

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA — FINSKA FORSTSAMFUNDET

ACTA  
FORESTALIA FENNICA

65.

ARBEITEN DER  
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN  
GESELLSCHAFT  
IN FINNLAND

PUBLICATIONS OF THE  
SOCIETY OF FORESTRY  
IN FINLAND

PUBLICATIONS DE LA  
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE  
DE FINLANDE

HELSINKI 1957

**Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat:**

ACTA FORESTALIA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin yleensä käsittää useampia tutkimuksia.

SILVA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta käsitteleviä kirjoitelmia ja pienehköjä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin.

**Finska Fortsamfundets publikationsserier:**

ACTA FORESTALIA FENNICA. Innehåller vetenskapliga undersökningar rörande huvudsakligen skogshushållningen i Finland och dess grunder. Banden, vilka icke utkomma periodiskt, omfatta i allmänhet flere avhandlingar.

SILVA FENNICA. Omfattar uppsatser och mindre undersökningar rörande huvudsakligen skogshushållningen i Finland. Utkommer icke periodiskt.

ACTA  
FORESTALIA FENNICA

65.

ARBEITEN DER  
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN  
GESELLSCHAFT  
IN FINNLAND

PUBLICATIONS OF THE  
SOCIETY OF FORESTRY  
IN FINLAND

PUBLICATIONS DE LA  
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE  
DE FINLANDE

## Acta Forestalia Fennica 65.

1. **Erkki K. Kalela:** Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände im Laufe der Vegetationsperiode ..... 1—41  
Selostus (Männikön juurisuhteiden kasvukautisesta vaihtelusta) ..... 42
2. **Leo Heikurainen:** Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände auf Moorböden im Laufe des Jahres ..... 1—54  
Selostus (Rämemännikön juuriston vuodenaajoittaisista muutoksista) .... 55—58  
Beilagen — Liitteet ..... 59—70
3. **Leo Heikurainen:** Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen ..... 1—77  
Referat (Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung) ..... 78—82  
Liitteet — Beilagen ..... 83—85
4. **Matti Nuorteva:** Hakkuiden vaikutuksesta kaarnakuoriaisten esiintymiseen eräällä metsäalueella Etelä-Hämeessä ..... 1—32  
Referat [Über den Einfluss der Hiebe auf das Auftreten der Borkenkäfer in Südfinnland (Süd-Häme).] ..... 33—38
5. **Leo Heikurainen:** Metsäojien syvyyden ja pintaleveyden muuttuminen sekä ojien kunnon säilyminen ..... 1—41  
Summary (Changes in depth and top width of forest ditches and the maintaining of their repair) ..... 42—45
6. **Antero Piha:** Metsätulot ja maatalan pääoman muodostus ..... 1—58  
Referat (Waldeinkünfte und Kapitalbildung in landwirtschaftlichen Betrieben) ..... 59—64
7. **Juhani Sarasto:** Metsän kasvattamiseksi ojitettujen soiden aluskasvillisuuden rakenteesta ja kehityksestä Suomen eteläpuoliskossa ..... 1—84  
Referat (Über Struktur und Entwicklung der Bodenvegetation auf für Walderziehung entwässerten Mooren in der südlichen Hälfte Finnlands) 85—88  
Liitteet — Beilagen ..... 89—108

ÜBER VERÄNDERUNGEN  
IN DEN WURZELVERHÄLTNISSEN DER  
KIEFERNBESTÄNDE IM LAUFE DER  
VEGETATIONSPERIODE

ERKKI K. KALELA

*SELOSTUS:*

*MÄNNIKÖN JUURISUHTEIDEN KASVUKAUTISESTA  
VAIHTELUSTA*

HELSINKI 1955

## Vorwort

Vorliegende Untersuchung schliesst sich an die früheren Arbeiten Verfassers über die Wurzelsysteme der Waldbäume an. Trotzdem die Untersuchungen nach Übertritt des Verfassers von der Universität Helsinki zu anderen Betätigungen nicht vollständig zuendegeführt werden konnten und noch mancher Ergänzung bedürftig geblieben sind, mögen die Ergebnisse dennoch geeignet sein, interessante weitere Aufschlüsse über die Wurzelverhältnisse der Waldbestände und ihre Beeinflussung durch gewisse Waldpflegemassnahmen zu geben.

Weil über das auf die Wurzelverhältnisse der Waldbäume bezügliche Schrifttum bereits zusammenfassende Übersichten vorliegen (KALELA 1949, HEIKURAINEN 1955 a, b), ist auf eine solche im vorliegenden Zusammenhang verzichtet worden.

Beim Einsammeln des Materials sind dem Verfasser in den Jahren 1950—53 folgende Forststudierenden, später Forstmeister, behilflich gewesen: Allan Nousia, Niilo Kaipainen, Pentti Launonen, Tauno Kallio, Paavo Husa und Jukka Valtanen. Die grosse Sorgfalt erfordernde Analysierung der Bodenproben wurde 1950—51 von Frau Raija Kauttu und 1952—53 von Fräulein Saija Jokinen ausgeführt. Allen diesen Personen sage ich für gut geleistete Arbeit meinen besten Dank.

Helsinki, den 3. Dezember 1955

ERKKI K. KALELA

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einsammeln des Untersuchungsmaterials .....	5
Entnahme und Behandlung der Wurzelproben .....	5
Die Probebestände .....	8
Ergebnisse der Untersuchung .....	10
Schwankungen der Wurzelverhältnisse im Laufe der Vegetationsperiode ..	10
Allgemeiner Gang der Schwankungen der Wurzelmenge .....	10
Mengenschwankung der Wurzelspitzen .....	15
Einfluss der Regenmenge auf die Wurzelverhältnisse .....	17
Einfluss des Bestandesalters auf die Wurzelverhältnisse .....	21
Einfluss auf die Wurzelmenge .....	21
Einfluss auf die Menge der Wurzelspitzen .....	24
Einfluss der Durchforstung auf die Wurzelverhältnisse .....	25
Einfluss auf die Wurzelmenge .....	26
Einfluss auf die Menge der Wurzelspitzen .....	30
Einfluss der Plenterdurchforstung auf die Wurzelverhältnisse .....	32
Einfluss auf die Wurzelmenge .....	33
Einfluss auf die Menge der Wurzelspitzen .....	35
Besprechung der Ergebnisse .....	37
Literaturverzeichnis .....	41
<i>Selostus</i> .....	42

## Einsammeln des Untersuchungsmaterials

### Entnahme und Behandlung der Wurzelproben

Da es die Absicht war, Aufschluss über die Schwankungen zu erhalten, die sich im Laufe der Vegetationsperiode in den Wurzelverhältnissen eines Baumbestandes vollziehen, so ist es verständlich, dass die Methoden, denen man sich bisher bei Untersuchungen über die Wurzelverhältnisse von Waldbeständen bedient hat (KALELA 1949), hierbei nicht in Betracht kommen konnten. Sie sind entweder an sich überhaupt nicht für derartige Ermittlungen geeignet oder auch sind sie mit übermäßigem Arbeitsaufwand verbunden und dennoch ungenau oder es erfordert die fortgesetzte Probenentnahme beim Arbeiten nach diesen Verfahren so viel Waldboden, dass die Probebestände verderben und Not an Probenentnahmestellen entsteht.

Für eine Untersuchung, wie die vorliegende, galt es daher ein Verfahren zu entwickeln, das keinen grossen Arbeits- und Zeitaufwand erforderte, aber doch zuverlässig war und mit dessen Hilfe es möglich wurde, dem Boden fortgesetzt sogar beträchtliche Mengen von Proben zu entnehmen, ohne dass der Wald dadurch litt. Orientierende Versuche führten zu folgender Verfahrensweise, die danach bei diesen Untersuchungen dauernd befolgt worden ist.

Aus Eisenrohr von 10 cm Durchmesser wurden Stücke von 70 cm Länge hergestellt, ihr oberer Rand mit Löchern vom Durchmesser eines starken Eisenbolzens versehen und der untere Rand angeschärft. Nach Auswahl einer geeigneten Stelle in dem zu untersuchenden Bestand, bei Bedarf sich einer Bodensonde bedienend, wurde mit einer schweren Holzkeule das Rohr etwa 60 cm tief in den Boden eingetrieben, mit einer kleinen Keule klopfend vom Druck der umgebenden Erde befreit, der Eisenbolzen durch die Löcher des oberen Rohrendes gesteckt und das Rohr mitsamt der Bodenprobe vorsichtig herausgehoben.

Danach wurde über das Rohr eine dicht schliessende, genau seiner Länge entsprechende Hülle aus starkem Papier gestülpt und die Boden-

probe vorsichtig mit einem kleinen Holzhammer klopfend in dieselbe gleiten gelassen, genau darauf achtend, dass die Probe nicht zerfiel. Nach den nötigen Vermerken wurden die Proben in ihren Papierhüllen in einem Holzkasten aufgereiht und für sofortige Untersuchung in das Laboratorium gebracht.

Das Verfahren ist also recht einfach, schnell und verhältnismässig leicht durchführbar und ermöglicht zugleich eine heile Aufbewahrung der Bodenprobe mit den darin befindlichen Wurzeln. Es hat aber auch gewisse Nachteile. So ist in sehr feinen Böden, wie etwa in lehmigen und in Lehmböden, die Entleerung des Rohres oft schwierig, ja fast unmöglich, wenn der Boden feucht bzw. nass ist. In homogen verteilten Sandböden wiederum bereitet die Probenentnahme in trocknen Zeiten Schwierigkeiten insofern, als die Probe schon beim Ausheben aus dem Boden leicht aus dem Rohr herausfließt; in normalfeuchten Sandböden trifft solches dagegen nicht ein. Bestimmte Ungelegenheiten entstehen auch



1

2

3

Abb. 1. Das Eisenrohr wird mit einer schweren Holzkeule in den Boden getrieben. — *Kuva 1. Teräsputki lyödään maahan* —

Abb. 2. Mit Hilfe eines durch die Löcher hindurchgesteckten Bolzens wird das Rohr mitsamt der Bodenprobe vorsichtig aus dem Boden gehoben. — *Kuva 2. — ja nostetaan maanäyteineen ylös.*

Abb. 3. Über das aus dem Boden gehobene und auf den Kopf gestellte Rohr wird eine eng schliessende Tüte aus festem Papier gestülpt. — *Kuva 3. Putken ympärille pujotetaan tiivis paperipussi.* Foto: A. Nousia.



4

5

Abb. 4. Durch Beklopfen mit einer kleinen Holzkeule wird die im Rohr enthaltene Bodenprobe vorsichtig in die Papiertüte gleiten gelassen. — *Kuva 4. — johon putkessa oleva maanäyte varovasti valutetaan.*

Abb. 5. Die Probe befindet sich in der Tüte und ist nun bereit für den Transport zum Laboratorium, um dort analysiert zu werden. — *Kuva 5. Näyte on paperipussissa valmis kuljettavaksi laboratorioon.* Foto: A. Nousia.

bei der Probenentnahme aus sehr steinigen Böden. Da auch schon ein kleiner Stein das Eindringen des Rohres in den Boden effektiv verhindern oder das untere Ende des Rohres mehr oder minder stark beschädigen kann, wird man schon in einem normal mit Steinen durchsetzten Moränenboden oft gezwungen sein, lange nach einer geeigneten Stelle für die Probenentnahme zu suchen. Solche Ungemache verlangsamen natürlich die Probenentnahme und machen sie umständlicher, so gut wie nie aber bis zum völligen Versagen des Verfahrens.

Weil es sich nach dem Erscheinen meiner vorerwähnten Untersuchung (KALELA 1949) herausgestellt hatte, dass es für Wurzeluntersuchungen vorliegender Art wichtig war, die Proben unvermittelt noch im frischen Zustand der in ihnen enthaltenen Wurzeln zu analysieren, wurden die Proben, wie bereits erwähnt wurde, unverzüglich in das Laboratorium gebracht und im allgemeinen schon am gleichen Tage analysiert.

Die Proben liessen sich im Laboratorium leicht den Bodenschichten entsprechend zerlegen. Im vorliegenden Zusammenhang wurden anfangs folgende Bodenschichten unterschieden: Humus, 0—5, 5—10, 10—20,

20—30, 30—40, 40—50 . . . cm, in den zwei letzten Sommern jedoch nur Humus, 0—20 und 20—50 cm. Aus jeder Teilprobe wurden die Wurzeln durch Sieben, Besspülen mit Wasser sowie mit Hilfe der Finger, nötigenfalls der Pinzette, getrennt und nach ihrer Dicke sortiert. In den zwei ersten Sommern wurden vier Dickenklassen unterschieden: unter 1 mm, 1—2 mm, 2—5 mm und über 5 mm, in den späteren Sommern nur zwei: unter und über 1 mm. Die Länge sämtlicher hervorpräparierten Wurzeln wurde bis auf 1.0 cm genau gemessen.

