

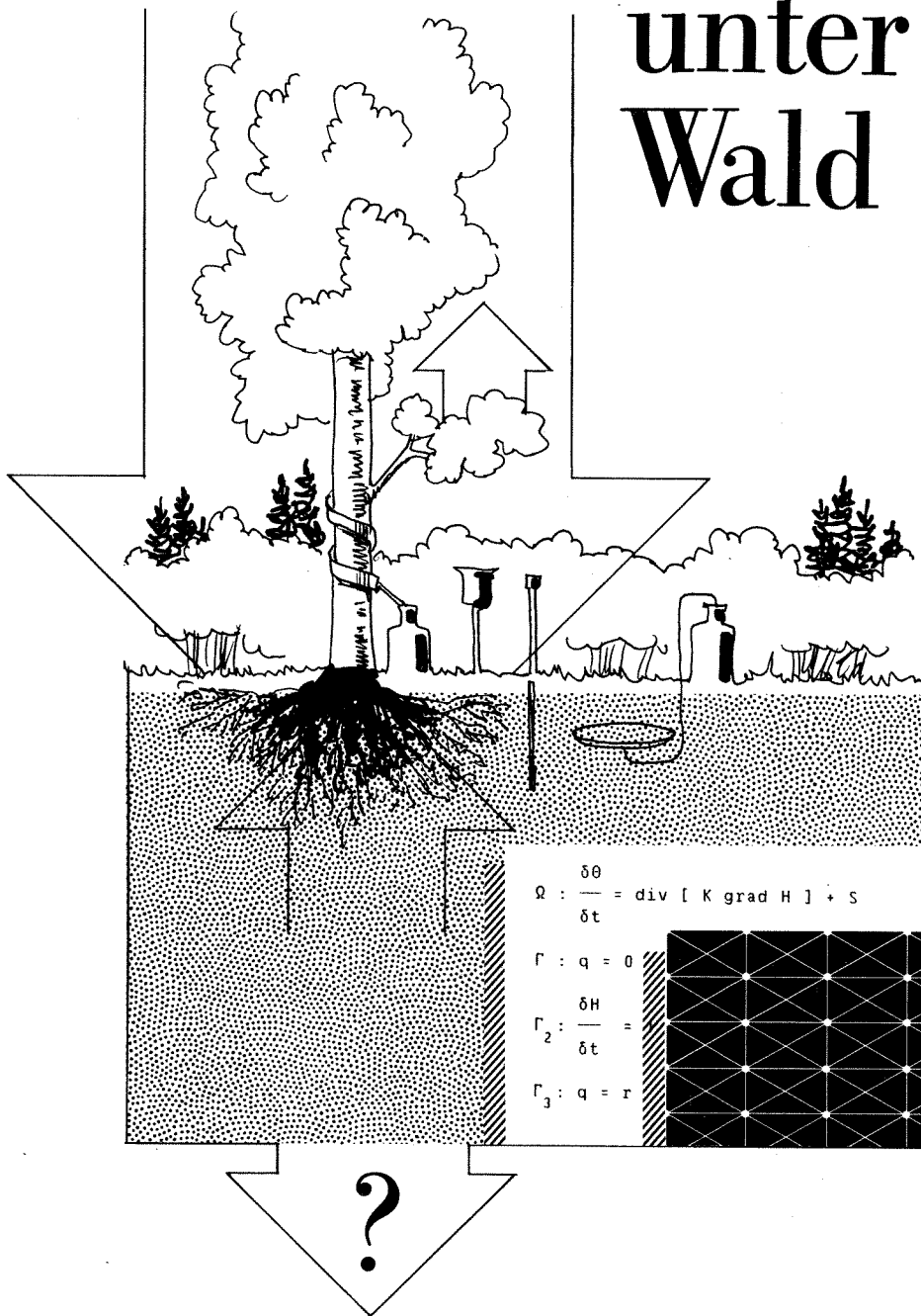
0-86099

0-86099

1957

Berechnung der Versickerung

unter Wald



$$\Omega : \frac{\delta \theta}{\delta t} = \text{div} [K \text{ grad } H] + S$$

$$\Gamma : q = 0$$

$$\Gamma_2 : \frac{\delta H}{\delta t} =$$

$$\Gamma_3 : q = r$$

NIVA - REPORT

Norwegian Institute for Water Research  NIVA

| | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Main Office | Regional Office, Sørlandet | Regional Office, Østlandet | Regional Office, Vestlandet |
| P.O. Box 333 Blindern | Grooseveien 36 | Rute 866 | Breiviken 2 |
| N-0314 Oslo 3 | N-4890 Grimstad, | N-2312 Ottestad | N-5035 Bergen - Sandviken |
| Norway | Norway | Norway | Norway |
| Phone (47 2)23 52 80 | Phone (47 41)43 033 | Phone (47 65)76 752 | Phone (47 5)25 53 20 |

| | |
|-----------------------|---------|
| Report No.: | 0-86099 |
| Sub-No.: | |
| Serial No.: | 1951 |
| Limited distribution: | |

| | |
|---|-------------------------------|
| Report Title: | Date: |
| Berechnung der Sickerwassermenge unter Wald | 31.12.86 |
| Author(s): | Topic group: |
| Michael Hauhs | |
| | Geographical area: |
| | West Germany |
| | Number of pages (incl. app.): |
| | 16 |

| | |
|--|---------------------------------|
| Contractor: | Contractors ref. (or NTNF - No) |
| SILVA Ökologische Gutachten und Umweltanalytik GmbH, am Pappelberg 10. D-3401 Ebergötzen | |

Abstract: This report describes the soil water budget of two beech forests and two clearings in the forest district of Essen (West Germany). A physical model of water movement in soils was used to calculate monthly sums of the seepage water that leaves the root zone. This information is essential for the evaluation of the ion budgets at these sites. The simple model of water flow through a forest ecosystem is calibrated against measurements of soil water potential over depth and time. The report exemplifies how such models can help to reduce the experimental effort within studies that aim at the water and ion budgets of forests.

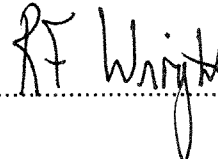
| |
|------------------------|
| 4 keywords, Norwegian |
| 1. Jordvannsbudsjetter |
| 2. Bøk |
| 3. Simuleringsmodell |
| 4. Finite elementer |
| |
| |

| |
|----------------------------|
| 4 keywords, English |
| 1. Soil water budget |
| 2. Beech (Fagus silvatica) |
| 3. Simulation model |
| 4. Finite elements |
| |
| |

Project leader



For the Administration



ISBN 82-577-1182-9

NORWEGIAN INSTITUTE FOR WATER RESEARCH

0 - 86099

BERECHNUNG DER VERSICKERUNG UNTER WALD

Oslo, December 31, 1986

Author: Michael Hauhs

Die Berechnung der Sickerwassermenge unter Wald

1. Einleitung

Die Ermittlung von Ionenbilanzen in Waldökosystemen erfordert die Kenntnis des Stoffaustrages im Sickerwasser. In ebenen Waldbeständen ist dieser Fluß nicht direkt meßbar. Er wird daher aus dem Produkt der mittleren Ionen-Konzentrationen in der Bodenlösung unterhalb des Wurzelraumes und der Sickerwassermenge berechnet. Dabei wird angenommen, daß die mit Unterdrucklysimetern gewonnene Bodenlösung in ihrer chemischen Zusammensetzung der Sickerwasserqualität entspricht (MEIWES et al., 1985). Die jährlichen Stoffausträge werden bei dieser Methode aus den monatlichen Sickerwassermengen und der mittleren monatlichen Zusammensetzung der Bodenlösung berechnet.

