

Diss. ETH Nr. 7307

UNTERSUCHUNG UEBER DEN WASSERHAUSHALT  
EINES ZWEISCHICHTIGEN BODENPROFILES  
UNTER WALDBESTOCKUNG.  
DARGESTELLT AN EINER SANDIGEN PARABRAUNERDE  
UEBER SCHOTTER

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines  
DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

VOGELSANGER Walter

dipl. Forstingenieur

geboren am 11. April 1950

von Beggingen SH

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. F. RICHARD, Referent

Prof. Dr. Th. DRACOS, Korreferent

1983

## KURZFASSUNG

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Wasserhaushalt eines zweischichtigen Bodenprofils unter Waldbestockung zu untersuchen. Beim untersuchten Boden handelt es sich um eine stark saure, sandreiche Parabraunerde über Schotter. Die Versuchsfläche liegt im Hardwald bei Laufenburg (AG) im Schweizerischen Mittelland. Der Waldbestand ist ca. 90-jährig und enthält 40% Buchen, 25% Fichten, 20% Föhren, 13% Tannen und 2% andere Baumarten.

Schwerpunkte der Arbeit lagen in:

- der standortkundlichen Beurteilung des Bodens
- der qualitativen und quantitativen Beurteilung des Wasserhaushaltes unter spezieller Berücksichtigung des Einflusses der Grenzschicht zur Schotterunterlage.
- der Anwendung und dem Test von Methoden zur bodenphysikalischen Untersuchung skelettreicher Böden.

Die Versuchsanlage umfasste 8 Tensiometer-Messblöcke die so angeordnet waren, dass unterschiedliche Bestockungsgrade, Durchwurzelungsintensitäten und Baumarten berücksichtigt werden konnten. Pro Messblock wurde ein Messvolumen von  $8.48 \text{ m}^3$  bis in eine maximale Tiefe von 2.7 m erfasst. Ergänzend zu den Saugspannungen wurden Klimadaten, Bodentemperaturen sowie der Verlauf des Grundwasserspiegels gemessen. Im Labor erfolgte die Bestimmung physikalischer und chemischer Eigenschaften des Versuchsbodens.

Die Feldmessungen erfolgten vom Mai 1978 bis im Mai 1980. Mit Hilfe der Saugspannungen wurden Wassergehalte und Matrix-Potentiale im Zeitablauf berechnet. Auf der Basis des Darcy-Gesetzes und der Kontinuitätsgleichung gelang es, die Wasserbewegungen zu quantifizieren und eine Wasserhaushaltsbilanz zu erstellen. Zudem wurde der potentielle Wasserverbrauch der Vegetation mit den tatsächlich ermittelten Zahlen verglichen. Eine speziell entwickelte Methode zum Einbau von Messgeräten im steinhaltigen Boden hat sich bewährt.

Zur Bestimmung von Desorptionskurven und Durchlässigkeitskoeffizienten im Labor wurde u.a. die Ausfluss-Methode verwendet. Beim Einsatz von Tensiometern ohne Quecksilber als Manometer-Flüssigkeit wurde die sogenannte "Einstich-Methode" erfolgreich getestet.

Ein Vergleich der Zahlen hat gezeigt, dass die im Feld bestimmten  $k$ -Werte und Desorptionskurven naturnähere Ergebnisse erzielen als entsprechende Laborwerte.

Die Grenzschicht "Sand-Schotter" grenzt den Wurzelraum nach unten ab. Der Wasserentzug aus dem unverwitterten Schotter zur Versorgung der Vegetation ist minimal. Bei der Aufsättigung des Bodens wird der Wasserfluss an der Grenzschicht infolge eines stark reduzierten  $k$ -wertes unterhalb der Grenzschicht gestoppt. Das Wasser fließt erst bei Saugspannungen von 10-15 cmWS über die Grenzschicht. Im Sommer wird dadurch das Speichervermögen im Wurzelraum erhöht. Während der Vegetationszeit trocknet der Boden im Bestand sehr stark aus (bis gegen 900 cmWS). Die Gefahr von Trockenheitsstress ist dann relativ gross, wenn der Wurzelraum auf 100 cm und weniger reduziert wird. Die tieferen Bodenschichten können viel zur Wasserversorgung beitragen, wenn der Wurzelraum intensiv durchwurzelt ist. Durch eine flexible Aenderung der Wasseraufnahme in den verschiedenen Horizonten können die Bäume sehr rasch auf ein wechselndes Wasserangebot im Wurzelraum reagieren.

