

Untersuchungen über Wassergehaltsschwankungen im sauren, unvollkommen durchlässigen Rissmoräne- Boden "Aspi" in Langenthal

Autor(en): **Richard, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal
= Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **115 (1964)**

Heft 9-10

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-765532>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Untersuchungen über Wassergehaltsschwankungen im sauren, unvollkommen durchlässigen Reißmoräne- Boden «Aspi» in Langenthal

Von F. Richard

(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen,
Birmensdorf bei Zürich)

Oxf. Nr. 114.12

1. Zum Problem der unvollkommenen Durchlässigkeit eines Bodens

Bei der Beurteilung der Wasserdurchlässigkeit von Wald- und Weideböden unterscheiden wir normal, übermäßig und unvollkommen durchlässige Böden (Richard, 1963).

Ein *normal durchlässiger* Boden ist in der Vertikalrichtung kontinuierlich mit genügend Grobporen durchzogen, daß 2 bis 3 Tage nach Sättigung die Erdgravitation schon so viel Wasser entfernt hat, daß der Wurzelraum wieder gut durchlüftet ist. Trotzdem ist aber im Boden die pflanzenverwertbare Wassermenge groß genug, daß zum Beispiel längere Trockenperioden ohne Wachstumsstörungen überbrückt werden können.

Unvollkommen durchlässige Böden haben in der Vertikalrichtung diskontinuierlich verteilte Grobporen. Sie fehlen an einem bestimmten Ort im Bodenprofil. Das Wasser kann hier nur mit bedeutend kleinerer Geschwindigkeit in die Tiefe sickern, denn für die Perkolation stehen nur die wesentlich kleineren Mittel- und Feinporen zur Verfügung. Die Reduktion der Sickergeschwindigkeit hat besonders in ebenen und schwach geneigten Böden einen Wasserstau zur Folge, der den Boden oberhalb dieses Strömungsengpasses vernäßt. Nach starkem Regen dauert die vollständige oder nahezu vollständige Wassersättigung des Porenvolumens mehr als 2 bis 3 Tage an. Im Mittelland herrscht humid-gemäßigtes Klima. Die Niederschläge betragen im engeren Einzugsgebiet im langjährigen Mittel 1150 bis 1200 mm. Sie verteilen sich ziemlich gleichmäßig über das ganze Jahr, mit einem leichten Übergewicht in den Sommermonaten. Die Niederschlagsmenge und die Niederschlagsverteilung bringen es mit sich, daß unvollkommen durchlässige Böden im Wurzelraum in verhältnismäßig oft wiederkehrenden Perioden soviel Wasser enthalten, daß die Durchlüftung schlechter wird.

Im Vergleich zum normal durchlässigen Boden ist eine optimale Sauerstoffversorgung dauernd oder vorübergehend gestört. Die Tiefe des für den Gasumtausch nutzbaren Wurzelraumes wird kleiner. Je nach der Empfindlichkeit des Wurzelwerkes auf Durchlüftungsschwankungen wird das Wachstum gewisser Baumarten gehemmt. Bestimmte Baumarten sind nicht mehr standortgemäß.

Der saure, staubreiche Ribmoräneboden «Aspi» in Langenthal hat Eigenschaften eines unvollkommen durchlässigen Bodens, wie er eben beschrieben wurde. Weitere physikalische Eigenschaften sind schon früher mitgeteilt worden (Richard, 1953). Seine kennzeichnende Porengrößenverteilung ist schon mehrmals in Veröffentlichungen als Beispiel für einen Boden mit stark gehemmter Wasserdurchlässigkeit verwendet worden. Man vergleiche hierzu Figur 1. Die Diskontinuität der Grobporen liegt in 70 bis 80 cm Tiefe.

2. Wassergehaltsschwankungen im Porenraum des «Aspi»-Bodens

2.1. Boden und Methodik

Die folgenden Untersuchungen erfolgten im Rahmen eines Programmes, die physikalischen Eigenschaften und den Wasserhaushalt verschiedener normal und unvollkommen durchlässiger Böden kennenzulernen und nach Möglichkeit in ihrer ökologischen Bedeutung zu diskutieren.

Bei unseren Arbeiten am «Aspi»-Boden handelt es sich um die einführende, einfache Frage der Bestimmung des Wassergehaltes gleichzeitig in mehreren Bodentiefen. Die Meßperiode soll möglichst lang sein. In diesem Falle dauerte sie vom Herbst 1952 bis Dezember 1956. Wir verzichteten insbesondere auf eine mengenmäßige Erfassung des Niederschlages. Unsere Ergebnisse zeigen allein den Verlauf des Wassersättigungsgrades des Boden-Porenvolumens. Es ist zum Beispiel nicht möglich, Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Wassergehalt zu finden. Das geht deshalb nicht, weil wir jenen Niederschlagsanteil nicht kennen, der in den Boden einsickert. Der Wasserverbrauch im Boden setzt sich aus der Sickerung im Boden infolge Gravitation, aus der Wasseraufnahme durch die Pflanze und aus der aus dem Boden in die Atmosphäre erfolgenden Verdunstung zusammen. Letztere ist am Standort vermutlich klein. Die Wassergehaltsänderungen hängen von diesen Faktoren gemeinsam ab. Sie können bei unserer Versuchsanlage nicht auf einen einzelnen Faktor zurückgeführt werden.

