

Zeitschrift:	Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber:	Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band:	28 (1987)
Heft:	3
Artikel:	Wasserhaushaltliche Untersuchungen in einem Einzugsgebiet des Basler Tafeljuras
Autor:	Dipner, Michael / Jenne, Thomas
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-1088685

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: 15.01.2026

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

WASSERHAUSHALTLCHE UNTERSUCHUNGEN IN EINEM EINZUGS- GEBIET DES BASLER TAFELJURAS

MICHAEL DIPNER und THOMAS JENNE

1 Einleitung

Der vorliegende Artikel widmet sich der komplexen Problematik wasserhaushaltlicher Forschung am Beispiel des Kleineinzugsgebietes des Riedmattbaches südlich von Anwil (BL). Dabei handelt es sich um ein Testgebiet innerhalb des vom Basler Geographischen Institut bearbeiteten Forschungsprogrammes "Quantitative Bodenerosionsforschung auf Agrarflächen". Im Zeitraum vom 1.7.1985 bis 31.10.1986 wurden in diesem Gebiet im Rahmen zweier Diplomarbeiten wasserhaushaltliche Daten erhoben. Eine vollständige Darstellung dieser Untersuchungsergebnisse erfolgte einerseits im Zusammenhang mit einer quantitativen Kennzeichnung des Nährstoffhaushaltes (*M. Dipner, 1986*), andererseits als Grundlage für eine Charakterisierung des Bodenerosionsgeschehens (*T. Jenne, 1987*).

Für diesen zusammenfassenden Artikel schien es sinnvoll, konzentriert auf wasserhaushaltliche Grundgrößen einzugehen, zumal diesbezüglich über die gesamte Messdauer lückenlos ausgewertete Daten vorliegen.

2 Das Einzugsgebiet

Das Gebiet liegt im Übergangsbereich des Falten- und Tafeljuras. Es wird im wesentlichen durch tertiäre Mergel mit geringem Wasserleitvermögen aufgebaut. Morphologisch dominieren demzufolge oft ackerbaulich genutzte Hänge mit Hangneigungen von 2 - 15°. Unterbrochen werden diese durch ausstreichende Süßwasserkalkbänder, welche schnell dränende Eigenschaften aufweisen. Sie sind meist steil und bewaldet. Die Hauptbodenform stellt eine Kalklehmkerf-Braunerde dar, welche bei gehemmter Sickerung Tendenz zur Pseudovergleyung aufweist. Im Bereich des Vorfluters hat sich ein durch Hang- und Grundwasser beeinflusster Kalklehmkerf-Amphigley entwickelt.

Ausführliche Angaben zum Untersuchungsgebiet sind neben den vorliegend behandelten Diplomarbeiten auch *W. Seiler (1983)* und *T. Stauss (1983)* zu entnehmen. Eine Auswahl der wichtigsten hydrogeomorphologischen Gebietskennwerte vermittelt Tab. 1. Das den nachfolgenden Untersuchungen zugrundeliegende Messnetz ist in Abb. 1 dargestellt.

Michael Dipner, Eptingerstrasse 17, 4052 Basel
Thomas Jenne, Eggstrasse 62 b, 4402 Frenkendorf

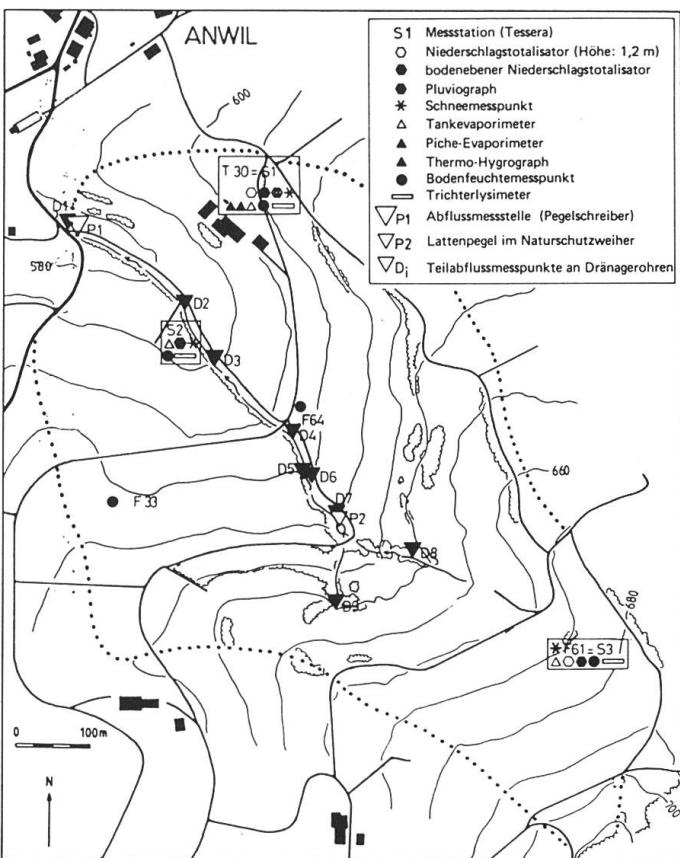


Abb. 1 Messnetz zur komplexen Erfassung des Gebietswasserhaushaltes

Tab. 1 Hydrogeomorphologische Gebietskennwerte

Fläche des oberirdischen Niederschlags-Einzugsgebietes (A):	45,8 ha
Meereshöhe über Meer:	574 - 720 m
Distanz Mündung-Quelle des Hauptgerinnes (L_{HQ}):	670 m
Distanz Mündung-Wasserscheide (L_{HW}):	1 170 m
Länge der Wasserscheide (L_W):	2 680 m
Maximale Breite \pm senkrecht zum Vorfluter (B):	620 m
Formfaktor ($R_F = A \cdot L_{HW}^{-1}$):	389,8 m
Formquotient ($R_Q = L_{HW} \cdot B^{-1}$):	1,90
Flussdichte (FD = Länge aller Oberflächengerinne $\cdot A^{-1}$):	$17,5 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$
Dichte der Drainagerohre ohne Strassenkanalisation:	$24,9 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$

3 Niederschlag

Die Inputgrösse Niederschlag wurde mit Niederschlagstotalisatoren (Typ HELLMANN) erfasst. Die vielfältigen Probleme, die bei der Niederschlagsmessung auftreten, sind heute hinreichend bekannt. Ausführliche Darstellungen hierzu wurden zum Beispiel von *H. Karbaum* (1969) und *B. Sevruk* (1981) verfasst.

Um den Hauptmessfehler, den Windeinfluss, zu verhindern, wurde neben einem Niederschlagstotalisator in 120 cm Höhe ein zweites Gerät in einer Grube (50 x 50 cm) so eingebaut, dass dessen Auffangfläche bodeneben war. Erwartungsgemäss wurden mit dem bodenebenen Totalisator um 1 - 10% höhere Niederschlagssummen gemessen (Tab. 2).

Tab. 2 Prozentuale Abweichungen des erhöhten Niederschlagstotalisators (N_H) und des Niederschlagschreibers (N_S) vom bodenebenen Totalisator im hydrologischen Jahr 1986 sowie Vergleichswerte für die Messtation Langenbruck nach B. Sevruk (1985).

	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
N_H	0,8	1,4	11,7	—	3,1	7,6	4,7	3,4	5,4	2,6	4,0	9,0
N_S	7,6	28,7	19,5	—	24,2	23,1	14,6	6,9	10,7	5,3	7,9	6,7
Sevruk	9,7	11,8	12,4	11,8	13,5	9,3	10,4	5,0	4,4	5,7	7,5	8,3

Ein zusätzlich installierter Pluviograph gleichen Typs diente der Ermittlung von Tagesniederschlägen und Intensitätsverteilungen einzelner Niederschlagsergebnisse. Diese zeitlich hoch aufgelösten Niederschlagsdaten fanden Verwendung bei detaillierten Prozessuntersuchungen wie Niederschlag-Abfluss-Beziehungen und Erosionsvorgängen. Aufstellungshöhe (120 cm) und gerätebedingte Messfehler führten teilweise zu erheblichen Abweichungen (Tab. 2), welche über die Ergebnisse des bodenebenen Totalisators linear korrigiert wurden.

Im Winterhalbjahr wurde die Niederschlagsmessung durch eine Schneemessung ergänzt. Mit einem Schneerohr ($\phi: 10$ cm) wurde wöchentlich einmal das Wasseräquivalent der Schneedecke durch drei Parallelmessungen pro Standort bestimmt. Damit konnte einerseits die kurzfristig gespeicherte Niederschlagsmenge in der Schneedecke abgeschätzt werden, was wichtige Anhaltspunkte über die Schneeschmelzbeiträge im Frühjahr lieferte. Andererseits liessen sich die ungenauen Messergebnisse der Niederschlagstotalisatoren im Winterhalbjahr überprüfen und teilweise korrigieren (Abb. 2).

Aus den Punktmesswerten des Niederschlagmessnetzes (Abb. 1) wurde durch einfache Interpolation der Gebietsniederschlag ermittelt. Die Messnetzdichte von drei Stationen auf 45 ha stellt nach *Ch. Leibundgut* (in: *B. Sevruk*, 1985, S. 192) eine gute Basis für die vorliegenden Untersuchungen dar.

