

## Zusammenfassung

Ausgehend von dem Verfahren nach KILLE (1970) zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mittels Niedrigwasserabflüssen, werden weitere statistische Methoden bei der hydrologischen Auswertung verwendet. Die Anwendung des Medians (Z), des Modalwertes (D) und des Quartilabstandes (QA) erwies sich als brauchbar. Diese Berechnungsgrößen führen zu einer Verbesserung der Analyse des unterirdischen Abflusses. Die beschriebenen Methoden eignen sich besonders für regionale prognostische Untersuchungen und können unter bestimmten Bedingungen bei der hydrogeologischen Erkundung verwendet werden. Diese komplexen statistischen Untersuchungen setzen eine Systematisierung der Einzugsgebiete nach geohydrologischen Gesichtspunkten voraus.

## Summary

*Mathematical-statistical methods applied to calculating the subsurface run-off in catchment areas*

Proceeding from the method of KILLE (1970) to calculate the mean long-term recharge of ground water by low-water-flow, further statistical methods are being used in hydrological evaluation. Application of the central value (Z), the modal value (D) and the quartil interval (QA) has proved workable. These quantities of calculation lead to the analysis of the subsurface run-off being improved. The methods described are suitable especially for regional prognostic studies and can be used in hydrogeological exploration, under certain conditions. These complex statistical investigations presume systematization of the drainage areas according to geohydrological criteria.

## Резюме

*Математически-статистические методы определения подземных стоков в бассейнах рек*

Исходя из метода Килле [1970г.] по определению среднего многолетнего образования грунтовых вод посредством стока меженья, статистические методы используются при гидрологическом подсчёте. Применение медиана [Z], модального значения [D], квартильного расстояния [QA] оказались пригодными. Эти величины определений

# Mathematisch-statistische Methoden zur Berechnung des unterirdischen Abflusses in Flußgebieten

*Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle im Text*

*Autor:*

Dipl.-Geogr. ANDREAS SCHROETER  
VEB Hydrogeologie Nordhausen  
Betrieb des  
VEB (K) Geologische Forschung  
und Erkundung Halle  
Rothenburgstraße 12  
Nordhausen  
5500

---

Hall. Jb. f. Geowiss. Bd. 11  
Seite 19...31  
VEB H. Haack Gotha 1986

ведут к улучшению анализа подземных стоков. Описанные методы подходят особенно для региональных прогностических исследований и при определённых условиях могут быть использованы при гидрогеологической разведке. Эти комплексные статистические исследования предполагают систематизацию водосборных бассейнов геогеологическими методами.

1.

## Einleitung

Wegen der außerordentlichen Bedeutung des Wassers als Voraussetzung für das Leben auf der Erde nimmt die Berechnung von Wasserhaushaltsgrößen eine dominante Stellung in der Wasserforschung ein.

Für die physisch-geographischen Disziplinen, deren praxisorientierte Forschungsrichtungen von zahlreichen Nachbarwissenschaften beeinflusst werden, ergeben sich z. B. wesentliche Forschungsansätze, die im Zusammenhang mit der intensiven Nutzung der Ressource Wasser weiterentwickelt werden müssen. Hier ist die Berechnung des Grundwasserabflusses und der Grundwasserspense von Flußeinzugsgebieten und die Ermittlung der sich zugleich vollziehenden Grundwasserneubildung der Hauptanknüpfungspunkt wissenschaftlicher Diskussionen.

Beiträge dazu leisteten u. a. ALTMANN u. a. (1977), BUSCH und LUCKNER (1972), CHARDABELLAS und DYCK (1963), DYCK u. a. (1978), FRIEDRICH (1954), GABRIEL und ZIEGLER (1977), GLUGA (1970), GLUGA und ENDERLEIN (1975), GLUGA und TIEMER (1971), GLUGA u. a. (1976), GRUNSKÉ (1975), KALWEIT (1953), KORTÜM (1961), LILICH und RICHTER (1976), SCHRÄBER u. a. (1982), SPENGLER (1973) und ZIESCHANG (1965).

Im folgenden wird versucht, an Hand eines bewährten Separationsverfahrens auf der Basis von hydrologischen *MONQ-Meßreihen* verschiedene Möglichkeiten bei der Bestimmung von Grundwasserspense und -neubildungswerten aufzuzeigen. MONQ entspricht dem kleinsten mittleren Tagesabfluß des Monats. Im Rahmen vielfältiger Arbeiten über die Grundwasserneubildung wurde die Entwicklung hydrologischer Berechnungsmethoden u. a. durch KILLE (1970), KRAFT und SCHRÄBER (1982), NATERMANN (1951), WEYER (1972) und WUNDT (1967) vorangetrieben.

2.

## Die Auswertung langjähriger hydrologischer MONQ-Reihen mittels statistischer Verfahren zur Bestimmung der unterirdischen Abflußhöhe

2.1.

### Vorbemerkungen

Aus den hydrologischen Verfahren wurde als Grundlage für weitere Überlegungen das Separationsverfahren von KILLE (1970) ausgewählt. Diese Berechnungsmethode hat den wesentlichen Vorteil, daß bestimmte Fehlergrößen, wie erhöhte Abflüsse im Winter, Frostperioden, Abflüsse längerer Regenperioden, eliminiert werden und daß eine Trennung in die Abflußarten oberirdischer Abfluß ( $A_o$ ), Deckschichtenabfluß ( $A_{hyp}$ ) und Grundwasser- bzw. unterirdischer Abfluß ( $A_u$ ) vollzogen wird. Dadurch gehen die den Grundwasserabfluß überlagernden Abflußanteile nicht in die Berechnungen ein. Durch die Verwendung des MONQ-Wertes werden die langjährigen hydrologischen Reihen des Pegelnetzes der Wasserwirtschaft für die Grundwasserforschung nutzbar, wobei sie gleichzeitig eine meßtechnische und statistische Sicherheit der Ergebnisse gewährleisten. Das Verfahren eignet sich für die Anwendung im Festgesteinsbereich der Hoch- und Tiefschollen des südlichen Teiles der DDR. Die speziellen Verhältnisse, wie bewegtes Relief, höhere Niederschlagssummen, geringerer Strahlungssaldo, höherer Oberflächenwasserabfluß, geringeres Speichervermögen, überwiegende effluente Bedingungen vom Einzugsgebiet zum Vorfluter, erfordern besondere Methoden für die Berechnung der Grundwasserneubildung. Die im folgenden noch kurz zu beschreibende *MONQ-Kurve* ist indirekt ein Informationsträger für verschiedene hydrologische und hydrogeologische Parameter der Einzugsgebiete.

Bei der Anwendung der nachfolgend erläuterten Vorschläge in der Praxis wird der Vergleich mit anderen hydrologischen Verfahren bzw. mit bekannten Grundwasserneubildungsberechnungen empfohlen. Je nach der Repräsentanz der hydrologischen Werte sollten die Ergebnisse in

prognostische Betrachtungen bzw. in die hydrogeologische Erkundung einbezogen werden.

Entsprechend dem hydrologischen Verfahren von KILLE (1970) wird vom folgenden Grundprinzip ausgegangen (Abbildung 1):

- Die MONQ-Werte werden nach ihrer Größe geordnet und nach der Häufigkeit ihres Auftretens in ein Diagramm eingetragen.
- Eine Ausgleichsgerade, durch die zu hohe Werte eliminiert werden, dient zur Bestimmung des Grundwasserabflusses. Sie trennt sich an einem markanten Punkt von der Kurve und zeigt am Ende der Reihe, über dem Maximum der Meßwerte, die maximale Höhe des unterirdischen Abflusses ( $A_{u_{max}}$ ).
- Der mittlere, langjährige Grundwasserabfluß entspricht dem Median der geordneten Reihe.

