

ÜBER  
DAS VERHÄLTNIS DER WINTERFESTIGKEIT  
DES ROGGENS ZUR DEHNBARKEIT  
UND DEHNUNGSFESTIGKEIT  
SEINER WURZELN

VORLAUFIGE MITTEILUNG

VON  
P. KOKKONEN

*SUMMARY IN ENGLISH*

*On the relation between the hibernation of rye and the extensibility  
and the tensile strength of its roots*

HELSINKI 1927

## Inhaltsverzeichnis.

Vorwort .....	4
Einleitung .....	5
I. Die Untersuchungsmethode .....	7
II. Die Wurzelformen.....	13
III. Die Entwicklungsperioden der Wurzeln.....	16
IV. Die Überwinterung verschiedener Roggensorten.....	23
V. Die Dehnbarkeit der Wurzeln .....	25
VI. Die Dehnungsfestigkeit der Wurzeln .....	38
VII. Überblick über das Verhältnis der Überwinterung verschiedener Roggensorten zur Dehnbarkeit und Festigkeit ihrer Wurzeln .....	40
Erklärung der Tafeln .....	42
Summary in English .....	43
Suomenkielinen selostus .....	46

HELSINKI 1927

DRUCKEREI DER FINNISCHEN LITERATURGESELLSCHAFT

## Vorwort.

Als während der Bodenfrosthforschungen des Verfassers Untersuchungen über die Einwirkung des Bodenfrostes auf die Getreide- und Holzpflanzen geplant wurden, liess sich nicht voraussehen, dass sie einen solchen Umfang annehmen würden, wie es später der Fall war. Auch beschränkten sie sich nicht allein auf den Einfluss des Bodenfrostes, sondern zogen in ihren Bereich auch verschiedene, in dem betreffenden Zusammenhang zutage getretene wichtige Umstände. Die Bearbeitung des Beobachtungsmaterials musste zunächst hauptsächlich auf die Getreidepflanzen konzentriert werden, die im Vorliegenden allein behandelt werden. Die Beobachtungen über die Holzgewächse werden später veröffentlicht werden.

Für die vorliegende Untersuchung hat der Unterzeichnete von dem Zentralkomitee für die landwirtschaftliche Versuchstätigkeit (Maatalouden koetoiminnan Keskusvaliokunta) eine Unterstützung erhalten, die fast ganz für die Entlohnung der Gehilfen verausgabt worden ist. Für diese Unterstützung spreche ich dem Zentralkomitee meinen besten Dank aus. Ebenso ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. K. LINKOLA für den unschätzbaren Beistand zu danken, den er mir während der Ausführung meiner Arbeit geleistet hat.

Helsinki, im Oktober 1927.

*Der Verfasser.*

## Einleitung.

Das Gedeihen des Wintergetreides, des Roggens und Weizens, ist in Finnland stark, ja fast ausschlaggebend dadurch beeinflusst, wie es überwintert. So kann man Weizen, der schlechter überwintert, mit Erfolg nur im südlichen Teil des Landes bauen. Daher ist die Winterfestigkeit bei der Veredelung dieser Getreidesorten von grosser Bedeutung. Nur die Veredelungsprodukte, deren Winterfestigkeit befriedigend ist, werden in den Handel gebracht, wogegen die schlecht überwinterten Sorten zurückgewiesen werden. Bei der Veredelungsarbeit sind die Beobachtungen betreffs der Überwinterung infolgedessen von Wichtigkeit, und sie müssen möglichst genau und sorgfältig im Verlauf von mehreren Jahren angestellt werden.

Die Winterfestigkeit ist nach den Untersuchungen von NILSSON-EHLE eine rein erbliche Eigenschaft<sup>1</sup>. Die Überwinterung hat man im allgemeinen durch die Beobachtung bestimmt, wie die oberirdischen Teile des Getreides sich über den Winter erhalten haben und wie sie dann während des Frühjahrs hervorspriessen, wobei man im Herbst und im Frühjahr von der Dichtheit der Saat nach einer bestimmten Skala Zahlen gibt, aus denen nachher durch Rechenoperationen die die Winterfestigkeit anzeigende Zahl gefunden wird. Auf diese Weise hat man zwar wichtige Angaben über die Winterfestigkeit erhalten, das Ergebnis kann aber durch mehrere andere Faktoren, z. B. Pflanzenkrankheiten, wie Schneeschimmel, beeinflusst worden sein; auch können die Winter stark

<sup>1</sup> NILSSON-EHLE H. Zur Kenntnis der Erblichkeitsverhältnisse der Eigenschaft Winterfestigkeit bei Weizen. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung. Berlin 1912. Nebst den darin enthaltenen Literaturhinweisen.

variieren; ferner kann im Frühjahr die Bildung von Bodenfrost in den einen Jahren von anderer Art sein als sonst, wodurch eine und dieselbe Sorte im einen Jahre gut, im anderen schlecht überwintert. Dieses zwingt, wie gesagt, dazu, während mehrerer Jahre Beobachtungen über die Winterfestigkeit anzustellen, wodurch wiederum die Versuchstätigkeit verzögert wird.

Bei meinen früher ausgeführten Untersuchungen über den Bodenfrost<sup>1</sup> kam ich auf den Gedanken, dass die Winterfestigkeit und die Eigenschaften der Wurzeln, insbesondere ihre Dehnbarkeit, vielleicht miteinander zusammenhängen. Beim Gefrieren des Bodens nimmt sein Volumen zu, und die darin befindlichen Wurzeln werden einer grösseren oder geringeren Dehnung ausgesetzt. Es erschien mir möglich, dass bei solchen Pflanzen, die gut überwintern, auch die Dehnbarkeit der Wurzeln grösser sei als bei solchen, die schlecht überwintern.

Im Folgenden wird in Form einer vorläufigen Mitteilung über die hauptsächlichsten Ergebnisse meiner bisherigen zur Aufhellung der vorliegenden Frage ausgeführten Untersuchungen berichtet.

<sup>1</sup> KOKKONEN, P. Tutkimuksia viemärien kuntoon vaikuttavista seikoista (Studies of Circumstances affecting the condition of drainage canals). Acta Forest. Fenn. 27. Helsinki 1924; und KOKKONEN, P. Beobachtungen über die Struktur des Bodenfrostes. Acta Forest. Fenn. 30. Helsinki 1926.

## I. Die Untersuchungsmethode.

1. *Untersuchungsmaterial.* — Zum Versuchsmaterial wurden vier Roggensorten, Petkuser (deutsches Veredelungsprodukt), veredelter Vasaroggen (Veredelungsprodukt aus Svalöf), Ostola-Landsorte und Iisalmi-Landsorte, gewählt. Diese Roggensorten werden bei den folgenden Untersuchungen kurz als Petkuser, vered. Vasa, Ostolaroggen und Iisalmiroggen bezeichnet. Diese Sorten sind auf der staatlichen Versuchsanstalt in Tikkurila seit einigen Jahren angebaut und an denselben sind zugleich Beobachtungen über die Winterfestigkeit angestellt worden. Seitens der Pflanzenveredelungsabteilung der Versuchsanstalt in Tikkurila wurden z. B. im Winter 1925—1926 die besagten Sorten in Vorversuchen nebeneinander angebaut, wobei sie in betreff ihrer Winterfestigkeit folgende Werte erhielten (nach Dr. Vilho A. Pesola)<sup>1</sup>:

Petkuser .....	7.4
Vered. Vasa .....	7.7
Ostolaroggen .....	8.8
Iisalmiroggen .....	9.8

In Iisalmi baute ich auf meinem Familiengute im erwähnten Winter auch 3 von diesen Roggensorten nebeneinander, wobei sie gemäss der-

<sup>1</sup> Der Winterfestigkeitswert wurde folgendermassen ermittelt: im Herbst wird die Dichtigkeit der Saat nach einer 10-gradigen Skala auf verschiedenen Vierecken geschätzt und der Mittelwert ausgerechnet. Im Frühjahr nach der Schneeschmelze schätzt man die Saat nach derselben Skala und berechnet den Mittelwert. Der so erhaltene Mittelwert wird mit 10 multipliziert und das Produkt mit dem im Herbst gefundenen Mittelwert dividiert; die Quote gibt alsdann die Winterfestigkeit an.

selben Berechnungsgrundlagen folgende Winterfestigkeitswerte erhielten (eigene Beobachtungen):

Petkuser .....	1.8
Vered. Vasa .....	4.5
Iisalmiroggen .....	10.0

Zwecks Anbaues der zu untersuchenden Pflanzen wurde mir im botanischen Garten der Universität Helsinki ein Platz zur Verfügung gestellt, wo die erwähnten Sorten am 20. August 1926 gesät wurden. Alle vier Sorten wuchsen im Herbst ganz ebenso gut, so dass hinsichtlich der Üppigkeit der Saat zwischen den verschiedenen Sorten kein Unterschied zu bemerken war. Der Kontrolle halber war es wichtig, dass ich ein von denselben Sorten auf der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Tikkurila erzogenes Material erhielt, das sich ebenfalls im allgemeinen ziemlich gleichmässig entwickelt hatte. Über den Standort ist zu bemerken, dass der Boden im botanischen Garten moränenartiger Mischboden und derjenige in Tikkurila reine Tonerde war. — Die Dehnungsexperimente wurden am 10. Oktober angefangen und dauerten mit unwesentlichen Pausen fort solange, als die Erde ungefroren war, d. h. bis Anfang Dezember. Die so gewonnenen Ergebnisse veranschaulichen die Dehnbarkeit der Roggenwurzeln vor dem Gefrieren des Bodens. Im Winter, während der Boden gefroren war, wurden die Dehnungsexperimente Anfang Februar begonnen und bis Ende März und teilweise bis Anfang April fortgeführt. Die hierbei erzielten Resultate zeigen, wie die Dehnbarkeit der Wurzeln sich im gefrorenen Boden erhalten hat. Ende April wurde eine neue Serie Dehnungsversuche eingeleitet, wobei die Dehnbarkeit sofort nach dem Schmelzen des Bodenfrostes untersucht wurde. Jedoch sind die hierbei gewonnenen Ergebnisse teilweise nicht ganz proportional, denn die Dehnung konnte nicht gleich nach dem Auftauen des Bodens mit sämtlichen Sorten vorgenommen werden, sondern einige von diesen Versuchen wurden bis zu einem späteren Zeitpunkt aufgeschoben, wo der Frost schon einigermaßen auf die Dehnbarkeit der späteren Wurzeln eingewirkt hatte. Mitte Mai, wo die Bildung von Eisfilamenten im Frühjahr 1927 als abgeschlossen betrachtet werden muss, wurde mit einer

neuen Serie von Dehnungen begonnen, durch welche festgestellt werden sollte, wie sich die Dehnbarkeit der Wurzeln nach dem Aufhören der Wirkungen des Boden- und des Oberflächenfrostes gestaltete. Später im Sommer, und zwar Anfang Juli und Anfang August, wurden noch zwei Dehnungsreihen ausgeführt, um Klarheit darüber zu gewinnen, wie sich die Dehnbarkeit gegen das Ende der Wachstumsperiode des Roggens veränderte.

Im Sommer 1926 wurde auch die Dehnbarkeit an Sommergetreide untersucht, um zu sehen, ob ein Unterschied zwischen den Dehnbarkeiten der Wurzeln des Sommer- und des Wintergetreides besteht. Zu diesem Zweck wurden am 5. Juni 1927 vergleichshalber drei Gersten- und drei Hafersorten sowie drei Roggensorten gesät. Vom Roggen kamen zur Anwendung die zwei äussersten Sorten, Petkuser und Iisalmiroggen, sowie ausserdem der ganz vor kurzem von der Forstwissenschaftlichen Versuchsanstalt erhaltene sog. Brandackerroggen, von dem bekannt war, dass er ausgezeichnet überwinterte und Jahrzehnte hindurch nur auf Brandäckern gebaut worden war. Mit diesen wurden Anfang Juli und Anfang August Dehnungsmessungen ausgeführt.

2. *Die Messung der Dehnbarkeit und der Dehnungsfestigkeit.* — Für die Messung der Dehnbarkeit und der Dehnungsfestigkeit war es vonnöten, einen Apparat zu konstruieren. Früher sind solche Apparate meines Wissens nicht vorhanden gewesen. Beim Entwerfen des Apparates ist zu berücksichtigen, dass die Messungen mit ihm möglichst schnell ausführbar sind und dass man mit ein und demselben Apparat sowohl den Betrag der Dehnbarkeit als auch die zur Dehnung erforderliche Kraft befriedigend bestimmen kann. Die grösste Schwierigkeit bei diesem Apparat boten die Vorrichtungen zur Befestigung der Wurzeln. Die Wurzel durfte ja bei der Befestigung nicht zerreißen, denn solchensfalls wäre das Ergebnis unsicher und fehlerhaft geworden. Die Befestigung musste also derart sein, dass sie die Wurzel nicht zerriss, aber sie auch nicht oder wenigstens nicht in grösserem Umfang herausgleiten liess. Ebenso war die Durchführung der Kraftmessung schwierig, und schliesslich musste man sich mit der durch eine Stahlfeder ermöglichten Mes-

sung begnügen. Diese letztere ist ja bei Kraftmessungen, wo es sich um verhältnismässig kleine Kräfte handelt, nicht absolut genau, sie bot aber so grosse Vorteile hinsichtlich der Schnelligkeit der Messung dar, dass man von der Genauigkeit der Ergebnisse etwas nachlassen konnte, zumal die Ergebnisse zwischen den verschiedenen Sorten doch nur relative Zahlen liefern. (Der Apparat wurde von der staatlichen feinmechanischen Werkstatt in Helsinki angefertigt.) Die Figur 1 stellt den Messungsapparat dar. Man sieht da am einen Ende eine auf einer Unterlage befestigte Klemme (a), zwischen deren Backen die Wurzel einge-

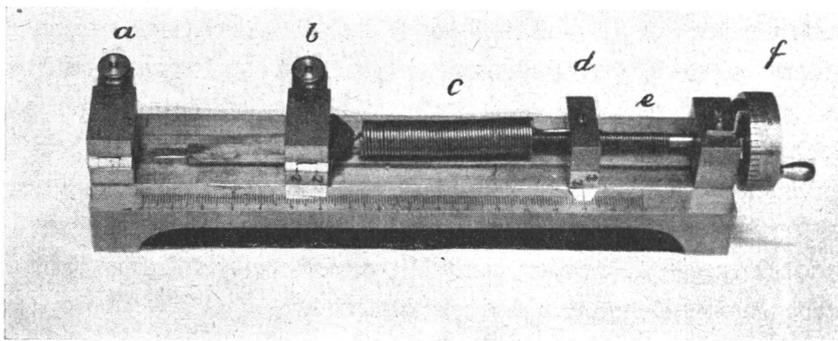


Fig. 1. Messapparat.