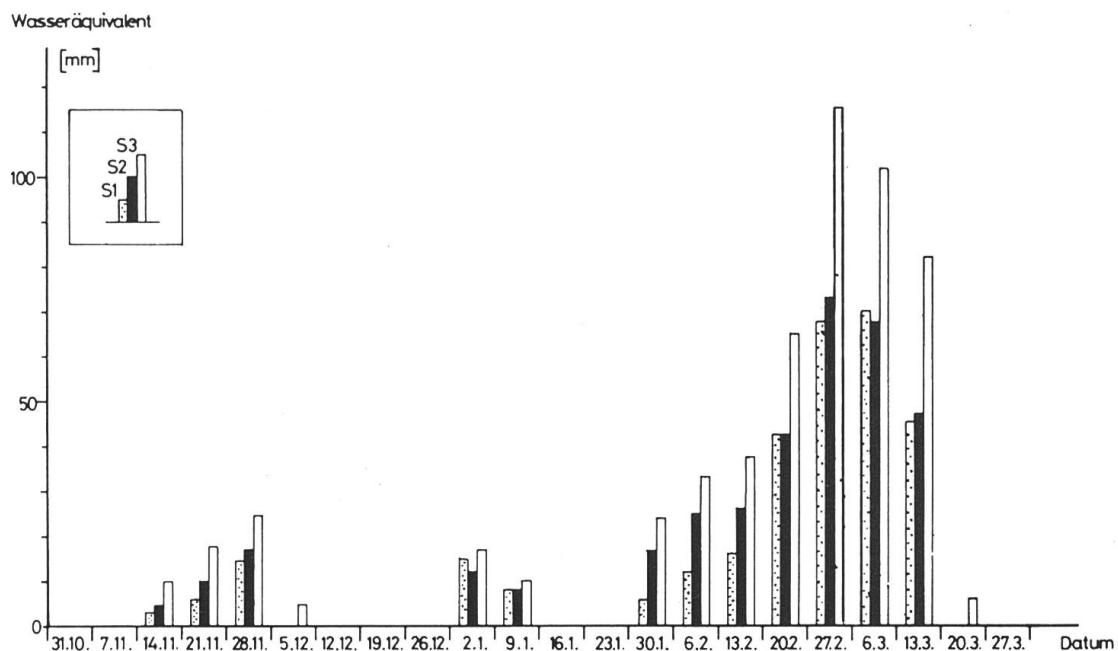


Abb. 2 Entwicklung der Schneedecke an drei Messtandorten des Untersuchungsgebietes im Winterhalbjahr 1986

4 Bodenwasser

Dem Bodenwasser kommt sowohl bei rein wasserhaushaltlichen als auch bei ökologischen Untersuchungen zentrale Bedeutung zu. Definitionsgemäß bezeichnet man als Bodenwasser denjenigen Wasseranteil, der durch Trocknung bei 105° C aus dem Boden entfernt werden kann. Wegen Matrixeigenschaften der Bodenfestphase unterliegt das Bodenwasser Bindungseinflüssen, aufgrund derer ein Teil gegen die Gravitation zurückgehalten werden kann. Dieser als Bodenfeuchte bezeichnete Anteil des Bodenwassers wird in Poren festgehalten und unterliegt je nach Grösse dieser Poren (Äquivalentdurchmesser) unterschiedlichen Saugspannungen.

Die Ermittlung des Bodenwassergehaltes stellt nun methodisch einige Probleme. Im folgenden wird vertieft auf die Messung mittels Tensiometer eingegangen sowie deren Einsatzmöglichkeit bei Bilanzierungen diskutiert.

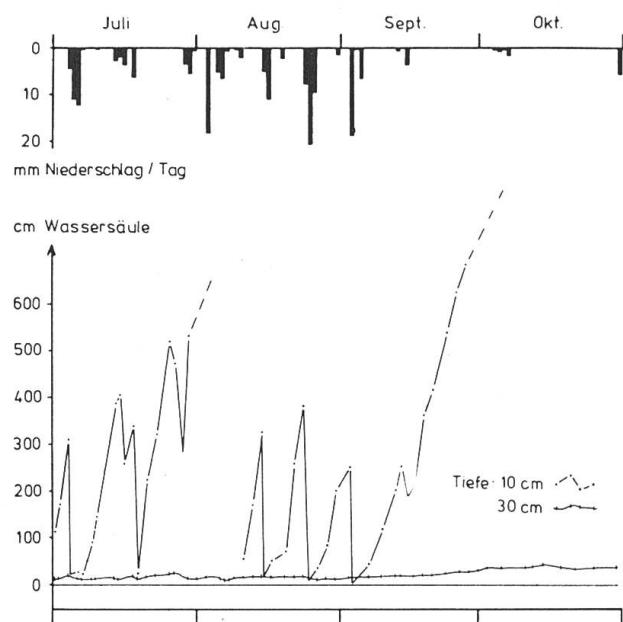
4.1 Darstellung von Bodenfeuchte-Daten

Die Darstellung von Bodenfeuchte-Daten erfolgt als Isoplethendiagramm (vgl. Abb. 9). Im vorliegenden Fall wurden die Klassengrenzen nicht nach einer rein numerischen Skala festgelegt, sondern ökologisch ausgerichtet, indem die aus der Desorptionskurve bekannten Grössen der Feldkapazität (FK) sowie des Permanenten Welkepunktes (PWP) als Grundlage für eine Abstufung gewählt wurden. Der Vorteil einer "ökologischen" Darstellung liegt darin, dass Sickerphasen bzw. Mangelphasen deutlich hervortreten, während eine rein numerische Abstufung eine einfachere Bilanzierung ermöglicht.

4.2 Saugspannungsmessung mittels Tensiometer

Abb. 3 Saugspannungsverlauf in cm Wassersäule bei S 2 in 10 und 30 cm Tiefe von Juli - Oktober 1985

Es ist klar ersichtlich, dass die Messgrenze für Tensiometer bei den im Einzugsgebiet gegebenen tonhaltigen Böden schon bei ca. 600 - 700 cm WS erreicht wird. Deutlich zeigen sich die speziellen wasserhaushaltlich-ökologischen Verhältnisse bei S 2 in unmittelbarer Nähe des Vorfluters. Trotz extremer Trockenheit im Sept./Okt. verläuft die Kurve in 30 cm Tiefe sehr flach, zurückzuführen auf die besonderen Grund-/Hangwasser-Verhältnisse und somit auf Effekte des Kapillarsaumes.



Wie eingangs erwähnt, wird Bodenwasser insbesondere durch Kapillarkräfte in den Grob-, Mittel- und Feinporen des Bodens gebunden. Es weist somit ein Kapillarpotential auf, welches auf einen Unterdruck zurückzuführen ist, der seinerseits durch gekrümmte Membranen verursacht wird. Dieses Potential ist abhängig vom Poredurchmesser. Es kann als Saugspannung mittels Tensiometer gemessen werden und stellt bei bekannter Porengrößenverteilung ein indirektes Mass für den Bodenwasserhaushalt dar. Abb. 3 zeigt den zeitlichen Saugspannungsverlauf in zwei verschiedenen Tiefen bei S 2. In Bezug auf die Methodik lassen sich anhand der Darstellung folgende Vor- und Nachteile skizzieren:

Vorteile:

- hohe Messgenauigkeit
- einfache Datenermittlung
- hohes zeitliches Auflösungsvermögen. Unter Berücksichtigung von Strahlungseinflüssen können praktisch beliebig viele Ablesungen erfolgen. Ein prozessbezogener Einsatz ist denkbar (Bsp. Sickerung).

Nachteile:

- eingeschränkter Messbereich. Wie die Abbildung für die Kurve in 10 cm Tiefe zeigt, können nur Saugspannungen bis ca. 600 - 700 cm Wassersäule ($pF 2,8$) gemessen werden, da bei den vorliegenden feinkörnigen Böden bei fortschreitender Bodenwassergehalttabnahme infolge von Schrumpfungsvorgängen der Kontakt zur Tensiometerkerze abreißt und die Quecksilberkapillare unterbrochen wird. Damit sind aber im Gebiet nur Bodenwassergehaltsschwankungen von ca. 10 Vol.% messbar.
- Einsatzdauer. Da das Messgerät frostempfindlich ist, wird die Einsatzdauer erheblich eingeschränkt, d.h. die Messreihe muss normalerweise Ende Oktober abgebrochen werden.
- Einer einfachen Datengewinnung steht ein sehr komplexer Aufwand, die Saugspannungswerte in wasserhaushaltlich bilanzierbare Größen umzuformen, gegenüber (vgl. 4.3).

