

Einfluß von Witterung und Bewirtschaftung auf den Wasserhaushalt verschiedener Böden im Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes

U. HAFERKORN und S. KNAPPE

Abstract

The water budget of regions in agricultural land-use is controlled by the physical characteristics of the soils and the morphology (of the terrain). Climate, root-growth, water-uptake by plants and cultivation methods all influence the water budget. Eight representative soil-types from the midgerman region were chosen to investigate evapotranspiration and groundwater recharge under equal climatic conditions. 24 weightable lysimeters (triplicates) were run and treated equally with respect to crop, fertilization and tillage. The experimental results showed that similar soils, despite differences in the profile, reacted similarly with respect to the soil-water budget. Differences were smaller than the normal spatial variability in the field. Thus, the eight soil-types chosen, were grouped into four pedo-hydrotypes sufficient for describing their hydrological properties.

1. Problemstellung

Eine übliche Herangehensweise bei der Übertragung vom Daten des Standortes auf das Einzugsgebiet ist die Unterteilung des Gebietes in Flächen, die bezüglich ihrer hydrologischen Eigenschaften homogen sind. Berücksichtigt werden in der Regel Klima, Relief, Boden, Grundwasserflurabstand und Landnutzung. Mittels GIS-Modulen entsteht in Abhängigkeit von der räumlichen Variabilität dieser Eigenschaften ein Flächenmosaik von meist sehr vielen Teilflächen, auf die ein am Standort geeichtes Berechnungsverfahren angewendet wird. Die große Anzahl von Teilflächen hat ihre Ursache vorwiegend in der Anzahl verschiedener Böden, die auf Grund ihrer unterschiedlichen Prozesswirksamkeit berücksichtigt werden sollen. Untersu-

chungsergebnisse u. a. von GERIES (1989), HOSANG (1995) und SCHEUERER (1998) deuten darauf hin, dass der Einfluss verschiedener Böden mit flurfernen Grundwasserständen auf Verdunstung und Abflussbildung durchaus geringer ist, als bisher angenommen. Deshalb wird angestrebt, verschiedene Böden zu Pedo-Hydrotopen "Areale gleichen bodenwasserhaushaltlich wirksamen pedophysikalischen Aufbaues" (JORDAN, 1978) bzw. zu Flächen gleicher hydrologischer Wirksamkeit (ETZENBERG, 1998) zusammenfassen.

Die Wirkung bodenphysikalischer und –morphologischer Eigenschaften natürlicher landwirtschaftlich genutzter Böden auf den Wasserhaushalt wird durch die Witterung, das Wurzelwachstum, die Wasseraufnahme der Pflanzen und Bearbeitungsmaßnahmen beeinflusst. Der Einfluss der jährlichen Witterung und der jeweils angebauten Pflanzen auf unterschiedliche Böden ist schwer zu quantifizieren, da ausreichend lange Messreihen an verschiedenen Böden selten unter gleichen Witterungsbedingungen und/oder gleicher Bewirtschaftung gewonnen werden. Die hier vorgestellten Untersuchungen an verschiedenen Böden wurden unter gleichen Klima- und Witterungsbedingungen und gleicher Bewirtschaftung hinsichtlich Fruchtart, Düngemenge, Bodenbearbeitung und Pflege durchgeführt. Somit bestand die Möglichkeit zur Identifikation der einzelnen Einflussfaktoren auf den Bodenwasserhaushalt. Es war festzustellen, wie signifikant sich Wasserhaushaltsgrößen verschiedener Böden tatsächlich voneinander unterscheiden.

2. Material und Methoden

Die Auswahl der Böden beinhaltet sowohl Standorte mit Sandlöß über

Schmelzwassersanden, Sandlöß über Geschiebelehm als auch Standorte mit Geschiebemergel und tiefgründigem Löß. Auf Grundlage der im Verlauf von 14 Beobachtungsjahren am Untersuchungsstandort Brandis unter den klimatischen Bedingungen am Rande des Mitteldeutschen Trockengebietes (hohe Variabilität von Wasser- und Energieangebot, hohes klimatologisches Wasserdefizit in den Sommermonaten, geringe Winterniederschläge) ermittelten Datenbasis (HAFERKORN, 2000), konnten sowohl Aussagen zum Schwankungsverhalten der untersuchten Größen infolge Witterung und Bewirtschaftung (angebauter Fruchtart) getroffen werden, als auch die Wirkung der verschiedenen Böden im Verlauf der einzelnen Anbaujahre auf die Wasserhaushaltsgrößen ermittelt werden.