Da über die Menge der vom Standpunkt der Nährstoffaufnahme der Bäume überaus wichtigen Wurzelspitzen und deren Verteilung im gesamten Wurzelsystem bisher im ganzen nur mangelhafte Angaben vorgelegen haben, wurde in Verbindung mit den vorliegenden Untersuchungen versucht, auch Aufschluss über das Auftreten der Wurzelspitzen zu erhalten, zunächst lediglich versuchsweise. Später aber, als die Ergebnisse versprechend und die diesbezüglichen Ermittlungen in bestimmten Grenzen durchführbar erschienen, wurde bei jeder Wurzelprobe die Menge der hellen und der weissen Wurzelspitzen in jeder Wurzelklasse und jeder Bodenschicht getrennt bestimmt. Sämtliche Ergebnisse der Analysen wurden unmittelbar im Anschluss an die Messungen in besondere Formulare eingetragen.

#### Die Probebestände

Sämtliche Waldbestände, denen die Wurzelproben für die vorliegende Untersuchung entnommen wurden, sind im Forstrevier Korkeakoski in den mittelfinnischen Kirchspielen Orivesi und Juupajoki gelegen. Der grösste Abstand der Probebestände voneinander beträgt etwa 2 km und dürfte dadurch für erforderliche Gleichheit der Witterungs- und insbesondere der Niederschlagsverhältnisse bürgen können.

Die Wahl der Probebestände wurde ausser durch ihren Baumbestand sowohl durch ihre Lage als auch durch die Bodenbeschaffenheit bestimmt. Als Forderung galt, dass die Bestände möglichst homogen und rein und hinreichend gross sein sollten, sowie dass sie dem Laboratorium (der Lehrforststation der Universität) so nahe gelegen waren, dass sich der Transport der Proben zum letzteren rasch und mühelos bewerkstelligen liess.

Hinsichtlich der Bodenbeschaffenheit wurde wiederum danach gestrebt, die Proben möglichst steinfreien und homogenen Böden zu entnehmen, indem es anzunehmen war, dass sich die Baumwurzeln in solchen Böden am unbehindertsten und am gleichmässigsten ausgebreitet hatten und es

zu keinem Wurzelgedränge in den Zwischenräumen der Steine gekommen war. Dadurch wurde eine möglichst gleichmässige und den jeweils herrschenden Wurzelzustand widerspiegelnde Beschaffenheit und gegenseitige Vergleichbarkeit der Proben erzielt. Alle Untersuchungen sind in den Jahren 1950—53 gemacht.

Im ganzen wurden Untersuchungen in zehn Beständen, wie folgt, ausgeführt:

Jahr	Anzahl der Bestände	Zweck der Untersuchungen
1950	1	Prüfung der Methode
1951	3	Einfluss des Alters
1952	4	Einfluss der Durchforstung
1953	4	» » »
1953	2	Einfluss der Plenterdurchforstung

Nähere Daten über den Baumbestand der Probebestände sind in betreffenden Zusammenhängen im Text gegeben. Nur für den Kiefernbestand vom Jahr 1950 mögen schon hier folgende Angaben gemacht werden.

Waldtyp . . . . .	VT	Mitteldurchmesser, cm	15.4
Alter, J. . . . .	75	Mittlere Höhe, m . . . .	16.0
Stammzahl/ha . . . .	1020	Kubikmasse, m <sup>3</sup> /ha . .	194.0

Wie bereits erwähnt, wurden die Probebestände auf möglichst homogene Sandböden verlegt. Als ein Beispiel für den Korngrössenaufbau des Bodens mögen hier folgende Ergebnisse der an der Abteilung für Bodenuntersuchung der Forstlichen Forschungsanstalt in Helsinki durchgeführten mechanischen Bodenanalysen für die Probebestände von Lapinkangas mitgeteilt werden (Tab. 1).

Tabelle 1.

Bodenschicht, cm	Bodenfraktion, mm			
	< 0.2	0.2—0.5	0.5—2.0	> 2.0
Anteil, %				
0—5	16.3	57.2	26.4	0.1
5—10	16.5	53.9	28.1	1.5
10—20	14.0	50.4	32.9	2.7
20—30	13.5	53.1	31.6	1.8
30—40	13.9	53.1	32.6	0.4
40—50	15.9	52.0	31.2	0.9
Mittel	15.0	53.3	30.5	1.2



Der Boden in diesem Kiefernbestand besteht also aus homogenem Sand mit 0.2—0.5 mm als vorherrschender Korngröße und der nächstgrößeren von 0.5—2.0 mm mit nahezu einem Drittel an zweiter Stelle. Dagegen ist die feinste Fraktion, unter 0.2 mm, ziemlich spärlich, durchschnittlich in Höhe von nur etwa 15 % vertreten.

### Ergebnisse der Untersuchung

#### Schwankungen der Wurzelverhältnisse im Laufe der Vegetationsperiode

##### Allgemeiner Gang der Schwankungen der Wurzelmenge

Im Verlauf der Untersuchungen stellte es sich heraus, dass die Wurzelmenge in den verschiedenen Vegetationsperioden Schwankungen unterworfen sind, die für die betreffende Vegetationsperiode typisch sind. Um den Einfluss der hierbei wirkenden mannigfachen Faktoren wenigstens teilweise zu eliminieren und die wesentlichen Züge in der normalen sommerlichen Schwankung der Wurzelmenge hervortreten zu lassen, wurden die mittleren Wurzelmenge sämtlicher Probebestände zu verschiedenen Zeiten des Sommers in Abständen von 15 Tagen errechnet.

15. V	30. V	15. VI	30. VI	15. VII	30. VII	15. VIII	30. VIII	15. IX	30. IX	15. X	30. X
Wurzeln, m/m <sup>2</sup>											
Unter 1 mm											
442	540	664	761	909	934	724	553	532	522	486	380
Über 1 mm											
174	202	194	186	186	182	178	181	181	178	161	120
Zusammen											
616	742	858	947	1095	1116	902	734	713	700	647	500
Unter 1 mm, %											
71.8	72.8	77.4	80.4	83.0	83.7	80.3	75.3	74.6	74.6	75.1	76.0

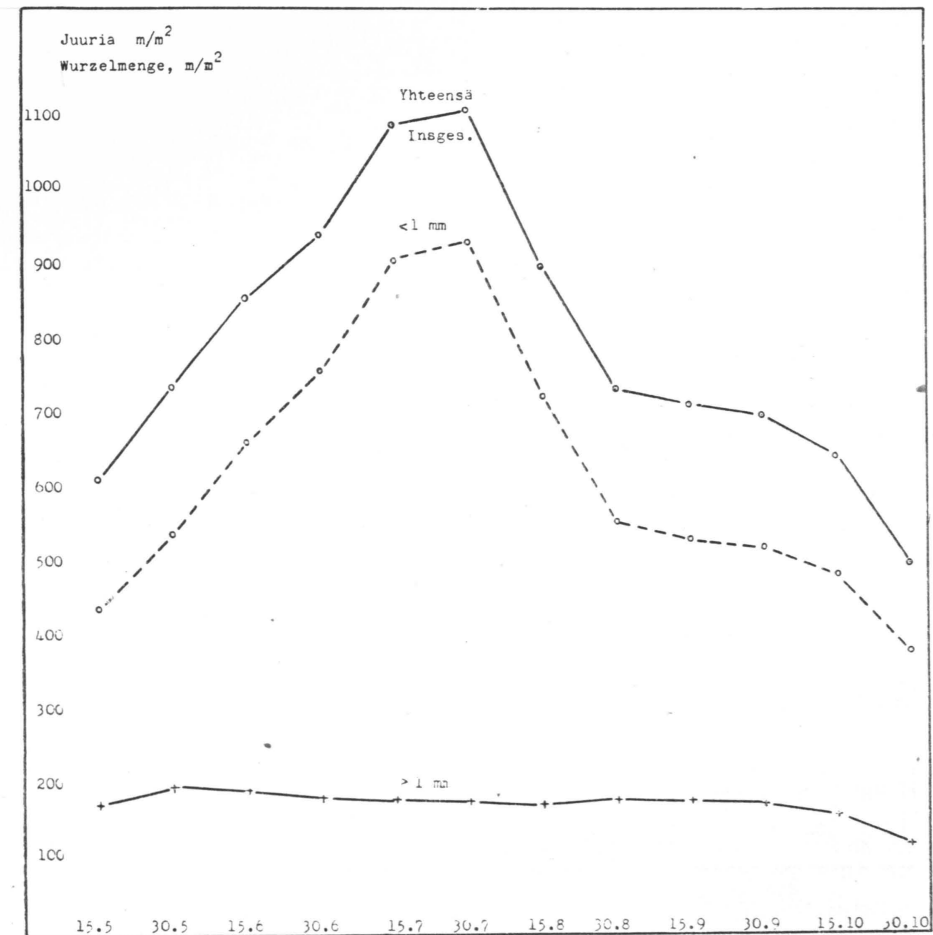


Abb. 6. Mittlere Wurzelmenge in den Kiefernbeständen im Verlauf der Vegetationsperiode. — Kuva 6. Keskim. juurimäärä männikössä kasvukauden kuluessa.

Ein Blick auf die durchschnittliche Entwicklung der Gesamtwurzelmenge erweist — gleichwie auch die der einzelnen untersuchten Bestände —, dass die Wurzelmenge in einem Kiefernbestand auf *Vaccinium*-Typ im Verlauf der Vegetationsperiode keineswegs konstant ist, sondern im Gegenteil einem deutlichen Rhythmus unterworfen ist, der offenbar für alle derartigen Kiefernbestände typisch ist. Im Frühling, im Beginn der Vegetationsperiode, ist die Gesamtwurzelmenge offensichtlich ziemlich gering, sie nimmt aber im Verlauf des Sommers zu, anfangs sogar recht

rasch. Am grössten, fast doppelt so hoch wie im Frühjahr, ist sie gegen Ende Juli. Im Spätsommer nimmt die Wurzelmenge wieder ab, zunächst ziemlich rasch, später im Herbst langsamer. Am Ende der Vegetationsperiode, beim Übergang zum November, ist sie wieder ungefähr auf ihren Frühjahrswert oder selbst etwas darunter herabgesunken (Abb. 6).

Aus den Zahlenwerten der Übersicht ist gleichfalls deutlich zu ersehen, dass jenes Entwicklungsbild der Wurzelmenge so gut wie ausschliesslich auf das Konto der zartesten Wurzeln zu buchen ist. Diese und die Gesamtwurzelmenge ergeben ein durchaus gleichsinniges Bild, die Menge der dickeren Wurzeln dagegen erhält sich im Laufe der Vegetationsperiode auf recht konstanter Höhe; nur im Anfang und am Ende der Vegetationsperiode ist sie etwas geringer. Der Anteil der feinsten Wurzeln an der Gesamtwurzelmenge schwankt im Verlauf der Vegetationsperiode von 70 bis 85 % und ist natürlich um deren Mitte am grössten; der auf die ganze Vegetationsperiode bezogene Mittelwert beläuft sich auf 77.1 %.

Die Wurzelmengen in den verschiedenen Bodenschichten erhellen aus nachstehender Zahlenübersicht.

	15. V	30. V	15. VI	30. VI	15. VII	30. VII	15. VIII	30. VIII	15. IX	30. IX	15. X	30. X
Wurzeln in den verschiedenen Bodenschichten, m/m <sup>2</sup>												
Humus	261	290	278	367	499	536	403	319	283	267	251	156
0—20	316	385	486	491	511	491	423	357	373	380	346	303
20—50	39	67	94	89	85	89	76	58	57	53	50	41
Zus.	616	742	858	947	1095	1116	902	734	713	700	647	500

Auf Grund der Zahlen und Abb. 7 kann festgestellt werden, dass die Wurzelmenge in sämtlichen Schichten im Anfang der Vegetationsperiode zunächst ziemlich gering ist, danach um die Mitte der Vegetationsperiode ihr Maximum erreicht und dann gegen den Herbst wieder sinkt. Die deutlichste und grösste Schwankung der Wurzelmenge scheint sich in der Humusschicht zu vollziehen, wo sie ziemlich ähnlich wie vorhin bei den Gesamtwurzelmengen verläuft. In der obersten Schicht des Mineralbodens ist die Schwankung sonst gleichsinnig, die Wurzelmenge erreicht aber schon beim Übergang zum Juli ihren maximalen Wert, behält denselben länger bei und beginnt erst im August wieder zu sinken. Auch in den tieferen Schichten des Mineralbodens wird der Gipfelpunkt schon im Juni

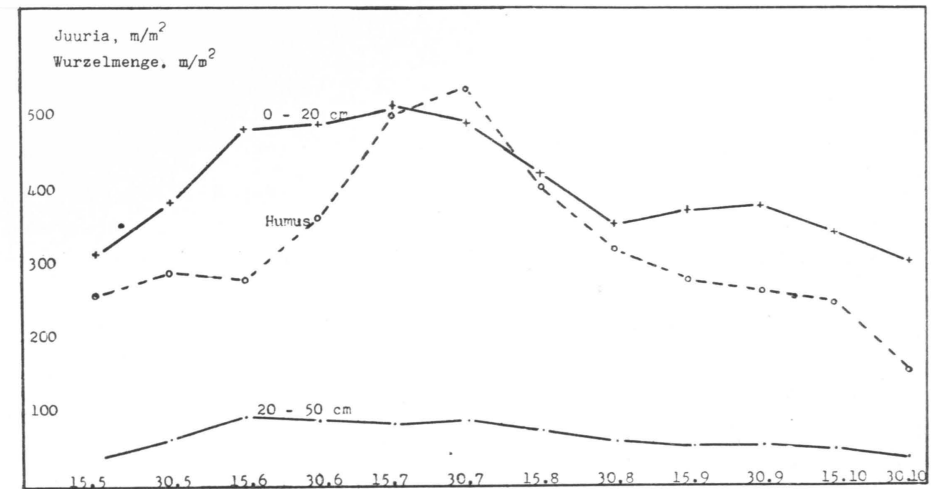


Abb. 7. Mittlere Wurzelmenge in den verschiedenen Schichten des Bodens im Verlauf der Vegetationsperiode. — Kuva 7. Keskim. juurimäärä eri maakerroksissa kasvukauden kuluessa.

erreicht, danach nimmt die Wurzelmenge ziemlich gleichmässig gegen den Herbst hin ab.

