Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie

Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel

Band: 26 (1985)

Heft: 3

Artikel: Numerische Berechnung mit Wasserhaushaltsdaten vom Bruderholz (südlich von Basel)

Autor: Oeggerli, Hans

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1088792

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: 14.01.2026

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

NUMERISCHE BERECHNUNGEN MIT WASSERHAUSHALTSDATEN VOM BRUDERHOLZ (SÜDLICH VON BASEL)

HANS OEGGERLI

1 Einleitung

Ziel dieser Untersuchung war es ursprünglich, die Daten, die *T. Mosimann* auf dem Bruderholz (südlich von Basel) gesammelt und für seine Dissertation (*T. Mosimann* 1980) verwendet hat, wo sie in ausgewerteter Form auch veröffentlicht worden sind, miteinander zu verknüpfen. Das Ziel der Modellierung war ein Computerprogramm, mit dem die verschiedensten Zustände simuliert werden können.

Es ist kein Zufall, dass für die Modellierung die Wasserhaushaltsdaten gewählt worden sind. Das Wasser ist nämlich das wichtigste Transportagens der Nähr- und Schadstoffe. Ein Simulationsmodell des Wasserhaushalts kann also auch verwendet werden, um den Weg resp. die Verteilung von Stoffen in der Umwelt zu untersuchen. Dies erklärt die grosse umweltpolitische Bedeutung solcher Modelle.

In diesem Bericht sollen die Ergebnisse einer numerischen Verknüpfung vorgestellt werden. Aus Gründen, die in der Diskussion noch näher erläutert werden, wurde der Simulationsmodellansatz dann nicht mehr weiter verfolgt. Es soll aber gezeigt werden, wie mit mathematisch einfachen Verknüpfungen bereits Ergebnisse erzielt werden können. Das Ziel der Simulation hingegen ist auf diese Weise nicht zu erreichen.

2 Ausgangslage

Die Daten für Niederschlag (gemessen mit Regensammlern nach *Hellmann*), Evapotranspiration (bestimmt an einem Grosslysimeter ganz in der Nähe des Regensammlers), Bodenfeuchte (gemessen mit einer Neutronensonde in Stufen von 10 resp. 20 cm) und Versickerung (gemessen mit Kleinlysimetern) wurden nach der Methode von *H. Oeggerli* (1985) miteinander verknüpft, und zwar für die beiden Standorte Spitzenhegli und Allme. (Die Lage der zwei Gebiete und die Art und Weise der Datenerhebung sind bei *T. Mosimann* (1980) ersichtlich).

Der Standort Spitzenhegli liegt im Freiland, der Standort Allme im Wald. Dementsprechend gibt es beim Standort Allme zusätzliche Probleme, was den Bestandsniederschlag betrifft. Von *T. Mosimann* (1980) liegen zwar Schätzungen und Messungen zur Interzeption, zum Freiland- und Bestandsniederschlag und zum Stammabfluss vor, der Frei-

Hans Oeggerli, Blauensteinerstrasse 15, 4053 Basel

landniederschlag wurde aber in einer Lücke im Kronendach auf normaler Höhe gemessen (s. Abb. 38 S. 174 bei *T. Mosimann* 1980) und entspricht daher nur bedingt dem effektiven Freilandniederschlag, d.h. er ist nur bei praktischer Windstille als identisch anzusehen. Die Probleme des Bestands- und des Freilandniederschlags sind unter anderem bei *D. Hoffmann* (1982), *H. Turner* (1961) und *J. Weihe* (1982) beschrieben. Neben der Interzeption und der Niederschlagsintensität spielt auch der Wind eine Rolle (vergl. *J. Weihe* 1982, S. 52). Wichtig sind sowohl die Windrichtung als auch die Windgeschwindigkeit. Es zeigte sich aber gerade, dass die stärksten Niederschläge meist bei den höheren Windstärken fallen (vergl. *H. Turner* 1961).

Die Ergebnisse für den Standort Allme sind also mit grösseren Fehlern behaftet als die des Standortes Spitzenhegli. Daher wurde die Korrektur der Eichkurve für die Neutronensonde auch für den Standort Spitzenhegli berechnet, und die so erhaltenen Werte wurden für den Standort Allme übernommen.