führt wird. Eine zweite Klemme (b), worin das Ende der Wurzel befestigt wird, ist beweglich. Sie wird vermittle einer am anderen Ende der Unterlage angebrachten Schraubenvorrichtung (e) bewegt, bei der die Ganghöhe der Schraube 1 mm beträgt. Die Schraube bewegt zuerst das Gleitstück (d), das in denselben Falzen wie die bewegliche Klemme läuft. Zwischen diesem Gleitstück und der beweglichen Klemme ist dann die Feder (c) angebracht, die die zur Dehnung erforderliche Kraft misst. Unter der Unterlage ist eine Bleiplatte von etwa 3 kg Gewicht angegossen, die eine Verschiebung des Apparates nach der einen oder der anderen Seite während der Ausführung der Dehnung verhindern soll. — An der Klemme waren anfangs beide Backen — sowohl der obere als auch der untere — mit Gummi überzogen, dabei kam man aber bei starken Wurzeln zu keinem genauen Ergebnis, weil der Gummirand die

Wurzel nicht fest genug einzuklemmen vermochte. Später wurde am unteren Backen eine Gummiunterlage, am oberen aber eine kupferne Unterlage gebraucht, die so mit Zähnen versehen waren, dass eine Verschiebung der Wurzel beim Aufeinanderpressen der Backen nicht statt-

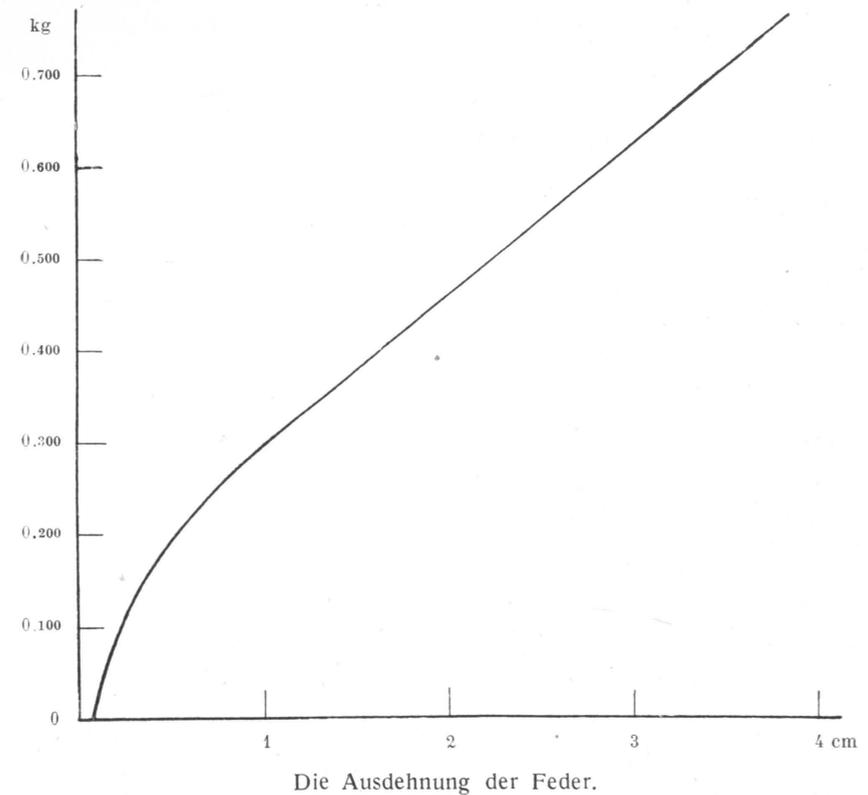


Fig. 2. Die für die Ausdehnung der Feder erforderliche Kraft in kg.

finden konnte. Solche Backen haben sich in der Praxis als sehr gut bewährt und sicherten der Länge des gedehnten Teils eine genügende Genauigkeit. — Von den Federn wurden mehrere gebraucht, obwohl beim Roggen für die ganze Zeit eine und dieselbe Feder hinreichte. — Am Rande der Unterlage befindet sich eine Zentimeterskala, von der die Lagen der Klemme und des Gleitstückes der beiden beweglichen Teile abgelesen wurden, wobei man von beiden vermittle eines Nonius Ablesun-

gen bis  $\frac{1}{10}$  Millimeter bzw. noch genauere erhielt. Die Skala ist so angebracht, dass man von ihr die Entfernung der Klemme leicht mit einer Genauigkeit von  $\frac{1}{10}$  mm ablesen kann.

Die Figur 2 veranschaulicht das Verhältnis der Dehnung der beim Roggen gebrauchten Feder zu der erforderlichen Kraftmenge bei den im Herbst ausgeführten Messungen. Für jede Messungsserie wurde die Feder stets justiert.

Vor der Dehnung der Wurzeln wurde eine *Messung der Wurzeldicke* vorgenommen, die unter dem Mikroskop mit Hilfe eines Mikrometerokulars ausgeführt wurde. Auf einer Strecke von 2 cm, worauf die Dehnung vor sich ging, erfolgten vier Dickenmessungen, aus denen dann der Mittelwert berechnet wurde.

Die Dehnbarkeit der Wurzeln wurde so gemessen, dass man zwischen den vorerwähnten Backen einen 2 cm langen Teil der zu dehnenden Wurzel befestigte, dessen Durchschnitt vorher gemessen war, so dass die Wurzel vom Stammende gerechnet in einer Länge von 1 cm zwischen den anderen Backen eingeklemmt wurde. Auf diese Weise wurde vom Stammende der Wurzel gerechnet ein 2 cm langer, zwischen 1 und 3 cm befindlicher Wurzelteil gedehnt. Beim Anziehen der Backen wurde die Wurzel zwischen ihnen locker gehalten, bis die Spannung genügte, worauf die Wurzel durch Auswärtsschieben der beweglichen Klemme gestreckt wurde. Danach wurde von dem an der letzterwähnten Klemme angebrachten Nonius die Entfernung der Backen voneinander genau abgelesen, worauf die Dehnung durch Umdrehen einer Kurbel (Fig. 1 g) erfolgte. Zugleich wurde die Verschiebung des beweglichen Backens verfolgt, bis die Wurzel zerriss, wobei die Stellung des Backens im Moment des Zerreißen von der Skala abgelesen und so der Betrag der Dehnung festgestellt wurde. In demselben Augenblick, wo die Wurzel zerriss, wurde die Kurbel angehalten und von dem beweglichen Gleitstück (Fig. 1 d) abgelesen, um wieviel sich dasselbe während der Dehnung verschoben hatte, wobei sich durch Subtraktion der letzten Ablesung des Backens von der ersterwähnten Ablesung die Grösse der Dehnung der Feder ergab; für diese konnte dann aus der für die Feder berechneten Tafel die entsprechende Kilogrammzahl entnommen werden.

*Sonstige Wurzeluntersuchungen.* Zu Beginn der Untersuchungen im Herbst 1926 glaubte man keiner Beobachtungen über den äusseren und inneren Bau der Wurzeln zu bedürfen. Doch stellten sich schon im Winter gewisse Umstände heraus, die dazu zwangen, auch diese Seite einer Untersuchung zu unterziehen. Im Winter sowie auch später wurde aus jeder Dehnungsserie Material für eine anatomische Untersuchung gesammelt. Im Herbst (1926) wurde das mikroskopische Material nicht so vollständig, wie es wünschenswert gewesen wäre, aber es wurde im Herbst 1927 ergänzt.

Im Frühjahr wurden Beobachtungen über die Überwinterung der Sprösslinge und der Wurzeln ausgeführt und aus diesen für die spätere Untersuchung das nötige Material in Spiritus gelegt.

Im Mai war die Untersuchungsmethode endgültig ausgebildet, wo auch mit umfangreichen statistischen Untersuchungen über das Äussere sowie teilweise über den inneren Bau der Wurzeln begonnen wurde, um Angaben über die Beschaffenheit der Wurzeln zu verschiedenen Zeiten der Wachstumsperiode zu erhalten.

Die Querschnitte der Wurzeln wurden mit dem Apparat der Untersuchungsanstalt für Fischerei mikrographiert.

## II. Die Wurzelformen.

Die Wurzeln der Getreidepflanzen werden in der Literatur im allgemeinen in Keim- oder Samenzurzeln, Zwischenwurzeln und Kronenzurzeln eingeteilt, wobei zu den letzterwähnten auch die Adventivwurzeln<sup>1</sup> gerechnet sind. Auch ist angegeben worden, dass sich ein Teil der Adventivwurzeln bei einigen Weizensorten, dem Sommerroggen und einer Hafer-sorte<sup>2</sup> am Stammende zu steifen dicken Stützwurzeln ausbildet.

Nach den von mir ausgeführten Untersuchungen über die Beschaffenheit der Wurzeln stimmt die vorerwähnte Einteilung der Wurzeln nicht

<sup>1</sup> Vgl. GROTFELT, G. *Peltokasviviljelys* (Ackerpflanzenbau). Porvoo 1925, S. 52, und SCHINDLER, FRANZ. *Handbuch des Getreidebaus*. Berlin 1923, S. 22, u. a.

<sup>2</sup> KRAUS, C. *Die Lagerung der Getreide*. Stuttgart 1908, S. 135.

mit den tatsächlichen Verhältnissen überein. Bei der Einteilung der Wurzeln sind meines Erachtens die Entstehungszeit und die Entstehungsstelle, der äussere und innere Bau sowie der Zweck der Wurzel in Betracht zu ziehen. Die zu verschiedenen Zeiten der Wachstumsperiode entstandenen Wurzeln haben je eine verschiedene Entstehungsstelle, so dass sich die ältesten Wurzeln immer weiter unten und die jüngsten am weitesten oben befinden. Auf das Äussere der Wurzeln wirken in hohem Grade die zu verschiedenen Zeiten der Wachstumsperiode herrschenden Verhältnisse ein, die sehr verschiedenartig sind, wie beim Wintergetreide die Winter- und Sommerperiode. Der innere Bau ist auch, hauptsächlich je nach den Bedürfnissen der Pflanze, wechselnd. Nach den von mir ausgeführten Untersuchungen kann man unter Berücksichtigung der vorerwähnten Umstände die Wurzeln des Roggens (sowie auch anderer Getreidesorten) in vier Gruppen einteilen<sup>1</sup>:

- 1) Keim- oder Samenwurzeln;
- 2) Nährwurzeln;
- 3) Nähr-Stützwurzeln;
- 4) Stützwurzeln.

*Die Keimwurzeln* entstehen beim Keimen des Samens. Sie sind weich, biegsam, sehr dünn (0.14—0.30 mm) und bei vollständiger Ausbildung verhältnismässig verzweigt. Gewöhnlich sind sie am Stammende dünner als tiefer unten. Ihre Entstehungsstelle ist das untere Ende des Hypokotyls. Ihre Zahl wechselt beim Roggen zwischen 4 und 6.

Aus dem Querschnitt (Tafel I, Fig. 1) einer Keimwurzel ist ersichtlich, dass im Zentralzylinder nur ein grosses Gefäss vorhanden ist, und dass sich um dasselbe die Hadrom- und Leptomteile strahlenförmig gelagert haben, obwohl sie in der Abbildung nicht auseinandergehalten werden.

*Die Nährwurzeln* bilden sich einige Zeit nach dem Keimen und im Frühjahr solange, als der Halm noch nicht besonders lang ist. Sie sind weiche, schlaffe, biegsame, gleichmässig starke, ziemlich dicke (0.3—0.9 mm) Wurzeln, die viel Wurzelzweige haben und die lang (40—60 cm)

<sup>1</sup> Vgl. RIMBACH, A. Beiträge zur Physiologie der Wurzeln. Berichte der deutschen bot. Gesellschaft, Bd. XVII. Berlin 1899.

sind. Ihre Entstehungsstelle an den Wurzeln liegt weiter oben als die der Keimwurzeln. In einem Querschnitt der Nährwurzeln (Tafel I, Fig. 2) ist die Zahl der grossen Gefässe in der Regel grösser als 3, von denen jedes gemeinsam zu zwei Gefässesteilen zu gehören scheint. Die spezielle Aufgabe dieser Wurzeln ist die Beförderung von Nährstoffen für das Wachstum und die Entwicklung der Pflanze. Die Zahl der Nährwurzeln ist sehr wechselnd (10—50).

*Die Nähr-Stützwurzeln* (Tafel I, Fig. 3) entstehen im Frühjahr, und zwar wenn der Halm mehr an Länge zuzunehmen anfängt (im Frühjahr 1927 gegen Ende Mai und Anfang Juni). Sie bilden sich weiter oben als die vorigen, und zwar an den unteren Gelenken des Halmes. Am Stammende sind diese dick, mit Wurzelhaaren dicht bedeckt, doch werden sie bald dünner; nach der Spitze zu sind sie verzweigt und verhältnismässig lang. Der Stammendteil ist 0.5—2 cm weit steif, hart, während der untere Teil weich, biegsam ist. Der Querschnitt des steifen Wurzelteiles (Tafel I, Fig. 3) weicht von dem Querschnitt der Nährwurzeln nur darin ab, dass die äusseren (peripheren) Teile der Wurzelrinde sich aus den dickwändigen Zellen gebildet haben, von denen die Steifheit und Härte herühren. Der Querschnitt des weichen Teiles der Wurzeln ist ganz ähnlich wie bei den Nährwurzeln. Der Zweck der Wurzeln ist sowohl die Beförderung von Nahrung als auch die Stützung des Halmes.