Die monatlichen Sickerwassermengen sind weder direkt meßbar noch können sie auf einfache Weise aus den übrigen Komponenten des Waldwasserhaushaltes abgeleitet werden. So ist zum Beispiel in den meisten Anwendungsfällen der Wasserverbrauch der Vegetation ebenfalls unbekannt. Bei dem von ULRICH et al (1979) entwickelten Meßkonzept werden diese Komponenten auf indirektem Wege ermittelt (MEIWES et al., 1984).

Die Geometrie der untersuchten Fließregion ist bei Stoffhaushaltsuntersuchungen meist einfach und bekannt. Sie kann dann in Form eines eindimensionalen, vertikalen Fließmodelles angenähert werden. Die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Fließbewegung im Boden sind bekannt (BEAR, 1972). Zusammen mit geeignet gewählten Randbedingungen läßt sich ein vollständiges Modell des Bodenwasserhaushaltes unter Wald formulieren. Neben der Sickerwassermenge beschreiben solche Modelle die räumliche und zeitliche Entwicklung von Zustandsvariablen des Boden-Wasser Systems, wie zum Beispiel der Saugspannung oder des Wassergehaltes. Diese Variablen sind im Gegensatz zur Sickerwassermenge direkt meßbar und ermöglichen dadurch eine kontrollierte Anwendung und Validierung solcher Bodenwasser-Modelle.

Der Einsatz von mathematischen Simulationsmodellen bei der Bestimmung der Sickerwassermengen erlaubt eine erhebliche Reduktion des Meßaufwandes. Dieser Bericht liefert ein Beispiel für eine derartig vereinfachte Vorgehensweise bei der Ermittlung der Sickerwassermengen von zwei Buchenwaldstandorten und zwei vormals bewaldeten Freiflächen. Das Modell ist von HAUHS (1985) entwickelt und getestet worden. Die wichtigsten Annahmen und die zu seiner Anwendung notwendigen Parameter werden in den folgenden Abschnitten zusammengefaßt.

2. Die untersuchten Standorte

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Sickerwassermengen von zwei Buchenalthölzern (> 100 Jahre) in den Abteilungen 204 und 308 des Stadtforstamtes Essen ermittelt. Bei den übrigen zwei Flächen handelt es sich um Freiflächen in der Abteilung 305. Die Freifläche 305-0 ist nahezu ohne Bodenvegetation und von einer geschlossenen Auflagehumusschicht bedeckt. Auf der anderen Freifläche (305-VU)

wurde 1985 ein Vollumbruch durchgeführt. Diese Fläche weist eine geschlossene Krautschicht auf.

Tabelle 1: Profilbeschreibungen der untersuchten Standorte

| Abt. | 204b | 308c | 305b |
|------------------------|---|--|--|
| Humusform | rohumusart. Moder | Rohhumus | Rohhumus |
| Bodentyp | pseudovergleyte Parabraunerde | mäßig podsolige Parabraunerde | Parabraunerde |
| Profil: (Tiefe:Hor) | 20:A _l 60:S _w B _t 110+:B _v S _d | 4:A _{h,c} 10:B _s 55:IIA _l 70:II B _t 90+:II B _v C _v | 4:A _{h,c} 65:A _l 85:B _t 85:B _t 85+:II C _v |

Tabelle 1 enthält die Profilbeschreibungen der Untersuchungsflächen. Alle Standorte befinden sich in fast ebener Lage auf einem schwach geneigten Oberhang (Abt.305 und 308) oder einem Rücken (Abt.204). Das Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist eine mindestens 50 cm mächtige Lößdecke über Sandstein.

Die Intensivwurzelschicht der beiden Buchenbestände erreicht maximal eine Tiefe von 60-80 cm. In dieser Tiefe wird dabei ein häufig als Staukörper wirksamer Substratwechsel angetroffen (Tabelle 1). Die Tiefe von 60 cm wird daher als die untere Grenze des Ökosystemes behandelt, für die der Sickerwasser- und Stoffaustausch bestimmt werden sollen. Aufgrund der Lage der untersuchten Standorte wird eine laterale Wasserbewegung vernachlässigt.

3. Das Bodenwassermodell

Die Ermittlung des Wasser- und Stoffaustausches bleibt auf den untersuchten Buchenflächen auf den Zwischenstammbereich beschränkt. Die Unterdrucklysimeter wurden daher in einem Mindestabstand von zwei Metern zum nächsten Stamm installiert. Der als Stammabfluß in den Boden infiltrierende Niederschlagsanteil kann unter Buche zwischen 12 und 22 % des Freilandniederschlags betragen (BENECKE, 1984). Die Wasserbewegung im Boden kann dadurch bis in eine Entfernung von zwei Metern vom Stamm beeinflusst werden (SCHLICHTER, 1980).

Bei der Berechnung des Bodenwasserhaushaltes im Zwischenstammbereich geht man davon aus, daß die Stammabflußkomponente das Ökosystem ohne Beeinflussung des Wasserverbrauches der Bäume passiert. Diese Vernachlässigung der Wurzelwasseraufnahme im Stammfußbereich führt zu einer Minimalschätzung der Sickerwassermenge im Zwischenstammbereich.

Die Wasserbewegung im Zwischenstammbereich kann mit einem eindimensionalen, vertikalen Modell für gesättigt/ungesättigtes Fließen dargestellt werden. Für eine vollständige mathematische Formulierung des Problems müssen folgende Größen bekannt sein:

1. Die Wasserflüsse über den oberen und unteren Rand der Fließregion.
2. Die Verteilung und Höhe der Wasseraufnahme innerhalb der Fließregion.
3. Die hydraulischen Eigenschaften der Fließregion (pF -, K_r -Funktionen).

1a) Der obere Rand der Fließregion

Die Wassermenge, die täglich über diesen Rand in den Boden infiltriert, kann aus der Messung des Bestandesniederschlags abgeleitet werden. Oberflächenabfluß tritt auf den untersuchten Flächen nicht auf. Die Bodeninfiltrationsrate wird daher aus den wöchentlich gemessenen Summen des Bestandesniederschlags errechnet. Anhand der täglichen Niederschlagsdaten der nächstgelegenen meteorologischen Station des Deutschen Wetterdienstes können diese Wochensummen in Tageswerte umgerechnet werden. In dieser Arbeit wurden die Daten der Station Essen-Bredeney benutzt. Eine zeitweise Zwischenspeicherung des Bestandesniederschlags in Form einer Schneedecke wurde nicht berücksichtigt.

1b) Der untere Rand der Fließregion

Das Modell der Fließregion wird nach unten erheblich über die Tiefe hinaus, für die die Versickerung bestimmt werden soll, verlängert. Das hier verwendete Näherungs-Modell reicht bis in eine Tiefe von 2.5 Meter. An der unteren Grenze wird ein konstanter hydraulischer Gradient ($dH/dt=1$) angenommen. Bei Wassersättigung bedeutet diese Annahme einen konstanten Fluß in Höhe der gesättigten Leitfähigkeit. In allen anderen Fällen eine variable Flußrate entsprechend der für diese Schicht benutzten K_r -Funktion. Diese Randbedingung hat sich bei ähnlichen Untersuchungen als realistisch erwiesen (van der PLOEG und BENECKE, 1981). Durch die Verlängerung der Fließregion in vertikaler Richtung soll erreicht werden, daß sich die mit dieser Annahme verbundene Ungenauigkeit nicht bis in die Tiefe auswirkt, für die die Sickerwassermenge berechnet werden soll (60 cm).