3 Methodik

3 1 Datenaufbereitung

Da ein Grossteil der Daten nur als Terminablesungen vorhanden waren, konnten die Berechnungen nur in numerischer Form erfolgen. Die in der Einleitung erwähnten Modelle, die für Systemsimulationen verwendet werden können, erfordern kontinuierliche oder analoge Daten, die dann mit Hilfe von Differentialgleichnungen miteinander verknüpft werden (vergl. *M.M. Ostrowski* und *U. Wolf* 1984).

Die wichtigsten Ausgangsdaten waren die Bodenfeuchtewerte, die mit einer Neutronensonde gemessen wurden. Die Messungen erfolgten bis zur Tiefe von 1 m in 10 cm-Abständen und dann in 20 cm-Abständen bis zu einer Tiefe von 1,8 m. Es lag also eine recht detaillierte, aber eben bloss in Abständen von einer Woche erhobene Messung vor, vereinzelt lagen die Messtermine sogar zwei Wochen auseinander. Ein Blick auf die Tabellen zeigt, dass die Änderungen in diesem Zeitraum recht gross sein können, d.h. der zeitliche Abstand von einer Woche muss für die Belange der Modellierung als zu gross angesehen werden; am besten wäre natürlich eine kontinuierliche Messung.

Problematisch wird die Interpretation vor allem in Zeiten mit grossen Niederschlägen. Mit den "sturen" Messperioden von einer Woche kann die Dynamik des Wasserhaushalts in solchen Extremsituationen nicht erfasst werden. Das heisst für die Datenerhebung: Wenn keine kontinuierliche Messung möglich ist, sollten möglichst kurze Perioden gewählt werden – mindestens einmal in der Woche –, und für den Fall von Extremsituationen sollten zusätzliche Messungen vorgenommen werden, denn was für die rein deterministischen Modelle gilt, dass Spitzen durch besonders kurze Messintervalle erfasst werden sollen (vergl. *M.M. Ostrowski* und *U. Wolf* 1984, S. 39), gilt ganz besonders für allgemeine numerische Modelle.

Die Daten für die Bodenfeuchte wurden nach der Methode von *H. Oeggerli* (1985) korrigiert, da die Neutronensonde, wie in der erwähnten Arbeit ausgeführt, wegen Störungen in der Elektronik oder in der Stromversorgung falsche Werte angezeigt hatte. So wurden

z.B. Bodenfeuchten gemessen, die grösser waren als das vorhandene Porenvolumen. Die Korrektur erfolgte für den Standort Spitzenhegli, und die dabei erhaltenen Korrekturfaktoren wurden identisch für den Standort Allme verwendet.

Die Daten der Bodenfeuchte wurden also als zentral angesehen. Entsprechend wurden alle anderen Daten damit in Beziehung gebracht, d.h. auch kontinuierlich vorhandene Messreihen wurden auf die Summe entsprechend dem Ablesetermin der Neutronensonde reduziert. Die so für einen bestimmten Zeitpunkt bestimmten Werte wurden dann numerisch miteinander verrechnet.

3 2 Berechnungen

3 2 1 Der Input an Niederschlag

Die Berechnungen erfolgten anhand der im folgenden näher erläuterten Gleichungssysteme (vgl. auch *H. Oeggerli* 1985 und Abb. 1).

Der Input zum Zeitpunkt t (IP_t) für das Spitzenhegli ergibt sich aus der Differenz zwischen dem (Freiland-)Niederschlag zum Zeitpunkt t (NF_t) und der Evapotranspiration zum Zeitpunkt t (ET_t), wobei die Werte des Zeitpunktes t durch die Summe der Niederschläge resp. der Evapotranspiration der Periode von t - 1 bis t gebildet werden, d.h. als Gleichung:

$$IP_t = NF_t - ET_t \qquad (1.1)$$

Für die Allme gilt der gemessene Wert des Bestandsniederschlags (NB_t), was sich in folgender Gleichung ausdrückt:

$$IP_t = NB_t - ET_t \qquad (1.2)$$

Oder es gilt bei Verwendung des Freilandniederschlages und unter Berücksichtigung der Interzeption (IZ_t) und des Stammabflusses (SA_t) die folgende Gleichung:

$$IP_t = NF_t - ET_t - IZ_t - SA_t \qquad (1.3)$$

Wegen der Randeffekte bei der Neutronensonde wurde erst ab 20 cm Tiefe gemessen. So wirkt auch der Hauptwurzelbereich nicht mehr so störend. Der erste bilanzierte Kubus liegt also in der Tiefe von 15 bis 25 cm.

