Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 139 (1988)

Heft: 2

Artikel: Lysimeteruntersuchungen zur Wasserbilanz von Pappel, Weisserle, Fichte und Gras auf einem sandigen Boden über Schotter

Autor: Käppeli, Thomas / Schulin, Rainer

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-766696

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: 13.07.2025

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

Lysimeteruntersuchungen zur Wasserbilanz von Pappel, Weisserle, Fichte und Gras auf einem sandigen Boden über Schotter

Von *Thomas Käppeli* und *Rainer Schulin*
(Aus dem Institut für Wald- und Holzforschung der ETH Zürich,
Fachbereich Bodenphysik, CH-8092 Zürich)

Oxf.: 116.1

1. Einleitung

Der Wasserhaushalt des Bodens ist einer der wichtigsten Standortsfaktoren. Das Bodenwasser ist Transportmedium für Nähr-, aber auch Schadstoffe. Durch die Wurzeln aufgenommenes Wasser ersetzt den Transpirationsverlust der Blätter. Es besteht eine annähernd lineare Beziehung zwischen Assimilat-Produktion und Transpiration. Der Wassergehalt des Bodens steuert zahlreiche andere Bodeneigenschaften wie die Verdichtungsempfindlichkeit, Gasleitfähigkeit, Wärmekapazität und -leitfähigkeit.

Der Wassergehalt eines Bodens hängt von dessen hydraulischen Eigenschaften, vom Klima und von der Vegetation ab. Der Einfluss der Vegetation ist unter Freilandbedingungen nur schwer zu erfassen. Dies liegt in erster Linie daran, dass Standorte mit unterschiedlicher Vegetation sich auch in anderer Hinsicht, insbesondere in den Bodeneigenschaften, unterscheiden. Darüberhinaus bereitet es unter Freilandbedingungen in der Regel grosse Mühe, Flüsse wie Evapotranspiration und Tiefensickerung hinreichend genau zu bestimmen. Besonders geeignet für vergleichende Wasserhaushaltsuntersuchungen von Beständen sind im Freiland stehende Gross-Lysimeter wie diejenigen im ETH-Lehrrevier bei Sellenbüren (ZH). In den Jahren 1984 und 1985 wurden hier vergleichende Untersuchungen zum Wasserhaushalt von drei verschiedenen Stangenholzbeständen und einer Grasvegetation durchgeführt. Ein Teil dieser Untersuchungen ist in den Diplomarbeiten von *Eyer* (1984) und *Käppeli* (1986) dokumentiert worden. Die wichtigsten Ergebnisse zur Entwässerungswirkung der Vegetation auf den Boden werden hier zusammengefasst.

2. Die Lysimeteranlage «Müli» bei Sellenbüren

Lysimeter sind Einrichtungen zur direkten Erfassung von Sickerwasserflüssen aus Bodenkompartimenten. Die vier Grosslysimeter der Anlage «Müli» *(Abbildung 1)* befinden sich längs der Reppisch am Fuss des «Näfenhügels» bei Sellenbüren (ZH) in einer geschützten, nordost-exponierten Talmuldenlage auf 525 m ü. M. Sie bestehen aus bodeneben eingebauten, zylindrischen Betonbecken von 2,10 m Tiefe und 10,00 m Durchmesser. Die Anlage war in den Jahren 1969/70 unter der Leitung von Prof. Dr. H. Leibundgut für waldbaulich-ökologische Untersuchungen gebaut worden. In die Becken wurden im April 1970 Lagen von Grob- und Feinkies und darüber alluvialer Sand aus der unmittelbaren Umgebung der von *Richard* und *Lüscher* (1983) beschriebenen Boden-Lokalform «Winzlerboden» bei Rheinau (ZH) eingebracht und schichtweise leicht verdichtet *(Rubli,* 1975). *Abbildung 2* zeigt ein schematisches Profil. Das Sickerwasser eines jeden Beckens wird in einem Ausflussrohr gesammelt und seit Februar 1984 mittels einer Wippe in Einheiten von 0,1 l gemessen. Die Höhe der Ausflussöffnung ist verstellbar. Dadurch kann der Grundwasserspie-