2) Die Wurzelwasseraufnahme

Die Berechnung der Transpiration und die Verteilung der Wurzelwasseraufnahme benutzt die gleichen Annahmen und Teilmodelle, die von HAUHS (1985) beschrieben wurden. Dabei wird die potentielle oder auch ungestreßte Transpirationsrate aus einem bestandesspezifischen Parameter und den meteorologischen Variablen Temperatur, Luftfeuchte und Sonnenscheindauer berechnet. Der Bestandes-Parameter stellt konzeptionell einen mittleren effektiven Stomatawiderstand dar. Er wurde hier jedoch rein empirisch benutzt und entsprechend der Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Saugspannungswerten im Wurzelraum angepaßt (Tabelle 5). Die meteorologischen Daten wurden als Tagessummen bzw. -mittelwerte der Station Essen-Bredeney übernommen. Die tägliche Globalstrahlungssumme leitet sich anhand der Modelle von SWIFT (1976) und GOLCHERT (1981) aus der Sonnenscheindauer her. Die Abschätzung von Albedo und der mittleren langwelligen Strahlungskomponente erlauben daraus die täglichen Nettostrahlungswerte zu schätzen.

Das Modell der Wurzelwasseraufnahme benötigt Angaben über Wurzelmenge, Verteilung, der Membranleitfähigkeit und das minimale Xylempotential. Für alle vier Standorte wurden die von HAUHS (1985) benutzten Schätzwerte verwendet.

3) Die hydraulischen Materialeigenschaften

Die Wasserbewegung innerhalb der Fließregion wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$\frac{\delta\theta}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta z} \left[K \frac{\delta H}{\delta z} \right] + S \quad (1)$$

θ : volumetrischer Wassergehalt ($cm^3 \cdot cm^{-3}$)

K : hydraulische Leitfähigkeit ($m \cdot tag^{-1}$)

H : Gesamtpotential (m)

S : Wurzelwasserentzug (tag^{-1})

z : vertikale Koordinate (m)

t : Zeit (tag)

Die Bodenprofile der untersuchten Standorte zeigten keinerlei Anzeichen von Makroporenfluß. Es kann daher angenommen werden, daß die gesamte Sickerwasserbewegung durch Gleichung (1) dargestellt wird. Die Fließregion wird hier als nicht kompressibel angesehen.

Tabelle 2: Korngrößenverteilungen in 0-20 und 40-60 cm Tiefe auf den Untersuchungsflächen

| Fraktion (mm) | 204b | 308c | 305-0 | 305-VU |
|-------------------|------|------|-------|--------|
| 0-20 cm Tiefe | | | | |
| < 0.002 (T) | 9.1 | 19.3 | 13.3 | 13.1 |
| 0.002-0.0063 (fU) | 3.0 | 4.6 | 4.3 | 4.9 |
| 0.0063-0.02 (mU) | 13.3 | 23.2 | 18.7 | 19.9 |
| 0.02-0.063 (gU) | 42.5 | 45.5 | 51.9 | 54.4 |
| 0.063-0.1 (fFS) | 9.5 | 7.3 | 8.2 | 4.1 |
| 0.1-0.2 (gFS) | 7.2 | 2.3 | 1.2 | 2.1 |
| 0.2-0.63 (fGS) | 8.9 | 0.9 | 1.4 | 0.9 |
| 0.63-2.0 (gGS) | 6.5 | 0.9 | 1.0 | 0.6 |
| 40-60 cm Tiefe | | | | |
| T | 16.6 | 13.7 | 13.6 | 15.1 |
| fU | 3.2 | 4.4 | 4.7 | 5.4 |
| mU | 15.7 | 18.7 | 19.0 | 17.4 |
| gU | 60.1 | 58.2 | 56.9 | 56.1 |
| fFS | 3.1 | 2.1 | 2.8 | 2.7 |
| gFS | 0.5 | 1.2 | 0.6 | 0.6 |
| fGS | 0.6 | 1.1 | 0.9 | 1.1 |
| gGS | 0.3 | 0.7 | 1.5 | 1.6 |

Zur Abschätzung der hydraulischen Materialeigenschaften stand die Korngrößenverteilung zur Verfügung (Tabelle 2). Diese Korngrößenverteilungen auf den vier Standorten sind in der Tiefe

40-60 cm nahezu identisch. Da auch die Trockenraumdichten nur geringfügig variieren ($1.22-1.48 \text{ g/cm}^3$), wurde der Wasserhaushalt auf allen vier Standorten mit identischen pF - und K_r -Funktionen berechnet. Für die hier vorliegende schluffreiche Bodenart werden in der Regel gute Beziehungen zwischen der Korngrößenverteilung und den hydraulischen Materialeigenschaften gefunden (BLOEMEN, 1980; SAXTON et al, 1986). Die pF - und K_r -Beziehung wurde hier nicht gemessen, sondern über Ähnlichkeitsmerkmale der Korngrößenverteilung von bekannten Standorten des Sollingprojektes übernommen (BENECKE, 1984). Als Kriterium der Ähnlichkeit wurde der f -Index von BLOEMEN (1980) benutzt, der auf den vier Untersuchungsflächen im Bereich $0.66-0.75$ liegt.

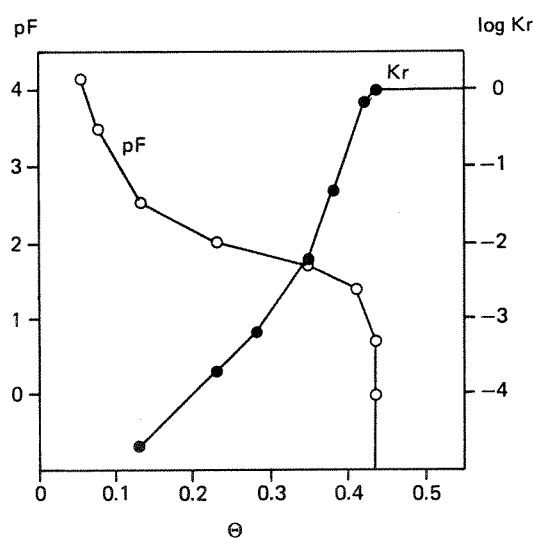


Abbildung 1: Die hydraulischen Materialeigenschaften für die Schicht 0-80 cm

Abbildung 1 zeigt die Materialeigenschaften, die bei der Modellberechnung für die obersten 80 cm eingesetzt wurden. K_r bezeichnet die relative Leitfähigkeit, die sich als dimensionslose Größe aus der Division durch die gesättigte Leitfähigkeit ergibt. Die pF -Kurve der unteren Schicht verläuft bei gleichem Residualwassergehalt und geringerem Porenvolumen (Tabelle 5) etwas flacher. Auch die gesättigte Leitfähigkeit wurde für diese Schicht herabgesetzt (Tabelle 5). Da die Fließregionen aller vier Standorte mit dem gleichen Modell dargestellt werden, sind die Ergebnisse vergleichbar. Aus diesem Grund wurde auch die Schichtgrenze in der Tiefe von 80 cm trotz der leicht variierenden Profilbeschreibungen unverändert beibehalten. Die Werte für die gesättigte Leitfähigkeit wurden in einigen vorbereitenden Modellläufen angepaßt. Sie haben nach den Untersuchungen zur Modellempfindlichkeit einen Einfluß auf das zeitliche Muster der Sickerwasserbewegung, aber nur geringe Bedeutung für die Gesamtmenge der Versickerung (HAUHS, 1985).

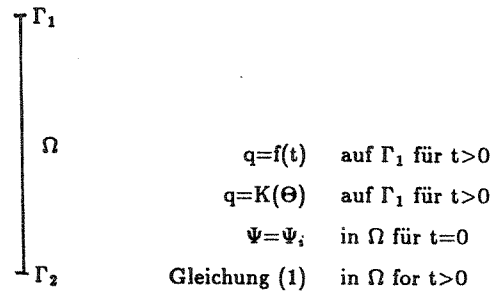


Abbildung 2: Das Anfangsrandwertproblem für eine vertikale ein-dimensionale Fließstrecke mit Wurzelwasserentzug. $q(t)$ ist die gemessene Infiltrationsrate.

