

ÜBER VERÄNDERUNGEN IN DEN
WURZELVERHÄLTNISSEN DER KIEFERN-
BESTÄNDE AUF MOORBÖDEN IM
LAUFE DES JAHRES

LEO HEIKURAINEN

SELOSTUS:

*RÄMEMÄNNIKÖN JUURISTON VUODENAJOITTAISISTA
MUUTOKSISTA*

HELSINKI 1955

Vorwort

Vorliegende Arbeit bildet den Teil einer umfassenderen Untersuchung, die ich im Jahr 1952 auf Anregung von Dr. ERKKI K. KALELA einleitete. Diese bezieht sich auf die Wurzelverhältnisse der Reisermoor-Kiefernbestände im allgemeinen, Menge und Bau der Wurzeln und Wurzelsysteme, ihr Verhältnis zur Entwässerung, u.dgl.m. Da es sich aber herausstellte, dass die phänologischen Erscheinungen, d.h. die sich in den Wurzelverhältnissen im Laufe des Jahres abspielenden Veränderungen, in mehreren Beziehungen auch für die übrigen Befunde massgebend sind, ist es motiviert erschienen, die auf sie bezüglichen Ergebnisse zuerst zu veröffentlichen.

Doktor KALELA, der von Beginn an das Fortschreiten der Arbeit verfolgt hat und dessen eigene Untersuchung über die Wurzelphänologie der Waldbestände auf Mineralboden voraussichtlich gleichzeitig mit der vorliegenden erscheint, sage ich hier meinen herzlichen Dank. Dr. PEITSA MIKOLA, dessen sachkundige Hilfe in Fragen betreffend die Mykorrhizen mir jederzeit zur Verfügung gestanden hat, möge an dieser Stelle gleichfalls bestens gedankt werden.

Die Arbeit ist zum überwiegenden Teil in der Anstalt für forstliche Moorkunde der Universität Helsinki ausgeführt worden, deren Vorstand und meinem Lehrer Professor Dr. S. E. MULTAMÄKI ich hier meinen Dank vorbringen will. Ebenso danke ich, ohne besondere Namen zu nennen, allen denjenigen anderen, die mir in mannigfacher Weise in den verschiedenen Phasen der Arbeit behilflich gewesen sind.

Helsinki, am 16. April 1955.

LEO HEIKURAINEN

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	5
2. Material	8
21. Probeflächen und Proben	8
22. Langwurzeln	10
23. Kurzwurzeln	11
24. Zuverlässigkeit des Materials	13
3. Ergebnisse	17
31. Die Veränderungen der Wurzelmenge	17
311. Gesamtwurzelmenge	17
312. Verschieden starke Wurzeln	23
313. Die Veränderungen in den verschiedenen Tiefenschichten des Wurzelwerkes	26
32. Einfluss von Niederschlag und Grundwasserhöhe auf die Veränderungen der Wurzelmenge	28
33. Veränderungen der Kurzwurzeln	32
331. Dichtstand	32
332. Anzahl	37
333. Auftreten der Mykorrhizentypen	40
334. Veränderungen des Dichtstandes in den verschiedenen Tiefenschichten des Wurzelwerkes	42
34. Pilzhyphen der toten Wurzeln	44
35. Mykorrhizen und Phänologie des Wurzelwerkes	46
4. Zusammenfassung	49
Literaturverzeichnis	52
<i>Selostus</i>	55
Beilagen I—XII. — <i>Littees</i> I—XII	59—70

1. Einleitung

Die Phänologie der oberirdischen Teile der Pflanzen, ihr jährlicher Entwicklungsverlauf und ihre je nach der Jahreszeit veränderten Aspekte, ist eine Erscheinung, die sich in der Natur bequem mit den Augen verfolgen lässt. Es ist darum kein Wunder, wenn die diesbezüglichen Erscheinungen bei den Bäumen: Höhen- und Dickenzuwachs, Laubbildung und Laubfall, u.a.m., auch in bezug auf ihre Ursachenzusammenhänge schon verhältnismässig gut erforscht sind. In betreff der unterirdischen Teile liegt dagegen die Sache noch nicht so günstig (vgl. z.B. LADEFOGED 1952). Ja man kann sagen, dass die Mengen- und Bauverhältnisse der Wurzeln die Forscher mehr interessiert haben als die Klarlegung ihrer Phänologie, trotzdem es doch selbstklar erscheinen müsste, dass erst durch die Kenntnis der sich im Wurzelwerk der Bäume abspielenden jahreszeitlichen Veränderungen die Voraussetzungen für die Erforschung vieler anderen Charakteristika und Erscheinungen des Wurzelwerkes gegeben sind.

Die langfristigen, erstenhands durch die Wachstumsverhältnisse bedingten Veränderungen hat man wohl untersucht (z.B. MELIN 1917; KOKKONEN 1923; MULTAMÄKI 1923; LAITAKARI 1927), und die dabei erzielten Befunde können uns wertvolle Hinweise auch betreffs der Phänologie des Wurzelwerkes geben. Ebenso ist festzustellen, dass die Arbeiten über die Phänologie der Wurzeln keineswegs gering an Zahl sind. Da sie aber meistens nur die einzelne Wurzel oder einen Teil des Wurzelwerkes eines bestimmten Baumes betroffen haben, ist es durch sie nicht möglich gewesen, ein klares Bild von den jahreszeitlichen Veränderungen der Wurzelverhältnisse im ganzen Bestand zu gewinnen, wohl aber erlauben sie uns, bestimmte Schlüsse in dieser Richtung zu ziehen. Solche Untersuchungen, die in erster Linie die Klärung der Wachstumsperiode der Baumwurzeln bezweckt haben, sind schon reichlich hundert Jahre lang betrieben worden, sie haben aber zu sehr mannigfachen Ergebnissen und Schlussfolgerungen geführt. Nach der Meinung einiger Forscher wachsen die Wurzeln der Bäume im Frühjahr, andere wiederum verlegen

die Periode des lebhaftesten Wurzelwachstums in den Herbst, ja man ist in manchen Untersuchungen sogar zu dem Ergebnis gekommen, dass das hauptsächlichste Wachstum der Wurzeln im Winter stattfindet. Zum Teil beruht allerdings die Vielfältigkeit der Befunde auch darauf, dass die Untersuchungen in verschiedenen Teilen der Erde und also unter abweichenden Klimaverhältnissen ausgeführt worden sind.

Von den neuesten Forschern, die sich in ihren Untersuchungen mit der Periodizität des Wurzelwachstums befasst haben, möge hier LADEFOGED (1939) erwähnt werden. Dieser hat in seiner umfassenden und auf ein reichliches Material fussenden Arbeit wesentliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Holzarten festgestellt, und auch der Standort scheint laut ihm einen entscheidenden Einfluss auf die Wachstumsperiodizität der Wurzeln auszuüben. Ebenso hat sich eine deutliche Wirkung der Witterungsverhältnisse nachweisen lassen. Von anderen einschlägigen Forschern der letzten Jahrzehnte seien noch genannt die Australierin BURBIDGE (1936) und der Russe LOBANOW (1949), die gleich LADEFOGED gefunden haben, dass das Wurzelwachstum einem deutlichen periodischen Rhythmus unterworfen ist und sich im allgemeinen dann im Maximum befindet, wenn die Wachstumsbedingungen ihren günstigsten Stand erreichen. Unter ungünstigen Bedingungen (Kälte, Trockenheit bzw. übermässige Feuchtigkeit) wachsen die Wurzeln nicht, es hat sich dann allgemein das Gegenteil, d.h. ein Absterben der Wurzeln ergeben. Einige Autoren haben mit Nachdruck auf das Absterben der Wurzeln hingewiesen und die Erscheinung mit der natürlichen Astreinigung verglichen (SIRÉN 1950).

Wohl noch mehr als der Wachstumsperiodizität der eigentlichen Wurzeln, hat man sich der Phänologie der Kurzwurzeln zugewandt. Zumal das Alter der Mykorrhizen ist eifrig diskutiert worden. Meist sind dabei die Mykorrhizen als kurzlebige, immerhin aber mehr als einjährige Gebilde angesprochen worden (MELIN 1927; KELLEY 1930; BURBIDGE 1936; LADEFOGED 1939; LOBANOW 1947, 1949; RAUTAVAARA 1947).

Ohne hier auf das Schrifttum sowohl über die eigentlichen Wurzeln als auch die Kurzwurzeln näher einzugehen, möge nur festgestellt werden, dass ebenso wenig wie es auf Grund einzelner Wurzeln oder der Wurzelwerke junger Pflanzen möglich ist, ein exaktes Bild von Menge und Aufbau der Wurzelmasse eines Bestandes zu erhalten (vgl. KALELA 1949; HEIKURAINEN 1955), ebenso wenig verhelfen sie uns dazu, die in dieser Wurzelmasse im Laufe des Jahres stattfindenden Veränderungen klarzulegen. Gleichzeitig wie die Wurzeln wachsen und neue Kurzwurzeln

entstehen, sterben andere ab. Auch die Wachstumserscheinungen selbst sind in verschiedenen Wurzeln und deren Teilen wahrscheinlich höchst verschieden, und ausserdem bildet die Wurzelmasse eines Bestandes in ziemlich weitgehendem Masse ein organisches Ganzes, wie neuerdings gezeigt worden ist (YLI-VAKKURI 1953).

In vorliegender Untersuchung ist danach gestrebt worden, die sich in der Wurzelmasse des gesamten Bestandes abspielenden periodischen Veränderungen innerhalb eines hinsichtlich Holzart und Standort beschränkten Gebietes nach denselben Prinzipien klarzulegen, deren sich KALELA in seiner schon vor dieser eingeleiteten und nun gleichzeitig erscheinenden Arbeit über die entsprechende Erscheinung in den Beständen auf Mineralböden bedient hat.

Die Untersuchung ist lediglich auf die entwässerten Reisermoore beschränkt worden. Es handelt sich also um einen ziemlich speziellen Standort. Weil aber die Wurzelperiodizität auf solchen Standböden noch weniger als auf Mineralböden studiert worden ist, ist die Untersuchung schon von diesem Standpunkt aus interessant erschienen. Und weil die Wurzelverhältnisse der Bestände auf Torfböden auch überhaupt sehr wenig untersucht worden sind und besagte Standböden dennoch schon jetzt in der finnischen Forstwirtschaft eine erhebliche und anscheinend immerfort wachsende Bedeutung erlangt haben, ist die Untersuchung um so motivierter erschienen.

Gilt es der Periodizität bei den Bäumen insgesamt, so hat man sich zu erinnern, dass es ihrer wahrscheinlich zweierlei gibt. LADEFOGED spricht von »induzierter« und »autonomer« Periodizität. Jene wird durch Veränderungen der äusseren Faktoren (Wetter, Standort etc.) verursacht, dieser wiederum liegen die erbeigenen Eigenschaften des Baumes selbst zugrunde. Eine exakte Trennung beider ist natürlich äusserst schwierig und oft sogar völlig unmöglich, und es ist hier auch gar nicht die Absicht, sich in die Ursachen der Erscheinung zu vertiefen, sondern es wird das Hauptgewicht auf ihre Beschreibung gelegt; doch wagt es Verfasser, in Verbindung mit der vergleichenden Betrachtung der Ergebnisse auch auf die Ursachenzusammenhänge einzugehen.

1. Material

21. Probeflächen und Proben

Die Untersuchungen wurden im Kirchspiel Juupajoki in Mittelfinnland (61°50' n. Br., 24°20' ö.L.Gr.) ausgeführt. Die Untersuchungsflächen sind etwa 150 m ü.d.M. gelegen. Die mittlere Temperatur des Jahres beträgt 2.9° C, die des kältesten Monats (Februar) —8.6° C und die des wärmsten (Juli) 15.7° C. Der Jahresniederschlag beläuft sich auf 600 mm, die Dicke der Schneedecke etwa 60 cm und ihre durchschnittliche Dauer auf 160 Tage (Suomen kartasto 1925).

Sämtliche Probeflächen, insgesamt 7, befinden sich auf entwässerten, ursprünglich meso-oligotrophen Reisermooren mit durchgehends 1.5—2.0 m tiefer Torfschicht. Die seinerzeit zu waldbaulichen Zwecken durchgeführte Entwässerung hat mässig effektiv gewirkt; zwischen den verschiedenen Probeflächen sind allerdings in dieser Hinsicht deutliche Unterschiede zu verzeichnen.

Die Grösse der Probeflächen wurde zur Ermittlung der Charakteristika des Baumbestandes auf 0.12—0.25 ha beschränkt. Die Flächen wurden so gewählt, dass der Baumbestand auf ihnen in grossen Zügen gleichaltrig und praktisch ausschliesslich aus Kiefern gebildet war. Als besonderer Zug ist jedoch zu erwähnen, dass auf einigen Probeflächen ein verhältnismässig reichlicher Kiefernunterwuchs vorkommt, wie aus Tab. 1 geschlossen werden kann, in der die wichtigsten Charakterzüge der Probeflächen vorgeführt sind.

Die Untersuchungen wurden im Frühjahr 1952 durch Einbringen der nötigen Proben auf den Probeflächen 1 und 2 eingeleitet. Im Sommer 1953 wurde sodann das Hauptmaterial der Untersuchung auf den Probeflächen 3, 4, 5 und 6 eingesammelt. Zuletzt, im Sommer 1954, stand die Probefläche 7 an der Reihe; auf dieser wurde auch im darauffolgenden Winter eine repräsentative Probe genommen.

Da ich in einer zweiten, ungefähr gleichzeitig mit dieser erscheinenden Untersuchung (HEIKURAINEN 1955) eingehend die Entnahme und weitere Behandlung der Proben beschreibe, kann ich mich hier lediglich auf

Tabelle 1. Die wesentlichsten Züge der untersuchten Probeflächen.

Taulukko 1. Näytealojen oleellimmat piirteet.

	Jahr der Entwässerung <i>Kuivatusvuosi</i>	Moortyp ¹ <i>Suotyyppi</i>		Baumbestand — <i>Puuston</i>					Entwässerungsgrad <i>Kuivat-aste</i>
		Urspr. <i>Alkuper.</i>	Heute <i>Nykyin.</i>	Alter, J. <i>Ikä, v.</i>	m ³ /ha	Stück/ha <i>kpl/ha</i>	Herrschender Durchmesser <i>Valtaläpimitta, cm</i>	Zuwachs <i>Kasvu, m³/ha</i>	
1	1913	INR	Rmu	60	65	3 800	21.4	2.2	8
2	1913	INR	Roj	70	32	1 150	20.5	0.6	4
3	1913	IR	Rmu	60	43	4 650	13.0	2.4	6
4	1913	IR	Vtk	80	73	1 250	19.1	2.6	9
5	1933	IR	Rmu	45	42	3 500	15.6	2.3	7
6	1933	IR	Roj	45	37	2 800	14.6	1.9	5
7	1918	HSR	Mtk	35	94	2 350	18.7	4.5	9

einige wesentliche Züge betreffs derselben beschränken. Die Proben wurden mit Hilfe eines eigens zu diesem Zweck konstruierten Apparats genommen, der aus dem Torf immer ein genau 10 × 10 cm grosses und je nach Bedarf 20—30 cm tiefes Profil herauschnitt. Für die vorliegende Untersuchung wurden die Proben 20 cm lang genommen, ausser auf Prfl. 7, wo ihre Länge 25 cm betrug. Es stellte sich nämlich schon im Beginn der Untersuchung heraus, dass die Kiefer auf den untersuchten Probeflächen so flach bewurzelt war, dass schon eine nur 20 cm tiefe Probe praktisch alle Wurzeln enthielt. Auf Prfl. 7, die sowohl in bezug auf ihren Typ als auch die Effektivität der Entwässerung die anderen übertraf, reichten die Wurzeln etwas tiefer hinab, und darum mussten auch, wie eben erwähnt, die Proben auf dieser Probefläche etwas tiefer genommen werden.

Soweit es ging, wurden die Proben stets im Zwischengebiet der Bäume, und zwar in möglichst gleichmässiger Verteilung auf den gesamten Bestand genommen.

Unmittelbar nach ihrer Entnahme wurden die Proben zur weiteren Behandlung nach Helsinki gesandt. Ein Teil von ihnen musste in fünfprozentiger Formalinlösung aufbewahrt werden, die sich bei durchge-

¹ INR = Wollgras-Reisermoor, IR = Zwergstrauchmoor, HSR = oligotrophes Seggen-Reisermoor, Roj = entwässertes Reisermoor, Rmu = ausgetrocknetes Reisermoor, Vtk = Vaccinium-Torfheide, Mtk = Myrtillus-Torfheide.

fürten Versuchen für diesen Zweck als gut geeignet erwies. Die übrigen Proben wurden frisch zerlegt.

Die zeitweise im Laufe des Sommers einzuholenden Probenserien wurden der Möglichkeit nach so reichlich bemessen, dass dadurch eine Gewähr für die Zuverlässigkeit der Ergebnisse geschaffen wurde. Eine solche Probenserie umfasste gewöhnlich sechs Proben zu $10 \times 10 \times 20$ (25) cm, in einigen Fällen mehr und in ein paar Fällen weniger.

Im ganzen wurden auf diese Weise 327 Proben zusammengebracht. Ihre Verteilung auf die verschiedenen Probeflächen und Beobachtungstage ist aus den Tabellenbeilagen I—VII ersichtlich.

Ausser den Probenentnahmen und den Bestandesmessungen wurden auf den Probeflächen auch Messungen der Grundwasserhöhe durchgeführt. Weil auch diese Seite der Untersuchungen in anderem Zusammenhang (HEIKURAINEN op.c.) ausführlicher besprochen ist, wird sie hier lediglich mit der Erwähnung übergangen, dass auf jeder Probefläche 2—4 Grundwasserbrunnen angelegt und in diesen von Zeit zu Zeit die Höhe des Grundwasserspiegels gemessen wurde.

22. Langwurzeln

Wie in mehreren anderen Wurzeluntersuchungen (z.B. BJÖRKMAN 1940), wurden zu den Langwurzeln (nachstehend der Kürze halber schlechthin Wurzeln genannt), zum Unterschied von den Kurzwurzeln, alle über 5 mm langen Wurzeln und Wurzeläste gezählt. Wie oben bereits erwähnt wurde, betreffen die Untersuchungen ausschliesslich die in das Zwischengebiet der Bäume vorgedrungenen Teile der Wurzelsysteme, die baumnahen Teile sind in diesem Zusammenhang unbeachtet gelassen worden.

Das Hervorpräparieren der Wurzeln aus den Torfproben war keineswegs einfach, und selbst nach langer Einübung erforderte die Arbeit stets Ausdauer und Geduld. Die nähere Beschreibung der Arbeitsweise findet sich gleichfalls in meinem anderen, hier schon öfters erwähnten Aufsatz (HEIKURAINEN op.c.), hier mögen darum nur die Hauptzüge in aller Kürze vorgeführt werden. Jede Probe wurde zur Ermittlung der Tiefenverteilung der Wurzeln in 5 cm dicke Schichten aufgeteilt und eine jede solche Teilprobe oder auch alle einander entsprechenden Teilproben einer Probenserie in einen sich drehenden Korb aus Kupferdrahtnetz gelegt und in einem Zuber unter dem Druck eines anprallenden Wasserstrahls reingspült. In den am stärksten zersetzten Proben ging dabei auch ein

Teil der Torfmasse mit dem Wasser ab, stets blieb aber in den Proben auch reichlich anderes Material als lediglich die Kiefernwurzeln zurück, wie etwa unzersetzte Moorpflanzenreste, Wurzeln der Zwergsträucher u.dgl.m. Immerhin wurde mit dieser vorsichtigen Wasserspülung der Vorteil erzielt, dass das lose und bei der endgültigen Auseinandertrennung der Wurzeln störend wirkende wassertrübende feinste Material auf diese Weise ausgeschaltet wurde.

Nach der Spülung erfolgte die Trennung der Wurzeln in einer Schüssel mit Hilfe der Pinzette. Auf eine Unterscheidung der lebenden und toten Wurzeln wurde hierbei noch nicht geachtet; als wichtig galt nur, dass wenigstens alle lebenden Wurzeln in die Wurzelprobe mitkamen.

Unmittelbar danach wurden die Wurzeln gemessen, jetzt unter sorgfältiger Trennung der toten Wurzeln von den lebenden. Eine vollgültige Methode zur Unterscheidung dieser beiden Kategorien konnte zwar nicht herausgefunden werden, aber geleitet durch die Farbe von Rinde und Holzteil der Wurzeln, ihrer Konsistenz und Dehnungsfestigkeit, wurde versucht, die Arbeit so sorgfältig wie möglich auszuführen. Auch in Wirklichkeit dürfte die Grenze zwischen lebender und toter Wurzel keine scharfe sein. Weil die Trennungsgrundlagen stets unverändert die gleichen waren und die Wurzelmessungen der von einer Probefläche stammenden Proben immer von derselben Person durchgeführt wurden, müssen die Resultate wenigstens im Rahmen ein und derselben Probefläche miteinander vergleichbar sein.

Bei der Längenmessung wurden auch die Wurzelverzweigungen möglichst sorgfältig mitberücksichtigt. Es möge erwähnt werden, dass einige Forscher in die Längensumme der Wurzeln auch die Kurzwurzeln mitberechnet haben (BERGMAN 1954). In Verbindung mit der Längenmessung wurden folgende Dickenklassen unterschieden: unter 1 mm, 1—2 mm, 2—5 mm und über 5 mm dicke Wurzeln. In jeder von diesen Klassen wurde die Länge der Wurzeln mit der Genauigkeit von einem Zentimeter gemessen.

Einen Begriff von der Grösse des Materials gibt die zusammengerechnete Länge der Wurzeln. Diese belief sich auf 364 815 cm oder reichlich über 3.5 km.

