

| | |
|---------------------|---|
| Zeitschrift: | Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse |
| Herausgeber: | Schweizerischer Forstverein |
| Band: | 114 (1963) |
| Heft: | 11 |
| Artikel: | Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten |
| Autor: | Leibundgut, H. / Dafis, S. / Richard, F. |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-765370 |

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen

Journal forestier suisse

114. Jahrgang

November 1963

Nummer 11

Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten

Zweite Mitteilung: Das Wurzelwachstum in einem Tonboden.

Von H. Leibundgut, Sp. Dafis und F. Richard¹

(Aus dem Institut für Waldbau der ETH, Zürich)

Oxf. 181.36

1. Das Problem

Während wir über den Wachstumsverlauf der oberirdischen Teile unserer Baumarten durch zahlreiche Untersuchungen gut unterrichtet sind, wurde das Wurzelwachstum experimentell noch verhältnismäßig wenig erforscht. Erst in neuerer Zeit wandten sich vermehrt Waldbauer auch Wurzeluntersuchungen zu, so unter Leitung Köstlers verschiedene Mitarbeiter des Münchener Waldbauinstitutes. Während sich diese Untersuchungen hauptsächlich auf die Ausbildung des Wurzelwerkes auf natürlichen Waldböden beziehen, wurden an unserem Institut im Herbst 1958 experimentelle Versuche angelegt. Die Ergebnisse einer Untersuchung über die Periodizität des Wurzelwachstums von Lärchen verschiedener Herkunft wurden als erste Mitteilung in den Berichten über den 13. Kongreß des Internationalen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten 1961 in Wien veröffentlicht.

Die vorliegende Untersuchung befaßt sich mit der Frage, in welchem Maße und wie rasch junge Waldbäume verschiedener Art unter verschiedenen Versuchsbedingungen eine Tonschicht zu durchwurzeln vermögen. Der Versuch wurde im Oktober 1958 im Versuchsgarten Waldegg angelegt und im Herbst 1959 abgeschlossen. Die statistische Verarbeitung und Darstellung des Zahlenmaterials erfolgte durch S. Dafis.

2. Die Versuchsanlage

Der Versuch wurde mit den folgenden *Baumarten* und Herkünften durchgeführt:

¹ Die Untersuchungen zur ökologisch-physikalischen Kennzeichnung der Versuchsböden wurden in der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen durchgeführt.

| Prov. Nr. | Baumart | Herkunftsart | Höhe ü. M. |
|--------------|-------------|--------------------------|---------------|
| 41 | Fichte | St.-Katharinental | 450 m |
| 119 | Douglasie | Snoqualmie-Paß | etwa 1200 m |
| 8 | Tanne | Egerkingen SO | 435 m |
| 37 | Weißeiche | Wildegg AG | 450 m |
| 35 | Schwarzerle | Birmensdorf ZH | 488 m |
| 48 | Stieleiche | Lehrwald Albisriederberg | 630 m |
| 11 | Hagebuche | Lehrwald Albisriederberg | 625 m |

Im Oktober 1958 wurden von diesen Arten je 6 Pflanzen – von der Stieleiche je 2 Eicheln – eingetopft. Über den Winter blieben die Töpfe im Torfbeet. Im Februar 1959 wurden die Pflanzen sorgfältig mit Wurzelballen ausgetopft und direkt an der Glaswand der im Freien aufgestellten Wurzelbeobachtungskästen eingesetzt (Bild 1).

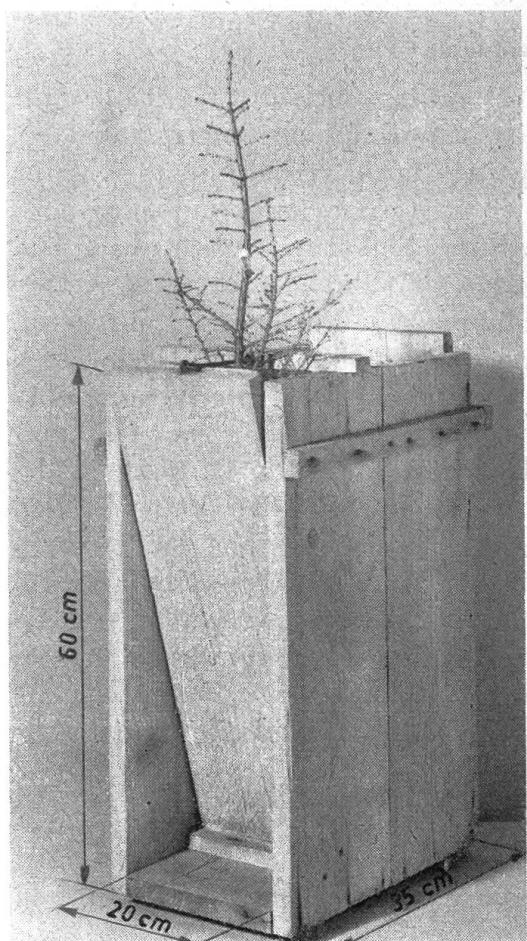


Bild 1a
Wurzelwachstumskiste mit Lärche

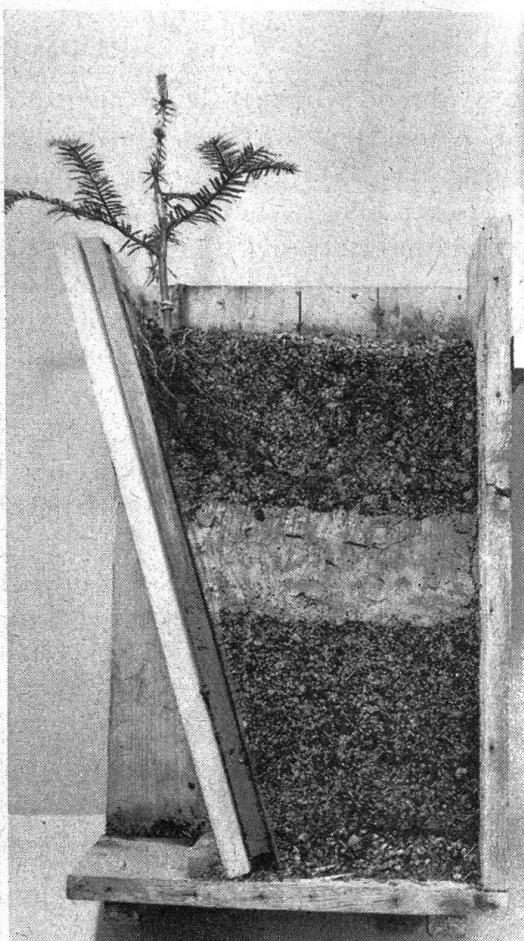


Bild 1b
Wurzelwachstumskiste mit Tanne

Der *Boden* in den Beobachtungskästen bestand aus folgender Schichtung von oben nach unten:

- 2 cm Splitt
- 15 cm Lockerboden (L) — 1 Teil Lößlehm
- 1 Teil Torf
- 1 Teil Quarzsand

10 cm Ziegeleilehm (T)

25 cm Lockerboden (L) wie oben

4 cm Splitt

Der Ziegeleilehm stammte von den Zürcher Ziegeleien im Gießhübel bei Zürich. Er wurde in breiigem Zustand möglichst dicht und glatt eingefüllt, so daß keine Hohlräume entstehen konnten. Die Böden wurden nachher durch Begießen ständig gleichmäßig feucht gehalten. Infolge der schweren Durchlässigkeit der Lehmschicht erfolgte zeitweise eine Austrocknung des darunterliegenden Lockerbodens. Zur Ausschaltung von Lichteinflüssen wurde die Glaswand mit einer Isolierplatte (Faserplatte) abgedeckt.

Beim *Austreiben* der Pflanzen wurden folgende *Stadien*, wie bei früheren Versuchen, unterschieden:

- 0 *Nicht ausgetrieben*
- 1 *Leicht angetrieben*
 - Streckung der Knospen deutlich erkennbar
- 2 *Leicht ausgetrieben*
 - bei Nadelbäumen: Knospenschuppen lösen sich; Nadelfarbe deutlich sichtbar
 - bei Laubbäumen: Blattspitzen erkennbar
- 3 *Ergrünt*
 - Nadeln und Blätter entfaltet
- 4 *Voll ergrünt*
 - Nadeln und Blätter voll entwickelt
- 5 *Beginn des Höhenwachstums*
 - Trieblänge etwa 3 bis 5 mm

Das *Wurzelwachstum* wurde wie folgt bestimmt: Zweimal wöchentlich wurden die sichtbaren Wurzeln mit einem Fettstift an der Glasscheibe markiert und ihr Wachstum auf Millimeter genau gemessen. Nach Abschluß des Versuches wurden die Wurzeln sorgfältig ausgeschlämmt und für jede Bodenschicht getrennt untersucht.

Zur Bestimmung der Wurzelmasse wurden die sauber gewaschenen Wurzeln nach folgenden Durchmesserstufen zerlegt:

- unter 1 mm Durchmesser
- 1–3 mm Durchmesser
- über 3 mm Durchmesser

«Ausweicher», das sind Wurzeln, welche durch deutlich sichtbare Bodenrisse oder längs der Kastenwände durchgewachsen sind, wurden gesondert aufgenommen.

Die Trocknung der Wurzeln erfolgte vor der Wägung bei 105 Grad Celsius bis zur Gewichtskonstanz. Gleichzeitig mit dem Wurzelwachstum wurde auch der Verlauf des Höhenwachstums verfolgt.

3. Ökologisch-physikalische Kennzeichnung der Versuchsböden

31 Standardisierung des Versuchsbodens

Der Versuchsboden besteht aus zwei Elementen, der «Lockerschicht» und der «Tonschicht». Die Lockerschicht ist standardisiert und besteht aus einem Drittel Lößlehm, einem Drittel Torf und einem Drittel Quarzsand. Wir nehmen an, daß diese Bodenmischung sowohl physikalisch wie chemisch normal beschaffen ist, daß sie deshalb für die Wurzelentwicklung mehr oder weniger optimale Bedingungen bietet. Die Tonschicht ist ein feinporenreiches Material, das sehr schlecht durchlüftbar ist. Baumwurzeln können sich, wegen sehr kleinen Sauerstoffnachschnitts, nur langsam und schwer entwickeln. Die chemische Zusammensetzung des Tones wurde nicht untersucht. Da diese Tone um Zürich bodenbildend auftreten, nahmen wir an, daß keine wachstumshemmenden chemischen Bedingungen vorliegen.

Die aus diesen beiden Komponenten gebildeten Versuchsböden enthalten pro Versuchskiste ein Volumen von $2,7 \cdot 2,0 \cdot 4,0 \text{ dm} = 22 \text{ Liter}$.