*Die Stützwurzeln* sind kurz, steif, dick. Sie beginnen sich kurz vor der Ährenbildung zu entwickeln, und diese Entwicklung dauert bis zum Reifen des Getreides fort. Sie sind im Wurzelsystem am weitesten nach oben lokalisiert, ja ein grosser Teil kann sich an den oberirdischen Halmgelenken befinden, jedoch nicht mehr als 3—4 cm über dem Erdboden. Sie wachsen gekrümmt nach dem Boden zu und sind sehr dick (1—2.2 mm) und steif. Die Länge des steifen Teils variiert von 3—6 cm, unterhalb desselben wird die Wurzel sehr schnell dünner und erhält besonders in den im Bodeninnern gebildeten Stützwurzeln einen Bau von der Art der Nährwurzeln, aber bei weitem nicht dieselbe Länge wie diese. Auch kann ihre Farbe wechseln, über dem Erdboden findet man grüne, hellgrüne oder gelbe und unter dem Erdboden weisse. Der innere Bau der Wurzeln (Tafel I, Fig. 4) ist desgleichen von den vorigen ganz

verschieden. Der Zentralzylinder ist nicht so kräftig gebaut, auch sind darin die grossen Gefässe im Verhältnis zu dem Flächeninhalt des Querschnitts nicht so zahlreich wie bei den Nährwurzeln. Der Zentralzylinder ist verhältnismässig schwach geworden. Dagegen hat sich aber der äussere Teil der Rinde seinerseits durchgehends aus starkwändigen Zellen gebildet, worauf die charakteristische Festigkeit und Steifheit der Wurzel zurückzuführen ist. Die Wurzeln sind im allgemeinen sehr kurz, ein Teil von ihnen erreicht überhaupt nicht den Boden. Diejenigen, die sich bis zum Boden erstrecken, können sich im Bodeninnern an dem weichen Wurzelteil verzweigen. Diese Wurzeln dienen dazu, den Halm zu stützen. Ihre Zahl wechselt sehr stark (10—60).

### III. Die Entwicklungsperioden der Wurzeln.

Bei Betrachtung des Wurzelsystems des Roggens zu verschiedenen Zeiten der Wachstumsperiode bemerkt man darin der Wachstumsperiode gemäss deutlich grosse Verschiedenheiten. Wenn man mit Ausserachtlassung der ganz geringen Veränderungen und Variationen nur die wichtigsten und während eines längeren Zeitraums beständigen Eigenschaften berücksichtigt, können in der Entwicklung der Wurzeln vier verschiedene Stadien wahrgenommen werden:

1. Herbstperiode,
2. Winterperiode,
3. Frühlingsperiode und
4. Sommerperiode.

*In der Herbstperiode* zielt die Entwicklung darauf ab, die Pflanze möglichst standhaft gegen die Einwirkung des Winters zu machen.

*Während der Winterperiode* ist die Lebenstätigkeit der Wurzeln wegen deren Gefrieren unterbrochen, so dass in ihnen keine organischen Veränderungen stattfinden. Dadurch dass das im Boden und in der Wurzel enthaltene Wasser gefriert, können in der Wurzel mechanische Kräfte in Tätigkeit treten, die die Form und den Bau derselben merkbar beeinflussen.

*Die Frühlingsperiode* kennzeichnet sich durch eine intensive Wachstumstätigkeit. Dann wachsen die Wurzeln besonders schnell. Man hat beobachtet, dass die Wurzel binnen 24 Stunden 3 bis 4 cm und sogar mehr wachsen kann. Die abgebrochenen Wurzeln fangen an, neue Nebenzweige zu entwickeln. Im Laufe der Frühlingsperiode erneuert sich das Wurzelsystem, so dass es eine andere Beschaffenheit zeigt als im Herbst.

*Während der Sommerperiode* wachsen besonders die Stützwurzeln, die die Aufgabe haben, den Halm zu stützen. Sonst findet in den Wurzeln kein besonders schneller Längenzuwachs mehr statt.

Die vorgenannten Perioden unterscheiden sich voneinander durch schroffere oder allmählichere Veränderungen. Zwischen der Herbstperiode und der Winterperiode tritt die Veränderung gewöhnlich ausserordentlich schroff ein. Der Boden kann plötzlich gefrieren, wobei auch die Wurzeln gefrieren und die Lebenstätigkeit der Pflanze aufhört. Der Wechsel zwischen der Winterperiode und der Frühlingsperiode ist ziemlich langsam, so dass die Zwischenzeit oft verhältnismässig lang ist, was viele schädliche Veränderungen am Wurzelsystem verursacht. Insbesondere ist die schädliche Einwirkung der von den Nachtfrostern hervorgerufenen Eisfilamente bemerkenswert. Zwischen der Frühlingsperiode und der Sommerperiode besteht kein besonders jäher Unterschied, sondern die Veränderung geschieht allmählich. Den Anfang der Sommerperiode kann man von dem Zeitpunkt kurz vor dem Blühen des Roggens rechnen.

*Die Wurzeln der Herbstperiode.* — Die Wurzeln der Herbstperiode sind weich, biegsam, hell oder etwas gelblich. Von ihnen sind 4 bis 6 Keimwurzeln und die übrigen Nährwurzeln.

Ausschliesslich auf Grund des Äussern können die Wurzeln der Herbstperiode in vier Klassen eingeteilt werden:

1. Ganz junge, wachsende, weisse Wurzeln, die nur an dem basalen Teil Wurzelhaare haben, während der übrige Teil kahl ist. Die Wurzel ist am Stammende dick (0.5—0.9 mm), wird aber sehr rasch dünner. Die Länge ist sehr wechselnd (0.5—10 cm). Alles dies sind junge Nährwurzeln.

2. Zu dieser Klasse gehören die Wurzeln, die biegsam, etwas gelber als die vorigen, am oberen Teil ziemlich stark verzweigt und behaart

sowie ebenda dicker sind und nach der Spitze hin dünner werden. Diese sind älter als die Wurzeln der ersten Klasse, aus welchem Grunde sie auch viel länger sind (6–20 cm). Der Form nach sind sie Nährwurzeln.

3. Die Wurzeln sind dünn (0.3–0.4 mm), ziemlich gleichmässig stark, hellgelb, biegsam; die Verzweigung ist verhältnismässig reichlich. Die Länge der Wurzeln kann über 30 cm betragen. Diese Wurzeln sind älter als diejenigen der vorangehenden Klasse. Die Wurzeln dieser Klasse sind die ältesten Nährwurzeln.

4. Die Wurzeln sind dünn (0.15–0.3 mm), hellgelblich, biegsam, sehr verzweigt; die Länge ist 10–20 cm. Zu dieser Klasse gehören nur die Keimwurzeln, 4–6 St.

Die Zahl der Wurzeln ist in den verschiedenen Klassen wechselnd. In bezug auf die verschiedenen Roggensorten war bei diesen Beobachtungen kein besonderer Unterschied zu bemerken.

*Die Wurzeln der Winterperiode.* — Die Wurzeln dieser Periode haben im allgemeinen dieselben äusseren Eigenschaften wie die der Herbstperiode, doch ist ihre Farbe etwas gelber, so dass sie auf dieselbe Weise wie in der Herbstperiode klassifiziert werden können. Es erübrigt sich, die Klassifizierung hier zu wiederholen, und es seien nur kurz die durch den Winter hervorgerufenen Veränderungen beschrieben. Im inneren Bau haben denn auch infolge des Frostes grosse Veränderungen stattgefunden. Die Rindenschicht beinahe jeder Wurzel hat sich vom Mittelteil losgelöst. Diese Ablösung ist bei den älteren Nährwurzeln (Tafel II, Fig. 4) im Gegensatz zu den jüngeren (Tafel II, Fig. 2 u. 3) ganz vollständig, was darauf zurückzuführen sein dürfte, dass die Membranen der jungen Zellen dehnbarer als die der älteren Zellen sind. Bei den älteren Nährwurzeln der Herbstperiode ist denn auch der äussere Teil der Rinde im Winter ganz losgelöst, nur 1–2 der innersten Zellenreihen der Rinde haften am Zentralzylinder fest. Bei jüngeren Nährwurzeln ist der Rindenteil im Winter nicht so deutlich vom Zentrum getrennt (vgl. Tafel II, Fig. 2–3). Die Keimwurzeln (Tafel II, Fig. 1) scheinen die Einwirkung des Frostes am besten zu vertragen, denn bei ihnen war der Rindenteil nur an wenigen Wurzeln vom Zentrum losgelöst.

Die Entstehung des Bodenfrostes verursacht eine Zunahme des Erd-

volumens, und das hat zur Folge, dass die Wurzeln einer grösseren oder geringeren Dehnung ausgesetzt werden, die öfters zum Abbrechen des Rindenteils oder auch der ganzen Wurzel führt.

*Die Wurzeln der Frühlingsperiode.* — Das Wurzelsystem der Frühlingsperiode ist von Keim- und Nährwurzeln gebildet, die weich und biegsam sind. Gegen das Ende der Frühlingsperiode kommen Nähr-Stützwurzeln und ganz am Ende junge Anfänge von Stützwurzeln zum Vorschein. Die im Herbst gebildeten Keim- und Nährwurzeln sind im Frühjahr gelb, bisweilen dunkelgelb. Sämtliche im Frühjahr gewachsenen Wurzeln oder Wurzelteile sind hell.

Im Frühjahr sind die Entwicklungsverhältnisse ausserordentlich verschieden. Im Anfang der Periode kann die Entwicklung infolge von Temperaturschwankungen langsam und ausserordentlich schnell vor sich gehen. Ausserdem können noch Nachtfroste eintreten, die zum Gefrieren der Bodenoberfläche führen, wobei in den Wurzeln namentlich Risse entstehen können, denn der grösste Teil der abgerissenen Wurzeln, die im Mai angetroffen wurden, sind den von den Frösten verursachten Eisfilamenten zuzuschreiben.

Die Wurzeln dieser Periode können dem Aussehen nach wie vorher in sechs Gruppen eingeteilt werden:

1. Hierher gehören alle jüngsten Wurzeln. Sie sind im allgemeinen am Stammende stark behaart und weiss. Sie wachsen ausserordentlich schnell, in 24 Stunden etwa 3–4 cm. Aus dieser Schnelligkeit folgt, dass ihr Spitzenteil in der Regel sehr weit kahl ist, worauf weithin eine dichte Haarbekleidung folgt. Die Länge wechselt von einigen Millimetern bis zu 15 cm. Die Wurzeln dieser Gruppe sind Nährwurzeln, nur gegen das Ende der Wachstumsperiode können hierzu Nähr-Stützwurzeln und Stützwurzeln gehören. Der Querschnitt der Nährwurzeln ist unversehrt, wobei der Rindenteil verhältnismässig stark ist (Tafel II, Fig. 1).

2. Ihrem Äussern nach sind diese ziemlich ähnlich wie in der vorherigen Klasse, der obere Teil der Wurzel ist aber verzweigt und ausserdem noch gelb, während der Spitzenteil weiss und kahl oder mit Haaren bedeckt ist. Diese Wurzeln sind etwas länger als die der vorigen Gruppe. Die Wurzeln sind hauptsächlich Nährwurzeln.

3. Diese Klasse unterscheidet sich im Äussern von der vorhergehenden darin, dass am Stammende etwas von der alten Wurzel vorhanden ist, die sehr reichlich verzweigt ist. Die Wurzel kann während des Winters sogar abgebrochen sein. Die Farbe ist am alten Teile gelb, und die neuen Teile sind weiss. Die Wurzeln sind am Stammende stark, sie werden aber sehr plötzlich dünner, wonach sie gleichmässig stark sind. Die Wurzeln sind im allgemeinen Nährwurzeln, deren Rindenteil oft ganz abgelöst ist (Tafel III, Fig. 2).

4. Zu dieser Klasse gehören hauptsächlich im Herbst gebildete Wurzeln, die gleichmässig stark, äusserst reichlich verzweigt und gelb sind und deren Rindenteil sich vollständig losgelöst hat (Tafel III, Fig. 3—4). Die Wurzel kann infolge des Bodenfrostes abgebrochen sein oder es ist nur der Rindenteil abgebrochen. In der Regel sind die zu dieser Klasse gehörenden Wurzeln dünne Nähr- oder Keimwurzeln.

5. Zu dieser Klasse gehören in der Hauptsache ähnliche Wurzeln wie zur vorigen, nur ist die Verzweigung der Wurzeln nicht so reich. Die Wurzeln sind entweder Keim- oder Nährwurzeln.

6. Hierher werden alle die Wurzeln gerechnet, bei denen keine Neubildungen oder eigentlich kein Leben beobachtet worden ist. Von Farbe sind sie sehr dunkelgelb, gleichmässig stark und ziemlich steif. Die Wurzeln sind meistens dünn. Im allgemeinen gehören zu dieser Klasse in der Frühlingsperiode Keimwurzeln.

Über die Einteilung der Wurzeln in die vorstehenden Klassen sei erwähnt, dass die Wurzeln der 1. Klasse etwa die Hälfte von der ganzen Zahl der Wurzeln ausmachen, die anderen Wurzeln kommen viel weniger häufig vor. Die Wurzeln der 3. und 4. Klasse finden sich ziemlich reichlich, ebenso auch die der 5. Klasse. Was die bei verschiedenen Roggenarten angetroffenen, zu verschiedenen Klassen gehörenden Wurzeln betrifft, wird ersichtlich, dass die Landsorten stets mehr Wurzeln der 3., 4. und 5. Klasse haben, während Petkuser und vered. Vasa Wurzeln der 6. Klasse viel reichlicher als die vorerwähnten Landsorten besitzen.

Im Hinblick auf die Einwirkung des Winters bei den verschiedenen Sorten war zu bemerken, dass abgebrochene Wurzeln am meisten bei Petkuser, danach bei vered. Vasa vorkamen. Bei dem Ostolaroggen und

dem lialmiroggen waren sie verhältnismässig wenig häufig. Sonst war die Einwirkung des Winters auf den inneren Bau der Wurzeln bei sämtlichen Sorten ziemlich gleich.<sup>1</sup>

*Die Wurzeln der Sommerperiode.* — Die Sommerperiode kann man von der Zeit rechnen, wo der Roggen Ähren ansetzt, bis zu der Zeit, wo er reif ist. Das Wurzelsystem der Sommerperiode ist seiner Beschaffenheit nach sehr wechselnd. Zu Beginn der Periode findet man junge Stützwurzeln, gut entwickelte Nähr-Stützwurzeln, eine grosse Menge Nährwurzeln und dünne lebende und tote Keimwurzeln. Gegen das Ende der Sommerperiode eine reiche Menge von dicken, harten und steifen Stützwurzeln, besonders reichlich Nähr-Stützwurzeln, verhältnismässig reichlich Nährwurzeln, die schon elastisch und einigermaßen steif geworden sind, sowie Keimwurzeln, die zum grössten Teil vertrocknet und abgestorben sind.

Während der Sommerperiode setzt der Bau des Roggens schon eine andere Befestigung im Boden als während der vorigen Perioden voraus, wo eigentlich noch kein Halm vorhanden oder dieser noch verhältnismässig kurz war. Dagegen ist der Roggenhalm im Laufe der Sommerperiode ausgewachsen und lang geworden, so dass er beim Biegen im Wurzelsystem Kräfte hervorruft, zu deren Überwindung ganz andere Wurzeln als früher, nämlich Stützwurzeln entwickelt werden müssen.

