

DIE GRUNDWASSERABFLUSSVERHÄLTNISSE IM KLEINEN EINZUGSGEBIET DER SAKOVAKARSTQUELLE (PIERIABECKEN)

Von
GEORG DIMOPOULOS

(Laboratorium Geologie und Paläontologie der Universität von Thessaloniki)

(Received 30-9-78)

Abstract: In this paper the conditions of ground water regime of Sakova's small drainage basin are examined. Sakova is a karstic spring located at the foothills of Symbolon mountain (in the Pieria valley).

The ground water outflow (A_u) was first estimated for the area studied after statistical data for a period of 8 years. Then, spring's declining outflow during a dry period which follows a summer rainy period is examined and the constant α from the equation $Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$ is calculated both arithmetically and graphically.

Using the constant α the total volume of ground water (M) which may outflow from the spring during the timespace ($t_1 - t_0$) occurring in the following dry period, was calculated.

The total volume of absorbed water was then calculated from the Figure 7.

Zusammenfassung: Mit dieser Arbeit sind die Grundwasserabflussverhältnisse im kleinen Einzugsgebiet der Sakova Karstquelle beim Symbolon-Gebirge untersucht. Erst ermittelt sich die A_u (Grundwasserabfluss) im untersuchten Gebiet aus Abflussmessungen für eine Reihe von 8 Jahren.

Dann ist nach Ende eines sommerlichen Niederschlages der Trockenwetterabflussrückgang der Quelle von Sakova untersucht und aus der Gleichung $Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$ und graphisch die Konstante α ermittelt.

Mit Hilfe der Konstante α konnten wir die Menge des Grundwassers M berechnen, die im Zeitintervall $t_1 - t_0$ frei abfließen kann, wenn es nicht mehr regnet.

Endlich konnten wir die Versickerungsmenge, die sich nach der Abb. 7 bestimmen lässt, ermitteln.

1. Einleitung

Um den Abflussvorgang und seine Bedeutung besser beurteilen zu können, ist eine kleine Einzugsgebiet ausgewählt worden. Es handelt

sich um Einzugsgebiet, deren Abflusspende für die kalkige Gesteine typisch ist.

Das untersuchte Gebiet liegt in Kalksteinen der Senke von Mousteni (Simvolon Gebirge) und hat eine Fläche von ca. 1,25 km². Es handelt sich um das Einzugsgebiet der Sakovaquelle (Abb. 1). Im Marmor direkt konnten Abflussmessungen durchgeführt werden. Die Abflussrückgangskurve wurde für das Einzugsgebiet durch spezielle Messwehr aufgezeichnet. Kessler (4) gibt die Masse für eine proportional Messwehr an, das bei einer Wasserstandhöhe von 2-40 cm Wassermenge von 0,7-39,8 l/sec erfassen kann.

Fehler in der Abflussrückgangskurve können durch Unterläufigkeit im Bachboden sowie durch Uferspeicherung während der Hochwasserstände auftreten.

2. Au - Bestimmung nach NATERMANN

Der unterirdische Abfluss (Au) für das Einzugsgebiet der Sakova von 1,25 km² wurde nach Natermann (6) bestimmt. Tabelle 1. Diese Metho-

TABELLE 1.

Grundwasserabfluss (Au) des Einzugsgebietes der Sakovaquelle nach Natermann.

Hydrologisches Jahr	Au m ³ /2 ζτη	Au m ³ /tag	Au m ³ /h
1959/60-60/61	1.581.120	2.165,9	90,24
1961/62-62/63	2.799.360	3.834,73	159,70
1963/64-64/65	2.540.160	3.479,7	145,0
1965/66	1.386.720	3.799,2	158,3

de beruht auf der graphischen Auswertung der Trockenwetterabflusslinie. Aus der Abflusswachskurve der Sakova (Abb. 2) konnte Au für die Jahre 1959-1966 ermittelt werden. Der Au-Anteil aus dem oberirdischen Einzugsgebiet der Sakova umfasst mehr als 50% des gesamten Abflusses.