Der «Aspi»-Boden ist standortkundlich ein einseitiger Boden. Er ist nur für wenig Baumarten gut geeignet. Seine hohe Dichte, sein hoher Säuregrad, die Marmorierung, die geringe Durchlässigkeit im unteren Teil des Wurzelraumes, sein hoher Wassersättigungsgrad, der bis zu langfristiger Sättigung in bestimmten Bodentiefen ansteigt, die dadurch zeitweise verursachte schlechte bis ungenügende Durchlüftung sind Hinweise für unbefriedigende Wachstumsmöglichkeit vieler Baumarten. Auffallend ist dagegen das gute Wachstum der Weißtanne, auf das Oberförster Meyer in Langenthal aufmerk-

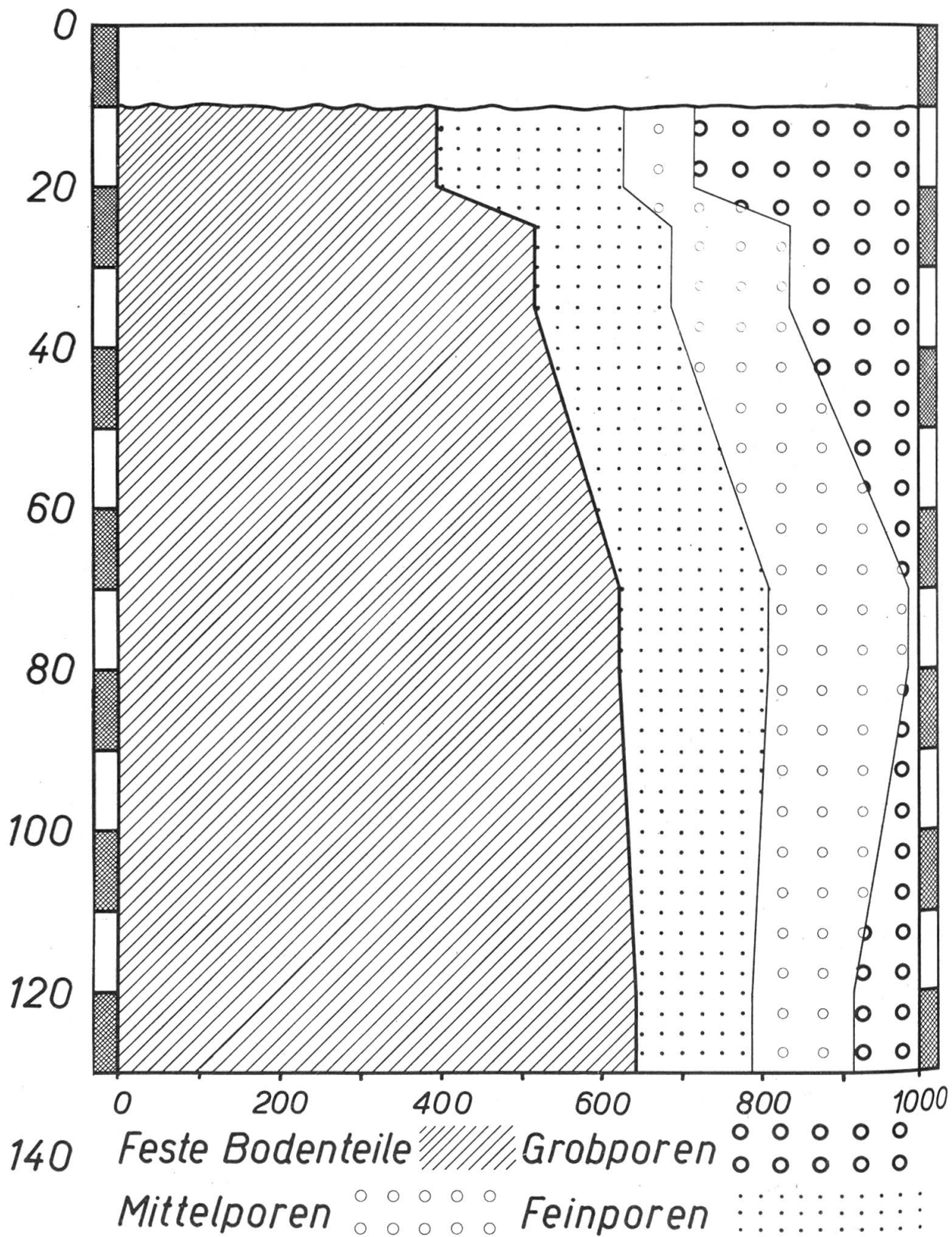


Fig. 1

Darstellung der Wassergehaltsschwankungen im «Aspi»- und «Färrach»-Boden in Prozenten des Porenvolumens (‰ Vp), und der Bodentemperatur im «Aspi», in den Jahren 1952-56.

sam macht. Nach seinen Angaben beträgt der Zuwachs 8 bis 10 m³/ha. Unser Meßort ist eine Aufnahme­fläche des tannenreichen Peitschenmoos-Fichtenwaldes (*Mastig-obryeto-Piceetum abietetosum*) nach Meyer (1949). Vergleiche hiezu aber auch die Eichen-Tannenwälder nach Frehner (1963). Die Beobachtung, daß die Weißtanne auf marmorierten Böden des Mittel­landes gute Zuwachse leistet, war mit ein Grund, den «Aspi»-Boden in unsere Untersuchung einzuschließen.

Obschon das «Aspi»-Profil sorgfältig ausgesucht wurde, haben die Meß­ergebnisse streng genommen nur lokale Bedeutung. Immerhin dürfen wir annehmen, daß unter sonst vergleichbaren Bedingungen der beobachtete Wasserhaushalt auch für andere Böden mit gleicher oder ähnlicher mor­phologischer Ausbildung einige Gültigkeit haben kann.

