

**Nur für den Dienstgebrauch**

Berlin, im September 1980

# **KdT-Empfehlung zur Ermittlung der Grundwasserneubildung**

**Autoren:**

**Dr. H.-F. Bamberg, VEB Hydrogeologie**

**Dipl.-Geol. W. Busse, VEB Hydrogeologie**

**Dipl.-Geol. G. Ginzel, VEB Hydrogeologie**

**Dr. G. Glugla, Institut für Wasserwirtschaft**

**Dr. K. Schlinker, WWD Küste**

**Dipl.-Geol. G. Ziegler, Institut für Wasserwirtschaft**

**Herausgegeben im Auftrage der Betriebssektion  
der Kammer der Technik  
im VEB Hydrogeologie Nordhausen**

## Vorwort

Die Bestimmung der Größe der Grundwasserneubildung besitzt bei dem angespannten Wasserhaushalt der DDR einen besonderen Stellenwert bei der Berechnung der Grundwasservorräte. Die Vielzahl der bekannten nationalen und internationalen Berechnungsverfahren mit ihren unterschiedlichen regionalen Voraussetzungen und den differenzierten Toleranzen führt in der praktischen Arbeit der Hydrogeologen immer wieder zu Problemen und Unsicherheiten bei der Bestimmung der Grundwasservorräte. Es ist der Betriebssektion der KdT im VEB Hydrogeologie Nordhausen zu danken, sich dieser Problematik angenommen zu haben und in Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des VII. Kolloquiums Hydrogeologie die Fachleute der DDR aus den Bereichen der Geologie, Wasserwirtschaft und der Hochschulen zu einer echten Gemeinschaft organisiert zu haben.

Die von den Mitarbeitern der Wasserwirtschaft, insbesondere des Instituts für Wasserwirtschaft, dabei eingebrachten neuesten Forschungs- und Entwicklungsergebnisse bildeten die Grundlage für eine tragfähige und zukunftsfrüchtige Berechnungsgrundlage der Grundwasserneubildung in Forschung und Praxis der Geologie und Wasserwirtschaft.

Das vorliegende Ergebnis der Arbeitsgruppentätigkeit stellt eine Richtlinie zur Grundwasserneubildungsbestimmung dar, die als Arbeitsgrundlage der Staatlichen Vorratskommission Anerkennung findet.

Die auf dem Gebiet der Ermittlung der Grundwasserneubildung fortzusetzenden Forschungsaufgaben und die aus der Anwendung der KdT-Empfehlung resultierenden Erfahrungen sollten die Grundlage für die weitere Vervollkommnung der Verfahren und der Empfehlungen selbst sein, um damit die Voraussetzungen für eine immer bessere Beherrschung der Bewirtschaftung der Grundwasservorräte zu schaffen.

  
Dr. Goldbecher  
Vorsitzender der StVK

## Inhaltsverzeichnis

- 1.0.      **Veranlassung und Zielstellung**
- 2.0.      **Wasserhaushaltliche Grundlagen**
- 3.0.      **Definition und Einflußgrößen**
- 3.1.      **Definitionen**
- 3.2.      **Einflußgrößen**
- 4.0.      **Allgemeiner Verfahrensweg**
- 4.1.      **Direkte Meßmethoden**
- 4.2.      **Direkte Berechnungsmethoden**
- 4.3.      **Indirekte Berechnungsmethoden**
- 5.0.      **Angwahl der Berechnungsverfahren**
- 5.1.      **Anwahlkriterien**
- 5.2.      **Beschreibung der zu verwendenden Verfahren**
- 5.2.1.     **Lockergesteinsbereich**
- 5.2.1.1.   **Verfahren für die Erkundung**
- 5.2.1.1.1. **Berechnungsverfahren nach BAGROV/GLUGLA**
- 5.2.1.1.2. **Berechnungsverfahren nach SCHLINKER**
- 5.2.1.2.   **Verfahren für Planung, Prognose und Suche**
- 5.2.1.2.1. **Berechnungsverfahren nach ZIESCHANG**
- 5.2.1.2.2. **Abflußpendankarte der Hydrogeologischen Übersichtskartierung**
- 5.2.1.2.3. **Karten des potentiellen Wasserdargebotes**
- 5.2.2.     **Beschreibung der zu verwendenden Verfahren im Festgestein**
- 5.2.2.1.   **Verfahren für Erkundung**
- 5.2.2.1.1. **Demonstrativpumpversuch**
- 5.2.2.1.2. **Analogieverfahren auf wasserhaushaltlicher Basis**
- 5.2.2.1.3. **Berechnung nach empirisch-statistischen Parametern**
- 5.2.2.1.4. **Hydrologische Separationsverfahren**
- 5.2.2.2.   **Verfahren für Prognose und Planung**
- 5.2.3.     **Eingabedaten und Genauigkeitseinschätzung der Ergebnisse**
- 5.2.3.1.   **Festgesteinsbereich**
- 5.2.3.2.   **Lockergesteinsbereich**

- 5.2.4. Weitere Bestimmungsmethoden der GW-Neubildung
- 5.2.4.1. Direkte Erfassung der Grundwasserneubildung auf Grund von Lysimetermessungen
- 5.2.4.2. Ermittlung der Grundwasserneubildung aus der Durchflußganglinie der Vorfluter
- 5.2.4.3. Berechnung der GW-Neubildung auf der Grundlage der Auswertung von Wasserwerks-Statistiken
- 5.2.4.4. Bestimmung der Grundwasserneubildung mittels Durchflußgleichung nach DARCY
- 6.o. Ausblick

Verzeichnis der Bilder und Anlagen

Literaturverzeichnis

## 1. Veranlassung und Zielstellung

Die DDR weist im Vergleich zu anderen europäischen Industriestaaten einen außerordentlich angespannten Wasserhaushalt auf, d.h. sie besitzt bei geringem potentiellen Wasserdargebot gleichzeitig einen sehr hohen Grad der Wassernutzung. Damit bei der weiteren ständigen Zunahme des Wasserbedarfs der Bevölkerung, Industrie und Landwirtschaft künftig diese begrenzten Wasserressourcen nicht zum hemmenden Faktor der volkswirtschaftlichen Entwicklung werden, ist eine rationelle und intensive Wasserbewirtschaftung unbedingt notwendig. Wichtigste Voraussetzung hierfür ist die genaue Kenntnis der Wasserhaushaltsgrößen

- für die Geologie als Grundlage für Prognosen und die Nachweisführung des Grundwasservorrats
- für die Wasservirtschaft als Grundlage der Bewirtschaftung und Bilanzierung der Wasserressourcen mit dem Ziel, durch wasserwirtschaftliche Maßnahmen Dargebot und Nutzung auszugleichen.

In diesem Zusammenhang sind Aussagen über die Grundwasserneubildung von besonderer Bedeutung, da der größte Teil des Trinkwasserbedarfs aus dem Grundwasser gedeckt wird und man im allgemeinen darauf orientieren muß, über einen längeren Zeitraum nur so viel Wasser dem Untergrund zu entnehmen, wie sich durch Zusickeung zum Grundwasser auch wieder erneuert.

Für die Berechnung der Grundwasserneubildung werden in der Literatur eine Vielzahl mehr oder weniger nutzerfreundlicher Verfahren beschrieben, die von unterschiedlichen Annahmen, Voraussetzungen und Genauigkeitsanforderungen ausgehen. Obwohl in den letzten Jahren auf diesem Gebiet umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt wurden und sich innerhalb der DDR, zumindest für den Lockergesteinsbereich, einige Verfahren weitgehend durchgesetzt und bewährt haben, mußten doch immer wieder Unsicherheiten und Zweifel bei der Auswahl und Anwendung von Verfahren und bei der Interpretation der Berechnungsergebnisse festgestellt werden.

Einen entscheidenden Durchbruch zur Vereinheitlichung der Auswahlkriterien für die Berechnungsverfahren der Grundwasserneubildung in der DDR brachte das 7. Kolloquium Hydrogeologie zum Thema "Grundwasserneubildung" in Serrahn vom 18. - 19. Oktober 1978. Gemäß den Forderungen der Praxis wurde zwischen Hydrogeologie und Wasservirtschaft vereinbart, je nach Aufgabenstellung, geologischen und hydrogeologischen Bedingungen, Praxiserfahrungen usw. einheitliche Berechnungsverfahren zur Anwendung zu em-

pfehlen.

Ziel der vorliegenden KDT-Empfehlung "Grundwasserneubildung" ist es daher, den in der hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Praxis tätigen Bearbeitern Kriterien für die Wahl bestimmter Berechnungsverfahren der Grundwasserneubildung als Entscheidungshilfen vorzugeben sowie die Anwendung dieser Verfahren durch eine ausführliche Beschreibung der Verfahren und der praktischen Abarbeitung zu erleichtern.

## 2. Wasserhaushaltliche Grundlagen

Die Nutzung der Wasserressourcen ist auf lange Sicht ohne Überbeanspruchung nur soweit möglich, wie ein kontinuierlicher Abbau sich nicht erneuernder Vorräte vermieden wird. Im langjährigen Durchschnitt stehen nur die sich erneuernden Vorräte für die Nutzung zur Verfügung, da das Grundwasser in bewirtschafteten Grundwasserleitern der oberen Stockwerke mit nach unten abnehmendem Einfluß am Wasserkreislauf teilnimmt. Überbeanspruchung von Gebieten haben Auswirkungen auf das ökologische Gleichgewicht, die durch vorherige Forschungsarbeiten zu klären sind. Im Sinne einer komplexen Betrachtungsweise der Wasserressourcen besteht die Aufgabe, zunächst die am Standort oder im betrachteten Gebiet zur Verfügung stehende gesamte Wassermenge, das sogenannte potentielle Wasserdargebot zu ermitteln. Diese Wassermenge ist im langjährigen Mittel entsprechend der vereinfachten Wasserhaushaltsgleichung (1) der Differenz Niederschlag  $\bar{N}$  minus Evapotranspiration  $\bar{V}$  gleichzusetzen und entspricht für Großbeckengebiete (mehrere 1000 km<sup>2</sup>) dem gemessenen Gesamtabfluß  $\bar{A}$  mit ober ( $\bar{A}_0$ )- und interirdischer ( $\bar{A}_u$ ) Komponente.

$$\bar{N} = \bar{V} + \bar{A} \quad \text{mit} \quad \bar{A} = \bar{A}_0 + \bar{A}_u \quad (1)$$

Im potentiellen Wasserdargebot eines Gebietes sind bereits mögliche Zehrflächen (Evapotranspiration bzw. Evaporation von Gewässerflächen größer als der Niederschlag) berücksichtigt. Die Differenz potentiell Wasserangebot  $\bar{A}$  minus oberirdische Abflußkomponente  $\bar{A}_0$  entspricht dem Grundwasserangebot  $\bar{A}_u$ , d.h. der nutzbaren Grundwasserneubildung des Gebietes.

Für Grundwasserleiter, die eine ausschließlich vertikale Sickerung bis zur Grundwasseroberfläche des Hauptgrundwasserleiters (bzw. genutztsten Grundwasserleiters) zulassen, entspricht die nutzbare Grundwasserneubildung des Gebietes (Grundwasserangebot) dem potentiellen Wasserdargebot. Hierbei setzt sich das Gebiet aus Flächen mit Grundwasserneubildung

( $\bar{H} > \bar{V}$ ) und Grundwassersehrung ( $\bar{H} < \bar{V}$ ) zusammen (Bild 1).

Für Gebiete mit bedeckten Grundwasserleitern sowie höherer Reliefenergie ergibt sich der unterirdische Abfluß in genutzten Grundwasserleiter. (nutzbare Grundwasserneubildung) aus der Differenz potentieller Wasserdargebot minus oberirdischer bzw. hypodermischer Abfluß. Der oberirdische Abfluß entspricht dem anthropogen unbeeinflussten Durchfluß der Vorfluter des oberirdischen Einzugsgebietes, sofern diese keinen Kontakt zum Hauptgrundwasserleiter haben (Bild 2). Diese komplexen Zusammenhänge müssen durch hydrologische (z.B. Durchflußmessungen) und hydrogeologische Untersuchungsarbeiten geklärt werden.

### 3. Definitionen und Einflußgrößen

#### 3.1. Definitionen

Über die Größen Grundwasserneubildung und Grundwasserdargebot - Teil des Wasserkreislaufs und Komponenten des Wasserhaushalts - bestehen hinsichtlich der Begriffsdefinition sowohl national als auch international unterschiedliche Meinungen. Nach der gültigen TGL 23989 wird unter der Grundwasserneubildung die natürliche Auffüllung des Grundwassers, ausgedrückt als Wasserhöhe ( in mm) pro Zeiteinheit verstanden. Entsprechend den Festlegungen dieser TGL wird also als Grundwasserneubildung nur der Teil der das Grundwasser speisenden Wassermenge bezeichnet, der aus dem Versickerungsanteil der Niederschläge stammt. Entsprechend dieser Definition versteht man also unter Grundwasserneubildung

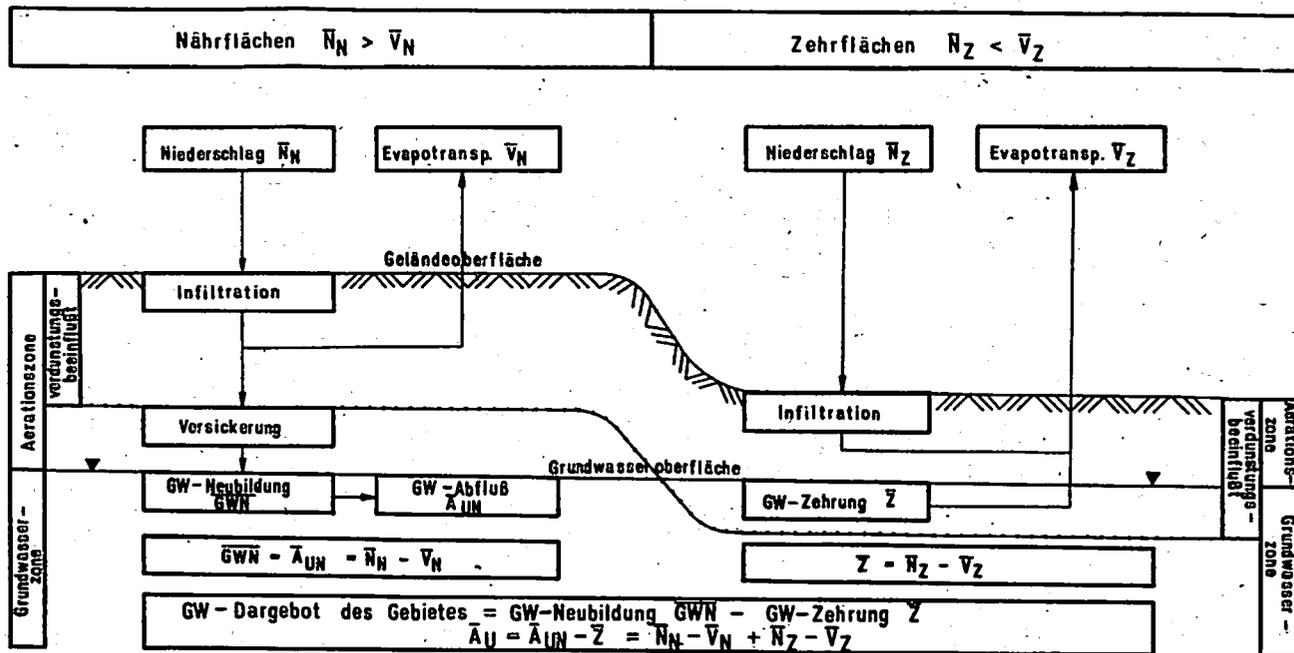
- den Vorgang, bei dem durch Versickerung von Niederschlägen neues Grundwasser gebildet wird und
- die Menge dieser Neubildung.

Häufig erfolgt die Angabe der Grundwasserneubildung auch in Form einer flächenbezogenen Spende in  $l/s \text{ km}^2$  oder als Wassermenge für ein konkretes Gebiet in  $\text{m}^3/d$ .

Nach der genannten TGL 23983 ist das Grundwasserdargebot der nutzbare Anteil der Grundwasserneubildung.

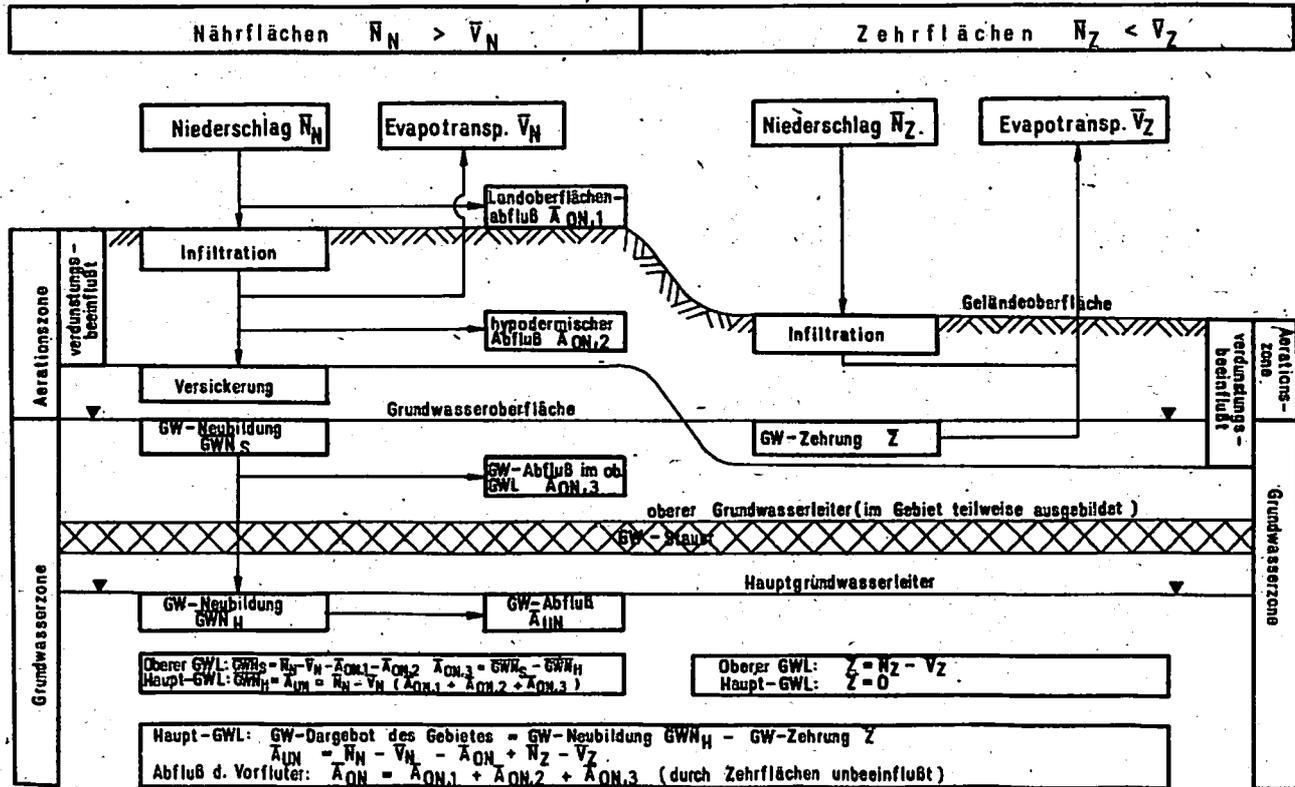
Die in dieser KDT-Empfehlung enthaltenen Verfahren befassen sich mit der Bestimmung des örtlich-variablen langjährigen Mittelwertes der Grundwasserneubildung. Für praktische Belange ist es erforderlich, den flächenhaft nutzbaren Anteil anzugeben, der insbesondere eine Berück-

Bild 1 Schematische Darstellung der Dargebotsgrößen ( langj. Mittel )  
für unbedeckte Grundwasserleiter



\* Bedeutung der Symbole siehe Tabelle 1

Bild 2 • Schematische Darstellung der Dargebotsgrößen, (langj.Mittel) für bedeckte Grundwasserleiter und Gebiete hoher Reliefenergie



• Bedeutung der Symbole siehe Tabelle 1

sichtigung der Grundwasserzehrung voraussetzt. Hierbei ist zu beachten, daß diese flächenhaft verfügbare Grundwassermenge allerdings nur die obere Grenze des Grundwasserdargebots darstellt, da sie häufig einer Nutzung nicht zugänglich ist und demzufolge nicht in jedem Fall als Grundwasservorrat ausgewiesen werden kann. Einschränkungen können sich hierbei aus ökonomischen, technischen, hydrochemischen, ökologischen u.a. Faktoren ergeben.

Im Zusammenhang mit der angestrebten nationalen und internationalen Vereinheitlichung der Symbole wird in der DDR zukünftig auf neue Symbole orientiert, die bei der Überarbeitung von Standards Berücksichtigung finden werden.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über s.Zt. gültige sowie angestrebte Symbole der Grundwasserneubildung und wichtiger Größen des Wasserhaushalts.

**Tabelle 1: Verwendete Größen und Symbole**

Lfd.Nr.	Größe	Symbole	
		nach s.Zt. gültigen Standards	zukünftig angestrebt (international abgestimmt)
1.	Grundwasserneubildung	GWS	GWS
	- nutzbar	GWS <sub>n</sub>	GWS <sub>n</sub>
2.	Niederschlag	N	P
2.1.	- korrigiert	N <sub>k</sub>	P <sub>k</sub>
	- des Nährgebiets	N <sub>N</sub>	P <sub>N</sub>
	- des Zehrgebiets	N <sub>Z</sub>	N <sub>Z</sub>
3.	Abfluß	A	R
3.1.	- oberirdischer	A <sub>o</sub>	RO
3.2.	- Landoberflächenabfluß	A <sub>o,1</sub>	(RO)
3.3.	- hypodermisch (bodeninnerer)		
3.4.	- unterirdischer (Grundwasserabfluß)	A <sub>u</sub>	RU
3.5.	- in oberen GWL-Stockwerk	(A <sub>o,3</sub> )	

Lfd. Nr.	Größe	nach s.Zt. gültigen Standards	Symbole	zukünftig anzu- streben (inter- national abge- stimmt)
4.	Verdunstung (Evapotranspi- ration)	V	ET	
4.1.	- potentielle	$V_{pot}$	ETP	
4.2.	- reale	V	ETR	
4.3.	- Gewässerverdunstung (Evaporation)	$V_{wa}$	E	
5.	Zehrung (V N)	Z	Z	
6.	Wasservorratsänderung	W		
	- Rücklage	R		
	- Aufbrauch	B		
7.	Einzugsgebietsfläche	$F_E$	$A_E$	
7.1.	- oberirdisch	$F_{EO}$	$A_{EO}$	
7.2.	- unterirdisch	$F_{EU}$	$A_{EU}$	
7.3.	- Zehrflächen	$F_{EOZ}$	$A_{EOZ}$	
8.	Nährflächen	Index N	Index N	
9.	Zehrflächen	Index Z	Index Z	
10.	zusätzliche Symbole in Fest- gesteinsbereich			
	- effektiver Niederschlag	$N_{eff}$		
	- landschaftsnotwendiger Kleinst- abfluß	$Q_L$		

### 3.2. Einflußgrößen

Die Grundwasserneubildung wird von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren direkt oder indirekt beeinflusst, die komplex über die reale Evapotranspiration auf das Wasserhaushaltaregime wirken:

#### a) Klimatologische Einflußgrößen

- Niederschlag (lokale, regionale und zeitliche Verteilung der Niederschlagshöhe; Niederschlagsdauer; Niederschlagsdichte; Länge regenfreier Zeitabschnitte; Schneeeanteil am Niederschlag; Extremwerte in Trocken- und Naßjahren u.a.)
- Strahlungsangebot (kurz- und langwelliger Strahlungssaldo in Abhängigkeit von Klimagrößen und Albedo; potentielle Verdunstung als Wasseräquivalent des Wärmeangebots u.a.)
- Atmosphärische Verhältnisse (Lufttemperatur; Luftfeuchtigkeit; Sättigungsdefizit; Windgeschwindigkeit; Luftdruck u.a.)

#### b) Geologisch-bodenkundliche Einflußgrößen

- Hauptbodenarten und Bodenprofil der Deckschichten (Genese, Kornverteilung; Durchlässigkeit; Mächtigkeit; Struktur; Schichtung; Porosität; Benetzungswiderstand; Speicherkapazität; Saugspannung; kapillare Leitfähigkeit u.a.)
- Geologischer Aufbau (Ausbildung der Grundwasserleiter und Grundwasserstruktur)

#### c) Geographische Einflußgrößen

- Bodenbedeckung/Bodennutzung (Vegetation; Erträge; Bonität; Bodenbearbeitung; Bebauung)
- Hydrologie (Gewässerflächen; Eigenschaften der Gewässer; Fluorabstand des Grundwasserspiegels; Flußdichte)
- Morphologie (Geländeneigung; Hanglage, Reliefenergie des Geländes)

Es ist praktisch nicht möglich, gleichzeitig alle Einflußgrößen bei der Berechnung der Grundwasserneubildung zu berücksichtigen. Das heißt aber, daß sich jedes Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung immer nur auf einige jeweils wesentliche Ausgangsparameter beschränken und eine Reihe anderer Einflußgrößen vernachlässigen muß. Der Genauigkeit zur Berechnung der Grundwasserneubildung sind demnach von vornherein Grenzen gesetzt. Die Berechnung örtlich-variabler langjähriger Mittelwerte der Grundwasserneubildung wird umso schwieriger und ungenauer,

je uneinheitlicher die klimatologischen, geologischen, bodenkundlichen und geographischen Bedingungen des Untersuchungsgebietes sind. Mit wachsender Flächengröße des Untersuchungsgebietes gleichen sich jedoch viele Inhomogenitäten aus.