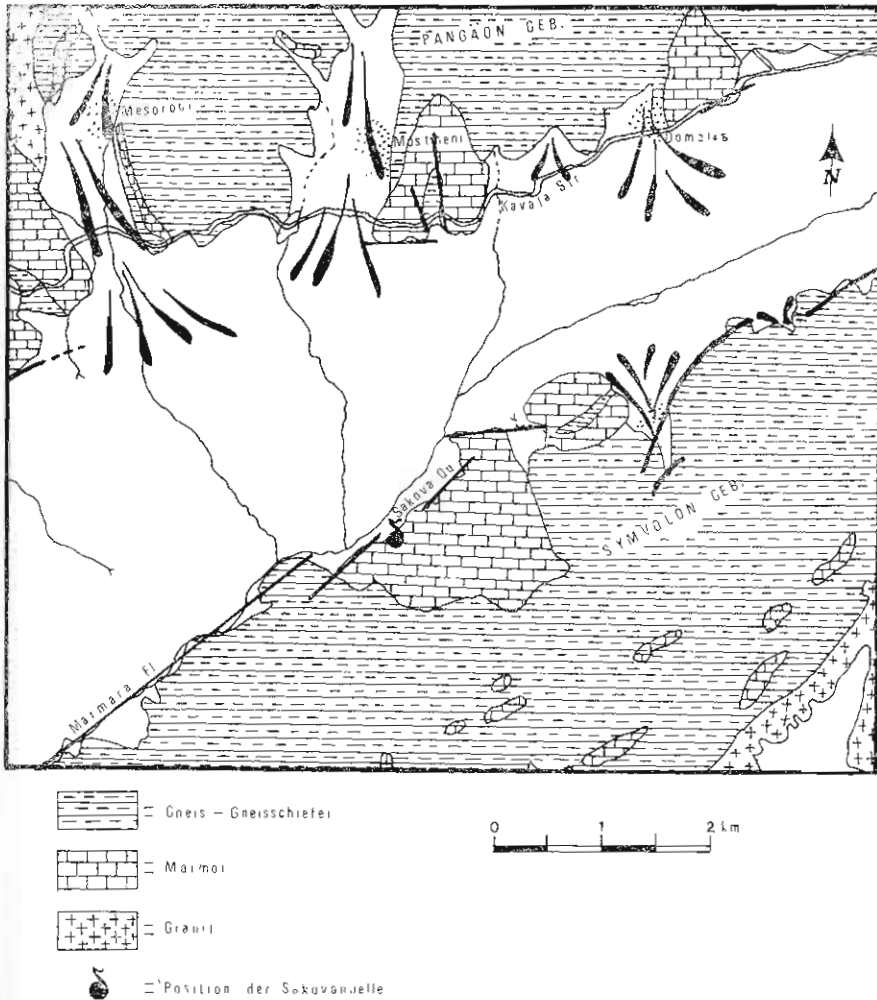
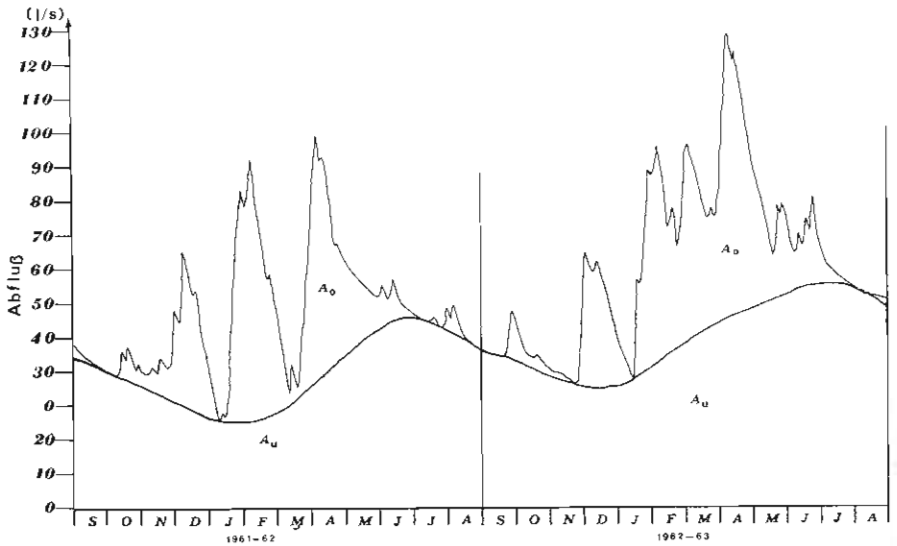
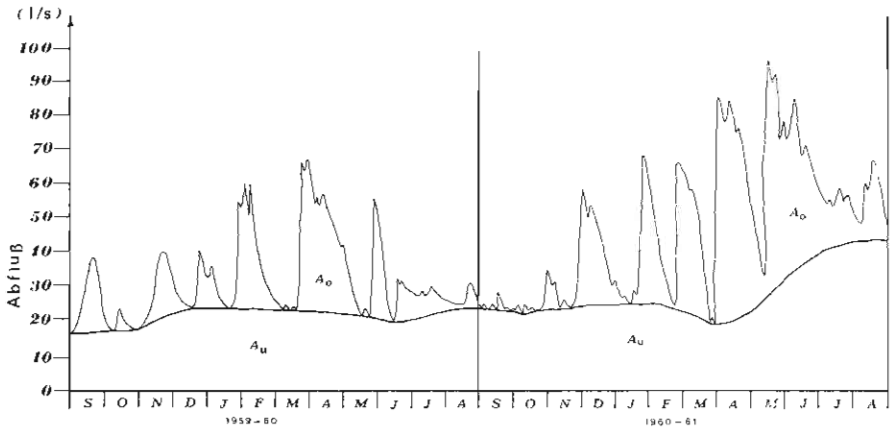