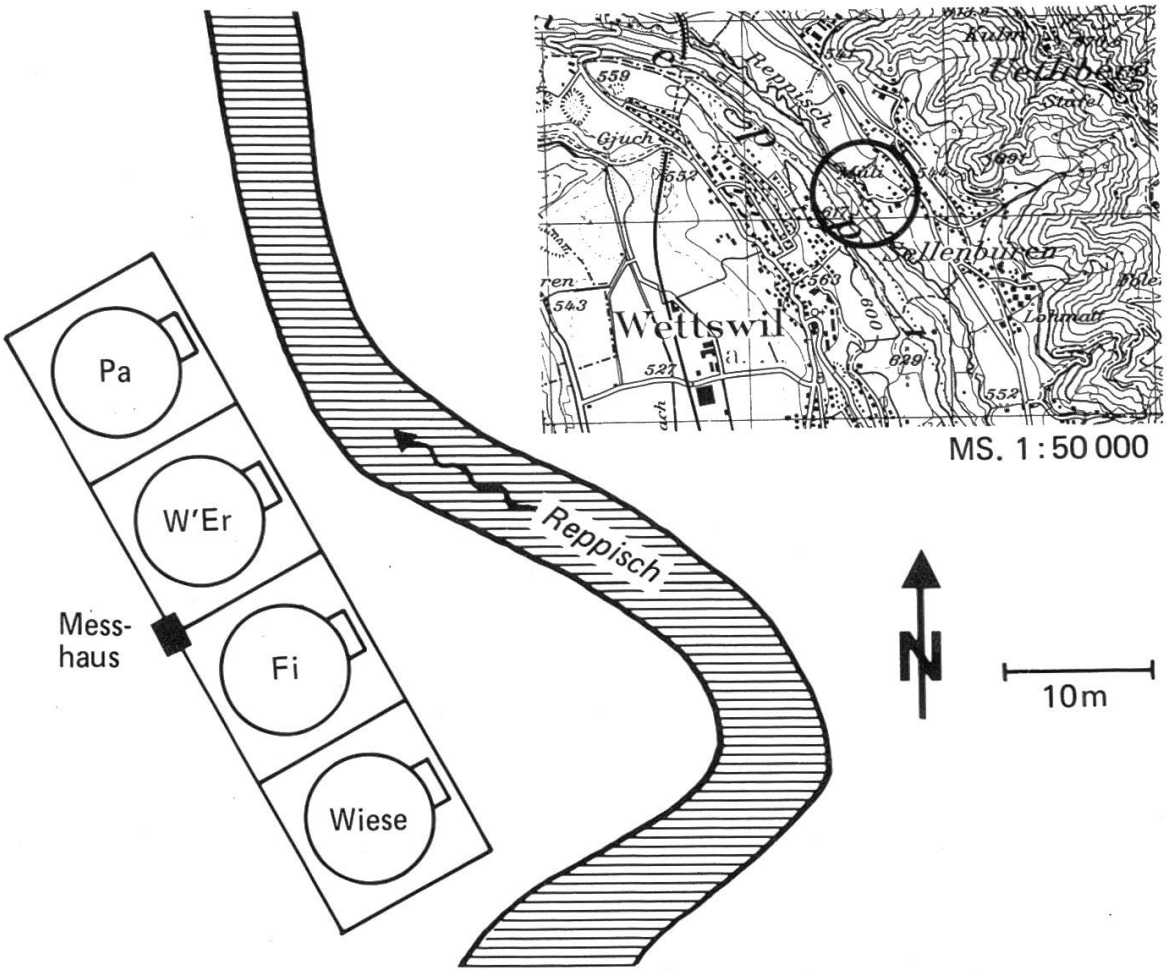


Abbildung 1. Situation der Lysimeteranlage in Sellenbüren (Pa: Pappel, W'Er: Weisserle, Fi: Fichte). Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 15. September 1987.

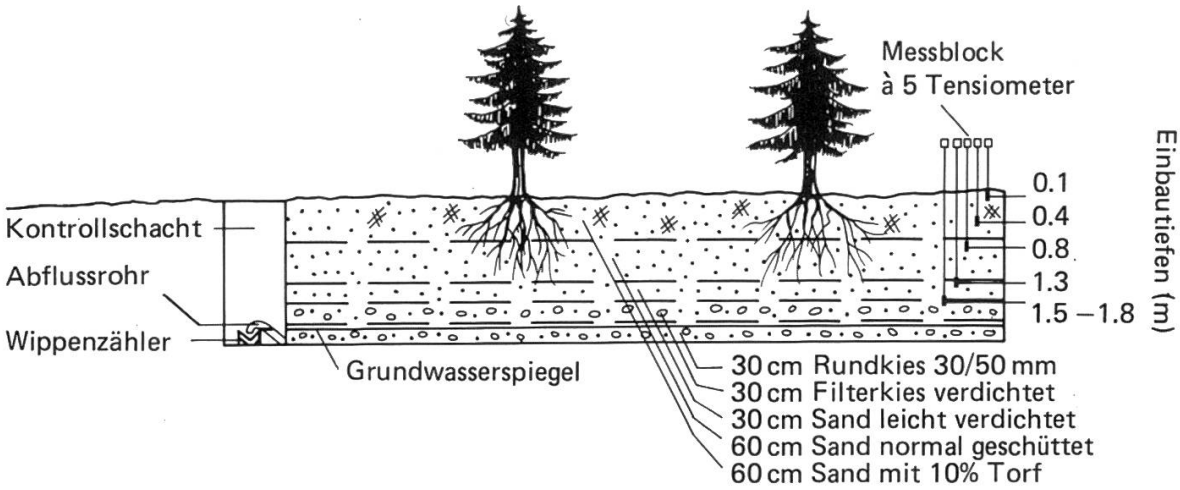


Abbildung 2. Schematisches Bodenprofil und Funktionsprinzip der Lysimeter (MS 1 : 50; nach *Eyer* [1984], abgeändert).

gel reguliert werden. Bis März 1984 wurden die Grundwasserspiegel in allen vier Becken in 1,10 m Tiefe gehalten, dann wurden sie auf 1,87 m Tiefe in den Schotter abgesenkt.

Drei der Lysimeter wurden im Mai 1970 mit Bäumen, und zwar je eines mit Pappeln *(Populus x euramericana* Guinier), Weisserlen *(Alnus incana* [L.] Moench) und Fichten *(Picea abies* [L.] Karst.) bepflanzt. Die Pappelpflanzung wurde 1972 wiederholt. Um Randeinflüsse abzuschwächen, wurde jeweils auch ein Randstreifen ausserhalb der Becken in die Bepflanzung miteinbezogen *(Abbildung 1)*. Die vierte Lysimeterparzelle wurde mit einer Magerwiesen-Grasmischung eingesät.

Tabelle 1. Bestockung der Lysimeter I – III am Ende der Vegetationsperiode 1985.

Lysimeter	*I*	*II*	*III*
Bestand	Pappel *(Populus x euramericana)*	Weisserle *(Alnus incana)*	Fichte *(Picea abies)*
Alter (Jahre)	12	14	14
Bestandesstruktur	einschichtig	zweischichtig	einschichtig
Stammzahl	11	19 (OS: 6, US: 13)	66
– total		+ 3 *Sambucus nigra*	
– pro ha	1400	2400	8400
Grundfläche (m^2/ha)	26,94	23,27	44,15
mittlerer BHD (cm)	15,3	10,2	7,6
min./max. BHD (cm)	9 – 21	4,5 – 18	3 – 13,5
Oberhöhe (m)	21	16	14
min./max. Höhe (m)	14 – 21	OS: 11 – 16 US: 4 – 7	10 – 14
Deckungsgrad	0,7	0,8	1,0
Beschirmungsgrad	0,75	1,2	1,7

OS = Oberschicht US = Unterschicht BHD = Brusthöhendurchmesser

Die Baumbestände, die im März 1986 wegen Windwurfgefahr abgetrieben wurden, befanden sich zuletzt im Stadium von Stangenhölzern. Die in *Tabelle 1* angegebenen Bestandesdaten beziehen sich nur auf die Bestockung innerhalb der Lysimeterbecken.

Bis zum Abtrieb der Bestände hatten sich auf den ursprünglichen Rohböden unter Pappeln, Erlen und Gras Humusauflagen in Form von Mull und unter den Fichten in Form von Moder zu entwickeln begonnen.

3. Das Klima während der Messperioden 1984 und 1985

Der Versuchsstandort weist eine mittlere jährliche Niederschlagssumme von rund 1100 mm und eine mittlere Jahrestemperatur von rund 8,5 °C auf.

