

### 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 Fazionsbereiche 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	$\alpha_{min}$	$\bar{\alpha}$
Altpaläozoikum	Sattel- u. Flankenlagerst.	0,45 - 0,65	$\bar{\alpha}$
Permosiles	Flanken- u. Muldenlagerst.	0,35 - 0,50	$\bar{\alpha}$
Unterer/Mittl. Buntsandstein	Flanken- u. Muldenlagerst.	0,6 - 0,8	$\bar{\alpha}$
Unterer Muschelkalk	Tafelberglagerstätten	0,25	$\bar{\alpha}$
Unterer bis Oberer Muschelkalk	Flanken- u. Muldenlagerst.	0,5 - 0,7	$\bar{\alpha}$
Unterer/Mittlerer Keuper	Flanken- u. Muldenlagerst.	0,5 - 0,7	$\bar{\alpha}$

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 nutzbares GW-Dargebot gleich mittleres GW-Neubildung) ist im Festgesteinsbereich nur in seltenen Fällen bei Poren- und Kluftgrundwasserleitern mit  $F_B > 100 \text{ km}^2$  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 Abflußpendenkarton 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  $N_{\text{eff}}$ .

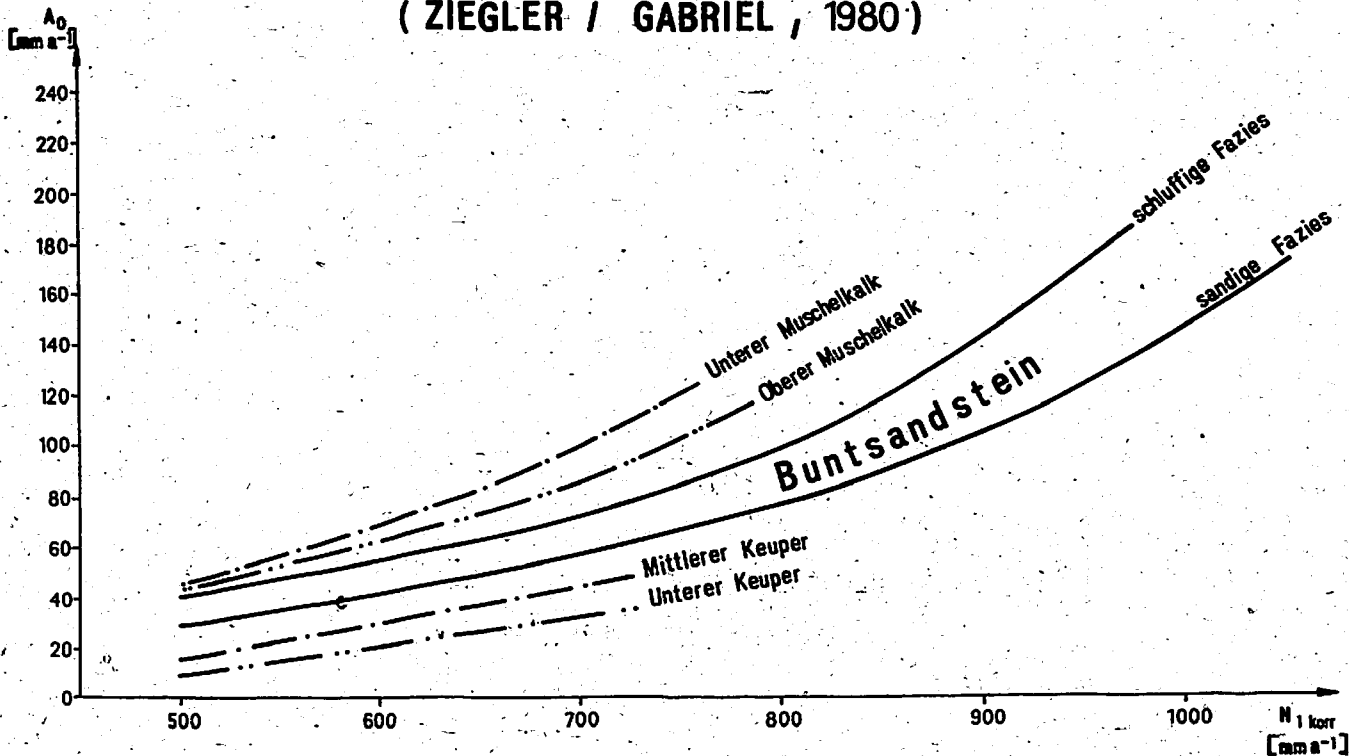
In Betracht zu ziehen ist im Festgestein ferner, daß ein wesentlicher Anteil der Grundwasserneubildung über innen-, bzw. punktförmige Versinkungen in nichtkapillare Hohlräume (Spalten, Klüfte, Trockenrisse, Wurzel- und Wurmkanäle, Erdfalltrichter usw.) erfolgt und sich diese Verhältnisse regional entsprechend 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 )**

