

Bodenhydrologische Untersuchungen in der Trier-Bitburger-Mulde auf der Basis eines Lysimeter- und Bodenfeuchtemessnetzes

E. TRESSEL

Abstract

In the region of the Trier-Bitburger-Mulde (Germany) lysimeter studies are performed since 1994 for investigating the soil moisture and soil water dynamics respectively. The lysimeter is a suitable instrument for measuring percolation water rates for the unsaturated zone.

The results of a three years measurement period show that the annual amount of percolation water correlates with the amount of the annual precipitation. The variability between the amount of percolation water can be explained by the influence of the soil properties and land use. Hereby the soil properties and in particular the macropores have a striking effect on the variability of the water flows in soil.

Einführung und Problemstellung

Im Rahmen der kommunalen wasserwirtschaftlichen Planung rückt die Diskussion um eine nachhaltige Trinkwasserbewirtschaftung - v.a. durch die zunehmende Belastung des Grundwassers in landwirtschaftlich intensiv genutzten Räumen - verstärkt in den Vordergrund. In Rheinland-Pfalz erfolgt die öffentliche Wasserversorgung zu 94% aus dem Grundwasser (LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1991). Im Bemühen um eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung ist somit die langfristige Sicherung des nutzbaren Grundwasserdargebotes erforderlich. Kenntnisse über den Gebietswasserhaushalt und insbesondere die Prozessdynamik sind hierbei von großer Bedeutung.

Zur Analyse bodenwasserhaushaltlicher Prozessabläufe sowie zur Quantifizierung der Grundwasserneubildung/Sickerwassermenge stehen eine Reihe von

direkten und indirekten Methoden zur Verfügung, die sowohl im Bereich der ungesättigten, wie auch der gesättigten Bodenzone zur Anwendung kommen.

Für den Bereich der ungesättigten Bodenzone (= Sickerwasserzone) bietet das Lysimeter als definierter Bilanzierungskörper mit bekannter Größe, Bodenstruktur und Nutzungsform je nach Bauart und Instrumentierung die Möglichkeit, die Dynamik der Wasserflüsse im Boden, insbesondere die Versickerungsdynamik, in zeitlich hoher Auflösung standortspezifisch zu erfassen und zu bewerten. In Verbindung mit der zeitparallelen Gewinnung klimatologischer und bodenhydrologischer Parameter lassen sich weitere wichtige Bilanzgrößen des Wasserhaushalts (Verdunstung, Bodenspeicheränderung) quantifizieren.

Zielsetzung der hier vorgestellten Studie ist es, über lysimetrische Messungen den

Einfluss von klimatologischen, boden- und nutzungsspezifischen Eigenschaften auf den dynamischen Prozess der Sickerwasserbildung in ihrer raum-zeitlichen Variabilität aufzuzeigen und zu diskutieren.

Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet im linksrheinischen Teil des Rheinische Schiefergebirges (SW-Eifel) gelegen, umfasst einen Teil der sog. Trier-Bitburger-Mulde (vgl. *Abbildung 1*). Geologisch wird dieser Landschaftsraum im wesentlichen von den mesozoischen Schichten des Buntsandsteins, Muschelkalks und Keupers bis zum Lias geprägt. Hieraus ergibt sich für diese Region eine hohe Variabilität in der Ausbildung der Böden sowie eine vielfältige Nutzungsdifferenzierung.