Zuerst mußten methodische Fragen abgeklärt werden. Wir hatten auch in dieser Richtung Erfahrung zu sammeln. Zur Wassergehaltsbestimmung verwendeten wir die konduktometrische Methode nach Colman und Hendrix (1944). Die Meßkörper bestehen aus zwei rostfreien Netzelektroden, die in Glaswolle eingebettet und mit einem durchlöcherten Stahlblech von 47 x 26 x 3 mm Größe umhüllt sind. Dieses System hat den Vorteil, daß sich die Charakteristik der Meßelemente in sauren Böden nicht ändert und daß am Orte der Feuchtigkeitsmessung gleichzeitig auch die Bodentempe­ratur bestimmt werden kann. Die Temperatur im Boden benötigt man, um ihren Einfluß auf die Leitfähigkeit zu berücksichtigen. Für standortkundliche Untersuchungen hat man aber automatisch den Vorteil, daß ohne grö­ßeren Aufwand gleich auch die Bodentemperatur bekannt wird.

Der «Aspi»-Boden hat eine 5 bis 10 cm mächtige Rohhumusauf­lage. Unter dieser Schicht folgt eine graue, stellenweise stark gebleichte Mineral­erdeschicht von 5 bis 10 cm Mächtigkeit. Mit zunehmender Tiefe ist die Mineralerde stark marmoriert. Grau-rote Streifen, deren graue Anteile häu­fig mit Weißtannenwurzeln belegt sind, durchziehen die Mineralerde oft bis zu Tiefen von mehr als 100 cm. Die Durchlüftung ist zeitlich und je nach der Tiefe des Bodens verschieden. Sie hängt vom Grad und von der Dauer der Wassersättigung ab. Vereinzelt Messungen haben gezeigt, daß in Perio­den mit hohem Wassergehalt keine Sauerstoffdiffusion mehr vorhanden ist. In dieser Phase treten Reduktionserscheinungen auf, die in der Morphologie des Bodens stellenweise auch sichtbar werden.

Die Feuchtigkeitsmeßelemente wurden in der Mineralerde des Bodens in folgenden Tiefen eingebaut: 12 cm/35 cm/87 cm/127 cm. Im Rohhumus konnten leider keine Daten erhalten werden, weil die Meßwerte infolge ungenügenden Kontaktes zwischen Meßkörper und grobfaserigem Roh­humus zu unsicher waren.

Die in Figur 2 dargestellten Zahlen stellen den Wassergehalt des Bodens in Prozenten des Porenvolumens dar. Diese Ausdrucksweise ist nicht mit Volumenprozenten zu verwechseln, unter denen wir die Prozente eines

Bodenfaktors (beispielsweise Luft, Wasser, Nährstoffe, feste Bodenmasse) bezogen auf die Volumeneinheit des untersuchten Bodens verstehen. Diese Volumeneinheit setzt sich aus der festen Bodenmasse und dem Volumen der gasförmigen und flüssigen Phase zusammen. Wir beziehen in vorliegender Arbeit den Wassergehalt aber auf das *Porenvolumen* des Bodens. Es wird aus der reellen und scheinbaren Dichte des natürlich gelagerten Bodens berechnet. Durch diese Art der Darstellung ist es leichter möglich, sich die Wirkung des Wassergehaltes auf die Bodendurchlüftung vorzustellen. Ein Boden mit dauernd sehr hohem Sättigungsgrad im Porenraum hat generell wesentlich ungünstigere Durchlüftungsverhältnisse als ein trockenerer Boden.

Horizonttiefe cm	10 % Wasser entsprechen im	
	«Aspi»-Boden	«Färrach»-Boden
12	6,0 mm WS	5,7 mm WS
35	4,6 mm WS	5,4 mm WS
87	3,8 mm WS	4,4 mm WS
120	3,6 mm WS	3,9 mm WS

Tab. 1

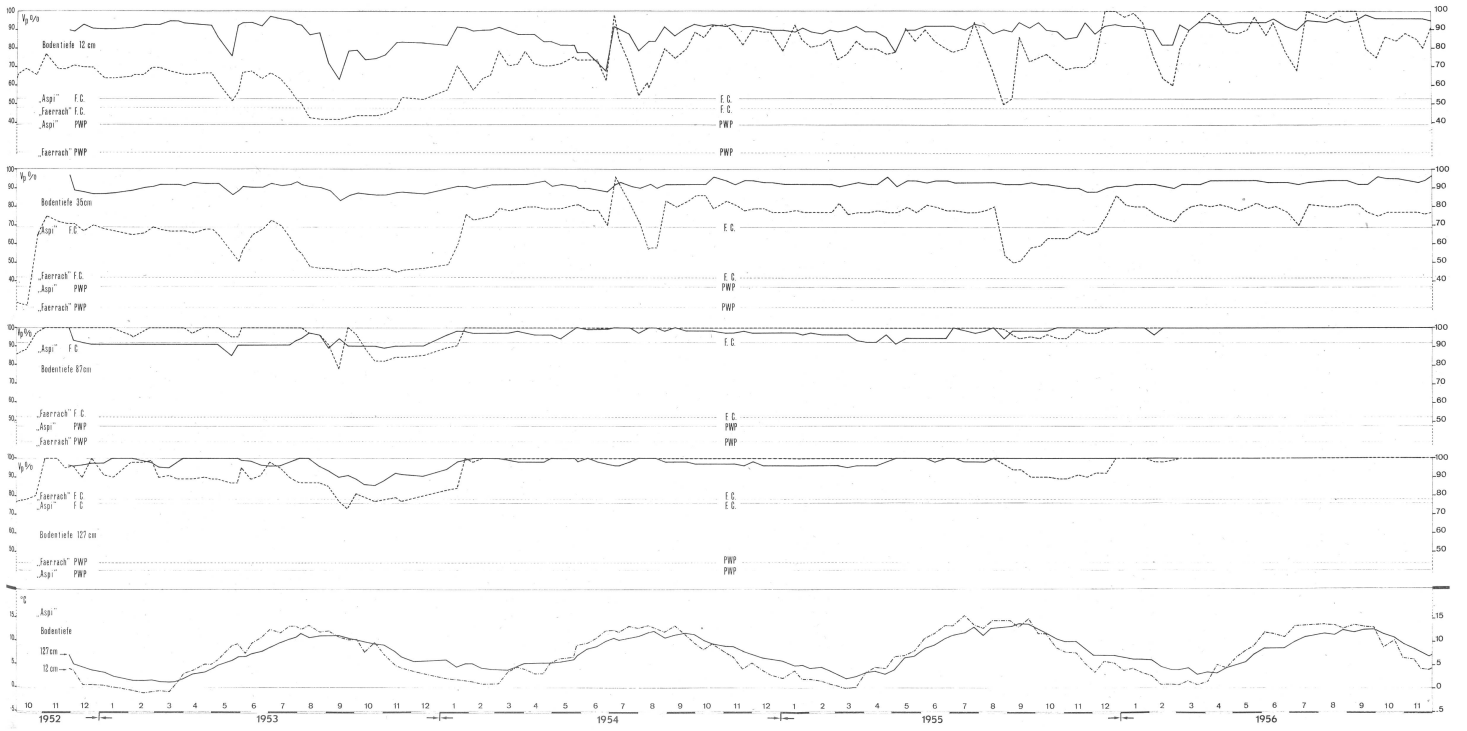
Umrechnung von 10 % Wasser als Prozente des Porenvolumens (% V p) in Millimeter Wassersäule (mm WS).

