

## BERECHNUNG DER KARSTVERSICKERUNGSWERTE IM AGGTELEKER KARSTGEBIET

von

DR. LÁSZLÓ JAKUCS

In den letzten Jahren rückt die Frage der Nutzbarmachung der Karstwasservorräte der Mittelgebirge auch in Ungarn immer deutlicher in den Vordergrund. Das ist verständlich und rührt von einer natürlichen Erforderung her, die durch die Industrialisierung des Landes und seine landwirtschaftliche und kulturelle Entwicklung bedingt ist. Ob für Trinkwasserversorgung, ob zu industriellen Zwecken kann Karstwasser in meisten Fällen sogar unmittelbar verwendet werden. Es ist ja eine Naturwasserart, die keine schädlichen chemischen Verunreinigungen enthält. Verständlich ist also die Bestrebung, welche sich die völlige Ausnutzung der Karstwasservorräte zum Ziele setzte.

Bei der Projektierung der Versorgung mit Karstwasser einer viel Wasser beanspruchenden Anlage muss man jedoch über die grösste Wassermenge, die aus dem in der Frage stehenden Karstwassersystem dauerhaft gewonnen werden kann, ein klares Bild haben. Dass auch die Karstwasservorräte nicht unerschöpflich sind, sondern durch den Niederschlag kontinuierlich erneuert werden, ist heute schon eine allgemein anerkannte Meinung.

In einem verkarsteten Einzugsgebiet bestimmter Oberflächenausdehnung (T) lässt sich also dem Karst nur soviel Wasser dauerhaft entnommen werden (V), als vom einsickernden Bruchteil des Niederschlages (v) kontinuierlich erneuert werden kann:

$$T \cdot v = V \quad (1)$$

Ziemlich häufig ist auch der Fall, dass die von den nicht verkarsteten, benachbarten Oberflächen stammenden exogenen Wasserläufe ins eigenartige hydrographische System der Karstzone hineingeratend die Gesamtmenge der im Karst gespeicherten und daraus gewinnbaren Wasservorräte ständig oder periodisch vergrössern. *Trägt der Wasserzufluss exogenen Ursprungs einen ständigen Charakter*, so müssen wir bei der Ermittlung der Wassernutzungsmöglichkeiten auch die Zuflussmengen, bzw. ihre Durchschnittswerte (Eh) berücksichtigen. In diesem Falle können wir die

Menge des aus dem Karst dauerhaft gewinnbaren Wassers mit folgender Formel ausdrücken:

$$(T \cdot v) + Eh = V \quad (2)$$

Für den Karst solcher Natur sind zwar zahlreiche Beispiele bekannt (fast alle karsthydrologischen Einheiten der Nordalpen, das Südchinesische Karstgebiet, das Demánova-System der Slowakei, sowie die Karsteinheiten von Poik, Reka, Trebisnica usw. von den Karstsystemen Sloweniens und Dalmatiens), scheint jener zweite Fall, als der Eintritt der exogenen Wässer in den Karst lediglich unter der Wirkung bestimmter meteorologischer Umstände (Hochflut) und zwar unregelmässig und selten stattfindet, allgemeiner verbreitet zu sein. Die charakteristischsten Karstgebiete Ungarns (Mecsek, Transdanubisches Mittelgebirge, Nordborsoder Karst) gehören vor allem zu diesem zweiten Typus, das heisst ihr Wasserhaushalt entweder besteht ausschliesslich aus demjenigen Teil des Niederschlages, der auf die Karstoberfläche hinabfiel und dort fortdauernd versickerte, oder umfasst auch die exogenen Wässer von Trockentälern, welche diesen Wassermengen nur periodisch und zufällig zufließen, also welche vom Gesichtspunkt der regelmässigen Erneuerung der Karstwasservorräte aus nicht in Betracht gezogen werden dürfen. In solchem Fall kann die Wasserwirtschaft nur mit den endogenen (in die Karstgesteine eingesickerten) Wassermengen des Karstes mit Sicherheit rechnen, denn die aus den Trockentälern stammenden Flutwassermengen, die zwar einen grossen Durchfluss aufweisen, aber sehr kurzdauernd sind, lediglich durchfliessen die unterirdischen Höhlenlabyrinth des Karstes, ohne aber die im verkarsteten Gesteinskomplex gespeicherten Wasservorräte zu nähren. Diese Feststellung haben wir übrigens in früheren Publikationen bereit bewiesen (10, 12).