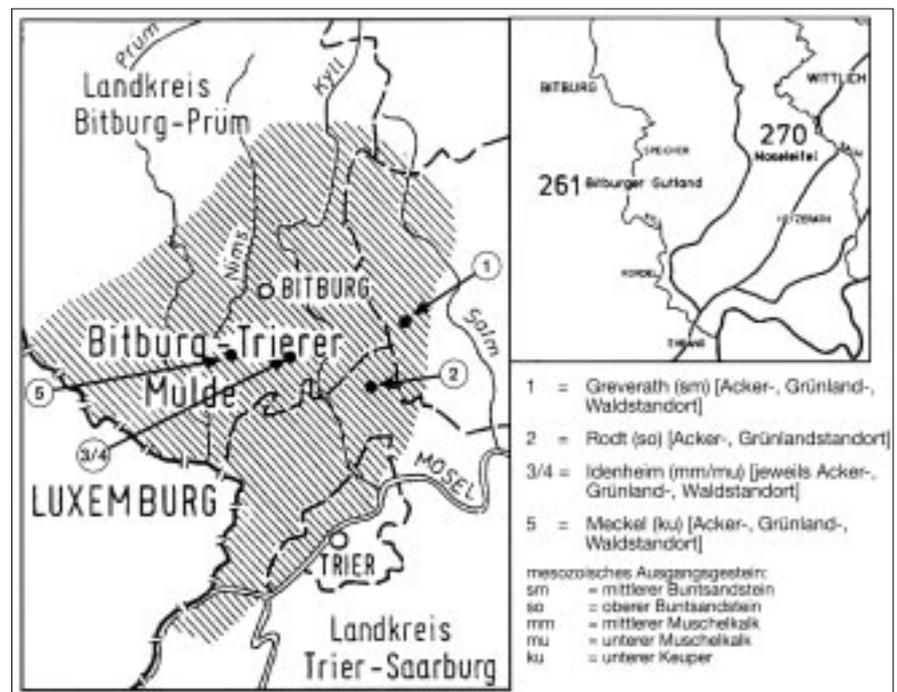


Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebietes und räumliche Verteilung des stationären Lysimeter- und Bodenfeuchtemessnetzes

Autor: Dr. Elisabeth TRESSEL, Universität Trier, Fachbereich VI, Geographie/Geowissenschaften, Fach Physische Geographie, D-54286 TRIER

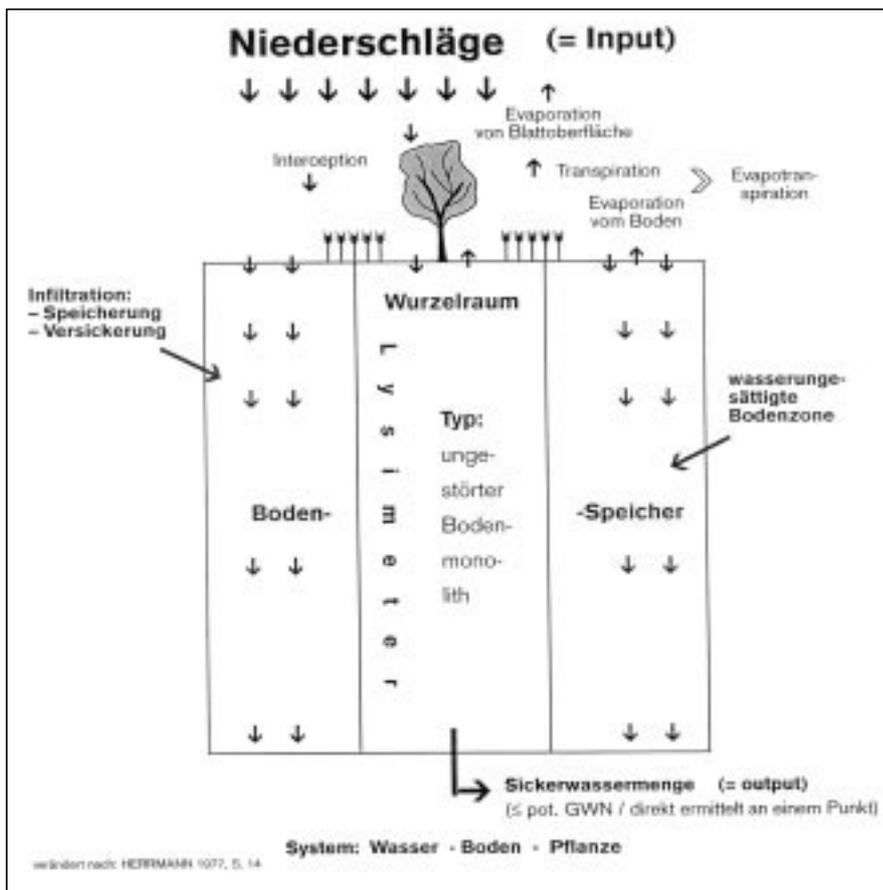


Abbildung 2: Bilanzierungskörper Lysimeter

Material und Methodik

Das stationäre Lysimeter- und Bodenfeuchtemessnetz

Mit der Zielsetzung eines Langzeit-Umweltmonitorings wurde zur Untersuchung bodenwasserhaushaltlicher Pro-

zessabläufe unter natürlichen Witterungsbedingungen sowie zur Quantifizierung der Sickerwassermengen für unterschiedliche Boden- und Nutzungseigenschaften (vgl. *Abbildung 2*) ein stationäres Lysimeter- und Bodenfeuchtemessnetz eingerichtet.