Von Vorteil ist, dass sich bei Lysimeteruntersuchungen in idealer Weise die Möglichkeiten von Labor- (gesicherte Messreihen aller Komponenten der Wasserhaushaltsgleichung in hoher zeitlicher Auflösung) und Felduntersuchungen (reale Freilandbedingungen) verbinden lassen. Lysimeter von 1 m² Fläche und 3 m Tiefe, wie dies in Brandis der Fall ist, kompensieren bereits zahlreiche kleinräumige Inhomogenitäten der Böden. Damit bieten sich günstigere Voraussetzungen für eine Übertragung in die Fläche als dies im Ergebnis von punktuellen Untersuchungen mittels Tensiometern und TDR-Sonden im Gelände möglich ist. Die Konzentration verschiedener Bodenmonolithe an einem Standort ermöglicht eine intensive messtechnische Betreuung, so auch an Sonn- und Feiertagen, in der vegetationslosen Zeit und über die Wintermonate. Ein kontinuierlicher Stationsbetrieb gewährleistet die Beibehaltung einheitlicher Bewirt-

Autoren: Dr. Ulrike HAFERKORN, Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, Kleinsteinberger Straße 3, D-04821 BRANDIS und Dr. Siegfried KNAPPE, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung, Theodor-Lieser Straße 4, D-06120 HALLE

Tabelle 1: Anzahl der Bodentypen und Wiederholungen je Pedo-Hydropotop

Pedo-Hydropotop	a	b	c	d
Anzahl der Böden	1 (Lys.-Gr. 5)	2 (Lys.-Gr. 4 und 8)	3 (Lys.-Gr. 1, 7 und 11)	2 (Lys.-Gr. 9 und 10)
Anzahl der Wiederholungen	3	6	9	6

Tabelle 2: Nach Jahresmittelwerten der Sickerwasserbildung (SW) geordnete Angaben zur Verdunstung, zu Trockenmasse-Erträgen, Stickstoffentzügen durch die Pflanze und Höhe der Stickstoffausträge über das Sickerwasser der Einzellysimeter (Abflussjahre 1981-94)

Lysimeter Nr.	SW [mm/Jahr]	Verdunstung [mm/Jahr]	Trockenmasse [dt/ha/Jahr]	N-Entzug [kg/ha/Jahr]	N-Austrag [kg/ha/Jahr]
10/2*	47	614	126	182	31
7/6*	51	605	107	134	9
10/3	57	609	142	186	76
10/1	58	612	140	172	35
9/1	62	619	139	168	3
9/3	65	616	139	165	4
9/2	66	619	134	172	11
11/2	111	558	106	129	42
1/7	116	562	106	131	21
1/6	116	559	114	133	29
7/5	118	552	100	127	17
7/4	120	557	103	131	20
11/1	122	553	106	136	40
11/3	131	544	118	149	32
1/5	134	542	92	123	44
4/8	142	530	95	120	38
4/6	146	529	91	116	43
4/7	146	531	92	114	37
8/5	148	538	100	112	26
8/4	160	517	83	107	35
8/6	160	529	92	110	28
5/4*	162	493	79	106	34
5/5	184	486	63	86	48
5/6	198	478	57	83	49

*Diese Lysimeter wurden im September 1994 zerlegt.

schaftungs-, Mess- und Berechnungsmethoden, was für die Konsistenz der Daten von außerordentlicher Bedeutung ist.

Auf Basis der vorliegenden Messreihen der acht verschiedenen Böden wurde geprüft, ob eine Zusammenfassung von Böden zu o. g. Pedo-Hydropotopen möglich ist. Um Hinweise auf Heterogenitäten innerhalb eines Bodentyps zu erhalten, wurden drei Einzellysimeter "Wiederholungen" von jeder der acht Herkunftsflächen in die Untersuchungen einbezogen. Die Variabilität, die sich im Verlauf von Verdunstung und Sickerwasserbildung bei diesen drei Wiederholungen (Bodenmonolithen) zeigte, lieferte trotz der geringen Anzahl der Wiederholungen Hinweise zur Wirksamkeit von Bodenheterogenitäten auf die

Prozesse Verdunstung und Sickerwasserbildung. Damit stellten sich zwei Fragen:

- Zeigen die drei Bodenmonolithe (Wiederholungen) eines Entnahmeortes infolge der räumlichen Heterogenität der Bodenparameter eine größere Varianz der Meßgrößen (Merkmale) als die Meßgrößen verschiedener Herkunftsflächen (Böden)?
- Wie groß sind die Unterschiede, die acht verschiedene Böden (=acht Herkunftsflächen= acht Lysimetergruppen) bei gleicher Witterung und Bewirtschaftung auf den Verlauf der Wasserhaushaltsgrößen Verdunstung und Sickerwassermenge ausüben?