An dieser Stelle ist es angebracht, einen kurzen Vergleich zur gravimetrischen Bodenfeuchte-Bestimmung zu ziehen. Hier fallen folgende Vor- und Nachteile ins Gewicht:

Vorteile:

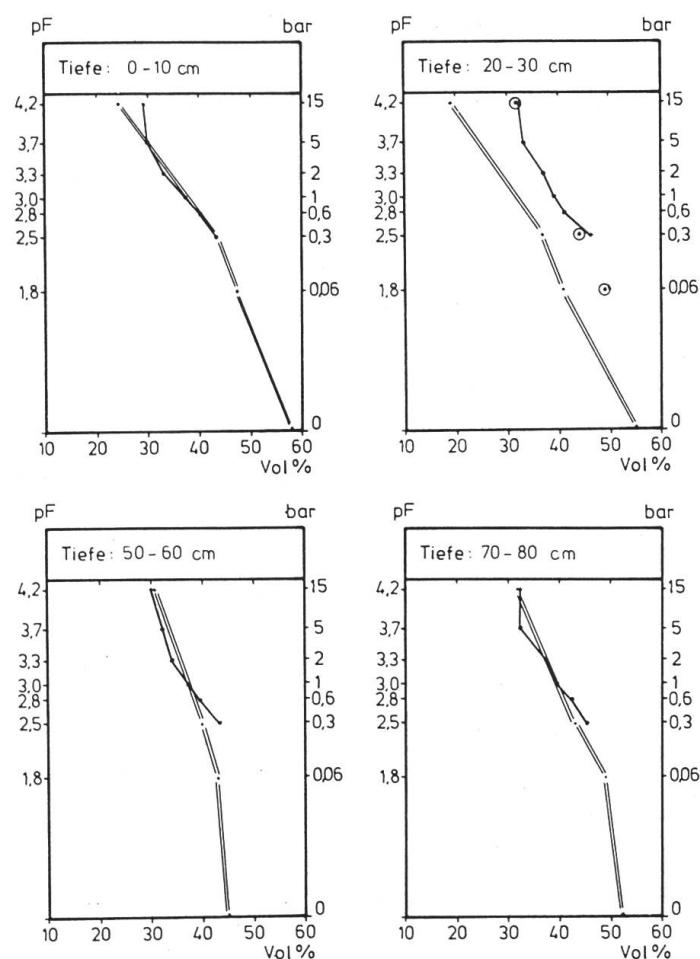
- Beinahe uneingeschränkte Einsatzmöglichkeit
- Uneingeschränkter Messbereich
- Da die Methode direkt misst, ist ein Einbezug in Bilanzen relativ einfach möglich.

Nachteile:

- Relativ grosse Ungenauigkeit sowohl bei der Probenahme als auch bei der Umrechnung von Gewichts- in Volumen-% (Schwankungen der Lagerungsdichte im jahreszeitlichen Verlauf)
- Relativ grosser Aufwand bei der Datengewinnung
- Geringe zeitliche Auflösung (Einsatz nur bei Bilanzierungen denkbar)

4.3 Bestimmung der Desorptionskurve

Die Desorptionskurve eines beliebigen Bodenausschnittes stellt die Beziehung zwischen dem Kapillarpotential des ungesättigten Bodens und dem Wassergehalt dar. Auf dieser



Grundlage können somit Saugspannungswerte umgerechnet werden. Die Kurve weist je nach bodenphysikalischen Eigenchaften (v.a. Porengrößenverteilung, Gesamtporenvolumen) einen unterschiedlichen Verlauf auf. Die Ermittlung der Desorptionskurve im Labor stellt messtechnisch erhebliche Probleme. Nach *E. Schlichting* und *H.P. Blume* (1966, S. 68ff) erfolgt eine vollständige Bestimmung über drei verschiedene methodische Verfahren:

Abb. 4 Desorptionskurven des Kalklehmkerf-Amphigley (S 2) in Tiefen von 0 - 10 cm, 20 - 30 cm, 50 - 60 cm und 70 - 80 cm im Methodenvergleich.

Einfach gezogene Linien: Im Hochdrucktopf gemessene Kurven
Doppelt gezogene Linien: Nach Nomogrammen von *K.-H. Hartge* (1969) bestimmte Kurven

- Im unteren pF-Bereich (bis ca. pF 2,5) mit einer Niederdruckapparatur nach L.A. Richards
- Im mittleren pF-Bereich mit einer Hochdruckapparatur nach L.A. Richards
- Im hohen pF-Bereich (ab ca. pF 4,2) durch Dampfspannungsausgleich mit verschiedenen Salzlösungen

Der instrumentelle und zeitliche Aufwand ist enorm, was unter anderem aus Tab. 3 hervorgeht, zudem sind Fehleranfälligkeit, Repräsentativität der Proben und Hysterese-Effekte bei der Anwendung der Messergebnisse zum Teil ungelöste Probleme. Aus diesem Grund werden häufig die Nomogramme von K.-H. Hartge (1969) verwendet, um Desorptionskurven anhand von Korngrößenverteilung und Gesamtporenvolumen zu bestimmen. Aus Abb. 4 geht ein Vergleich zwischen Nomogrammkurven und im Drucktopf ermittelten Werten hervor. Folgendes muss dazu bemerkt werden:

Tab. 3 Ablauf zur Bestimmung der Desorptionskurven von Bodenproben der Station S1 und S2 in einer Hochdruckapparatur nach L.A. Richards

Lufteintrittswert der Keramik in bar	Druckstufe in bar	Druckstufe in cm Wassersäule	pF-Wert	Äquivalentdurchmesser der Poren in μ	Art der entwässerten Poren	Dauer des Entwässerungsvorgangs in Tagen
1) 1	0,06	61,2	1,8	50	Gröbstporen	1
1) 1	0,12	122,4	2,1	50 - 10	Grobporen	2
1	0,3	306	2,5	50 - 10	Grobporen	4
1	0,6	612	2,8	10 - 0,2	Mittelporen	4
1	1,0	1 020	3,0	10 - 0,2	Mittelporen	7
3	2,0	2 040	3,3	10 - 0,2	Mittelporen	11
15	5,0	5 100	3,7	10 - 0,2	Mittelporen	11
15	15,0	15 300	4,2	10 - 0,2	Mittelporen	20
nicht gemessen	15	15 300	4,2	0,2	Feinporen	–

- 1) Daten bei der Auswertung verworfen, da in diesem Druckbereich noch nicht sinnvoll gemessen werden kann. – Anschliessende Trocknung bei 105°C.
- Der Überlappungsbereich beider Methoden beschränkt sich auf den pF-Bereich zwischen 2,5 und 4,2 (zum Vergleich: der Tensiometermessbereich reicht bis pF 2,8).
 - Die Übereinstimmung ist erstaunlich gut. In der Tiefe von 20 - 30 cm lässt sich zeigen, dass die Interpolation zwischen Körnungssummenkurven des Nomogramms zum Teil problematisch ist. Die Punkte im Diagramm deuten eine weitere mögliche Interpolation an, welche der Messung weit besser entsprechen.

- Der oft beobachtete Knick der mittels Drucktopf ermittelten Kurven zwischen pF 3,7 und 4,2 lässt sich auf einen Messfehler zurückführen. Aufgrund des geringen Sättigungsgrades der Proben war ein guter Kontakt zur Keramikplatte nicht mehr gewährleistet (Schrumpfungseffekt). Somit war die Entwässerung ungenügend.
- Deutlich sichtbar ist der tonhaltige Charakter der Proben ($\sim 40\%$ Ton), welcher sich in einem steilen Kurvenanstieg manifestiert sowie durch hohe Volumenprozente bei pF 1,8 (= Feldkapazität) und pF 4,2 (= permanenter Welkpunkt). Der hohe Totwasseranteil schränkt die nutzbare Feldkapazität deutlich ein. Diesbezüglich am günstigsten ist die Probe in 0 - 10 cm Tiefe zu beurteilen; die hohe nutzbare Feldkapazität (nFK) ist hier auf die geringe Lagerungsdichte, hohes Gesamtporenvolumen und den hohen Gehalt an organischer Substanz zurückzuführen.

Allgemein lässt sich das Fazit ziehen, dass Werte des Nomogramms sehr nützlich sind, durch Untersuchungen im Drucktopf jedoch sinnvoll verifiziert und eventuell korrigiert werden können.

4.4 Umrechnung von Saugspannungswerten in Wassergehaltswerte

Wie erwähnt, deckt die im Hochdrucktopf ermittelte Desorptionskurve den Messbereich von Tensiometern nicht ab. Das Verfahren mittels Nomogrammen stellt an und für sich eine Möglichkeit dar, Saugspannungswerte in Vol. % umzurechnen. Qualitativ kann man sagen, dass die so gewonnenen Werte durchaus vergleichbar sind mit Werten, die parallel gravimetrisch ermittelt wurden. Auf einen exakt quantitativen Vergleich musste jedoch leider verzichtet werden, da eine zu schmale Datenbasis vorlag. Zudem wäre es sicher von Vorteil, mit Angaben einer Desorptionskurve zu arbeiten, die im Niederdrucktopfverfahren gewonnen werden, da dadurch feinere Druckabstufungen gewählt werden könnten als sie durch das Nomogramm vorgegeben sind.

