

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Forstverein
<b>Band:</b>	104 (1953)
<b>Heft:</b>	4-5
<b>Artikel:</b>	Physikalische Bodeneigenschaften natürlich gelagerter Rissmoränewaldböden unter verschiedener Bestockung
<b>Autor:</b>	Richard, Felix
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-767565">https://doi.org/10.5169/seals-767565</a>

### **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:** 14.01.2026

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

starker Konzentration (A) hemmend auf das Höhenwachstum.  $\beta$ -Indolyl-(3)-Propionsäure (A und B), Indolyl-(3)-Essigsäure (A, B und C) und  $\alpha$ -Naphthylazetamid (B und C) erhöhten vorübergehend das Wachstum der Hauptwurzel und das Wurzelgewicht; auf die Dauer verminderen sie aber bei starker Konzentration (A) das Höhenwachstum und zum Teil [ $\beta$ -Indolyl-(3)-Propionsäure] auch das Wurzelgewicht.

Auf Grund dieser Ergebnisse kann vor allem die Behandlung mit *Amino-propionsäure* empfohlen werden. An zweiter Stelle folgt *Nikotinsäure* (A), die freilich die Entwicklung des oberirdischen Teiles etwas hemmt. Wo hauptsächlich eine rasche Bewurzelung erzielt werden soll und das spätere Keimlingswachstum weniger wichtig erscheint, lassen sich auch *Nikotinsäureamid* (B),  $\beta$ -*Indolyl-(3)-Propionsäure (C), *Indolyl-(3)-Essigsäure (B und C) und das schwerer lösliche  $\alpha$ -*Naphthylazetamid* mit Erfolg verwenden. *Kunz***

### Bibliographie

1. *An.*: Plant Growth Substances. A Symposium. Univ. Wisconsin Press, 1951.
2. *Chouard, P.*: Les progrès récents dans la connaissance de l'emploi des substances de croissance. Le Mans, 1949.
3. *Cortvriendt, S.-J., van Onsem, J.*: Over groeistoffen. Landbouwtijdschrift, 1949.
4. *Drawert, H.*: Beiträge zur Stimulation des Pflanzenwachstums. *Planta*, 1949.
5. *Gautheret, R.-J.*: La culture des tissus végétaux. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Congress of Experimental Cytology.
6. *Kruyt, W.*: Researches on plant growth regulators. Proc. Kon. Ned. Akad. Wet., 1947.
7. *Ruge, U.*: Untersuchungen über keimungsfördernde Wirkstoffe. *Planta*, 1947.
8. *Saubert-v. Hausen, S.*: On the Role of the Growth substances in higher Plants. *Physiologia Plantarum*, 1948.
9. *Van Miegroet, M.*: L'influence de quelques substances actives synthétiques sur la germination du pin sylvestre. *Journal forestier suisse*, 1952.
10. *Würgler, W.*: La croissance de la plante et les phytohormones. *Revue horticole suisse*, 1947.
11. *Würgler, W.*: Stimulation des cals de cicatrisation chez *Prunus armeniaca* L. par l' $\alpha$ -naphthylacétamide. *Berichte der Schweiz. Bot. Ges.*, 1948
12. *Würgler, W.*: Peut-on employer des phytohormones pour retarder le débourrement de la vigne? *Stat. féd. d'essais vitic., arboric. et de chimie agric. Montagibert. Publ. n° 363*, 1948.
13. *Würgler, W., et Mottier, P.*: Le développement parthénocarpique des fruits par des substances de croissance. *Revue horticole suisse*, 1949.

## Physikalische Bodeneigenschaften natürlich gelagerter Rißmoränewaldböden unter verschiedener Bestockung<sup>1</sup>

Von *Felix Richard*, Zürich

### 1. Einleitung und Problemstellung

Der forstliche Praktiker schenkt dem Waldboden meistens dann seine besondere Aufmerksamkeit, wenn ein bestimmter Bodenfaktor

<sup>1</sup> Herrn Schulratspräsident Prof. Dr. H. Pallmann zu seinem 50. Geburtstag am 21. Mai 1953.

das Wachstum wirtschaftlich oder waldbautechnisch erwünschter Baumarten nachteilig beeinflußt. Im konkreten Einzelfall ist es nicht immer leicht, den sog. wuchsentscheidenden Faktor zu bestimmen. Meistens sind es auch mehrere Faktoren zusammen, die im Boden einen Zustand erzeugen, der für die Holzproduktion, für eine wirtschaftlich vorteilhafte Baumartenmischung oder für die Bestandeserziehung ungünstig ist. Erschwerend wirkt ferner der Umstand, daß der Veränderung von Standortsfaktoren, speziell der Bodenfaktoren, im Sinne einer besseren wirtschaftlichen Rendite des Standortes durch die Natur selber bestimmte Grenzen gesetzt sind. Aus einem flachgründigen Boden kann nicht ohne weiteres, d. h. mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand, ein tiefgründiger Boden, aus einem sehr trockenen Boden kann nicht ein dauernd besser durchfeuchteter Boden gemacht werden. Der Förster ist aber auch nicht gehalten, den Standort, wie er sich im Felde präsentiert, als unveränderlich hinzunehmen. Auf vielen Standorten des schweizerischen Mittellandes, zum Teil auch des Jura und der Alpen, können wir infolge der jahrhundertelangen menschlichen Wirtschaft nicht mehr mit Sicherheit sagen, welches die natürlichen Bodeneigenschaften sind. Schlagführung, Nutzungsart, Nutzungsintensität, Pflanzung und Baumartenzusammensetzung sind Faktoren, die die Bodeneigenschaften auch entscheidend beeinflussen.

Wir wissen ferner, daß der sog. «natürliche» oder eher der aktuelle Zustand eines Waldbodens nicht immer der wirtschaftlich erwünschte ist. Auch in der Boden- und Vegetationsentwicklung richtet sich die Natur nicht nach den Interessen des Menschen. In solchen Fällen aber ist es für den Forstmann verlockend, zunächst die das Baumwachstum hemmenden Bodenfaktoren zu bestimmen, was oft sehr schwierig ist, sie zu messen und im Rahmen der weiter oben beschriebenen Grenzen im Sinne einer dauernd besseren wirtschaftlichen Ausnützung des Bodens zu verändern.

Unter den vielen Bodenfaktoren, die in einem meist schwer zerlegbaren Zusammenwirken den Gesamtboden ausmachen, sind es häufig physikalische Faktoren, die das Baumwachstum nachteilig beeinflussen, wie: Flachgründigkeit, Trockenheit, Vernässung, zu hohe Dichte, zuviel Fein- bzw. zuwenig Grobporen, zu geringe Wasserhaltekraft usw. Besonders die Rißmoräneböden im schweizerischen Mittelland stellen bedeutsame bodenphysikalische Probleme. Arbeiten über Eigenschaften von Rißmoräneböden sind in der Schweiz durch Burger (1, 2, 3, 4), Pallmann (10), Richard (11) und in Deutschland durch Krauß (6, 7, 8) veröffentlicht worden.