Es scheint also selbstverständlich, dass man unter den in Ungarn bestehenden Verhältnissen das Mass einer dauerhaften Karstwasserentnahme nur in jenem Falle richtig beurteilen kann, wenn die Berechnungen auf Grund der Formel (1) durchgeführt werden.

Beispielweise nehmen wir an, dass in eine, 10 km<sup>2</sup> grosse Fläche besitzende, karsthydrologische Einheit vom jährlichen 600 mm Niederschlag 200 mm einsickert und sich im Wasserhaushalt des Karstes, bzw. in seinem Speisen beteiligt. In diesem Falle ergibt sich für die dauerhaft gewinnbare Wassermenge (V) jährlich rund 2 000 000 m<sup>3</sup>, was einem Durchschnitt von 5479,5 m<sup>3</sup> pro Tag (= cca. 3800 l/min.) entspricht.

Entnahmen wir der als Beispiel erwähnten Karsteinheit eine Wassermenge, die grösser als diese berechnete Schüttung ist (beispielweise durch die Anlage eines Karstwasserschachtes, d. h. durch eine künstliche Depressionsversenkung des Karstwasserniveaus), so könnte dieser Versuch offenbar nur zeitweilig erfolgreich sein, denn mit Verlauf einer bestimmten Zeitperiode, beim Wiederherstellung des Gleichgewichtszustandes würde die Wasserergiebigkeit auf das durch den Zufluss neuer Wassermengen kontinuierlich gesicherte Niveau hinabsinken.

Die karstwasserspeichernden Gebirge oder Gebirgstteile Ungarns können also am allermeisten mit solch einem Wasserbehälter von bestimmtem Rauminhalt verglichen werden, in welchen von oben, durch einen Hahn

gewisse Wassermenge ständig rinnt. Wenn wir den Behälter durch das Öffnen eines anderen Hahnes in der Wand des Behälters anzapfen, müssen wir mit zwei Möglichkeiten rechnen:

1. Die Abflussmenge ist grösser als der Zufluss: das Wasserniveau im Gefäss sinkt früher oder später ab und dementsprechend gibt das System nur soviel Wasser, als von oben ununterbrochen zufliesst.

2. Die Abflussmenge ist kleiner, als die Menge des zufließenden Wassers. In diesem Falle wird das Gefäss früher oder später voll und das von uns nicht verbrauchte Wasser wird den Rand des Gefässes überlaufen.

Aus diesem Gleichnis sollte natürlicherweise darauf geschlossen werden, dass die aus dem Karst dauerhaft gewinnbare Wassermenge immer der Summe der Schüttungen sämtlicher Quellen, deren Wasser von Natur aus zutage tritt und abfließt, gleich sei. Diese Feststellung ist zwar in meisten Fällen stichhaltig, erweist sich jedoch nicht immer richtig. Wir kennen nämlich solche verkarsteten Einzugsgebietkessel, die einen beträchtlichen Teil des eingesickerten Wassers tieferen, eventuell unverkarsteten Schichten abgeben oder die Grund- und Schichtwasservorräte der mit ihren Rändern im Kontakt stehenden Schichten erhöhen. Es ist natürlich, dass aus solchen Karsten durch an geeigneten Stellen niedergebrachte künstliche Wassergewinnungsanlagen (Karstwasserschächte, Bohrungen) sogar mehr Wasser dauerhaft entnommen werden kann, als durch die Karstquellen auf natürlichen Weise abfließt.