Abbildung 2 zeigt das vollständige Anfangsrandwertmodell zu dem hier behandelten Fließproblem. Es kann mit verschiedenen numerischen Methoden gelöst werden (HORNUNG und MESSING, 1984). Hier wurde die Methode der finiten Elemente angewendet. Die von HAUHS (1985) entwickelte Programmversion für zweidimensionales Fließen liefert Lösungen mit einer korrekten Massenbilanz. Bei HAUHS (1985) befindet sich eine vollständige Beschreibung des numerischen Modelles zu dem in Abbildung 2 gezeigten Problemtyp. Das hier benutzte, auf Viereckselementen aufgebaute Diskretisierungsschema ist in Abbildung 3 dargestellt. Das Modell wurde ursprünglich für zweidimensionale Fließprobleme entwickelt. Das Modell der Fließregion ist daher eine Bodensäule, die in horizontaler Richtung 1 Meter breit ist. Die Wahl der x -Dimension ist in diesem Fall beliebig und ohne Auswirkung auf die Ergebnisse.

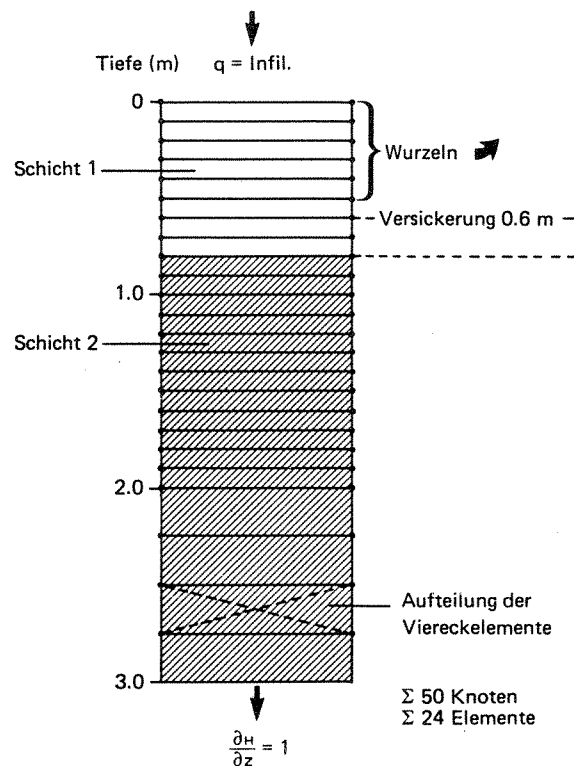


Abbildung 3: Das Diskretisierungsschema zum numerischen Näherungsmodell des in Abbildung 2 gezeigten Anfangsrandwertproblems.

Für die Ermittlung einer geeigneten Anfangsbedingung wurde das zugehörige Randwertproblem mit einer konstanten Infiltrationsrate in Höhe von 2 mm/tag gelöst. Der Auswertungszeitraum der Wasserhaushaltsuntersuchungen umfaßt die Zeit vom Juni 1985 bis August 1986. Um Störungen durch die gewählte Anfangsbedingung zu vermeiden, beginnt die Simulation des Wasserhaushaltes jeweils bereits im April 1985.

In diesem Abschnitt sind die verwendeten Meßdaten zusammengefaßt:

- Der Bestandesniederschlag wurde in Form von Wochensummen nach der Methode von MEIWES et al (1984) erhoben (Abt. 204 und 308).
- Die Wochensummen des Freilandniederschlags (MEIWES et al, 1984) (Abt. 204, 308 und 305).
- Die Daten der Station des Deutschen Wetterdienstes Essen-Bredeney (Tagesdurchschnitt Temperatur und Luftfeuchte, Tagessummen Niederschlag und Globalstrahlung).
- Das Bodenwasserpotential (wöchentlich) in 20, 40 und 60 cm Tiefe. Diese Messung wurde in jeweils fünf Wiederholungen pro Tiefe mit Einstichtensiometern nach MARTHALER et al. (1983) durchgeführt. Diese Messungen dienen der Modellkalibrierung; sie werden daher nur für Teile des gesamten Auswertungszeitraumes benötigt. Diese Meßperiode muß aber mindestens eine Austrocknung und die anschließende Wiederbefeuchtung umfassen.

4. Ergebnisse

Die Tabelle 3 zeigt den berechneten Wasserhaushalt für die vier untersuchten Standorte. Unterschiede bestehen demnach zwischen den bewaldeten und unbewaldeten Flächen. Dies wird auch bei einer Gegenüberstellung der berechneten monatlichen Sickerwassermengen deutlich (Abbildungen 4 und 5). Während die Versickerung unter den Buchenbeständen auf die Zeit außerhalb der Vegetationsperiode beschränkt ist, zeigen die beiden Freiflächen einen wesentlich ausgeglicheneren Jahresgang. Neben dem unterschiedlichen Wasserverbrauch der Vegetation (Tabelle 3) liegt der Hauptgrund dieses Unterschiedes in der höheren Interzeptionsverdunstung unter Wald (STEWART, 1977).

Tabelle 3: Ergebnisse des Wasserhaushaltmodelles

| (mm) | 1985 (Jun-Dez) | | | | 1986 (Jan-Aug) | | | |
|--------|-------------------|-------|----------------|-----------------------|-------------------|-------|----------------|-----------------------|
| | Inf. | Trsp. | Vers. 60 cm | ΔR 0-60 cm | Inf. | Trsp. | Vers. 60 cm | ΔR 0-60 cm |
| Bu 204 | 350 | 256 | 81 | 13 | 485 | 252 | 255 | -22 |
| Bu 308 | 398 | 298 | 84 | 16 | 574 | 317 | 303 | -46 |
| 305-VU | 570 | 83 | 476 | 11 | 687 | 97 | 579 | 11 |
| 305-0 | 570 | 0 | 559 | 11 | 687 | 0 | 674 | 13 |

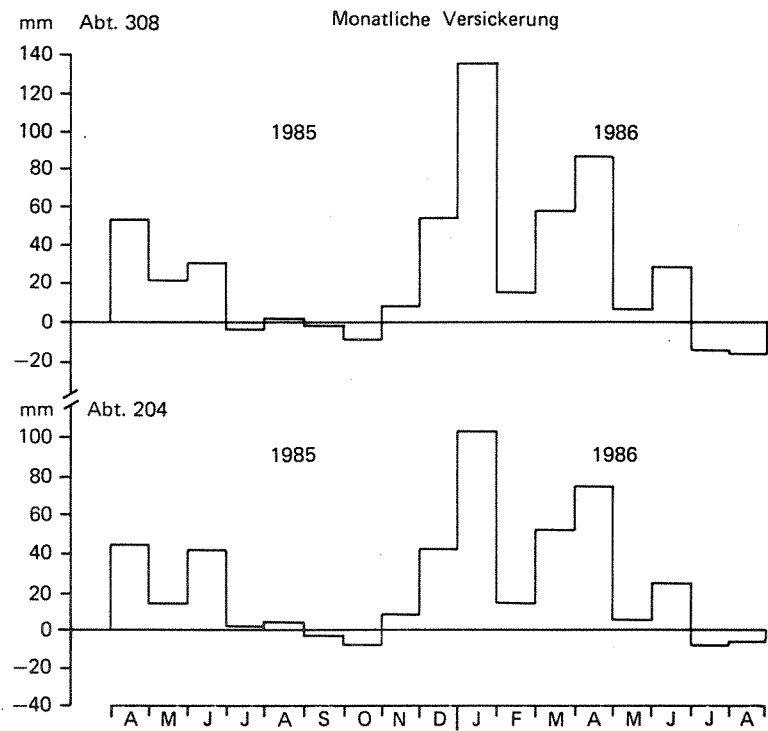


Abbildung 4: Die Monatssummen der Versickerung in 60 cm Tiefe für die beiden Buchenbestände (Abt. 204 und 308).