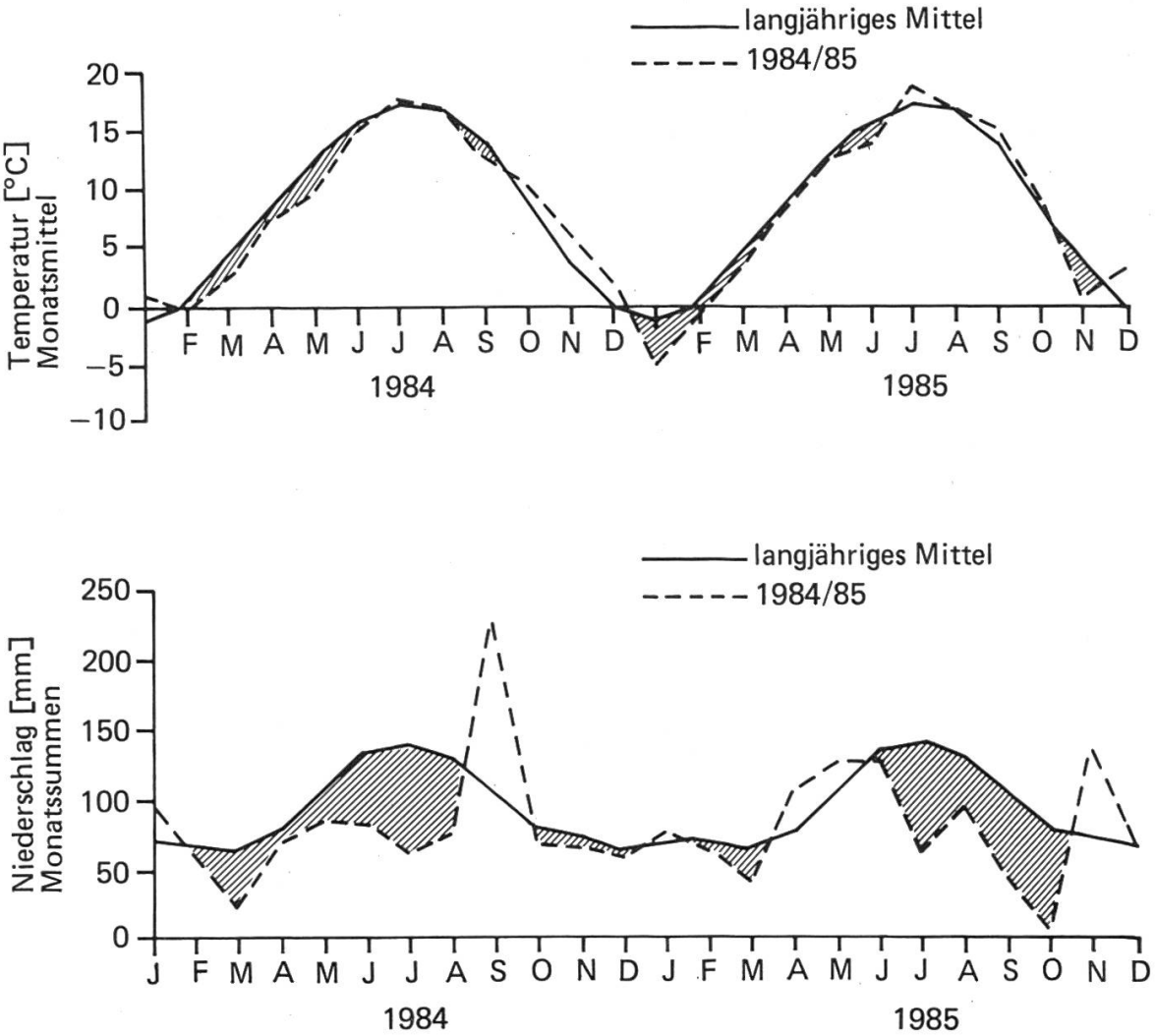


Abbildung 3. Temperatur und Niederschlag während der Messperiode. Wärme- und Niederschlagsdefizite sind schraffiert dargestellt. (Quelle: *Agrarmeteorologisches Bulletin* 1984/85; *Uttinger* 1965; *Schüepp* 1961, Station Zürich-SMA, 556 m ü. M.)

Anhand der Temperatur- und Niederschlagsverteilung der meteorologischen Station Zürich-SMA können die Witterungsverhältnisse während der Versuchsperiode wie folgt charakterisiert werden *(Abbildung 3)*:

In den Jahreswerten unterschieden sich die Versuchsjahre 1984 und 1985 nur wenig von den langjährigen Mittelwerten.

In den Monatswerten zeigen sich jedoch einige starke Abweichungen. Die Monate März bis August 1984 waren durch ein hohes Niederschlagsdefizit gekennzeichnet, auf welches im September eine Niederschlagsspitze folgte. Die etwas unterdurchschnittlichen Frühlingstemperaturen dürften den Trockenheitsstress in dieser Periode vermutlich etwas gemildert haben.

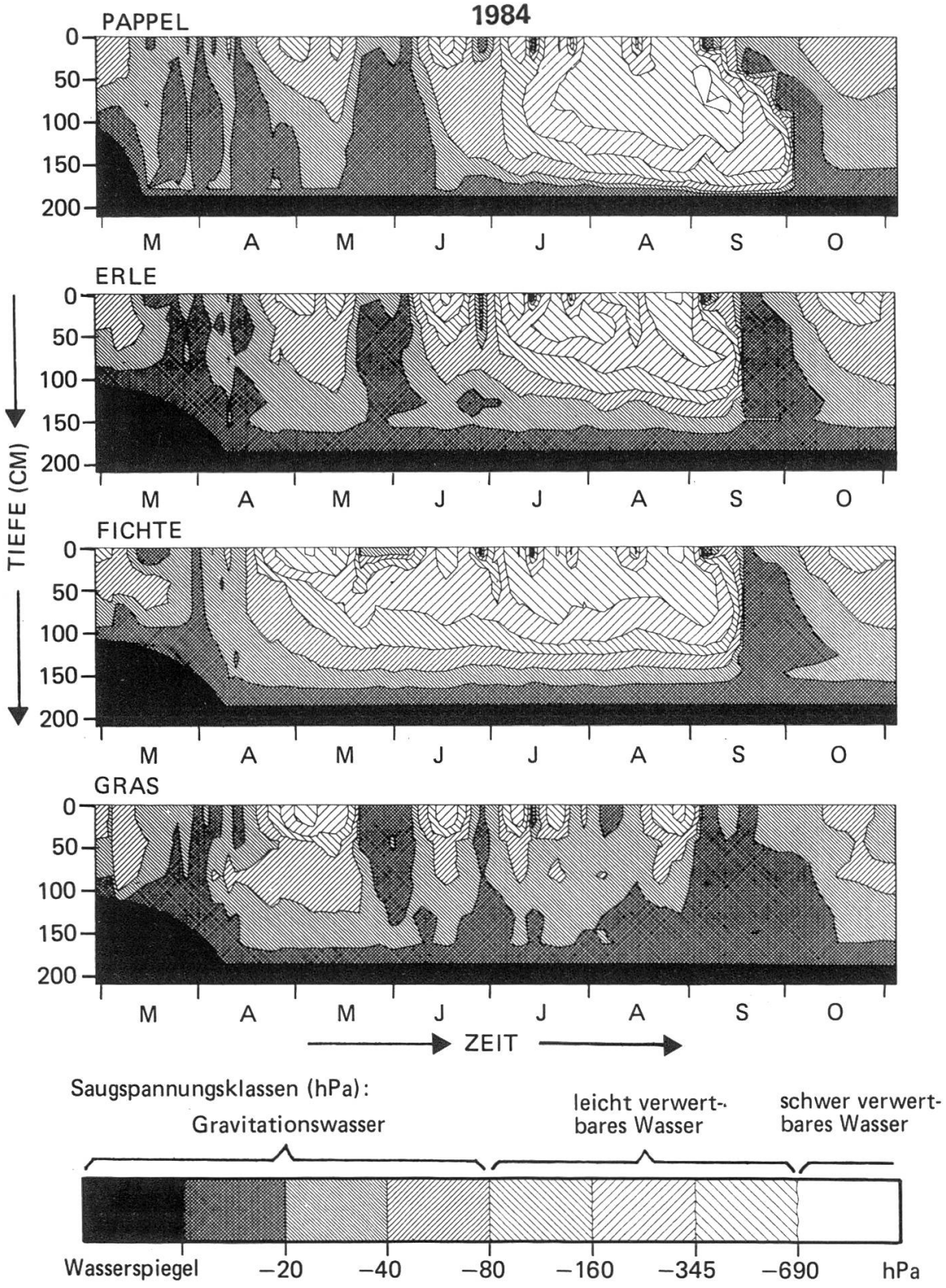
Im Gegensatz zu 1984 waren die Frühlingsmonate 1985 überdurchschnittlich feucht, September und Oktober dagegen aussergewöhnlich trocken. Diese Trockenperiode wurde bereits in den relativ warmen Sommermonaten Juli und August eingeleitet, die ähnlich hohe Niederschlagsdefizite aufwiesen wie im Jahr zuvor. Die Wirkung dieser klimatischen Verhältnisse auf die Wasserversorgung der Vegetation kommt in den Bodensaugspannungen und in den Wasserbilanzen, die in den folgenden Abschnitten dargestellt werden, deutlich zum Ausdruck.

