 | 0.00916 | Ebenso |
| 12. | Nährstützwurzel | IV | 0.2 | 48/1 | 0.00784 | |
| 13. | Dieselbe Wurzel | IV | 1.2 | 83/1 | 0.00770 | Rindenteil ganz verschwunden |
| 14. | » » | IV | 6.5 | 83/1 | 0.00483 | Ebenso |

| Schnitt Nr. | Beschaffenheit der Wurzel | Wurzelklasse | Abstand des Schnitts von der Basis der Wurzel cm | Vergrößerung | Die zusammen-gerechnete Fläche der grossen Gefässe im Zentral-zylinder mm ² . | Anmerkungen |
|-------------|---------------------------|--------------|--|--------------|--|---------------------------|
| 15. | Dieselbe Wurzel | IV | 9.0 | 83/1 | 0.00399 | Ebenso |
| 16. | Nährstützwurzel | IV | 0.5 | 48/1 | 0.00256 | |
| 17. | Dieselbe Wurzel | IV | 4.0 | 48/1 | 0.00172 | |
| 18. | Stützwurzel | V | 0.2 | 38/1 | 0.01314 | Unterirdische Stützwurzel |
| 19. | Dieselbe Wurzel | V | 3.0 | 38/1 | 0.00132 | |
| 20. | » | V | 5.0 | 48/1 | 0.00050 | |
| 21. | » | V | 8.0 | 48/1 | 0.00066 | |
| 22. | » | V | 12.0 | 83/1 | 0.00031 | |
| 23. | Stützwurzel | VI | 0.2 | 48/1 | 0.01385 | Oberirdische Stützwurzel |
| 24. | Dieselbe Wurzel | VI | 2.5 | 48/1 | 0.00659 | |
| 25. | » | VI | 4.0 | 48/1 | 0.00330 | |

Tafel V. Querschnitte von Wurzeln des Weizens am 8. VIII. 1927. Weizen am 15. VIII. 1926 gesät. Getreide zur Ernte gereift.

| | | | | | | |
|-----|-----------------|-----|------|-------|---------|---|
| 1. | Keimwurzel | I | 0.5 | 130/1 | — | Wurzel ganz in Fäulnis |
| 2. | Nährwurzel | II | 0.5 | 83/1 | 0.00544 | Rindenteil zerstört, Wurzel abgestorben |
| 3. | Dieselbe Wurzel | II | 5.0 | 83/1 | 0.00754 | Ebenso |
| 4. | » | II | 14.0 | 130/1 | 0.01122 | Ebenso |
| 5. | » | II | 19.0 | 130/1 | 0.01089 | Ebenso |
| 6. | Nährwurzel | III | 0.5 | 83/1 | 0.00385 | Rindenteil teils durch d. Bodenfrost u. teils durch d. Bodenbewegungen im Sommer zerstört |
| 7. | Dieselbe Wurzel | III | 3.0 | 83/1 | 0.00430 | Ebenso |
| 8. | » | III | 10.0 | 130/1 | 0.00425 | Ebenso |
| 9. | » | III | 16.0 | 130/1 | 0.00510 | Ebenso |
| 10. | » | III | 20.0 | 130/1 | 0.00419 | Ebenso |
| 11. | Nährstützwurzel | IV | 0.5 | 83/1 | 0.00503 | Ebenso |
| 12. | Dieselbe Wurzel | IV | 3.0 | 48/1 | 0.00493 | Rindenteil zerstört |
| 13. | » | IV | 8.0 | 48/1 | 0.00454 | Ebenso |
| 14. | » | IV | 12.0 | 83/1 | 0.00754 | Ebenso |
| 15. | » | IV | 18.0 | 83/1 | 0.01021 | Ebenso |
| 16. | » | IV | 24.0 | 83/1 | 0.01170 | Ebenso |

| Schnitt Nr. | Beschaffenheit der Wurzel | Wurzelklasse | Abstand des Schnitts von der Basis der Wurzel cm | Vergrößerung | Die zusammen-gerechnete Fläche der grossen Gefässe im Zentral-zylinder mm ² . | Anmerkungen |
|-------------|---------------------------|--------------|--|--------------|--|-----------------------------------|
| 17. | Stützwurzel | V | 0.5 | 48/1 | 0.02113 | |
| 18. | Dieselbe Wurzel | V | 4.0 | 48/1 | 0.02036 | Rindenteil zerstört |
| 19. | » | V | 7.0 | 83/1 | 0.01165 | Rindenteil fast ganz verschwunden |
| 20. | » | V | 11.0 | 83/1 | 0.01367 | Ebenso |
| 21. | » | V | 14.0 | 83/1 | 0.01090 | Ebenso |

Tafel VI. Querschnitt von Wurzeln der Gerste am 2. VIII. 1927. Gerste am 5. VI. 1927 gesät. Getreide reif.

| | | | | | |
|----|-----------------|-----|------|------|---------|
| 1. | Keimwurzel | I | 0.2 | 83/1 | 0.00108 |
| 2. | Dieselbe Wurzel | I | 4.0 | 83/1 | 0.00196 |
| 3. | » | I | 7.0 | 83/1 | 0.00181 |
| 4. | » | I | 11.0 | 83/1 | 0.00126 |
| 5. | Nährstützwurzel | II | 0.3 | 58/1 | 0.00905 |
| 6. | Dieselbe Wurzel | II | 2.5 | 58/1 | 0.00378 |
| 7. | » | II | 6.5 | 68/1 | 0.00378 |
| 8. | Stützwurzel | III | 0.3 | 48/1 | 0.00916 |
| 9. | Dieselbe Wurzel | III | 3.5 | 48/1 | 0.00305 |

Tafel VII. Querschnitt von Wurzeln des Hafers am 10. VIII. 1927. Hafer am 5. VI. gesät. Getreide ziemlich reif.

| | | | | | |
|----|-----------------|-----|------|------|---------|
| 1. | Keimwurzel | I | 0.5 | 83/1 | 0.00139 |
| 2. | Dieselbe Wurzel | I | 12.0 | 83/1 | 0.00246 |
| 3. | Nährstützwurzel | II | 0.4 | 48/1 | 0.00831 |
| 4. | Dieselbe Wurzel | II | 2.0 | 48/1 | 0.00665 |
| 5. | » | II | 14.0 | 65/1 | 0.00754 |
| 6. | Stützwurzel | III | 0.5 | 65/1 | — |

Tutkimuksia viljelyskasvien juurista.

I.

Juurimuodot, niiden rakenne, tehtävä ja sijoitus juuristossa.

Alkulause.

Jo vuonna 1927 julkaisin viljelyskasvien juuria koskevista tutkimuksista edeltävän tiedonannon (Über das Verhältnis der Winterfestigkeit des Roggens zur Dehnbarkeit und Dehnungsfestigkeit seiner Wurzeln. Acta Forestalia Fennica 33,3. 1927). Kii-reellisten töiden ja muiden olosuhteiden, kuten sairauden y.m. vuoksi en silloin voinut saattaa tutkimustyötäni painokuntoon ja vasta sitten, kun keväällä vuonna 1930 sain Opetusministeriöltä työtä varten apurahan, oli minulla mahdollista saattaa työni päätökseen.

Kun nyt tutkimus on valmiina, on minulla mieluinen velvollisuus lausua kiitokseni Maatalouden koetoiminnan keskusvaliokunnalle saamastani avusta, jonka turvin sain aineiston kootuksi, ja samoin kiitän Opetusministeriötä apurahasta, joka teki mahdolliseksi työn lopullisen valmistamisen. Erityisesti kiitän Prof. K. LINKOLAA, joka on minua auttanut monella tavalla aineiston kokoamisessa sekä neuvoilla ja rohkaisuilla tukenut työtäni.

Helsinki, tammikuussa 1931.

Johdanto.

Routatutkimuksistani johduin viljelyskasvien juuria tutkimaan. Tahdoin nimittäin saada selville, onko talvenkestävyydellä mitään yhteyttä juurien venyvyyden kanssa, jota ominaisuutta kasvit tarvitsevat roudan aiheuttaman maan tilavuuden suurenemisen vuoksi. Juurien venyvyyttä tutkiessani huomasin, etteivät aikaisemmat juuria koskevat selvittelyt olleet niin täydellisiä, että niiden perusteella olisi voitu tyydyttävästi selvittää juurissa esiintyvät muodot y.m. seikat. Kun juurien venyvyyden selvityksessä oli välttämätöntä tietää kunakin kasvukautena juurien ikä ja muoto sekä myös tehtävä, oli ryhdyttävä näiden asioiden omakohtaiseen selvittelyyn.

Jo kauan ovat viljelyskasvien juuret olleet, ja aika ajoin hyvinkin vilkkaan tutkimuksen esineinä. Viljelyskasvien juuria varsinaisesti alettiin tutkia 1860-luvulla, jolloin muillakin maatalousaloilla oli suurta edistystä huomattavissa. Kerrotaanhan itse J. v. LIEBIGIN lausuneen: »Die Kenntnis der Wurzeln unserer Kulturpflanzen ist die Grundlage zu einem rationellen Ackerbau.» Erityisesti on tutkittu juurien elämää ja kehitystä sekä suoritettu lukuisia mittauksia juurien painosta verrattuna korren painoon. THIEL, MÜLLER, KRAUS, ECKERT, GAROLA y.m.¹ ovat tutkineet juurien kehitystä ja elämää sekä jossakin määrässä suorittaneet mittauksia juurien määrästä verrattuna maanpäällisiin osiin. Varsinkin OPITZ on tutkinut erityisesti viimeksimainittua seikkaa. Hänen jälkeensä on melkein joka maassa suoritettu juurien maanpäällisten osien välistä painoa selvittäviä tutkimuksia², sillä vaikuttavathan juurien kehitykseen ja muodostumiseen kullakin seutukunnalla olevat luontaiset olosuhteet, joten tällainen tutkimus, vaikka niitä on muualla suoritettu, on paikallaan selvittämään paikallisten olosuhteiden vaikutusta juurien kehitykseen.

Samalla kuin edelläkerrotunlaisia tutkimuksia on suoritettu, on sen yhteydessä tehty tärkeitä havaintoja juurista ja juuristoista. Itämisessä syntyy heinäkasveilla, joilla ei kehity mitään pääjuurta, 3—8 hyvin ohutta itämisjuurta. Ne kasvavat maassa pääasiallisesti alaspäin. Jonkin aikaa itämisestä alkaa muodostua itämispaikan yläpuolella oleviin varsisolmuihin n.s. latvajuuria, jotka ottavat pääasiallisesti kasvin ravinnonkuljetuksen tehtäväkseen. Latvajuurit voivat olla useammassa kiehkurassa, riippuen siitä kuinka alas, syvään, jyvä kylvössä on joutunut. Jos jyvä on syvällä, muodostuu kaksi tai useampia juurikiehkuroita, jolloin (GROTFELT) välikiehkurassa olevia juuria sanotaan välijuuriksi ja ylempänä kiehkurassa olevia juuria latvajuuriksi eli sivujuuriksi³ (Adventiv-Wurzel). Itämisjuuret ovat yleensä lyhytikäisiä ja niissä juurikarvan muodostuminen tapahtuu vain aina lähellä juuren päätä lyhyellä matkalla. Sensijaan on juurikarvan muodostus muissa juurissa aivan yleinen. Juurien samoin kuin juurikarvojen tehtävänä on kiinnittää kasvit maahan ja kuljettaa maasta vettä ja ravintoaineita kasviin. Aikaisempien tutkimusten mukaan ovat syysviljalla aina juurimuodostumat suuremmat ja voimakkaammat kuin kevätiljalla. Juurien eri tehtävistä puhuttaessa on myös mainittu juurien tukemistehtävä. Ylimmässä juurikiehkurassa olevat juuret tulevat ulkoapäin aiheutuvan voiman, kuten tuulen, vaikutuksen alaisiksi, jolloin juuressa syntyy taivutusta ja puristusta, jonka vastustamiseksi juurissa on kehittynyt keskusosa, juurien keskuslieriöt ovat vahvistuneet ja taivutuskestävyyden lisäämiseksi on juuren uloimmassa kuoriosassa syntynyt paksuseinäisiä soluja, kuten

¹ Vrt. BECKER, J.: Handbuch des Getreidebaues. Erster Band: Getreidebau. Berlin, 1927. S. 15—18.

SCHULZE, B.: Studien über die Bewurzelung unserer Kulturpflanzen. 1906.

OPITZ, KURT: Untersuchungen über Bewurzelung und Bestockung einiger Getreidesorten. Mitteilungen der Landwirtschaftlichen Institute der Königlichen Universität Breslau I. Berlin, 1904. S. 749—816.

² Vrt. SIMOLA, E. F.: Maanlaatuja ja maan kosteussuhteiden vaikutuksesta eräiden kaura- ja ohralaatuja morfologisiin ominaisuuksiin. Suomen maanviljelystaloudellinen koelaitos. Tieteellisiä julkaisuja. No 19. 1923. — ROOTSI, N.: Kultuurtaimede juureosadest. Katseasjanduse Nõukogu toimetused nr. 3. Tartu, 1928.

³ Vrt. GROTFELT, G.: Suomalainen peltokasviviljelys. Helsinki, 1924. S. 52—54.

esim. maississa. Vielä on juuritutkimuksista mainittava juurien pituusmittaukset, joita varsinkin SCHULTZ¹ on suorittanut. Viljelyskasvien juurien asentoa ja jakautumista maassa on tutkinut WEAVER y.m.² Maan fyysikaalisten ominaisuuksien vaikutusta juurien ja maanpäällisten osien määrään ovat tutkineet v. SEELHORST y.m.³.

I. Tutkimustapa.

Tutkimusaineiston kasvattaminen ei ollut yhtenäinen, sillä varsinaiseen juurimuotoa käsittävään tutkimukseen ryhdyttiin keväällä, joten, jos syksyllä kasvatettuun aineistoon olisi yksistään tyytynyt, olisi syysviljasta jäänyt koko syyskauden juurimuodot selvittämättä. Jotta syysviljan kasvukauden alkupuolen juuret ja juuristot voitaisiin selvittää, kasvatettiin tätä varten uutta aineistoa, joka kylvettiin kesäkuun 5 p:nä 1927. Rukiista kasvatettiin: Kaskiruista, Iisalmenruista ja Petkusruista; ohrista: Ollinohraa, Halikonohraa, Vegaohraa ja Kultaohraa sekä kauroista: Kytökauraa, Yli-tornionkauraa ja Voittokauraa. Talvehtinut aineisto, joka oli kylvetty 20/8 26, käsitti seuraavat ruislaadut: Iisalmenruis, Ostolanruis, Vaasanruis (Jalostettu Vaasanruis, Svalöfin jaloste) ja Petkusruis (saksalainen jaloste); seuraavat vehnälaadut: Svea, Itäsuomalainen, Bore, Thule II ja Baurin syysvehnä. Täydellinen aineisto kasvatettiin varsinaisesti yliopiston kasvitieteellisessä puutarhassa, jota varten sain käytettäväkseni tarpeellisen maa-alueen. Maaperän laatu oli moreenia ja hietasavimaata. — Useimmista edellämäinuituista laaduista sain rinnakkaisaineistoa Tikkurilan Kasviviljelyskolaitokselta.