In Tabelle 1 ist die Beziehung von Porenvolumen-Prozenten und Millimeter Wassersäule angegeben. Die Umrechnung erfolgte unter Berücksichtigung der in den einzelnen Horizonten bestimmten scheinbaren Dichten. Die Tabelle gibt an, wieviel Millimeter Niederschlag 10 % des Porenvolumens entsprechen.

Um die Verwertbarkeit des Bodenwassers und bis zu einem gewissen Grad auch die Wasserbewegung im Boden diskutieren zu können, sind für jeden Bodenhorizont jene Wassergehalte angegeben, bei denen sie unter einer Saugspannung von $\frac{1}{3}$ Atmosphäre sind. In einem normal durchlässigen Boden entspricht der Wassergehalt bei $\frac{1}{3}$ Atmosphäre im groben Mittel der Feldkapazität. Das ist im Sinne von Veihmeyer und Hendrickson (1931) jener Wassergehalt, der sich 2 bis 3 Tage nach Sättigung einstellt. Im unvollkommen durchlässigen Boden vom Typ «Aspi» ist aber keine Feldkapazität in diesem Sinne vorhanden. Wie in Figur 1 dargestellt ist, fehlen in 70 bis 80 cm die für eine normale Durchlässigkeit notwendigen konti-

Fig. 2

Verteilung der festen Bodenmasse, der Grob-, Mittel- und Feinporen im unvollkommen durchlässigen, sauren Ribmoräneboden «Aspi», in Langenthal.



nuierlich verteilten Grobporen. Hier sind nur Mittel- und Feinporen vorhanden, die das Wasser wesentlich langsamer als Grobporen durchsickern lassen. Deshalb bleiben nach Regen, die Bodensättigung verursachen, auch oberhalb der schwer durchlässigen Schicht wesentlich länger als 2 bis 3 Tage Wassermengen, die größer als Feldkapazität sind. Je nach dem Grad der unvollkommenen Durchlässigkeit wird hier das Wasser viele Tage bis Wochen benötigen, um in tiefere Horizonte zu sickern. Nun kann die Vegetation, je nachdem wie ihr Wurzelsystem im Boden verteilt ist, sehr viel für eine beschleunigte Entwässerung beitragen. Die Perioden mit Wassersättigung können durch die Tätigkeit des Wurzelsystems abgekürzt und damit die Durchlüftung im Boden verbessert werden. Ein gutes Wurzelsystem ist in derartigen Böden manchmal die unbedingte Voraussetzung für eine genügende Entwässerung. Werden dagegen flachwurzeln- oder feuchtigkeitsempfindliche Baumarten gefördert, so verschlechtert sich mit der Zeit der Wasserhaushalt des Bodens.

Wenn wir in Figur 2 auch für den unvollkommen durchlässigen Boden «Aspi» den Wassergehalt bei $\frac{1}{3}$ Atmosphären Saugspannung angeben, so tun wir das, um die Sickergeschwindigkeit des Bodenwassers abzuschätzen. Man kann annehmen, daß bei einer Saugspannung von $\frac{1}{3}$ Atmosphären die Sickergeschwindigkeit des jetzt noch vorhandenen Wassers im Gravitationsfeld, beim Gradienten = 1, so langsam ist, daß sie für unsere Art der Betrachtung vernachlässigt werden darf. Sinkt in Figur 2 der Wassergehalt während einer bestimmten Zeit auf «Feldkapazität» ($-p = \frac{1}{3}$ Atm.), dann strömt unter den angegebenen Voraussetzungen praktisch kein Wasser nach der Tiefe. Soll unter diesen Bedingungen in kurzer Zeit Wasser aus dem Boden entfernt werden, dann kann das nur noch durch die Wurzeln geschehen.