Im Äussern der Wurzeln findet man in dieser Periode grössere Verschiedenheiten als während der vorherigen. Man könnte zwei Gruppen unterscheiden, von denen die eine die steifen, harten Wurzeln und die andere die biegsamen, weichen Wurzeln umfassen würde. Da aber unter den ersteren sowie auch unter den letzteren mehrere Gruppen unterschieden werden können, hat man keine Veranlassung, die Wurzeln zuerst

<sup>1</sup> In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass sich der Rindenparenchym bei den Weizenwurzeln im allgemeinen noch vollständiger als beim Roggen vom Zentrum ablöst (Tafel V). Im Frühjahr, wenn der Schnee schon geschmolzen, der Boden aber noch gefroren ist, sitzen die Weizenschösslinge eben infolge der Ablösung des Rindenteils sehr locker. Man kann sie ganz leicht aus dem Boden ausrupfen, wobei der Rindenteil der Wurzeln im Boden zurückbleibt und dem Schössling nur die Zentralzylinder der Wurzeln und um dieselben einige Zellenreihen von der Rinde folgen.

in zwei Klassen und dann in Untergruppen einzuteilen, sondern die Wurzeln werden bereits dem Äussern nach unmittelbar in ihre endgültigen Klassen eingeteilt. Obwohl auch dabei in Anbetracht der Beschaffenheit der Wurzeln viel grössere Unterschiede zwischen den verschiedenen Wurzeln bestehen, kann man doch mit denselben 6 Wurzelklassen wie vorher auskommen.

1. Zu dieser Gruppe gehören die kurzen und am Stammende kräftigen, steifen Stützwurzeln (Tafel IV, Fig. 1), die oft, besonders gegen das Ende der Sommerperiode, oben an den niederen Gelenken des Halms entstanden sind, so dass sie nicht gleich den Boden erreichen. Ein Teil von diesen Wurzeln verzweigt sich während des letzten Teils der Sommerperiode, im allgemeinen sind die Wurzeln aber kurz, 2—7 cm, höchstens 12—16 cm lang. Von Farbe sind die an der Luft befindlichen Teile grün oder hellgelb je nach der Dichtigkeit des Roggens, die für die Lichtzufuhr zu dem Stammteil der Halme von Einfluss ist.

2. Zur Klasse 2 gehören auch am Stammende steife Stützwurzeln (Tafel IV, Fig. 2). Sie sind länger und weiss, denn sie wachsen ihrer ganzen Länge nach unterirdisch. Die Länge des steifen Teils variiert von 1—4 cm, und auch dieser Teil ist stark behaart. Die Wurzeln sind am oberen Ende sehr stark (2 mm) und werden in der Richtung nach der Spitze allmählich dünner. Ihrer Funktion nach stimmen sie mit den vorigen überein, d. h. sie sind Stützwurzeln. Doch kann man aus der Länge der Wurzeln und ihrer reichen Verzweigung schliessen, dass sie auch einigermaßen mit der Nahrungsaufnahme beauftragt sind.

3. Zu dieser Klasse gehören am Stammende dicke und steife Wurzeln, obschon ihr steifer Teil kurz, höchstens 1 bis 2 cm ist. Dieser Teil ist auch stark behaart. Weiter unten ist die Wurzel dünn, gleichmässig stark und verhältnismässig verzweigt. Die Farbe ist meistens gelb. Die Wurzeln sind Nähr-Stützwurzeln (Tafel IV, Fig. 3—5), so dass ihnen sowohl die Nahrungszufuhr als die Stützung des Halms obliegt.

4. Die Wurzeln dieser Gruppe sind gleichmässig stark, verhältnismässig dünn, sehr reichlich verzweigt. Von Farbe gelb oder dunkelgelb und gegen das Ende der Periode starr-elastisch. Zu der Gruppe gehören im Herbst gebildete Nährwurzeln (Tafel IV, Fig. 6, 12), deren Rinden-

teil allgemein abgetragen ist, und im Frühjahr gebildete Nährwurzeln, die gegen das Ende der Periode mehr oder weniger runzelig werden, was besonders von der Schrumpfung der Zellen des Rindenparenchyms herühren dürfte (vgl. Tafel IV, Fig. 8).

5. Die Wurzeln der Klasse sind gleichmässig stark, relativ dünn und dunkelgelb. Die Verzweigung ist verhältnismässig gering, hier und da eine Seitenwurzel. In der ersten Zeit der Periode sind die zu dieser Gruppe gehörenden Wurzeln weich, gegen das Ende der Periode aber schon verhältnismässig steif, elastisch, jedoch nicht hart. Die Wurzeln dieser Klasse gehören hauptsächlich zu denselben Formengruppen wie die der vorhergehenden, ausserdem kann man auch einige Keimwurzeln antreffen (Tafel IV, Fig. 13—14).

6. Alle die Wurzeln, bei denen keine Lebenstätigkeit zu beobachten war, sind zu dieser Klasse gerechnet worden. Sie sind im allgemeinen dunkelgelb, bisweilen ganz schwarzgelb, in der Hauptsache unverzweigt und im allgemeinen dünner als die der vorerwähnten Klassen.

Die Wurzeln können entweder Nähr- oder Keimwurzeln sein.

Über die Einteilung der Wurzeln in die verschiedenen Klassen sei erwähnt, dass zur 1. Klasse der grösste Teil der Wurzeln gehört, und zwar etwa die Hälfte sämtlicher Wurzeln. Die Wurzeln der zweiten Klasse sind auch verhältnismässig zahlreich, die Wurzeln der 3., 4. und 5. Klasse kommen weniger häufig vor.

#### IV. Die Überwinterung der verschiedenen Roggensorten.

##### *Beobachtungen betreffs der Überwinterung der Sprosse und der Wurzeln.*

— Im Zusammenhang mit den Dehnungsuntersuchungen wurden Beobachtungen darüber angestellt, wie die Sprosse überwintern und auch wie die einzelnen Wurzeln sich über den Winter erhalten. Diese Beobachtungen sind jedoch nicht ganz einheitlich, was darauf beruht, dass anfangs nicht mit der Notwendigkeit solcher Beobachtungen gerechnet wurde und daher die zuerst angestellten Beobachtungen nicht so vollständig als später waren. Trotz dieser Mängel einiger Beobachtungen

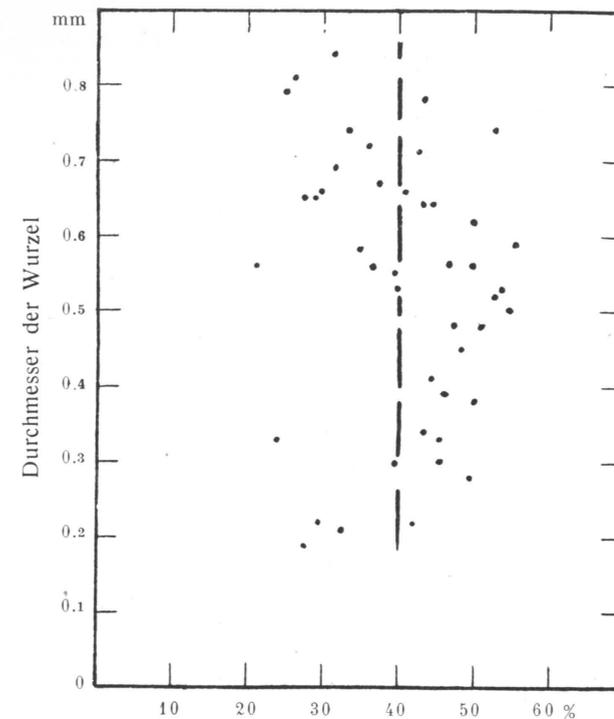
geben diese doch ein wahrscheinliches Bild von der Überwinterung der verschiedenen Sorten.

Die Überwinterung der Sprosse wurde im Frühjahr sofort nach dem Schmelzen des Bodenfrostes, wo keine schädlichen Nachtfröste mehr vorkamen, untersucht. Aus der Saatreihe wurden alle auf einer bestimmten Strecke wachsenden Roggenindividuen herausgenommen, die danach von Erde rein gespült und in bezug darauf untersucht wurden, wie viel lebendige und wie viel abgestorbene Sprosse sich an jedem Individuum vorfinden. Dazu wurde die Überwinterung sämtlicher Blätter des Individuums in der Weise beobachtet, dass den ganz unbeschädigten Blättern, d. h. solchen, die eine sehr gesunde, blaugrüne Farbe hatten, der Wert 5 gegeben wurde, und solche, deren Blätter irgendwie, jedoch nicht durch Pflanzenkrankheiten beschädigt waren, einen kleineren Wert je nachdem erhielten, in wie hohem Grade Beschädigungen vorhanden waren. Dabei bekam man für den Petkuser den niedrigsten Überwinterungswert 3,8, für den vered. Vasa 3,9, für Ostolaroggen 4,5 und für Iisalmiroggen 4,8.

Die Musterung der Sprosse gab zu erkennen, dass die Sprosse beim Petkuser am empfindlichsten sind, worauf vered. Vasa, Ostolaroggen und der am besten überwinterte Iisalmiroggen folgen, so dass die Reihenfolge dieselbe ist wie bei den früheren Beobachtungen betreffs der Überwinterung.

*Die Überwinterung der Wurzeln.* In der früher mitgeteilten Klassifizierung der Wurzeln der Frühlingsperiode zerfielen die im Herbst entwickelten Wurzeln in die drei zuletzt erwähnten Wurzelklassen. Bei Betrachtung der Einteilung der Wurzeln verschiedener Roggensorten in die erwähnten Klassen stellt es sich heraus, dass der Iisalmiroggen am meisten den Winter überlebende Wurzeln besitzt, darauf folgen Ostolaroggen, vered. Vasa und Petkuser. Abgestorbene Wurzeln die auf den Frost zurückzuführen sind, gibt es am meisten bei dem Petkuser und dann bei dem vered. Vasa, danach folgt der Ostolaroggen und zuletzt der Iisalmiroggen. Abgebrochene Wurzeln kommen am meisten bei dem Petkuser vor, sodann bei dem vered. Vasa, dem Ostolaroggen und schliesslich bei dem Iisalmiroggen. Folglich hat der Iisalmiroggen auch hier eine bessere Winterfestigkeit als die übrigen Sorten an den Tag

gelegt. Ihm am nächsten kommt der Ostolaroggen, dann der vered. Vasa und zum Schluss der Petkuser, alle in derselben Ordnung wie bei den früher angestellten Überwinterungsbeobachtungen.



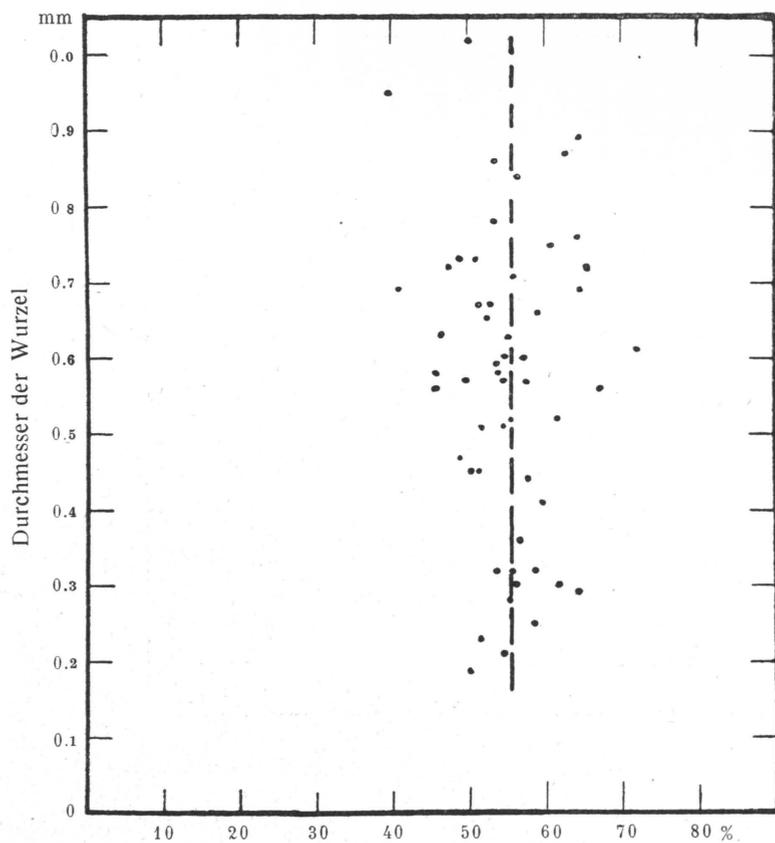
Die Dehnbarkeit im Verhältnis zur ursprünglichen Länge.

Fig. 3. Dehnung der Wurzeln des Petkuser im Herbst (im botanischen Garten erzeugtes Material = Y.).

## V. Die Dehnbarkeit der Wurzeln.

Als mit der Ausführung der Untersuchung begonnen wurde, gestalteten sich die Beobachtungen am Anfang der Untersuchung — wie es sich überhaupt mit neuen Untersuchungen verhält — nicht so gründlich wie die späteren, weil die Art der Arbeit und vor allem die Klassifizierung der Wurzeln nicht eingehend genug festgelegt werden konnte. Im Herbst 1926, wo die Dehnungsuntersuchungen begonnen wurden, bestanden zwi-

schen den verschiedenen Wurzeln keine so grossen Unterschiede, dass man sofort die Notwendigkeit einer Klassifizierung hätte in Betracht ziehen können, sondern alle Wurzeln wurden zusammen behandelt. Infolge-



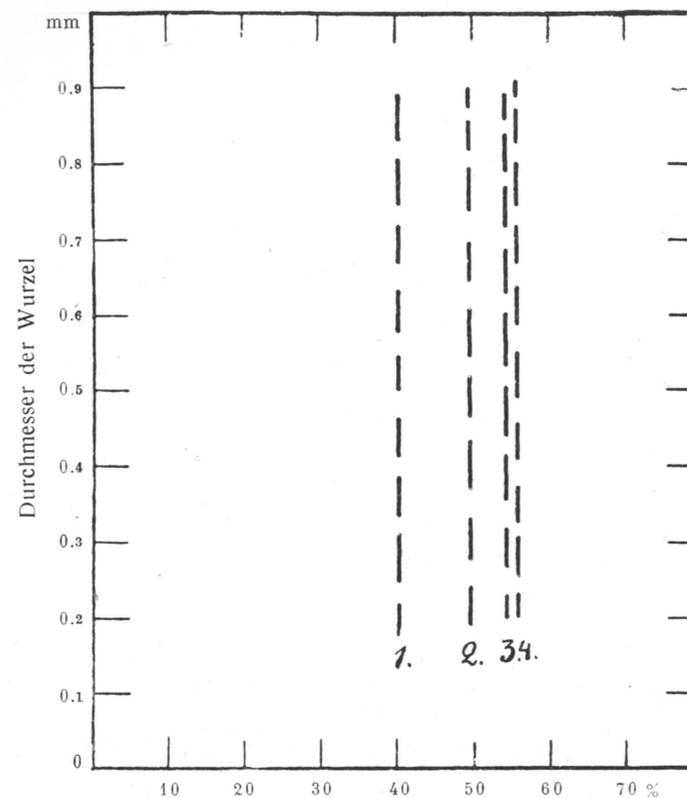
Die Dehnbarkeit im Verhältnis zur ursprünglichen Länge.