Die jährliche Grundwasserneubildung im Bestand betrug mit 0.48 (1979) bis 1.03 (1978)  $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$  rund 15-28 % des Gesamtniederschlages. Der Bestand verbrauchte im Sommer 1.93 (1978) bis 2.06 (1979)  $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ , was 55-70 % des Niederschlages ausmacht. Unter Berücksichtigung der Interception stiegen diese Werte auf 3.19-3.26  $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ . Die Evapotranspiration betrug über das ganze Jahr betrachtet 1.29 bis 1.36  $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$  (= 35-43 % der Niederschläge). In den Bestandeslücken kann die Tiefensickerung auf 75-85 % der Niederschläge geschätzt werden. Es wurden hier 10-20 % der Regenfälle durch die Vegetation verbraucht.

Die Bodentemperaturen und die Nährstoffverhältnisse sind keine entscheidende oder limitierende Standortsfaktoren. Einschränkung wirkt der sehr tiefe pH-Wert (3.5-4.2) im Oberboden.

Die Untersuchungsergebnisse erlauben eine gute Beurteilung der Standortverhältnisse im Hardwald und versetzen den Bewirtschafter in die Lage, wertvolle Planungshilfen im Hinblick auf die Baumartenwahl und die waldbauliche Behandlung zu gewinnen.

## SUMMARY

The purpose of this study was to investigate the water balance of a two layered soil profile covered with forest. The soil at the site is acidic and consists of an sandy luvisol over gravel. The site is located in "Hardwald" near Laufenburg (AG) in Central Switzerland. The forest is about 90 years old and consists of 40 % beech (*Fagus sylvatica*), 25 % norway spruce (*Picea excelsa*), 20 % scots pine (*Pinus sylvestris*), 13 % silver fir (*Abies alba*) and 2 % other species.

The main objectives of the study were:

- a site specific investigation of the soil
- a qualitative and quantitative evaluation of the water balance, with special emphasis on the influence of the interface between the sand and the underlying gravel
- the application and evaluation of methods developed in soil physics for studies of gravelly soils

The study included eight tensiometer locations (subsites) which were located over the site in such a way, that the effects of the various forest densities, root densities and types of trees could be taken into account. At each tensiometer location the maximum measurement depth was 2.7 m, and the soil volume under consideration was 8.48 m<sup>3</sup>. In addition to measurements of soil water tensions, measurements were made of climatological variables, of soil temperatures, and of the fluctuation in the ground water level. Laboratory measurements were taken of the physical and chemical characteristics of the soil at the site.

Field measurements were taken from May 1978 till May 1980.

Matrix potentials and soil water contents as a function of time were calculated from the tensiometer readings. With Darcy's equation and the equation of continuity it was possible to quantify the water movement in the soil and to determine the water balance. The potential water use of the vegetation was also compared with field measured values. The newly developed procedure for the installation of measurement equipment in

gravelly soil proved to be satisfactory. The outflow method was used for the laboratory determination of the desorption curves and permeability coefficients. The portable pressure transducer method, used in conjunction with tensiometers without mercury as manometer fluid, was successfully tested.

A comparison of the data showed, that the field determined  $k$ -values and desorption curves are closer to the real values than the laboratory determined values.

The sand-gravel interface also forms the lower boundary for root development. Water uptake by vegetation from the gravelly subsoil is minimal. When the soil rewets after a dry period, the flux of water through the interface is initially nearly zero, as a result of the strongly reduced  $k$ -value of the gravelly material below the interface. Only after the tension at the interface is reduced to around 10-15 cm  $H_2O$ , does water penetrate the gravelly subsoil. As a result of this phenomena the storage capacity of the sandy soil above the interface during the summer is increased. The sandy soil dries out considerably during the main vegetation period (up to 900 cm water tension, and there is considerable danger of water stress, if the rooting depth is limited to 100 cm or less. The deeper soil horizons can contribute significantly to the water supply of the vegetation, provided there is a dense root system over the entire rooting depth. Trees can adapt quickly to changing water supplies in the rooting zone, by adjusting the water uptake from the various horizons.

The groundwater recharge in the area with trees was  $0.48 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  in 1979 and  $1.03 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  in 1978, equivalent to about 15-28 % of the total rainfall. The water use of the forest vegetation in the summer of 1978 was  $1.93 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  and in 1979 it was  $2.06 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ , equivalent to between 55 and 70 % of the total rainfall. Taking into account interception, these values increased to 3.19 and  $3.26 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ . Average evapotranspiration was between 1.29 and  $1.36 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  for the two years (= 35-43 % of total rainfall). In the open areas in the forest deep percolation is estimated at 75-85 % of the rainfall. In those areas, 10-20 % of the rainfall

is used by the vegetation.

Soil temperatures and nutrient supply at this site are not determining nor limiting stand development. A negative factor is the very low pH (3.5-4.2) in the upper soil profile. The results of this study present a good evaluation of the site conditions in "Hardwald". They make it possible for the forester to acquire useful tools for future planning in the choice of tree species and forest management.

Translation: P. Wierenga