4. Saugspannungen

Der Versorgungszustand einer Vegetation mit Bodenwasser ist neben dem mengenmässigen Wasservorrat des Bodens auch durch die Stärke der Wasserbindung gekennzeichnet. Letztere kann durch Tensiometer in Form der kapillaren Saugspannung gemessen werden. Ausführlich dargestellte Anleitungen und Grundlagen zur standortskundlichen Interpretation solcher Messungen sind in den «Lokalformen»-Beschreibungen von Richard *et al.* (1978, 1981, 1983) enthalten, die auf ausgedehnten bodenphysikalischen Untersuchungen an einer Reihe repräsentativ ausgewählter schweizerischer Waldböden beruhen.

In den vier Lysimeterbecken wurden die Saugspannungen 1984 und 1985 in jeweils drei Wiederholungen in den folgenden Tiefen gemessen: 0,1 m, 0,4 m, 0,8 m, 1,3 m und 1,5 bis 1,8 m (Pappeln: 1,8 m, Erlen und Fichten: 1,5 m, Gras 1,6 m). Die Ablesungen erfolgten wöchentlich. Während der Wintermonate wurden keine Ablesungen vorgenommen. Der zeitliche Verlauf der Saugspannung während der beiden Messperioden ist in *Abbildung 4* in Form von Saugspannungs-Isoplethen (Linien gleicher Saugspannungen) dargestellt. Die gewählten Isoplethenniveaus entsprechen den Stufen, die standardmässig bei der Messung von Desorptionskurven im Labor für Bodenphysik der ETH Zürich verwendet werden.[1]

[1] Physikalisch entspricht die Saugspannung des Bodenwassers einem Unterdruck in bezug auf den Atmosphärendruck. Saugspannungswerte werden hier daher als negative Druckwerte angegeben. Nach SI-Norm wird die Einheit «Pascal» (Pa) verwendet: 1 hPa = 100 Pa = 1 mbar ≈ 1 cm Wassersäule.


1984
PAPPEL
ERLE
FICHTE
GRAS
TIEFE (CM)
0
50
100
150
200
M A M J J A S O
ZEIT
Saugspannungsklassen (hPa):
Gravitationswasser
leicht verwert-bares Wasser
schwer verwert-bares Wasser
Wasserspiegel
−20
−40
−80
−160
−345
−690
hPa