Abb. 1. Geologische Karte des Gebietes von Sakovaquelle.

Dieses Ergebnis ist auf die grosse Durchlässigkeit der Böden und ihre Mächtigkeit sowie auf die Gesteinzusammensetzung, die Morphologie und die Vegetation zurückzuführen.

So ist der Au-Anteil im Einzugsgebiet der Sakova wesentlich grösser als der oberirdische Abfluss (Ao). Dies wird durch die grosse Verbreitung der starkverkarsteten Karbonatgesteine verursacht.



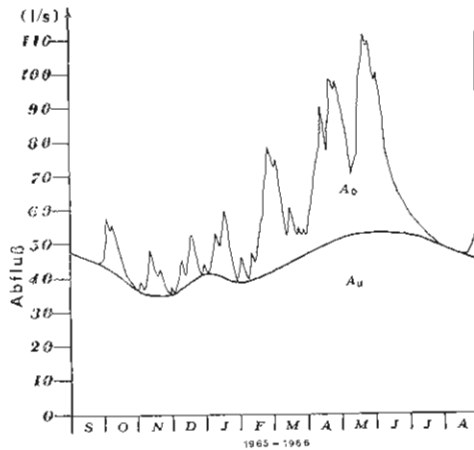
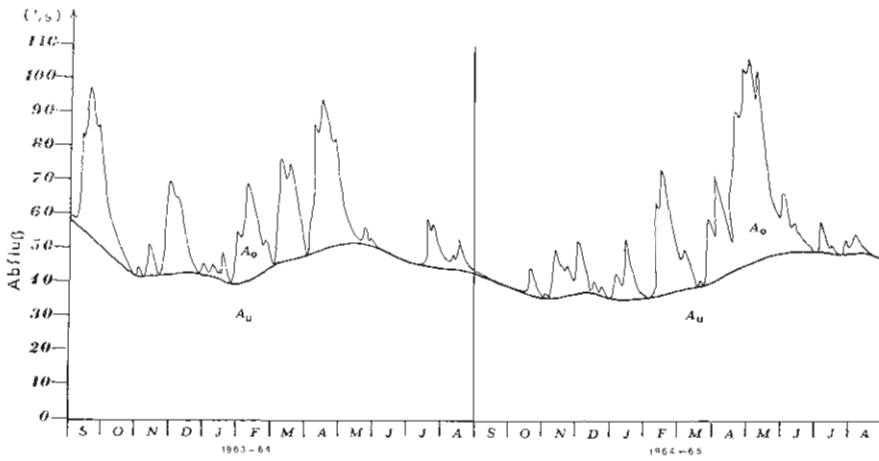


Abb. 2. Abflusszuwachskurve der Sakovaquelle für die hydrologischen Jahre 1959/60-1965/66 mit unterschiedlichem Abfluss nach Natermann.

3. Abflussmessungen in kleinen Einzugsgebieten

Die Abflussganglinie wird (8,9) während und nach einem Niederschlag in drei Teile gegliedert (Abb. 3). Während eines Niederschlages wird der Abfluss erhöht; er besteht zum grossen Teil aus Oberflächenwasser

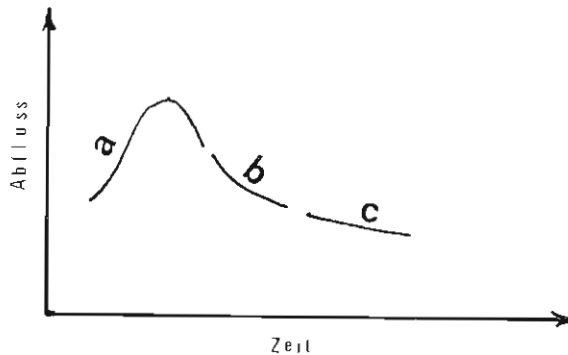


Abb. 3. Abfluss während und nach einem Niederschlag (Skizze).