23. Kurzwurzeln

Die Kurzwurzeln wurden in einem repräsentativen Teil jeder Probe in Verbindung mit den Längenmessungen untersucht. In den Oberflächenproben (0—5 cm) beschied man sich im allgemeinen mit etwa

10 % der Probe, in grösserer Tiefe, wo es weniger Wurzeln gab, wurden die Kurzwurzeln an einem grösseren Teil der Wurzeln untersucht, in den tiefsten Schichten schliesslich meistens an sämtlichen. Es möge in diesem Zusammenhang erwähnt werden, dass Kurzwurzeln fast einzig nur bei den dünnsten (unter 1 mm dicken) Wurzeln vorgefunden wurden.

Die Untersuchung der Kurzwurzeln erfolgte mit dem Stereomikroskop auf die Weise, dass jedes in die Kurzwurzelprobe abgeteilte Wurzelstück Zentimeter für Zentimeter untersucht und die Anzahl der Kurzwurzeln notiert wurde.

Die Kurzwurzeln wurden noch auf Grund der Mykorrhizentypen eingeteilt. Die Typenunterscheidung der Mykorrhizen erfolgte nach den allgemein üblichen Prinzipien (vgl. z.B. MELIN 1917; BJÖRKMAN 1941). Die Typen A und B wurden zusammengeschlagen (vgl. BJÖRKMAN 1942) und als getrennte Mykorrhizen auch die Spitzen aller verzweigten Mykorrhizen gerechnet (vgl. HATCH 1937; BJÖRKMAN 1941). Wie die ebenerwähnten Forscher bemerken, ergeben sich hier bei diesem »mycorrhizal points« Verfahren natürlich Schwierigkeiten zumal beim Zählen der C-Mykorrhiza, weil diese meist in dichten Gruppen auftritt, die dazu noch von einem dichten Hyphengeflecht umhüllt sind. Im Gesichtsfeld des Mikroskops präparierend gelingt indessen die Zählung wohl, ist aber sehr zeitraubend.

Ausser den Gruppen A + B und C wurden noch die D-Gruppe, die zum überwiegenden Teil Mykorrhizen vom sog. D_n -Typ (BJÖRKMAN op.c.) umfasste, sowie die Pseudomykorrhizen unterschieden. Dabei bereitete eigentlich nur die gegenseitige Trennung der A + B- und der Pseudomykorrhizen in vereinzelt Fällen Schwierigkeiten; zur Klarhaltung der Grenze zwischen diesen beiden Gruppen wurden nötigenfalls mikroskopische Schnitte angefertigt.

Schwieriger war schon die Unterscheidung der lebenden Mykorrhiza von der toten. Meistens besteht jedoch zwischen den beiden Gruppen ein deutlicher habitueller Unterschied: eine tote Mykorrhiza ist gewöhnlich auf diese oder jene Weise beschädigt, zeigt nicht die vollen Umrisse einer lebenden, und auch die Farbe leistet bei der Bestimmungsarbeit Dienste. Die lebende Mykorrhiza war auch deutlich fester als die tote. Dazu wurde im Verlauf der Arbeit die Beobachtung gemacht, dass sich die toten Mykorrhizen beim Besspülen und der sonstigen Behandlung der Wurzeln leicht von diesen ablösten, während die lebenden bedeutend fester an ihnen hafteten. Nichtsdestoweniger muss gesagt werden, dass die Trennung der lebenden Mykorrhizen von den toten nicht völlig geschehen

konnte. Indem aber die Mykorrhizen in sämtlichen Proben je einer Probefläche von ein und derselben Person gezählt wurden, können die Resultate doch immerhin als vergleichstauglich angesehen werden.

Im ganzen wurden für die vorliegende Untersuchung etwa 40 000 Wurzelzentimeter, d.i. 400 Meter Wurzeln, im Mikroskop untersucht, und wenn wir erwähnen, dass die Anzahl der Kurzwurzeln auf einem Zentimeter der untersuchten Langwurzeln etwa 3—4 betragen hat, so beläuft sich ihre Gesamtmenge auf etwa 150 000. Die Zählungsergebnisse sind in den Tabellenbeilagen VIII—XII zusammengestellt.

24. Zuverlässigkeit des Materials

Weil es im vorliegenden Zusammenhang gar nicht ernstlich auf eine vergleichende Betrachtung der Wurzelperiodizität auf verschiedenen Probeflächen ankommt, braucht auf die Zuverlässigkeit der die Probeflächen und ihren Baumbestand bezeichnenden Charakteristika hier nicht näher eingegangen zu werden. Dagegen verdient die Repräsentationskraft der auf die Wurzeln selbst bezüglichen Zahlenreihen wohl eingehender erörtert zu werden.

Gleich zu Beginn muss festgestellt werden, dass das Material vom Standpunkt der statistischen Charakteristika nicht auf bestmögliche Weise behandelt werden konnte. Es war nämlich wegen technischer Schwierigkeiten nicht möglich, die einzelnen Wurzelproben getrennt als individuelle Einheiten zu behandeln, wodurch es möglich geworden wäre, für jede den zu einem bestimmten Zeitpunkt waltenden Zustand angehende Probenserie die Streuung und die mittleren Fehler des Mittelwertes zu berechnen, sondern es mussten in einem grossen Teil des Materials die auf einer Probefläche gleichzeitig genommenen Proben zusammengeschlagen werden. Die Zuverlässigkeit eines so gewonnenen Mittelwertes lässt sich nicht prüfen. Diesem Ungemach versuchte man auf die Weise zu entgehen, dass man die einzelnen Proben einiger Probenserien getrennt erledigte und diese Probenserien in bezug auf ihre Streuung auch die anderen Probenserien repräsentieren liess.

Die Probenserien müssten natürlich die Bewurzelungsverhältnisse der gesamten Probefläche repräsentieren. In Untersuchungen, die auf die Klarlegung der Wurzelverhältnisse eines ganzen Bestandes (einer Probefläche) ausgegangen sind, ist dieser Umstand meist auch gehörig berücksichtigt worden (z.B. AALTONEN 1920, p. 31). Die Bewurzelung eines geschlossenen Bestandes hat sich als erstaunlich gleichmässig erwiesen

Tabelle 2. Beispiele von der Gleichmässigkeit des Auftretens der Langwurzeln. — 1 = Gesamtwurzelmeng, m/m^2 ; 2 = Mengenanteil der in der Tiefenschicht 0—10 cm (in der Probenserie II 0—5 cm) gelegenen Wurzeln, % von der Gesamtwurzelmeng; 3 = Anteil der unter 1 mm dicken Wurzeln, % von der Gesamtwurzelmeng.

Taulukko 2. Esimerkkejä pitkäjuurten esiintymisen tasaisuudesta. 1 = juurten kokonaisuusmäärä, m/m^2 , 2 = 0—10 cm:n kerroksen (näyte-erässä II 0—5 cm) juurien pituus % kokonaisuusjuurimäärästä, 3 = alle 1 mm juurten osuus kokonaisuusjuurimäärästä sadanneksinä.

	Probenserie I (16 Proben) Näyte-erä I (16 näytettä)			Probenserie II (10 Proben) Näyte-erä II (10 näytettä)		
	1	2	3	1	2	3
	\bar{M}	1 200	76.3	91.7	771	65.9
s	183	6.5	4.4	133	7.4	6.3
$s_{\bar{M}}$	46	1.7	1.1	42	2.5	2.0

(vgl. z.B. AALTONEN op.c.; POLANSKY 1936; KALELA 1946, 1949), m.a.W., die Wurzelstruktur ist in den verschiedenen Teilen des Bestandes, und zwar selbst auf ziemlich kleinen Flächen, gleichartig.

In Tab. 2 sind zwei Probenserien wiedergegeben, um die Gleichmässigkeit des Auftretens der Langwurzeln zu demonstrieren. Die erste Serie stammt von Prfl. 7 (15. I. 1955, 16 Proben), die zweite von Prfl. 7 (27. VIII. 1952, 10 Proben).

Unsere Betrachtung betrifft die Streuung (s) und die mittleren Fehler des Mittelwertes ($s_{\bar{M}}$) für die Gesamtwurzelmeng (1) und die Tiefenverteilung (2) nebst gegenseitigen Dickenverhältnissen der Wurzeln (3). Im ganzen wurden solche Untersuchungen an sechs Probenserien unternommen, und in sämtlichen diesen Fällen haben sich die Zahlenwerte sowohl der Streuung als auch der mittleren Fehler des Mittelwertes in die von der Tabelle angedeutete Grössenordnung eingestellt. Weil der Hauptteil des Materials (vgl. die Tabellenbeilagen I—VII) auf Serien zu 6 Proben fusst, liegen die mittleren Fehler des Mittelwertes im allgemeinen einigermaßen höher als in den hier gewählten Fällen.

Die angeführten Beispiele sprechen auf jeden Fall für eine überraschend gleichmässige Wurzelverbreitung sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung. Gleiches betrifft auch das Auftreten der verschiedenen Dickenkategorien der Wurzeln. Es ist hier jedoch zu berücksichtigen, dass in vertikaler Richtung nur zwei Tiefenschichten und auch bei der Dickenverteilung der Wurzeln nur zwei Dickenklassen unterschieden

Tabelle 3. Beispiele von der Gleichmässigkeit des Auftretens der Kurzwurzeln. — 1 = Anzahl der Kurzwurzeln je 1 dm Langwurzel; 2 = echte Mykorrhizen, % von der Menge der Kurzwurzeln.

Taulukko 3. Esimerkkejä lyhytjuurten esiintymisen tasaisuudesta. — 1 = lyhytjuurten tiheys, kpl/dm juurta, 2 = varsinaisia mykoritsoja, % lyhytjuurten määrästä.

	Probenserie I (16 Proben) Näyte-erä I (16 näytettä)		Probenserie II (16 Proben) Näyte-erä II (16 näytettä)		Probenserie III (10 Proben) Näyte-erä III (10 näytettä)	
	1	2	1	2	1	2
\bar{M}	22.9	75.5	13.7	67.3	20.8	52.4
s	6.1	7.4	3.7	8.2	3.8	6.6
$s_{\bar{M}}$	1.5	1.8	0.9	2.1	1.2	2.1

wurden. Zumal in den untersten Schichten, wo die Menge der Wurzeln schon sehr gering ist, ist die Zuverlässigkeit der Mittelwerte schon schwächer, ebenso nimmt sie gegen die gröberen Dickenklassen hin immer mehr ab.

Auch die Verteilung der Kurzwurzeln wurde nur an einigen Probenserien untersucht, und zwar durch mikroskopische Untersuchung mehrerer Wurzelportionen zu etwa 100 cm aus jeder Probe einer Probenserie. Aus den so erhaltenen Dichtezahlen der Kurzwurzeln (Anzahl Kurzwurzeln je Wurzeldezimeter) wurden sodann für jede Probenserie der Mittelwert sowie die Streuung und der mittlere Fehler des Mittelwertes berechnet. In Tab. 3 drei typische Beispiele.

Die Zahlenwerte der Tabelle erlauben zu schliessen, dass auch die Kurzwurzeln relativ gleichmässig verteilt sind. Dies gilt sowohl ihrem Dichtestand als auch den Mykorrhizenverhältnissen. Was sodann die entsprechenden Zahlen des eigentlichen Materials betrifft, so ist zu sagen, dass ihr mittlerer Fehler im allgemeinen etwas über dem in den Fällen unseres Beispiels geltenden liegt, weil die Menge der mikroskopisch untersuchten Wurzeln vielfach einigermaßen kleiner gewesen ist.

Dass die Kurzwurzeln auch in den verschiedenen Tiefenhorizonten des Wurzelwerkes anscheinend ähnlich gleichmässig verteilt sind, das zeigen die Probenserien I und II unseres Beispiels, von denen sich erstere auf die Tiefenschicht von 0—10 cm, letztere auf die von 10—25 cm bezieht. Eine Sache für sich ist es dann, dass sich die Dichtezahlen der tieferen Schichten auf ein knapperes Material gründen und darum auch weniger zuverlässig sind. Gleiches gilt den Dichtewerten der selteneren Mykorrhizentypen C und D.

Es ist auf Grund des Obigen natürlich unmöglich, die Zuverlässigkeit der im Material vorkommenden Grössen durch exakte Zahlenwerte auszudrücken. Zusammenfassend lässt sie sich indessen ihrer Grössenordnung nach für einige Charakteristika der Wurzelverhältnisse abschätzen. In nachstehender Zusammenstellung ist zu berücksichtigen, dass die Zahlen des Materials Mittelwerte von je sechs Proben darstellen.

Gesamtwurzelmenge, m/m^2	40—90
Tiefenverteilung, Wurzeln in der 0—5 cm -Schicht in % von der Gesamtwurzelmenge	3—5
Dickenverteilung, unter 1 mm dicke Wurzeln in % von allen Wurzeln	2—4
Dichtstand der Kurzwurzeln, Anzahl je 1 dm Wurzel	2—4
Mykorrhizenverhältnisse, echte Mykorrhizen in % von den Kurzwurzeln	3—5

Gehen wir in der Zergliederung des Materials noch weiter und berücksichtigen z.B. die Wurzelmengen der untersten Schichten, die Mengenverhältnisse der dicksten Wurzelklassen, der seltensten Mykorrhizentypen etc., so ist das Material bei den einzelnen Zahlenwerten ganz zu klein. Darum hat man sich auch bei dessen Behandlung lediglich im Rahmen der Hauptcharakteristika halten müssen.

3. Ergebnisse

31. Die Veränderungen der Wurzelmenge

311. Gesamtwurzelmenge

Wie eingangs schon erwähnt wurde, wurde zur Untersuchung der Wurzelperiodizität die Längensumme der Wurzeln in den drei Sommern 1952, 1953 und 1954 auf insgesamt sieben Probeflächen ermittelt und die sich in derselben vollziehenden Veränderungen verfolgt.

Die Arbeiten des Sommers 1952 waren insofern lediglich orientierend, als ich damals noch keine Auffassung von der Wurzelperiodizität hatte und also auch nicht auf den Gedanken kommen konnte, diesbezügliches Material zu sammeln. Die Befunde deuteten indessen darauf hin, dass

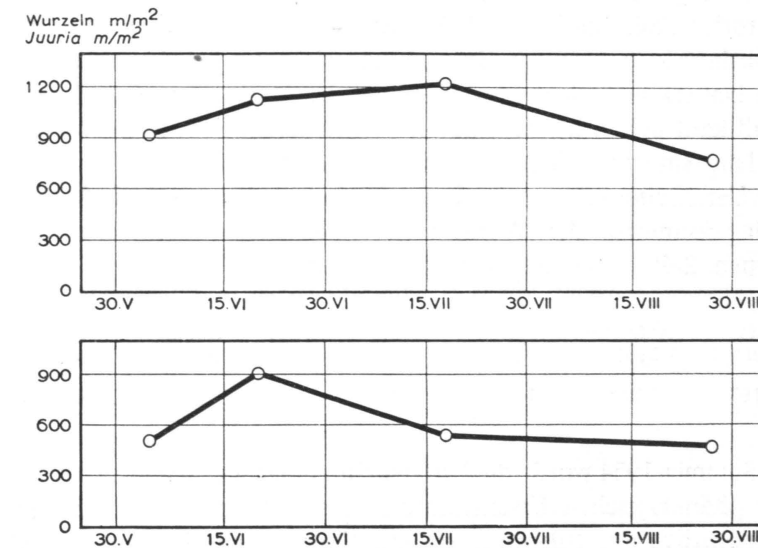


Abb. 1. Die Veränderungen der Längensummen der Wurzeln auf den Probeflächen 1 und 2 im Sommer 1952. — Kuva 1. Juuriston pituussumman muutokset näytealoilla 1 ja 2 kesällä 1952.

die Längensumme der Wurzeln im Hochsommer und besonders im Vor-sommer bedeutend grösser als im frühen Frühling und im Herbst war, wie es Abb. 1 und die Tabellenbeilagen I und II schliessen lassen. In betreff dieser Befunde ist jedoch zu bemerken, dass die Technik der Probenentnahme im genannten Sommer noch nicht ihre spätere Vollendung erlangt hatte, weshalb die verschiedenen Probenreihen nach einigermaßen verschiedenen Methoden eingebracht worden sind. Die Hauptrichtung der Ergebnisse liegt jedoch offen im Tage: die Wurzelmenge nimmt im Frühjahr zu, erreicht ihr Maximum irgendwann im Hochsommer und ist im Herbst am geringsten.

Im Sommer 1953 wurden die Untersuchungen bewusst auf die Klärung der Wurzelperiodizität gerichtet. Es wurden vier Probeflächen gewählt, die sich voneinander nur durch den Grad der Entwässerung und den Aufbau des Baumbestandes unterschieden (vgl. Tab. 1, S. 9). Auf diesen Probeflächen wurde in Zeitabständen von zwei Wochen je eine Serie von sechs Proben genommen. Die Ergebnisse sind aus Abb. 2 und den Tabellenbeilagen III—VI ersichtlich.

Die Ergebnisse sind ihrer Richtung nach in überzeugender Weise gleichlaufend. Die Wurzelmenge nimmt im Frühjahr zu und erreicht gegen Ende Juni ihr Maximum. Danach folgt beim Übergang zum Juli ein schroffer Fall. Im Juli und August macht sich anscheinend eine Unbestimmtheit in betreff der Entwicklungsrichtung bei den verschiedenen Proben bemerkbar, allein diese Befunde des Spätsommers dürften kaum als signifikant gelten können, ausser vielleicht auf Prfl. 3, wo die Wurzelmenge langsam gegen den Herbst hin abzunehmen scheint.

Zur Veranschaulichung der Befunde sind nachstehend die Mittelwerte der Längensummen der Wurzeln auf allen vier Probeflächen zu verschiedenen Zeiten des Sommers angegeben.

Mitte Mai	Anfang Juni	Mitte Juni	Anfang Juli	Ende Juli	Anfang August	Ende August
1 197	1 258	1 312	898	790	764	745 m/m ²

Im Sommer 1954 wurde die Untersuchung der nun schon sicher erscheinenden phänologischen Erscheinung fortgesetzt, und zwar jetzt auf der ausserordentlich gut entwässerten und einen gleichmässigen und lebenskräftigen Baumbestand tragenden Prfl. 7. Der Zeitabstand der Probenentnahmen wurde auf nur eine Woche verdichtet, und dazu wurde noch im folgenden Winter eine insgesamt 16 Proben umfassende Serie genom-

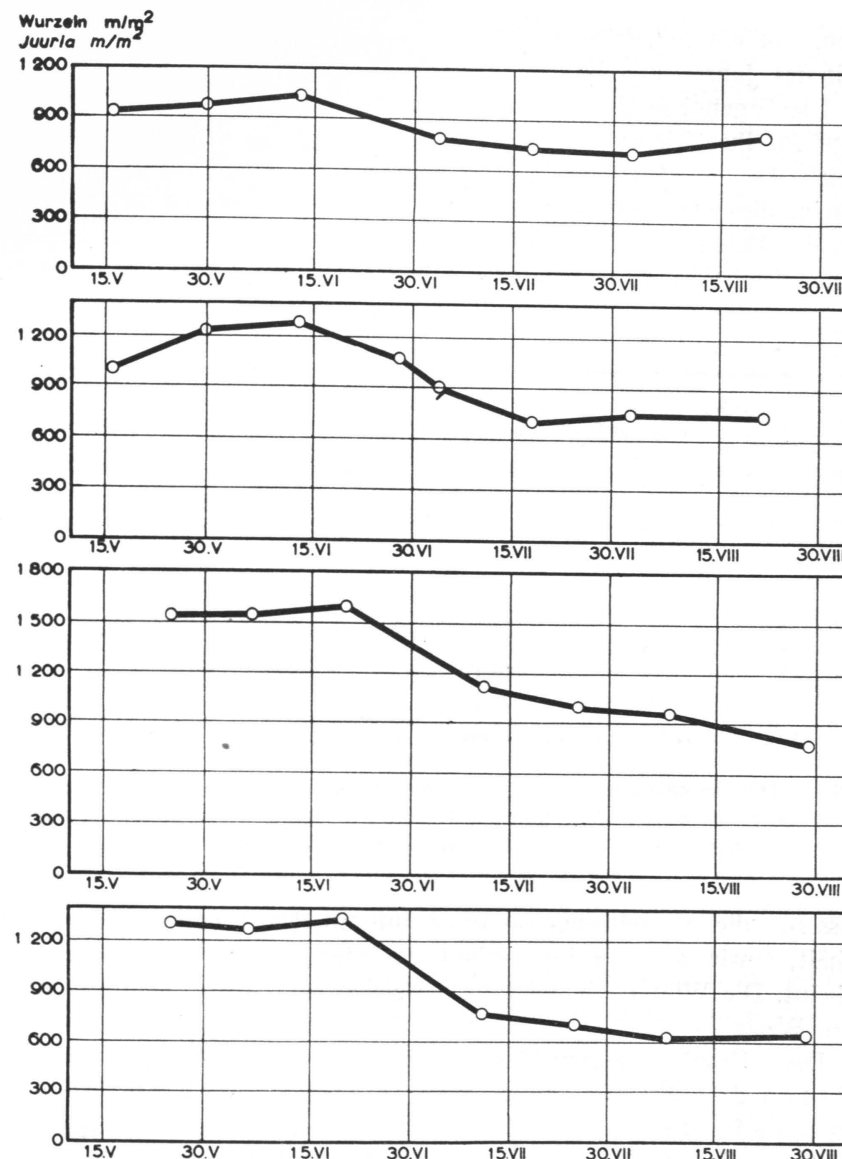


Abb. 2. Die Veränderungen der Längensummen der Wurzeln auf den Probeflächen 3—6 im Sommer 1953. — Kuva 2. Juuriston pituussumman muutokset näytealoilla 3—6 kesällä 1953.

men, um ein möglichst exaktes Bild von den Verhältnissen zu jener Zeit des Jahres zu erhalten.