Die Problematik der Neubildungsberechnung im Festgestein liegt vergleichsweise zum Lockergestein in den anders gearteten Einflussfaktoren

- höhere Niederschläge
- große Reliefenergie
- geringerer Strahlungssaldo
- hoher Oberflächenabfluß
- geringeres Speichervermögen
- hoher Anteil linearer Versinkungen

begründet. Methodisch abweichend vom Lockergestein resultiert daraus im Festgestein die Notwendigkeit, bereits bei der Durchführung der Berechnungen der Grundwasserneubildung die Ermittlung des ständig verfügbaren GW-Abflusses der Einzugsgebiete einzuschließen, d.h., Neubildungs- und Dargebotsberechnungen können nicht getrennt werden. Infolge der allgemein eng begrenzten Einzugsgebiete und der oft schwierigen Abgrenzbarkeit der Nährgebiete sind Neubildungsberechnungen im Festgestein mit größeren Schwierigkeiten bzw. Ungenauigkeiten behaftet.

#### 4. Allgemeiner Verfahrensweg

Die Grundwasserneubildung kann grundsätzlich nach drei Methoden bestimmt werden.

##### 4.1. Direkte Meßmethoden

Eine direkte Messung des versickernden Niederschlages ist mittels wägbarer oder nicht wägbarer Lysimeter möglich. Diese für repräsentative Standorte durchgeführten Lysimetermessungen werden, unter Beachtung der eingangs aufgezählten Einflussfaktoren, auf Untersuchungsgebiete mit analogen Versickerungsmöglichkeiten übertragen. Es ist allerdings zu bemerken, daß die Übertragung der Versickerungswerte infolge der differenzierten Ausbildung der oberflächennahen Zonen nicht unproblematisch ist, zumal ein mehr oder weniger großer Anteil der Versickerungsmenge durch hypodermischen Abfluß nicht bis zum Grundwasser gelangt und daher als flächenhaft nicht nutzbar eliminiert werden muß.

Eine Zusammenfassung solcher direkten Messungen erfolgt häufig nach geeigneter Klasseneinteilung in Form von Schlüsselkurven.

#### 4.2. Direkte Berechnungsmethoden

Diese Methoden gehen davon aus, den unterirdischen Abfluß aus der Wasserhaushaltsgleichung zu berechnen. Dazu ist die Kenntnis aller übrigen Wasserhaushaltsgrößen nötig, für deren Ermittlung eine Anzahl Verfahren vorliegen.

Man geht davon aus, daß sich für längere Zeiträume Rücklage  $\bar{R}$  und Aufbrauch  $\bar{B}$  ausgleichen, die Wasservorratsänderung  $\bar{W} = \bar{R} - \bar{B}$  also zu Null wird und außerdem die Größen Niederschlag  $\bar{N}$  und Oberflächenabfluß  $\bar{A}_0$  mehr oder weniger fehlerbehaftet meßbar sind. Infolgedessen müssen sich die Hauptarbeiten zur Bestimmung des unterirdischen Abflusses  $\bar{A}_u$  gemäß Gleichung (1) auf die Ermittlung der Verdunstung beziehen. Daher wurden eine Reihe von Verfahren zur Verdunstungsermittlung entwickelt. Diese berücksichtigen ebenfalls jeweils verschiedene der eingangs erwähnten Einflußgrößen, insbesondere Boden- und Vegetationsfaktoren sowie Energieangebot und Sättigungsdefizit. Die Aussagen zum oberirdischen Abfluß sind häufig mit Schwierigkeiten verbunden, da ausreichende Daten oft nicht zur Verfügung stehen und die Messungen in fortzschreitendem Umfang durch anthropogene Einflüsse verfälscht werden. Zu den direkten Berechnungsmethoden sind die Abhängigkeiten zwischen unterirdischem Abfluß und Niederschlag (Schlüsselkurven) und die Wasserwerksauswertungen zu zählen.

#### 4.3. Indirekte Berechnungsmethoden

Die indirekten Methoden gehen von einer Betrachtung der durch die Grundwasserneubildung beeinflussten Größen sowie von deren zeitlicher und örtlicher Variabilität aus und ziehen daraus Rückschlüsse auf den unterirdischen Abfluß. Solche Größen sind Abflüsse, Grundwasserstände sowie Richtung, Gefälle und Geschwindigkeit der Grundwasserströmung. Diesbezügliche Berechnungen bauen beispielsweise auf Trockenwetterganglinien von Oberflächengewässern, Schwankungen des Grundwasserstandes und der allgemeinen Durchflußgleichung nach DARCY auf. Modelltechnische und numerische Verfahren der indirekten Parameterquantifizierung werden neuerdings auf ihre Brauchbarkeit zur Ermittlung der Grundwasserneubildung getestet.

## 5. Auswahl der Berechnungsverfahren

### 5.1. Auswahlkriterien

Die Auswahl der Berechnungsverfahren wird in der hydrogeologisch-wasserwirtschaftlichen Praxis nach verschiedenen Kriterien erfolgen, wobei stets zu beachten ist, daß bei einem so komplizierten Prozeß wie der Grundwasserneubildung ein schematisches Auswählen der zu verwendenden Verfahren nach vorgegebenen Richtlinien zu vermeiden ist. Vielmehr kommt es darauf an, das breite Spektrum an Möglichkeiten zu beachten, um die Besonderheiten der Einzugsgebiete angemessen berücksichtigen zu können. Die Auswahl der Berechnungsverfahren ist somit ein wichtiger Schritt im Untersuchungsprozeß und bedarf einer umfassenden Auswertung aller vorliegenden hydrogeologischen, hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Unterlagen. Unter diesem Aspekt sind die folgenden Ausführungen als eine Entscheidungshilfe zu betrachten.

Die für die Praxis relevanten Auswahlkriterien lassen sich in drei Gruppen gliedern:

- Auswahlkriterien nach geologischen, meteorologischen und hydrologischen Bedingungen
- Auswahlkriterien nach Aufgabenstellung
- Verfahrensspezifische Kriterien

Von besonderer Bedeutung sind die geologischen, meteorologischen und hydrologischen Bedingungen. Hierbei bestehen grundlegende Unterschiede zwischen Locker- und Festgesteinsbereich, vor allem hinsichtlich der verschiedenen Speicherkapazitäten in den Poren- und Kluftwasserleitern. Weiterhin ist im Festgesteinsbereich auf die stärkeren Reliefunterschiede, verbunden mit erhöhten oberirdischen und hypodermischen Abflüssen, andere Klimabedingungen sowie die generell größere Variabilität der die Grundwasserneubildung bestimmenden Einflußfaktoren hinzuweisen.

In einzelnen sind folgende Faktoren von besonderer Bedeutung:

- Geologische Situation
  - Grundwasserleitertyp (Poren-GWL  $L^x$ , Kluft-GWL  $F^{xx}$ , kavernöse GWL  $F$ )
  - Bedeckungsgrad (unbedeckter GWL, bedeckter GWL  $L$ ,  $F$ )
  - Lagerstättentyp (Muldentyp  $F$ , Flankentyp  $F$ , Sattel- oder Tafelbergtyp  $F$  sowie Typen im Lockergestein gemäß GW-Lagerstättentypenkatalog Lit. 1).

- . lithologische und geohydraulische Parameter  $L + F$
- hydrodynamische Situation (gilt für  $F$  u.  $L$  ).
  - . Einzugsgebietsgröße
  - . Sicherheit der Abgrenzungen der Recheneinheit
  - . GW-Strömungsmodell des Berechnungsgebietes
- hydrologische Situation (gilt für  $F$  u.  $L$  ).
  - . Vorhandensein von Vorflutern
  - . Vorhandensein von hydrologischen Meßreihen

**X L** - im Lockergesteinsbereich

**XX F** - im Festgesteinsbereich

Im Zusammenhang mit der Aufgabenstellung ist zu beachten, daß in einem Detailgebiet Einflußfaktoren wirksam werden können, die in einem großen Raum in ihrer Auswirkung unwesentlich oder ausgeglichen sind. Diese Probleme sowie der unterschiedliche Erkundungs- bzw. Aufschlußgrad bedingen eine Untergliederung der anwendbaren Berechnungsverfahren nach ihrer statistischen Sicherheit für

- Vor- und Detaillerkundung
- Prognose, Planung u. Suche

und bei der Notwendigkeit des Einsatzes mehrerer Verfahren in sog. Vorrang- bzw. Kontrollverfahren (Tab. 2).

Die Zuordnung von Vorrang- bzw. Kontrollverfahren kann sich je nach hydrogeologischen Bedingungen der Einzugsgebiete auch ändern und soll nicht betrachtet werden. Wesentlich für die Entscheidung ist die Klärung des hydrologischen Abflußregimes der jeweiligen Recheneinheit.

Die verfahrensspezifischen Kriterien beinhalten sowohl regionale Besonderheiten (besonders im Festgesteinsbereich) als auch die Effektivität der Verfahren (Relation Aufwand/Genauigkeit). Weiterhin ist in diesem Zusammenhang zu beachten:

- . liegen Eingangsdaten als Routinemeßdaten vor?
- . bisherige Praxiserfahrungen
- . Nutzerfreundlichkeit der Verfahren (Möglichkeiten der manuell. und/oder EDV-mäßigen Abarbeitung der Berechnung).

In der folgenden Tabelle 2 werden unter Berücksichtigung wesentlicher Kriterien Vorschläge für die Anwendung einzelner Verfahren unterbreitet:

Tabelle 2: Auswahl der Berechnungsverfahren

1. Lockergestein

<u>Aufgabenstellung</u>	<u>Verfahren</u>
Vor- und Detailerkundung	BAGROV/GLUGLA <sup>x</sup> SCHLINKER <sup>xx</sup>
Suche, Prognose, Planung	BAGROV/GLUGLA SCHLINKER ZIESCHANG Überarbeitete N-A-U-Karte (M 1:200 000) Hydrogeologische Übersichtskarte (M 1:50 000)

<sup>x</sup> Verfahren BAGROV/GLUGLA - Haupteinsatzbereich:

Unbedeckter GWL, GWL mit geringmächtiger Bedeckung und vertikaler Züsickerung zum Grundwasser sowie bedeckte GWL mit Durchflußmeßreihen der oberirdischen Abflüsse (MQ). Keine Anwendung bei bedeckten GWL (Mehrschichtwerkstyp) ohne Durchflußmessungen möglich. Entsprechend der Herleitung des Verfahrens können die Einflüsse der Vegetation auf die Grundwasserneubildung differenziert berücksichtigt werden.

<sup>xx</sup> Verfahren SCHLINKER - Haupteinsatzbereich:

Bedeckter GWL (mit und ohne Durchflußmessungen), aber auch in unbedeckten GWL möglich. Entsprechend der Herleitung des Verfahrens erfolgt keine spezielle Berücksichtigung der Vegetationseinflüsse auf die Grundwasserneubildung, sie sind summarisch (neben anderen Einflüssen) in den Versickerungsfaktoren enthalten, die für die Nordbezirke der DDR abgeleitet wurden. Deshalb ist das Verfahren besonders für Gebiete mit ähnlicher Vegetationsstruktur geeignet.

**Tabelle 2: Auswahl der Berechnungsverfahren - Fortsetzung**

**2. Festgesteinsbereich**

Aufgabenstellung	Vorrangverfahren	Kontrollverfahren
Vor- und Detailerkundung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demonstrativpumpversuch</li> <li>- Berechnung nach emp.-statist. Parametern                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• HECHT/GÖTZE/HOPPE u.a. (Thüringer Schiefergebirge u. Vogtland)</li> <li>• Schlüsselkurven nach ZIEGLER/GABRIEL (SW-Teil der DDR)</li> <li>• KRAFT/SCHRÄBER (Granulitgebirge, z.T. Erzgebirge)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Separationsverfahren (KILLE, NARBE, WEYER)</li> <li>- Wasserwerks-Statistik</li> <li>- Trockenwetterabflußstatistik/reproduzierbare Durchflußmessungen</li> </ul>
Prognose/Suche/Planung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hydrogeologische Übersichtskarte M 1 : 50 000</li> <li>- Berechnung nach emp.-statist. Parametern</li> <li>- Schlüsselkurven</li> <li>- Separationsverfahren</li> </ul>	wie oben

## 5.2. Beschreibung der zu verwendenden Verfahren

### 5.2.1. Lockergesteinsbereich

#### 5.2.1.1. Verfahren für die Erkundung

##### 5.2.1.1.1. Berechnungsverfahren nach BAGROV/GLUGLA

#### Beschreibung des Verfahrens

Mit diesem Verfahren wird aus der Verbindung von Wärme- und Wasserhaushalt zunächst die am Standort oder im betrachteten Gebiet zur Verfügung stehende Wassermenge, das sogenannte potentielle Wasserdargebot (= Gesamtabfluß) ermittelt. Dieses potentielle Wasserdargebot ergibt sich im langjährigen Mittel aus der Differenz Niederschlag  $\bar{N}$  minus  $\alpha \cdot 10$  Evapotranspiration  $\bar{V}$ .

Der weitere logische Weg ist die Untergliederung des Gesamtabflusses in die unter- und oberirdische Komponente:

Für unbedeckte Grundwasserleiter und für bedeckte Grundwasserleiter mit ausschließlich vertikaler Sicherung des Niederschlagswassers bis zur Grundwasseroberfläche ist das berechnete potentielle Wasserdargebot gleich dem zeitlichen Mittel der Grundwasserneubildung (Bild 1).

Für bedeckte Grundwasserleiter mit Oberflächenabfluß ergibt sich - sofern die Vorfluter keinen oder nur geringen Kontakt mit dem Hauptgrundwasserleiter haben - der unterirdische Abfluß (Grundwasserdargebot) im Hauptgrundwasserleiter des Gebietes aus der Differenz: potentiell Wasserdargebot minus oberirdischer Abfluß des Untersuchungsgebietes (Durchflussmessungen der Vorfluter) unter Nutzung von Ergebnissen hydrogeologischer Erkundung (Bild 2).

Die für die Ermittlung des potentiellen Wasserdargebots erforderliche reale Evapotranspiration wird aus der Verbindung von Wärme- und Wasserhaushalt nach BAGROV (2/, 3/, 4/) berechnet.

Die hierfür geltende Differentialgleichung

$$\frac{dV}{dH} = 1 - (V/V_{\text{pot}}) \text{ BAGF} \quad (2)$$

genügt den Randbedingungen des Verdunstungsprozesses:

$$V \quad N \quad \text{falls } V_{\text{pot}} \longrightarrow \infty \quad (3)$$

$$V \quad V_{\text{pot}} \quad \text{falls } N \longrightarrow \infty \quad (4)$$

- mit  $N$  langjähriges Mittel des Niederschlages (korrigiert)  
 $V_{\text{pot}}$  langjähriges Mittel der potentiellen Verdunstung  
(Wasseräquivalent des Wärmeangebots)  
 $V$  langjähriges Mittel der realen Verdunstung  
BAGF Parameter, der die Effektivität des Standorts im  
Verdunstungsprozeß kennzeichnet.

Die Lösung der Differentialgleichung wird in Bild 3 auszugsweise für einige Werte des Parameters BAGF dargestellt (vgl. auch /5/).

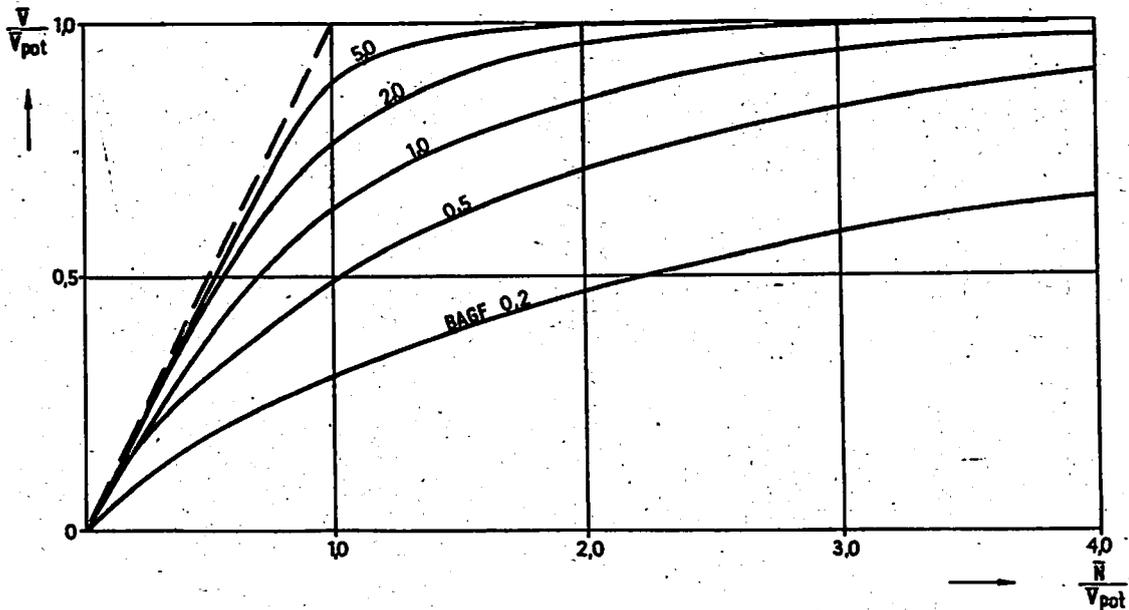
Der Effektivitätsparameter BAGF ist eine im wesentlichen von Boden und Vegetation abhängige Größe. BAGF ist umso größer, je stärker das Bodenwasser (Haft- und Sickerwasser in der Aerationzone) der Verdunstung unterliegt. Dies hängt von der Bindigkeit des Bodens und der Durchwurzelungstiefe der Pflanzen ab. Die Festlegung von BAGF in Abhängigkeit der genannten Einflußgrößen Boden- und Vegetationsart ("Eichkurven") erfolgte im Institut für Wasserwirtschaft nach umfangreichen Auswertungen von Beobachtungsdaten annähernd 100 in- und ausländischen Lysimeterstationen. Die BAGROV-Beziehung ermöglichte es, unter Berücksichtigung der Einflüsse von Niederschlag und potentieller Verdunstung auf die reale Verdunstung Beobachtungsdaten aus unterschiedlichen Klimagebieten in die Auswertung einzubeziehen.

Die Auswertung der Lysimeterbeobachtungen und Festlegungen von BAGF bedingte im allgemeinen die Verwendung von bodengleichen Niederschlagswerten, so daß sich in der BAGROV-Beziehung bei Verwendung von Niederschlagswerten des MD (l = Aufstellungshöhe) eine Erhöhung dieser Maßwerte um rd. 10 % erforderlich macht.

Um diesen Betrag sind für den Lockergesteinsbereich der DDR im Mittel der Jahre und Lysimeterstationen die bodengleichen Niederschlagswerte höher als die in l = Aufstellungshöhe gemessenen Werte.

Bild 3 Darstellung der BAGROV - Beziehung für ausgewählte Werte des Effektivitätsparameters BAGF

$\bar{N}$  langj. Mittel des Niederschlags (korrigiert)  
 $\bar{V}_{pot}$  langj. Mittel der potentiellen Verdunstung  
 $\bar{V}$  langj. Mittel der realen Verdunstung



Für den mehrjährigen Mittelwert der potentiellen Verdunstung wurde aus Berechnungen des Strahlungsaalden einer stets feuchten Fläche (KORTUM) in IfW eine DDR-Karte im Maßstab 1 : 1 Mill. erarbeitet. Sie ist dieser Empfehlung als Anlage 1 beigegeben.

Hinsichtlich der gebietsmäßigen Verallgemeinerung des erläuterten Algorithmus zur Berechnung der realen Evapotranspiration hat es sich als zweckmäßig erwiesen, das Untersuchungsgebiet in Flächen mit annähernd einheitlichem hydrologischen Verhalten - sogenannte Hydrotope nach SPENGLER /6/ - zu untergliedern und auf die einzelnen Hydrotope das Berechnungsverfahren anzuwenden (Bild 4).

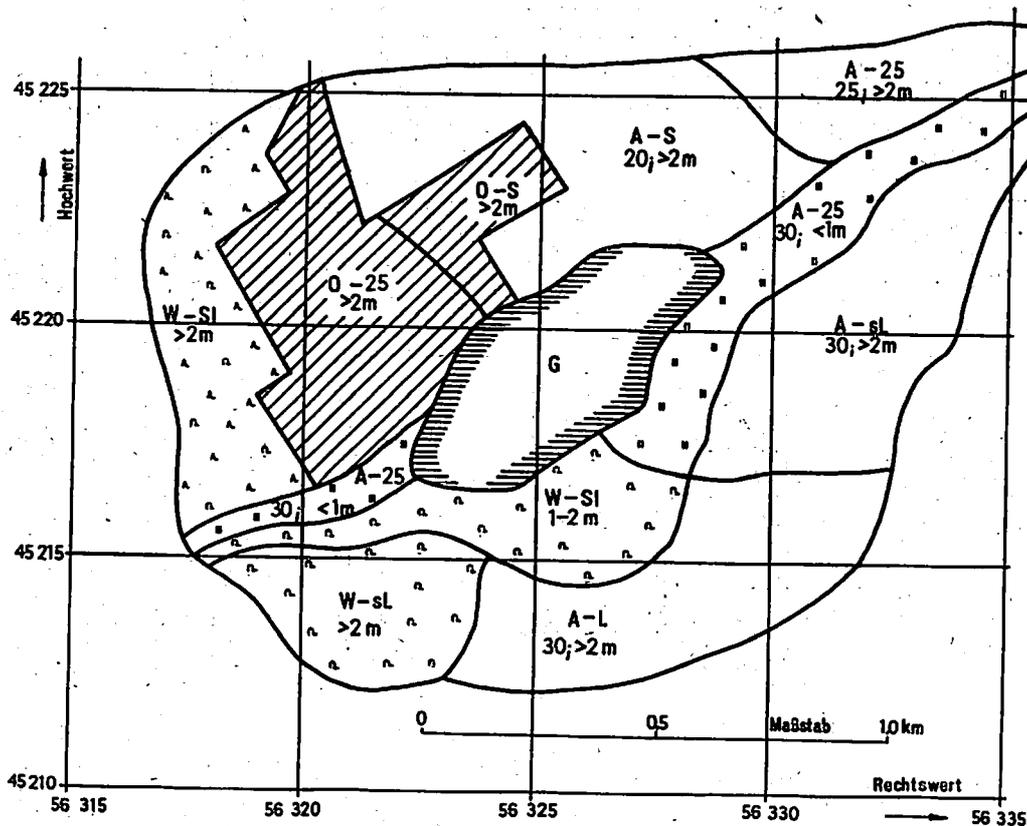
Hierbei ist zunächst nach Gebietseinheiten mit sommerlich "flurfernem Grundwasserstand" (bei landwirtschaftlichen Kulturen und Ortslagen GW-Flurabstand  $\geq 1$  m, bei forstlichen Kulturen  $> 2$  m) und mit sommerlich "flurnahem Grundwasserstand" (bei landwirtschaftlichen Kulturen und Ortslagen  $< 1$  m, bei forstlichen Kulturen  $\leq 2$ ) zu unterscheiden (Bild 5).

Für die Gebietseinheiten mit flurfernem Grundwasserstand erfolgt die Berechnung der realen Evapotranspiration  $\bar{V}$  nach der BAGROV-Beziehung mit den Eingangsdaten Niederschlag  $\bar{N}$  und potentielle Verdunstung  $\bar{V}_{pot}$  unter Nutzung der Abhängigkeiten des Parameters BAGFV von Nutzungsform und Bodenart. Diese Abhängigkeiten (vgl. /5/) werden programmintern abgearbeitet.

Für die Gebietseinheiten mit flurnahem Grundwasserstand ist - nach Beobachtungsergebnissen an Lysimetern mit variablem Grundwasserstand - die reale Evapotranspiration annähernd gleich der potentiellen ( $\bar{V} = \bar{V}_{pot}$ ; vgl. Anlage 1).

Für Gewässerflächen des Flachlandes der DDR wird nach Ergebnissen von RICHTER /7/ ein mittlerer Wert für die jährliche Evaporation genommen ( $\bar{V}_{wa} = 700$  mm). Wegen der regionalen Veränderlichkeit dieses Wertes infolge Klimaeinfluß, unterschiedlicher Gewässertiefe und Uferabschirmung sollte bei verhältnismäßig hohem Seenanteil am Untersuchungsgebiet ( $> 20$  %) der MD (Forschungsinstitut für Hydrometeorologie Berlin) konsultiert werden. Näherungsweise kann die beiliegende DDR-Karte der Gewässerverdunstung genutzt werden (Anlage 2).

