

## **Bodenwasserverhältnisse und Bestandesmikroklima in einem Nebental der Wupper am Westrand des Bergischen Landes**

GUIDO ASCHAN, DORIS FLESCHE, ESTHER HEIBEL und RAINER LÖSCH  
Mit 3 Abbildungen

### **Zusammenfassung:**

Im Wassereinzugsgebiet eines Mittelgebirgsbaches am Westrand des Bergischen Landes/ Nordrhein-Westfalen, Deutschland wurden während des Sommers und Herbstes 1993 Niederschläge und Bodenwassergehalte gemessen und ergänzend die potentielle Evaporation aus meteorologischen Daten berechnet. Der Bach fließt über die Wupper in den Rhein. Die monatlichen Niederschläge variierten zwischen 35 mm und 169 mm. Auf den vorwiegend mit Rotbuchen bewaldeten Hängen wurden 40% der Niederschläge als Interzeption und Stammablauf zurückgehalten. Die potentielle Evapotranspiration sank von hohen Werten im Sommer (um 100 mm/ Monat) auf 10 mm im November ab. Ein Wassereintrag in das Ökosystem war insbesondere im Herbst zu verzeichnen. Die Wasserkapazität der Hangböden (um 70 % des Trockengewichtes) lag deutlich über der der wiesenbedeckten Talauen (50 %). Die Auenböden waren weitgehend gesättigt und trugen daher nur geringfügig zu der hydrologischen Pufferkapazität des Einzugsgebietes bei. Für den Oberboden der 27 ha Hangwaldflächen, in dem ein wesentlicher Anteil der Feinwurzelbiomasse konzentriert war (500-600 g Trockengewicht/ m<sup>3</sup>), wurde näherungsweise eine durchschnittliche Wasserspeicherkapazität (Differenz zwischen durchschnittlichem aktuellen und maximal möglichem Wassergehalt) von 6500 m<sup>3</sup> (Juli) errechnet. Dies zeigt, daß auch kleine Einzugsgebiete an den Unterläufen der großen Flüsse zu deren Wasserführung durch Abpufferung der Niederschlagsmengen und damit Entlastung der Rückhaltevolumina der Flussebenen beitragen.

### **Abstract**

Precipitation and soil water storage parameters were measured during summer and fall 1993 and potential evapotranspiration was calculated from meteorological data for a watershed area at the south-western slope of the Bergisches Land/ Northrhine-Westfalia, Germany. The creek streams via the river Wupper to the Rhine river. Monthly precipitation varied between 35 mm and 169 mm. At the forested (mostly beech) hillslopes 40 % of the precipitation were retained as interception and stemflow. Evapotranspiration decreased from high values in summer (approx. 100 mm/ month) to the low one of 10 mm in November. Net water inputs to the ecosystem occurred particularly in fall. Water storage capacity of the soils at the hillslopes (around 70 % soil dry weight) was higher than that of the meadow-covered valley soils (50%). The latter were saturated during many times and did not contribute much to the hydrological buffering capacity of the watershed. It is calculated that the topsoil of the 27 ha hillslopes, where most of the fine root biomass was concentrated (500-600 g dry weight/ m<sup>3</sup>), constitutes an average water storage volume (difference between average actual and maximally possible water content) of 6500 m<sup>3</sup> (July). It is emphasized that small watersheds of the lower courses of great rivers contribute considerably to the quality of their hydrological regimes buffering the precipitation regimes and relieving the retention volumes of the floodplains.

## **Einleitung**

Die Hydrologie von Wassereinzugsgebieten und ihren Vorflutern wird nicht unwesentlich geprägt von der Wasserspeicherfähigkeit der jeweiligen Lokalitäten. Die Wasserspeise- und Retentionseigenschaften der Regionen um die Oberläufe und kleinen Kontributoren der großen Flüsse werden so wesentlich auch für den überregionalen Gebietswasserhaushalt bedeutsam. Erfassungen der lokalen Wasserkreisläufe (und anderer Stoff- sowie Energiekreisläufe) können zur Quantifizierung der Gebietswasserbilanzen und der ökosystemaren Wechselwirkungen beitragen. Zur Verdichtung des einschlägigen Informationsnetzes ist es nötig, neben den „großen“ Ökosystemstudien (ELLENBERG et al. 1978, MÜLLER & FRÄNZLE 1991), deren umfassende Konzeptmodelle in ihrer starken Verallgemeinerung von überregionaler Bedeutung sind, zumindest ansatzweise die Erfassung derartiger Stoffflüsse in einer größeren Zahl unterschiedlicher Naturräume voranzutreiben.