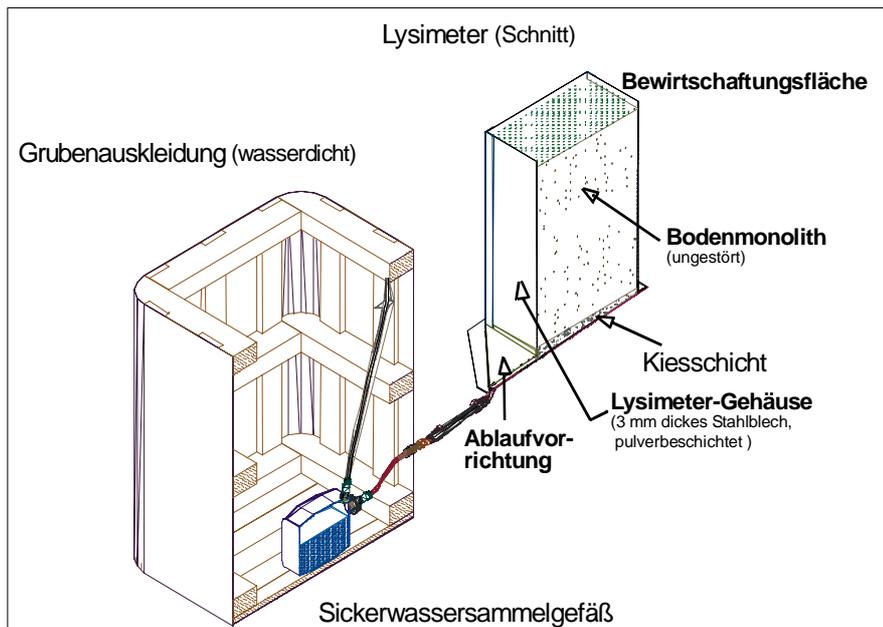


Abbildung 3: Schnitt durch den Lysimeterbehälter und die begehbare Messgrube

Technische Ausstattung, Arbeitsmethodik und Feldmessungen

Zur Beobachtung und Erfassung der Versickerungsvorgänge stehen an den Messstationen je 3 Lysimeterbehälter (Typ nicht-wägbares Lysimeter) zur Verfügung, deren Herstellung entsprechend den Bauanleitungen des DVWK (1980) erfolgte (vgl. *Abbildung 3*).

Als Baumaterial wurde ein 3 mm starkes, pulverbeschichtetes Stahlblech verwendet. Auf entsprechend ausgewählten Testflächen wurden die Bodenkörper als ungestörte Bodenmonolithe nach dem sog. „Stechringprinzip“ gezogen (vgl. *Abbildung 4*).

Die Entnahmetiefe der Monolithe richtete sich nach den jeweils spezifischen Profiltiefen (= Gründigkeitsverhältnisse) der standorttypischen Böden in der Umgebung der Messstationen. Die Bewirtschaftung der Bodenmonolithe erfolgte entsprechend der Bewirtschaftungsart der jeweils zugehörigen Testflächen (Acker, Grünland und Wald).

Zum Messprogramm gehört die wöchentliche Erfassung des Niederschlages, der Sickerwassermengen sowie der Bodenfeuchte: Der *Niederschlag* wurde als Freiland- (Acker- und Grünlandstandorte, Aufstellungshöhe 1 m ü. Grund) bzw. als Bestandsniederschlag (Wald-



Abbildung 4: Gewinnung eines Bodenmonolithen nach dem Stechringprinzip

Tabelle 1: Jahresniederschlags- und Jahressickerwassermengen der Lysimeterstationen mit Ackernutzung für die hydrologischen Jahre 1995/96 bis 1997/98