Tutkimukset koetettiin suorittaa mikäli mahdollista tasaisesti kasvukauden eri aikoina, jotta voitaisiin selvittää juurien ulkonäön ja sisäisen rakenteen vaihtelu kasvukauden aikana. Seuraavina aikoina suoritettiin pääasiallisesti juuri- ja juuristosevittelyt:

| | | |
|-----------|--------------|--------|
| Huhtikuun | 20 päivänä | 1927 |
| Toukokuun | 7—12 päivinä | 1927 |
| » | 22—25 | » 1927 |
| Kesäkuun | 5—14 | » 1927 |
| » | 28—30 | » 1927 |
| Heinäkuun | 2—14 | » 1927 |
| » | 18—25 | » 1927 |
| Elokuun | 1—8 | » 1927 |

Juurimuotoja koskevat tutkimukset suoritettiin aivan läheisessä yhteydessä juurien venyvyyttä koskevien tutkimusten kanssa, joten samoja juuria käytettiin molemmissa siten, että juurimuotoja koskevat selvittelyt suoritettiin ensin, jonka jälkeen osa juuresta venytettiin ja osa säilytettiin mikroskooppisia töitä varten.

Tutkimusta varten otettiin juuret maasta pienellä lapiolla, jolloin jätettiin maata juurien ympärille niin runsaasti, etteivät juuret ainakaan juuristojen lähellä (15—20

¹ OPITZ, KURT: Edellämäinittu teos.

² Vrt. WEAVER, J. E.: Rot Development of Field Corps. New York, 1926; ja siinä mainittu kirjallisuus.

³ OPITZ, KURT: Edellämäinittu teos.

cm:n etäisyydellä) rikkoutuneet. Laboratoriossa pestiin multa juurista hyvin varovasti, jotta juurien sivuhaarat ja karvamuodostumat sekä niiden asento korteen nähdessä pysyisi mahdollisimman paljon muuttumattomana. Juurien puhdistaminen syksyllä, talvella ja keväällä oli hyvin helppoa, sillä multa oli aivan löyhässä. Kesällä sensijaan oli multa erityisen tiukasti iskostunut juuriin, varsinkin viljan kypsyamisen aikana, jolloin juuristo oli täydellisin.

Kun juuristot oli täten puhdistettu, tarkastettiin ensimmäiseksi millainen juuristo yksilöllä oli. Tällöin erotettiin kolmenlaisia juuristoja:

1. normaalin eli yksikimppuinen,
2. kaksikimppuinen ja
3. monikimppuinen juuristo.

Normaali- eli yksikimppuisessa juuristossa ovat kaikki juuret sijoittuneet aivan lähelle toisiaan itämispaikan yläpuolelle muodostaen yhden juurikimppun. Kaksikimppuisessa juuristossa, joka syntyy kun siemen joutuu liian syvälle maahan, on itämisjuuret ja joitakin muita ohuita juuria itämispaikan luona muodostaen alimman juurikiehkuran ja niitä seuraa lyhyt (0.3—1.5 cm pitkä), ohut maanalainen varsi, johon määrätyn matkan päässä maanpinnasta muodostuu varsinainen juurikimppu. Alemmassa juurikimppussa on vain muutamia, 4—8 juurta, ylempässä sensijaan erittäin lukuisasti. Monikimppuisissa juuristossa on siemen joutunut vieläkin syvemmälle kuin edellisessä tapauksessa, jolloin alemman juurikimppun ja varsinaisen juurikimppun väliin muodostuu yksi tai pari välijuurikiehkuraa, joissa kussakin on vain muutamia juuria. — Eri ajanjaksojen tyyppisimpien yksilöiden juuristoista piirrettiin kuvat. Useimmiten täytyy alemmat lehdet leikata pois, sillä ne häiritsevät vapaata näkemistä ja monesti leikattiin myös juuria pois, jotta juurien asento tulisi paremmin näkyviin.

Juuristosevittelyn jälkeen irroitettiin juuret varresta saksilla ja ryhdyttiin juurien luokitukseen. Juurien luokkia määrätessä otettiin vain ulkonäkö huomioon, jolloin erotettiin eri ominaisuuksia seuraavasti:

Juurien väri, joka yleensä oli koko juuren pituuden samanlainen, vaihteli yleensä vaaleasta tummanruskeaan. Joissakin tapauksissa vaihteli väri samassa juuressa vaaleasta vihreään.

Juurien haaraisuudessa erotettiin kolme astetta: melkein haarattomat, vähän haaraiset ja hyvin haaraiset.

Juurien karvaisuus vaihteli erittäin runsaasti.

Juurien paksuudessa erotettiin kaksi seikkaa, nimittäin paksuuden vaihtelu eri juurien kesken ja paksuuden vaihtelu samassa juuressa. Eri juurien kesken vaihteli paksuus suuresti, 0.1—2.5 mm. Samassa juuressa tapahtuvan paksuusvaihtelun johdosta erotettiin paksutyvisiä, ohuttyvisiä ja tasapaksuja juuria.

Juurien jäykkyys oli myöskin erityisen vaihteleva. Tavattiin aivan taipuvia, pehmeitä, velttoja, joustavia ja aivan kovia, jäykkiä juuria.

Juurien pituus ei ollut varsinaisena tutkimustehtävänä ja olosuhteitten pakosta ei voitu vanhojen juurien pituutta määrätä. Nuorien juurien pituus otettiin huomioon luokituksessa.

Juurimuotoja käsiteltäessä kiinnitettiin erityisesti huomio juurien tehtävään kasvin elintoiminnassa. Juurilla on varsinaisesti kaksi tehtävää, nim. 1. tukea ja kiinnittää kasvi maahan ja 2. kuljettaa maasta vettä ja ravintoaineita kasviin. Tukemis- ja kiinnittämistehtävässä kiinnitettiin huomio juuren mekaanisiin ominaisuuksiin, kuten lujuuteen, venyvyyteen, jäykkyyteen j.n.e. Kun kasvi on pitkä, vaikuttaa siihen tuuli,

taivuttaen sitä enemmän tai vähemmän, josta liikkeestä syntyy juurissa puristusta ja venytystä riippuen siitä, millä puolen juurta tuuleen nähden juuret ovat. Koska tuuli useimmassa tapauksessa on hyvin vaihteleva, niin voidaan katsoa, että tuulen vaikutus on niin puristukseen kuin venytykseenkin nähden samanlainen kasvin joka puolella. Tässä suhteessa siis tarkastetaan juuren venytys- ja puristuslujuusominaisuuksia sekä erityisesti juurien sijoitusta juuristossa, sillä viimeksimainitusta seikasta niiden teho hyvin tuntuvassa määrässä riippuu. Sen lisäksi kiinnitetään huomiota niihin välineisiin, joilla juuri on kiinnitty maahan, nim. juurikarvoihin.

Ravintoaineiden kuljetuksessa tarvitsee juurien sisäisen rakenteen olla tähän tarkoitukseen sopivan, se on, sisältää mahdollisimman paljon sellaisia välineitä, jotka kykenevät kuljettamaan vettä riittävän runsaasti kasviin. Juurissa kiintyy huomio tällöin keskusjätteessä oleviin suuriin putkiloihin, joiden luku ja suuruus vaikuttaa mainitun tehtävän suoritukseen.

Jo aikaisemmin on mainittu, että juuria luokitellessa ryhmiin kiinnitettiin huomiota juuren jäykkyyteen. Tämä onkin tärkeä ominaisuus juurimuotoja erotellessa. Jäykkyyttä tässä tapauksessa arvioitiin kuten aikaisemmin on selostettu.

Juuren ulkomuoto otettiin juurimuotoja käsiteltäessä sikäli huomioon, mikäli samaan juurimuotoon kuuluvilla juurilla muotoonsa nähden oli yhteistä, esim. kaikki paksutyviset juuret luettiin samaan juurimuotoon, toiseen juurimuotoon taas ohutyviset ja tasapaksut. Kuitenkin oli tässä jonkin verran vaihteluja, joten ulkomuodon perusteella ei voitu varsinaista juurimuotoa aivan tarkalleen määrätä. Sensijaan juuren anatoomisen rakenteen mukaan voitiin selvästi erottaa eri juurimuodot. Juurien poikkileikkauksissa kiinnitettiin etupäässä huomio juuren keskuslieriöön ja kuoriosaan. Keskuslieriön rakenne ja suuret putkilot, joita kutakin vastasi kaksi putkilo-osaa, olivat kiinteän huomion esineinä. Juuren kuoriosan suhteen erotettiin juuria, joissa kuoriosaa suurimmaksi osaksi puuttui, juuria, joissa oli kuoriosaa vielä jäljellä, sekä juuria, joissa kuoriosaa oli erityisen valtava, muodostunut paksuseinäisistä soluista. Myös tarkastettiin, miten juurien poikkileikkaus muuttuu tyvestä latvaan mentäessä.

Poikkileikkaukset suoritettiin vapaan käden leikkauksina ja ne valokuvattiin *Kalatatkimuslaitoksessa* olevalla mikrovalokuvauskoneella. Jotta juuren sisäisen rakenteen vaihtelut ja muuttumiset samassa juuressa tulisivat selvitetyiksi, otettiin sarja kuvia juuren tyvestä latvaan päin, jolloin kuvien etäisyys riippui selvitettävänä olevasta asiasta.

Juuriluokkien merkinnät tässä lopullisessa julkaisussa muutettiin päinvastaisiksi kuin edeltävässä tiedonannossa: Nyt vastaa aina luokka I. aikaisempaa korkeinta luokkaa ja korkein luokka aikaisempaa I. luokkaa. Tästä muutoksesta oli se etu, että samat juuret kuuluvat, pieniä poikkeuksia lukuunottamatta, samaan luokkaan koko kasvukauden.

II. Juurimuodot, niiden rakenne, tehtävä ja sijoitus juuristossa.

1. Aineisto.

Aineiston hankintaa ja sen käsittelyä ei voida tässä lähemmin kosketella. Se tapahtui tutkimustapaselostuksessa mainittuna aikana ja siinä mainitulla tavalla. Eri aikakausien aineiston yksityiskohtaisesta käsittelystä on tilan puutteen vuoksi luovuttava.

2. Juurimuodot, niiden rakenne, tehtävä ja sijoitus juuristossa.

Tutkitun aineiston perusteella voidaan viljelyskasvien juuret luokitella neljään ryhmään:

1. itämisjuuret,
2. ravintojuuret,
3. ravintotukijuuret ja
4. tukijuuret.

Itämisjuuret ovat hyvin ohuita (tyvestä 0.10—10.25 mm), tasapaksuja ja ne syntyvät itämisen yhteydessä tai heti sen jälkeen. Ulkonäöltään itämisjuuret ovat yleensä samanlaisia. Niiden rakenteelle on ominaista suhteellisesti voimakas keskusjänne, jonka keskuksessa melkein poikkeuksetta on vain yksi iso putkilo, joten juuren poikkileikkaus on koko pituudeltaan samanlainen. Juuren kuoriosaa on alussa jotenkin yhtä paksu kuin keskuslieriön läpimitta, mutta ohenee pian maan aiheuttaman hankauksen johdosta. Talvehtimisen jälkeen kuoriosaa on melkein kokonaan kulunut pois. Taimen nuorella iällä ovat itämisjuuret ravinnon ja veden tuojat. Myöhemmin, kun kasvi kehittää paljon muita juuria, jotka vastaavat kasvin tarpeita ja ovat sopusuhteessa kasvukauden olosuhteisiin, itämisjuuret lakastuvat enemmän tai vähemmän, syysviljalla aikaisemmin kuin kevätiljalla. Itämisjuurien luku on rukiilla 4, joskus 5 ja 6, vehnällä 3, joskus 4 ja 5, ohralla 4—5 ja kauralla 3—4, joskus 5.

Itämisjuuret syntyvät siinä juuriston osassa, joka on ensiksi muodostunut itämisen kuluessa, ja ovat juuristossa alimpana aivan varren alapäässä.

Ravintojuuret alkavat muodostua jonkin aikaa itämisen jälkeen ja muodostuu niitä niin kauan kuin korsi ei vielä ole erityisen pitkä. Ulkonäöltään ne vaihtelevat kasvukauden eri aikoina melko tuntuvasti. Syksyllä voidaan erottaa 2 ja 3 eri luokkaa (luokat II—IV) ja keväällä selvästi enemmän (luokat II—VI), kasvukauden loppupuolella eroavaisuus pienenee (heinäkuussa luokat II—III (IV)). Ravintojuuret ovat pehmeitä, veltoja, taipuvia, tasapaksuja ja paksunpuoleisia (0.3—1.0 mm) juuria, joilla on paljon juurihaaroja ja jotka ovat hyvin pitkiä (40—60 cm jopa ylikin). Pääasiallisesti ne eivät ole karvaisia muualta kuin juuren kärjen lähetyviltä. Niiden luku vaihtelee hyvin suurena määränä, syysviljoilla saattaa niitä olla keväällä 8—15 kpl, kevätiljoilla ne ovat paljon harvalukuisemmat ja ovat lisäksi usein aivan samanlaisia kuin itämisjuuret, joten vain kasvupaikka osoittaa, että juuri on ravintojuuri, eikä itämisjuuri. Toisinaan, varsinkin kuivina kasvukausina, ne saattavat kevätilviljalta puuttua kokonaan. Erittäin lihavissa ja riittävän tuoreissa maissa, kasvun ollessa rehevän, esiintyy niitä verraten lukuisasti.

Ravintojuurien rakenne vaihtelee huomattavasti kasvin kasvukauden aikana. Nuoren ravintojuuren kuoriosia on paljon suurempi kuin keskuseriön osa. Valmistuneella viljalla ovat kuitenkin molemmat jotenkin yhtä suuret. Talven vaikutuksesta voi syysviljalla kuoren ulommainen osa irtautua keskuseriöstä muodostaen tupen sen ympärille. Irtautunut osa häviää usein kasvukauden kuluessa, mutta toisilla yksilöillä se saattaa säilyä löyhänä kuorituppena koko kasvukauden. Väriltään kuorituppi on kasvukauden aikana muuttunut tummanruskeaksi, lopulta melkein mustaksi. Nuorien ravintojuurien väri on vaalea, mutta vanhemmiten tulee väri keltaiseksi ja kypsymiskauden loppupuolella juuret ovat tummanruskean värisiä.