Dabei betrachtet KILLE (1970) die MONQ-Reihen als Stichprobenkollektive des Grundwasserabflusses. Bei einer Mindestanzahl der Meßwerte kann von ihnen auf das Verhalten der Grundgesamtheit aller Meßwerte geschlossen werden. Auf die ausführliche Wiedergabe der Gedanken von KILLE (1970) zur stochastischen Betrachtung der MONQ-Werte, wie die Häufigkeitsverteilung von Misch- und Teilkollektiven, die Häufigkeitssummenkurve und die normale Häufigkeitsverteilung der MONQ-Grundgesamtheit, kann an dieser Stelle verzichtet werden.

Im Bereich der Wasserwirtschaftsdirektion Saale-Werra, so in den Oberflußmeistereien Erfurt und Suhl, wurde in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von hydrologischen Meßreihen aufgestellt. Sie bilden eine wertvolle Grundlage für die nachstehend erläuterten methodischen Vorschläge. Für die Bereitstellung der MONQ-Daten dankt der Autor an dieser Stelle der Wasserwirtschaftsdirektion Saale-Werra. Es sei darauf hingewiesen, daß diese Werte in den „Gewässerkundlichen Jahrbüchern der DDR“ (1954...1984) veröffentlicht werden. Als Meßzeitdauer für die Berechnungen wird der Zeitraum von zwanzig Jahren empfohlen. Dieser Berechnungszeitraum garantiert eine hinreichende statistische Sicherheit. Für die Analyse der langzeitlichen Entwicklung des unterirdischen Abflusses und seiner anthropogenen Beeinflussung sind Vergleiche zwischen gleichlan-

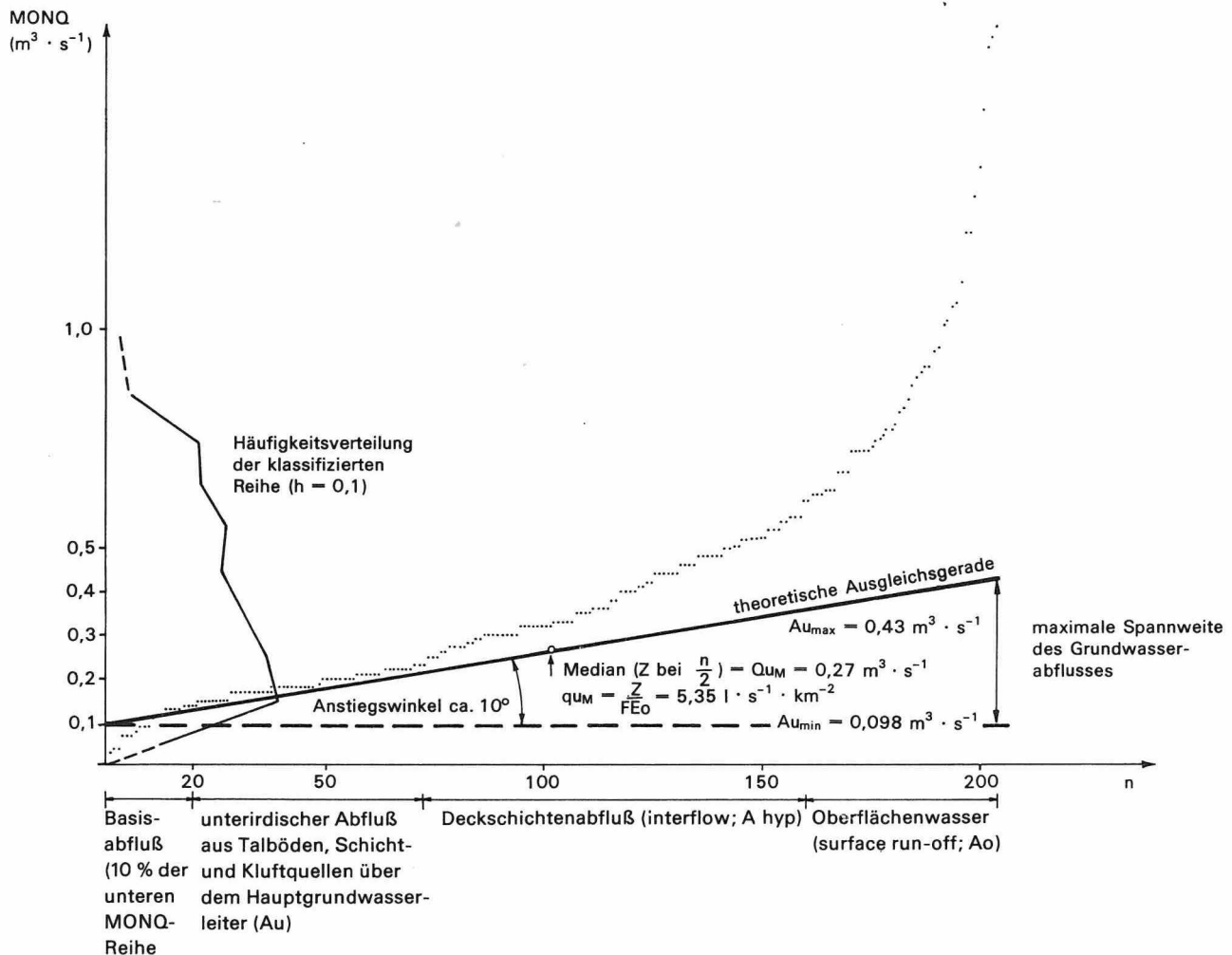


Abbildung 1  
Bestimmung von  $q_{uM}$  und  $q_{uD}$  mittels der MONQ-Kurve ( $n = 204$  MONQ)

gen, unterschiedlichen Zeiträumen von Vorteil. Die Mindestlänge einer auswertbaren MONQ-Reihe sollte zehn Jahre betragen.

Die Repräsentanz der Daten wird außerdem durch die Art der Meßeinrichtung (Latten- oder Schreibpegel) und deren Lage am Vorfluter bzw. im Einzugsgebiet beeinflusst. Hinsichtlich dieser Lage sind das Grundwasserdurchflußvermögen an der Meßstelle, die Durchlässigkeit der Schichten unter den quartären Talbildungen sowie das Vorhandensein geologischer Grenzen bzw. tektonischer Störungen zu berücksichtigen.

Für die Beurteilung der Ergebnisse der hydrologischen Auswertung ist eine Einschätzung des Nutzungsgrades der Grundwasserleiter und des Oberflächenwassers in den Einzugsgebieten wichtig. Lage, Verteilung bzw. Größe von Wasserwerken, Talsperren, Wehren u. a. spielen da-

bei eine Rolle. Außerdem sollten in jedem Falle Erkundigungen über die Zuverlässigkeit der Pegelmeßwerte eingezogen werden. So ist von entscheidender Bedeutung, ob innerhalb des Meßzeitraumes die Koordinaten der Meßstelle gleichgeblieben sind.

Die im Abschnitt 2.2. beschriebenen Methoden dienen ausschließlich zur Ermittlung hydrologischer Größen. Sie sagen aber nichts über die Höhe des nutzbaren Anteils von Grundwässern am unterirdischen Abfluß aus. Zwischen diesen Werten gibt es z. T. erhebliche Differenzen, die zukünftig durch verbesserte Erkundungsmethoden und neue Technologien verkleinert werden müssen. Die Vorschläge in den Abschnitten 2.2. bis 2.4. dienen der hydrologischen Auswertung im Sinne eines Beitrages zur Bewertung der frei abfließenden Grundwassermengen.

## 2.2.

### *Median (Z) und Modalwert (D) als spezifische Mittelwerte der hydrologischen Auswertung*

Für eine umfassende Kennzeichnung des Grundwasserabflusses können bewährte statistische Maßzahlen und Methoden verwendet werden. Die Mittelwerte Median (Z) und Modalwert (D) nehmen hierbei eine zentrale Stellung ein.