(a). Nach Ende des Niederschlages tritt ein Abflussrückgang bis etwa auf die Ausgangsposition (vor dem Niederschlag) ein. Dieser Teil der Rückgangskurve besteht in seinem oberen Bereich noch aus Oberflächenwasser (a), während der untere Bereich fast nur Bodenwasser (b) enthält. Der abfallende Ast (c) ist der Abfluss aus dem Untergrund (Grundwasser).

Der Trockenwetterabfluss tritt auf, wenn es mindestens drei Tage hintereinander keinen Niederschlag gegeben hat. Er entspricht dabei dem unteren Teile von (b) und insbesondere (c).

Beispiel für Abflusskurve während und nach einem sommerlichen Niederschlag wird für das untersuchte Gebiet auf Abb. 4. gebracht.

Die kleine Abflussspitze am Pegel des Einzugsgebietes mit Kalksteinen ist durch den hohen Versickerungsanteil verursacht. Nach 2-3 Stunden geht die Abflusskurve wieder in den Trockenwetterabfluss über.

Die Ausgangswerte des Trockenwetterabflusses werden erst nach 30 Tagen erreicht.

Der Treppenartige Abfall der Abflusskurven während des Tagesganges ist durch die erhöhte Evapotranspiration den Mittagsstunden bedingt.

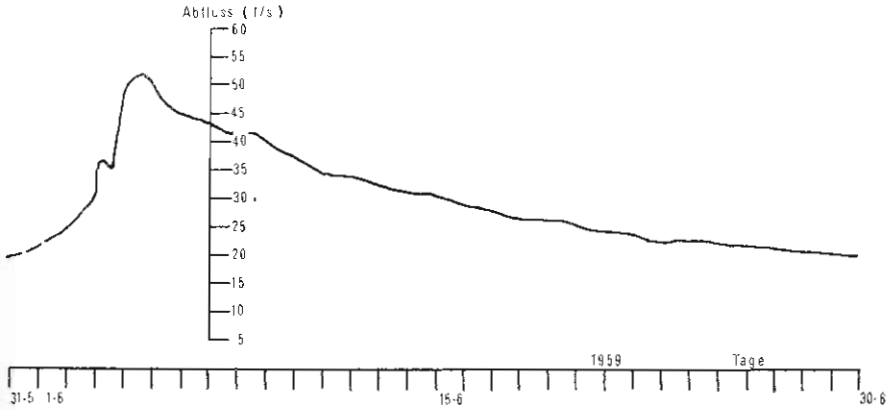


Abb. 4. Abflussrückgang an der Sakovaquelle.

Die Abflusskurve zeigt generell, dass der gesamte Abfluss des Einzugsgebietes hauptsächlich aus Boden- und Grundwasser besteht.

Die beiden Teile a (Oberflächenabfluss) und b (Bodenwasser) der Abflusskurve sind nicht scharf trennbar. Im allgemeinen ist aber der Bodenwasseranteil bei weitem höher als der Oberflächenabfluss. Teil c (Trockenwetterabfluss) der Abflusskurve lässt sich dagegen vom Bodenwasseranteil (b) abgrenzen, wenn man eine halblogarithmische Darstellung (Abb. 5) wählt. Hier erscheint der Bodenwasseranteil als Kurve im linken Teil des Diagramms, während der Trockenwetterabfluss eine gerade darstellt.

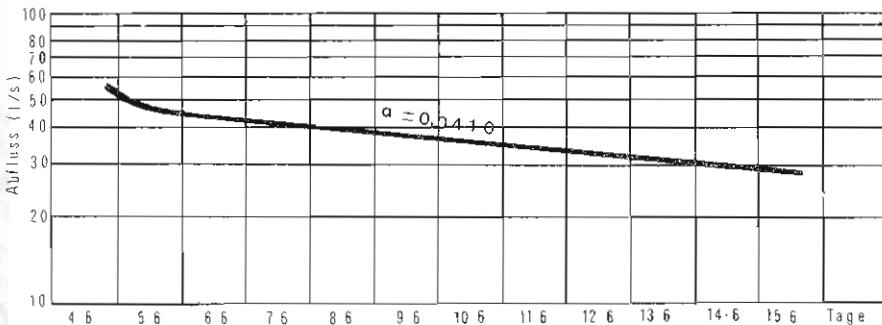


Abb. 5. Halblogarithmische Darstellung des Abflussrückganges im Einzugsgebiet der Sakovaquelle.