Rukiin ja vehnän, ohran paksumpien ja kauran ravintojuurien poikkileikkauksessa on isojen putkiloiden luku juuren keskuseriöissä tavallisesti suurempi kuin 3 ja jokaisesta niistä kuuluu yleensä kaksi putkilo-osaa.

Keskuseriön poikkileikkauksessa olevat suuret putkilot, joiden kautta oikeastaan vesi ja ravintoaineet tulevat kasviin, ovat tavallisesti pyöreitä. Missä kaksi putkilo sulautuu yhteen, on putkilojen poikkileikkaus soikea, puolikuunmuotoinen. Kun isot putkilot ovat hyvin lähellä toisiaan, on niiden muoto kantikas (vrt. eri kuvatauluja). Suuret putkilot ovat yleensä symmetrisesti asettuneet keskuseriöseen, vain juurien tyviosassa on usein suurien putkiloiden asennossa epäsäännöllisyyttä havaittavissa.

Keskuseriön suurien putkiloiden luku vaihtelee eri juurimuodoissa. Itämisjuuressa on aina yksi suuri putkilo, ravintojuurissa vaihtelee suurten putkiloiden luku tyviosassa juurta 3—7. Juuren latvaosaan mentäessä pienenee luku ja lopuksi on vain yksi iso putkilo keskuseriöissä. Suurten putkilojen läpimitta vaihtelee juuren tyviosalla vehnällä 0.045—0.055 mm:iin, joskus 0.060 ja rukiilla 0.035—0.045 ja monesti aina 0.050 mm:iin, jopa joskus ylikin. Kuinka suurten putkilojen poikkileikkauspinta juuren tyviosalta latvaan mentäessä muuttuu, osoittaa sivulla 91 ja 92 oleva taulukko, jossa merkinnät merkitsevät:

| Wurzelform und Nummer der Wurzel | Entfernung des Schnittes von der Basis der Wurzel cm | Zahl. | Grosse Gefässe Mittlerer Durchmesser mm | Querschnittsfläche mm ² | Anmerkungen |
|----------------------------------|--|-------|---|---|------------------------|
| Juurimuoto ja juuren numero | Leikkauksen etäisyys juuren niskasta cm | | Suurien putkiloiden keskimääräinen läpimitta mm | poikkileikkauspinta-ala mm ² | Muistutuksia |
| <i>Weizen:</i> | | | | | |
| <i>Vehnä:</i> | | | | | Nicht Krone der Wurzel |
| Keimwurzel | | | | | |
| Itämisjuuri | | | | | Ei juuren latva |
| Nährwurzel | | | | | Ganz junge Wurzel |
| Ravintojuuri | | | | | Aivan nuori juuri |
| <i>Roggen:</i> | | | | | Krone der Wurzel |
| <i>Ruis:</i> | | | | | Juuren latva |

Kuten edellämainitusta taulukosta ilmenee, suurenee keskuseriön suurten putkiloiden yhteenlaskettu (myös itämisjuuren yhden ison putkilon) pinta-ala erittäinkin rukiilla, mutta

myös vehnällä juuren tyvestä sen latvaan mentäessä. Sensijaan suurten putkiloiden luku pienenee. Tällainen rakenne on vedenkuljetuksen kannalta maasta kasviin erityisen edullinen ja se osoittaa, että itämis- ja ravintojuurien tehtävänä on hankkia vettä ja ravintoaineita maasta kasviin. Isojen putkiloiden läpimitan pieneminen juuren latvasta sen tyveen mentäessä suurentaa kapillaarista nostokorkeutta paljon enemmän kuin todellinen matka on¹. Nuoremmissa ravintojuurissa on suurten putkiloiden pinta-ala yleensä pienempi alempana kuin juuren tyvellä.

Ravintojuuret ovat sijoittuneet itämisjuurien yläpuolelle, joko aivan lähelle niitä, jos juuristo on yksikimppuinen; jos taas juuristo on useampikimppuinen, niin ravintojuuret ovat alimmassa kimpussa itämisjuurien yläpuolella, muissa juurien kimpuissa ne ovat alimpina. Rukiilla ja vehnällä on välikimpuissa vain ravintojuuria. Syysviljalla keväällä muodostuneet ravintojuuret ovat aina varsinaisessa juuristossa, jossa aina on alimpana muutamia syksyllä muodostuneita ravintojuuria.

Ravintojuurien rakenteesta ja sijoituksesta sekä kehittymisajasta päättäen niiden tehtävänä on kuljettaa vettä ja ravintoaineita kasviin sen kasvamista ja kehittymistä varten.

Ravintotukijuuret alkavat syntyä heti, kun korsi tulee niin pitkäksi, että se vaatii tukea. Ne ovat sijoittuneet varsinaisessa juuristossa ravintojuurien yläpuolelle. Tyveltään nämä ovat paksuja ja tiheästi juurikarvojen peitossa, mutta ohenevat pian, karvaisuus vähenee ja juurihaarojen kohdalla ei ole juuri ollenkaan karvoja. Vanhemmat ravintotukijuuret kehittyvät pitkiksi (20—30 cm). Tyviosa on yläpäästä 0.5—5.0 cm:n pituudelta jäykkä, tikkumainen, jotavastoin juuren alempi osa on pehmeä ja taipuva. Juurien luku vaihtelee suuresti (5—20 kpl), ollen niitä syysviljalla paljon lukuisammasti kuin kevätiljalla. Ulkonäön perusteella ei vanhempia ravintotukijuuria voida erottaa tukijuurista. Väriltään nuoret ravintotukijuuret ovat vaaleita, vanhempina keltaisia.

Juurien jäykän osan poikkileikkaus eroaa ravintojuuren poikkileikkauksesta vain siinä, että juuren kuoren ulkoiset (periferiset) osat ovat muodostuneet paksukettoisista soluista (Sklerenchymzellen), joista johtuu juurien jäykkyys ja tikkumaisuus; juuren keskuseriö on samanlainen kuin ravintojuurilla. Juurien taipuvan osan poikkileikkaus on aivan samanlainen kuin ravintojuurilla.

Ravintotukijuuret ovat sijoittuneet juuristossa ravintojuurien yläpuolelle ylimpään eli varsinaiseen juurikimppuun. Kevätviljalla saattaa niitä olla joku alemmissa juurikimpuissakin.

Otaen huomioon juurien kehittymisajan ja rakenteen on näiden juurien tarkoituksena sekä veden ja ravinnon kuljetus että korren tukeminen.

Tukijuuret ovat yleensä jäykkiä ja paksuja sekä pituudeltaan aivan eri mittaisia, alkaen aivan lyhyestä (0.1—0.2 cm), vasta kasvun alussa olevasta juuresta 10—17 cm:n mittaiseen. Tukijuuret ovat paksuja (1.0—2.5 mm) ja erittäin jäykkiä. Jäykän osan pituus vaihtelee aivan lyhyestä 6 jopa 8 cm:iin, sen alapuolella juuri ohenee hyvin nopeasti ja muuttuu maan sisällä rakenteeltaan suurin piirtein ravintojuurien kaltaiseksi, mutta ei läheskään niiden mittaiseksi. Ylimmät tukijuuret, jotka saattavat olla

¹ Kapillaarinen nostokorkeus saadaan kaavasta $h = \frac{15}{r}$, jossa h merkitsee kapillaarista nostokorkeutta mm:ssä ja r kapillaariputken sädettä myös mm:ssä.

verraten korkealla maanpinnasta korren alemmissa solmuissa, eivät useinkaan ulotu maahan asti, vaan ne jäävät usein kannusten tapaisina, koukkuisina korteen kiinni. Tukijuurien väri sillä osalla, mikä on maanpinnan yläpuolella, on useammassa tapauksessa vihreä tai vihreänkeltainen, sensijaan kuin maan sisällä oleva osa on vaalea tai hiukan vaaleankeltainen. Tukijuurien maanpinnan alapuolella oleva sekä pehmeä että kova osa on runsaasti juurikarvojen peittämä ja sen lisäksi pehmeä osa usein hyvin haarainen.

Tukijuurien kehitys alkaa tavallisesti rukiilla vähän ennen tähkimistä, ohralla ja kauralla tähkän ilmestymisen aikana ja jatkuu niiden muodostumista suotuisten olosuhteitten vallitessa viljan kypsyminen asti. Viljan valmistuessa tukijuuret kutistuvat ryppyisiksi.

Juuren jäykän osan sisäinen rakenne eroaa edellisistä juurimuodoista kokonaan. Keskusjänne ei ole niin vahvarakenteinen eikä siinä ole suuria putkiloita, joita on 8—14 kpl, poikkileikkauksen pinta-alaan nähden niin lukuisasti kuin ravintojuurissa, joten se on näissä muodostunut suhteellisen heikoksi, mutta kuoren ulkoinen osa sensijaan on muodostunut vahvakettoisista soluista (Sklerenchymzellen), mistä johtuu juurelle ominainen lujuus ja jäykkyys. Tukijuurien pehmeän osan poikkileikkaus on suurin piirtein samanlainen kuin ravintojuurilla.

Tukijuurien keskusjätteissä olevien suurten putkiloiden suuruus ja poikkileikkaus-ala nähdään sivulla 95 olevasta taulukosta, jossa taulukon otsikko merkitsee samaa kuin sivulla 91 oleva taulukko, paitsi että muistutussarekkeessa on »Die Basis der Wurzel ist über der Erdoberfläche» = Juuren tyvi on maanpinnan yläpuolella.

Kuten sanotusta taulukosta huomataan, pienenee suurten putkiloiden luku tukijuurilla juuren tyvestä latvaan mentäessä, samalla kuin putkiloiden poikkileikkaus pienenee erityisen nopeasti, ollen siis aivan päinvastainen kuin itämis- ja ravintojuurilla. Tämä osoittaa, että tukijuuret saavat kosteutensa kasvusta eikä maasta, vaikka juuri ulottuisikin maahan asti. Kun muistetaan, että tukijuuret kehittyvät kesäkuun loppu- ja heinäkuun alkupuolilla, jolloin maa on erityisen kuivaa, joten sen pintakerroksessa ei yleensä ole niin paljon kosteutta, että sitä kasvit voisivat käyttää, on selvää, että tukijuurien täytyy saada tarvitsemansa kosteus kasvusta. Ainakin on varmaa, että ne juuret, jotka muodostuvat maanpinnan yläpuolella, saavat alunperin kosteutensa kasvusta.

Tukijuurien luku vaihtelee erittäin paljon (6—25 kpl), ja on niitä syysviljalla aina suhteellisesti enemmän kuin kevätiljalla, mikä luonnollisesti johtuu syysviljan pitämästä korresta.

Tukijuuret sijaitsevat ylimpänä varsinaisessa juurikimpussa ja lisäksi voivat muodostaa usein maanpinnan yläpuolelle yhden tai kaksi, joskus kolmekin, erikoista tukijuurikimpua korren alempiin maanpäällisiin solmuihin.

Kuten tukijuurien rakenteesta, sijoittumispaikasta juuristossa ja kehitymis-kaudesta huomataan, on niiden tehtävänä yksistään korren tukeminen sekä vain jossakin poikkeustapauksessa veden ja ravinnon otto.

3. Juuret ja juuristot kasvukauden eri aikoina.

Syysviljalla voidaan edelläolevan aineiston perusteella erottaa viisi eri jaksoa kasvukaudessa:

1. syyskausi,
2. talvikausi,
3. kevätkausi,
4. kevätkesäkausi ja
5. kesä eli hyvän kasvamis- ja kypsyminenkausi.

Syysviljan kasvukauden eri jaksot ovat yleensä yhdenmukaiset KAIRAMON esittämien kasvukauden vuosijaksojen kanssa. Vain syyskausi on Pohjois-Suomessa pitempi kuin vastaava vuosijakso¹.

Syyskausi alkaa kylvöstä ja ulottuu maan jäätymiseen asti, mikä tavallisesti sattuu yhteen muokkauskauden päättymisen kanssa, käsittäen siten n. 2—3 kuukautta elokuun alkupuoliskolta lokakuun loppupuolelle tai marraskuun alkuun ja joskus aina joulukuun alkuun, kuten vuonna 1926—27 talvella. Vehnällä on yleisesti syyskausi pitempi kuin rukiilla. Elo- ja syyskuukaudet ovat useimmin verraten lämpimät, joskin muutamina vuosina saattaa Pohjois-Suomessa viimeksimainittuna kuukautena sattua verraten kovia yökylmiä, jotka synnyttävät maanpinnassa oleville kasveille hyvin vaarallista roustetta. Maa on varsinkin syyskauden loppupuolella yleensä syysateitten vaikutuksesta veden kyllästävä ja siis hyvin pehmeä, josta syystä taimet voivat liikkua routimisen vaikutuksesta hyvin helposti.

Seuraava taulukko osoittaa syyskauden pituutta rukiilla ja vehnällä Suomen muutamilla paikkakunnilla²:

| Paikkakunta | Kylvö-aika | Ruis | | Vehnä | |
|-------------|------------|---------------------------------------|---------------------------|------------|---------------------------|
| | | Maan jäätyminen, muokkauskauden loppu | Syyskauden pituus, päiviä | Kylvö-aika | Syyskauden pituus, päiviä |
| Rovaniemi | 28/7 | 11/10 | 73 | — | — |
| Liminka | 13/8 | 30/10 | 77 | — | — |
| Lapua | 16/8 | 8/11 | 82 | — | — |
| Kuopio | 11/8 | 29/10 | 76 | — | — |
| Kuru | 16/8 | 1/11 | 75 | 10/8 | 81 |
| Asikkala | 16/8 | 10/11 | 84 | 10/8 | 90 |
| Porvoo | 20/8 | 18/11 | 88 | 15/8 | 93 |

Kuten edelläolevista luvuista huomataan, on rukiin syyskausi Pohjois-Suomessa tuntuvasti lyhyempi kuin Etelä-Suomessa. Vehnän syyskausi on tuntuvasti pitempi kuin rukiin.

¹ Vrt. KAIRAMO, A. Osw.: Kasvikunnan vuosijaksoittaisista ilmiöistä. Oma Maa II. Porvoo, 1921. S. 429—642.

² Vrt. CAJANDER, E.: Maataloudellinen muokkauskausi eri jaksoineen suhteessa maatalouden järjestämiseen Suomessa. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisu. 6 vihko. Helsinki, 1922. S. 26 ja 43.

Syyskautena on syysviljan kehittymisen päämääränä saada kasvi mahdollisimman hyvin kestäväksi talven vaikutusta vastaan. Tästä syystä juuristo kehittyy suhteellisesti enemmän kuin maanpäällinen osa.