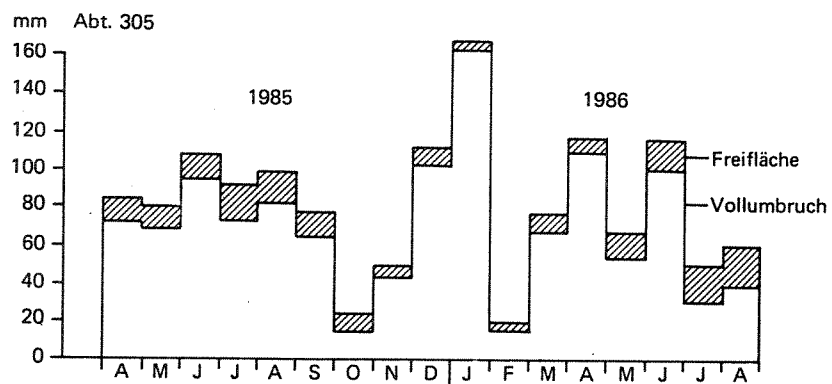


Abbildung 5: Die Monatssummen der Versickerung in 60 cm Tiefe für die Freiflächen der Abt 305 (305-O und 305-VU).

Die gemessene Differenz zwischen der Niederschlagsmenge im Bestand und außerhalb (Tabelle 4) kann nur zu etwa 50% mit dem Stammabfluß erklärt werden. Die Höhe des ermittelten Bestandesniederschlags entspricht ähnlichen Untersuchungen an Buchenalthölzern (BENECKE, 1984). Die Interzeptionsverdunstung beträgt demnach ca 20% des Freilandniederschlags und wird nur in sehr geringem Umfang durch eingesparte Transpiration kompensiert (STEWART, 1977).

Tabelle 4: Die Relation zwischen den Niederschlagssummen des Bestandes- und Freilandniederschlags

| $\frac{BN}{FNF}$ (%) | 1985 | 1986 |
|----------------------|------|------|
| Bu 204 | 65.1 | 66.2 |
| Bu 308 | 67.9 | 70.9 |
| 305† | 103. | 99.6 |

† Das Verhältnis zwischen den Summen des Freilandniederschlags auf der Abt. 305 und der Station Essen-Bredeneu.

Die ausgeprägte Saisonalität der Versickerung im hier untersuchten Zeitraum 1985/86 wird an dem gemessenen Verlauf der Bodenwasserpotentiale deutlich (Abbildungen 6 und 7). Der Variationskoeffizient der Saugspannungsmessungen beträgt 20-25%. Demnach sind die gemessenen Unterschiede zwischen bewaldeten (Abt. 204 und 308) und unbewaldeten Flächen (Abt. 305) signifikant, nicht dagegen die Unterschiede innerhalb der genannten Paare. Die in Tabelle 3 gezeigten Sickerwassermengen sind durch individuelle Auswertung aller vier Flächen ermittelt worden (Abbildungen 6-13). Dabei wurden die in Tabelle 5 mit einem Stern versehenen Parameter variiert.

Tabelle 5: Modellparameter

| | | 204 | 308 | 305-VU | 305-0 |
|--|---|------|------|--------|----------|
| Bestand | | | | | |
| Albedo [] | | 0.15 | 0.15 | 0.22 | 0.22 |
| R_l [$W.m^2$] | | -27 | -27 | -27 | -27 |
| Veg. Ende 85 [tag] | | 296 | 296 | 296 | 296 |
| Veg. Anf. 86 [tag] | | 120 | 120 | 120 | 120 |
| Bestandesw. S_o ($sec.m^{-1}$) | * | 135 | 135 | 500 | ∞ |
| Bestandesw. W_i ($sec.m^{-1}$) | * | 500 | 500 | 500 | ∞ |
| Wurzelmasse ($t.ha^{-1}$) | | 3.4 | 3.4 | 3.4 | - |
| max. Wurzeltiefe (m) | | 0.5 | 0.5 | 0.5 | - |
| max Saugsp. Wurzel (Pa) | * | 3.5 | 4.5 | 3.5 | - |
| Membranleitf. ($10^{-7} m.tag^{-1}$) | * | 1.0 | 2.5 | 1.0 | - |
| Boden | | | | | |
| hydraulische Leitf. ($m.tag^{-1}$) (0-80 cm) | | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| hydraulische Leitf. ($m.tag^{-1}$) (> 80 cm) | | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| Porenvolumen 0-80 cm (%) | | 44 | 44 | 44 | 44 |
| Porenvolumen > 80 cm (%) | | 33 | 33 | 33 | 33 |

* mit diesen Parametern wurde die Anpassung zwischen berechneter und gemessener Saugspannungsentwicklung auf den einzelnen Standorten durchgeführt.

Tabelle 5 faßt die benutzten Modellparameter zusammen. Albedo und langwellige Strahlungsbilanz wurden aus Untersuchungen an ähnlichen Beständen übernommen (REICHLE, 1980). Die Dauer der Vegetationszeit der Buchenbestände wird durch den Zeitraum bestimmt, in dem das Wochenmittel der Temperatur über 10 Grad Celsius liegt (SEIBT, 1981). Der Bestandeswiderstand für das Sommer- und Winterhalbjahr steuert die Höhe der potentiellen Transpiration. Über diesen Parameter wurde die Anpassung der simulierten Saugspannungsverläufe an die Meßwerte durchgeführt. Bei der vegetationsfreien Fläche ist die Transpiration gleich Null und auch die Bodenverdunstung wurde hier gleich Null gesetzt. Das Resultat der Anpassung ist für alle vier Standorte zufriedenstellend (Abbildungen 6-13). Im Meßzeitraum ist jedoch auf den beiden unbewaldeten Flächen kein Austrocknungszyklus aufgetreten und die Anwendungsvoraussetzungen für eine sinnvolle Modellanpassung sind daher nur teilweise erfüllt (siehe Abschnitt 3). Das bedeutet, daß der gefundene Unterschied zwischen den beiden unbewaldeten Flächen der Abt. 305 hier nicht weiter interpretiert werden soll.

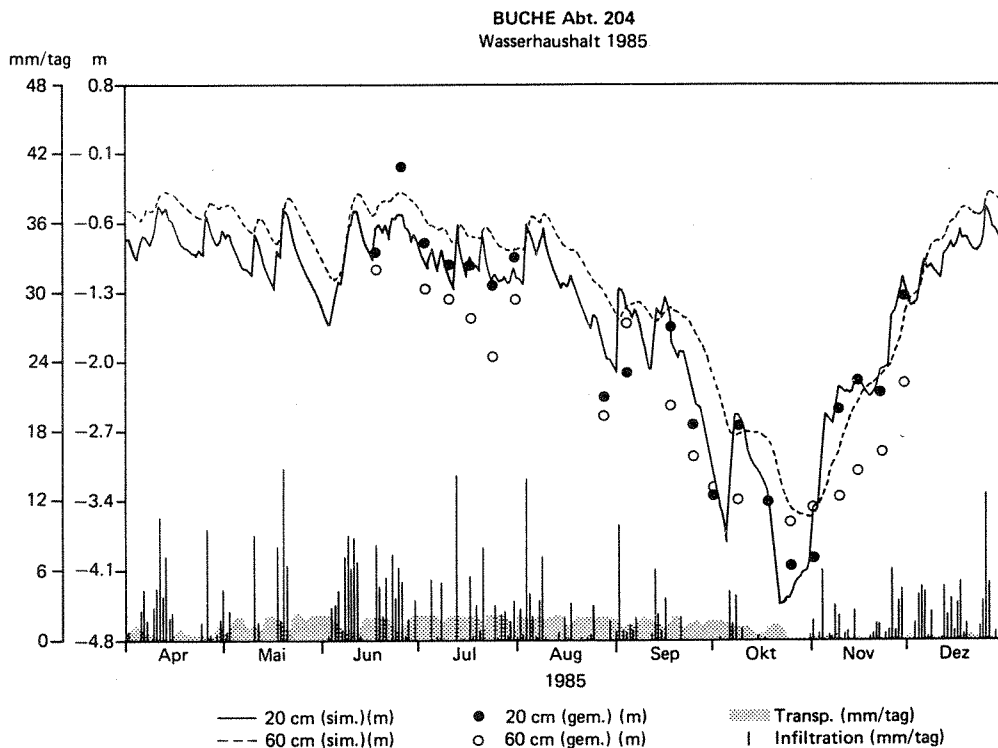


Abbildung 6: Ergebnisse der Simulation für 1985 auf der Abt. 204.