4.5 Berechnung des Gebietsspeichers

Die Desorptionskurve kann zur Ermittlung einer weiteren wasserhaushaltlichen Größe, derjenigen des "mittleren Gebietsspeichers" eines Einzugsgebietes verwendet werden. Nach *W. Walther* (1979, S. 62f) wird der mittlere Gebietsspeicher berechnet durch Wichtung der nFK eines Bodentyps mit seinem Flächenanteil an der Gesamtfläche des Einzugsgebietes, nach der Formel:

$$nFK = \frac{1}{F_N} \cdot \sum_{i=1}^n nFK_i \cdot dw_i \cdot F_i$$

wobei: nFK (mm) = mittlere nutzbare Feldkapazität des Einzugsgebietes
 nFK_i (mm) = nutzbare Feldkapazität des Bodentyps i bei 1 m Durchwurzelungstiefe
 dw_i (m) = Durchwurzelungstiefe
 F_i (ha) = Fläche des Bodentyps i
 F_N (ha) = Fläche des oberirdischen Einzugsgebiets

Nach dieser Gleichung berechnet sich eine mittlere nFK bzw. ein mittlerer Gebietspeicher im Riedmattbach-Gebiet von 107 mm. Es versteht sich, dass dieser Wert als Richtgröße zu betrachten ist. Dass 107 mm jedoch einer durchaus realen Größenordnung

entsprechen, beweist die Tatsache, dass es nach der extremen Trockenperiode von Juli - Oktober 1985 mit einem Bilanzdefizit von ca. 120 mm (völlige Entleerung des Speichers) in den beiden folgenden Monaten rund 100 mm Bilanzüberschuss benötigte, um den Speicher wieder zu füllen bzw. den Boden in ein Sickerstadium zu überführen und im Vorfluter dementsprechende Abflussmengen zu registrieren.

5 Evapotranspiration

Eine direkte Erfassung der Outputgrösse "Evapotranspiration" ist bis heute nur mit grossem Aufwand und bei erheblichen Unsicherheiten möglich (z.B. mit Grosslysimeteranlagen). In früheren Darstellungen beschränkte man sich oft darauf, die Verdunstung als Restglied einer langjährigen Bilanz auszudrücken. Moderne Wasserhaushalts- und Prozessuntersuchungen verlangen jedoch detailliertere Angaben über diese Systemgrösse. Im vorliegenden Falle erfolgte eine indirekte Ermittlung über die potentielle Evapotranspiration (pET) unter Berücksichtigung der bodenwasserhaushaltlichen Verhältnisse.

5.1 Potentielle Evapotranspiration

Die maximal mögliche Verdunstung ist im wesentlichen von Parametern der bodennahen Luftsicht abhängig. Zur Bestimmung der pET stehen neben zahlreichen mathematisch-empirischen Verfahren auch verschiedene direkte Messverfahren mit Evaporimetern zur Verfügung. Alle diese Verfahren vermögen die komplexe Grösse nur annähernd zu beschreiben und lassen sich aufgrund ihrer verschiedenen Grundvoraussetzungen oft nur bedingt vergleichen. *H. Schroedter* (1985, S. 23) schreibt dazu:

"Es darf jedoch nicht übersehen werden, dass die erhaltenen Zahlenwerte in Wirklichkeit ausschliesslich für den jeweiligen Versuchskörper und seine ganz speziellen physikalischen Eigenschaften unter dem Einfluss der gegebenen Randbedingungen Gültigkeit haben und nicht ohne weiteres auf die natürliche Verdunstung von Gewässern, Böden oder Pflanzen übertragen werden dürfen."

Im vorliegenden Falle wurden aus dem reichhaltigen Methodenkatalog drei Messverfahren zur Bestimmung der pET ausgewählt. Für Vergleichszwecke wurden sie alle in der Wetterhütte bei Station 1 unter Standardbedingungen durchgeführt. Die empirische Beziehung von *W. Haude* (1954, 1955) gestattet eine Berechnung der pET anhand täglicher Luftfeuchte- und Temperaturwerte, welche mittels eines Thermohygrographen registriert wurden:

$$pET = x \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot t}{237,3 + t} + 0,6609} \cdot (1 - \frac{f}{100})$$

t = Temperatur in °C um 14°00 Ortszeit

f = relative Luftfeuchte in % um 14°00 Ortszeit

x = Monatliche Koeffizienten nach *K. Heger* (1978)

Monat	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
x	0,26	0,26	0,33	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30	0,28	0,26	0,26	0,26

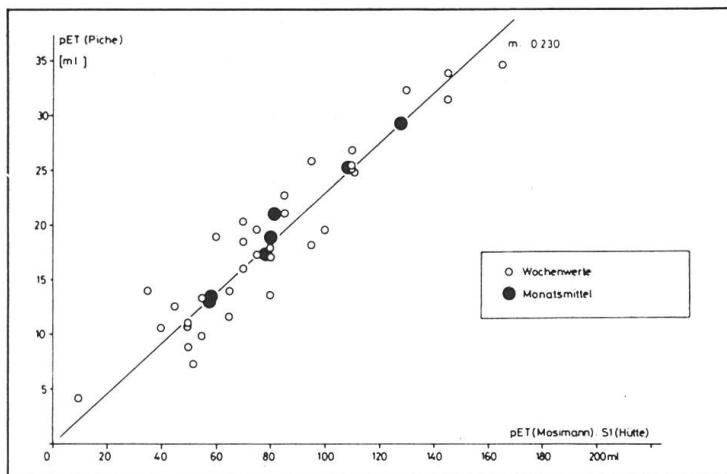


Abb. 5 Methodischer Vergleich von Verdunstungswerten des PICHE-Evaporimeters und des Tankevaporimeters nach *T. Mosimann*. Aufgrund des ähnlichen Arbeitsprinzips der beiden Geräte entsteht eine gute Korrelation der gemessenen Werte, welche eine Umrechnung von Tankevaporimeterverdunstung (in g) in PICHE-Verdunstung (in ml) zulässt.

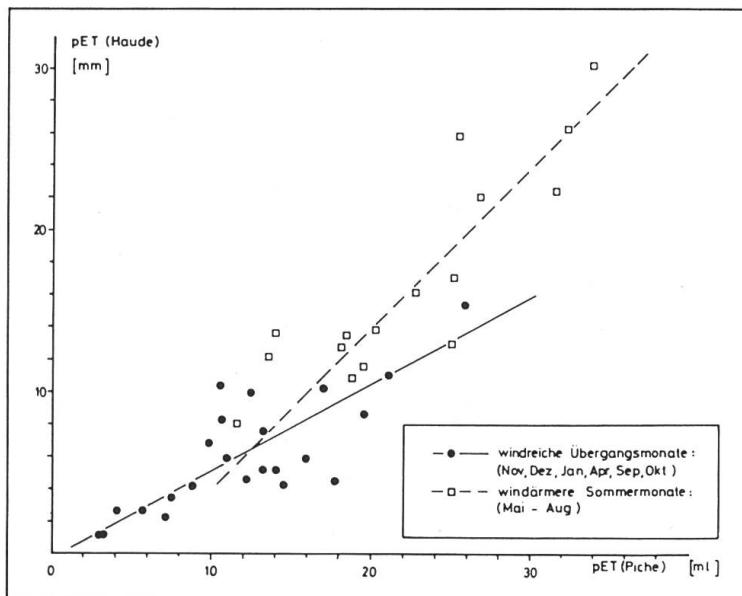


Abb. 6 Methodischer Vergleich zwischen empirischen pET-Werten von HAUDE und gemessenen Verdunstungswerten des PICHE-Evaporimeters. Das unterschiedliche Messprinzip der beiden Methoden zeigt keine Korrelation. Als stark differenzierender Faktor führt der Windeinfluss insbesondere zu einer jahreszeitlichen Abhängigkeit, welche durch die beiden Trendgeraden verdeutlicht werden soll.

Zur direkten Messung des Verdunstungsanspruchs der Luft wurden zwei Evaporimetertypen verwendet.

Beim PICHE-Evaporimeter (beschrieben bei *S. Uhlig*, 1955) wird aus einem kalibrierten Glasrohr Wasser über eine waagrechte Filterpapierscheibe verdunstet. Die wöchentliche Verdunstungsmenge (in ml) kann am Gerät direkt abgelesen werden. Der Tankevaporimeter nach *T. Mosimann* (1983) arbeitet nach demselben Prinzip. Aus einem 2-Liter-Vorratsgefäß wird über einen senkrechten Filterpapierstreifen Wasser verdunstet. Verdunstungsmengen (in ml) werden durch Wägung des Vorratsgefäßes ermittelt. Anhand von linearen Eichbeziehungen lassen sich die verdunsteten Wassermengen auf die pET einer freien Wasseroberfläche (z.B. Standardwerte der WILD'schen Waage) umrechnen.

Der Vergleich der beiden Evaporimetermethoden zeigt eine gute Übereinstimmung, welche bereits *T. Mosimann* (1983) feststellen konnte (s. Abb. 5). Der etwas höhere Umrechnungsfaktor von 0,23 wird auf eine gewisse Standortabhängigkeit der Eichbeziehung zurückgeführt, die sich als Folge der Belüftungsverhältnisse am Standort durch die verschiedene Lage der Filterpapierflächen beider Geräte ergibt.