Syyskauden juuriston muodostavat itämisjuuret ja ravintojuuret. Ne ovat täyteisiä, pulleita, pehmeitä ja taipuvia sekä väriltään vaaleita. Itämisjuuria on rukiilla, kuten jo aikaisemmin on mainittu, 4 joskus 5—6 kpl ja vehnällä tavallisesti 3, joskus 4—6 ja ne syntyvät välittömästi itämisen yhteydessä. Jonkin aikaa itämisen ja itämisjuurien muodostumisen jälkeen alkaa muodostua ravintojuuria, joita on runsaasti (8—20 kpl) ja joiden kehittymistä jatkuu koko syyskauden. Niin itämis- kuin ravintojuuretkin kasvavat pituutta ja haaroittuvat syyskauden kuluessa. Juurien pituus vaihtelee verraten tuntuvasti ja vanhemmat ravintojuuret ovat yleensä pisimmät (40—50 cm). Itämisjuuret eivät yleensä kehity niin pitkiksi, samoin jäävät nuoret ravintojuuretkin hyvin lyhyiksi ja nuorimmat vain muutaman cm:n pituisiksi. Ravintojuuret voidaan ulkonäkönsä perusteella jakaa 3 luokkaan (vrt. siv. 17, 21).

Juuristossa ovat, kuten jo aikaisemmin on selostettu, itämisjuuret sijoittuneet alimmiksi ja niiden yläpuolelle ravintojuuret melkein pituusjärjestyksessä, jolloin lyhimmät ovat ylinnä ja pisimmät alinna.

Talvikausi käsittää ajanjakson maan jäätymisestä eli roudan muodostumisesta aina keväeseen roudan sulamiseen asti. Tavallisesti voidaan Suomessa katsoa talvikauden alkavan muokkauskauden lopusta, johon syyskausi päättyi, ja päättyvän noin viikkoa tai kahta ennen kuin muokkauskausi alkaa. Tällöin voi talvikauden lopulla olla jo jonkin verran sulaa, mutta routaa on kuitenkin vielä maassa ja yökylmät ovat voimakkaita, joten roustetta esiintyy runsaasti.

Seuraavat luvut ilmaisevat talvikauden pituuden eri osissa Suomea¹:

| Paikkakunta | T a l v i k a u d e n | | |
|-------------|-----------------------|-------------|----------------|
| | alku | päättyminen | pituus, päiviä |
| Rovaniemi | 11/10 | 20/5 | 219 |
| Liminka | 10/10 | 5/5 | 195 |
| Lapua | 8/11 | 7/5 | 179 |
| Kuopio | 29/10 | 28/4 | 179 |
| Kuru | 1/11 | 27/4 | 176 |
| Asikkala | 10/11 | 25/4 | 175 |
| Porvoo | 18/11 | 20/4 | 152 |

Keskimääräinen talvikauden pituus Pohjois-Suomessa on n. 7 ja Etelä-Suomessa n. 5 kuukautta. Talven tulo on eri vuosina hyvin erilainen. Toisina vuosina jäätyy maa hyvin aikaiseen ja paljaana, toisina taas sataa lumen sulaan maahan. Edellisessä tapauksessa maassa olevat kasvit jäätyvät verraten nopeasti, joten niiden varsinainen elintoiminta on katsottava silloin lakanneeksi. Sitä vastoin jälkimmäisessä tapauksessa ei elintoiminta lakkaa läheskään niin jyrkästi, vaan jatkuu se jonkin aikaa lumen alla. Varsinkin kasvintuholaiset, joista lumihome (*Fusarium nivale*) tässä mainittakoon, viihtyvät ja tekevät tuhoaan. Kylmyyden lisääntyessä jäätyy lopulta lumen alle sulaksi jäänyt maa vähitellen. Roudan paksuus ja rakenne riippuu olosuhteista. Kylminä talvina roudan paksuus on monesti Etelä-Suomessa yli 50 cm ja Pohjois-

¹ Vrt. CAJANDER, E.: Edellämäinittu teos. S. 13.

Suomessa yli 1 m:n¹. Roudan rakenne on olosuhteitten mukaan massiivinen, onkaloinen tai kerroksellinen². Peltomaissa esiintyy kaksi viinheksimainittua muotoa. Havaintojen mukaan ei onkaloinen routa ole kasveille niin vahingollinen kuin kerroksellinen routa. Routiessa kohoaa maanpinta n. 10—22 % routakerroksen paksuudesta². Vielä vaarallisempi kasveille on roudan toinen ominaisuus, nimittäin kyky nostaa maassa olevia esineitä 3—5 kertaa niin paljon kuin maanpinta kohoaa roudan vaikutuksesta. Varsinkin keväällä on tällä seikalla suuri merkitys. Keväisin tavallisesti toistuvien yökylmien vuoksi usein maan kohoaminen uudistuu useita kertoja rousteen muodostumisen johdosta. Talven aikana kohonnut maa ei heti keväällä roudan sulamisen perästä laskeudu syksyiseen asentoon. Vasta n. kuukauden tai puoleltoista perästä roudan sulamisesta on maanpinta yhtä korkealla kuin syksyllä³.

Talvikautena juurien toiminta on keskeytynyt niiden ja maan jäätyminen vuoksi, joten mitään varsinaisia elollisia muutoksia ei juuressa tapahdu. Maan routimisella ja juuressa olevan veden jäätymisestä johtuneilla mekaanisilla voimilla voi olla tuntuva vaikutus juurien muotoon ja rakenteeseen. Keväällä toistuvat yökylmät, jotka on luettava talvikauden ilmiöihin, aiheuttavat juurille monenlaisia vahinkoja.

Talvikauden juuret ovat alkujaan samanlaiset kuin syyskauden juuret. Talven aikana tapahtuu juurissa vähitellen muutoksia, jotka hyvin oleellisesti vaikuttavat kasvin talven yli säilymiseen eli talvehtimiseen. Nämä muutokset johtuvat kylmien ilmojen aiheuttamasta veden jäätymisestä maassa ja kasvissa. Tässä selostetaan vain mekaanisten voimien aiheuttamia, pääasiallisesti näkyviä muutoksia kasvissa, eikä puututa kysymyksiin, jotka koskevat kasvien elintoimintaa ja kylmyyden sille aiheuttamia vaurioita. Veden jäätymisestä maassa johtuu, että maa laajenee erittäin tuntuvasti, kuten jo edellä mainittiin, routimisen vaikutuksesta, mikä vuorostaan aiheuttaa routakerroksessa olevien kasvien juurissa venytystä. Toisissa tapauksissa saattaa tämä venytys olla niin voimakas, ettei kasvien juurilla oleva venyvyys riitä, vaan juuri katkeaa, josta syystä talvikauden päättyessä on verraten runsaasti katkenneita juuria. Kaikki juuret eivät katkea kokonaan, vaan paljon tavataan myöskin sellaisia, joissa vain kuoriosan on katkennut, mutta keskusjanne on pysynyt eheänä, sillä kuoriosan venyvyys on paljon pienempi kuin keskusjanteen venyvyys. Tällaiset osittain katkenneet juuret voivat yleensä elpyä. Toinen roudan juuriin aikaansaama huomattava vaikutus on se, että routa irroittaa koko kuoriosan erilleen keskuslieriöstä. Ulkonaisesti ei tätä yleensä huomata keväällä, sillä irtonainen kuoriosan peittää juuren keskusosan kuten tuppi, mutta kesän kuluessa kuoriosan alkaa lahota ja kuluu kesän kuluessa pois. Tämä viimeksimainittunlainen roudan aiheutus on voimakkaampi vanhemmissa ravintojuurissa, nuoremmassa se on heikompi; toisinaan vahinko on niin vähäinen, ettei sitä huo-

¹ Vrt. KERÄNEN, J.: Über den Bodenfrost in Finnland. Mitteilungen der Metereol. Zentralanstalt des finnischen Staates. N:o 12. Helsinki, 1923. — SIMOLA, E. F.: Kirsi- ja vajovesisuhteiden tutkimuksia. Valtion maatalouskoetöiminnan julkaisuja N:o 30. Helsinki, 1930.

² Vrt. KOKKONEN, P.: Beobachtungen über die Struktur des Bodenfrostes. Acta Forest. Fennica. 33,3. Helsinki, 1926.

³ Vrt. KOKKONEN, P.: Beobachtungen über die durch den Bodenfrost verursachte Hebung der Erdoberfläche und in der Frostschicht befindlicher Gegenstände. Maataloustieteell. Aikakausk. N:o 3. Helsinki, 1930.

mata. Itämisjuuret eivät näytä olevan erityisen arkoja tässä suhteessa. Talven aikana muuttuu juurien väri keltaiseksi oltuaan syksyllä valkea.

Juuristot eivät erityisesti muutu talven vaikutuksesta, vaikkakin niissä kokonaisuuden kannalta joitakin muutoksia on havaittavissa. Toisinaan routa katkaisee, jos laajempi jäämuodostuma sattuu esiintymään maassa, kaikki juuret samalta korkeudelta, jolloin juuristo muodostuu viuhkamaiseksi. Tämän ei kuitenkaan tarvitse aiheuttaa yksilön kuolemaa, sillä katkenneet juuret yleensä elpyvät, jos kevät on lämmin. Roudan nostava vaikutus aiheuttaa usein keväisin, että juuristo on kokonaan kohonnut maan pinnalle, tai vain juurien latvat ulottuvat maahan¹. Tämä on vahingollista, jos kuivat ilmat sattuvat, koska juuret eivät silloin saa riittävästi vettä ja ravintoaineita.

Kevät- eli *juurtumiskausi* alkaa heti, kun maakamaran ylimmästä osasta on routa sulanut jonkin verran ja maa on pinnalta kuivunut ja lämminnyttä niin paljon, että kasvien elintoiminta herää. Tämä tapahtuu jonkin verran (6—10 päivää) aikaisemmin kuin kauran kevätkuokkaustöihin voidaan ryhtyä. Kevätkausi jatkuu siksi, kunnes korsi saavuttaa huomattavamman pituuden (15—40 cm), jolloin se alkaa vaatia tukea taivutuksia vastaan. Kevättöiden keskimääräinen alkaminen ja kesäkauden alku nähdään seuraavasta taulukosta²:

| Paikkakunta | Kevättöiden alkaminen | Kevätkauden alku |
|-------------|-----------------------|------------------|
| Rovaniemi | 26/5 | 20/5 |
| Liminka | 10/5 | 5/5 |
| Lapua | 17/5 | 7/5 |
| Kuopio | 8/5 | 28/4 |
| Kuru | 7/5 | 27/4 |
| Asikkala | 5/5 | 25/4 |
| Porvoo | 30/4 | 20/4 |

Kevätkausi päättyy kesän alussa.

Vuonna 1927, jolloin oli myöhäinen kevät, kevätkausi alkoi Helsingin seuduilla huhtikuun 20 päivän tienoilla ja päättyi kesäkuun alussa, normaalivuosina se päättynee Helsingin seutuilla toukokuun 20—25 päivänä ja Pohjois-Suomessa kesäkuun alussa, kevätkauden pituus Pohjois-Suomessa on 3—4 viikkoa ja Etelä-Suomessa 5—7 viikkoa. Kevätkauden aikana, varsinkin alkupuolella, on usein yökylmiä. Nämä aiheuttavat viljelysmaiden pinnassa roustemuodostuksia, jotka kohottavat talven yli säilyneitä taimia maasta sekä katkovat kasvien juuria erittäin tuntuvasti. Roudan sulamisaikana maa on hyvin märkää, mutta roudan hävittyä pellon pinta kuivuu nopeammin tai hitaammin riippuen pääasiallisesti kuivatusjärjestelmästä (avo-ojituksesta ja salaojituksesta) ja ilmoista. Luonnollisesti maan pintakerrosten lämpösuhteet vaihtelevat suuresti, koska ilman lämpötilakin on suurien vaihtelujen alaisena vuorokauden kuluessa. Syvälle ei kuitenkaan päivällä vallinnut verraten korkea lämpö ulotu, vaan syvemmillä (10—16 cm) maa-aines on verraten kylmää. Kauden loppupuolella maa lämpiää jo syvemmältä. Usein kuitenkin sattuu Suomessa kovia kylmiä vielä kesäkuun alkupuolella, kuten v. 1921 ja 1930.

¹ Vrt. SIMOLA, E. F.: Tutkimuksia viljelysmaiden jäätymisestä ja kirren sulamisesta maatalouskoelaitoksella vv. 1924, 1925 ja 1926. Valtion Maatalouskoetöiden julkaisuja n:o 5. Helsinki, 1927. S. 45.

² Vrt. CAJANDER, E.: Edellämäinittu teos. S. 13.

Kevätkaudella kasvutoiminta on erittäin kiihkeätä. Varsinkin juuret kasvavat silloin nopeasti etenkin maanpinnan läheisyydessä, jossa lämpötila on päivällä korkea. Suotuisissa olosuhteissa juuri voi kasvaa yhden vuorokauden kuluessa pituutta 3—4 cm, jopa ylikin. Katkenneet juuret alkavat kehittää uusia sivuhaaroja katkeamispaikan yläpuolelta. Syksyllä muodostuneiden juurien yläpuolelle, aivan likelle maanpintaa, joka keväällä ensiksi lämpiää, alkaa muodostua uusia ravintojuuria, joiden pituuskasvu on nopein. Kevätkaudena juuristo uusiintuu niin voimakkaasti, että jo n. 3—4 viikon kuluttua lumen sulamisen perästä juuristo käsittää n. 35 % keväällä muodostuneita ravintojuuria, muun juuriston ollessa elpyneitä talvehtineitä syksyisiä juuria. Kevätkauden kaikki juuret ovat yleensä täyteläisiä, pulleita ja helposti pestäviä sekä hyvin taipuvia.

Kevätkauden alussa suurin osa elävistä juurista on syksyllä muodostuneita ja vain vähäinen osa keväällä. Talvehtineet juuret alkavat elpessään jatkaa pituuskasvua, jos ne eivät talven aikana ole katkenneet, ja jälkimmäisessä tapauksessa ne muodostavat myös sivuhaaroja. Keväällä muodostunut juuren osa on tuntuvasti paksumpi kuin syksyllä muodostunut osa. Tämä johtuu siitä, että kuoriosaa on talven kuluessa roudan vaikutuksesta kutistunut hyvin vähäiseksi, kun sensijaan nuorissa ravintojuurissa kuoriosaa, kuten jo edellä syksyisiä ravintojuuria selostettaessa mainittiin, on paljon paksumpi kuin keskusjänne.

Syksyllä muodostuneet juuret ovat aikaisin keväällä vielä lukumäärällään enemmistönä, mutta kevätkauden lopulla keväällä muodostuneet juuret ovat lukuisimmat. Kevätkaudella, huomioonottamatta aivan sen loppuosaa, jolloin muodostuu korren kasvuun yhteydessä joitakin ravintotukijuuria, juuret ovat pääasiallisesti itämis- ja ravintojuuria, jotka viimeksimainitut voidaan ulkonäkösä perusteella jakaa 4 luokkaan.