Bild 4 Teil eines Untersuchungsgebietes zur Erläuterung der Verfahren



Erläuterung der Symbole

Nutzungsform

- A — landw. Nutzfl.
- W — Wald
- G — Gewässer
- O — Ortslage

Bodenart

- S — Sand
- SI — anlehm. Sand
- IS — lehm. Sand
- SL — stark lehm. S.
- sl — sandiger Lehm
- L — Lehm
- LT — schwerer Lehm
- T — Ton
- M — Moor

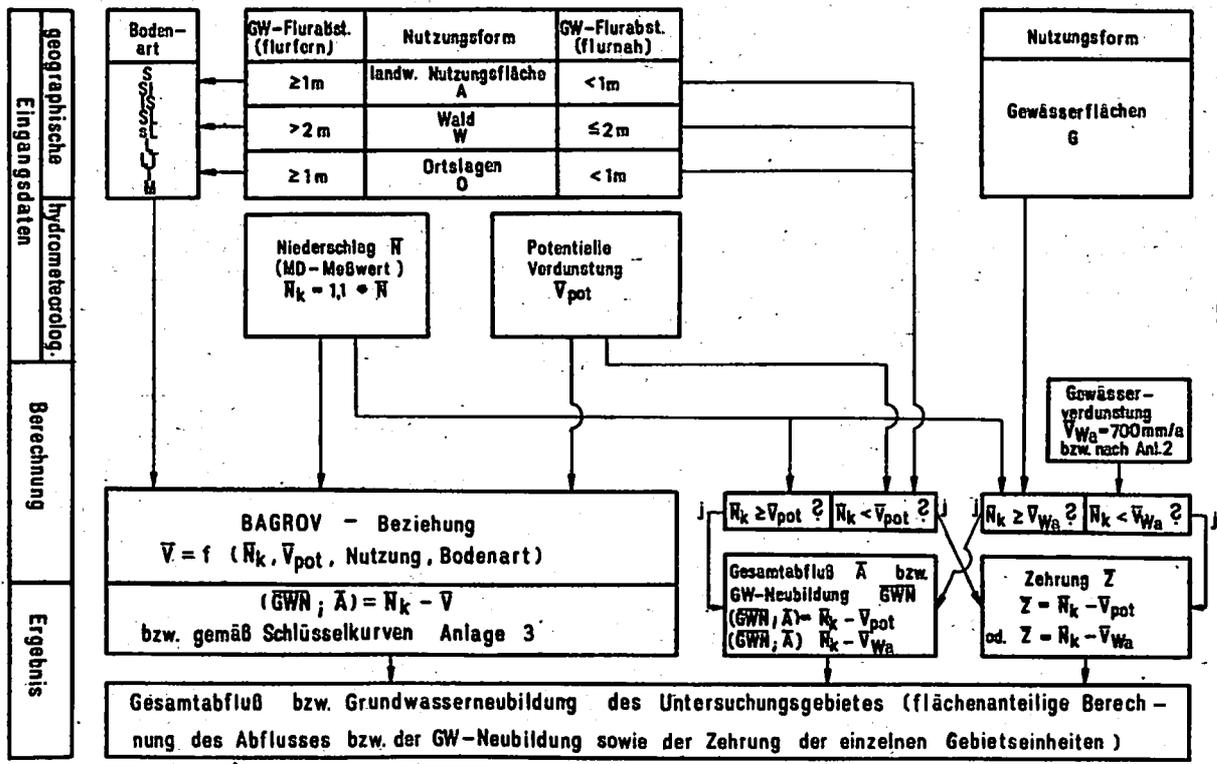
Ertragsklasse der landw. Flächen nach / 4 /

- 20 — geringe Erträge
- 30 — mittlere Erträge
- 40 — gute Erträge

Klasse des GW-Flurabstands

- < 1m
- 1-2m
- > 2m

Bild 5 Schema für die Berechnung der Grundwasserneubildung (bzw. des Abflusses) aus der Verbindung von Wärme- und Wasserhaushalt nach BAGROV / GLUGLA



Aus der errechneten bzw. festgesetzten realen Verdunstung  $\bar{V}$  ergibt sich das potentielle Wasserdargebot (= Gesamtabfluß  $\bar{A}$  oder Grundwasserneubildung  $\bar{GWN}$ ) aus der Differenz zum "korrigierten" Niederschlag  $\bar{N}_k$

$$(\bar{A}; \bar{GWN}) = \bar{N}_k - \bar{V} \quad (5)$$

wobei sich der "korrigierte" Niederschlag  $\bar{N}_k$  aus dem MD-Wert ( $\bar{N}_{1m}$ ) durch Erhöhung um 10 % errechnet:

$$\bar{N}_k = 1,1 \bar{N}_{1m} \quad (6)$$

Gebietsflächen mit flurnahem Grundwasserstand sind dann Zehrflächen (negative Werte von  $\bar{A}$  bzw.  $\bar{GWN}$ ), wenn  $\bar{N}_k < \bar{V}_{pot}$ . Bei Gewässerflächen tritt Zehrung  $\bar{Z}$  auf, wenn  $\bar{N}_k < 700$  mm im Jahresmittel ist.

Für das gesamte Untersuchungsgebiet errechnet sich das potentielle Wasserdargebot (= Gesamtabfluß  $\bar{A}$ ) bzw. die Grundwasserneubildung  $\bar{GWN}$  flächenanteilig aus den entsprechenden Werten des Wasserdargebots und der Zehrung der einzelnen Gebietsseinheiten, aus denen sich das Untersuchungsgebiet mosaikartig zusammensetzt.

#### Praktische Abarbeitung

Die Berechnung der Grundwasserneubildung bzw. des Gesamtabflusses nach dem Verfahren BAGROV/GLUGLA kann unter Nutzung der EDV oder manuell erfolgen:

Zur rationellen und effektiven Anwendung des Berechnungsverfahrens steht das Programmsystem RASTER zur Verfügung (Programmautor: Dr. rer. nat. R. Enderlein). Zur Breitenanwendung wurde eine Anwenderinstruktion /4/ erarbeitet.

Bei der EDV-Abarbeitung ergeben sich beträchtliche Einsparungen an technischen Arbeiten aus dem Wegfall der Ausgliederung, Zeichnung und Planimetrierung der Flächen ähnlich hydrologischen Verhaltens (Hydrotope).

Besondere Vorteile bei der Abarbeitung über EDV sind gegeben, wenn

- das Untersuchungsgebiet in Bezug auf sein hydrologisches Verhalten sehr heterogen aufgebaut ist
- die Gebietsparameter (Eingangsdaten) auf Lochkarten als Datenträger laufend gehalten werden sollen

- häufige Veränderungen in Lage und Größe des Untersuchungsgebietes zu erwarten sind (Austausch von Datenkarten!)
- Berechnungen des innerjährlichen Ganges (aktuelle Monatswerte) der Grundwasserneubildung folgen sollen <sup>\*)</sup>
- die reterpunktbezogenen Werte der Grundwasserneubildung zur Zeichnung von Isolinien mittels EDV verwendet und als Speisungsgröße großräumiger GW-strömungsfelder direkt in die Koordinaten entsprechender Programme (HOREG, HOREGO) umgesetzt werden.

Die "manuelle Abarbeitung" ist dann von Vorteil, wenn

- das Untersuchungsgebiet in Bezug auf sein hydrologisches Verhalten relativ homogen aufgebaut ist und sich nur wenige Hydrotope ausweisen lassen
- die Höhe der Grundwasserneubildung bzw. des Gesamtabflusses kurzfristig und überschlägig ermittelt werden soll
- im konkreten Anwendungsfall der schnelle Zugriff zur EDVA nicht gegeben ist.

---

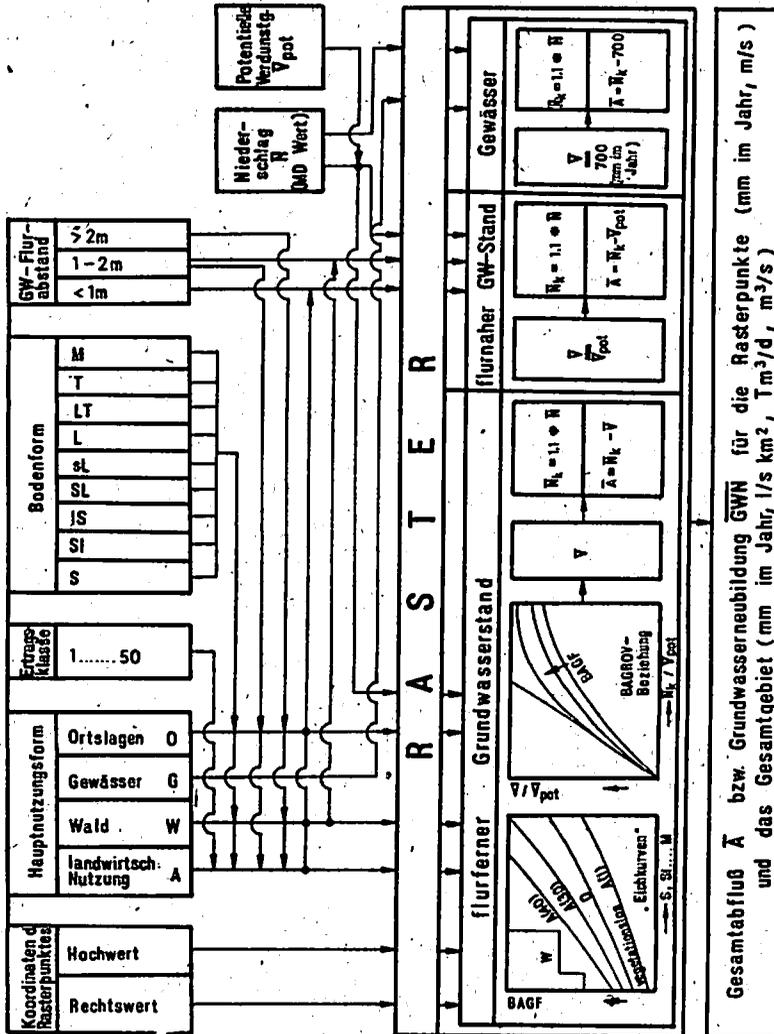
<sup>\*)</sup> Anmerkung: Die Berechnung von Monatswerten der Grundwasserneubildung erfolgt nach dem Programmsystem JAGA /5/, /8/. Hierzu werden die Datenkarten der Gebietsinformationen nach RASTER mitgenutzt. Eine Anwenderinstruktion ist in Vorbereitung.

Abarbeitung über EDV:

Für die praktische Anwendung des Programmsystems RASTER sind nachfolgende Arbeitsschritte bzw. Eingangsinformationen erforderlich (vgl. Schema in Bild 6). Über Details informiert die "Anwenderinstruktion RASTER"/4/. Anwenderinstruktion, Programmdokumentation /9/ und Rechenprogramm liegen im Institut für Wasserwirtschaft, Berlin und im VEB Hydrogeologie vor.

Lfd. Nr.	Arbeitsschritte	Bemerkungen; Kartenunterlagen und Eingangsinformationen
1.	Wahl eines quadratischen orthogonalen Rasters (vgl. Beispielgebiet in Bild 4)	In allgemeinen ist als Grundnetz das GAUSS/KRÜGER-Koordinatennetz der topographischen Karten zu verwenden. Um die notwendige Genauigkeit für das zu errechnende Gebietsmittel des Dargebots zu erreichen, ist das quadratische Orthogonalnetz so engmaschig zu wählen, daß mindestens 100 bis 200 Rasterpunkte im Untersuchungsgebiet zu liegen kommen.
2.	Ermittlung von Gebietsparametern an den Schnittpunkten des Rasters	
2.1.	Koordinaten des Rasterpunktes	Hoch- und Rechtswert (z.B. der topographischen Karten in m)
2.2.	Hauptnutzungsform	Für die Ermittlung der Hauptnutzungsform ist die Topograph. Karte (Ausgabe für die Volkswirtschaft) in den Maßstäben 1 : 10 000 oder 1 : 25 000 heranzuziehen, da für diese Karten eine laufende Aktualisierung insbesondere der Grenzen der Ortslagen vorgenommen wird.
	- landwirtschaftl. Nutzfläche	A
	- Wald	W
	- Oberflächengewässer	G
	- Ortslagen	O
2.3.	Ertragaklasse der landwirtschaftl. Kulturen (kann bei mittleren Erträgen entfallen)	Festlegung der Ertragaklasse gemäß Anwenderinstruktion für das Rechenprogramm RASTER /4/
2.4.	Bodenart (bis etwa 1 bzw. 2 m Tiefe)	Für die synthetische Betrachtung sind die Karten der Bodenschätzung (M 1 : 10 000 und 1 : 25 000), Geologische Spezialkarten (M 1 : 25 000), Karten der forstlichen Standortkartierung (M 1 : 10 000) u.a. heranzuziehen
	- Sand	S
	- anlehniger Sand	Sl
	- lehmiger Sand	LS
	- stark lehmiger Sand	SL
	- sandiger Lehm	sL
	- Lehm	L
	- schwerer Lehm	Lf
	- Ton	T
	- Moorboden	M

Lfd. Nr.	Arbeitsschritte	Bemerkungen; Kartenunterlagen und Eingangsinformationen
2.5.	Klasse des mittleren sommerlichen GW-Flurabstands	Die Festlegung erfolgt über vergleichende Betrachtung von Hydroisohypsenplänen und topographischen Karten bzw. über GW-Flurabstandskarten.
	< 1 m 1 - 2 m > 2 m	
2.6.	Langjähriger Mittelwert des Niederschlags $\bar{N}$	Hier sind die örtlich variablen Gebietswerte des Niederschlags (MD-Meßnetz bzw. Sondernetze) zu verwenden. Im allgemeinen wird für eine Vielzahl von Rasterpunkten der gleiche Niederschlagswert verwendet. Die Korrektur der Niederschläge erfolgt programmintern.
2.7.	Langjähriger Mittelwert der potentiellen Verdunstung $\bar{V}_{pot}$	Zur Festlegung dieses Wertes s. Anl. 1
3.	Eintragen der Gebietsparameter in Dateneingabeformulare (teilw. in codierter Form)	Vgl. hierzu Anwenderinstruktion RASTER /4/ und Bild 7 mit Daten des Beispielgebietes Bild 4.
4.	Ablochung der codierten Informationen (Lochkarte, Lochstreifen)	vgl. Anwenderinstruktion RASTER /4/.
5.	Abarbeitung mit dem Programm RASTER	Das Rechenprogramm liegt als FORTRAN-Programm in einer Version für die BESM-6 vor. Es wurde ferner eine ESER-kompatible Version für den KRS 4200 erarbeitet. (Die Rechenkosten liegen pro Untersuchungsgebiet (bis zu 200 Rasterpunkte) unter 100 M)
6.	Berechnungsergebnisse	Mit dem Programm RASTER werden langjährige Mittelwerte der Grundwasserneubildung bzw. des Gesamtabflusses für die einzelnen Rasterpunkte (in mm/a und m <sup>3</sup> /s) und das Gesamtgebiet (in mm/a, l/s km <sup>2</sup> , Tn <sup>3</sup> /d und m <sup>3</sup> /s) berechnet und ausgedruckt (vgl. Bild 8 als Berechnungsergebnis für das Beispielgebiet Bild 4)



geographische	hydrometeorolog.	Berechnung	Ergebnis
Eingangsdaten			

Bild 6 Schema für die Berechnung der Grundwasserneubildung (bzw. des Abflusses) aus der Verbindung von Wärme- und Wasserhaushalt nach BAGROV / GLUGLA mit dem Rechenprogramm RASTER (Programmautor R. ENDERLEIN)

Gesamtabfluß  $\bar{A}$  bzw. Grundwasserneubildung  $\bar{GWN}$  für die Rasterpunkte (mm im Jahr, m/s) und das Gesamtgebiet (mm im Jahr, l/s km<sup>2</sup>, Tm<sup>3</sup>/d, m<sup>3</sup>/s)

# PROGRAMM RASTER DATENEINGABEFORMULAR

IFW Berlin

KOORDINATEN NACH MESSTISCHBLATT				HAUPT- NUTZ- FORM	BODENART	GW- FLUR- ABST.	HYDROMET. GRÖSSEN		KARTEN- KENN- ZEICHEN																
RECHTS- WERT		HOCH- WERT					Niederschlag unkorrigiert	Potentielle Verfestung																	
1	3	5	7	11	13	15	17	21	23	26	29	31	33	35	37	40	42	45	47	52	54	73	75	77	79
56	32	00	00	45	21	50	00	01	00	00	00	00	01	00	00	00	01	56	00	64	00	GLE	YRE	1	
55	32	50	00	45	21	50	00	01	00	00	01	00	00	00	00	01	00	56	00	64	00	GLE	YRE	2	
55	33	00	00	45	21	50	00	10	00	30	00	00	00	01	00	00	01	56	00	64	00	GLE	YRE	3	
55	32	00	00	45	22	00	00	00	01	00	00	01	00	00	00	00	00	56	00	64	00	GLE	YRE	4	
56	32	50	00	45	22	00	00	00	10	00	00	00	00	00	00	10	00	56	00	64	00	GLE	YRE	5	
56	33	00	00	45	22	00	00	10	00	30	00	00	01	00	00	00	01	56	00	64	00	GLE	YRE	6	
56	32	00	00	45	22	50	00	00	01	00	00	01	00	00	00	00	01	56	00	64	00	GLE	YRE	7	
56	32	50	00	45	25	50	00	10	00	20	00	00	00	00	00	00	01	56	00	64	00	GLE	YRE	8	
56	33	00	00	45	25	50	00	10	00	25	00	01	00	00	00	00	01	56	00	64	00	GLE	YRE	9	
56	33	50	00	45	25	50	00	10	00	30	00	01	00	00	00	10	00	56	00	64	00	GLE	YRE	10	

Bild 7 Dateneingabeformular mit Daten des - 26 - Beispielgebietes Bild 47)

\*\*\*\*\*

BERECHNUNGSERGEBNISSE NACH DEM PROGRAMM RASTER

PROGRAMMAUTOR DR. RER. NAT. R. ENDERLEIN

BILD 8

ANWENDUNG DES PROGRAMMS RASTER AUF +-BEISPIELGEBIET GEMAESS BILD 4

BERECHNUNGSERGEBNISSE VOM 11.08.80

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

LPD. NUM.	KENNWORT	RECHTS-/HOCHWERT	NUTZUNGSFORM	BODENART	GRUNDW.-FLURABST	P' IN MM UNKORR.	P' IN MM KORR.	ETP IN MM	ETR IN MM	GESAMTABFLUSS IN MM	IN M/S
1	GLEYRE 1	5632000	4521500	WALD	SANDIG. LEHM G 2 M	560	610	640	575	36	+1.13-09
2	GLEYRE 2	5632500	4521500	WALD	ANLEHM. SAND 1-2 M	560	610	640	640	-30	-9.38-10
3	GLEYRE 3	5633000	4521500	LANDW.NFL30	LEHM G 2 M	560	610	640	507	104	+3.28-09
4	GLEYRE 4	5632000	4522000	ORTSLAGE	LEHMIG. SAND G 2 M	560	610	640	426	184	+5.83-09
5	GLEYRE 5	5632500	4522000	GEWAESSER	ANLEHM. SAND L 1 M	560	610	640	700	-90	-2.84-09
6	GLEYRE 6	5633000	4522000	LANDW.NFL30	SANDIG. LEHM G 2 M	560	610	640	481	129	+4.10-09
7	GLEYRE 7	5632000	4522500	ORTSLAGE	LEHMIG. SAND G 2 M	560	610	640	426	184	+5.83-09
8	GLEYRE 8	5632500	4522500	LANDW.NFL20	SAND G 2 M	560	610	640	354	256	+8.12-09
9	GLEYRE 9	5633000	4522500	LANDW.NFL25	LEHMIG. SAND G 2 M	560	610	640	424	184	+5.83-09
10	GLEYRE10	5633500	4522500	LANDW.NFL30	LEHMIG. SAND L 1 M	560	610	640	640	-30	-9.38-10

FLAECHEGROESSEN DES GEBIETES

\*\*\*\*\*

ANZAHL DER KNOTENPUNKTE 10  
 ABSTAND DER RASTERLINIEN 0.500 KM  
 FLAECHE PRO KNOTENPUNKT 0.250 KM2  
 GESAMTFLAECHE DES GEBIETES 2.500 KM2

WASSERHAUSHALTSGROESSEN DES GEBIETES

\*\*\*\*\*

NIEDERSCHLAG (UNKORRIGIERT) 560 MM  
 NIEDERSCHLAG (KORRIGIERT) 610 MM  
 POTENTIELLE VERDUNSTUNG 640 MM  
 REALE VERDUNSTUNG 517 MM  
 GESAMTABFLUSS 93 MM = + 2.95+00 L/(SEC.KM2) = + 6.37+02 M3/D

\*\*\*\*\*

1) ANMERKUNG: IM PROGRAMM RASTER GILT: KORR. NIEDERSCHLAG = 1,09 \* GEMESS. NIEDERSCHLAG!

### Manuelle Abarbeitung

Für die praktische Anwendung des Berechnungsverfahrens BAGROV/GLUGLA auf manueller Grundlage sind nachfolgende Arbeitsschritte erforderlich (vgl. Schema in Bild 5). Für die Eingangsdaten gelten ferner die Hinweise der EDV-Abarbeitung.

<u>Lfd. Nr.</u>	<u>Arbeitsschritte</u>	<u>Bemerkungen</u>
1.	Ausgliederung der Gebietseinheiten mit annähernd einheitlichem hydrologischen Verhalten (Hydrotope) nach folgenden Kriterien: - Hauptnutzungsform - Klasse des mittleren sommerlichen GW-Flurabstands und Zuordnung zu flurfernen und flurnahem GW-Stand.	vgl. Beispielsgebiet Bild 4 und Formblatt Bild 9  vgl. EDV-Abarbeitung, Lfd.Nr.2.2. vgl. EDV-Abarbeitung, Lfd.Nr.2.4. vgl. EDV-Abarbeitung, Lfd.Nr.2.5. <u>flurfern</u> : $A, 0 > 1 \text{ m}$ $W > 2 \text{ m}$ <u>flurnah</u> : $A, 0 < 1 \text{ m}$ $W < 2 \text{ m}$
2.	Planimetrierung der ausgegliederten Gebietseinheiten (km <sup>2</sup> )	Rationeller Einsatz des Flächenrasters Auszählen von Rasterpunkten innerhalb der Gebietseinheiten und Umrechnung in Flächenwerte.
3.	Zuordnung der langjährigen Mittelwerte des Niederschlags (MD-Maßwerte) und der potentiellen Verdunstung zu den ausgegliederten Gebietseinheiten.	vgl. auch EDV-Abarbeitung, lfd. Nr. 2.6. und 2.7.
4.	Eintragen der Gebietsinformationen in das Formblatt	Arbeitsschritt 1: Lfd.Nr. 1 Spalte 1,2 oder 3 . flurfern: Sp. 1 . flurnah: Sp. 2 . Gewässer: Sp. 3  Arbeitsschritt 2: Lfd.Nr. 2 Spalte 4  Arbeitsschritt 3: Lfd.Nr. 3 Spalte 5 und 6 . $\bar{N}$ : Sp. 5 . $\bar{V}$ pot : Sp. 6
5.	Ermittlung der Grundwasserneubildung bzw. des Gesamtabflusses für die Gebietseinheiten mit sommerlich flurfernem GW-Stand aus den "Schlüsselkurven" Anl. 3 und Eintragen in das Formblatt Bild 9 Spalte 7	Verwendung der Gebietsinformationen lfd. Nr. 1 bis 3 gemäß Formblatt Bild 9, Spalte 1, 5 und 6.

Lfd. Nr.	Arbeitsschritte	Bemerkungen
6.	Ermittlung der Grundwasserneubildung (bzw. des Gesamtabflusses) oder der Zehrung für die Gebietsseinheiten mit sommerlich flurnahen GW-Stand und Eintragen in das Forablatt Bild 9, Spalte 8.	Ermittlung dieses Wertes aus der Differenz: korrigierter Niederschlag $\bar{N}_k$ minus potentielle Verdunstung $\bar{V}_{pot}$ ( $\bar{N}_k = 1,1 \bar{N}$ , aus Sp. 5; $\bar{V}_{pot}$ aus Spalte 6)
7.	Ermittlung des Gesamtabflusses bzw. der Zehrung für Gewässerflächen und Eintragen in das Forablatt Bild 9, Spalte 9	Berechnung des Jahresmittels aus der Differenz: korrigierter Niederschlag $\bar{N}_k$ minus $700 \text{ mm}$ (bei höherem Seenananteil: Benutzung der DDR-Karte über Gewässerverdunstung nach RICHTER, Anlage 2)
8.	Berechnung der Grundwasserneubildung $\bar{G}_{NW}$ , des Gesamtabflusses $\bar{A}$ bzw. der Zehrung $\bar{Z}$ des Untersuchungsgebietes aus den flächenanteiligen Beiträgen der einzelnen Gebietseinheiten gemäß Forablatt Bild 9, Spalte 10 (mm/a) sowie Angabe der Gebietssumme in mm/a (Spalte 10), in $l/s \text{ km}^2$ (Sp. 11) bzw. $T \text{ m}^3/d$ (Spalte 12).	Ermittlung der Abflußanteile der Gebietseinheiten aus den Flächenanteilen der Gebietsseinheiten ( $\frac{\text{Sp. 4}}{\text{Sp. 4}}$ ) multipliziert mit den Abflußwerten (bzw. der Zehrung) Sp. 7, 8 oder 9.