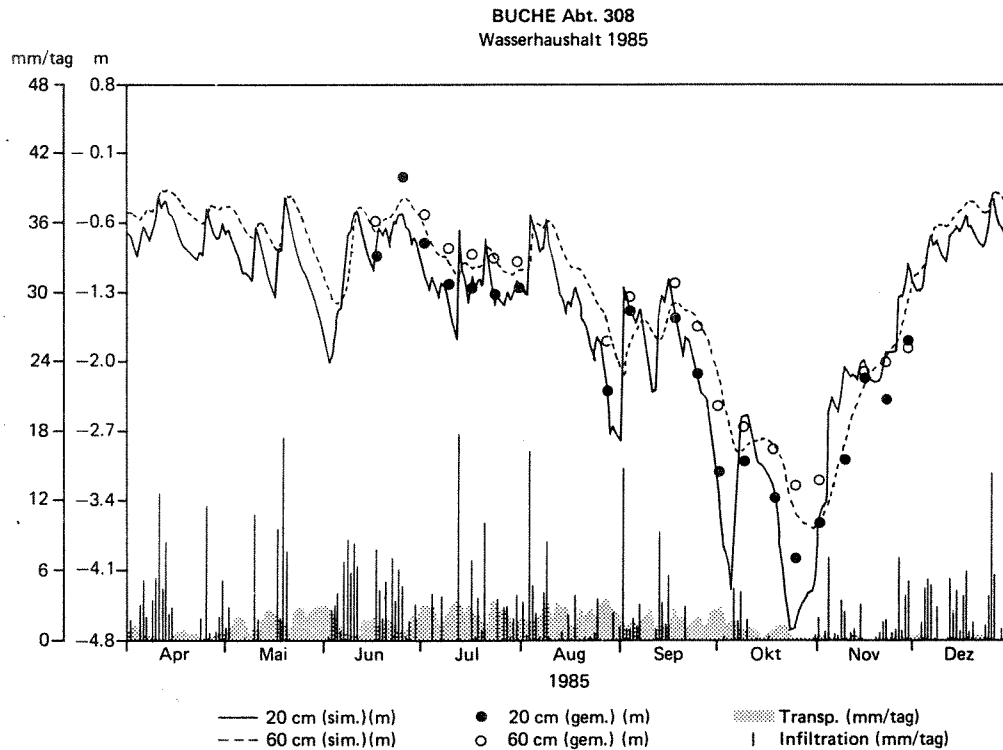


Abbildung 7: Ergebnisse der Simulation für 1985 auf der Abt. 308.

Die Buchenbestände 204 und 308 weisen einen Unterschied in der Höhe des Bestandesniederschlages auf (Tabellen 3 und 4). Da die Bodenwasserpotentiale ähnlich verlaufen (Abbildungen 6 und 7), führt die Modellanpassung zu einem unterschiedlichen Wasserverbrauch durch den Bestand (Tabelle 3). Dies wurde dadurch erreicht, daß die Wurzelparameter variiert wurden. Der Buchenbestand der Abt. 308 schränkt seine Transpirationsrate in der Simulation dadurch später ein (Tabelle 5 sowie Abbildungen 6 und 7).

Die Buchenfläche der Abt 308 zeigt hinsichtlich der Tiefengradienten die beste Anpassung an die gemessenen Saugspannungen. Auf der Fläche 204 ist die Übereinstimmung in der Tiefe 20 cm ähnlich gut, jedoch nicht in 60 cm. Dies liegt wahrscheinlich daran, daß in diesem Bestand der B_t -Horizont höher hinaufreicht (Tabelle 1) und die Fließregion hier mit einer Materialgrenze in einer Tiefe von 80 cm nicht optimal dargestellt wird. Um eine volle Vergleichbarkeit der Modellergebnisse zu erhalten, wurde diese Abweichung nicht korrigiert.

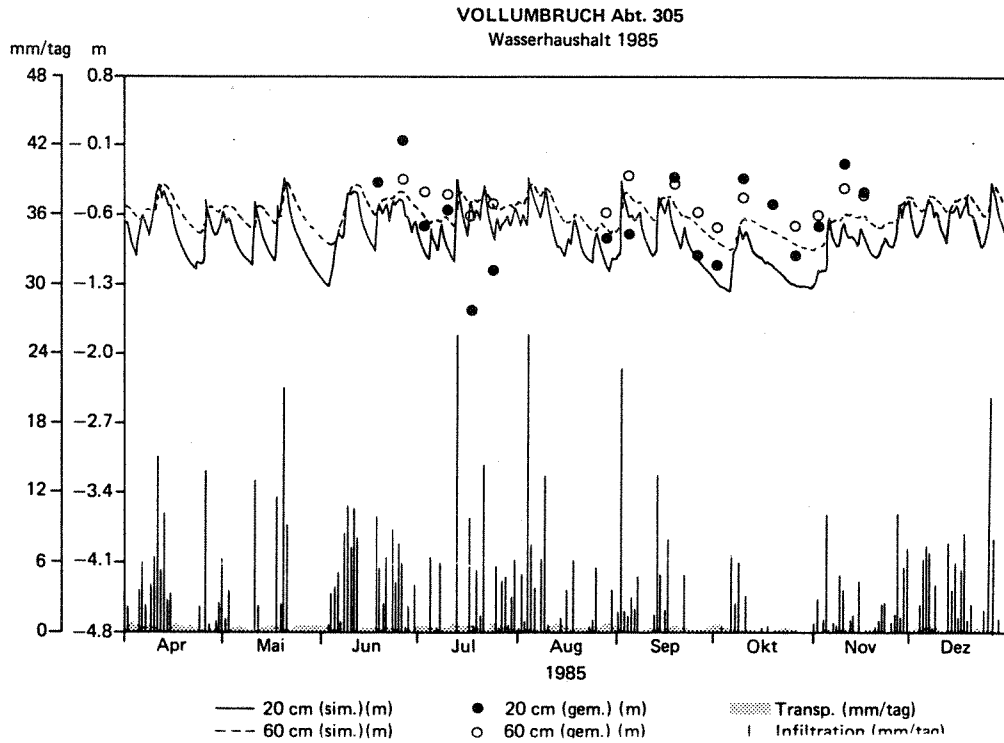


Abbildung 8: Ergebnisse der Simulation für 1985 auf der Abt. 305 (305-VU).