#### 2.2.1.

##### *Der Median (Z)*

KILLE (1970) weist in seinen Ausführungen auf die Verwendung der Mittelordinate der Ausgleichsgeraden als Maß des mittleren, langjährigen Grundwasserabflusses hin. Diese Mittelordinate ist mit der statistischen Größe des Medians (Zentralwert) gleichzusetzen. Deshalb wird vorgeschlagen, die mit Hilfe des Medians errechneten Werte mit der Fußnote M zu versehen. Dabei entspricht  $Qu_M$  dem mittleren langjährigen Grundwasserabfluß in  $m^3 \cdot s^{-1}$  und  $qu_M$  der mittleren langjährigen Grundwasserspende in  $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ .  $Qu_M$  läßt sich direkt aus der geordneten MONQ-Reihe ablesen. Bei klassifizierten Daten wird der Median durch Interpolationsansätze berechnet (WEBER 1967). Der Zentralwert kennzeichnet die Größenanordnung der hydrologischen Werte und ist als numerischer Wert in geordneten Datenreihen unabhängig von Extremwerten des mittelsten Gliedes. Er ist zeitunabhängig und wird in der empirischen Statistik auch „wahrscheinlicher“ Wert genannt. Bei  $Qu_M$ -Werten ist die Anzahl der vom Median abweichenden Glieder im oberen und unteren Teil der MONQ-Verteilung gleich groß. Der Median weist ein Minimum der Summe der Abweichungen der Einzelwerte auf. Er erhält deshalb bei der vorliegenden Darstellung gegenüber dem arithmetischen Mittel den Vorzug.  $Qu_M$  eignet sich zur Kennzeichnung des Mittelwertes der nach unten und oben offenen hydrologischen Niedrigwassermeßwertreihen und hat somit eine besondere Bedeutung für die Bestimmung des mittleren unterirdischen Abflusses. Die Ausführungen werden in Abbildung 1 veranschaulicht.

#### 2.2.2.

##### *Der Modalwert (D)*

Die ermittelten Größen  $Qu_D$  bzw.  $qu_D$  entsprechen den Kenngrößen des unterirdischen Abflusses, die mit Hilfe des Modalwertes (Dichtemittel) berechnet werden. Mit  $Qu_D$  wird eine typische hydrologische Größe des Grundwasserabflusses für ein unterirdisches Einzugsgebiet berechnet.  $Qu_D$  und  $qu_D$  entsprechen den am häufigsten vorkommenden Grundwasserabflußwerten bzw. Grundwasserspenden. Zur Bestimmung des Dichtemittels müssen die MONQ-Daten klassifiziert werden. In der Klasse mit der größten Häufigkeitszahl liegt der Modalwert. Er wird also durch Klassengrenzen numerisch charakterisiert. Mit zunehmender Anzahl der MONQ-Werte pro Klasse tritt die Häufigkeitsstelle der hydrologischen Meßgrößen deutlicher hervor. In diesem Fall ist die Anwendung von  $Qu_D$  und  $qu_D$  von Vorteil (Abbildung 1). Entsprechend den spezifischen Bedingungen des Einzugsgebietes treten sowohl Reihen mit einer als auch Reihen mit mehreren Häufigkeitsstellen auf.

Als methodisches Beispiel für eine hydrologische Reihe mit einer Häufigkeitsstelle dienen die MONQ-Werte eines Pegels, der den Abfluß eines rund 50 km<sup>2</sup> großen Einzugsgebietes registriert. Die Abflüsse stammen aus Porphyriten, Porphyren, Tuffen, Sedimenten der Molasse und geosynklinaler Gesteine. Die Meßstelle selbst steht in den z. T. mit Schotterkörpern bedeckten verfestigten Tafelsedimenten im Mittelgebirgsvorland.

Bei der Berechnung von  $Qu_D$  gilt:

$$Qu_D = x_g + \frac{fn_0 - fn_{-1}}{f2n_0 - fn_{-1} - fn_{+1}} \cdot h$$

Dabei sind:

$x_g$	untere Grenze der am stärksten besetzten MONQ-Klasse
$fn_0$	Häufigkeitszahl der stärksten Klasse
$fn_{-1}; fn_{+1}$	Häufigkeitszahlen der Nachbar-klassen
$h$	Klassenbreite

$$Qu_D = 0,1 + \frac{39 - 10}{78 - 10 - 37} \cdot 0,1$$

$$Qu_D = 0,1 + 0,0935$$

$$Qu_D = 0,1935$$



Der häufigste Grundwasserabfluß  $Qu_D$  beträgt rd.  $0,194 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  und entspricht einer Grundwasserspense von  $3,8 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ . Bei einem Median  $Qu_M$  von  $0,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ( $qu_M = 5,351 \cdot \text{s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ) beträgt die Abweichung zwischen  $Qu_M$  und  $Qu_D$   $0,076 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Der Unterschied von  $1,56 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  zwischen  $qu_M$  und  $qu_D$  kennzeichnet die Asymmetrie der Verteilung der MONQ-Reihe. Daraus lassen sich indirekt Rückschlüsse auf die Abflußbedingungen, wie auf das Retentionsvermögen der Gesteine oder die Klüftigkeit, ziehen. Je kleiner die Differenz zwischen Modalwert und Median ist, desto symmetrischer ist die Verteilung der Grundgesamtheit der MONQ-Werte. Das würde z. B. auf einen relativ konstanten Grundwasserabfluß hinweisen. Der Betrag von  $Qu_D$  wird dabei nicht von der Größe aller einzelnen Werte und Klassen, sondern durch Größenunterschiede und -verhältnisse an einer für die Reihe charakteristischen Stelle beeinflusst. Die abseits von den größten Häufungen auftretenden Werte, welche die Aussage über das Grundwasserangebot manipulieren könnten, werden durch die Modalwertberechnung eliminiert.  $Qu_D$  tritt in Klassen mit größeren Klassenbreiten deutlicher hervor. Durch seine Vorteile wird das Dichtemittel zum zweiten wichtigen Parameter der Auswertung von Niedrigwasserabflüssen.

### 2.3.

#### *Der Quartilabstand als Streuungsmaß des mittleren langjährigen Grundwasserabflusses*

Mit der Berechnung des mittleren langjährigen Grundwasserabflusses  $Qu_M$  stellt sich die Frage nach der Variabilität dieser Größe. Die überwiegend asymmetrischen, linksschiefen MONQ-Verteilungen machen es notwendig, ein Streuungsmaß zu verwenden, das auf den spezifischen Mittelwert  $Z$  abgestimmt ist. Hierfür eignet sich der Quartilabstand QA (Hälftespielraum). Die Varianz  $s^2$  bzw. die Standardabweichung  $s$  können nur bei annähernd symmetrischen Verteilungen angewendet werden. Dabei sollte das arithmetische Mittel  $\bar{x}$  der MONQ-Reihe gleich  $D$  und  $Z$  sein.

Klasse	Klassengrenzen		Häufigkeitszahl	kumulative Häufigkeitszahl
	untere $uk_i$	obere $ok_i$	$f_i$	$f_{ci}$
1	0	5	3	3
2	5	10	61	64
3	10	15	102	166
4	15	20	98	264
5	20	25	53	317
6	25	30	28	345

Tabelle 1

Klassifizierung der MONQ-Reihe für die Berechnung von  $Q_1$  und  $Q_3$ . Die Maßeinheit für  $uk_i$  und  $ok_i$  ist  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Der Quartilabstand QA liegt zwischen dem unteren Intervall  $Q_1$  und dem oberen Intervall  $Q_3$ . Unterhalb von  $Q_1$  liegen 25% und über  $Q_1$  75% der Meßwerte. Unter  $Q_3$  befinden sich 75% der Berechnungsgrößen. Der Quartilabstand QA liefert eine unabhängige Variabilitätsangabe des unterirdischen Abflusses. QA bezieht sich auf den von extremen Werten unabhängigen Median.