Der Abflussrückgang von Quellen und Bächen nach einem Niederschlag kann in Gebieten mit ungespanntem Grundwasser oft durch die Gleichung.

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (1)$$

beschrieben werden (Narbe 1968, Liebscher 1968).

Dabei bedeuten

$$\begin{array}{ll} Q_0 = \text{Abfluss zur Zeit } t_0 & \text{l/s} \\ Q_t = \text{Abfluss zur Zeit } t & \text{l/s} \\ t = \text{Zeit} & \text{(Tag)} \\ \alpha = \text{Konstante} & \text{(Tag}^{-1}\text{)} \end{array}$$

Auch eine andere Gleichung, die das Gleich bedeutet gibt z.B. Riggs (1964)

$$Q_t = Q_0 \cdot k^{-t} \quad (2)$$

wegen der Verbindung mit Q_0 , bedingt die Zeit t_0 als die Zeit wobei $t = \infty$ ist. Gilt also:

$$k = e^\alpha \text{ oder } \alpha = \ln k \quad (3)$$

Logarithmiert man die Gleichung (1), so ergibt sich:

$$\begin{aligned} \ln Q_t &= \ln(Q_0 \cdot e^{-\alpha t}) \text{ mit } t_0 = 0 \text{ oder da } \ln e = 1 \\ \ln Q_t &= \ln Q_0 - \alpha t \\ \text{oder } \lg Q_t &= \lg Q_0 - \alpha t \cdot \lg e \end{aligned} \quad (4)$$

Gleichung (4) entspricht der Gleichung einer Geraden

$$y = a - mx, \text{ deren Steigung } m = \alpha \cdot \lg e \text{ (5) ist.}$$

Aus der Gleichung (5) ist die Konstante α ermittelt werden,

$$\alpha = \frac{m}{\lg e} \quad (6)$$

Die Konstante α kann auch graphisch auf den halblogarithmischen aus der Geraden schnell ermittelt werden, wenn man für 2 Punkte die Differenz der Logarithmen von Q_2 und Q_1 (nach Abb. 6c) gleich 1 wählt.

Mit $t = t_2 - t_1$ ergibt sich

$$\alpha \cdot \lg e = \frac{1}{t} \quad \text{und} \quad \alpha = \frac{t \cdot \lg e}{1}$$

$$\text{oder} \quad \alpha = \frac{1}{0,4343 \cdot t} \quad \text{und} \quad \alpha = \frac{2,303}{t} \quad (7)$$

Die Skizze 6 a,b,c stellen die Ermittlung der Konstante α dar.

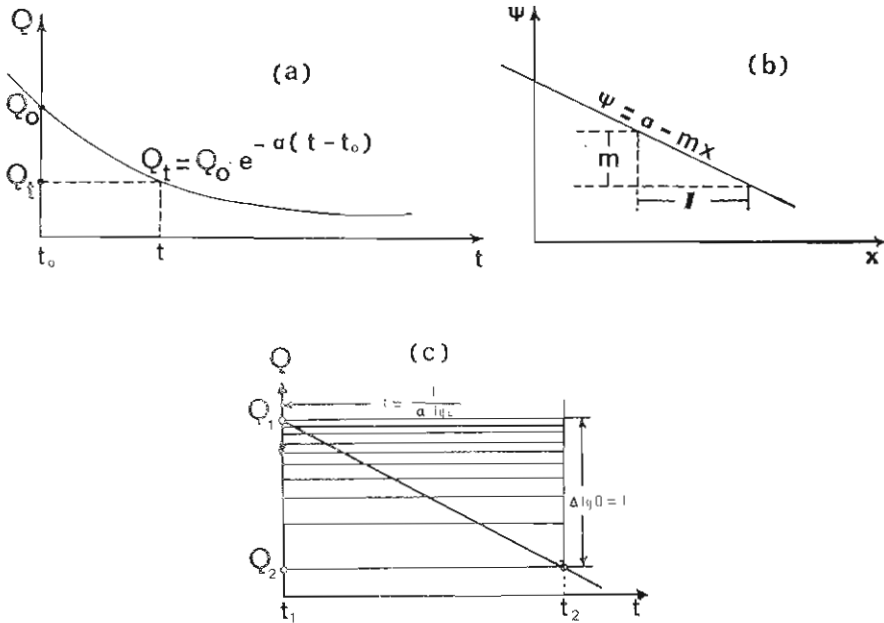


Abb. 6. Skizzen zur Ermittlung der Konstante α .