Um den Wasserhaushalt im «Aspi»-Boden, der für viele Baumarten ungünstig ist, in seiner Eigenart noch deutlicher erkennen zu können, haben wir einen besser drainierten Reißmoräneboden vom Typ «Färrach» in gleicher Weise untersucht. Auf diesem Boden stockt ein Laubmischwald aus Eichen, Buchen, Linden und Ahornen. Nähere Eigenschaften über den Boden sind früher veröffentlicht worden (Richard, 1953). Der «Färrach»-Boden kann als eine stark saure Reißmoränebraunerde ohne Rohhumusaufgabe bezeichnet werden. Im Unterboden ist sie aber leicht unvollkommen durchlässig und schwach marmoriert. Sie ist wesentlich grobporener, besser durchlüftet und tiefgründiger als der «Aspi»-Boden. Über die mutmaßlichen Gründe zu diesem, für zahlreiche Baumarten wesentlich günstigeren Bodenzustand als im «Aspi» ist es schwer, ein schlüssiges Urteil zu fällen. Nach unserer Auffassung trägt die jetzige Laubmischwald-Bestockung mit ihrer tiefen Bodendurchwurzelung zur Erhaltung der günstigen Porosität bei. Der jetzige, verhältnismäßig gute Bodenzustand hängt aber auch von anderen Bodenbildungsfaktoren ab.

2.2. Verlauf der Wassergehalte im Porenraum

In Figur 2 ist der Verlauf des Wassergehaltes im «Aspi»-Boden vom Herbst 1952 bis Dezember 1956 dargestellt. Bei einer generellen Betrachtung der Ergebnisse sieht man, daß die Wassergehalte sowohl im Bereiche der Bodenoberfläche wie in Tiefen von 87 cm und 127 cm nahe bei Porensättigung liegen. Sie machen im Oberboden, das ist in unserem Fall die Tiefe bis etwa 40 cm, 90 bis 100% des Porenvolumens aus. Der Oberboden wird durch unsere Meßtiefen 12 cm und 35 cm wiedergegeben. Im Dezember 1952 und im Januar 1953 beträgt der Wassersättigungsgrad im Oberboden beispielsweise 90%. Das ist ein sehr hoher Wassergehalt. Innerhalb des Meßfeldes sind also nur 10% des Porenvolumens mit Luft gefüllt. Diese 10% entsprechen einem Luftporenvolumen des gewachsenen Bodens $60 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ in 12 cm und $46 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ in 35 cm Tiefe. Das sind sehr kleine Luftanteile. Es braucht entsprechend wenig Wasser, um dieses Luftvolumen zu sättigen. In einem Fall müssen 6,0 mm und im anderen Fall 4,6 mm Wasser pro dm^3 Boden einsickern. Der Hauptwurzelraum ist rund 30 bis 40 cm tief. Im Mai und im Dezember 1953 sinkt der Wassergehalt im Oberboden ausnahmsweise auf 75% beziehungsweise 65%.

Bei genauerer Profilbeobachtung sieht man aber, daß ein feines Netzwerk von lebenden Wurzeln längs fahlgrauen Bändern bis in Tiefen von mehr als 100 cm vordringt. In einigen Fällen konnten sie als Weißtannenwurzeln erkannt werden, in anderen Fällen war die Bestimmung unsicher. An bestimmten Stellen können also die Wurzeln doch in den Unterboden einwachsen.

Wie schon weiter oben erwähnt wurde, ist die Wasserdurchlässigkeit in 70 bis 80 cm Tiefe sehr klein. Es fehlen an dieser Stelle die notwendigen Grobporen, um eine kontinuierlich gleich große Wasserströmung von der Bodenoberfläche her durch das ganze Bodenprofil hinunter zu ermöglichen. Vergleiche Figur 1. Deutlich sehen wir die Stauwirkung der grobporenen Bodenschicht in 70 bis 80 cm Tiefe. In den oben erwähnten Perioden Mai und Dezember des Jahres 1953 ist ab dieser Tiefe der Boden 80 bis 100% mit Wasser gesättigt. Aus Figur 2 ist ersichtlich, daß bei 92% Wasser eine Saugspannung von $\frac{1}{3}$ Atmosphären vorhanden ist. Ausgehend von der Wassersättigung heißt das, daß sehr wenig schwach gebundenes und deshalb leicht aufnehmbares Wasser im Bodenhorizont vorhanden ist. Der Grobporenanteil beträgt nur 8% des gesamten Porenvolumens.

Die grobporenarme Zone hat aber nicht nur einen nahezu dauernd hohen Wassergehalt des Unterbodens zur Folge, sie beeinflußt auch den Wasserhaushalt im Oberboden. Hier beobachten wir einen Rückstau des Wassers von unten her. Während langer Zeit bleibt Wasser in den Grobporen des Oberbodens. Das in den Grobporen vorhandene Wasser wirkt als Reservoir für die verlangsamte Sickerung nach tieferen Horizonten unterhalb der Stauzone. Durch den Wasserüberschuß in Grobporen kann nach

unten dauernd genügend Wasser nachgeführt werden, daß der Unterboden praktisch wassergesättigt bleibt. Je länger die Perioden hoher Wassersättigung andauern, um so deutlicher und horizontumfassender können sich Reduktionsvorgänge ausdehnen. Die Dichte des Bodens wird zudem so groß, daß für die Wurzel auch mechanisch große Widerstände entstehen. Diese für die Wurzelentwicklung sehr ungünstigen Bedingungen im Unterboden werden durch rot-weiße Streifen, sogenannte «Marmorierung», unterbrochen. Das fahlgraue bis weiße Zentralband dieser Streifen ist meistens weniger dicht als die sie umgebende rotbraune Hauptmasse des Horizontes. Die im Profilanschnitt als Bänder erkennbaren Streifen sind, räumlich betrachtet, sehr oft als schalig geformte Feinspalten oder Feinklüfte zu erkennen. Sie verlaufen in verschiedenen Richtungen durch den Boden, haben aber im großen und ganzen die Tendenz, sich um eine Vertikale zu orientieren und durch mehrere Horizonte hindurchzustoßen. Ihr Verlauf ist aber wellig und faltig. Sie können, wie es aus morphologischen Betrachtungen oft deutbar ist, als wasserführende feine Spaltflächen betrachtet werden. Wie schon erwähnt, sind ihre Wände oft mit einem feinen Wurzelnetz belegt. Es scheint, daß die schaligen Risse im Wasser- und Lufthaushalt dieser Böden eine besondere Rolle spielen können.