Abgesehen vom Hochsommer, wenn die grösste Wurzelmenge in der Humusschicht notiert wird, ist sie im allgemeinen in der oberen Teilschicht des Mineralbodens am grössten, und zwar beläuft sich ihr durchschnittlicher Anteil auf 50.8 % der sommerlichen Gesamtmenge der Wurzeln. In der Humusschicht beträgt er 40.9 %, in grösserer Tiefe des Mineralbodens nur 8.3 %. Durchschnittlich befinden sich also 2/5 der horizontalen Wurzelmasse der Heidekiefernbestände in der dünnen Humusschicht. — Diese Zahlen geben indessen ein einigermaßen irreführendes Bild von den Wurzelmengen in den verschiedenen Bodenschichten, da ja die Dicke der letzteren ziemlich willkürlich gewählt worden ist und auch nicht unter sich gleich gross ist. Auf jeden Fall erfährt das Bild an diesem Punkt eine wesentliche Ergänzung, wenn man berechnet, wieviel Wurzeln in den verschiedenen Schichten auf eine Volumeinheit des Bodens, sagen wir 1 dm<sup>3</sup>, entfallen. Setzt man die Dicke der Humusschicht gleich 1.26 cm (dies ist der Mittelwert von nahezu 500 Messungen in den untersuchten Beständen), so ergeben sich die in der nachstehenden Übersicht mitgeteilten Zahlenwerte.

	15. V	30. V	15. VI	30. VI	15. VII	30. VII	15. VIII	30. VIII	15. IX	30. IX	15. X	30. X
	Wurzeln, m/dm <sup>3</sup>											
Humus .....	20.7	23.0	22.1	29.1	39.6	42.5	32.0	25.3	22.5	21.2	19.9	12.4
0—20 .....	1.6	1.9	2.4	2.5	2.5	2.5	2.1	1.8	1.9	1.9	1.7	1.5
20—50 .....	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1

Man sieht, wie ungemein viel dichter die Humusschicht im Vergleich zu allen anderen Tiefenschichten des Bodens von Wurzeln durchzogen ist. Auf die gewählte Volumeinheit des Bodens und die gesamte Dauer der Vegetationsperiode bezogen ist der Unterschied der oberen Teilschicht des Mineralbodens gegenüber ein zehnfacher, der unteren gegenüber ein mehr als hundertfacher. Am grössten sind diese Differenzen um die Mitte der Vegetationsperiode, am kleinsten im Anfang und am Ende derselben. Die gefundenen Höchstwerte im Humus, 40—43 m/dm<sup>3</sup>, sind ohne jeden Zweifel schon als ausserordentlich hoch anzusprechen. Sie geben uns einen Einblick in den strengen Konkurrenzkampf, der im dichten Wald zwischen den Bäumen herrscht, sowie in die Schwierigkeiten, mit denen der Sämling hier zu kämpfen hat, um Platz für seine Wurzeln zu finden.

Nachstehende Zusammenstellung zeigt den Anteil der feinsten Wurzeln von der Gesamtwurzelmenge in den verschiedenen Bodenschichten zu verschiedenen Zeiten der Vegetationsperiode.

	15. V	30. V	15. VI	30. VI	15. VII	30. VII	15. VIII	30. VIII	15. IX	30. IX	15. X	30. X
	Wurzeln unter 1 mm, %											
Humus .....	90.4	90.3	93.2	88.8	89.2	90.1	87.8	82.8	89.0	89.1	87.3	89.1
0—20 .....	60.6	63.9	72.6	77.2	78.9	77.7	76.0	70.0	66.2	65.5	67.9	72.3
20—50 .....	38.5	47.8	56.4	62.9	71.8	68.5	65.8	59.1	56.3	66.0	64.0	53.7

Wie man sieht, so hält sich der Anteil der feinsten Wurzeln in der Humusschicht ziemlich gleichmässig beiderseits um 90 %. Ein deutlicher zeitlicher Rhythmus kann in der Humusschicht nicht wahrgenommen werden. Im Mineralboden dagegen scheint der Anteil der zartesten Wurzeln im Beginn der Vegetationsperiode recht schroff zuzunehmen, erreicht sein Maximum um die Mitte des Sommers und nimmt dann wieder gegen den Herbst ab, wo abermals ein Anstieg zu vermerken ist, ob aber ein wesentlicher, mag schwer zu sagen sein. Weiter ist festzustellen, dass der Anteil

der feinsten Wurzeln in der Humusschicht am grössten ist und von dort nach unten hin abnimmt. Für die gesamte Vegetationsperiode ergeben sich folgende Mittelwerte: Humus 88.9 %, 0—20 cm 70.7 % und 20—50 cm 59.2 %. Das Wurzelmaterial ist also in den unteren Teilen des Mineralbodens am grössten und in der Humusschicht am feinsten.

#### Mengenschwankung der Wurzelspitzen

Zum Hervorbringen der wesentlichsten Züge wurden die Mittelwerte für die Mengen der Wurzelspitzen in allen untersuchten Beständen zusammen zu verschiedenen Zeiten der Vegetationsperiode berechnet. Es ergeben sich folgende Zahlen.

	15. V	30. V	15. VI	30. VI	15. VII	30. VII	15. VIII	30. VIII	15. IX	30. IX	15. X	30. X
	Wurzelspitzen, 1000/m <sup>2</sup>											
Humus .....	24.8	39.6	31.0	44.6	82.1	81.3	42.3	20.8	17.2	13.3	11.3	2.4
0—20 .....	6.6	12.6	18.0	21.8	22.8	24.8	23.1	15.5	10.6	8.8	7.9	1.6
20—50 .....	0.4	2.3	5.1	6.9	5.7	6.1	7.8	5.2	2.8	2.3	1.9	0.4
Zus.	31.8	54.5	54.1	73.3	110.6	112.2	73.2	41.5	30.6	24.4	21.1	4.4

Die Gesamtmenge der Wurzelspitzen lässt also im Verlauf der Vegetationsperiode eine ähnliche Entwicklung erkennen, wie sie vorhin in bezug auf die Gesamtwurzelmenge gefunden wurde, die Schwankung ist aber stärker und offenbar auch empfindlicher. So ist die Menge der Wurzelspitzen im Frühling recht klein, steigt aber dann ziemlich rasch und erreicht ihren Höchstwert Ende Juli zu gleicher Zeit wie auch die Gesamtwurzelmenge<sup>1</sup>. Danach folgt zunächst ein sehr rascher, später, im September — Oktober, aber immer langsamerer Fall, bis die Wurzelspitzen beim Eintritt des Winters praktisch völlig verschwinden (Abb. 8).

Die Mengendifferenz der Wurzelspitzen zugunsten der Humusschicht behält sich durch die ganze Vegetationsperiode hindurch bei. Sie ist am grössten, und zwar etwa eine dreifache, um die Sommermitte, im Winter dagegen findet man wahrscheinlich kaum einen Unterschied.

<sup>1</sup> Der niedrigere Wert für Mitte Juni in der Humusschicht dürfte wohl kaum als ein wesentlicher Zug zu bewerten sein, sondern ist lediglich durch die Spärlichkeit des Materials und den Zufall bedingt.

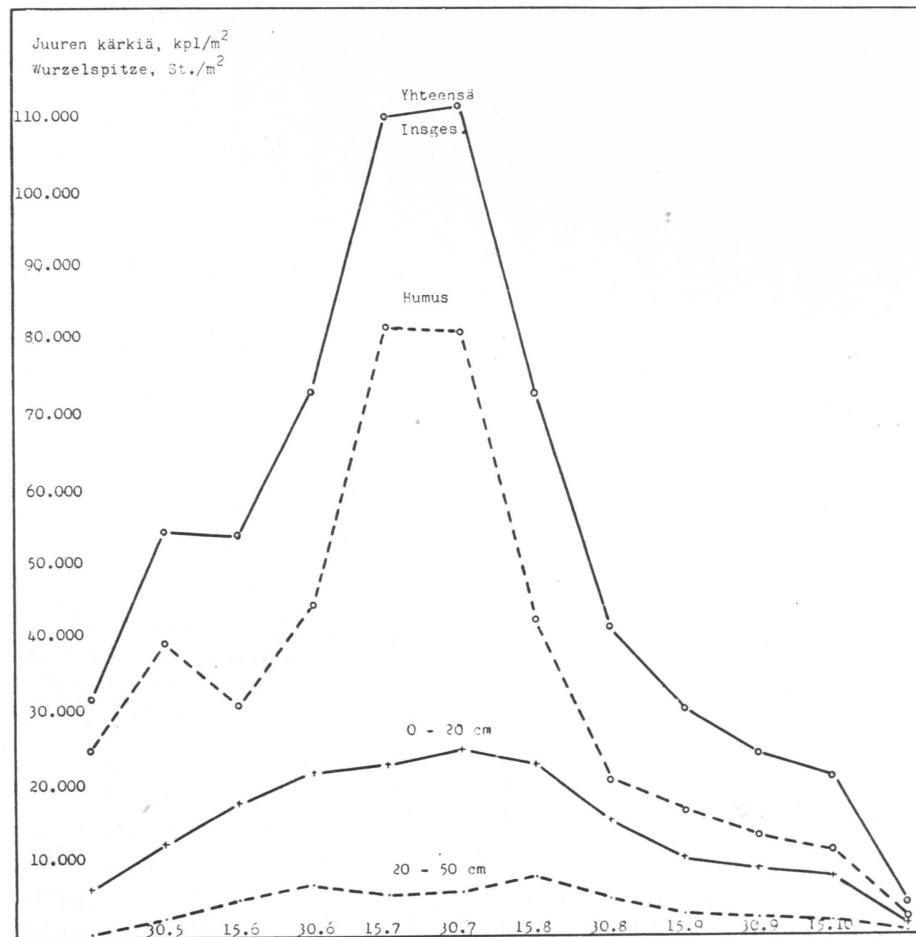


Abb. 8. Mittlere Wurzelspitzenmenge in den Kiefernbeständen im Verlauf der Vegetationsperiode. — Kuva 8. Keskim. juurenkärkien määrä männikössä kasvukauden kuluessa.

Es ist ferner interessant zu untersuchen, ob die Wurzeln in den verschiedenen Bodenschichten verschieden reichlich mit Wurzelspitzen versehen sind. Nachstehende Zusammenstellung beleuchtet diese Verhältnisse.

Ausser also, dass die Menge der Wurzeln sowohl wie die der Wurzelspitzen im ganzen vom Frühjahr gegen den Hochsommer hin zunimmt und dann wieder sinkt, stellt man fest, dass auch die Anzahl der Wurzelspitzen je Längeneinheit der Wurzeln, also der Wurzelspitzenreichtum der

	15. V	30. V	15. VI	30. VI	15. VII	30. VII	15. VIII	30. VIII	15. IX	30. IX	15. X	30. X
	Wurzelspitzen je dm Wurzel											
Humus	10.1	15.1	11.1	14.2	17.7	16.8	12.3	7.8	6.9	5.5	5.5	1.7
0-20	3.8	5.1	5.5	5.6	6.0	6.3	6.9	6.2	4.3	3.6	3.1	0.7
20-50	2.0	7.2	9.1	11.9	8.8	10.2	17.0	14.9	8.0	6.6	6.6	1.5
Mittel	7.2	10.1	8.1	9.6	12.2	12.0	10.1	7.5	5.8	4.7	4.3	1.2

Wurzeln, einer gleichsinnigen Schwankung unterworfen ist, die offensichtlich darauf hindeutet, dass sich die Wurzeln in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode und namentlich im Hochsommer in lebhaftester Tätigkeit befinden, danach aber ihre Aktivität ziemlich rasch einbüßen. Ganz besonders betrifft dies die Humusschicht, wo die Wurzelspitzenfrequenz erheblich höhere Werte als im Mineralboden erreicht. Ärmst an Wurzelspitzen scheinen die Wurzeln in der oberen Teilschicht des Mineralbodens zu sein, in der unteren liegen die Werte bedeutend höher. Dies scheint für die Wurzelwerke der Kiefernbestände recht typisch zu sein, denn dieselbe Beobachtung konnte bei nahezu sämtlichen Proben gemacht werden. Ähnlich verhalten sich auch die Wurzeln der Samenbäume (KALELA 1954). Bei ihnen sind aber, ganz entgegen den obigen Zahlen, die Wurzeln in der Humusschicht ärmst an Wurzelspitzen. Es ist möglich, dass dies eine Folge der Austrocknung des Humus auf den Samenschlagflächen ist. Das Auftreten der Wurzelspitzen scheint ja in enger Beziehung zu den Feuchtigkeitsverhältnissen des Bodens zu stehen.