Für diese Untersuchungen wurden die Meßreihen von 24 wägbaren Lysimetern verwendet. Ausgangspunkt bildeten die Jahresmittelwerte von Verdunstung und

Sickerwassermenge bis zur Lysimeterzerlegung im Jahr 1994. Es zeigte sich erwartungsgemäß eine Rangfolge der Böden entsprechend der Höhe ihrer Versickerungsleistung und Verdunstung (Tabelle 2). Auf der Grundlage dieser Rangfolge und unter Berücksichtigung der bodenkundlichen und hydrogeologischen Beschreibung der acht untersuchten Herkunftsorte erfolgte eine Zusammenfassung der acht Böden (Lysimetergruppen) zu vier Pedo-Hydropotopen, die mit Top a bis d bezeichnet wurden (Tabelle 1). Zu prüfen war, ob sich diese Gruppierung für die Messwerte (Prüfmerkmale) Sickerwasserbildung und Verdunstung statistisch belegen lässt. Grundlage der Untersuchungen bildeten die Monatssummen der Jahre 1981-94. Die Auswertung erfolgte als einfache Varianzanalyse mit ungleichen Wiederholungen (BÄTZ et al., 1982):

- Prüffaktor = acht verschiedene Böden (Tabelle 1),
- Prüfmerkmale = Verdunstung und Sickerwassermenge,
- konstante Faktoren = Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen,
- Zufallseinflüsse = Witterungsschäden und Krankheitsbefall der Pflanzen,
- exogene Faktoren = Witterung, Fruchtfolge.

Geprüft wurde, welche Auswirkungen die unterschiedlichen Abstufungen des **Prüffaktors** (Boden) auf die beiden **Prüfmerkmale** Verdunstung und Sickerwassermenge haben. Der Grundgedanke der Varianzanalyse besteht darin, den Einfluss des Prüffaktors auf die Varianz der untersuchten Merkmale zu erfassen und von den Zufallseinflüssen zu trennen. Der Einfluss des Prüffaktors ist statistisch gesichert, wenn die durch ihn verursachte Varianz im Prüfmerkmal wesentlich größer als die Restvarianz ist. Die Signifikanz der Unterschiede wurde mittels F-Test ermittelt.

Es wird davon ausgegangen, dass eine Zusammenfassung verschiedener Böden zu einem Pedo-Hydropotopen nur dann erfolgen sollte, wenn sich die Variabilität von Sickerwassermenge und Verdunstung der Böden eines Pedo-Hydropotopes nicht vom Resteinfluß unterscheidet (p-Level > 0,05). Es wurden also die Monate ausgewiesen (verworfen), in denen

Tabelle 3: Anzahl der Monate mit signifikanten Unterschieden der Verdunstung und Sickerwasserbildung zwischen den Lysimetergruppen (Ergebnisse der Varianzanalyse von 168 Monaten je Einzellysimeter der Jahre 1981-94)

Lysimetergruppe	Pedo-Hydrotop (Versickerungstyp)	Monate mit signifikanten Unterschieden in Bezug auf:			
		Sickerwasserbildung		Verdunstung	
4 und 8	Top b	10	6 %	18	11 %
1, 7 und 11	Top c	23	14 %	28	17 %
9 und 10	Top d	12	7 %	41	24 %
4, 8, 1, 7 und 11	Top b + c	54	32 %	57	34 %

Tabelle 4: Definition relevanter Pedo-Hydrotope im Untersuchungsgebiet

Bodentyp (Lysimetergruppe)	Wasser- u. Nährstoffspeicherungsvermögen	Bodenart*	Hydromorphie	Charakterisierung des Standortes	Top
erodierte Braunerde (5)	gering	LS-SL	sickerwasserbeeinflusst	Sandlöß über Schmelzwassersanden (kiesige Mittel- und Grobsande)	a
Braunerde-Fahlerde, Parabraunerde Braunerde (4 und 8)	gering	SL	sickerwasserbeeinflusst	Sandlöß über Schmelzwassersanden (gebänderte Mittel- und Feinsande über Sand und Kies)	b
(lessivierter) Braunerde-Pseudogley, pseudovergleyte Braunerde-Fahlerde (1, 7 und 11)	mittel	sL	stauwasserbeeinflusst, früher teils grundwasserbeeinflusst	Sandlöß (Geschiebedecksand) über Geschiebelehm, -mergel (teils stark verdichtet) über Sand und Kies	c
Parabraunerde, Schwarzerde (9 und 10)	sehr hoch	U	starke Aufwärtsbewegung infolge hoher Verdunstung	tiefgründiger Löß über Schmelzwassersanden	d