Zum Vergleich werden auch die nicht in Horizonte unterteilten Lockerböden gleicher Mischung charakterisiert, wie sie beim bereits erwähnten, früher publizierten Versuch mit Lärchen verwendet wurden.

32 Einige physikalische Merkmale des Versuchsbodens und ihre ökologische Interpretation

Die Lockerschicht wie die Tonschicht haben eine sehr kleine Dichte. In den Kisten mit nur Lockerschicht schwankt die Dichte ϱ_a im Vertikalprofil zwischen 0,97 und 1,07 g/cm³ (was gleichbedeutend ist wie kg/dm³). Im Mittel nehmen wir für die Berechnungen ein $\varrho_a = 1,06 \text{ g/cm}^3$ an. In Analogie zu Bestimmungen in natürlich gelagerten Braunerde-Waldböden ist dieser Boden sehr locker. In Tabelle 3-1 finden wir die Werte für ϱ_a . Es bedeutet der (L-L-L)-Boden ein lockerer, gut durchlüfteter Versuchsboden ohne Tonschicht. Der (L-T-L)-Boden hat zwischen zwei gleichartigen Lockerschichten (L) eine schlecht durchlüftete Tonschicht (T).

Die Proben für die Bodenuntersuchung werden in Tiefen ausgewählt wie sie in Tabelle 3-1 angegeben sind.

In den Versuchsböden mit einer Tonschicht als Mittellage (L-T-L in Tabelle 3-1) fällt die geringe Dichte des Tones auf. Wir bestimmten ein

Tabelle 3-1:

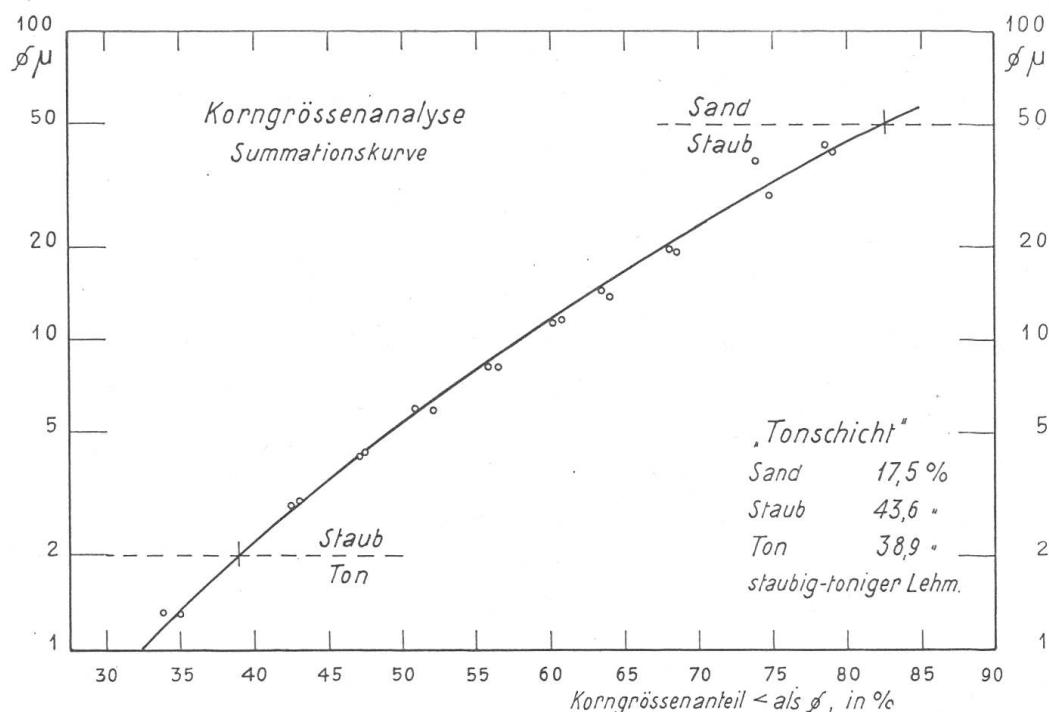
Zusammenstellung einiger Bodeneigenschaften der Versuchsböden, scheinbare Dichte ρ_a , reelle Dichte ρ_r , Porosität, E, Feldkapazität, FC, permanenter Welkepunkt, PVWP, verwertbares Wasser, W_v , Frischwassegehalt, P_f , und Wassersättigungsgrad, S_w .
 (L-L-L) = Lockerboden, (L-T-L) = Boden aus Locker-Ton-Lockerschicht

| Bodenart | Horizont (cm) | ρ_a (g/cm ³) | ρ_r (g/cm ³) | E | FC | | PVWP | | W_v | | P_f | | S_w % VP. |
|---------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|----------------|
| | | | | | (g/100 g Bo) | (g/l) | |
| (L-L-L)-Boden | 5-15 (L) | 0,97 | 2,61 | 0,63 | 21,3 | 206,0 | 8,2 | 79,5 | 13,1 | 126,5 | 22,35 | 216,8 | 34,0 |
| | 20-30 (L) | 1,13 | 2,61 | 0,56 | 18,6 | 210,0 | — | — | — | — | — | — | — |
| | 40-50 (L) | 1,07 | 2,61 | 0,60 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| (L-T-L)-Boden | 5-15 (L) | 1,02±0,0 | 2,61 | 0,60 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 20-30 (T) | 1,20±0,01 | 2,61 | 0,54 | 41,0 | 492,0 | 21,2 | 254,4 | 213,4 | 256,0 | 46,21 | 554,4 | 103,0 |
| | 40-50 (L) | 1,06±0,004 | 2,61 | 0,60 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

ϱ_a von $1,20 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$. Die geringe Streuung des Mittels zeigt, daß der Ton gleichmäßig eingearbeitet wurde. Auffallend ist aber der niedrige Wert für $\varrho_a = 1,20 \text{ g/cm}^3$. In natürlich gelagerten Böden mit einem analogen Tongehalt von 39% (Gewicht) bestimmt man Dichten von 1,5 bis 1,7 g/cm^3 . Wir schließen daraus, daß der Ton wohl infolge hohen Wassergehaltes beim Einbau nicht mehr verdichtet werden konnte.

Über die mechanische Korngrößenzusammensetzung des Tones gibt Figur 3-1 Auskunft. Die Sedimentationskurve ist halblogarithmisch aufgetragen und verläuft relativ flach. Die Tonschicht enthält 39% Ton, 44% Staub und 17% Sand. Der Boden ist ein staubig-toniger Lehm.

Figur 3-1



Die verwertbare Wassermenge (W_v) beträgt im (L-L-L)-Boden 2,8 Liter pro Versuchskiste, das heißt 2,8 Liter W_v auf 22 Liter Boden. Umgerechnet in Niederschlag würde diese Menge 50 mm entsprechen. Die Lockerschicht hat einen guten Vorrat an verwertbarem Wasser. Da bei Feldkapazität das Porenvolumen nur zu 20% mit Wasser gesättigt ist, hat der Boden einen übermäßig hohen Grobporenanteil, der die Durchlüftung sehr begünstigt.

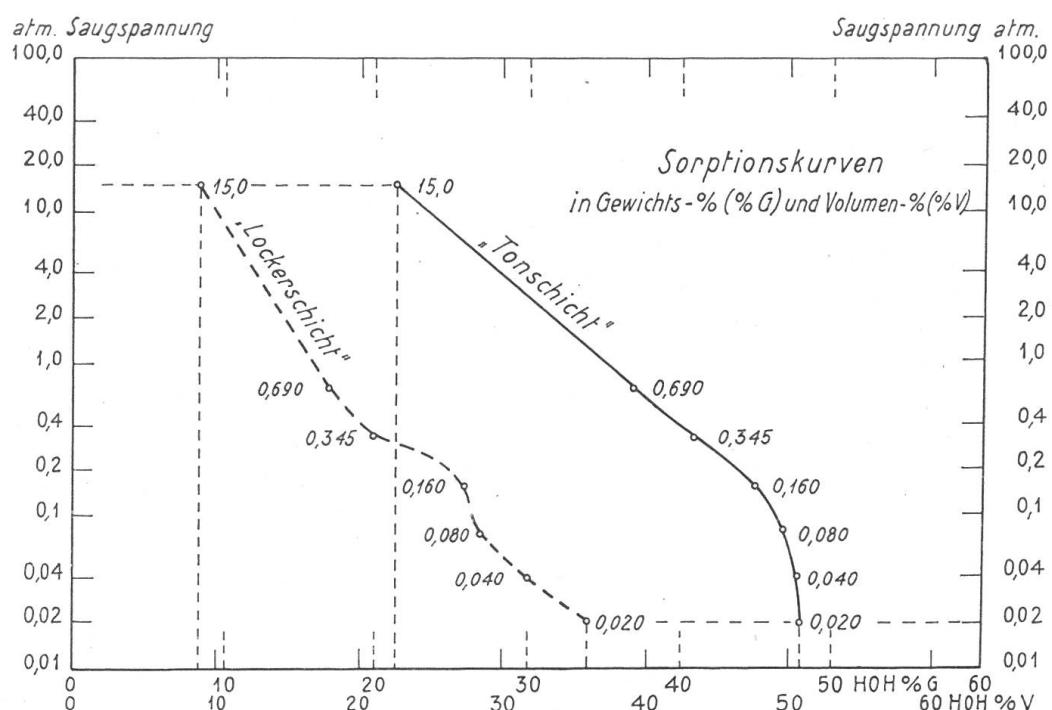
Die Tonschicht des (L-T-L)-Bodens hat ein Porenvolumen (V_p) von $540 \text{ cm}^3/\text{Liter}$. Dieses Volumen ist groß, es ist größer als in natürlich gelagerten Böden mit analogen Tongehalt. Die Ursache dafür ist weiter oben erwähnt worden, sie liegt in der kleinen Dichte des Tonés.

33 Die Porosität, der Porenaufbau und die Durchlüftung in den Versuchsböden

Die Sorptionskurve. Die Sorptionskurve ist eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen Wassergehalt und Druck des Wassers im Boden. Sie gibt unter anderem Aufschluß über die Porengrößenverteilung und erlaubt, den für unseren Versuch wesentlichen Grobporenanteil zu beurteilen, da dieser für die Wasserbewegung im ungesättigten Boden und für die Durchlüftung maßgebend ist.

In Figur 3-2 ist der Verlauf der Sorptionskurve für den Druckbereich 0,020–15,0 atm aufgetragen. Zur Darstellung kommt die Lockerschicht und die Tonschicht.