Die Rißmoräneböden im schweizerischen Mittelland sind oft sehr verdichtet. Große Bodendichten verursachen in unseren Breiten hohen Wassergehalt eines Bodens und ungünstige physikalische Bedingungen für eindringende Baumwurzeln. Von bestimmten Baumarten erwartet

man bodenlockernde Wirkungen. Besonders auf Rißmoräneböden wäre das ein bedeutungsvoller forstwirtschaftlicher Vorteil, da lockere Böden für viele Baumarten wesentlich günstigere Wuchsbedingungen haben als dichte. So kann man zum Beispiel in Langenthal beobachten, wie auf vergleichbarer geologischer Unterlage der Rißmoräne ein Eichen-Mischwald, ein reiner Fichtenbestand nach landwirtschaftlicher Zwischennutzung und ein Tannen-(Fichten-)Mischbestand stocken. Da die drei Bestände ziemlich alt sind, der Eichen-Mischwald > 200jährig («Färrach»), der Fichtenbestand 70- bis 80jährig («Kühstelli») und der Tannen- (Fichten-)Bestand > 130jährig («Aspi»), ist es angebracht, ihren Einfluß auf die physikalischen Bodeneigenschaften zu untersuchen, dies um so mehr, als die sog. natürliche Vegetation nicht sicher rekonstruiert werden kann. Eine eingehende pflanzensoziologische Analyse des Untersuchungsgebietes hat Meyer (9) durchgeführt. Dort sind auch die Vegetationsaufnahmen für «Kühstelli» und «Aspi» zusammengestellt. Durch Feldbeobachtung konnte vor allem festgestellt werden, wie der Wasserhaushalt in den Böden der erwähnten Bestände verschieden ist:

- Die Böden der *Eichenbestände* «Färrach» sind sehr wenig marmoriert, was auf eine verhältnismäßig günstige Entwässerung schließen läßt. Die Eichenbestände sind schön und haben gute Zuwachse.
- Die Böden der *Fichtenbestände* «Kühstelli» sind bis 25 cm unterhalb der Bodenoberfläche extrem marmoriert. Wir schließen daraus, daß der Boden während längerer Zeit des Jahres bis nahe zur Oberfläche mit Wasser gesättigt sein muß; der Unterboden ist deshalb ungenügend durchlüftet. Die Wurzeln der Fichten streichen oberflächlich, der Zuwachs der Bäume ist minimal.
- Unter den *Tannenbeständen* «Aspi» ist der Rißmoräneboden ebenfalls stark marmoriert; auch er scheint während längerer Zeit des Jahres mit Wasser gesättigt zu sein. Im Unterschied zu den Fichtenbeständen sind aber die Weißtannen sehr wuchskräftig, sie können die für die Fichten ungünstigen Bodeneigenschaften gut ertragen.

Für das Rißmoränegebiet von Langenthal ist der Wasserhaushalt unter Eichen- und Fichtenbestockung (diese nach landwirtschaftlicher Zwischennutzung) grundsätzlich verschieden, und wir nehmen an, daß er einen wesentlichen Einfluß auf das Baumwachstum hat. Ferner kann man beobachten, daß unter dem Weißtannenbestand sich Böden mit ähnlicher Marmorierung und Vernässung ausbilden wie unter Fichte. Trotzdem wachsen aber die Weißtannen rascher, sie produzieren mehr als die Fichten. Es ist interessant festzustellen, daß sich die Weißtanne in dem für Fichten ungünstigen Boden mit sehr hoher Dichte wesentlich besser zurechtfindet.

Die Ursache des unterschiedlichen Wasserhaushaltes liegt vermutlich in der Porosität des Bodens, speziell in der Art der Porengrößenverteilung. Wir stellen uns die Aufgabe, diese Eigenschaften von Rißmoräneböden zu analysieren. Bei der Wahl der bodenphysikalischen Untersuchungsmethoden waren Überlegungen maßgebend, die an anderer Stelle diskutiert worden sind (Richard, 12).

## 2. Das Porenvolumen

Der Porenraum eines Bodens hat viele Funktionen. Unter anderem wird in ihm das Wasser festgehalten, das die Pflanzen zum Wachstum nötig haben; dort sind die Gänge, durch die der Sauerstoff in den Boden eindringen kann; dort finden die Wurzelhaare ihren Weg zu den kolloiden Ton- und Humusoberflächen, die Nährstoffe für die Pflanze abgeben.

Die Größe des Porenraumes und seine Veränderung mit zunehmender Bodentiefe ist für viele Waldböden charakteristisch. Von beiden Faktoren können Länge und Form der Wurzeln entscheidend abhängen; beides Eigenschaften, die das Baumwachstum wesentlich beeinflussen.

Das Porenvolumen ist die Summe der Volumina aller gasförmigen und flüssigen Phasen eines natürlich gelagerten oder gesiebten Bodens. Um ein günstiges Baumwachstum zu sichern, braucht es ein bestimmtes optimales Porenvolumen, das je nach Baumart anders sein kann. Bis heute sind für Waldbauarten wenig systematische Untersuchungen durchgeführt worden. Zu kleine Volumina verursachen zu kleinen Wuchsraum für die Wurzeln, zu große Volumina können Austrocknung, schlechte Wasserhaushaltung und ungenügende Nährstoffversorgung zur Folge haben.

Das Porenvolumen ist umgekehrt proportional der scheinbaren *Dichte* (Masse fester, bei 105° C getrockneter Bodenteilchen in Gramm/Volumen des gewachsenen Bodens in cm<sup>3</sup>). Je mehr feste Bodenteilchen pro Liter gewachsenen Bodens vorhanden sind, um so kleiner wird das Porenvolumen und umgekehrt.

Für die Rißmoräneböden von Langenthal werden nachstehend Dichte und Porenvolumen verglichen. Alle drei Vergleichsböden haben, soweit das überhaupt feststellbar ist, das gleiche Muttergestein; es ist eine schluffreiche, tonarme Feinerde mit sehr hoher Verdichtungsbereitschaft (vgl. Pallmann, 10; Richard, 11). Auf diesem Muttergestein stocken Bestände mit verschiedener Baumartenzusammensetzung, die zum Teil einen wesentlichen Einfluß auf die physikalische Beschaffenheit der Böden gehabt haben.

Um einer eventuell später folgenden systematischen Bodenklassifikation nicht vorzugreifen, geben wir den Böden neutrale geographische Namen der Orte, wo sie sich befinden.

- a) «Färrach»: Rißmoräneboden unter praktisch reinem Eichenaltholzbestand ( $> 200$  jährig). Ohne landwirtschaftliche Zwischenutzung, mit jährlich vollständigem Streueabbau. (Schwach marmorierte, wenig vergleyte Rißmoränebraunerde mit günstigem, aber sehr labilem Bodengefüge.)
- b) «Kühstelli»: Rißmoräneboden mit landwirtschaftlicher Zwischenutzung (1880—1890) und nachfolgend reiner Fichtenaufforstung mit schlechter Wuchsleistung. Dichter, scharf aufgesetzter Rohhumushorizont, extrem stark marmoriert und vergleyt, hohe Bodenverdichtung unterhalb ehemaliger Pflugsohle, langfristig vernässt, flachgründig. (Extrem stark marmorierter und vergleyter Rißmoräneboden mit Rohhumusaufgabe.)
- c) «Aspi»: Rißmoräneboden ohne bekannte landwirtschaftliche Zwischenutzung, mit vorwiegend Weißtannenbestockung guter Wuchsleistung. (Extrem stark marmorierter und vergleyter Rißmoräneboden mit Rohhumusaufgabe.)

Um in den nachfolgenden Diskussionen eine langatmige Benennung zu umgehen, sprechen wir kurz vom «Färrach»- bzw. vom «Kühstelli»- bzw. vom «Aspi»-Boden und meinen damit die oben angegebenen Rißmoräneböden unter *Eichen*- bzw. *Fichten*- bzw. *Weißtannenwirtschaft*.

*Tabelle 1*

Dichten,  $\rho_a$  (g Bo/cm<sup>3</sup>), und Porenvolumen,  $V_p$  (cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup> Bo), in den Rißmoräneböden «Färrach» (Eichenbestockung), «Kühstelli» (Fichtenbestockung) und «Aspi» (Weißtannenbestockung)

«Färrach» (Eichenbestockung)			«Kühstelli» (Fichtenbestockung)			«Aspi» (Weißtannenbestockung)		
Horizont (cm)	Dichte, $\rho_a$ (g Bo/cm <sup>3</sup> )	Porenvol., $V_p$ (cm <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> Bo)	Horizont (cm)	Dichte, $\rho_a$ (g Bo/cm <sup>3</sup> )	Porenvol., $V_p$ (cm <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> Bo)	Horizont (cm)	Dichte, $\rho_a$ (g Bo/cm <sup>3</sup> )	Porenvol., $V_p$ (cm <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> Bo)
5—15	1,10	577	5—15	1,16	560	10—20	1,04	603
15—25	1,12	570	30—40	1,57	400	25—35	1,41	460
35—45	1,19	541	60—70	1,58	390	70—80	1,62	377
75—85	1,46	441	95—105	1,63	380	120—130	1,68	358
120—130	1,59	390	120—130	1,73	340			

In Tabelle 1 und Figur 1 sind Dichte und Porenvolumen für die drei Standorte zusammengestellt. Es ist auffallend, wie die Eichen den «Färrach»-Boden im Vergleich zum Fichtenboden «Kühstelli» und zum

Weißtannenboden «Aspi» sehr stark lockerten. Im «Färrach» zum Beispiel nimmt die Dichte nur langsam von 1,10 (g Bo/cm<sup>3</sup>) in 5—15 cm auf 1,59 in 120—130 cm Tiefe zu, während im Fichtenboden «Kühstelli» von 5—15 cm auf 15—25 cm Tiefe die Dichte sprunghaft von 1,16 auf 1,57 steigt (Pflugsohle), um in 120—130 cm sogar auf den Extremwert von 1,73 anzusteigen. Im Weißtannenboden «Aspi» verlaufen die Dichten ähnlich wie im Fichtenboden «Kühstelli».

