

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Forstverein
<b>Band:</b>	134 (1983)
<b>Heft:</b>	10
<b>Artikel:</b>	Auswirkungen der Trockenperiode 1976 auf den Wasserhaushalt eines Waldbestandes in Hanglage
<b>Autor:</b>	Greminger, Peter / Leuenberger, Jörg
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-767257">https://doi.org/10.5169/seals-767257</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:** 19.01.2026

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

# **Auswirkungen der Trockenperiode 1976 auf den Wasserhaushalt eines Waldbestandes in Hanglage Teilergebnis des Nationalfondsprojektes Hangsickerung**

Von *Peter Greminger*<sup>1</sup> und *Jörg Leuenberger*<sup>2</sup>

Oxf.: 114.12

## **1. Einleitung**

Der Boden bietet dem Menschen die Grundlage für forstliche und landwirtschaftliche Produkte. Zudem dient er als Baugrund, Speicher von Wärme und Wasser sowie als Filter von Wasser und den darin gelösten Stoffen.

Es war immer und ist immer noch ein Anliegen von Felix Richard, diese Problemkreise besser zu charakterisieren und womöglich auch zu quantifizieren. Aus dieser Sicht ist auch das von ihm initiierte und in verdankenswerter Weise immer wieder unterstützte Projekt Hangsickerung zu sehen.

Mit dem vom schweizerischen Nationalfonds getragenen Projekt sollte die Bewegung des Sickerwassers in einem natürlich gelagerten Hangboden unter Waldvegetation exakter untersucht werden. Insbesondere galt es auch den Einfluss der transpirierenden Vegetation auf die Sickerrichtung und den Betrag des Bodenwassers zu berechnen. Die Wasserbewegung sollte zwei-, sofern notwendig dreidimensional analysiert werden.

## **2. Charakterisierung des untersuchten Standortes**

Die Felduntersuchungen wurden während den Jahren 1976 und 1977 in den Gemeindewaldungen von Meggen im Kanton Luzern (Koord. 671 000/212 000) durchgeführt. Der untersuchte Hangstandort befindet sich rund 612 m über Meer und weist eine Hangneigung von 40 % in Richtung Norden auf.

<sup>1</sup> Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis.

<sup>2</sup> Institut für Wald- und Holzforschung, Fachbereich Bodenphysik, ETH Zürich.

## 2.1 Niederschlagsverhältnisse

Das langjährige Mittel (1901 bis 1906) der jährlichen Niederschlagssumme beträgt für die dem Versuchsort nächst gelegene SMA-Station in Luzern 1154 mm (Uttinger, 1965). Im Verlaufe der beiden Messjahre 1976/1977 waren es vor allem die Monate Juni und Juli des Jahres 1976, welche aussergewöhnliche Abweichungen vom langjährigen Mittel zeigten. So wurden im Monat Juni nur 58 mm, das heisst 102 mm zu wenig, und im Monat Juli desselben Jahres 304 mm, das heisst 141 mm zuviel Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittel registriert. Die Trockenperiode des Jahres 1976 dauerte auf dem untersuchten Standort 21 Tage, nämlich vom 18.6.1976 bis zum 9.7.1976.

## 2.2 Die Monatsmitteltemperatur

Die langjährige Monatsmitteltemperatur beträgt für dieselbe SMA-Messstation 9,9 °C. Die grösste Abweichung wurde mit einer um 3,7 °C höheren Lufttemperatur im Vergleich zum langjährigen Mittel im Monat Juni des Jahres 1976 ermittelt. Das langjährige Mittel beträgt für den Monat Juni 19,7 °C.

## 2.3 Die Vegetation

Die Vegetationsdecke des untersuchten Standortes ist der pflanzensoziologischen Einheit des *Bazzano-Abietetum* (Einheit Nr. 46, Ellenberg und Klötzli, 1971) zuzuordnen. Der Waldbestand ist etwa 90jährig und setzt sich aus rund 60 % Fichten, 30 % Weisstannen und 10 % Buchen zusammen. Die Buchen sind unterständig und bilden den Nebenbestand. Die Oberhöhe des Bestandes liegt bei 35 m.