Figur 3-2



Die niedrigsten Drucke (Saugspannungen) entsprechen Wassergehalten nahe der Bodensättigung. Mit abnehmendem Wassergehalt nimmt die Saugspannung zu. Wir sehen beim Verlauf der Tonkurve den steilen Anstieg bei hohen Wassergehalten von 45 bis 48 %G. Wir schließen daraus, daß der Ton sozusagen keine Grobporen hat. Das Wasser ist sehr unbeweglich, es fließt unter dem Einfluß der Schwerkraft kaum aus dem Boden aus.

Je langsamer sich das Wasser im Boden auch bei hoher Wassersättigung bewegt, um so schlechter ist die Bodendurchlüftung. Der Verlauf der Sorptionskurve zeigt deutlich, daß in der Tonschicht der Wassergehalt erst ab etwa 0,100 atm Saugspannung langsam zurückgeht. Das heißt, in unserem

Tabelle 3-2:

Zusammenstellung der Durchschnitte der Wassergehalte für den (L-L-L)-Boden (Lockerboden und den (L-T-L)-Boden (mit einer Tonschicht als Zwischenlage). Abhängigkeit des Wassergehaltes in $\%_g$ und $\%_v$ von der Saugspannung. Werte für Sorptionskurve.

| Saug- spannung (at) | Wassergehalte | | | | | |
|---------------------------|-------------------|-------------------------------------|--------|----------------|-------------------------------------|--------|
| | Lockerschicht (L) | | | Tonschicht (T) | | |
| | $\%_g$ | ϱ_a (g/cm ³) | $\%_v$ | $\%_g$ | ϱ_a (g/cm ³) | $\%_v$ |
| 0,020 | 34,0 | 1,06 | 36,0 | 48,0 | 1,09 | 52,3 |
| 0,040 | 30,0 | 1,06 | 31,8 | 48,0 | 1,09 | 52,3 |
| 0,080 | 27,0 | 1,06 | 28,6 | 47,0 | 1,09 | 51,2 |
| 0,160 | 25,7 | 1,06 | 27,3 | 45,0 | 1,09 | 49,0 |
| 0,345 | 20,0 | 1,06 | 21,2 | 41,0 | 1,09 | 44,7 |
| 0,690 | 17,0 | 1,06 | 18,0 | 37,0 | 1,09 | 40,3 |
| 15,000 | 8,2 | 1,06 | 8,7 | 21,2 | 1,09 | 23,1 |

Versuchs-Tonboden wird sich auch bei sehr hohem Wassersättigungsgrad nahezu kein Wasser bewegen, der Ton ist unter den herrschenden Versuchsbedingungen nicht drainierbar. Er wird praktisch immer denselben hohen Wassergehalt haben. Der Feinporenreichtum des Tones zusammen mit dem hohen Wassergehalt verursacht eine schlechte Durchlüftung des Tones.

Der Verlauf der Kurve in der Lockerschicht (L-L-L) entspricht jener eines sehr grobporenreichen, gut durchlüfteten Bodens. Die verwertbare Wassermenge (W_v) beträgt 11,5 %_g oder 12,2 %_g.

Die gesättigte Wasserdurchlässigkeit nach Darcy. Ein wertvolles Maß für die Beurteilung der Wasserdurchlässigkeit der gesättigten Versuchsböden ist der sogenannte k-Wert nach Darcy. Dieser ist eine Proportionalitätskonstante zwischen der Filtergeschwindigkeit (v) und dem Gradienten (i). Wird $i = 1$ und die Filterquerschnittsfläche = 1 cm², dann wird im Darcy-Gesetz ($v = k \cdot i$) der Wert $k = v$. Der k-Wert hat die Dimension einer Geschwindigkeit.

Für die Lockerschicht ist $k = 1,9 \cdot 10^{-2}$ cm/sec = 1600 cm/Tag.

Für die Tonschicht wird $k = 2,1 \cdot 10^{-7}$ cm/sec = 1,8 · 10⁻² cm/Tag.

Die Lockerschicht ist im wassergesättigten Zustand 90 000mal durchlässiger als die Tonschicht.

Die Ergebnisse zeigen, daß die gesättigte Wasserdurchlässigkeit in beiden Bodenformen extrem verschieden ist. Die Lockerschicht ist sehr stark durch-

lässig, sie ist sogar wesentlich durchlässiger als zum Beispiel biologisch aktive Braunerde-Mullhorizonte von Laubmischwäldern.

Der k -Wert der Tonschicht entspricht in der Größenordnung jenem von undurchlässigen Bodenschichten in Weideböden der Flyschzone.

Die Struktur der Versuchsböden. In Figur 3-3 ist die Porengrößenverteilung und der Anteil fester Bodenmasse pro Volumeneinheit Boden angegeben.

Figur 3-3

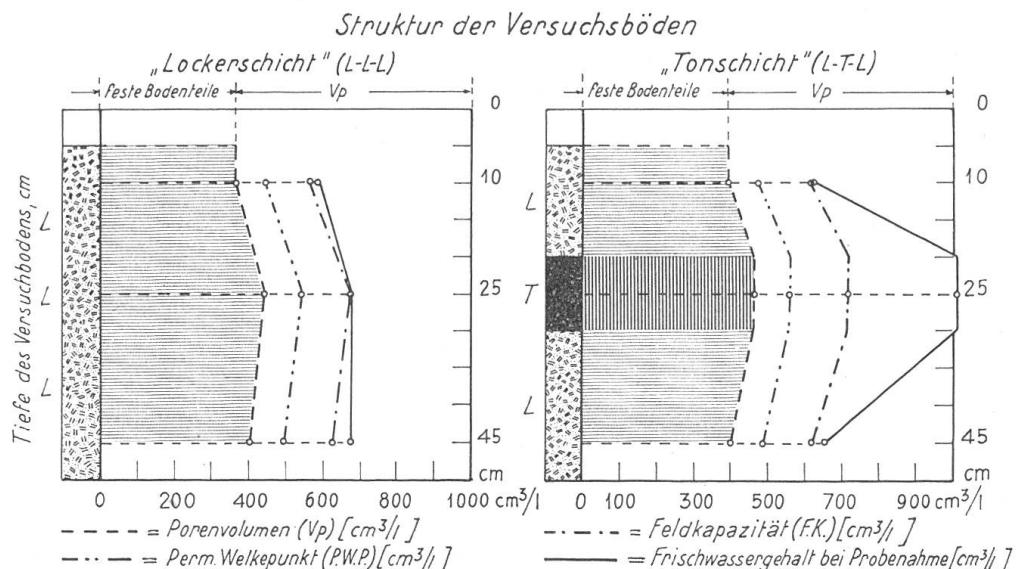


Tabelle 3-3:

Zusammenstellung der Werte für die scheinbare Dichte, ρ_a (g/cm^3); für das Porenvolumen, V_p (cm^3/Liter); für den permanenten Welkepunkt, PWP (cm^3/Liter); für das verwertbare Wasser, W_v (cm^3/Liter) und für den Frischwassergehalt, P_f (in cm^3/Liter).

| Versuchsboden | Boden-tiefe cm | ρ_a (g/cm^3) | V_p (cm^3/l) | PWP (cm^3/l) | F. C. (cm^3/l) | P_f (cm^3/l) |
|--|----------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Lockerboden (L-L-L)-Schichten | 5 – 15 | 0,97 | 630 | 79,5 | 194,0 | 216,8 |
| | 20 – 30 | 1,13 | 560 | 92,7 | 226,0 | 224,9 |
| | 40 – 50 | 1,07 | 600 | 87,7 | 214,0 | 267,5 |
| Boden mit Ton-schicht als Zwi-schenlage (L-T-L)-Schichten | 5 – 15 | 1,02 | 610 | 83,6 | 217,3 | 234,5 |
| | 20 – 30 | 1,20 | 540 | 98,4 | 255,6 | 554,5 |
| | 40 – 50 | 1,06 | 600 | 86,9 | 213,4 | 256,5 |

Im Versuchsboden ohne Tonzwischenlage erkennt man das durchgehend große Porenvolumen, das größer als $500 \text{ cm}^3/\text{Liter}$ ist. Namentlich fällt der sehr große Grobporenanteil auf, der mehr als die Hälfte des gesamten Porenvolumens ausmacht. Bezuglich Luftanteil entspricht dieser Boden nahezu einem Sandboden. Im Versuchsboden mit der 10 cm mächtigen Tonschicht verändern sich die Luftverhältnisse grundlegend. Wir sehen aus der Darstellung Figur 3-3, daß der Frischwassergehalt bei Probenahme der Porenättigung entspricht. Das heißt, daß das Porenvolumen bei der Probenahme mit Wasser gesättigt war. Da entsprechend der Lage der Tonschicht die Verdunstung sehr klein ist, die Durchwurzelung sehr schwach bis unbedeutend und die Wasserzugabe regelmäßig erfolgte, können wir annehmen, daß der Ton praktisch immer mit Wasser gesättigt war. Das heißt, daß die Wasserverteilung in den (L-T-L)-Böden analog jener der Figur 3-3 ist. Dadurch sind die Bedingungen für einen Versuchsboden mit einer schlecht durchlüfteten, vernäßten Tonschicht gegeben. Der Wassergehalt bei Feldkapazität wurde während des Versuches wegen der geringen Durchlässigkeit des Tones und der regelmäßigen Wassergabe nicht erreicht. Die Wassergehalte am permanenten Welkepunkt haben in diesem Zusammenhang nur informatorischen Wert.

Die Durchlüftung der Versuchsböden. Da die Versuchsböden sich im luftfüllten Grobporenanteil wesentlich unterscheiden, wurde besonders die Bodendurchlüftung näher untersucht.

Man darf annehmen, daß etwa neun Zehntel des gesamten Sauerstoffnachsuhes im Boden durch Diffusion erfolgt. Mißt man deshalb die Sauerstoffdiffusion, dann erhält man für viele praktische Fälle hinreichend genau die Sauerstoffversorgung im Boden.

Im Lockerboden ist die Sauerstoffdiffusion (D_b/D_l) angenähert 0,8- bis 0,9mal jener in der freien Atmosphäre. Verglichen mit produktiven Horizonten natürlich gelagerter Waldböden sind das sehr hohe Werte.

In diesem Versuchsboden wirkt der Sauerstoffnachsuh nicht wachstumeinschränkend.