*Tabelle 2*

*Dichten,  $\varrho_a$  und Porenvolumen,  $V_p$  (cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup> Bo), in entwickelten Braunerden (Querceto-Carpinetum aretosum) und in schwach podsolierten Braunerden (Querceto-Carpinetum luzuletosum). (Nach E t t e r , 10)*

Entwickelte Braunerde (Querceto-Carpinetum aretosum)			Schwach podsolierte Braunerde (Querceto-Carpinetum luzuletosum)		
Horizont (cm)	Dichte, $\varrho_a$ (g Bo/cm <sup>3</sup> )	Porenvol., $V_p$ (cm <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> Bo)	Horizont (cm)	Dichte, $\varrho_a$ (g Bo/cm <sup>3</sup> )	Porenvol., $V_p$ (cm <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> Bo)
0—10	1,10	577	0—10	1,15	557
20—30	1,34	497	20—30	1,34	492
50—60	1,45	466	50—60	1,47	454

Mit der Bestimmung der Dichten sind auch die Porenvolumina festgelegt. Vergleichen wir diese für die drei verschieden bestockten Rißmoräneböden, dann gelangen wir zu aufschlußreichen Gegenüberstellungen, dargestellt in Tabelle 1 und Figur 1. In allen untersuchten Horizonten ist im Eichenboden «Färrach» das Porenvolumen immer gr o er als im Fichtenboden «Kühstelli» oder im Weißtannenboden «Aspi». Berechnen wir das Porenvolumen pro m<sup>2</sup> Bodenoberfläche und 1 m Bodentiefe, dann erhalten wir die in Tabelle 3 zusammengestellten Werte. In absoluten Werten hat der Eichenboden «Färrach» 153 dm<sup>3</sup>, d. h. 153 Liter mehr Poren je Kubikmeter gewachsenen Bodens als der Fichtenboden «Kühstelli». Wir schreiben diese Eigenschaft weitgehend der starken und tiefgehenden Durchdringung des Bodens mit Eichenwurzeln zu. Zwischen «Kühstelli» und «Aspi» existiert kein wesentlicher Unterschied im Porenvolumen. In diesem Zusammenhang wollen wir aber feststellen, daß die Fichten «Kühstelli» praktisch keinen Zuwachs mehr leisten, während die Weißtannen «Aspi» laut Wirtschaftsplan immer noch 8 m<sup>3</sup>/ha und Jahr zu produzieren vermögen. Unter den Verhältnissen, wie sie auf der Rißmoräne in Langenthal vorhanden sind, scheint das geringe Porenvolumen des Bodens keinen ungünstigen Einfluß auf das Wachstum der Weißtannen zu haben.

*Tabelle 3*

Porenvolumen in  $\text{dm}^3$  je  $\text{m}^2$  Oberfläche und 1 m Tiefe (je  $\text{m}^3$  gewachsenen Bodens) im Eichenboden «Färrach», im Fichtenboden «Kühstelli» und im Weißtannenboden «Aspi»

	Vergleichsböden		
	«Färrach» (Eichenboden)	«Kühstelli» (Fichtenboden)	«Aspi» (Weißtannenboden)
dm <sup>3</sup> Poren je Kubikmeter gewachsenen Waldbodens	578	425	420
relativ	1	0,7	0,7

Um einen erweiterten Überblick über die Porenvolumen verschiedener Waldböden im schweizerischen Mittelland zu haben, sind in Tabelle 2 für eine entwickelte und für eine schwach podsolierte Braunerde die entsprechenden Werte aufgetragen. Aus allen Zahlen können wir, wie auch B u r g e r (1) beobachtet hat, die Faustregel ableiten, daß in einem guten Waldboden der Porenanteil ungefähr die Hälfte des gesamten Bodenvolumens oder etwas mehr ausmacht. Bewegt sich das Porenvolume in dieser Größenordnung, so scheint es für die untersuchten Bodenhorizonte normal zu sein.

### 3. Die Porengrößenverteilung in natürlich gelagerten Rißmoräneböden

#### a) Bedeutung der Porengrößenverteilung in Waldböden

Das Porenvolume, wie es weiter oben besprochen wurde, ist eine summarische Bestimmung sämtlicher mit Luft oder Wasser gefüllter Hohlräume eines Bodens. Es sagt zum Beispiel nichts aus über Form und Größe der Poren, in denen sich die flüssige und die gasförmige Phase befindet.

An anderm Ort (Richard, 12) ist gezeigt worden, wie die Größe der Poren und deren mengenmäßige Vertretung in verschiedenen Durchmesserklassen einen entscheidenden Einfluß auf den Wasser- und damit auch auf den Lufthaushalt eines Waldbodens ausüben. Die Pflanze vermag bekanntlich nicht alles Wasser, das ein Boden binden kann, mit ihren Wurzeln aufzunehmen. Die maximale Kraft, mit der die Pflanzenwurzeln Wasser aus einem Boden aufnehmen, beträgt zirka 15—16 atm. Es bleibt immer ein Rest von Wasser im Boden übrig, der stärker gebunden ist. Man bezeichnet den Punkt, von dem an das Wasser mit mehr als 15—16 atm gebunden ist, als den sog. permanenten Welkepunkt (PWP) und das Wasser, das die Pflanze nicht aufnehmen kann,

als das sog. nicht verwertbare Wasser des Bodens. Das nicht verwertbare Wasser befindet sich in den feinen und feinsten Poren. Würden die Poren einen kreisrunden Querschnitt haben, dann müßte die größte Pore, deren Wasser durch die Pflanze gerade nicht mehr aufgenommen werden kann, einen Durchmesser von zirka  $0,2 \mu$  haben.

Fragen wir uns, wo und wie oft unter schweizerischen Klimabedingungen in einem Waldboden der Wassergehalt so stark zurückgehen kann, daß der permanente Welkepunkt erreicht wird, so stellen wir fest, daß das nur an Spezialstandorten sein kann. Solche wären zum Beispiel das Walliser Trockengebiet, wärme- und windexponierte Hänge im Gebirge, Pflanzgärten.

Für die größte Zahl der schweizerischen Waldböden aber wird der Welkepunkt mindestens in den tieferen Horizonten des Bodens, ab zirka 12 cm Tiefe, nicht erreicht werden, d. h. der Boden bleibt immer feuchter. Dieser Umstand hat zur Folge, daß mindestens jene Poren, in denen das Wasser mit mehr als 15—16 atm festgehalten wird, ständig mit Wasser gefüllt bleiben, meistens sind es noch mehr. Aus diesem Grunde können sie zum Beispiel für die Luftführung gar nicht in Frage kommen. Der Anteil dieser Feinporen, bezogen auf das gesamte Porenvolumen, variiert von Boden zu Boden, er hängt in gewissem Sinne vom Tongehalt und von der Art der Krümelung ab. Oft haben tonreiche Böden mehr feine Poren als sandige Böden.