Beim Standort Allme ist allerdings zu bemerken, dass es sich bei der Evapotranspiration um den Freilandwert handelt (bestimmt an einem grasbewachsenen Grosslysimeter) und dieser Wert so nicht auf den Wald übertragen werden kann.

Es wurde stark vereinfachend angenommen, dass die grössere Verdunstung der Bäume durch den zusätzlichen Input des Stammabflusses, der bestimmt wurde, gedeckt werde. Diese Kompensation ist aber betragsmässig zu klein. Die Vereinfachung schien deshalb möglich, weil die Bodenfeuchte im stammfernen Bereich gemessen wurde, d.h. es

herrschte weder ein Input an Stammabfluss noch ein zusätzlicher Output (in tieferen Horizonten) durch eine Wasserentnahme durch die Wurzeln. Auch letzteres stimmt strenggenommen nicht, da sich die Wurzeln sehr weit vom Stamm weg ausdehnen, die Wurzeldichte nimmt aber mit der Entfernung vom Stamm mit dem Reziproken des Radius im Quadrat ab.

Die Werte für den Wald sind in dieser Hinsicht falsch. Es war zwar vorgesehen, gerade diese Unbekannte auf diese Weise, d.h. durch den Vergleich der Gleichungen (1.2) und (1.3) zu bestimmen, was sich aber als unmöglich herausstellte, da noch ganz andere Probleme auftauchten.

3 2 2 Die Wasserbewegungen in der Bodensäule

Die Bewegung des Wassers in der Bodensäule, d.h. im positiven Falle die Versickerung oder im negativen Falle der kapillare Aufstieg wird mit folgenden Gleichungen erfasst:

$$FA_t^1 = IP_t + BF_{t-1}^1 - BF_t^1 \qquad (2)$$

$$FA_t^k = FA_t^{k-1} + BF_{t-1}^k - BF_t^k \qquad (3)$$

dabei bedeuten FA_t^k die Feuchteänderung zum Zeitpunkt t, d.h. im Zeitintervall t - 1 bis t, und BF_t^k die Bodenfeuchte zum Zeitpunkt t im k-ten Bodenkubus.

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnungen sind auszugsweise in den Tab. 1 und 2 festgehalten. Schon die Aufstellung der Extremwerte für die Allme in Tab. 2 zeigt, dass diese Verknüpfungen keine sinnvollen Ergebnisse erbringen. Auch Versuche mit vergrösserter Evapotranspiration und/oder dem Freilandniederschlag, anstelle des Bestandsniederschlages, erbrachten keine sinnvollen Ergebnisse. Der Versuch mit Berechnungen dieser Art musste an dieser Stelle abgebrochen werden.

Zur Illustration sollen einige ganz kritische Werte herausgegriffen werden. Bereits in der zweiten Messperiode (13.6. - 20.6.77) ergeben die Berechnungen einen kapillaren Aufstieg von maximal 41.7 mm (Wassersäule) bei einem negativen Input (d.h. die Evapotranspiration ist grösser als der Niederschlag während dieser Zeitperiode) von -13.4 mm. Ähnlich ist es in der nächsten Messperiode (20.6. - 4.7.77), da ergibt sich bei einem positiven Input von 6.6 mm ein maximaler kapillarer Aufstieg von 16.8 mm. Umgekehrt ergibt sich in der nächsten Woche bei einem Input von bloss 19.2 mm eine maximale Versickerung von 63.7 mm. In anderen Messperioden liegen die Werte etwas besser, die Extrema sind aber meistens auch grösser als die entsprechenden Inputwerte.

Es zeigt sich also, dass die Feuchteänderungen viel stärker reagieren als die Änderungen der Inputwerte. Da weder Änderungen der Evapotranspiration (prozentuale Vergrösserungen mit verschiedenen Faktoren) noch des Niederschlagsinputs (Freiland- anstatt Bestandsniederschlag) eine merkliche Verbesserung brachten, war es sinnlos, die Berechnungen weiterzuführen.