Die gegenwärtig angewendeten Forschungsmethoden ermöglichen jedoch keine sichere Beurteilung, ob welche Karsteinheit solches verborgene Schwindenwasser abgibt und welche nicht. Wegen dieses Umstandes lässt sich die Karstwassermenge, die von einem Karstwassersystem unter den günstigsten technischen Verhältnissen dauerhaft gewonnen werden kann, nur in jenem Falle bestimmen, wenn uns im betreffenden Gebiet die genaue Grösse der Wassersammelfläche und das Mass der karstischen Versickerung bekannt sind. Nämlich wird die obere Grenze des Durchschnittes der in einer längeren Perspektivperiode gewinnbaren Wassermenge letzten Endes durch das Produkt dieser zwei Faktoren konkretisiert.

An Hand dieser Formulierung dünkt uns das Prinzip der Frage einfach. In der Wirklichkeit ist es jedoch äusserst schwer, die zur Berechnung notwendigen realen Werte, die den versickernden Teil des Niederschlages und die Grösse der Wassersammelfläche kennzeichnen, sogar mit annähernder Genauigkeit zu bestimmen.

Besonders unsichere Ergebnisse erhält man für tektonisch äusserst gestörte Karstgebiete von grosser Reliefenergie, abwechslungsreicher Orographie und kompliziertem lithologischem Bau, wie beispielweise das Mecsekgebirge, das Balatonhochland und das Bakonygebirge in Ungarn. Es genügt nur auf folgende Beispiele hinzuweisen: Nach den verschiedenen Verfassern besitzt das Einzugsgebiet der Tettye-Quelle in Mecsek eine Fläche wie folgt Böck [1]  $3,7 \text{ km}^2$ , VADÁSZ [2]  $3 \text{ km}^2$  und (in einer späteren Veröffentlichung)  $5,35 \text{ km}^2$ , nach PÁLFY [3] sei diese Fläche noch grösser.

In einem Gebiet von solch komplizierter Tektonik und Lithologie ist die Bestimmung des Einzugsgebietes einer Karstquelle nur in solcher

Weise möglich, dass man die Summe der jährlichen Karstwasserschüttung der Quellen mit dem angenommenen Wert der dauerhaften Karstversickerung teilt. Da aber auch dieser hypothetische Wert der dauerhaften Karstversickerung sich von Verfasser zu Verfasser ändert, liegt uns nicht einmal in diesem Gebiet ein sicheren Anhaltspunkt vor und wir sind auf bare Vermutungen angewiesen. Die bei den verschiedenen Autoren in dieser Hinsicht wahrnehmbaren Unterschiede in Auffassung sind darauf zurückzuführen, dass sie einerseits die Summe der Jahresschüttung der Quellen den Berechnungen zugrunde legen, d. h. sie die faktische Karstwasserproduktion von denjenigen, exogenen Zusatzmengen der Wasserschüttung, die am Wasserhaushalt des Karstes nur eventuell beteiligt sind, nicht abtrennen und dass andererseits selbst der Begriff der dauerhaften Karstversickerung nicht eindeutig geklärt ist. Unter dem Begriff der dauerhaften Versickerung darf nämlich nur jener Teil des Niederschlages verstanden werden, den die Pflanzen schon nicht imstande sind, aus dem Boden aufzusaugen und zu verdunsten. Dieses Wasser kann lediglich durch Brunnen oder Quellen wieder zutage treten und wird eventuell als gebundenes Wasser zwischen der Körnern des Gesteines gespeichert. Diejenige Niederschlagswassermenge, die zwar erst vom Boden absorbiert wird, aber später — zufälligerweise erst nach mehrerer Tagen oder Wochen — infolge der Transpiration der Pflanzen wieder in die Atmosphäre gerät, kann dagegen ausser Acht gelassen werden.