## 2.4 Geologie

Der geologische Untergrund besteht aus unterer Süßwassermolasse der Rigi-Rossbergschüttungen. Diese ist granitisch und enthält feldspatreiche Sandsteine mit bunten Mergeln (Hantke, 1967). Das Muttergestein ist mit Gehängeschuttlehm und zum Teil mit Alluviallehm überdeckt.

## 2.5. Boden

Beim untersuchten Boden handelt es sich um eine stark saure Braunerde. Der Säuregrad beträgt in der Bodentiefe 10 cm pH 3,3, in der Tiefe 160 cm

pH 4. Im Tiefenbereich 40 bis 110 cm sind Anzeichen der Pseudovergleyung entlang von ehemaligen Wurzelkanälen vorhanden. Diese makromorphologischen Merkmale deuten auf eine periodisch auftretende Staunässe innerhalb der Bodenmatrix hin. Die im Labor ermittelte Korngrößenverteilung entspricht der eines lehmigen Schluffes. Die scheinbare Dichte beträgt  $0,69 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  in 160 cm Bodentiefe. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit liegt im Bereich 490  $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$  in 25 cm Bodentiefe und 6  $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$  in 160 cm Bodentiefe.

### 3. Theorie

Die Berechnung der im Boden transportierten, orts- und zeitabhängigen Wassermengen und damit einer Wasserhaushaltsbilanz basierte auf dem Strömungsgesetz von Darcy und dem Gesetz der Massenerhaltung (Kontinuitätsgesetz) in einem definierten System. Der Boden wurde als sogenanntes offenes System betrachtet.

Strömungsgesetz von Darcy, für die x-Richtung geltend:  $v_x = -k_x \frac{\partial \Phi}{\partial x}$

v Darcy-Geschwindigkeit

k Wasserleitfähigkeitskoeffizient  $k = f(\Theta)$

$\frac{\partial \Phi}{\partial x}$  Potentialgradient in x-Richtung

Im vorliegenden Fall beschränkten wir uns auf die zweidimensionale Betrachtungsweise. Es wurde nur die vertikale und die in der Fallrichtung des Hanges verlaufende Sickerrichtung vorausgesetzt. Die Sickermengen parallel zum Hang (Querneigung) konnten aufgrund der analysierten Daten vernachlässigt werden. Weiter wurden isotrope Sickerbedingungen vorausgesetzt.

Die Kontinuitätsgleichung für den Fall isotroper Strömungsbedingungen in einem zweidimensionalen Strömungsfeld lautet wie folgt:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( -k_x \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( -k_y \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)$$

$\Theta$  Wassergehalt ( $\%_v$ )  $t$  Zeit  $\Phi$  totales Wasserpotential

k Wasserleitfähigkeitskoeffizient  $k = f(\Theta)$

Für die Berechnung der Strömungsrichtungen bei den einzelnen Messpunkten im Boden wurde ein Newtonsches Interpolationspolynom verwendet. Dieses Verfahren und eine ausführliche Erläuterung der theoretischen Grundlagen sind in *Greminger (1982)* enthalten.

#### 4. Untersuchungsmethodik (Abbildung 1)



Abbildung 1. Ansicht der Versuchsanlage im Gemeindewald von Meggen (LU). Deutlich erkennbar sind die in Linien angeordneten Tensiometer.

Die Kapillarpotentiale und deren zeitliche Veränderungen wurden mit Hilfe von je 100 Tensiometern in den Bodentiefen 15, 25, 40, 60, 90, 130 und 160 cm gemessen. Die Tensiometer waren in 4 parallel verlaufenden Reihen in der Fallrichtung des Hanges angeordnet. Die okulare Erhebung der Felddaten erfolgte während der Vegetationsperiode in der Regel dreimal, während der Vegetationsruhe einmal wöchentlich.