Die darauf abzielenden deskriptiven und experimentell-ökologischen Studien unserer Arbeitsgruppe konzentrieren sich auf das Weinsberger Bachtal (Solingen), ein Kerbtal am Westabfall des Bergischen Landes, das als repräsentativ gelten kann für diesen noch unter atlantischem Einfluß stehenden Mittelgebirgsraum. Nach grundlegender floristischer Kartierung und Charakterisierung des Gebietes mit Hilfe der ELLENBERG (1991)-Kennzahlen (HEIBEL et al., in Vorbereitung) laufen nunmehr Messungen zu den Energie- und Stoffflüssen in dem Ökosystem, von denen im Folgenden Befunde zur Hydrologie und zur mikroklimatischen Situation vorgestellt werden.

## **Untersuchungsgebiet und Methodik**

Das Weinsberger Bachtal ist ein landschaftlich reizvoller und vielseitig gegliederter Naturraum im Stadtgebiet von Solingen/ NRW, Deutschland. Der naturnah mäandrierende Weinsberger Bach, ein Zufluß der Wupper, ist umgeben von Wiesen und Feuchtgrünland (*Molinio-Arrhenatheretea*), die von Laubmischwäldern (*Luzulo-Fagetum*, *Fago-Quercetum*) auf 20-30° geneigten Talhängen umsäumt werden. Der Weinsberger Bach ist Teil des dichten, in Ost-West-Richtung verlaufenden Gewässernetzes, welches das niederschlagsreiche Ostbergische Höhenland (1000-1200 mm/Jahr), dem Reliefabfall folgend, in die Niederrheinebene entwässert.

Das ausgeglichene, atlantische Klima des Untersuchungsgebietes ist durch kühl-gemäßigte Sommer und milde Winter mit einer langjährigen Jahresmitteltemperatur von 8,9°C (STADT SOLINGEN 1979) sowie eine ganzjährig etwa gleichmäßige Niederschlagsverteilung charakterisiert. Die feuchte Luftmassen bringenden Winde

kommen vorherrschend aus westlichen bis südwestlichen Richtungen (MURL, 1989). Auf den bewaldeten Talhängen dominieren aus umgelagerten steinig-schluffigen Verwitterungslehmen entstandene Braunerden über unterdevonischen und silurischen Tonschiefern, Schiefertönen, Grauwacken und Sandsteinen. Die Sedimente wurden periglazial von feinkörnigen Lößfließerden überlagert, aus denen sich ebenfalls Braunerden entwickelt haben. Die Böden der Talauie sind als Gleye bis Naßgleye aus holozänen, schluffig-lehmigen und kiesigen Bachablagerungen über Tonschiefer zu charakterisieren (STADT SOLINGEN 1979, 1987).

Im Zeitraum von Mai bis November 1993 wurden Freiflächen- und Bestandesniederschläge (15 Regenmesser nach Hellmann, 100 cm<sup>2</sup> Auffangfläche) auf einer ausgewählten Buchenhochwaldfläche erfaßt und durch mesoklimatische Daten der nahegelegenen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes ergänzt. Aus den monatlichen Mitteltemperaturen wurde die potentielle Evapotranspiration (pET) nach THORNTHWAITE (1948) berechnet (Näherungsformel mit empirischen Koeffizienten, KELLER 1962):

$$pET = 1,6 (10t/I)^a$$

$$a = 0,92622/(2,423246 - \log I)$$

$$I = \sum (0,2(t_{Jan...Dez}))^{1,514}$$

t : monatliche Mitteltemperatur

I : „Temperaturwirksamkeit“

Die potentielle Evapotranspiration ist als diejenige Wassermenge definiert, die von einer ganz oder teilweise mit Vegetation bedeckten, unter optimaler Wasser- und Nährstoffversorgung stehenden Fläche bei ungehindertem Wassernachschub unter den gegebenen meteorologischen, bodenphysikalischen, vegetationsspezifischen und pflanzenbaulichen Randbedingungen pro Zeiteinheit maximal in die Atmosphäre transferierbar ist (vgl. SCHRÖDTER 1985).