#### Einfluss der Regenmenge auf die Wurzelverhältnisse

Die Untersuchungsergebnisse lassen keine einwandfreie Beziehung zwischen der Regenmenge (der Feuchtigkeit des Bodens) und den Wurzelverhältnissen in den untersuchten Kiefernbeständen erkennen. Allerdings waren auch die Witterungsverhältnisse der betreffenden Sommer nicht bestmöglich für die Ermittlung dieser Umstände, denn der Sommer des Jahres 1951 war ziemlich gleichmässig niederschlagsarm, die beiden folgenden, 1952 und 1953, wieder gleichmässig regnerisch, ohne abwechselnde Trocken- und Regenperioden. Nur der Sommer 1950 erlaubt uns einigermaßen den Einfluss einer längeren regenlosen Periode auf die Wurzelverhältnisse des Kiefernwaldes zu untersuchen. In die Diagramme in Abb. 9—10 sind die täglichen Regenmengen in den Sommern der Jahre

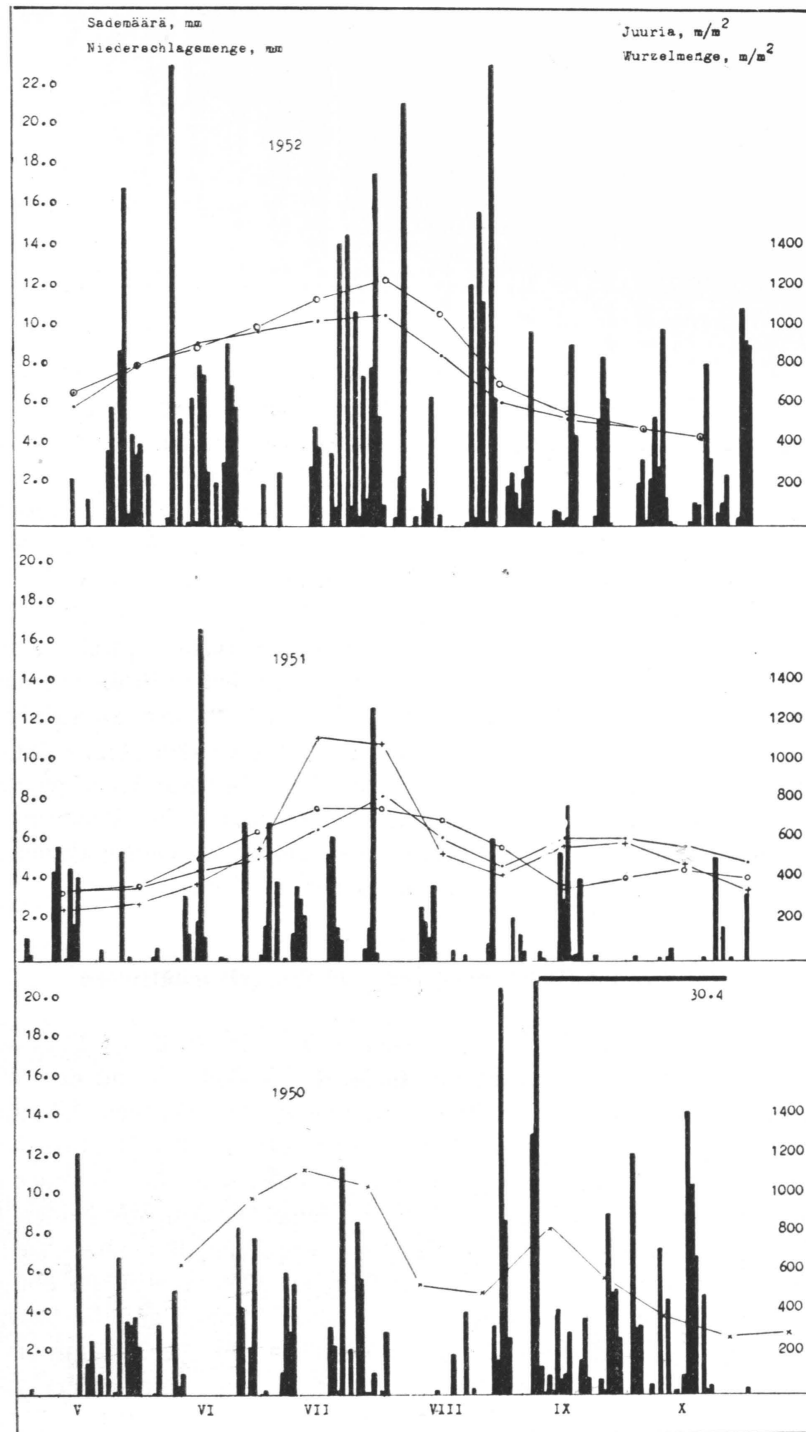


Abb. 9. Die täglichen Regenmengen in den Untersuchungssommern und die Mengen der unter 1 mm dicken Wurzeln. — Kuva 9. Tutkimuskesien päivittäiset sademäärät ja alle 1 mm:n paksuisten juurten määrä.

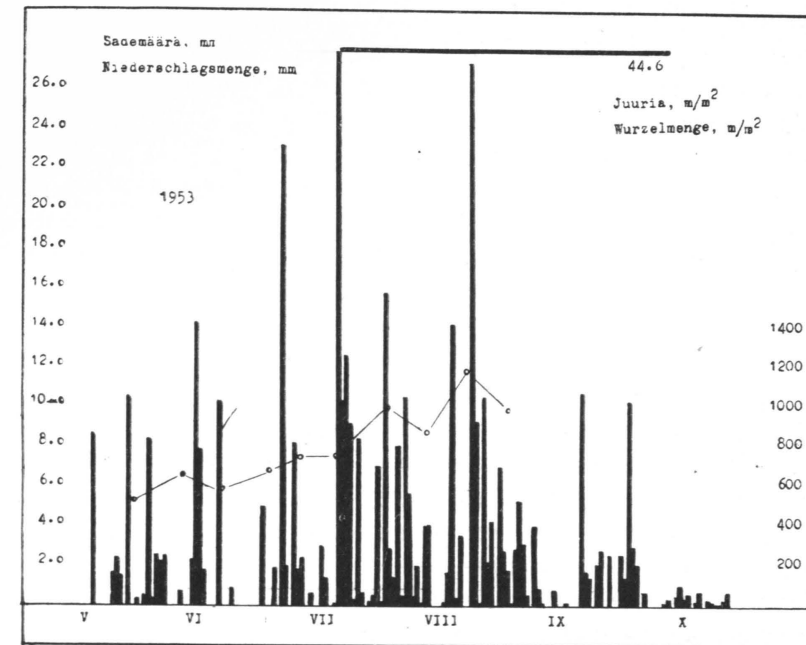


Abb. 10. Forts. — Kuva 10. jatk.

1950—53 und die Mengen der unter 1 mm dicken Wurzeln in den jeweils unberührten Kiefernbeständen im Laufe der Vegetationsperiode eingetragen. Diese Wurzelklasse wurde für die Vergleiche darum gewählt, weil sie am empfindlichsten auf die Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit zu reagieren scheint.

An Hand der Diagramme kann nicht viel geschlossen werden. Doch scheint es, wie wenn vorsommerliche Trockenperioden keine nennenswerte Bedeutung für die Wurzelmengen in einem Kiefernbestand hätten. Offenbar ist die Frühjahrsfeuchtigkeit im Boden gross genug, um wenigstens bis Mitte, oft vollends bis Ende Juni die normale jährliche Entfaltung der Wurzelsysteme zu gewährleisten. Treten dagegen im Hoch- und Spätsommer längere, mindestens 7—10tägige Perioden schönen Wetters ein, so kann dies eine recht erhebliche Verminderung der Wurzelmengen herbeiführen. Am deutlichsten ersieht man dies aus den Beobachtungen des Jahres 1950. In der fast durch ganz August andauernden niederschlagsarmen Periode, während welcher es mehr als zwei Wochen lang überhaupt nicht regnete, ging die Gesamtwurzelmenge in den untersuchten Beständen

auf weniger als die Hälfte von ihrem Juliwert herab. Als dann beim Übergang zum September eine Periode mit reichlichen Niederschlägen einsetzte, stieg abermals auch die Wurzelmenge, allerdings nur vorübergehend, um dann wieder gegen den Herbst allmählich zu sinken. Da es nun zufällig auch im August des folgenden Jahres verhältnismässig wenig regnete, tritt uns auch in diesem Jahr ein ähnlicher Entwicklungsgang der Wurzelmengen entgegen. In sämtlichen Beständen ist im August eine Mengenabnahme der Wurzeln zu verzeichnen, danach, als es im September wieder etwas mehr zu regnen begann, ein erneuter Anstieg. In dem durchgehends regnerischen Sommer 1952 dagegen ist im August kein Minimum wahrnehmbar, sondern in beiden Beständen konstatiert man eine ziemlich gleichmässige Abnahme der Wurzelmengen gegen den Herbst. — Die Ergebnisse scheinen ebenfalls darauf hinzudeuten, dass spätherbstliche Trocken- bzw. Regenperioden keinen nennenswerten Einfluss auf die Wurzelverhältnisse von Kiefernbeständen mehr auszuüben vermögen, sondern es erfolgt die Abnahme der Wurzelmengen dann schon annähernd unabhängig von dem Gang der Witterung.

Um weiterhin die Frage zu beleuchten, wie die Feuchtigkeit zumal im Spätsommer auf die Wurzelverhältnisse des Kiefernwaldes einwirkt, möge folgender kleiner Versuch angeführt werden. Im August 1950, als die vorerwähnte Dürreperiode schon eine Woche lang angedauert hatte, wurde ein 1 m<sup>2</sup> grosses Bodenquadrat während 7 Tage (11.—18. VIII) reichlich mit Wasser aus einem See begossen. Am 18. VIII dem Wurzelboden entnommene Proben ergaben für dieses und das in der Nähe gelegene unbewässerte Quadrat folgendes Resultat.

	Unbewässert	Bewässert
Wurzeln, m/m <sup>2</sup> .....	338	483
Wurzelspitzen, Stück/m <sup>2</sup> .....	1000	53300

Im bewässerten Quadrat gab es also Wurzeln 40 % mehr als im unbewässerten; in betreff der Wurzelspitzen ist der Unterschied mehr als 50fach. Dieses Ergebnis mag darauf hinweisen, dass der vorerwähnte niedrige Augustbetrag der Wurzelmenge grossenteils durch die herrschende Dürre hervorgerufen wurde.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass durch genaue Spezialuntersuchungen ein weit empfindlicherer und stärkerer Einfluss der Feuchtigkeit auf die Wurzelverhältnisse an den Tag gebracht werden kann, als es die jetzt gefundenen Zahlen erkennen lassen. Darauf deuten jedenfalls zahlreiche

Beobachtungen hin, die sich in Verbindung mit der Entnahme und Analyse der für die vorliegende Untersuchung genommenen Proben ergeben haben.

#### Einfluss des Bestandesalters auf die Wurzelverhältnisse

Im Sommer 1951 wurde in drei nahe beieinander in verschiedenen Teilen desselben Kiefernwaldes vom *Vaccinium*-Typ gelegenen reinen Beständen jungen, mittleren und fortgeschrittenen Alters die Entwicklung der Wurzelverhältnisse im Laufe der Vegetationsperiode verfolgt. Es waren zwar keine echten Naturbestände, aber in forstlicher Hinsicht voll-dicht und einer schleunigen Behandlung bedürftig. Nachstehend eine Übersicht der Dimensionen.

	Alter, J.	Stämme/ha	Mitteldurchmesser, cm	Mittlere Höhe, m	Kubikmasse m <sup>3</sup> /ha
Jung .....	35	6585	5.1	4.2	42.1
Mittelalt .....	65	1540	12.5	12.3	146.7
Alt .....	110	792	19.2	18.2	237.6

#### Einfluss auf die Wurzelmengen

Folgende Zahlenübersicht zeigt die in den zur Ermittlung des Einflusses des Bestandesalters auf die Wurzelverhältnisse untersuchten Kiefernwaldungen gefundenen Wurzelmengen.

