

**Zeitschrift:** Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich  
**Herausgeber:** Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)  
**Band:** 47 (1971)

**Artikel:** Vergleichend ökologische Untersuchungen an Plateau-Tannenwäldern im westlichen Aargauer Mittelland  
**Autor:** Pfadenhauer, Jörg  
**Kapitel:** 4: Methodik  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-308371>

#### **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:** 09.12.2025

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

## 4. Methodik

**Eidg. Technische Hochschule**  
Institut für spez. Botanik  
**Bibliothek**  
**8006 Zürich, Universitätstr. 2**

### 4.1 Untersuchung der Saugspannung mittels Tensiometer

Zur Charakterisierung des Bodenwasserhaushaltes wurden Tensiometer verwendet, die für die Messung der Saugspannung unter Feldbedingungen die geeignetsten Instrumente sind. Auf die Messung mit Neutronensonden konnte verzichtet werden, da die Saugspannungen den maximalen Meßbereich der Tensiometer (bis etwa 0,8 Atmosphären = 800 cm WS = 61,2 cm Quecksilberhöhe im Tensiometer) in unseren Böden nicht übersteigen. Eine eingehende Beschreibung der Funktion und die Definition der Kennwerte gab zuerst RICHARDS (1942 und 1949). BRÜHLHART (1969) und KÜHNEL (1969) führten ausgedehnte Versuche durch und diskutierten die Brauchbarkeit und Einsatzmöglichkeit der Tensiometer im Gelände. Es sei deshalb hier auf genauere Ausführungen zur Technik verzichtet.

Die von mir verwendeten Tensiometer wurden im Institut für Bodenkunde der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf ZH, hergestellt. Ihre Konstruktion aus Kunststoff erwies sich im Gelände als brauchbar. An die Art jeder Versuchsfläche mußten spezielle Forderungen gestellt werden. Möglichst geringe Unterschiede in Struktur, Textur und Horizontierung des Bodens, homogener Bestand, Niederschlagsverteilung gleichmäßig, kein seitlicher Wasserzu- oder -abfluß (keine Draingräben). Die Anordnung auf den Versuchsflächen war folgendermaßen: Die beiden Probeflächenpaare «Bimscharfen Eggen» und «Gfill-Ischlag» bestehen aus je einem Tannen- und Buchenbestand. In jedem dieser Bestände wurden auf einer Fläche von rund 50 m<sup>2</sup> 24 Tensiometer, je 8 in 10 cm, 50 cm und 100 cm Tiefe eingebaut. Drei Tensiometer, nämlich je eines für die drei vorgesehenen Tiefen, wurden zu einer Gruppe zusammengefaßt. Es waren also insgesamt vier Tensiometerstationen in Betrieb, je zwei benachbart (Buchenbestand und Tannenbestand). Bei der Wahl des Standorts für jede Dreiergruppe wurde darauf geachtet, daß sie möglichst gleichen Abstand zu den benachbarten Bäumen hatte, um Saugspannungsunterschiede zwischen den Gruppen durch unregelmäßige Durchwurzelung möglichst gering zu halten.

Vor dem Einsetzen der Tensiometer wurde mit einem 22-mm-Bohrer vorsichtig vorgebohrt, um einen guten Kontakt zwischen den Keramikzellen und dem Boden zu gewährleisten. Das Füllen der Tensiometer geschah mit gekochtem und entlüftetem Wasser nach einer Methode, wie sie bei KÜHNEL (1969, S. 347) beschrieben worden ist. Die Ablesung erfolgte von Ende April bis Anfang

November 1970 jeden dritten Tag zur selben Zeit. Undicht gewordene Tensiometer wurden sofort ersetzt.

Die Saugspannung wurde nach folgender Formel berechnet:

$$u = -\frac{D^2}{D^2 - d^2} \cdot (\gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{HOH}}) \cdot a$$

$u$  Saugspannung in cm Wassersäule (cm WS)

$D$  Innendurchmesser des Vorratsgefäßes in mm

$d$  Innendurchmesser der Kapillare in mm

$\gamma_{\text{Hg}}$  spezifisches Gewicht des Quecksilbers bei 20 °C

$\gamma_{\text{HOH}}$  spezifisches Gewicht von Wasser bei 20 °C

$a$  Ablesung der Quecksilberhöhe in cm (Mittelwert aus je 8 Werten pro Tiefe pro Tensiometerstation)

