

# Flächendifferenzierte Berechnung der Jahressickerwassermenge aus der ungesättigten Bodenzone im Bereich der Trier-Bitburger-Mulde mit einem GIS

E. TRESSEL

## Abstract

In the region of the Trier-Bitburger-Mulde (western part of the Eifel, Germany) investigations of the soil water balance has been undertaken since 1994. Based on these investigations the spatio-temporal variation of the amount of annual percolation water are determined using different approaches (direct and indirect methods).

In this paper results of the gis-based calculation of the amount of percolation water on the basis of two different numerical models are presented. The results show that the percolation water dynamics is influenced by complex interactions between the special regional climatic conditions, soil properties, landuse patterns and topography.

The suitability of the two applied models for calculating the amount of percolation water for low mountain ranges is evaluated. In both models the parameter topography (especially slope and aspect) and its impact on the soil water dynamics is not considered sufficiently. Thus the development of a special soil water model for low mountain regions is currently in progress.

## 1. Einführung und Problemstellung

Im Bereich der Trier-Bitburger-Mulde (W-Eifel, Deutschland) werden seit 1994 bodenwasserhaushaltliche Untersuchungen durchgeführt, auf deren Grundlage der Gebietswasserhaushalt, insbesondere die raumzeitliche Variation der Jahressickerwassermengen mit unterschiedlichen Verfahren bestimmt wird. In dem hier vorgelegten Beitrag werden Ergebnisse der flächendifferenzierten Berechnung der Sickerwassermengen auf der

Basis zweier Bodenwasserhaushaltsmodelle (NIBIS-Verfahren, vgl. MÜLLER et al. 1992 und RENGER-Verfahren, vgl. RENGER et al. 1990) vorgestellt. Anhand dieser Ergebnisse werden Aussagen bezüglich des komplexen Wirkungsgefüges zwischen den gebietspezifischen Parametern des Wasserhaushalts diskutiert sowie eine Bewertung der beiden Modellansätze hinsichtlich ihrer Tauglichkeit für eine gebietsspezifische Berechnung der Sickerwassermengen in Mittelgebirgslandschaften vorgenommen.

## 2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst eine Fläche von 79 km<sup>2</sup> und liegt im linksrheinischen Teil des Rheinischen Schiefergebirges (W-Eifel). Sowohl in triassischen als auch jurassischen Sedimenten angelegte Schichtstufen kennzeichnen die Geologie und das Relief des Untersuchungsraumes, woraus sich eine hohe räumliche Variabilität der Bodenarten, der Reliefverhältnisse sowie eine vielfältige Nutzungsdifferenzierung ergibt.

## 3. Methodischer Ansatz

Die hier durchgeführten Berechnungen der jährlichen Sickerwassermengen aus der ungesättigten Bodenzone beruhen auf *klimatologischen*, *boden-*, *nutzungssowie geländespezifischen* Parametern, die Eingang in empirisch ermittelte nutzungsabhängige Regressionsgleichungen nach NIBIS (1992) finden. Dieser Berechnungsansatz unterscheidet sich von dem von RENGER et al. (1990) entwickelten Ansatz lediglich durch die zusätzliche Berücksichtigung der Reliefparameter (mit einem Gültigkeitsbereich bis 10° Hangneigung). Die den Boden-

wasserhaushalt beeinflussenden Kenndaten wurden zunächst als Punktinformationen auf der Fläche des Untersuchungsgebietes über unterschiedliche Arbeitsansätze (direkte und indirekte Methoden) ermittelt und anschließend auf die Fläche extrapoliert.

## 3.1 Datengewinnung / Datenverarbeitung

### Klimatologische Kennwerte: Niederschlag und potentielle Evapotranspiration (ET<sub>pot<sub>Haude</sub></sub>)

Die zu Halbjahres- (hydrol. Sommerhalbjahr  $N_{so}$ , hydrol. Winterhalbjahr  $N_{wi}$ ) und Jahressummen (N) zusammengefassten *Niederschlagsdaten* stammen von den im Bereich des Untersuchungsgebietes gelegenen amtlichen (DWD) sowie projekteigenen Messstationen. Die Regionalisierung erfolgte über die THIESSEN-Polygonmethode für jeweils abgeschlossene hydrologische Jahre (1.4.-31.3.).

Für die gebietsspezifische Berechnung der *potentiellen Evapotranspiration (HAUDE)* lagen die notwendigen Basisdaten nur an einer Klimastation vor. Der stationsbezogene errechnete Jahressummenwert wurde als konstanter Gebietsmittelwert auf die Fläche übertragen.

### Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)

Die räumliche Variabilität der Bodeneigenschaften wurde anhand eines Bohrpunktnetzes von ca. 5.500 Bohrpunkten (Bohrstockkartierungen, finanzamtliche Bodenschätzungsdaten) ermittelt. Hierüber erfolgte zunächst punktbezogen die Ableitung des Kennwertes *nFKWe* und anschließend mittels Interpolation die Übertragung der Punktinformationen auf die Fläche.

**Autor:** Dr. Elisabeth TRESSEL, Universität Trier, FB VI Geographie und Geowissenschaften, Physikalische Geographie, D-54286 TRIER

Formel: Sickerwassermenge =  $F_1 * N_{Wi} + F_2 * N_{So} - F_3 * \log(nFKWe) - F_4 * ET_{pot_{Haude}} + F_5$  (+/- Reliefkorrektur)

## Nutzung

Die gebietsspezifische Nutzungsvielfalt wurde mit Hilfe einer Landnutzungs-klassifikation von Landsat-5 TM Daten ausgewiesen. Als Berechnungsgrundlage für die Regionalisierung der Sickerwassermengen erfolgte eine Klassifizierung der Nutzungsarten in die Klassen Acker, Grünland, Laub- und Nadelwald.

## Relief

Die gebietsspezifische Differenzierung der Reliefparameter *Hangneigung* und *Hangexposition* erfolgte aus dem Digitalen Geländemodell (40 m Auflösung). Die flächendifferenzierte Ausweisung der unterschiedlichen *Hangpositionen* wurde manuell durchgeführt.

## 3.2 Berechnung der Sickerwassermengen

Die GIS-basierte Regionalisierung der Jahressickerwassermenge wurde rasterbasiert (Auflösung 30 x 30 m) über nutzungabhängige Regressionsgleichungen (vgl. MÜLLER et al. 1992) durchgeführt (siehe Formel oben).

Die Regressionsgleichungen für die vier Hauptnutzungsarten Acker, Grünland, Laub- und Nadelwald unterscheiden sich durch unterschiedliche Faktoren ( $F_n$ ). Reliefabhängig erfolgt eine Korrektur der berechneten Sickerwassermengen durch entsprechende Zu- und Abschläge.

## 4. Ergebnisse und Diskussion

Die für insgesamt vier hydrologische Jahre flächendifferenziert berechneten Jahresergebnisse lassen einen engen Zusammenhang zwischen den Jahressummen der Niederschläge und den Sicker-

wassermengen erkennen. Im räumlichen Verteilungsmuster der klassifizierten Jahressickerwassermengen spiegelt sich - gleiche hydrologische Jahre zugrunde gelegt - v.a. die unterschiedliche Gewichtung des Gebietsniederschlags in den ausgewiesenen Niederschlags-Polygonflächen wider. Die räumliche Variabilität der Sickerwassermengen lässt sich jedoch nicht ausschließlich aus den räumlichen Abweichungen zwischen den im Untersuchungsgebiet erfassten Niederschlagsmengen erklären. Bezieht man die klassifizierte Landnutzung mit in die Bewertung des Verteilungsmusters der Sickerwassermengen ein, so wird der Einfluss der unterschiedlichen Nutzungsarten auf die Sickerwasserbildung deutlich (vgl. *Abbildung 1*): Die höchsten Sickerwassermengen treten i.d.R. unter Ackernutzung auf. Deutlich niedriger fallen dagegen die Sickerwassermengen unter Grünland- und Waldnutzung aus. Dies zeigt, dass mit zunehmendem Bedeckungsgrad die Sickerwasserbildung gedämpft wird; ein Ergebnis, das durch Lysimetermessungen im Untersuchungsgebiet weitgehend bestätigt wird (TRESSEL 2000).

Unter Zuhilfenahme der flächendifferenzierten Karte der *nFKWe* lässt sich in der räumlichen Variabilität der Sickerwassermengen im Untersuchungsgebiet zudem eine Abhängigkeit der Sickerwasserbildung von diesem bodenhydrologischen Kennwert ableiten (vgl. TRESSEL 2000). Diese funktionale Beziehung wird besonders deutlich, stellt man für Flächen gleicher Nutzungsart die Berechnungsergebnisse einander gegenüber.

Die vergleichende Gegenüberstellung der über die beiden unterschiedlichen Modellansätze errechneten Prozentan-

teile der klassifizierten Sickerwassermengen (Zeitraum: 1994/95 bis 1997/98; vgl. *Abbildung 1*) lässt zudem auch den Einfluss des Reliefs auf die Sickerwasserbildung erkennen. Dies wird durch die unterschiedliche Klassenbelegung der beiden Berechnungsergebnisse nach RENGGER et al. (1990) und NIBIS (1992) deutlich.