Bei der Berechnung des Quartilabstandes gilt:

$$QA = Q_3 - Q_1$$

$$Q_1 = x_{q_1 0} - \frac{\frac{3n}{4} - \sum_i^k = qu_{1+1} \cdot f_i}{f_{q_1}} \cdot h$$

$$Q_3 = x_{q_3 0} - \frac{\frac{n}{4} - \sum_i^k = qu_{3+1} \cdot f_i}{f_{q_3}} \cdot h$$

Dabei sind:

$x_{q_1 0}; x_{q_3 0}$  Klassenobergrenzen von  $q_1$  bzw.  $q_3$

$h$  Klassenbreite

$\frac{3n}{4}; \frac{n}{4}$  75% bzw. 25% aller Werte oberhalb von  $q_1$  bzw. von  $q_3$

$f_{q_1}; f_{q_3}$  Häufigkeitszahlen der Klassen  $q_1$  bzw.  $q_3$

$\sum_{i=q_{1+1}}^k \cdot f_i; \sum_{i=q_{3+1}}^k \cdot f_i$  Summe der Häufigkeitszahlen der Klassen über  $q_1$  bzw.  $q_3$

An einem Beispiel wird die Bestimmung von  $Q_1$ ,  $Q_3$  und QA demonstriert.

Der Pegel registriert die Abflüsse eines rd. 6000  $\text{km}^2$  großen Einzugsgebietes. Im Meßzeit-

raum 1946...1981 (345 MONQ-Werte) wurden folgende Grundwerte ermittelt:

$$\begin{aligned} Q_{u_M} &= 16,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \\ Q_{u_D} &= 15,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \\ q_{u_M} &= 2,70 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2} \\ q_{u_D} &= 2,46 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2} \end{aligned}$$

Ausgangspunkt der Berechnung der unterirdischen Abflußhöhe  $A_u$  in  $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$  bildete der  $q_{u_M}$ -Wert, wobei  $1 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2} = 31,53 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  entsprechen. Grundlage der Berechnung von  $Q_1$  und  $Q_3$  ist die Klassifizierung der MONQ-Reihe, wie sie die Tabelle 1 zeigt.

Die Ermittlung der Lage der Werte  $Q_1$  und  $Q_3$  in verschiedenen Klassen der MONQ-Reihe erfolgt durch

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{n}{4} = \frac{345}{4} = 86,25 \text{ und} \\ Q_3 &= \frac{3n}{4} = 258,75. \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich, daß  $Q_1$  in der dritten Klasse und  $Q_3$  in der vierten Klasse liegt. Die Berechnung von  $Q_1$ ,  $Q_3$  und  $Q_A$  geschieht wie folgt:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 15 - \frac{258,75 - 179}{102} \cdot 5 \\ Q_1 &= 11,09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \\ Q_3 &= 20 - \frac{86,25 - 81}{98} \cdot 5 \\ Q_3 &= 19,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Daraus folgt:

$$\begin{aligned} Q_A &= 19,73 - 11,09 \\ Q_A &= 8,64 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Zwischen  $Q_1$  und  $Q_3$  liegen 50% der Grundwasserabflußwerte. Das entspricht einer Schwankung der Grundwasserspendenwerte zwischen 3,17 und  $1,78 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  bei einem  $q_{u_M}$ -Wert von  $2,7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ .

2.4.

#### *Vergleichsparameter und die Ermittlung von Grundwasserspendenwerten in Teilabschnitten der Einzugsgebiete*

KILLE (1970) regt an, daß der Anstiegswinkel der Ausgleichsgeraden als Parameter der geohydrologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet

verwendet werden kann. Dies ist durchaus denkbar, setzt aber voraus, daß die Menge der MONQ-Werte ( $n$ ) und der Beobachtungszeitraum bei direkten Vergleichen zwischen verschiedenen Gebieten nicht voneinander abweichen. Außerdem müssen Einzugsgebietsgröße und Gebietsniederschlag berücksichtigt werden. Wie bei der Bewertung von  $Q_{u_M}$  und  $Q_{u_D}$  sollte die Heterogenität bzw. die Homogenität des physisch-geographischen Milieus der Flußgebiete beachtet werden. Unter den gleichen Einschränkungen läßt sich die Spannweite des unterirdischen Abflusses (Abbildung 1) als Vergleichsgröße berechnen. Hierbei wird das Verhältnis zwischen dem Minimum und dem Maximum des unterirdischen Abflusses nach der Proportion

$$A_{u_{\max}} : A_{u_{\min}} = x : 1$$

betrachtet. Die oben erwähnte Ausgleichsgerade liefert im oberen Bereich der MONQ-Kurve bei der Ermittlung des Maximums des Grundwasserabflusses ( $A_{u_{\max}} = Q_{u_{\max}}$ ) relativ sichere Angaben, da mit ihrer Hilfe die oberirdischen und hypodermischen Abflußanteile eliminiert werden. Analog zum oberen Bereich kann der untere Bereich der Ausgleichsgeraden bzw. der MONQ-Kurve als Minimum des unterirdischen Abflusses angesehen werden. Bei der Übernahme der niedrigsten Werte und bei deren anthropogener Beeinflussung besteht die Gefahr der Verfälschung der Meßergebnisse. Deshalb wird darauf orientiert, daß das arithmetische Mittel eines gleichlangen Teiles bzw. einer gleichgroßen Menge der unteren geordneten MONQ-Kurve verwendet wird. So könnte man z. B. die ersten 10% der Meßreihe für die Berechnung benutzen (Abbildung 1). Zur Darstellung und Auswertung der Ergebnisse hydrologischer Verfahren können Übersichtsdiagramme für die verschiedenen Flußgebiete dienen, in denen z. B. Gebietsniederschläge und Grundwasserspenden unter Beachtung der Einzugsgebietsgröße dargestellt und verglichen werden. Dabei ist es von Vorteil, die Höhe der Grundwasserspende in  $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$  anzugeben, um einen direkten Vergleich zwischen Jahresniederschlagssummen und unterirdischem Abfluß zu gewährleisten.

Mittels der statistisch gesicherten Größen  $Q_{u_M}$  und  $q_{u_M}$  ist es möglich, Grundwasserspen-

denwerte von Teilgebieten zu berechnen. Deren Flächengrößen richten sich nach der Anordnung und Dichte der Pegel im Gesamteinzugsgebiet. Das Prinzip der Berechnung wird durch folgende Beziehungen beschrieben:

$$qu_{M \text{ Teilgebiet}} = \frac{Qu_{M \text{ Hauptpegel}} - \sum Qu_{M 1...n}}{FE_{O \text{ Hauptpegel}} - FE_{O 1...n}}$$

Dabei entspricht  $Qu_{M 1...n}$  den mittleren, langjährigen Grundwasserabflüssen der Teileinzugsgebiete innerhalb des Gesamtflußgebiets.  $Qu_M$  Hauptpegel ist die Grundwasserabflußhöhe am Hauptpegel. Analog dazu entsprechen  $FE_{O 1...n}$  und  $FE_{O \text{ Hauptpegel}}$  den oberirdischen Einzugsgebietsgrößen der Teileinzugsgebiete bzw. des Gesamtflußgebietes. Somit bezieht sich der errechnete  $qu_M$ -Wert der Teilgebiete auf ein Areal, das zwischen Hauptpegel des Flußgebietes und Meßstellen der Teileinzugsgebiete liegt.

### 3. Zur regionalen Systematik geohydrologischer Einheiten

#### 3.1. Regionale Gliederung geohydrologischer Einheiten

Der Grundgedanke dieser Gliederung ist die Verbindung der komplex wirkenden Geofaktoren unter dem Aspekt der Analyse des unterirdischen Abflusses. Ausgehend von den hydrogeologischen Verhältnissen sollten besonders die klimatischen Gegebenheiten, aber auch andere Faktoren, z. B. das Relief, berücksichtigt werden. Auf eine Erläuterung dieser geohydrologischen Einflußgrößen muß hier verzichtet werden. Von großer Bedeutung ist außerdem die Einbeziehung des von der Wasserbewirtschaftung bestimmten anthropogenen Nutzungsgrades und der hydrochemischen Verhältnisse in den Einzugsgebieten. Selbstverständlich gibt es auf Grund der Unterschiedlichkeit der Einflußgrößen Überschneidungen in der Wirkung der physisch-geographischen Faktoren. Dies ändert aber nichts an der Verwendbarkeit der ermittelten Grundwasserabflußgrößen in der wasserwirtschaftlichen Planung.