Die Ermittlung des totalen Wasserpotentials bei den verschiedenen Tensiometermesspunkten ermöglicht die Berechnung der Gradientenbeträge und Gradientenrichtung und somit der Strömungsrichtung innerhalb des zweidimensionalen Strömungsfeldes. Die zeit- und ortsabhängigen Sickerraten lassen sich dann mit dem Gesetz von Darcy berechnen. Das Sorptions-Desorptions-Desorptionsverhalten (charakteristischer Kurvenverlauf der Beziehung zwischen Matrixpotential und Wassergehalt) in den einzelnen Bodentiefen wurde mit Hilfe der erwähnten Tensiometermessungen und der gleichzeitigen Messung der Wassergehalte mit einer Neutronensonde bestimmt. Die Wasserleitfähigkeitskoeffizienten in den entsprechenden Bodentiefen wurden an ungestörten Bodenproben im Labor ermittelt. Die Niederschlagsmessungen erfolgten mit Regenmessern des Typ Diem.

## 5. Ergebnis

Eine eingehende Beschreibung aller im Rahmen des Projektes Hangsickerung gewonnenen Ergebnisse kann Greminger (1982) entnommen werden. In der Folge erörtern wir hier nur Teilergebnisse im Zusammenhang mit dem Einfluss der Trockenperiode 1976 auf den Wasserhaushalt des untersuchten Standortes.

Während der Trockenperiode vom 18.6. bis zum 9.7.1976 war eine tägliche Bilanzierung des Wasserhaushaltes auf dem untersuchten Standort möglich. Die kontinuierliche Austrocknung des Bodens liess eine exakte Berechnung der Sickerraten und Wassergehaltsveränderung und damit der täglichen Evapotranspirationsrate zu. Infiltrationszustände, bedingt durch Regenfälle, welche immer wieder für instationäre Strömungsbedingungen sorgen und eine zuverlässige Bilanzierung für kurze Perioden verunmöglichen, konnten unter diesen Umständen ausgeschlossen werden.

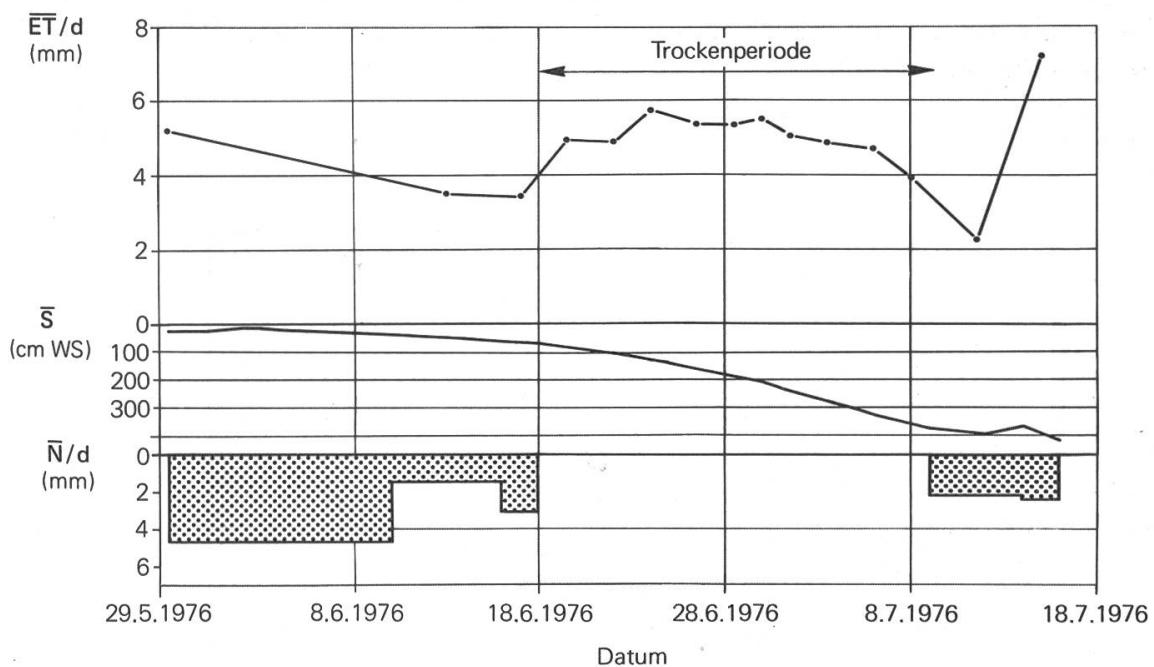


Abbildung 2. Zeitlicher Verlauf der mittleren Evapotranspirationsrate  $\bar{ET}/d$  der mittleren Saugspannung  $\bar{S}$  und der mittleren Niederschlagsrate  $\bar{N}/d$  während der Trockenperiode (18.6. bis 9.7.1976).