Des weiteren wurden im Querprofil durch das Tal an insgesamt dreizehn festen Probenstellen an Nord-, Südhang und in der Aue in dreiwöchigem Abstand auf der Grundlage mehrerer Parallelproben gravimetrisch die Bodenwassergehalte bestimmt sowie ihre Veränderungen während der Untersuchungsmonate verfolgt. Aus dem Verhältnis der Masse zu ihrem Volumen im Boden errechnet sich die Dichte des Bodens (g/m<sup>3</sup>) als Quotient aus Trockengewicht und bekanntem Stechzylindervolumen.

Ergänzend wurde die Wasserkapazität des Oberbodens jeder Probenstelle in jeweils sechs Parallelproben ermittelt. Unter der Wasserkapazität (WK) eines Bodens ist die

Wassermenge verstanden, die eine Bodenprobe bis zur vollen kapillaren Sättigung aufzunehmen vermag. Zur ihrer Bestimmung wurden mittels Stechzylindern (Volumen 190 cm<sup>3</sup>) möglichst ungestörte Proben des Oberbodens entnommen, vollständig (dreitägig) aufgesättigt (Sättigungsgewicht) und anschließend getrocknet (105°C bis zur Gewichtskonstanz, Trockengewicht). Die Differenz zwischen beiden Gewichten, die maximal gegen die Schwerkraft in der Bodenprobe gehaltene Wassermenge, ist in Prozent des Bodentrockengewichtes als Wasserkapazität angegeben. Aufgrund der auf den Hängen oftmals nur sehr geringmächtigen Bodenauflage (10-20cm) über kompaktem Ausgangsgestein wurde der Boden im gesamten Untersuchungsgebiet einheitlich bis zu einer Tiefe von 20cm untersucht.

Die unterirdische Phytomasse wurde in dreiwöchigem Abstand an zehn nach dem Zufallsprinzip ausgewählten Waldstandorten auf der Grundlage von luftgetrockneten, ausgesiebten und gewaschenen Bodenproben (Stechzylindervolumen 870cm<sup>3</sup>) ermittelt.

Die wesentlichen mikroklimatischen Parameter (Nettostrahlung (Sensoren: SCHENK/A), Globalstrahlung (LAMBRECHT/D und DELTA-T/GB), photosynthetisch aktive Strahlung (SKYE/GB), Wind (LAMBRECHT/D), Temperatur (Thermoelemente, HERAEUS/D und Thermistoren, GRANT/GB), relative Luftfeuchte (VAISALA/SF)) des die Talhänge dominierenden Buchenhochwaldes wurden in einem Vertikalprofil mit 4 Meßstationen (Bodenoberfläche, Stammraum: 2m Höhe sowie zusätzlich Temperaturerfassung in 6m Höhe, Kronenraum: 14m Höhe und oberhalb der Baumkronen) minütlich erfaßt und als 15-Minuten-Mittelwert automatisch geloggt (Squirrel 1200, GRANT/GB).

## **Ergebnisse und Diskussion**

Die Freiflächenniederschläge im Untersuchungsgebiet betrugen von Anfang Juni bis November 1993 insgesamt 545 mm, bei langjährigen mittleren Jahresniederschlägen für diesen Zeitraum von ca. 495 mm (MURL 1989). Die monatlichen Niederschlagsmengen differierten erheblich zwischen den Extremen von 169 mm im Juli und 45 mm im November. Sie wichen deutlich von den langjährigen Monatsmitteln (ca. 90 mm Juli, 80 mm November, MURL 1989) ab.

Die im Bestand gemessene, als Durchlaß und Kronentrauf den Waldboden erreichende Niederschlagsmenge machte 60% des außerhalb des Bestandes gemessenen Niederschlages aus, 40% waren Interzeption und Stammabfluß. Kalkuliert man für den Stammabfluß der Buche einen Anteil von etwa 10% des Freiflächenniederschlags (BENECKE & V.D. PLOEG 1978a) ein, wurden 30% der ankommenden Nieder-