Im Versuchsboden mit der eingeschobenen Tonschicht, das heißt im Boden mit der Schichtfolge Locker-Ton-Locker (L-T-L), sinkt der D_b/D_l -Wert in der Tonschicht auf 0,2 ab. Das heißt, im Ton ist der Sauerstoffnachsuh ungenügend aber noch nicht fehlend. Nach unseren Untersuchungen mit Keimlingen und Sämlingen wirkt diese niedrige Sauerstoffdiffusion auf die Wurzelentwicklung hemmend. Vergleichende Messungen in natürlich gelagerten Naßböden deuten darauf hin, daß in Horizonten mit so tiefer relativer Sauerstoffdiffusion die Wurzelentwicklung ebenfalls sehr schlecht ist. In den Lockerschichten oberhalb und unterhalb der Tonschicht ist der Sauerstoffnachsuh wieder gleich groß wie im Lockerboden, das heißt wie im Versuchsboden ohne Tonschicht.

Ferner vergleicht man die Diffusion im Boden mit jener in der Atmosphäre. Man bildet den Diffusionskoeffizienten Diffusion im Boden / Diffusion in der Luft und erhält somit die relative Sauerstoffdiffusion im Boden. Der Koeffizient ist ≤ 1 . Je kleiner er ist, um so schlechter ist der Sauerstoffnachschub im Boden. Werte $< 0,1$ deuten nach anderen Versuchen auf ungenügende Sauerstoffversorgung hin.

In Figur 3-4 ist die relative Sauerstoffdiffusion der Versuchsböden dargestellt.

Figur 3-4

Die relative Sauerstoffdiffusion

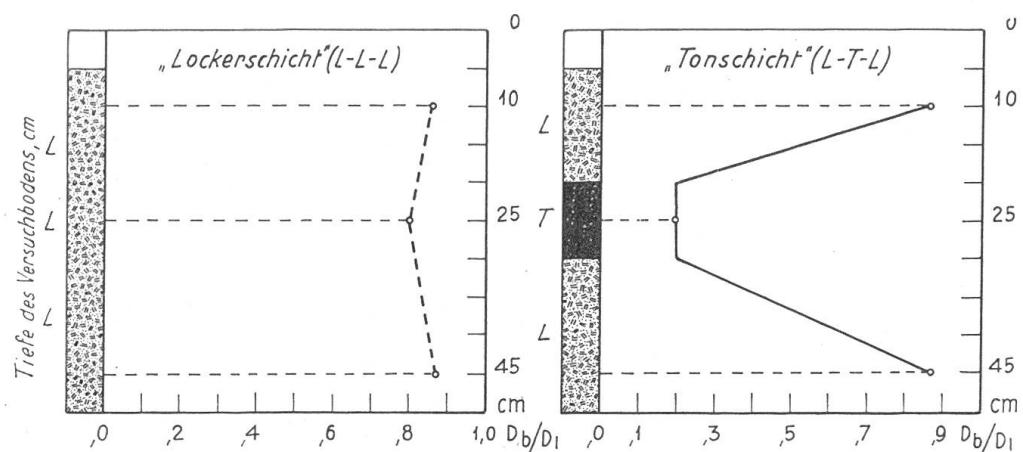


Tabelle 3-4:

Die relative Sauerstoffdiffusion D_b/D_l in den Versuchsböden bei gegebenem Frischwasser-gehalt.

| Versuchsboden | Bodentiefe cm | Rel. Sauerstoffdiffusion D_b/D_l mit $s_{\bar{x}}$ |
|---|---------------|--|
| Lockerboden (L-L-L)-Schichten | 5 – 15 | $0,86 \pm 0,014$ |
| | 20 – 30 | $0,80 \pm 0,026$ |
| | 40 – 50 | $0,87 \pm 0,022$ |
| Boden mit Tonschicht als Zwischenlage (L-T-L)-Schichten | 5 – 15 | wie oben |
| | 20 – 30 | $0,20 \pm 0,029$ |
| | 40 – 50 | wie oben |

4. Die Ergebnisse

Die verschiedenen Baumarten erreichten die einzelnen *Austreibestadien* wie folgt:

Tabelle 4-1:
Erreichen der Austreibstadien in Tagen nach dem 28. Februar

| Baumart | Stadium | | | | |
|-------------|---------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Hagebuche | 17,5 | 30,8 | 39,7 | 61,0 | 63,0 |
| Weiße Erle | 23,3 | 31,8 | 38,0 | 60,0 | 63,0 |
| Schwarzerle | 23,5 | 32,7 | 38,0 | 60,0 | 63,0 |
| Tanne | 25,3 | 44,5 | 49,7 | 60,0 | 66,0 |
| Fichte | 32,0 | 55,0 | 60,2 | 65,4 | 66,5 |
| Douglasie | 39,2 | 53,3 | 61,7 | 63,8 | 71,5 |
| do. 05 | 5,3 | 7,1 | 6,3 | 3,7 | 4,8 |

Die Nadelbäume trieben somit rund drei Wochen nach den Laubbäumen aus. Die Stieleichen-Keimlinge erschienen zum Teil bereits am 15. bis 20. April, froren dann aber zurück und trieben Mitte Mai neu aus. Die Unterschiede der einzelnen Baumarten im Austreiben sind vor allem im Zusammenhang mit dem Beginn des Wurzelwachstums interessant.

Den *Beginn des Wurzelwachstums* zeigt die nachstehende Reihenfolge:

Tabelle 4-2:
Beginn des Wurzelwachstums in Tagen nach dem 28. Februar

| | |
|-------------|------|
| Schwarzerle | 27,3 |
| Weiße Erle | 28,2 |
| Stieleiche | 30,2 |
| Hagebuche | 43,7 |
| Douglasie | 19,0 |
| Fichte | 23,3 |
| Tanne | 47,8 |
| do. 05 | 11,2 |

Auffallend ist, daß die Reihenfolge nicht mit derjenigen beim Ergrünen übereinstimmt. Die spät austreibende Douglasie begann sehr früh mit dem Wurzelwachstum, ebenso die Fichte. Hagebuche und Tanne begannen

dagegen mit dem Wurzelwachstum relativ spät. Die Unterschiede in Tagen zwischen Beginn des Austreibens (Stadium I) und dem Wurzelwachstum betragen:

Tabelle 4-3:

Unterschiede in Tagen zwischen Beginn des Austreibens und des Wurzelwachstums.

| | | |
|-------------|----------------|-------------------------------|
| Hagebuche | Wurzelwachstum | 26,2 Tage nach dem Austreiben |
| Weißeiche | Wurzelwachstum | 4,9 Tage nach dem Austreiben |
| Schwarzerle | Wurzelwachstum | 3,8 Tage nach dem Austreiben |
| Tanne | Wurzelwachstum | 22,5 Tage nach dem Austreiben |
| Fichte | Wurzelwachstum | 8,7 Tage vor dem Austreiben |
| Douglasie | Wurzelwachstum | 20,2 Tage vor dem Austreiben |

In der erwähnten Untersuchung mit Lärchen stellten wir im Beginn des Wurzelwachstums deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Herkünften fest. Deshalb erlauben die oben angeführten Angaben, welche sich auf eine einzige Provenienz beziehen, kaum allgemeine Schlüsse.

Der *Verlauf des Wurzelwachstums* zeigt eine erhebliche Abweichung vom Höhenwachstum, und ebenso zeigen die untersuchten Laubbäume gesamthaft die bereits bekannten Unterschiede gegenüber den Nadelbäumen.

Alle *Laubbaumarten* wiesen zwei Maxima in ihrem Wurzelwachstum auf: Das erste Maximum fällt in die Zeit von April bis Mai, und das zweite erscheint nach einer Verlangsamung oder sogar Unterbrechung im August oder September. Das erste Maximum fällt annähernd mit demjenigen des Höhenwachstums zusammen; das zweite dagegen tritt erst nach dem Abschluß des Höhenwachstums (Triebwachstums) auf. Bemerkenswert ist der Unterschied im Verlauf des Wurzelwachstums zwischen den beiden Erlenarten. Während die *Weißeiche* das Wurzelwachstum im August/September für etwa anderthalb Monate unterbrach und das zweite Ende September/Anfang Oktober aufwies, wobei das Wachstum bis Anfang November anhielt, zeigte die *Schwarzerle* keine Unterbrechung des Wurzelwachstums. Sie erreichte das zweite Maximum nach einer kleinen Verlangsamung des Wachstums gegen Ende August und schloß es schon Mitte Oktober ab.

Die *Stieleiche* und die *Hagebuche* wiesen einen auffallend ähnlichen Verlauf des Wurzelwachstums auf. Sie erreichten beide das erste Maximum gegen Ende Mai und das zweite – nach einer Einstellung oder Verlangsamung – gegen Ende August. Die Stieleiche schloß ihr Wurzelwachstum jedoch schon Anfang September ab, während es die Hagebuche bis Anfang Oktober ausdehnte.

Von den *Nadelbaumarten* begann die *Douglasie*, wie bereits erwähnt, am frühesten mit dem Wurzelwachstum, erreichte das Maximum gegen

Ende Mai und schloß es schon Ende Juni/Mitte Juli vor dem Abschluß des Triebwachstums ab. Die *Fichte* begann mit dem Wurzelwachstum ebenfalls relativ früh, erreichte das Maximum gegen Mitte Mai und verlängerte es — mit kleinen Unterbrechungen im August und September — bis Mitte Oktober. Die *Tanne* begann erst im April mit dem Wurzelwachstum, erreichte das Maximum gegen Ende Juni und verlängerte es ununterbrochen mit kleinen Einschränkungen bis Mitte Oktober.

Auffallend ist, daß keine der untersuchten Nadelbaumarten ein ausgeprägtes Herbstmaximum aufwies, wie es bei den Laubbäumen festgestellt wurde. Einzelne Beispiele sind graphisch dargestellt (siehe Darstellung 1).