Im Gegensatz zur Beziehung von HAUDE, welche nur von Luftfeuchtigkeits- und Temperaturverhältnissen abhängig ist, berücksichtigen die direkten Messverfahren mit Hilfe der Evaporimeter den Einfluss der Belüftung stark. Aus diesem Grund entsteht beim Vergleich dieser grundsätzlich verschiedenen Methoden keine gesicherte Beziehung (Abb. 6). Es bleibt abzuklären, inwiefern eine Beziehung zwischen HAUDE-Werten und PICHE-Evaporimeterwerten unter Berücksichtigung des gleichzeitig zu messenden Windweges erarbeitet werden könnte.

Durch die Umrechnung der Evaporimeterwerte in Standardwerte der WILD'schen Waage lassen sich die Verfahren auch absolut vergleichen (Tab. 4). Während die Jahressummen ungefähr übereinstimmen, zeichnen sich im Jahresverlauf deutliche Unterschiede ab. Mit den Evaporimetern werden im Winterhalbjahr höhere, im Sommerhalbjahr niedrigere Werte erreicht, was sich zum Teil mit den beobachteten Windverhältnissen gut erklären lässt.

Tabelle 4 Monatliche pET-Werte nach HAUDE (in mm) und monatliche Tankevaporimeterverdunstung (umgerechnet in Standardwerte der WILD'schen Waage = mm) im hydrologischen Jahr 1986, gemessen unter Wetterhüttenbedingungen bei S 1.

	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	WHJ	SHJ	HJ
HAUDE	12	24	13	7	23	30	62	85	104	75	51	40	109	417	526
Tankev.	34	36	29	10	24	36	44	64	72	58	49	33	169	320	489

Da sich die Tankevaporimeter (nach *T. Mosimann*) bei Verwendung einer zugehörigen Schutzkappe (Strahlungs- und Nässeeschutz) auch ausserhalb von Wetterhütten erfolgreich einsetzen lassen, wurden sie für Standortvergleiche innerhalb des Untersuchungsgebietes herbeigezogen. An drei Standorten wurden je drei Geräte bodeneben aufgestellt, aus denen Mittelwerte berechnet wurden. Da die Standardbedingungen (Aufstellungshöhe, Hüttenklima) für eine Umrechnung nicht gegeben waren, wurden keine Absolutwerte, sondern lediglich relative Vergleichswerte der verschiedenen Standorte gemessen (Abb. 7). Anhand der absoluten HAUDE-Werte, welche für S 1 vorlagen, liessen sich monatliche pET-Werte der verschiedenen Stationen berechnen.

5.2 Reale Evapotranspiration (rET)

Es existieren zahlreiche Untersuchungen zum Verhältnis von pET zu rET. Es zeigt sich, dass die reale Evapotranspiration in erster Linie von der maximal pflanzenverfügbaren Wassermenge im Wurzelraum abhängt. *H. Sponagel* (1980, S. 62) fasste diesbezüglich vorliegende Arbeiten zusammen (Abb. 8). Es wird daraus ersichtlich, dass über die Abhängigkeit des Quotienten pET : rET vom pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalt die Angaben recht stark voneinander abweichen. Da bei der Berechnung der pET die monatlichen Proportionalitätsfaktoren von *K. Heger* (1978) verwendet wurden, erfolgte auch die Berechnung der rET aufgrund der Bodenwasserverhältnisse nach dieser Methode.

Abb. 9 zeigt die standortwasserhaushaltlichen Verhältnisse von S 1 im zweiten Halbjahr 1985. Mittels Desorptionskurven (vgl. 4.3) wurde in 8 verschiedenen Tiefen PWP und FK bestimmt. Daraus konnte die nFK berechnet werden (PWP-FK). Diese wurde über die Tiefe bis 80 cm aufaddiert und zu 100% gesetzt. Aus den wöchentlich gravimetrisch bestimmten Wassergehalten konnte somit die jeweils pflanzenverfügbare Wassermenge in % nFK berechnet werden. Fiel dieser Wert unter 50% nFK, musste gemäss der Kurve nach *K. Heger* (Abb. 8) die pET korrigiert werden, um die rET zu erhalten. Es zeigt sich, dass nur sehr trockene Witterung im Arbeitsgebiet eine so starke Austrocknung des Bodens zur Folge hat, dass sich eine Korrektur der pET aufdrängt, um die rET zu ermitteln.

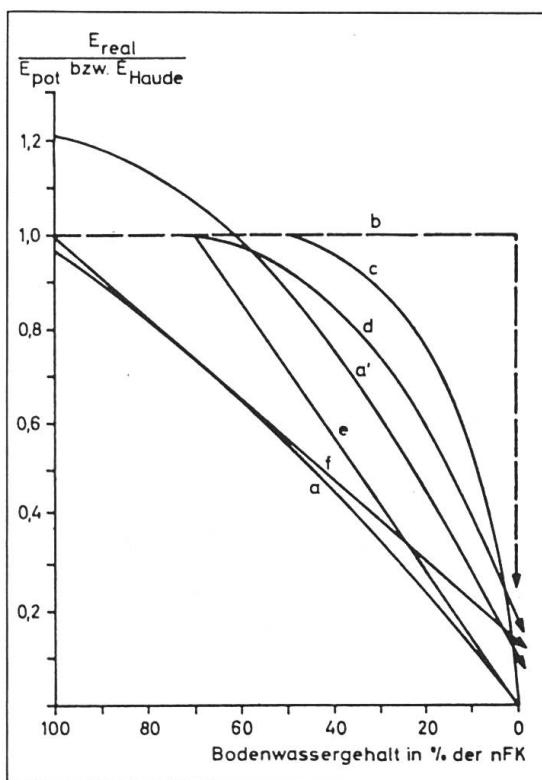
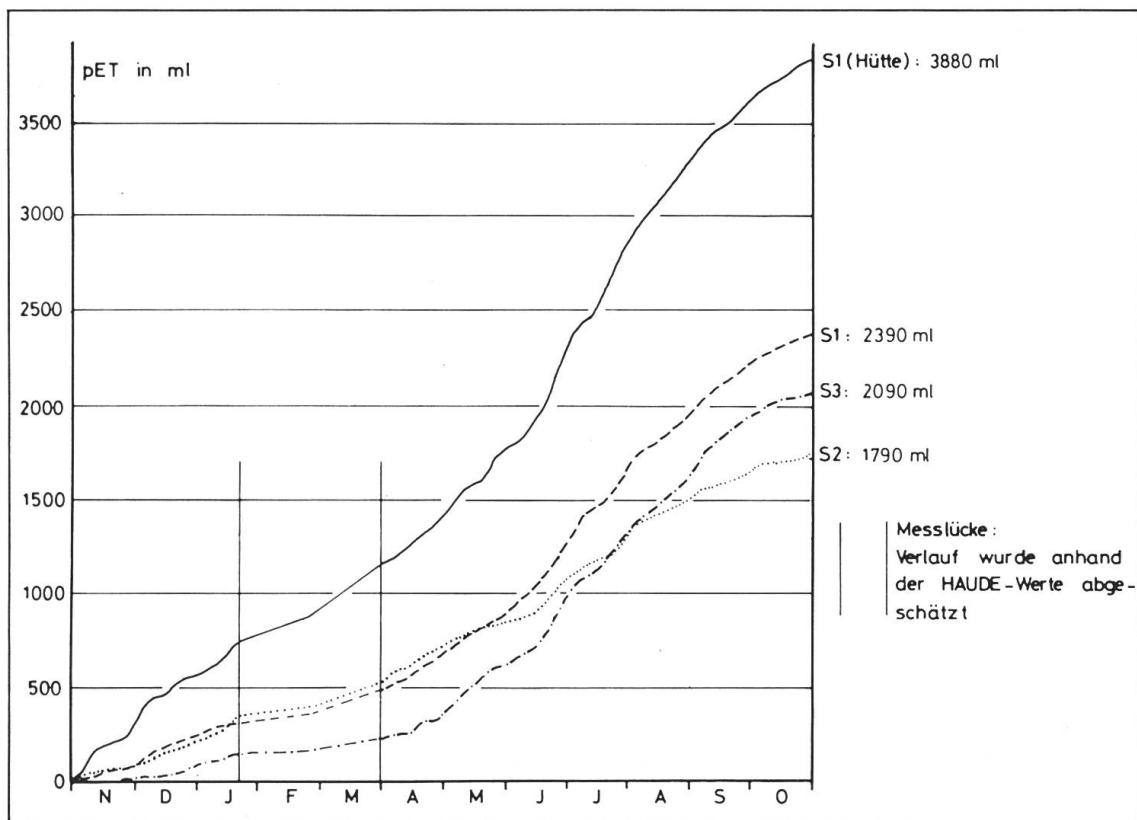
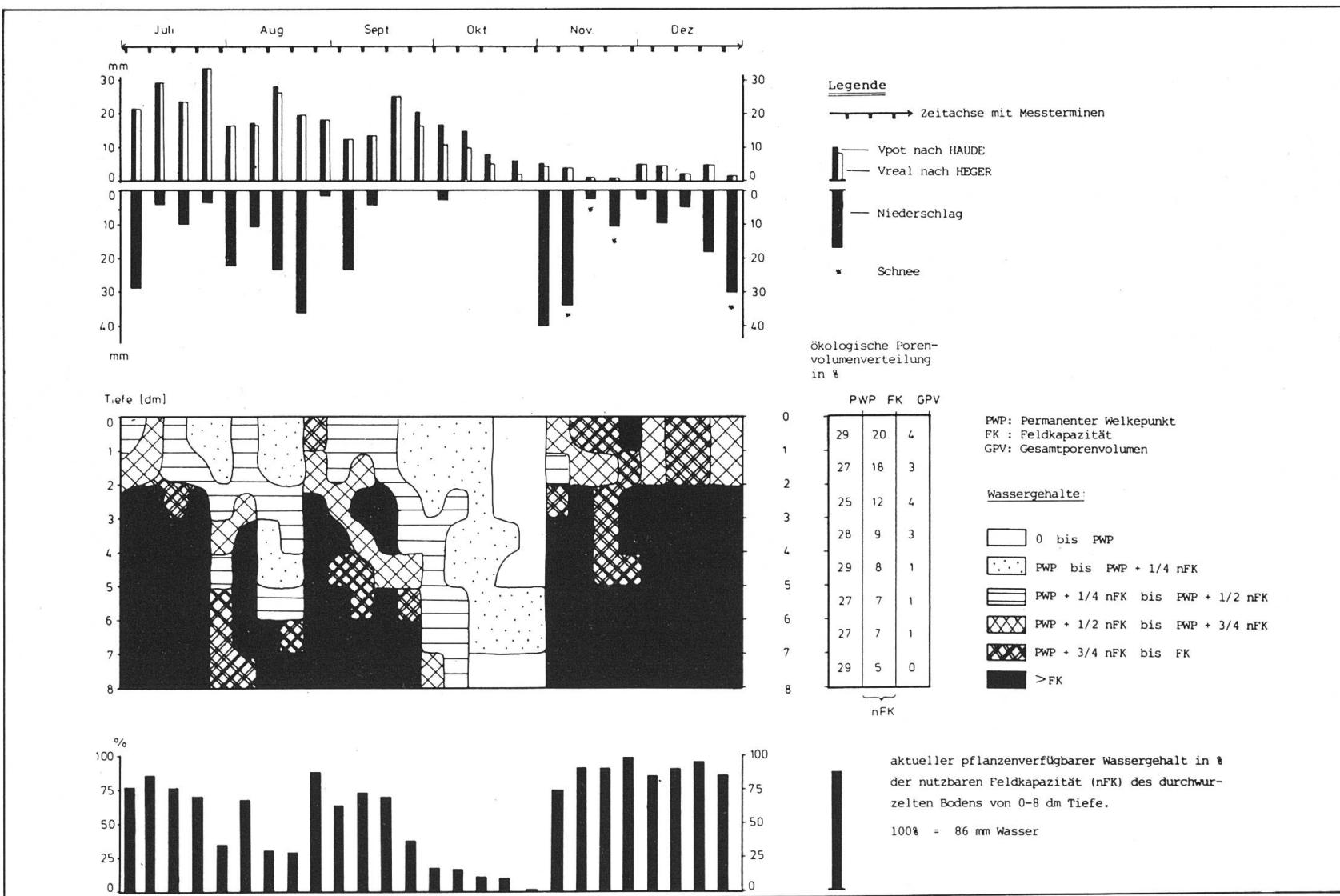