Juuristossa ei tapahdu kevätkaudella sanottavia muutoksia. Uusia juuria muodostuu ylimpään juurikimppuun syksyllä muodostuneiden ravintojuurien yläpuolelle. Siis vain varsinaisessa juuristossa tapahtuu juurien luvun lisääntymistä. Mitään uusia juurikimppuja ei muodostu.

Kevätkesä- eli *alkukesäkausi* on oikeastaan *korren kasvumiskausi* ja se alkaa, kun korsi on saavuttanut jonkinlaisen pituuden (n. 25—40 cm), mikä tapahtuu normaalivuosina kesäkuun alussa, aikaisena vuonna joskus jo toukokuun lopussa. Kauden katsotaan päättyvän syysviljan kukkimisen loppumiseen, mikä taas tapahtuu juhanuksen ja heinäkuun alkupäivien välisenä aikana. Kauden pituus on noin kuukausi.

Kauden alkupuolella on maaperä vielä tuore, mutta jo puolivälissä ja lopulla maa on tavallisina vuosina verraten kuiva, jopa hyvinkin kuivaa, jolloin peltomaassa tavataan syvälle ulottuvia halkeamia.

Syysviljan maanpäällinen osa, korsi, kasvaa kauden aikana pituutta ja kauden lopulla vilja on täysmittaista. Alkukesäkautena muodostuu korren pituuskasvun vaikutuksesta yksinomaan ravintotukijuuria ja lisäksi kauden loppupuolella myös varsinaisia tukijuuria, joiden molempien tärkeimpänä tehtävänä on korren tukeminen. Kaude n alkuaikoina kehittyä juuristo vielä verraten nopeasti, mutta kauden lopulla sen kehitys alkaa lakata lukuunottamatta tukijuurien kehitystä. Ravintotukijuurien ja tukijuurien tiheän karvapeitteen ja haarojen tarkoituksena on juuren kiinnittäminen lujasti maahan sekä maassa mahdollisesti olevan vähäisenkin kosteuden käyttäminen kasvin hyväksi, vaikkakin tukijuuret saavat kasvamisensa tarvitseman kosteuden kasvista päin. Muu-

ten näyttää kosteus ja maan ravintopitoisuus, varsinkin edellinen, näyttävän erityisen tärkeää osaa juurien kehityksessä.

Ravintojuuret tällä kaudella ovat jo saavuttaneet täyden pituuden ja ulottuvat syvälle maahan, josta saavat riittävästi vettä kasvin elintoimintaa varten. Ravintojuuret voidaan tämän kauden lopussa jakaa ulkomuotonsa perusteella 2—3 luokkaan. Itämisjuuret ovat jo melkein kaikki kuolleet.

Alkukesäkauden loppupuolella kehittyi juuristo suurin piirtein katsoen lopulliseen muotoonsa. Aikaisempien kausien juuristoon tulee lisää aikakauden alkupuolella verraten runsaasti, ravintotukijuuret rajoittuvat ylimmäksi varsinaisessa juurikimpussa, samoin osa tukijuuristakin. Mutta toinen osa tukijuurista sijoittuu varsinaisen juurikimpun yläpuolelle oleviin, läheisiin korren solmuihin, joissa ne muodostavat yhden tai kaksi, joskus useampiakin juurikimppejä eli kiehkuroita. Nämä kimpot voivat olla yläpuolella maanpinnankin. Tällaisessa tapauksessa tukijuuret suuntautuvat vinosti maata kohti ja maahan syntyneellä juuren osalla on runsaasti juurikarvoja ja joskus juurihaaroja, joilla juuri tarttuu erittäin lujasti maahan. Siten tukijuuret lujittavat korren kestämyksen tuulien ja sateiden vaikutusta.

Kesä- eli jyvän kasvamis- ja kypsyminen alkaa kukkimisen loputtua ja ulottuu viljan kypsymiseen asti. Tavallisina vuosina rukiin kukkiminen loppuu kesäkuun lopussa tai heinäkuun alussa ja vilja on valmista leikattavaksi elokuun alkupuoliskolla. Jyvän kasvamis- ja kypsyminen päättyminen valaisevat seuraavat tekijän havainnot:

| Paikkakunta | Vuosi | Kypsyminen, | |
|------------------|-------|-------------|------------|
| | | täydellinen | Leikkuaika |
| Iisalmi | 1926 | 2/8 | 10/8 |
| » | 1927 | 4/8 | 14/8 |
| Helsingin pitäjä | 1927 | 28/7 | 4/8 |
| Vehmaa | 1930 | 30/7 | 6/8 |
| Turku | 1930 | 30/7 | 4/8 |

Kuten edelläolevat aikamäärät osoittavat, voidaan jyvän kasvamis- ja kypsyminen katsoa päättyvän varovasti ottaen 5 päivää aikaisemmin kuin keskimääräinen leikkuaika on CAJANDERIN tutkimusten mukaan.

Seuraava taulukko valaisee rukiin leikkuaikaa ja kesäkauden päättymisaikaa¹:

| Paikkakunta | Leikkuaika | Kesäkausi |
|-------------|------------|-----------|
| | | päätyy |
| Rovaniemi | 21/8 | 16/8 |
| Liminka | 17/8 | 11/8 |
| Lapua | 14/8 | 8/8 |
| Kuopio | 13/8 | 8/8 |
| Kuru | 9/8 | 4/8 |
| Asikkala | 6/8 | 1/8 |
| Porvoo | 6/8 | 1/8 |

Etelä-Suomessa jyvän kasvamis- ja kypsyminen on 2 viikkoa pitempi kuin Pohjois-Suomessa. Normaalissa oloissa maa on tällä kaudella hyvin kuivaa, voimakkaasti halkeillutta. Usein halkeilu ulottuu hyvin syvälle maahan.

¹ Vrt. CAJANDER, E.: Edellämäinittu teos. S. 26.

Jyvän kasvamis- ja kypsyminen ei varsinaisessa juuristossa tapahdu sanottavia muutoksia. Ainoastaan tukijuuria kasvaa kauden alkuaikoina lisää pääasiassa varsinaisen juuristokimpun yläpuolelle ja usein maanpinnan yläpuolelle korren alempiin solmuihin. Toiset näistä juurista eivät pääse maahan asti, joten ne kuivettuvat. Toiset tukijuuret, jotka ovat maan sisällä tai ulottuvat maahan, ovat maassa olevalta osalta, kuten edellisenä kautena, hyvin tiheän karvapeitteen peittämiä, paitsi aivan juuren kärjessä, jossa on n. 2 cm:n matka paljasta. Sen lisäksi useilla tukijuurilla saattaa olla haaroja. Juurikarvojen ja -haarojen tehtävänä on pääasiassa juuren kiinnittäminen maahan. Juurien pituuskasvu tänä kautena on yleisesti lakannut ja juuret alkavatkin kuivettua. Kauden loppupuolella ovat kaikki juuret kuivettumisen johdosta kangistuneet, tulleet joustaviksi ja pinnaltaan kurttuiksi. Entiset aivan pehmeät ravintojuuret, jotka tällä kaudella jakautuvat ulkomuotonsa mukaan kahteen luokkaan, ovat nyt joustavan kankeita ja väriltään ruskeita, jopa tummanruskeita. Juurien toiminnasta on vain veden kuljetus jäljellä ja sekin todennäköisesti paljon vähentynyt.

Jyvän kasvamis- ja kypsyminen kasvaa, kuten sanottu, joskus joku tukijuuri lisää varsinaisen juurikimpun ylempään osaan tai korren alempiin solmuihin varsinaisten juurikimppejen yläpuolella. Näin juuristo on saanut täydellisen muotonsa. Varsinaisen juurikimpun alapuolella on joskus 1 tai 2 juurikimppeä, joissa olevat itämis- ja vanhimmat ravintojuuret ovat tällä kaudella kokonaan kuolleita. Näiden juurien väri on tumman- jopa mustanruskea ja ne ovat hyvin ohuita sekä haarattomia ja joustavia. Varsinaisessa juurikimpussa ovat alimpana ravintojuuret, jotka yleensä ovat hyvin kuivettuneita ja ohuita. Vanhimmat niistä ovat tummanruskeita ja eläviä aikakauden alussa, mutta kauden loppupuolella jotenkin kuolleita. Niiden yläpuolella ovat ravintotukijuuret, joiden väri on ruskea ja joiden paksuus on pienempi kuin aikaisempina kausina. Mainittujen juurien yläpuolella taas ovat tukijuuret, joista osa muodostaa varsinaisen juurikimpun yläpuolella, usein 1 tai 2, jopa 3:kin juurikimppeä eli -kiehkuraa. Näistä kaikki tai osa on maanpinnan yläpuolella. Osa tukijuurista ei ulotu maahan, vaan ne ovat kannuksen tavoin kiinni korren alemmissa solmuissa. Niin ravintotuki- kuin tukijuuretkin ovat tällä kaudella ja varsinkin kauden loppupuolella ohentuneet kuivumisen johdosta ja niiden pinta on käynyt kurttuiseksi ja rosoiseksi.

Kevätviljan kasvukauden osat olisivat seuraavat:

1. laihokausi eli kevät-kesäkausi,
2. tähkä- ja kukkimiskausi eli kesäkausi,
3. jyvän kasvamis- ja kypsyminen eli -loppukesäkausi.

Kevätviljan laihokausi alkaa kylvöstä ja ulottuu tähkän puhkeamiseen. Tämä kausi sattu myöhemmältä osaltaan jotenkin yhteen syysviljan alkukesäkauden kanssa. Keväällä tapahtuu kuitenkin kevätilviljojen kylvö jonkin verran aikaisemmin kuin syysviljan alkukesäkausi alkaa. Seuraavalla sivulla oleva taulukko¹ osoittaa kevätilviljan kylvöajan muutamilla paikkakunnilla.

Laihokausi alkaa kauralla n. 2 viikkoa aikaisemmin kuin ohralla ja kausi päättyy ohralla jonkin verran aikaisemmin kuin kauralla. Heinäkuun alkupuolella ja puolivälissä alkaa tavallisissa oloissa tähkiminen. Kauden alussa maa on tuoretta, mutta kauden lopussa yleensä kuivaa.

¹ Vrt. CAJANDER, E.: Edellämäinittu teos. S. 51 ja 62.

| Paikkakunta | O h r a Kylvöaika | K a u r a Kylvöaika |
|-----------------|----------------------|------------------------|
| Inari | 15/6 | — |
| Sodankylä..... | 4/6 | — |
| Rovaniemi | 1/6 | — |
| Liminka | 26/5 | 17/5 |
| Kuopio | 29/5 | 18/5 |
| Lapua | 29/5 | 21/5 |
| Kuru | 28/5 | 16/5 |
| Asikkala | 24/5 | 15/5 |
| Porvoo | 23/5 | 10/5 |

Laihokausi käsittäisi ajan siemenen itämisestä tähkän ilmestymiseen asti. Tällöin kevätiljat muodostavat itämisjuuret ja niiden kanssa jotenkin samanlaiset ravintojuuret.

Laihokautena kevätiljan juuristo on hyvin yksinkertainen. Se käsittää itämisjuuret ja niiden lisäksi itämisjuuren näköisiä ravintojuuria 2—4 kpl. Nämä viimeksimainitut juuret ovat asettuneet yleensä itämisjuurien yläpuolelle joko samaan kimpuun tai osa on samassa kimpussa ja toiset ylempänä olevissa kimpuissa. Kauden loppupuolella, kun korsi on jo saavuttanut jonkinlaisen pituuden, muodostuu muutamia ravintotuki- jopa tukijuuriakin varsinaiseen juurikimppuun.

Tähkä- ja kukkimiskausi eli kesäkausi alkaa tähkän ilmestyessä ja päättyy kukkimisen lopussa. Ohralla se sattuu heinäkuun alkupuolelta kuun loppuun, aikaisina vuosina jonkin verran aikaisemmin. Kauralla alkaa kausi jonkin verran myöhemmin kuin ohralla ja päättyy myöskin myöhemmin, keskimäärin elokuun alussa.

Tähkä kautena tulee edellisen kauden juurien lisäksi kukkimisen aikana tukijuuret, joita muodostuu vielä myöhemminkin varsinkin korren alempiin solmuihin maanpinnan yläpuolelle. Yleensä kevätiljalla juuret ovat vähempilukuiset kuin syysviljalla, vaikkapa kasvu olisikin verraten rehevää. Kuivina vuosina kokonaisjuurien luku saattaa toisinaan olla alle kymmenen yksilöä kohti, kun sensijaan kosteina vuosina juurien luku saattaa kohota 20—25.

Juuristoon tulee tähkä kautena lisää pääasiallisesti tukijuuria, joista osa sijoittuu varsinaiseen juurikimppuun ja osa muodostaa, varsinkin kauden loppupuolella, yleemmäksi, jopa yläpuolelle maanpinnanakin, uusia juurikimppuja.

Jyvän kasvamis- ja kypsyiskausi eli loppukesäkausi alkaa ohralla normaalina vuosina heinäkuun lopulla ja hyvin aikaisina kuun puolivälissä ja päättyy elokuun loppupuoliskolla ja aikaisina vuosina elokuun alussa. Kauralla tämä kausi alkaa heinäkuun loppupuolella ja päättyy syyskuun alkupuolella; aikaisina vuosina n. 2—3 viikkoa aikaisemmin.

Seuraavalla sivulla olevat havainnot valaisevat ohran ja kauran jyvän kasvamis- ja kypsyiskauden ja leikkuuajan välistä suhdetta.

| Paikkakunta | Vuosi | Jyvän kypsy- miskausi päättyi | | Leikkuu-aika | | Ero, päiviä | |
|-----------------|-------|-------------------------------------|----------|--------------|-------|-------------|-------|
| | | ohralla | kauralla | ohralla | kaur. | ohralla | kaur. |
| Iisalmi | 1926 | 10/8 | 25/8 | 15/8 | 30/8 | 5 | 5 |
| » | 1927 | 14/8 | 30/8 | 20/8 | 5/9 | 5 | 6 |
| » | 1928 | 6/8 | 30/8 | 11/8 | 4/9 | 5 | 4 |
| Vehmaa..... | 1930 | 30/7 | 15/8 | 5/8 | 21/8 | 6 | 6 |
| Jokioinen | 1930 | 29/7 | 15/8 | 4/8 | 20/8 | 6 | 5 |
| | | | | | | Keskim. 6 | 5 |

Kuten luvut osoittavat, eroaa leikkuu-aika varsinaisesta kypsyiskaudesta tavallisesti keskimäärin ohralla 6 ja kauralla 5 päivää, kuitenkin niin, että Pohjois-Suomessa se näyttää olevan tuntuvasti lyhyempi kuin Etelä-Suomessa, todennäköisesti kummassakin tapauksessa 4 päivää. Seuraava taulukko osoittaa ohran ja kauran jyvän kasvamis- ja kypsyiskauden päättymisen:

| Paikkakunta | Leikkuu- aika | O h r a | | K a u r a | |
|-----------------|------------------|---|------------------|---|------------------|
| | | Jyvän kasva- mis- ja kyp- symiskausi päättyy | Leikkuu- aika | Jyvän kasva- mis- ja kyp- symiskausi päättyy | Leikkuu- aika |
| Inari | 24/8 | 20/8 | — | — | — |
| Sodankylä..... | 24/8 | 20/8 | — | — | — |
| Rovaniemi | 21/8 | 17/8 | — | — | — |
| Liminka | 27/8 | 22/8 | 5/9 | 1/9 | — |
| Kuopio | 27/8 | 21/8 | 8/9 | 3/9 | — |
| Lapua | 28/8 | 22/8 | 9/9 | 4/9 | — |
| Kuru | 26/8 | 20/8 | 10/9 | 5/9 | — |
| Asikkala | 30/8 | 24/8 | 10/9 | 5/9 | — |
| Porvoo | 29/8 | 23/8 | 12/9 | 7/9 | — |

Maaperä on kyseellisen kauden aikana yleensä kuivaa. Alkupuoli on tavallisesti kuivempaa kuin loppupuolisko, jolloin varsinkin kauran tavoittavat syksyiset sateet.