Am Beispiel einiger für ausgewählte Standorte berechneter Sickerwassermengen wird - jeweils vergleichbare Hangneigungsverhältnisse vorausgesetzt - in *Tabelle 1* der Einfluss der Reliefverhältnisse (insbesondere Expositionsverhältnisse) in Verbindung mit den jeweiligen Bodeneigenschaften und Nutzungsarten auf die Sickerwasserbildung dokumentiert.

Deutlich hervorgehoben ist die Minderung der Sickerwassermenge auf Hangstandorten in Südexposition gegenüber einem Anstieg der Sickerwassermenge auf Hangstandorten in Nordexposition. Dabei zeigen sich - vergleichbare Niederschlagsverhältnisse vorausgesetzt - nicht nur reliefbedingte Unterschiede in Verbindung mit unterschiedlichen Nutzungsarten in den Jahressickerwassermengen. Selbst in den Berechnungsergebnissen für gleiche Nutzungsarten treten mengenmäßige Abweichungen auf, wodurch wiederum der bereits oben angesprochene Einfluss der Bodeneigenschaften auf die Sickerwasserbildung bestätigt wird.

## 5. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass über die der Regionalisierung zugrunde liegenden nutzungsspezifischen Regressionsmodelle nach RENGGER et al. (1990) und NIBIS (1992) die Witterungsabhängigkeit der Sickerwasserbildung (vergleich-

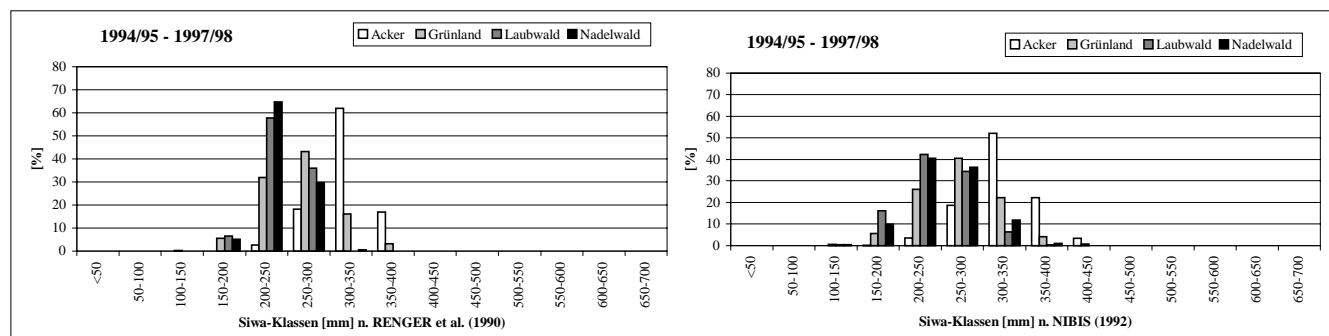


Abbildung 1: Prozentanteile der klassifizierten Sickerwassermengen nach Nutzungseinheiten nach RENGGER et al. (1990) links und nach NIBIS (1992)

**Tabelle 1: Jahressickerwassermengen [mm] als Funktion der Gebietseigenschaften (\*unvollständiger Datensatz)**

Vergleich punktbezogener Berechnungsergebnisse nach RENGER et al. (1990) und NIBIS (1992) unter Zugrundelegung jeweils gleicher *Nutzungsarten* (Acker bzw. Wald) aber unterschiedlicher *Reliefpositionen* NH / SH, unterschiedlicher *Bodeneigenschaften* (*nFKWe*) und unterschiedlicher *geologischer Ausgangsbedingungen*:  
 - ohne Berücksichtigung der Reliefverhältnisse (= Spalte: RENGER)  
 - sowie reliefkorrigierte Werte nach Hangneigungs- u. Expositionsverhältnissen (= Spalte: NIBIS 1992);  
 NH = Nordhang, SH = Südhang

Nutzung:	Acker			Acker			Wald			Wald		
Geologie: nFKWe:	so (Oberer Buntsandstein) 50 mm			mu (Unterer Muschelkalk) 90 mm			mm (Mittlerer Muschelkalk) 70 mm			ku (Unterer Keuper) 130 mm		
Hangposition Jahr	Renger	NIBIS (NH)	NIBIS (SH)	Renger	NIBIS (NH)	NIBIS (SH)	Renger	NIBIS (NH)	NIBIS (SH)	Renger	NIBIS (NH)	NIBIS (SH)
1994/95	551,6	591,6		512,5	487,5	537,0		487,0	*438,7	478,7		
1995/96	206,2	246,2		167,1	142,1	88,6		38,6	117,8	157,8		
1996/97	259,8	299,8		220,8	195,8	130,2		80,2	180,6	220,0		
1997/98	335,6	375,6		296,6	271,6	256,0		206,0	291,3	331,3		

bar mit den Ergebnissen der Lysimeteruntersuchungen) gut wiedergegeben wird. Darüber hinaus wird in den regionalisierten Ergebnissen die raumzeitliche Variabilität des Niederschlagsinflusses nutzungs- und bodenspezifisch zusätzlich modifiziert.