Wir sehen aus der Betrachtung der Porengrößen, daß die Kenntnis des Porenvolumens an sich nur ein erster wichtiger Schritt zur Untersuchung des Wasser- und Lufthaushaltes eines Bodens sein kann. Durch die Bestimmung der Poredurchmesser und der Porenmengen verschiedener Durchmesserklassen erhalten wir einen feineren Einblick in den inneren Aufbau des Porenvolumens und in das für das Baumwachstum sehr oft entscheidende Verhältnis wassergefüllte Poren : luftgefüllte Poren. In den nächsten Abschnitten befassen wir uns mit einigen grundlegenden Betrachtungen über die zweckmäßige Einteilung der Bodenporen in bestimmte Durchmesserklassen.

#### *b) Wahl der Durchmesserklassen für die Poren von Rißmoräneböden unter verschiedener Bestockung*

In einer andern Arbeit ist dargelegt worden, wie man nach bestimmten Überlegungen auf einfache Weise die Porengrößen eines Bodens bestimmen kann (Richard, 12). Für unsere drei Rißmoräneböden bestimmen wir vorläufig die Menge jener Poren, die folgenden drei Durchmesserklassen angehören:

- |             |                                 |               |
|-------------|---------------------------------|---------------|
| I. Klasse   | $\varnothing >$ zirka $8 \mu$   | (Grobporen)   |
| II. Klasse  | $\varnothing$ zirka $8-0,2 \mu$ | (Mittelporen) |
| III. Klasse | $\varnothing <$ zirka $0,2 \mu$ | (Feinporen)   |

Es sind spezielle Gründe vorhanden, weshalb gerade diese Durchmesserklassen gewählt wurden:

I. Wie wir weiter oben gezeigt haben, enthält praktisch jeder Boden eine bestimmte Menge Wasser, die die Pflanze nicht aufnehmen kann. Es ist jenes Wasser, das mit einer Saugkraft (auch Unterdruck genannt) festgehalten wird, die numerisch gleich oder größer ist als der Druck einer Wassersäule von 15 000—16 000 cm Höhe (= 15—16 atm; oder  $pF$  zirka 4,2). Ungefähr 15—16 atm ist der Grenzbereich der Kräfte, die die Pflanze maximal erzeugen kann, um Wasser aus den Bodenkapillaren aufzunehmen. Würden die Bodenporen kreisrunde Querschnitte haben, dann könnten die Pflanzen aus jenen Poren kein Wasser aufnehmen, deren Durchmesser gleich oder kleiner als  $0,2 \mu$  ist. In unsrern Klimabereichen werden alle Poren mit einem Äquivalentdurchmesser von  $0,2 \mu$  praktisch nie zur Bodendurchlüftung beitragen, weil sie weder durch die Pflanze noch durch die Verdunstung entleert werden können. Das ist der Grund, weshalb wir bei  $0,2 \mu$  eine Porendurchmesserklasse abgrenzen.

II. Die zweite Grenze der Porendurchmesserklassen liegt bei  $8 \mu$ : Nach starkem Regen bleibt ein normal drainierter Boden nur kurze Zeit mit Wasser gesättigt. Nach zwei bis drei Tagen ist unter dem Einfluß der Gravitationskraft das Wasser aus den gröbsten Poren wegdrainiert worden, die Wasserbewegung im Boden ist praktisch zum Stillstand gekommen. Die in diesem Zustand im Boden zurückbleibende Wassermenge bezeichnet man als die sog. *Feldkapazität*, sie kann sich während sehr langer Zeit im Boden halten, vorausgesetzt, daß keine Vegetation da ist, die Wasser aufnimmt, und daß kein Wasser aus dem Boden direkt in die Atmosphäre verdunstet. Sie ist für einen gegebenen Waldboden charakteristisch, sie hängt von der Porengrößenverteilung und von der Krümelung ab, die in gewissem Sinne eine Funktion des Ton- und Humusgehaltes sind. Wie an anderer Stelle (Richard, 12) gezeigt wurde, kann die Feldkapazität natürlich gelagerter Böden mit guter Annäherung im Labor festgestellt werden. Man setzt den Boden einem Druck von  $1/3$  atm aus und drainiert das mit diesem Drucke aus dem Boden wegnehmbare Wasser heraus. Das Wasser, das im Boden zurückbleibt, wird im Trockenofen ( $105^\circ C$ ) bestimmt und gibt uns einen guten Annäherungswert für die Feldkapazität. Das mit  $1/3$  atm aus dem Boden drainierbare Wasser sitzt in Poren von mindestens  $8 \mu$  Durchmesser, angenommen, die Poren hätten kreisrunden Querschnitt. Indem wir deshalb für Bodenporen bei  $8 \mu$  die Grenze zwischen zwei Durchmesserklassen ziehen, trennen wir die Poren, die bei Feldkapazität kein Wasser führen, von jenen, die bei Feldkapazität mit Wasser gefüllt sind. Die Trennung bei zirka  $8 \mu$  Porendurchmesser ist wichtig, weil für normal drainierte Böden die Summe der Poren mit einem Durchmesser  $> 8 \mu$  die kleinste mögliche Luftkapazität darstellt, die der Boden haben kann.

Vor allem während der Vegetationszeit wird durch die Wurzeltätigkeit viel Wasser aus dem Boden weggenommen, die Luftkapazität wird entsprechend größer. Sie wird aber für längere Perioden sogar nach intensivem Regen nicht kleiner werden als bei Feldkapazität, denn die Gravitationskraft drainiert aus dem gesättigten Boden in zwei bis drei Tagen das Wasser immer bis zur Feldkapazität weg.

III. Damit durch die Gravitationskraft ein Waldboden bis zur Feldkapazität entleert werden kann, muß (siehe oben) der Boden normal drainiert sein, d. h. er muß mindestens zwei Porengrößenklassen, feine und grobe Poren, enthalten, die kontinuierlich den Boden durchziehen. Nur so kann die Gravitationskraft Wasser aus den Grobporen ( $\varnothing > 8 \mu$ ) wegdrainieren. Schließt zum Beispiel eine Grobpore an ihrem untern Ende an eine feinere Pore an, die das Wasser mit einer Kraft festhält, die größer ist als die Gravitation, dann vermag diese das Wasser auch nicht aus der Grobpore zu entfernen. Schließen in einem Waldboden die Grobporen von Horizonten nahe der Bodenoberfläche an feinporenreiche, tiefer gelegene Horizonte, dann sperren die Feinporen die Drainage der Grobporen, die sonst durch die Erdkraft ausgeführt würde. Ein solches Bodenprofil ist nicht normal drainiert, es leidet, je nach dem Vorherrschen der Feinporen in den tiefer gelegenen Horizonten, unter mehr oder weniger starkem Wasserstau. Ist der Wassergehalt eines Bodens hoch, so bleiben auch Grobporen mit Wasser gefüllt, was die Luftkapazität des Bodens sehr stark reduziert. Zu kleine Luftkapazitäten sind für das Wachstum der meisten Waldbäume sehr schädlich. In nicht normal drainierten Böden, und solche sind zum Beispiel der Fichtenboden «Kühstelli» und der Weißtannenboden «Aspi», ist die Reduktion des Wassergehaltes praktisch nur auf zwei Arten möglich, wenn wir die Drainage durch ein mechanisches Entwässerungssystem außer Betracht lassen:

- a) Verdunstung des Wassers aus dem Boden direkt in die Atmosphäre. Diese Art von Wasserentzug beeinflußt praktisch nur die obersten 12—15 cm des Bodens;
- b) Wasserentzug durch die Baumwurzeln. Diese Funktion der Wurzeln ist sehr wichtig, weil dadurch vor allem während der Vegetationszeit beträchtliche Mengen Wasser aus dem Boden weggenommen werden. Denn erst durch diese Art des Wasserentzuges werden in einem grobporenarmen und deshalb anlagemäßig luftarmen Boden vermehrt Poren mit Luft gefüllt. Die Fähigkeit der Wurzeln, in luftarme Bodenhorizonte vorzudringen, ist von Baumart zu Baumart verschieden. Es sind bis heute wenig Untersuchungen bekannt, die angeben, wie stark die Unterschiede zwischen den Baumarten sind, und noch weniger Werte sind bekannt, wie groß der Luftgehalt im Boden minimal sein muß, damit die Wurzeln der verschiedenen Baumarten noch wachsen können. Die

Drainierfähigkeit der Baumwurzeln hängt aber u. a. auch in hohem Maße von ihren Ansprüchen an die minimale Menge von Luftporen ab, die vorhanden sein müssen, damit sie überhaupt wachsen können. Solche Zusammenhänge untersuchen wir für Rißmoräneböden unter verschiedener Bestockung.