Zur Bestimmung des Masses der dauerhaften Karstversickerung machte bei uns jüngstens KESSLER interessante Berechnungen [4—7]. Nach diesen Berechnungen war der Prozentsatz der Jahroversickerung z. B. im Bükkgebirge 30% in 1952 und 49% in 1953 [7]. KESSLER führt für die Karstgebiete im allgemeinen folgende Prozentwerte der Versickerung in den einzelnen Monaten des Jahres an:

Januar	50,2%	Juli	20,6%
Februar	73,3%	August	18,1%
März	123,6%	September	15,6%
April	65,4%	Oktober	12,3%
Mai	47,2%	November	24,3%
Juni	27,7%	Dezember	51,3%

Die grosse Aussagekraft der Berechnungen und Schlussfolgerungen von KESSLER sehen wir vor allem in den Äusserungen über eine wichtige Erkenntnis, indem er sich bemüht, die Ursachen der in den verschiedenen Jahreszeiten und Monaten wahrnehmbaren *Unterschiede* der monatlichen Versickerung (die wasserentnehmende Rolle der Pflanzen, die Bedeutung des gefrorenen Bodens und der Schneeanhäufung usw.) zu ermitteln und konkretisieren.

Bedauerlicherweise hat KESSLER seine Untersuchungen für die Ermittlung der Gesetzmässigkeiten in der Verteilung der monatlichen Durchschnittsversickerung an der Tettye-Quelle unternommen, deren verkarstetes Einzugsgebiet nicht einmal zuverlässig umgrenzt werden kann, Deshalb und z. T. auch deswegen, dass die die richtige Beurteilung der Frage störend beeinflussenden, exogenen Zusatzwerte auch von KESSLER

von der Wasserschüttung der Téttye-Quelle nicht abgerechnet worden sind — obwohl die *Proportionen* der von ihm für die einzelnen Monate angegebenen Versickerungsprozentsätze mit bezug auf das Mecsekgebirge belehrend sein können —, halten wir die Verallgemeinerung der *Größenordnung* der angeführten Prozentsätze auf alle Karstgebiete für unzweckmässig und unannehmbar.

Wie es im vorhergehenden schon darauf hingewiesen wurde, wird heutzutage immer wichtiger, den kennzeichnenden Wert des Anteiles der dauerhaften Karstversickerung zu bestimmen. Wenn nämlich es gelänge, durch eine lange Reihe systematischer Messungen und Berechnungen die *Größenordnung der Karstversickerung* für wenigstens ein paar verkarstete Einzugsgebiete von genau bekannter Oberflächenausdehnung aus der Wasserschüttung der zu den einzelnen karsthydrologischen Einheiten gehörigen Quelle oder Quellen zuverlässig zu ermitteln, so an Hand dieses Wertes könnten wir die aus dem Karst dauerhaft gewinnbare Wassermenge, bzw. das faktische verkarstete Einzugsgebietkessel selbst auch für andere, *ähnliche* Gegenden annehmlich bestimmen. Wären nämlich diese zwei Werte bekannt, so bliebe in der Gleichung [1] nur eine Unbekannte, so dass die Gleichung schon gelöst werden könnte.

Unbekannte Seite

Bekannte Seite

$$(3) \quad \left( \begin{array}{c} \text{Schüttung (dauerhaft} \\ \text{gewinnbare Wasser-} \\ \text{menge)} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Einzugs-} \\ \text{gebiet} \end{array} \right) \cdot \left( \begin{array}{c} \text{Anteil des} \\ \text{versickerten} \\ \text{Niederschlages} \end{array} \right)$$

oder:

$$(4) \quad \left( \begin{array}{c} \text{Einzugsgebiet} \end{array} \right) = \left( \frac{\text{Schüttung}}{\text{Anteil des versickerten Niederschlages}} \right)$$

oder:

$$(5) \quad \left( \begin{array}{c} \text{Anteil des versickerten} \\ \text{Niederschlages} \end{array} \right) = \left( \frac{\text{Schüttung}}{\text{Einzugsgebiet}} \right)$$

Im *Aggteleker Karstgebiet* waren wir in der günstigen Lage, dass die verkarsteten und unverkarsteten Einzugsgebiete der einzelnen Karstquellen verhältnismässig genau bestimmt werden konnten und dadurch ermöglicht wurde, den Anteil der dauerhaften Karstversickerung auch auf Grund konkreter Messungen und Berechnungen zu ermitteln. Im folgenden Teil dieser Arbeit werden letztere Untersuchungen und deren Ergebnisse erörtert.