Zusammengefasst lässt sich dies wie folgt belegen: Die höchsten Sickerwassermengen treten im Untersuchungsgebiet offensichtlich in der Konstellation *Ackernutzung, geringe nFKWe* (diese liegt bei fast 80% der Ackerböden zwischen 40 und 100 mm) und *Flachgründigkeit* (flachgründige Kuppen, Rücken und Oberhänge) auf. Diese Standortqualitäten weisen wesentlich günstigere Versickerungsverhältnisse auf, im Vergleich zu Flächen unter Grünland- bzw. Waldnutzung mit einer höheren *nFKWe* und meist deutlich tiefgründigeren Böden bei ganzjährig wesentlich höheren Bedekungsgraden.

Aus den rasterbasierten Berechnungsergebnissen der Sickerwassermengen eines Gebietes mit bestimmter Reliefkonstellation (Hangneigung, Hangexposition) kann über das NIBIS-Verfahren - im Gegensatz zu Bodenwasserhaushaltsmodellen, die im wesentlichen die Sickerwassermengen für Standorte in ebener Lage ableiten (z.B. RENGER et al. (1990) - insbesondere der Einfluss der Expositionsverhältnisse auf die Sickerwasserbildung herausgestellt werden.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass an Nordhängen günstigere Bodenwasserhaushaltsbedingungen herrschen, die die Sickerwasserbildung positiv beeinflussen, während an den südexponierten Standorten eine Verringerung der Versickerungsleistung als Folge verstärkter Verdunstung feststellbar ist. Dies wiederum lässt den Schluss zu, dass über die Expositionsabhängigkeit die Sickerwassermenge eines Standortes ebenso als eine Funktion der realen Evapotranspiration beschrieben werden kann.

Da jedoch auch im NIBIS-Verfahren - wie aus den Berechnungsvorgaben (1992) ersichtlich - die Berücksichtigung der Reliefverhältnisse in den Regressionsgleichungen eine Einschränkung hinsichtlich der Hangneigungsverhältnisse erfahren (Gültigkeitsbereich bis 10° Hangneigung), ist davon auszugehen, dass in den berechneten Sickerwassermengen für stärker geneigte Flächen wie sie typischerweise für Mittelgebirgsräume anzunehmen sind, die tatsächlichen Auswirkungen der Reliefverhältnisse auf die bodenwasserhaushaltliche Dynamik sicherlich unterschätzt werden. Inwiefern die über das NIBIS-Verfahren zugrunde gelegten Reliefparameter die bodenwasserhaushaltlichen Verhältnisse der hier betrachteten Mittelgebirgslandschaft hinreichend repräsentieren, konnte bisher noch nicht bewertet werden, da Messergebnisse aus Feldversuchen an

Hangstandorten nicht zur Verfügung standen, an denen die Modellergebnisse verifiziert werden konnten. Daher werden zukünftig im Untersuchungsgebiet Bodenwasserhaushaltsuntersuchungen (u.a. zeitlich hochaufgelöste TDR-Messungen, Tensiometermessungen, Beregnungsversuche) auf ausgewählten Hangsegmenten vorgenommen. Auf dieser Datengrundlage soll ein für das Gebiet spezifisch angepasstes Bodenwasserhaushaltsmodell zur Regionalisierung der Bilanzgrößen *Sickerwasser* sowie *reale Evapotranspiration* und *Bodenfeuchte* entwickelt werden.

## Literatur

- MÜLLER, U., C. DEGEN und C. JÜRGING, 1992: Dokumentation zur Methodenbank des Fachinformationssystems Bodenkunde (FIS Boden), Technische Berichte zum NIBIS, H. 3, 5. Aufl., Hannover
- RENGER, M., R. KÖNIG, S. SWARTJES, G. WESSOLEK und C. FAHRENHORST, 1990: Modelle zur Ermittlung und Bewertung von Wasserhaushalt, Stoffdynamik und Schadstoffbelastbarkeit in Abhängigkeit von Klima und Bodeneigenschaften und Nutzung, Endbericht zum BMFT-Projekt 0374343, Universität Berlin
- 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, Dissertation an der Universität Trier (unveröffentlicht)