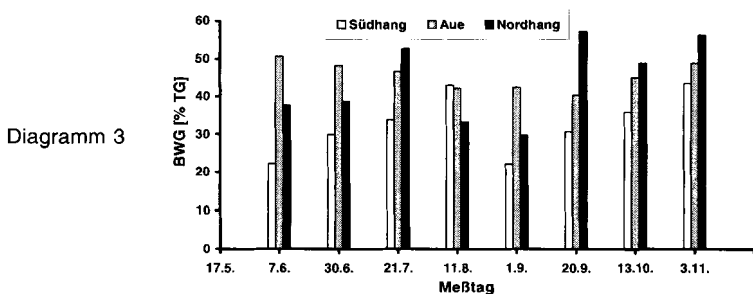
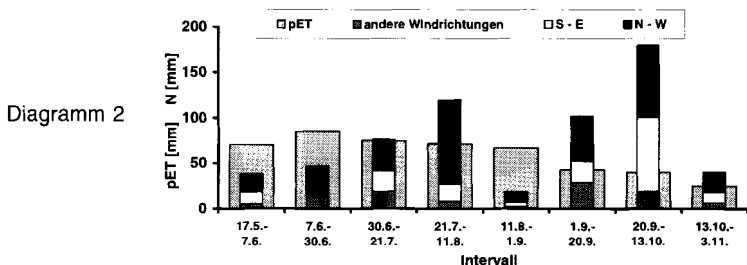
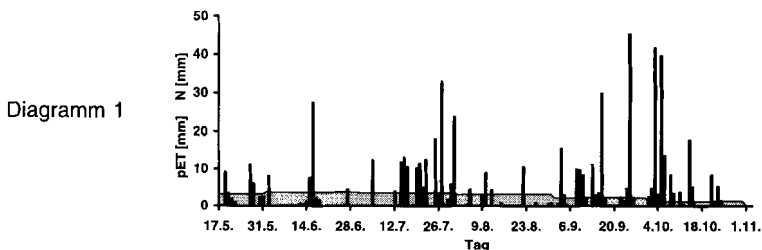
schläge über die Evaporation von der benetzten Bestandesoberfläche direkt in die Atmosphäre zurückgeführt. Die im Vergleich mit anderen einschlägigen Arbeiten (GEIGER 1961; BENECKE & V.D. PLOEG 1978b), die sich mit reinen Altbeständen beschäftigen, um etwa 30% erhöhte Interzeption ist auf die inhomogene Altersstruktur des untersuchten Hangbuchenwaldes zurückzuführen, die zu einem stockwerkartigen Bestandesaufbau und somit zu höheren Bestandesdichten und Blattflächenindices führt. 70% der Freiflächenniederschläge erreichten als „Bestandesniederschlag“ die Bodenoberfläche des Buchenwaldes und infiltrierten in den gut durchwurzelten, locker-humosen Waldboden.

Für die unverholzte, unterirdische Phytomasse des Waldes wurden Werte von 500-600g Trockengewicht/m<sup>3</sup> ermittelt, wovon die durch oberflächennahe Bodenschichten streichenden Feinwurzeln der Rotbuche den Hauptanteil stellten. Diese Werte liegen im Bereich der für andere Buchenwälder bereits beschriebenen unterirdischen Biomassen (Solling, ELLENBERG et al. 1986). Für den dort bis zu einer Tiefe von etwa einem Meter untersuchten Waldboden ergaben sich unterirdische Biomassen (Rotbuche) der Schwachwurzeln (2-5 mm Durchmesser) von durchschnittlich 460 g/m<sup>2</sup>, der Feinwurzeln (<2 mm Durchmesser) von 50 bis 250 g/m<sup>2</sup> und der krautigen Pflanzen lediglich um 5 g/m<sup>2</sup>. Dabei wurden die höchsten Wurzel-Biomassenwerte im Auflagehumus und im obersten Mineralboden erreicht.

Die Wasserkapazität der flachgründigen Braunerden der bewaldeten Hänge übertraf mit 60 bis 70% des Bodentrockengewichtes (TG) die 50%-Werte der vergleyten Auenböden deutlich. Die höhere Wasserkapazität der skelettreichen, lockeren Braunerden (Dichte 0,5-0,6 g/cm<sup>3</sup>) ist bei ähnlicher, schluffig-lehmiger Textur auf deren im Vergleich zu den verdichteten Auenböden (Dichte 0,8-0,9 g/cm<sup>3</sup>) größere Porenvolumina zurückzuführen, in denen ein höherer Anteil Bodenwasser kapillar gebunden werden kann. Zu dieser höheren Wasserkapazität der humosen Waldböden könnte darüber hinaus die durch den größeren Anteil feinverteilter organischer Substanz hervorgerufene erhöhte Menge absorptiv gebundenen Wassers beitragen. Auch FÜLLEKRUG (1971) hebt die hohe Wasserspeicherkapazität und -haltefähigkeit der Böden (Parabraunerden) verschiedener Buchenwaldgesellschaften hervor und führt diese auf den hohen Anteil an Mittelporen zurück, in denen das Wasser pflanzenverfügbar gebunden wird.