Fig. 4. Dehnung der Wurzeln des Iisalmiroggen im Herbst (Y.).

dessen fehlt die Klassifizierung für die Messungen im Herbst wie für die im Winter.

*Die Dehnbarkeit während der Herbstperiode.* — Die Dehnungsuntersuchungen wurden ungefähr am 15. Oktober angefangen und dauerten fort, solange die Erde ungefroren war, d. h. bis zu den ersten Tagen des Dezember. Zunächst fanden die Messungen mit dem im botanischen Gar-

ten erzeugen und darauf mit dem in der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt zu Tikkurila angebauten Material statt. Von jeder Sorte wurden durchschnittlich 60 bis 100 St. Wurzeln verschiedener Individuen gedehnt.

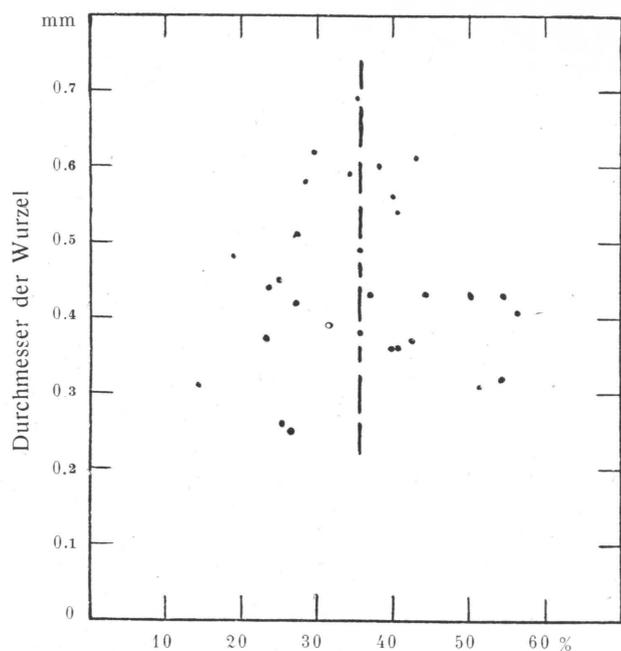


Die Dehnbarkeit im Verhältnis zur ursprünglichen Länge.

Fig. 5. Durchschnittl. Dehnung der verschied. Roggensorten im Herbst (Y.).  
1. Petkuser, 2. Vered. Vasa, 3. Ostolaroggen, 4. Iisalmiroggen.

Die Ergebnisse sind aus den folgenden Diagrammen ersichtlich. Hier sind nur die Messungsergebnisse der zwei äussersten Sorten, der des Petkuser und der des Iisalmiroggen, aufgenommen. Wie aus Figur 3 hervorgeht, ist die Dehnbarkeit im Durchschnitt bei dem Petkuser 40 % von der ursprünglichen Länge der Wurzel sowie beim Iisalmiroggen, für den die Dehnungsergebnisse in Figur 4 wiedergegeben sind, 56 % von der

ursprünglichen Wurzellänge. Wenn man die durchschnittlichen Dehnbarkeitskurven aller vier Sorten in einem Diagramm zusammenstellt, ergibt sich das Diagramm 5, woraus zu ersehen ist, dass sich die erwähnten Roggensorten im Verhältnis zueinander so ordnen, dass der Vasaroggen und der Ostolaroggen zwischen die ersteren kommen, aber so,



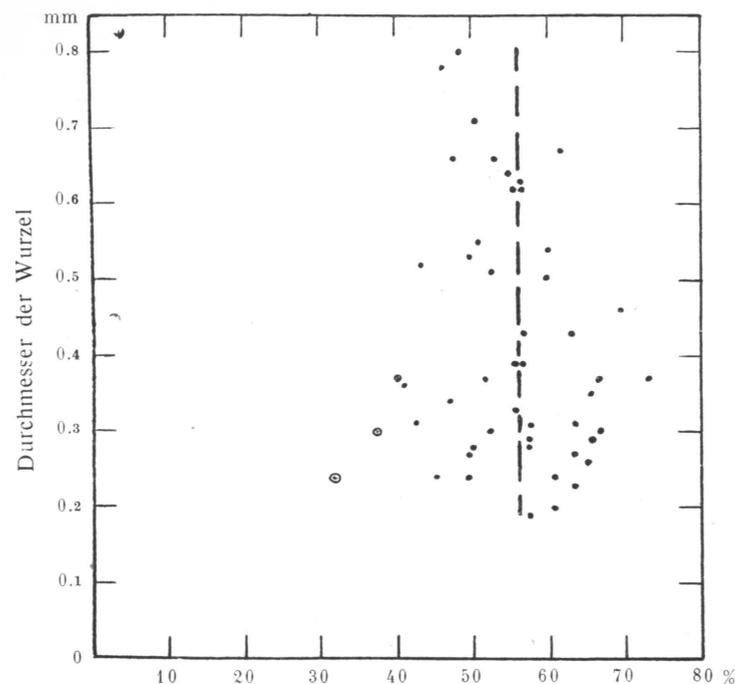
Die Dehnbarkeit im Verhältnis zur ursprünglichen Länge.

Fig. 6. Dehnung der Wurzeln des Petkuser im Herbst (in Tikkurila erzeugtes Material = T.).

dass sich der Ostolaroggen dicht neben den Iisalmiroggen stellt. Die Figuren 6—8 geben die Resultate wieder, die aus dem Material von Tikkurila gewonnen worden sind. Wie man sieht, stimmen die Ergebnisse durchaus mit den Resultaten für das Material aus dem botanischen Garten überein. Es ergibt sich also, dass jede Roggensorte wahrscheinlich ihre eigene, für die betreffende Sorte kennzeichnende Dehnbarkeit der Wurzeln besitzt und dass die Dehnbarkeiten der Wurzeln der verschiedenen

Roggensorten im Herbst erheblich voneinander abweichen.

Ausserdem wurde noch untersucht, wie die Dehnbarkeit an verschiedenen Stellen einer und derselben Wurzel variiert. Bei diesen Unter-



Die Dehnbarkeit im Verhältnis zur ursprünglichen Länge.

Fig. 7. Dehnung der Wurzeln des Iisalmiroggen im Herbst (T.).

suchungen ergab sich, dass die Dehnbarkeit verhältnismässig in der Richtung nach der Spitze abnimmt und an der Spitze der Wurzel sehr gering ist.

*Die Dehnbarkeit während der Winterperiode.* — Im Winter wurden die Dehnungsmessungen im Februar in Angriff genommen und bis zum 10. April fortgesetzt. Dabei wurden auf dieselbe Weise wie im Herbst zwei Serien gemessen, von denen die eine dem im botanischen Garten erzeugten Material und die andere dem in Tikkurila angebauten Mate-

rial entnommen war. Die erhaltenen Resultate werden hier wie vorher graphisch dargestellt. Figur 9 zeigt die mit dem Petkuser (im botanischen Garten angebaut) erzielten Ergebnisse. Daraus ist ersichtlich, dass die Dehnbarkeit beträchtlich geringer ist als im Herbst und dass die einzelnen Fälle sich mehr als im Herbst zersplittern. Dieses dürfte auf die

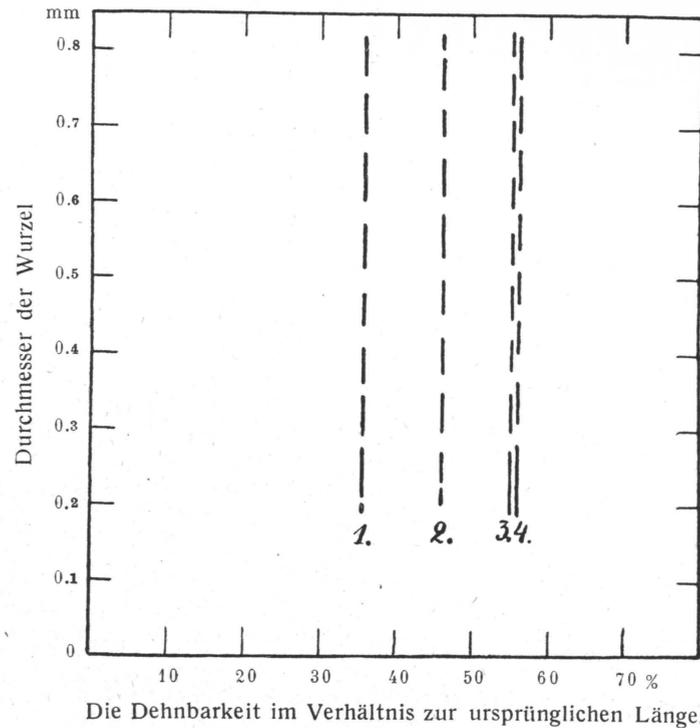


Fig. 8. Durchschnittliche Dehnung der Wurzeln der verschiedenen Roggensorten im Herbst (T.).

1. Petkuser, 2. Vered. Vasa, Ostolaroggen und 4. Iisalmiroggen.

Wirkung des Bodenfrostes zurückzuführen sein. Durchschnittlich ist die Dehnbarkeit des Petkuser 27.5 % von der ursprünglichen Länge. Die Dehnbarkeit des Iisalmiroggen war 54% (Fig. 10); übrigens ist auch hier zu bemerken, dass die Dehnbarkeit im allgemeinen geringer ist und die Beobachtungen sich mehr zersplittern als im Herbst. Werden die Mittelwerte der untersuchten vier Sorten in einem Diagramm zusammengefasst (Fig. 11), so findet man, dass die anderen Sorten, näm-

lich der vered. Vasa und der Ostolaroggen, sich zwischen die vorerwähnten äussersten Sorten stellen, wie im Herbst. Es kann noch erwähnt werden, dass infolge der Einwirkung des Bodenfrostes bei sämtlichen Sorten

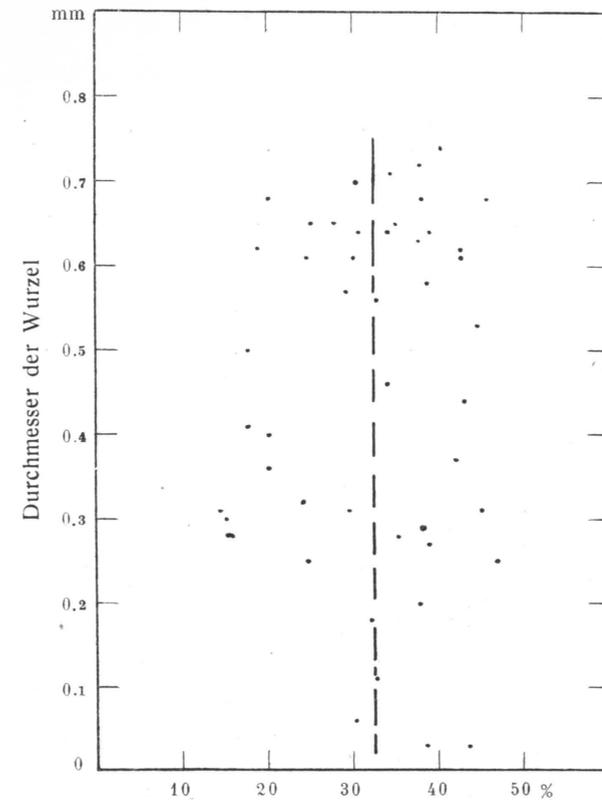
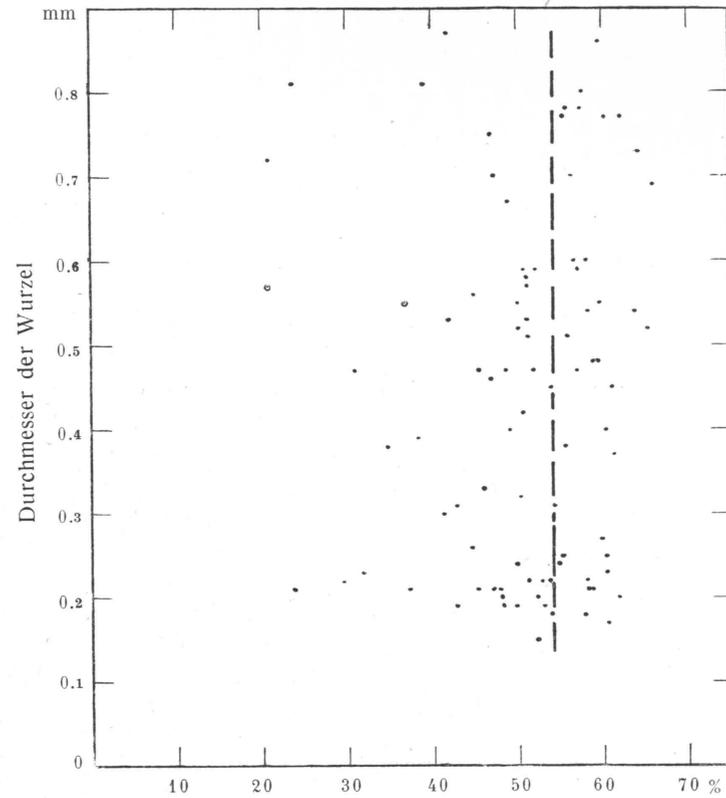


Fig. 9. Dehnung der Wurzeln des Petkuser im Winter (Y.).

sehr schlecht dehbare Wurzeln angetroffen werden. Die aus dem Tikurila-Material erhaltenen Resultate stimmten mit dem vorhergehenden überein (Fig. 12—14). Sie wichen jedoch darin ab, dass die dünneren Wurzeln sich mehr als die stärkeren dehnen liessen, so dass die Mittelwertlinie nach links abfiel. Die Neigung war bei dem Iisalmiroggen grösser (Fig. 14) als bei den übrigen Sorten und bei dem Petkuser am geringsten. Das Vorstehende ergibt, dass die verschiedenen Roggen-

sorten auch im Winter eine Dehnbarkeit von verschiedener Grösse haben, indem sie durchschnittlich 5 bis 10 % geringer ist als im Herbst, eine Abnahme, die



Die Dehnbarkeit im Verhältnis zur ursprünglichen Länge.