In einem benachbarten Bodenprofil konnten wir unter Feldbedingungen zum Beispiel die sehr schlechte Sauerstoffdiffusion der Reißmoräneböden mit großer Dichte und hohem Wassergehalt durch direkte Messung bestätigt finden.

Da aber im Unterboden der Wassergehalt nur sehr selten und wenig von 100% Sättigung abweicht, wird hier wohl der Wasserentzug durch Wurzeln, wenn überhaupt wirksam, sehr klein sein. Denn der Verlauf der Wassergehaltskurve zeigt auch während der Vegetationsperiode kaum eine Veränderung. Der Wassersättigungsgrad bleibt dauernd sehr hoch. Man kann also, soweit unsere Messungen diese Aussage erlauben, auch während der Vegetationsperiode im Unterboden keine Entwässerung des Porenraumes beobachten.

Im Oberboden, das heißt oberhalb der schwer durchlässigen Schicht, ist die periodisch auftretende, partielle Bodenentwässerung etwas deutlicher erkennbar. Eine Abnahme von 10% des Porenvolumens (V_p) entspricht einem Wasserverlust von 3,6 bis 6,0 mm WS (Millimeter Wassersäule). Vergleiche hiezu Tabelle 1. Relativ niedrige Wassersättigungsgrade wurden zum Beispiel im Mai und im Herbst 1953 sowie im April 1955 gemessen. Die Ursache zu diesem größeren Rückgang kann man nur vermuten. Es können beispielsweise wenig Niederschläge und günstige Transpirationsverhältnisse gewesen sein, die die Wirkung der an sich kleinen Einsickerung in den Unterboden unterstützten und so vorübergehend den Oberboden partiell mehr als sonst üblich entleerten. Es ist nicht möglich, die drei Faktorenkomplexe, Niederschlag, Transpiration und Sickerung, im Boden zu tren-

nen und einzeln zu diskutieren. Das geht namentlich deshalb nicht, weil wir die Interception, die direkte Verdunstung ab Kronendach beziehungsweise aus der Bodenoberfläche, die Niederschläge auf dem Waldboden, den Stammabfluß und das Speichervermögen der in ihrer Mächtigkeit schwankenden Rohhumusaufgabe nicht kennen. Ein großer instrumenteller Aufwand ist nötig, um all diese Faktoren zu bestimmen. Wir verzichten in diesem Rahmen darauf und beschränkten uns, wie weiter oben erwähnt, allein auf die Erfassung der Wassergehaltsschwankungen im Boden.

Wir stellen fest, daß der «Aspi»-Boden während längeren Zeitperioden im ganzen Profil sehr stark wasserhaltig ist. Ausnahmen von dieser Beobachtung zeigen nur, wie hoch der Wassersättigungsgrad in der Regel ist. Auch im Oberboden, dem Orte mit der relativ größten biologischen Aktivität, bleibt der Sättigungsgrad im Bereiche von rund 85 bis 90 bis 95% des Porenvolumens. Nur während verhältnismäßig kurzen Zeitabschnitten sinkt er unter 60 bis 70%. Der Unterboden ist noch nachhaltiger vernäßt; während sehr langen Perioden war das Porenvolumen dauernd gesättigt. Bemerkenswert ist aber das trotzdem gute Wachstum der Weißtanne.

Um den einseitigen und für viele Baumarten sehr ungünstigen Wasserhaushalt des «Aspi»-Bodens in seiner Art noch deutlicher darzustellen, haben wir gleichzeitig auch den besser aber noch nicht normal durchlässigen «Färrach»-Boden auf Ribmoräne mit Laubholzbestockung untersucht.

2.3. Vergleich mit dem Wassergehalt des «Färrach»-Bodens

Im großen und ganzen ist der «Färrach»-Boden im Hauptteil des Wurzelhorizontes vom Herbst 1952 bis Dezember 1956 weniger wassergesättigt als der «Aspi»-Boden. Der Verlauf der Sättigungskurve ist aus Figur 2 ersichtlich. Im Winter 1952/53 beispielsweise betrug der Wassergehalt bis zu 35 cm Tiefe rund 65 bis 70% des Porenvolumens. Auffallend ist die starke Abnahme des Wassergehaltes Ende April und Anfang Mai 1953. Da auch hier die Wassergehalte größer als Feldkapazität sind, sickert Wasser in die Tiefe. Im April 1953 hatte es im Gebiet 16 Regentage mit total 53 mm Niederschlag. Die größte tägliche Niederschlagsmenge betrug 15 mm. Im Mai waren es in 10 Regentagen 75 mm. Die größte Tagesmenge betrug 22 mm. Die meteorologische Station liegt in Langenthal, etwa 1,5 km vom Waldstandort entfernt. Die Regenmengen, die auf das Kronendach fallen, sind deshalb nur annäherungsweise gleich groß. Nehmen wir grob an, daß in der Zeit von Ende April bis Ende Mai 1953 unter Abzug von $\frac{1}{3}$ Niederschlag durch Interception rund 50 mm Niederschlag auf den Waldboden fielen, dann kommt man zur Annahme, daß der rasche Rückgang des Wassergehaltes in jener Zeit mindestens zum Teil auf einen starken Wasserverbrauch des Bestandes während und unmittelbar nach dem Laubausbruch zurückzuführen ist. In den folgenden Jahren hat sich dieser Effekt nicht mehr messen lassen. Der Verlauf des Wassergehaltes in 12 cm und 35 cm