Abb. 7 Summenkurven der Tankevaporimeter-verdunstung an drei Standorten des Untersuchungsgebietes, sowie Hüttenwerte im hydrologischen Jahr 1986. Die unter Freilandbedingungen arbeitenden Geräte liefern relative Vergleichswerte. Die starke Abnahme der Verdunstungsbezüge bei S 1 gegenüber S 1 (Hütte) ist auf die reduzierten Belüftungsverhältnisse in Bodennähe zurückzuführen.

Abb. 8 Verhältnis der rET zur pET in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte (% nFK).

- | | |
|--|-------|
| H. Sponagel (1980) | a, a' |
| Veihmeyer, Hendrickson (1955) | b |
| Heger (1978) | c |
| Renger et al. (1974) | d |
| Van Bavel (1967) | e |
| Baharani, Taylor (1961),
Pfau (1966), Albrecht (1962) | f |
- Quelle: H. Sponagel (1980)



Dies war im Untersuchungszeitraum vor allem im September/Okttober 1985 der Fall, wobei die rET um 22 mm tiefer lag als die pET. Würde man anderen Autoren folgen (vgl. Abb. 8), wäre dieser Betrag z.T. wesentlich höher ausgefallen. In Anbetracht des sehr guten Ergebnisses bei der Gesamtbilanzierung lässt sich sagen, dass sich die verwendete Methode durchaus bewährt hat.

6 Abfluss

Der Abfluss des Vorfluters setzt sich zusammen aus oberflächlichem Zuschusswasser, Interflowbeiträgen und Grundwasserabflussanteilen. Letztere fallen im Untersuchungsgebiet nicht ins Gewicht, da grössere Grundwasserkörper gänzlich ausgeschlossen werden können. Die Grösse "Gebietsabfluss" ist somit Ausdruck lateraler Wasserumsätze im Einzugsgebiet. Während Niederschlag, Bodenfeuchte und Verdunstung genaugenommen nur als Punktswerte am Standort erfasst werden, stellt der Abfluss eine flächenbezogene Grösse dar. Bei der Vernetzung von Standortergebnissen kommt ihm deshalb grosse Bedeutung zu.

Die Pegelmesstelle P 1 (Abb. 1) besteht aus einem geeichten Dreieckskanal und einer mechanischen Pegeluhr. Aus den registrierten Wasserständen lassen sich die Durchflussmengen anhand einer Eichbeziehung ermitteln. Der Gebietsabfluss kann als gut messbare Grösse eingestuft werden, da grössere Messfehler nur bei seltenen, extremen Spitzenhochwassern auftreten. Zusätzlich zu P 1 wurde ein Lattenpegel im Naturschutzweiher installiert (P 2), welcher wöchentlich einmal abgelesen wurde.

Während des Frühjahrs 1986 wurden an einzelnen Drainagerohren Teilabflussmengen untersucht, die eine Abschätzung des Anteils am Gesamtabfluss zuließen (Abb. 10). Der untersuchte Drainage-Abfluss setzt sich vor allem aus Interflow zusammen. Die Ergebnisse der Teilabflussuntersuchungen lassen deshalb auch Schlüsse über die Grösse "Interflow" zu, welche am Standort nicht quantifiziert werden konnte.

Wichtige Gebietseigenschaften lassen sich aus der Niederschlags-Abfluss-Beziehung bei Grossereignissen ableiten. Die stündliche Auflösung des Niederschlagschreibers und des Pegelschreibers ermöglichte eine detaillierte Untersuchung dieses Zusammenhangs. Die geringe Grösse des Untersuchungsgebietes führt meist zu einem

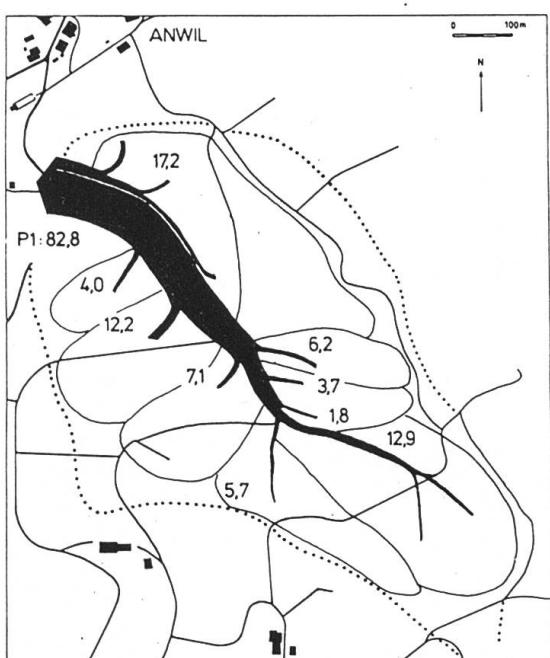


Abb. 10 Teilabflussbeiträge und Schüttungstendenzen einzelner Drainagerohre in % des Gesamtabflusses. Die ausgeschiedenen Teileinzugsgebiete wurden anhand bodenwasserhaushaltlicher und geomorphologischer Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes abgegrenzt.

Abb. 11 Niederschlag-Abfluss-Beziehung eines typischen Winterereignisses. Der wenig intensive, aber dauerhafte Landregen (56 mm) führt allmählich zu einer vollständigen Wassersättigung des Bodens, welche sich im deutlichen Anstieg der Abflusswelle äussert. Charakteristisch für Ereignisse im Winterhalbjahr sind langanhaltende Interflowbeiträge und eine deutliche Erhöhung des Basisabflusses.