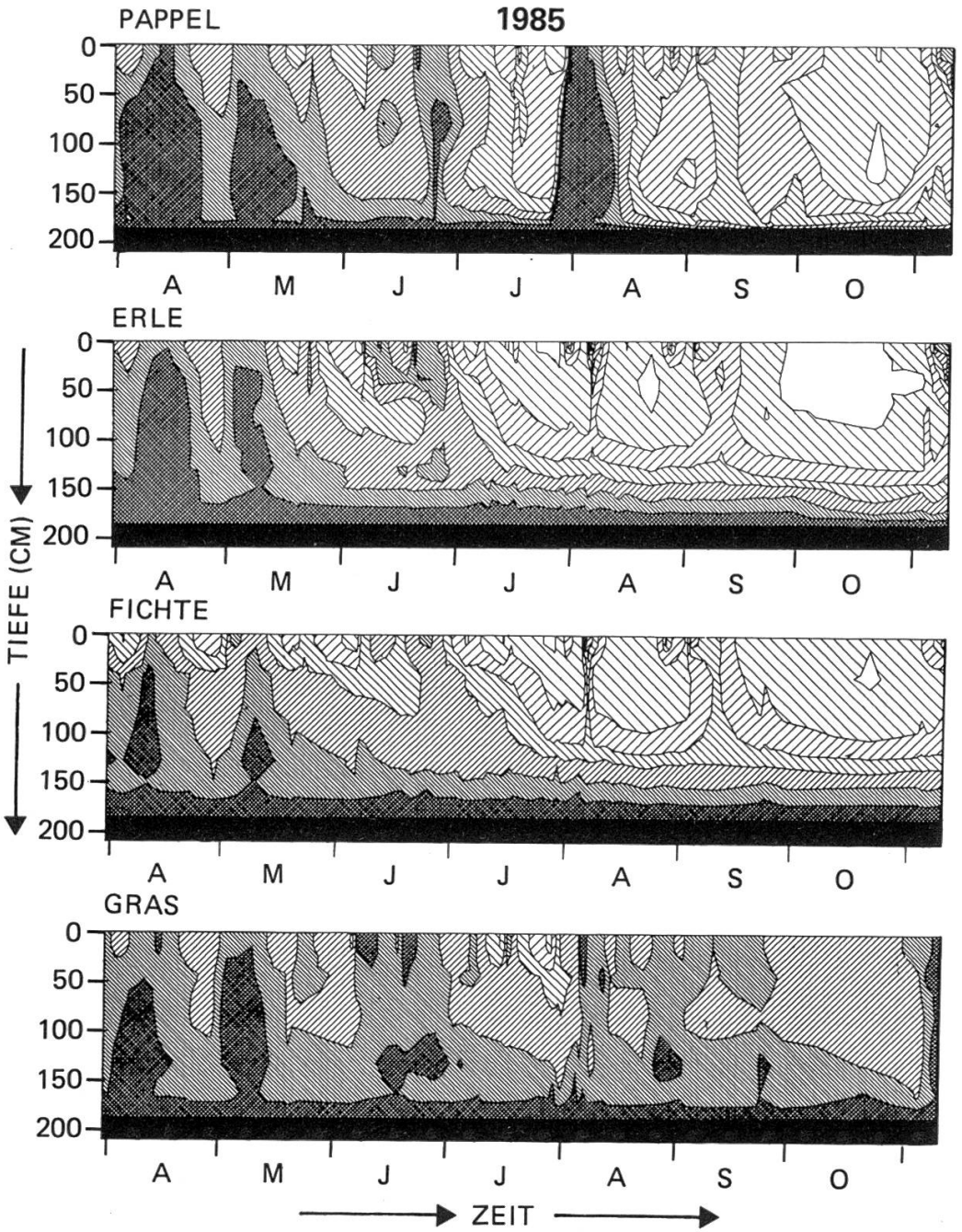


Abbildung 4. Isoplethendarstellung des zeitlichen Verlaufs der Saugspannungsverteilung über die Tiefe der vier Lysimeter während der Vegetationsperioden 1984 (gegenüberliegende Seite) und 1985. Zwischen Anfang März und Anfang April 1984 wurde der Wasserspiegel in den Lysimetern von 1,10 m auf 1,87 m Tiefe abgesenkt.

Diese orientieren sich an der von Richard *et al.* (1978, 1981, 1983) eingeführten Klassifizierung des Bodenwassers nach seiner Verwertbarkeit durch die Vegetation:

> −80 hPa	«leicht entfernbares (Gravitations-) Wasser»
−80 bis −690 hPa	«leicht verwertbares Wasser»
−690 bis −15 000 hPa	«schwer verwertbares Wasser»
< −15 000 hPa	«unverwertbares Wasser»

Bei der Interpretation der Isoplethendarstellungen in *Abbildung 4* ist zu berücksichtigen, dass der Grundwasserspiegel im Pappellysimeter bis Anfang März und in den übrigen Lysimetern bis Anfang April 1984 von 1,1 m auf 1,87 m Tiefe abgesenkt wurde. Die Entwässerungswirkung dieser Massnahme kommt in einem entsprechenden Anstieg der Saugspannungen zum Ausdruck. Im Gleichgewicht würde sich über dem Grundwasserspiegel eine vertikale Saugspannungsverteilung in Form einer linearen Abnahme von 0 hPa auf −187 hPa einspielen. Durch Infiltration sowie Evaporation und Transpiration wird die Einstellung dieser Gleichgewichtsverteilung aber immer wieder gestört: Niederschlagsereignisse führen zu vorübergehend stärkerer Aufsättigung und damit zu gegenüber dem Gleichgewicht erniedrigten Saugspannungen, Wurzelwasserentzug und Oberflächenverdunstung dagegen zu übermässiger Austrocknung und damit entsprechend erhöhten Saugspannungen.

In den Isoplethendarstellungen in *Abbildung 4* sind deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Vegetationstypen zu erkennen. Fichten und Gras begannen 1984 bereits ab Mitte April dem Oberboden Wasser zu entziehen. Bei den Pappeln und Erlen war 1984 eine Entwässerungswirkung, die spürbar über die theoretische Drainagewirkung des abgesenkten Wasserspiegels hinausgeht, erst im Laufe des Juni zu beobachten. Im Frühling 1985 kam der Beginn der Wurzelaktivität wegen der überdurchschnittlich hohen Niederschläge in den Bodenwasser-Saugspannungen nicht so klar zum Ausdruck wie 1984, insbesondere beim Gras. Ebenso ist das Ende der Vegetationsperiode 1984 wesentlich deutlicher als 1985 zu erkennen. Ende September 1984 führten einige stärkere Niederschläge in allen vier Becken zu einer weitgehenden Aufsättigung, auf die kein erkennbarer Wurzelwasserentzug mehr folgte. Die im Oktober allmählich einsetzende Entwässerung ging nicht über das durch Schwerkraftwirkung zu erwartende Mass hinaus. Im niederschlagsarmen Frühherbst 1985 nahm dagegen die Austrocknung noch bis Mitte Oktober zu. Erst Anfang November wurden die Böden wieder durch Niederschläge benetzt.

Pappeln und Erlen nahmen ihre Transpirationsaktivität zwar erst wesentlich später auf als Fichten, dafür schöpften die Pappeln das Bodenwasser am tiefsten aus. Ihre Entwässerungswirkung reichte 1985 praktisch bis zum Grundwasserspiegel. Etwas überraschend ist die Feststellung, dass die Fichten mit etwa 1,5 m

praktisch die gleiche Schöpftiefe erreichten wie die Weisserlen. Eindeutig am geringsten ist mit 0,3 bis 0,4 m die Schöpftiefe der Magerwiese.

Bei den Pappeln wurde nach längeren Trockenperioden eine leichte Absenkung des Grundwasserspiegels festgestellt. Dies deutet auf ein Eindringen der Pappelwurzeln ins Grundwasser. Da der Kapillarsaum im Schotter nur wenige Zentimeter mächtig ist, hatten die Wurzeln der anderen Bestände offensichtlich keine Möglichkeit, durch kapillaren Aufstieg Nachschub aus dem Grundwasser zu beziehen.

5. Wasserbilanz

Die Boden-Wasser-Bilanz der Lysimeter kann durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$\triangle W = KD + SA - ET - TS \qquad (1)$$

Dabei ist

$\triangle W$ = Änderung des Wasservorrats im Boden
KD = Kronendurchlass
SA = Stammabfluss
ET = Evapotranspiration
TS = Tiefensickerung

Kronendurchlass und Stammabfluss zusammen ergeben den Bestandesniederschlag. Dieser entspricht dem um die Interzeptionsverdunstung (IV) verminderten Freilandniederschlag (NS):

$$NS = IV + KD + SA \qquad (2)$$

Die in Gleichung (1) als «Evapotranspiration» bezeichnete Grösse ET umfasst neben der aus dem Bodenwasser gespeisten Transpiration der Vegetation auch die Interzeptionsverdunstung der Krautschicht und die Verdunstung der Bodenoberfläche.