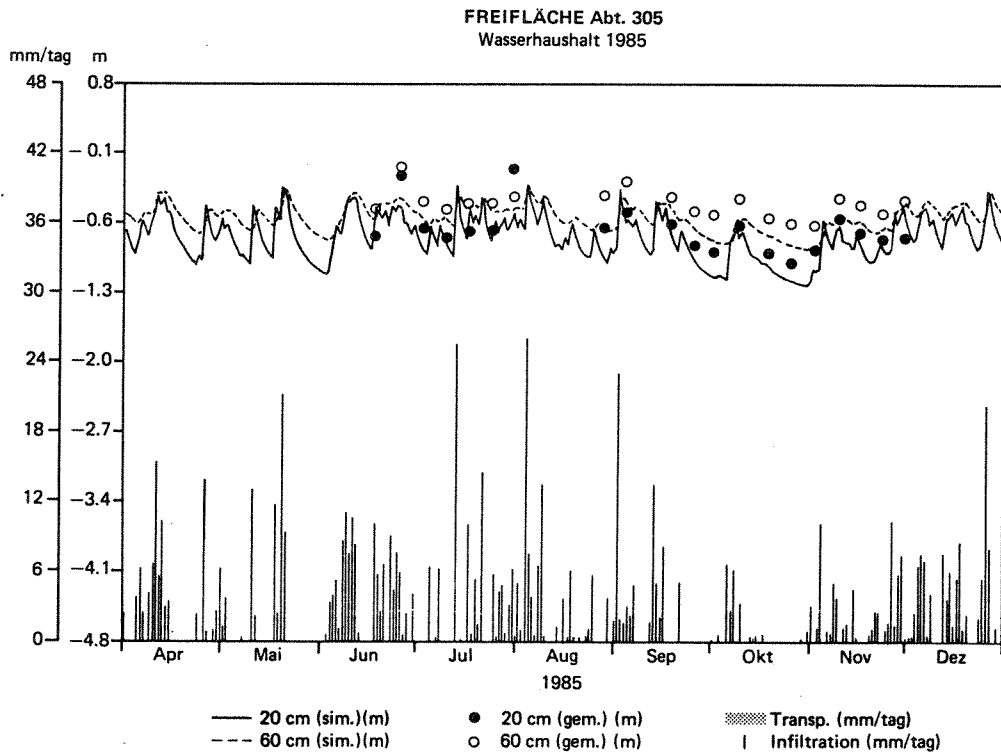


Abbildung 9: Ergebnisse der Simulation für 1985 auf der Abt. 305 (305-0).

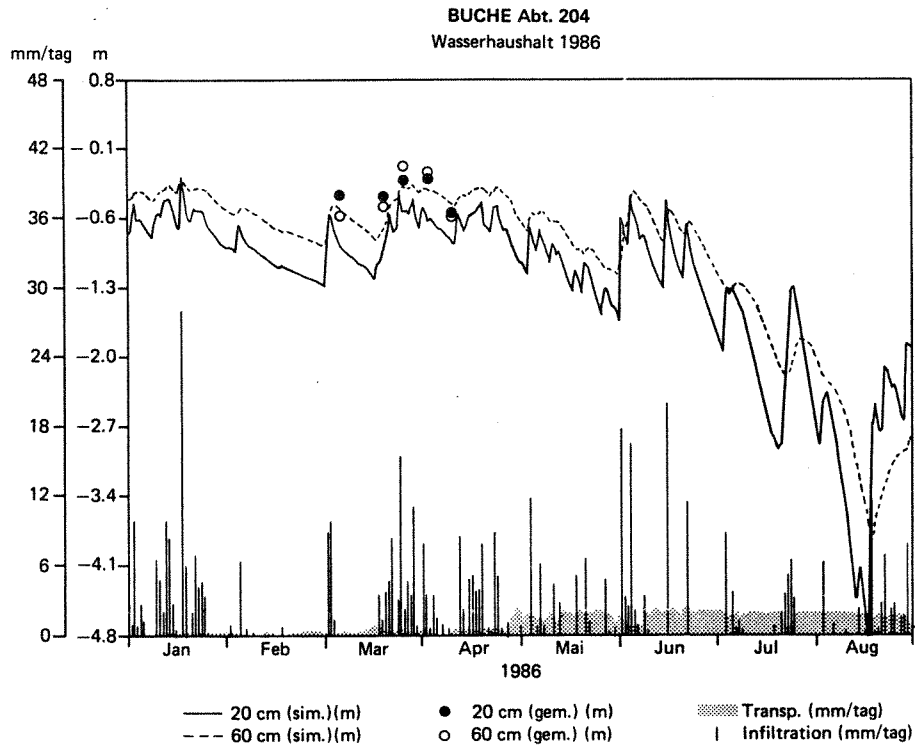


Abbildung 10: Ergebnisse der Simulation für 1986 auf der Abt. 204.

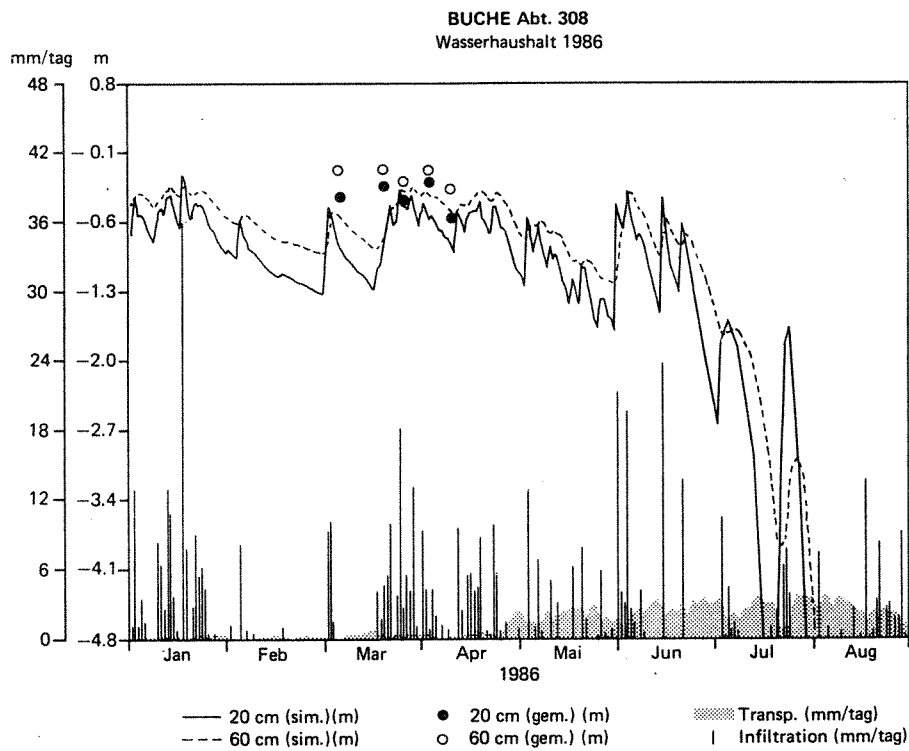


Abbildung 11: Ergebnisse der Simulation für 1986 auf der Abt. 308.