Eine Änderung der Konstanten α bewirkt eine Änderung der Steigung der Geraden in der halblogarithmischen Darstellung, während eine Änderung von Q_0 die Gerade parallel nach oben oder nach unten verschiebt.

Die Konstante α definiert den Abflussrückgang. Für das Einzugsgebiet der Sakovaquelle mit Kalkstein wurde ein Mittelwert $\bar{\alpha}$ aus 8 jahrmessungen von 0,0410. Geht man für das Einzugsgebiet vom Q_0 – Wert (= 40 l/s) aus, und untersucht den Abflussrückgang, so zeigt sich nach Einsetzen der gegebenen Werte in die Gleichung:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)},$$

dass der Abfluss am Einzugsgebiet der Sakovaquelle nach 3 Tagen auf 35,4 l/s zurückgegangen ist, während für einen Q_t — Wert von 20,2 l/s, 16,9 Tagen und für eine Q_t — Wert von 10 l/s 65,6 Tagen gebraucht wird.

Unterschiede der α -Werte sind in der Hauptsache bei den geologischen Verhältnissen zu suchen, der Durchlässigkeit und dem unterschidlichen Hohlraumvolumen der Gesteine.

4. Berechnung der Grundwasservorräte

Mit Hilfe der Konstante α (s. voriger Kapitel) kann man die Menge des Grundwassers Q_t berechnen, die im Zeitintervall t_1-t_0 frei abfließen kann, wenn es nicht mehr regnet. Dies geschieht durch Integration der formel (1).

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

$$Q_t = M = Q_0 \cdot \int_0^{t_1} e^{-\alpha t} \cdot dt$$

$$M = Q_0 \cdot \left(-\frac{1}{\alpha}\right) \cdot \left[e^{-\alpha t}\right]_0^{t_1}$$

$$M = \frac{Q_0}{\alpha} \cdot (1 - e^{-\alpha t_1}) \quad (7)$$

Aus Formel (7) ergibt sich, welche Wassermenge im Intervall t_0 bis t_1 aus dem ungespannten Grundwasser ausfließen kann, unter der Bedingung, dass in dieser Zeitspanne keine Störung des durch die Gleichung (1) beschriebenen Abflussregimes eintritt.

Bei Grundwasserbildung von t_1 gegen ∞ in Formel (7) ergibt sich für den ausfließbaren Grundwasservorrat M :

$$M = \frac{Q_0}{\alpha} \quad (8)$$

Die Formeln (1) und (8) ermöglichen die Berechnung der Grundwasservorräte aus dem Abflussrückgang kleinere Einzugsgebiete bzw. Quellen.

Für das untersuchte Einzugsgebiet der Sakovaquelle ergeben sich die in der Tabelle 2 zusammengestellten Werte der jeweiligen Grundwasservorräte, wobei die Verdunstung im Bach wegen der kleinen Fliessstrecke vernachlässigt werden kann.

TABELLE 2.

Grundwasservorräte im Einzugsgebiet der Sakovaquelle ($\alpha = 0,0410$).

Datum	Abfluss m ³ /Tag	Grundwasservorrat m ³
31.5.1959	1900,8	46.360,9
1.6.1959	1987,2	48.468,3
2.6.1959	2160,0	52.682,9
3.6.1959	2592,0	63.219,5
4.6.1959	3888,0	94.829,3
5.6.1959	4320,0	105.365,8
6.6.1959	3888,0	94.829,3
7.6.1959	3715,2	90.614,6
8.6.1959	3542,4	86.400,0
9.6.1959	3456,0	84.292,7
10.6.1959	3196,8	77.970,0
11.6.1959	2937,6	71.648,8
12.6.1959	2851,2	69.541,5
13.6.1959	2764,8	67.434,1
14.6.1959	2678,4	65.326,8
15.6.1959	2592,0	63.219,5
.....
30.6.1959	1728,0	42.146,3

5. Ermittlung der Versickerungsmenge

Unter Versickerung versteht man den Anteil des Niederschlages, der dem Grundwasser zugeführt wird. Die Menge des versickernden Wassers aus einem Niederschlag hängt von mehreren Faktoren ab, u.a. von Morphologie, Vegetation, Bodenmächtigkeit und -durchlässigkeit, Niederschlagsdauer und Dauer der Trockenperiode.