Die Ergebnisse sind in Abb. 3 und der Tabellenbeilage VII wiedergegeben. Ihre Richtung ist derjenigen der beiden vorhergehenden Jahre gleich. Der frühjährliche Anstieg tritt hier allerdings nicht zum Vorschein, dies mag aber darauf beruhen, dass die Probenentnahmen erst um die Monatswende Mai—Juni begonnen werden konnten. Als Unterschied den beiden vorhergehenden Jahren gegenüber ist noch zu erwähnen,

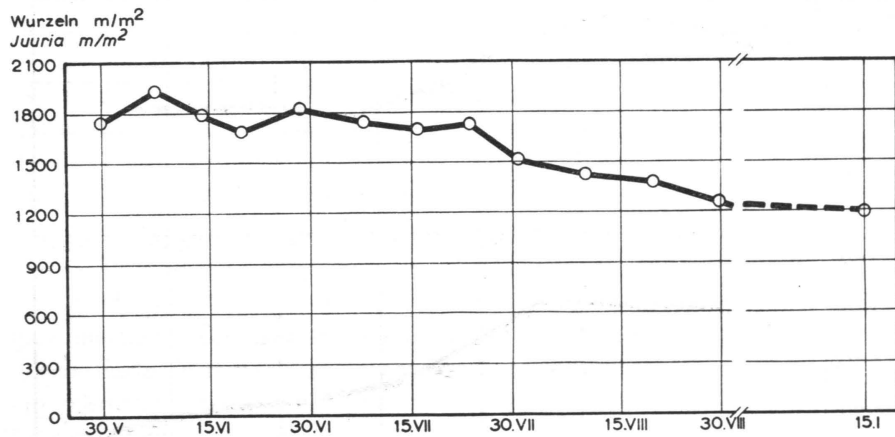


Abb. 3. Die Veränderungen der Längensummen der Wurzeln auf der Probestfläche 7 im Sommer 1954 und im darauffolgenden Winter. — Kuva 3. Juuriston pituussumman muutokset näytealalla 7 kesällä 1954 ja sitä seuraavana talvena.

dass sich die Wurzelmenge bis Ende Juli auf relativ beträchtlicher Höhe erhält, sowie dass sie im Verlauf des Herbstes deutlich abzunehmen scheint. Die Winterserie zeigt im Vergleich zum August deutlich niedrigere Werte.

Diese Resultate zeigen, dass sich in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände auf Reisermoorboden im Laufe der Vegetationsperiode erhebliche Veränderungen vollziehen, indem sich die Gesamtmenge der Wurzeln zunächst rasch vermehrt, im Vorsommer ihren maximalen Wert erreicht und dann im Hochsommer zuerst sehr schroff, später, gegen den Herbst, langsamer abnimmt, bis sie sich am Ende der Vegetationsperiode nahe ihrem Mi-

nimum befindet. Diese Ergebnisse decken sich in ihren Hauptpunkten durchaus mit den von KALELA (1955) in Kiefernbeständen auf Mineralboden gewonnenen. Leider hat es mir aber an Gelegenheit gefehlt zu untersuchen, wie rasch und wann die Wurzelmenge sich im Frühjahr vermehrt. Es darf aber angenommen werden, dass wenigstens vor dem Entweichen des Bodenfrostes keinerlei Wachstum stattfindet. Dies bedeutet, dass sich also die Vermehrung der Wurzelmenge ausserordent-

Tabelle 4. Gesamtwurzelmenge im Vor- und Spätsommer.

Taulukko 4. Juuriston kokonaismäärä kevätkesällä ja syyskesällä.

Untersuchungsjahr u. Prfl. Nr. Tutkimusvuosi ja näytealan N:o	Entwässerungsgrad Kuivatusaste	Wurzeln, m/m ² — Juuria m/m ²		Spätsommer, % vom Vorsommer Syyskesä, % kevätkesästä
		Vorsommer Kevätkesällä	Spätsommer Syyskesällä	
1952: 1	8	1 090	770	71
2	4	709	506	71
1953: 3	7	978	758	77
4	9	1 153	779	68
5	7	1 560	971	62
6	5	1 307	690	53
1954: 7	9	1 773	1 391	78
im Mittel — Keskimäärin		1 224	839	69

lich rasch vollziehen muss, denn der Schnee schmilzt im Untersuchungsgebiet gewöhnlich erst beim Übergang vom April zum Mai, und schon am Ende des letzteren Monats nähert sich die Wurzelmenge ihrem Maximum. Das jährliche Einsetzen des Wurzelwachstums ist übrigens verhältnismässig viel untersucht worden, und man ist dabei im allgemeinen zu dem Ergebnis gekommen, dass die Wachstumsvorgänge in den unterirdischen Teilen des Baumes früher als in den oberirdischen eingeleitet werden. So stellte z.B. ROZE (1937) fest, dass die Baumwurzeln schon bei 2.2° C zu wachsen begannen, und LADEFOGED (1939) fand, dass bei der Fichte das Wachstum der Wurzeln etwa 14 Tage früher als das der Triebe einsetzte.

Oben wurde schon festgestellt, dass die sommerliche Abnahme der Wurzelmenge erstaunlich gross ist. Tab. 4 zeigt die Gesamtwurzelmengen auf den verschiedenen Probestflächen im Vor- und Spätsommer und ihr

prozentisches Verhältnis. Die Grenze zwischen Vor- und Spätsommer ist auf den einzelnen Probeflächen verschieden gezogen worden, je nachdem, wann eine deutliche Abnahme der Wurzelmenge festzustellen gewesen ist. Die Zahlen geben lediglich ein Bild von der Grösse der Veränderungen.

Die Abnahme ist also tatsächlich ganz ungemein gross. Auf Prfl. 6 zum Beispiel ist ein Fall von fast 50 % zu verzeichnen, und auch im Durchschnitt hat sich die Wurzelmenge im Spätsommer auf weniger als 70 % vom entsprechenden Wert des Vorsommers belaufen.

Die Zahlenwerte der Tabelle lassen auch schliessen, dass zwischen den Probeflächen sogar beträchtliche Unterschiede in bezug auf die Art der Periodizität vorkommen. Die Extremfälle werden von den Prfl. 6 und 7 vertreten. Auf ersterer, wo die Entwässerung nicht zu einer nennenswerteren Austrocknung geführt hat, fällt die Wurzelmenge fast auf ihren halben Wert herab, auf der letzteren, auf welcher die Entwässerung erfolgreich gewesen ist, ist die Abnahme bedeutend geringer. Ein Blick auf Abb. 1—3 zeigt ferner, dass auf der nassen Probefläche die Abnahme etwa einen Monat früher als auf der trocknen erfolgt ist. Ähnliches ist auch aus dem Material des Jahres 1952 zu ersehen. Auf der am Rande der Schläge gelegenen Prfl. 7 hat sich die Wurzelmenge erst irgendwann in der zweiten Julihälfte (oder möglicherweise noch später) vermindert, während die Abnahme in der weit schwächer ausgetrockneten Mitte desselben Schläges schon vor der Julimitte erfolgte. Das Material des Jahres 1953 stützt gleichfalls das Ebenangeführte. Die Ergebnisse deuten somit darauf hin, dass sich die Wurzelmenge um so früher und um so rascher vermindert, um einen je nasserem Standboden es sich handelt. Dies steht gut auch mit den Befunden KALELAS (1955) im Einklang, erfolgt doch dieselbe Abnahme der Wurzelmenge auf den von ihm untersuchten Mineralböden erst im August. Auch bei Untersuchungen über das Wurzelwachstum ist festgestellt worden, dass auf nasserem Torfböden die Wachstumsperiode der Wurzeln kürzer als auf trockneren war (LADEFOGED op.c.).

Der Vergleich kann natürlich einigermaßen durch die verschiedenen Witterungszustände der Vegetationsperioden gestört werden. Indem der Sommer 1952 nur etwas, die beiden anderen dagegen bedeutend niederschlagsreicher als normal waren, lassen sich die zwischen den Probeflächen gefundenen Unterschiede auch folgendermassen deuten. Im Frühjahr 1953 gestaltete sich die Ausgangssituation für das Wurzelwachstum ziemlich günstig, die Wurzelmenge war den Wachstumsverhältnissen des vorangehenden (und möglicherweise auch des nächstvorhergehenden) Som-

mers zufolge verhältnismässig gross, aber in dem ungünstigen Sommer 1953 erfolgte die Abnahme der Gesamtwurzelmenge schon früh und ausserordentlich rapide. Im Sommer 1954 war die Wurzelmenge demzufolge schon von Anfang an verhältnismässig gering, und da auch dieser Sommer seinen Witterungsverhältnissen nach ungünstig war, erreichte die Wurzelmenge überhaupt nicht ihren normalen Betrag und konnte darum auch nicht nennenswerter abnehmen.

Im ganzen ist also festzustellen, dass die genauere Ermittlung von Zeitpunkt und Betrag der Wurzelveränderungen künftigen Untersuchungen überlassen bleiben muss.

312. Verschieden starke Wurzeln

Schon aus den Primärtabellen ist zu ersehen, dass der Schwerpunkt der sommerlichen Wurzelabnahme bei den dünnen Wurzeln liegt, während die Menge der dickeren in grossen Zügen unverändert bleibt. Nachstehend werden diese Umstände näher zur Sprache genommen.

Wie bereits beim Beurteilen der Zuverlässigkeit des Materials festgestellt wurde, sind die die Menge der dickeren Wurzeln angegebenden Zahlen (Tabellenbeilagen I—VII) in recht hohem Masse unzuverlässig. Vereinigt man dagegen die Dickenklassen, z.B. so, dass die unter bzw. über 2 mm dicken Wurzeln je ihre besondere Klasse bilden, so steigt der Zuverlässigkeitsgrad schon beträchtlich. Nachstehend ist so verfahren worden, und ausserdem sind in der die Resultate wiedergebenden Abb. 4 die Befunde von den verschiedenen Probeflächen eines Sommers zusammengeschlagen. Die maximalen Wurzelmenen beider Dickenklassen sind in der Abbildung gleich 100 gesetzt und die zu den übrigen Zeitpunkten gefundenen Mengen auf diese Zahl bezogen. Dazu sind die Ergebnisse des Jahres 1954 als Mittelwerte je zweier benachbarter Beobachtungszeitpunkte angegeben.

Indem die Abbildung die schon mitgeteilten Befunde über die Veränderungen der Wurzelmenge anschaulich beleuchtet, zeigt sie auch deutlich, dass sich die festgestellten Wandlungen zur Hauptsache im Bereich der dünnen Wurzeln abspielen. Die Menge der unter 2 mm starken Wurzeln nimmt im Sommer stark und schroff ab, bei den dickeren Wurzeln sind dagegen die Veränderungen gering und ohne deutliche Tendenz. Eine geringe Abnahme gegen den Herbst hin dürfte indessen auch bei diesen Wurzeln zu beobachten sein, doch erreicht sie wahrscheinlich nicht einmal den Grad der statistischen Signifikanz.

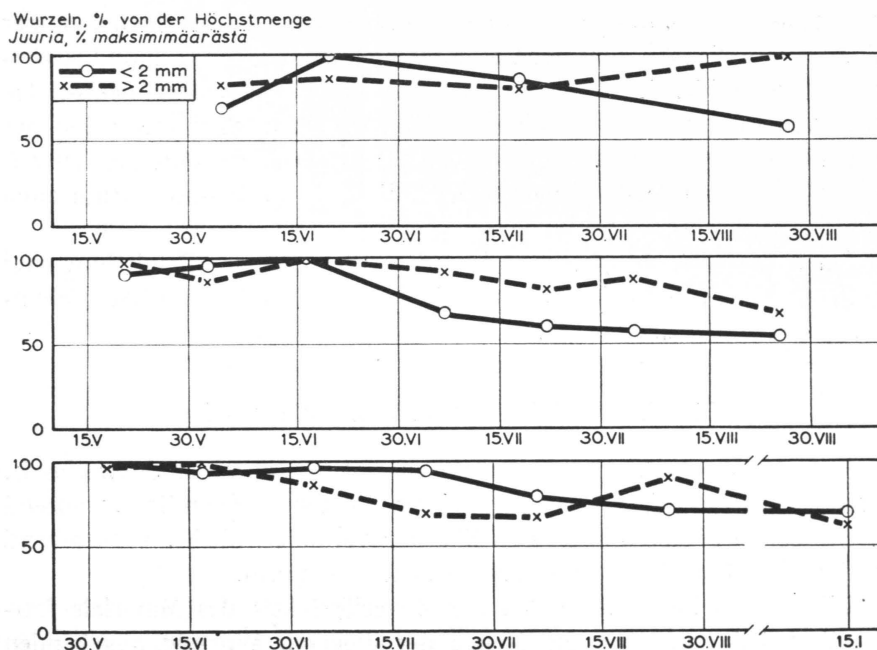


Abb. 4. Die relativen Veränderungen der Längensummen der unter bzw. über 2 mm dicken Wurzeln in den Vegetationsperioden der Jahre 1952—54. — Kuva 4. Alle 2 mm ja yli 2 mm vahvuisten juurten pituussummien suhteelliset muutokset kasvukausina 1952—1954.

Auch wenn sich zwar die die Mengenbeträge der dickeren Wurzelklassen angehenden Zahlen (Tabellenbeilagen I—VII) auf ein zu kleines Material gründen, lässt sich auch von den im Bereich dieser Wurzeln im Verlauf der Vegetationsperiode sich vollziehenden Veränderungen ein annähernd exaktes Bild gewinnen, wenn man die Resultate von den einzelnen Probeflächen vereinigt. So ist in Tab. 5 verfahren worden, die die auf gleichen Gründen wie in Tab. 4 berechneten durchschnittlichen Längensummen der unterschiedenen Dickenklassen getrennt im Vor- und im Spätsommer angibt.

Wir finden dann, dass die Verminderung der Wurzelmenge in der Klasse der dünnsten Wurzeln ausgesprochen am grössten gewesen ist und gegen die gröberen Wurzelklassen hin sukzessiv abnimmt. In der Gruppe der über 5 mm dicken Wurzeln wurde keine Veränderung festgestellt, aber selbst noch in der Dickenklasse von 2—5 mm hat sich die Mengenabnahme auf nahezu 10 % belaufen.

Tabelle 5. Durchschnittliche Menge der verschiedenen dicken Wurzeln im Vor- und Spätsommer auf den Probeflächen 1—7.

Taulukko 5. Eri vahvuisten juurten määrä kevätkesällä ja syyskesällä keskimäärin näytealoilla 1—7.

Dickenklasse, mm Juurten paksuus- luokka, mm	Wurzeln, m/m ² — Juuria, m/m ²		Spätsommer, vom Vorsommer Syyskesä, % kevätkestästä
	Vorsommer Kevätkesä	Spätsommer Syyskesä	
< 1	1 066	705	66
1—2	123	96	78
2—5	35	32	91
> 5	5	5	100

Diese Befunde erscheinen natürlich. Ist es doch klar, dass dünne Wurzeln leichter als die dicken in dieser oder jener Weise verschwinden und dann wieder neugebildet oder durch neue ersetzt werden können. Bemerkenswert ist der Umstand, dass selbst noch unter den 2—5 mm dicken Wurzeln eine deutliche Abnahme festzustellen gewesen ist, was also besagt, dass anscheinend sogar verhältnismässig kräftige Wurzeln von dieser merkwürdigen Erscheinung betroffen werden. Hieraus dürfte geschlossen werden können, dass die gesamte Wurzelmenge in den Kiefernbeständen auf Reisermoorboden einer ständigen Erneuerung unterworfen ist. Und KALELAS (1955) Befunde in Kiefernbeständen auf Mineralböden deuten darauf hin, dass gleiches auch auf anderen Standböden der Fall ist. Die eingehendere Klärung jenes Erneuerungsprozesses bleibt künftigen Untersuchungen überlassen, zieht man aber die Prozentwerte der Tab. 5 zur Deutung des Erscheinungsverlaufs heran, so kommt man dahin, dass sich die feinsten Wurzeln jedes dritte, die 1—2 mm starken jedes fünfte und selbst noch die 2—5 mm dicken jedes zehnte Jahr erneuern. Selbstverständlich bleibt aber auch von den dünnsten Wurzeln ein Teil vielleicht sogar Jahrzehnte hindurch erhalten, ihrem Dickenwachstum zufolge in immer höhere Dickenklassen hinaufrückend. Ferner ist zu bemerken, dass der baumnahe Teil der Wurzelsysteme auch in bezug auf ihr Alter einer ganz anderen Grössenordnung zufällt als die in vorliegender Untersuchung zur Behandlung aufgenommene Wurzelmasse in den Zwischengebieten der Bäume.

Diese Wurzelenerneuerung, die sich nach Obigem zu schliessen merkwürdig rasch abzuspielen scheint, wurde noch durch Jahresringzählungen

an verschieden starken Wurzeln untersucht. Nachstehende Übersicht zeigt die Ergebnisse.

Wurzeldurchmesser, mm	2—3	4—5	6—7	8—9	10—20
Jahresringzahl	4	6	10	14	22
Beobachtungen	9	11	5	5	5

Weil sich die Jahresringe in den Wurzeln der Reisermoorkiefern als sehr schwierig sichtbar erwiesen, blieb das diesbezügliche Material gering. Die Beobachtungen sind auf jeden Fall geeignet, das Obenangeführte zu stützen, gleichzeitig zeigen sie aber, dass sich die dicksten Wurzeln selbst Jahrzehnte hindurch am Leben zu erhalten vermögen.

Die Untersuchung der sich in den verschiedenen Dickenklassen der Wurzeln abspielenden Mengenveränderungen erwies also, dass die Verminderung der Wurzelmenge im Bereich der feinsten Wurzeln am grössten ist und von dort gegen die gröberen Wurzeln hin abnimmt. Die Befunde erlaubten auch zu schliessen, dass sich die Erneuerung des Wurzelwerkes mit erstaunlicher Geschwindigkeit vollzieht.

313. Die Veränderungen in den verschiedenen Tiefenschichten des Wurzelwerkes

Wie bei der Vorführung des Materials auf S. 10 erwähnt wurde, erfolgte die Ermittlung der Wurzelmenge aus 5 cm dicken Teilproben, die je ihre Tiefenschicht repräsentierten. Andererseits wurde beim Untersuchen der Zuverlässigkeit des Materials festgestellt, dass nur wenn wir das Material in grösseren Tiefengruppen, z.B. 0—5 cm und 5—20 (25) cm als je eine solche Gruppe behandeln, die Ergebnisse statistische Zuverlässigkeit erlangen. Die Wurzelmengen in den tieferen Schichten sind so gering und die Streuung so gross, dass eine getrennte Behandlung dieser Schichten nicht angebracht ist.

Nachstehende Betrachtung gründet sich zur Hauptsache auf die zwei erwähnten Haupttiefengruppen: 0—5 cm, die schon allein mehr als die Hälfte von der gesamten Wurzelmenge enthält, sowie 5—20 (25) cm.

In folgender Zusammenstellung ist angegeben, einen prozentisch wie grossen Teil die im Spätsommer gefundene Wurzelmenge von der im Frühsommer festgestellten auf den verschiedenen Probeflächen in den

beiden Haupttiefenschichten getrennt und in allen Tiefen zusammen (vgl. Tab. 4) ausgemacht hat. Bei Prfl. 3 und 5 gelten die Zahlen für die Tiefenschichten 0—10 cm und 10—20 cm, in Klammern sind aber ihnen die für die hier benutzten Tiefenschichten berechneten Zahlen beigegeben. Berücksichtigt sind nur die unter 2 mm dicken Wurzeln, weil sich die Mengenveränderungen des Wurzelwerkes hauptsächlich im Bereich dieser Dickenklassen abspielen.

Prfl.	0—5 cm	5—20 (25) cm	0—20 (25) cm
1	73	61	71
2	73	63	71
3	77 (72)	74 (92)	77
4	76	62	68
5	62 (58)	56 (73)	62
6	57	40	53
7	79	75	78

Wie man sieht, so gehen die Ergebnisse auf sämtlichen Probeflächen in die gleiche Richtung: in grösserer Tiefe ist der Prozentwert niedriger als in der oberflächlichen Wurzelschicht. Und weil der Prozentwert die Wurzelmenge im Spätsommer im Verhältnis zur entsprechenden Menge im Vorsommer angab, so ist daraus zu schliessen, dass die Abnahme in der Tiefe grösser als näher der Oberfläche gewesen ist. Das auf den Probeflächen 3 und 5 zutagetretende entgegengesetzte Verhältnis (eingeklammerte Zahlen) beruht lediglich darauf, dass die 5—10 cm -Schicht auf diesen Probeflächen in bezug auf ihre Veränderungen der obersten Wurzelschicht ähnlich gewesen ist.

Zur Verdeutlichung der Sache möge hier noch eine zweite Übersicht eingeschaltet werden, in der die Prozentanteile der in den Schichten 0—5, 5—10 und 10—20 cm enthaltenen Wurzelmengen an der Gesamtwurzelmenge einmal im Vor- und zweitens im Spätsommer angegeben sind.

Prfl.	Vorsommer			Spätsommer		
	0—5	5—10	10—20 cm	0—5	5—10	10—20 cm
1	63	24	13	67	18	15
2	74	22	4	77	19	4
3	76	13	11	72	18	10
4	66	24	10	70	20	10
5	74	21	5	69	27	4
6	67	31	2	74	22	4
7	71	19	10	73	20	7

Der Schwerpunkt der Tiefenverteilung hat also im Spätsommer oberflächlicher als im Vorsommer gelegen, d.h., die Wurzelmenge hat in den tieferen Schichten relativ stärker als in Oberflächennähe abgenommen. Freilich machen die Prfl. 3 und 5 auch jetzt insofern eine Ausnahme, als die Prozentwerte der 0—5 cm -Schicht eine umgekehrte Grössenordnung aufweisen. Dieser scheinbare Widerspruch rührt aber, wie oben bereits bemerkt wurde, davon her, dass wiederum der Prozentwert der folgenden Tiefenschicht auf diesen Probestellen von den anderen abweichend im Spätsommer höher als im Vorsommer liegt.

Wir können also feststellen, dass die sich im Wurzelwerk im Laufe der Vegetationsperiode abspielenden Veränderungen in den verschiedenen Tiefenschichten der Wurzelsphäre gleichsinnig verlaufen, dass aber die Veränderung in grösserer Tiefe relativ durchgreifender als in Oberflächennähe ist.