Jyvän kasvamis- ja kypsyiskautena ei juuria lisäännä, lukuunottamatta tukijuuria, joita kasvaa vielä joitakin lisää.

Jyvän kasvamis- ja kypsyiskautena juuristo on jo kauden alussa jotenkin täydellinen. Ainoastaan jonakin kosteana vuonna voi kasvaa ylempiin tukijuurikimppuihin joku uusi tukijuuri, joka useinkaan ei pääse ulottumaan maanpintaan. Täydellisessä kevätiljajuuristossa erotetaan yleensä samanlaiset juurimuodot kuin syysviljoissa. Vaikkakin monesti jokin juuriryhmä saattaa puuttua, niin on kevätiljan juuristo yleispiirteittäin kuitenkin samanluontoinen kuin syysviljan.

III. Kylvötiheyden vaikutus tuki- ja ravintotukijuurien lukuun.

Edelläolevassa on jo selostettu, miten ravintotuki- ja tukijuurien esiintyminen on yhteydessä korren kehittymisen kanssa siten, että mitä pitemmäksi korte kasvaa, sitä enemmän mainittuja juuria muodostuu. Mainittu tulos osoittaa, että kasvi kehittää tarpeen mukaan tuki- ja ravintotukijuuria. Tämän mukaan täytyisi olla niin, että missä korsi on riittävästi tuettu, ei kasvin tarvitse näitä juuria sanottavasti kehittää, ja missä korsilta puuttuu tuki, kehittää kasvi tukijuuria voimakkaasti. Kun korret ovat hyvin lähellä toisiaan (tiheä kylvö), ovat korret hyvin tuetut, jollei voimakkaita ulkoisia voimia esiinny (kova tuuli, sade y.m.). Kun taas korret ovat hyvin etäällä (harva kylvö) toisistaan, ei korsilla silloin ole toisistaan tukea, vaan jokaisen korren on pysyttävä yksinään pystyssä. Näin ollen täytyisi tiheässä kylvössä olla tuki- ja ravintotukijuurien luku pienempi kuin harvassa kylvössä. Asian valaisemiseksi järjestettiin kokeet öhralla, kauralla ja vehnällä. Kustakin kylvettiin neljä ruutua seuraavilla kylvömäärillä ha:lle: 60, 120, 180 ja 240 kg. Kunkin ruudun kylvöala oli $6 \times 9 \text{ m} = 54 \text{ m}^2$ ja kylvettiin kaksi ruutua rinnan, koska samalla oli tarkoitus tutkia kylvön reunan vaikutusta tukijuurien runsauteen. Tämä puoli kokeesta kuitenkin epäonnistui kuivan kesän vuoksi, sillä korret kasvoivat hyvin lyhyiksi (30—40 cm). Edellisen kokeen lisäksi saatiin tutkimukseen käyttää myös eräitä toisia tarkoituksia varten kylvettyä kauraa, kylvömäärä oli tässä tapauksessa 25 kg ja 250 kg ha:lle.

Tuki- ja ravintotukijuuria ei saada valmistuneella viljalla ulkonäön perusteella riittäväällä tarkkuudella erotetuiksi toisistaan, josta syystä ne tässä luettiin yhteen, sillä molempien juurimuotojen tarkoitushan on tukea kasvia, joskin ravintotukijuurilla on myös lisäksi tehtävänä jossakin määrässä veden ja ravinnon kuljetus. Juurien tutkiminen suoritettiin kypsyneessä viljassa. Otettiin kultakin ruudulta kolmesta eri paikasta n. 30 cm:n matkalta kylvörivistä kaikki yksilöt, jotka sitten yksitellen tutkittiin laboratoriossa. Harvakylvöisissä ruuduissa täytyi riittävän yksilöluvun saantia varten ottaa jonkin verran pitemmälti riviä. Kuitenkin viimeksi mainitussa tapauksessa jäi yksilöluku paljon pienemmäksi kuin tiheissä ruuduissa, mikä näkyikin sivuilla 118 ja 119 olevan taulukon keskiarvojen keskivirheistä.

Kuten mainitusta taulukosta huomataan, on erittäin suuri ero juurien luvussa tiheyden ja harvojen kylvöjen välillä. Voittokauralla on harvassa kylvössä keskimäärin 9 tuki- ja ravintotukijuurta ja tiheässä kylvössä vain 3. Öhralla harvimmissa kylvössä on keskimäärin 7 ja tiheimmässä 2 juurta; kauralla harvimmissa kylvössä 7 ja tiheimmässä 4 juurta sekä vehnällä harvimmissa kylvössä 7 juurta ja tiheimmässä vain 2. Vaikka-kaan likeisimmät kylvötiheysruudut eivät erotu erityisen selvästi toisistaan, niin kuitenkin äärimmäiset ruudut erottuvat täydellisesti, joten mainittujen juurien luku on selvästi riippuva kylvömäärästä siten, että tiheimmissä kylvöissä on juuria vähemmän kuin harvassa. Epätasaisuudet edelläolevissa tuloksissa voivat aivan hyvin johtua kuivasta kesästä, jolloin ei mainitunlaisten juurien tarve niin selvästi erottunut, koska korsi jäi lyhyeksi.

Edelläoleva osoittaa, että viljakasvit kehittävät juuristonsa olosuhteita vastaavasti, joten juuristoon ja juurien kehitykseen vaikuttavat ilmastolliset olosuhteet, maaperä, kosteus, kasvin kasvutapa, kasvuston tiheys y.m. Mitenkä nämä eri tekijät vaikuttavat ja mitenkä niistä useat olisivat järjestettävät normaalisissa olosuhteissa, ovat kysymyksiä, joihin vastauksen antaminen jää vastaisen tutkimuksen tehtäväksi.

IV. Tutkimusten tulokset.

Yhteenvetona tutkimuksista voidaan mainita:

1. Viljelykasvien juuret jakautuvat tehtäviensä, kehityskautensa, rakenteensa ja juuristoon sijoittumisensa mukaan:

- itämis- eli siemenjuuriin,
- ravintojuuriin,
- ravintotukijuuriin ja
- tukijuuriin.

2. Itämisjuurien *tehtävänä* on veden ja ravintoaineiden kuljettaminen kasviin tämän ollessa nuori. Ravintojuurien tehtävä on samanlainen kasvien varsinaisena kasvukautena, sillä silloin ne pääasiallisesti huolehtivat vedestä ja ravintoaineista. — Ravintotukijuuret palvelevat kasvia osittain veden- ja ravintoaineiden kuljettamisessa osittain korren tukemisessa, silloin kun se vielä on suhteellisen lyhyt. — Tukijuurien tehtävänä on yksinomaan korren tukeminen, kun korsi on saavuttanut täyden pituuden.

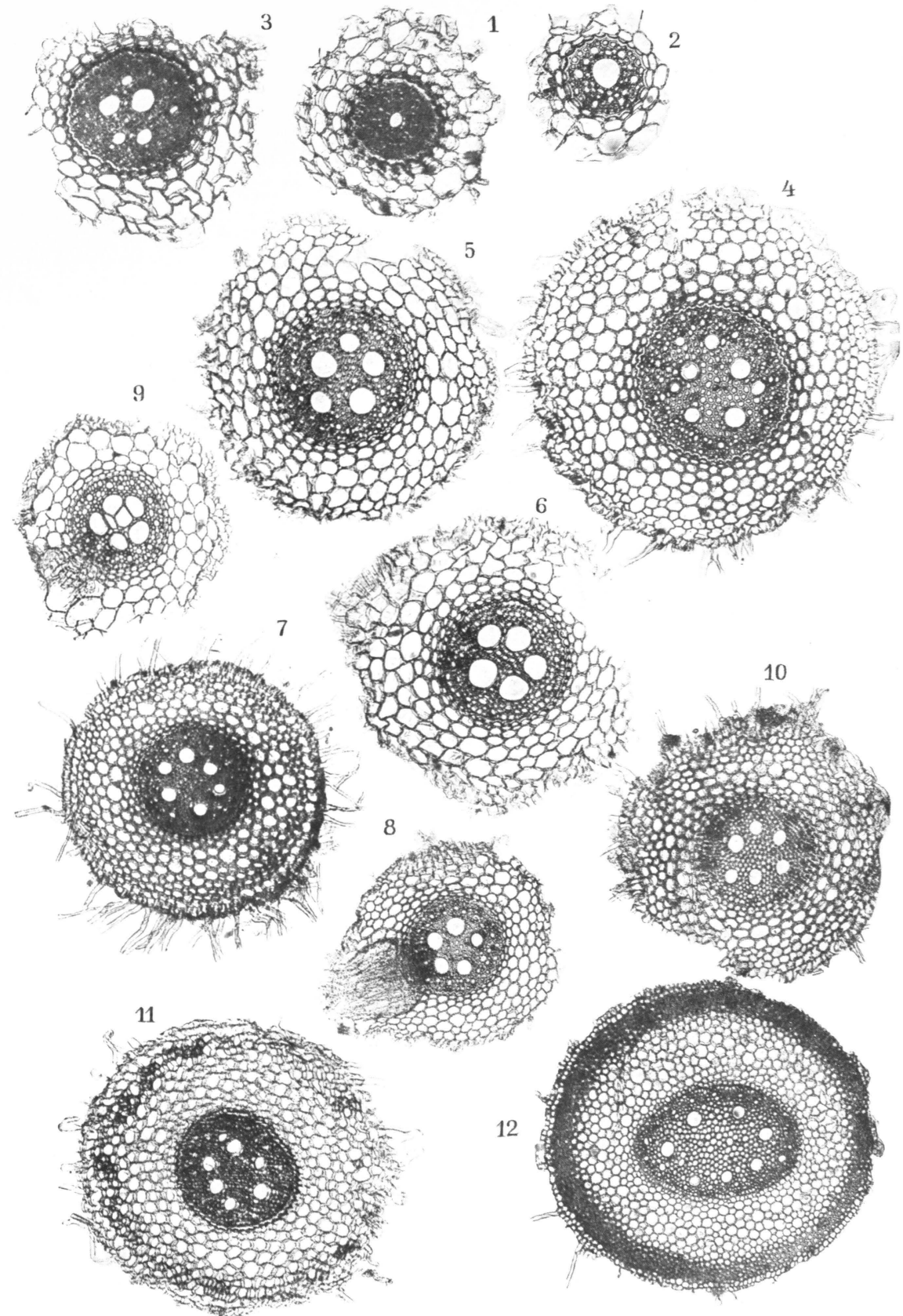
3. Eri juurimuodoilla on oma *kehityskautensa*. Itämisjuuret kehittyvät osittain itämisen yhteydessä, osittain välittömästi sen jälkeen, kasvien ollessa pieninä, ja ne pysyvät toimessa melkein koko kasvukauden. Ne huolehtivat kasvin vesi- ja ravintotarpeesta kasvin alkuaikoina. — Jonkin aikaa (n. 2—3 viikkoa) itämisen perästä alkaa muodostua ravintojuuria, jotka suuremmassa määrässä kuin itämisjuuret kykenevät kuljettamaan kasviin vettä ja ravintoaineita (keskuslieriössä 3—7 isoa putkiloa) ja moni ravintojuuri voi tunkeutua maahan erityisen syvälle ulottuen aina pohjaveteen asti. Ravintojuuret elävät ja toimivat kasvukauden loppuun asti ja huolehtivat veden kuljetuksesta vielä kypsymisaikanakin. — Kun kasvi alkaa muodostaa kortta, tarvitsee se pystyssä pysyäksensä tukea, tätä varten alkaa kasvi muodostaa ravintotukijuuria, jotka tyviosan jäykkenemisen johdosta kykenevät antamaan korrelle riittävän tuen. Ravintotukijuurien keskuslieriön rakenne osoittaa, että ne palvelevat kasvia lisäksi veden kuljetuksessa. Ravintotukijuuret muodostuvat korren ollessa verraten lyhyen ja elävät kasvukauden loppuun. — Kun kasvi alkaa saavuttaa täyden pituuden, tarvitsee se pystyssä pysyäksensä enemmän tukea, jolloin se alkaa muodostaa erityisiä tukijuuria, joiden kuoriosan ulkoiset solukerrokset ovat muodostuneet paksuseinäisistä vahvike-soluista verraten pitkällä matkalla (4—7 cm), antaen siten juurelle erityisen jäykkyyden, ja lisäksi juurella on kyky koko pituudella, jos maata vähänkin on juuren ulottuvilla, muodostaa juurikarvoja ja haaroja, joiden avulla se voi kiinnittyä erikoisen lujasti maahan. Tukijuuria alkaa muodostua korren ollessa puolimittaisen ja muodostuu niitä kasvin tarpeitten mukaisesti, toimien kasvukauden loppuun.