In nicht normal drainierten Böden wird nach einem starken Regen der Wassergehalt nicht auf die Feldkapazität reduziert, weil die Poren eines bestimmten Durchmessers im Bodenprofil von oben nach unten diskontinuierlich verlaufen. Es schieben sich zum Beispiel feinere Poren von unten her an gröbere des Oberbodens an. Das hat zur Folge, daß das Wasser in den feinen *und* groben Poren gestaut wird, denn die Gravitationskraft ist zu klein, um das Wasser aus den feineren Poren entfernen zu können. Da in diesem Fall die Entleerung der groben Poren nur durch die Feinporen hindurch erfolgen kann, bleiben auch die Grobporen mit Wasser gefüllt.

Trotzdem behalten wir für die Untersuchung der Porengrößenverteilung in nicht normal drainierten Böden dieselben Porendurchmesserklassen, wie sie oben angegeben wurden. Dadurch ist die Vergleichbarkeit mit andern Waldböden, vor allem mit normal drainierten Böden, gesichert. Für vergleichende Untersuchungen in der Porengrößenverteilung ist es immer vorteilhaft, die Porengrößenklassen konstant zu halten.

In nicht normal drainierten Böden aber kann der Wasserhaushalt nur im Felde, am gewachsenen Profil, untersucht werden. Das ist auch der Grund, weshalb wir den Einfluß der Baumarten auf die Porengrößenverteilung auf Rißmoräneböden in Zusammenhang mit den jahreszeitlichen Wassergehaltsschwankungen im Felde am ungestörten Waldbodenprofil untersuchen müssen. Wir können uns nicht allein auf die Labormethoden stützen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit orientieren über den Einfluß der Bestockung auf die *Porengrößenverteilung*. Erst in einer später folgenden Arbeit wird über den Wasser- bzw. Lufthaushalt als Funktion der Jahreszeiten berichtet werden.

### *c) Ergebnisse über die Porengrößenverteilung in Rißmoräneböden unter verschiedener Bestockung*

Um einen repräsentativen Überblick über das Porenvolumen und über den Anteil an Poren in den drei festgelegten Porendurchmesserklassen zu erhalten, sind in Tabelle 4 die absoluten Werte der Porenvolumina,  $V_p$ , bezogen auf einen Liter gewachsenen Bodens, angegeben. Auch die Anteile an Poren in den Durchmesserklassen sind in absoluten Werten (in eckiger Klammer) aufgetragen. Um die Vergleichbarkeit der Porenverteilung zu verbessern, sind die Porenanteile für alle Durchmesserklassen auch in Prozenten des gesamten Porenvolumens zusammengestellt.

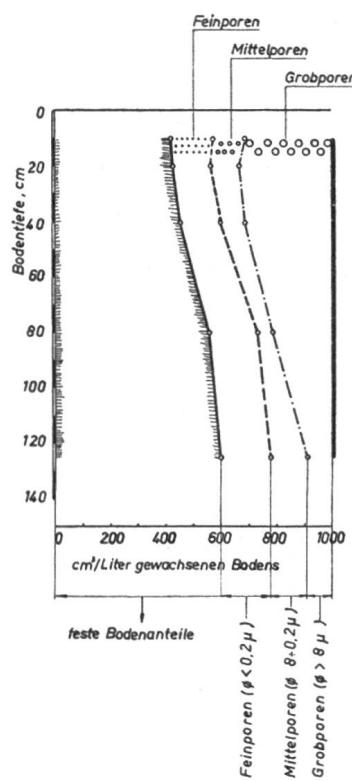
Tabelle 4

Gesamtes Porenvolumen,  $V_p$ , und Verteilung der Poren auf verschiedene Porendurchmesserklassen in einigen Rißmoräneböden von Langenthal: Eichenboden «Färrach», Fichtenboden «Kühstelli» und Weißtannenboden «Aspi». Angegeben in Prozenten des gesamten Porenvolumens und in absoluten Werten [...]

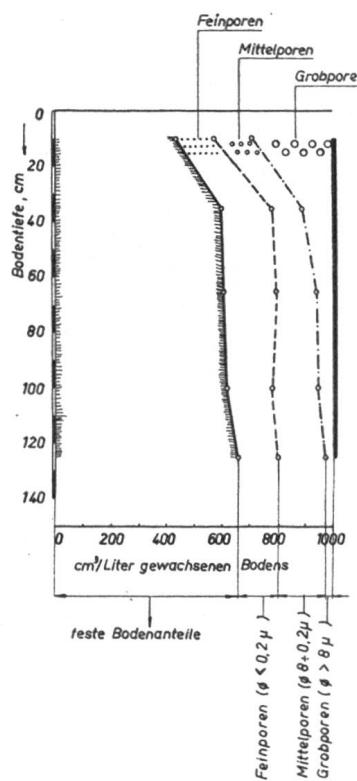
Waldboden	Bodentiefe (cm)	Verteilung des Porenvolumens auf verschiedene Porendurchmesserklassen in Prozenten des gesamten Porenvolumens und in absoluten Werten [in eckiger Klammer] = $\text{cm}^3/\text{Liter Boden}$			Porenvolumen, $V_p$ ausgedrückt in $\text{cm}^3$ Poren pro 1 Liter gewach- senen Bodens ( $\text{cm}^3/1000 \text{ cm}^3 \text{ Bo}$ )
		$\varnothing > 8 \mu$	$\varnothing 8 - 0,2 \mu$	$\varnothing < 0,2 \mu$	
Eichenboden «Färrach»	5– 10	54 [310]	19 [112]	27 [155]	577
	15– 25	58 [331]	18 [105]	24 [134]	570
	35– 45	57 [309]	17 [ 91]	26 [141]	541
	75– 85	48 [213]	13 [ 54]	39 [174]	441
	120–130	22 [ 88]	34 [132]	44 [170]	390
	x	48 [250]	20 [ 99]	32 [155]	503
Fichtenboden «Kühstelli»	5– 15	52 [292]	24 [134]	24 [134]	560
	30– 40	28 [113]	28 [110]	44 [177]	400
	60– 70	15 [ 60]	37 [145]	47 [185]	390
	95–105	15 [ 58]	43 [164]	42 [158]	380
	120–130	7 [ 25]	50 [170]	43 [145]	340
	x	23 [110]	36 [144]	40 [160]	414
Weißtannen- boden «Aspi»	10– 20	47 [283]	14 [ 87]	39 [233]	603
	25– 35	31 [144]	32 [147]	37 [169]	460
	70– 80	8 [ 32]	45 [169]	47 [176]	377
	120–130	24 [ 87]	36 [127]	40 [144]	358
	x	27 [137]	32 [132]	41 [181]	450

Aus Tabelle 4 erkennen wir, daß im Eichenwaldboden «Färrach» 32 % Feinporen mit  $\varnothing <$  zirka  $0,2 \mu$  vorhanden sind, gegenüber 40 % im Fichtenwaldboden «Kühstelli» bzw. 41 % im Weißtannenboden «Aspi». Verglichen mit «Kühstelli» hat also der mit Eichen bewirtschaftete Boden zirka  $1/4$  weniger feinste Poren, die, wie weiter oben gezeigt wurde, in unseren geographischen Breiten praktisch nie entwässert werden. Sie sind physiologisch unwirksame Poren, da die Pflanze aus ihnen kein Wasser aufnehmen kann.