Über die winterliche Tiefenverteilung der Wurzelmenge liegt nur von Prfl. 7 eine Beobachtungsreihe vor. Das Ergebnis ist überraschend, denn von der Gesamtwurzelmenge entfielen auf die 0—10 cm -Schicht jetzt nur 75 % und auf die 10—25 cm -Schicht nicht minder als 25 %. Wenn wir uns erinnern, dass die entsprechenden Werte für den Vorsommer 90 % und 10 % betragen, so erscheint das Resultat tatsächlich merkwürdig. Eine Unzulänglichkeit des Materials kann daran nicht schuld sein (vgl. S. 00), wohl aber ist das Material zu klein zur Erklärung und eventuellen Verallgemeinerung der Erscheinung.

32. Einfluss von Niederschlag und Grundwasserhöhe auf die Veränderungen der Wurzelmenge

Es ist in mehreren Zusammenhängen hervorgehoben worden, dass der Regen und dadurch ein geeigneter Feuchtigkeitsgrad des Bodens das Wachstum der Wurzeln günstig beeinflussen. Anhaltende Dürreperioden wiederum haben sogar ein Absterben der Wurzeln bewirkt (BURBIDGE 1939). Dies gilt den Mineralböden, auf Torfunterlage ist die Wirkung des Niederschlags und des dadurch verursachten Anstiegs des Grundwasserspiegels entgegengesetzt gewesen. So hat MULTAMÄKI (1923) gefunden, dass erhöhtes Grundwasser zum Absterben der tiefgelegenen Wurzeln führte. Ebenso beobachtete LADEFOGED (1939), dass unter ähnlichen Verhältnissen eine Wachstumshemmung der Wurzeln eintrat, auch wenn er sie seinerseits primär auf Sauerstoffmangel zurückführt.

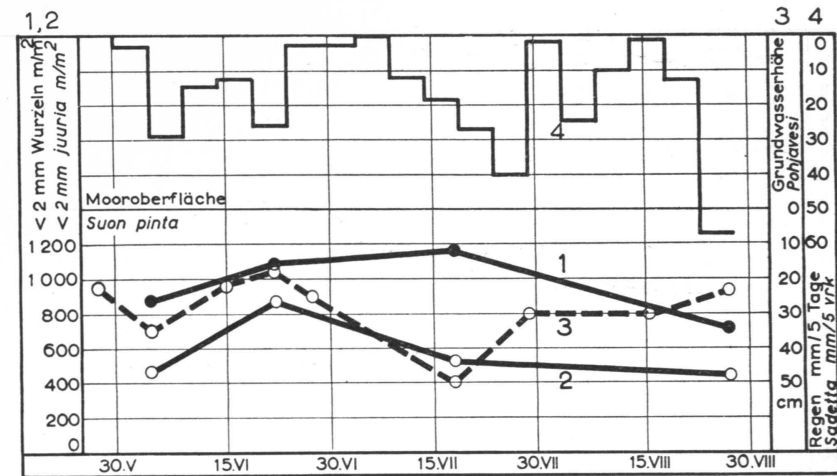


Abb. 5. Die Regenmenge (in Pentaden) und die Veränderungen des Grundwasserspiegels nebst den Längensummen der Wurzeln auf den Probestellen 1 und 2 im Sommer 1952. — Kuva 5. Sademäärä 5 vuorokauden summina, pohjavesipinnan ja juuriston pituussumman muutokset näytealoilla 1 ja 2 kesällä 1952.

In Verbindung mit der vorliegenden Untersuchung wurde auf den Probestellen zeitweise auch die Grundwasserhöhe aus offenen Brunnenlöchern gemessen, um Aufschlüsse über den Einfluss des Grundwassers auf die Wurzelperiodizität zu erhalten. Dazu wurden vom Hydrographischen Bureau die Regenbeobachtungen von der nahegelegenen forstlichen Übungsstation in Korkeakoski für die Sommermonate der Jahre 1952, 1953 und 1954 erhalten.

Abb. 5 zeigt die Messungsergebnisse des Sommers 1952 (Prfl. 1 und 2). Weil die Veränderungen der Wurzelmenge auf beiden Probestellen deutlich voneinander abweichen, sind sie hier getrennt wiedergegeben, dagegen gelten die angegebenen Grundwasserhöhen als Mittelwerte für die Grundwasserbrunnen beider Probestellen (zusammen 6). Hier wie in den beiden folgenden Abbildungen sind nur die unter 2 mm dicken Wurzeln berücksichtigt.

Der Sommer 1952 hat im Untersuchungsgebiet gleichsam drei regenreiche Perioden aufgewiesen, die erste etwa 20tägige um Mitte Juni, die zweite ungefähr ebenso lange in der zweiten Hälfte des Juli und die dritte kräftige Periode Ende August. Alle diese Regenperioden haben einen deutlichen Anstieg des Grundwasserspiegels verursacht, so zumal die erste. Ein Wechselverhältnis zwischen Niederschlag und Wurzel-

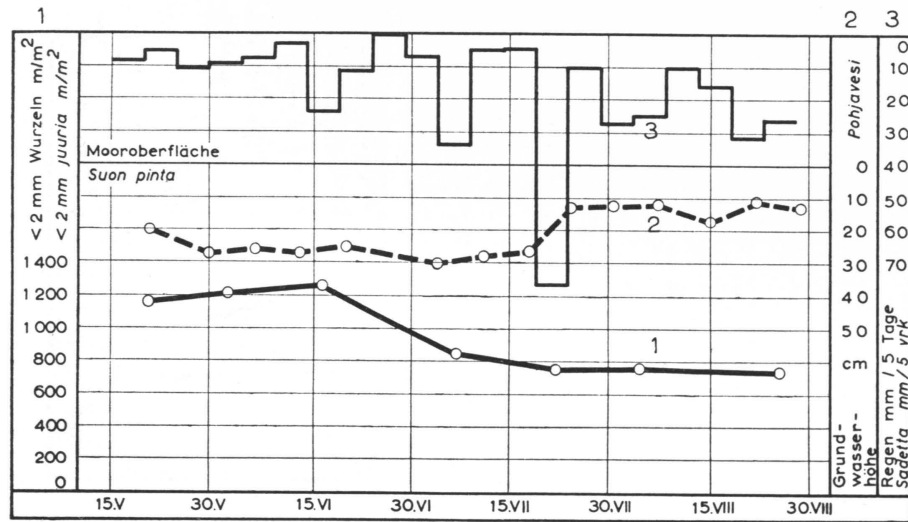


Abb. 6. Die Regenmenge (in Pentaden) und die Veränderungen des Grundwasserspiegels nebst den Längensummen der Wurzeln auf den Probeflächen 3–6 im Sommer 1953. — Kuva 6. Sademäärät (5 vuorokauden summina), pohjavesipinnan ja juuriston pituussumman muutokset näytealoilla 3–6 kesällä 1953.

entwicklung tritt dagegen nicht zum Vorschein. So hat sich die Wurzelmenge z.B. am Ende der Regenperiode im Juni auf Prfl. 2 in ihrem Maximum und auf Prfl. 1 nahe demselben befunden. Auf Prfl. 2 ist die schroffe Abnahme der Wurzelmenge in einem Zeitpunkt erfolgt, der in bezug auf die Feuchtigkeitsverhältnisse, wie aus dem niedrigen Stand des Grundwasserspiegels zu schliessen wäre, ziemlich günstig gewesen ist. Auf Prfl. 7 freilich fällt die Abnahme zeitlich mit dem Sinken des Grundwasserspiegels zusammen, die Signifikanz des Wechselverhältnisses ist aber unsicher.

Die Messungsergebnisse des Sommers 1953 sind, als Mittelwerte für alle vier Probeflächen 3–6, in Abb. 6 dargestellt.

Eine ausserordentlich kräftige Regenperiode ist in diesem Sommer in der zweiten Julihälfte zu verzeichnen gewesen, und als deren Folge ist der Grundwasserspiegel um fast 20 cm und dadurch bedeutend über die unterste Bewurzelungsgrenze gestiegen. Die Abnahme der Wurzelmenge ist indessen schon einige Wochen früher erfolgt, und dazu noch zu einer Zeit, als sich die Feuchtigkeitsverhältnisse ziemlich vorteilhaft gestaltet haben dürften, wie es die Grundwasserkurve beim Übergang zum Juli zeigt. Weiter verdient bemerkt zu werden, dass die Wurzelmenge

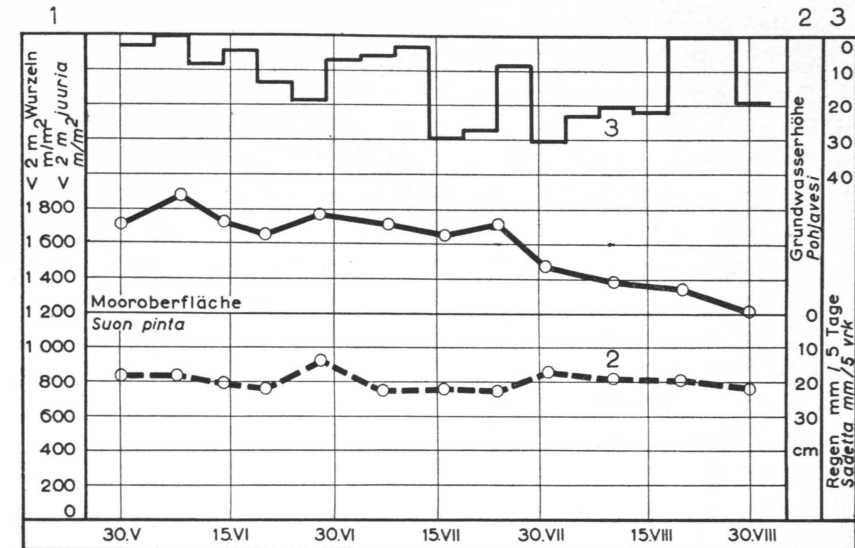


Abb. 7. Die Regenmenge (in Pentaden) und die Veränderungen des Grundwasserspiegels nebst den Längensummen der Wurzeln auf der Probefläche 7 im Sommer 1954. — Kuva 7. Sademäärät (5 vuorokauden summina), pohjavesipinnan ja juuriston pituussumman muutokset näytealalla 7 kesällä 1954.

im Spätherbst trotz fortgesetzter reicher Niederschläge und permanent hohem Grundwasserstand nicht mehr in erwähnenswerterem Masse gesunken ist.

Abb. 7 schliesslich zeigt die Messungsergebnisse des Sommers 1954 auf Prfl. 7. In der Wurzelmenge haben sich schon im Frühsommer Wandlungen von anscheinend signifikantem Wert vollzogen; in erster Linie kommt hierbei die nach der Junimitte zu verzeichnende Abnahme der Wurzelmenge in Betracht. Ein Wechselverhältnis zur Regenmenge und der damit in deutlicher Verbindung stehenden Grundwasserhöhe kann indessen nicht wahrgenommen werden. Die endgültige schroffe Abnahme der Wurzelmenge um die Monatswende Juli–August ist indessen zu einer Zeit erfolgt, als es schon zwei Wochen lang ziemlich viel geregnet hatte. Ein solcher Zustand könnte recht wohl ein Absterben der Wurzeln zur Folge haben, wie es Untersuchungen erwiesen haben. Ein Einzelfall allein reicht indessen nicht zum bindenden Nachweis eines Wechselverhältnisses zwischen Wurzelveränderungen und Regenmenge aus, zumal da in den vorangehenden Sommern direkt entgegengesetzte Fälle zu verzeichnen waren.

Die Befunde aller drei Sommer zusammenfassend ist festzustellen, dass weder Regen- noch Dürreperioden Veränderungen in den Wurzelmengen der Kiefernbestände auf Reisermoorboden hervorgerufen haben. Zu ähnlichen Ergebnissen ist auch KALELA (1955) bei seinen diesbezüglichen Untersuchungen in Waldbeständen auf Mineralboden gekommen.

Mit Obigem will keineswegs gesagt werden, dass den Niederschlägen jeglicher Einfluss auf die Wurzelmengen abginge, sondern es zeigt nur, dass diesbezüglich jedenfalls von keiner Parallelität gesprochen werden kann. Dagegen ist es wohl wahrscheinlich, dass sich der verschiedene Niederschlagsreichtum der einzelnen Vegetationsperioden auch im Wurzelwerk widerspiegelt, ebenso wie sich ja vielfach ein deutliches Verhältnis zwischen den Wachstumszuständen der verschiedenen Jahre und dem Wachstum der oberirdischen Teile der Bäume ergeben hat (LAITAKARI 1920; BOMAN 1927; EKLUND 1944; MIKOLA 1950). Und besonders in betreff der Moorbälder hat MIKOLA (op.c.) feststellen können, dass das Wachstum der Bäume zumal durch die Regenmengen der Vegetationsperioden beeinflusst wird.

Das Material der vorliegenden Untersuchung ist indessen unzureichend und auch nicht geeignet zur Beantwortung der Frage, wie sich die Witterungsverhältnisse der Vegetationsperioden in langfristigen Veränderungen des Wurzelwerkes widerspiegeln. Dagegen dürfte es gross genug sein um zu beweisen, dass die Feuchtigkeitsverhältnisse der Unterlage und das Grundwasser nicht zu Veränderungen bei den Wurzeln geführt haben. Und weil wir in den Feuchtigkeitsverhältnissen bekanntlich einen der wichtigsten, wenn nicht gar den wichtigsten Wachstumsfaktor an Standorten von der Art des hier in Rede stehenden zu erblicken haben, mag die Behauptung noch darüberhinaus erweitert werden und gesagt werden können, dass als Ursache der sich im Wurzelwerk der Bäume im Laufe der Vegetationsperiode abspielenden Veränderungen nicht veränderte Wachstumsverhältnisse zu betrachten sind, sondern es vollziehen sich die erwähnten Veränderungen unabhängig von den letzteren.

33. Veränderungen der Kurzwurzeln

331. Dichtstand

Die Menge der Kurzwurzeln wird im folgenden als Dichtstand, d.h. als ihre Anzahl je Längeneinheit der untersuchten Langwurzel, in diesem Falle 10 cm, angegeben. Solche Kurzwurzelbestimmungen wurden auf

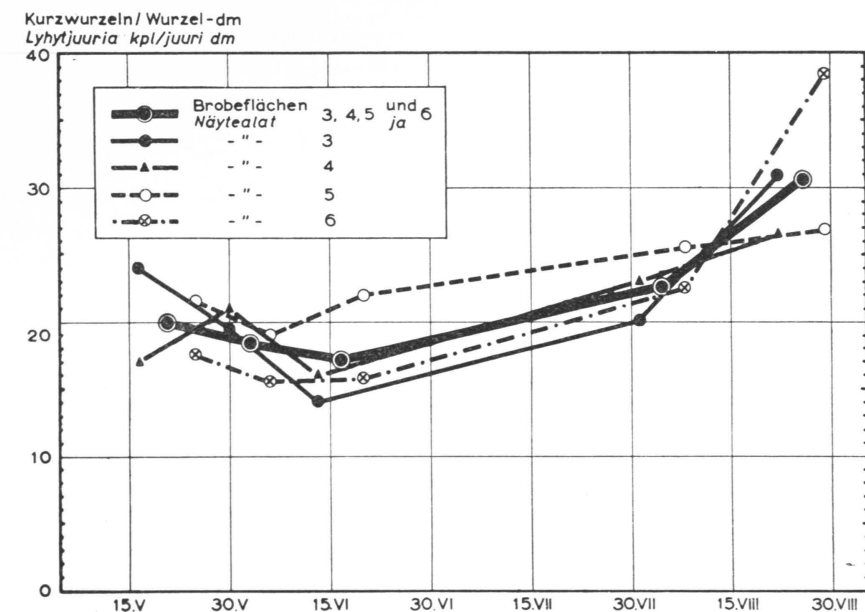


Abb. 8. Die Veränderungen im Dichtstand der Kurzwurzeln auf den Probeflächen 3–6 im Sommer 1953. — Kuva 8. Lyhytjuurten tiheyden (kpl/dm juurta) muutokset näytealoilla 3–6 kesällä 1953.

Prfl. 3–7 ausgeführt. Auch auf Prfl. 1 und 2 wurden Zählungen unternommen; weil aber dabei noch nicht das Mikroskop zur Hilfe herangezogen wurde, sind die Ergebnisse nicht einwandfrei mit den anderen vergleichbar.

Leider konnte diese umständliche und zeitraubende Arbeit nicht an sämtlichen Wurzelproben durchgeführt werden. Auf jeder Probefläche wurde jedoch danach getrachtet, so viele Serien zu untersuchen, dass sich dadurch ein wenigstens in seinen Hauptzügen richtiges Bild von den sich im Laufe der Vegetationsperiode unter den Kurzwurzeln abspielenden Veränderungen gewinnen liesse.

Abb. 8 zeigt die Ergebnisse von Prfl. 3–6 (siehe auch die Tabellenbeilagen VIII–XI). Das Material zerfällt gewissermassen in zwei Teile, die Proben des Vorsommers und die des Spätsommers. Es wäre natürlich sehr wünschenswert gewesen, Werte auch aus der Zwischenzeit zu erhalten, doch auch jetzt geben uns die Zahlen Hinweise auf die Veränderungen des Dichtstandes der Kurzwurzeln im Verlauf der Vegetationsperiode.

Wie man sieht, so zeigen alle Kurven ungefähr dieselbe Gestalt. Den ausgeprägtesten Zug bildet der herbstliche Anstieg, der also bedeutet,

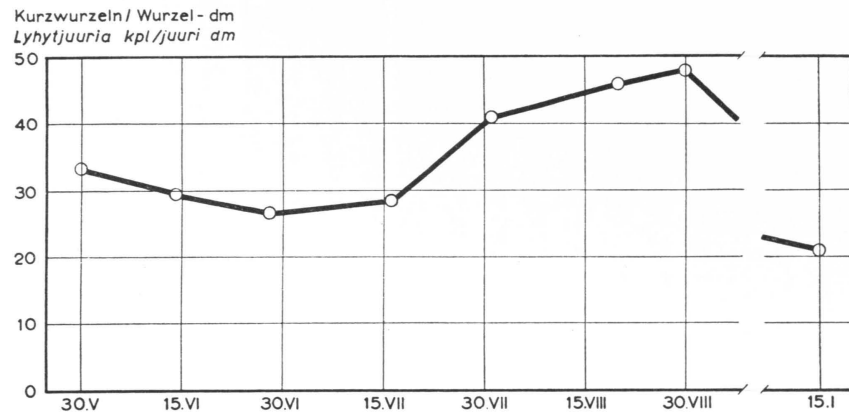


Abb. 9. Die Veränderungen im Dichtstand der Kurzwurzeln auf der Probefläche 7 im Sommer 1954 und im darauffolgenden Winter. — Kuva 9. Lyhytjuurten tiheyden (kpl/dm juuria) muutokset näytealalla 7 kesällä 1954 ja sitä seuraavana talvena.

dass der Dichtstand der Kurzwurzeln im Spätsommer zunimmt. Aus der für alle Probeflächen gemeinsamen Kurve ist gleichfalls zu ersehen, dass der Dichtstand der Kurzwurzeln im Verlauf des Vorsommers einigermaßen abnimmt. Dieser Befund braucht aber nicht statistisch belangvoll zu sein (vgl. S. 16).

Aus nachstehender Zusammenstellung, die die der Gesamtkurve in Abb. 8 entsprechenden Werte wiedergibt, ist dem Obigen gemäss zu ersehen, dass der Dichtstand der Kurzwurzeln vom Wert 20 im Beginn der Vegetationsperiode auf etwa 17 um die Junimitte gesunken ist. In der zweiten Augushälfte wiederum beträgt er fast das Doppelte vom erwähnten Juniwert.

Mitte Mai	Anfang Juni	Mitte Juni	Anfang August	Ende August
20.0	18.6	17.1	22.7	30.7

Auf Prfl. 7 wurde jede zweite Probenserie analysiert, und die Kurve in Abb. 9 spiegelt also die Veränderungen im Dichtstand der Kurzwurzeln auf dieser Probefläche im Sommer 1954 in Zeitabständen von zwei Wochen wider. Dazu ist in die Abbildung auch das Ergebnis der winterlichen Probenserie eingetragen. — Vgl. auch Tabellenbeilage XII.

Die Haupttendenz ist, wie man sieht, dieselbe wie auf Prfl. 3—6: der Dichtstand der Kurzwurzeln sinkt im Anfang des Sommers, im Spät-

sommer erfolgt wieder ein kräftiger Anstieg. Besonders verdient beachtet zu werden, dass der Dichtstand der Kurzwurzeln um die Monatswende Juli—August im Steigen begriffen ist, also zu gleicher Zeit, als die Wurzelmenge schroff sank (vgl. Abb. 3, S. 20). Diese zeitliche Übereinstimmung kann eine zufällige sein, ebensogut kann sie aber auch kausal bedingt sein. Auf diesen Umstand wird später (S. 36) noch zurückgekommen.

Im Winter scheint der Dichtstand der Kurzwurzeln wieder schroff zu sinken, es erweist sich also die schon früher im Schrifttum vorgebrachte Beobachtung, dass die Mykorrhizen das Gefrieren nicht ertragen, auch gemäss der vorliegenden Untersuchung anscheinend als richtig (KELLEY 1930). Der gefundene winterliche Dichtwert erscheint sehr klein. Da aber die Winterprobe auch in manch anderer Hinsicht schwierig deutbare Ergebnisse lieferte (vgl. S. 28), ist beim Beurteilen des Befundes auch jetzt gewisse Vorsicht geboten. Die abweichenden Verhältnisse bei der Probenentnahme und derlei Umstände haben leicht die Vergleichbarkeit der Winterproben mit den Probenserien des Sommers beeinträchtigen können.

Nachstehend sind die Veränderungen im Dichtstand der Kurzwurzeln auf Prfl. 7 in Zahlenwerten wiedergegeben.