Abbildung 2 zeigt die mittlere, tägliche Evapotranspirationsrate für verschiedene Zeitperioden. Ergänzend sind die für den Wurzelraum (0 bis 145 cm) gültigen, mittleren Saugspannungen und Niederschlagsraten als Funktion der Zeit graphisch dargestellt. Während der niederschlagsfreien Periode vom 18.6.1976 bis zum 9.7.1976 war auf dem untersuchten Standort eine Reduktion der ET-Rate von rund 61 %, das heisst von  $5,7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  auf  $2,2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  zu verzeichnen. Die zugehörigen Daten sind aus Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1. Mittlere, tägliche Evapotranspirationsrate  $\overline{ET}/d$ , Saugspannung  $\bar{S}$  und Niederschläge  $\bar{N}'/d$ .

Messperiode	$ET/d$ (mm)	$S$ (cm WS)	$N'/d$ (mm)
18.6. – 21.6.76	5,0	84	0
21.6. – 23.6.76	4,9	105	0
23.6. – 25.6.76	5,8	127	0
25.6. – 28.6.76	5,4	161	0
28.6. – 29.6.76	5,4	190	0
29.6. – 1.7.76	5,5	211	0
1.7. – 2.7.76	5,1	238	0
2.7. – 5.7.76	4,9	274	0
5.7. – 7.7.76	4,7	322	0
7.7. – 9.7.76	3,9	357	0
9.7. – 14.7.76	2,3	377	0
14.7. – 16.7.76	7,2	390	0

Aus den von Borer (1980) veröffentlichten Daten liess sich für dieselbe Zeitspanne mit 59 % ein analoger Rückgang der ET-Rate für eine einzelne Douglasie berechnen. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass sich die Standortsverhältnisse nicht entsprechen.