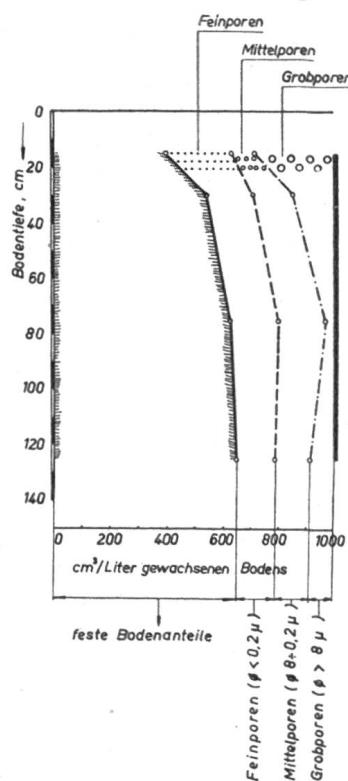
Eichenboden "Färrach."



Fichtenboden "Kühstelli."



Weißtannenboden "Aspi."



Figur 1

Anteil fester Bodenteilchen, Porenvolumen und Verteilung der Poren auf verschiedene Porendurchmesserklassen von Rißmoräneböden aus Langenthal: Eichenboden «Färrach», Fichtenboden «Kühstelli» und Weißtannenboden «Aspi». Angegeben in  $\text{cm}^3/\text{L}$  gewachsenen Bodens

Aus allen Poren aber mit  $\varnothing > \text{zirka } 0,2 \mu$  können die Pflanzen grundsätzlich Wasser aufnehmen. Diese Poren teilen wir in zwei Durchmesserklassen ein:

- $\varnothing 8-0,2 \mu$ , d. h. *Mittelporen*, die im normal drainierten Boden das sog. *verwertbare Wasser* enthalten (Richard, 12);
- $\varnothing > 8 \mu$ , d. h. *Grobporen*, die in einem Boden mit normaler Drainage praktisch nie mit Wasser, sondern mit Luft gefüllt sind.

Aus den ermittelten Zahlenwerten fällt auf, daß die Anzahl der Mittelporen sowohl im Fichtenboden «Kühstelli» mit 36 % wie im Weißtannenboden «Aspi» mit 32 % wesentlich, d. h. um zirka  $1/3$  größer ist als im Eichenboden «Färrach». Der Eichenboden hat also wesentlich weniger mittelgroße Poren als die beträchtlich schlechter drainierten Böden «Kühstelli» und «Aspi». Dieser scheinbare Widerspruch wird erklärbar, wenn man die Klasse der Grobporen vergleicht.

Im Anteil an Poren in der Grobporenklasse ( $\varnothing > 8 \mu$ ) finden wir einen grundsätzlichen Unterschied zwischen den drei untersuchten

Rißmoräneböden. Der Eichenboden «Färrach» hat 48 % aller Poren in dieser Klasse, während der Fichtenboden «Kühstelli» nur 23 % bzw. der Weißtannenboden «Aspi» nur 27 % haben. Der mit Eichen bewirtschaftete Rißmoräneboden «Färrach» hat ungefähr die Hälfte aller Poren in der Grobporenklasse, eine Erscheinung, die wir auch auf die Wirkung des Bestandes zurückführen. Der wohl bedeutungsvollste Unterschied in der Porengrößenverteilung der drei Versuchsböden liegt im Porenanteil der gröbsten Durchmesserkategorie. In Figur 1 sind die Porenanteile für alle drei Bodenprofile klassenweise dargestellt. Der Eichenboden «Färrach» hat am meisten Grobporen von allen drei untersuchten Böden. Bis in 75 cm Tiefe bestehen mehr als 50 % des gesamten Porenvolumens aus Grobporen. Sogar in 100 cm Tiefe machen im «Färrach» die Grobporen immer noch  $\frac{1}{3}$  des gesamten Porenvolumens aus. Für einen Rißmoräneboden darf diese Porengrößenverteilung als günstig bezeichnet werden, was durch die gute Wuchsleistung des Bestandes bestätigt wird.

Im Gegensatz hierzu ist die Porengrößenverteilung im Fichtenboden «Kühstelli» sehr ungünstig. In Figur 1 ist die Porenverteilung auf die Durchmesserklassen für den ganzen Fichtenboden dargestellt. Die Grobporen nehmen mit zunehmender Tiefe rasch ab und fehlen in 130 cm Tiefe vollständig. Deshalb ist dieser Boden auch nicht normal drainiert. Der Eichenboden «Färrach» hat in größeren Profiltiefen wesentlich mehr Grobporen (Figur 1). Der Fichtenbestand ist 70- bis 80jährig, wurde nach landwirtschaftlicher Zwischennutzung gepflanzt und zeigt heute praktisch keinen Zuwachs mehr. Vergleichen wir die Porengrößenverteilung des «Färrach»-Bodens mit jener des «Kühstelli»-Bodens, dann finden wir die wesentlichen Unterschiede beider Böden im Porenanteil der gröbsten Durchmesserkategorie. Als Durchschnitt aller untersuchten Horizonte sind im Fichtenboden «Kühstelli» nur 23 % aller Poren in der gröbsten Klasse, verglichen mit 48 % im Eichenboden «Färrach». Der Fichtenboden «Kühstelli» hat nur halb so viele Grobporen wie der Eichenboden «Färrach». Interessant ist die Feststellung, daß im Weißtannenboden «Aspi» angenehrt dieselbe Porengrößenverteilung vorliegt wie im «Kühstelli»-Boden. In Figur 1 ist für das ganze Bodenprofil die Porenverteilung dargestellt. Auch dieser Boden ist nicht normal drainiert, weil vor allem in 75 cm Tiefe ein ausgesprochener Mangel an Grobporen (8 %) vorhanden ist. Das hat zur Folge, daß bei starken Regenfällen die Drainage verzögert wird, was eine vorübergehende hohe Wassersättigung in den oberen Bodenhorizonten verursacht. Über das Ausmaß der hohen Wassersättigung wird später berichtet. Die Fichte gedeiht auf dem feinporenreichen Rißmoräneboden mit starker Vernässung schlechter als die Weißtanne. Es zeigt sich also, daß unter den herrschenden Klimaverhältnissen des Mittellandes (Richard, 11) auf den untersuchten Rißmoräneböden mit hoher

Dichte (Tabelle 1) und mit wenig Grobporen (Tabelle 4, Figur 1) die Weißtanne wesentlich besser gedeihen kann als die Fichte. Die Untersuchungen zeigen aber auch, daß die Weißtannenwurzeln den hohen Feinporenanteil des Bodens nicht ungünstig finden, da die Zuwachtleistung des Bestandes gut ist. Es zeigt sich auch, daß trotz des Alters des Bestandes ( $> 130$  jährig) die Weißtannenwurzeln die Porengrößenverteilung, so wie sie gemessen wurde, nicht wesentlich verändert haben. Die Weißtanne steht in dieser Beziehung in einem gewissen Gegensatz zur Eiche, «Färrach», wo wir wesentlich mehr Grobporen gefunden haben (siehe oben).

Die gegenwärtig im Felde angelegten Versuche werden zeigen, wie die drei Baumarten Eiche («Färrach»), Fichte («Kühstelli») und Weißtanne («Aspi») im Verlaufe der Jahreszeiten den Wasserhaushalt im Boden beeinflussen.

#### 4. Praktische Bedeutung der Ergebnisse

Rißmoräneböden des schweizerischen Mittellandes sind relativ tonarme, aber schluffreiche Böden. Da sie meistens sehr sauer und nur schlecht gekrümelt sind, neigen sie zur Verdichtung. Eine übermäßige Steigerung der Bodendichte hat zur Folge, daß die Böden zuviel Feinporen haben, die fast ständig mit Wasser gefüllt sind. Dafür fehlen ihnen die luftführenden Grobporen. In solchen Böden ist das Verhältnis (wassergefüllte Poren : lufterfüllte Poren) gestört, d. h. die Menge ständig wasserhaltender Poren ist so groß, daß für die Wurzelentwicklung der meisten Baumarten im Bodenraum zu wenig Luft vorhanden ist.

