

**Heft 62**

**Erfassung des Austausches  
von Oberflächen-  
und Grundwasser  
in horizontalebene  
Grundwassermodellen**

**von Dr.-Ing.  
Vassilios Kaleris**

**Bibliothek des Fachgebietes  
Hydraulik und Hydrologie**

**Technische Hochschule Darmstadt  
D-6100 Darmstadt/Petersenstraße**

**Eigenverlag des Instituts für Wasserbau der Universität Stuttgart**

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
VORWORT	I
DANKSAGUNGEN	III
INHALTSVERZEICHNIS	V
VERZEICHNIS DER BILDER	IX
VERZEICHNIS DER TABELLEN	XII
1. <b>PROBLEMSTELLUNG UND PROBLEMANALYSE</b>	
1.1 <b>Problemstellung</b>	1
1.2 <b>Problemanalyse</b>	2
1.2.1 <b>Der üblicherweise in den horizontalebene Modellen verwendete Ansatz und die mit ihm verbundenen Probleme</b>	2
1.2.2 <b>Bewertung verschiedener Arten von Kontroll- messungen zur Eichung von horizontalebene Modellen</b>	5
1.2.3 <b>Gesamtfehler bei der Prognose der Austauschrate</b>	6
2. <b>MATHEMATISCHE BESCHREIBUNG DER SICKER- STRÖMUNG IN GESÄTTIGTEN UND UNGESÄTTIG- TEN PORÖSEN MEDIEN</b>	
2.1 <b>Die Strömungsgleichung</b>	7
2.2 <b>Abhängigkeit der relativen Durchlässigkeit und des Sättigungsgrades von der Kapillardruckhöhe</b>	8
2.3 <b>Vergleich der Differentialgleichung der Strömung in gesättigten mit der Differentialgleichung der Strömung in ungesättigten und gesättigten porösen Medien</b>	12
2.4 <b>Randbedingungen am Gewässerbett</b>	13
3. <b>STATIONÄRE AUSTAUSCHSTRÖMUNGEN ZWISCHEN OBERFLÄCHEN- UND GRUNDWASSER</b>	
3.1 <b>Konfigurationen, Strömungsarten, parametrische Beschreibung</b>	16
3.2 <b>Möglichkeiten zur analytischen Berechnung der stationären Austauschströmung</b>	20
3.2.1 <b>Allgemeines</b>	20
3.2.2 <b>Plansymmetrische Austauschströmung, gespannter Grundwasserleiter</b>	20

	Seite	
3.2.3	Freie Versickerung	22
3.3	Numerische Berechnung vertikalebener und radialsymmetrischer stationärer Sickerströmungen in ungesättigten und gesättigten porösen Medien	24
3.4	Näherungsansätze zur Berechnung der Austauschströmung	25
3.4.1	Allgemeines	25
3.4.2	Untersuchter Variationsbereich der Einflußparameter	27
3.4.3	Näherungsformeln für gespannte Strömungsverhältnisse	28
3.4.4	Näherungsformeln für nichtgespannte Strömungsverhältnisse	30
3.5	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Strömungskonfigurationen	32
4.	TAUGLICHKEIT DES ÜBLICHEN ANSATZES FÜR DIE PROGNOTIZIERUNG DER AUSTAUSCHRATE	
4.1	Allgemeines	38
4.2	Die Bestimmungsgleichungen des Austausch- koeffizienten	38
4.3	Die Abhängigkeit des Austausch- koeffizienten von den Randbedingungen	39
4.3.1	Gespannte Strömungsverhältnisse	39
4.3.2	Nichtgespannte Strömungsverhältnisse	41
4.3.3	Extremwerte des Austausch- koeffizienten	44
4.4	Abschätzung des Fehlers von Prognoserechnungen	47
4.4.1	Allgemeines	47
4.4.2	Eingrenzung des Fehlers für den Fall: Eichung: $h_A/h_S \geq 1$ ; Prognose: $h_A/h_S < 1$	48
4.4.3	Eingrenzung des Fehlers für den Fall: Eichung: $h_A/h_S < 1$ ; Prognose: $h_A/h_S \geq 1$	49
4.4.4	Eingrenzung des Fehlers für den Fall: Eichung: $h_A/h_S < 1$ ; Prognose : $h_A/h_S < 1$	50
4.4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	51
4.5	Möglichkeiten zur Verbesserung der Ergebnisse von Prognoserechnungen	52
4.6	Neuer Ansatz zur Berechnung des Austausches zwischen Oberflächen- und Grundwasser in horizontalebene Modellen	53
4.7	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Strömungskonfigurationen	55