*nach Bodenschätzung

sich die Varianz der "Prüfmerkmale" (Sickerwasserhöhe oder Verdunstung) zwischen den Böden eines Pedo-Hydrotops signifikant von der Variabilität innerhalb der Böden unterscheidet. Dies waren von 168 Monaten nur wenige %. Für den Sandboden (Top a) erfolgten keine Berechnungen, da dieser Pedo-Hydrotop nur durch eine Lysimetergruppe vertreten ist. Des weiteren wurde geprüft, ob möglicherweise noch die Pedo-Hydrotopen "b" und "c" zusammengefasst werden können.

3. Ergebnisse – zur hydrologischen Wirksamkeit verschiedener Böden

Die Zusammenstellung der Jahresmittelwerte ausgewählter Untersuchungsergebnisse (Tabelle 2) zeigt eine Rangfolge der Böden entsprechend der Höhe ihrer Versickerungsleistung, wobei sich

aber die Einzellysimeter nicht immer entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu den Lysimetergruppen (Herkunftsflächen) einordneten.

Daß die Meßergebnisse einzelner Lysimeter als "Ausreißer", wie im Fall der Lysimeter 7/6 und 5/4 nicht auf Geräte- oder Meßfehlern beruhen, zeigten die Untersuchungsergebnisse der Lysimeterzerlegung (KEESE und KNAPPE, 1996). Der abweichende Verlauf der Messreihen dieser Lysimeter ist ausschließlich eine Folge der Varianz der bodenphysikalischen Eigenschaften der Herkunftsflächen.

Die geringsten Unterschiede in der Höhe von Sickerwasserbildung und Verdunstung zeigen erwartungsgemäß die Lößböden (Herkunftsfläche = Lys.-Gr. 9 und 10). Auch die Rangfolge der Lysimeter der Herkunftsflächen 4, 8 und 5 zeigt an, dass die flächenhafte Heterogenität der

Böden durch die gewählte Querschnittsfläche der Lysimeter voll erfasst wird.

Die Unterschiede in den Jahresmittelwerten der Sickerwasserbildung der Einzellysimeter verweisen jedoch darauf, dass die Schmelzwassersande der Elster- und Saale-Kaltzeit aufgrund ihrer glazifluviatilen Entstehung zu starken Inhomogenitäten neigen. Kornform und Korngröße variieren erheblich und damit auch die Porosität und Durchlässigkeit. Noch extremer sind Inhomogenitäten bei den Geschiebemergeln und -lehmen der Grundmoräne ausgebildet. Diese zeigen sowohl hinsichtlich der primären (Korngröße von tonig-schluffig bis sandig) als auch hinsichtlich der sekundären Durchlässigkeit (Klüftigkeit aufgrund glazigener Überprägung) große Unterschiede. Infolge dessen treten bei den Lysimetergruppen 1, 7 und 11 "Ausreißer" auf. Dies ist ein Hinweis auf großräumige Strukturelemente, die mittels einzelner Lysimeter nur teilweise und sehr unterschiedlich erfasst werden (z. B. Eiskeile, Sandbänder). Tabelle 3 zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse der Zeitreihen von Sickerwasserbildung und Verdunstung womit die vorgenommene Zusammenfassung bestätigt wird.

Aus der im Verhältnis geringen Anzahl abgelehnter Monate und der Tatsache, dass es sich dabei überwiegend um Monate mit sehr geringer Sickerwasserbildung handelt, wird die Berechtigung zur Bildung der vier Pedo-Hydrotopen (Tope) abgeleitet. Eine Zusammenfassung der Tope "b" und "c" wurde verworfen.

In Bezug auf die Verdunstung ist die Zuordnung zu den Pedo-Hydrotopen nicht ganz so eindeutig. Hier sind neben den physikalischen Eigenschaften der Ausgangssubstrate auch die Bodenfruchtbarkeit und der aktuelle Zustand des Bestandes von Einfluss. Tabelle 4 liefert eine Beschreibung der mit "Tope a bis d" bezeichneten Versickerungstypen.