Vom forstwirtschaftlichen Standpunkt aus gesehen, handelt es sich darum, diese Böden zu «verbessern». Man will versuchen, die physiologische Flachgründigkeit zu korrigieren, und hofft, daß man das auf die wirtschaftlichste Art durchführen kann. Man erwartet vor allem nützliche Hilfe durch bestimmte Baumarten, deren Wurzelwerk in dichte Bodenhorizonte vordringen kann, um diese zu entwässern. Erst durch dieses Eindringen der Wurzeln werden tiefer gelegene Bodenhorizonte für die Baumernährung erschlossen.

Es war möglich, zu zeigen, daß die Eiche im Rißmoräneboden «Färrach» mitgeholfen hat, bis in Tiefen von 100 cm den Grobporenanteil des Bodens zu vergrößern. Das hat zur Folge, daß der Wasserhaushalt auch für andere Baumarten, wie zum Beispiel Ahorn, Hagebutte, Buche, günstiger wird. Ferner konnte man Anhaltspunkte erhalten, daß die Weißtanne unter dem herrschenden Klima die Porenverteilung in den drei ausgewählten Durchmesserklassen im Vergleich zur Fichte nicht wesentlich verändert hat. Es zeigte sich aber, daß die für das Wachstum der Fichte als ungünstig festgestellte Porengrößenverteilung für das Weißtannenwachstum nicht nachteilig ist. Es bleibt allerdings abzuklären, wie das Bodenwasserregime im Verlaufe eines

Jahres trotz sehr ähnlicher Porengrößenverteilung im Weißtannenboden «Aspi» von jenem des Fichtenbodens «Kühstelli» abweicht.

Die in dieser Arbeit angewendete Methode für das Studium der Porengrößenverteilung in Waldböden ist dann geeignet, die bodenverbessernde Wirkung von Baumarten oder auch von mechanischen Bodenbearbeitungen zu überprüfen, wenn man von den eingeleiteten Maßnahmen eine sog. Strukturverbesserung des Waldbodens erwünscht.

### **Zusammenfassung**

1. In vorliegender Arbeit wird der Einfluß verschiedener Baumarten auf die Porengrößenverteilung von Rißmoräneböden untersucht.
2. Rißmoräneböden des schweizerischen Mittellandes sind in ihrem heutigen Zustand oft mit Rohhumus überdeckt, sie sind sehr sauer, tonarm, jedoch schluffreich. Große Flächen dieser Böden sind mit Fichten bestockt, und man weiß aus Erfahrung, daß unter solcher Bestockung die Böden zuviel Wasser führen. Sie sind physiologisch flachgründig.
3. Ein zu hoher Anteil an feinen Poren ist oft die Ursache, daß bestimmte Baumarten nicht wachsen können. Auf Rißmoräne z. B. wurde beobachtet, daß die *Eichen* sehr gute, die *Weißtannen* gute und die *Fichten* sehr schlechte Zuwachsleistungen haben. Es galt zu untersuchen, ob diese Baumarten sich mit den vorhandenen Bodeneigenschaften mehr oder weniger gut abfinden können oder ob sie einen meßbaren Einfluß im Sinne einer wachstumsfördernden Bodenverbesserung ausüben, vor allem auf die Größe des Porenvolumens und auf die Durchmesser der Bodenporen.
4. Als Versuchsböden der Rißmoräne wurden verwendet:
  - Eichenwaldboden «Färrach» (Bestand > 200jährig, ohne landwirtschaftliche Zwischennutzung)
  - Fichtenwaldboden «Kühstelli» (Bestand 60—70jährig, nach landwirtschaftlicher Zwischennutzung)
  - Weißtannenwaldboden «Aspi» (Bestand > 130jährig, ohne landwirtschaftliche Zwischennutzung).
- Der mineralische Anteil der Böden stammt aus vergleichbarem Rißmoränematerial mit praktisch gleicher Korngrößenzusammensetzung.
5. Die Poren der Böden wurden in folgende drei Durchmesserklassen eingeteilt:

I. Klasse	$\varnothing$ zirka $> 8 \mu$	(Grobporen)
II. Klasse	$\varnothing$ zirka $8-0,2 \mu$	(Mittelporen)
III. Klasse	$\varnothing$ zirka $< 0,2 \mu$	(Feinporen)

Diese Durchmesserklassen sind gewählt worden, um die Porenverteilung der Versuchsböden, die nicht normal drainiert sind, mit sog. normal drainierten Böden zu vergleichen:

- In normal drainierten Böden vermag die Gravitationskraft das Wasser aus Poren mit Durchmessern, die angenähert gleich oder größer als  $8 \mu$  sind, rasch wegzudrainieren. Diese Poren dienen vor allem der Bodendurchlüftung.
  - Die Durchmesserklasse  $8-0,2 \mu$  enthält Poren, die den eigentlichen Wasservorrat für die Pflanze darstellen. Das in diesen Poren gebundene Wasser ist durch die Pflanzen verwertbar.
  - Die Durchmesserklasse  $< \text{zirka } 0,2 \mu$  enthält Poren, in denen das Wasser so fest gebunden ist ( $> 15-16 \text{ atm}$ ), daß die Pflanze es nicht aufnehmen kann. In unseren humiden Klimaregionen bleiben diese Poren ständig mit Wasser gefüllt, sie tragen weder zur Pflanzenversorgung mit Wasser noch zur Durchlüftung des Bodens etwas bei.
6. Obschon auch der Eichenboden «Färrach» nicht vollständig normal drainiert ist, sind im gesamten Profil 48 % aller Poren in der größten Durchmesserklasse. Im Unterboden sind im Vergleich zum Oberboden zu wenig Grobporen, als daß das Profil als normal drainiert betrachtet werden kann. Im Vergleich zum Fichtenboden «Kühstelli» bzw. zum Weißtannenboden «Aspi» sind aber in allen untersuchten Horizonten des «Färrachs» mehr Grobporen. Der Boden ist deshalb wesentlich besser drainiert, d. h. auch besser durchlüftet, er zeigt im Profilanschnitt auch erst ab 100 cm Tiefe kleine Flecken von Marmorierung. Wir nehmen an, daß die Eichenwirtschaft einen beträchtlichen Einfluß auf diese günstige Porengrößenverteilung ausgeübt hat.
  7. Der Fichtenboden «Kühstelli» hat im Oberboden 52—28 %, im Unterboden nur 7 % Grobporen, ein sehr ungünstiges Verhältnis. Der hohe Wassergehalt im Unterboden ist weitgehend auf seinen Reichtum an mittleren und feinen Poren zurückzuführen. Die Fichten gedeihen sehr schlecht.
  8. Der Weißtannenboden «Aspi» hat eine ähnliche Porengrößenverteilung wie der Fichtenboden «Kühstelli». Doch kann sich die Weißtanne in dieser Ausformung des Porensystems besser zuordnen als die Fichte, was am wesentlich besseren Wachstum des Weißtannenbestandes abgelesen werden kann. Die Weißtannenwurzeln haben aber den Anteil an Grobporen nicht erhöht, wie wir es im Eichenboden «Färrach» beobachten konnten.
  9. Über die Art, wie der *Eichen-* bzw. der *Fichten-* bzw. der *Weißtannenbestand* den Wassergehalt der Rißmoräneböden im Verlaufe der Jahreszeiten steuert, wird später berichtet werden.

## Résumé

### Propriétés physiques, sous divers boisements, de sols forestiers de la moraine rissienne dans sa disposition naturelle

1. Le présent travail est une étude sur l'influence de diverses essences sur la répartition de la grandeur des pores dans les sols de la moraine rissienne.
2. Les sols du Plateau suisse, issus de la moraine rissienne, sont dans leur état actuel, souvent recouverts par de l'humus brut. Ils sont acides, pauvres en argile, mais cependant riches en limon. De grandes étendues de ces sols sont boisées avec de l'épicéa et l'on sait, par expérience, que sous une telle végétation ces sols renferment trop d'eau. Ils sont en plus physiologiquement superficiels.
3. Une trop grande part de pores fins est souvent la cause de ce que certaines essences croissent mal. On a, par exemple, observé sur les sols de la moraine rissienne que les *chênes* montrent une très bonne, les *sapins* une bonne et les *épicéas* une très mauvaise croissance. Le problème était d'analyser si ces essences pouvaient plus ou moins s'adapter aux conditions pédologiques existantes ou si elles exerçaient une influence perceptible dans le sens d'une amélioration du sol favorisant la croissance, en particulier sur la grandeur du volume poreux et du diamètre des pores du sol.
4. Les sols suivants furent utilisés comme sols d'essais de la moraine rissienne:
  - sol de chênaie de «Färrach» (peuplement de plus de 200 ans d'âge, sans cultures intercalaires);
  - sol de pessière de «Kühstelli» (peuplement de 60 à 70 ans, planté après des cultures intercalaires);
  - sol de sapinière d'«Aspi» (peuplement âgé de plus de 130 ans, sans cultures intercalaires).