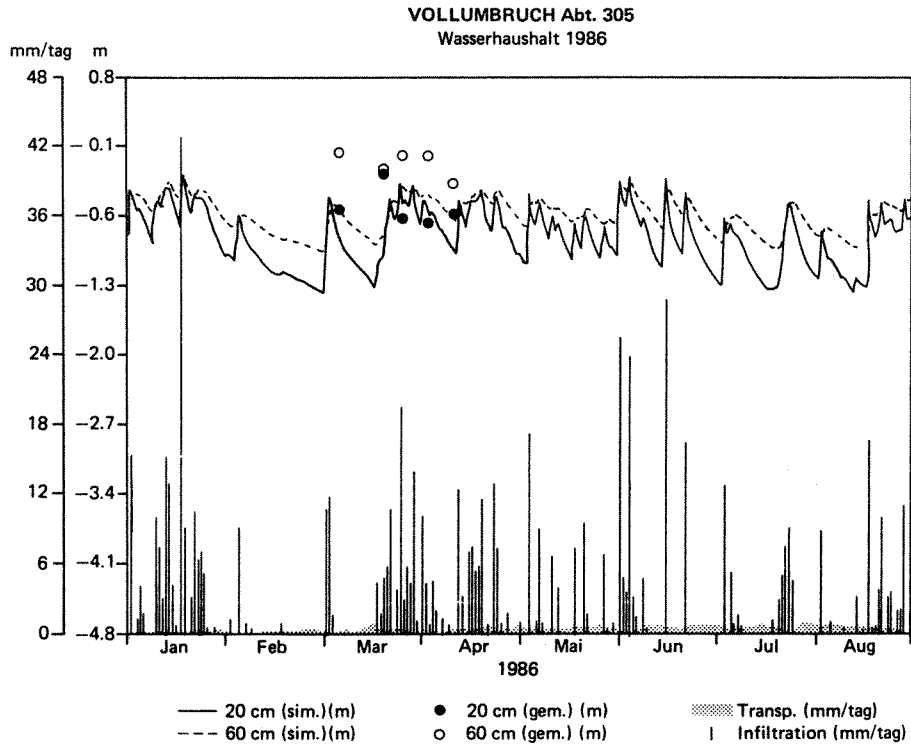


Abbildung 12: Ergebnisse der Simulation für 1986 auf der Abt. 305 (305-VU).

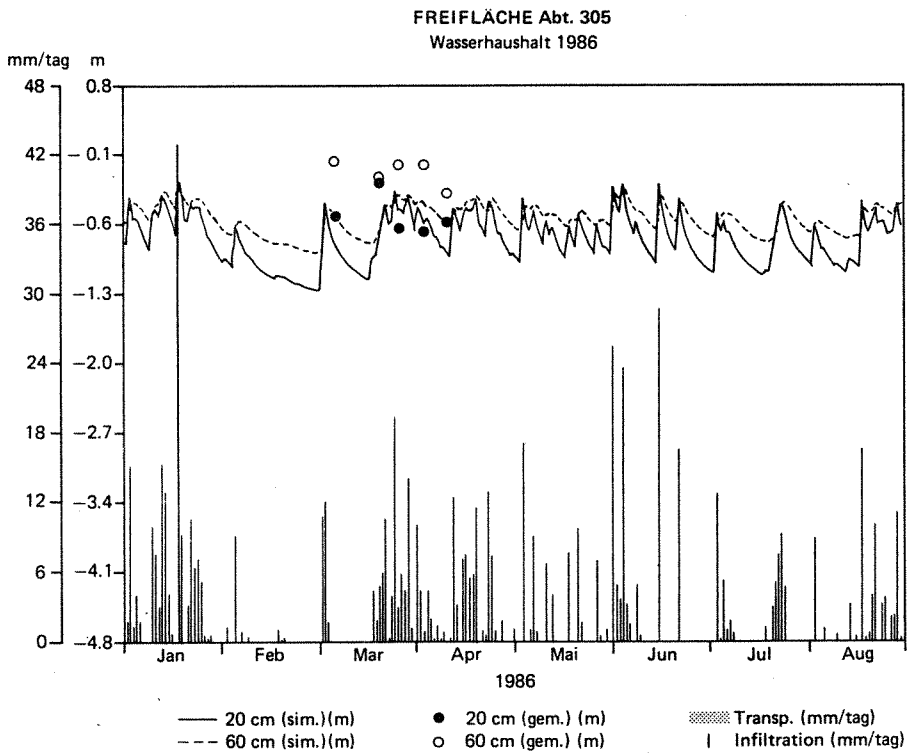


Abbildung 13: Ergebnisse der Simulation für 1986 auf der Abt. 305 (305-0).

5. Zusammenfassung

Der Wasserhaushalt von zwei Buchenalthölzern und zwei Freiflächen des Stadtforstamtes Essen wurde mit Hilfe eines einfachen physikalischen Modelles berechnet. Ziel der Untersuchung war die Ableitung der monatlichen Sickerwassermengen, die den Wurzelraum verlassen. Durch die Verwendung eines mathematischen Simulationsmodelles konnte der Meßaufwand auf die folgenden Variablen begrenzt werden: Niederschlag im Freiland und im Bestand, Tagesmittel der Temperatur, Luftfeuchte und die Sonnenscheindauer. Die Bodenwasserpotentiale in verschiedenen Tiefen wurden auf allen Untersuchungsflächen zur Modellkalibrierung gemessen. Die Ergebnisse zeigen einen ausgeglichenen Jahresgang der Versickerung unter den beiden Freiflächen. Unter den beiden Buchenbeständen tritt eine Versickerung aus dem Wurzelraum nur außerhalb der Vegetationszeit auf. Der Unterschied zu den unbewaldeten Flächen wird zu etwa gleichen Teilen durch die Transpiration der Buchen und die Interzeptionsverdunstung verursacht.

6. Literaturverzeichnis

- BEAR, J. Dynamics of fluids in porous media. American Elsevier, New York, 1972.
- BENECKE, P. 1984: Der Wasserumsatz eines Buchen- und eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling. Schriften aus der Forstl. Fakultät und der Nds. Forstl. Versuchsanstalt Bd.77, Sauerländer Verlag Frankfurt/M.
- BLOEMEN, G.W. 1980: Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content. Zeitschr. Pflanzenern. Bodenkd. 143: 581-605.
- GOLCHERT, H.J. 1981: Mittlere monatliche Globalstrahlungsverteilung in der Bundesrepublik Deutschland. Meteorol. Rdsch., 34: 143-151.
- HAUHS, M. 1985: Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Langen Bramke (Harz). Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/ Waldsterben Bd.17, Göttingen Büsgenweg 2.
- HORNUNG, U UND MESSING, W. 1984: Poröse Medien - Methoden und Simulation. Verlag Beitr. Hydrologie, Kirchzarten.
- MARTHALER, H.P., VOGELSANGER, W., RICHARD, F., UND WIERENGA, P.J. 1983: A pressure transducer for field tensiometers. Soil Sci. Am. J. 47: 624-627.
- MEIWES, K.J., HAUHS, M., GERKE, H., ASCHE, N., MATZNER, E. UND LAMMERSDORF, N. 1984: Die Erfassung des Stoffkreislaufs in Waldökosystemen. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben Bd.7, Göttingen Büsgenweg 2.
- REICHLER, D.E. 1980: Dynamic properties of forest ecosystems. Internat. Biol. Prog. 23, Cambridge University Press.
- SAXTON, K.E., RAWLS, W.J., ROMBERGER, J.S. UND PAPENDICK, R.I. 1986: Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Sci. Soc. Am J. 50: 1031-1036.
- SCHLICHTER, T.M. 1980: Die Entwicklung eines Simulationsmodells für den Wasserhaushalt eines Buchenbestandes im Hochsolling. Diss. Univ. Göttingen
- SEIBT, G. 1981: Die Buchen- und Fichtenbestände der Probeflächen des Sollingprojektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Schriften aus der Forstl. Fakultät und der Nds. Forstl. Versuchsanstalt Bd.72, Sauerländer Verlag Frankfurt/M.
- STEWART, J.B. 1977: Evaporation from the canopy of a pine forest. Water Resour. Res. 13: 915-921.
- SWIFT, L.W. 1976: Algorithm for solar radiation on mountain slopes. Water Resour. Res. 12: 108-112.
- ULRICH, B., MAYER, R. UND KHANNA, P.K. 1979: Die Deposition von Luftverunreinigungen und deren Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schriften aus der Forstl. Fakultät und der Nds. Forstl. Versuchsanstalt Bd.58, Sauerländer Verlag Frankfurt/M.
- VAN DER PLOEG, R.R. UND BENECKE, P. 1981: Evaluation of one- and two-dimensional water flow models and field validation of unsaturated water flow. In: Modelling wastewater rennovation, I.K. Iskander (ed.) J.Wiley, New York.