Bodentiefe zeigte periodisch starke Annäherung an die «Feldkapazität», das heißt an den Wassergehalt mit $\frac{1}{3}$ Atmosphäre Saugspannung. Bei diesem Wert sind mehr als 50% des Porenvolumens mit Luft gefüllt. In absoluten Werten sind das 331 cm³ Grobporen in 12 cm Tiefe und 309 cm³ Grobporen in 35 cm Tiefe pro dm³ gewachsenen Bodens. Diese große Porenzahl begünstigt eine gute Horizontdurchlüftung, vor allem eine gute Sauerstoffdiffusion. Diese günstigen Durchlüftungsverhältnisse sind bis rund 50 bis 60 cm Bodentiefe vorhanden. Der Laubholzmischbestand profitiert davon. Kahlschläge und die einseitige Förderung flachwurzelter Baumarten würden wahrscheinlich aber den Wasserhaushalt des Bodens ungünstig beeinflussen. Der Unterboden würde höhere Wassersättigungsgrade erhalten, was dem Beginn einer kleiner werdenden physiologischen Gründigkeit gleichkommt.

In größeren Bodentiefen nimmt die Undurchlässigkeit für Wasser zu. Die Wassergehalte sind meistens größer als «Feldkapazität». Der Boden ist hier zu 80 bis 100% des Porenvolumens wasserhaltig. Das zieht geringe bis fehlende Durchlüftung nach sich, deren Wirkungskdauer von der Länge der betreffenden Sättigungsperiode abhängig ist.

3. Der Verlauf der Bodentemperatur im «Aspi»-Boden

Am Orte der Wassergehaltsmessung wurde gleichzeitig auch die Bodentemperatur gemessen. Die Ergebnisse sind in Figur 2 eingetragen. Das dargestellte Temperaturband zeigt den Verlauf im Boden von 12 cm bis 127 cm Tiefe. Die Messungen gehen ebenfalls vom November 1952 bis Dezember 1956.

Der *eine* markierte Rand des Bandes repräsentiert die Temperatur in 12 cm und der andere in 127 cm Tiefe. Die Temperaturen für die Meßtiefen 37 cm und 87 cm sind wohl bestimmt worden, können aber in dieser Zeichnung nicht abgebildet werden. Allgemein stellen wir fest, daß in 12 cm Tiefe die 0°-Celsius-Grenze nur vom Januar bis März des Jahres 1953 und im März 1955 unterschritten wurde. Während der übrigen Versuchszeit schwankt die Bodentemperatur von rund 0° Celsius bis zu 13 bis 15° Celsius. Der 0°-Celsius-Bereich wird jeweils im Februar sowie Anfang März erreicht, der 13- bis 15°-Celsius-Bereich im Juli und August.

Der *zweite* markierte Rand des Temperaturbandes, der die Messung in 127 cm Bodentiefe wiedergibt, schwankt von 1 bis 4° Celsius im Februar/März bis zu 11 bis 13° Celsius im August. Die Höchsttemperaturen werden hier einige Wochen bis rund einen Monat später erreicht (August) als in 12 cm Tiefe.

Interessant ist auch die Isothermie im Boden mit anschließender Temperaturumkehr. Von Jahr zu Jahr erscheint sie zu verschiedenen Zeiten. Auch die Temperatur bei Isothermie ist nicht jedes Jahr gleich. In Tabelle 2 sind einige beobachtete Zeiten und Temperaturwerte wiedergegeben. Da

Datum der Isothermie	Isothermie bei °C	Im Monat
23. 3. bis 28. 3. 1952	1,4	März
14. 9. bis 3. 10. 1953	10,5	Sept./Okt.
22. 3. bis 27. 3. 1954	4,3	März
30. 4. bis 5. 5. 1954	5,2	April/Mai
20. 9. bis 22. 9. 1954	11,4	September
3. 4. bis 6. 4. 1955	2,6	April
12. 10. bis 15. 10. 1955	11,4	Oktober
9. 4. bis 11. 4. 1956	2,6	April
2. 10. bis 4. 10. 1956	12,5	Oktober

Tab. 2

Zusammenstellung einiger Isothermen im «Aspi»-Boden als Funktion der Zeit, für die Bodentiefen 12 cm und 127 cm.

oberflächennahe Bodenhorizonte starken Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, können auch weitere Isothermien auftreten, die in der Tabelle aber nicht angegeben sind. Zum Teil sind sie aus der graphischen Darstellung der Figur 2 ersichtlich.

4. Zusammenfassung

Im staubreichen, sauren und marmorierten «Aspi»-Boden mit Rohhumusaufgabe wird mit einer konduktometrischen Methode während vier Jahren die Veränderung des Wassergehaltes untersucht. Der Boden ist unvollkommen durchlässig. Schon aus der morphologischen Betrachtung des Bodens kann man schließen, daß der Boden während mehr oder weniger längeren Zeitperioden, namentlich in tieferen Horizonten, sehr hohe Wassersättigungsgrade haben muß. Diese Perioden sind gleichzeitig Phasen mit schlechter Bodendurchlüftung und für viele Baumarten auch Phasen mit geringem bis fehlendem Anreiz für die Wurzelentwicklung.

Eine bessere Kenntnis des Wasserhaushaltes unvollkommen durchlässiger Böden ist auch im Zusammenhang mit der Beurteilung des Weißtannenwachstums auf Naßböden von Bedeutung. Für die weitaus größte Zahl unserer forstlichen Baumarten ist ein Boden vom Typ «Aspi» nicht gut geeignet. Die Weißtanne hat aber unter den hier vorhandenen Standortbedingungen nach Oberförster Meyer in Langenthal doch Zuwachs in der Größenordnung von 8 bis 10 m³/ha.

Die Ergebnisse werden mit einem besser, aber doch nicht im ganzen Profil normal durchlässigen, sauren Laubmischwald-Boden auf Rißmoräne ohne Rohhumusauflage vom Typ «Färrach» verglichen.