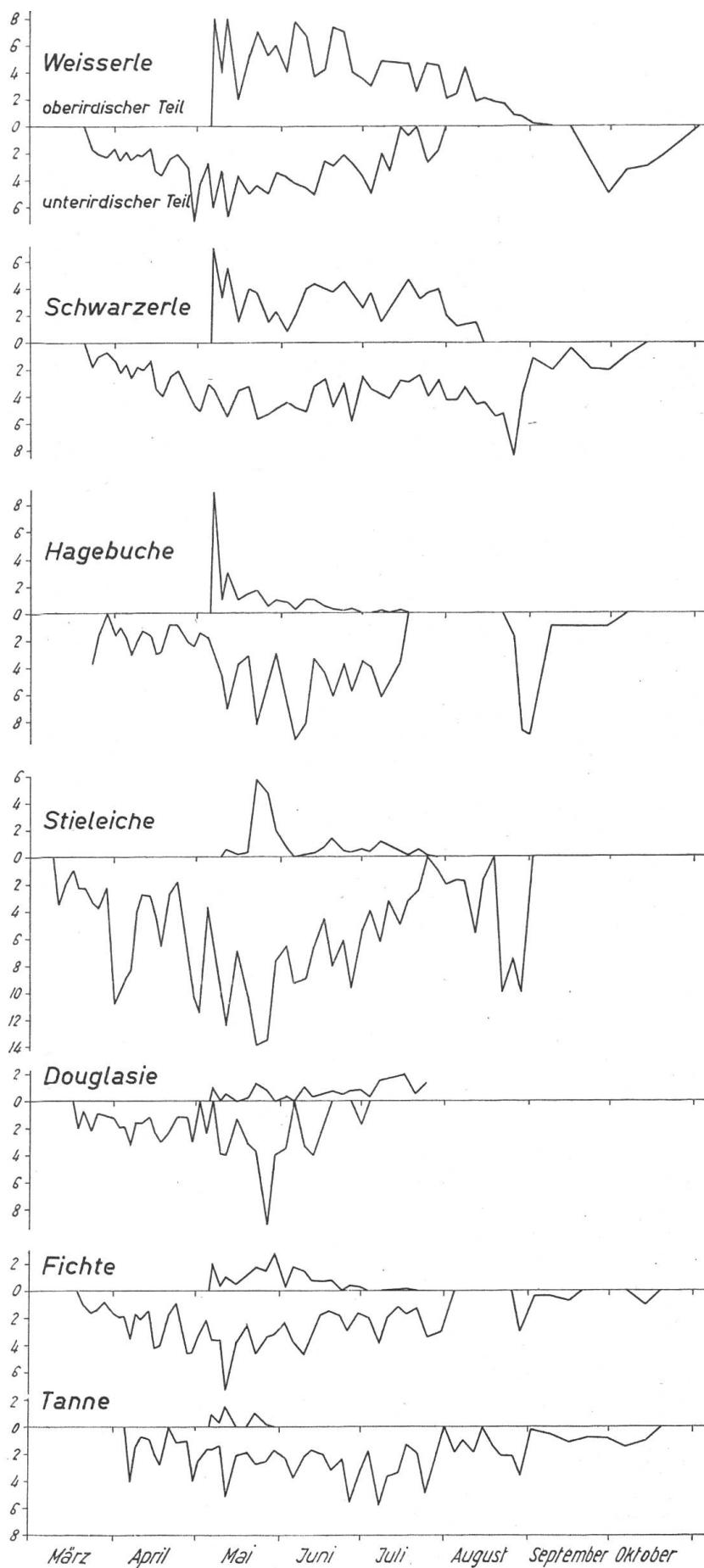
Die Untersuchungen über die *Durchdringung der Lehmschicht durch die Wurzeln* ergaben neben den erwähnten, mehr beiläufigen Beobachtungen bemerkenswerte Ergebnisse.

Hinsichtlich Eindringungsvermögen (Fähigkeit der einzelnen Baumarten, in die dichte Bodenschicht überhaupt einzudringen) unterscheiden sich die untersuchten Nadel- von den Laubbäumen deutlich und scharf. Keine der Nadelbaumarten vermochte überhaupt in die Lehmschicht einzudringen. Die Laubbäume hingegen besitzen die Fähigkeit, die Lehmschicht zu durchdringen. Sie unterscheiden sich jedoch hinsichtlich der Durchdringungsdauer (Geschwindigkeit) und dem Ausmaß der Durchdringung erheblich voneinander. Als Durchdringungsdauer wurde die Zeitspanne zwischen dem beobachteten Eindringen der ersten Wurzel in die Lehmschicht und der Beobachtung der ersten Wurzel unterhalb der Lehmschicht angenommen. Tabelle 4 gibt Auskunft über die Durchdringungsdauer und -geschwindigkeit der einzelnen Laubbäume.

Tab. 4-4:
Durchdringungsdauer und -Geschwindigkeit der einzelnen Laubbäume.

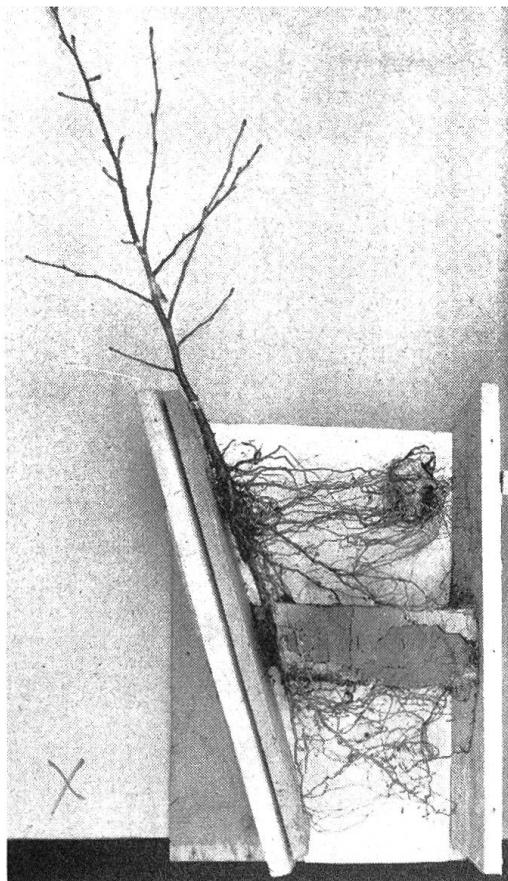
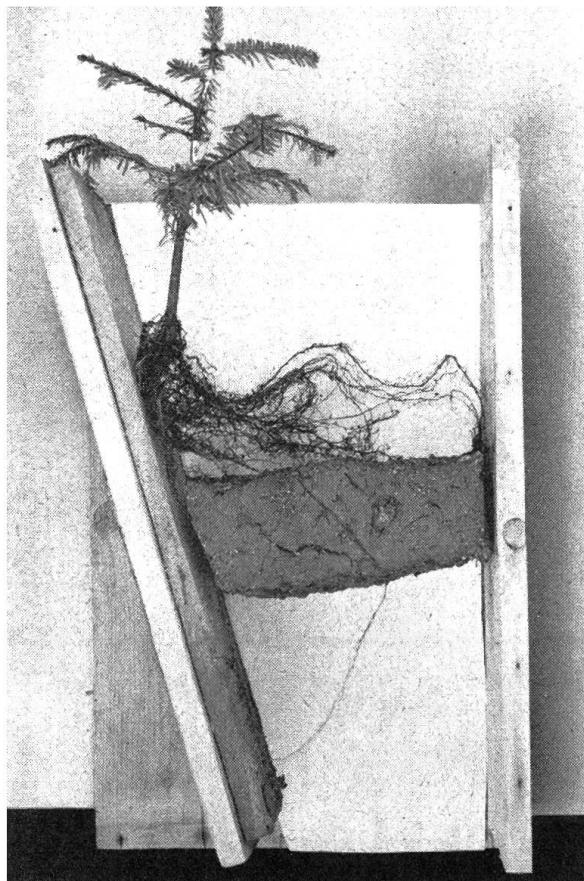
| Baumart | Dauer in Tagen | Geschwindigkeit mm/Tag |
|-------------|----------------|------------------------|
| Stieleiche | 19,4 | 5,2 |
| Schwarzerle | 21,5 | 4,6 |
| Weißeiche | 24,3 | 4,1 |
| Hagebuche | 29,3 | 3,4 |

In drei bis vier Wochen hatten alle beobachteten Laubbäume mit ihrem Wurzelwerk die etwa 10 cm dicke Lehmschicht durchdrungen. Bei den Nadelbäumen dagegen folgten die Wurzeln lediglich einzelnen Schwundrissen des Lehmbodens. Überrascht hat die Tanne durch ihre relativ geringe Durchwurzelung des Lehmes. Zum Teil mag ihr Verhalten auch damit



Darstellung 1

Wachstumsverlauf der untersuchten Pflanzen über eine Vegetationsperiode.



Links oben: Tanne

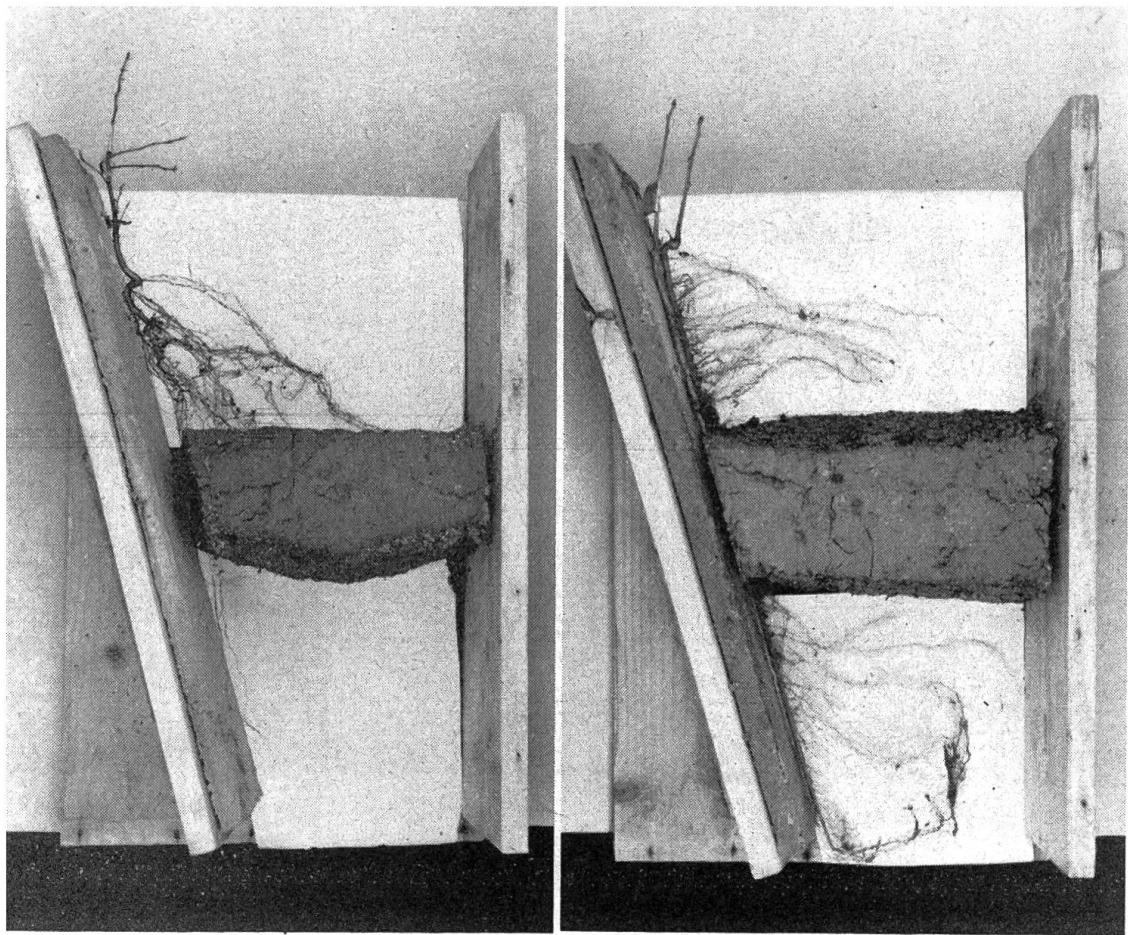
Rechts oben: Weiße Erle

Nebenstehend: Fichte

Gegenüberliegende Seite

links oben: Hagebuche

rechts oben: Stieleiche



zusammenhängen, daß die Kästen unbeschattet im Freien aufgestellt und die Tannen deshalb infolge der starken Besonnung relativ wenig vital waren.