Aus den im Juli ermittelten Bodenwassergehalten von ca. 40% des TG und einer durchschnittlichen Lagerungsdichte von 600 kg/m<sup>3</sup> ergeben sich für die oberen Bodenschichten (20cm Tiefe) der 27 ha des Untersuchungsgebietes bedeckenden Hangwälder Gesamtpeichermengen des Wassers von rund 13000 m<sup>3</sup>. Bis zur Wassersättigung vermochte der Boden bei einer Wasserkapazität von etwa 60 % TG folglich noch rund 6500 m<sup>3</sup> Wasser aufzunehmen.

Die Bodenwassergehalte der Talhänge und der Aue zeigten sich in verschiedenem Maß abhängig von Niederschlägen bzw. vom Grundwasserstand. Die grundwasser-nahe Aue mit Bodenwassergehalten zwischen 80 und 100% der Wasserkapazität war stets gut mit Feuchtigkeit versorgt. Sie stand so in keiner direkten Abhängigkeit von der Wasserzufuhr durch Regen. Dagegen war der mit Werten zwischen 35 und 78 % der Wasserkapazität stark schwankende Bodenwassergehalt an den Hängen deutlich mit den zuvor gefallenen Niederschlagsmengen korreliert (Abb. 1).



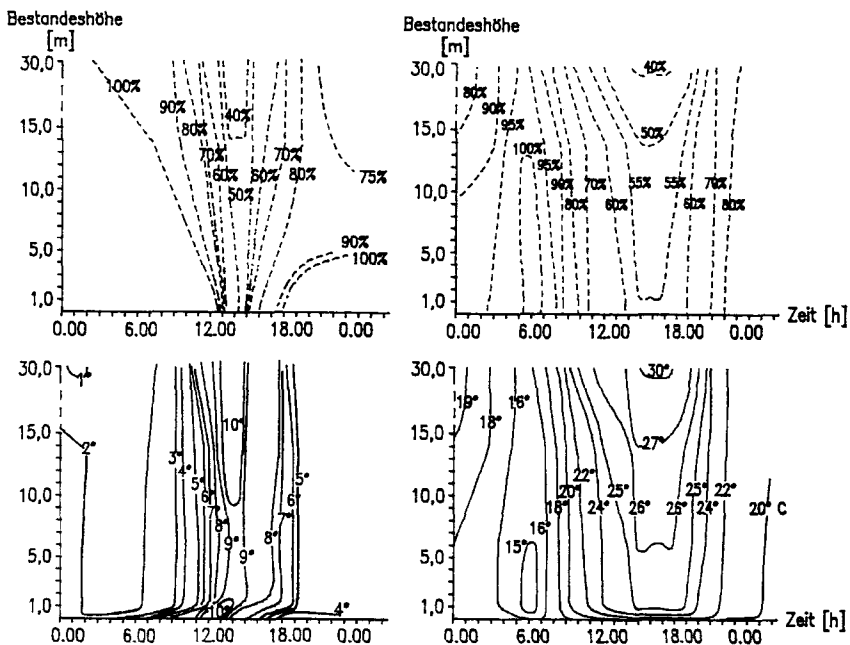
**Abb.1:** Niederschläge (N), potentielle Evapotranspiration (pET)

Diagramm 1: Tägliche Niederschläge (schwarze Säulen) und durchschnittliche tägliche potentielle Evapotranspiration (schraffierte Flächen).

Diagramm 2: Potentielle Evapotranspiration und Niederschläge mit Anteilen der vorherrschenden Hauptwindrichtungen (s. Legende) in den dreiwöchigen Meßintervallen.

Diagramm 3: Bodenwassergehalte der untersuchten Standorte (Süd- (hellgrau), Nordhang (schwarz), Aue (dunkelgrau Säulen)).

Für die nach THORNTHWAITTE berechnete potentielle Evapotranspiration (pET) ergaben sich für die dreiwöchigen Meßintervalle im Sommer Werte zwischen 70 und 85 mm, die bis zum Oktober auf 25 mm abfielen (Abb.1, Diagr.2). Die Monatswerte stimmen weitgehend mit den für vergleichbare klimatische Situationen nach PENMAN berechneten langjährigen mittleren Monatssummen der pET überein (MURL 1989). Besonders in der zweiten Augushälfte (11.8.-1.9.) wurde die Wirkung von gleichbleibend hohen potentiellen Evaporationswerten und geringen Niederschlagsmengen durch die sinkenden Bodenwassergehalte der Talhänge offenkundig. Gegen Ende des Untersuchungszeitraumes stiegen die Bodenwassergehalte wieder an, was bei lediglich geringen Niederschlagsmengen von 58 mm im vorangehenden Meßintervall auf einen Rückgang der pET auf 25 mm zurückzuführen sein dürfte.