Die Verwendung von hydrologischen Werten der Wasserwirtschaft hat u. a. den Vorteil, daß die MONQ-Reihen laufend aktualisiert werden können. Es wurde vermieden, direkte Korrelationen zwischen Niederschlagssummen und Abfluß in bezug auf bestimmte Gesteinsarten bzw. stratigraphische Abteilungen herzustellen, wie sie z. B. von GABRIEL und ZIEGLER (1977) vorgeschlagen wurden. Solche auf Analogieschlüssen beruhenden Verallgemeinerungen sind zwar für ihre Bestimmungsräume eine gute Arbeitsgrundlage, sollten aber regional durch Abflußmessungen und hydrologische Verfahren bestätigt werden. Hier spielt natürlich auch die räumliche Größenordnung, in der das Untersuchungsgebiet analysiert wird, eine Rolle.

Die Gründe für eine notwendige Überprüfung der Ergebnisse der Grundwasserneubildungsberechnung liegen in der komplexen Wirkung der Geofaktoren auf den unterirdischen Abfluß. Zu diesen gehören die geomorphologischen Verhältnisse, die regionalen Fazieswechsel in gleichen stratigraphischen Einheiten, die Tektonik, die Subrosion, die Flächenanteile der Grundwasserstauer und Grundwasserleiter im Einzugsgebiet, der Grundwasserübertritt von einem in den anderen Grundwasserleiter, die Grundwasserzufuhr aus Fremdgebieten, der Gewässernetztyp, die pedologischen Verhältnisse, der Grundwasserhaushalt insgesamt, die Klimaelemente Niederschlag, Verdunstung, Temperatur und Wind und die Flächennutzung. Mit zunehmender Größe des Untersuchungsgebietes wächst die Heterogenität der physisch-geographischen Einflußgrößen und damit die Notwendigkeit spezifischer regionaler Untersuchungen in den Teileinzugsgebieten.

Die folgende Gliederung geht davon aus, daß im thüringischen Raum 3 Typen von geohydrologischen Einheiten des unterirdischen Abflusses auftreten. Die in der Gliederung verwendeten Abkürzungen entsprechen der TGL 25234/04. Sie geben die in den geohydrologischen Einheiten vorkommenden bzw. bestimmenden stratigraphischen Systeme, Gruppen und Abteilungen an. Um detaillierte vergleichende Analysen und Schlußfolgerungen über den Grundwasserabfluß erarbeiten zu können, wird mit Hilfe dieser Systematik eine regionale Untergliederung in stratigraphisch-petrographische Komplexe und



in Flußgebiete vorgenommen. Dabei müssen die oben genannten Geofaktoren sowie die oberirdischen Einzugsgebietsgrößen berücksichtigt werden. Zum Abfluß und zur Analyse geohydrologischer Faktoren Thüringens wird auf die ausführlichen Darstellungen von BAUER (1959) und ZIEGLER (1979) verwiesen.

Die räumliche Gliederung in die Einheiten A, B und C wurde unter Berücksichtigung des derzeitigen Pegelnetzes der Wasserwirtschaft im thüringischen Raum aufgestellt:

A – geohydrologische Einheit der präkambrischen und paläozoischen Gesteine der Mittelgebirge;

B – geohydrologische Einheit der verfestigten Sedimente des Tafelstockwerkes der Mittelgebirgsvorländer (Mischtypen mit starkem Mittelgebirgseinfluß);

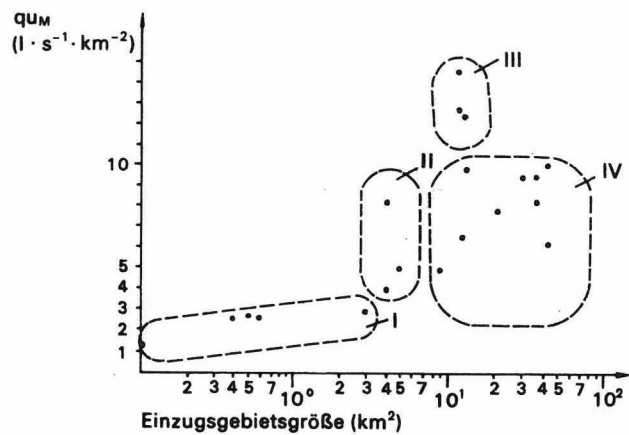
C – geohydrologische Einheit der verfestigten Tafelsedimente.

Innerhalb der geohydrologischen Einheit A treten die Gesteine des Proterozoikums (PT), des Kambrium (E), des Ordoviziums (O), des Silurs (S), des Devons (D), des Karbons (C) und des Perms (P) auf. Die hydrologischen Verhältnisse der Einzugsgebiete der Einheiten B und C werden durch die Sedimente des Zechsteins (PO), der Trias (T) und untergeordnet des Jura (J) und der Kreide (K) bestimmt. Regional gewinnen quartäre Sedimente für den unterirdischen Abfluß an Bedeutung.

### 3.2.

#### *Bemerkungen zum unterirdischen Abfluß in den geohydrologischen Einheiten*

Aus den Abbildungen 2...4 ist die differenzierte Verteilung der Höhe des unterirdischen Abflusses und der Grundwasserspenden in den verschiedenen geohydrologischen Einheiten ersichtlich. Erinnert wird in diesem Zusammenhang an die oben kurz umrissenen Wirkungen der geohydrologischen Faktoren, die für die Typen A, B und C an dieser Stelle nur skizzenhaft dargestellt werden können. Eine Übersicht der Verteilung von  $q_{UM}$  in den Flußgebieten von A gibt die Abbildung 2. Die Begrenzungslinien der Werte dieser Abbildung verdeutlichen einen zusammenfassenden Überblick. Die dargestell-

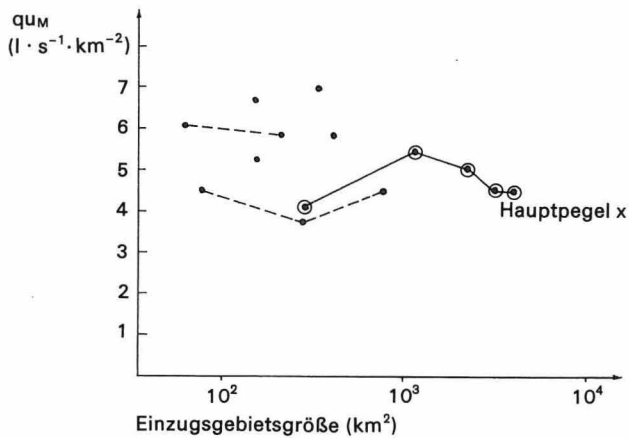


- I Kleinstezugsgebiete mit mittleren Niederschlags-summen (Grauwacke, D 3)
- II Kleinstezugsgebiete mit hohen Niederschlägen (Porphyre und Tuffe, z. T. Molassesediment, PU)
- III Kleineinzugsgebiete mit hohen Niederschlägen (Porphyre und Tuffe, PU)
- IV heterogene Einzugsgebiete mit mittleren bis hohen Niederschlägen (metamorphe Gesteine, Granite, Vulkanite, Molassesedimente u. a.)