Acker-Stationen	Hydrologisches (Jahr)	Jahres-Niederschlag [mm]	Jahres-Sickerwassermenge [mm]	N/Siwa (Jahr) [%]
Greverath (sm)	95/96	594	166	28
	96/97	647	300	46
	97/98	807	376	46
Rodt (so)	95/96	619	136	22
	96/97	620	237	38
	97/98	798	251	31
Idenheim (mu)	95/96	617	149	24
	96/97	640	178	28
	97/98	793	217	27
Idenheim (mm)	95/96	613	132	22
	96/97	662	206	31
	97/98	809	276	34
Meckel (ku)	95/96	627	207	33
	96/97	707	230	32
	97/98	851	409	48

standorte) mit Niederschlagssammelgefäßen (Typ Hellmann) bzw. über Niederschlags-Totalisatoren (bodennahe Aufstellung) erfasst.

Die *niederschlagsanteilige Sickerwassermenge* wurde volumetrisch aus den Lysimeterbehältern ermittelt, die *Bodenwasserspeicheränderung* über eine gravimetrische Bodenfeuchtemessung auf den benachbarten Testflächen. Zusätzlich wurden auf allen Testflächen wichtige feldbodenkundliche und bodenphysikalische Kenndaten an Leitschürfen bis 1 m Tiefe ermittelt, die zur qualitativen/quantitativen Bewertung der Sickerwasserabläufe aus den Lysimetern und der Bodenfeuchtedynamik herangezogen wurden.

Der deskriptiven Beschreibung des komplexen Zusammenwirkens der zuvor genannten Parameter, geht eine statistische

Datenanalyse zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Lysimeterparallelen und der Stärke des funktionalen Zusammenhanges zwischen der unabhängigen Variablen *Niederschlag* und der abhängigen Variablen *Sickerwasser* mit Hilfe der Regressions- und Korrelationsanalyse voraus.

Ergebnisse und Diskussion

Im folgenden werden Ergebnisse für einen dreijährigen Messzeitraum vorgestellt. Der Schwerpunkt liegt dabei in der Analyse und Bewertung der Sickerwasserbildung als Funktion der Standorteigenschaften und der quantitativen Erfassung der Sickerwassermengen über die Lysimetrie.

In der tabellarischen Übersicht (*Tabelle 1*) sind die Jahressummenwerte der Sickerwassermengen den entsprechenden

Jahressummenwerten der Niederschlagsmengen für die Ackerlysimeter im Untersuchungsgebiet einander gegenübergestellt. Dabei lässt zunächst der jeweils *stationsbezogene* Vergleich zwischen den beiden Parametern Niederschlag und Sickerwasser offensichtlich eine mengenmäßige Abhängigkeit der Höhe der Jahressickerwassermengen von den entsprechenden Jahresniederschlagsmengen erkennen: Ansteigende Niederschlagsmengen bedingen ansteigende Sickerwassermengen und umgekehrt.

Gleichzeitig macht der Vergleich der hydrologischen Jahre untereinander aber auch deutlich, dass - obwohl nur geringfügige Abweichungen zwischen den Niederschlagsmengen eines Jahres bestehen - z.T. erhebliche Unterschiede zwischen den Sickerwassermengen der einzelnen Stationen auftreten. Dies deutet darauf hin, dass neben der Bilanzgröße Niederschlag offensichtlich weitere Einflussgrößen in die standortgebundene Sickerwasserbildung eingreifen.

Mit Hilfe einer statistischen Datenanalyse (Regressions- und Korrelationsverfahren) wurde die Stärke des statistischen Zusammenhanges zwischen der einfachen Beziehung Jahresniederschlags-/Jahressickerwassermenge für bestimmte Stationskonstellationen wie z.B. gleiche Bewirtschaftungsart und unterschiedliche Bodeneigenschaften bzw. gleiche Bewirtschaftungsart und vergleichbare Bodeneigenschaften überprüft. Dabei zeigen die Ergebnisse für die Lysimeter im Untersuchungsgebiet mit gleicher Bewirtschaftungsart (hier Ackernutzung) aber hoher Bodenvariabilität (vgl. *Abbildung 5*, links) eine mittlere Korrelation ($r = 0,77$; $\alpha = 0,001$;