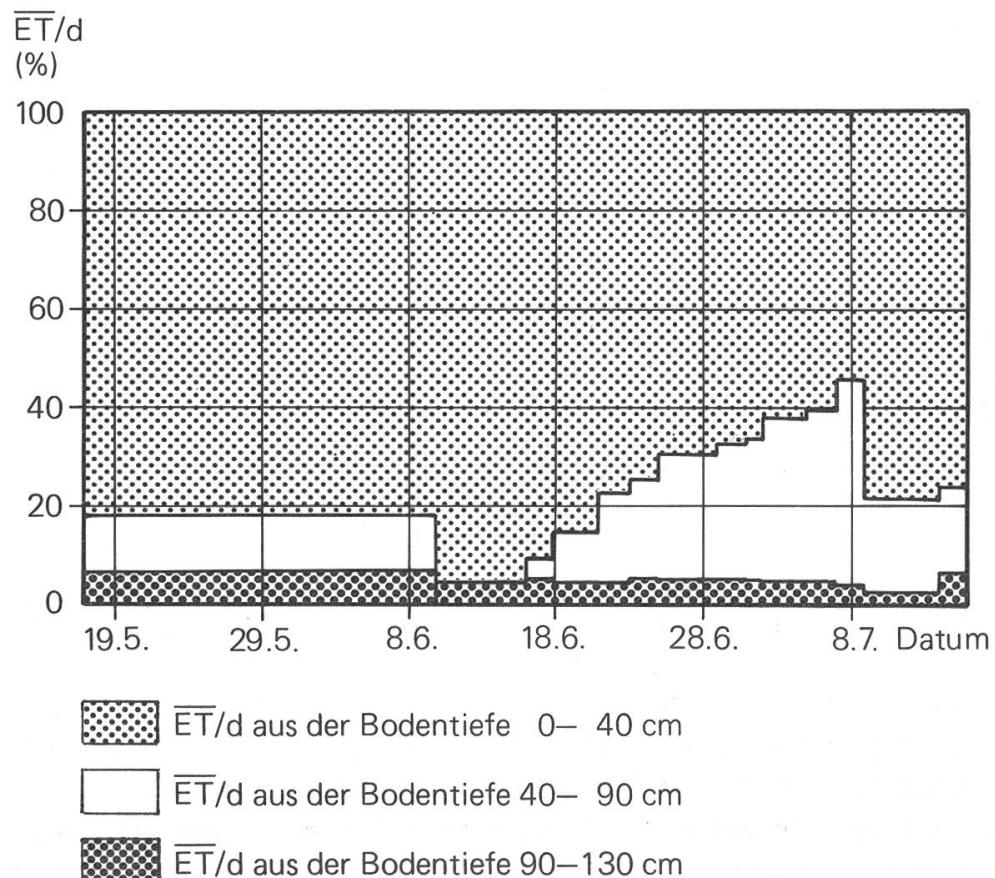


Abbildung 3. Der mittlere, tägliche Wasserentzug ( $\overline{ET}/d, \%$ ) aus 3 Kompartimenten in unterschiedlichen Bodentiefen, bezogen auf  $\overline{ET}/d$  (= 100 %) des gesamten Wurzelraumes. Trockenperiode 1976.

Abbildung 3 zeigt den tiefenspezifischen Wasserverbrauch als Funktion der Zeit. Während der Zeit vom 19.5. bis 8.6.1976 wurden rund 84 % der durch die Evapotranspiration verbrauchten Wassermenge aus der Bodentiefe 0 bis 40 cm entzogen. Aus dem Tiefenbereich 40 bis 90 cm waren es rund 12 %. Die restlichen 4 % wurden aus dem Bereich 90 cm bis 130 cm bezogen. Während der Trockenperiode 1976 (nach dem 8.6.1976) konnte eine Zunahme des Wasserentzuges aus dem Tiefenbereich 40 bis 90 cm festgestellt werden. Dieser erhöhte sich von 12 % auf 41,6 %. Die prozentuale Verschiebung ist einerseits mit der Abnahme der Evaporation an der Bodenoberfläche und anderseits durch den vermehrten Wasserverbrauch durch die Wurzeln in diesem Tiefenbereich zu erklären. Im Anschluss an die Trockenperiode (ab 9.7.76) reduzierte sich der Anteil des Wasserentzuges aus demselben Tiefenbereich sehr rasch auf 16 %. Diese rasche Reduktion bei gleichbleibenden Saugspannungsbedingungen kann nur mit dem zu diesem Zeitpunkt hohen Evapotranspirationsanteil erklärt werden. Die ersten auftretenden Niederschläge verdunsteten zu einem grossen Teil auf der nach der Trockenperiode ausgesprochen hydrophoben Bodenoberfläche.