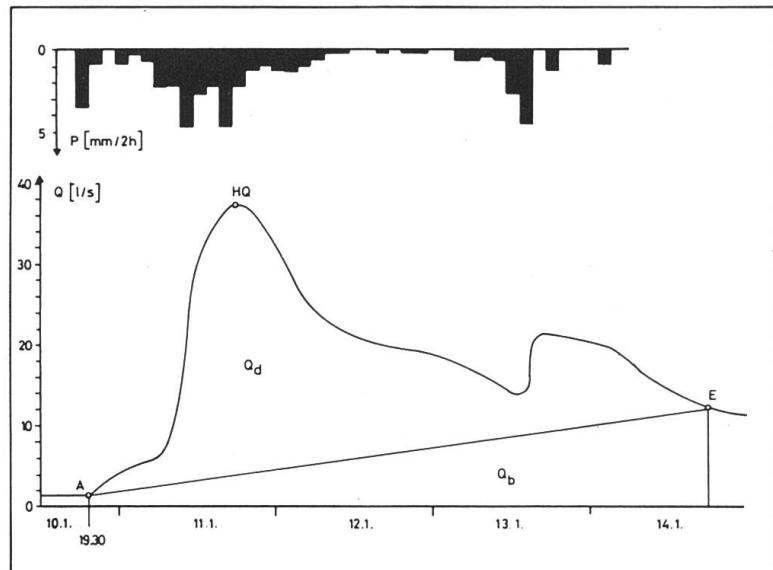
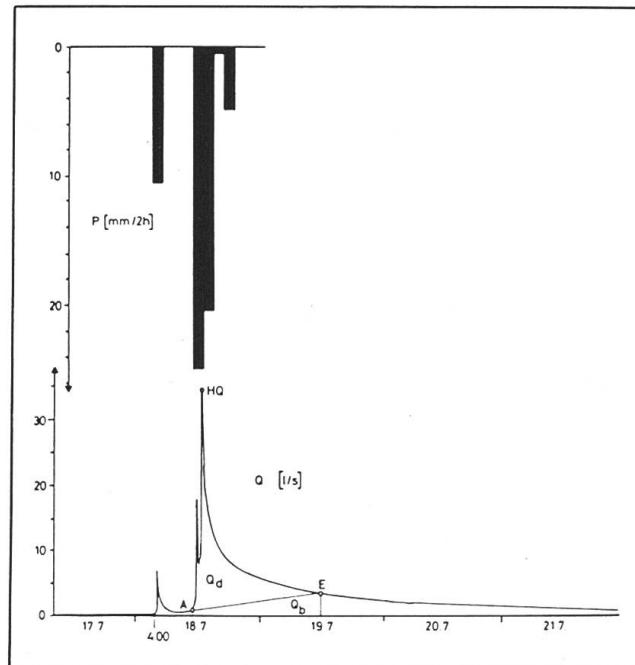


Abb. 12 Niederschlags-Abfluss-Beziehung eines typischen Sommerereignisses. Der intensive, kurze Starkregen (61 mm) führt zu einer deutlichen Hochwasserspitze, die rasch wieder abfällt. Der grösste Teil des Direktabflusses stammt von oberflächlich abfliessendem Wasser. Grösse Interflowbeiträge bleiben infolge der geringen Bodenwassersättigung aus. (P = Niederschlag, Q = Abfluss, Q_D = Direktabfluss, Q_B = Basisabfluss)



unmittelbaren Anstieg der Hochwasserwelle, ohne dass messbare Verzögerungszeiten zwischen Niederschlagsbeginn und Hochwasseranfang auftreten. Die Form der Hochwasserwelle wird hauptsächlich durch die Niederschlagsstruktur und durch die Bodenfeuchteverhältnisse im Einzugsgebiet geprägt. Es lassen sich deshalb deutliche Unterschiede im Jahresverlauf der Niederschlags-Abfluss-Beziehung erkennen (Abb. 11 und 12).

Die Schneeschmelze im März 1986 führte zur Ausprägung einer charakteristischen Abflussganglinie, in welcher sich der Temperaturgang (Tau- und Gefrierphasen) verzögert wiederspiegelt (Abb. 13). Die zusätzlichen Niederschläge, welche nach dem 19. März fielen, führten zu markanten Hochwasserspitzen, da die Böden des Einzugsgebietes nicht mehr in der Lage waren, zusätzliches Wasser zu speichern.

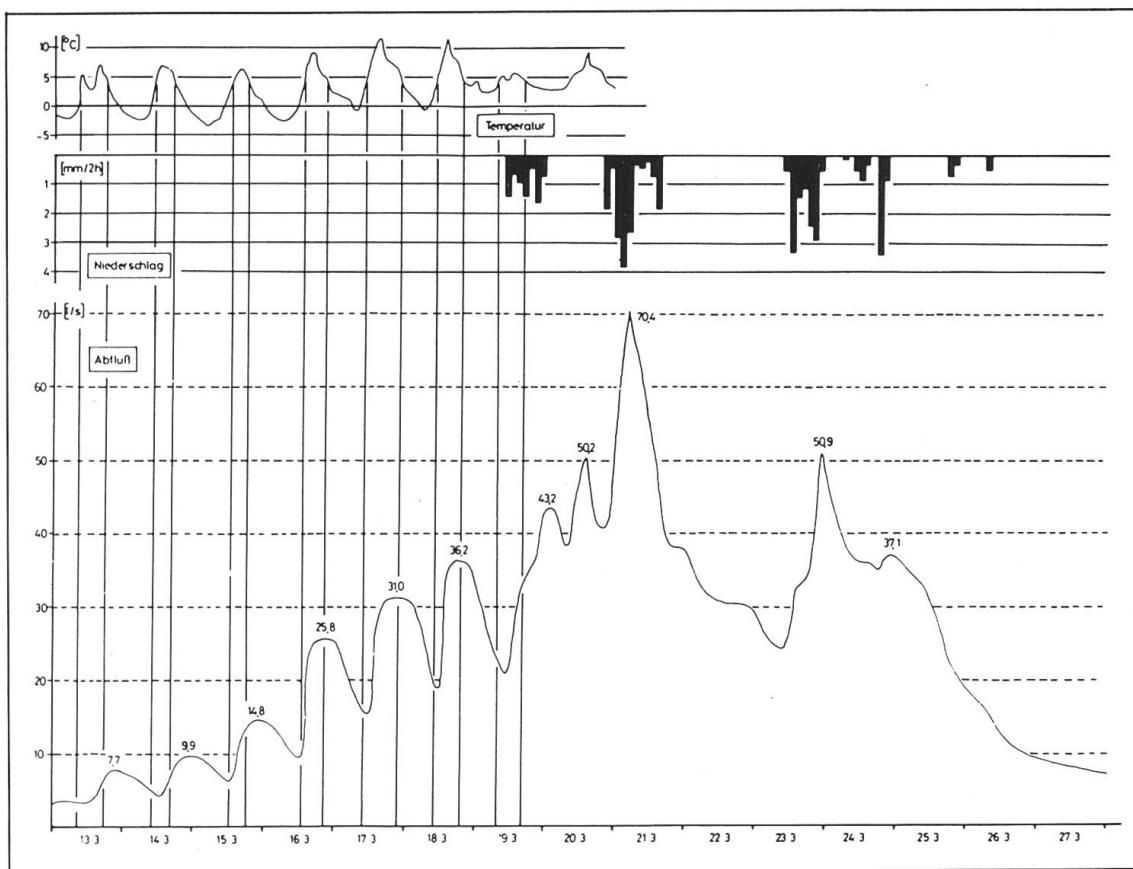


Abb. 13 Schneeschmelzeereignis im März 1986. Der Tagesgang der Temperatur (Schmelzen und Wiedergefrieren der Schneedecke) führt zu einem verzögerten Tagesgang in der Abflussganglinie. Der nachhaltigen Sättigung der Böden folgt im Zusammenhang mit den zusätzlichen Niederschlägen ein deutliches Spitzenhochwasser.

7 Bilanz

Die Beurteilung der umgesetzten Wassermengen erfolgt anhand der Bilanz des Gebietswasserhaushaltes. Die Monatssummen der Größen "Verdunstung" und "Abfluss" wurden den Niederschlagssummen gegenübergestellt, wobei eine kurzfristige Wasserspeicherung in Form der Schneedecke miterücksichtigt wurde (Abb. 14). Die Gebietsbilanz des Wasserhaushaltes spielt eine wichtige Rolle bei der Ermittlung von Nährstoffbilanzen, welche heute bei Problemen wie Überdüngung, Schadstoffbelastungen und Bodenversauerung zusehends an Bedeutung gewinnen.

Den erheblichen Bilanzdefiziten im Spätsommer und Herbst 1985 stehen die häufigen Bilanzüberschüsse im hydrologischen Jahr 1986 gegenüber, die darauf hinweisen, dass der vollständig entleerte Gebietsspeicher allmählich wieder aufgefüllt wird.