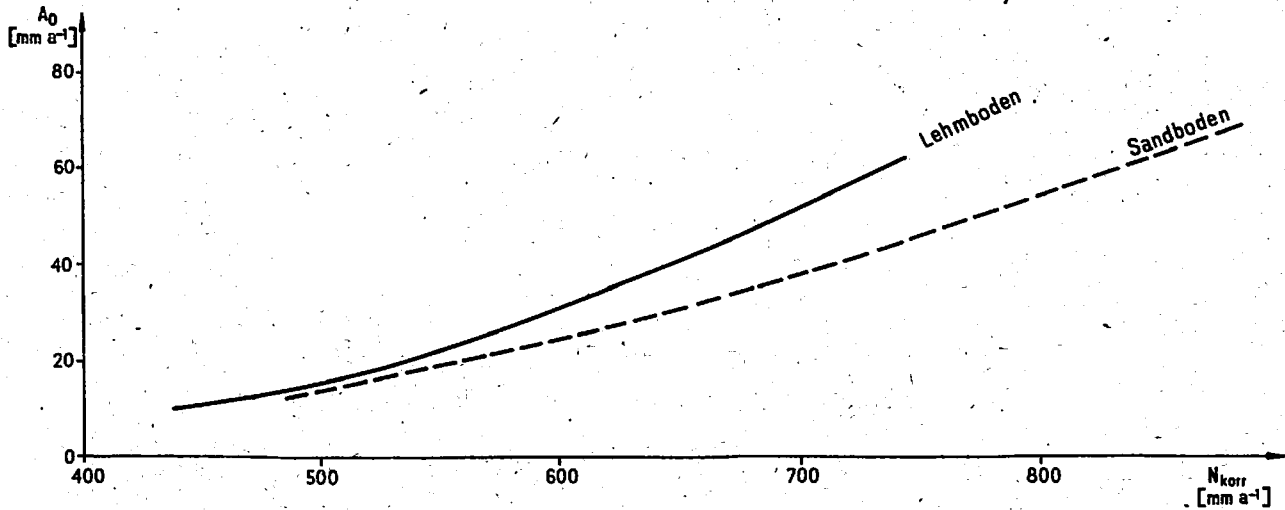
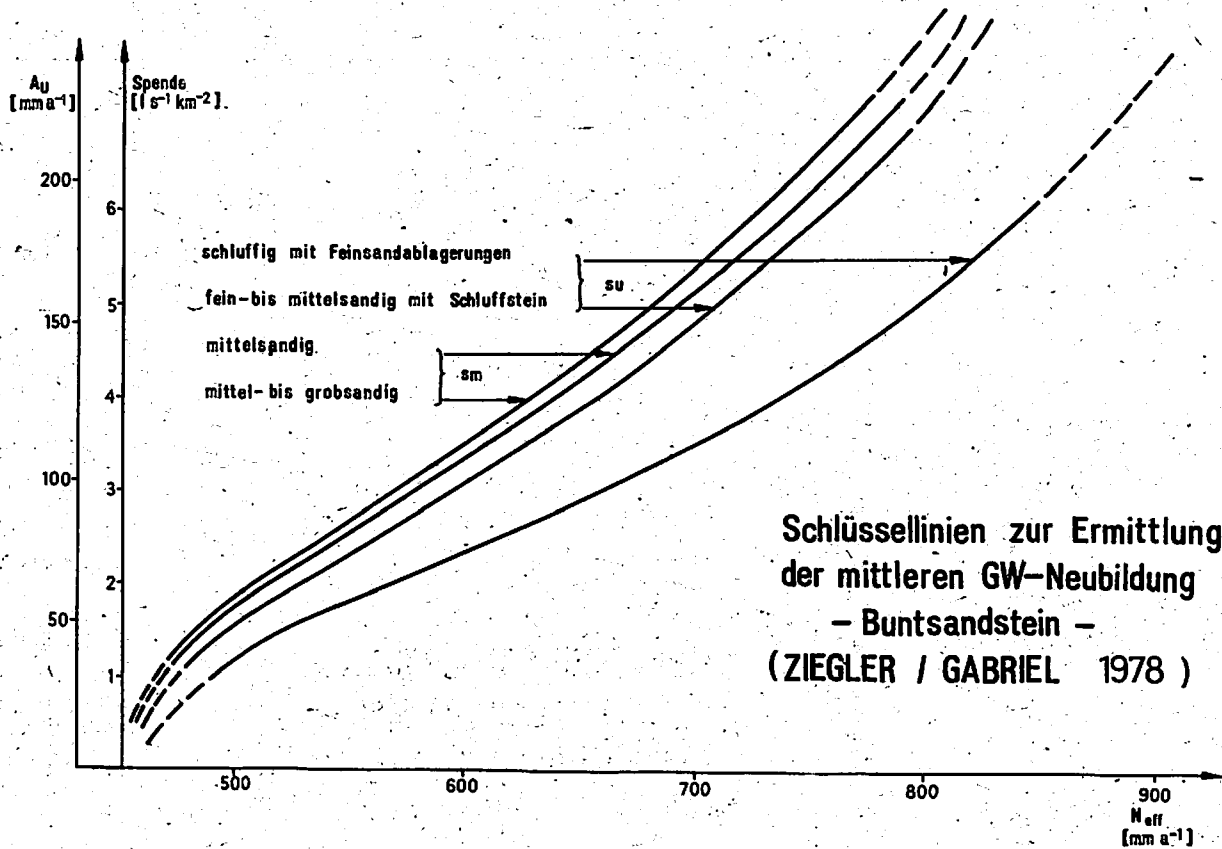