Ende Mai	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte August	Ende August	Winter
33.5	29.4	26.8	28.4	41.0	46.0	48.2	21.1

Man beachte, dass sowohl jetzt wie im Falle des Vorjahres das Verhältnis zwischen dem herbstlichen Höchstwert und dem hochsommerlichen Mindestwert dasselbe ist. In beiden Sommern beläuft sich nämlich der Hochsommerwert auf etwa 56 % vom entsprechenden Herbstwert.

Das Obige zusammenfassend ist festzustellen, dass der Dichtstand der Kurzwurzeln in Kiefernbeständen auf Reisermoorboden im Laufe des Jahres nicht unbeachtlichen Veränderungen unterworfen ist. Im Beginn des Frühjahrs nimmt der Dichtstand der Kurzwurzeln wahrscheinlich zu, jedoch nicht sehr stark, und in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode ist noch eine abnehmende Tendenz vorherrschend. Im Spätsommer erfolgt sodann ein schroffer Anstieg, wonach die Werte auf ihr winterliches Minimum hinabsinken.

Diese Befunde decken sich durchaus mit denjenigen, die man in Ver-

bindung mit Untersuchungen über die Phänologie der Mykorrhizen im Schrifttum angeführt vorfindet. Allgemein wird festgestellt, dass die Kurzwurzeln vorwiegend im Herbst entstehen (vgl. LOBANOW 1947, 1949; KELLEY 1950, p. 81—84), und als Ursache wird gewöhnlich die reiche Herbstfeuchtigkeit angenommen (BURBIDGE 1936). Meine Befunde deuten

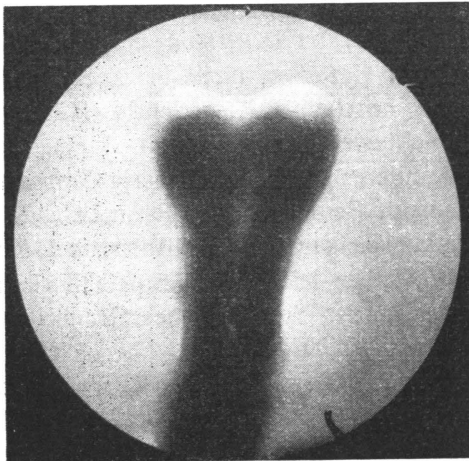


Abb. 10. Spät im Herbst erneut ins Wachstum eingetretene Kurzwurzeln aus einer Probe vom 15. I. 1955. — Kuva 10. Myöhään syksyllä kasvunsa uudelleen aloittaneita lyhytjuuria. Näyte otettu tammikuun 15 pnä 1955.

indessen darauf hin, dass die Gründe tiefer liegen. Hat es doch auf den untersuchten Probenflächen auch im Hochsommer keineswegs an Feuchtigkeit gefehlt, eher wohl im Gegenteil. Dagegen muss hier eine Beobachtung erwähnt werden, die LADEFOGED (1939) beim Untersuchen der Entstehung der Kurzwurzeln machte. Er stellte nämlich fest, dass, wenn das Wachstum der Langwurzeln aus diesem oder jenem Grunde eine Störung erfuhr oder die Wurzel abgeschnitten wurde, dies eine reichliche Neubildung von Kurzwurzeln zur Folge hatte. Es scheint nun, wie wenn die im vorliegenden Zusammenhang festgestellte Mengen-

abnahme der Langwurzeln und gleichzeitige Dichtezunahme der Kurzwurzeln geeignet wären, ihrerseits die Beobachtung des ebenerwähnten Autors zu stützen. Meine Beobachtungen deuten ferner darauf hin, dass im Herbst Neubildung von Kurzwurzeln bzw. ein Wiedereinsetzen ihres Wachstums tatsächlich allgemein stattfindet. Gerade an den Wurzeln der Spätherbst-, Winter- und ersten Frühlingproben wurden zahlreiche Kurzwurzeln angetroffen, die an ihrer Spitze einen hellen Tropfen trugen, ähnlich wie es Abb. 10 zeigt. Diese »Tropfen« sind nichts anderes als wieder zu wachsen begonnene Kurzwurzeln, deren Initialgewebe die Wurzelrinde und das umgebende Hyphengeflecht durchbrochen hat (vgl. MIKOLA 1948, p. 83; KELLEY 1950, p. 122). In den Hochsommerproben wurden solche Gebilde nie vorgefunden.

abnahme der Langwurzeln und gleichzeitige Dichtezunahme der Kurzwurzeln geeignet wären, ihrerseits die Beobachtung des ebenerwähnten Autors zu stützen. Meine Beobachtungen deuten ferner darauf hin, dass im Herbst Neubildung von Kurzwurzeln bzw. ein Wiedereinsetzen ihres Wachstums tatsächlich allgemein stattfindet. Gerade an den Wurzeln der Spätherbst-, Winter- und ersten Frühlingproben wurden zahlreiche Kurzwurzeln angetroffen, die an ihrer Spitze einen hellen Tropfen trugen, ähnlich wie es Abb. 10 zeigt. Diese »Tropfen« sind nichts anderes als wieder zu wachsen begonnene Kurzwurzeln, deren Initialgewebe die Wurzelrinde und das umgebende Hyphengeflecht durchbrochen hat (vgl. MIKOLA 1948, p. 83; KELLEY 1950, p. 122). In den Hochsommerproben wurden solche Gebilde nie vorgefunden.

Es möge in diesem Zusammenhang erwähnt werden, dass die von KALELA (1955) festgestellte Veränderung im Dichtstand der Wurzelspitzen im Laufe der Vegetationsperiode von der im vorhergehenden beschriebenen abwich, dass aber die Befunde von meinen Prfl. 7 und 2, als die Kurzwurzeln ohne Mikroskop gezählt wurden, wohl denen von KALELA gleichkommen. Die Veränderungen im Dichtstand der Wurzelspitzen erwiesen sich in diesen Untersuchungen denen der Längensumme der Wurzeln gleichgerichtet. Die einzige Erklärung zu diesem Widerspruch mag darin zu suchen sein, dass im Vor- und Hochsommer die Mykorrhizen leicht wahrnehmbar sind, im Herbst ist ihre Gestalt nicht mehr so auffallend üppig und hell, weshalb sie bei der okulären Zählung leicht übergangen werden können. Auch im Schrifttum finden sich Erwähnungen darüber, dass die Mykorrhizen im Hochsommer ihre höchste Entfaltung erreichen (LOBANOW 1947, 1949). Die okuläre Zählung kann uns demnach von der Intensität der Mykorrhizen ein richtigeres Bild geben, als es die mikroskopische Zählung je vermag, bei welcher ja auch ältere, möglicherweise schon beinahe oder sogar endgültig funktionslose Wurzelspitzen mitgezählt werden. MIKOLA und LAFOND z.B. (siehe MIKOLA 1953) fanden bei ihren Untersuchungen über die Aktivitätsdauer der Mykorrhizen, dass die Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxydabgabe bei den diesjährigen Mykorrhizen ziemlich doppelt so rasch wie bei den vorjährigen vor sich gehen. Sie nehmen weiter an, dass die bei den letzteren festzustellende Atmung vorwiegend von saprophytischen Pilzhyphen herrührt.

332. Anzahl

Neben dem Dichtstand der Kurzwurzeln verdient auch ihre Gesamtmenge an sich besonders erörtert zu werden. Nachstehend werden die Mengenveränderungen der Kurzwurzeln im Laufe der Vegetationsperiode einer Betrachtung unterzogen. Die Gesamtmenge hat sich aus den Zahlenwerten für den Dichtstand der Kurzwurzeln und den Längenzahlen der unter 1 mm dicken Wurzeln ergeben.

Tab. 6 zeigt die ermittelten Mengenbeträge der Kurzwurzeln (in Tausenden je 1 m²) zu verschiedenen Zeiten des Sommers auf Prfl. 3—6. Man sieht, dass die Veränderungen im Laufe des Sommers jedenfalls nicht sehr gross sind. Im Vorsommer hält sich die Menge der Kurzwurzeln ungefähr auf gleicher Höhe, dann tritt aber ein vorübergehender Fall ein, bis am Ende der Vegetationsperiode fast wieder der Wert des Vor-

Tabelle 6. Mengenveränderungen der Kurzwurzeln auf den Probeflächen 3—6 im Sommer 1953.

Taulukko 6. Lyhytjuurten lukumäärän muutokset näytealoilla 3—6 kesällä 1953.

	Vorsommer — <i>Keväthesä</i>				Spätsommer — <i>Syyskesä</i>		
	16. V, 20. V	30. V, 6. VI	13. VI, 20. VI	Durchschn. <i>Keski- määrin</i>	31. VII, 8. VIII	22. VIII, 29. VIII	Durchschn. <i>Keski- määrin</i>
	1000 Stück/m ² — 1000 kpl/m ²						
3	192.1	159.3	122.9	158.1	110.6	206.7	158.7
4	141.1	230.3	183.0	184.8	147.9	169.8	158.8
5	278.0	246.1	317.9	280.7	205.7	188.5	197.1
6	204.8	172.9	181.9	186.5	117.9	211.9	164.9
Im Mittel <i>Keskim.</i>	204.0	202.1	201.4	202.5	145.5	194.2	169.9

sommers erreicht wird. Durchschnittlich ist also die Menge der Kurzwurzeln im Vorsommer etwas grösser als im Spätsommer.

Die Zahlen der Tabelle sind folgendermassen zu deuten: Während die Gesamtwurzelmenge im Vorsommer etwas zu- (vgl. S. 19) und der Dichtstand der Kurzwurzeln entsprechend abgenommen hat (vgl. S. 33), ist die Menge der Kurzwurzeln unverändert geblieben. Die im Hochsommer eingetretene schroffe Abnahme der Gesamtwurzelmenge hat zunächst auch eine Mengenabnahme der Kurzwurzeln bewirkt, gegen Ende der Vegetationsperiode ist jedoch ihre Reichlichkeit wieder kräftig gestiegen und hat auf diese Weise dann allmählich ihren vorsommerlichen Stand erreicht.

Nachstehende Übersicht zeigt die entsprechenden Mengenbeträge der Kurzwurzeln in Sommer 1954 und im darauffolgenden Winter auf Prfl. 7.

30. V.	14. VI.	28. VI.	16. VII.	31. VII.	20. VIII.	30. VIII.	15. I.
520.3	451.6	434.2	437.4	537.9	563.0	533.1	232.3

Die Zahlen erlauben eine ähnliche Deutung wie vor, es scheinen aber daneben auch neue Züge hervorzutreten. Besonders wird man auf den Zeitpunkt aufmerksam, wo die Gesamtwurzelmenge ihren schroffen Fall aufweist, also Ende Juli. Die Mengenzunahme der Kurzwurzeln scheint zu jener Zeit so stark gewesen zu sein, dass ihre Gesamtanzahl sogar gestiegen ist. Trotzdem die Zahlen wegen der grossen Streuung sowohl der Gesamtwurzelzahlen als auch der den Dichtstand der Kurzwurzeln

angegebenen Werte als ziemlich unsicher zu betrachten sind, dürfte sich die Tatsache nicht abweisen lassen, dass auf Prfl. 7 die Menge der Kurzwurzeln im Spätsommer des Jahres 1954 ihren vorsommerlichen Wert sogar überstiegen hat.

In der Winterprobe beläuft sich die Menge der Kurzwurzeln auf fast nur die Hälfte ihres niedrigsten Wertes während der Vegetationsperiode. Dies rührt von den geringen Beträgen sowohl der Gesamtwurzelmenge als auch des Dichtstandes der Kurzwurzeln her. Die Grundursache dürfte indessen im Gefrieren des Bodens liegen, durch dessen Einwirkung die Gesamtwurzelmenge und insbesondere die Menge der Kurzwurzeln abgenommen haben (vgl. KELLEY 1930). Wie oben bei Rede vom winterlichen Dichtstand der Kurzwurzeln bereits bemerkt wurde, ist auch der die Menge der Kurzwurzeln im Winter angegebene Wert vielleicht zu klein.

Die Verschiedenheit der Ergebnisse für 1953 und 1954 äussert sich darin, dass die spätsommerliche Mengenzunahme der Kurzwurzeln im erstgenannten Sommer nicht ganz den durch die Verminderung der Gesamtwurzelmenge verursachten Verlust zu kompensieren vermochte, während dies im Sommer 1954 sogar im Übermass der Fall war. Wollen wir diesen Unterschied erklären, so werden wir auf den Weg der Vermutungen geleitet. Es kann auf die Verschiedenheit der Vegetationsperioden und die Verhältnisse des vorangehenden Sommers hingewiesen werden, ja es kann der Unterschied auch standörtlich bedingt sein. Die Mengenschwankungen der Kurzwurzeln während der Vegetationsperiode entspringen natürlich dem Zusammenspiel mehrerer Faktoren, und in verschiedenen Sommern wie auch an verschiedenen Standorten kann sich die Entwicklung nicht wenig ungleich gestalten.

Im Lichte der vorliegenden Untersuchung ergäbe sich also für die Mengenschwankungen der Kurzwurzeln im Laufe des Jahres ungefähr folgender Gang. Im Winter ist die Menge der Kurzwurzeln am kleinsten, steigt nach Einsetzender Vegetationsperiode rasch und sinkt dann wieder im Hochsommer, wenn sich die Gesamtwurzelmenge im Fallen befindet. Im Spätsommer nimmt die Menge der Kurzwurzeln abermals zu und kann dann wieder ihren vorsommerlichen Stand erreichen. Danach erfolgt ein Fall zum winterlichen Minimum.

333. Auftreten der Mykorrhizentypen

Wie man aus den Primärtabellen (Beilagen VII—XII) ersieht, ist die jährliche Entwicklung der Dichtewerte der verschiedenen Mykorrhizentypen auf den untersuchten Probestellen eine nicht wenig verschiedene gewesen. In betreff der einzelnen Probestellen muss indes das Material als unzulänglich betrachtet werden (vgl. S. 16); dies gilt zumal Prfl. 3—6,

Tabelle 7. Veränderungen im Dichtstand der Mykorrhizentypen durchschnittlich auf den Probestellen 3—6 im Sommer 1953.

Taulukko 7. Mykoritsatyypien tiheyslukujen muutokset keskimäärin näytealoilla 3—6 kesällä 1953.

	Vorsommer — Keväthesä				Spätsommer — Syyskesä		
	20. V	1. VI	17. VI	Durchschn. Keskim.	4. VIII	27. VIII	Durchschn. Keskim.
A + B	10.9	10.7	9.8	10.5	10.9	17.9	14.4
C	0.9	0.4	0.9	0.7	0.4	0.7	0.6
D	1.4	1.0	0.9	1.1	0.9	1.0	0.9
Pseudom. Kurzwarz.	6.8	6.5	5.5	6.3	10.5	11.1	10.8
Lyhytj.	20.0	18.6	17.1	18.6	22.7	36.7	26.7

und diese Probestellen werden darum auch zusammengeschlagen. Die Zahlenreihen der Prfl. 7 gründen sich dagegen auf ein umfassenderes Material und dürften daher eine getrennte Behandlung erlauben.

Tab. 7 zeigt die auf Prfl. 3—6 gefundenen mittleren Dichtewerte der Mykorrhizentypen zu verschiedenen Zeiten des Sommers 1953. Für die verschiedenen Typen ergibt sich ungefähr dasselbe Bild der sommerlichen Entwicklung. Bei den Typen C und D ist das Material zu klein, und es darf darum auf die mitgeteilten Zahlen kein allzu grosses Gewicht gelegt werden. Im Frühherbst (4. VIII.) finden wir allerdings ein insofern abweichendes Verhältnis, als dann der Dichtewert der Pseudomykorrhizen fast bis zum Maximum angestiegen ist, während sich die Werte für die übrigen Typen noch auf ihrer vorsommerlichen Höhe befinden. Wie man aber beim Betrachten der entsprechenden Werte für Prfl. 7 findet, ist diesem Umstand keine ernstlichere Bedeutung beizumessen.

Die Reichlichkeitsschwankungen der Mykorrhizentypen auf Prfl. 7 im Sommer 1954 sind in Abb. 11 wiedergegeben. Die Werte für die Typen C

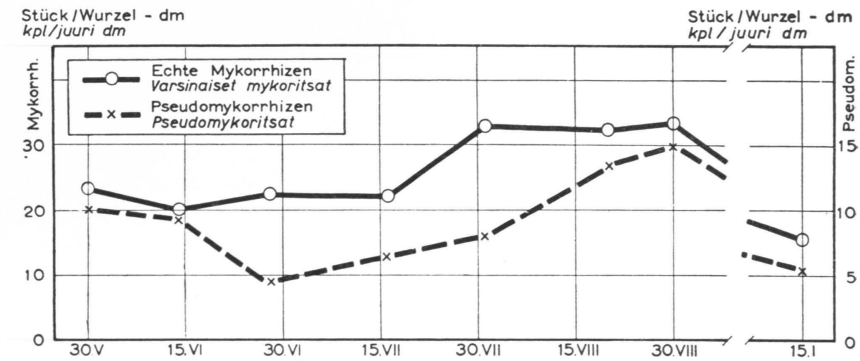


Abb. 11. Die Veränderungen im Dichtstand der echten Mykorrhizen und der Pseudomykorrhizen auf der Probestelle 7. — Kuva 11. Varsinaisten mykoritsojen ja pseudomykoritsojen tiheyslukujen muutokset näytealalla 7.

und D mussten wegen ihrer Kleinheit mit denjenigen der Typen A + B zu der gemeinsamen Gruppe der echten Mykorrhizen vereinigt werden. Wie man sieht, so ist in den Werten auch jetzt keine deutliche Richtung erkennbar, sofern nicht als eine solche der zunehmende Anteil der echten Mykorrhizen im Hochsommer angesprochen werden kann. Ermitteln wir nämlich den prozentischen Anteil der echten Mykorrhizen von der Gesamtmenge der Kurzwürzeln, so erhalten wir folgende Reihe.

30. V.	14. VI.	28. VI.	16. VII.	31. VII.	20. VIII.	30. VIII.	15. I.
70	68	84	78	80	71	69	74

Berechnen wir aber dieselben Anteile aus den Werten für das Jahr zuvor, so wirkt die Tendenz eher entgegengesetzt.

20. V.	1. VI.	17. VI.	4. VIII.	27. VIII.
66	65	68	54	64

Wir sind mithin zu der Feststellung genötigt, dass sich im Auftreten der Mykorrhizentypen im Verlauf des Jahres jedenfalls keine deutlichen Veränderungen abspielen, sondern es sind die im Dichtstand der verschiedenen Typen zuzuzählenden Mykorrhizen nachweisbaren Veränderungen unter sich gleichsinnig.

334. Veränderungen des Dichtstandes in den verschiedenen Tiefenschichten des Wurzelwerkes

Nachstehend untersuchen wir nun, wie der Dichtstand der Kurzwurzeln zeitlich in den verschiedenen Tiefenschichten der Wurzelsphäre variiert. Ähnlich wie früher werden alle Tiefenschichten von 5 cm abwärts als eine grosse Gruppe behandelt und der Oberflächenschicht von 0—5 cm gegenübergestellt, ebenso liegt die untere Grenze auf Prfl. 3—6 bei 20 cm und auf Prfl. 7 bei 25 cm. Die Werte für die untere Schicht haben sich

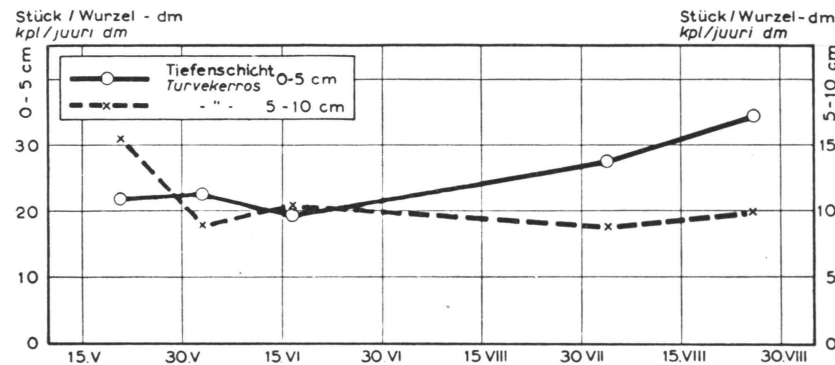


Abb. 12. Die Veränderungen im Dichtstand der Kurzwurzeln in den verschiedenen Tiefenschichten des Wurzelwerkes auf den Probestellen 3—6 im Sommer 1953. — Kuva 12. Lyhytjuurten tiheyslukujen muutokset juuriston eri kerroksissa näytealoilla 3—6 kesällä 1953.

ebenfalls wie früher in einschlägigen Fällen durch Berechnen der mittleren Dichtewerte für jede Teilschicht zu 5 cm, gewogen durch die Längensumme der unter 1 mm dicken Wurzeln in jeder solchen Schicht, ergeben.

In Abb. 12 zunächst die Verhältnisse auf Prfl. 3—6. Der Verlauf der Kurven lässt schliessen, dass in der Oberflächenschicht der Dichtstand der Kurzwurzeln einer schroffen Schwankung unterliegt, indem der Herbstwert fast das Doppelte des Hochsommerwertes beträgt. In der unteren Schicht ist die Entwicklung eine andere. Abgesehen vom Maiwert, der bedeutend über den anderen liegt, sind die Veränderungen im Laufe des Sommers gering, statistisch kaum bedeutend (vgl. S. 16). Auch die Verlässlichkeit des eben erwähnten hohen Maiwertes erscheint unsicher.

