

## 1. Einführung

Ein praxisorientiertes, billiges, schnelles und funktionstüchtiges Verfahren soll hier vorgestellt werden, mit dem ohne großen maschinellen und personellen Aufwand Grund- und Bodenwasserparameter auf kleinräumiger Basis mit Hilfe der Datenverarbeitung abzuleiten sind. Besondere Bedeutung bekommt dieses Verfahren durch die räumlich differenzierte Ermittlung der Grundwasserneubildung und der in enger Verbindung damit stehenden pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge. Für die Ermittlung des Grundwasserangebotes zur Sicherung der Grundwassergewinnung sind diese Daten wesentliche Grundlage.

Die Einflußgrößen der Grundwasserneubildung sind hinreichend bekannt.

Es gibt eine große Anzahl von Verfahren, die sich sehr differenziert mit Wasserhaushaltbilanzen beschäftigen und den Wasserhaushalt möglichst exakt simulieren (1, 6, 7). In der Regel sind diese Verfahren nicht in der Lage, die Boden- und Grundwasserhaushaltsparameter auf kleinräumiger Basis zu berechnen. Ihre Bezugsflächen sind Flußbezugsgebiete. Verfahren mit hoher räumlicher Auflösung haben einen hohen Datenbedarf. Dieser ist im allgemeinen nur durch aufwendige Messungen abzudecken.

Ein statistischer Ansatz liegt dem in (9) beschriebenen Verfahren zugrunde. Gemessene Jahreswerte der Grundwasserneubildung wurden mit Hilfe einer multiplen Regressionsanalyse zu Niederschlag, Evaporation nach HAUDE und pflanzenverfügbarem Bodenwasser in Beziehung gesetzt. Für jede der Nutzungen Acker, Grünland und Wald wurde eine Regressionsgleichung ermittelt.

Die Regressionsgleichungen sind in Tabelle 1 auf Seite 324 aufgeführt.

Die Qualität der Regressionsgleichungen ist nach dem Korrelationskoeffizienten zu urteilen so gut, daß sich deren Umsetzung in ein Praxisverfahren anbietet. Aus räumlicher Sicht können die Regressionsgleichungen in der vorliegenden Form für alle schwach reliefierten Bereiche Nordwestdeutschlands angewandt werden. Das Verfahren erlaubt es, für jede abgegrenzte Bodeneinheit räumlich differenzierte Aussagen zur Grundwasserneubildungsrate zu treffen.

## 2. Datenbedarf

Voraussetzung für diese hohe räumliche Differenzierung ist es, über räumliche differenzierte und gleichzeitig möglichst flächendeckende Basisdaten zu verfügen. Dem Niederschlag und der Verdunstung kommen hierbei entscheidende Bedeutung zu. Durch den Boden, die Nutzung und das Relief wird die Grundwasserbildung ebenfalls beeinflusst. In schwach reliefierten Bereichen können Zu- und Abfluß an der Oberfläche vernachlässigt werden. Der durchwurzelte Boden dient als Wasserspeicher. Durch Evapotranspiration (Verdunstung durch Pflanzen von der Bodenoberfläche) wird dem Speicher Wasser entzogen. Durch Niederschläge wird der Speicher wieder gefüllt. Übersteigen die Niederschläge das Speichervolumen, so fließt die Überschussmenge dem Grundwasser zu. Böden mit geringer Speicherkapazität haben demzufolge eine höhere Grundwasserspense. Mit der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge in mm wird obengenannte Speicherkapazität eines Bodens hinreichend beschrieben. Diese ist zu ermitteln.

Der Wasserentzug ist je nach Pflanzenbestand unterschiedlich. Die Unterschiede zwischen Acker-, Grünland und Forstnutzung sind zu beachten.

Nutzung	Regressionsgleichung	R
Ackerland	a) $v = 0,58 (N) - 220,3(\log Wpfl) - 0,20 (E_{Haude}) + 400$	0,93
Grünland	b) $v = 1,158 (N) - 0,784(N_v) - 202,7(\log Wpfl) - 0,172 (E_{Haude}) + 171,3$	0,86
Grünland	c) $v = 0,54 (N) - 130,4(\log Wpfl) - 0,341 (E_{Haude}) + 310,7$	0,64
Nadelwald (Altbestände v. Kiefer und Fichte)	d) $v = 0,152 (N) + 0,000382(N)^2 - 16,2(\log Wpfl) - 0,651 (E_{Haude}) + 1129,5$	0,99
Laubwald	e) $v = 0,953 (N) - 0,02 (E_{Haude}) - 430,1$	0,99