Fig. 10. Dehnung der Wurzeln des Iisalmiroggen im Winter (Y.).

auf der durch den Bodenfrost verursachten Dehnung beruht.

Weiter wurde, ebenso wie in der Herbstperiode, die Dehnbarkeit an verschiedenen Stellen einer und derselben Wurzel geprüft. Als Resultat ist zu erwähnen, dass während der Winterperiode keine so grosse Differenz der Dehnbarkeit an verschiedenen Stellen der Wurzel vorkam als im Herbst, was darauf

zurückzuführen sein dürfte, dass die Stammendteile der Wurzel im gefrorenen Boden einer grösseren Dehnung unterworfen gewesen sind als die Spitzenteile.

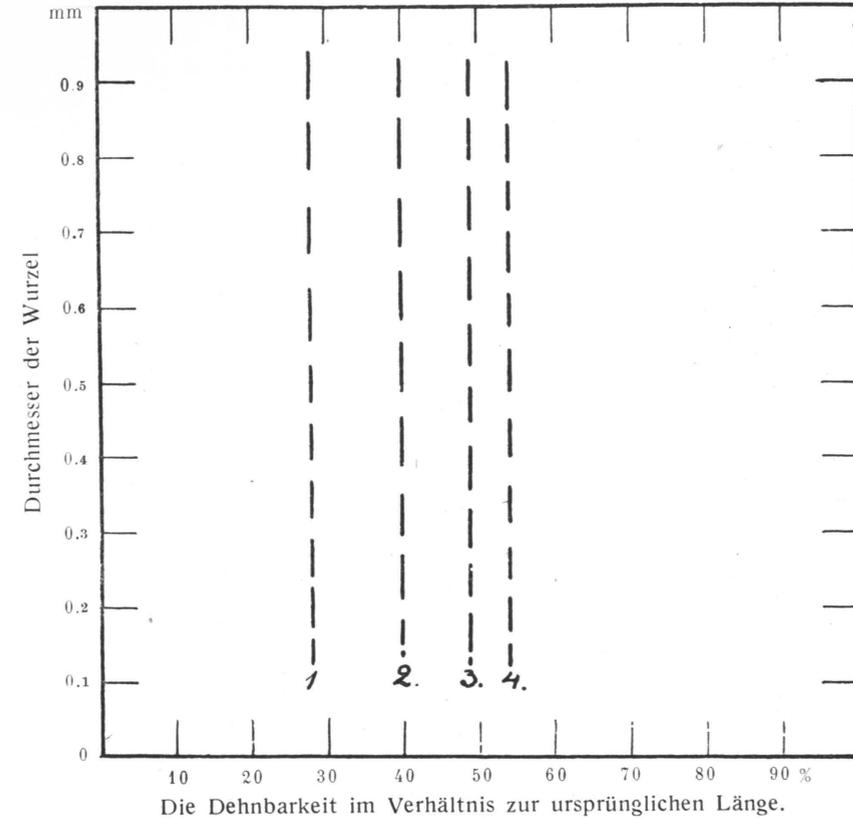
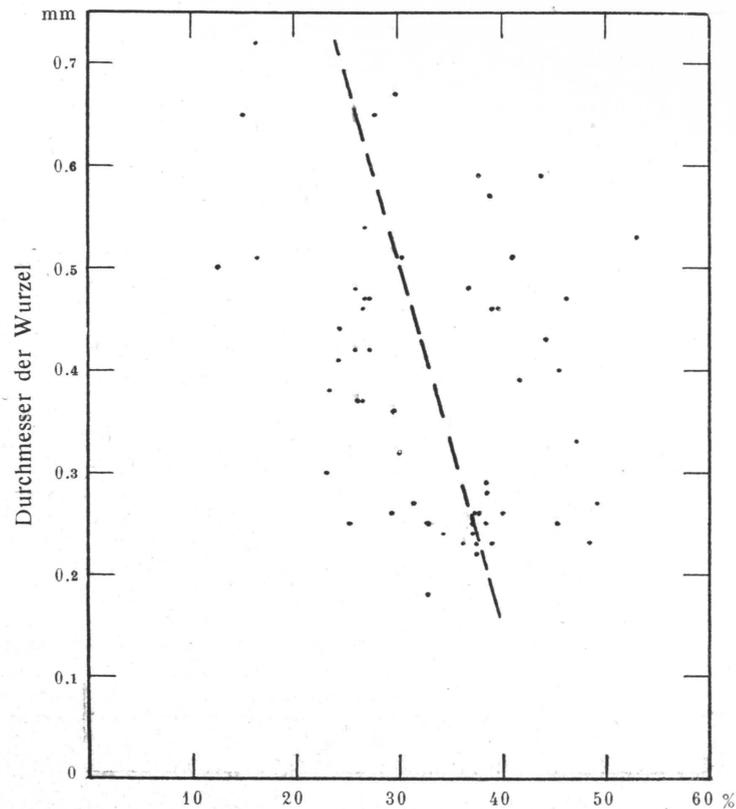


Fig. 11. Durchschnittliche Dehnung der Wurzeln der verschiedenen Roggensorten im Winter (Y.).

1. Petkuser, 2. Vered. Vasa, 3. Ostolaroggen und 4. Iisalmiroggen.

*Die Dehnbarkeit im Frühjahr.* — Im Frühjahr begannen die Dehnungsuntersuchungen Ende April und setzten sich bis Ende Mai fort. Die Resultate dieser Untersuchungen liessen erkennen, dass sich die Dehnbarkeit des Petkuser recht erheblich vermindert hatte. Auch der Iisalmiroggen hatte, im Vergleich zu den früheren Ergebnissen, an Dehnbarkeit verloren. Wir brauchen hier nicht genauer auf die Dehnbarkeiten der verschiedenen Wurzelklassen einzugehen, erwähnt sei nur, dass zwischen den

verschiedenen Wurzelklassen bedeutende Unterschiede bestehen, indem sich die jüngeren Wurzeln im allgemeinen weniger als die älteren dehnen lassen. Die Dehnungsergebnisse aller vier Sorten, sowohl für das Material aus Tikkurila als auch für das aus dem botanischen Garten, stimmen

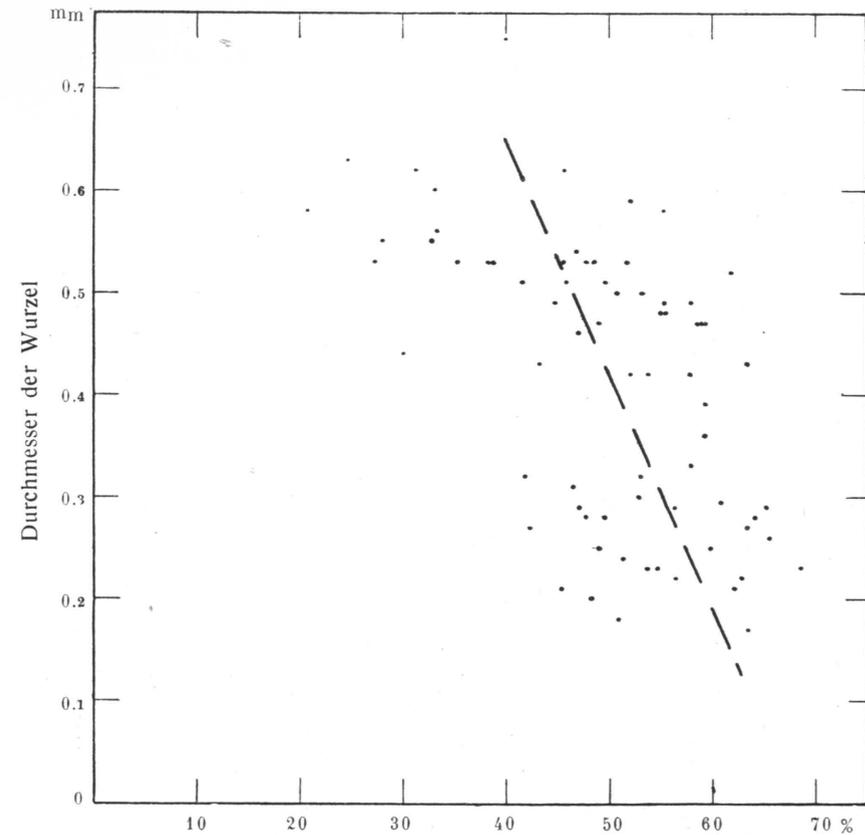


Die Dehnbarkeit im Verhältnis zur ursprünglichen Länge.

Fig. 12. Dehnung der Wurzeln des Petkuser im Winter (T.).

miteinander überein. Die verschiedenen Sorten stellen sich in dieselbe Reihenfolge wie vorher, und ihre Mittelwerte sind beträchtlich niedriger als im Winter, was darauf hindeutet, dass der Bodenfrost in der Frühjahrszeit die Dehnbarkeit der Wurzeln noch in hohem Grade verringert hat.

Von den an verschiedenen Stellen der Wurzel ausgeführten Dehnungsmessungen sei als Resultat angegeben, dass die Dehnbarkeit der Wurzel an deren Stammendteil im allgemeinen gerin-



Die Dehnbarkeit im Verhältnis zur ursprünglichen Länge.

Fig. 13. Dehnung der Wurzeln des Iisalmiroggen im Winter (T.).

ger war als die der Teile weiter nach der Spitze der Wurzel hin, was darauf beruht, dass der Frost in den oberen Bodenschichten im Frühjahr den Stammendteil der Wurzel fast bis an die Grenze der Dehnbarkeit ausgedehnt hat, wogegen die Wirkung des Bodenfrostes die Spitzenteile der Wurzel nicht erreicht hat.

Die Dehnbarkeit während der Sommerperiode. — In der Sommerperiode wurden zwei Dehnungsserien ausgeführt, nämlich Anfang Juli und Anfang August. Die Resultate derselben bestehen darin, dass sich der

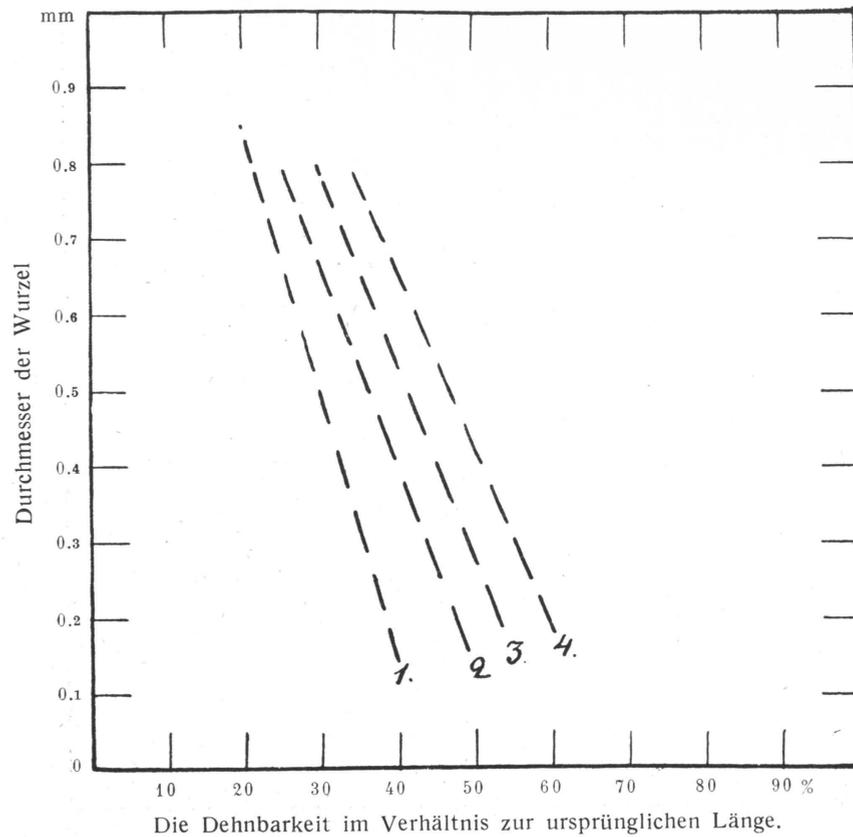


Fig. 14. Durchschnittliche Dehnung der Wurzeln der verschiedenen Roggensorten im Winter (T.).

1. Petkuser, 2. Vered. Vasa, 3. Ostolaroggen und 4. Iisalmiroggen.

Dehnbarkeitsunterschied zwischen den verschiedenen Roggensorten im Durchschnitt noch bewahrt hat (Fig. 15), obwohl die Unterschiede viel geringer geworden sind. Zwischen den Wurzelklassen bestehen ebenfalls bedeutende Unterschiede in den Dehnbarkeiten. In der ersten Wurzelklasse ist die Dehnbarkeit im allgemeinen gering, weil die Wurzeln dieser Klasse steife Stützwurzeln sind, ebenso ist die Dehnbarkeit in der

zweiten Wurzelklasse aus demselben Grunde verhältnismässig gering. Am grössten ist die Dehnbarkeit in der 3. und 4. sowie auch in der 5.

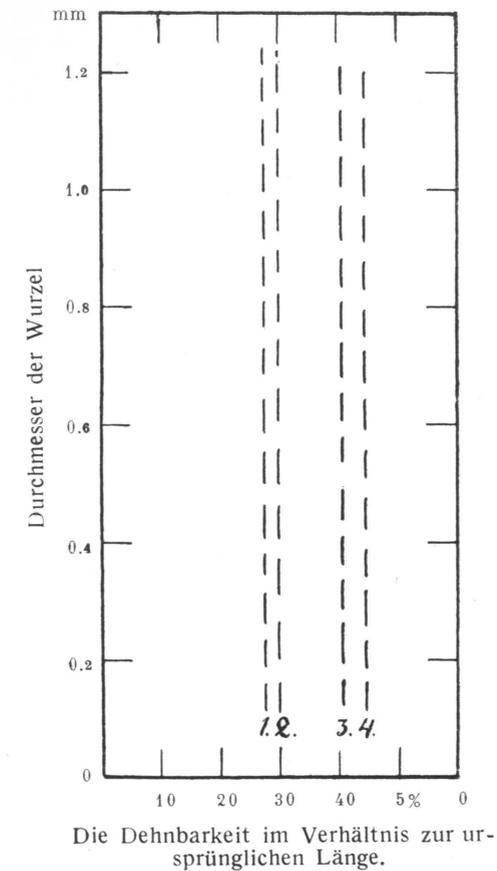


Fig. 15. Durchschnittliche Dehnung der Wurzeln der verschiedenen Roggensorten im Juli (Y.).