Abb. 13 zeigt dieselben Verhältnisse auf Prfl. 7. Auch jetzt ist die Allgemeinrichtung dieselbe. In der Oberflächenschicht steigt der Dichtstand der Kurzwurzeln im Spätsommer schroff an, in der unteren Schicht

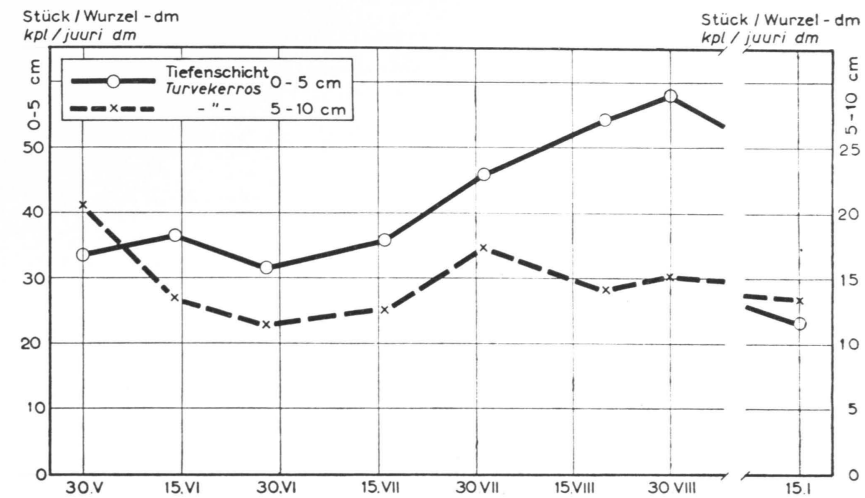


Abb. 13. Die Veränderungen im Dichtstand der Kurzwurzeln in den verschiedenen Tiefenschichten des Wurzelwerkes auf der Probestelle 7 im Sommer 1954 und im darauffolgenden Winter. — Kuva 13. Lyhytjuurten tiheyslukujen muutokset juuriston eri kerroksissa näytealalla 7 kesällä 1954 ja sitä seuraavana talvena.

bleibt er in grossen Zügen unverändert. Der Anfang August festgestellte vorübergehende Anstieg dürfte kaum bedeutend sein. Die Winterwerte erlauben keine einwandfreie Nebeneinanderstellung, weil die Tiefenschichten nicht dieselben wie im Sommer waren. Sie dürften indes auf das auch ohnehin selbstklar erscheinende Faktum hindeuten, dass in der Oberflächenschicht der Dichtstand der Kurzwurzeln wieder in grossen Zügen auf seinen vorsommerlichen Stand hinabsinkt, während er in der unteren Schicht keinen Veränderungen unterläuft.

Die Ergebnisse beider Sommer scheinen demnach einander zu stützen, und mit ziemlich grosser Gewissheit kann gesagt werden, dass sich die Veränderungen im Dichtstand der Kurzwurzeln in Kiefernbeständen auf Reisermoorboden hauptsächlich in den oberen Wurzelschichten abspielen, in grösserer Tiefe sind die Schwankungen weit geringfügiger und haben bei der vorliegenden Untersuchung keine sichere Tendenz zu erkennen gegeben.

Dieses Resultat erscheint natürlich, ist es doch klar, dass sich die Lebensvorgänge auch überhaupt vorwiegend auf die Oberflächenschicht des Torfes konzentrieren. Der verschiedene Dichtstand der Kurzwurzeln

an der Oberfläche und in grösserer Tiefe bildet dafür seinerseits einen Beweis. Der Umstand, dass die Veränderungen der Gesamtwurzelmenge in den tieferen Schichten relativ grösser als an der Oberfläche gefunden wurden, braucht nicht mit dem obigen Befund im Widerspruch zu stehen.

34. Pilzhyphen der toten Wurzeln

Die Pilzhyphen der toten Wurzeln fallen eigentlich schon ausserhalb des Rahmens der vorliegenden Untersuchung. Weil sich aber in dieser Hinsicht interessante Beobachtungen ergaben, denen überdies beim Erwägen der Kausalzusammenhänge der Wurzelphänologie eine gewisse Bedeutung zukommen dürfte, ist es angebracht erschienen, sie hier mitzuteilen.

Wie eingangs (S. 10) bereits erwähnt wurde, wurden die Proben zuerst mit einem Wasserstrahl gespült. Dabei schien es zweckmässig zu untersuchen, wieviel bei dieser allerdings vorsichtigen Bspülung Wurzeln und insbesondere Kurzwurzeln losgerissen oder besser losgelöst wurden. Bei den Langwurzeln waren die Mengen so gering, dass sie bei der Ermittlung der Längensumme der Wurzeln übergangen werden konnten. Bei den Kurzwurzeln war das Resultat dagegen überraschend.

Nachstehende Übersicht zeigt die Mengen der in einigen diesbezüglichen Versuchen beim Bspülen der Proben losgelösten Kurzwurzeln in Tausenden je 1 m² in verschiedenen Tiefenschichten auf Prfl. 3—6 im Sommer 1953.

Prfl. 3	0— 5 cm	13. VI.	568
4	0— 5	16. V.	570
5	0— 5	25. V.	833
5	0— 5	6. VI.	668
6	0— 5	25. V.	550
5	5—10	6. VI.	373
6	5—10	6. VI.	107
4	10—15	16. V.	64
4	15—20	16. VI.	44
5	15—20	6. VI.	17

Dies sind nur einige Beispiele von den Bspülungsversuchen, die das gesamte Material des Sommers 1953 umfassten. Die Ergebnisse sind durchgehends gleichlautend. Schon bald im Beginn der Versuche wurde es klar, dass es sich nicht um eine Loslösung lebender Kurzwurzeln handeln

konnte. Bei oberflächlicher Betrachtung selbst noch mit dem Mikroskop hatte es wohl den Anschein, aber bei näherer Präparation mit Schnittmesser und Nadel stellte es sich heraus, dass man es nur mit einer aus Hyphengeflecht gebildeten täuschend lebendigen Scheide zu tun hatte, deren Inneres aus mehr oder minder morscher Holzsubstanz bestand. Der Befund wurde später noch auf die Weise bestätigt, dass der Torfprobe mit der Pinzette kleine Stücke an einer Stelle entnommen wurden, wo von Wurzeln nicht die Spur zu sehen war. Auch an solchen Stellen konnten recht reichliche Mengen lebend aussehende Mykorrhizen festgestellt werden. Solche sind anbei in Abb. 14 abgebildet.

Besondere Beachtung verdient die Grösse der oben mitgeteilten Zahlenwerte. Belaufen sich doch diese sogar auf das Vielfache der an den Wurzeln festsitzenden Kurzwurzeln (vgl. S. 38).

Die Erklärung des relativen Befundes dürfte einfach die folgende sein. Wenn die Wurzel oder die Wurzelspitze stirbt, so kann die die Wurzelspitze umgebende Hyphenscheide noch weiterhin am Leben bleiben oder unterscheidet sich jedenfalls äusserlich nicht von einer lebenden. Wie lange sich eine solche Hyphenscheide unversehrt zu erhalten vermag, ist anhand des vorliegenden Materials natürlich schwierig zu ermitteln, allem Anschein nach muss aber hierbei von Jahren gesprochen werden.

An und für sich ist jenes Überleben der Pilzhyphen nichts Neues, und im Schrifttum findet man diesbezügliche Erwähnungen reichlich vor. Es ist allgemein bekannt, dass die mykorrhizenbildenden Pilzhyphen lang-
 lebiger sind, dagegen gelten die Mykorrhizen selbst als Gebilde von kurzer Lebensdauer (z.B. BURBIDGE 1936; LADEFOGED 1939; RAUTAVAARA 1947). Ebenfalls ist festgestellt worden, dass die Mykorrhizen Pilzhyphen in

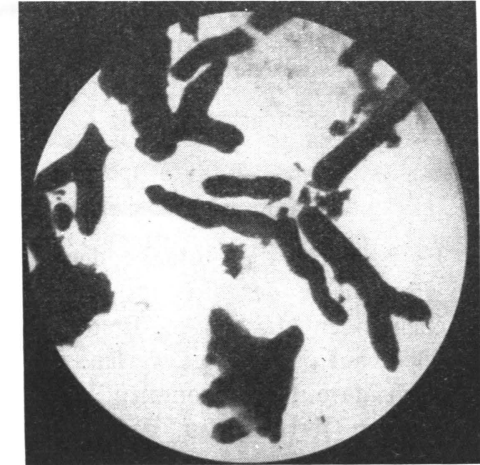


Abb. 14. Nach Absterben der Kurzwurzel nachgebliebene Mykorrhizenscheiden aus einer Probe vom 15. I. 1955 von der Probefläche 7. — Kuva 14. Lyhytjuurten kuoltua jäljelle jääneitä mykoritsatuppia näytteessä 15. I. — 55 näytealalta 7.

den umgebenden Boden entsenden (LOBANOW 1949) und durch deren Vermittlung wahrscheinlich miteinander in Verbindung stehen. Alles dies spricht dafür, dass die Pilzscheide der Mykorrhiza die Kurzwurzel tatsächlich überlebt. Als ein klarer Beweis dafür dürfte das schon früher referierte Ergebnis angesehen werden können, zu dem MIKOLA und LAFOND (MIKOLA 1953) beim Untersuchen der Lebensfunktionen verschieden alter Mykorrhizen kamen. Dazu hat MIKOLA (1948, p. 75) auch an mikroskopischen Schnitten feststellen können, dass nach Absterben des Wurzelgewebes sich die umgebende Pilzhyphe gelegentlich auch weiterhin am Leben erhalten hat.

35. Mykorrhizen und Phänologie des Wurzelwerkes

Es ist nicht die Aufgabe der vorliegenden Untersuchung gewesen, die Physiologie der sich im Wurzelwerk abspielenden phänologischen Erscheinungen klarzulegen. Erst experimentelle Untersuchungen können ein Licht auf diese Frage werfen. Es ist im vorliegenden Zusammenhang lediglich darauf angekommen, die äusseren Umrisse derjenigen Veränderungen festzustellen, denen das Wurzelwerk in Kiefernbeständen auf Reisermoorboden unterworfen ist. Die dabei gemachten Befunde locken indes zu gewissen Schlussfolgerungen, die auch die physiologische Seite der Sache tangieren.

Als bemerkenswertester Zug in der Wurzelperiodizität ergibt sich die Grösse und Geschwindigkeit der Veränderungen. Konnte doch die Gesamtmenge der Wurzeln in der Zeit von nur ein paar Wochen nahezu um die Hälfte, oder fast um 600 m/m^2 , herabgehen. Wie ist dies zu erklären? Der Schwund muss überdies ein recht gründlicher gewesen sein, denn die Spätsommerproben enthielten keineswegs auffallend reichlich tote Wurzeln, es müssen also die Wurzeln schon in kurzer Zeit spurlos verschwunden sein. Weiter wurde beobachtet, dass die Hochsommerproben reich an zerfallenden Wurzeln waren. Leider kam man im Laufe der Arbeit nicht auf den Gedanken, jenes Wurzelmaterial näher zu untersuchen; diese Aufgabe muss künftigen Untersuchungen überlassen bleiben.

Alle Anzeichen deuten indessen darauf hin, dass die sommerliche Abnahme der Wurzelmenge, wenn nicht gerade allein, so doch zu einem sehr bedeutenden Teil durch einen ausserhalb der Pflanze selbst wirkenden Faktor verursacht sein muss. In erster Linie fällt dabei der Gedanke auf die Pilze, und zwar vor allem auf die mykorrhizenbildenden Pilze. Es ist eigentlich in diesem Zusammenhang gar nicht richtig, von einem äusseren

Faktor zu sprechen, bildet doch der Pilz zusammen mit der Wurzelspitze ein organisches Ganzes.

Die Annahme, dass die schroffe Abnahme der Wurzelmenge im Hochsommer entweder ganz oder zum Teil durch Pilze bewirkt ist, fände eine gewisse Stütze durch die oben schon erörterte Beobachtung, dass die Hyphenscheiden anscheinend auch noch nach dem Absterben der Wurzel ihre Lebensfunktionen fortsetzen, sowie dass man im Inneren einer solchen Scheide oft zerfallene Reste der Wurzelspitze vorfindet. Es käme nun merkwürdig vor, wenn das Hyphengeflecht der Mykorrhiza auch nach dem Absterben der Wurzelspitze am Leben bliebe, sofern dies nicht in dieser oder jener Weise der gesamten Hyphenmasse im Boden dienlich wäre. Unsere Annahme leitet also dahin, dass der Mykorrhizenpilz in dieser Phase der Wurzelveränderungen ein parasitisches Leben führt.

Dies ist ja im Grunde genommen eigentlich nichts Neues. Schon MELIN (1927) stellte fest, dass schwach entwickelte Pflanzen durch den Mykorrhizenpilz geradezu beeinträchtigt werden können. Ebenso haben mehrere andere Forscher gefunden, dass der Mykorrhizenpilz unter gewissen Bedingungen zum Parasiten werden kann (BURGES 1936; GÄUMANN 1946; MIKOLA 1948). Ja, es kann ein anfänglich symbiotisch auftretender Mykorrhizenpilz sich später geradezu in einen Fäuleerreger verwandeln (GOSSELIN 1944).

Berücksichtigt man ferner, dass die sommerliche Abnahme der Wurzelmenge wenigstens allgemein betrachtet vor der Fruchtkörperbildung des Pilzes eintritt, die, wie u.a. ROMMEL (1939) gezeigt hat, mit einem überaus grossen Energieverbrauch verbunden ist, so erscheint es natürlich, dass zur Erfüllung des Energiebedarfs des Pilzes zu jener Zeit die blosser Symbiose lange nicht ausreicht, insbesondere da der eine Beteiligte, der Baum, dabei am Ende einer Periode intensiven Wachstums seinen ganzen Energievorrat in den Dienst seiner Lebensfunktionen mobilisiert hat.

Neben den Mykorrhizenpilzen können natürlich auch andere Faktoren in Betracht kommen. Ein solcher Faktor kann z.B. die in erster Linie in der Rhizosphäre der Pflanzen tätige Bakterienflora sein (GYLLENBERG, HANIOJA & VARTIOVAARA 1954). Es erscheint wahrscheinlich, dass diese Bakterien sich zur Hauptsache an den Wurzelsekreten der Pflanzen oder aus zerfallenden pflanzlichen Geweben frei werdenden Stoffen ernähren (op.c.).

Als ein Gegengewicht zu den obigen, in erster Linie als Arbeitshypothese aufzufassenden Gedanken muss die von LADEFOGED (1939) gegebene Erklärung für das von ihm zumal auf Torfböden beobachtete Absterben

der Wurzelspitzen erwähnt werden, das laut ihm besonders im Hochsommer allgemein zu beobachten war. Als primäre Ursache betrachtet der Autor dabei den Sauerstoffmangel, den er wiederum durch die intensive sauerstoffzehrende Mikroorganismen- und Wurzeltätigkeit des Vorsommers erklärt. Im Spätsommer wird das Sauerstoffdefizit wieder ausgeglichen, weil die Lebensfunktionen dann schon infolge der sinkenden Temperatur allmählich nachlassen. Diese Deutung lässt sich ungezwungen auch auf die in vorliegender Untersuchung festgestellte hochsommerliche Abnahme der Wurzelmenge übertragen, das spurlose Verschwinden jener grossen Mengen toter Wurzeln findet aber durch diese Theorie nicht ihre Erklärung.

4. Zusammenfassung

Es wurden die sich im Wurzelwerk von Kiefernbeständen auf Reiser-moorboden im Laufe des Jahres abspielenden phänologischen Veränderungen aus bestimmtgrossen Proben untersucht, die zu verschiedenen Zeiten des Sommers und in einem Falle auch im Winter auf den für die Untersuchung gewählten Probeflächen dem Wurzelboden entnommen wurden. Die Ermittlungen führten zu folgenden Befunden.

Die Gesamtmenge der Wurzeln, d.h. ihre Längensumme verändert sich, im Laufe des Sommers. Die Veränderungen waren erstaunlich gross und vollzogen sich innerhalb einer relativ kurzen Zeit. Im frühen Frühjahr, schon ehe die oberirdischen Teile des Baumes ihr Wachstum begannen, setzte das Wachstum der Wurzeln ein und erreichte schon in der ersten Hälfte des Juni seinen maximalen Betrag. Schon im Hochsommer trat aber wieder ein schroffer Fall ein. Im weiteren Verlauf des Sommers und Herbstes nahm sodann die Wurzelmenge fortgesetzt, aber langsamer ab und war im Winter am geringsten. Die Wurzelmenge des Spätsommers hat sich in den untersuchten Fällen auf etwa 50—70 % vom entsprechenden Wert des Vorsommers belaufen.

In den meisten untersuchten Fällen erfolgte die Abnahme der Wurzelmenge schon beim Übergang zum Juli, doch konnte dies auch erst in der späteren Hälfte des letztgenannten Monats geschehen. Worauf dieser Unterschied beruht, konnte nicht endgültig ermittelt werden. Er kann standörtlich, vielleicht wohl auch durch die Verschiedenheit der Vegetationsperioden bedingt sein.

Die Veränderungen der Wurzelmenge äusserten sich am kräftigsten bei den dünnen Wurzeln, und zwar waren sie um so grösser, um je feinere Wurzeln es sich handelte. Die Menge der dicksten Wurzeln verblieb dagegen in grossen Zügen konstant; doch liessen sich selbst noch bei den 2—5 mm dicken Wurzeln offenbare Mengenveränderungen nachweisen.

Aus diesen Befunden konnte geschlossen werden, dass sich die Erneuerung des Wurzelwerkes mit recht grosser Geschwindigkeit vollzieht.

Es konnte berechnet werden, dass sich die unter 1 mm dicken Wurzeln zumindest jedes dritte, die 1—2 mm dicken jedes fünfte und selbst noch die 2—5 mm dicken Wurzeln jedes zehnte Jahr erneuern.

Die Veränderungen der Wurzelmenge waren in den tieferen Schichten des Wurzelbodens kräftiger als näher der Oberfläche. Die Unterschiede waren indessen nicht besonders gross.

In grossen Zügen betrachtet schienen die Veränderungen der Wurzelmenge parallel mit der Wachstumsperiode des Baumes zu verlaufen. Das Wachstum der Wurzeln setzte zwar früher als das der oberirdischen Teile des Baumes ein, aber die Abnahme der Wurzelmenge fiel ungefähr mit dem Zeitpunkt zusammen, als der Baum die Phase seines intensivsten jährlichen Wachstums passiert hatte.

Die Veränderungen der Kurzwurzeln wichen ganz wesentlich von denjenigen der Langwurzeln ab, ja, sie waren in vielen Beziehungen diesen geradezu entgegengesetzt. Ihr Dichtstand, d. i. ihre Anzahl je Längeneinheit der Langwurzel, war im Frühjahr verhältnismässig gering und schien im Verlauf des Vorsommers noch weiterhin sachte abzunehmen. Im Hochsommer begann er jedoch wieder zu wachsen und erreichte seinen Höchstwert im Spätsommer. Im Winter sank der Dichtstand der Kurzwurzeln auf denselben Wert zurück, den er im Beginn der Vegetationsperiode aufgewiesen hatte.

Der exakte Zeitpunkt der sommerlichen Dichtezunahme der Kurzwurzeln liess sich im vorliegenden Zusammenhang nicht ermitteln, aber in dem einen Fall, wo die diesbezüglichen Veränderungen den ganzen Sommer hindurch verfolgt werden konnten, erfolgte die Zunahme gleichzeitig mit der Verminderung der Gesamtwurzelmenge.

Die Dichteveränderungen der Kurzwurzeln waren relativ noch grösser als die der Gesamtmenge der Langwurzeln. Der Dichtstand der Kurzwurzeln im Sommer belief sich auf nur etwa 50—60 % vom entsprechenden Wert im Spätsommer.

Die Veränderungen im Dichtstand der Kurzwurzeln schienen sich zur Hauptsache auf die oberen Wurzelschichten zu konzentrieren. In den tieferen Schichten waren sie wahrscheinlich bedeutend geringer.

Die wirkliche Anzahl der Kurzwurzeln, die von ihrem Dichtstand und von der Länge der Langwurzeln abhängig ist, war im Winter am geringsten und stieg im Frühjahr beim Zunehmen der Wurzelmenge. Bei der Abnahme der Gesamtwurzelmenge im Hochsommer schien sich zunächst auch die Menge der Kurzwurzeln zu vermindern, stieg aber dann mit dem zunehmenden Dichtstand wieder an und erreichte schliesslich sogar ihren

frühsommerlichen Stand. Beim Eintritt des Winters sank die Menge der Kurzwurzeln abermals.

Die gegenseitigen Mengenverhältnisse der Mykorrhizentypen scheinen im Laufe des Jahres keinen grösseren Veränderungen unterworfen zu sein. Der Dichtstand sowohl der echten Mykorrhizen als auch der Pseudomykorrhizen schien sich gleichsinnig zu verändern.

Ein Vergleich der Wurzelveränderungen, vor allem der Entwicklung der Längensummen, mit den Niederschlags- und Grundwasserverhältnissen ergab, dass dieser auf Torfböden im allgemeinen als der wichtigste angesprochene Wachstumsfaktor nicht jene Veränderungen verursachen konnte. Die Grundursachen der Wurzelphänologie liegen tiefer. Die Phänologie des Wurzelwerkes bildet ein Glied im allgemeinen Lebensrhythmus des Baumes. Wohl aber beeinflussen die Wachstumsbedingungen den Zeitpunkt und die Grösse der sich im Wurzelwerk der Bäume im Laufe des Jahres abspielenden Veränderungen.

Auf eine Klärung der Physiologie der Wurzelveränderungen wurde im vorliegenden Zusammenhang verzichtet, die durchgeführte Synthese der Ergebnisse lieferte aber Hinweise, die in dieser Hinsicht von Belang sind.