	Jung			Mittelalt			Alt		
	< 1 mm	> 1 mm	Zus.	< 1 mm	> 1 mm	Zus.	< 1 mm	> 1 mm	Zus.
	Wurzeln, m/m <sup>2</sup>								
15. V	352	130	482	260	102	362	352	166	518
30. V	366	154	520	288	141	429	383	176	559
15. VI	456	150	606	386	167	553	523	181	704
30. VI	507	134	641	564	162	726	656	152	808
15. VII	664	140	804	1133	184	1317	765	142	907
30. VII	830	135	965	1100	157	1257	773	159	932
15. VIII	620	121	741	536	136	672	706	177	883
30. VIII	487	122	609	430	147	577	584	189	773
15. IX	611	138	749	577	161	738	374	198	572
30. IX	619	167	786	594	163	757	416	203	619
15. X	575	163	738	492	142	634	460	187	647
30. X	496	125	621	362	116	478	417	147	564

Für alle drei Bestände ergibt sich also ein weitgehend gleichartiges Bild, d.h., die Schwankungen der Wurzelmenge sind einander sowohl in bezug auf Zeit als Richtung sehr ähnlich. In allen drei Beständen erreicht die Gesamtwurzelmenge gegen Ende Juli ihren höchsten Wert, danach sinkt sie — gleichzeitig mit dem Beginn der früher erwähnten niederschlagsarmen Periode in dem in Rede stehenden Sommer — rasch. In sämtlichen Beständen gewahrt man beim Übergang zum September einen gewissen Niedergang der Wurzelmengen. Diese nehmen dann im September erneut wieder etwas zu, um schliesslich endgültig gegen den Winter hin zu fallen.

Durchgreifende Unterschiede zwischen diesen verschiedenen alten Beständen in bezug auf die Wurzelmengen sind nicht nachweisbar. Zwar liegt im mittelalten Bestand die Wurzelmenge im Hochsommer bedeutend höher als in den anderen, es ist aber schwer zu sagen, ob dies bei Rede von Kiefernbeständen mittleren Alters als ein wesentlicher Zug im allgemeinen zu deuten ist. Berechnet man für sämtliche Beobachtungen der Vegetationsperiode den Mittelwert, so erhält man vom jungen Bestand hinauf zum alten die Werte 689, 708 und 707 m/m<sup>2</sup>. Die Zahlen sind also unter sich ziemlich gleich und deuten darauf hin, dass in einem Kiefernbestand von *Vaccinium*-Typ schon im Alter von 35—40 Jahren ungefähr die volle Anzahl Wurzeln vorhanden ist.

Auch die Dickenverteilung der Wurzeln lässt keine besonders deutliche Richtungstendenz erkennen. Der Anteil der zartesten Wurzeln beläuft sich, als Mittelwert für die ganze Vegetationsperiode ausgedrückt, im jungen und mittelalten Bestand auf 79.7 und 79.1 %, im alten auf 75.5 %, also auf einen etwas niedrigeren Wert, was wohl für alte Bestände als natürlich zu erachten sein dürfte.

In betreff der tiefenmässigen Verteilung der Wurzelmengen ergeben sich für die untersuchten Bestände folgende Mittelwerte.

	Jung	Mittelalt	Alt
	Wurzeln, m/m <sup>2</sup>		
Humus .....	287	363	331
0—20 .....	365	288	304
20—50 .....	37	57	72

Deutlich kann aus diesen Zahlen nur das festgestellt werden, dass die Wurzelmenge tiefer im Mineralboden beim Altern des Bestandes zunimmt. Ihr Anteil an der Gesamtwurzelmenge beträgt im jungen Bestand 5.4 %, im mittelalten 8.1 % und im alten 10.2 %.

Weiter erweisen die Beobachtungen, wie vorhin bereits erwähnt wurde, dass sich die Wurzelmenge im Mineralboden die ganze Vegetationsperiode hindurch in sämtlichen Beständen auf ziemlich gleicher Höhe erhält. Dagegen zeigt die Wurzelmenge im Humus eine recht ausgeprägte Schwankung. Es beträgt nämlich ihr Anteil an der Gesamtmenge der Wurzeln in diesen drei Beständen im Frühjahr etwa 30 %, im Hochsommer etwa 60 % und im Herbst etwas weniger als 40 %. Deutliche altersbedingte Unterschiede scheinen hingegen nicht zu bestehen.

Das obendargestellte Bild von der Tiefenverteilung der Wurzeln verändert sich aber, wenn man die Wurzelmengen je Volumeinheit (1 dm<sup>3</sup>) des Bodens berechnet. Die Dicke der Humusschicht ist nämlich in diesen drei Beständen erheblich verschieden, wie man aus den nachstehend mitgeteilten Zahlen ersehen kann.

	Messungen	Mittlere Dicke des Humus, cm
Jung .....	75	0.74
Mittelalt .....	64	1.10
Alt .....	80	1.82

Die Humusschicht ist also deutlich um so dicker, je älter der Bestand ist. Das Ergebnis erscheint durchaus natürlich, wo es sich um seinerzeit auf Brandflächen entstandene Bestände handelt. — Diese Zahlen benutzend kommt man zu folgenden Zahlenreihen, die die Wurzelmenge je Volumeinheit des Bodens in den verschiedenen Beständen angeben.

	Jung	Mittelalt	Alt
	Wurzeln, m/dm <sup>3</sup> Boden		
Humus .....	38.8	30.5	18.2
0—20 .....	1.8	1.4	1.5
20—50 .....	0.2	0.3	0.4

Aus den Zahlen geht erstens die grosse Wurzelichte im Humus im Vergleich zum Mineralboden hervor. Zweitens findet man, dass die Wurzelichte in der Humusschicht beim Altern des Bestandes abnimmt, und zwar ist sie gemäss den obigen Zahlen im alten Bestand nur etwa halb so gross wie im jungen. Dies mag teilweise dazu beitragen können, dass sich die Voraussetzungen zur Verjüngung in alten Beständen günstiger als in jüngeren gestalten.

Auf Grund der oben mitgeteilten Zahlen wird es auch möglich, die durchschnittlichen Wurzelmengen je Baum und je Festmeter zu berechnen. Es ergeben sich dann die folgenden Zahlen.

	Jung	Mittelalt Wurzeln, m	Alt
Durchschn. je Baum .....	1046	4597	8927
» » fm .....	16366	4826	2976

Wie auch zu erwarten, steigt die Wurzelmenge je Baum bei zunehmendem Alter des Bestandes ziemlich rasch. Die Zahlen, die allerdings von einer Vegetationsperiode zur anderen und auch im Laufe ein und derselben Vegetationsperiode schwanken, dürften uns jedoch eine Vorstellung von der Wurzelmenge eines Baumes im volllichten Bestand geben können. Wenn wir wissen, dass ein Samenbaum sogar 50 000 Meter Wurzeln haben kann (KALELA 1954), also etwa fünfmal soviel wie durchschnittlich eine Kiefer im alten Bestand, so dürfte man schliessen können, dass die Bäume in einem geschlossenen Bestand wegen der strengen Konkurrenz mit einer weit geringeren Wurzelmenge auszukommen gezwungen sind, als vereinzelte, freistehende Bäume. Diese Frage wird später beim Besprechen des Einflusses der Durchforstungen auf die Wurzelverhältnisse noch zusätzliche Beleuchtung finden.

Die je Festmeter des Bestandes berechnete Wurzelmenge verändert sich natürlich in genau entgegengesetzter Richtung. Zwischen jungem und altem Bestand besteht ein mehr als fünffacher Unterschied.

#### Einfluss auf die Menge der Wurzelspitzen

Verfolgt man die Mengenschwankungen der Wurzelspitzen im Verlauf der Vegetationsperiode in den drei hier in Rede stehenden Kiefernwaldungen, so kann festgestellt werden, dass es in der jüngsten am meisten und in der ältesten am wenigsten Wurzelspitzen gibt; dieser Unterschied entfällt zum grössten Teil auf den Humus. Als ein zweiter offener Zug scheint sich zu ergeben, dass beim Altern des Bestandes die Menge der Wurzelspitzen in grösserer Tiefe des Mineralbodens zunimmt, also umgekehrt im Vergleich zum Humus. Nachstehende Zahlenwerte beleuchten diese Verhältnisse.

	Jung	Mittelalt Wurzelspitzen je m <sup>2</sup>	Alt
Humus .....	3460	3020	2725
0—20 .....	890	510	560
20—50 .....	195	210	260
Insgesamt	4545	3740	3545

Für die Reichlichkeit der Wurzelspitzen je Längeneinheit der Wurzeln können folgende Zahlen angeführt werden.

	Jung	Mittelalt Wurzelspitzen je dm Wurzel	Alt
Humus .....	10.7	7.1	7.2
0—20 .....	2.9	2.5	2.7
20—50 .....	6.7	5.3	5.4
Mittel	6.9	5.6	5.6

Die höchsten Werte ergeben sich also für den jungen Bestand und insbesondere für dessen Humusschicht. Im mittelalten und alten Bestand scheinen sich dagegen die Beträge annähernd aufzuwiegen.

Es möge noch erwähnt werden, dass sich je Baum berechnet folgende Durchschnittsmengen der Wurzelspitzen ergeben würden: im jungen Bestand 57 000, im mittelalten 200 000 und im alten 370 000.

#### Einfluss der Durchforstungen auf die Wurzelverhältnisse

Der Einfluss der Durchforstungen auf die Wurzelverhältnisse in Kiefernbeständen wurde in zwei Beständen während der Sommer 1952 und 1953, im letzteren Sommer allerdings nur stichprobenweise, untersucht.

In beiden Beständen wurde je eine zweiteilige Probefläche ausgesteckt. Der eine Teil wurde im Spätsommer 1951 einer ziemlich kräftigen Durchforstung unterworfen, der andere wurde unberührt gelassen und vertrat so in beiden Probeflächenpaaren den Aufbau eines annähernd normalen Bestandes. Nachstehend eine Übersicht der Dimensionen.

	Lapinkangas		Metsäsaramäki	
Alter des Bestandes, J. ....	78	78	58	58
Stämme/ha vor der Durchforstung .....	1710	1820	4120	4060
» nach .....	1710	1040	4120	1920
Abgang, % der Stammzahl .....	—	42.9	—	52.7
Kubikmasse vor der Durchforstung, m <sup>3</sup> /ha	202.9	214.6	159.1	174.4
» nach .....	202.9	156.9	159.1	120.9
Abgang, % der Kubikmasse .....	—	26.9	—	30.7

Wie ein Vergleich der Abgangsprozente für Stammzahl und Kubikmasse erweist, so hat die Durchforstung in beiden Beständen vorwiegend



das kleinere Holz betroffen. Ein klareres Bild von der Art der Durchforstung geben uns folgende Zahlen für den Bestand von Metsäsaramäki, die den Abgang in den verschiedenen Kronenschichten (L. ILVESSALO 1929) angeben.

	Kronenschicht			
	1.	2.	3.	4.
Abgang, % der Stammzahl . . . . .	5.6	24.5	82.4	96.5
» » » Kubikmasse . . . . .	4.0	25.5	78.2	95.0

Die Durchforstung hat also die besten, der 1. und 2. Kronenschicht zufallenden Bäume des Bestandes begünstigt und sich hauptsächlich auf die beherrschten Kronenschichten bezogen. Auch im Bestand von Lapinkangas erfolgte die Durchforstung nach demselben Prinzip, doch unterblieb hier die Kronenschichtgruppierung.

### Einfluss auf die Wurzelmenngen

Folgende Zahlen beleuchten den Einfluss der vorgenommenen Durchforstungen auf die Wurzelverhältnisse in den untersuchten Beständen.

	15. V	30. V	15. VI	30. VI	15. VII	30. VII	15. VIII	30. VIII	15. IX	30. IX	15. X	
	Wurzeln, m/m <sup>2</sup>											
Lapinkangas												
	Undurchforstet											
< 1 mm	600	810	920	985	1030	1060	860	620	535	485	450	
> 1 »	275	270	235	220	210	200	200	200	195	175	155	
Zus.	875	1080	1155	1205	1240	1260	1060	820	730	660	605	
	Durchforstet											
< 1 mm	375	495	580	635	685	715	600	435	425	450	490	
> 1 »	200	220	220	225	220	215	205	210	215	195	165	
Zus.	575	715	800	860	905	930	805	645	640	645	655	
Metsäsaramäki												
	Undurchforstet											
< 1 mm	670	805	900	1005	1140	1240	1065	710	570	495	450	
> 1 »	190	210	200	200	200	210	225	205	195	190	175	
Zus.	860	1015	1100	1205	1340	1450	1290	915	765	685	625	
	Durchforstet											
< 1 mm	490	630	735	790	830	855	695	505	520	560	610	
> 1 »	155	245	250	240	235	225	210	205	175	175	180	
Zus.	645	875	985	1030	1065	1080	905	710	695	735	790	

Auf Grund dieser Zahlenreihen kann erstens recht deutlich festgestellt werden, dass in beiden Fällen die Durchforstung wenigstens in der ersten Vegetationsperiode eine Abnahme der Wurzelmenge bewirkt. Diese macht sich schon im Frühjahr bemerkbar und scheint sich die ganze Vegetationsperiode hindurch beizubehalten. Wenn dann gegen den Winter die Wurzelmenge auch sonst abnimmt, so vermindert sich auch die durch die Durchforstung hervorgerufene Differenz der Wurzelmenngen und erlischt schliesslich völlig, ja es ist in beiden Fällen die Wurzelmenge im September — Oktober im durchforsteten Bestand sogar grösser als im undurchforsteten. — Als Gesamtmittelwerte für die Vegetationsperiode ergeben sich im undurchforsteten Bestand 972 und 1 023 m/m<sup>2</sup>, im durchforsteten entsprechend 743 und 865 m/m<sup>2</sup>, d.h. um 23.6 und 15.4 % weniger.