R = multipler Korrelationskoeffizient

Wpfl = dek. Logarithmus der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge

$N_v$  = Niederschlag während der Vegetationsperiode (Mai bis September)

V = mm/Jahr, N = mm/Jahr,  $N_v$  = mm/Vegetationsperiode, Wpfl = mm

$E_{Haude}$  = mm/Jahr

Tabelle 1: Grundwasserneubildung (V) in Abhängigkeit von dem Niederschlag (N), der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge (Wpfl) und der Evaporation nach HAUDE ( $E_{Haude}$ ) aus (9)

### 3. Datenverfügbarkeit

Die Niederschläge werden von den Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes täglich gemessen und zu Monats- bzw. Jahressummen aufaddiert. Werte der Haude-Verdunstung in mm/Monat sind den Agrarmeteorologischen Monatsberichten zu entnehmen und zu Jahressummen aufzuaddieren.

Sind die agrarmeteorologischen Stationen zu weit vom Untersuchungsort entfernt, kann die Haude-Evaporation aus den täglichen 14.00-Uhr-Ablesungen der Klimastationen berechnet werden (5). Der Aufwand hierfür ist allerdings erheblich. Die Bodendaten sind für alle landwirtschaftlich genutzten Flächen der Bodenkarte 1:5000 auf Grundlage der Bodenschätzung zu entnehmen. Die besonderen Vorteile dieses Kartenwerkes sind der hohe Flächendeckungsgrad und die parzellenscharfen Informationen zum Boden. Für Nordrhein-Westfalen liegen über 6000 Kartenblätter vor.

Nutzungsdaten in der Differenzierung Acker, Grünland und Wald sind in zahlreichen Quellen dargestellt. In der Bodenkarte 1:5000 ist die Nutzung jeder Parzelle aufgelistet. Diese Angaben entsprechen jedoch nicht immer aktuellen Nutzungen. Sind sehr hohe Genauigkeitsanforderungen gegeben, bringt die Auswertung der Luftbildpläne 1:5000 die besten Ergebnisse.

#### 4. Berechnung der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge

Zur Berechnung der Bodenwasserhaushaltsparameter benötigt man folgende Bodenkennwerte:

- o Bodenart
- o Schichtmächtigkeit
- o Humusgehalt
- o Lagerungsdichte
- o Tiefe des effektiven Wurzelraumes
- o Grundwasserverhältnisse

Diese kann man zu einem wesentlichen Teil der Bodenkarte 1:5000 entnehmen. Jede Karte gliedert sich in einen Profilbeschreibungsteil und die thematische Karte. Die Böden eines Blattes sind durch schematisierte Profile dargestellt (Abbildung 2) und aufsteigend nummeriert.