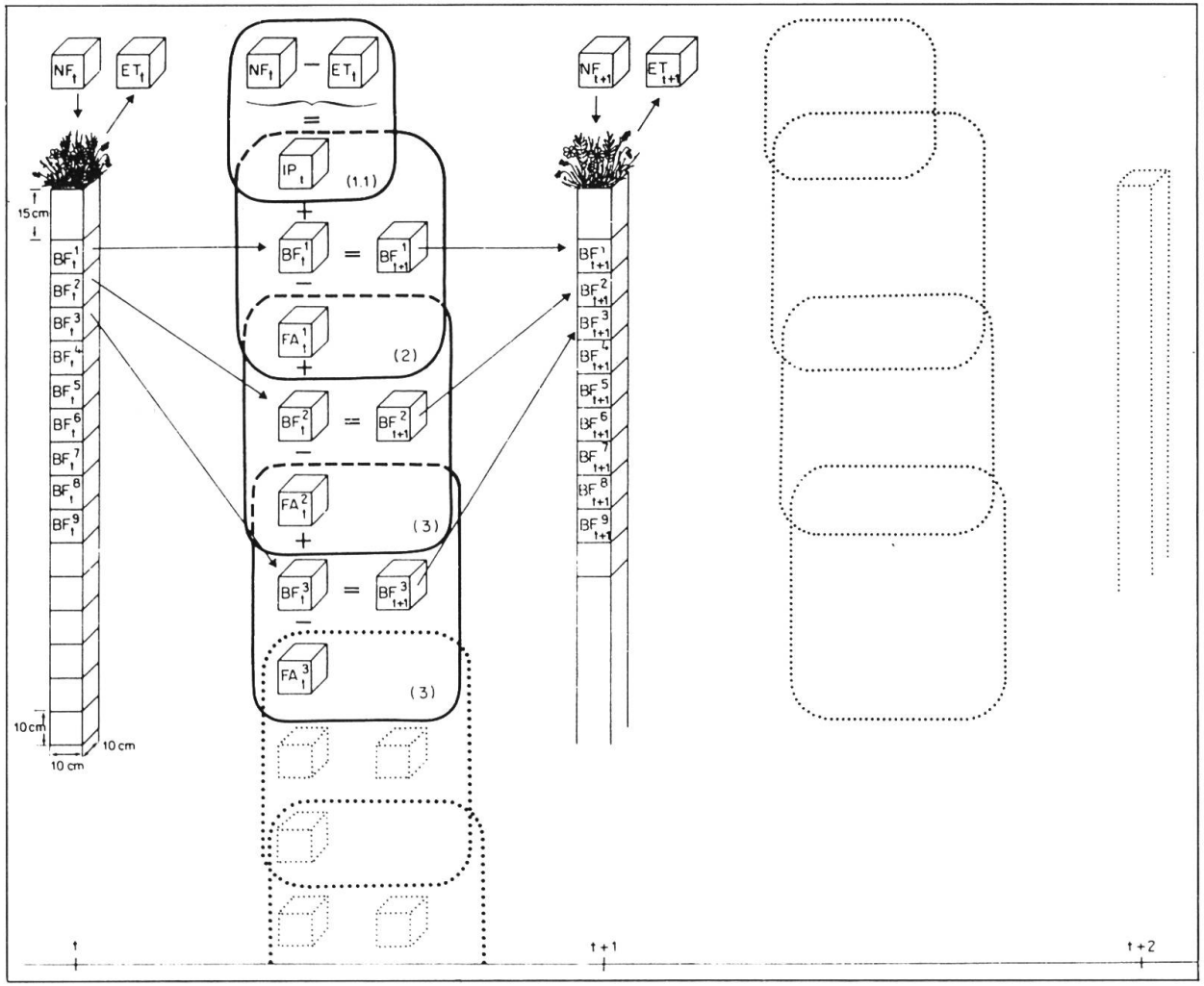

Abb. 1 Schematische Darstellung der mathematischen Verknüpfungen nach den Gleichungen (1.1), (2) und (3). Als erster Schritt wird der Input (IP_t) in den ersten Bodenkubus (von 15 cm bis 25 cm Tiefe) bestimmt, der sich aus der Differenz zwischen dem Freilandniederschlag (NF_t) und der Evapotranspiration (ET_t) ergibt. Als Zweites wird die Feuchteänderung des ersten Bodenkubus (FA_t^1) bestimmt aus dem Input, der Bodenfeuchte des Kubus zur Zeit t (BF_t^1) und der Bodenfeuchte zur Zeit t+1 (BF_{t+1}^1). Der nächste Rechenschritt bestimmt die Feuchteänderung des zweiten Bodenkubus zur Zeit t (FA_t^2) aus der Feuchteänderung des ersten Bodenkubus und den Bodenfeuchtewerten des zweiten Bodenkubus zur Zeit t (BF_t^2) und zur Zeit t+1 (BF_{t+1}^2). Die weiteren Schritte sind genau gleich, nur ist der Index k des Bodenkubus um 1 erhöht.

Wegen der Randeffekte bei der Neutronensonde wurde erst ab 20 cm Tiefe gemessen. So wirkt auch der Hauptwurzelbereich nicht mehr so störend. Der erste bilanzierte Kubus liegt also in der Tiefe von 15 cm bis 25 cm.

Tab. 1 Eckwerte der Messungen und Berechnungen vom Spitzenhegli (t = Zeitintervall, NF_t = Freilandniederschlag während t, ET_t = Evapotranspiration während t, IP_t = Input während t, FA_t^- = minimale Feuchteänderung während t, FA_t^+ = maximale Feuchteänderung während t). Alle Werte in mm Wassersäule.

t	NF_t	ET_t	IP_t	FA_t^-	FA_t^+
6.6.-13.6.77	28.7	16.9	11.8	0.16	16.48
13.6.-20.6.77	7.7	17.1	-9.4	-9.40	-2.26
20.6.- 4.7.77	54.3	37.0	17.3	-0.05	16.70
4.7.-18.7.77	64.2	43.8	20.4	16.64	29.09
18.7.-25.7.77	2.3	24.7	-22.4	-19.30	10.10
25.7.- 2.8.77	98.0	12.5	85.5	0.04	81.92