Zweitens ergibt sich, dass wenigstens in den jetzt in Rede stehenden Beständen ganz besonders die Menge der zartesten Wurzeln von der Durchforstung betroffen worden ist. Die Mittelwerte für die gesamte Vegetationsperiode erweisen nämlich, dass sich die Menge der über 1 mm dicken Wurzeln in den undurchforsteten Beständen auf 212 und 200 m/m<sup>2</sup> und in den durchforsteten auf 208 und 209 m/m<sup>2</sup> belief, sie war also in beiden Gruppen praktisch gleich gross. Dagegen gab es unter 1 mm dicke Wurzeln in den undurchforsteten Beständen 760 und 823 m/m<sup>2</sup>, in den durchforsteten nur 535 und 656 m/m<sup>2</sup>, also um 29.6 bzw. 20.3 % weniger. Eine derartige Verminderung der Wurzelmenge dürfte wohl ersterhand auf die Art der Durchforstung zurückzuführen sein, indem ja nämlich die Beseitigung der kleinsten und am feinsten bewurzelten Bäume aus dem Bestand vor allem eine Mengenabnahme der dünnen Wurzeln bedeuten muss.

Das oben gewonnene Bild vom Einfluss der Durchforstung auf die Wurzelverhältnisse in einem Kiefernbestand erfährt eine wesentliche Ergänzung, wenn man zu den obigen Werten noch die für die verschiedenen Bodenschichten gefundenen Zahlen hinzufügt. Hiervon geben die nachstehend mitgeteilten Zahlenreihen Aufschluss.

Ein Vergleich der Wurzelmenngen erweist, dass die Durchforstung vor allem auf die Wurzelmenge der Humusschicht beeinträchtigend eingewirkt hat. Die wenigen Abnahmen, die der Mineralboden aufzuweisen hat, sind ziemlich klein. So beläuft sich die für die gesamte Vegetationsperiode berechnete durchschnittliche Wurzelmenge der oberen Teilschicht des Mineralbodens in den undurchforsteten Beständen auf 457 und 494 m/m<sup>2</sup>, in den durchforsteten auf 389 und 480 m/m<sup>2</sup>, und in der unteren Teilschicht entsprechend auf 71 und 74 bzw. 63 und 78 m/m<sup>2</sup>. Die Unterschiede

	15. V	30. V	15. VI	30. VI	15. VII	30. VII	15. VIII	30. VIII	15. IX	30. IX	15. X
Wurzeln, m/m <sup>2</sup>											
Lapinkangas											
Undurchforstet											
Humus ..	475	545	425	535	635	655	540	380	260	220	205
0—20 ..	365	475	615	545	500	515	450	405	415	390	355
20—50 ..	35	60	115	125	105	90	70	35	55	50	45
Zus.	875	1080	1155	1205	1240	1260	1060	820	730	660	605
Durchforstet											
Humus ..	245	300	270	350	390	430	350	225	170	220	255
0—20 ..	275	335	430	430	480	435	380	360	420	380	350
20—50 ..	55	80	100	80	35	65	75	60	50	45	50
Zus.	575	715	800	860	905	930	805	645	640	645	655
Metsäsaramäki											
Undurchforstet											
Humus ..	425	430	340	480	580	645	610	470	360	300	370
0—20 ..	390	515	665	625	645	690	600	390	360	345	205
20—50 ..	45	70	95	100	115	115	80	55	45	40	50
Zus.	860	1015	1100	1205	1340	1450	1290	915	765	685	625
Durchforstet											
Humus ..	220	300	330	340	360	380	310	275	305	290	270
0—20 ..	390	510	565	605	610	570	485	375	340	385	445
20—50 ..	35	65	90	85	95	130	110	60	50	60	75
Zus.	645	875	985	1030	1065	1080	905	710	695	735	790

sind also nicht sehr gross und auch nicht einmal deutlich. Die durchschnittliche Wurzelmenge des Humus beträgt dagegen in den undurchforsteten Beständen 443 und 456 m/m<sup>2</sup>, in den durchforsteten nur 291 und 307 m/m<sup>2</sup> oder ist also um 34.3 und 32.7 % kleiner. Auch dies dürfte als ein Hinweis auf die bekannte Tatsache gelten können, dass die Voraussetzungen zur Verjüngung sich in einem Wald günstiger gestalten, aus dem die Bäume der unteren Kronenschichten entfernt worden sind.

Alles in allem zeigen uns diese Zahlen, dass eine Durchforstung, bei welcher speziell die biologisch und technisch wertvollsten Bäume des Bestandes begünstigt werden, wenigstens im ersten Sommer nach dem Hieb zu einer Verminderung der Wurzelmenge führt, deren Betrag aber geringer ist, als es die Abgangsprozente von Stammzahl und Kubikmasse voraussetzen. Namentlich betrifft dies den Humus und die Klasse der

feinsten Wurzeln, im Mineralboden ist die Abnahme der Wurzelmenge ziemlich gering und bei den grössten Wurzeln fast überhaupt nicht bemerkbar.

Wie bereits erwähnt wurde, wurde die Entwicklung der Wurzelmenge in diesen Beständen stichprobenweise auch im zweiten Sommer (1953) nach dem Hieb verfolgt. Die Proben ergaben folgendes.

	15. VI	15. VII	15. VIII	15. VI	15. VII	15. VIII
Lapinkangas						
Wurzeln, m/m <sup>2</sup>						
Undurchforstet .....	950	1037	1173	1093	944	1539
Durchforstet .....	635	868	1143	775	1150	1598

Es scheint also, wie wenn die Wurzelmenge des undurchforsteten Bestandes in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode nach wie vor grösser wäre. Im Hochsommer beginnt sich jedoch der Unterschied auszugleichen, und im Spätsommer sind die Wurzelmenge unter sich gleich gross. Die Zahlenreihen scheinen also zu erweisen, dass der Bestand selbst bei starker Durchforstung schon im Verlauf des zweiten Sommers nach dem Hieb das dabei entstandene Wurzeldefizit wieder auszugleichen vermag.

Der Einfluss der Durchforstung auf die Wurzelmenge der den verschiedenen Kronenschichten zufallenden Bäume lässt sich im Rahmen dieses Materials nicht ermitteln; es können nur einige Schlüsse betreffs der hierbei in Frage kommenden Durchschnittsbeträge je Baum gezogen werden. Die Schwankungen im Laufe der Vegetationsperiode, die Anteile der Dickenklassen der Wurzeln und die Verteilung der Wurzelmenge auf die verschiedenen Bodenschichten sind natürlich dieselben wie für den ganzen Bestand. So kann man sich denn auch lediglich damit begnügen, einige auf je drei Beobachtungen (15. VI, 15. VII, 15. VIII) begründete Mittelwerte anzuführen.

	Lapinkangas		Metsäsaramäki	
	1952	1953	1952	1953
Wurzeln, m je Baum				
Undurchforstet .....	6735	6140	3019	2890
Durchforstet .....	8045	8480	5134	6140

Nach der Durchforstung ist natürlich die Wurzelmenge je Baum durchschnittlich bedeutend grösser als vor derselben, wurden doch im Bestand die grössten Bäume belassen, die ja auch entsprechend ein umfangreicheres Wurzelwerk als die kleinen besitzen. In einem dichten Be-

stand ist es unzweifelhaft auch den herrschenden Bäumen nicht möglich gewesen, ihre Wurzelwerke unbehindert zu entfalten, sondern sie sind wahrscheinlich im Gegenteil gezwungen gewesen, mit einem möglichst kleinen Wurzelsystem auszukommen. Die Durchforstung gibt ihnen nun die Möglichkeit, den freigewordenen Wurzelraum für sich zu benutzen. Auf ein solches Bestreben scheint die stark gestiegene Wurzelmenge der durchforsteten Bestände im Jahr 1953 auch tatsächlich hinzudeuten.

### Einfluss auf die Menge der Wurzelspitzen

Nachstehende Zahlenübersicht beleuchtet das Auftreten der Wurzelspitzen im undurchforsteten und durchforsteten Bestand im Laufe der Vegetationsperiode.

	15. V	30. V	15. VI	30. VI	15. VII	30. VII	15. VIII	30. VIII	15. IX	30. IX	15. X
Wurzelspitzen, 1000/m <sup>2</sup>											
Lapinkangas											
Undurchforstet											
Humus ..	58.5	95.5	79.0	77.0	93.5	99.0	77.0	33.0	22.0	17.5	16.0
0—20 ..	7.5	21.5	38.5	47.0	38.5	35.0	32.0	22.0	15.0	14.0	13.5
20—50 ..	1.5	2.5	13.5	20.0	13.0	11.5	15.0	7.5	4.0	4.5	3.5
Zus.	67.5	119.5	131.0	144.0	145.0	145.5	124.0	62.5	41.0	36.0	33.0
Durchforstet											
Humus ..	25.0	60.0	46.0	50.0	75.0	63.0	39.0	24.0	18.5	16.5	16.0
0—20 ..	4.5	13.5	23.0	31.0	37.0	40.0	36.0	25.5	15.5	12.0	11.0
20—50 ..	—	3.0	7.5	11.5	8.0	6.0	14.0	10.0	3.0	2.5	2.0
Zus.	29.5	76.5	76.5	92.5	120.0	109.0	89.0	59.5	37.0	31.0	29.0
Metsäsaramäki											
Undurchforstet											
Humus ..	52.5	69.5	46.0	42.5	98.0	135.5	93.0	38.0	24.0	19.0	17.0
0—20 ..	12.0	28.0	29.0	28.0	30.5	38.5	40.0	21.0	11.5	11.0	9.0
20—50 ..	1.5	4.0	6.5	6.5	4.5	8.0	10.5	5.5	2.5	2.0	2.0
Zus.	66.0	101.5	81.5	77.0	133.0	182.0	143.5	64.5	38.0	32.0	28.0
Durchforstet											
Humus ..	17.5	32.5	37.5	58.5	58.5	47.0	34.0	26.0	29.0	30.5	25.0
0—20 ..	14.5	25.0	24.0	28.0	30.5	33.0	32.0	20.0	16.0	16.5	18.0
20—50 ..	—	4.5	5.5	6.0	7.0	8.5	12.0	6.5	2.5	3.0	4.0
Zus.	32.0	62.0	67.0	92.5	96.0	88.5	78.0	52.5	47.5	50.0	47.0

Beiderlei Bestände verhalten sich zueinander in bezug auf die Mengen der Wurzelspitzen ungefähr ähnlich wie in bezug auf die Gesamtmengen der Wurzeln. Im ersten Sommer nach der Durchforstung liegen die Mengen der Wurzelspitzen im durchforsteten Bestand im Früh- und Hochsommer bedeutend niedriger als entsprechend im undurchforsteten Bestand. Im Spätsommer gleichen sich diese Unterschiede immer mehr aus und erlöschen teils vollständig.

Was die verschiedenen Bodenschichten betrifft, so ergeben sich die grössten Unterschiede abermals im Humus. So beläuft sich der für die gesamte Vegetationsperiode berechnete Durchschnittsbetrag der Wurzelspitzen je Quadratmeter in der oberen Teilschicht des Mineralbodens der undurchforsteten Bestände auf 25 900 und 23 500 und in der unteren auf 8 800 und 4 900. In den durchforsteten Beständen lauten die entsprechenden Werte auf 22 600 und 23 400 sowie 6 100 und 5 400, fallen also ungefähr in die gleiche Grössenordnung. In der Humusschicht der undurchforsteten Bestände findet man dagegen durchschnittlich 60 700 und 57 700 Wurzelspitzen je m<sup>2</sup>, aber in den durchforsteten nur 39 400 und 36 000, also 35.1 und 37.6 % weniger. Im ersten Sommer nach der Durchforstung hat sich also namentlich im Humus die Menge der Wurzelspitzen stark vermindert.

Aus den Proben des zweiten Sommers (1953) ist wiederum folgendes Bild von den Durchschnittsmengen der Wurzelspitzen zu erhalten.

	15. VI	15. VII	15. VIII	15. VI	15. VII	15. VIII
	Lapinkangas			Metsäsaramäki		
	Wurzelspitzen, 1000/m <sup>2</sup>					
Undurchforstet .....	57.4	112.6	204.0	73.9	78.1	183.9
Durchforstet .....	59.2	73.8	224.9	83.7	101.3	271.8

Wie vorhin für die Gesamtwurzelmengen, so kann auch für die Mengen der Wurzelspitzen festgestellt werden, dass die im ersten Sommer nach der Durchforstung hervortretenden Unterschiede zwischen undurchforstetem und durchforstetem Bestand sich offenbar schon im Laufe des zweiten Sommers verwischen, denn am Ende der zweiten Vegetationsperiode scheinen sich die Mengenbeträge der Wurzelspitzen in den Beständen beider Bestandespaare zumindest in dieselbe Grössenordnung einzufügen.