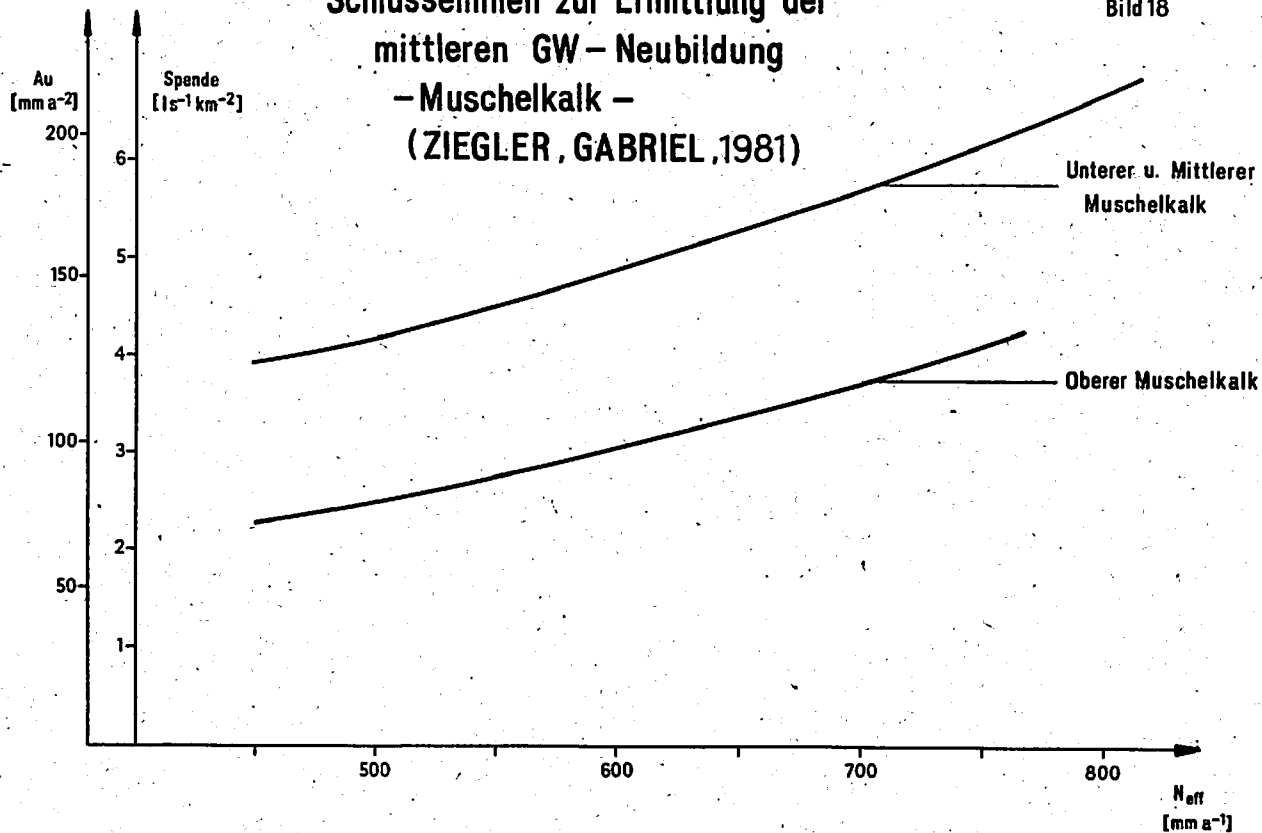