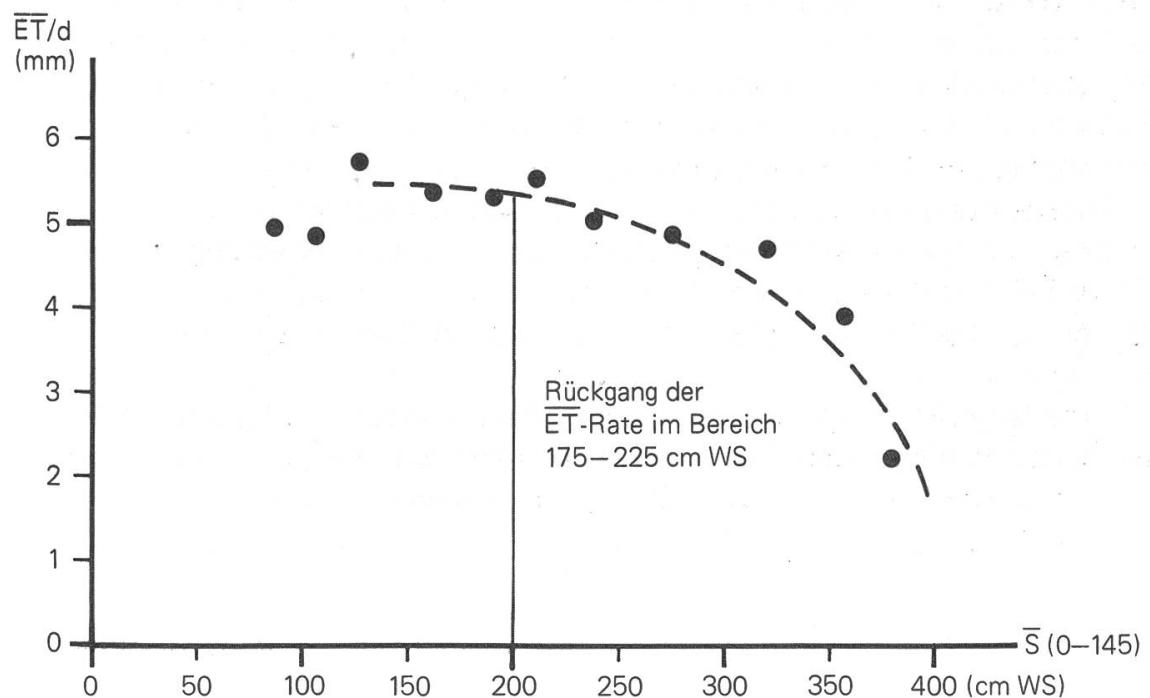


Abbildung 4. Beziehung zwischen der mittleren Saugspannung  $\bar{S}$  im Wurzelraum (0 bis 145 cm Tiefe) und der Evapotranspirationsrate  $\bar{ET}/d$  des untersuchten Standortes.

In Abbildung 4 ist der Zusammenhang zwischen der mittleren Evapotranspirationsrate und der mittleren Saugspannung für den Tiefenbereich 0 bis 145 cm gültigen, mittleren Saugspannung graphisch dargestellt. Unter den gegebenen Verhältnissen ist ein eindeutiger Rückgang der ET-Rate im Saugspannungsbereich 175 cm bis 225 cm WS festzustellen. Item (1974, 1981)

zeigte mittels Modellrechnung, dass in einem Laubwald schon bei einer Saugspannung zwischen 0,05 und 0,1 bar und bei einem Nadelwald zwischen 0,025 bar und 0,05 bar zu rechnen ist.

## 6. Folgerungen

Da das Verhältnis von Transpirationsrate zu Photosyntheserate über die Biomasseproduktion entscheidet (*Larcher, 1976*), müsste sich der beschriebene Rückgang der ET-Rate ebenfalls auf diese ausgewirkt haben. Zur Verifizierung dieser Aussage entnahmen wir dem Bestand der Versuchsfläche bei 20 Fichten je eine Bohrspanprobe. Mit der Analyse von Jahrringbreite und Holzdichte sowie deren jährlichen Schwankungen konnte keine Produktionseinbusse nachgewiesen werden. Das Ergebnis einer Trendanalyse der Dichteschwankungen (*Schweingruber et al., 1979, 1980*) verlief ebenfalls negativ.<sup>3</sup>

Aufgrund dieser Tatsachen ist zu vermuten, dass der Bestand auf dem untersuchten Standort auch während des Jahres 1976 nie unter einem produktionsmindernden Wasserstress gelitten hat. Mit grosser Wahrscheinlichkeit überbrückte der untersuchte Waldbestand die Trockenperiode von 21 Tagen durch Anpassung des Transpirationskoeffizienten (*Strebel, 1979*) und durch die in der Biomasse selbst vorhandene Wasserreserve.

Dieses Ergebnis lässt den Schluss zu, dass das Wasser auf diesem Standort unter normalen Niederschlagsbedingungen kaum als wachstumslimitierender Faktor zu bezeichnen ist. Vielmehr dürfte hier das, durch den tiefen pH von 3,5 bis 4,0 bedingte, reduzierte Nährstoffangebot eine wesentliche Rolle spielen.

Eine langfristige Verbesserung des Nährstoffangebotes könnte unter den gegebenen Bedingungen durch den Anbau von Baumarten mit rasch abbaubarer Streu wie Ulme, Linde und Bergahorn erreicht werden.

<sup>3</sup> Die Jahrringanalyse wurde in verdankenswerter Weise von Dr. F. Schweingruber und seinen Mitarbeitern durchgeführt.