Abbildung 2

Verteilung von  $q_{UM}$  in verschiedenen Flußgebieten der geohydrologischen Einheit A

ten Größen basieren auf den Ergebnissen hydrologischer Separationsverfahren und lassen keine direkte Korrelation zu den Gebietsniederschlägen und den Gesteinsarten bzw. den Geofaktoren erkennen. Auffallend ist die Abnahme der Höhe des unterirdischen Abflusses in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße der Einheit A. So ist z. B. die Differenz der unterirdischen Abflußpendenhöhe zwischen den Kleinstezugsgebieten (unter  $10 \text{ km}^2$ ) und den mittleren Einzugsgebieten von A ( $10 \dots 20 \text{ km}^2$ ) bei annähernd gleichen Jahresniederschlags-summen in der Regel groß (Abbildung 2). Mit zunehmender Größe der Einzugsgebiete der Einheit A nimmt die Anzahl der geohydrologisch wirksamen natürlichen Faktoren im allgemeinen zu, z. B. durch die Menge der wasserführenden Kluftzonen oder durch die Flächen-größe der Schuttdeckserien. Analog dem höheren Niederschlagsangebot und der zunehmenden Anzahl grundwasserführender Elemente erfolgt eine Retention bzw. eine Verzögerung des unterirdischen Abflusses. Dieser Umstand hat bei Trockenwetterbedingungen höhere MONQ-Werte zur Folge, die auch von den Pegeln registriert werden. Es ist selbstverständlich, daß die errechneten  $q_{UM}$ -Werte nicht für jeden



- Einzugsgebiet des zentralen Hauptvorfluters in den verfestigten Tafelsedimenten mit starkem Mittelgebirgseinfluß
- Teileinzugsgebiet mit mindestens 2 Meßstellen
- Teileinzugsgebiet mit einer Meßstelle

Abbildung 3  
Verteilung von  $q_{uM}$  in den geohydrologischen Einheiten B und C

Punkt des Einzugsgebietes präzise gelten. Zieht man den von BAUER (1959) für die Hochlagen der Thüringer Gebirge mitgeteilten Wert des mittleren oberirdischen Abflusses von  $30 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  heran, so ergibt sich für den mittleren langjährigen unterirdischen Abfluß ein Anteil von 42...49% am oberirdischen Abfluß. Diese relativ hohen Werte deuten an, daß ein Teil des abfließenden Niedrigwassers in der Einheit A kein echtes Grundwasser im Sinne eines nutzbaren Vorkommens ist. Hier vollzieht sich z. T. eine Vermischung des Deckschichtenabflusses und des echten Grundwassers. Die geohydrologische Funktion der periglazialen Schuttdecken wird in diesem Zusammenhang unterschätzt. Bei der Bewertung des unterirdischen Abflusses in der Einheit A muß außerdem die Rückhaltefunktion von bewaldeten Flächen beachtet werden.

Innerhalb der zum Typ A ausgewerteten hydrologischen Messungen fällt auf, daß die  $q_{uM}$ -Werte stark voneinander abweichen. Bei ähnlichen klimatischen Bedingungen sind die Ursachen dafür im unterschiedlichen Zerklüftungsgrad und in den verschiedenen Gesteinseigenschaften begründet. So liegen z. B. die Werte bei einem größeren Flächenanteil von Molassesedimenten, Vulkaniten und Tuffen höher als in den von Graniten und metamorphen Gesteinen

eingenommenen Arealen. Oft entspricht dort der  $q_{uM}$ -Wert dem von  $q_{uD}$ , was auf ein relativ ausgeglichenes Abflußverhalten schließen läßt. Die Höhe der unterirdischen Abflüsse im Typ A, besonders in den Leelagen der Hochschollen, dokumentiert die enge Korrelation zwischen Niederschlag und Grundwasserspense.

Allgemeines Merkmal der Einheit B ist die Abwandlung des unterirdischen Abflusses durch Grundwasserversenkungen und Grundwasserzufuhr aus Fremdgebietern. Unter der Voraussetzung, daß die abfließenden Grundwasser größerer Quellen an den Pegeln der Wasserwirtschaft neben anderen Grundwassermengen mitregistriert werden, kann man den Anteil dieser Grundwasseraustritte am gesamten Grundwasserabfluß der Einzugsgebiete bei Kenntnis der mittleren Quellschüttung annähernd bestimmen. Durch die hydrologische Auswertung wurde im thüringischen Raum ein Anteil der größeren bekannten Quellen von rd. 32...35% am gesamten unterirdischen Abfluß der jeweiligen Flußgebiete ermittelt. Das gilt für die Einzugsgebiete des Typs B und C. Der meßbare mittlere Grundwasserabfluß in B ist unterschiedlich hoch. Die Ursachen liegen in den verschiedenen Niederschlagssummen, z. B. bei Luv- und Leewirkung, in der Tektonik der Gebirgsränder, in der räumlich differenzierten Fazies gleicher stratigraphischer Serien bzw. Abteilungen (z. B. zwischen Nord- und Südthüringen) und in den differenzierten geomorphologischen bzw. hydrographischen Verhältnissen. Starke Abwandlungen erfährt der unterirdische Abfluß außerdem durch die an den Mittelgebirgsrändern vorhandenen löslichen sulfatischen und karbonatischen Gesteine des Zechsteins.

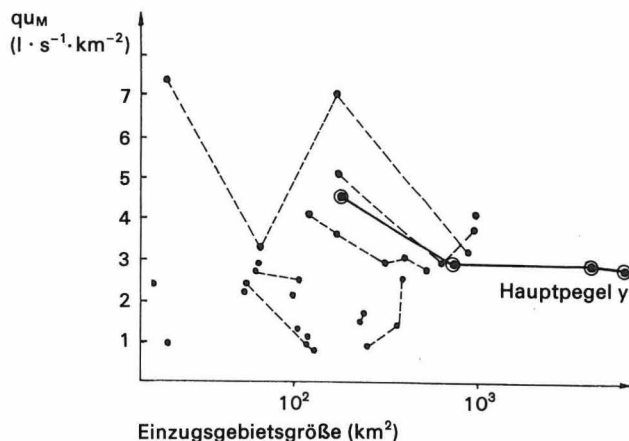
Unter der geohydrologischen Einheit C werden Einzugsgebiete zusammengefaßt, die verschiedene geologische Gesteinskomplexe bzw. stratigraphische Einheiten der Tafelsedimente in sich vereinigen. Deshalb müssen hier die unterirdischen Abflußanteile verschiedener stratigraphischer Stufen komplex betrachtet werden. So ist es z. B. oftmals in Buntsandsteingebieten notwendig, die Grundwasserabflüsse des Muschelkalkes, besonders die der Schichtquellen an Schichtstufen, und die Grundwasserabflüsse des Oberen Buntsandsteins, die z. T. an die Aus-

laugung der Gipse gebunden sind, zu berücksichtigen.

Durch die veränderten klimatischen Bedingungen in Trockengebieten fällt die hydrologisch meßbare Abflußspende  $q_{uM}$  innerhalb von C bis auf ca.  $1,0 \text{ l s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  ab. Errechnet man für diese Gebiete den absoluten Trockenwetterabfluß mit Hilfe des arithmetischen Mittels der unteren geordneten MONQ-Reihe (10% der kleinsten MONQ-Werte), so ergibt sich eine minimale Grundwasserspense von  $< 0,5 \text{ l s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ . Voraussetzungen sind eine Jahresniederschlagssumme  $< 550 \text{ mm}$ , eine hohe Verdunstungsrate, das Vorhandensein versickerungshemmender Grundmoränendecken bzw. eine flächenhafte Lößbedeckung. Die Gültigkeit eines Grundwasserspensewertes von rd.  $1 \text{ l s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  für klimatische Trockengebiete ohne Grundwasserzufuhr kann mit Hilfe einer  $q_{uM}$ -Berechnung für den Raum zwischen den Pegeln der Teileinzugsgebiete und dem Hauptpegel des Flußgebietes bestätigt werden (vgl. Abschnitt 2.4.).

In der Einheit C entstand durch die komplexe Wirkung verschiedener Geofaktoren ein stabiles hydrologisches Regime. Innerhalb des Abflußvorganges der Flußgebiete der verfestigten Tafersedimente nehmen z. B. die unterirdischen Einzugsgebiete der regenreichen verkarsteten hohen Randplatten des Muschelkalkes eine dominante Stellung ein. Aus diesen Gebieten vollzieht sich der unterirdische Abfluß auf Klüften und Störungszonen überwiegend beckenwärts. Im Beckeninneren werden die Sedimente des Keupers geohydrologisch wirksam. An ihren Ausstrichbereich sind bedeutende Quellaustritte gebunden. Ein Vergleich der  $q_{uM}$ -Werte der einzelnen Einzugsgebiete von C in größeren Beckengebieten mit höhergelegenen Randplatten und ohne höhergelegene Randplatten, besonders des Muschelkalkes, verdeutlicht ihre Grundwasserzufuhrfunktion innerhalb des Abflußregimes.