Bild 17

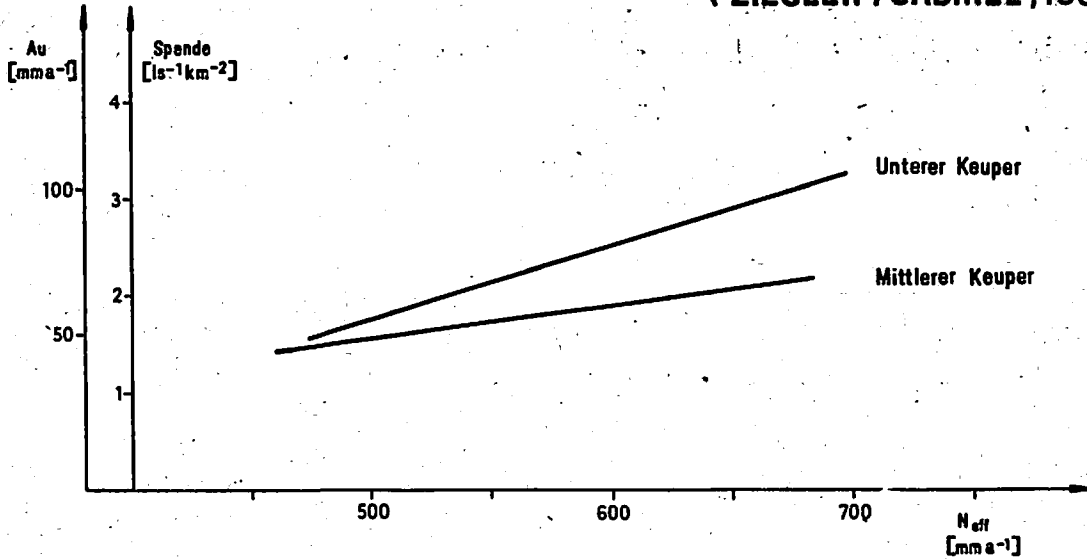


Schlüssellinien zur Ermittlung der  
mittleren GW-Neubildung  
- Muschelkalk -  
(ZIEGLER, GABRIEL, 1981)