1. Petkuser, 2. Vered. Vasa, 3. Ostolaroggen, und 4. Iisalmiroggen.

Wurzelklasse, und am geringsten ist sie bei den Wurzeln der 6. Klasse, weil die Wurzeln da bereits abgestorben sind.

Was die Dehnbarkeit an den verschiedenen Stellen der Wurzel anbelangt, ist eine Unregelmässigkeit zu bemerken.

Vergleiche zwischen den Dehnbarkeiten der Wurzeln des Wintergetreides und des Sommergetreides. — Zur Vergleichung zwischen den Dehnbarkei-

ten der Sommer- und Wintergetreide wurden 3 Gersten- und 3 Hafersorten neben dem Petkuser und dem Iisalmiroggen sowie dem Brandackerroggen angebaut. Diese Getreidesorten wurden am 5. Juni gesät. Die Dehnungsmessungen wurden in zwei Serien Anfang Juli und Anfang August ausgeführt. Von den Resultaten sei erwähnt, dass die Wurzeln des Sommergetreides — sowohl der Gersten- als auch der Hafersorten — im allgemeinen eine viel geringere Dehnbarkeit als die der gleichzeitig gewachsenen Wintergetreide aufwiesen, obgleich bei den letzteren während der Wachstumszeit andere Verhältnisse bestanden als während ihrer eigentlichen Wachstumsperiode. Bei den Gerstensorten war die Dehnbarkeit der Wurzeln im allgemeinen durchschnittlich 30% und bei den Hafersorten ziemlich dieselbe, vielleicht eine etwas kleinere. Die Dehnbarkeit der Wurzeln des Petkuser war 40%, die des Iisalmiroggens 52% sowie die des Brandackerroggens über 60%. Aus diesen Resultaten ersieht man, dass für die Wurzeln des Wintergetreides eine grosse Dehnbarkeit kennzeichnend ist, und dies ist auch natürlich, da das Wintergetreide dieser Eigenschaft der Wurzeln während ihrer Überwinterung bedürfen wird, wogegen sie für das Sommergetreide von viel geringerer Bedeutung ist.

## VI. Die Dehnungsfestigkeit der Wurzeln.

Unter Dehnungsfestigkeit ist die Kraft zu verstehen, die erforderlich ist, um die Wurzel durch Dehnung zu zerreißen. Sie wurde in  $\text{mm}^2$  für den ganzen Querschnitt der Wurzel berechnet. Ausserdem wurde sie bloss für die Fläche des Zentralzylinders der Wurzel festgestellt. — Die Dehnungsfestigkeit war im allgemeinen bei verschiedenen starken Wurzeln von sehr ungleicher Grösse. Als allgemeine Regel gilt, dass die dünneren Wurzeln bedeutend fester sind als die dickeren. Die Festigkeit der dünnen Wurzeln kann sich 6 bis 8  $\text{kg}/\text{mm}^2$  nähern, wogegen eine dicke Wurzel kein volles Kilogramm pro  $\text{mm}^2$  aushält (vgl. Fig. 16 und 17).

Zwischen den verschiedenen Roggensorten besteht auch ein bedeutender Unterschied. Der Petkuser ist am schlechtesten und

der Iisalmiroggen am festesten. Der vered. Vasa und der Ostolaroggen stellen sich zwischen die vorgenannten Sorten.

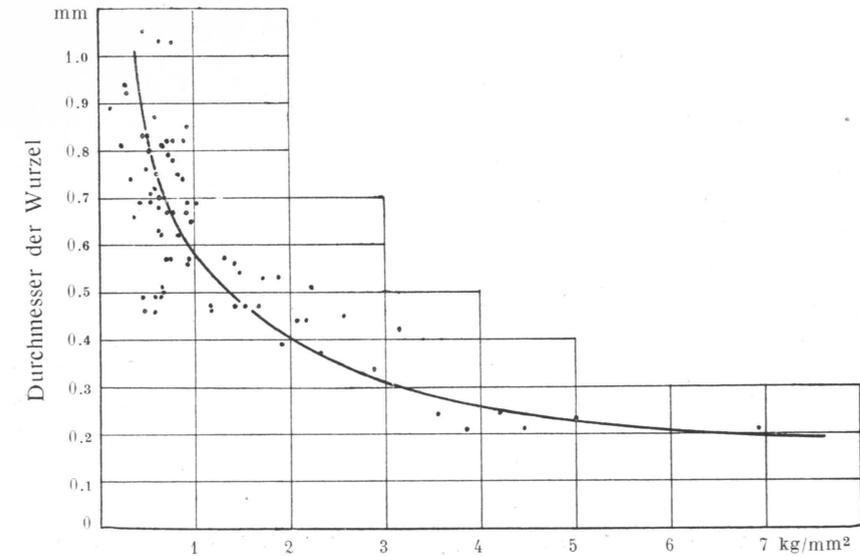


Fig. 16. Die Dehnungsfestigkeit der Wurzeln des Petkuser im Mai (Y.).

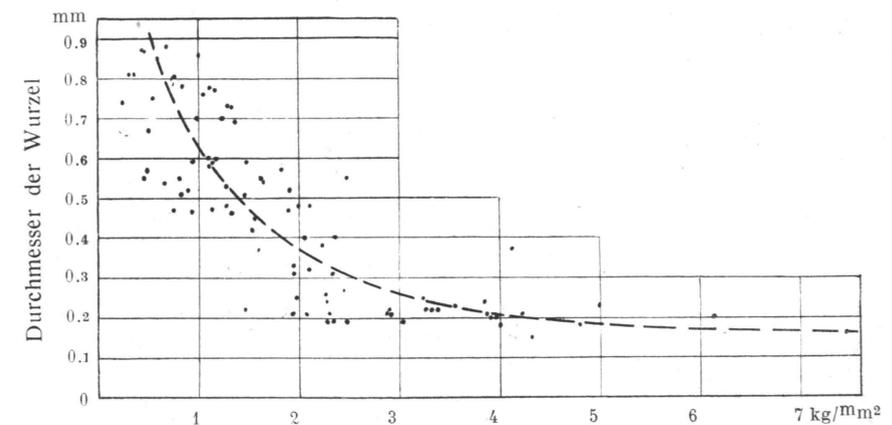


Fig. 17. Die Dehnungsfestigkeit der Wurzeln des Iisalmiroggens im Winter (Y.).

Zu verschiedenen Zeiten der Wachstumsperiode ist die Dehnungsfestigkeit der Wurzeln ebenfalls verschieden gross. Hier scheint als Regel zu gelten, dass die Festigkeit der Wurzeln durchschnitt-

lich im Laufe der Wachstumsperiode zunimmt und zur Zeit der Reife des Roggens am grössten ist. Bei verschiedenen Wurzelklassen ist die Festigkeit zu verschiedenen Zeiten der Wachstumsperiode einigermassen abweichend.

An verschiedenen Teilen einer und derselben Wurzel ist die Festigkeit während sämtlicher Entwicklungsperioden im oberen Teile am grössten und nimmt in der Richtung nach der Spitze der Wurzeln hin ab. Bisweilen kommt eine unerhebliche Ausnahme von dieser Regel vor.

Auf dieselbe Weise, wie Vergleiche zwischen den Dehnbarkeiten der Wurzeln des Wintergetreides und des Sommergetreides ausgeführt wurden, fanden auch Vergleiche zwischen den Dehnungsfestigkeiten der Wurzeln derselben Getreidesorten statt, und dabei zeigte sich, dass die Wurzeln des Wintergetreides im allgemeinen viel fester sind als die des Sommergetreides.

### VII. Überblick über das Verhältnis der Überwinterung der Roggensorten zur Dehnbarkeit und Festigkeit ihrer Wurzeln.

Aus den im Vorhergehenden beschriebenen Überwinterungsbeobachtungen über die Roggensorten war zu ersehen, dass von den untersuchten Roggensorten der Petkuser am wenigsten und der Iisalmiroggen am meisten winterfest ist. Die beiden anderen Sorten haben ihren Platz zwischen ihnen. Für diese verschiedenen Sorten wurden aus denselben Beobachtungen die sog. Überwinterungswerte erhalten, die hier mitgeteilt seien:

Roggensorte	Nach den Beobachtungen der Versuchsanstalt	Nach eigenen Beobachtungen im botanischen Garten	
	Tikkurila 1925—1926	in Iisalmi 1925—1926	1926—1927
Petkuser .....	7.4	1.8	4.0
Vered. Vasa .....	7.7	4.5	6.5
Ostolaroggen .....	8.8	—	10.0
Iisalmiroggen .....	9.8	10.0	10.0

Werden die vorstehenden Werte und ihre Reihenfolge mit den entsprechenden Dehnbarkeits- und Dehnungsfestigkeitsprozenten im Herbst und zu den anderen Zeiten der Wachstumsperiode verglichen, so findet man, dass die Winterfestigkeit der Roggensorten im direkten Verhältnis zur Dehnbarkeit (sowie auch zur Dehnungsfestigkeit) ihrer Wurzeln derart steht, dass eine winterfeste Sorte sehr dehnbare und feste Wurzeln hat, und umgekehrt, dass eine schlecht überwinternde Sorte wenig dehnbare und schwache Wurzeln besitzt. Hieraus ist zu schliessen, dass eine Roggensorte, die sehr dehnbare und feste Wurzeln hat, auch winterfest ist. Hiernach kann die Winterfestigkeit wahrscheinlich in der Weise untersucht werden, dass man die Dehnbarkeit der Wurzeln der zu untersuchenden Roggensorte mit der Dehnbarkeit der Wurzeln einer sicher winterfesten Sorte vergleicht und auf Grund dieses Vergleiches beurteilt, ob die zu untersuchende Sorte winterfest ist oder nicht, ohne dass man mehrere Generationen anzubauen und aus ihren oberirdischen Teilen auf ihre Winterfestigkeit zu schliessen braucht, was infolge mancher mitwirkenden Faktoren weniger sicher ist.

Indessen sind zur Sicherung des vorstehenden Verfahrens noch manche auf die Dehnbarkeit einwirkenden Umstände aufzuklären. Unter solchen in erster Linie bedeutungsvollen Umständen ist zu erwähnen die Üppigkeit des Wachstums des Roggens. Nach den bisherigen Beobachtungen sind die Wurzeln der üppigen Saaten weniger dehnbare als die mit niedrigem Wuchs. Spätere genauere Untersuchungen müssen diese Frage aufklären. Ebenso ist es wichtig zu erfahren, wie die Aussaat, die Beschaffenheit des Standortes und dessen Düngung sowie auch die Bearbeitungsweise auf die Eigenschaften der vorerwähnten Wurzeln einwirken.

## Erklärung der Tafeln.

Die beim Mikrophotographieren angewandte Vergrößerung war in der Regel 48-fach.

### Tafel I. Die Wurzelformen.

- Fig. 1—4. Querschnitte von Keimwurzeln.  
Fig. 5—7. Querschnitte von Nährwurzeln.  
Fig. 8—9. Querschnitte von Nähr-Stützwurzeln.  
Fig. 10. Querschnitt einer Stützwurzel (Vergr.  $\frac{40}{1}$ ).

### Tafel II. Querschnitte von Roggenwurzeln während der Winterperiode.

- Fig. 1—4. Keimwurzeln.  
Fig. 5—10. Junge Nährwurzeln.  
Fig. 11—13. Ältere Nährwurzeln mit dem infolge des Bodenfrostes abgelösten Rindenteil.

### Tafel III. Querschnitte von Roggenwurzeln während der Frühjahrsperiode (10. V. 27).

- Fig. 1—2. Neue, im Frühjahr gebildete Nährwurzeln.  
Fig. 3—8. Überwinterte Nährwurzeln, bei denen sich der Rindenteil infolge des Bodenfrostes von dem Zentralzylinder abgelöst hat.  
Fig. 9. Keimwurzel.

### Tafel IV. Querschnitte von Roggenwurzeln während der Sommerperiode (1. VIII. 27).

- Fig. 1—2. Stützwurzeln (in Fig. 1 Vergr.  $\frac{40}{1}$ ).  
Fig. 3—5. Nähr-Stützwurzeln.  
Fig. 6—7. Im Frühjahr gebildete Nährwurzeln.  
Fig. 8—11. Überwinterte Nährwurzeln.  
Fig. 12—13. Keimwurzeln.

### Tafel V. Querschnitte von Weizenwurzeln während der Frühjahrsperiode.

- Fig. 1—3. Neue, im Frühjahr gebildete Nährwurzeln.  
Fig. 4—5. Überwinterte Nährwurzeln mit Spuren des Bodenfrostes.  
Fig. 6. Keimwurzeln.

## On the relation between the hibernation of rye and the extensibility and the tensile strength of its roots.

In attempting to improve the autumn cereals, rye and wheat, observations of hibernation play an essential rôle, for only those varieties that hibernate well are marketable, whereas the varieties which hibernate poorly, should be rejected.

Observations of the hibernating capacity have so far been confined to the parts above the ground. In connection with my previous investigations of the frost in the ground it occurred to me that the hibernating capacity, which according to the researches of NILSSON-EHLE is hereditary, might be related to the properties of the roots, and especially to their extensibility. *It seemed probable that the roots of plants that hibernate well are more extensible than of those hibernating poorly.*

Four varieties of rye were chosen as the objects of investigation, viz. the German improved variety Petkus, the improved variety Vasa (of Svalöjin Sweden) and the homebred varieties Ostola and Iisalmi. According to the observations made at the Tikkurila Research Station the Petkus variety hibernated poorly, the Vasa variety better, the Ostola variety well and the Iisalmi rye very well. The test objects had been grown at the Botanical Gardens of the University. Fortunately, the observations could be verified by test data of the same varieties grown at the Agricultural Experimental Station. Experiments as to extensibility were also carried out on spring crops. The measurements of extensibility and tensile strength were made by means of an apparatus devised for this special purpose (Fig. 1).