Literaturverzeichnis

- AALTONEN, V. T., 1920. Über die Ausbreitung und den Reichtum der Baumwurzeln in den Heidewäldern Lapplands. — *Acta Forest. Fenn.* 14: 1.
- BERGMAN, FRITZ, 1954. Om aspens horisontala rotsystem och mykorrhiza på Oxalis-Myrtillus-typ. Manuskript im Institut für Waldbau der Universität Helsinki.
- BJÖRKMAN, ERIK, 1940. Om mykorrhizans utbildning hos tall- och granplantor, odlade i näringsrika jordar vid olika kvävetillförsel och ljusstillgång. Summary: Mycorrhiza in pine and spruce seedlings grown under varied radiation intensities in rich soils with or without nitrate added. — *Medd. fr. Statens Skogsförsöksanst.* 32, 23—74.
- 1941. Mykorrhizans utbildning och frekvens hos skogsträd på askgödslande och ögödslande delar av dikad myr. Referat: Die Ausbildung und Frequenz der Mykorrhiza in mit Asche gedüngten Teilen von entwässertem Moor. — *Ibid.* 32, 255—296.
- 1942. Über die Bedingungen der Mykorrhizabildung bei Kiefer und Fichte. — *Symb. Bot. Upsal.* 6: 2.
- BOMAN, A., 1927. Tutkimuksia männyn paksuuskasvun monivuotisista vaihteluista. Referat: Über vieljährige Schwankungen im Dickenwachstum der Kiefer (*Pinus silvestris*). — *Acta Forest. Fenn.* 32: 4.
- BURBIDGE, NANCY T., 1936. Root development in *Pinus pinaster* and the seasonal variation of its mycorrhizae. — *Austr. Forestry* 1, 33—40.
- BURGES, A., 1936. On the significance of mycorrhiza. — *The New Phytol.* 35, 117—131.
- EKLUND, B., 1944. Ett försök att numeriskt fastställa klimatets inflytande på tallens och granens radietillväxt vid de båda finska riksskogstaxeringarna. — *Norrl. Skogsvårdsfören. Tidskr.*
- GOSSELIN, ROGAR, 1944. Studies on *Polystictus circinatus* and its relation to the buttrot of spruce. — *Farlowia* 1, 525—568.
- GYLLENBERG, HELGE, PAULI HANIOJA ja UNTO VARTIOVAARA, 1954. Havaintoja eräiden viljelemättömien maatyypin mikrobiston koostumuksesta. Summary: Observation on the composition of the microbial population in some virgin soils. — *Acta Forest. Fenn.* 62: 2.
- GÄUMANN, E., 1946. Pflanzliche Infektionslehre. — 611 pp. Basel.
- HATCH, A. B., 1937. The physical basis of mycotrophy in *Pinus*. — *Black Rock Forest, Bull.* 6.
- HEIKURAINEN, LEO, 1955. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzelbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung. — *Acta Forest. Fenn.* 65: 3.
- KALELA, ERKKI K., 1946. Rämemännikön uudistamisen perusteista. — *Metsätal. Aikakausl.* 1946, 5—11.
- 1949. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista. I. Summary: On the horizontal roots in pine and spruce stand. I. — *Acta Forest. Fenn.* 57: 2.
- 1954. Mäntysiemenpuiden ja -puustojen juurisuhteista. Referat: Über die Wurzelverhältnisse der Kiefersamenbäume und -baumbestände. — *Ibid.* 61: 28.
- 1955. Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände im Laufe der Vegetationsperiode. — *Ibid.* 65: 1.
- KELLEY, A. P., 1930. Mycorrhiza studies. II. The duration of certain pine mycorrhizae. — *Journ. Forest.* 28, 849—852.
- 1950. Mycotrophy in Plants. — A new series of plant science books, XXII, 223 pp. Waltham.
- KOKKONEN, P., 1923. Beobachtungen über das Wurzelsystem der Kiefer in Moorböden. — *Acta Forest. Fenn.* 25: 11.
- LADEFOGED, KJELD, 1939. Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichsten Waldbäume. — 222 pp. Kopenhagen.
- 1952. The periodicity of wood formation. — *K. danske vidensk. selsk. skrifter*, 7: 3.
- LAITAKARI, ERKKI, 1920. Tutkimuksia sääsuhteiden vaikutuksesta männyn pituus- ja paksuuskasvuun. Referat: Untersuchungen über die Einwirkung der Witterungsverhältnisse auf den Länge- und Dickenwachstum der Kiefer. — *Acta Forest. Fenn.* 17: 1.
- 1927. Männyn juuristo, morfologinen tutkimus. Summary: The root system of pine (*Pinus silvestris*), a morphological investigation. — *Ibid.* 33: 1.
- LOBANOW, N., 1947. Mikoriza lesnych rastenij. (Die Mykorrhiza der Waldpflanzen.) — *Mitteilungen des Brjansker Forstinstitutes 1947.* (Zit. nach dem Internationalen Forstwirtschaftsbericht.)
- 1949. Mikotrofnyj tip pitania lesnych derewjew. (Der mykotrophe Typ der Ernährung der Waldbäume.) — *Lesnoe chosjaistwo 1949:* 1. (Zit. nach dem Internationalen Forstwirtschaftsbericht.)
- MELIN, E., 1917. Studier över de norrländska myrmarkernas vegetation. — *Norrländskt Handbibliotek* 7, 426 pp. Uppsala — Stockholm.
- 1925. Untersuchungen über die Bedeutung der Baummykorrhiza. Eine ökologisch-physiologische Studie. — 152 pp. Jena.
- 1927. Studier över barrträdsplantans utveckling i råhumus. II. Mykorrhizans utbildning hos tallplantan i olika råhumusformer. Referat: Studien über die Entwicklung der Nadelbaumpflanze in Rohhumus. II. Die Ausbildung der Mykorrhiza bei der Kiefernpflanze in verschiedenen Rohhumusformen. — *Medd. fr. Statens Skogsförsöksanst.* 23, 433—494.
- MIKOLA, PEITSA, 1948. On the physiology and ecology of *Cenococcum graniforme*, especially as a mycorrhizal fungus of birch. — *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 36: 3.
- 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations on tree growth and their significance to growth studies. — *Ibid.* 38: 5.
- 1953. Mykoritsain merkitys puiden ravinnonotossa. — *Luonnon tutkija* 57.
- 1954. Metsämaan kantasiemien kyvystä hajoittaa neulas- ja lehtikarikkeita.

- Summary: Experiments in the ability of forest soil Basidiomycetes to decompose litter material. — *Comm. Inst. Forest Fenn.* 42: 7.
- MULTAMÄKI, S. E., 1923. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden metsänkasvusta. Referat: Untersuchungen über das Waldwachstum entwässerter Torfböden. — *Acta Forest. Fenn.* 27: 1.
- POLANSKY, B., 1936. Menge und Lagerung der Baumwurzeln im Waldboden. — IV. Kongress des Int. Verb. Forstl. Forschungsanst. Ungarn 1936.
- RAUTAVAARA, TOIVO, 1947. Suomen sienisato, tutkimuksia sen laadusta, suuruudesta, käytöstä ja arvosta. Summary: Studies on the mushroom crop in Finland and its utilization. — 534 pp. Porvoo—Helsinki.
- ROMELL, LARS-GUNNAR, 1939. Barrskogens marksvampar och deras roll i skogens liv. Summary: Soil fungi of softwood forests and their role in the forests life. — *Svenska Skogsvårdfören. Tidskr.*, 37, 348—375.
- ROZE, E., 1937. Priežu un egļu stādū dzinumsakņu garuma pieaugšanas gaita. Referat: Der Gang des Längenzuwachses der Kiefern- und Fichtentriebwurzeln. — *Latvijas Mežu Petisanas Stacijas Raksti*, VII.
- SIRÉN, GUSTAF, 1950. Alikasvoskuusten biologiaa. Summary: On the biology of undergrown spruce. — *Acta Forest. Fenn.* 58: 2.
- Suomen kartasto (Atlas von Finnland) 1925. Suomen Maantieteellinen Seura, Helsinki.
- YLI-VAKKURI, PAAVO, 1953. Tutkimuksia puiden välisistä elimellisistä juuriyhteyksistä männiköissä. Referat: Untersuchungen über organische Wurzelverbindungen zwischen Bäumen in Kiefernbeständen. — *Acta Forest. Fenn.* 60: 3.

SELOSTUS:

Rämemännikön juuriston vuodenajoittaisista muutoksista

Johdanto

Julkaisu käsittelee rämemännikön juuriston vuodenajoittaisia muutoksia. Vastavaan tutkimukseen, joka koskee kivennäismaiden männiköitä, on jo aikaisemmin tehnyt KALELA (1955). Hänen kehoituksestaan on tähän työhön ryhdytty. Sekä mainitun tutkimuksen että nyt käsillä olevan tavoitteet ovat siis samantapaiset, ja koska kasvu-olustat, joilla ilmiöitä tarkastellaan, ovat ratkaisevasti erilaiset, saavat tutkimukset yhdessä laajemman taustan, varsinkin kun niiden tulokset osoittautuivat useissa kohdin pääpiirteittäin samanlaisiksi.

Juuriston vuodenajoittaisia muutoksia ei ole aikaisemmin tutkittu koko puustoa koskevana selvittelyinä. Sen sijaan on kyllä yksityisten juurten ja juurenkärkien sekä mykoritsojen fenologiaa käsitteleviä tutkimuksia tehty jo kohta vuosisadan ajan (MELIN 1927, KELLEY 1930, BURBIDGE 1936, LADEFOGED 1939, LOBANOW 1947). Näissä tutkimuksissa on selvitetty juurten kasvun periodeja, mykoritsojen ikää jne., mutta koko metsikön juuriston muutoksia ne eivät ole pyrkineetkään selvittämään.

Aineisto

Tutkimus on aloitettu v. 1952 ja sitä on jatkettu seuraavina kahtena kesänä sekä talvella 1955. Näytteiden otto ja niiden käsittely esitetään yksityiskohtaisesti toisessa yhteydessä (HEIKURAINEN 1955, s. 14—20). Pyrkimyksenä on ollut edustavan näytteen avulla selvittää aika-ajoin juuriston kokonaismäärä vuoden mittaan, sen rakenne, lyhytjuurten lukumäärä ja jakaantuminen sekä erilaisten mykoritsojen suhteet. Aineisto on kerätty kesäisin. Vain yksi näyte-erä on otettu talvella.

Tutkimus käsittää yhteensä 7 näytealaa, jotka kaikki sijaitsevat Korkeakosken hoitoalueen piirissä, ja ovat ojitettuja isovarpuisia rämeitä tai isovarpuisia niittyvillärämeitä. Kuivatusteho on kuitenkin eri näytealoilla erilainen. Näytealojen puustot edustavat ikänsä, kokonsa ja kasvunsa puolesta erilaisia kehitysvaiheita, taimistot ja yli-ikäiset metsät kuitenkin puuttuvat (vrt. taulukko 1, s. 9). Juurinäyteaineisto on esitetty liitteissä I—VII, joista selviää näytteiden lukumäärä ja näytteiden ottoajat sekä liitteissä VIII—XII, joissa taas esitetään lyhytjuurien ja mykoritsasuhteiden aineisto. Yhteensä on tätä tutkimusta varten nostettu 327 kpl 10 × 10 × 20 (25) cm:n kokoista turvenäytettä, joista irroitettujen ja mitattujen juurten yhteinen pituus on ollut yli 3,5 kilometriä. Lyhytjuurten ja mykoritsasuhteiden selvittämiseksi on mikroskoipitu n. 400 m juuria, joissa on ollut n. 150 000 lyhytjuurta.

Aineiston luotettavuutta tutkittiin erikseen selvittämällä eräiden esimerkkien valossa kutakin ajankohtaa edustavien näyte-erien mittaustulosten keskivirheiden suuruusluokka (vrt. taulukot 2, s. 14 ja 3, s. 15). Mittaustulosten käsittely ja tulosten esittely on tehty täten saatujen aineiston luotettavuusrajojen sallimissa puitteissa.

Juurimäärän muutokset

Kesällä 1952 ei aineistoa vielä kerätty vartavasten vuodenajoittaisten muutosten selvittämiseksi vaan rämemännikön juuriston rakenteen ja määrän tutkimiseksi yleensä. Näytteitä otettiin kuitenkin näytealoilta 7 ja 2 eri aikana kesästä, ja niiden selvittäminen osoitti, että juurten yhteenlaskettu pituus oli kevät- ja keskikesällä huomattavasti suurempi kuin aikaisin keväällä ja syksyllä (vrt. kuva 1, s. 17 ja liitetaulukot I ja II).

Seuraavana kesänä näytteiden otto suunniteltiin vuodenajoittaisten muutosten tutkimista varten ja näytealoilta 3, 4, 5 ja 6 otettiin n. kahden viikon väliajoin edustavat näytesarjat. Saatuja tuloksia esittävät kuva 2 (s. 19) ja liitetaulukot III—VI. Kaikilla näytealoilla olivat juurien pituussumman muutokset vakuuttavan yhdenmukaisia. Keväällä juurimäärä lisääntyi ja saavutti maksiminsa kesäkuun loppupuolella. Kesä-heinäkuun vaihteessa se laski jyrkästi ja säilyi loppukesän melkein vakiona, pieni väheneminen syksyn kuluessa lienee kuitenkin havaittavissa.

Kesällä 1954 otettiin tutkittavaksi vain yksi näyteala (N:o 7), jolta otettiin edustava näytesarja keskimäärin viikon väliajoin. Tulokset on esitetty kuvassa 3 (s. 20) ja liitetaulukossa VII. Muutosten suunta oli nytkin pääpiirteiltään samanlainen kuin edellisinäkin vuosina. Juurimäärä säilyi kuitenkin suhteellisen korkeana aina heinäkuun loppupuolelle asti ja syksyn aikainen jatkuva hiljainen väheneminen on selvästi havaittavissa. Lisäksi osoittaa 15. 1. 1955 otettu näytesarja, että juurimäärä on talvella ollut pienimmillään.

Kaikkiaan tutkituissa tapauksissa siis todettiin, että juurien pituussumma nousi keväällä, saavutti pian kasvukauden alussa maksimimääränsä ja väheni jyrkästi myöhemmin keskikesällä. Syksyn kuluessa tapahtui vähäistä juurimäärän pienenemistä. Juurimäärän väheneminen keskikesällä oli sekä nopeaa että voimakasta. Kuten taulukossa 4 (s. 21) esitetään, on syyskesän juurten pituussumma ollut keskimäärin vain 69 % kevätkesän juurimäärästä, erällä näytealoilla se on ollut vain hieman yli 50 %. Esitetyt tulokset ovat hyvin samantapaisia kuin KALELAN (1955) vastaavissa tutkimuksissa, jotka koskivat kivennäismaiden männiköitä. Puun juurien fenologiaa käsittelevistä julkaisuista voidaan löytää tietoja, jotka sopivat hyvin yhteen KALELAN mainitussa tutkimuksessa ja tässä esitettyjen tulosten kanssa (esim. BURBIDGE 1936 ja LADEFOGED 1939).

Juurten pituussumman muutosten rakennetta tutkittaessa selvisi, että muutokset ovat olleet sitä suurempia mitä ohuemmista juurista on ollut kysymys (vrt. kuva 4, s. 24 ja taulukko 5, s. 25). Yli 5 mm:n vahvuisten juurten pituussummassa ei enää havaittu selviä muutoksia. Kun vielä tutkittiin eri vahvuisten juurten vuosilustojen lukumääriä, voitiin todeta, että juuriston vuosittainen vaihtuminen on hämmästyttävän nopeaa, alle 1 mm juuret vaihtuvat keskimäärin noin joka kolmas vuosi, 1—2 mm juuret joka viides vuosi ja 2—5 mm juuretkin joka kymmenes vuosi.

Muutosten rakennetta tutkittiin vielä selvittämällä, oliko eri syvyyskerroksilla tässä

suhteessa eroja. Todettiin, että muutokset tosin ovat samansuuntaisia eri kerroksissa, mutta syvemmissä kerroksissa muutokset ovat suhteellisesti suurempia kuin turpeen pintaosien juurissa.

Verrattaessa kasvukauden aikaisten sademäärien ja pohjavesipintojen muutosten kulkua juurten pituussummassa todettiin muutoksiin (vrt. kuva 5, s. 29, kuva 6, s. 30 ja kuva 7, s. 31), jouduttiin toteamaan, ettei tämä turvemaiden yleensä tärkeimpänä pidetty kasvutekijä voinut muutoksillaan juuriston muutoksia aiheuttaa. Sen sijaan voitiin kyllä päätellä, että kasvukauden olosuhteet, lähinnä sademäärä ja sen kanssa kiinteässä vuorosuhteessa oleva pohjavesipinnan korkeus, saattavat vaikuttaa muutosten ajankohtaa ja suuruutta säädellen.

Lyhytjuurten ja mykoritsasuhteiden muutokset

Lyhytjuurten muutoksia tutkittiin kahdella tavalla: selvittämällä tiheyden eli juuren pituusyksikköä kohden laskettujen lyhytjuurten lukumäärän (kpl/dm juurta) ja toiseksi lyhytjuurten absoluuttisten lukumäärien (kpl/m² maata) muutoksia vuoden mittaan. Kuvassa 8 (s. 33) on esitetty näytealojen 3, 4, 5 ja 6 lyhytjuurten tiheyslukujen muutokset kasvukautena 1953 ja kuvassa 9 (s. 34) näytealalta 7 vastaava asia kasvukautena 1954 ja sitä seuraavana talvena (vrt. myös liitetaulukot VIII—XII). Kaikilla näytealoilla on muutosten suunta samantapainen. Aikaisin keväällä tiheys todennäköisesti hieman suurenee, mutta alkaa pian selvästi pienetä ja on joskus keskikesällä pienimmillään. Syyskesästä tiheys taas nopeasti ja voimakkaasti lisääntyy ja alenee jälleen talvella. Muutosten suunta on siis melkein päinvastainen kuin pitkäjuurten pituussumman muutosten. Tiheyslukujen muutosten määrä näytti olevan suhteellisesti vielä suurempi kuin pitkäjuurten pituussumman. Keskikesän tiheysluvut ovat molempina tutkimuskesinä olleet vain n. 56 % syyskesän tiheyslukuista. Joskin lyhytjuurten tiheyden muutoksia koskevat tulokset ovat sellaisenaan uusia, löytyy lyhytjuurten fenologiaa käsittelevistä julkaisuista useita kohtia, jotka vahvasti tukevat tässä esitettyjä tuloksia (esim. LADEFOGED 1939 ja KELLEY 1950).

Lyhytjuurien absoluuttisten lukumäärien arvot ovat tietysti riippuvaisia paitsi tiheydestä myöskin pitkäjuurten pituussummasta. Koska nämä kaksi tekijää olivat muutoksissaan osin vastakkaisia, voidaan päätellä jo etukäteen, että lyhytjuurten lukumäärän muutokset tästä johtuen osin tasoittuvat. Tutkimuksella voitiin kuitenkin todeta, että talvella lyhytjuurten lukumäärä on pienimmillään ja että se kasvaa kasvukauden alettua nopeasti pienetäkseen jälleen keskikesällä juurimäärän vähetessä. Syyskesällä lyhytjuurten lukumäärä kuitenkin jälleen jonkin verran suurenee, mutta vähennee jälleen talven tultua (vrt. taulukko 6, s. 38 ja asetelma s. 38).

Tutkittaessa eri mykoritsalajien tiheyslukujen muutoksia, voitiin todeta, että mykoritsatyypien väliset suhteet säilyvät koko vuoden suurinpiirtein samoina. Tiheyslukujen muutokset ovat eri mykoritsalajeilla olleet toistensa kaltaisia (vrt. taulukko 7, s. 40 ja kuva 11, s. 41).

Kun tarkasteltiin olivatko lyhytjuurten muutokset erilaisia juuriston eri syvyyskerroksissa, todettiin, että muutokset tapahtuvat pääasiassa juuriston ylemmissä kerroksissa, syvemmissä kerroksissa muutokset ovat jo paljon vähäisempiä, eikä niiden suuntaa tämän tutkimuksen valossa voitu varmuudella todeta (vrt. kuva 12, s. 42 ja kuva 13, s. 43).

Loppusanat

Juuriston vuodenajoittaisten muutosten fysiologiaa ja syy-yhteyksiä ei tässä tutkimuksessa pyritty selvittämään, mutta tulosten yhdistely antoi kuitenkin aihetta kosketella myöskin näitä kysymyksiä. Ensinnäkin näyttää varmalta, että todetut muutokset tapahtuvat samankaltaisina vuodesta vuoteen, ja kun kivennäismaiden männiköissä on todettu aivan samantapaisten muutosten olemassaolo (KALELA 1955), täytynee ilmiötä pitää männiköiden juuriston luonteseen kuuluvana. Missä määrin asia on näin myöskin muiden puulajien kohdalla, on tietysti erikseen tutkittava.

Kun yritetään selvittää juuriston muutosten fysiologiaa, tuntuu aiheelliselta kiinnittää huomiota muutosten jyrkkyyteen ja nopeuteen. Varsinkin juurimäärän jyrkkä väheneminen keskikesällä viittaa siihen, että juurien kuoleminen tällöin on ainakin osaksi »ulkopuolisten tekijän» aiheuttamaa. Tällaisena »ulkopuolisena tekijänä» saattaisivat olla mykoritsasienet, jotka siis keskikesällä muuttaisivat alkukesän symbioot-tisen elintapansa parasitiittiseksi. Itse asiassa ei mykoritsasienien muuttuminen parasitiittiseksi ole mitenkään uutta, vaan kirjallisuudessa esitetään runsaasti tätä koskevia tietoja ja tutkimuksiakin (esim. MELIN 1927, BURGESS 1936, GOSSELIN 1944, GÄUMAN 1946 ja MIKOLA 1948).

Beilage I. Die Wurzelmengen (m/m²) auf der Probefläche 7 im Jahr 1952.

Liite I. Näytealan 7 juurimäärät v. 1952 (luvut tarkoittavat m juurta/m²).

Tiefenschicht Turvekerros, cm	Dickenklasse Paksuus- luokka, mm	Datum der Probenentnahme und Anzahl der Proben Näytteiden ottoaika ja lukumäärä			
		4. VI	20. VI	18. VII	27. VIII
		4	8	10	10
0—5	< 1	504	637	666	435
	1—2	60	61	35	43
	> 2	16	16	12	18
5—10	< 1	195	206	275	101
	1—2	26	33	28	30
	> 2	26	16	30	25
10—15	< 1	47	80	107	59
	1—2	15	13	15	17
	> 2	4	13	5	12
15—20	< 1	15	47	41	25
	1—2	6	10	5	4
	> 2	1	1	2	1
0—20	< 1	761	970	1089	620
	1—2	107	117	83	94
	> 2	47	46	49	56
0—20	Σ	915	1133	1221	770

Beilage II. Wurzelmengen (m/m²) auf der Probefläche 2 im Jahr 1952.
Liite II. Näytealan 2 juurimäärät v. 1952 (luvut tarkoittavat m juurta/m²).