Die geringfügigen Unterschiede in Berechnungsergebnis der Grundwasserneubildung nach der EDV- bzw. manuellen Abarbeitung ergeben sich daraus, daß für die Erläuterung der EDV-Beispielberechnung eine zu geringe Anzahl von Rasterpunkten gewählt wurde!

Bild 9 Formblatt zu:

Manuelle Berechnung der Grundwasserneubildung GWN, des Gesamtabflusses  $\bar{A}$  bzw. der Zehrung  $\bar{Z}$  nach dem Verfahren BAGROV / GLUGLA

Untersuchungsgebiet: *Beispielgebiet Bild 4*Jahresreihe: *langj. Mittel*

Blatt: 1

Bearbeiter:

Datum:

Lfd.-Nr.	Eingangsdaten						Berechn. für die Gebietseinheiten			Berechn. für das Untersuchungsgebiet			
	hydrol. Flächeneinheiten			Gebiets- fläche km <sup>2</sup>	Jahresmittel des Niederschlags $\bar{N}$ mm	Jahresmittel der pot. Verdunstung $V_{pot}$ mm	GW-fern Jahresmittel für GWN, $\bar{A}$ gem. Schlüssel. Anl. 3 mm	GW-nah Jahresmittel für GWN, $\bar{A}$ , $\bar{Z}$ ( $N_k - V_{pot}$ ) ( $N_k - Sp_5 - Sp_6$ ) mm	Gewässerfl. Jahresmittel für $\bar{A}$ bzw. $\bar{Z}$ ( $N_k - 700$ ) ( $N_k - Sp_5 - 700$ ) mm	Jahresmittel von GWN, $\bar{A}$ bzw. $\bar{Z}$	$\frac{Sp_4}{\sum Sp_4} = \frac{Sp_7}{\sum Sp_7}$ od. 9 mm	$I_{Sp.10}$ 31,5 l s <sup>-1</sup> km <sup>2</sup>	$\sum Sp.11 = \sum Sp.4$ $= 8,64 \cdot 10^{-2}$ T m <sup>3</sup> / d
	GW-fern	GW-nah	Gewässer- flächen										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	W-SI			0,207	560	640	75			7,358			
2	Q-IS			0,236			184			20,580			
3	Q-S			0,070			243			8,062			
4	A-S			0,304			226			32,561			
5	A-IS			0,126			173			10,331			
6		A-IS		0,163				-24		-1,854			
7	A-sL			0,259			129			15,835			
8			G	0,194					-84	-7,723			
9	A-L			0,241			104			11,879			
10		W-SI		0,145				-24		-1,649			
11	W-sL			0,128			36			2,184			
12		A-IS		0,037				-24		-0,421			
Σ Gebiet bzw. Gebiets - M				2,110	560	640				96,1	3,05	0,556	

### 5.2.1.1.2. Verfahren SCHLINKER

#### Beschreibung des Verfahrens

##### Vorbemerkung:

Dieses komplexe Verfahren einer Berechnung der mittleren Grundwasserneubildung und der daraus abzuleitenden spezifischen und synthetischen Kennziffern für die Berechnung der Grundwasservorräte und Bewirtschaftungsgrößen mit Hilfe

empirisch-statistischer Parameter

gestattet

einerseits die Berechnung der Grundwasserneubildung aus Niederschlägen in Grundlage differenzierter Formen oberflächennaher geologischer Hauptbodenarten, der Vegetation und hydrologischer Verhältnisse,

andererseits durch Einführung von Verlustgrößen verdunstungsintensiver Zehrflächen die Ermittlung des flächenhaft nutzbaren Anteils der Grundwasserneubildung für die Bestimmung praxiwirksamer Kennziffern des Wasserkreislaufes.

Das Verfahren ist anwendbar in allen Phasen der Prognose und Erkundung

- für Grundwasserleiter in Ein- und Mehrstockwerksausbildung,
- bei Fehlen oder Vorhandensein oberirdischer Vorfluter, mit oder ohne Ergebnissen von Durchflußmessungen
- unter der Voraussetzung, daß ein Neubildungsgebiet nach hydraulischen und/oder geologischen, realen und/oder fiktiven Wasserscheiden abgrenzbar ist,
- für jede beliebige Flächengröße.

Falls Durchflußmessungen an Vorflutern vorliegen, können Kontrolloperationen durch Vergleich des nutzbaren Grundwasseranteils zum ermittelten Basisabfluß der Fließgewässer (TWA-Statistik, repräsentative TWA-Einzelmessungen, Separation der Abflußganglinien) die Ausgesicherheit erhöhen. Hinweise zur Stabilität des Wasserkreislaufes im Nutzungsfall sind daraus ableitbar.

### Verfahrensweg

Der allgemeine Verfahrensweg zur Ergebnisfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß

- eine Berechnungseinheit beliebiger Größe nach dem Grundwasserströmungsmodell so bestimmt wird, daß
  - . externe randliche Bedingungen unberücksichtigt bleiben können bzw. lokalisierbar und quantifizierbar sind,
  - . interne einflußnehmende Prozesse erkennbar sind,
- die repräsentativen Niederschlagswerte der Berechnungseinheit in Grundlage langjähriger Beobachtungsreihen ermittelt und durch den Faktor 1.1 korrigiert werden ( $\bar{N}_k$ ),
- die oberflächennahen Hauptbodenarten der Berechnungseinheit aus geologischen Kartierungsunterlagen oder sonstigen geeigneten Grundlagen nach Flächen gleicher Versickerungskoeffizienten klassifiziert werden,
- Flächen erhöhter Verdunstung (Grundwasser-Zehrflächen bei  $\bar{N}_k$  kleiner als  $\bar{V}_{wa}$ ) ausgegliedert und der Versickerungskoeffizient dieser Flächen zunächst mit  $\alpha = 0$  eingeführt werden,
- Versickerungskoeffizienten ( $\alpha$ ) im Niederschlagsbereich  
 $\bar{N}_k$  550...750  $\text{mma}^{-1}$   
als empirisch bestimmte und gegenüber dem oberirdischen Abfluß mit eindeutig positiven Signifikanztest korrelierte Parameter benutzt werden.

Die Wahl der Versickerungskoeffizienten ( $\alpha$ ) in ihrer Zuordnung zu den Flächen ist nach der geologischen Spezialkartierung 1 : 25 000 bzw. anderen verwertbaren geologischen Kartenunterlagen (z.B. Geologische Karte der Deutschen Demokratischen Republik - Karte der an der Oberfläche anstehenden Bildungen - Einheitsblatt 1 : 100 000) vorzunehmen.

Bildungen des Holozäns, gekennzeichnet als Wasser, moorig, ammoorig, Hochmoor, Niedermoor und Moorerde sind zunächst mit  $\alpha = 0$  zu versehen. Sandige Bildungen größerer Mächtigkeit wie z.B. Dünen sande erhalten den Faktor 0,25. Für humose sandige Bildungen des Holozäns wird der Faktor 0,20 empfohlen.

Bildungen des Pleistozäns, gekennzeichnet als Sande mit unterschiedlichsten Unterlagerungen und der genetischen Zuordnung zu Bildungen der Täler, geschlossener Becken, Sander, Endmoränen und Hochflächen werden i. d. R. mit  $\alpha = 0,20$  eingeführt.

Relativ geringmächtigen Übersandungen, unterlagert von bindigen Sedimenten werden die Faktoren  $0,05 \dots 0,10$  zugeordnet.

Bildungen des Tertiärs, die vereinzelt und flächenbegrenzt oberflächen-nah anstehen, werden analog den bindigen und nichtbindigen Sedimenten des Quartärs eingesetzt.

Hauptbodenart	Index	% von $\bar{N}_k$
Sand ohne Humus	ds	25
Sand mit Humus	da/h	20
Sand, lehmig	ds/dm	15
Lehm/Geschlebbemergel, s	dm/ds	10
Lehm/Geschlebbemergel, t	dm	5
Wasser, Moor	Wa/Mo	0
Zehrflächen ( $F_{Eu Z}$ )	Wa/Mo	0

Die Berechnung der Grundwasserneubildung  $\overline{GWN}$  wird i. a. ausgeführt für kleinere unterirdische Einzugsgebiete ( $F_{Eu} < 1000 \text{ km}^2$ ) sowie als Grundlage für die Nachweisführung der Grundwasservorräte und Bewirtschaftungskennziffern im Rahmen von Erkundungsarbeiten im Stadium der Vor- und Detailerkundung sowie Gutachten in manueller Form, größere Einzugsgebiete ( $F_{Eu} > 1000 \text{ km}^2$ ) sowie als Grundlage für die prognostische Einschätzung der Grundwasservorräte und Bewirtschaftungs-Kennziffern im Rahmen von Erkundungsarbeiten im Stadium der Prognose und Suche sowie Studien und wasserwirtschaftlichen Flußgebietsanalysen in rechenmaschineller Form (EDV).

Die Algorithmen der Berechnung sind:

Grundwasserneubildung (NHrgebiet)

$$\overline{GWN} = \sum_{n=1}^n \frac{\bar{N}_k \times \alpha \times n}{31,5 \times 100} F_{Eu} (n) (1s^{-1}) \quad (7)$$

Nutzbare Anteil der Grundwasserneubildung (Nähr- und Zehrgebiet)

$$\overline{GWN}_n = \overline{GWN} - \frac{\overline{V}_{Wa} - \overline{H}_k}{31,5} P_{Ev} (Mo/Wa) (ls^{-1}) \quad (8)$$

(Für jede Berechnungseinheit wird mit einem einheitlichen Niederschlag gerechnet)

Variationen der Versickerungskoeffizienten ( $\alpha$ )

können abhängig vom hydrologischen und hydrogeologischen Kenntnisstand des Berechnungsraumes in begründeten Fällen gewählt werden:

- Sand ohne Humus ( $d_s$ )  
Erhöhung bis max  $\alpha = 35\%$
- Sand mit Humus ( $d_s, h$ )  
Erhöhung bis max  $\alpha = 25\%$

*Div. S bis 350p*

Bedingungen: Fehlende kommunizierende oberirdische Fließgewässer, geringe Reliefenergie, weitgehende Isotropie der Lithofazies.

- Sand mit und ohne Humus ( $d_s/h, d_s$ )  
Reduzierung bis min.  $\alpha = 10\%$

Bedingungen: Geringe Mächtigkeit der anstehenden Sande, hohe Reliefenergie, kommunizierende oberirdische Fließgewässer, geringe Permeabilität des Liegendtauers und/oder fehlende bedeckte Grundwasserleiter.

Eine quasilineare Abhängigkeit der Grundwasserneubildung von den Niederschlägen für den begrenzten Niederschlagsbereich

$$H_k \sim 550 \dots 750 \text{ mm}^{-1}$$

wird begründet vorausgesetzt.

Die zur Berechnung der Verlustgrößen infolge Evaporation und Transpiration erforderlichen Parameter der

Verdunstung ( $\overline{V}_{Wa}$ ) offener Wasserflächen

werden der Anlage 2 entnommen, während die reale Verdunstung der Gebiete über die Versickerungskoeffizienten berücksichtigt wird.

Voraussetzung für eine aussagesichere Bestimmung der Grundwasserneubildung (GWN) und die Separation des nutzbaren Anteils (GWN<sub>n</sub>) sind neben qualifizierten lokalen und regionalen Erfahrungen, Informationen über

- Grundwasserströmungsmodelle zur Abgrenzung der Berechnungseinheiten sowie Identifizierung, Lokalisierung und Quantifizierung interner und externer Randbedingungen (Zu- und Abflüsse, artesische Wässer, Wechselbeziehungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser u.a.),
- geologische Klassifikation der Hauptbodenarten im oberflächennahen Bereich (i. a. bis 2 m u. Gel.),
- potentielle Verdunstung ( $\bar{V}_{Wn}$ ) als Grundlage für die Bestimmung der Zehrgrößen,
- geohydraulische Verhältnisse zur Beurteilung vertikaler Strömungsbedingungen (asszendentes und descendentes Grundwasser),
- hydrometrische Kennziffern oberirdischer Fließgewässer als Grundlage für Kontrolloperationen über die TWA-Verhältnisse,
- hydrographische Kennziffern (Flußdichte und Kommunikation) zur Präzisierung der Versickerungskoeffizienten im Falle des Vorhandenseins eines Gewässersystems in Verbindung mit oberflächennah auskartierten Sandflächen und Beurteilung interner Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser.  
(Versinkung von Oberflächenwasser, Uferinfiltration und Übertritt von Grund- in Oberflächenwasser u.a.).

Ein Datenspeicher mit kurzen Zugriffszeiten zu Informationen über Lagerungsverhältnisse, bodenphysikalische und geohydraulische Kennziffern sowie aufbereitete Beobachtungsergebnisse von Grundwassermeßstellen, hydrometrischen Stationen, Förderstatistiken betriebener Wasserfassungen, hydrometeorologischer Daten und geohydrochemischer Analysen kann die Aussagesicherheit, besonders der nutzbaren Anteile der Grundwasserneubildung erheblich erhöhen.

#### Praktische Abarbeitung

##### Manuelle Methode

In Grundlage der Flächenabgrenzung eines auf den zu nutzenden Grundwasserleiter bezogenen unterirdischen Einzugsgebietes werden die er-

forderlichen Eingabedaten für die Neubildungsberechnung ermittelt. Der Arbeitsablauf ist durch folgende Aktivitäten gekennzeichnet (Bild 10):

- Bestimmung der Flächen von Versickerungseinheiten ( $\Delta F_{Eu}$ ) durch Planimetrierung der Einzelflächen  $\Delta F_{Eu}$  und additive Zuordnung zu gleichen Versickerungskoeffizienten.
- Ermittlung der repräsentativen Niederschlagshöhe ( $\bar{H}_k$ ) aus innerhalb und randlich außerhalb der Neubildungsfläche gelegenen Meteorologischen Stationen.
- Visuelle Beurteilung der Flusdichte sandiger Komplexe und Schlussfolgerungen für die Bestätigung der vorgegebenen Versickerungskoeffizienten (geringe Flusdichte).
- Festlegung der Verdunstung offener Wasserflächen nach Anl. 2
- Berechnung der Grundwasserneubildung (GWN) auf Grundlage des Berechnungsansatzes (7) in Formular Bild 11.
- Berechnung des flächenhaft nutzbaren Grundwasserdargabotes ( $GWN_n$ ) auf Grundlage des Berechnungsansatzes (8) in Formular Bild 11.

Die parallele Berechnung der Grundwasserneubildung für Trockenperioden (Bild 11, Sp. 7, 8, 9) ist nur erforderlich, wenn der Grundwasserleiter kein ausreichendes nutzbares Speichervolumen besitzt, um die jährliche oder überjährige Fluktuationemenge auszugleichen.

#### Rechenmaschinelle Methode (EDV)

(BIERSTEDT/RAHN)

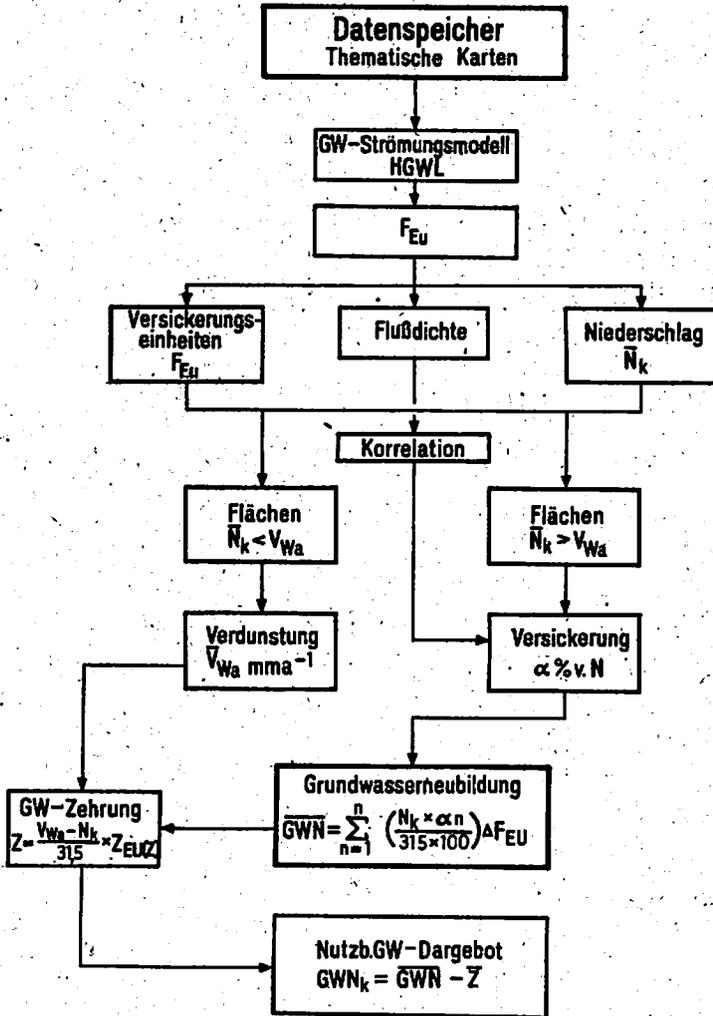
In einer Kombination zwischen der Fläche eines auf den Hauptgrundwasserleiter bezogenen unterirdischen Einzugsgebietes und einem gewählten orthogonalen Rasters gelten nach GLUGLA u.a. /4/ Abstand der Rasterlinien

$$\text{- in der Natur } e = 0,05 \dots 0,1 F_{Eu}$$

$$\text{- auf der Karte } e = 0,05 \dots 0,1 F_{Eu}$$

$$F_{Eu} = \text{Fläche des Berechnungsraumes (km}^2\text{)}$$

$$M = \text{Maßstab der Karte}$$



Modell  
Berechnung GWN und nutz. Dargebot

Manuelle Berechnung der GW-Neubildung  $\overline{GWN}$ , Zehrung  $Z$  und  $\overline{GWN}$  nutzbar bei  $\overline{H}$  und  $N_{tr}$  nach Verfahren SCHLINKER

Untersuchungsgebiet: Bild 4

BOART	$F_{Su}$		mittl. Jahr ( $\overline{H}$ )			trockenes Jahr ( $N_{tr}$ )			Hydrometr. Daten		
	$km^2$	%	Vers. $\overline{H} \times$ $\frac{100}{mm}$ $l s^{-1} km^{-2}$	9 (9) Sp.4:31,5 $l s^{-1} km^{-2}$	$\overline{GWN} (\overline{H})$ Sp.2 x 5 $l s^{-1}$	Vers. $N_{tr} \times$ $\frac{100}{mm}$ $l s^{-1} km^{-2}$	9 (9) Sp.4:31,5 $l s^{-1} km^{-2}$	$\overline{GWN} (N_{tr})$ Sp.2 x 8 $l s^{-1}$	Reihe 1951/70	$mm^{-1} l s^{-1} km^{-2}$	$l s^{-1} km^{-2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a ds	0,0	25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	$\overline{H}_k$	616	19,56
b ds/h	0,374	20	123,2	3,91	1,46	96,0	3,05	1,14	$N_k(tr)$	480	15,24
c ds/dm	0,562	15	92,4	2,93	1,65	72,0	2,29	1,29	$\overline{V}_{pot}(\overline{H})$	640	20,32
d dm/ds	0,739	10	61,6	1,96	1,45	48,0	1,52	1,12	$\overline{V}_{pot}(N_{tr})$	690	21,59
e dm	0,241	5	30,8	0,98	0,24	24,0	0,76	0,18			
f No/Wa	0,194	0	0	-	-	0	-	-	$9s = \overline{V}_{pot} \cdot \overline{H}$	24	0,76
g $F_{Su(z)}$	(0,194)	0	0	-	-	0	-	-	$9s(tr) = \overline{V}_{pot} \cdot N_{tr}$	200	6,35
$F_{Su}$	2,110			$\overline{GWN} (\overline{H})$	4,80 $l s^{-1}$		$\overline{GWN} (N_{tr})$	3,73 $l s^{-1}$	GW-Neubildung ( $\overline{GWN}$ )		
$9_0 (\overline{H})$ Sp. 6:2				2,27 $l s^{-1} km^{-2}$					$\overline{H}$	$N_{tr}$	
$9_0 (N_{tr})$ Sp. 9:2							1,77 $l s^{-1} km^{-2}$		$\frac{m^3}{d} l^{-1}$	0,415	0,322
$9_z (\overline{H})$ Sp. 12 f									$\frac{km^3}{a} l^{-1}$	0,151	0,118
$9_z (N_{tr})$ Sp. 12 g					0,76 $l s^{-1} km^{-2}$				GWN nutzbar		
$9_z$ Sp. 12 g							6,35 $l s^{-1} km^{-2}$		$\frac{m^3}{d} l^{-1}$	0,402	0,216
$Z (\overline{H})$ Sp. 29x12f						0,15 $l s^{-1}$			$\frac{km^3}{a} l^{-1}$	0,147	0,079
$Z_s (N_{tr})$ Sp. 29x12g								1,23 $l s^{-1}$			

Dat.:  
Bearbeiter: 5/80

Die Arbeitsschritte sind analog der manuellen Abarbeitung durch folgende Aktivitäten gekennzeichnet (Bild 13, 14.1 und 14.2)

NRFE - als Identifizierungsmerkmal wird jedem Berechnungsraum eine Kennziffer zugeteilt.

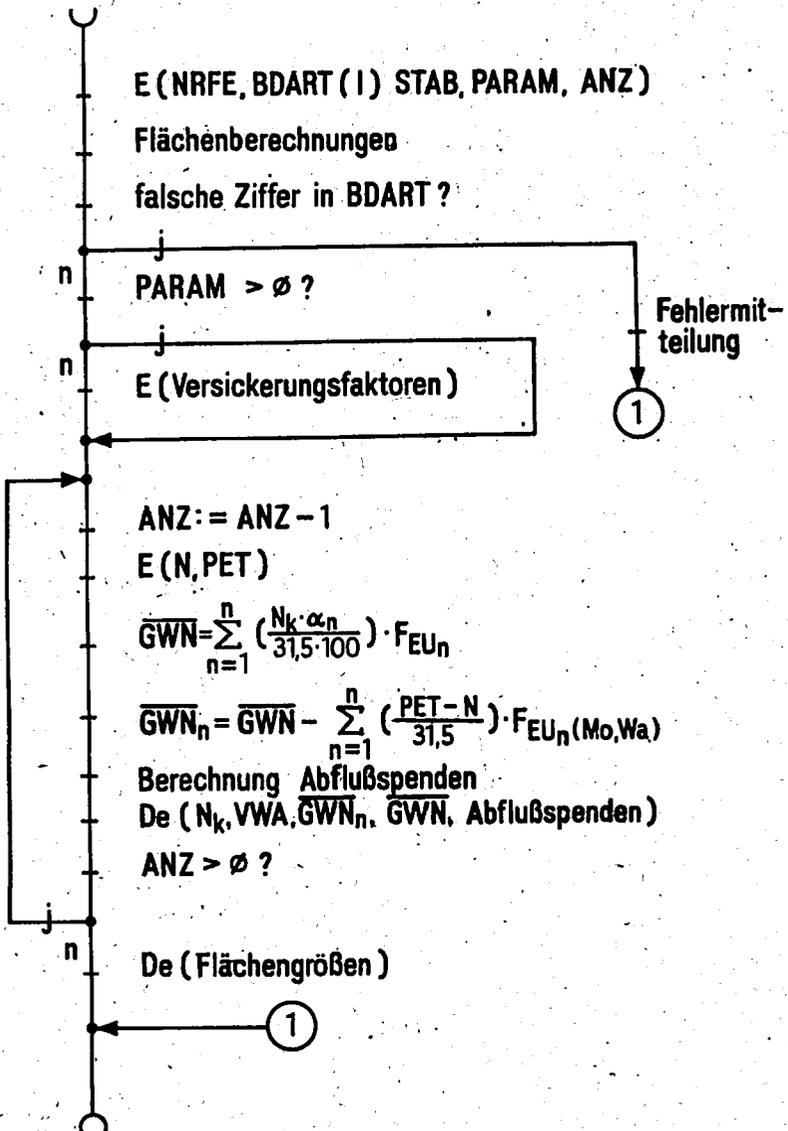
STAB - der Abstand der Rasterpunkte wird in km in das Programm eingegeben.

PARAM - durch einen Steuerparameter werden die zuzuordnenden Versicherungsfaktoren bestimmt.