### Untersuchungen im Aggteleker Karstgebiet, welche die Berechnung der Werte der dauerhaften Karstversickerung ermöglichten

Die Grösse des zur Karstquelle gehörigen (verkarsteten und unverkarsteten) Einzugsgebietes kann am genauesten im Falle der Komlós-Quelle bei Jósvalfó bestimmt werden. Das unterirdische, karstische Einzugsnetz (Béke-Höhle) dieser Quelle ist nämlich fast vollkommen erkundet und auch die Fläche des Einzugsgebietes der exogenen (akzessorischen) Wassermengen sich am Terrain mit befriedigender Genauigkeit bestimmen lässt.

Das verkarstete Einzugsgebiet der *Komlós-Quelle* (Béke-Höhle) wird an der W-Seite durch das Streichen des *Baradla-Systems* deutlich abgesperrt und seine östlichen Grenzen werden durch die Linien des Kontaktes mit den Einzugsgebieten der *Kajta-Quelle*, und der *Égerszöger Szabadság-Höhle*, welche gesonderte Karstwassereinheiten darstellen, ebenfalls determiniert. Seine südliche Grenze deckt sich mit den morphologisch deutlich abgesonderten Grenzen des unverkarsteten Einzugsgebietes, und als nördliche Grenze dient die lokale Erosionsbasis, die auch für die Lage der Quelle bestimmend ist.

Die östlichen und westlichen Grenzen des verkarsteten Einzugsgebietes können auch an Hand geomorphologischer Beobachtungen gezogen werden. Die Grenze des in solcher Weise bestimmten Einzugsgebietes ist mit den hydrologischen Grenzen der Einzugsgebietkessel der Baradla-Höhle und der Kajta-Quelle, bzw. der Egerszöger Höhle (Kecskekút-Quelle) identisch. Deswegen widerspiegelt das in Abb. 1 dargestellte verkarstete und unverkarstete Einzugsgebiet der Komlós-Quelle die Wahrheit relativ treulich.

Die untersuchte Gesamtfläche des Einzugsgebietes beträgt 5,67 km<sup>2</sup>. Davon sind 1,84 km<sup>2</sup> unverkarstete (pannonische schottrige Tone) und 3,83 km<sup>2</sup> verkarstete (Triaskalksteine stellenweise mit „terra rossa“ oder Waldboden bedeckte) Oberfläche.

Die in der Frage stehende, von uns analysierte Karstwassereinheit ist eine von den anderen Karstwassereinheiten des Gebirges (die der Jósvalfó-Quelle, der Kecskekút-Quelle, der Kajta-Quelle usw.) *deutlich differenzierte, selbständige hydrologische Einheit mit unabhängigem Karstwasserhaushalt*, die mit den benachbarten karsthydrologischen Einheiten nicht einmal periodisch und nicht einmal beim hohen Wasserstand in den unterirdischen Gängen verbunden ist. Das ist durch sorgfältige und mehrmals wiederholte Wasserfärbungen zweifellos bewiesen worden (8—11).

Die behandelte karsthydrologische Einheit kann Wasser ausser der an ihrem nördlichen Rand befindlichen Erosionsbasis in keine andere Richtung abgeben. Deswegen ist selbstverständlich, dass die dem an der Oberfläche des Einzugsgebietes dauerhaft versickerten Niederschlagsanteil entsprechende Wassermenge, sowie die von der Oberfläche des unverkarsteten Einzugsgebietes in die Karsteinheit einrinnenden Wassermengen gemeinsam im tiefest gelegenen Punkt des Geländes (an der Stelle der Komlós-Quelle bei Jósvalfó) aus dem hydrologischen System herausreten.