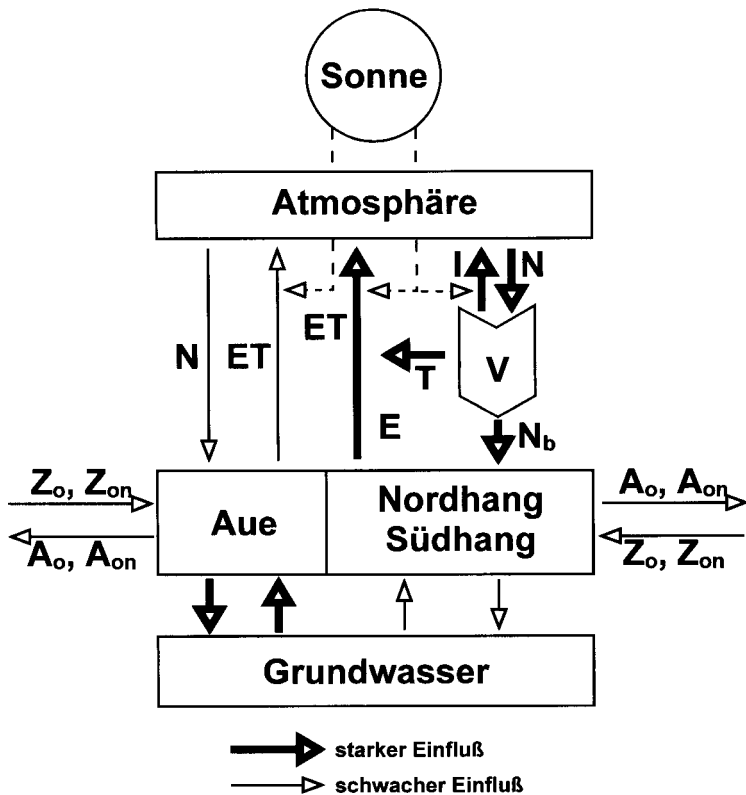


**Abb. 2:** Tagesgänge der Lufttemperatur (unten) und relativen Luftfeuchte (oben) im Buchenwald vor der Belaubung (3.04.94, links) und voll belaubt (16.07.94, rechts), dargestellt durch Isolinien.

Die Mikroklimaparameter zeigten im voll belaubten Bestand erheblich abgepufferte Werte im Vergleich mit den außerhalb meßbaren Witterungsextremen. Dabei wurde der Verlauf der Isolinien der relativen Luftfeuchtigkeit primär durch die Höhenschichtung der Lufttemperaturen bestimmt. Im tagsüber kühleren Stammraum war die Luftfeuchtigkeit hoch, im Wipfelraum niedrig (Abb. 2, rechts). Im unbelaubten

Zustand hingegen drängen die Temperatur- und Luftfeuchteextrema nahezu ungemildert tief in den Bestand ein (Abb. 2, links). Diese Verhältnisse unterstreichen die evaporationsreduzierende und damit der Austrocknung und Erosion des Oberbodens entgegenwirkende Bedeutung eines intakten Waldbestandes (GEIGER 1961, ASCHAN et al. 1994).

Der für das untersuchte Mittelgebirgstal ermittelte Wasserkreislauf wird in Anpassung an das konkrete Geländere relief in einem Konzeptmodell (Abb. 3) vereinfachend dargestellt. Diesem Modell liegt die Wasserhaushaltsgleichung (BENECKE & V.D.PLOEG, 1978a) zugrunde, die besagt, daß die Summe aller Einnahme- und Ausgabevariablen der Vorratsänderung im Ökosystem entspricht.



**Abb. 3:** Konzeptmodell des lokalen Wasserkreislaufes im Weinsberger Bachtal. V: Vegetation; N: Niederschlag; N<sub>b</sub>: Bestandesniederschlag, Summe aus Durchlaß, Kronentrauf und Stammabfluß; I: Interzeption; E: Evaporation; T: Transpiration; ET: Evapotranspiration; Z<sub>o</sub>, A<sub>o</sub>: Oberflächenzu- und abfluß; Z<sub>on</sub>, A<sub>on</sub>: oberflächennaher Zu- und Abfluß.