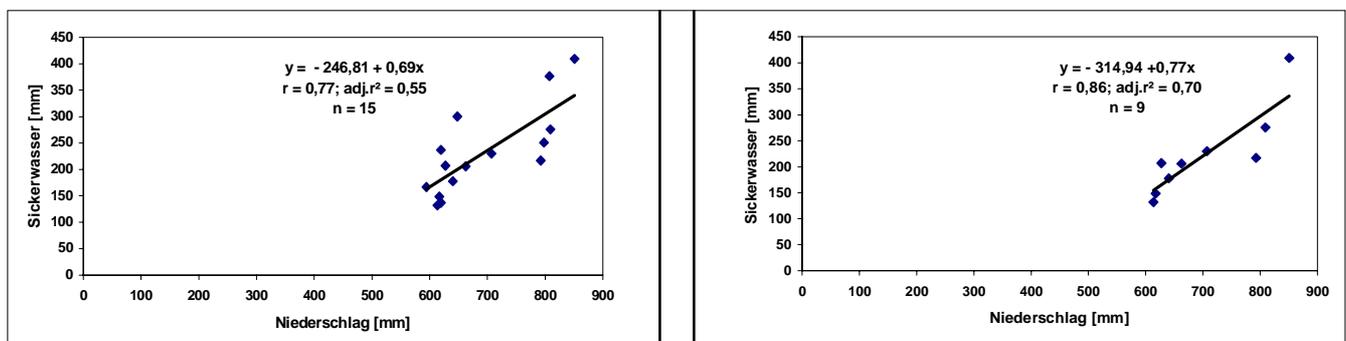


Abbildung 5: Abhängigkeiten zwischen den Jahressummenwerten von Niederschlag und Sickerwasser aller Ackerstationen des Lysimetermessnetzes mit unterschiedlichen Bodeneigenschaften (Figur links) und der Ackerstationen mit vergleichbaren Bodeneigenschaften (Figur rechts) im Zeitraum 1.4.1995 bis 31.3.1998

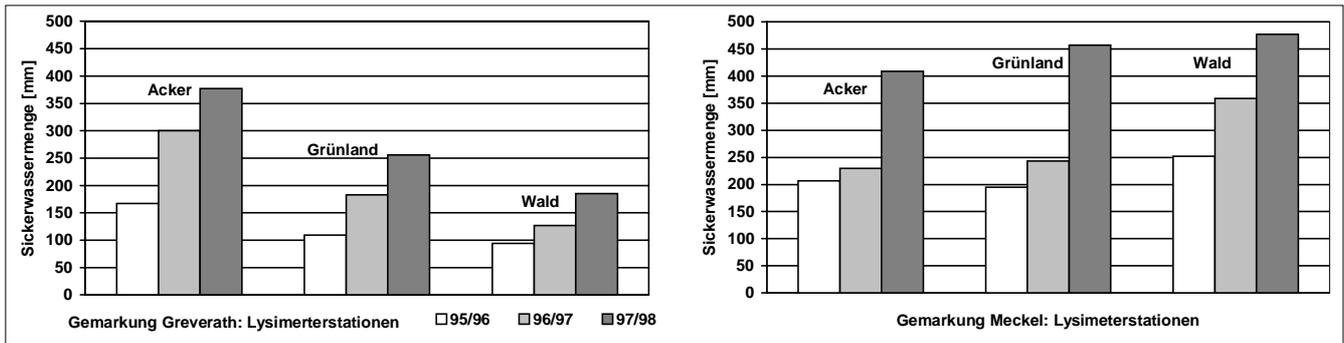


Abbildung 6: Jahressickerwassermengen der unterschiedlich bewirtschafteten Lysimeter (Acker, Grünland, Wald) links: Gemarkung Greverath, rechts: Gemarkung: Meckel

$n = 15$) zwischen Sickerwassermenge und Niederschlagshöhe.

Unterzieht man demgegenüber alle Acker-Lysimeter, deren Bodeneigenschaften sich nur geringfügig voneinander unterscheiden (vgl. Abbildung 5, rechts), einer solchen statistischen Analyse, so zeigt sich, dass die Sickerwassermenge wesentlich stärker mit der Niederschlagshöhe korreliert ($r = 0,86$; $\alpha = 0,003$; $n = 9$). Die Unterschiede zwischen diesen Korrelationsergebnissen bringen bereits zum Ausdruck, dass neben der Bilanzgröße *Niederschlag* die Bodeneigenschaften als weitere Einflussgröße in die standortgebundene Sickerwasserbildung eingreifen (vgl. hierzu auch OLBRISCH 1975, PROKSCH 1990 und TRESSEL 2000).