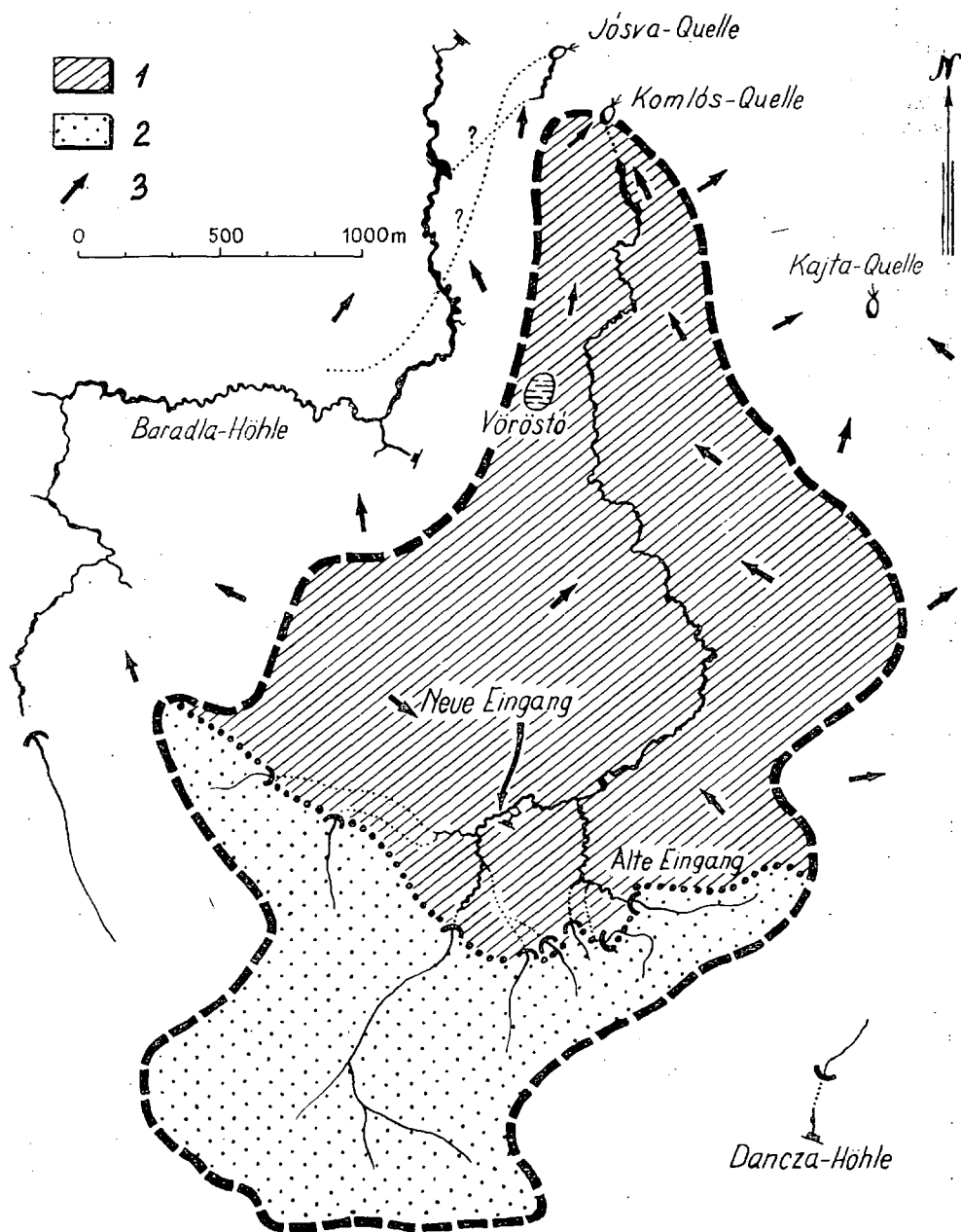


Abb. 1. Das vollständige verkarstete und unverkarstete Einzugsgebiet der Komlós-Quelle (Béke-Höhle) bei Jósvalfő (5,67 km<sup>2</sup>).  
 Zeichenerklärung: 1 — verkarstete Wassersammelfläche, 2 — unverkarstete (exogene) Wassersammelfläche, 3 — Richtung der Wasserströmung in der Tiefe.

Die Schüttung der Komlós-Quelle (die in der Umgebung der Hauptquelle auftretenden ein paar weniger ergiebigen Unterwasserquellen mit einbegriffen, deren Zugehörigkeit zum Quelltopf der Komlós-Quelle durch unsere Färbungsversuche nachgewiesen wurde) ist also der Summe der Wassermengen gleich, die an der 5,67 km<sup>2</sup> grossen Wassersammelfläche dauerhaft versickerten, bzw. auf exogenem Wege abflossen. Wenn wir also die Gesamtschüttung der Hauptquelle und der Unterwasserquellen auf der Grundlage von während langer Periode durchgeführten Beobachtungen bestimmen und vom erhaltenen Wert den ausserhalb des Karstes stammenden, exogenen Schüttungsanteil abziehen, *lässt sich der Anteil der dauerhaften Karstversickerung des Einzugsgebietes berechnen.*

In einer früher veröffentlichten Abhandlung [12] haben wir unsere Erkenntnisse, bzw. Methoden, welche die sichere Unterscheidung und Trennung der endogenen (Typus A) und exogenen (Typus B) Schüttungsanteile der Komlós-Quelle von Jósvalfő und die Ermittlung der Schüttungsanteile verschiedenen Ursprungs ermöglichen bereits auseinandergesetzt. Deshalb — um Wiederholungen zu vermeiden — sollte hier auf diesen wesentlichen Teil der Frage nicht eingegangen werden. Da aber die jährliche Gesamtwasserschüttung der Quelle konkret gemessen werden kann und sowohl das aus tatsächlicher Karstversickerung stammende Komponent (Typus A), wie auch das exogene Flutwasserkomponent (Typus B) — woraus sich die Gesamtschüttung zusammensetzt — sich ermitteln lassen, können wir durch die auf diesen Messungen basierten Berechnungen zur realen Beurteilung der uns interessierenden Frage gelangen.