Das Erstellen detaillierter Standortbilanzen (Abb. 15) ermöglicht differenziertere Aussagen über Wasserumsatzvorgänge im Innern des Einzugsgebietes. So lassen sich im hydro-

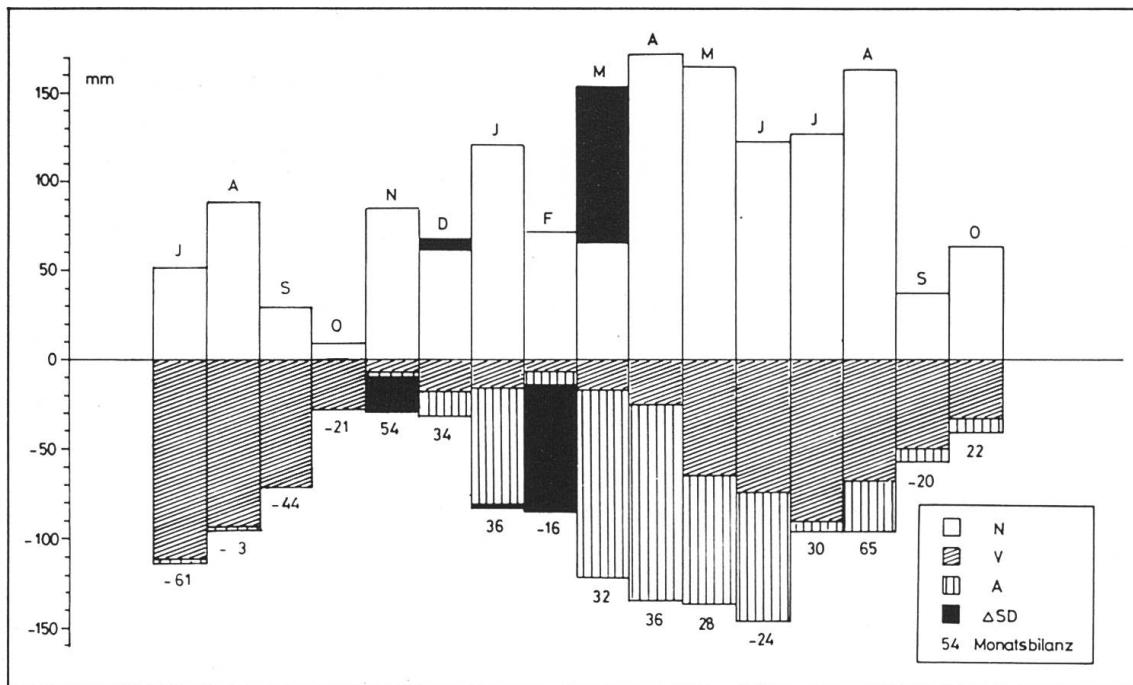
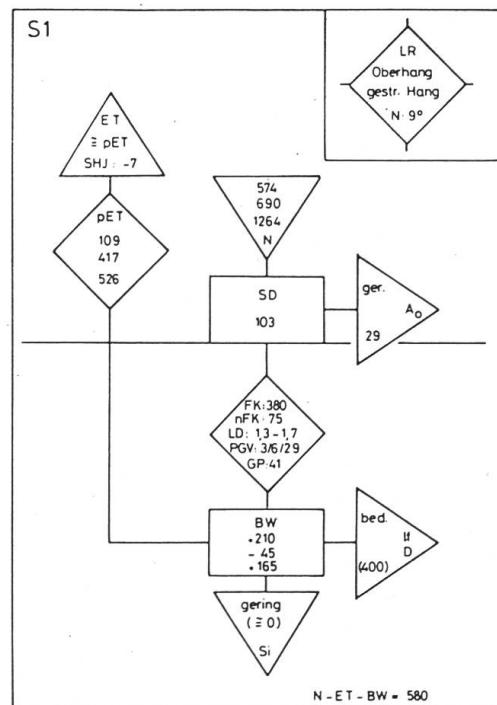


Abb. 14 Monatliche Wasserhaushaltsbilanzen des Untersuchungsgebietes im Untersuchungszeitraum Juli 1985 bis Oktober 1986
(Δ SD: Änderung der Schneedecke)

logischen Jahr 1986 rund 88% des Jahresüberschusses mit Hilfe der Bodenfeuchteänderung innerhalb 1 m Bodensäule erklären. Der geringe Restbetrag von 150 mm ist auf Bodenfeuchteänderungen unterhalb 1 m oder auf unterirdischen Abfluss zurückzuführen.

Abb. 15 Beispiel einer detaillierten Standortwasserhaushaltsbilanz im hydrologischen Jahr 1986.

Die Zahlenwerte beziehen sich jeweils auf das hydrologische Winterhalbjahr, das Sommerhalbjahr sowie auf die Summe der beiden Werte.



RÉSUMÉ

L'objet de l'article consiste dans l'étude d'un bilan hydrologique à l'échelle d'une petite zone d'alimentation fluviale dans le Jura tabulaire de Bâle (Riedmattbach, au S d'Anwil). Ont été analysées les données entrant dans l'équation du bilan hydrologique: précipitations, rétention en eaux souterraines, évapotranspiration, écoulement; on propose des méthodes de mesure adaptées.

En ce qui concerne les précipitations, on examine essentiellement les inexactitudes de mesure du totalisateur *Hellmann*, ainsi que la mesure des précipitations neigeuses. Pour ce qui est de la mesure des eaux souterraines, on étudie les avantages et les inconvénients de la méthode directe (gravimétrique), mais aussi ceux d'une mesure indirecte par aspiration (tensiomètre). Sont discutées la valeur et les possibilités d'utilisation des courbes désorption. Un dernier paragraphe est consacré à l'examen des méthodes comparatives dans les mesures complexes de l'évapotranspiration.

Délimitation du bassin d'écoulement, rapport précipitations-écoulement, l'axe d'écoulement caractéristique au cours d'une fonte des neiges, sont également l'objet d'investigations. En conclusion, on examine ce qu'un bilan hydrologique peut apporter dans l'appréciation des volumes d'eau en question.

Résumé: *M. Dipner*

Traduction: *P. Meyer*

LITERATUR

- Dipner, M.* (1986): Differenzierung des Nährstoffhaushaltes und seine Beziehung zu Boden, Wasserhaushalt und Niederschlagsinput im Bodenerosionsgebiet Jura 1 (Basler Tafeljura bei Anwil). = Diplomarbeit Geogr. Inst. Uni Basel, 122 S. (unveröff. Manuskript)
- Hartge, K.-H.* (1969): Die Ermittlung der Wasserspannungskurve aus der Körnungssummenkurve und dem Gesamtporenvolumen. — In: Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 10, 20-27
- Haude, W.* (1954): Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. — In: Mitt. d. Dtsch. Wetterdienstes, 1, Nr. 8, 1-22
- Haude, W.* (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. — In: Mitt. d. Dtsch. Wetterdienstes, 2, Nr. 11, 1-24
- Heger, K.* (1978): Bestimmung der potentiellen Evapotranspiration über verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen. — In: Mitt. d. Dtsch. Bodenkundl. Ges., 26, 21-40
- Jenne, T.* (1987): Der Zusammenhang "Wasserhaushalt-Bodenerosion" im Geoökosystem, dargestellt am Beispiel eines Kleineinzugsgebietes im Oberbaselbieter Tafeljura bei Anwil (Bodenerosions-testlandschaft Jura 1), im hydrologischen Jahr 1986. = Diplomarbeit Geogr. Inst. Uni Basel, 206 S. (unveröff. Manuskript)
- Karbaum, H.* (1969): Der Niederschlag als Wasserhaushaltsgrösse. = Abhandlungen d. Meteorol. Dienstes d. DDR, Bd. 11, Nr. 86, Berlin, 80 S.
- Mosimann, T.* (1983): Ein Tankverdunstungsmesser nach dem Filterpapierprinzip zur Bestimmung des Verdunstungsanspruchs der Luft. — In: Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology, 33, 290-299
- Schlichting, E. und Blume, H.P.* (1966): Bodenkundliches Praktikum. — Hamburg-Berlin, 209 S.
- Schroeder, H.* (1985): Verdunstung. — Berlin, 186 S.
- Seiler, W.* (1983): Bodenwasser- und Nährstoffhaushalt unter Einfluss der rezenten Bodenerosion am Beispiel zweier Einzugsgebiete im Basler Tafeljura bei Rothenfluh und Anwil. = Physiogeographica, Basler Beiträge zur Geographie, Bd. 5, 510 S. + Kartenband
- Sevruk, B.* (1981): Methodische Untersuchungen des systematischen Messfehlers der HELLMANN-Regenmesser im Sommerhalbjahr in der Schweiz. = Mitt. d. Versuchsanstalt f. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Nr. 52, 290 S.
- Sevruk, B.* (1985): SNG (Hrsg.): Der Niederschlag in der Schweiz. — In: Beiträge z. Geol. d. Schweiz. — Hydrologie, Nr. 31, 278 S.
- Sponagel, H.* (1980): Zur Bestimmung der realen Evapotranspiration landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. = Geol. Jahrb. 1980, Reihe F, H. 9, 87 S.

- Stauss, T.* (1983): Bodenerosion, Wasser- und Nährstoffhaushalt in der Bodenerosionstestlandschaft Jura 1 im hydrologischen Jahr 1982. = Diplomarbeit Geogr. Inst. Uni Basel, 270 S. (unveröff. Manuskript)
- Uhlig, S.* (1955): Bestimmung des Verdunstungsanspruchs der Luft mit Hilfe von PICHE-Evaporimetern. – In: Mitt. d. Dtsch. Wetterdienstes, 2, Nr. 13, 1-24
- Walther, W.* (1979): Beitrag zur Gewässerbelastung durch rein ackerbaulich genutzte Gebiete mit Lössböden. = Veröffentlichung des Inst. f. Städtebauwesen, TU Braunschweig, H. 28, 372 S.