Daneben wird die Versickerungswirksamkeit der Niederschläge in den Bodenmonolithen auch durch die Nutzungsart (Acker, Grünland, Wald) in unterschiedlichster Weise gesteuert (vgl. Abbildung 6).

Während in der Gemarkung *Greverath*, auf den vorwiegend *sandigeren Böden*, die Sickerwassermengen mit zunehmender Bodenbedeckung bei vergleichbarer Witterung abnehmen, führt die unterschiedliche Bewirtschaftung der Lysimeter in der Gemarkung *Meckel*, mit überwiegend *tonig-lehmigen Böden*, offensichtlich nicht zu einer deutlichen mengenmäßigen Differenzierung bei der Sickerwasserbildung. An diesen drei Stationen bestimmen die Bodeneigenschaften

vornehmlich die Sickerwasserbildung. Über die Ergebnisse der standörtlichen Bodenuntersuchungen konnte an den Lysimeterstationen *Meckel* insbesondere die Bedeutung der sekundären Grobporen (Wurmgänge, Wurzelbahnen, Schrumpfrisse etc.), mit ihren z.T. großen Durchmessern und einer guten Kontinuität untereinander, für die Sickerwasserdynamik festgestellt werden. Dieser Makroporeneffekt trägt in den tonig-lehmigen Böden zu einer wesentlichen Verbesserung der Wasserwegsamkeit bei, wie sie ansonsten nur über das Primärporensystem bei Sandböden erreicht wird (vgl. BEVEN und GERMAN 1982). Die allgemeine Lehrmeinung, dass mit zunehmender Bindigkeit der