Durchschnittlich je Baum und Vegetationsperiode findet man folgende Mengen.

	Lapinkangas		Metsäsaramäki	
	1952	1953	1952	1953
	Wurzelspitzen, 1000/Baum			
Undurchforstet .....	780	731	245	272
Durchforstet .....	915	1144	418	792

Schon im ersten Sommer nach der Durchforstung ist die Menge der Wurzelspitzen je Baum in den durchforsteten Beständen grösser als in den undurchforsteten, aber im zweiten Sommer wird dieser Unterschied noch deutlicher, m.a.W., es nimmt die Menge der Wurzelspitzen der im Bestand belassenen Bäume (durchschnittlich je Baum berechnet) sehr erheblich zu. Dies deutet auf die oben schon erwähnte Zunahme der Gesamtwurzelmenge, also auf die nach der Durchforstung geschehende Kräftigung der befreiten Wurzelsysteme hin.

#### Einfluss der Plenterdurchforstung auf die Wurzelverhältnisse

Neben dem Einfluss der rationellen Durchforstung wurde im Sommer 1953 auch die Einwirkung der Plenterdurchforstung auf die Wurzelverhältnisse untersucht. Der betreffende Bestand war im vorhergehenden Sommer (1952) zu Versuchs- und Unterrichtszwecken absichtlich einer recht durchgreifenden Plenterdurchforstung unterworfen worden, wie es die nachstehend mitgeteilten Zahlen zeigen.

	Vor der Plenterung		Nach	
	Alter, J. ....	76	76	76
Stämme/ha .....	2020	1370	1370	2020
Mitteldurchmesser, cm .....	11.2	10.1	10.1	11.2
Kubikmasse, m <sup>3</sup> /ha .....	163.4	87.0	87.0	163.4

Der Abgang verteilt sich auf die verschiedenen Kronenschichten, wie folgt.

	Kronenschicht				Zus.
	1.	2.	3.	4.	
Von der Stammzahl, % .....	68.3	16.1	13.0	18.9	32.2
» » Kubikmasse, % .....	69.8	16.8	8.8	4.0	46.7

Der Natur der Plenterdurchforstung entsprechend wurden also aus dem Bestand vorwiegend beste Stämme der 1. Kronenschicht entfernt, während die beherrschten Kronenschichten ziemlich unberührt blieben.

Der Hieb wurde also völlig von den obenbesprochenen Durchforstungen abweichend durchgeführt, indem der Abgang einen relativ geringeren Anteil der Stammzahl, aber einen grösseren der Kubikmasse als bei der Durchforstung betraf.

Als Vergleichsbasis diente ein nebenan gelegener, seinem Aufbau nach ungefähr ähnlicher Bestand, von dessen Dimensionen hier folgende erwähnt werden mögen.

Alter, J. ....	78
Stämme/ha .....	2130
Mitteldurchmesser, cm .....	12.1
Kubikmasse, m <sup>3</sup> /ha .....	163.1

#### Einfluss auf die Wurzelmengen

Da die Plenterdurchforstung schon zu Beginn des dem Untersuchungs-jahr vorangegangenen Sommers durchgeführt worden war, geben also die Ergebnisse die Lage in der zweiten Vegetationsperiode nach dem Hieb wieder.

Der Einfluss des Hiebes auf die Menge der unter und über 1 mm dicken Wurzeln erhellt aus folgender Zusammenstellung.

	Datum 1953									
	28. V	9. VI	19. VI	1. VII	9. VII	18. VII	2. VIII	10. VIII	20. VIII	30. VIII
Vergleichsbestand	Wurzeln, m/m <sup>2</sup>									
Unter 1 mm ....	531	661	591	680	753	759	1003	876	1193	990
Über 1 » ....	177	208	192	122	161	152	220	146	203	187
Zus.	708	869	783	802	914	911	1223	1022	1396	1177
Plenterbestand										
Unter 1 mm ....	563	656	531	357	488	411	473	325	392	564
Über 1 » ....	117	195	153	131	149	108	130	96	101	149
Zus.	680	851	684	488	637	519	603	421	493	713

Auch in diesem Falle kann festgestellt werden, dass die Menge der Wurzeln noch zumindest in der zweiten Vegetationsperiode nach dem Hieb herabgegangen ist. Während sie sich im naturnormalen Bestand im

genannten Sommer durchschnittlich auf 981 m/m<sup>2</sup> belief, betrug sie im geplenterten Bestand nur 609 m/m<sup>2</sup> oder also 37.9 % weniger. Die Abnahme ist also entsprechend dem Grad der Hiebmassnahme noch im zweiten Sommer grösser als bei der Durchforstung im ersten Sommer. Inwieweit sich der Unterschied in den Wurzelmenigen gegen den Herbst ausgleicht, ist aus dem vorliegenden Material nicht zu ersehen.

Weiter ergibt es sich, dass auch jetzt die feinsten Wurzeln besonders stark vom Hieb betroffen worden sind, denn die durchschnittliche Menge der unter 1 mm dicken Wurzeln, die im naturnormalen Bestand 804 m/m<sup>2</sup> betrug, war im geplenterten Bestand nur 476 m/m<sup>2</sup> oder 40.8 % kleiner. Die relative Abnahme ist also in diesem Falle grösser als bei der Durchforstung, was wohl als charakteristisch für die Plenterdurchforstung anzusprechen sein dürfte, weil ein solcher Hieb durchgreifender ist und die grössten Bäume des Bestandes betrifft, die am reichlichsten mit Wurzeln, und namentlich auch feinsten Wurzeln, versehen sind. — Ebenso deuten die Ergebnisse darauf hin, dass bei der Plenterdurchforstung auch die Menge der dickeren Wurzeln abnimmt, was wiederum bei der Durchforstung nicht wahrgenommen werden konnte. Zwar erreicht die Abnahme nicht den bei den dünneren Wurzeln gefundenen Betrag (im naturnormalen Bestand dickere Wurzeln durchschnittlich 177, im geplenterten 133 m/m<sup>2</sup> oder 24.9 % weniger), sie war aber die ganze Vegetationsperiode hindurch verspürbar.

Auch ein Vergleich der Wurzelmenigen in den verschiedenen Bodenschichten dieser Bestände bringt interessante Umstände an den Tag. Diese mögen hier durch die nachstehende Zusammenstellung beleuchtet werden.

	Datum 1953									
	28. V	9. VI	19. VI	1. VII	9. VII	18. VII	2. VIII	10. VIII	20. VIII	30. VIII
Vergleichsbestand	Wurzeln, m/m <sup>2</sup>									
Humus .....	279	365	289	282	489	379	472	515	609	551
0—20 .....	378	476	435	463	405	501	688	432	719	563
20—50 .....	51	28	59	57	20	31	63	75	68	63
Zus.	708	869	783	802	914	911	1223	1022	1396	1177
Plenterbestand										
Humus .....	290	416	249	185	220	170	196	130	177	313
0—20 .....	326	379	383	277	358	328	385	286	306	356
20—50 .....	64	56	52	26	59	21	22	5	10	44
Zus.	680	851	684	488	637	519	603	421	493	713

Das grösste Interesse beansprucht in der obigen Übersicht wohl der Umstand, dass bei der Plenterdurchforstung die Wurzelmenge in sämtlichen Bodenschichten abnimmt, während bei der Durchforstung, wie wir vorhin sahen, anscheinend nur die Wurzelverhältnisse der Humusschicht stärker verändert werden. Der Unterschied in diesen Ergebnissen deutet darauf hin, dass die Wurzeln der beim Plentern aus dem Bestand entfernten grossen Bäume sämtliche Tiefenschichten des Bodens durchdrungen haben, während die Wurzelsysteme der bei der Durchforstung entfernten, vorwiegend kleineren Bäume oberflächlicher gelegen sind.

Die verschiedene Einwirkung der Plenterns und der Durchforstung auf die Wurzelmenigen der Kiefernbestände erhellt wohl am besten aus folgenden Zahlen (für die durchforsteten Bestände in Mittelwerten).

	Durchforstung	Plenterung
	Abnahme der Wurzelmenge, %	
Humus .....	33.4	44.4
0—20 .....	8.6	33.2
20—50 .....	2.8	30.8

Die Plenterung hat also in sämtlichen Bodenschichten, namentlich aber im Mineralboden, weit mehr als die Durchforstung dezimierend auf die Wurzelmenigen eingewirkt.

#### Einfluss auf die Menge der Wurzelspitzen

Ähnlich und womöglich noch ausgeprägter, als es oben für die Gesamtwurzelmenigen gefunden wurde, tritt der Einfluss der Plenterung in

	Datum 1953									
	28. V	9. VI	19. VI	1. VII	9. VII	18. VII	2. VIII	10. VIII	20. VIII	30. VIII
Vergleichsbestand	Wurzelspitzen, 1000/m <sup>2</sup>									
Humus .....	15.0	20.6	19.9	14.7	35.4	41.9	59.4	65.0	113.1	115.3
0—20 .....	20.3	14.8	23.6	19.9	22.0	32.9	92.5	81.9	89.6	85.2
20—50 .....	6.0	1.7	7.1	9.4	1.5	5.1	11.5	9.8	13.4	23.6
Zus.	41.3	37.1	50.6	44.0	58.9	79.9	163.4	156.7	216.1	224.1
Plenterbestand										
Humus .....	18.3	46.2	26.5	9.0	17.3	10.7	21.0	26.2	31.2	37.7
0—20 .....	14.9	6.9	20.0	17.7	16.7	12.0	26.9	33.3	32.2	21.5
20—50 .....	3.7	3.9	3.7	1.0	5.7	0.8	0.5	0.9	0.8	3.7
Zus.	36.9	57.0	50.2	27.7	39.7	23.5	48.4	60.4	64.2	62.9

einer Mengenveränderung der Wurzelspitzen zutage. Umstehende Zusammenstellung beleuchtet diese Umstände.

Die Menge der Wurzelspitzen ist also im geplenterten Bestand noch im zweiten Sommer nach dem Hieb ganz erheblich viel kleiner als im naturnormalen Bestand. In den verschiedenen Bodenschichten scheinen sich die Mengen des geplenterten Bestandes nur auf etwa oder fast die Hälfte von den entsprechenden Beträgen im unberührten Bestand zu belaufen, und überhaupt erscheint der Unterschied um so grösser, um eine je tiefere Schicht des Bodens es sich handelt. Ausserdem verdient beachtet zu werden, dass sich der durch die Hiebmassnahme verursachte Verlust an Wurzelspitzen anscheinend selbst noch gegen Ende der zweiten Vegetationsperiode nach dem Hieb nicht ausgeglichen hat.

Das im Vergleich zum durchforsteten Bestand relativ grössere Wurzelspitzendefizit im geplenterten Bestand erhellt aus folgenden Zahlen.

	Durchforstung Abnahme der Wurzelspitzen, %	Plenterung
Humus .....	30.3	51.2
0—20 .....	6.9	58.2
20—50 .....	14.7	71.9
Mittel	26.7	56.0

Auf ein Dezimeter Wurzel berechnet findet man im naturnormalen und geplenterten Bestand folgende Wurzelspitzenmengen.

	Humus	0—20	20—50	Mittel
	Wurzelspitzen je dm Wurzel			
Naturnormal .....	11.8	9.5	17.1	9.2
Geplentert .....	10.4	6.0	6.9	7.7

Es erscheint auf Grund dieser Zahlen offenbar, dass die Wurzeln des geplenterten Bestandes im zweiten Sommer nach dem Hieb nicht so reich an Wurzelspitzen sind, wie die des naturnormalen Bestandes. Kann die Menge der Wurzelspitzen als ein Ausdruck für die Funktionstauglichkeit der Wurzeln gedeutet werden, so scheint es im Lichte sämtlicher oben mitgeteilten Zahlen, wie wenn die geplenterten Bestände in dieser Hinsicht hinter den anderen zurückträten.

Es mag schliesslich am Platze sein können, hier noch die durchschnittlichen Mengen der Wurzeln und Wurzelspitzen je Baum im naturnormalen und geplenterten Bestand miteinander zu vergleichen. Diesen Vergleich bringt nachstehende Zusammenstellung.

	Wurzeln m je Baum	Wurzelspitzen 1000 Stück je Baum
Naturnormal .....	4600	502
Geplentert .....	4400	344

### Besprechung der Ergebnisse

Die bei vorliegender Untersuchung erzielten Befunde erweisen, dass sich in den Wurzelmenen des horizontalen Wurzelwerkes eines Kiefernbestandes im Laufe der Vegetationsperiode recht beträchtliche Schwankungen vollziehen, Schwankungen, die bisher fast überhaupt nicht Beachtung gefunden haben, denen aber eine offenbar nicht geringe bestandesökologische Bedeutung zukommt.