= + 11 ist Anerkennung der vorgegebenen Versicherungskoeffizienten (ohne besondere Eingabe)

= - 99 ist abweichende Wahl der Versicherungskoeffizienten (mit besonderer Eingabe)

BDART - Bestimmung der Bodenarten am Rasterpunkt bei Anerkennung der vorgegebenen Versicherungskoeffizienten



EDV - Berechnung GWN

# Eingabeformular Programm GRUNDWASSERNEUBILDUNG

Programmversion für das KRS 4200 Rahn 3/79

Blatt 1

TAG	MONAT	JAHR	NRFE
1.0 <input type="text" value="0,1"/>	<input type="text" value="0,1"/>	<input type="text" value="1980"/>	<input type="text" value="9999"/>

2.0	BDART									
2.1	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>
2.2	<input type="text" value="-9"/>									
2.3	<input type="text"/>									
2.4	<input type="text"/>									
2.5	<input type="text"/>									
2.6	<input type="text"/>									
2.7	<input type="text"/>									
2.8	<input type="text"/>									
2.9	<input type="text"/>									
2.10	<input type="text"/>									
2.11	<input type="text"/>									

- Bodenart
- 1 = Sand ohne Humus
  - 2 = Sand mit Humus bzw. mit Schluff
  - 3 = Sand über Geschiebemergel
  - 4 = sandig ausgebildeter Geschiebemergel
  - 5 = Geschiebemergel, bzw. schw. Lehm bzw. Ton
  - 6 = Moor
  - 7 = Wasser

# Eingabeformular Programm GRUNDWASSERNEUBILDUNG

(Hinweis: bei mehr als 50 Angaben für BDART Nutzung  
des Ergänzungsblattes 12 erforderlich)

Blatt 2

## BDART (Fortsetzung)

2.12

2.13

2.14

2.15

STAB = Abstand der Rasterpunkte [km]  
 PARAM = Steuerparameter  
 > 0: Anerkennung der Versickerungsfaktoren.  
 < 0: Eingabe der Versickerungsfaktoren  
 ANZ = Anzahl der Wertepaare

3.0 STAB  PARAM  ANZ

4.0 VS  VDS  VDSDM  VDM  VMO  VWA

Versickerungsfaktoren  
 Angaben nur bei PARAM <= 0

5.0 N  VWA  5.2 N  VWA

5.3 N  VWA  5.4 N  VWA

5.5 N  VWA  5.6 N  VWA

5.7 N  VWA  5.8 N  VWA

N = Niederschlag [mm]  
 VWA = Verdunstung freier Wasserflächen [mm]

Anzahl der Wertepaare  
 N, VWA muß mit ANZ überstimmen

BERECHNUNGSERGEBNISSE, GRUNDWASSERNEUBILDUNG NACH SCHLINKER

BERECHNUNGSGEBIET NR. 99.99

NIEDERSCHLAG (MM)	VERDUNSTUNG (MM)	GESAMTE NEUBILDUNG			NUTZBARE NEUBILDUNG		
		(L/SEC)	(L/S KM2)	(M3/D)	(L/SEC)	(L/S KM2)	(M3/D)
161,0	640,0	5,38	2,15	464.	5,19	2,07	448.
479,6	680,0	4,19	1,67	362.	2,60	1,04	225.

GESAMTFLÄCHE: 2,500 KM2

FLÄCHE SAND OHNE HUMUS	.000 KM2
FLÄCHE SAND MIT HUMUS	.250 KM2
FLÄCHE SAND AUF GME	.750 KM2
FLÄCHE GME, SANDIG	1.000 KM2
FLÄCHE GME, TONIG	.250 KM2
FLÄCHE MOOR	.000 KM2
FREIE WASSERFLÄCHEN	.250 KM2
EINGEBEBENER RASTERABSTAND	.500 KM

1.1.1980  
ORS WVD KÜSTE

Bodenart	Index	Kodesiffer	Faktor ( $\alpha$ )
Sand ohne Humus	ds	1	0,25
Sand mit Humus	ds/h	2	0,20
Sand, lehmig	ds/dm	3	0,15
Lehm, Mergel, S	dm/ds	4	0,10
Lehm, Mergel, t	dm	5	0,05
Wasser/Moor	Wa/Mo	6	0
Wasser/Moor ( $F_2$ )	Wa/Mo	7	0

- VS - bei der Wahl gebietsspezifischer begründeter Abweichungen  
VDS der vorgegebenen Versickerungskoeffizienten ist die Ein-  
VDSM gabe absoluter Zahlen erforderlich. Hierbei ist folgende  
VDMDS Zuordnung zu beachten  
VDM  
VMO  
VSW

Kode Ziffer	Faktor ( $\alpha$ ) (Abs. Zahl)	Grenzen
1	VS	0,1 ... 0,34
2	VDS	0,1 ... 0,25
3	VDSM	0,05 ... 0,20
4	VDMDS	0,05 ... 0,15
5	VDM	0,0 ... 0,1
6	VMO	0,0 ... 0,5
7	VSW	0,0

ANZ - Die Angabe ANZ legt fest, ob nur für mittlere Niederschlagsver-  
 hältnisse (ANZ = 1) oder auch für Trockeneignisse (ANZ = 2)  
 bzw. weitere (ANZ > 2) zu berechnen ist.

H Die auf die Fläche bezogenen Werte H und VWA werden als reprä-  
VWA sentative Beobachtungsdaten ohne Korrektur eingegeben.

Die Kurzfassung des Arbeitsablaufes einer rechenmaschinellen Abarbeitung  
 lautet:

- Abgrenzung des auf einen Standort oder Hauptgrundwasserleiter  
 bezogenen unterirdischen Einzugsgebietes in Grundlage eines  
 Grundwasserströmungsmodells.
- Wahl des orthogonalen Rasters und Bestimmung der Rasterabände

- Ermittlung der Bodenarten an den Basterpunkten
- Kodierung der Bodenart und Eintragung in DEB.
- Eintragung des Basterabstandes (km) in DEB.
- Wahl des Steuerparameters. Bei Eingabe einer positiven Zahl werden die im Programm vorgegebenen Versickerungsfaktoren ( $\alpha$ ) anerkannt. Bei Eingabe einer negativen Zahl müssen die von Programm abweichenden Versickerungsfaktoren ( $\alpha'$ ) in absoluten Zahlen eingelesen werden.
- Angabe der Zahl der notwendigen Wertepaare Niederschlag und potentielle Verdunstung (i. d. R. max 2)..
- Ermittlung und Einlesung der Werte Niederschlag und potentielle Verdunstung offener Wasserflächen entsprechend der eingegebenen Anzahl

Als Ergebnis der rechenmaschinellen Abarbeitung (DAB) werden

die Grundwasserneubildung (GWN) und

das nutzbare Grundwasserdargebot (GWN<sub>n</sub>)

in den Dimensionen  $l s^{-1}$ ,  $l s^{-1} km^{-2}$  und  $m^3 d^{-1}$  ausgegeben (Bild 13.3)

(Literatur zum Verfahren SCHLINKER /10/ bis /15/).

### 5.2.1.2. Verfahren für Planung, Prognose und Suche

#### 5.2.1.2.1. Berechnungsverfahren der Grundwasserneubildung nach dem Abflußpendenschlüssel von ZIESCHANG

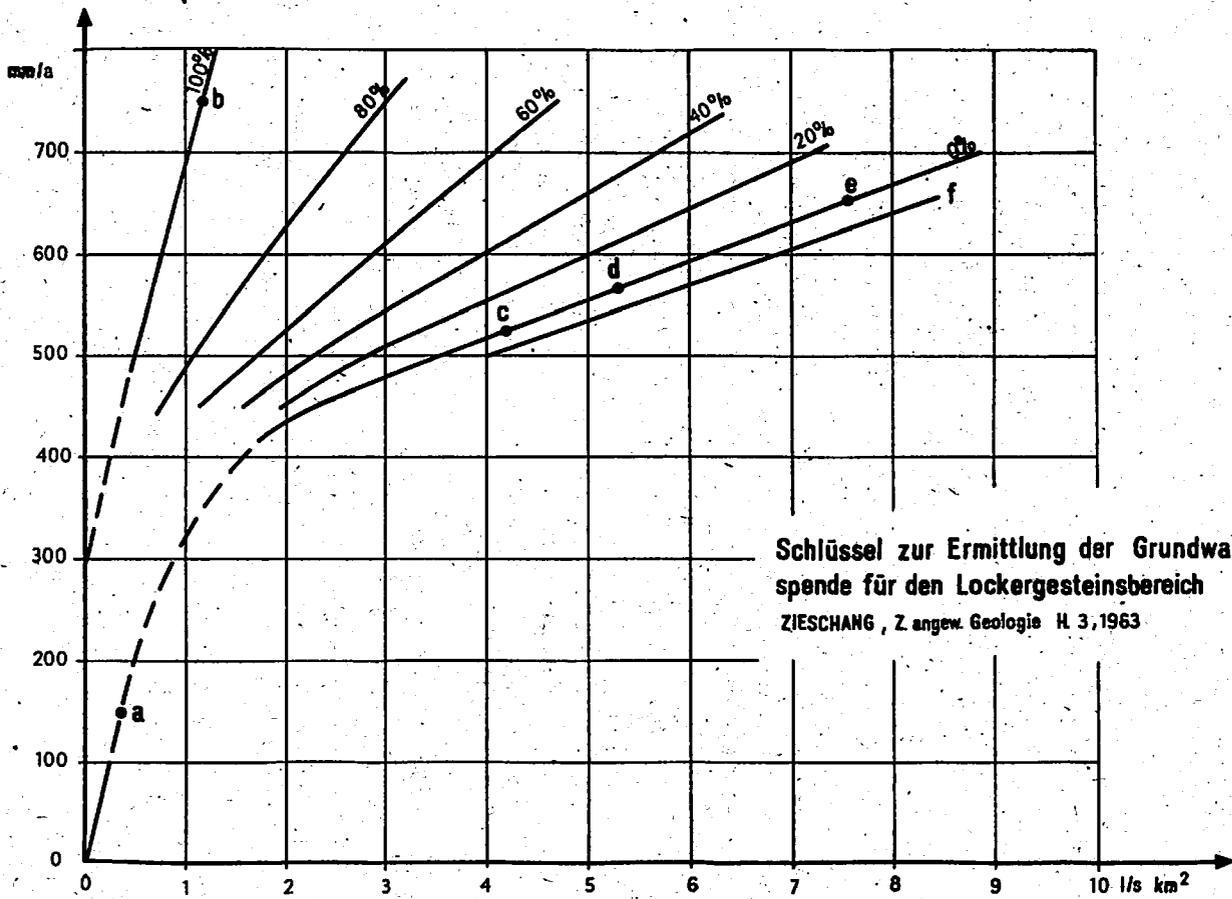
##### Allgemeiner Verfahrensweg

Die Methode gilt für Lockergesteine. Sie faßt grundlegend auf Ergebnissen von Analysen ausgewählter Wasserwerke, die als Repräsentativbewertungen gelten, nutzt jedoch gleichzeitig eine Kombination mit Werten fehlerarmer Bereiche von Lyzimeterbeobachtungen.

##### Arbeitsschritte für die praktische Anwendung

- Auswahl des Berechnungsgebietes (vorwiegend mittlere bis größere  $F_{Ru}$  mit Mischstruktur der Vegetation).
- Kartenzählige Erfassung der Versickerungseinheiten, ausgehend von der in der hydrogeologischen Übersichtskartierung 1 : 200 000 oder in anderen geologischen Kartenwerken vorgenommenen Untergliederung.
- Bewertung der Versickerungsmöglichkeiten. Ausgehend von der in der hydrogeologischen Übersichtskartierung 1 : 200 000 geneigten Annahme der Versickerungsmöglichkeit innerhalb der verschiedenen hydrogeologischen Bereiche hat sich folgende Bewertung als praktikabel erwiesen:

<u>Grundeinheiten</u>	<u>Bewertung</u>
Sande und Kiese, auch mit höherem Schluff- und Tongehalt (Auch als geringmächtige Sand- und Kiesdecke über Geschiebemergel)	0 = 0 %
Geschiebelehm, -mergel, über 10 m mächtig	1 = 100 %
junge organogene Bildungen mit hohem Grundwasserstand	1 = 100 %
Geschiebelehm, -mergel, Auelehm, unter 10 m mächtig	0,5 = 50 %



Schlüssel zur Ermittlung der Grundwasserabfluß-  
spende für den Lockergesteinsbereich

ZIESCHANG, Z. angew. Geologie H. 3, 1963

Von der Grundeinheitbewertung kann man abweichen, wenn regionale Sonderfälle der Vertikaldurchlässigkeit bekannt sind. (z.B. sehr sandiger Geschiebemergel)

- Die Ermittlung der Abflußspende

- . Zunächst wird der prozentuale Anteil der Grundeinheit am Berechnungsgebiet ermittelt und mit den jeweiligen Faktoren (zwischen 0 u. 1) entsprechend obiger Tabelle multipliziert.
  - . Die Werte für die einzelnen Grundeinheiten eines Berechnungsgebietes werden summiert. Mit dieser Summe kann die Abflußspende des Berechnungsgebietes direkt aus dem Abflußspendenschlüssel (Bild 14) abgelesen werden. Dabei ist der unkorrigierte  $N$  zu verwenden.
- Zu beachten ist, daß der errechnete Mittelwert nur für die anteilige Landfläche gilt.

Bei der Ermittlung der GW-Neubildung von Gesamteinzugsgebieten ist die Berücksichtigung der Zehrung in den offenen, grundwassergespeisten Wasserflächen und den moorigen Gebieten mit GW-Kontakt erforderlich:

- Für die offenen Wasserflächen ist eine Verdunstung nach Anl. 2 in Ansatz zu bringen.
- Bei den grundwassergespeisten moorigen und anmoorigen Gebieten sollte auf die Ergebnisse von lokalen und regionalen Gutachten und Auswertungen zurückgegriffen werden. Die  $\overline{GWN}_n$  eines Gebietes ergibt sich aus der  $\overline{GWN}$  der grundwasserunbeeinflussten Landflächen (Abflußspendenschlüssel) und dem Anteil der Gebiete mit Gewässerflächen und Gebiete mit flurnahem GW. (korrigierter (!)  $\overline{N}$  minus Gewässerverdunstung:  $N_k - V_{Wa}$ , wobei sich der  $N_k$  aus  $1,1 N$  ergibt).

Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens

Voraussetzung für eine aussagegesicherte Bestimmung der Grundwasserneubildung sind neben allgemeiner Raum- und Gebietskenntnis Informationen über

- Grundwasserströmungsmodell zur
- . Abgrenzung der unterirdischen Berechnungsflächen (vorwiegend  $F_{Eu}$ )

- Ermittlung der Faktoren, die die Wasserbilanz des Berechnungsgebietes beeinflussen können (Zu- oder Abflüsse, künstliche Grundwasserabsenkungen, -erhöhungen),
- Niederschlagswerte einer längeren Reihe,
- hydrogeologische Versickerungseinheiten (entsprechend der hydrogeologischen Übersichtskartierung 1 : 200 000). Bei regionaler und lokaler Differenzierung der obengenannten Grundbewertung sind spezielle geologische Kenntnisse bezüglich der Vertikaldurchlässigkeit erforderlich.

Das Verfahren nach ZIESCHANG kann ohne großen materiellen und zeitlichen Aufwand angewendet werden. Besonders technische Hilfsmittel sind nicht erforderlich; die Handhabung des Verfahrens ist vergleichsweise einfach.

Für Übersichtszwecke wurden von ZIESCHANG Abflußpendenkarten im Maßstab 1 : 200 000 (Blattreihen Wittenberge bis Bad Freienwalde und Magdeburg bis Frankfurt/Oder) vorgelegt. Ein Rasterpunkt der Karten repräsentiert die Abflußspende für eine Fläche von 15 km<sup>2</sup>. Eine Berücksichtigung der Zehrung erfolgte in diesen Karten nicht.

#### Einschränkungen des Verfahrens

Das Verfahren kann im gesamten Lockergesteinsbereich der DDR eingesetzt werden. Es liegt weiterhin ein Versuch des Einsatzes im Festgesteinsbereich vor (Sandstein). Voraussetzung ist jedoch, daß die Berechnungsgebiete bezüglich der Vegetation eine Mischstruktur besitzen. Dadurch werden die Verdunstungsunterschiede der einzelnen Vegetationsarten (Wald-LFF, Grünland), die im Verfahren nicht direkt berücksichtigt sind, nivelliert. Die Voraussetzung der Mischstruktur der Gebiete trifft grundsätzlich für größere Berechnungsräume zu, so daß das Verfahren besonders für den Einsatz bei prognostischen Untersuchungen geeignet ist.

Literatur zum Verfahren ZIESCHANG: /16/

### 5.2.1.2.2. Abflußpendenkarte der Hydrogeologischen Übersichtskartierung

Die Nutzung der auf Deckfolien für die Grundkarte 1 : 50 000 dargestellten Flächenwerte der gesamten Grundwasserneubildung bzw. nutzbaren Grundwasserneubildung für Planung, Prognose und Suche ist nur mit Einschränkungen möglich.

Nach Überprüfung der Kartenwerte (Felderwerte für je 1,55 km<sup>2</sup> Fläche) mit Untersuchungsergebnissen detailliert erkundeter Gebiete führen die auftretenden Differenzen zu dem Schluß, daß die Werte der nutzbaren Grundwasserneubildung für Zwecke der Planung, Prognose und Suche nicht zur Anwendung kommen sollte.

Nach Vergleichen der Kartenwerte für die gesamte Grundwasserneubildung mit Beobachtungsergebnissen von Lysimeterstationen muß die Aussagekraft wie folgt eingeschätzt werden:

- Für landwirtschaftlich genutzte Areale sind die Kartenwerte der Grundwasserneubildung nur dann aussagekräftig, wenn das Gebiet in Bezug auf die Bodenarten heterogen aufgebaut ist.
  - Für ausschließlich sandige Böden sind die Grundwasserneubildungswerte der Übersichtskartierung zu niedrig (je nach Niederschlagshöhe 30 % bis 10 %).
  - Für ausschließlich lehmige Böden sind die Grundwasserneubildungswerte der Übersichtskartierung zu hoch (je nach Niederschlagshöhe 40 % bis 20 %).
  - Für bewaldete Areale sind die Unterschiede zwischen den Werten der Übersichtskartierung und Beobachtungsdaten nicht signifikant.
  - Beträchtliche Unterschiede (bis zu mehr als 100 %) können bei Gebietsflächen mit flurnahem GW-Stand oder bei Gewässerflächen auftreten. Je nach Höhe der potentiellen Verdunstung, der Gewässerverdunstung bzw. des Niederschlags sind die Abweichungen positiv oder negativ.
- Diese Abweichungen treten auf, da bei der Abflußpendenkarte die Grundwasserneubildung für Gebiete mit flurnahem Grundwasserstand ("ypot-Flächen") und für Gewässerflächen stets Null gesetzt wird.

### 5.2.1.2.3. Karten des potentiellen Wasserdargebots

Im Zuge der im Institut für Wasservirtschaft laufenden Überarbeitung des N-A-U-Kartenwerkes der DDR werden nach dem Verfahren BAGROV/GLUGLA Jahresmittelwerte des potentiellen Wasserdargebots (Gesamtabfluß) berechnet und auf Deckfolien für die N-A-U-Kartenblätter (1 : 200 000) dargestellt. Die Berechnungsergebnisse beziehen sich auf die Niederschlagsreihe 1931/60. Die Dargebotswerte werden sowohl als Flächenwerte (in mm auf volle 5 mm auf- bzw. abgerundet) für quadratische Felder von 2,5 km Seitenlänge als auch in Isolinienform dargestellt.

Die Deckfolien für die einzelnen Blätter des Kartenwerkes werden - je nach Fertigstellung - den Nutzern zur Verfügung gestellt. Mit der Fertigstellung aller Karten für den Lockergesteinsbereich der DDR wird bis Ende 1982 gerechnet.

Die Dargebotskarten sind wichtige Grundlage für Planung, Prognose und Suche sich erneuernder Grundwasservorräte für Gebiete mit unbedeckten Grundwasserleitern sowie für Gebiete mit bedeckten Grundwasserleitern und Durchflußmessungen der Vorfluter.

### 5.2.2. Beschreibung der zu verwendenden Verfahren im Festgestein

Die für die lithologischen Einheiten des Festgesteinsbereiches bisher vorliegenden Berechnungsverfahren zur  $\bar{G}W$  sind auf Grund des fehlenden wissenschaftlichen Vorlaufes und der sich aus der Materie ergebenden sachlichen Schwierigkeiten derzeit noch unvollständig. An der Vervollständigung der Berechnungsverfahren, vor allem für den paläozoischen Gesteinsbereich der Mittelgebirgsrumpfe, wird z.Zt. noch im Institut für Wasserwirtschaft, AS Erfurt gearbeitet (vgl. Literaturhinweis /17/.)

Für bestimmte untergeordnet auftretende Areale, wie z.B. Röt, Jura, Kreide oder z.T. vulkanogene Folgen, wird es auch in Zukunft keine Verfahren geben. Diesbezüglich ist von den Bearbeitern zu überprüfen, inwieweit Analogieschlüsse zu ziehen sind.

Die Auswahl der Verfahren sollte nach Tab. 2 erfolgen, wobei insbesondere in kleinen oder hydrogeologisch sehr komplizierten Gebieten den experimentellen Verfahren (repräsentative Messungen unter Trockenwetter-situation) der Vorzug zu geben ist. Weiterhin ist als Besonderheit des Festgesteins durch den Bearbeiter zu überprüfen, inwieweit gebiets-spezifische Besonderheiten (z.B. Karst- oder Störungszonen usw.) infolge punkt- oder linienhafter Kommunikation zwischen Oberflächen- und Grundwasser modifizierend auf die Neubildungsgröße einwirken. Ebenso sind maßgebliche Grundwasserzehrflächen entsprechend der nach RICHTER, 1980 angegebenen Höhen für Gewässerverdunstung (Anl. 2) zu berücksichtigen.

#### 5.2.2.1. Verfahren für Erkundung

##### 5.2.2.1.1. Demonstrativpumpversuch

Der Demonstrativpumpversuch (DEMP) stellt im Festgestein ein experimentelles Verfahren zur Ermittlung der Grundwasserneubildung dar. Sein Anwendungsbereich liegt im klüftigen und gestörten Festgestein bei den Lagerstättentypen mit komplizierten hydrogeologischen Verhältnissen (undefinierbare Randbedingungen, Schwierigkeiten bei der Bestimmung des unterirdischen Einzugsgebietes) für die alle anderen Berechnungsverfahren ausscheiden. Besonders geeignet ist dieses Verfahren für kleine Einzugsgebiete. (Durchführung und Auswertung nach TGL 23 864).

Bei der Angabe des konstant nutzbaren Grundwasserdargebotes sind allerdings die hydrologischen Verhältnisse, unter denen der DEMP durchgeführt

wurde, zu berücksichtigen (z.B. Vergleich mit Trockenwetterrückgangskurven Bild 22 u. 23).

**5.2.2.1.2. Analogieverfahren auf wasserhaushaltlicher Basis**  
(Schlüsselkurven für Abflußpendon)

Anwendung: - Trias  
- Paläozoikum

Die Berechnung beruht auf empirischen Vergleichs- und Eichwerten in Form von Abflußpendenschlüsseln (Bild 17 - 21), die aus Gebietslysimeteruntersuchungen ermittelt wurden. Die Schlüsselkurven stellen empirisch gewonnene  $N-A_u$ -Beziehungen dar, denen die vereinfachte Wasserhaushaltsgleichung zugrunde gelegt wird und in denen die Einflußfaktoren implizit enthalten sind. Für die in der Trias entwickelten Schlüsselkurven (Bild 17 - 19) lagen die Niederschlagswerte der Untersuchungsgebiete zwischen 500 - 750 mm  $a^{-1}$  (unkorrigierte MD-Werte). Da im Festgestein eine Einheitlichkeit für die Neubildungsberechnung auf der Basis effektiver Niederschläge angestrebt werden sollte, wurden die o.a. Schlüsselkurven auf der Grundlage der Formel

$$N_{\text{höhenkorrr.}} + 10\% - A_0 = N_{\text{eff}}$$

auf effektive Niederschläge bezogen. Die unteren und oberen Bereiche der Schlüsselkurven sind interpoliert, deshalb sind die sichersten Werte aus dem mittleren Bereich der Kurven zu erhalten.

Eignungskriterien der Schlüsselkurven sind:

- Einheitlichkeit des Abflusstypes (Gestein, Stratigraphie)
- Abgrenzbarkeit des unterirdischen Einzugsgebietes
- keine anthropogenen Einflüsse

Die bisher vorliegenden Schlüsselkurven können dabei nicht allen Faziesbereichen und Einzugsgebietsvarianten voll gerecht werden.

Folgende Gesichtspunkte sind weiterhin zu beachten:

- Bei Analogieverfahren nach den Abflußpendenschlüsseln ist die  $N-A_u$ -Beziehung auf jeden Fall nichtlinear aufgebaut, da die vereinfachte Wasserhaushaltsgleichung zugrundeliegt wird und die Zunahme der Verdunstung als einzige Verlustgröße mit steigendem Niederschlag immer geringer wird.

- Die totale Grundwasserneubildung beginnt auch bei vegetationslosen Sandböden erst ab ca. 300 mm Niederschlag (d.h. die Schlüsselkurven gehen nicht durch den Nullpunkt).

#### Arbeitsschritte und praktische Abarbeitung des Berechnungsprogramms

1. Abgrenzung der Berechnungseinheiten (unterirdische Einzugsgebiete oder beherrschbare Nährgebiete) nach Stratigraphie und Tektonik
2. Abgrenzung von Flächen erhöhter Verdunstung (Grundwassersehrflächen, offene Wasserflächen).