Die Fähigkeit der einzelnen Arten zur Durchwurzelung des Lehmbodens gelangt am deutlichsten zum Ausdruck durch die *Verteilung der Wurzelmasse in den einzelnen Bodenschichten* und namentlich durch die Verteilung der als «Wurzel» bezeichneten Fasern. Als «Wurzel» wurden nur diejenigen Wurzelfasern bezeichnet, die sich im Boden befanden, als «Ausweicher» diejenigen, die sich an den Kastenwänden befanden und deshalb nicht unbedingt das eigentliche Durchdringungsvermögen der einzelnen Baumarten zum Ausdruck bringen.

Durchwurzelung einer Tonschicht durch Weiße Erle

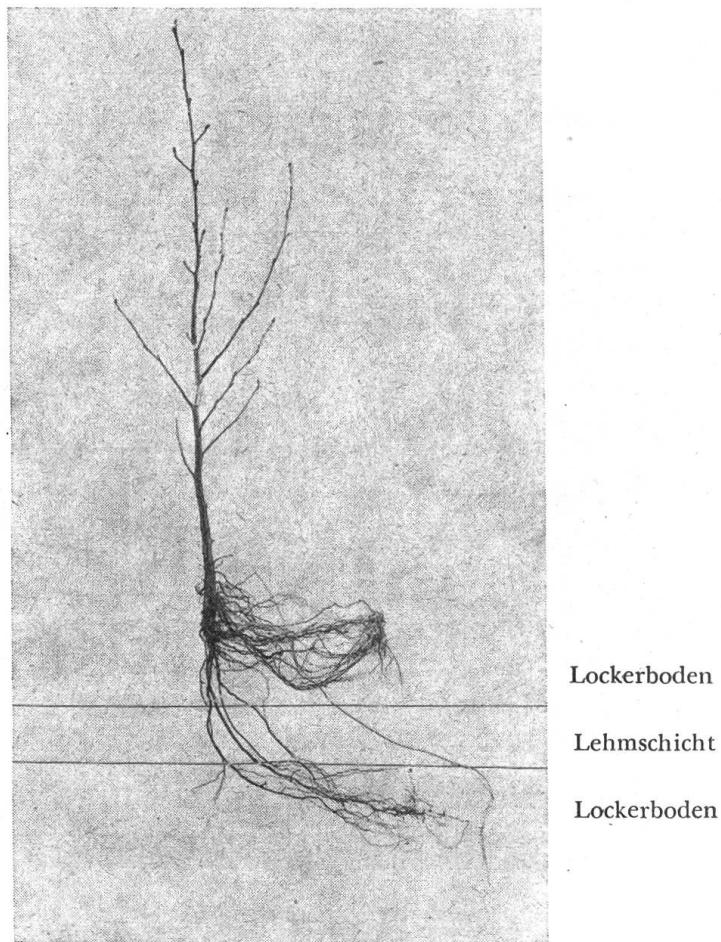


Tabelle 4-5:

Verteilung der durchschnittlichen Wurzelmasse pro Pflanze nach «Wurzeln» und «Ausweichern».

| | Douglasie | | Fichte | | Tanne | | Hagebuche | | Weiße Erle | | Schwarzerle | | Eiche | |
|------------|-----------|-----|--------|------|-------|-----|-----------|------|------------|------|-------------|------|-------|------|
| | g | % | g | % | g | % | g | % | g | % | g | % | g | % |
| Wurzeln | 0,67 | 100 | 7,72 | 96,1 | 5,26 | 100 | 2,04 | 93,0 | 12,61 | 88,8 | 17,33 | 91,3 | 2,35 | 65,3 |
| Ausweicher | — | — | 0,29 | 3,9 | — | — | 0,16 | 7,0 | 1,77 | 11,2 | 1,68 | 8,7 | 1,25 | 34,7 |
| Total | 0,67 | 100 | 8,01 | 100 | 5,26 | 100 | 2,20 | 100 | 14,38 | 100 | 19,01 | 100 | 3,60 | 100 |

Den größten prozentualen Anteil der «Ausweicher-Wurzeln» zeigten Eiche, Schwarz- und Weiße Erle, also die Baumarten, welche sich auch durch das rasche Durchwachsen der Lehmschicht ausgezeichnet haben.

Besonders interessant ist die *Verteilung der Wurzelmasse* auf die einzelnen Bodenschichten (siehe Tabelle 6). Bei den *Nadelbaumarten* konzentriert sich das ganze Wurzelwerk im Lockerboden oberhalb der Lehmschicht, und nur ein sehr kleiner Anteil wurde in der Lehmschicht festgestellt (Tanne 0,3 %, Fichte 1,0 % und Douglasie 1,5 %). Sie zeigen auch keine oder sehr wenige «Ausweicher».

Die verschiedenen *Laubbaumarten* dagegen unterscheiden sich wesentlich hinsichtlich der Verteilung der Wurzelmasse in den einzelnen Bodenschichten. Die Verteilung entspricht, wie zu erwarten war, dem Durchdringungsvermögen der einzelnen Baumarten. Den größten Anteil an Wurzeln, die sich in der Lehmschicht befinden oder die die Lehmschicht durchdrungen haben, weist die Stieleiche mit 20 % auf. Es folgen die Schwarzerle mit 4,6 % und die Weißerle mit 3,5 %. Den geringsten Anteil zeigt von den Laubbäumen die Hagebuche mit 2,9 %. Wenn die «Ausweicher-Wurzeln» mitberücksichtigt werden, ändern sie die Verhältnisse wenig.

Den größten Anteil an Gesamt-Wurzelmasse in der Lehmschicht und dem darunterliegenden Lockerboden weist die Stieleiche mit 26 % auf. Es folgen die Weißerle mit 8,7 %, die Schwarzerle mit 8,0 %, die Hagebuche mit 2,6 %, die Fichte mit 1,6 %, die Douglasie mit 1,5 % und die Tanne mit 0,3 %. Mit Ausnahme bei der Tanne werden also die praktischen Erfahrungen weitgehend bestätigt.

Noch besser als die Gesamtwurzelmasse vermag ihre Verteilung nach Wurzeldurchmesser das verschiedene Verhalten der einzelnen Baumarten zu beleuchten.

Die *Verteilung der Wurzelmasse nach Wurzelstärken* wurde für jede Bodenschicht gesondert untersucht (siehe Tabelle 7).

Die Tabelle 7 zeigt deutlich, daß auch die Verteilung der Wurzelmasse nach Wurzelstärken in einem engen Zusammenhang mit dem Eindringungsvermögen der einzelnen Baumarten steht. Der prozentuale Anteil der Wurzeln aus der Lehmschicht und aus der darunterliegenden Lockerschicht ist allgemein auffallend klein. Dennoch ist die Verteilung der Wurzeln, welche sich in der Lehmschicht befinden, aufschlußreich. Von den Nadelbaumarten und der Hagebuche vermochten nur feine Wurzeln < 1 mm in die Lehmschicht einzudringen. Bei der Weißerle wurden dagegen auch stärkere Wurzeln von 1 bis 3 mm (51 %) festgestellt. Bei der Schwarzerle machen die Wurzeln in der Stärke von 1 bis 3 mm 75 % der gesamten Wurzelmasse aus, und nur bei der Stieleiche entwickelten sich sogar Wurzeln über 3 mm (71 %) in der Lehmschicht. Die Verteilung der Wurzeln aller Bodenschichten entspricht der Durchdringungsfähigkeit der einzelnen Baumarten. Von den Nadelbaumarten weist die Douglasie den geringsten Anteil an Wurzeln über 3 mm (1,2 %) auf und die Fichte den größten (32,9 %). In bezug auf den Anteil an stärkeren Wurzeln lassen sich die Laubbaumarten in der gleichen Reihenfolge ordnen wie bei der Eindringungsfähigkeit, nämlich:

Tabelle 6:
Verteilung der Wurzelmasse auf die einzelnen Bodenschichten
Wurzelmasse in g Trockengewicht

| | Douglasie | | | Fichte | | | Tanne | | | Hagebutte | | |
|-------|-----------|------|---|--------|------|------|-------|-------|------|-----------|---|-------|
| | 1 | 2 | 3 | Total | 1 | 2 | 3 | Total | 1 | 2 | 3 | Total |
| W | 0,66 | 0,01 | — | 0,67 | 7,68 | 0,04 | — | 7,72 | 5,26 | 0,02 | — | 5,28 |
| A | — | — | — | — | 0,20 | 0,01 | 0,08 | 0,29 | — | — | — | 0,16 |
| Total | 0,66 | 0,01 | — | 0,67 | 7,88 | 0,05 | 0,08 | 8,01 | 5,26 | 0,02 | — | 5,28 |

Prozentuale Verteilung

| | Weißerle | | | Schwarzerle | | | Stieleiche | | | | | |
|-------|----------|------|------|-------------|-------|------|------------|-------|------|------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | Total | 1 | 2 | 3 | Total | 1 | 2 | 3 | Total |
| W | 12,16 | 0,25 | 0,20 | 12,61 | 16,66 | 0,41 | 0,26 | 17,33 | 1,88 | 0,25 | 0,22 | 2,35 |
| A | 0,97 | 0,35 | 0,45 | 1,77 | 0,79 | 0,38 | 0,51 | 1,68 | 0,79 | 0,20 | 0,26 | 1,25 |
| Total | 13,13 | 0,60 | 0,65 | 14,38 | 17,45 | 0,99 | 0,77 | 19,01 | 2,67 | 0,45 | 0,48 | 3,60 |

Wurzelmasse in g Trockengewicht

| | Weißerle | | | Schwarzerle | | | Stieleiche | | | Hagebutte | | |
|-------|----------|------|------|-------------|------|------|------------|-------|------|-----------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | Total | 1 | 2 | 3 | Total | 1 | 2 | 3 | Total |
| W | 96,5 | 1,9 | 1,6 | 100 | 95,4 | 2,8 | 1,8 | 100 | 80,0 | 10,7 | 9,3 | 100 |
| A | 55,0 | 19,6 | 25,4 | 100 | 47,3 | 22,7 | 30,0 | 100 | 63,3 | 16,3 | 20,4 | 100 |
| Total | 91,3 | 4,1 | 4,6 | 100 | 92,0 | 4,1 | 3,9 | 100 | 74,1 | 13,6 | 12,3 | 100 |