4. *Rakenteeltaan* eroavat eri juurimuodot verraten selvästi toisistaan: *i t ä m i s j u u r i e t* ovat ohuita, suhteellisen pitkiä ja nuorella iällä taipuvia. Verraten aikaisin juuren kuoriosaa kuluu pois ja kasvukauden loppupuolella on juuri kokonaan kuollut, vaikkakin useimmissa tapauksissa tavataan juuristossa tummanruskeana jätteenä. Keskusjänteenä on juuren koko pituudella vain *y k s i s o p u t k i l o*, jonka *p o i k k i l e i k k a u s t y v e s t ä l a t v a a n m e n t ä e s s ä s u u r e n e e*. — *R a v i n t o j u u r e t* vaihtelevat ulkonaisesti jonkin verran. Niiden paksuus on 2—4 kertaa suurempi kuin itämisjuuren ja niiden kuoriosaa on verraten paksu keskuslieriöön nähden. Syysviljan talvehtineiden juurien kuoriosaa rikkoutuu erittäin suuressa määrässä roudan vaikutuksesta muodostaen usein enemmän tai vähemmän selvän erillisen renkaan keskuslieriön ympärille, mikä rengas kesän kuluessa usein häviää, joten kuoriosaa saat-

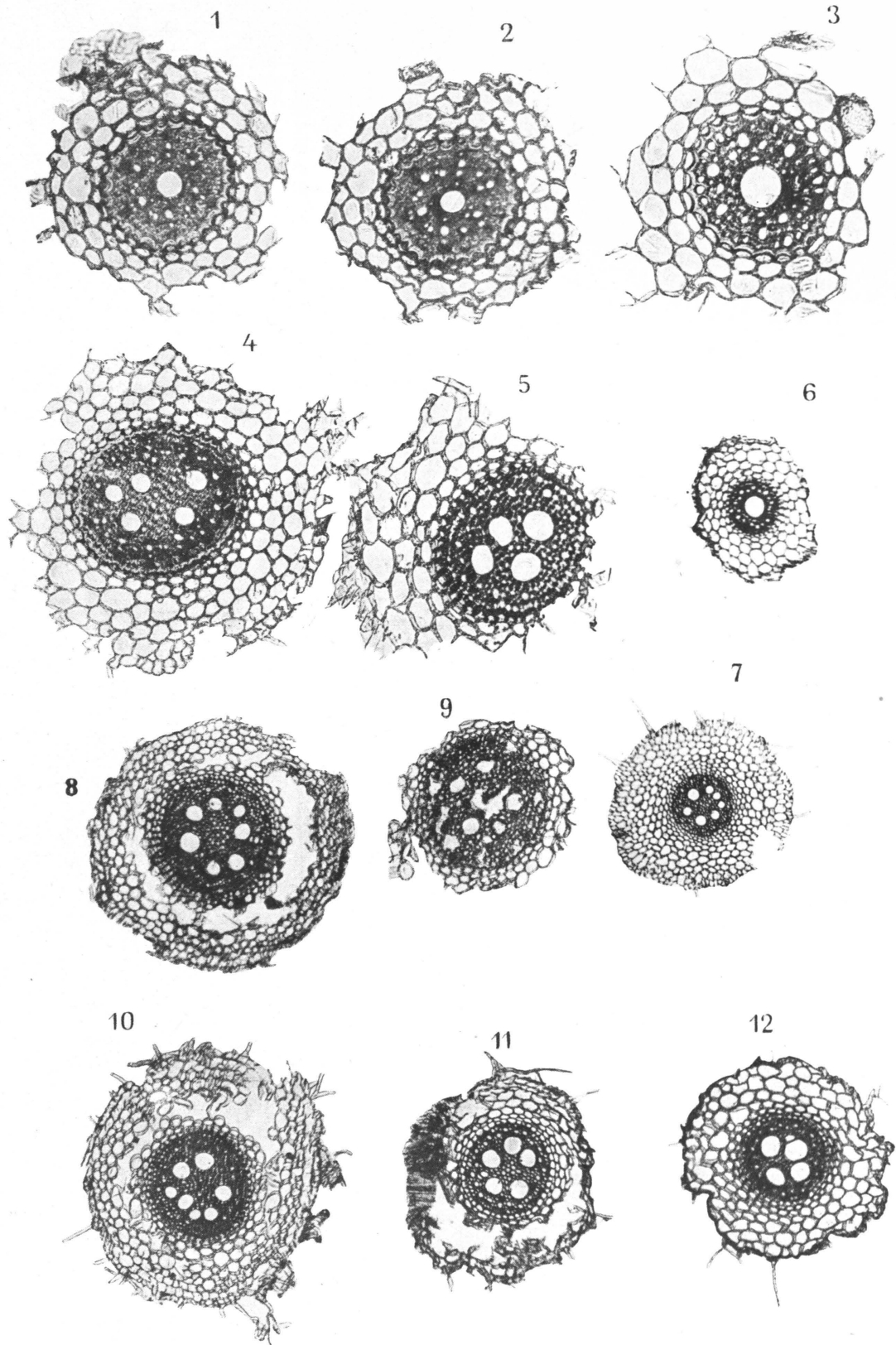
taa monesta juuresta kasvukauden loppuajana puuttua kokonaan. Samanlaisen vaikutuksen saa aikaan myös kuivamisesta aiheutunut maan liikehtiminen. Keskusjätteessä on suurien putkiloiden luku juurentyvessä 3—7, joka vähenee juuren latvaan mentäessä, joten juuren latva-puolella on vain yksi putkilo. Mutta suurten putkiloiden yhteenlaskettu poikkileikkauspinta-ala suurenee tyvestä latvaan mentäessä, rukiilla enemmän kuin vehnällä. Tämä ominaisuus on vedenkuljetuksen kannalta hyvin tärkeä. — Ravintotukijuuret erottuvat edellisistä siinä, että juuren tyviosa on paksumpi ja jäykkä. Ravintotukijuurien keskuslieriön poikkileikkaus on samanlainen kuin ravintojuurienkin. Keskusjätteen suurien putkiloiden ala juuren eri paikoissa ei erityisesti muutu tai saattaa suurentua tai pienentyä riippuen olosuhteista juuren kehittymiskautena. Jäykällä osalla on juuren kuoriosan uloimmat solukerrokset muodostuneet paksuseinäisistä vahvikesoluista. — Tukijuuret eroavat edellisistä siinä, että ne ovat erityisen jäykkiä ja paksuja tyviosaltaan. Keskuslieriön suurten putkiloiden luku on juurten tyvessä 5—14 ja pienenee nopeasti juuren latvaan mentäessä ja lopulta on vain yksi putkilo. Suurten putkilojen yhteenlaskettu poikkileikkauspinta-ala pienenee hyvin nopeasti juuren tyvestä juuren latvaan mentäessä, mikä osoittaa, että juuri ei erityisemmin kykene ottamaan maasta vettä. Ja kun muistetaan, että juurien kehitysaikana maan pintakerros on aivan kuiva, on selvää, että tukijuuret saavat tarvitsemansa veden kasvusta.

5. Juurimuotojen *sijottus* juuristossa on aivan säännöllinen. Alimmiksi itämipaikan lähetyville muodostuvat itämisjuuret ja niiden yläpuolelle useampaan kiehkuraan ravintojuuret. Jonkin verran näiden yläpuolelle muodostuvat ravintotukijuuret ja ylimmiksi, usein yläpuolelle maanpinnan, tukijuuret. Tehtävänsäkin katsoen soveltuvat itämis- ja ravintojuuret alimmiksi, missä ne ovat lähellä kasveille niin tärkeätä vettä ja ravintoaineita, joiden kuljetuksesta sanotut juuret pääasiallisesti huolehtivat. Tukijuuret täyttävät sitä paremmin tehtävänsä, mitä ylempänä ne juuristossa sijaitsevat.

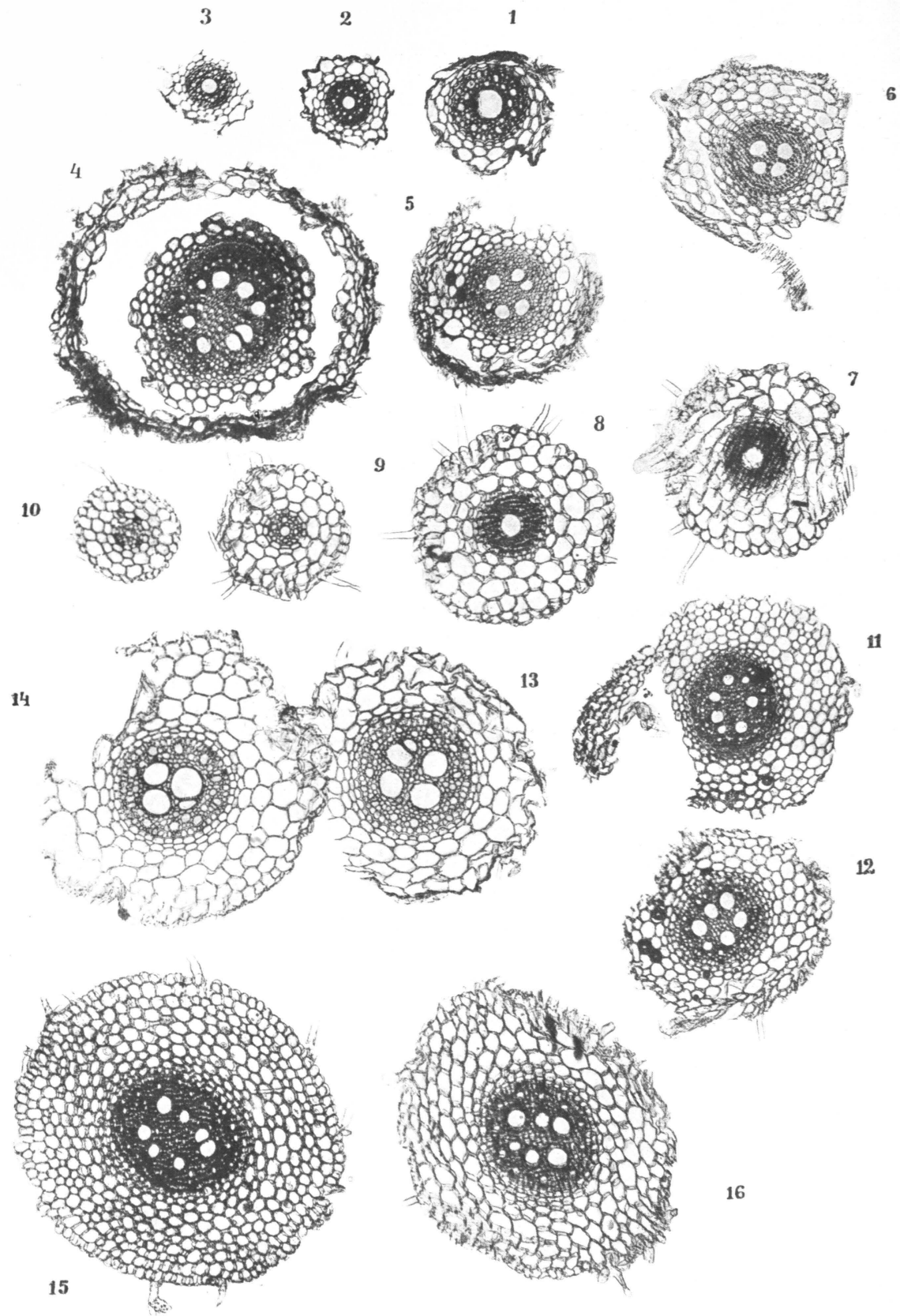
Tafel I.



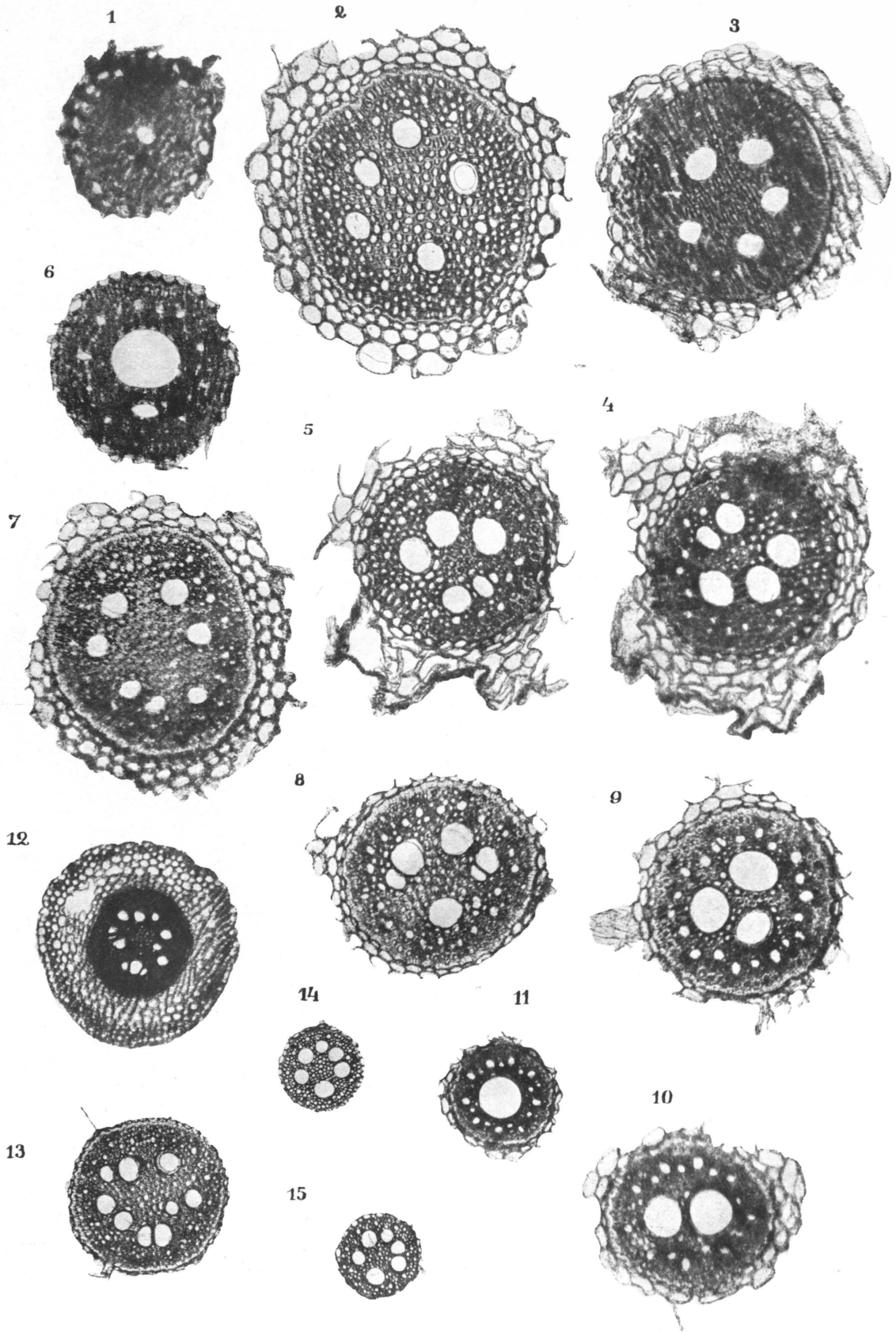
Tafel II.