Nach *Mitscherlich* (1971) muss angenommen werden, dass die letzten beiden Komponenten einen Anteil zwischen 10 und 30% an der Gesamtverdunstung hatten. Bei den Fichten kann die Verdunstung von der Bodenoberfläche wegen der hohen Bestandesdichte vernachlässigt werden. Aus demselben Grund war hier auch keine Krautvegetation vorhanden.

Die hier berechneten und in *Abbildung 5* dargestellten Bilanzen beziehen sich auf Perioden, an deren Anfang und Ende annähernd die gleichen Saugspannungsprofile gemessen wurden. Damit kann auch von etwa gleichen Wasserge-

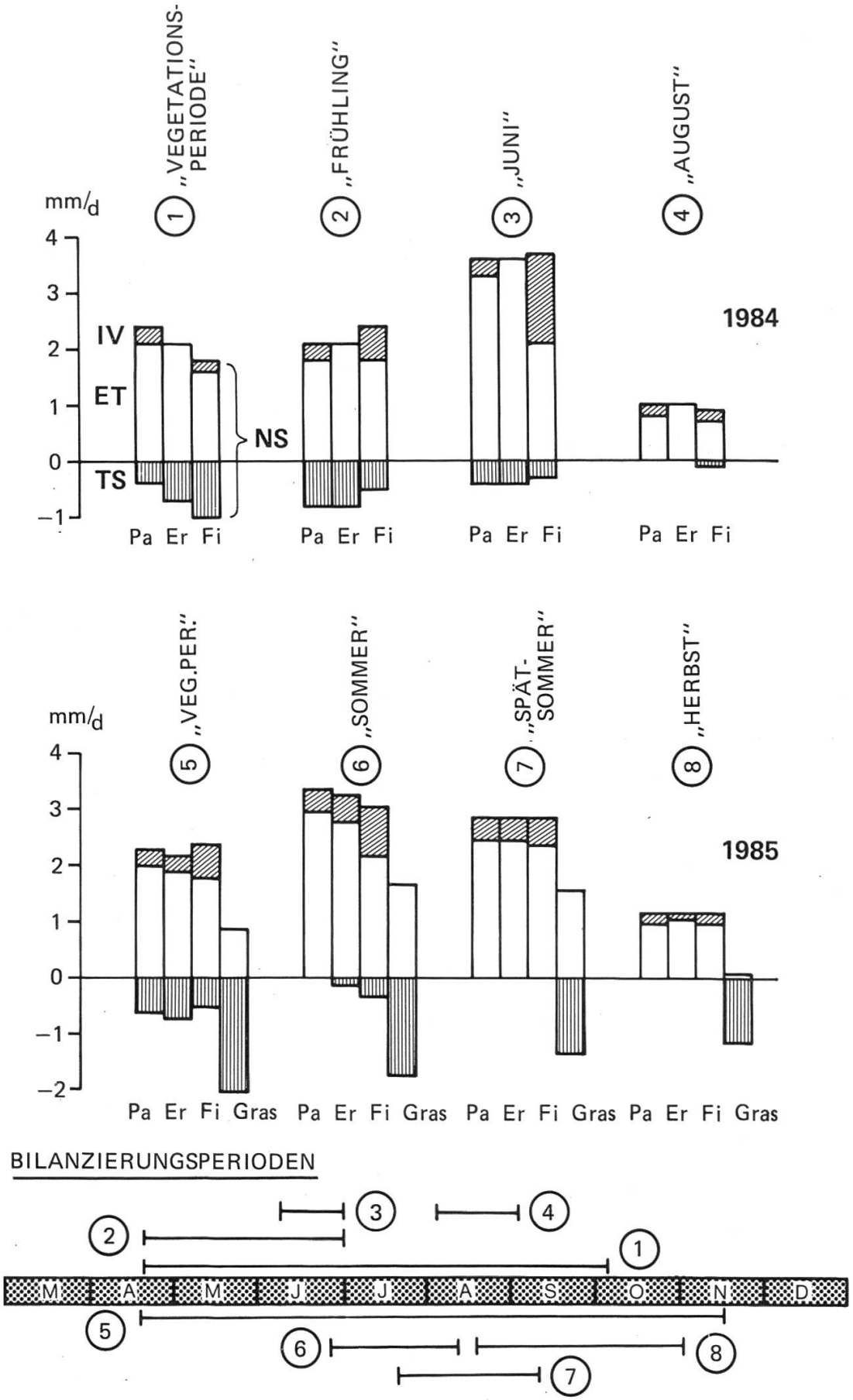


Abbildung 5. Wasserbilanz der Lysimeter für acht ausgewählte Perioden (siehe Kalenderbalken). Die Histogramme stellen jeweils die durchschnittlichen Raten des Freilandniederschlags NS (Gesamtlänge der Säulen), der Tiefensickerung TS (negativer senkrecht schraffierter Säulenabschnitt), der Evapotranspiration ET (weisser Säulenabschnitt) und der Interzeptionsverdunstung IV (schräg schraffierter Säulenabschnitt) der vier Lysimeter dar.

haltsprofilen ausgegangen werden. Da diese Beobachtungszeiträume zudem relativ lang sind, wurde die Änderung des Bodenwasservorrats damit als vernachlässigbar angesetzt, so dass die Evapotranspiration aus der Differenz von Bestandesniederschlag und Lysimeterabfluss (= Tiefensickerung) bestimmt werden konnte. Um die Lagerung der Lysimeterböden nicht übermässig zu stören, war auf direkte (gravimetrische) Wassergehaltsmessungen und damit auch auf Neutronensonde-Eichungen im Rahmen dieser Untersuchung verzichtet worden.

Bei der Interpretation der in *Abbildung 5* dargestellten Bilanzen ist weiter zu berücksichtigen, dass die Werte für den Bestandesniederschlag 1984 weniger repräsentativ sind als für 1985. 1984 wurde der Kronendurchlass mit je sieben Messzylindern und der Stammabfluss an jeweils drei Bäumen pro Lysimeter gemessen. 1985 wurden die Messungen verdichtet, insbesondere wurde der Stammabfluss bei allen Pappeln und Erlen sowie von einem Viertel, zeitweise sogar von der Hälfte aller Fichten gemessen. Der grössere Repräsentationsfehler in den flächenbezogenen Bestandesniederschlagswerten, der sich aus der Umrechnung dieser Messungen für die Messperiode 1984 im Vergleich zu 1985 ergibt, kommt in *Abbildung 5* vor allem im scheinbaren Fehlen der Interzeptionsverdunstung bei der Erle während der Messperiode 1984 zum Ausdruck.