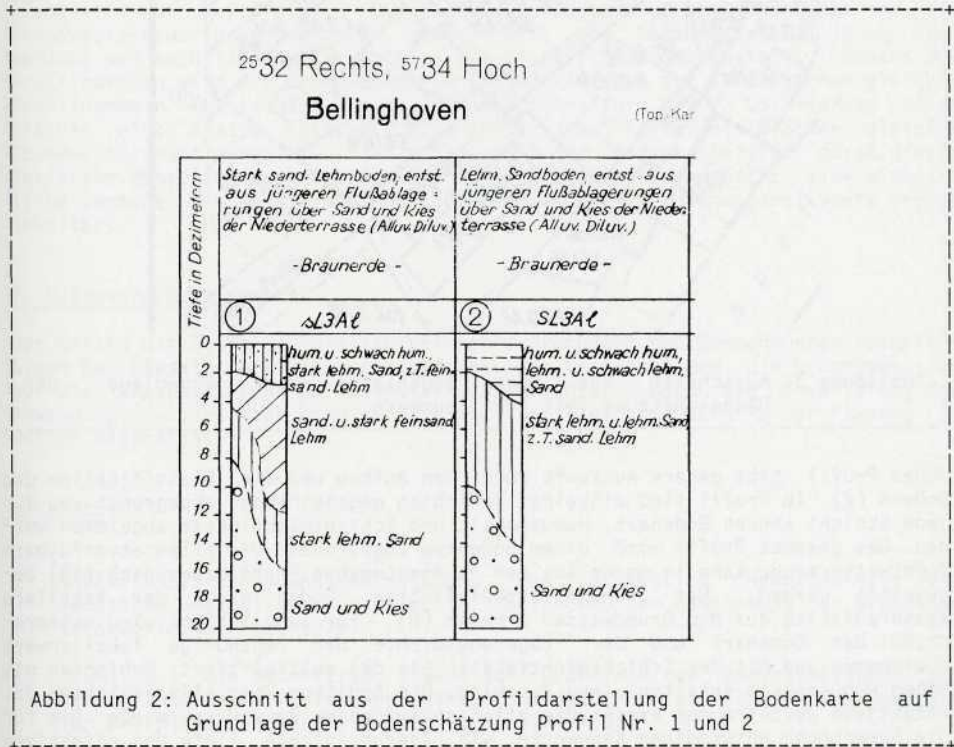


Abbildung 2: Ausschnitt aus der Profildarstellung der Bodenkarte auf Grundlage der Bodenschätzung Profil Nr. 1 und 2

Über die Profilnummer ist das Profil all denjenigen landschaftlich genutzten Flächen zugeordnet, die etwa gleiche Bodeneigenschaften besitzen (Abbildung 3 auf Seite 326). Pro Kartenblatt sind in der Regel zwischen 15 und 25 Profile ausgewiesen.



Abbildung 3: Ausschnitt aus der Bodenkarte auf Grundlage der Bodenschätzung mit Profilnummern

Jedes Profil gibt nähere Auskunft über den Aufbau und die Klassifikation des Bodens (2). Im Profil sind einzelne Schichten gegeneinander abgegrenzt und für jede Schicht können Bodenart, Humusgehalt und Schichtmächtigkeit abgelesen werden. Das gesamte Profil wird einem Bodentyp zugeordnet. Die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge kann in mm/dm aus den aufgenommenen Profildaten nach (10) abgeleitet werden. Bei grundwasserbeeinflussten Böden wird der kapillare Wasseraufstieg aus dem Grundwasser wirksam (8). Für jede Schicht wird entsprechend der Bodenart und der Lagerungsdichte der zugehörige Tabellenwert übernommen und mit der Schichtmächtigkeit (in dm) multipliziert. Schichten mit hohem Humusgehalt erhalten einen Zuschlag. Die Addition über alle Schichten des effektiven Wurzelraumes ergibt die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge. Die für die Berechnung notwendigen Kennwerte, wie Lagerungsdichte, Tiefe des effektiven Wurzelraumes und Grundwasserverhältnisse sind in der Bodenkarte nicht ausgewiesen. Sie können näherungsweise aus dem Bodentyp, der Bodenartenschichtung und dem geologischen Ausgangsmaterial abgeleitet werden.

## 5. Berechnung der Grundwasserneubildungsrate

Die Berechnung wird mit den in Tabelle 1 auf Seite 324 aufgeführten Regressionsgleichungen durchgeführt. In die Gleichungen sind der Niederschlag in mm/Jahr bzw. in mm/Vegetationsperiode, die Evaporation nach Haude in mm/Jahr und die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge einzusetzen.

Die räumliche Differenzierung von Niederschlag und Evaporation nach Haude hängt von der Zahl und Dichte der Meßstationen ab. Mittels räumlicher Interpolationsverfahren kann die räumliche Auflösung verbessert werden. Sehr gute Ergebnisse liefert hierbei der Kriging-Ansatz (11, 12, 13).

Allen Profilen bzw. Flächen eines Kartenblattes (2 km x 2 km) werden gleiche Verdunstungs- und Niederschlagswerte zugeordnet. Die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge in mm wird für jedes Profil berechnet. Um die Auswahl der möglichen Regressionsgleichungen zu gewährleisten, werden jedem Profil die möglichen Nutzungen zugeordnet.

## 6. Ergebnis

Nach Abschluß der Berechnungen erfolgt die Ausgabe einer Ergebnisliste (Tabelle 4 auf Seite 329). Die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge und die Grundwasserneubildung sind für jedes Profil und Nutzung sowohl in mm bzw. mm/Jahr und nach Tabelle 5 auf Seite 329 klassifiziert dargestellt. Anhand der Profildnummern wird die Grundwasserneubildungsklasse auf alle Flächen gleicher Profildnummern übertragen. Durch gleiche Schraffur bzw. Colorierung aller Flächen einer Klasse entsteht eine thematische Karte mit Flächen gleicher Grundwasserneubildungsrate. Die Nutzbarkeit der Bodenkarte wird durch dieses Verfahren erheblich verbessert. Für alle Kartenblätter entsteht eine einheitliche Legende. Die Auswertungsmöglichkeiten werden um planungsrelevante Größen erweitert.