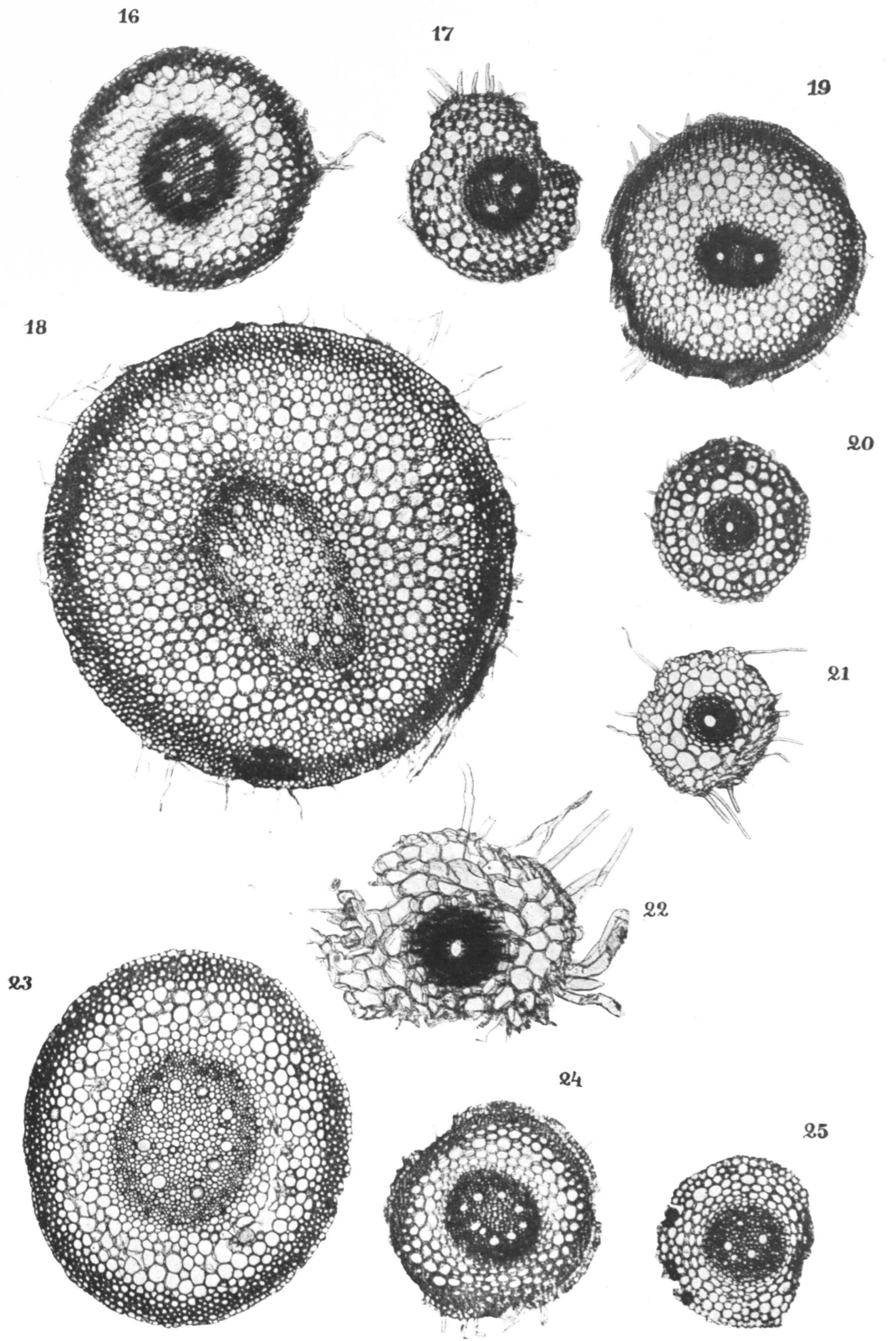
Tafel III.

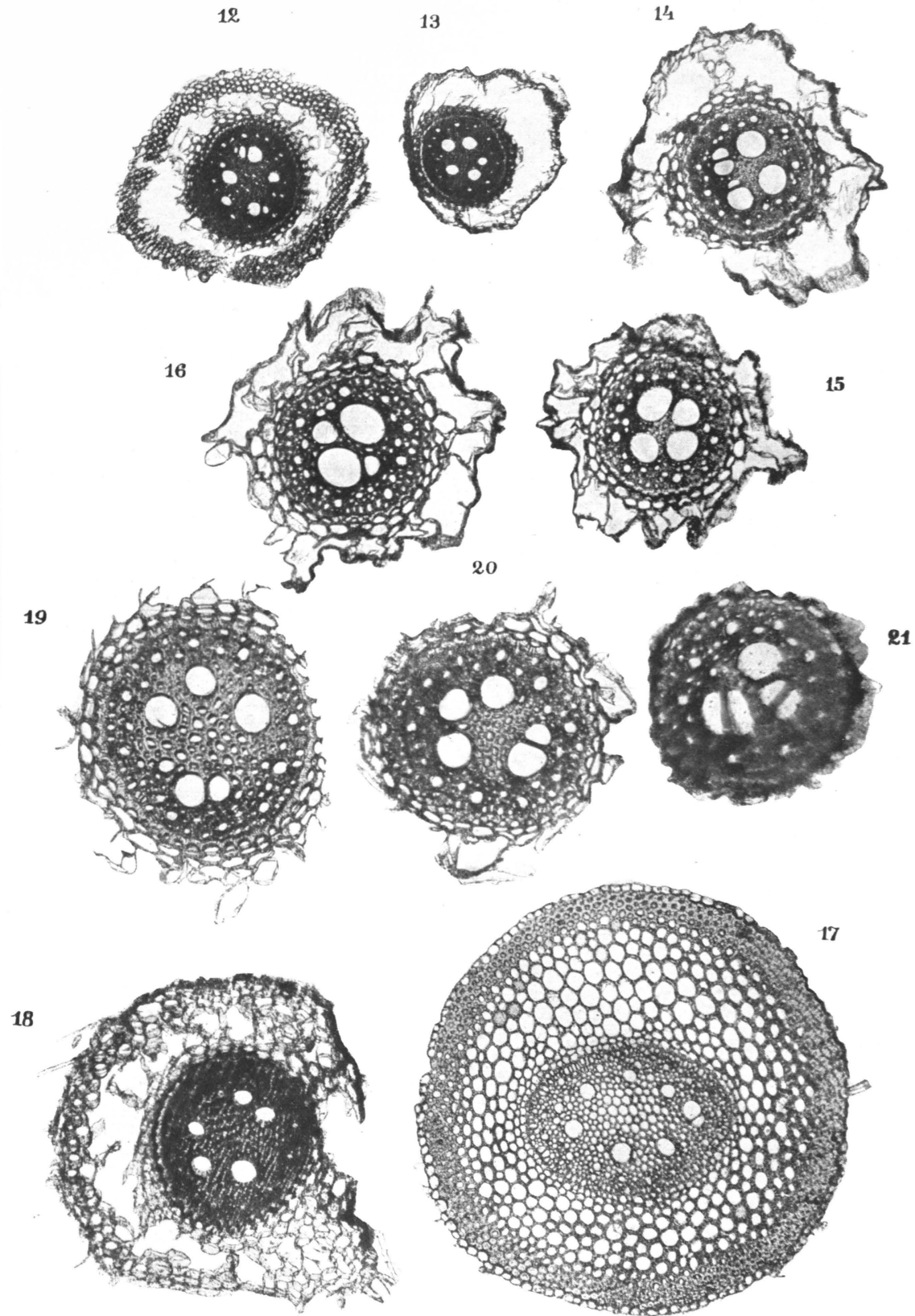
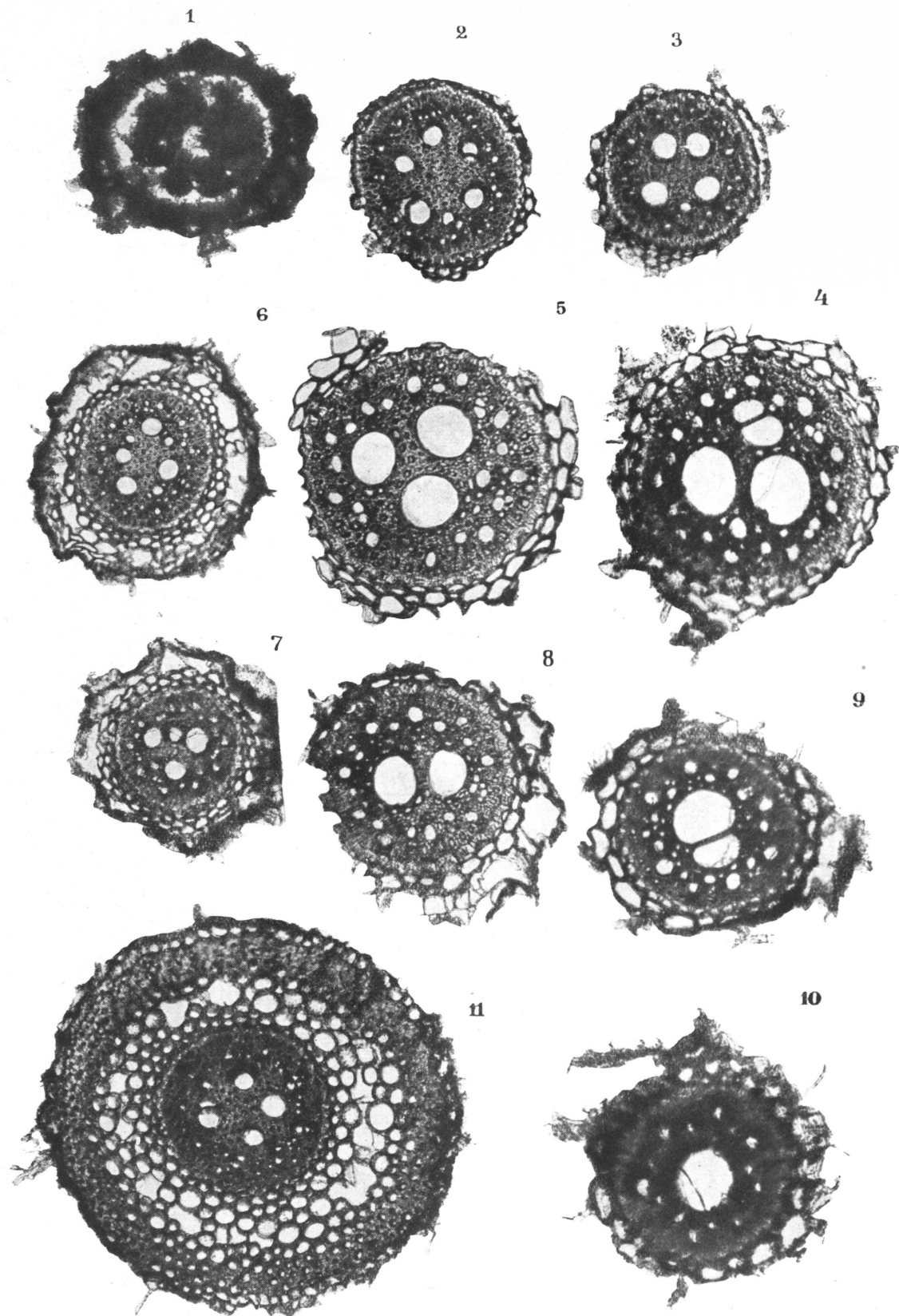


Tafel IV.

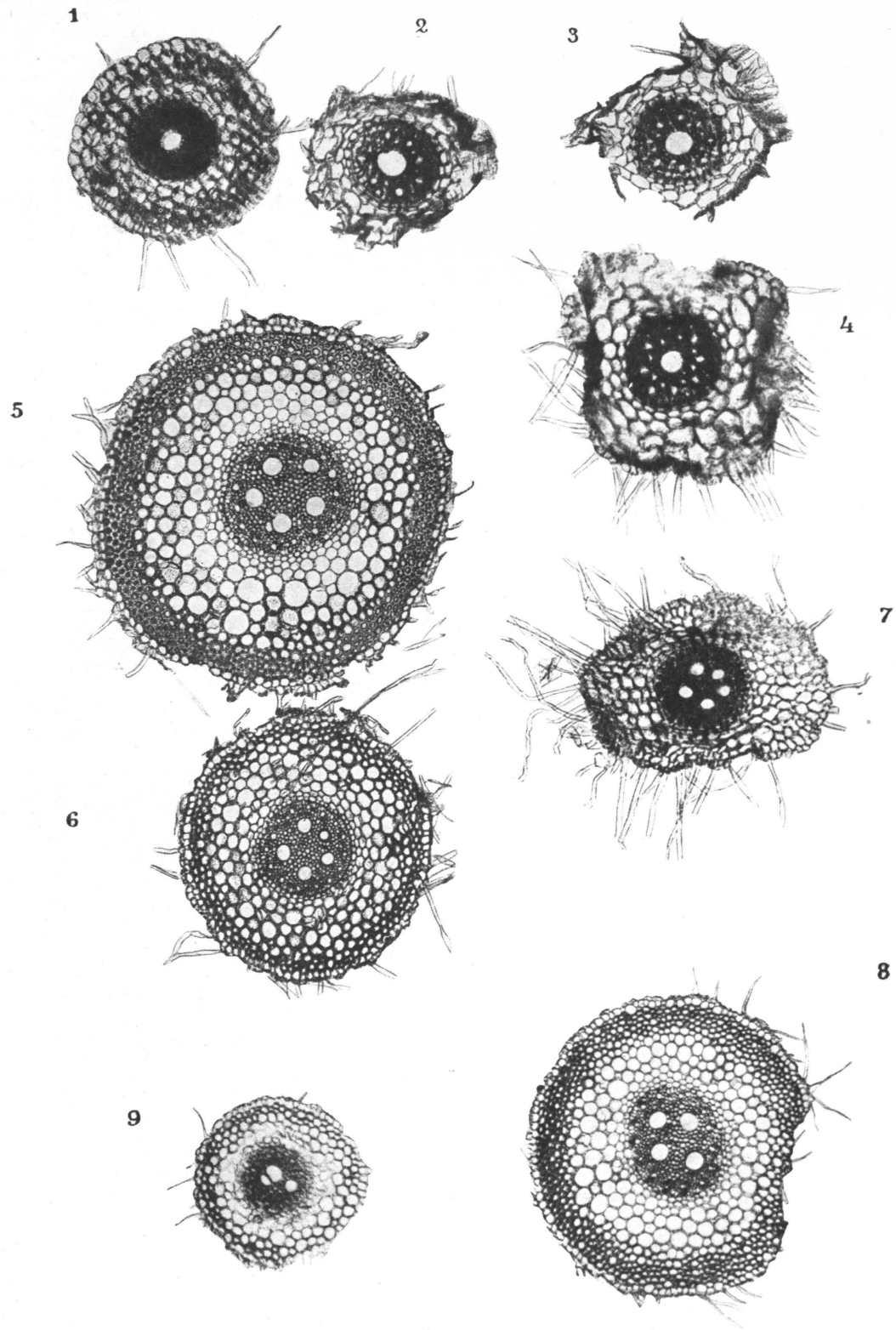


Tafel IV.





Tafel VI.



Tafel VII.