Tiefenschicht Turvekerros, cm	Dickenklasse Paksuus- luokka, mm	Datum der Probenentnahme und Anzahl der Proben Näytteiden ottoaika ja lukumäärä			
		4. VI	20. VI	18. VII	27. VIII
		5	7	10	8
0-5	< 1	328	565	366	295
	1-2	48	59	33	32
	> 2	18	20	11	16
5-10	< 1	80	172	75	66
	1-2	6	38	23	21
	> 2	11	16	12	21
10-15	< 1	16	24	19	10
	1-2	0	5	1	6
	> 2	2	0	3	1
15-20	< 1	0	8	1	0
	1-2	0	1	0	0
	> 2	0	0	0	0
0-20	< 1	424	769	461	371
	1-2	54	103	57	59
	> 2	31	36	26	38
0-20	Σ	509	908	544	468

Beilage III. Die Wurzelmengen (m/m²) auf der Probefläche 3 im Jahr 1952.
Liite III. Näytealan 3 juurimäärät v. 1953 (luvut tarkoittavat m juurta/m²).

Tiefen- schicht Turve- kerros, cm	Dicken- klasse Paksuus- luokka, mm	Datum der Probenentnahme und Anzahl der Proben Näytteiden ottoaika ja lukumäärä						
		16. V	30. V	13. VI	4. VII	18. VII	1. VIII	22. VIII
		6	6	6	6	6	6	6
0-5	< 1	725	636	645	484	482	398	530
	1-2	61	38	61	37	37	47	66
	2-5	15	8	15	7	9	15	17
	> 5	5	0	5	2	2	4	3
5-10	< 1	98	109	92	133	65	136	88
	1-2	21	29	30	38	19	38	28
	2-5	15	15	13	5	11	15	2
	> 5	0	0	2	1	0	4	0
10-15	< 1	43	68	58	35	60	16	45
	1-2	12	19	31	11	9	16	14
	2-5	5	5	1	4	2	4	4
	> 5	2	2	0	1	0	0	1
15-20	< 1	18	30	2	22	27	3	8
	1-2	5	11	1	4	10	5	5
	2-5	1	3	0	3	4	1	0
	> 5	1	2	0	0	0	0	0
0-20	< 1	884	843	797	674	634	553	671
	1-2	99	97	99	90	75	106	107
	2-5	36	31	34	19	26	35	23
	> 5	8	4	3	4	2	8	4
0-20	Σ	1027	975	933	787	737	702	805

Beilage IV. Die Wurzelmengen (m²) auf der Probefläche 4 im Jahr 1953.

Liite IV. Näytealan 4 juurimäärät 1953 (luvut tarkoittavat m juurta/m²).

Tiefen- schicht Turve- kerros, cm	Dicken- klasse Paksuus- luokka, mm	Datum der Probenentnahme und Anzahl der Proben Näytteiden ottoaika ja lukumäärä							
		16. V	30. V	13. VI	4. VII	4. VI	18. VII	1. VIII	22. VIII
		6	6	6	6	8	6	6	6
0-5	< 1	608	751	748	715	531	380	454	494
	1-2	61	68	32	44	69	92	37	47
	2-5	15	6	13	15	9	17	6	8
	> 5	0	2	0	3	4	3	2	2
5-10	< 1	184	274	241	238	181	81	107	76
	1-2	46	33	59	22	37	17	22	7
	2-5	16	11	23	7	13	17	10	4
	> 5	1	3	0	0	4	4	4	4
10-15	< 1	24	67	114	24	43	75	71	63
	1-2	24	6	24	3	9	9	19	22
	2-5	6	3	5	1	1	0	8	11
	> 5	1	1	2	0	2	0	0	0
15-20	< 1	14	15	20	6	3	14	11	3
	1-2	2	2	10	3	3	0	4	2
	2-5	0	0	0	0	0	0	0	0
	> 5	0	0	0	0	0	0	0	0
0-20	< 1	830	1107	1123	983	758	550	643	636
	1-2	133	109	125	72	118	118	82	78
	2-5	37	20	38	23	23	34	24	23
	> 5	2	6	2	3	10	7	6	6
0-20	Σ	1002	1242	1288	1081	909	709	755	743

Beilage V. Die Wurzelmengen (m/m²) auf der Probefläche 5 im Jahr 1953.

Liite V. Näytealan 5 juurimäärät v. 1953 (luvut tarkoittavat m juurta/m²).

Tiefen- schicht Turve- kerros, cm	Dicken- klasse Paksuus- luokka, mm	Datum der Probenentnahme und Anzahl der Proben Näytteiden ottoaika ja lukumäärä						
		25. V	6. VI	20. VI	11. VII	25. VII	8. VIII	29. VIII
		6	6	6	6	6	6	6
0-5	< 1	1016	1115	933	700	651	557	522
	1-2	116	139	63	23	61	48	34
	2-5	10	17	5	14	9	4	3
	> 5	0	8	0	2	5	0	0
5-10	< 1	245	152	389	254	143	226	144
	1-2	70	66	44	65	70	65	23
	2-5	18	18	14	33	6	20	7
	> 5	6	1	2	4	3	6	3
10-15	< 1	41	23	109	21	39	29	22
	1-2	8	6	22	5	9	8	9
	2-5	3	2	9	2	0	3	4
	> 5	0	1	5	2	0	1	1
15-20	< 1	3	5	1	0	9	1	10
	1-2	1	1	0	0	1	0	3
	2-5	1	0	1	0	0	0	0
	> 5	0	0	0	0	0	0	0
0-20	< 1	1305	1295	1432	975	842	813	698
	1-2	195	212	129	93	141	121	69
	2-5	32	27	29	49	15	27	14
	> 5	6	10	7	8	8	7	4
0-20	Σ	1538	1544	1797	1125	1006	968	785

Beilage VI. Die Wurzelmenigen (m/m²) auf der Probefläche 6 im Jahr 1953.
Liite VI. Näytealan 6 juurimäärät v. 1953 (luvut tarkoittavat m juurta/m²).

Tiefen- schicht Turve- kerros, cm	Dicken- klasse Paksuus- luokka, mm	Datum der Probenentnahme und Anzahl der Proben Näytteiden ottoaika ja lukumäärä						
		25. V	6. VI	20. VI	11. VII	25. VIII	8. VIII	29. VIII
		6	6	6	6	6	6	6
0-5	< 1	822	694	802	516	367	402	477
	1-2	68	81	97	90	67	27	23
	2-5	13	6	6	14	12	7	8
	> 5	0	1	2	2	2	3	0
5-10	< 1	312	401	306	79	147	120	55
	1-2	47	54	49	43	45	53	35
	2-5	21	25	12	7	12	13	10
	> 5	1	2	5	0	2	3	2
10-15	< 1	22	6	34	8	39	2	17
	1-2	8	1	12	5	10	1	9
	2-5	0	0	5	4	4	0	8
	> 5	0	0	1	0	0	0	2
15-20	< 1	1	0	2	2	2	0	0
	1-2	0	0	1	1	0	0	0
	2-5	0	0	1	1	0	0	0
	> 5	0	0	0	1	0	0	0
0-20	< 1	1157	1101	1144	605	555	524	549
	1-2	123	136	159	139	122	81	67
	2-5	34	31	24	26	28	20	26
	> 5	1	3	8	3	4	6	4
0-20	Σ	1315	1271	1335	773	709	631	646

Beilage VII. Die Wurzelmenigen (m/m²) auf der Probefläche 7 im Jahr 1954-55.
Liite VII. Näytealan 7 juurimäärät v. 1954-55 (luvut tarkoittavat m juurta/m²).

Tiefen- schicht Turve- kerros, cm	Dicken- klasse Paksuus- luokka, mm	Datum der Probenentnahme und Anzahl der Proben — Näytteiden ottoaika ja lukumäärä														
		30. V	7. VI	14. VI	20. VI	28. VI	8. VII	16. VII	24. VII	31. VII	10. VIII	20. VIII	30. VIII	15. I		
		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
0-5	< 1	1083	1251	1025	1208	1166	1166	1020	1207	990	867	912	876	1		
	1-2	100	114	144	56	71	81	50	73	81	55	71	73			
	2-5	35	29	45	25	30	27	20	14	13	15	32	20			
	> 5	3	5	5	3	0	2	4	1	0	4	4	2			
5-10	< 1	325	287	296	318	270	226	339	286	230	253	232	210	835		
	1-2	27	56	47	19	53	58	66	30	78	37	34	35	52		
	2-5	7	10	9	9	16	1	4	14	24	5	3	17	16		
	> 5	0	1	0	0	4	2	3	0	3	0	0	1	5		
10-15	< 1	107	107	179	40	118	146	167	73	71	136	64	12			
	1-2	22	11	6	0	16	2	8	13	8	8	10	2			
	2-5	1	3	3	0	3	0	1	3	0	1	5	5			
	> 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
15-20	< 1	36	44	36	15	57	33	14	12	18	29	14	6	266		
	1-2	9	7	3	0	10	0	1	6	1	1	2	1	16		
	2-5	0	1	0	0	0	1	1	2	0	1	0	1	9		
	> 5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1		
20-25	< 1	2	3	0	0	9	0	0	1	3	7	2	2			
	1-2	0	1	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0			
	2-5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0			
	> 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0			
0-25	< 1	1553	1692	1536	1581	1620	1571	1540	1579	1312	1292	1224	1106	1101		
	1-2	158	189	200	75	150	141	126	124	168	102	117	111	68		
	2-5	43	43	57	34	49	29	27	33	37	22	40	43	25		
	> 5	3	6	5	3	4	4	8	1	3	5	4	3	6		
0-25	Σ	1757	1930	1798	1693	1823	1745	1701	1737	1520	1421	1385	1263	1200		

Beilage VIII. Dichtstand der Kurzwurzeln und der verschiedenen Mykorrhizentypen auf der Probefläche 3.

Liite VIII. Näytealan 3 lyhytjuurien ja erityyppisten mykoritsojen tiheys.

Tiefenschicht Turvekerros, cm	Mykorrhizentyp Mykoritsa- tyyppi	Datum der Probenentnahme — Näytteiden ottoaika				
		16. V	30. V	13. VI	1. VIII	22. VIII
		Länge der mikroskopisch untersuchten Wurzeln, cm Mikroskopoitujen juurten pituus, cm				
0—5		617	475	796	467	760
5—10		310	179	136	296	187
10—15		151	213	183	96	273
15—20		108	180	12	18	48
		Dichtstand der Kurzwurzeln und der verschiedenen Mykorrhizentypen, Stück/Wurzel-dm Lyhytjuurien ja erityyppisten mykoritsojen tiheys, kpl/dm juurta				
0—5	A + B	16.8	13.9	6.0	10.7	13.9
	C	1.8	0.2	0.2	0.6	1.2
	D	1.8	2.4	0.3	1.0	1.3
	Pseudom.	5.5	6.2	6.0	11.9	18.3
	Σ	25.9	22.7	12.5	24.2	34.7
5—10	A + B	14.7	7.0	23.6	4.2	14.5
	C	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1
	D	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0
	Pseudom.	2.2	0.1	0.6	4.4	6.5
	Σ	17.0	7.1	24.2	9.3	21.1
10—15	A + B	10.5	7.9	10.2	4.1	5.8
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	D	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	Pseudom.	1.0	1.4	3.3	5.8	1.4
	Σ	11.7	9.3	13.5	10.0	7.2
15—20	A + B	15.3	3.7	6.4	1.2	12.1
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	D	0.0	0.0	0.0	2.9	1.3
	Pseudom.	2.8	0.7	0.0	0.9	3.0
	Σ	18.1	4.4	6.4	5.0	16.4
0—20	A + B	16.2	12.2	8.3	8.9	13.4
	C	1.5	0.1	0.2	0.5	1.0
	D	1.5	1.8	0.2	0.8	1.0
	Pseudom.	4.9	4.8	5.2	9.8	15.4
	Σ	24.1	18.9	13.9	20.0	30.8

Beilage IX. Dichtstand der Kurzwurzeln und der verschiedenen Mykorrhizentypen auf der Probefläche 4.

Liite IX. Näytealan 4 lyhytjuurien ja erityyppisten mykoritsojen tiheys.

Tiefenschicht Turvekerros, cm	Mykorrhizentyp Mykoritsa- tyyppi	Datum der Probenentnahme — Näytteiden ottoaika				
		16. V	30. V	13. VI	1. VIII	22. VIII
		Länge der mikroskopisch untersuchten Wurzeln, cm Mikroskopoitujen juurten pituus, cm				
0—5		515	511	538	643	567
5—10		361	316	235	285	159
10—15		143	296	149	265	197
15—20		84	92	120	65	16
		Dichtstand der Kurzwurzeln und der verschiedenen Mykorrhizentypen, Stück/Wurzel-dm Lyhytjuurien ja erityyppisten mykoritsojen tiheys, kpl/dm juurta				
0—5	A + B	8.9	16.2	11.9	15.6	13.9
	C	0.6	1.5	1.2	0.0	0.7
	D	2.6	0.4	0.8	0.8	2.0
	Pseudom.	6.0	8.3	5.8	11.9	14.8
	Σ	18.1	26.4	19.7	28.3	31.4
5—10	A + B	8.7	6.8	7.1	4.8	7.0
	C	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
	D	0.6	0.0	0.3	0.0	0.4
	Pseudom.	5.1	2.0	2.9	4.8	5.0
	Σ	14.4	8.8	10.4	9.6	12.5
10—15	A + B	8.3	6.4	6.3	6.1	3.7
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
	Pseudom.	1.8	2.8	0.9	5.4	3.6
	Σ	10.1	9.2	7.2	11.5	7.8
15—20	A + B	14.7	9.2	9.3	8.2	3.8
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Pseudom.	1.1	1.6	1.2	1.4	1.3
	Σ	15.8	10.8	10.5	9.6	5.1
0—20	A + B	9.0	13.2	10.3	12.6	12.0
	C	0.4	1.0	0.8	0.0	0.6
	D	2.0	0.3	0.6	0.6	1.6
	Pseudom.	5.6	6.3	4.6	9.8	12.5
	Σ	17.0	20.8	16.3	23.0	26.7

Beilage X. Dichtstand der Kurzwurzeln und der verschiedenen Mykorrhizentypen auf der Probefläche 5.

Liite X. Näytealan 5 lyhytjuurien ja erityyppisten mykorrhizojen tiheys.

Tiefenschicht Turvekerros, cm	Mykorrhizentyp Mykorrhizentyyppi	Datum der Probenentnahme — Näyteiden ottoaika				
		25. V	6. VI	20. VI	8. VIII	29. VIII
		Länge der mikroskopisch untersuchten Wurzeln, cm Mikroskopoitujen juurten pituus, cm				
0—5		564	1500	416	353	514
5—10		352	258	191	420	258
10—15		134	136	177	173	117
15—20		20	30	6	3	60
		Dichtstand der Kurzwurzeln und der verschiedenen Mykorrhizentypen, Stück/Wurzel-dm Lyhytjuurien ja erityyppisten mykorrhizojen tiheys, kpl/dm juurta				
0—5	A + B	9.7	8.7	13.0	13.5	19.4
	C	1.4	0.5	1.9	0.7	0.9
	D	2.1	1.7	1.0	2.8	2.3
	Pseudom.	11.1	9.9	10.5	16.0	8.5
	Σ	24.3	20.8	26.4	33.0	31.1
5—10	A + B	5.9	5.4	8.6	4.8	13.3
	C	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0
	D	0.1	0.0	0.1	0.9	0.0
	Pseudom.	4.4	1.9	7.4	3.1	2.7
	Σ	10.4	7.3	16.7	8.8	16.0
10—15	A + B	7.8	7.0	6.2	4.7	8.1
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Pseudom.	3.5	1.4	0.1	1.9	1.5
	Σ	11.3	8.4	6.3	6.6	9.6
15—20	A + B	23.0	9.7	8.3	6.0	8.8
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Pseudom.	0.0	1.3	0.0	0.0	4.4
	Σ	23.0	11.0	8.3	6.0	13.3
0—20	A + B	8.9	8.3	11.3	10.8	17.6
	C	1.1	0.4	1.4	0.4	0.7
	D	1.7	1.5	0.7	2.2	1.7
	Pseudom.	9.6	8.8	8.8	11.9	7.0
	Σ	21.3	19.0	22.2	25.3	27.0

Beilage XI. Dichtstand der Kurzwurzeln und der verschiedenen Mykorrhizentypen auf der Probefläche 6.

Liite XI. Näytealan 6 lyhytjuurien ja erityyppisten mykorrhizojen tiheys.

Tiefenschicht Turvekerros, cm	Mykorrhizentyp Mykorrhizentyyppi	Datum der Probenentnahme — Näyteiden ottoaika				
		25. V	6. VI	20. VI	8. VIII	29. VIII
		Länge der mikroskopisch untersuchten Wurzeln, cm Mikroskopoitujen juurten pituus, cm				
0—5		709	767	384	531	419
5—10		395	413	259	224	329
10—15		133	35	92	13	104
15—20		—	—	—	—	—
		Dichtstand der Kurzwurzeln und der verschiedenen Mykorrhizentypen, Stück/Wurzel-dm Lyhytjuurien ja erityyppisten mykorrhizojen tiheys, kpl/dm juurta				
0—5	A + B	9.3	11.5	10.2	12.2	30.5
	C	0.8	0.3	1.6	0.5	0.4
	D	0.7	0.7	3.0	0.1	0.5
	Pseudom.	8.6	7.9	4.2	12.1	10.6
	Σ	19.4	20.4	19.0	24.9	42.0
5—10	A + B	8.9	4.6	6.8	8.8	17.9
	C	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0
	D	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
	Pseudom.	4.1	3.0	2.2	4.9	1.3
	Σ	13.1	7.7	9.0	14.5	19.4
10—15	A + B	15.1	14.3	5.2	6.2	3.6
	C	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	D	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
	Pseudom.	2.5	0.6	0.0	0.8	1.2
	Σ	18.1	15.2	5.2	7.0	4.8
15—20	A + B	—	—	—	—	—
	C	—	—	—	—	—
	D	—	—	—	—	—
	Pseudom.	—	—	—	—	—
	Σ	—	—	—	—	—
0—20	A + B	9.3	9.0	9.1	11.4	28.4
	C	0.8	0.1	1.2	0.6	0.3
	D	0.5	0.5	2.1	0.1	0.5
	Pseudom.	7.3	6.1	3.5	10.4	9.4
	Σ	17.7	15.7	15.9	22.5	38.6

Beilage XII. Dichtstand der Kurzwurzeln und der verschiedenen Mykorrhizentypen auf der Probefläche 7.

Liite XII. Näytealan 7 lyhytjuurien ja erityyppisten mykorritsojen tiheys.

Tiefenschicht Turvekerros, cm	Mykorrhizentyp Mykorritsa- tyyppi	Datum der Probenentnahme — Näytteiden ottoaika							
		30. V	14. VI	28. VI	16. VII	31. VII	20. VIII	30. VIII	15. I
		Länge der mikroskopisch untersuchten Wurzeln, cm <i>Mikroskopoitujen juurten pituus, cm</i>							
0—5		910	853	1012	812	918	1011	921	1
5—10		450	561	573	360	752	488	562	2734
10—15		320	317	356	270	279	384	72	
15—20		216	216	342	84	108	84	36	2399
20—25		12	—	54	—	18	16	16	
		Dichtstand der Kurzwurzeln und der verschiedenen Mykorrhizentypen, Stück/Wurzel-dm <i>Lyhytjuurien ja erityyppisten mykorritsojen tiheys, kpl/dm juurta</i>							
0—5	A + B	23.0	26.1	27.1	29.1	36.9	39.1	39.4	
	C	0.2	0.0	0.5	0.0	0.2	0.0	0.7	
	D	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	
	Pseudom.	10.5	10.4	4.1	6.7	8.6	15.4	18.0	
	Σ	33.7	36.5	31.7	35.9	45.8	54.5	58.1	
5—10	A + B	32.1	11.0	11.7	8.6	23.4	16.4	6.0	16.2
	C	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
	D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
	Pseudom.	11.5	6.6	6.3	5.3	5.9	8.7	3.5	5.8
	Σ	43.6	17.9	18.0	13.9	29.3	25.1	9.5	23.4
10—15	A + B	16.0	2.8	6.1	7.5	8.4	4.9	14.8	
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Pseudom.	5.4	8.8	2.9	6.1	8.2	4.3	3.8	
	Σ	21.4	11.6	9.0	13.6	16.6	9.2	18.6	
15—20	A + B	3.3	5.6	6.4	3.9	14.6	4.0	19.2	9.4
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Pseudom.	5.6	5.0	3.5	6.8	10.0	8.6	5.4	4.4
	Σ	8.9	10.6	9.9	10.7	24.8	12.6	24.6	13.8
20—25	A + B	3.1	—	4.1	—	11.2	1.0	2.9	
	C	0.0	—	0.0	—	0.0	0.0	0.0	
	D	0.0	—	0.0	—	0.0	0.0	0.0	
	Pseudom.	4.7	—	5.1	—	8.5	8.7	5.0	
	Σ	7.8	—	9.2	—	19.7	9.7	7.9	
0—25	A + B	23.2	20.0	22.1	22.0	32.6	32.5	32.6	14.6
	C	0.1	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.6	0.5
	D	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.5
	Pseudom.	10.2	9.3	4.4	6.3	8.1	13.5	15.0	5.5
	Σ	33.5	29.4	26.8	28.4	41.0	46.0	48.2	21.1

¹ Nur in den Tiefenschicht von 0—10 und 10—25 cm untersucht — Tutkittu vain kerroksin 0—10 ja 10—25 cm.