Für diese gesondert auszuhaltenden Flächen wird die Verlustgröße durch erhöhte Verdunstung (z.B. für offene Wasserflächen) nach RICHTER, 1980 errechnet (vgl. Anl. 2) und von der mittleren Neubildungsgröße abgezogen.

3. Ermittlung des höhenbezogenen mittleren Gebietsniederschlages

Da im Mittelgebirgsbereich und in den angrenzenden Vorländern sich die Berechnungsgebiete oft über größere Höhendifferenzen erstrecken, in diesen Bereichen die Niederschläge durch verschiedene Einflüsse stark differieren und dazu wenig Niederschlagsmessstellen vorhanden sind, ist es erforderlich, für die Berechnung mittlere höhenbezogene Gebietsniederschläge anzusetzen. Grundsätzlich sind diese Daten bei den Dienststellen des MD anzufordern. Zusätzliche Informationen bezüglich der Möglichkeit selbständiger Berechnungen der höhenbezogenen mittleren Gebietsniederschläge mit der erforderlichen statistischen Sicherheit sind durch das IFW, Außenstelle Erfurt, erhältlich. Bei geringen Höhendifferenzen innerhalb einer Berechnungseinheit kann die Berechnung des mittleren Gebietsniederschlages nach herkömmlichen Verfahren (vgl. dazu GABRIEL/ZIEGLER, 1975/18/) erfolgen.

4. Bestimmung des abflußwirksamen Gebietsniederschlages  $N_{\text{eff}}$ .

Die Berechnung von  $N_{\text{eff}}$  erfolgt nach der bereits vorn genannten Formel. Ausgangspunkt sind die auf der Basis der MD-Werte ermittelten höhenbezogenen mittleren Gebietsniederschläge, die in Übereinstimmung zu bedengleichen Regensmessern nach GLUGLA/TIRMER, 1971 /2/ grundsätzlich um etwa 10 % erhöht werden müssen.

Danach erfolgt der Abzug des Landoberflächenabflusses ( $A_0$ ). Zur

Ermittlung des  $A_0$  können bei Vorliegen mehrjähriger Durchflußmessungen im Gebiet oder eines benachbart ähnlich gestalteten Gebietes Durchflußseparationen z.B. nach NARBE 1969; WEYER, 1972 (/27/, /39/) oder anderen durchgeführt werden. Da größtenteils die Pegelstandorte in den Oberflächengewässern mit den hydrogeologischen Belangen nicht übereinstimmen, werden oft Korrelationsbetrachtungen erforderlich.

Weitere Möglichkeiten zur approximativen Ermittlung der niederschlagsabhängigen Größe  $A_0$  bieten die empirisch ermittelten Diagramme (Bild 15 + 16). Die in Bild 15 ausgezogenen Kurven stellen idealisierte Ausgleichskurven dar, wobei die Einzelwerte eine Streuung von  $\pm 10\%$  aufweisen können. Abgeleitet wurde dieses Diagramm aus mehrjährig untersuchten Beispielgebieten der Trias. Die zukunftsige Übertragbarkeit der Größenordnungen des Oberflächenabflusses in andere Gebiete ohne vorliegende Abflußmessungen ist durch die jeweils morphologisch charakteristisch ausgebildeten Geländeformen der Triasabfolgen gegeben. Für die Bereiche der paläozoischen Mittelgebirge z.B. Thüringer Wald und Schiefergebirge betragen die Landoberflächenabflüsse nach jüngsten Messungen und Auswertungen (vgl. /17/) zwischen

350  $\text{mm a}^{-1}$  (bei  $\bar{H}$  900  $\text{mm a}^{-1}$  unkor. MD-Wert)  
bis 660  $\text{mm a}^{-1}$  (bei  $\bar{H}$  1250  $\text{mm a}^{-1}$  unkor. MD-Wert)

5. Bestimmung der mittleren langjährigen  $\overline{GWH}$  nach den Schlüsselkurven (Bild 17 - 21)

Im Buntsandstein können die entsprechenden Fazienbereiche ausgehalten werden.

Hinsichtlich Anwendung und Nutzung der Schlüsselkurven nach KRAFT/SCHRÄBER (Bild 20 u. 21) wird auf die Lit. /19/ verwiesen.

6. Bestimmung des ständig nutzbaren Grundwasserdargebotes nach den Schlüsselkurven der Trockenwetterspenden (Bild 22) bzw. aus Trockenwetterrückgangskurven der Vorfluter (Bild 23).

Die Linien der Trockenwetterspenden sind durch Korrelation mit längeren Beobachtungsreihen entstanden, so daß die extremen Trockenjahre enthalten sind. Bei der Ermittlung des ständig nutzbaren Dargebotes ist zu berücksichtigen, daß im Festgestein

vor allem in kleinen Einzugsgebieten meist ein wirksamer Speicher fehlt und somit sich das ständig nutzbare Grundwasserdargebot nach dem Niederschlagsdargebot bzw. dem Trockenwetterabfluß regelt. Im paläozoischen Gesteinsbereich kann z.B. das ständig nutzbare Grundwasserdargebot nur 1/10 der errechenbaren mittleren langjährigen Grundwasserneubildung betragen.

Für die bisher untersuchten Lagerstättentypen ergeben sich dabei bezogen auf die mittlere langjährige Grundwasserneubildung als Richtgrößen folgende empirisch ermittelten Reduktionsfaktoren:

Grundwasserleiter	Lagerstättentyp	$A_{\text{min}}$	$\bar{A}$
Altpaläozoikum	Sattel- u. Flankenlagerst.	0,45 - 0,65	$\bar{A}$
Permiles	Flanken- u. Muldenlagerst.	0,35 - 0,50	$\bar{A}$
Unterer/Mittl. Buntsandstein	Flanken- u. Muldenlagerst.	0,6 - 0,8	$\bar{A}$
Unterer Muschelkalk	Tafelberglagerstätten	0,25	$\bar{A}$
Unterer bis Oberer Muschelkalk	Flanken- u. Muldenlagerst.	0,5 - 0,7	$\bar{A}$
Unterer/Mittlerer Keuper	Flanken- u. Muldenlagerst.	0,5 - 0,7	$\bar{A}$

Diese Angaben beziehen sich auf Grundwasserleiter in der Größe bis 50 km<sup>2</sup>.

Eine vollständige Überbrückung von jahres- bzw. überjahreszeitlichen Schwankungen im nutzbaren Grundwasserabfluß mit Hilfe von Lagerstättenvorräten (d.h. ständig nutzbare GW-Dargebot gleich mittleres GW-Neubildung) ist im Festgesteinsbereich nur in seltenen Fällen bei Poren- und Kluftgrundwasserleitern mit  $F_{\text{B}} > 100 \text{ km}^2$  möglich.

In allen anderen Fällen - vor allem bei reinen Kluftgrundwasserleitern und bei kleinen GW-Leitern sind zur Ermittlung des ständig nutzbaren GW-Dargebotes Reduzierungen der mittleren langjährigen GW-Neubildung vorzunehmen.

Diese bisher genannten Reduktionswerte beinhalten nicht

- den landschaftsmotwendigen Kleinstabfluß ( $Q_L$ )
- die technisch nicht faßbaren GW-Mengen
- und die qualitätsmäßig nicht nutzbaren GW-Mengen.

Bezüglich dieser Größen sind je nach Erfordernis bzw. Auflagen der BE der Wasserwirtschaft gebietsbezogen durch die Bearbeiter eigenständig Aussagen zu treffen.

### 5.2.2.1.3. Berechnung nach empirisch-statistischen Parametern

Anwendung: - Trias

- reine Kluftgrundwasserleiter des Paläozoikums
- Karstgrundwasserleiter

Als empirisch-statistische Parameter für die Grundwasserneubildungsberechnung sind zu nennen:

- Versickerungskoeffizienten
- Ergebnisse von Pumpversuchen und Quellschüttungsmessungen
- repräsentative unterirdische Abflußspenden.

Trotz gewisser Unzulänglichkeiten der Berechnung auf dieser Basis, bieten diese Parameter bis zum heutigen Tage noch für eine Vielzahl von Einzugsgebieten die einzigste Berechnungsmöglichkeit.

Als Richtwerte für die Versickerung können z.B. für klüftig-poröse Grundwasserleiter Mittelwerte angesetzt werden, die aus der Übertragung von Lysimeterwerten stammen oder über eine Eichung der Versickerungswerte mit Hilfe von Pumpversuchsergebnissen (HOPPE, 1969) /23/ bzw. auf iterativen Lösungswege (ZIEGLER, 1969) /20/ ermittelt wurden.

Wesentlich sind für die Berechnung nach empirisch-statistischen Parametern die von HECHT, 1975 und von GÖTZE und HECHT, 1977 erarbeiteten Werte der Basisabflüsse bzw. Grundwasserabflußspenden im Ostthüringischen Schiefergebirge (vgl. /21/, /22/)

Sichere Ergebnisse liefern diese experimentell ermittelten Parameter in Verbindung mit Betriebswerten von Wasserwerken.

Die Übertragung der Parameter auf die Berechnungseinheiten erfolgt nach Analogiebetrachtungen.

Bei der Anwendung dieses Verfahrens ist auf die lagerstättenabhängigen Verzögerungszeiten zu achten. Die gemessenen unterirdischen Abflüsse können im Vergleich zu den wirksamen Niederschlägen Verzögerungszeiten aufweisen, die zwischen einigen Tagen bis zu einem Jahr liegen. Besonders ist dies bei der Nutzung von Stichtagsmessungen zu beachten.

Bei der Abarbeitung des Programmes werden im Gegensatz zu Pkt. 5.2.2.1.2. sog. Versickerungseinheiten nach Bodenverhältnissen, Nutzung und Relief ausgehalten (ZIEGLER, 1969) /20/, was selbstverständlich bei der Nutzung von Pumpversuchsergebnissen oder unterirdischen Abflußspenden weitgehendst entfallen kann.

#### 5.2.2.1.4. Hydrologische Separationsverfahren

Die hydrologischen Verfahren beruhen auf der Auswertung der Abflußmessungen der Vorfluter und haben zum Ziel, die Anteile der unterirdischen Abflußarten zu separieren. Die Lage der Meßstellen über einem Grundwasserstauer oder einem durchlässigen Grundwasserleiter hat wesentlichen Einfluß auf die Repräsentanz der ausgewerteten Ergebnisse der Grundwasserneubildung.

Bei Auswahl von Meßstellen für die Ermittlung der Grundwasserneubildung sollten nach Möglichkeit die Stellen mit der geringsten Durchlässigkeit der unterlagernden Gesteine gewählt werden. Als Vergleichsbasis des unterirdischen Abflusses dient HQ des Pegelwertes. Für die Bestimmung der GWN durch Auswertung hydrologischer Messungen sind mehrere Verfahren (NATERMANN, KUNKLE, WUNDT, KILLE, NARBE, WEYER) bekannt und anwendbar. Nach WEYER (1972) und KILLE (1970) /28/ lassen sich Anteile des hypodermischen Abflusses separieren. Als das von der Handhabung und von den Ergebnissen her brauchbarste Verfahren erweist sich das nach KILLE (1970), da die monatlichen Niedrigwasserwerte nach ihrer Höhe aufsteigend sortiert und nach vorkommender Häufigkeit in die Auswertung eingehen. Erhöhte Abflüsse des Winterhalbjahres werden eliminiert. Eine subjektive Handhabung und Interpretation der Ergebnisse ist ausgeschlossen.

#### **Eignungskriterien:**

- Abgrenzbarkeit des Einzugsgebietes
- Gesicherte Abflußstatistik und längere Beobachtungsreihen
- keine anthropogenen Einflüsse

#### Anwendung und praktische Abarbeitung:

Separationen eignen sich am besten für Einzugsgebiete mit Konvergenzströmung (muldenförmige Einzugsgebiete) mit ungestörten Abflußverhältnissen.

Unter den o.g. hydrogeologischen Gegebenheiten sind Separationen in jedem Fall als Hilfs-, Kontroll- und Ergänzungsverfahren anwendbar und für Prognosezwecke auch als Vorrangverfahren einzusetzen.

Für Kleineinzugsgebiete mit analogem hydrogeologischen und hydrologischen Bau dienen die erhaltenen Ergebnisse aus benachbarten Einzugsgebieten als Eichgrößen, indem an den Vorflutern Durchflußmessungen durchgeführt werden, die dann mit dem Eichpegel verglichen und auf HQ be-

rechnet werden.

Reprod. Durchflußmessungen unter Trockenwetterbedingungen sind vor allem im paläozoischen Gesteinsbereich wichtige Kontrollwerte für mögliche Grundwasserspenden.

#### 5.2.2.2. Verfahren für Prognose und Planung

Im Festgesteinsbereich sind die Abflußspendekarten der hydrogeologischen Übersichtskartierung 1 : 50 000 für Planung, Prognose und Suche im Gesteinsbereich der Trias voll nutzbar, da sie auf der Basis vorliegender empirisch-statistischer Parameter bzw. der Schlüsselkurven für die Trias (vgl. /17/ - /23/) erarbeitet wurden. Unsicher sind Angaben für den paläozoischen Gesteinsbereich.

Weiterhin können, wie bereits genannt, Separationsverfahren eingesetzt werden, wobei allerdings nach Möglichkeit eine Kontrolle über Betriebswerte von Wasserwerken erfolgen sollte.

Obwohl es im Rahmen von Prognose und Planung grundsätzlich möglich ist, sich für bestimmte geologische Einheiten bzw. Lagerstättentypen auf ein Berechnungsverfahren zu konzentrieren, sollten für komplizierte Gebiete mehrere Verfahren nebeneinander durchgerechnet werden.

#### 5.2.3. Eingabedaten und Genauigkeitseinschätzungen der Ergebnisse

##### 5.2.3.1. Festgesteinsbereich

Ein quantitativer Ausdruck der Genauigkeit der Berechnungsmethoden ist nicht möglich, da der wahre Wert der Grundwasserneubildung nicht bekannt ist. Jedes Verfahren zur Ermittlung der Grundwasserneubildung ist mit Unsicherheiten belastet. Einschätzend kann festgestellt werden, daß die größte statistische Sicherheit mit dem Verfahren unter Pkt. 5.2.2.1.2 gegeben ist, da die auf experimentellem Wege ermittelten Parameter vor allem für den angegebenen Niederschlagsbereich auf Grund der Anzahl der untersuchten Gebietslysimeter, der günstigen Lage des Meßzeitraumes sowie der Möglichkeit der Verlängerung der Meßreihen und letztendlich durch die Kombination verschiedener Meßprogramme gegeben ist.

Die bisher vorliegenden Schlüsselkurven können nicht allen Einzugsgebietsvarianten gerecht werden. Dazu wäre es erforderlich, Gebietslysimeteruntersuchungen für jeden Lagerstättentyp und natürlich auch unter verschiedenen Einflußfaktoren (Vegetation, Niederschlag, tekton. Beanspruchung, Relief, Faziesbereiche) durchzuführen.

Die größten Genauigkeiten werden selbstverständlich bei Übertragungen der abgeleiteten Wasserhaushaltsgrößen in den Gebieten erzielt, die in Struktur und Aufbau bzw. der wirksamen Einflußfaktoren den Gebietslysimetern sehr ähnlich sind. Problematisch ist dabei nach wie vor die Ermittlung der dem Niederschlag abzuziehenden Größe für den Oberflächenabfluß vor allem für den paläozoischen Gesteinsbereich, als Voraussetzung für die Grundwasserneubildungsberechnung auf der Basis von  $N_{\text{eff}}$ .

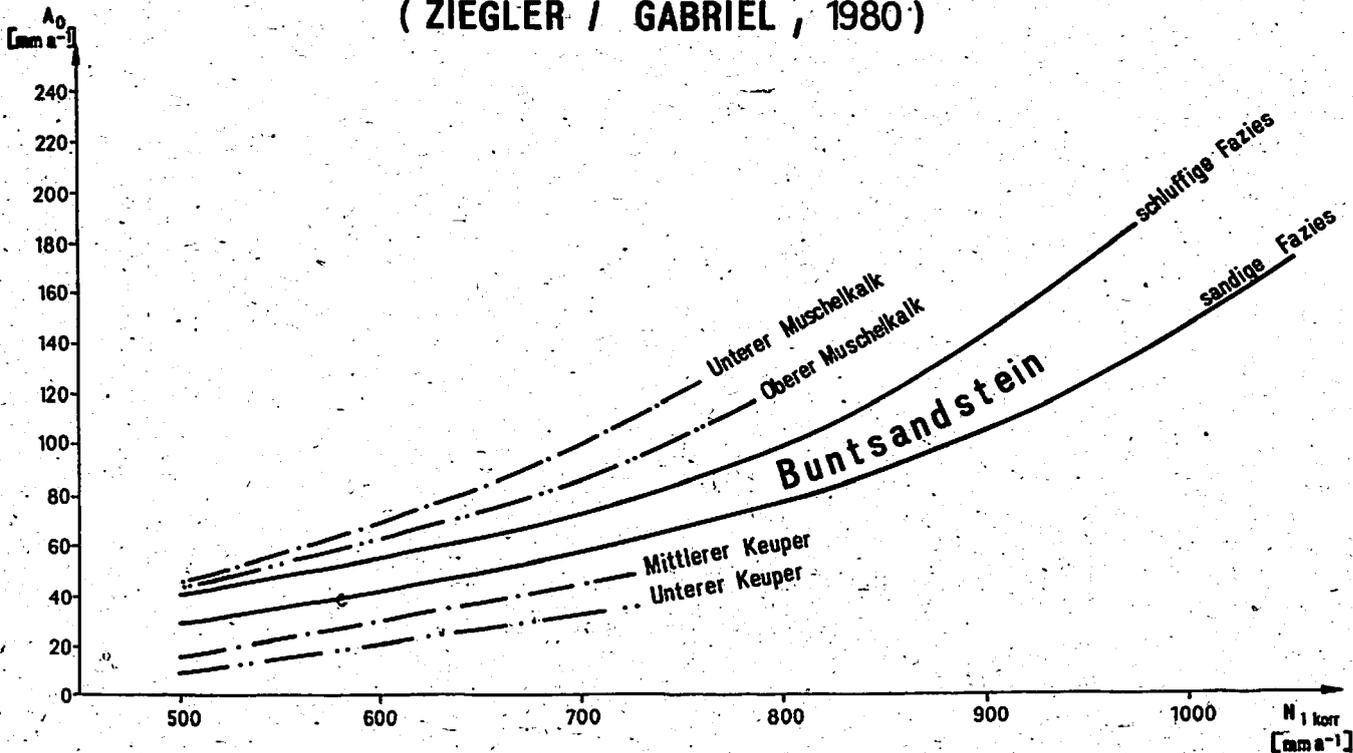
In Betracht zu ziehen ist im Festgestein ferner, daß ein wesentlicher Anteil der Grundwasserneubildung über innen-, bzw. punktförmige Versinkungen in nichtkapillare Hohlräume (Spalten, Klüfte, Trockenrisse, Wurzel- und Wurmkanäle, Erdfalltrichter usw.) erfolgt und sich diese Verhältnisse regional entsprechend den fazialen Gesteinsausbildungen stark ändern können. Die Neubildungszeiten sind deshalb nicht nur auf Winterhalbjahre beschränkt (z.B. Reaktion der GWL nach stärkeren Regenfällen).

Prozentual ausgedrückt gelangen nach Gebietslysimeteruntersuchungen (ZIEGLER/GABRIEL, 1975) von den über Abflußpendenschlüssel errechenbaren Neubildungsmengen in den Sommerhalbjahren folgende Anteile über punktförmige bzw. lineare Versinkungen zum Grundwasserleiter:

Unterer/Mittlerer Buntsandstein (lehmgig-schluffige Fazies)	:	0 - 35 %
Unterer Muschelkalk	:	90 %
Mittlerer Muschelkalk	:	75 - 81 %
Oberer Muschelkalk	:	33 - 40 %
Unterer Keuper	:	23 - 47 %
Mittlerer Keuper	:	55 - 68 %

Eine wesentliche Unsicherheit bei der Ermittlung der Grundwasserneubildung liegt in der Versinkung von Flüssen (z.B. Gera, Ilm, Helbe). Die versunkenen Wässer mischen sich mit dem Grundwasser und kommen in den Quellen teilweise wieder zu Tage. Zur Klärung derartiger Probleme sind natürlich hydrologische Verfahren am besten geeignet.

**Oberflächenabfluß**  
**in Abhängigkeit des korr. Niederschlages**  
**( ZIEGLER / GABRIEL , 1980 )**



**Oberflächenabfluß  
in Abhängigkeit von Hauptboden –  
arten und korr. Niederschlag  
( nach GRUNSKE, 1977 )**

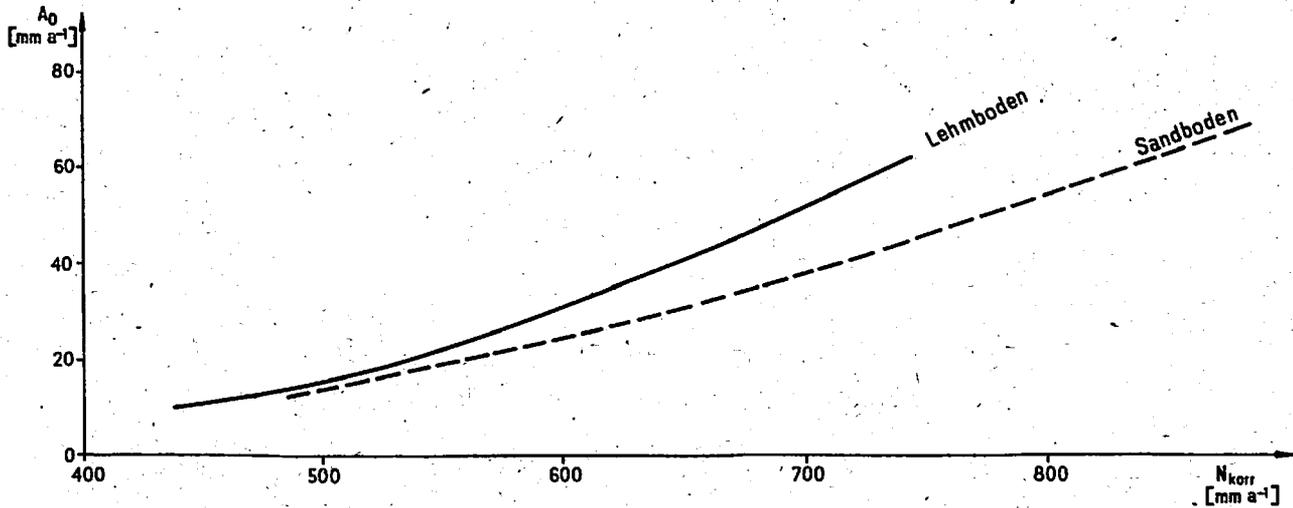
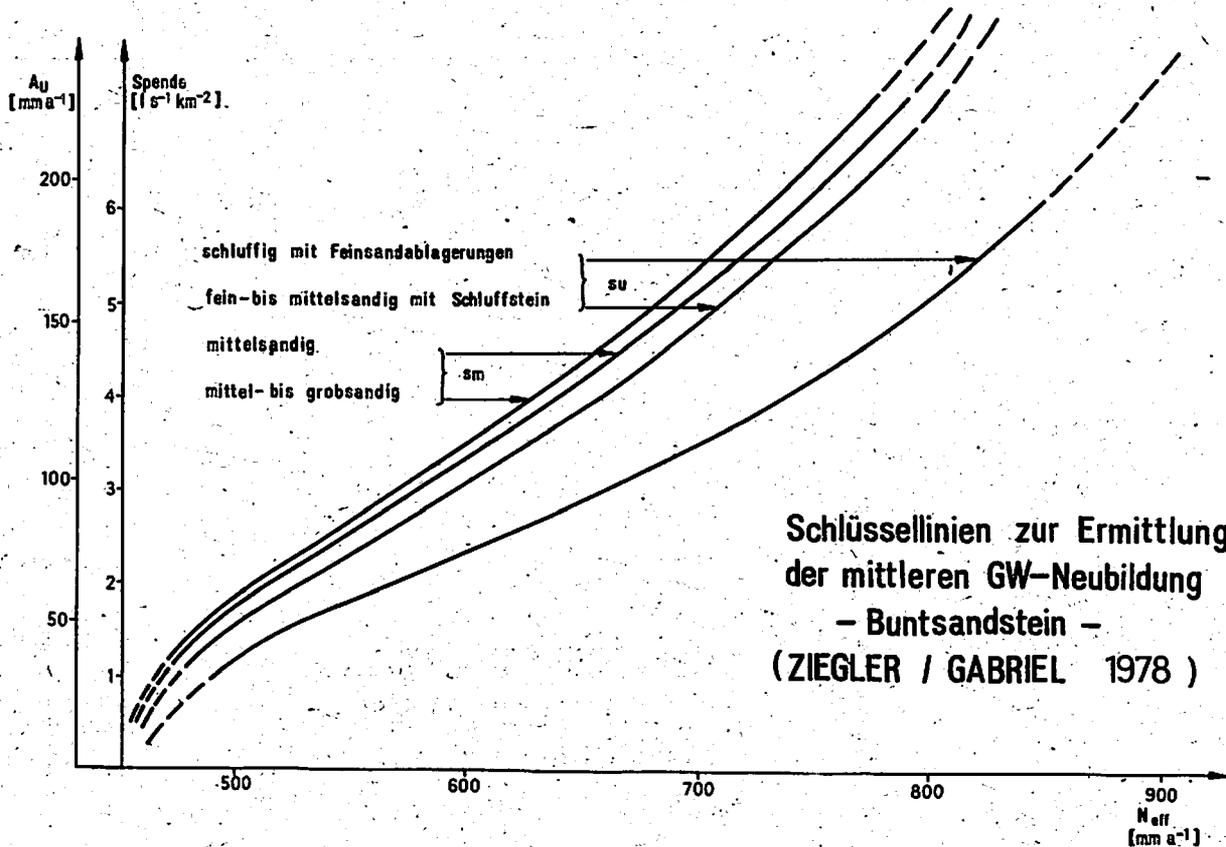