Der normale Entwicklungsgang der Wurzelmenen im Laufe der Vegetationsperiode gestaltet sich in Kiefernbeständen auf Heideboden offenbar folgendermassen. Im Frühjahr, im Beginn der Vegetationsperiode, ist die Menge der Wurzeln ziemlich gering, sie nimmt aber gegen die Sommermitte hin rasch zu, ist gegen Ende Juli am grössten und nimmt danach gegen den Herbst ab; der frühjährliche Stand der Wurzelmenen wird im Spätherbst erreicht. Dieses Entwicklungsbild hat sich in sämtlichen untersuchten Beständen und in allen Sommern der Untersuchung ergeben.

Es sind jedoch von Jahr zu Jahr auch Schwankungen zu verzeichnen, die sich naturgemäss auf mannigfache Faktoren zurückführen. Es scheint dabei, wie wenn die alle mehrjährigen Pflanzen auszeichnende Periodizität, deren Grundursachen unbekannt sein dürften, im Hintergrund dieses Geschehens stände und die grossen Züge des erwähnten Entwicklungslaufes ausformte, auf die dann alsbald die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse einer jeden Vegetationsperiode ihr eigenes, von einem Jahr zum anderen wechselndes Gepräge aufdrücken.

Im Beginn und am Ende der Vegetationsperiode ist offenbar die Bodentemperatur der bedeutsamste Faktor. Um die Mitte der Vegetationsperiode dürfte ihm dagegen so gut wie keine Bedeutung zukommen. Der Zeitpunkt des Frühjahrs- bzw. Herbsteintritts dürfte unzweifelhaft ziemlich entscheidend sowohl auf den Zeitpunkt der rascheren Zunahme der Wurzelmenen als auch auf die Grösse der herbstlichen Abnahme einwirken.

Auch der Einfluss der Bodenfeuchtigkeit macht sich zumal in den Mengen der feinsten Wurzeln bemerkbar und verleiht der nor-

malen Periodizität ihre besonderen Züge. Offenbar ist jedoch die Bedeutung der Feuchtigkeitsschwankungen im Frühsommer, wenn es den Bäumen dank den Wasservorräten des abschmelzenden Schnees und Bodenfrostes im allgemeinen nicht an Feuchtigkeit für die normalen Lebensbetätigungen der Wurzeln fehlt, ziemlich gering. Im Hoch- und Spätsommer dagegen, wenn die Frühjahrsfeuchtigkeit schon dem Boden entwichen ist, mehrt sich die Bedeutung der Dürre- und Regenperioden. So vermag offenbar schon eine Trockenperiode von reichlich einer Woche zu dieser Zeit des Sommers eine erhebliche Verminderung der Wurzel-mengen herbeizuführen, wie es insbesondere die Befunde für den Sommer 1950 erweisen.

Die Ergebnisse lassen weiter erkennen, dass der Hauptanteil der in den Wurzel-mengen während der Vegetationsperiode festzustellenden Veränderungen auf die feinsten Wurzeln entfällt. Es scheint, wie wenn es im Laufe der Vegetationsperiode fortwährend, und dazu noch recht empfindlich, zum Entstehen und Absterben feinsten Wurzeln käme. Ganz offenbar ist ihr Funktionsvermögen vorwiegend auf die günstigsten Augenblicke der Vegetationsperiode beschränkt. Bei Ungunst der Verhältnisse sterben grosse Mengen ab, andererseits aber tritt offenbar recht empfindlich reichliche Neubildung ein, wenn wieder günstige Bedingungen eintreten. — Die Mengen der dickeren Wurzeln scheinen nicht in erwähnenswerterem Masse durch die Witterungsverhältnisse beeinflusst zu werden, in gewissen einigen Fällen hat sich aber eine ähnliche, allerdings weniger ausgeprägte Variation wohl nachweisen lassen.

Es kann weiterhin festgestellt werden, dass die sich im Laufe der Vegetationsperiode in den Wurzel-mengen vollziehenden Schwankungen am empfindlichsten in der Humusschicht zum Vorschein kommen, wo sich ein sehr grosser Teil zumal der feinsten Wurzeln und der Wurzelspitzen befindet. Dadurch kommt offenbar gerade den Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen des Humus eine wesentliche Bedeutung für die Lebensfunktionen der Bäume zu. Im Mineralboden sind diese Schwankungen der Wurzel-mengen viel kleiner, doch stellt man in extremen Dürreperioden auch hier eine deutliche Abnahme fest. — Der Umstand, dass ein bedeutender Teil (etwa 40 %) des waagerechten Wurzelwerkes im Kiefernbestand auf die ziemlich dünne Humusschicht konzentriert ist, dürfte auch als ein Ausdruck dafür gelten, dass die Bäume nicht so wenig auf eine Zufuhr von Regenwasser angewiesen sind und dieses möglichst effektiv zu verwerten bestrebt sind. Zum Teil bedeutet dies auch, dass die Bäume und die Oberflächenvegetation gleichwie die Mutterbäume und

der Nachwuchs in sehr innigem Konkurrenz- und Abhängigkeitsverhältnis zueinander stehen.

Der Einfluss des Alters auf die Wurzelverhältnisse scheint im Kiefernbestand gering zu sein. Für verschieden alte Bestände ergibt sich ein ungefähr gleichartiger sommerlicher Rhythmus der Wurzelentwicklung, und wesentliche Unterschiede in den Wurzel-mengen sind jedenfalls aus dem vorliegenden Material nicht herauszulesen. Es scheint im Gegenteil, wie wenn das Wurzelwerk in einem Kiefernbestand vom *Vaccinium*-Typ zumindest schon im Alter von 35—40 Jahren seine volle Dichte erlangt hätte, die danach nicht mehr in erwähnenswertem Masse zunimmt. Die einzigen unzweideutigen Einwirkungen des Alters schienen darin zu bestehen, dass der Wurzelanteil der unteren Teilschicht des Mineralbodens beim Altern des Bestandes zunimmt, sowie dass im jungen Bestand die Wurzelmenge je Baum viel kleiner und je Kubikmeter des Bestandes viel grösser als im alten Bestand ist. Die Frequenz der Wurzelspitzen scheint im jungen Bestand erheblich grösser als im mittelalten und alten zu sein.

Recht interessante Züge kommen auch beim Untersuchen der Einwirkung von Hiebmassnahmen auf die Wurzelverhältnisse der Kiefernbestände zutage. Dabei kann festgestellt werden, dass die auf eine Begünstigung der lebenskräftigsten Bäume des Bestandes ausgehende Durchforstung eine recht deutliche Abnahme der Wurzelmenge im ersten Sommer nach dem Hieb verursacht, dass aber die im Bestand belassenen Bäume anscheinend schon im Laufe der folgenden zweiten Vegetationsperiode durch Vermehrung ihrer Wurzelmenge imstande sind, den bei der Durchforstung frei gewordenen Wurzelraum für sich in Anspruch zu nehmen. Die erwähnte Abnahme betrifft zumal die feinsten, unter 1 mm dicken Wurzeln, die grösseren scheinen dagegen nicht erwähnenswert von den Folgewirkungen der Durchforstung betroffen zu werden. Auch ist die Abnahme am grössten in der Humusschicht, im Mineralboden sinkt die Wurzelmenge der Durchforstung zufolge nur wenig.

Ein ganz anderes Bild ergibt sich bei Untersuchung des Einflusses einer Plenterdurchforstung auf die Wurzelverhältnisse im Kiefernbestand. Ist der Hieb durchgreifend und betrifft er vorwiegend die Bäume der 1. und 2. Kronenschicht, so führt dies zu einer recht kräftigen Verminderung der Wurzelmenge im geplenterten Bestand. In solchen Fällen, in denen die auf der Fläche zurückgebliebenen Bäume das schwächste Element des Bestandes vertreten, kann aber entgegen der Durchforstung jedenfalls in den zwei ersten Sommern nach dem Hieb

nicht wahrgenommen werden, dass der frei gewordene Wurzelraum von den Bäumen wieder in Besitz genommen worden wäre. Ein deutlicher Unterschied besteht auch insofern, als bei der Plenterdurchforstung die Wurzelmenge in sämtlichen Bodenschichten recht erheblich abnimmt, sowie dass neben den feinsten Wurzeln auch die Menge der gröberen Wurzeln deutlich abnimmt.

Diese Resultate, die sich allerdings auf ein recht beschränktes Material gründen, scheinen ziemlich klar darauf hinzudeuten, dass eine von oben her, also durch Entfernen der lebenskräftigsten Bäume durchgeführte Läuterung gleichaltriger Kiefernbestände zu der Bildung einer mindestens zwei Jahre, wahrscheinlich aber viel länger andauernde Phase führt, während welcher der auf der Fläche zurückgebliebene Bestand nicht annähernd vollständig die Möglichkeiten des Standorts auszunutzen vermag und die darum einen bestimmten, keineswegs geringen Zuwachsverlust bedeutet. Dagegen scheint bei einer Durchforstung, bei welcher die wertvollsten Bäume des Bestandes profitiert werden, nur für die Zeit von einer oder anderthalb Vegetationsperioden eine Unterausnutzung des Bodens einzutreten, danach entwickeln sich die im Bestand zurückgebliebenen Bäume vermöge ihrer vergrößerten Wurzelmenge ohne eine durch den Hieb verursachte Wachstumseinbusse weiter.

### Literaturverzeichnis

- HEIKURAINEN, LEO. 1955 a. Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände auf Moorböden im Laufe des Jahres. Selostus: Rämemännikön juuriston vuodenajoittaisista muutoksista. — Acta Forest. Fenn. 65: 2.
- »— 1955 b. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzelbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung. — Ibid. 65: 3.
- ILVESSALO, LAURI. 1929. Puuluokitus ja harvennusasteikko. Summary: A Tree-Classification and Thinning System. Ibid. 34: 38.
- KALELA, ERKKI K. 1949. Männiköiden ja kuusiköiden juurisuhteista. I. Summary: On the horizontal Roots in Pine and Spruce Stand I. Ibid. 57: 2.
- »— 1954. Mäntysiemenpuiden ja -puustojen juurisuhteista. Referat: Über die Wurzelverhältnisse der Kiefern Samenbäume und -baumbestände. Ibid. 61: 28.



## SELOSTUS:

### Männikön juurisuhteiden kasvukautisesta vaihtelusta

Tutkimuksessa on selvitelty niitä tuloksia, joita on saatu männikön vaakasوران kasvukautisista vaihteluista tekijän kehittämällä tutkimusmenetelmällä.

Tulokset osoittavat, että männikön mainittu juurimäärä vaihtelee varsin voimakkaasti kasvukauden kuluessa. Se on keväällä pienenlainen, mutta lisääntyy alkukesästä nopeasti saavuttaen enimmäismääränsä heinäkuun loppupuolella. Sen jälkeen juurimäärä jälleen pienenee ja laskee suunnilleen keväiseen minimimääräänsä talven tullen. Tämä juurimäärän vaihtelu johtuu etupäässä kaikkein ohuimpien juurien määrän vastaavanlaisesta vaihtelusta, joskin paksummissakin juurissa lievästi heijastuu saman tapainen kehitys (ss. 10—12). Edelleen voidaan todeta, että vaihtelu on humuskerroksessa varsin paljon herkempää ja voimakkaampaa kuin kivennäismaassa (ss. 12—15). Sääsuhteilla näyttää vaihtelun vuosittaiseen kulkuun olevan ainakin sikäli vaikutusta, että keski- ja loppukesän pitkätköt poutakaudet voivat varsin tuntuvasti pienentää juurimäärää (ss. 17—21).

Iltaään erilaisten männiköiden juurimäärissä ei sen sijaan näytä kovin suuria eroja olevan. Ilmeisesti jo ainakin 40 vuoden iältä alkaen männikkö on juuristoillaan täysin vallannut maan eikä juurimäärä sittemmin enää sanottavasti muutu (ss. 21—24).

Harvennushakkaus aiheuttaa juurimäärään selvän vähennyksen, joka on havaittavissa harvennuksen jälkeisen ensimmäisen kasvukauden ajan. Myöskin toisen kasvukauden alkupuolella se on vielä havaittavissa, mutta tämän kasvukauden loppuun mennessä näyttävät jäljelle jääneet elinvoimaiset yksilöt jo kokonaan valtaavan vapautuneen juuritilan ja käyttävän sen hyväkseen (ss. 25—30). Sen sijaan harsinnan luonteisessa hakkuussa jäljelle jääneet heikohkot yksilöt eivät näytä pystyvän läheskään yhtä tehokkaasti valtaamaan hakkuussa vapautunutta juuritilaa ja sitä hyväkseen käyttämään, joten tällaisen hakkuun jälkeen tapahtuu tietynlaista ja todennäköisesti melko merkittävää kasvun tappiota (ss. 32—35).

Tutkimuksessa on seurattu myös vaaleiden ja valkoisten juurenkärkien määrien vaihtelua ja voitu todeta vaihtelu saman suuntaiseksi, joskin yleensä vielä herkemäksi.