In den beiden Falttafeln im Anhang ist der Saugspannungsverlauf der Meßperiode wiedergegeben. Die dargestellten Saugspannungen sind Mittelwerte aus sämtlichen Wiederholungen einer Meßfläche. Auf dem oberen Teil einer jeden Tafel sind die täglichen Niederschläge der meteorologischen Station Zofingen dargestellt. Der Saugspannungsverlauf erscheint für den Boden unter dem Buchen- und dem Tannenbestand in zwei Bändern. In der Längsrichtung verläuft die Zeit und senkrecht dazu die Bodentiefe (0–100 cm). Durch lineare Interpolation über die Bodentiefe und zwischen den Ablesezeiten wurden Punkte gleicher Saugspannung bestimmt und unter sich zu Linien gleicher Saugspannung (Isotonen nach KÜHNEL 1969) verbunden. Daraus entstand ein Bild des Saugspannungsverlaufs. Folgende Saugspannungsstufen wurden interpoliert: 0, 20, 40, 80, 160, 320 und 640 cm WS (negative hydrostatische Drucke). Die Saugspannungsbereiche zwischen diesen Stufen sind durch verschiedene Schraffuren entsprechend der Legende gekennzeichnet. Positive hydrostatische Drucke (Quecksilbermeniskus unter dem Nullpunkt der Tensiometerskala) wurden nicht interpoliert (schwarzer Bereich in den beiden Falttafeln). Sie bedeuten Wassersättigung des Bodens. Definiert man den Wasserspiegel mit derjenigen Bodentiefe, in welcher die Druckhöhe gleich null ist, so läßt sich aus den Tensiometerablesungen durch Interpolation (s. oben) die Lage des Wasserspiegels zwischen zwei Meßtiefen berechnen (das ist nicht möglich, wenn hydraulische Gradienten auftreten; Diskussion darüber bei BRÜHLHART 1969, S. 149).

Während der Messungen zeigten die Tensiometer starke Streuungen. Das kam zum Teil daher, daß die 3er-Gruppen pro Meßfläche nicht in vollkommen gleich stark durchwurzelte und gleich strukturierte Flächen gesetzt werden konnten, obwohl soweit als möglich darauf Rücksicht genommen wurde (vgl. auch HARTGE 1963). So kam es vor, daß einzelne Tensiometer nach einem Regenfall noch unvermindert hohe Saugspannungen anzeigen, während die übrigen bereits stark gefallen waren. Denn die Versickerung des auf den Boden treffenden Niederschlagswassers erfolgt nicht gleichmäßig in geschlossener Front, sondern es werden einzelne Wurzelröhren oder Schwundrisse bevorzugt.

## 4.2 Methodik der Probeflächenauswahl für die floristische und bodenkundliche Untersuchung

Um zu einer genauen und brauchbaren Analyse der Verhältnisse zwischen zwei aneinander grenzenden Vegetationssystemen zu gelangen, wurde nach der Methode der «gradient analysis», die von WHITTAKER (1967) ausführlich dargestellt wurde, ein Transekts zwischen den benachbarten Beständen gelegt, also im Fall der Station «Bim scharfen Eggen» vom *QuAs* zum *MFb* (Länge des Transekts 170 m), im Fall der Station «Gfill-Ischlag» vom *QuAs* zum *MFc* (Länge des Transekts 160 m). Entlang dieser Linie wurden im Abstand von 5 m 1 m<sup>2</sup> große Flächen ausgelegt (fortlaufende Numerierung 1, 1a, 2, 2a, 3, 3a, 4, 4a, ... usw.) und darin sämtliche Pflanzenarten notiert und ihre prozentuale Artmächtigkeit geschätzt. In jedem zweiten Quadrat, also im Abstand von 10 m (fortlaufende Numerierung 1, 2, 3, 4, ... usw.) wurde die Vegetationsdecke vorsichtig entfernt und Mischproben aus einer Bodentiefe von 0 bis 5 cm (ohne Streulage) und 5 bis 15 cm Tiefe entnommen. Damit konnten bodenchemische und -physikalische Ergebnisse direkt mit der Vegetation der betreffenden Probefläche in Verbindung gebracht werden.

## 4.3 Methodik der bodenkundlichen Untersuchungen

### 4.3.1 Pflanzenverfügbarer Stickstoff

Nach ZÖTTL (1958, 1960a, b und c), RUNGE (1965) u.a. wurden die frischen Bodenproben durch ein 4-mm-Sieb gedrückt, was ohne Schwierigkeiten möglich war, da die Proben meist relativ trocken waren (vgl. RUNGE 1965, GIGON 1968) und sechs Wochen lang in einer Feuchtkammer (bei 95% relativer Luftfeuchtigkeit und 25 °C) inkubiert.

Bestimmung der  $\text{NO}_3^-$ - und  $\text{NH}_4^+$ -Ionen durch Extraktion mit  $\text{K}[\text{Al}(\text{SO}_4)_2]$ ;  $\text{NH}_4^+$ -Bestimmung nach Mikrodiffusion in Convay-Schalen kolorimetrisch mit Neßlers Reagenz nach CONVAY (1962);  $\text{NO}_3^-$ -Bestimmung kolorimetrisch über Xylenolnitrierung in konzentrierter Schwefelsäure und Wasserdampfdestillation (Parnaß-Apparatur) des nitrierten, gelb gefärbten Xylenols nach BALKS und REEKERS (1955). Ausführlich bei STEUBING (1965) sowie SCHLICHTING und BLUME (1966).