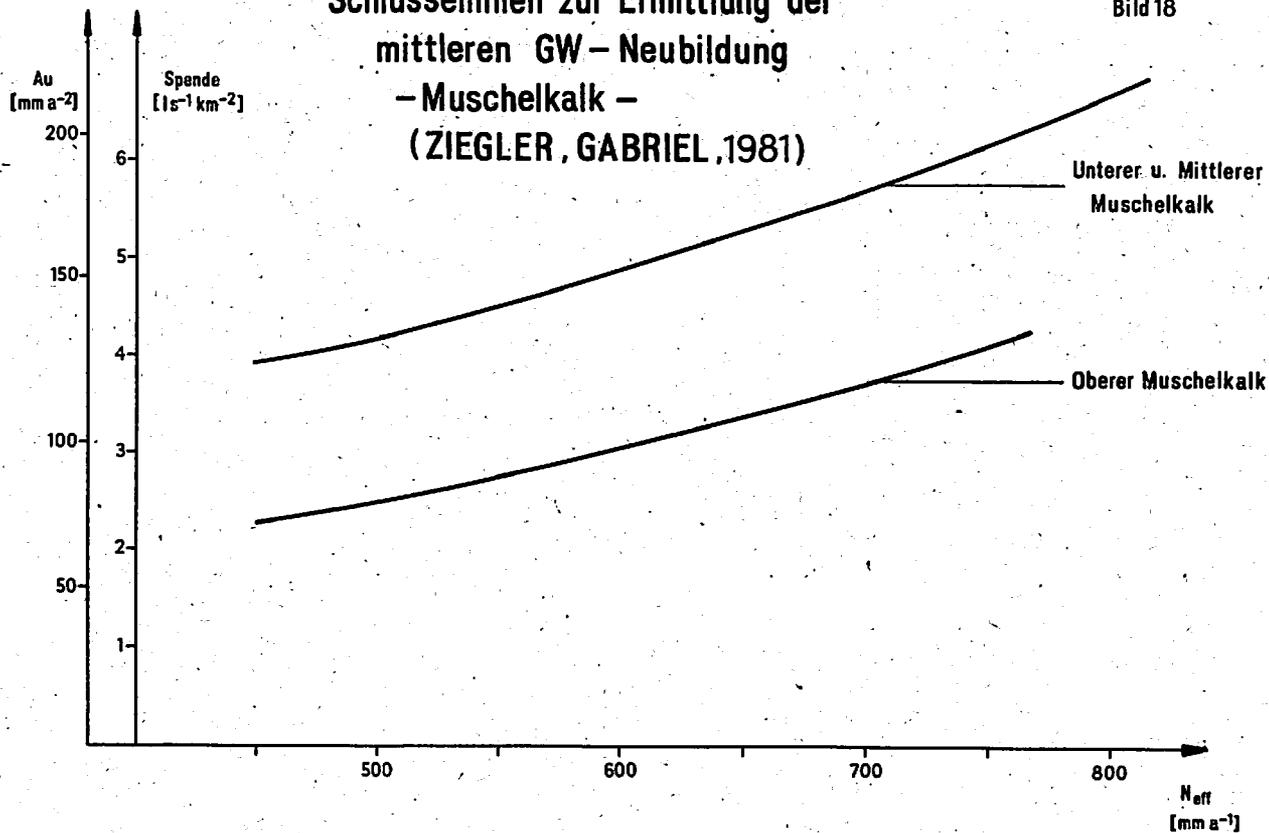
Bild 17



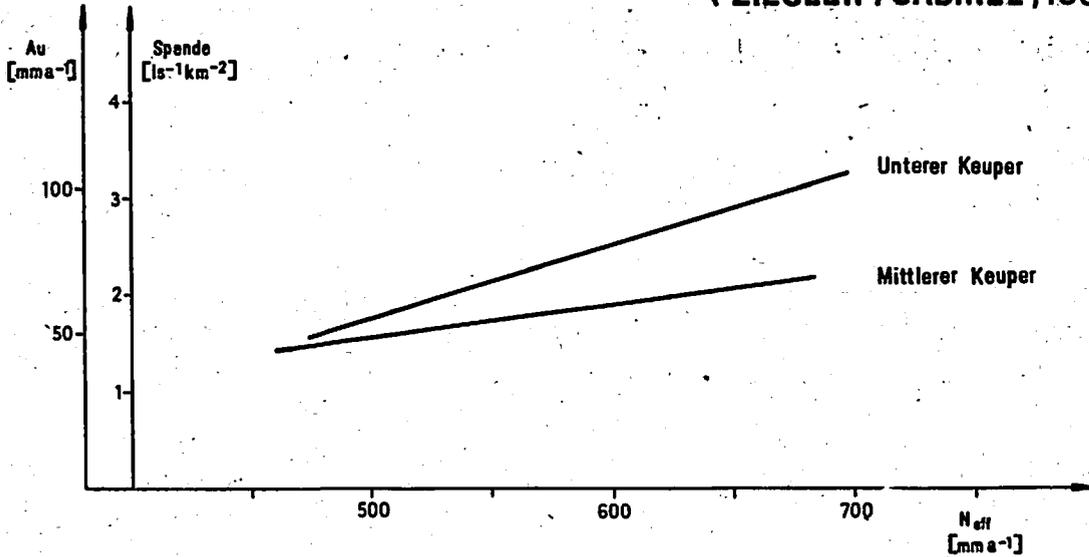
Schlüssellinien zur Ermittlung  
der mittleren GW-Neubildung  
- Buntsandstein -  
(ZIEGLER / GABRIEL 1978)

Schlüssellinien zur Ermittlung der  
mittleren GW-Neubildung  
- Muschelkalk -  
(ZIEGLER, GABRIEL, 1981)

Bild 18



**Schlüssellinien zur Ermittlung der  
mittleren GW-Neubildung  
- Keuper -  
( ZIEGLER / GABRIEL, 1981 )**



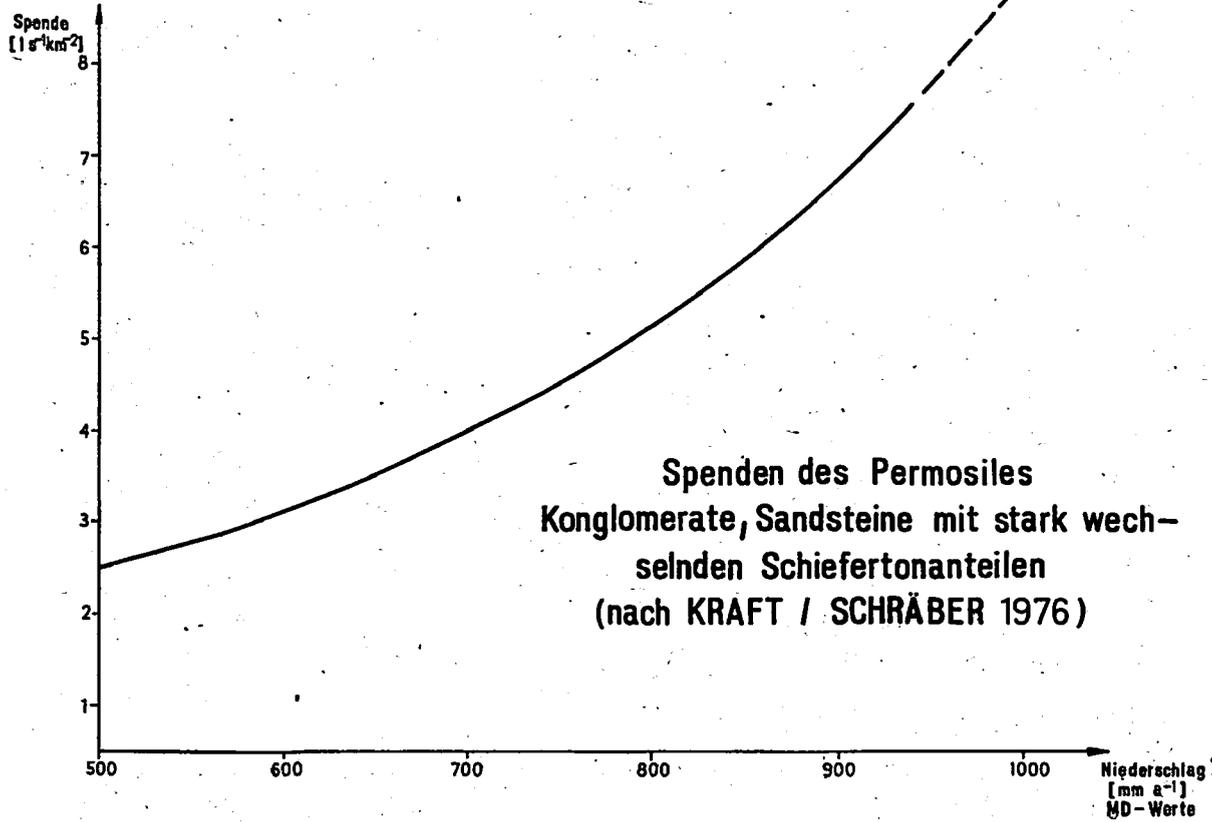
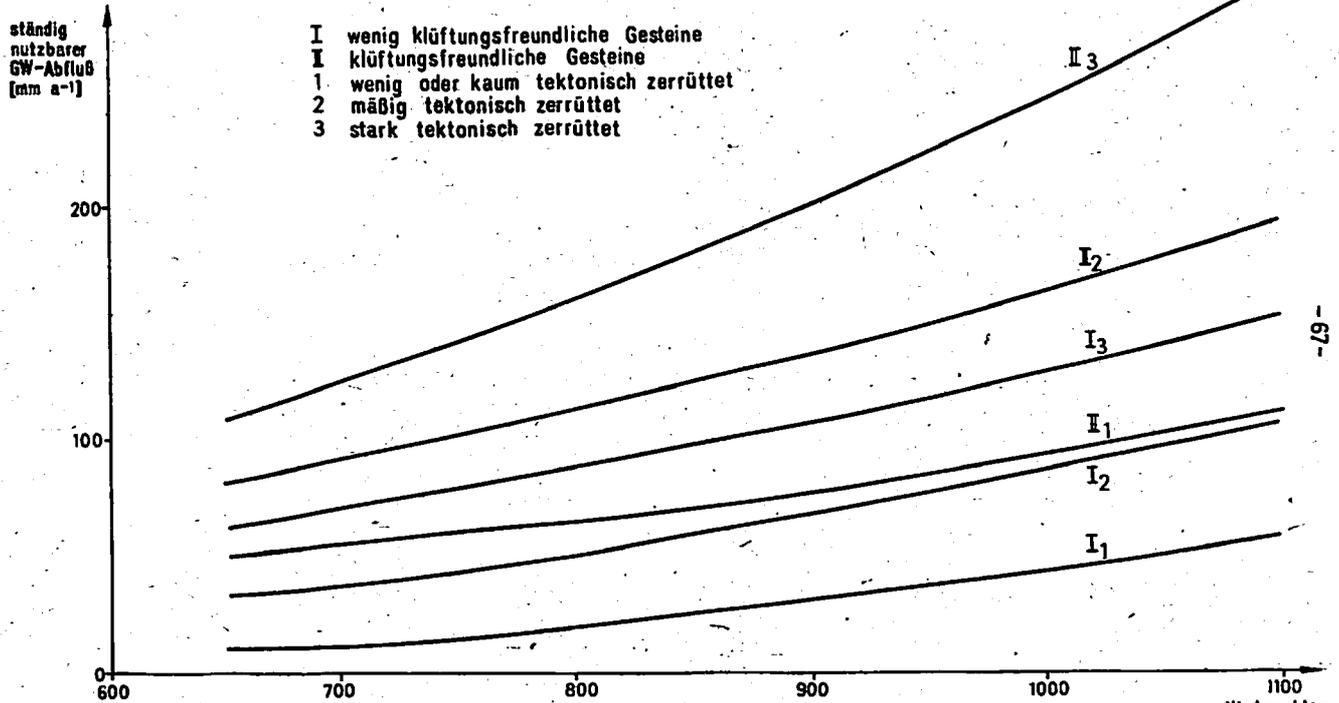


Bild 21



Schlüssellinien zur Berechnung des nutzbaren GW-Abflusses im Vogtland und Erzgebirge in Abhängigkeit von Zerrüttung und Klüftungsfreundlichkeit (nach KRAFT / SCHRÄBER 1976)

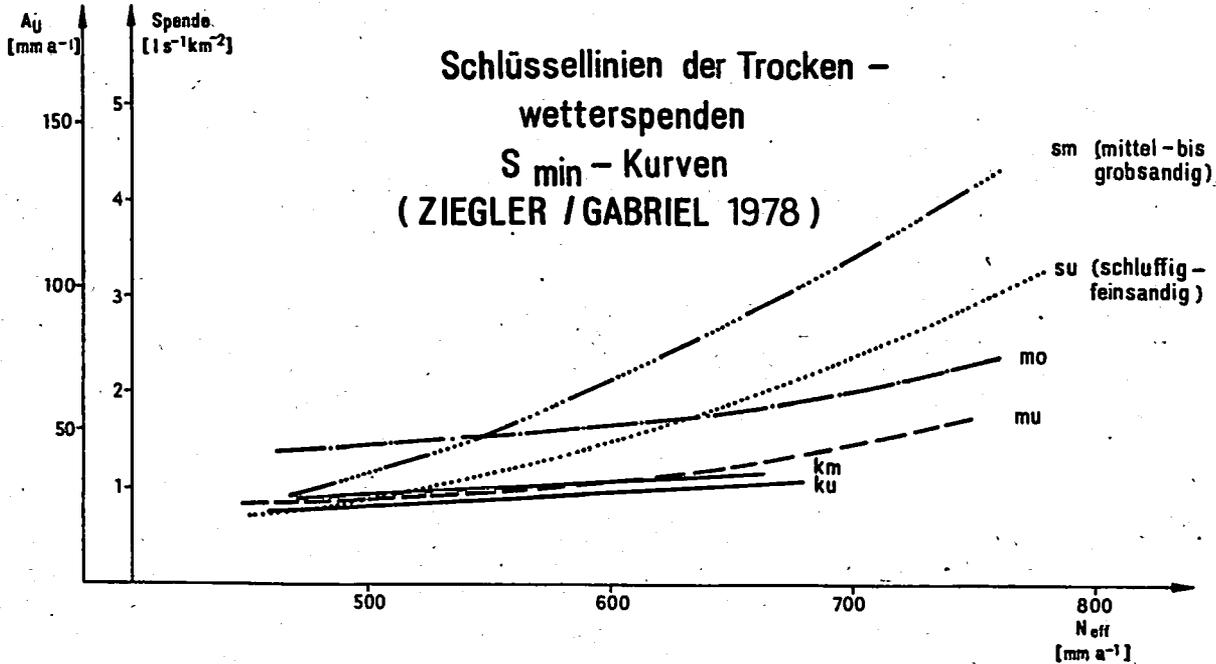
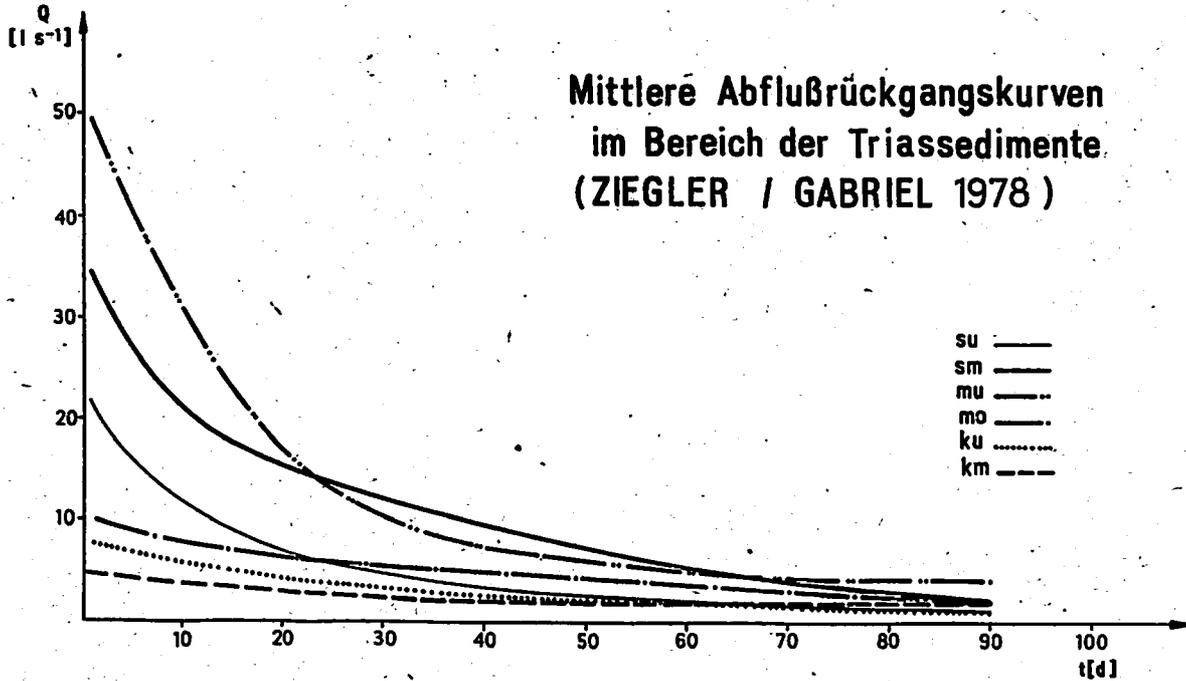


Bild 23



### 5.2.3.2. Lockergesteinsbereich

#### Eingabedaten

Zur Erleichterung der Datenerfassung für die Berechnung der Grundwasserneubildung nach den Verfahren BAGROV/GLUGLA, SCHLINKER und ZIESCHANG erfolgt in Tab. 3 eine Zusammenstellung der erforderlichen Eingangsdaten. Da die Mehrzahl der Eingangsdaten gleichermaßen in allen Berechnungsverfahren Verwendung findet, wird empfohlen, bei der Analyse und Zusammenstellung der zu verwendenden Gebietscharakteristika die in der Tab. 3 aufgeführten Eingangsdaten vor Beginn der Berechnungen generell zu erfassen.

#### Genauigkeit

Die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse wird - neben der richtigen Wahl des Berechnungsalgorithmus - ganz entscheidend durch die Genauigkeit der Eingangsdaten bestimmt. Die Genauigkeit der Eingabe ist jedoch begrenzt: Die Grundwasserneubildung wird einerseits von einer Vielzahl klimatologischer, geologisch-bodenkundlicher und geographischer Größen beeinflusst (Abschn. 3.2.), andererseits erfordert der effektive Einsatz der Berechnungsverfahren die Beschränkung auf einige wesentliche Einflußgrößen.

Die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse wird ebenfalls beeinflusst durch die Größe des Untersuchungsgebietes. So werden z.B. Verfahren, die die Einflüsse unterschiedlicher Vegetation auf die Höhe der Grundwasserneubildung nicht berücksichtigen, in allgemeinen in größeren Gebieten (Mischstruktur der Vegetation) genauer als in kleinen Untersuchungsgebieten sein.

Die Einschätzung der Genauigkeit der Berechnungsergebnisse erfolgt im allgemeinen durch Vergleich von Berechnungs- und Meßwerten des Wasserdargebots bzw. der Grundwasserneubildung (Durchflußmessungen von Vorflutern großer Einzugsgebiete, exakte Erfassung von Entnahmen und Einspeisungen in Einzugsgebieten von Wasserwerken).

Für die Erkundungsverfahren des Lockergesteinsbereichs (BAGROV/GLUGLA, SCHLINKER) übertreffen die Abweichungen zwischen Meß- und Berechnungswert des Dargebots (bzw. der Grundwasserneubildung) im Mittel der Untersuchungsgebiete nicht  $\pm 10\%$  des Meßwertes. Die Mehrzahl der Abweichungen liegt unter  $\pm 5\%$ . Diese Vergleichsbetrachtungen wurden für das Verfahren BAGROV/GLUGLA für Einzugsgebiete mit Durchflußmessungen

aus dem gesamten Lockergesteinsbereich angestellt; für das Verfahren SCHLINKER liegen solche Untersuchungen bisher für den Raum der Nordbezirke vor. Das Berechnungsverfahren bzw. die Kartierungen für Zwecke der Planung/Prognose/Suche sind in ihrer Genauigkeit unterschiedlich zu bewerten:

- ZIESCHANG schätzt ein, daß bei großräumiger Anwendung des Verfahrens Fehler von maximal  $\pm 20\%$  auftreten, während für kleine Gebiete mit spezifischer Vegetationsausprägung dieser Wert überschritten werden kann.
- Die Abweichungen zwischen Messungen und einzelnen Werten für die größeren  $25 \text{ km}^2$ -Felder der Karten des potentiellen Wasserdargebots (Überarbeitete N-A-U-Karte) sind kleiner als  $\pm 15\%$ , für größere Areale noch niedriger.
- Die Genauigkeit der Abflussspendenkarte der Hydrogeologischen Übersichtskartierung wurde bereits in Abschnitt 5.2.1.2.2. eingeschätzt.
- Bei Anwendung der Erkundungsverfahren (BAGROV/GLUGLA und SCHLINKER) für Zwecke der Planung/Prognose/Suche gelten die oben genannten Genauigkeitsaussagen für die Erkundungsverfahren.

Tabelle 3

Erforderliche Eingangsdaten für die Berechnung der Grundwasserneubildung

Lfd. Nr.	Eingangsdaten	Symbol	Dimension	Verwendung im Berechnungsverfahren			Verfügbarkeit der Daten und Bemerkungen
				GLUGLA	SCHLINKER	ZIRSCHANG	
1	Niederschlag (mittl. Jahreswert)	$\bar{N}$	mm	x	x	x	Jahresreihen von 20 J. (MD-Meßwerte)
2	Potentielle Verdunstung (mittl. Jahreswert)	$V_{pot}$	mm	x			Jahresreihen von 10 J. vgl. Karte Anlage 1
3	Hauptbodenart						Geol. Karte 1:25 000, Bodenschützungskarte Agraratlas, forstl. Standortkartierung
	Sand	S		x			abschlümmbarer Anteil $\beta$ 0,02 (Go,02):0-10 %; nach Bodenschützungskarte
	Sand ohne Humus	dS			x		Geologische Karte d. Nordbezirke 1:100 000
	Sand mit Humus	dS/h			x		bzw. Geol. Spezialkarte 1:25 000
	Sande u. Kiese auch mit höherem Schluff- u. Ton-gehalt (auch als geringmächt. Sand- u. Kiesdecke über Geschiebemergel)	0 %				x	Einteilung nach hydrogeol. Übersichtskarte 1:200 000 mit Hilfe der Geol. Karte 1:25 000

Lfd. Nr.	Eingangsdaten	Symbol	Dimen- sion	Verwendung im Berechnungs- verfahren			Verfügbarkeit der Daten und Bemerkungen
				GLUGLA	SCHLINKER	ZIESCHANG	
	anlehm. Sand	Sl		x			Go, o2 : 10 - 15 %
	lehm. Sand	lS		x			Go, o2 : 15 - 22 %
	lehm. Sand	ds/dm			x		
	stark lehm. Sand	SL		x			Go o2 : 22 - 28 %
	sandiger Lehm	sL		x			Go, o2 : 28 - 35 %
	Lehm	L		x			Go, o2 : 35 - 50 %
	Lehm oder Geschiebe- mergel, S	dm/ds			x		
	Lehm oder Geschiebe- mergel, t	dm			x		
	Geschiebe- lehm-mergel	50 %				x	
	Anlehm un- ter 10 m mächtig						
	schwerer Lehm	LT		x			Go, o2 : 50 - 65 %
	Geschiebe- lehm-mergel über 10 m mächtig.	100 %				x	

Lfd. Nr.	Eingangsdaten	Symbol	Dimen- sion	Verwendung in Berechnungs- verfahren			Verfügbarkeit der Daten und Bemerkungen
				GLUGLA	SCHLINER	ZIESCHANG	
	Ton, Moor	T M		x x			Go, o2 : 65 %
	Moorige u. an- moorige Gebiete mit Grundwasser- kontakt (Zehrflöhen)	Mo			x		Top.Karten (Mtbl., Ausg. v. 1945; AVW); Anlage 2
4	Hauptnutzungsform - Vegetation (Acker, Wald) - Gewässer - Ortslagen	A, W U, Wa O		x x x		x x	" " " "
5	Klasse des Grundwasserflurabstands ( 1, 1-2, 2 m)			x			Top. Karten u. GW-Isoc- hyphenpläne
6	Durchflüsse d. Vorfluter	MQ $\bar{A} (M)$	$m^3/s$ ( $l/s km^2$ )	x			Bei bed. GWL zur Er- mittlung des GW-Darge- bots aus dem berechne- ten Gesamtabfluß Jahresreihen von 5 J.