## 7. Datenverarbeitung

Der Umfang der Daten und die zahlreichen Zuordnungen und Berechnungen rechtfertigen den Einsatz der Datenverarbeitung. Das Verfahren und die Programme sind auf die Kapazität von Bürocomputern ausgerichtet. Durch die Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten wird der Einsatz von Kleincomputern in der Planung (3) weiter begünstigt.

## Literatur

1. ARBEITSKREIS GRUNDWASSERNEUBILDUNG der Fachsektion Hydrogeologie der Deutschen Geologischen Gesellschaft: Methoden zur Bestimmung der Grundwasserneubildungsrate, 1977
2. ARENS, H.: Die Bodenkarte 1:5000 auf Grundlage der Bodenschätzung, ihre Herstellung und ihre Verwendungsmöglichkeiten; Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen, Bd. 8, S. 164, 1960
3. DURWEN, K., KIAS, U.: Zur Einsatzmöglichkeit von Kleincomputern für die Landschaftsplanung. Garten und Landschaft, Heft 8, S. 596-600, 1981
4. ECKELMANN, W., RENGER, W.: Erfassung und Darstellung der Trockengefährdung landwirtschaftlich genutzter Standorte am Beispiel der Bodenkundlichen

Standortkarte i.M. 1:200 000. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 22, S. 224-231, 1981

5. HAUDE, W.: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes, Bd. II, Heft 11, S. 24, 1955
6. JOSOPAIT, V., LILLICH, W.: Die Ermittlung der Grundwasserneubildung sowie ihre Kartendarstellung im Maßstab 1:200 000 unter Verwendung von geologischen und bodenkundlichen Karten. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 19, Heft 5, S. 132-136, 1975
7. PETZOLD, E.: Grundwasserneubildung und Bodenfeuchtevorrat. Ein Vergleich unterschiedlicher Berechnungsverfahren. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 31
8. RENGER, M., STREBEL, O., GIESEL, W.: Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten; 4. Bericht: Grundwasserneubildung. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 15, S. 353-366
9. RENGER, M., STREBEL, O.: Jährliche Grundwasserneubildungsrate in Abhängigkeit von Bodennutzung und Bodeneigenschaften. Wasser und Boden 32, Heft 8, S. 362-366, 1980a
10. RENGER, M., STREBEL, O.: Beregnungsbedarf landwirtschaftlicher Kulturen in Abhängigkeit vom Boden. Wasser und Boden 32, Heft 12, S. 572-575, 1980b
11. SCHWENTKER, F., STREIT, U., WIENEKE, G.: Geostatistik: Fortran-Programme zur statistischen Bearbeitung raumbezogener Daten. Teil 1: Räumliche Autokorrelationskoeffizienten, Variogramm, Punkt-Kriging. Arbeitsberichte des Lehrstuhls Landschaftsökologie, Heft 4, Lehrstuhl Landschaftsökologie, Münster, S. 81, 1981
12. SCHWENTKER, F.: Zur Methodik räumlicher Prognoseverfahren nach dem Kriging-Ansatz. Informationsverarbeitung in den Agrarwissenschaften (im Druck), 1982
13. STREIT, U.: Kriging - eine geostatistische Methode zur räumlichen Interpolation hydrologischer Informationen. Wasserwirtschaft 71, Heft 7 und 8, S. 219-223, 1981

Blatt	:	Bellinghoven
		2532 Rechts
		5734 Hoch
Profil	:	1
Nutzung	:	Acker
Bodentyp	:	Braunerde
Wpfl	:	170 mm
Wpfl-Klasse	:	4
Grundwasserneubildung	:	235 mm/Jahr
V-Klasse	:	1

Tabelle 4: Ergebnisliste des Programms zur Berechnung der Grundwasserneubildung (Beispiel)

Klasse	Wpfl	V
1	< 50 mm	< 300 mm
2	50 - 100 mm	300 - 350 mm
3	100 - 150 mm	350 - 400 mm
4	150 - 200 mm	> 400 mm
5	200 - 250 mm	

Tabelle 5: Klasseneinteilung der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge Wpfl und der Grundwasserneubildung V