Unsere Beobachtungen dauerten 5 Jahre lang (1954—1958). Die angesammelten Daten sind in Tabelle I zusammengefasst.

Die erste Kolonne der Tabelle enthält die mm-Werte des Jahresniederschlags nach den Angaben der Jósvalfőer Ombrometer-Station. Die zweite Kolonne zeigt die Gesamtmenge des Niederschlages in m<sup>3</sup>, die sich aus der Fläche des Einzugsgebietes (5,67 km<sup>2</sup>) und dem mm-Wert des Jahresniederschlages ergibt. Die dritte Kolonne gibt die gemessene jährliche Gesamtwasserproduktion der Komlós-Quelle (und der damit verbundenen Unterwasserquellen) ebenfalls in m<sup>3</sup> an. In der 4. und 5. Kolonne der Tabelle werden die Verdunstungs- und Versickerungswerte, die aus der Gesamtmenge des auf das Gebiet gefallenen Niederschlages und aus der Gesamtschüttung der Quelle berechnet worden sind, in mm-Werten des Niederschlages und im Prozentsatz der Gesamtmenge des Niederschlages angegeben. In diesen Werten sind auch noch die akzessorischen (von unverkarsteten Sammelflächen abgeflossenen, also eigentlich nicht eingesickerten, sondern die Höhlengerinne lediglich durchströmten, zum Typus B gehörigen) Flutwässer mit einbegriffen. Diesen äusserst wichtigen, aber von den früheren Verfassern oft ausser Acht gelassenen Umstand müssen wir wiederholt unterstreichen, da infolgedessen die Ziffern der 5. Kolonne *nicht die Prozentsätze der Karstversickerung, sondern grössere, vom Gesichtspunkt der Wasserwirtschaftsplanung aus ir-reale Werte ausdrücken.* Die in der Arbeit [12] veröffentlichten Schüttungskurven wurden sorgfältig ausgewertet und der Anteil der zum Typus