5.	INSTATIONÄRE GRUNDWASSERNEUBILDUNG INFOLGE VON INFILTRATION AUS OBERFLÄCHEN- GEWÄSSERN MIT SELBSTGEDICHTETER SOHLE	
5.1	Untersuchungskonfiguration	58
5.2	Form der Näherung des zeitlichen Verlaufs der Grundwasserneubildung	59
5.3	Numerische Berechnung vertikal eindimensionaler instationärer Sickerströmungen in ungesättigten und gesättigten porösen Medien	62
5.4	Berechnung der erforderlichen Größen zur An- näherung des zeitlichen Verlaufs der Grundwasser- neubildungsrate	67
5.4.1	Variationsbereich der Einflußparameter	67
5.4.2	Ergebnisse der numerischen Berechnung	69
5.5	Diskussion der Ergebnisse	73
5.5.1	Bedingungen, unter denen die Betrachtung des Grundwasserneubildungsvorgangs als ein- dimensional gerechtfertigt ist	73
5.5.2	Der Einfluß des Anstiegs des Grundwasser- spiegels auf den zeitlichen Verlauf des Grund- wasserneubildungsvorgangs	76
5.5.3	Einfluß der Parameter, die das poröse Medium im ungesättigten Zustand charakterisieren, auf den zeitlichen Verlauf des Grundwasserneu- bildungsvorgangs	79
6.	BEWERTUNG VON MESSMETHODEN BEZÜGLICH IHRER ZUVERLÄSSIGKEIT BEI DER BESTIMMUNG DES AUSTAUSCHKOEFFIZIENTEN ODER DER SELBSTDICHTUNG	
6.1	Vorbemerkung	83
6.2	Methoden zur Bestimmung der Selbstdichtung	83
6.3	Das Modell des Untersuchungsgebiets	84
6.4	Die Meßdaten	90
6.4.1	Wasserstandsmessungen	90
6.4.2	Abflußdifferenzmessungen	92
6.4.3	Messungen der Infiltrationsrate mit Bachbett- infiltrometern	92
6.4.4	Messungen der Infiltrationsrate mit Bachbett- lysimetern	95
6.4.5	Temperaturmessungen	98
6.5	Auswertung der Meßdaten	98

6.5.1	Bestimmung der nicht genau bekannten Parameter des hydraulischen Systems	98
6.5.2	Bestimmung der Selbstdichtung anhand von Wasserstandsmessungen	99
6.5.3	Bestimmung der Selbstdichtung anhand der Abflußdifferenzmessungen	102
6.5.4	Bestimmung der Selbstdichtung anhand der Messungen mit dem Bachbettinfiltrrometer	105
6.5.5	Bestimmung der Selbstdichtung anhand der Messungen mit den Bachbettlysimetern	109
6.5.6	Diskussion der Ergebnisse	111
6.6	Genauigkeitsprobleme bei der Bestimmung des Austauschkoefizienten	114
7.	FALLBEISPIEL ZUM GESAMTFEHLER VON PROGNOSERECHNUNGEN	
7.1	Gesamtfehler von Prognoserechnungen	117
7.2	Fallbeispiel: Planung einer Grundwasserentnahme in der Nähe eines Gewässers	118
8.	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	121
	LITERATURVERZEICHNIS	126
	LISTE DER HÄUFIG VERWENDETEN SYMBOLE	133
	ANHÄNGE	
A -	Numerische Lösung der Differentialgleichung der stationären Sickerströmung im ungesättigten und gesättigten porösen Medium	A-1
B -	Berechnung des Widerstands des Untersuchungsgebiets für gespannte Strömungsverhältnisse	B-1
C -	Berechnung der Infiltrationsrate für nichtgespannte Strömungsverhältnisse	C-1
D -	Berechnung der Infiltrationsrate bei freier Versickerung	D-1
E -	Berechnung des oberen Grenzwertes des Fehlers bei der Prognostizierung der Austauschrate	E-1
F -	Demonstrationsbeispiel zur Verbesserung der Ergebnisse von Prognoserechnungen mit horizontalebene Modellen	F-1
G -	Numerische Lösung der Differentialgleichung der vertikal eindimensionalen instationären Strömung in ungesättigten und gesättigten porösen Medien	G-1