## Résumé

### Effets de la période de sécheresse de 1976 sur le régime hydrique d'un peuplement forestier sis sur un terrain en pente

Dans le cadre du projet «percolation sur terrains en pente», il s'agissait, parmi d'autres buts, de quantifier aussi le bilan du régime hydrique pour la station en déclivité. La station d'essai fut constituée par un sol en pente peuplé de résineux (épicéa, sapin, 90 ans env.), dans les forêts de la commune de Meggen (ct. de Lucerne). La déclivité était de 40 %. Le sol en question était du type «sol brun fortement acide» avec des indices de formation d'un pseudogley dans une zone allant de 40 à 110 cm de profondeur. Les mouvements de l'eau furent relevés en deux dimensions à l'aide de tensiomètres et d'une sonde à neutrons. Le calcul du montant et de la direction de ces déplacements fut effectué sur la base de la théorie du potentiel, de la loi de la continuité et du réseau de courant de Darcy établi empiriquement. L'analyse de la période de sécheresse de 1976 donna les résultats suivants:

- La plus forte réduction du taux d'évapotranspiration se situa dans des zones de tension allant de 175 à 225 cm de colonne d'eau.
- La réduction du taux d'évapotranspiration calculée de 50 % pour le courant de la période de sécheresse ne provoqua pas de baisse de production significative sur la station étudiée.
- Dans des conditions climatiques normales, c'est-à-dire sans période de sécheresse extrême, la plante s'approvisionne durant toute l'année au moyen de l'eau d'infiltration à raison de 80 %, dans des profondeurs allant de 0 à 40 cm. Les 20 % restants sont tirés des zones sises au-delà de 40 cm. Le taux d'évaporation est compris dans ces valeurs.

Traduction: *E. Zürcher*

### *Literatur*

- Borer, F.*, 1980: Zum Wasserhaushalt eines dominierenden Baums in einem Waldbestand. Diss. ETH Zürich, Nr. 6529. 216 S.
- Ellenberg, H.* und *Klötzli, F.*, 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. eidg. Anst. forstl. Vers'wes., 48, 4: 589 – 930
- Greminger, P.*, 1982: Physikalisch-ökologische Standortsuntersuchung über den Wasserhaushalt im offenen Sickersystem Boden unter Vegetation am Hang. Diss. ETH Zürich, Nr. 7023. 211 S.
- Hantke, R.*, und Mitarbeiter, 1967: Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete. Viertelj. naturforsch. Ges. Zürich, 112, 91 – 122
- Item, H.*, 1974: Ein Modell für den Wasserhaushalt eines Laubwaldes. Mitt. Eidg. Anst. forstl. Vers'wes., 50, 3: 139 – 331
- Item, H.*, 1981: Ein Wasserhaushaltsmodell für Wald und Wiese. Mitt. Eidg. Anst. forstl. Vers'wes., 57, 1: 1 – 82
- Larcher, W.*, 1976: Ökologie der Pflanzen, Uni-Taschenbücher UTB 232, Stuttgart, 320 S.
- Schweingruber, F. H.*, *Bräker, O.*, und *Schär, E.*, 1979: Dendroclimatic studies on conifers from central Europe and Great Britain. *Boreas*, Vol. 8, pp. 427 – 452, Oslo, ISSN 0300 – 9483
- Schweingruber, F. H.*, 1980: Dichteschwankungen in Jahrringen von Nadelhölzern in Beziehung zu klimatisch, ökologischen Faktoren, oder das Problem der falschen Jahrringe. Bericht Nr. 213, Eidg. Anst. forstl. Vers'wes., 35 S.
- Strebel, O.* und *Renger, M.*, 1979: Bodenwasserhaushalt, Evapotranspiration und Pflanzenertrag. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 20: 67 – 78
- Uettinger, H.*, 1965: Klimatologie der Schweiz, E. Niederschlag. 1. – 3. Teil: Mittlere Temperaturmessungen. Ann. d. schweiz. meteorol. Zent.-Anst., Beih. 5: 124 S.

Die Benutzung der an der EAFV, Birmensdorf vorhandenen Infrastruktur, welche uns in verdankenswerter Weise zur Verfügung gestellt wurde, erleichterte uns die Realisierung des Projektes massgeblich.