#### 5.2.4. Weitere Bestimmungsmethoden der GW-Neubildung

Außer den im vorangegangenen Abschnitt ausführlich erläuterten Verfahren, die in der DDR vorwiegend Anwendung finden sollen, wird nachstehend noch kurz auf einige weitere direkte oder indirekte Verfahren hingewiesen, die im allgemeinen weniger verbreitet sind. Diese Verfahren wurden in der Vergangenheit zur Berechnung der Grundwasserneubildung herangezogen.

Einige der Verfahren können gelegentlich auch künftig für die Stützung der Berechnung nach den unter Pkt. 5.2. und 5.3, erläuterten Methoden (vor allen Dingen im Festgestein) eine Rolle spielen.

##### 5.2.4.1. Direkte Erfassung der Grundwasserneubildung auf Grund von Lysimetermessungen

Zahlreiche Autoren betonen den großen Vorteil direkter Messungen der Sicker mengen des Niederschlages und damit der GW-Erneuerung in Lysimeteranlagen. Die Verwendung von Lysimeterdaten zur Ermittlung der Grundwasserneubildung erfordert jedoch die Beachtung folgender Punkte:

- Lysimetermessungen können nur punktuell durchgeführt werden und liefern deshalb nur Werte für Einzelstandorte, bei deren Übertragung auf größere Flächen die Vielzahl der Boden- und Vegetationsarten ausreichend durch verschiedene Lysimeterergebnisse repräsentiert sein muß.
- In den Lysimetern wird nur das Sickerwasser in vertikaler Richtung gemessen. Der hypodermische Abfluß ist in dieser Sickerwassermenge enthalten.
- Die Zuverlässigkeit der Sickerwassermenge aus den verschiedenen Lysimetertypen hängt von den Abmessungen und hier vor allem von der Tiefe der Lysimeter ab (Bindigkeit des Bodens beeinflusst die kapillare Steighöhe des Stauwassers über der Lysimetergrundfläche bis in die verdunstungsbeeinflusste Bodenzone; die Durchwurzelungstiefe landwirtschaftlicher oder forstlicher Kulturen ist unterschiedlich).
- Die Übertragung der Meßergebnisse auf klimatisch unterschiedliche Gebiete erscheint nur begrenzt zulässig. Folgende Faktoren sind unbedingt zu berücksichtigen:

- . Niederschlagshöhe,
- . mittlere Monats- und Jahrestemperaturen,
- . Oberflächenabfluß,
- . Bewuchs und Flächennutzung,
- . Bodenart,
- . Flurabstand des GW

Bei Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte kann die Nutzung von Lysimeterdaten direkt oder indirekt (vgl. BAGROV/GLUGLA) vorgenommen werden.

#### 5.2.4.2. Ermittlung der GWNB aus der Durchflußganglinie der Vorfluter

Diese indirekten Berechnungsmethoden gehen von der Annahme aus, daß in Trockenzeiten die Vorfluter ausschließlich durch GW gespeist werden, d.h., daß die Niedrigwasserabflüsse eines Flußgebietes identisch mit dem unterirdischen Abfluß sind. Wichtigste Grundlage für die Anwendung dieser Verfahren sind Abflußdaten von Vorflutern, wobei aus dem Gesamtabfluß eine Separation des Grundwasserabflusses vorgenommen und auf ein bestimmtes Einzugsgebiet bezogen werden kann. Diese Separationsverfahren sind physikalisch jedoch unstritten, da der zeitlich determinierte (auf das Sommerhalbjahr konzentrierte) Basisabfluß im Vorfluter sehr stark durch die mittlere Lage der GW-Oberfläche unter Gelände im Untersuchungsgebiet und somit durch Sickerstrecke und Phasenverschiebung der Sickerwasserquelle beeinflusst wird. Weiterhin treten zahlreiche Störfaktoren auf, die eine Anwendung erheblich einschränken:

- Es müssen langjährige, entstörte, durch künstliche Entnahme und Einleitung unbeeinflusste Durchflußganglinien vorliegen. In Gebieten mit intensiver Wassernutzung, wie z.B. in der DDR, treten zunehmend anthropogene Beeinflussungen der oberirdischen Abflüsse auf, die nicht oder nur mit erhöhtem Aufwand erfaßt und eliminiert werden können. Zu beachten ist dabei, weiterhin, daß vornehmlich die Trockenwetterabflüsse gestört sind, da in den Trockenzeiten durch verschiedene Nutzer häufig unkontrolliert das benötigte Wasser entnommen wird.
- Ober- und unterirdische Einzugsgebiete müssen weitestgehend form- und flächenidentisch sein.
- Der gesamte unterirdische Abfluß muß zum betreffenden Vorfluter hin erfolgen. Nicht erkannte oder nicht quantifizierbare Unter- und/oder Umläufigkeit der Abflußmessstellen führt zu Fehlern bei der Auswertung.

- Nur in relativ großen Einzugsgebieten (1000 bis 3000 km<sup>2</sup>) werden brauchbare Werte gewonnen.

Es sind folgende Separationsverfahren bekannt:

- Trockenwetter-Abflußlinien (TWL) nach SCHROEDER /34/
- A<sub>n</sub>-Linien-Verfahren nach HATERMANN /25/, /26/
- MoMQ-Verfahren nach WUNDT /38/ und KILLE /28/
- Trockenwetterabfluß im Festgestein nach WEYER /39/

Generell sind diese Verfahren mit einem hohen Arbeitsaufwand verbunden, der sie für Routinearbeiten wenig praktikabel erscheinen läßt. In komplizierten Gebieten des Festgesteinsbereiches ist es jedoch häufig unerlässlich, ein Separationsverfahren zum Nachweis der Grundwasserneubildung anzuwenden, um zu einer gesicherten Aussage zu kommen.

#### 5.2.4.3. Berechnung der Grundwasserneubildung auf der Grundlage der Auswertung von Wasserwerks-Statistiken

Die Ermittlung der Grundwasserneubildung aus der Grundwasser-Förderung durch Brunnen ist unter folgenden Voraussetzungen möglich:

- Das hydraulisch beherrschte Einzugsgebiet von Wasserfassungen oder von Einzelbrunnen muß durch ein entsprechend dichtes Netz von Grundwasserbeobachtungsrohren einwandfrei abgrenzbar sein.
- Der Grundwasserspiegel soll stationäre Verhältnisse erreicht haben bzw. über mehrere Jahre aufweisen.
- Tägliche und jahreszeitliche Entnahmeschwankungen rufen starke Störungen hervor, die auf Grund unzulänglicher oder fehlender Meßeinrichtungen nicht immer voll erfaßbar sind.
- GW-Abfluß zu Vorflutern, Infiltrationen aus Vorflutern, zusätzliche Entnahmen und/oder GW-Anreicherungen in den Einzugsgebieten von Wasserfassungen oder Einzelbrunnen müssen auszuschließen oder bekannt sein.

Ausführliche Erläuterungen dieses Berechnungsverfahrens gibt SCHNEIDER 1972 /40/.

#### 5.2.4.4. Bestimmung der Grundwasserneubildung mittels Durchflußgleichung nach DARCY

Betrachtet man in einem unterirdischen Einzugsgebiet einen bestimmten Durchflußquerschnitt senkrecht zur Grundwasserfließrichtung, so kann dafür der natürliche unterirdische Abfluß nach dem DARCYschen Gesetz mit der Gleichung

$$Q = k \cdot I \cdot F \text{ (m}^3\text{s}^{-1}\text{)}$$

ermittelt werden.

$Q$  = Grundwasserabfluß (m<sup>3</sup>/s)

$k$  = Durchlässigkeitsbeiwert (m/s)

$I$  = Gefälle

$F$  = durchströmter Querschnitt (m<sup>2</sup>)

Dabei ist die Durchflußmenge  $Q$  identisch mit der Grundwasserneubildung für das der Durchflußbreite zuzuordnende unterirdische Einzugsgebiet.

Voraussetzung für die Anwendung dieser Gleichung ist das Vorhandensein eines exakten Grundwasserisohypsenplanes und repräsentativer Berechnungsparameter  $k$ ,  $I$  und  $F$  im gesamten Bereich des Durchflußquerschnittes. Weiterhin darf keine GW-Entnahme im betrachteten Gebiet erfolgen und kein Austausch zwischen Grund- und Oberflächenwasser stattfinden. Die Genauigkeit der Berechnung wird durch folgende Faktoren beeinträchtigt:

- Inhomogenität der Grundwasserleiter (heterogen und anisotrope Grundwasserleiter mit wechselnden  $k$ -Werten in horizontaler und vertikaler Richtung),
- Auftreten mehrerer Grundwasserstockwerke mit nicht eindeutiger Kommunikation der Stockwerke untereinander und anormale Mächtigkeiten sowie größere Tiefenlagen von Grundwasserleitern
- Gefälleverflachung in Depressionsräumen und Toplagen des Grundwasserniveaus.

Da jede Abweichung auch nur eines Parameters von den natürlichen Gegebenheiten sich linear im Ergebnis widerspiegelt, sind die grundlegenden Schwächen dieses Verfahrens gegeben, und exakte Werte für die Grundwasserneubildung können damit nur in Ausnahmefällen erwartet werden. Für die Bestimmung standortbezogener Durchflußmengen kann dieses Verfahren jedoch als orientierende Größenermittlung Anwendung finden.

## 6. Ausblick

Die vorliegende Empfehlung berücksichtigt den gegenwärtigen nationalen und internationalen Kenntnisstand zur Ermittlung der Grundwasserneubildung. Die empfohlenen Berechnungsverfahren sind so konzipiert, daß zukünftige Forschungsergebnisse in die Verfahren integriert werden können. Zu gegebener Zeit wird daher eine Aktualisierung der vorliegenden Empfehlung erfolgen. Aus heutiger Sicht deutet sich die Notwendigkeit zur Berücksichtigung von Ergebnissen zu folgenden Problemen an:

- neue Jahresreihen hydrometeorologischer Elemente (z.B.  $H$ ,  $V_{pot}$ )
- anthropogene Einflüsse auf das hydrologische Geschehen (z.B. Urbanisierung, Melioration)
- verbesserte Aussagen zur hydrologischen Rolle des Waldes unter Berücksichtigung verbesserter Kartierungsunterlagen (Lit. /43/)
- verbesserte Aussagen zur hydrologischen Rolle des Bodens unter Berücksichtigung neuerer Kartierungsunterlagen (mittelmaßstäbliche landwirtschaftliche Kartierung 1 : 50 000)
- Spezifizierung von Versickerungsfaktoren unter Nutzung der Ergebnisse des überarbeiteten HAU-Kartenwerkes.
- weitere Objektivierung der Verfahren für das Festgestein.

Während mit den vorgestellten Verfahren Aufgaben der Bilanzierung und des GW-Vorratsnachweises bewältigt werden können, werden mit zunehmender Nutzung der Ressourcen in der DDR Aussagen der Kontrolle und Steuerung (Jahresgang) an Bedeutung gewinnen. Die entsprechenden Ansatzpunkte sind bei den in Frage kommenden Verfahren bereits angesprochen worden.

Verzeichnis der Bilder der Empfehlung Grundwasserneubildung

- Bild 1 Schematische Darstellung der Dargebotsgrößen für unbedeckte Grundwasserleiter
- Bild 2 Schematische Darstellung der Dargebotsgrößen (langj. Mittel) für bedeckte Grundwasserleiter und Gebiete hoher Reliefenergie
- Bild 3 Darstellung der BAGROV-Beziehung für ausgewählte Werte des Effektivitätsparameters BAGF
- Bild 4 Teil eines Untersuchungsgebietes zur Erläuterung der Verfahren
- Bild 5 Schema für die Berechnung der Grundwasserneubildung (bzw. des Abflusses) aus der Verbindung von Wärme- und Wasserhaushalt nach BAGROV/GLUGLA
- Bild 6 Schema für die Berechnung der Grundwasserneubildung (bzw. des Abflusses) aus der Verbindung von Wärme- und Wasserhaushalt nach BAGROV/GLUGLA mit dem Rechenprogramm RASTER (Programmator R. Enderlein)
- Bild 7 Dateneingabeformular mit Daten des Beispielgebietes
- Bild 8 Berechnungsergebnisse nach dem Programm RASTER
- Bild 9 Formblatt zu  
Manueller Berechnung der Grundwasserneubildung  $\overline{GWN}$  des Gesamtabflusses  $\bar{A}$  bzw. der Zehrung nach dem Verfahren BAROV/GLUGLA
- Bild 10 Berechnung der  $\overline{GWN}$  und nutzbares Dargebot nach SCHLINKER (schematische Übersicht)
- Bild 11 Manuelle Berechnung der Grundwasserneubildung, Zehrung  $\bar{Z}$  und  $\overline{GWN}$  nutzbar bei  $\bar{H}$  und  $H_{tr}$  nach dem Verfahren SCHLINKER
- Bild 12 EDV-Berechnung der GW-Neubildung nach SCHLINKER

- Bild 13.1 Eingabeformular Programm Grundwasserneubildung (Blatt 1)
- Bild 13.2 Eingabeformular Programm Grundwasserneubildung (Blatt 2)
- Bild 13.3 Berechnungsergebnisse, Grundwasserneubildung nach SCHLINKER
- Bild 14 Abflußpendenschlüssel nach ZIESCHANG
- Bild 15 Oberflächenabfluß in Abhängigkeit des korr. Niederschlages nach ZIEGLER/GABRIEL, 1980)
- Bild 16 Oberflächenabfluß in Abhängigkeit von Hauptbodenarten und korr. Niederschlag (nach GRUNSKE, 1977)
- Bild 17 Schlüssellinien zur Ermittlung der mittleren Grundwasserneubildung  
- Buntsandstein -  
(nach ZIEGLER/GABRIEL, 1978)
- Bild 18 Schlüssellinien zur Ermittlung der mittleren Grundwasserneubildung  
- Muschelkalk -  
(nach ZIEGLER/GABRIEL, 1978)
- Bild 19 Schlüssellinien zur Ermittlung der mittleren Grundwasserneubildung  
- Keuper -  
(nach ZIEGLER/GABRIEL, 1978)
- Bild 20 Spenden des Permosiles (Konglomerate, Sandsteine mit stark wechselnden Schiefertonteilen nach KRAFT/SCHRÄBER, 1976)
- Bild 21 Schlüssellinien zur Berechnung des nutzbaren Grundwasserabflusses im Vogtland und Erzgebirge in Abhängigkeit von Zerrüttung und Klüftungsfreundlichkeit

Bild 22 Schlüssellinien der Trockenwetterspenden  
 $S_{\min}$ -Kurven (ZIEGLER/GABRIEL 1978)

Bild 23 Mittlere Abflußrückgangskurven im Bereich  
der Triassedimente (ZIEGLER/GABRIEL 1978)

Anlage 1 Karte langjähriger Mittelwerte der potentiellen  
Verdunstung  $\bar{V}_{\text{pot}}$  für das Gebiet der DDR (in mm)

Anlage 2 Karte langjähriger Mittelwerte (1951/70) der  
Gewässerverdunstung  $\bar{V}_{\text{wa}}$  für das Gebiet der DDR  
(in mm)

Anlage 3 Schlüsselkurven für das Verfahren BAGROV/GLUGLA

Literaturverzeichnis: KDT-Empfehlung "Grundwasserneubildung"

- /1/ BAMBERG, H.F.:  
GARLING, F. Grundwasserlagerstättentypenkatalog,  
Teil A, Lockergestein,  
VEB Hydrogeologie, AS Dresden, 1974
- /2/ GLUGLA, G.  
TIEMER, K. Ein verbessertes Verfahren zur Be-  
rechnung der Grundwasserneubildung  
WWT, 21. Jg. (1971), H. 10,  
S. 349 bis 353
- /3/ GLUGLA, G.  
ENDERLEIN, R. Das Programm RASTER - ein effektives  
BYRICH, A. Verfahren zur Berechnung der Grund-  
wasserneubildung im Lockergestein  
WWT, 26. Jg. (1976), H. 11,  
S. 377 bis 382
- /4/ GLUGLA, G.  
ENDERLEIN, R. Anwenderinstruktion für das Rechen-  
BYRICH, A. programm RASTER zur Berechnung lang-  
jähriger Mittelwerte der Grundwasser-  
neubildung und des Wasserhaushalts  
für den Lockergesteinsbereich  
IfW/KDT, Berlin 1977
- /5/ DYCK, S. u.a. Angewandte Hydrologie, Teil 2  
Berlin 1978
- /6/ SPENGLER, R. Beiträge zur Ermittlung der Grundwasser-  
neubildung und des Grundwasserdargebots  
im Lockergesteinsbereich, dargestellt am  
Parthegobiet.  
Diss. Martin-Luther-Universität  
Halle/Wittenberg, 1973
- /7/ RICHTER, D. Die Verdunstungsverluste der Oberen Seen  
Mecklenburgs  
Bes. Mitt. z. Gewässerkd. Jb.d.DDR,  
Nr. 9, 1969
- /8/ GLUGLA, G.  
ENDERLEIN, R. Zur Bestimmung des innerjährlichen Ganges  
der Grundwasserneubildung  
WWT, 25. Jg. (1975), H. 12,  
S. 404 - 408
- /9/ ENDERLEIN, R. Das Rechenprogramm RASTER zur Berechnung  
GLUGLA, G. langjähriger Mittelwerte der Grundwasser-  
BYRICH, A. Neubildung und des Wasserhaushalts für  
STOYE, G. den Lockergesteinsbereich der DDR.  
FÜRFIG, G. - Nutzerorientierte Programmdokumentation  
IfW, Berlin 1979 (unveröffentlicht)

- /10/ SCHLINKER, K.: Grundwasserverhältnisse Einzugsgebiet Warnow, WVD Küste-Warnow-Peene Forschungsstudie 1965, unveröff.
- /11/ SCHLINKER, K.: Beiträge zur wasserwirtschaftlichen Erfassung des Grundwasserdargebotes durch den Chemismus und seiner Beziehung zum Oberflächenabfluß im Gebiet Küste-Warnow-Peene. Dissertation, TU Dresden, 1967, unveröff.
- /12/ BUSCH, K.F.: Geohydraulik, Loipzig 1973  
LUCKNER, L.
- /13/ SCHLINKER, K.: Komplexmethodik der regionalen Grundwassererkundung im Großinzugsgebiet Küste-Warnow-Peene, Wiss. Zeitschrift Universität Rostock, H. 7, 1969
- /14/ BUSCH, K.F.: Zur Ermittlung des GW-Dargebotes Geodätische u. geohydraulische Veröffentlichungen, Reihe IV, H. 5, 1969
- /15/ SCHLINKER, K. u.a.: Methodik zur Erfassung regionaler Grundwasserressourcen nach Menge u. Beschaffenheit, IfW, F/E-Thema III/1.2 - 1974 (unv.)
- /16/ ZIESCHANG, J.: Zur Grundwasserklassifikation und zur Analyse des Grundwasserdargebotes Zeitschrift f. angew. Geologie, H. 1q, 1963
- /17/ ZIEGLER, G.: Neue Methoden zur Erschließung von Grundwasserressourcen im Paläozoikum der DDR IfW, Erfurt 1980 (unveröff.)
- /18/ GABRIEL, B.: Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Grundwasserneubildung in Festgesteinsbereich der Trias (Muschelkalk u. Keupor) Institut für Wasserwirtschaft, Berlin, 1975 (unveröff.)  
ZIEGLER, G.

- /19/ KRAFT, W.:  
SCHRÄBER, D.  
Erarbeitung von Werten für den Basisabfluß im Erzgebirge, im Vogtland und im Granulitgebirge  
Teilbericht zum F/E-Thema  
"Grundwasserneubildung"  
VEB Hydrogeologie, Freiberg, 1976  
(unveröff.)
- /20/ ZIEGLER, G.:  
Methodische Grundlagen zur Erfassung des Grundwasserdargebotes für den Festgesteinsbereich der WVD VI  
Erfurt 1969, (unveröff.)
- /21/ HECHT, G.:  
Grundwasservorratsprognose Thüringisches Schiefergebirge  
VEB Hydrogeologie, Jena 1975  
(unveröff.)
- /22/ GÖTZE, K.:  
HECHT, G.  
Erarbeitung von Werten für den Basisabfluß im Ostthüringer Schiefergebirge  
Teilbericht zum F/E-Thema  
"Grundwasserneubildung"  
VEB Hydrogeologie, Jena 1977  
(unveröff.)
- /23/ HOPPE  
Zur Frage der Grundwasserneubildung in der Trias des Thüringer Beckens,  
Zeitschrift der Hochschule für Architektur, Weimar 1969

- /24/ FRIEDRICH, W. **Lysimetermessungen und andere gewässerkundliche Verfahren zur Ermittlung der GW-Erneuerung**  
Zt. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 106, 1954
- /25/ WATERMANN, E. **Die Linie des langfristigen Grundwassers (AnL) und die Trockenwetterabflußlinie (TWL).**  
Wasserwirtschaft, 41, 1951
- /26/ WATERMANN, E. **Der Wasserhaushalt des oberen Emmerlandes nach dem An-Linien-Verfahren**  
Minist.f. Ernährung, Landw. u. Forsten d. Landes Nordrhein-Westf. Hannover 1958
- /27/ HARBE, S. **Geohydrologische Verfahren zur Ermittlung der GW-Leistung von Einzugsgebieten**  
Forsch.-Bericht, IfW, Berlin 1971  
(unveröffentlicht)
- /28/ KILLE, K. **Das Verfahren M.MNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen GWNB mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse**  
Z. deutsch. geol. Ges., Sonderheft Hydrogeologie, Hannover 1970
- /29/ SCHNEIDER, H. **Die Grundwassersubildung (Wege zu ihrer Ermittlung)**  
bb, 12. Jg. (1961)
- /30/ DYCK, S. **Wege zur Ermittlung der nutzbaren GW-Reserven**  
Ber. Geol. Ges., 8 (1963) 3  
S. 245/262
- /31/ MILDE, G. **Die Verbreitung von Einheiten ähnlicher Versickerungsfreundlichkeit im Weiß-Elster-Becken**  
Bergbautechnik, 19 (1969) 5
- /32/ MILDE, G. **Beiträge zur Erfassung des mittleren jährlichen GW-Dargebots im Weiß-Elster-Becken auf der Grundlage der Verbreitungskartierung von Einheiten ähnlicher Versickerungsfreundlichkeit**  
Bergbautechnik, 19 (1969) 7
- /33/ SPENGLER, R. **Neuere Erkenntnisse über die GW-Neubildung durch Infiltration in Abhängigkeit von geologischen und anderen Faktoren**  
Z.f. angew. Geologie, 16 (1970) 2

- /34/ SCHROEDER, G. Die GW-Reserven der Flußgebiete  
Bes.Mitt.dt.gewässerkdI.Jb.  
Koblenz 13 (1955)
- /35/ SCHROEDER, G. Die Wasserreserven des oberen  
Emsgebietes  
Bes.Mitt.dt.gewässerkdI.Jb., 5  
Bielefeld 1952
- /36/ SCHROEDER, G. Die Grundwasserneubildung  
(Ein vorläufiges Ergebnis von  
Lysimetermessungen)  
Die Wasserwirtschaft, 1960, H. 2
- /37/ ALTMANN, K. Methoden zur Bestimmung der Grund-  
ARMBRUSTER, J. u.a. wasserneubildungsrate  
Geol. Jahrbuch, Reihe C, H. 19  
Hannover 1977
- /38/ WUNDT, W. Die Kleinstwasserführung der  
Flüsse als Maß für die verfügbaren  
GW-Mengen  
In GRAHMANN: Die Gewässer der BRD  
und ihre Nutzung  
Forsch.dt.Landeskde, 104, Remagen
- /39/ WEYER, K.U. Ermittlung der GW-Mengen in den  
Festgesteinen der Mittelgebirge  
aus Messungen des Trockenwetter-  
abflusses  
Geol.Jb, C 3, Hannover 1972
- /40/ SCHNEIDER, H. Die Wassererschließung  
2. Auflage  
Vulkan-Verlag Essen, 1973
- /41/ ZIEGLER, G.: "Beitrag zum Grundwasserabfluß im  
Thüringer Festgestein"  
Dissertation, Halle, August 1979
- /42/ ZIEGLER, G. "Neue Methoden zur Erschließung von  
GABRIEL, B. Grundwasserressourcen im Paläozo-  
ikum der DDR"  
Unveröff. F/E-Bericht, IfW Berlin,  
Erfurt, September 1980
- /43/ EMSHOFF, B. Abschlußbericht zur NvE Forst-  
EYRICH, A. karten-Grundwasserneubildung.  
GINZEL, G. VEB Hydrogeologie,  
GLUGLA, G. unveröffentlicht, Berlin 1980  
HANNEMANN, M.  
KOPP, D.  
LÜTZKE, R.