L'apport en minéraux des sols provient de matériaux morainiques rissiens comparables, ayant pratiquement la même proportion et grandeur de pores.

5. Selon les dimensions, les pores des sols ont été répartis dans trois classes de diamètre:

classe I	$\bigcirc$ supérieur à $8 \mu$	(pores grossiers)
classe II	$\bigcirc$ de $8$ à $0,2 \mu$	(pores moyens)
classe III	$\bigcirc$ inférieur à $0,2 \mu$	(pores fins)

Ces classes de pores ont été choisies pour comparer la répartition des pores dans les sols d'essais, qui ne sont pas normalement drainés, avec des sols soi-disant normalement drainés.

- Dans les sols normalement drainés, la force de gravitation réussit à drainer rapidement l'eau des pores dont le diamètre est approximativement de  $8 \mu$  ou plus. Ces pores servent avant tout à l'aération du sol.
- La classe de diamètre  $8$  à  $0,2 \mu$  contient les pores qui constituent en quelque sorte le réservoir d'eau de la plante. L'eau retenue dans ces pores est utilisable par la plante.

- La classe de diamètre inférieur à  $0,2 \mu$  comprend les pores dans lesquels l'eau est si fortement maintenue (avec une force supérieure à 15—16 atm.) que la plante est incapable de l'absorber. Dans nos régions climatiques humides, ces pores sont constamment remplis d'eau. Ils ne contribuent ni à l'approvisionnement de la plante en eau, ni à l'aération du sol.
6. Quoique le sol de chênaie de «Färrach» ne soit pas drainé entièrement de façon normale, le 48 % des pores de l'ensemble du profil appartient pourtant à la plus grosse classe de diamètre. Par rapport à la zone supérieure, il y a trop peu de gros pores dans la zone inférieure pour que le profil puisse être considéré comme normalement drainé. Cependant, en comparaison du sol de pessière de «Kühstelli» et du sol de sapinière d'«Aspi», il y a dans le sol de «Färrach», à tous les horizons, davantage de gros pores. Pour cette raison, le sol est notablement mieux drainé, c'est-à-dire aussi mieux aéré, et ne montre qu'à une profondeur de 100 cm seulement de petites taches de marmorisation. Il faut donc admettre que la culture du chêne a eu une influence énorme sur la répartition et la grosseur des pores du sol.
  7. Le sol de pessière de «Kühstelli» possède une forte mauvaise proportion avec 52 à 28 % de gros pores dans la zone supérieure et seulement 7 % dans la zone inférieure. La forte teneur en eau des horizons inférieurs est due en grande partie à la richesse en moyens et petits pores. Sur ce sol les épicéas croissent mal.
  8. Le sol de sapinière d'«Aspi» possède une répartition de la grosseur des pores identique à celle du sol de pessière de «Kühstelli». Mais le sapin tire un meilleur parti de ce système poreux que l'épicéa, ce qui se traduit par une meilleure venue du peuplement de sapins. L'appareil radiculaire du sapin n'a cependant pas fait augmenter la proportion des gros pores, comme on peut l'observer dans le sol de chênaie de «Färrach».
  9. Une étude ultérieure traitera de la manière dont est influencée au cours des saisons la teneur en eau des sols de la moraine rissienne par les peuplements de chêne, de sapin et d'épicéa.

Traduction *O. Lenz*

#### Literaturverzeichnis

1. *Burger, Hans*: Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., XIII, 1, 1—221, 1922.
2. *Burger, Hans*: Bodenverbesserungsversuche in Zofingen. Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., XX, 2, 1938.
3. *Burger, Hans*: Bodenverbesserungsversuche in Langenthal und im Biglenwald. Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., XXIV, 1946.
4. *Burger, Hans*: Bodenverbesserungsversuche, III. Mitteilung. Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., XXVIII, 1952.
5. *Etter, H.*: Pflanzensoziologische und bodenkundliche Studien an schweizerischen Laubwäldern. Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., XXIII, 1, 1943.
6. *Krauss, G., Wobst, W.*: Über die standörtlichen Ursachen der waldbaulichen Schwierigkeiten im vogtländischen Schiefergebiet. Thar. Forstl. Jahrb., 86, 4/5, 169—280, 1935.

7. Krauss, G.; Härtel, F.; Müller, K.; Gärtner, G.; Schanz, H.: Standortsgemäße Durchführung der Abkehr von der Fichtenwirtschaft im nordwestsächsischen Niederland. (Mit grundsätzlichen Bemerkungen über «gleyartige» Bodenbildungen.) Thar. Forstl. Jahrb., 90, 7/9, 1939.
8. Krauss, G., und Schlenker, G., in Moosmayer, V. Zeil. Mitt. d. Ver. f. Forstl. Standortskartierung, Nr. 3, 1953.
9. Meyer, P.: Das *Mastigobryeto-Piceetosum* im schweizerischen Mittelland und seine forstlich-waldbauliche Bedeutung. Vegetatio, Vol. I, 1949.
10. Pallmann, H.; Richard, F., und Bach, R.: Über die Zusammenarbeit von Bodenkunde und Pflanzensoziologie. 10. Kongreß, Zürich 1948, des Internationalen Verbandes forstlicher Versuchsanstalten.
11. Richard, Felix: Böden auf sedimentären Mischgesteinen im schweizerischen Mittelland. Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., XXVI, 2, 1950.
12. Richard, Felix: Über die Verwertbarkeit des Bodenwassers durch die Pflanze. Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., XXIX, 1, 1953.

## De l'influence de l'humidité du sol sur la régénération du mélèze et de l'épicéa

Par le Dr Ph. Duchaufour, Nancy

(11.41.33: 23.1)

Les difficultés de la régénération de ces deux essences de montagne, mélèze et épicéa, ont été fréquemment signalées: les forestiers savent par expérience que, dans ce domaine, le plus souvent, la réussite est nulle ou totale; dans une station donnée, tantôt les semis manquent totalement, tantôt au contraire ils sont très nombreux; le cas intermédiaire, avec régénération clairsemée, s'observe rarement. Il semble bien qu'un certain facteur du sol intervienne, qu'on peut considérer comme un «facteur limitant», un «seuil biologique», en dessous duquel la régénération ne se produit pas; si, au contraire, ce facteur dépasse le taux minimum indispensable, celle-ci est abondante.

Remarquons d'abord que les *propriétés chimiques* du sol ne paraissent pas être en jeu; on trouve des semis de mélèze, ou d'épicéa, sur des sols très variés, aussi bien calcaires que siliceux, neutres ou fortement acides. Il n'en est pas de même des *propriétés physiques* du sol et notamment de celles qui conditionnent la *nutrition en eau des semis*: ceux-ci sont toujours abondants sur les sols suffisamment profonds, bien pourvus de réserves d'eau en saison sèche, et cependant parfaitement aérés. Au contraire, les sols superficiels, à «microclimat sec», pendant la saison estivale, ne paraissent pas leur convenir: c'est probablement une des raisons qui motivent l'absence du mélèze, sur la plupart des versants chauds, en France, dans les Alpes sèches.

Dans le même ordre d'idées, la «*concurrence*» de la végétation couvrant le sol paraît jouer un rôle décisif: chaque fois que la végétation, herbacée ou arbustive, paraît trop dense, la régénération ne se produit