Bild 18



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



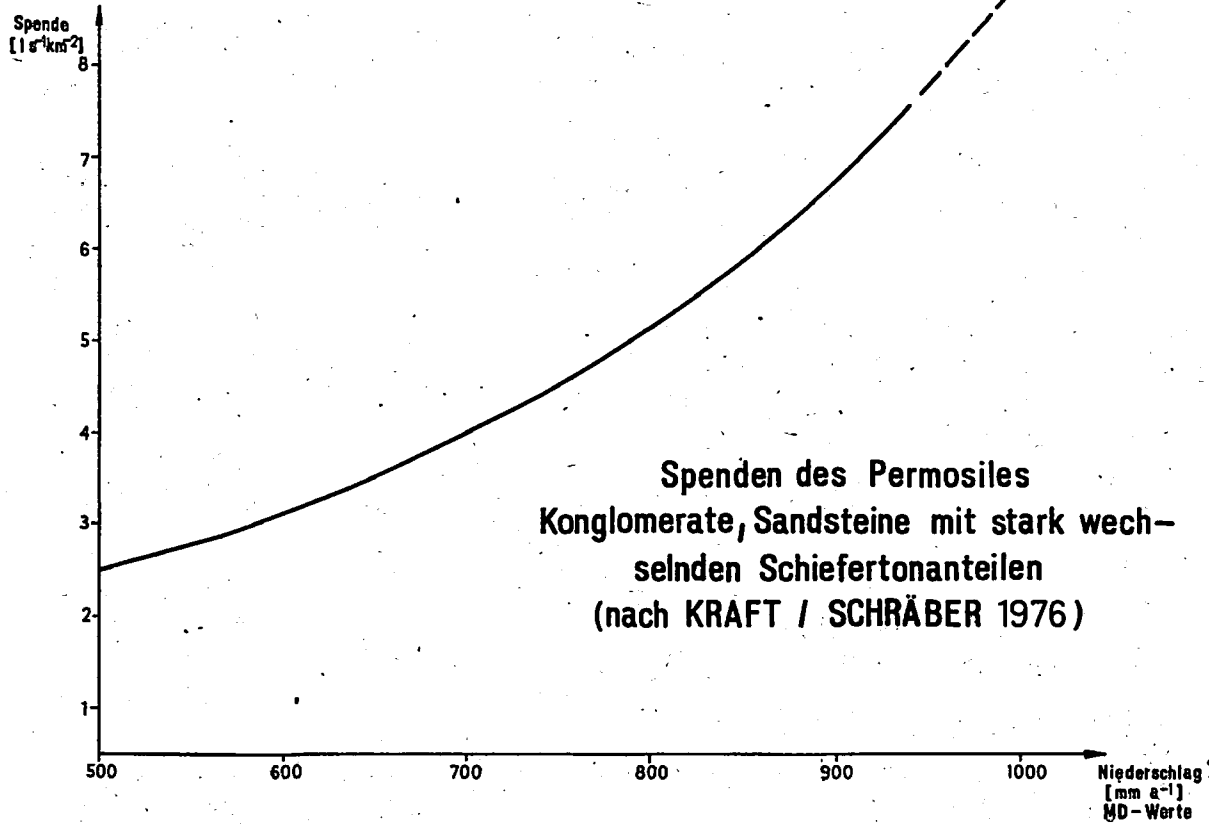
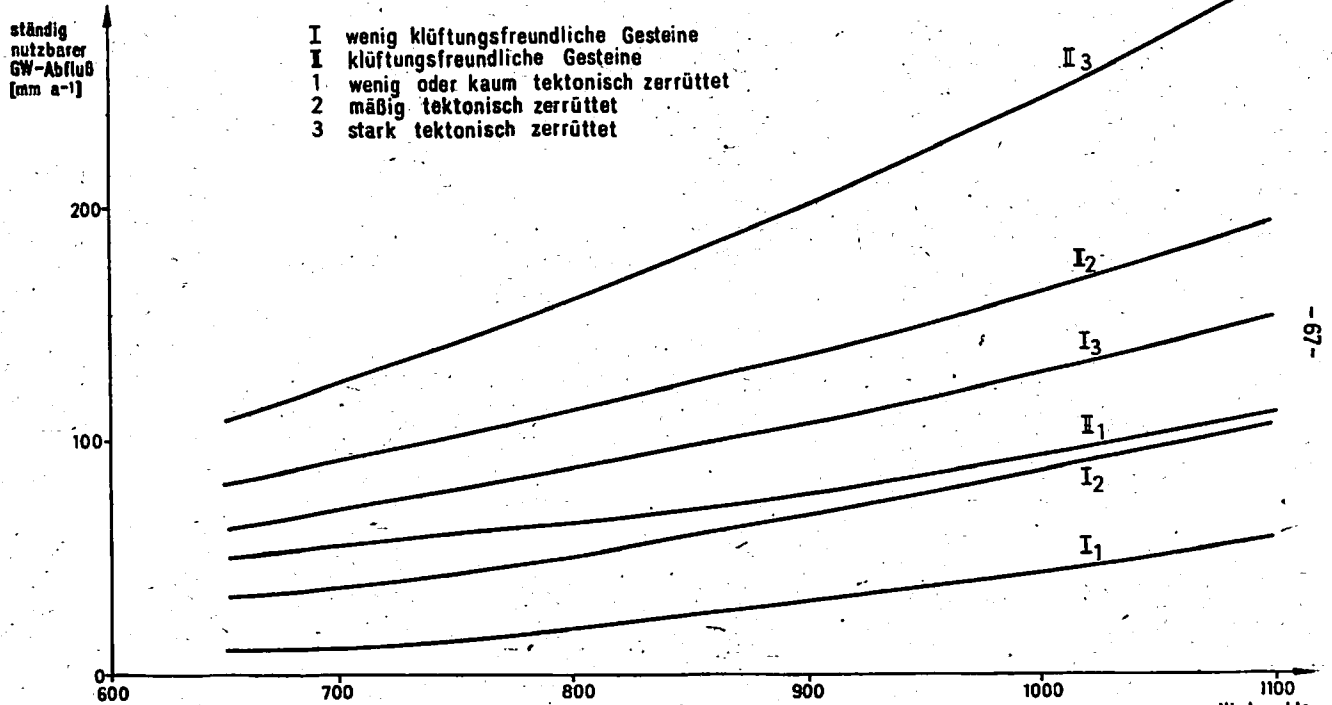