Prozentuale Verteilung

| | Weißerle | | | Schwarzerle | | | Stieleiche | | | Hagebutte | | |
|-------|----------|------|------|-------------|------|------|------------|-------|------|-----------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | Total | 1 | 2 | 3 | Total | 1 | 2 | 3 | Total |
| W | 96,5 | 1,9 | 1,6 | 100 | 95,4 | 2,8 | 1,8 | 100 | 80,0 | 10,7 | 9,3 | 100 |
| A | 55,0 | 19,6 | 25,4 | 100 | 47,3 | 22,7 | 30,0 | 100 | 63,3 | 16,3 | 20,4 | 100 |
| Total | 91,3 | 4,1 | 4,6 | 100 | 92,0 | 4,1 | 3,9 | 100 | 74,1 | 13,6 | 12,3 | 100 |

W = Wurzeln im Boden

A = Ausweicherwurzeln

1 = oberhalb Lehmschicht

2 = in Lehmschicht

3 = unterhalb Lehmschicht

Stieleiche 50,7 %, Schwarzerle 40,2 %, Weißele 40,1 % und Hagebuche 39,3 %. Umgekehrt verteilen sich die feineren Wurzeln (unter 1 mm) wie folgt: Hagebuche 44,7 %, Weißele 34,5 %, Schwarzerle 33,0 % und Stieleiche 14,9 %.

Bei der Verteilung der «Ausweicher» zeigt die Schwarzerle mit 41,0 % den größten Anteil an Wurzeln über 3 mm. Es folgen die Stieleiche mit 33 % und die Weißele mit 3,3 %. Die Feinwurzeln (unter 1 mm) verteilen sich wie folgt: Hagebuche 96 %, Weißele 28,2 %, Stieleiche 14,3 % und Schwarzerle 11,6 %.

Bei der *Verteilung der gesamten Wurzelmasse* («Wurzeln» und «Ausweicher») ist wiederum die Verteilung in der Lehmschicht sowie diejenige unterhalb der Lehmschicht interessant.

In der Lehmschicht verteilt sich die Wurzelmasse wie folgt:

Feine Wurzeln (unter 1 mm): Douglasie 100 %, Tanne 100 %, Fichte 85,2 %, Hagebuche 100 %, Weißele 35,9 %, Schwarzerle 17,0 % und Stieleiche 15,1 %. Stärkere Wurzeln als 3 mm wurden nur bei der Schwarzerle (26,0 %) und bei der Stieleiche (47,2 %) festgestellt.

Im Lockerboden *unterhalb der Lehmschicht* weisen die Wurzeln folgende Verteilung auf:

Feinwurzeln: Fichte 87,5 %, Hagebuche 100 %, Weißele 61,6 %, Schwarzerle 35,8 % und Stieleiche 29,4 %. Einen Anteil an stärkeren Wurzeln als 3 mm zeigen wiederum nur die Schwarzerle (24,3 %) und die Stieleiche (5,3 %).

Die Verteilung der gesamten Wurzelmasse (Wurzelmasse aller Bodenschichten) zeigt, daß, zumindest bei den Laubbaumarten, ein enger Zusammenhang zwischen der Eindringungsfähigkeit und der Verteilung der Wurzelmasse nach Wurzelstärken besteht. Den größten Anteil an feinen Wurzeln (unter 1 mm) weisen die Nadelbaumarten (Douglasie 78,0 % der gesamten Wurzelmasse, Tanne 48,1 %, Fichte 47,3 %) und die mit kleinem Durchdringungsvermögen ausgestattete Hagebuche (48,6 %) auf. Es folgen die Weißele mit 33,7 % und die Schwarzerle mit 31,1 %. Den geringsten Anteil weist die Stieleiche mit 14,7 % auf. Der Anteil an feinen Wurzeln hat daher die umgekehrte Reihenfolge der Eindringungsfähigkeit. Entsprechend ist die Verteilung der stärkeren Wurzeln.

Schließlich interessieren uns die Zusammenhänge zwischen dem Quotienten $\frac{\text{Trockengewicht oberirdischer Teil}}{\text{Trockengewicht unterirdischer Teil}}$ und dem Durchdringungsvermögen.

Die Berechnung dieses Quotienten und die erfolgte statistische Auswertung haben gezeigt, daß sowohl zwischen den Nadelbaumarten wie zwischen den Laubbaumarten wesentliche Unterschiede bestehen (siehe Abbildung).

Tabelle 7:
Prozentuale Verteilung der Wurzelmasse nach Wurzelstärken

A Wurzeln im Boden

| | Douglasie | | | | Fichte | | | | Tanne | | | | Hagebutche | | | | Weißeiche | | | | Schwarzerle | | | | Stieleiche | | | |
|---|-----------|------|-----|-----|--------|------|------|-----|-------|------|------|-----|------------|------|------|-----|-----------|------|------|------|-------------|------|------|------|------------|------|------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| a | 77,6 | 21,2 | 1,2 | 100 | 46,5 | 20,6 | 32,9 | 100 | 47,9 | 21,2 | 30,9 | 100 | 43,1 | 16,5 | 40,4 | 100 | 33,6 | 24,9 | 41,5 | 100 | 33,0 | 25,8 | 41,2 | 100 | 14,6 | 31,6 | 53,8 | 100 |
| b | 100 | — | — | 100 | 100 | — | — | 100 | 100 | — | — | 100 | 49,0 | 51,0 | — | — | 100 | 25,1 | 74,9 | — | — | 100 | 5,6 | 23,8 | 70,6 | 100 | | |
| c | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 100 | 74,6 | 25,4 | — | — | 100 | 43,4 | 12,7 | 43,9 | 100 | 28,7 | 71,3 | — | 100 | | |
| d | 78,0 | 20,8 | 1,2 | 100 | 46,8 | 20,5 | 32,7 | 100 | 48,1 | 21,1 | 30,8 | 100 | 44,7 | 16,0 | 39,3 | 100 | 34,5 | 25,4 | 40,1 | 100 | 33,0 | 26,8 | 40,2 | 100 | 14,9 | 34,4 | 50,7 | 100 |

B «Ausweicher-Wurzeln»

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|------|------|---|-----|---|---|---|---|------|-----|---|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| a | — | — | — | — | 52,4 | 47,6 | — | 100 | — | — | — | — | 96,0 | 4,0 | — | 100 | 15,4 | 78,6 | 6,0 | 100 | 1,2 | 47,0 | 51,8 | 100 | 5,0 | 48,7 | 46,3 | 100 | |
| b | — | — | — | — | — | 100 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 26,8 | 73,2 | — | — | 100 | 7,3 | 35,9 | 56,8 | 100 | 26,8 | 54,9 | 18,3 | 100 |
| c | — | — | — | — | 87,5 | 12,5 | — | 100 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 100 | 31,1 | 56,7 | 12,2 | 100 | 29,9 | 61,2 | 8,9 | 100 |
| d | — | — | — | — | 60,8 | 39,2 | — | 100 | — | — | — | — | 96,0 | 4,0 | — | 100 | 28,2 | 68,5 | 3,3 | 100 | 11,6 | 47,4 | 41,0 | 100 | 14,3 | 52,7 | 33,0 | 100 | |

C Total (A + B)

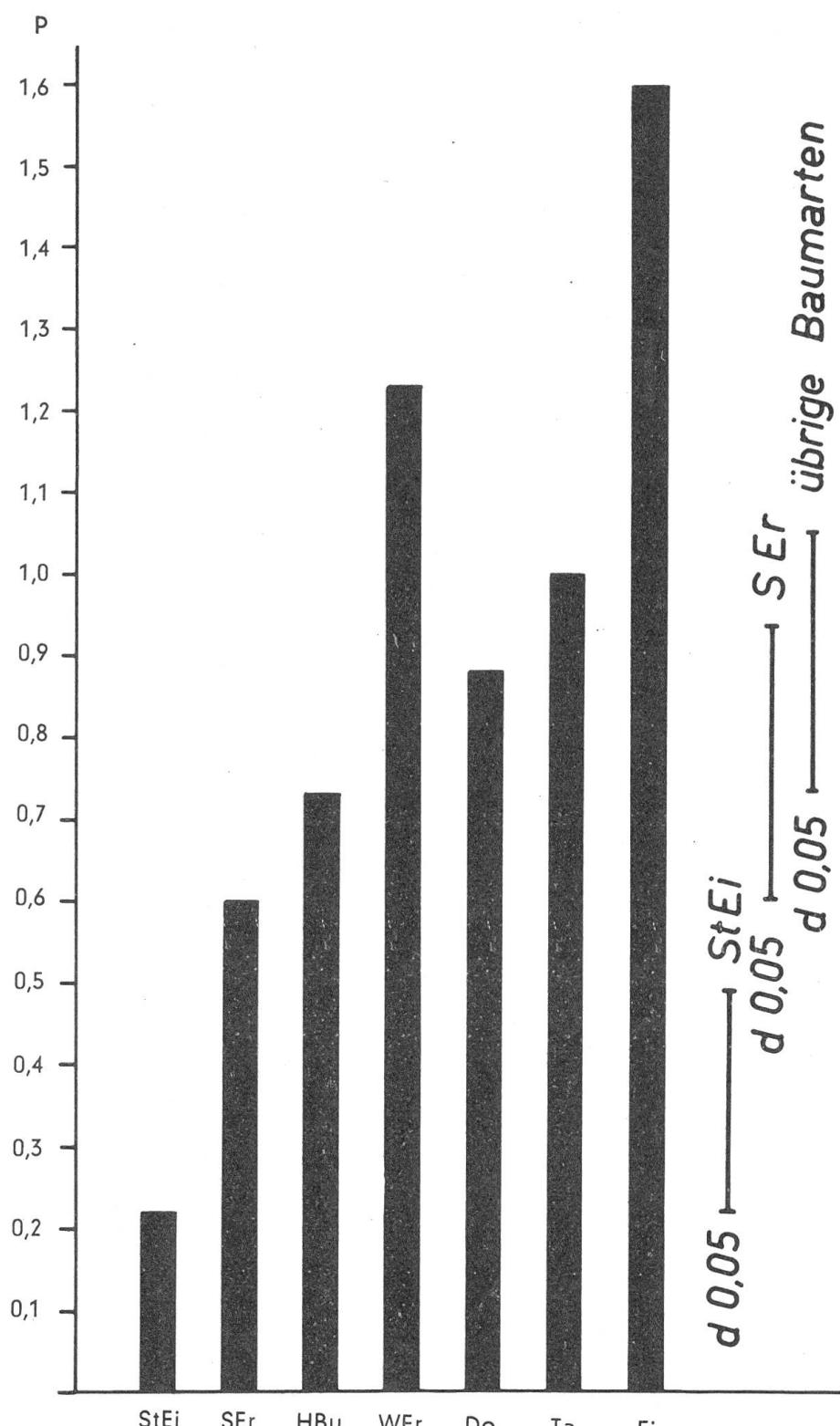
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| a | 77,6 | 21,2 | 1,2 | 100 | 46,7 | 21,3 | 32,0 | 100 | 47,9 | 21,2 | 30,9 | 100 | 47,2 | 15,5 | 37,3 | 100 | 32,2 | 28,9 | 38,9 | 100 | 31,5 | 26,8 | 41,7 | 100 | 11,7 | 36,7 | 56,6 | 100 | |
| b | 100 | — | — | 100 | 85,2 | 14,8 | — | 100 | 100 | — | — | 100 | 100 | — | — | 100 | 35,9 | 64,1 | — | — | 100 | 17,0 | 57,0 | 26,0 | 100 | 15,1 | 37,7 | 47,2 | 100 |
| c | — | — | — | — | 87,5 | 12,5 | — | 100 | — | — | — | 100 | — | — | — | 100 | 61,6 | 38,4 | — | — | 100 | 35,8 | 39,9 | 24,3 | 100 | 29,4 | 65,3 | 5,3 | 100 |
| d | 78,0 | 20,8 | 1,2 | 100 | 47,3 | 21,1 | 31,6 | 100 | 48,1 | 21,1 | 30,8 | 100 | 48,6 | 15,1 | 36,3 | 100 | 33,7 | 30,8 | 35,5 | 100 | 31,1 | 28,6 | 40,3 | 100 | 14,7 | 41,0 | 44,3 | 100 | |