2.8.- 8.8.77	2.2	22.1	-19.9	-18.74	20.54
8.8.-16.8.77	4.9	22.1	-17.2	-16.51	-7.36
16.8.-22.8.77	49.7	8.8	40.9	36.90	40.72
22.8.-30.8.77	28.9	12.3	16.6	0.58	36.88
30.8.- 5.9.77	4.1	9.4	-5.3	-5.42	8.76
5.9.-12.9.77	0.6	15.5	-14.9	-13.66	-0.05
12.9.-27.9.77	21.8	19.0	2.8	0.02	5.23

Tab. 2 Eckwerte der Messungen und Berechnungen von der Allme (t = Zeitintervall, NB_t = Bestandsniederschlag während t, ET_t = Evapotranspiration während t, IP_t = Input während t, FA_t^- = minimale Feuchteänderung während t, FA_t^+ = maximale Feuchteänderung während t). Alle Werte in mm Wassersäule.

t	NB_t	ET_t	IP_t	FA_t^-	FA_t^+
6.6.-13.6.77	24.6	16.9	7.7	5.7	7.6
13.6.-20.6.77	3.7	17.1	-13.4	-41.7	-12.06
20.6.- 4.7.77	13.6	37.0	6.6	-16.8	5.1
4.7.-18.7.77	63.0	43.8	19.2	19.7	63.7
18.7.-25.7.77	1.2	24.7	-23.5	-51.5	-22.9
25.7.- 2.8.77	89.8	12.5	77.3	76.0	91.4
2.8.- 8.8.77	0.9	22.1	-21.2	-30.9	-10.2
8.8.-16.8.77	2.6	22.1	-19.5	-17.9	35.1
16.8.-22.8.77	42.6	8.8	33.8	0.3	32.5
22.8.-30.8.77	22.5	12.3	10.2	10.0	31.9
30.8.- 5.9.77	2.7	9.4	-6.7	-24.5	-8.2
5.9.-12.9.77	13.9	15.5	-1.6	1.9	30.0
12.9.-27.9.77	15.8	19.0	-3.2	-2.3	71.0

5 Diskussion

Die Berechnungen haben gezeigt, dass Modellierungen mit solchen Zeitreihen zwar möglich und in einem gewissen Rahmen sogar sinnvoll sind, doch ist die Problematik der Messperiode von einer Woche unverkennbar. Die grössten Probleme aber boten sich beim Standort Allme, da dort nicht nur die lange Dauer der Messperiode, sondern auch die Messproblematik von Interzeption (der Krone und der Streuschicht), Stammabfluss (und die damit zusammenhängende ungleichmässige Verteilung von Versickerung und Verdunstung (*P. Benecke* 1982, S. 257-260)) usw. zu berücksichtigen war resp. wäre.