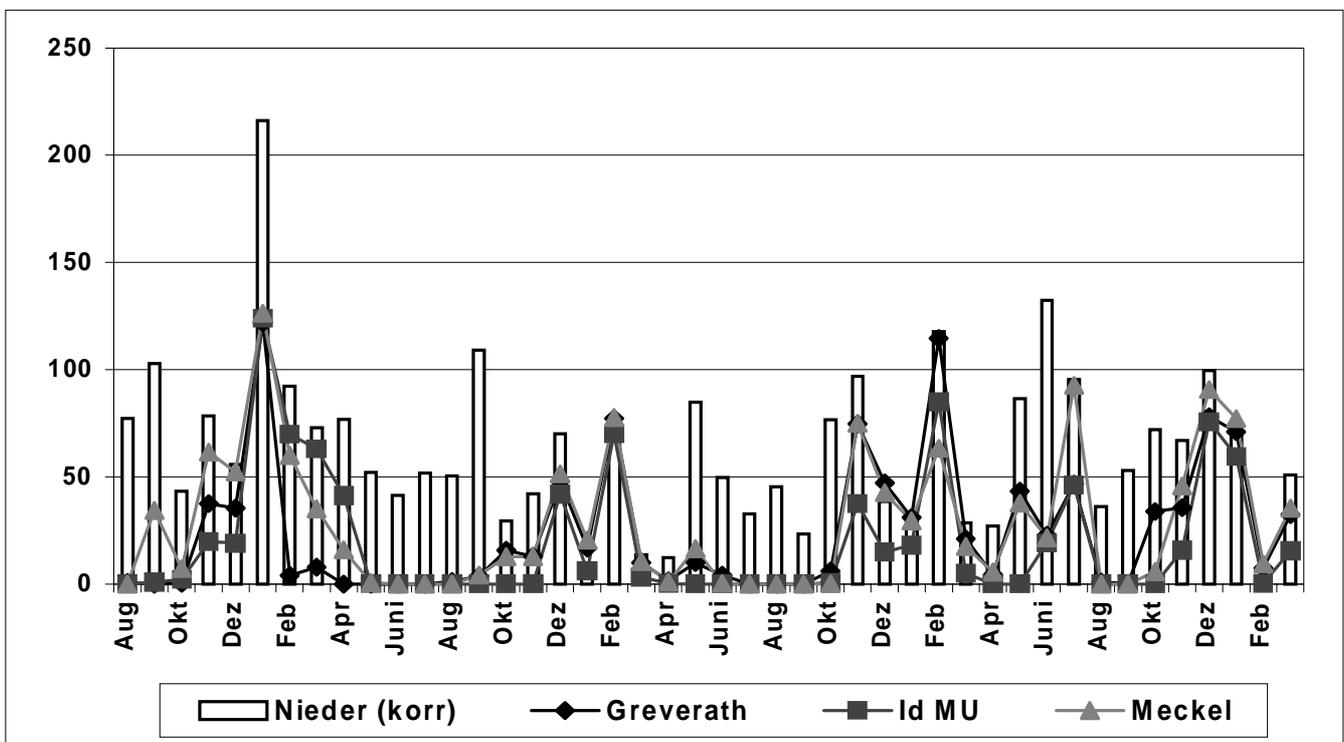


Abbildung 7: Niederschlags- und Sickerwassermengen im jahreszeitlichen Verlauf für den Betrachtungszeitraum August 1994 bis März 1998

Böden eine Verringerung der Sickerwasserbildung einhergeht (vgl. SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1989 und BLUME 1990) kann durch die langjährigen Lysimetermessungen nicht uneingeschränkt bestätigt werden (vgl. TRESSEL 2000).

Die Versickerungswirksamkeit der Niederschläge, die schon wie oben gezeigt ganz wesentlich über die Standorteigenschaften Boden und Bewirtschaftungsart gesteuert werden, lässt sich über zeitlich höher aufgelöste Datenreihen von Niederschlags- und Sickerwassermenge wesentlich besser bewerten. Am Beispiel dreier ausgewählter Ackerlysimeter mit unterschiedlichen Bodeneigenschaften kann gezeigt werden, dass der Jahresgang der Sickerwasserbildung einen überwiegend zeitparallelen Verlauf aufweist (vgl. *Abbildung 7*). Unter Berücksichtigung der im Untersuchungsgebiet zeitgleich erfassten Niederschlagsmengen ergeben sich jedoch Abweichungen zwischen den auf Monatssummenwerten dargestellten Sickerwassermengen der Lysimeter mit gleicher Bewirtschaftungsart. Diese Unterschiede in den Sickerwassermengen belegen die unterschiedliche Versickerungswirksamkeit der Niederschläge zwischen den hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahren.

Während die Winterhalbjahre an allen Lysimeterstationen - erwartungsgemäß - als versickerungswirksamste Zeit zu charakterisieren sind, stehen die während der Vegetationsperiode in den Boden eingetragenen Niederschlagsmengen nur zu einem sehr geringen Anteil für die Sickerwasserbildung zur Verfügung. Häufig setzt während der Sommermonate die Sickerwasserbildung sogar völlig aus (vgl. *Abbildung 7*). Somit bieten zeitlich höher aufgelöste Datenreihen die Möglichkeit, die Auswirkungen der spezifischen Standorteigenschaften auf den jahreszeitlichen Verlauf der Versickerungsdynamik qualitativ zu bewerten.

Der direkte Vergleich zwischen diesen Stationen mit gleicher Nutzungsart lässt auf der Basis der Wochenwerte folgendes erkennen:

- ① ein zeitlich unterschiedliches Reaktionsvermögen der Sickerwasserbildung auf die Niederschlagsereignisse
- ② eine mengenmäßig unterschiedliche Sickerwasserabgabe der Lysimeter mit gleicher Nutzungsart

Die Variabilität der Sickerwassermengen spiegelt - da hier Stationen mit gleicher Nutzungsart dargestellt sind - die unterschiedlichen Bodenverhältnisse und deren unterschiedliche Einflussnahme auf die dynamischen Abläufe im Bodenspeicher wider.