## Schlußfolgerung

Die Hangböden des Weinsberger Bachtals weisen im Jahresdurchschnitt deutlich niedrigere aktuelle Bodenwassergehalte auf als die weitgehend gesättigten Böden der grundwassernahen Bachau. Da am Hang die Wasserkapazität jedoch größer ist als die der Talböden, vermögen die Hänge beachtliche Niederschlagsmengen zu binden und auf diese Weise das Abflußgeschehen im niederschlagsreichen Einzugsgebiet dieses Mittelgebirgstales zu beeinflussen. Einen zusätzlichen Wert erhalten sie durch den Baumbestand mit seinen hohen Interzeptionsraten. Die Wassereinnahme auf den mit Buchenhochwald bestandenen Hängen ist bei einem Interzeptionsverlust von 30% der Niederschläge deutlich geringer als die benachbarter Freiflächen. Darüber hinaus reduziert auch die besonders bei hohen sommerlichen potentiellen Evapotranspirationswerten zu erwartende beträchtliche Bestandestranspiration des Buchenwaldes (320-370 mm/Jahr nach POLSTER 1967), die in weiteren Arbeiten quantifiziert werden wird (ASCHAN, in Vorbereitung), die aktuellen Bodenwassergehalte und trägt somit zum hohen Puffervermögen der Hangböden für Niederschläge bei. Andererseits wirkt das für einen dichten Waldbestand charakteristische Mikroklima deutlich evaporationsmindernd, was einen Schutz der locker-humosen Waldböden vor oberflächlicher Austrocknung und nachfolgender Erosion bewirkt. Das dichte Wurzelwerk der Bäume mit hohem Feinwurzelanteil der bestandsdominierenden Buchen vermindert die Abspülung des Substrates und schafft zusätzliche Makroporenvolumina, die die Wasserspeicherkapazität erhöhen und die Infiltration des Bestandesniederschlages fördern. Dieser enge Zusammenhang zwischen Bewaldung und Abflußgeschehen wurde in zahlreichen Untersuchungen belegt (BOSCH & HEWLETT 1982) und wird dann besonders deutlich, wenn durch Fehlen einer dichten höheren Vegetation dieser Bodenschutz nicht mehr gegeben ist (BAUER 1963, CASPARY 1985).

Hinreichende Wasserspeichervolumina gerade auch in den Tälern der weniger ausgedehnten Nebenflüsse im Mittel- und Unterlauf der großen Ströme können puffernd auf deren Wasserregime einwirken. Bei einem andernorts im Bergischen Land durchgeführten Vergleich der Abflußverläufe verschiedener Bäche während eines Hochwasserereignisses (PETER 1988) konnte deren deutliche Abhängigkeit von der Gestaltung des jeweiligen Einzugsgebietes eindrucksvoll dokumentiert werden. Bei einem von Grünland umgebenden Bach wurden dort höchste Abflußspenden von 145 l/s km<sup>2</sup> ermittelt, die als deutlicher Abflußscheitel ausgeprägt waren, während ein von naturnahen Hangwäldern gesäumter Bach lediglich eine verzögerte, geringfügige Abflußerhöhung (20-25 l/s km<sup>2</sup>) aufwies.

Ein solches Puffervermögen wird dann besonders bedeutsam, wenn - wie im Winter 1993/94 und 1994/95 am Rhein und seinen Nebenflüssen geschehen - bei anhalten-

dem großflächigen Niederschlag bereits die aus dem Oberlauf abrollende Flußwelle den Hauptretentionsraum des zentralen Vorfluters erfüllt. Der Wasserkreislauf auch der kleineren Einzugsgebiete am Unterlauf kann so auch für die überregionale hydrologische Situation von nicht unerheblicher Bedeutung werden.

## Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei der Stiftung zum Schutz von Tier und Natur, Solingen e.V. für die Anregung der Untersuchung und die finanzielle Unterstützung des Projektes sowie beim Deutschen Wetterdienst, Essen für die freundlicherweise zur Verfügung gestellten meteorologischen Daten herzlich bedanken.