Die Versickerung lässt sich für klein Einzugsgebiet annäherungsweise nach Abb. 7. bestimmen, auf der zwei Abflussmaxima I & II nach sommerlichen Niederschlägen dargestellt sind. Sie enthalten zwei Ab-

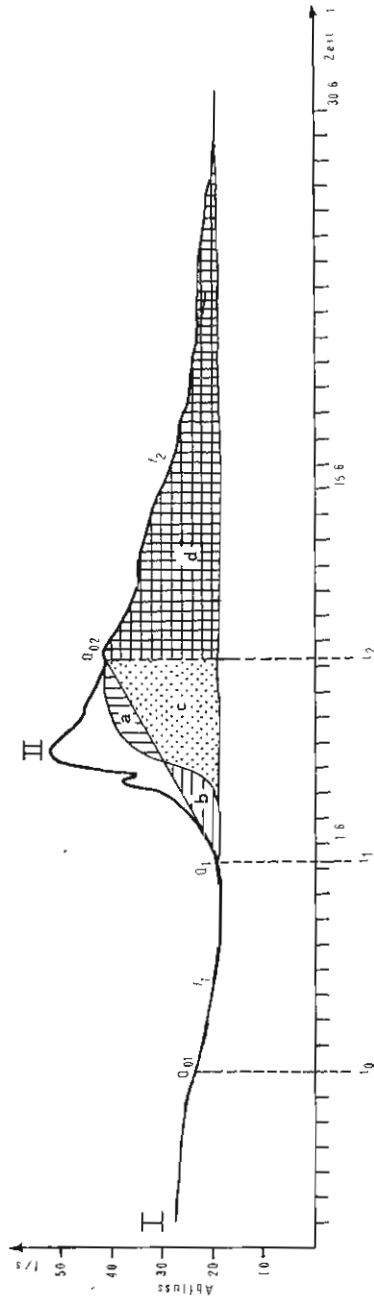


Abb. 7. Ermittlung der Versickerung (nach Weyer 1971).

flussrückgangskurven, deren Funktionen f_1 und f_2 zu unterscheiden sind. Auf der Kurve f_1 bedeuten:

Q_{01} = Anfang des Grundwasserabflusses (entnommen aus halblogarithmischer Darstellung)

Q_1 = Abfluss zur Zeit t_1

Auf Kurve f_2 bedeuten:

Q_{02} = Anfang des Grundwasserabflusses (entnommen aus halblogarithmischer Darstellung) zur Zeit t_2 .

Die geradlinige Verbindung zwischen Q_1 und Q_{02} entspricht angenähert der Grundwasseranstiegskurve, dabei werden die kleinen Flächen a und b oberhalb und unterhalb der Geraden als gleich gross angenommen. Die Versickerungsmenge lässt sich nach Weyer (8) durch Addition der drei Flächen b+c+d ermitteln.

Nach den vorige aufgenommenen Annahmen gilt für die Versickerungsmenge M_A , die durch die Fläche b+c ausfliesst:

$$M_A = \frac{Q_1 + Q_{02}}{2} (t_2 - t_1) - \int_{t_1}^{t_2} f_1(t) \cdot dt \quad (9)$$

für die Fläche d gilt:

$$M_B = \int_{t_2}^{\infty} f_2(t) \cdot dt - \int_{t_2}^{\infty} f_1(t) \cdot dt$$

oder

$$M_B = \int_{t_2}^{\infty} Q_{02} \cdot e^{-\alpha_2 t} \cdot dt - \int_{t_2}^{\infty} Q_{01} \cdot e^{-\alpha_1 t} \cdot dt \quad (10)$$

Insgesamt ist im Felsstein versickert:

$$M_V = M_B + M_A \quad (11)$$

Wenn im Formel (11) die Gleichungen (9) und (10) einsetzen dann gilt:

$$M_V = \int_{t_2}^{\infty} Q_{02} \cdot e^{-\alpha_2 t} \cdot dt - \int_{t_2}^{\infty} Q_{01} \cdot e^{-\alpha_1 t} \cdot dt + \frac{Q_1 + Q_{02}}{2} (t_2 - t_1) - \int_{t_1}^{\infty} Q_{01} \cdot e^{-\alpha_1 t} \cdot dt$$

$$\text{und } M_V = \int_{t_2}^{\infty} Q_{02} \cdot e^{-\alpha_2 t} \cdot dt - \int_{t_1}^{\infty} Q_{01} \cdot e^{-\alpha_1 t} \cdot dt + \frac{Q_1 + Q_{02}}{2} (t_2 - t_1) \quad (12)$$