Durch die Auswertung der Hauptpegel können wertvolle Richtgrößen zur Berechnung der Höhe des unterirdischen Abflusses ermittelt werden. Dabei sind die Werte  $Q_{uM}$  und  $q_{uM}$  großer Einzugsgebiete für das gesamte Flußgebiet repräsentativ, da sich die verschiedenen Einflußgrößen ausgleichen. Durch Eliminierung



- Einzugsgebiet des zentralen Hauptvorfluters eines Beckens verfestigter Tafersedimente mit randlichem Mittelgebirgseinfluß (Erläuterung zur Abb. 4 siehe Abschnitt 3.2.)
- Teileinzugsgebiet mit mindestens 2 Meßstellen
- Teileinzugsgebiet mit einer Meßstelle

Abbildung 4  
Verteilung von  $q_{uM}$  in den geohydrologischen Einheiten B und C

der mittleren langjährigen Grundwasserabflüsse der Einheit A in bezug auf die  $Q_{uM}$ -Werte der Einheit C kann der  $Q_{uM}$ -Wert des Hauptpegels überprüft werden (vgl. Abschnitt 2.4.). In den Abbildungen 3 und 4 sind verschiedene Flußgebiete von B und C zusammengefaßt und zu ihren Hauptpegeln in Beziehung gesetzt worden. Dabei stellen die einzelnen Punktssignaturen Grundwasserspensewerte einzelner Teilgebiete von B bzw. C mit jeweils einer Meßstelle dar. Die durch Liniensignaturen verbundenen Werte in den Abbildungen 3 und 4 verdeutlichen die Situation in größeren Einzugsgebieten mit mehreren Pegeln. Es zeigt sich, daß die obengenannte Ausgleichswirkung des Gesamteinzugsgebietes in bezug auf die  $q_{uM}$ -Werte erst am Hauptpegel eintritt. Generell können im thüringischen Raum analog den hydrographischen und den klimatischen Bedingungen zwei große unterirdische Abflußgebiete unterschieden werden, die ungefähr den oberirdischen Einzugsgebieten entsprechen (Hauptpegel x und y der Abbildungen 3 und 4). In diesen Abbildungen ist weiterhin die Höhe des mittleren langjährigen Grundwasserabflusses in den einzelnen Flußgebietsabschnitten erkennbar, wobei eine regionale Auswertung in diesem Rahmen nicht möglich ist. Deshalb ist eine ge-

nauere Erläuterung der einzelnen Grundwasserspendenwerte in den Teileinzugsgebieten nicht sinnvoll.

Abschließend muß betont werden, daß die Möglichkeiten der quantitativen Analyse des unterirdischen Abflusses, aber auch die Untersuchung des Abflußverhaltens von geohydrologischen Einheiten sowohl methodisch als auch regional noch nicht ausgeschöpft sind. Hier ergeben sich noch vielfältige Forschungsansätze, die in der Zukunft verfolgt werden sollten.

## Literatur

- ALTMANN, K., u. a.:  
Methoden zur Bestimmung der Grundwasserneubildungsrate. – In: Geol. Jahrb. – Hannover C 19 (1977), S. 3...98.
- BAUER, L.:  
Beiträge zur Hydrogeographie Thüringens. Teil A: Vergleichende Untersuchungen der Geofaktoren, die Wasserhaushalt, Abflußverhalten und hydrologischen Charakter der Flüsse und ihrer Einzugsgebiete bestimmen. – Jena (Habil.-Schr.) 1959.
- BUSCH, K.F., und L. LUCKNER:  
Geohydraulik. – Leipzig, 1972.
- CHARDABELLAS, P.E., und S. DYCK:  
Wege zur Ermittlung der nutzbaren Grundwasserreserven. – In: Ber. d. Geol. Gesellsch. d. DDR. – Berlin 8 (1963), 3, S. 245...262.
- DYCK, S., u. a.:  
Angewandte Hydrologie. Teil 2. – Berlin, 1978.
- FRIEDRICH, W.:  
Lysimetermessungen und andere gewässerkundliche Verfahren zur Ermittlung der Grundwassererneuerung. – In: Zeitschr. d. Dt. Geol. Gesellsch. – Hannover 106 (1954), S. 41...48.
- GABRIEL, B., und G. ZIEGLER:  
Zur Berechnung des Grundwasserdargebots in triasischen Gesteinen des Thüringer Beckens. – In: Zeitschr. f. angewandte Geol. – Berlin 23 (1977), 11, S. 574...579.  
Gewässerkundliches Jahrbuch d. DDR. Abflußjahre 1950...1980. – Hrsg.: Meteorologischer und Hydrologischer Dienst der DDR, ab Abflußjahr 1960 Inst. f. Wasserwirtschaft Berlin. – Berlin, 1954...1984.
- GLUGLA, G.:  
Zur Ermittlung der Grundwasserneubildung unter Berücksichtigung der Beziehung zwischen Wärme- und Wasserhaushalt. – In: Wasserwirtschaft-Wassertechnik. – Berlin 20 (1970), 12, S. 397...403.
- GLUGLA, G., und R. ENDERLEIN:  
Zur Bestimmung des innerjährlichen Gangs der Grundwasserneubildung. – In: Wasserwirtschaft-Wassertechnik. – Berlin 25 (1975), 12, S. 404...408.
- GLUGLA, G., und K. TIEMER:  
Ein verbessertes Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung. – In: Wasserwirtschaft-Wassertechnik. – Berlin 21 (1971), 10, S. 349...353.
- GLUGLA, G., u. a.:  
Das Programm RASTER – ein effektives Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung im Lockergestein. – In: Wasserwirtschaft-Wassertechnik. – Berlin 26 (1976), 11, S. 377...382.
- GRUNSKÉ, K.-A.:  
Methodische Gesichtspunkte bei der Berechnung der Grundwasserneubildung. – In: Zeitschr. f. angewandte Geol. – Berlin 21 (1975), 3, S. 114...119.
- KALWEIT, H.:  
Der Wasserhaushalt. – 2 Bde. – Berlin, 1953.
- KILLE, K.:  
Das Verfahren MOMNQ – ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. – In: Zeitschr. d. Dt. Geol. Gesellsch., Sonderheft Hydrogeologie, Hydrochemie. – Hannover, 1970, S. 89...95.
- KORTÜM, F.:  
Der Zusammenhang zwischen dem Wärme- und Wasserhaushalt und sein Einfluß auf die Grundwasserneubildung. – In: Wasserwirtschaft-Wassertechnik. – Berlin 11 (1961), 8, S. 354...357.
- KRAFT, W., und D. SCHRÄBER:  
Grundwasserspendenschlüssel und ihre Anwendung bei der Ermittlung des Grundwasserdargebots in Festgesteins-Grundwasserleitern. – In: Zeitschr. f. angewandte Geol. – Berlin 28 (1982), 4, S. 153...161.
- LILLICH, W., und W. RICHTER:  
Abriß der Hydrogeologie. – Stuttgart, 1976.
- NATERMANN, E.:  
Die Linie des langfristigen Grundwassers (AuL) und die Trockenwetterabflußlinie (TWL). – In: Die Wasserwirtschaft, Sonderheft 41. – Bielefeld, 1951, S. 12...14.
- SCHRÄBER, D., u. a.:  
Zur Grundwasserdynamik in klüftigen Festgesteinen. – In: Zeitschr. f. angewandte Geol. – Berlin 28 (1982), 1, S. 37...43.
- SPENGLER, R.:  
Beiträge zur Ermittlung der Grundwasserneubildung und des Grundwasserdargebots im Lockergesteinsbereich, dargestellt am Parthegebiet. – Halle (Diss. A) 1973.  
Stratigraphische Skala der DDR. – TGL 25234/04.



WEBER, E.:

Grundriß der biologischen Statistik. – 6. Aufl. – Jena, 1967.

WEYER, K. U.:

Ermittlung der Grundwassermengen in den Festgesteinen der Mittelgebirge aus Messungen des Trockenwetterabflusses. – In: Geol. Jahrb. – Hannover C 3 (1972), S. 19...144.