Gleichzeitig mit den Feuchtigkeitsmessungen wird der Temperaturverlauf im «Aspi»-Boden untersucht. Es zeigte sich, daß in der Untersuchungsperiode der Boden im Bereiche von 12 cm bis 127 cm Tiefe nur sehr selten gefror. Im großen und ganzen schwankt im Winter die Bodentemperatur zwischen 0 bis 4 °C und im Sommer zwischen 11 bis 14 °C. Isothermie wurde im Frühling und im Herbst beobachtet, sie stellt sich von Jahr zu Jahr bei anderen Temperaturen und zu verschiedenen Zeiten ein. Frühjahrsisothermie wurde bei 1 bis 5 °C, Herbstisothermie bei 10 bis 12 °C beobachtet.

Résumé

Recherches sur les modifications périodiques de la teneur en eau d'un sol forestier acide, incomplètement perméable, de la moraine de «Riß», au lieu dit «Aspi» à Langenthal.

On a mesuré pendant quatre ans à l'aide d'une méthode conductométrique les modifications de la teneur en eau du sol «Aspi» qui est riche en limon, acide, marmorisé et recouvert d'une couche d'humus brut. Ce sol est incomplètement perméable. On déduit déjà de l'examen morphologique que ce type de sol doit atteindre un degré de saturation en eau assez élevé pendant des périodes plus ou moins longues, surtout dans les horizons inférieurs. Ces périodes correspondent à des phases caractérisées par une mauvaise aération, où beaucoup d'essences ne peuvent développer leurs racines ou ne les développent que faiblement. La présente étude est une contribution aux travaux entrepris sur la teneur en eau des sols acides, riches en limon de la moraine de «Riß», qui présentent d'une durable ou périodique un haut degré de saturation en eau dans certains horizons.

Une meilleure connaissance de la teneur en eau de tels sols permettra de mieux juger de la possibilité de croissance du sapin blanc dans ce milieu. Pour la plupart de nos essences forestières un sol tel qu'on le rencontre à «Aspi» n'est guère favorable. L'inspecteur des forêts Meyer de Langenthal a tout de même constaté un accroissement de 8 à 10 m³/hectare.

Les résultats obtenus ont été comparés avec ceux d'un sol un peu meilleur, du type «Färrach», qui n'est cependant pas perméable normalement sur tout l'étendue du profil. Le sol «Färrach» est aussi acide, il provient d'une forêt mélangée, sur moraine de «Riß», et n'a pas de couverture d'humus brut.

Parallèlement au mesurage de l'humidité, on a examiné aussi les conditions de température. On a pu constater pendant la durée des recherches que ce sol ne gèle que rarement à une profondeur de 12 à 127 cm. La température du sol varie de 4 à 0 °C en hiver et de 14 à 11 °C en été. On a observé une isothermie en printemps et en automne qui apparaît chaque année à d'autres températures: isothermie de printemps vers 1 à 5 °C, isothermie d'automne vers 10 à 12 °C.

Literatur

- Colman E. A. and Hendrix T. M.* (1949): The fibreglas electrical soil-moisture instrument. *Soil Science*, Vol. 67, No. 6, June 1949.
- Frehner H. K.* (1963): Waldgesellschaften im westlichen Aargauer Mittelland. Pflanzengeographische Kommission der schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz, Heft 44.
- Meyer P.* (1949): Das Mastigobryeto — Piceetum abietetosum im schweizerischen Mittelland und seine forstlich-waldbauliche Bedeutung. *Vegetation*, Vol. I, 1949, S. 203–216.
- Richard F.* (1953): Physikalische Bodeneigenschaften natürlich gelagerter Reißmoräneböden unter verschiedener Bestockung. *Schweiz. Zeitschrift f. Forstw.* Nr. 4/5, 1953.
- Richard F.* (1955): Über Fragen des Wasserhaushaltes im Boden. *Schweiz. Zeitschrift f. Forstw.* Nr. 4, 1955.
- Richard F.* (1963): Wasserhaushalt und Entwässerung von Weideböden. *Mitt. schweiz. Anst. forstl. Vers. Wes.* 39, S. 247–269.
- Richard F.* (1964): Der Bodenwasserhaushalt. Sorption und Desorption in schwer durchlässigen Böden. *Schweiz. Zeitschrift f. Verm., Kulturtechn. und Photogrammetrie.* LXII, Jahrg., Nr. 5, Mai 1964.

NEKROLOGE — NOS MORTS

Dr. Hermann Knuchel †

alt Professor für Forstwissenschaften
an der Eidg. Techn. Hochschule in Zürich

Am 31. Juli 1964 ist nach kurzer Krankheit an den Folgen einer Operation Professor Dr. Hermann Knuchel gestorben. Mit ihm ist ein Forstmann von uns gegangen, der sich im Berufsleben höchster Achtung und Beliebtheit erfreute. Am 15. Oktober 1964 wäre Professor Knuchel 80 Jahre alt geworden. Seine Kollegen und Schüler rüsteten sich auf diesen Tag, um dem verehrten Freund und Lehrer ihre Dankbarkeit zu bezeugen. An Stelle eines beabsichtigten frohen Anlasses ist nun in Trauer Rückschau zu halten.

Professor Knuchel hat sich in seiner beruflichen Tätigkeit als Forstmann, als Erzieher und als Mensch ausgezeichnet. Als junger Förster arbeitete er nach seinem Studium als Assistent an der forstlichen Versuchsanstalt. Diese Tätigkeit wurde durch das Doktorat gekrönt. In der darauf folgenden Zeit wirkte Hermann Knuchel als Forstmeister des Klettgaus im Kanton Schaffhausen. Als Professor Pulver, der Inhaber des Lehrstuhles für Forsteinrichtung, Ertragskunde, Forst-