## Literatur

- ASCHAN, G., JIMENEZ, M.S., MORALES, D. & R. LÖSCH (1994): Aspectos microclimaticos de un bosque de Laurisilva en Tenerife. - *Vieraea* 23: 125-141.
- BAUER, E. (1963): Die Wiederaufforstung der verkarsteten Gebirge Spaniens als wirksame Maßnahme zum Eindämmen von Erosion und Überschwemmungen. - *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 7: 71-83.
- BENECKE, P. & R.R. v.D. PLOEG (1978a): Wald und Wasser. I. Komponenten des Wasserhaushaltes von Waldökosystemen. - *Forstarchiv* 49: 1-7.
- BENECKE, P. & R.R. v.D. PLOEG (1978b): Wald und Wasser. II. Quantifizierung des Wasserumsatzes am Beispiel eines Buchen- und eines Fichtenaltbestandes im Solling. - *Forstarchiv* 49: 26-32.
- BOSCH, J.M. & J.D. HEWLETT (1982): A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. - *Journal of Hydrology* 55: 3-23.
- CASPARY, H.J. (1985): Auswirkungen des Waldsterbens und der Gewässerversauerung auf den Wasserhaushalt- Ein Beitrag zur Problemerkfassung. - *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 29: 145-149.
- ELLENBERG, H., MAYER, R. & J. SCHAUERMANN, Hrsg. (1986): Ökosystemforschung - Ergebnisse des Sollingprojektes: 1966-1986. - Verlag E. Ulmer, Stuttgart: 507 S.
- ELLENBERG, H. (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. - *Scripta Geobotanica* 18, Verlag E. Goltze, Göttingen.
- ELLENBERG, H., FRÄNZLE, O. & F. MÜLLER (1978): Ökosystemforschung im Hinblick auf Umweltpolitik und Entwicklungsplanung. - Bundesministerium des Inneren, Berlin: 144 S.
- FÜLLEKRUG, E. (1971): Über den Jahresgang der Bodenfeuchtigkeit in verschiedenen Buchenwaldgesellschaften der Umgebung Bad Gandersheims. - *Dissertationes Botanicae* 13, Verlag J. Cramer, Lehre: 136 S.
- GEIGER, R. (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht: ein Lehrbuch der Mikroklimatologie. - 4.Aufl., Vieweg, Braunschweig: 646 S.
- KELLER, R. (1962): Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes, eine Einführung in die Hydrogeographie. - Teubner, Leipzig: 520 S.
- MÜLLER, F. & O. FRÄNZLE (1991): Ökosystemforschung im Bereich der Böhnhöveder Seenkette: Forschungskonzept und Stand der Arbeiten.- *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 20: 95-106.
- MURL (Der Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW) Hrsg. (1989): Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen. - Düsseldorf.

- PETER, M. (1988): Zum Einfluß der Abflußkomponenten  $Q_O$ ,  $Q_I$  und  $Q_G$  auf den Stofftransport von Wasserläufen aus Einzugsgebieten verschiedener Bodennutzung in Mittelgebirgen mit speziellen hydromorphologischen Verhältnissen. - Diss. Univ. Gießen.
- POLSTER, H.: Wasserhaushalt.- In: Lyr, H., Polster, H. und H.-J. Fiedler, Hrsg. (1967), Gehölzphysiologie. - Fischer, Jena.
- SCHRÖDTER, H. (1985): Verdunstung - Anwendungsorientierte Meßverfahren und Bestimmungsmethoden. - Springer: 186 S.
- STADT SOLINGEN (1979): Strukturatlas. - Stadt Solingen, Der Oberstadtdirektor (Hrsg.), Solingen.
- STADT SOLINGEN (1987): Landschaftsplan. -Stadt Solingen, unveröffentlicht.
- THORNTHWAITE, C.W. (1948): An approach toward a rational classification of climate. - Geographical Review 38: 55-94.

**Anschriften der Verfasser:**

Dipl.-Biol. GUIDO ASCHAN, Dipl.-Biol. DORIS FLESCHE, Prof. Dr. RAINER LÖSCH, Inst. für ökologische Pflanzenphysiologie und Geobotanik, Abt. Geobotanik, Geb. 26.13 U1, H.-Heine-Universität Düsseldorf, Universitätsstr. 1, D-40225 Düsseldorf

Dipl.-Biol. ESTHER HEIBEL, Fachbereich 9 (Botanik/Pflanzenphysiologie), Universität GH Essen, D-45117 Essen

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahresberichte des Naturwissenschaftlichen Vereins Wuppertal](#)

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [49](#)

Autor(en)/Author(s): Aschan G., Heibel Esther

Artikel/Article: [Bodenwasserverhältnisse und Bestandesmikroklima in einem Nebental der Wupper am Westrand des Bergischen Landes 187-197](#)