WUNDT, W.:

Eine Schätzung des frei abflußfähigen Grundwasservorrates. – In: Gas- und Wasserfach. – München 108 (1967), 34, S. 953...961.

ZIEGLER, G.:

Beitrag zum Grundwasserabfluß im Thüringer Festgestein. – Halle (Diss. A) 1979.

ZIESCHANG, J.:

Die Berechnung des natürlichen Grundwasserdargebots für die Grundwasserlagerstätten des Mittleren Buntsandsteins. – In: Zeitschr. f. angewandte Geol. – Berlin 11 (1965), 3, S. 131...135.

Die in den Abbildungen dargestellten bzw. im Text aufgeführten statistischen Berechnungsgrößen basieren z. T. auf MONQ-Werten 1961...1981, die den Haupttabellen der Durchflüsse der Oberflußmeistereien Erfurt und Schleusingen entnommen wurden.

## Besprechungen

JUBELT, R., und P. SCHREITER  
Gesteinsbestimmungsbuch.

198 Seiten, 105 Bilder, 44 Tabellen, 4 Beilagen.  
7., durchgelesene Auflage.

Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie:  
Leipzig, 1984.

Die 7. Auflage dieses Buches ist der Nachweis für das große Interesse, das Gesteine und Minerale gegenwärtig finden, und es ist dem Verlag dafür zu danken, daß er in 12 Jahren sieben Auflagen dieses Buches herausgebracht hat. Die nunmehr von P. SCHREITER durchgesehene 7. Auflage basiert auf der 5., überarbeiteten Auflage (1980). Eine Neuerung war dort die Einführung des DDR-Standards für die Gesteinsbezeichnungen. Leider wird auch in der neuen Auflage dem Leser die Bezugsmöglichkeit dieses Standards durch das Zentrale Geologische Institut, 1040 Berlin, Invalidenstr. 44, nicht mitgeteilt.

Da der Abschnitt Gesteinsbeschreibung mit seinen Abbildungen P. NIGGLI folgt, vergeben sich die Autoren die Gelegenheit, heimische Gesteinsgefüge exemplarisch abzubilden. Insgesamt gesehen kann die Bildauswahl zum Abschnitt Gesteinsentstehung nicht befriedigen, da Abbildungen von den Bildungsräumen und Bildungsumständen der Sedimentite und Metamorphite fehlen.

Neu ist der von P. SCHREITER entwickelte Bestimmungsschlüssel für die Gesteine, der eine graphische Umsetzung des in der 5. Auflage vorgestellten Bestimmungsschlüssels nach HANS-GEORG PAPE darstellt. Nach Auffassung des Rezensenten ergänzen sich beide Schlüssel, so daß es zu bedauern ist, daß dem Leser nicht beides in einer Auflage zur Verfügung steht. Es ist hier nicht der Platz, zu zeigen, daß nicht alle Wege im Bestimmungsschlüssel das ausgewiesene Gestein charakterisieren. So ist z. B. der Kieselschiefer nicht „ungerichtet massig“ und nicht „ausschließlich hell“ oder läßt er, wenn der „überwiegende Mineralbestand nicht erkennbar“ ist (S. 61), dann doch „Quarzeinsprenglinge erkennen“ (S. 69), die „nicht vorhanden sind“ (S. 70). Da kann schon der Laie leicht verwirrt das schwierige Suchen aufgeben. Hilfreich wären z. B. Hinweise neben den Gesteinen auf die entsprechenden Abbildungen im Tafelteil. Die Gegenüberstellung von Dünn- und Anschliff ist sehr günstig, doch sind die Erläuterungen zu knapp und nicht immer eindeutig. Platzfragen scheiden aus, denn die steten Wiederholungen „geschliffen und poliert“, „rechts unten“ usw. sind überflüssig, da auf Tafel I erläutert.



Der Hauptteil, Gesteine von A–Z, ist geeignet, die erwähnten Unklarheiten zu beseitigen. Das handliche und preiswerte Buch verdient Verbreitung nicht nur bei den naturwissenschaftlich Interessierten, sondern auch bei den Geowissenschaftlern der verschiedensten Richtungen.

M. SCHWAB

SAWKINS, F. J.

**Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. Minerals and Rocks Vol. 17 (Hrsg.: P. J. WYLLIE)**

XIV, 325 Seiten, 173 Abbildungen.

Springer-Verlag: Berlin [West], Heidelberg, New York, Tokyo, 1984.

In den geologischen Wissenschaften besteht nicht selten ein Widerspruch zwischen den theoretischen Vorstellungen zur Metallogenese und den praktischen Arbeiten zur Suche und Erkundung der Rohstoffe. In Mitteleuropa hat sich die Geosynkinaltheorie so bewährt, daß sie noch heute eine wesentliche Grundlage für die Suche nach den Erzlagerstätten darstellt. Plattentektonische Vorstellungen gewinnen in unserem Land nur langsam Bedeutung für metallogenetische Forschungen, so daß der vorliegende Titel dazu beitragen kann, Vorurteile abzubauen.

Der Autor – Hochschullehrer am Department für Geologie und Geophysik an der Universität Minnesota – hat zahlreiche der von ihm berücksichtigten Lagerstätten selbst besucht und betrachtet es als eine Aufgabe seines Buches, die Widersprüche zwischen den alten geologischen Vorstellungen und den modernen globaltektonischen Erkenntnissen zu reduzieren und die Fragen der Metallogenese in Verbindung mit ihren physikochemischen, lithologischen und tektonischen Bildungsbedingungen vorzustellen. Der Autor versucht sein Ziel dadurch zu erreichen, daß er die plattentektonischen Bildungsbedingungen stets am realen Beispiel – der Lagerstätte – beschreibt, ein Vorzug des Buches. Dem Gegenstand des Buches entsprechend, liegt der Schwerpunkt bei den magmatischen Lagerstätten. Der Umfang verbietet die detaillierte Darstellung der verschiedenen Lagerstätten, doch gestatten ca. 1000 Literaturzitate das schnelle Auffinden der gewünschten Einzelheiten.

Das Buch gliedert sich nach plattentektonischen Merkmalen in drei Teile. Die Lagerstättentypen werden den konvergenten und den divergenten Plattengrenzen und im dritten Teil den Kollisionen zugeordnet. Bei den Vorkommen an den konvergenten Plattengrenzen werden unterschieden: die Metallanreicherungen an den zentralen Inselbögen (z. B.

Porphyry-Erze, kupferführende Brekzien, Skarnerze, Goldlagerstätten), an den Innenseiten der zentralen Inselbögen (z. B. die Erzlagerstätten des Andenorogens), an den inselbogenebundenen Riffen (sulfidische polymetallische Lagerstätten) und die Lagerstätten der fore-arc-Bereiche.

Im Zusammenhang mit den divergenten Plattengrenzen werden die Lagerstätten der ozeanischen Kruste (u. a. die Sulfid- und Chromiterze der Ophiolithgürtel) behandelt. Die Erzanreicherungen der kontinentalen Kruste werden auf kontinentale hot-spots bezogen (z. B. Bushveld, Sudbury, Stillwater-Komplex). Unterschieden werden die Vorkommen in Verbindung mit den frühen Stadien der kontinentalen Riffe (z. B. die Kupferlagerstätten von Sambia und Norilsk) und den späteren Stadien der Riftbildung (u. a. die Sulfiderze des Roten Meeres, von Broken Hill und Neu-Braunschweig, des Rammelsberges; die proterozoischen Bänder-Eisenerze und Urankonglomerate). Die granitgebundenen Zinn- und Uranerze werden mit den Kollisionsprozessen in Verbindung gebracht. Abschließend werden Vorstellungen zur Perspektive der Erzlagerstätten erkundung im Bereiche von Lineamenten und Transformstörungen behandelt.

Das anregend geschriebene Buch besitzt seinen Wert in der vergleichenden Darstellung der Lagerstätten unter einem aktuellen regionalgeologischen Aspekt. In den Details bietet es zahlreiche Ansätze zu Diskussionen, die aber das generelle Anliegen des Buches nicht berühren.

M. SCHWAB