Experiments as to extensibility presupposed some acquaintance with the root system of rye. As a result of the preliminary investigations for this purpose the roots were classified in four groups: 1) *germinal*, 2) *nutrient*, 3) *nutrient prop* and 4) *prop roots*. In this classification of the roots the time and place of their origin, their external and internal structure and their purpose were taken into account. The *germinal roots* (Table I., fig. 1—4) appear at the time of germination and are very thin (0.15—0.3 mm.) and soft, and are not very long. The *nutrient roots* (Table I., fig. 5—7) begin to develop sometime after the germination, and they are soft, very pliable and comparatively thick (0.3—0.9 mm.). They may be very long and highly ramified. Nutrient roots grow also in the spring as long as the plant is not yet very tall. The function of nutrient roots is to conduct nutrients. The *nutrient prop roots* begin to make their appearance at a time, when the culm is somewhat taller. Their basal part is very stiff and clothed with exceedingly thick root hair. This stiffness is due to the fact that the outer layers of cells of the roots have come to be endowed with thick membranes. The function of these roots is to prop the culm and conduct nutrients. The *prop roots* begin to deve-

lop about the earing time, and they are short, thick and stiff like pins. Their cross-section differs entirely from that of the previous classes of roots. The central cylinder is comparatively weak, whereas the outermost rows of the cortical cells are endowed with exceedingly thick membranes, which accounts for the stiffness and the pinny character of these roots. The function of these roots is to prop the culm.

The investigations were extended to the characteristics of the root system of the rye in the different growing periods, which were divided into four periods of development, *viz.* the *autumn, winter, spring and summer periods*. During the autumn period germinal and nutrient roots occur. The same roots, of course, continue to exist in the winter, too. The influence of the winter, however, is very considerable especially on older nutrient roots, for the frost in the ground detaches the cortical parts of the root from its central cylinder (cf. table II., fig. 11—13). The influence of the frost in the ground does not seem to be as hurtful on younger nutrient roots, and the germinal roots, too, withstand the effects of the frost well. During the winter period the roots break to some extent. During the spring period, when the growing processes are very vigorous, there are mainly germinal and nutrient roots, but towards its end nutrient prop roots make their appearance. At the beginning of the spring period, owing to the ice caused by the night frosts, a great many roots break. During the summer period the root system consists of germinal, nutrient, nutrient prop and prop roots, which all vary greatly in their external appearance.

The *extensibility* of the roots was determined for their basal part for a stretch of 1—3 cm. from the base outwards. At each period of development a sufficient number of tests were carried out. The extensibility of the roots of rye varied at the end of the autumn period for the different varieties in such a manner that the Petkus possessed the least extensibility, or 38—40 % of the original length (cf. fig. 3—10), then followed the Vasa, the Ostola and the Iisalmi varieties, the Iisalmi rye having the greatest rate of extensibility, being nearly twice as great as that of the Petkus variety, or 56 %. During the winter period the extensibility of the roots was less for all varieties than in the autumn, which was due to the fact that the frost in the ground had stretched the roots. The individual cases are more scattered for the winter than for the autumn (cf. fig. 9—14), but the differences for the individual varieties were quite distinct: the Petkus less than 30 %, the Vasa rye 40 %, the Ostola rye 50 % and the Iisalmi rye 54 %. In the spring the extensibility of the roots was less for all varieties than in the winter, which was due to the fact that the freezing of the ground in the night stretched the roots severely. The different varieties, however, followed in the same order, *viz.* the Petkus rye had the least rate of extensibility, then came the Vasa rye, then the Ostola, then the Iisalmi varieties. During the summer period the rate of extensibility of the different varieties had the same order, although the differences were less pronounced.

The extensibility tests for the different parts of the same root showed that during the autumn period the rate of extensibility decreases from the base to the tip. In the winter this decrease is less pronounced, and in the spring the case is generally the reverse, so that the extensibility of the basal parts of the roots is less than that of the parts near the tip, a decrease in extensibility which is brought about by the congelation of the surface layers of the ground, whereby the basal parts of the roots are stretched severely.

The *tensile strength* of the roots exhibited the same variations between the different varieties as had been recorded for extensibility. As a rule the tensile strength of the roots increased greatly in the course of the growing period. The thicker roots were weaker than the thin ones. Thus a root of c. 1.0 mm. thickness sustained a weight of 0.5—1.0 kg. per mm.<sup>2</sup> before breaking, whilst the roots with a diameter of 0.15 mm. sustained a weight of 7—8 kg. per mm.<sup>2</sup> (cf. fig. 16 and 17).

The investigations carried out demonstrate that the hibernating capacity of the different varieties bear the same proportion to one another as the extensibility of their roots. Consequently it is proved that plants hibernating well have far more extensible roots than those hibernating poorly. From this it may be concluded that plants endowed with very extensible roots are to withstand the winter. Thus the extensibility of roots may be used as a gauge for measuring the ability to stand the winter by comparing the extensibility of the roots of the species under examination to that of the roots of a species with evident hibernating capacity. This comparison shows, whether a species is able to withstand winter or not, without its being necessary to grow it for several generations or to draw conclusions from the parts above the ground.

For the corroboration of this procedure, however, investigation of many more circumstances closely connected with the extensibility and hardness of roots is necessary. Among these may be mentioned in the first place the influence of the luxuriance of rye, the quality of the soil, the mode of sowing and tilling the soil, all of which probably exert a great deal of influence on the extensibility of roots.

## Selostus.

### **Rukiin talvehtimisen ja sen juurien venyvyyden ja venytyskestävyyden välisestä suhteesta.**

Aikaisemmissa routaa koskevissa tutkimuksissani on mainittu, miten maa jäätyessään laajenee. Routaosassa olevat kasvien juuret joutuvat tällöin suuremman tai pienemmän venytyksen alaiseksi. Näyttää hyvin todennäköiseltä, että kasveilla, jotka talvehtivat hyvin, on venyvämmät juuret kuin kasveilla, jotka talvehtivat huonosti. Syysvilja- ja heinälajien talvehtimisessä juurien venymisellä olisi suuri merkitys. Asian selvittämiseksi valittiin neljä ruislaatua, nim. Iisalmen maatiaisruis, Ostolan maatiaisruis, Jalostettu Vaasanruis ja Petkus, joista tunnettiin, että ensinmainitut kaksi ruista talvehtivat hyvin ja Vaasan ruis verraten huonosti ja aivan huonoimmin Petkus. Mainituista laaduista kasvatettiin kaksi rinnakkaisaineistoa: toinen yliopiston kasvitieteellisessä puutarhassa ja toinen Tikkurilassa kasvivalostuslaitoksen koekentällä. Juurien venyttämistä varten rakennettiin erikoinen kone (kuva 1), josta voitiin lukea sekä venyvyys mm:ssä että siihen tarvittava voima vieterin avulla.

Kuitenkaan ei tutkimuksissa päästy yksistään venytyksillä, vaan täytyi selvittää myös rukiin juuristoja, sillä osoittautui, etteivät tiedot, joita niistä oli olemassa, olleet läheskään tyydyttäviä. Juuristoja koskevat tutkimukset osoittivat, että voitiin erottaa muodostumisajan, -paikan ja tarkoituksen mukaan neljänlaisia juuria: 1. itämis-, 2. ravinto-, 3. ravintotuki- ja 4. tukijuuria. Itämisjuuret (4—6 kpl.) syntyvät siemenen itäessä ja ovat sijoittuneet juuristossa alimmaksi. Nämä juuret ovat ohkoisia (0.1—0.3 mm), mutta lujia. Ravintojuuret alkavat muodostua n. 2—3 viikkoa kylvön jälkeen ja ovat sijoittuneet juuristossa itämisjuurien yläpuolelle. Ne ovat paksumpia (0.3—1.0 mm.) kuin itämisjuuret. Muita juuri muotoja ei tavallisissa oloissa esiinnykään syksyllä. Ravintotukijuuria alkaa muodostua keväällä, kun korsi piteneenä alkaa tarvita tukea. Ne sijoittuvat maanpinnan alapuolelle ravintojuurien yläpuolelle. Noin kukkimisen aikaan alkaa kasvaa varsinaisia tukijuuria, joista suurin osa muodostuu maanpinnan yläpuolella oleviin korren alasolmuihin.

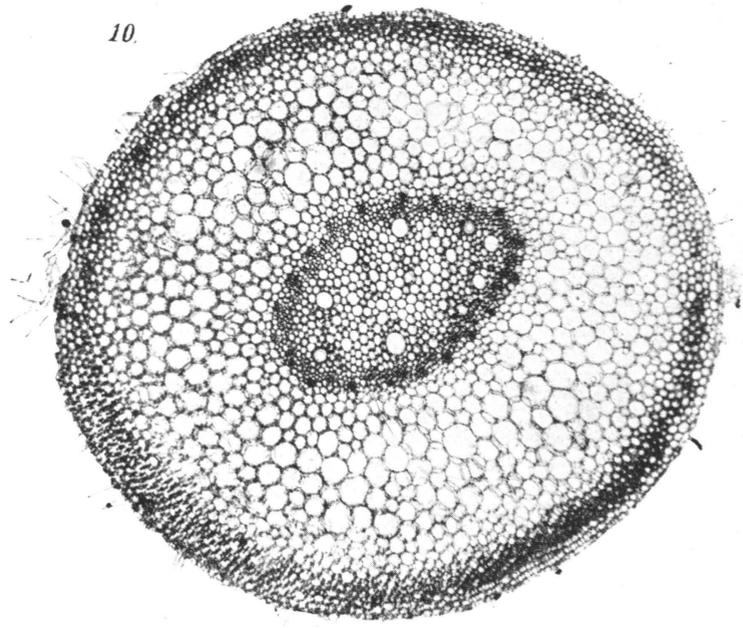
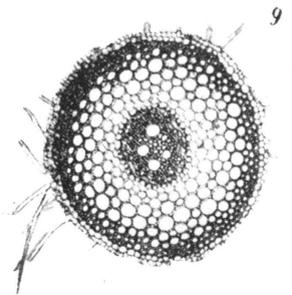
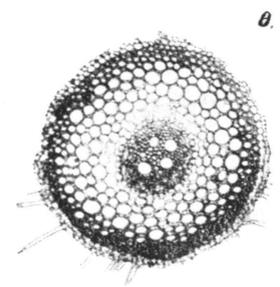
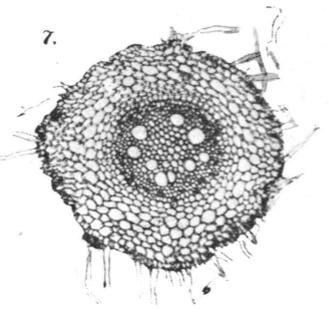
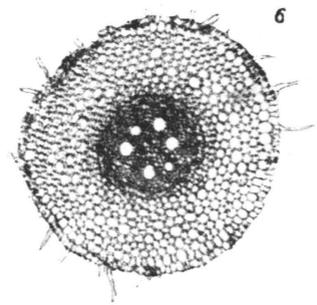
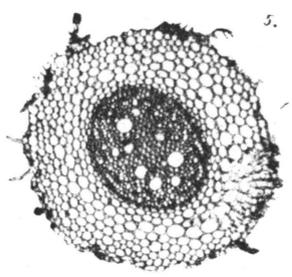
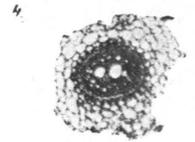
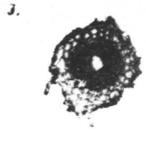
Juuriaineistoa luokiteltaessa tehtiin havaintoja roudan aiheuttamasta (keväällä) juurien katkeamisista. Tällöin huomattiin, että poikkinaisia juuria oli enin Petkuksella, sitten Vaasanrukiilla, sen jälkeen seurasivat molemmat maatiaiset. Poikkimenneissä juurissa ei ole venyvyys ollut niin suuri kuin routineen maan laajeneminen.

Venytyksoikeet osoittivat, että syksyllä ovat rukiin juuret venyvimpiä, jolloin venyvyys oli maatiaisrukiilla lähes 60 % alkuperäisestä pituudesta, Vaasanrukiilla n. 45—50 % ja Petkuksella n. 35—40 %. Talvella, helmikuussa oli venyvyys keskimäärin 10 % pienempi, mikä vastaa suunnilleen maantilavuuden lisäystä routiessa. Kevätrousteen vaikutuksesta pienenee venyvyys hyvin suuresti ja saattaa monessa tapauksessa kulua loppuun, jolloin seuraa usein juuren katkeaminen. Kesällä pienenee venyvyys kasvun edistyessä ja kypsymisen aikaan se on hyvin pieni.

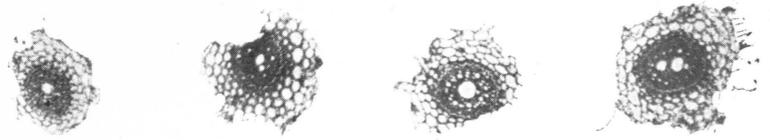
Vertailun vuoksi tutkittiin kevätiljoja, ohraa ja kauraa tässä suhteessa ja tutkimukset osoittivat, että kevätiljojen juurien venyvyys on tuntuvasti pienempi kuin rukiin eli alle 30 % alkuperäisestä pituudesta.

Suoritettut tutkimukset osoittivat, että juurien venyvyys on syysviljalle ominaista, jota ominaisuutta se tarvitsee talvehtimiseen ja että rukiin juurien venyvyys on suorassa suhteessa niiden talvehtimiskykyyn, joten viimeksi mainittu ominaisuus täytyisi voida määrätä juurien venyvyyden avulla. Juurien venyvyys on siis huomattava tekijä juurien talvehtimisessä, sillä se ehkäisee roudan mekanista vaikutusta.

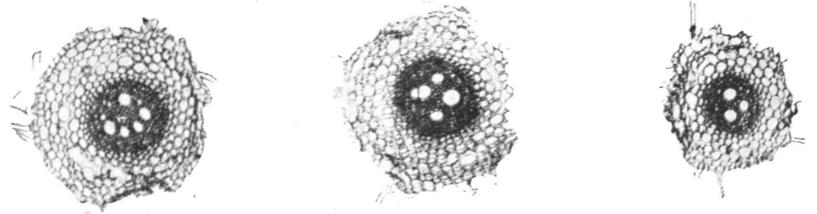
TAFELN



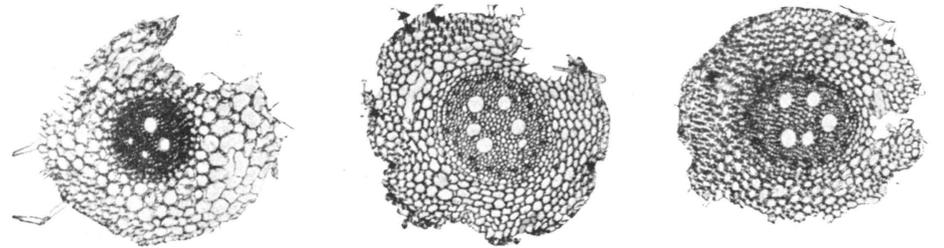
1-4.



5-7.



8-10.



11-13.