Die Ergebnisse der zeitgleich zu den Sickerwassermengen ermittelten wöchentlichen Bodenfeuchtegehalte lassen für den Feuchtegang (als Zeit-Tiefen-Funktion) in Abhängigkeit der zeitlichen und mengenmäßigen Verteilung der Niederschläge für die Ackerstandorte u.a. folgende Erkenntnisse zu (vgl. auch TRESSEL 2000):

- ① An allen Ackerstandorten lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Witterungsverlauf und der zeitlichen Entwicklung der Feuchteverhältnisse im Bodenspeicher feststellen.
- ② Die raum-zeitlich stark voneinander abweichenden Bodenspeicherverhältnisse spiegeln die unterschiedliche Bodencharakteristik wider. Unterschiede ergeben sich vor allem im zeitlichen Verlauf von Speicheraufbrauch und Speichergängigkeit.
- ③ Die Unterschiede zwischen den Feuchteverhältnissen der Ackerstandorte, v.a. während der Sommerhalbjahre, belegen den Einfluss des Bodens auch auf den Grad der Feuchteaufzehrung im Bodenspeicher.

Schlussfolgerungen

Die standortspezifischen Ergebnisse bestätigen die Möglichkeit, mit Hilfe der Lysimetertechnik - ergänzt durch Bodenfeuchtemessungen - systematisch und standortspezifisch den Prozess der niederschlagsanteiligen Sickerwasserbildung für den wasserungesättigten Bodenbereich zu untersuchen. Die Auswertung der zeitparallelen Messungen von Niederschlag, Sickerwasser und Bodenfeuchte in zeitlich unterschiedlich hoher Auflösung erlaubt, Schlüsse über den komplexen Zusammenhang zwischen der Versickerungsleistung der Bodenkörper und dem Niederschlagseintrag in Abhängigkeit von den standortspezifischen Boden- und Nutzungseigenschaften zu erfassen und zu bewerten (vgl. *Abbildung 2*). Gleiches gilt für die Bewertung des innerjährlichen Feuchteanges (als Zeit-Tiefen-Funktion). Aus diesen intensiven Standortanalysen konnte insgesamt der Nachweis erbracht wer-

den, dass sowohl die Sickerwasserbildung als auch die Bodenspeicheränderung einer hohen raum-zeitlichen Variabilität unterliegen. Diese ist jedoch nicht ausschließlich als Funktion der zeitlichen und mengenmäßigen Verteilung der Jahresniederschlagsmenge zu erklären. Vielmehr konnte mit den Ergebnissen dokumentiert werden, dass der standortspezifische Nutzungs- und Bodeneinfluss den Niederschlagseinfluss - je nach jahreszeitlicher Betrachtung - mindern bzw. sogar überlagern können. Die Bedeutung der Makroporosität des Bodens für die bodenhydrologische Prozessdynamik bindiger Böden konnte durch die lysimetrischen Feldversuche deutlich herausgestellt werden (vgl. TRESSEL 2000).

Bedingt durch die geringe Anzahl der Feldlysimeter, vor allem aber wegen ihrer Lage in der Ebene, lassen sich jedoch keine flächendifferenzierten Aussagen für das im Mittelgebirge gelegene Untersuchungsgebiet der Trier-Bitburger-Mulde ableiten.

Literatur

- BEVEN, K. und P. GERMAN, 1982: Macropores and Water Flow in Soils. - *Water Resources Research* 18, H. 5, 1311-1325
- BLUME, H.-P., 1990: Handbuch des Bodenschutzes: Bodenökologie und Bodenbelastung; vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Landsberg
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V. (DVWK) (Hrsg.), 1980: Empfehlungen zum Bau und Betrieb von Lysimetern, DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft 114, Bonn
- LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.), 1991: Merkblatt zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit, Mainz
- OLBRISCH, H.-D., 1975: Beitrag zur Methodik der Datenanalyse bei Lysimeteruntersuchungen, Veröffentlichungen des Instituts für Wasserforschung GmbH Dortmund und der Hydrologischen Abteilung der Dortmunder Stadtwerke AG 22, Dortmund
- PROKSCH, W., 1990: Lysimeterauswertungen zur flächendifferenzierten Ermittlung mittlerer Grundwasserneubildungsraten, Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch 55, Koblenz
- SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL, 1989: Lehrbuch der Bodenkunde. 12. Aufl., Stuttgart
- TRESSEL, E., 2000: Bodenwasserhaushalt in der Trier-Bitburger-Mulde. Fallstudien auf der Basis eines Lysimeter- und Bodenfeuchtemessnetzes und Regionalisierung der Jahressickerwassermengen mit einem Geographischen Informationssystem, unveröffentlichte Dissertation an der Universität Trier, Trier