Bild 21



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



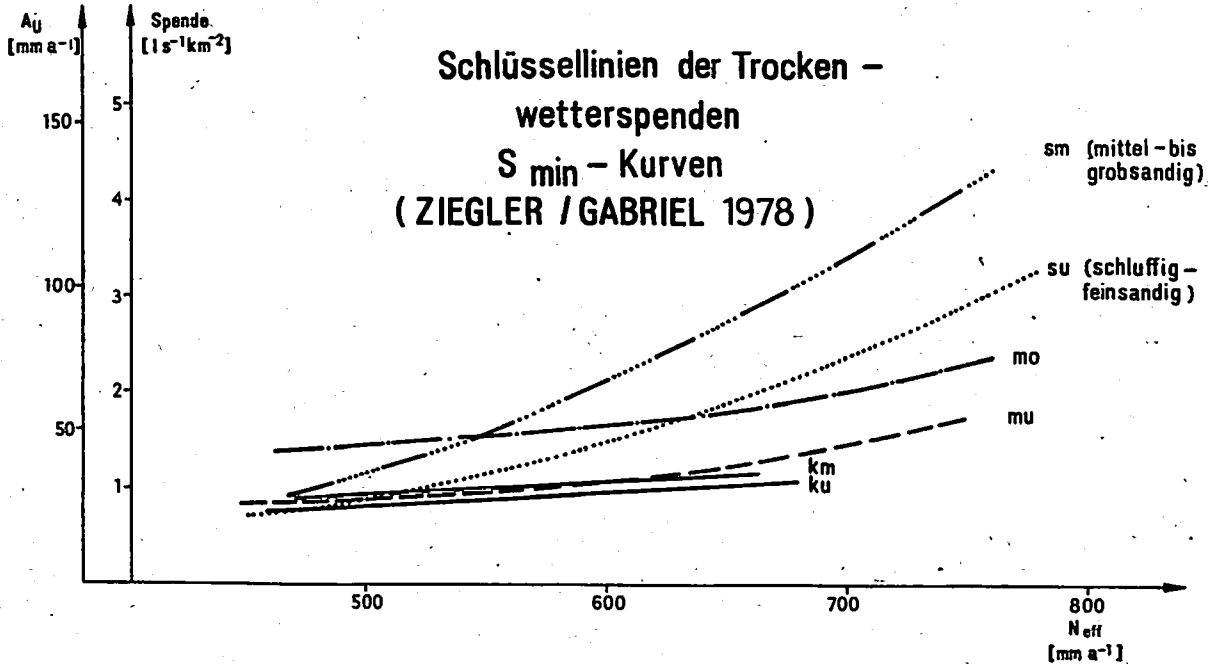


Bild 23