Nach Intergration der Formel (12) ergibt sich:

$$M_V = \frac{Q_{02}}{\alpha_2} \cdot e^{-\alpha_2 t_2} - \frac{Q_{01}}{\alpha_1} \cdot e^{-\alpha_1 t_1} + \frac{Q_1 + Q_{02}}{2} (t_2 - t_1) \quad (13)$$

daher die Versickerungsmenge im Einzugsgebiet der Sakovaquelle erreicht in $2,192 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

LITERATUR

1. ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. (1978): Περί του σχηματισμού των υδροφόρων οριζόντων της λεκάνης μεταξύ των όρεων Παγγαίου - Συμβόλου (Πιερία λεκάνη) - Διδακτορική Διατριβή (ἀδημοσίευτος), Θεσσαλονίκη.
2. HENN, W. (1937): Grundlagen der Wassermessungen mit dem hydrometrischen Flügel. - VDI - Forschungsheft, 385, VDI - Verlag, Berlin.
3. KARRENERG, H. & WEYER, U. K. (1970): Beziehungen zwischen geologischen Verhältnissen und Trockenwetterabfluss in kleinen Einzugsgebieten des Rheinischen Schiefergebirges. - Z. deutsch. geol. Ges., Sonderheft Hydrogeologie-Hydrochemie, Hannover.
4. KESSLER, H. (1959): Lineare Messwehre für Quellschüttungen. - Steirische Beiträge zur Hydr., Jg. 1959, Graz.
5. MATTHES, G. (1970): Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. - Abh. hess. L. - Amt Bodenforschung, 58, Wiesbaden.
6. NATERMANN, E. (1950): Die Linie des langfristigen Grundwassers (AuL) und die Trockenwetterabflussluie (TWL). Die Wasserwirtschaft, Sonderheft 1950, Stuttgart.
7. SCHROEDER, G. (1955): Die Grundwasserreserven der Flussgebiete. Der Zuschusswasserbedarf der Flüsse. - Deutsch Gewässerkd. Jb., besondere Mitt. Nr 13, Koblenz.
8. WEYER, U. K. (1972): Ermittlung der Grundwasserneunen in den Festgesteinen der Mittelgebirge aus Messungen des Trockenwetterabflusses. - Geol. Jb. C3, Hannover.
9. WUNDT, W. (1967): Eine Schätzung des frei abflussfähigen Grundwasservorrates. - gwf. 108. München.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΟΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΜΙΚΡΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΚΑΡΣΤΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ «ΣΕΚΟΒΑ» (ΠΙΕΡΙΑ ΛΕΚΑΝΗ)

Υπό

ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ

(Εργαστήριο Γεωλογίας - Παλαιοντολογίας Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης)

Μ' αὐτὴ τὴν ἐργασία ἐξετάζονται οἱ συνθήκες τῆς ὑπόγειας ἀπορροῆς στὴ μικρὴ λεκάνη ἀπορροῆς τῆς καρστικῆς πηγῆς «Σάκοβα». Ἡ πηγὴ αὐτὴ βρίσκεται στὴ βάση τοῦ ὄρους Σύμβολο μέσα στὴν Πιερία λεκάνη.

Κατ' ἀρχὰς ὑπολογίζεται ἡ ὑπόγεια ἀπορροή (Au) στὴν περιοχὴ αὐτή, ὕστερα ἀπὸ μετρήσεις ὀλικῆς ἀπορροῆς γιὰ μιὰ σειρὰ 8 ἐτῶν.

Κατόπιν ἐξετάζεται ἡ ἐπαναφορὰ τῆς ἀπορροῆς ξηρᾶς περιόδου τῆς πηγῆς, μετὰ ἀπὸ τὸ τέλος μιᾶς θερινῆς βροχόπτωσης καὶ ὑπολογίζεται ἡ σταθερὰ α (συντελεστὴς ἐξαντλήσεως) ἀπὸ τὴν ἐξίσωση $Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$ καὶ γραφικῶς.

Μὲ τὴ βοήθεια τῆς σταθερᾶς α μπορέσαμε νὰ ὑπολογίσουμε τὴν ποσότητα τοῦ ὑπόγειου νεροῦ M , ποὺ μπορεῖ νὰ ρεῦσει στὸ χρονικὸ διάστημα $t_1 - t_0$ ὅταν δὲ βρέχει πλέον.

Τελικὰ μπορέσαμε νὰ ὑπολογίσουμε τὴν ποσότητα τοῦ νεροῦ ποὺ ἀπορροφήθηκε καὶ ποὺ ὑπολογίστηκε ἀπὸ τὸ σχῆμα 7.