Mit der Zusammenführung der 24 Lysimeter zu 4 Versickerungstypen (Topen) verbessern sich die flächenbezogenen Anwendungsmöglichkeiten von Lysimeterergebnissen wesentlich, wobei diese Generalisierung zunächst nicht bei Beschaffenheitsuntersuchungen vorgenommen werden sollte.

4. Schlussfolgerungen - zur Bildung von vier Pedo-Hydrotopen

Der Zusammenhang zwischen der Heterogenität der Böden und der geologischen Vorgänge, die zur Ablagerung der Ausgangsgesteine geführt haben, zeigt sich u.a. in der Spannbreite der Sickerwasserbildung. So bewirken die äolischen Sedimente geringere Varianzen als die glazigenen Bildungen. Die in Folge der bodenbildenden Prozesse wie u. a. Verbraunung, Lessivierung (bei Fahlerden), Vergleyung und Humusakkumulation (bei Schwarzerden) entstandenen Bodentypen haben für die Abflussbildung in 3 m Tiefe vermutlich nur sekundäre Bedeutung, wobei Ausgangssubstrat und bodenbildende Prozesse in genetischem Zusammenhang stehen. D.h. ähnliche Bodentypen weisen, trotz Abweichungen in der Horizontabfolge, in Bezug auf ihren Bodenwasserhaushalt keine Unterschiede auf, die über die natürliche Variabilität der Standorte hinausgehen. Deshalb konnten die acht analysierten Bodentypen zu vier Pedo-Hydrotopen zusammen gefasst werden, wobei

der Begriff der "hydrologischen Wirksamkeit" hier im Sinne der Pedo-Hydrotopen auch den Anteil des Wasserhaushaltes an der Bodenfruchtbarkeit mit einschließt.

Mit diesen Erkenntnissen vereinfacht sich die Übertragung von Standortuntersuchungen auf die Fläche. Erfordern Untersuchungen im Mikro- und Mesoskala die separate Berücksichtigung von einzelnen Bodentypen, so ist beim Übergang zum Makroskala eine vereinfachende Betrachtungsweise im Sinne der abgeleiteten Pedo-Hydrotopen ausreichend. Wir bedanken uns bei Frau Dr. Warnstorff (Arbeitsgruppe Biometrie und Agrarinformatik der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Halle-Wittenberg) für die Durchführung der Varianzanalyse und ihre Beratung bei der Interpretation der Ergebnisse.

5. Literatur

BÄTZ, G., H. DÖRFEL, A. FUCHS und E. THOMAS, 1982: Einführung in die Methodik des Feldversuchs. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

ETZENBERG, CH., 1998: Zur Regionalisierung der Abflußbildung – Bestimmung flächenspezifischer

Abflußbeiträge aus Gebieteigenschaften. Dissertation, Internationales Hochschulinstitut Zittau.

- GERIES, H., 1989: Nitrat unter Acker in mächtigen Lössdecken mit tiefem Grundwasserstand im Klimaraum Südniedersachsen: Tiefen-Verlagerung, Datierung, Umsatz und Einbindung in den Gashaushalt. Diss. Institut für Bodenwissenschaft der Georg-August-Universität Göttingen.
- HAFERKORN, U., 2000: Größen des Wasserhaushaltes verschiedener Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung im klimatischen Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes -Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis. Dissertation. Fachbereich Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen.
- HOSANG, J., 1995: Wasser- und Stoffhaushalt von Lößböden im Niederen Sundgau (Region Basel). Physiogeographica. Basler Beiträge zur Physiogeographie Band 19, Basel.
- JORDAN, E., 1978: Wasserhaushaltsuntersuchungen in der Gleidinger Senke. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 26, 143-152.
- KEESE, U. und S. KNAPPE, 1996: Vergleichende Untersuchungen zwischen Lysimetern und ihren Herkunftsflächen am Beispiel von drei typischen Böden Mitteldeutschlands unter landwirtschaftlicher Nutzung. Arch. Acker-Pfl. Boden, 40.
- SCHEUERER, W., 1998: Flächendifferenzierte quasidimensionierte Simulation des Bodenwasserhaushaltes während der Vegetationsperiode unter einheitlicher Nutzung in Scheyern. Herbert Utz Verlag-Wissenschaft, München.