Die Differenz der Nitrat- bzw. Ammoniumgehalte vor und nach der Inkubierung ergab den pflanzenverfügbaren Stickstoff, der innerhalb sechs Wochen inkubiert wird ( $\text{NO}_3^- - \text{N}_{ak}$  bzw.  $\text{NH}_4^+ - \text{N}_{ak}$ ). Die Werte können nach ANTONIETTI (1968) für Mineralböden nur dann verwendet werden, wenn mehr als 0,35 mg N pro 100 cm<sup>3</sup> Boden vorliegen.

### 4.3.2. Bodenreaktion und 4.3.3 Wassergehalt

An derselben Probe, die für die Stickstoffanalyse verwendet wurde, wurde der pH-Wert in wäßriger Suspension (Batterie-pH-Meter Metrohm) und nach Trocknung bei 105 °C der Wassergehalt (HOH% TG) bestimmt (ausführlich bei ELLENBERG 1958, STEUBING 1965, SCHLICHTING und BLUME 1966).

#### 4.3.4 Gesamtstickstoff

( $N_{tot}$ ; nach SCHLICHTING und BLUME 1966 sowie einer Anleitung des Instituts für Bodenkunde an der Forstlichen Forschungsanstalt München, n.p., Verfahren nach KJELDAHL.)

0,1 bis 0,5 g lufttrockener Boden (je nach Humusgehalt) werden durch Kochen mit konzentrierter Schwefelsäure aufgeschlossen (Katalysator Selenreaktionsgemisch). Der Stickstoff wird hierbei als  $(NH_4)_2SO_4$  gebunden,  $NH_3$  in einer Parnaß-Apparatur durch 30%ige NaOH ausgetrieben und in einer mit Salzsäure bekannter Menge und Normalität beschickten Vorlage aufgefangen. Nach Titration der unverbrauchten Säurevorlage lässt sich der N-Gehalt der Probe berechnen.

#### 4.3.5 Organische Substanz

(Humus%, nasse Verbrennung nach SCHLICHTING und BLUME 1966.)

Der gebundene Kohlenstoff wird durch ein Gemisch aus Kaliumbichromat und konzentrierter Schwefelsäure in der Hitze zu  $CO_2$  abgebaut. Die Menge der hierbei durch Reduktion gebildeten  $Cr^{III}$ -Ionen wird kolorimetrisch erfasst und der Kohlenstoffgehalt einer Standardkurve entnommen.  $Humus\% = C \times 1,724$  (unter Annahme eines C-Gehaltes der Humusstoffe von 58%; Diskussion bei SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1966, S. 68).

#### 4.3.6 Kationenumtauschkapazität (T-Wert)

(KUK; nach SCHACHTSCHABEL; Methode des Instituts für Bodenkunde der Forstlichen Forschungsanstalt München, n.p.)

Austausch mit Ammoniumazetat im Perkolationsverfahren, Rücktausch der gebundenen  $NH_4^+$ -Ionen in einer Parnaß-Apparatur durch konzentrierte Natronlauge und Auffangen des  $NH_3$  in einer mit Salzsäure bekannter Menge und Normalität beschickten Vorlage. Nach Titration der nicht verbrauchten Menge Salzsäure lässt sich die KUK des Bodens berechnen.

#### 4.3.7 Austauschbare Wasserstoffionen

( $H_a^+$ ; nach MEHLICH; A.-C.-Methode der Eidgenössischen Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Zürich-Reckenholz, n.p.)

Austausch mit  $BaCl_2$ -Triäthanolamin im Perkolationsverfahren und Titration des nicht verbrauchten Triäthanolamins mit Salzsäure.

#### 4.3.8 Summe der austauschbaren Metallkationen (S-Wert)

(nach KAPPEN 1929 aus STEUBING 1965.)

Austausch der Metallkationen im Gleichgewichtsverfahren mit 0,1 n HCl und Titration der nicht verbrauchten HCl durch 0,1 n NaOH.

#### 4.3.9 Austauschbares Aluminium

( $Al_a^{3+}$ ; nach YUAN 1959; A.-C.-Methode der Eidgenössischen Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Zürich-Reckenholz, n.p.)

Austausch im Perkolationsverfahren mit KCl und Titration nach Maskierung des Aluminiums durch NaF mit Salzsäure.

#### 4.3.10 *Laktatlösliches Phosphat und Kalium*

( $P_2O_{5L}$ ,  $K_2O_L$ ; nach EGNER-RIEHM; A.-C.-Methode PK der Eidgenössischen Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Zürich-Reckenholz, n. p.)

Austausch von P und K durch salzaure Kalziumlaktatlösung (Verhältnis Boden : Lösung = 1 : 50). Kolorimetrische Bestimmung des Phosphats mit askorbinsaurem Ammoniummolybdat, flammenphotometrische Bestimmung des Kaliums.