Die Histogramme in *Abbildung 5* zeigen für die bezeichneten Perioden Evapotranspirationsraten von 1,0 bis 3,6 mm/d für die Bäume und 0,1 bis 1,7 mm/d für die Grasvegetation. Auf der Grasfläche waren sie 1985 im Mittel stets etwa um 1 mm/d niedriger als diejenigen der Baumvegetationen. Leider fehlen für 1984 infolge technischer Störungen bei der Abflussmessung vergleichbare Werte für die Grasfläche. Während der Frühsommerperioden nahmen die Pappeln und Weisserlen in beiden Jahren deutlich mehr Wasser aus dem Boden auf als die Fichten. In der übrigen Zeit waren die Unterschiede sehr gering.

Umgekehrt war die Interzeptionsverdunstung bei den Fichten in beiden Jahren vor allem während der ersten Hälfte der Vegetationsperiode mit Raten zwischen 14% und 32% des mittleren Freilandniederschlags deutlich höher als bei den Pappeln mit 5 bis 14% und als bei den Erlen mit 5 bis 17%. Dadurch werden die ET-Unterschiede im Durchschnitt der beiden Vegetationsperioden 1984 und 1985 in bezug auf die Gesamtverdunstung annähernd wieder kompensiert. Aus diesem Grund waren auch die absoluten Unterschiede in der mittleren Tiefensickerung nur gering. Um so deutlicher ist der Unterschied zwischen Wald- und Wiesenvegetation: Während der Vegetationsperiode 1985 versickerten unter dem Gras durchschnittlich 2 mm/d, unter den Waldflächen dagegen mit 0,5 bis 0,7 mm/d nur $^1/_4$ bis $^1/_3$ dieser Menge. Zwar reduzierte sich die Tiefensickerung des Graslysimeters im Spätsommer und Frühherbst allmählich auf durchschnittliche 1,1 mm/d, sie kam jedoch, anders als bei den Baumlysimetern, auch während dieser Zeit nie völlig zum Erliegen.

Wegen der geringen durchschnittlichen Tiefensickerungsrate unter den Bäumen wirken sich allerdings auch kleine Unterschiede in relativer Hinsicht

sehr stark aus: So versickerte während der Vegetationsperiode 1984 dreimal mehr Wasser unter den Fichten als unter den Pappeln, während 1985 die Fichten sogar etwa 15% weniger ins Grundwasser speisten als die Pappeln. Über die Ursachen und die Bedeutung dieser Unterschiede lässt sich aber ohne längerfristige Messreihen lediglich spekulieren.

6. Diskussion

Die in der vorliegenden Untersuchung gefundenen Ergebnisse stehen in guter Übereinstimmung mit Literaturangaben, soweit diese hinsichtlich Standortsbedingungen, Bestandestypen, Bilanzierungsperioden und Methodik vergleichbar sind. Von besonderem Interesse ist in dieser Hinsicht der Vergleich mit den in *Tabelle 2* zusammengestellten Ergebnissen von *Brülhart* (1969) und *Vogelsanger* (1986). Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die Erfahrung, dass auf ungehemmt durchlässigen Böden des schweizerischen Mittellandes unter Wald während der Vegetationsperiode kaum Grundwasserneubildung durch Tiefensickerung stattfindet. Die Unterschiede zwischen Baumarten sind dabei sehr gering. Unterschiede bestehen vor allem in den relativen Anteilen von Evapotranspiration und Interzeption an der Gesamtverdunstung.

Die Interzeption hängt ausser von der Bestandesstruktur von der Intensität, Dauer und zeitlichen Aufeinanderfolge von Niederschlags- und Verdunstungsphasen ab. Über relativ kurze Perioden ist keine sehr enge Korrelation zwischen Niederschlags- und Interzeptionssumme zu erwarten. Aus den hier erhaltenen Resultaten lässt sich in bezug auf die Interzeption daher im wesentlichen nur die bekannte Feststellung bestätigen, dass Fichtenbestände im Mittel unter gleichen Verhältnissen eine höhere Interzeptionsverdunstung aufweisen als Laubhölzer.

Tabelle 2. Mittlere Evapotranspirationsraten (ET) von Waldbeständen auf Vergleichsstandorten mit sandiger Parabraunerde über Schotter im schweizerischen Mittelland.

Lokalform	*Tiefe der Sand-Schotter-Grenze*	*Bestand*	*Bilanzperiode*	*ET*	*Autor*
Hard (Laufenburg)	1,2 m	90jähriger Buchen-Nadelholz-Mischbestand	Mai–Okt. 1978 April–Okt. 1979	1,9 mm/d 2,0 mm/d	*Vogelsanger* (1986)
Winzlerboden (Rheinau)	0,9 m	150jähriger Föhrenbestand	Juni–Juli 1966 Sept.–Okt. 1966	2,8 mm/d 1,2 mm/d	*Brülhart* (1969)
Lysimeter Sellenbüren	1,5 m	12–14jährige Reinbestände Pa, W'Er, Fi	April–Okt. 1984 April–Nov. 1985	1,6–2,1 mm/d 1,8–2,0 mm/d	(diese Arbeit) (diese Arbeit)

Markant weicht demgegenüber die Wasserbilanz der Grasvegetation vom relativ homogenen Bild der drei Baumvegetationen ab. Die mittlere Evapotranspirationsrate betrug während der beiden Vegetationsperioden 1984 und 1985 nicht einmal 50% der Waldvegetationen. Ein solches Verhältnis ist sehr gering. *Item* (1981) fand praktisch keinen Unterschied zwischen der Evapotranspiration eines Waldbestandes und einer Wiese. *Rutter* (1968) stellte aus der Literatur Werte zwischen 0,92 und 0,60 für das Verhältnis der Evapotranspirationsraten zwischen Gras- und Waldvegetationen zusammen. Es ist zu berücksichtigen, dass in Sellenbüren die Grasvegetation des Lysimeters weder gedüngt noch geschnitten wurde. Als Gründe für die sehr niedrige Verdunstung des Graslysimeters können auch die relativ schattige und windgeschützte Lage und die im Vergleich zu den Bäumen sehr flache Durchwurzelung des sandigen Bodens angeführt werden. Tiefe Durchwurzelung ist in den sandigen Lysimeterböden vor allem in Trockenperioden ein wesentlicher Vorteil für die Bäume, da sie dadurch in die Lage versetzt werden, Infiltrationsereignisse länger auszunützen. Interessant ist in dieser Beziehung, dass die Fichten eine ebenso tiefe Entwässerungswirkung zeigen wie die Weisserlen. Da kapillarer Aufstieg im Sand nicht sehr weit wirkt, bedeutet dies, dass die Fichten solche Böden mit ihren Senkwurzeln recht tief erschliessen können. Die verbreitete Auffassung von der Fichte als typischem Flachwurzler muss daher eingeschränkt werden.