1 = < 1 mm 3 = > 3 mm a = oberhalb Lehmschicht

2 = 1—3 mm 4 = Total b = in Lehmschicht

c = unterhalb Lehmschicht

d = Total aller Schichten



Die Baumarten mit einem relativ großen Durchdringungsvermögen, wie die Stieleiche und die Schwarzerle, zeigen den kleinsten Quotienten. Eine Ausnahme bildet die Weißeiche. Die Nadelbaumarten mit einer geringen Durchdringungsfähigkeit weisen den größten Quotienten auf (Douglasie 0,88, Fichte 1,60) (siehe Darstellung 2).

5. Zusammenfassung der Ergebnisse und Folgerungen

Die wesentlichen *Ergebnisse* lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Es bestehen wesentliche Unterschiede zwischen den untersuchten Baumarten sowohl in bezug auf das Erreichen der einzelnen Austreibestadien wie auf den Beginn und Verlauf des Wurzelwachstums.
2. Frühreibende Baumarten beginnen im allgemeinen relativ spät mit dem Wurzelwachstum.
3. Es besteht ein Unterschied zwischen den untersuchten Nadel- und den Laubbaumarten hinsichtlich des jährlichen Verlaufs des Wurzelwachstums.
4. Es besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen den untersuchten Nadel- und Laubbaumarten hinsichtlich der Fähigkeit zur Durchwurzelung eines bindigen Lehmbodens. Das größte Durchdringungsvermögen von den untersuchten Laubbäumen zeigt die Stieleiche.
5. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem Durchdringungsvermögen und der Verteilung der Wurzelmasse auf die einzelnen Wurzelstärken. Baumarten mit großem Anteil an feinen Wurzeln weisen ein geringes Ein- und Durchdringungsvermögen auf und umgekehrt.

6. Es scheint, daß das Verhältnis Trockengewicht des oberirdischen Teiles Trockengewicht des unterirdischen Teiles für das Eindringungsvermögen der einzelnen Arten aufschlußreich ist. Arten, die im untersuchten Alter einen kleinen Quotienten aufweisen, haben ein relativ starkes Eindringungsvermögen gezeigt und umgekehrt.

Die mit Jungpflanzen in Wurzelkästen durchgeführten Untersuchungen erlauben nur eine beschränkte Übertragung der Ergebnisse auf das Verhalten älterer Bäume unter natürlichen Verhältnissen. Immerhin decken sich die Ergebnisse unserer Untersuchungen weitgehend mit den praktischen Erfahrungen.

Die bekannte «drainierende Wirkung» der Schwarz- und Weißeiche beim Vorbau auf Aufforstungs- und Kulturlächen auf schweren, bindigen Böden beruht nicht allein auf ihrem großen Wasserverbrauch, sondern auch auf ihrer Fähigkeit, solche Böden einigermaßen zu durchwurzeln. Vor allem erscheint interessant, daß bei Erlen der Anteil relativ grober Wurzeln schon bei Jungpflanzen groß ist. Alte Wurzelkanäle von Erlen vermögen deshalb wie diejenigen der Stieleiche erheblich zur Verbesserung des Wasser- und Lufthaushaltes physikalisch ungünstiger Böden beizutragen.

Résumé

Etudes sur la croissance des racines de différentes essences forestières

Alors que le déroulement de la croissance des parties aériennes de nos essences forestières est bien connu grâce à une multitude d'études, la croissance des racines elle n'a encore été que peu étudiée expérimentalement. Ce n'est que récemment que des sylviculteurs s'intéressèrent d'une façon accrue aux études de racines; c'est en particulier le cas de différents collaborateurs de l'institut de sylviculture de Munich sous la direction de K ö s t l e r. Alors que ces recherches se rapportent principalement à l'étude de la forme des racines dans des sols forestiers naturels, des essais expérimentaux ont été entrepris dans notre institut dès l'automne 1958. Les résultats d'une étude sur la périodicité de la croissance des racines de mélèzes de différentes origines ont été publiés comme première communication dans les rapports du 13e congrès de l'Union internationale des instituts de recherches forestières tenu à Vienne en 1961.

La présente étude cherche à déterminer dans quelle mesure et à quelle vitesse de jeunes arbres de différentes essences forestières sont capables de s'enraciner dans un sol argileux lourd. L'essai a été fait avec les essences forestières suivantes: épicéa, Douglas, sapin, aulne blanc, aulne glutineux, chêne pédonculé et charme.

En octobre 1958, on mit en pots chaque fois six plants de chaque essence; pour le chêne pédonculé, on mit deux glands par pot. Pendant l'hiver, les pots restèrent dans une couche de tourbe. En février 1959, les plants furent soigneusement dépotés avec leurs racines et placés directement contre la paroi en verre des caisses d'observation des racines déposées en plein air.

Le *sol* (la terre) des caisses d'observation était constitué, de haut en bas, par les couches suivantes:

2 cm de gravillon
15 cm de terre mélangée dont une partie de limon (loess)
une partie de tourbe
une partie de sable de quartz
10 cm d'argile de tuilerie
25 cm de terre mélangée semblable à celle décrite ci-dessus
4 cm de gravillon.

La croissance des racines a été déterminée de la façon suivante. Deux fois par semaine, l'accroissement des racines visibles par la paroi de verre a été marqué sur la plaque de verre à l'aide d'un crayon gras, mesuré au millimètre et noté séparément pour chaque racine observée. A la fin de l'essai, les racines ont été soigneusement débourbées et analysées séparément pour chaque couche du sol.

Les principaux *résultats* peuvent être résumés comme suit:

1. Il existe des différences importantes entre les différentes essences forestières étudiées aussi bien en ce qui concerne les stades atteints par la croissance des parties aériennes que le début et le déroulement de la croissance des racines.
2. Les essences forestières à développement hâtif ont une croissance des racines relativement tardive.
3. Il existe une différence entre les essences résineuses et les essences feuillues étudiées en ce qui concerne le déroulement annuel de la croissance des racines.

4. Il existe une différence importante entre les essences résineuses et les essences feuillues étudiées en ce qui concerne leur capacité d'introduire leurs racines dans une couche de limon liant. La plus grande capacité de pénétration parmi les feuillus étudiés est celle du chêne pédonculé.

5. Il existe une relation étroite entre la capacité de pénétration et la répartition de la masse des racines sur les différentes dimensions de racines. Les essences forestières ayant une forte proportion de racines fines manifestent une faible capacité de pénétration et d'enracinement, et inversement.

6. Il semble que la relation

$$\frac{\text{poids sec des parties aériennes}}{\text{poids sec des parties souterraines}}$$

donne une indication valable quant à la capacité de pénétration des racines des diverses essences forestières. Les espèces qui à l'âge étudié avaient un petit quotient, se sont caractérisées par une plus forte capacité de pénétration, et inversement.

Les essais ayant été entrepris dans des caisses d'observation et à l'aide de jeunes plants, ils ne permettent qu'un report limité des résultats sur le comportement d'arbres âgés végétant dans des conditions naturelles. Cependant les résultats de nos recherches concordent largement avec les constatations faites dans la pratique. Aussi est-il possible d'en tirer quelques conclusions.

«L'effet de drainage» bien connu des aulnes glutineux et des aulnes blancs, lorsqu'on les utilise comme essences pionniers dans des surfaces de reboisement ou dans des plantations dont les sols sont lourds et liants, ne tient pas seulement à leur forte consommation d'eau, mais aussi à leur capacité de s'enraciner jusqu'à un certain point dans de tels sols. Ce qui est essentiel, c'est que la proportion de racines relativement grossières soit déjà forte chez les jeunes plants. Des vieux canaux de racines d'aulnes peuvent donc contribuer considérablement, comme ceux des chênes pédonculés, à l'amélioration du régime de l'eau et de l'air des sols dont la constitution physique est défavorable.

Traduction *Farron*

Ein kleiner Beitrag zur Kenntnis unserer Waldameisenfauna

Von *H. Kutter*, Männedorf

Oxf. 151

Die Kontroverse über den forstwirtschaftlichen Nutzen der rotbrüstigen Waldameisen aus der *Formica rufa*-Gruppe scheint endlich zu verebben. Die Bilanz diesbezüglicher Untersuchungen ist deutlich positiv ausgefallen und findet nunmehr allgemeine Anerkennung. Für mitteleuropäische Verhältnisse haben sich die zwei Arten *Formica polyctena* Foerst. und *Formica lugubris* Zett. als besonders nützliche Forstinsekten ausgewiesen, weil sie nicht nur passionierte Jägerinnen sind, sondern in der Regel auch sehr individuenreiche Kolonien mit entsprechend erhöhtem Nahrungsbedarf bilden