Der Grund für das Scheitern des gewählten Ansatzes kann in der Methode selbst liegen. Es ist aber zu berücksichtigen, dass sie für das Freiland noch verwendbar war, im Bestand aber versagte.

Im Bestand setzt sich der Input aus viel mehr Faktoren zusammen, die alle mit Unsicherheiten und Fehlern behaftet sind. Keiner dieser Faktoren ist auf der Allme in dem für Modelle notwendigen Sinne hinreichend genau bestimmt worden! Auch die Verwendung der Evapotranspiration des Freilandes für den Wald ist falsch. Dazu kommt, dass die Verhältnisse auf kurze horizontale Distanz stark ändern, also keineswegs homogen sind. So gesehen sind die verwendeten Messwerte reine Zufallswerte, die eben auch nur zufällig zueinander passen würden.

Eine drastische Verkürzung der Messintervalle, wie sie für deterministische Modelle notwendig ist, würde sicher einiges bringen. Die Unsicherheiten bei den einzelnen Faktoren wären damit aber nicht behoben.

Das Ergebnis der Berechnungen ist also, etwas überspitzt formuliert, dass es bei so vielen Unsicherheiten und Abschätzungen naheliegt, Berechnungen auf statistischer Basis zu machen.

ZUSAMMENFASSUNG

Daten des Wasserhaushaltes auf dem Bruderholz werden nach einem einfachen numerischen Modell miteinander verknüpft. Die Daten für den Freilandstandort (Spitzenhegli) lassen sich noch einigermassen sinnvoll verknüpfen, die Daten des Waldstandortes (Allme) hingegen ergeben keine sinnvolle Verknüpfung mehr.

Es zeigt sich, dass beim Standort Allme zu den grundsätzlichen Problemen der Modellierung mit Daten aus Wochenablesungen noch die Problematik der Datenerfassung im Bestand dazukommt. Diese wird kurz diskutiert, und es wird auf weiterführende Literatur verwiesen.

RÉSUMÉ

Les données statistiques relatives aux eaux dans le quartier du Bruderholz ont pu être mis en corrélation suivant un schéma numérique simple. Les données obtenues sur l'espace de plein air (Spitzenhegli) peuvent, dans une certaine mesure encore, être considérées comme comparatives; celles

de la partie boisée (Allme) par contre ne s'y prêtent pas. Dans ce dernier cas, il s'est avéré que les séries statistiques basées sur des relevés hebdomadaires se conjuguent mal avec les données statistiques quantitatives de la masse d'eau. Ce dernier problème est exposé sommairement et on renvoie à une bibliographie critique à ce sujet.

Résumé: *H. Oeggerli*
Traduction: *P. Meyer*

LITERATUR

Benecke, P. (1982): Modellierung des Wasserhaushaltes von Ökosystemen. Beiträge zur Hydrologie, Sonderheft 4, Kirchzarten

Hoffmann, D. (1982): Bemerkungen zum Waldniederschlag im Sommerhalbjahr. Beiträge zur Hydrologie, Sonderheft 4, Kirchzarten

Mosimann, T. (1980): Boden, Wasser und Mikroklima in den Geosystemen der Löss-Sand-Mergel-Hochflächen des Bruderholzgebietes (Raum Basel). Physiogeographica H. 3, Basel

Oeggerli, H. (1984): Überprüfung und Ergänzung wasserhaushaltlicher Daten mit linearer Optimierung. Verh. d. Ges. für Ökologie 13, Göttingen, (im Druck)

Ostrowski, M.M. und *Wolf, U.* (1984): Der Einfluss der zeitlichen Untergliederung auf die Parameterschätzung in hydrologischen Modellen. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen H. 28, Koblenz

Turner, H. (1961): Die Niederschlags- und Schneeverhältnisse. Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe zum Zwecke der Hochlagenaufforstung. Teil I, Mitt. forst. Bundes-Versuchs-anst. Mariabrunn, H. 59