Weder Fichten noch Weisserlen haben die in 1,5 m Tiefe beginnende Kiesschicht erschlossen und damit (wie die Pappeln) Anschluss an das Grundwasser gefunden. Die Strategie, die Wasseraufnahme bei Trockenstress relativ rasch in die Tiefe des Bodens zu verlegen, ermöglichte den Pappeln im trockenen Spätsommer/Herbst 1985, eine gleich hohe Transpirationsleistung wie die Weisserlen aufrechtzuerhalten, ohne dabei ebenso hohe Saugspannungen erzeugen zu müssen wie letztere.

Beim Vergleich der Saugspannungsisoplethen in *Abbildung 4* mit den Wasserbilanzen in *Abbildung 5* fällt auf, dass die Evapotranspiration bereits bei Saugspannungen zwischen −160 und −690 hPa deutlich zurückging. Dies steht in Übereinstimmung mit Beobachtungen anderer Autoren. So stellte zum Beispiel *Greminger* (1984) in einem 90jährigen Fichten-Tannenbestand auf einer stark sauren, pseudovergleyten Braunerde eine Reduktion der Wurzelwasseraufnahme bereits bei Saugspannungen ab −200 hPa fest. Bei −400 hPa sank die Aufnahmerate bereits unter 50% des maximalen Wertes. Die Klassifikation des mit Saugspannungen zwischen −80 und −690 hPa gebundenen Bodenwassers als «leicht verwertbar» (Richard *et al.* 1978, 1981 und 1983) erscheint damit als zu optimistisch, und die Grenze zwischen «leicht» und «schwer verwertbarem» Wasser sollte im Lichte dieser neuen Ergebnisse in einen Bereich zwischen −300 und −400 hPa verlegt werden.

Résumé

Examens au lysimètre du bilan hydrique du peuplier, de l'aune blanc, de l'épicéa et de la végétation herbacée d'un sol sableux sur gravier

Le présent travail traite des examens effectués au moyen du grand lysimètre, examens se rapportant au régime hydrique des peupliers, des aunes blancs et des épicéas au stade de perchis ainsi qu'à celui d'une végétation herbacée non exploitée d'un sol sableux sur gravier. Ces examens furent faits pendant les périodes de végétation de 1984 et 1985. Les bilans hydriques des différents peuplements ne présentent que d'insignifiantes différences, alors que l'on constate un fort écart entre le bilan hydrique des peuplements et celui de la végétation herbacée. Le taux de transpiration des perchis est en moyenne deux fois plus élevé que celui de la prairie maigre. Alors que la percolation sous les arbres au courant de l'été atteignit parfois le point de tarissement, celle de la végétation herbacée ne descendit jamais en-dessous de la moyenne de 1 mm/j, même pendant l'été de la Saint-Martin. On suppose que les raisons principales de cet état de faits sont, l'espace radiculaire plan, un assèchement et un dépérissement précoces des éléments à l'air libre de la végétation herbacée durant la période de sécheresse de 1985 ainsi que la situation du lysimètre à herbacées, en partie à l'ombre et protégé du vent de façon relative. L'épicéa atteint le même effet de drainage que l'aune blanc, à 1,5 m de profondeur. Seuls les peupliers réussissent à atteindre la nappe aquifère située à 1,87 m de profondeur dans le gravier. Pour toutes les plantes l'évapotranspiration diminue déjà fortement pour des tensions en eau dans le sol entre −345 et −690 hPa. Traduction: *S. Croptier*

Literatur

Brülhart, A., 1969: Jahreszeitliche Veränderungen der Wasserbindung und der Wasserbewegung in Waldböden des schweizerischen Mittellandes. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. *45* (2): 127–232.

Eyer, W., 1984: Einfluss verschiedener Bestockungen auf den Boden. Diplomarbeit, Inst. f. Wald- u. Holzforsch., ETH Zürich, 59 S., unveröffentlicht.

Greminger, P., 1984: Physikalisch-ökologische Standortuntersuchung über den Wasserhaushalt im offenen Sickersystem Boden unter Vegetation am Hang. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. *60* (2): 151–301.

Item, H., 1981: Ein Wasserhaushaltsmodell für Wald und Wiese. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Birmensdorf, Mitt. *75* (1): 5–82.

Käppeli, Th., 1986: Modellierung des Wasserhaushalts von Waldbeständen im Hinblick auf waldbaulich-standortskundliche Anwendungen, dargestellt am Beispiel der Grosslysimeter Sellenbüren. Diplomarbeit, Inst. f. Wald- u. Holzforsch., ETH Zürich, 121 S., unveröffentlicht.

Mitscherlich, G., 1971: Waldwachstum und Umwelt. Eine Einführung in die ökologischen Grundlagen des Waldwachstums. Bd. 2: Waldklima und Wasserhaushalt, Sauerländer, Frankfurt a. M., 365 S.

Richard, F., Lüscher, P., Strobel, Th., 1978: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz. Band 1, Sonderserie, Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Birmensdorf.

Richard, F., Lüscher, P., Strobel, Th., 1981: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz. Band 2, Sonderserie, Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Birmensdorf.

Richard, F., Lüscher, P., 1983: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz. Band 3, Sonderserie, Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Birmensdorf.

Rubli, D., 1975: Beschreibung der Grundwasseranlage Müli/Sellenbüren. Internes Papier ETHZ, 15 S., unveröffentlicht.

Rutter, A. J., 1968: Water consumption by forests. In: T. T. Kozlowski, Water deficits and plant growth, Vol. II, Acad. Press, New York and London, pp. 23–84.

Schüepp, M., 1961: Lufttemperatur. Beiheft zu den Annalen der SMA (1960), 2. Teil. Schweizerische Meteorologische Anstalt, Zürich. 48 Seiten.

Schweizerische Meteorologische Anstalt, Sektion Agrarmeteorologie: Agrarmeteorologisches Bulletin 1984 und 1985.

Uttinger, H., 1965: Niederschlag. Beiheft zu den Annalen der SMA (1964), 1.–3. Teil. Schweizerische Meteorologische Anstalt, Zürich. 124 Seiten.

Vogelsanger, W., 1986: Der Wasserhaushalt eines zweischichtigen Bodenprofiles unter Waldbestokkung, dargestellt an einer sandigen Parabraunerde über Schotter. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. *62* (2): 103–327.