TABELLE I

Jahr	Jahresniederschlag (mm)	Gesamtmenge des Jahresniederschlag im Einzugsgebiet (m <sup>3</sup> )	Jahresschüttung der Komlós-Quelle + Unterwasserquellen (m <sup>3</sup> )	Verdunstung		Versickerung und Abfluss insgesamt		Schüttung Typus B der Komlós-Quelle		Schüttung Typus B in % der Gesamt- niederschlagsmenge	Schüttung Typus A der Komlós-Quelle		Schüttung Typus A der Quelle in % der Gesamt-niederschlags- menge (Werte der dauerhaften Karst- versickerung)
				(mm)	(%)	(mm)	(%)	(m <sup>3</sup> )	In % der Gesamt- schüttung		(m <sup>3</sup> )	In % der Gesamt- schüt- tung	
	1	2	3	4		5		6		7	8		9
1954.	709,2	4 021 164	517 131	618,4	87,2	90,8	12,8	269 568	52,1	6,7	247 743	47,9	6,1
1955.	867,2	4 917 224	1 441 195	613,1	70,7	254,1	29,3	1 079 481	75,5	21,9	361 714	24,5	7,4
1956.	558,2	3 164 994	535 991	463,9	83,1	94,3	16,9	160 953	30,0	5,1	375 038	70,0	11,8
1957.	567,6	3 218 292	192 369	534,1	94,1	33,5	5,9	25 920	13,4	0,8	166 449	86,6	5,1
1958.	669,6	3 796 632	473 990	585,9	87,5	83,7	12,5	227 750	48,0	6,0	246 240	52,0	6,5
Durch- schnitt für 5 Jahre	674,3	3 823 661	632 135	565,0	84,5	111,3	15,5	352 734	43,8	8,1	279 437	56,2	7,5

B gehörigen, exogenen Zuflusswassermengen daraus berechnet. Die somit erhaltenen Werte sind in der 6. und 7. Kolonne angegeben. Schliesslich sind in der 8. und 9. Kolonne die für uns wichtigsten Angaben, und zwar die Werte der faktischen Karstversickerung zusammengefasst.

Die Angaben der Tabelle führen uns zur überraschenden Schlussfolgerung, dass im Aggteleker Karst der Wert der dauerhaften Karstversickerung ausserordentlich klein und jedes Jahr annähernd gleich ist (5,1 bis 11,8% der Gesamtmenge des Niederschlages!). Der Wert des exogenen Schüttungsanteiles vom Typus B ist dagegen vielmehr veränderlichen und schwankt in der fünfjährigen Beobachtungsperiode zwischen ganz kleinen (8,0%) und bedeutend grösseren Werten (21,9%). Aus diesem sehr interessanten Zusammenhang bieten sich zum Schluss folgende prinzipielle Feststellungen:

1. Die Schüttungsschwankungen exogener Natur (Typus B) der vom Einzugsgebiet gemischter Lithologie gespeisten Karstquellen sind zwar von grossem Ausmass, aber ziemlich zufällig. Eben deswegen darf man bei der Bestimmung der massgebenden Jahresschüttung der Quelle diesen Schüttungsanteil nicht mit einrechnen und bei der Projektierung von Wasserwerken darauf nicht basieren.
2. Die Erneuerung der Karstwasservorräte durch dauerhafte Karstversickerung (in Ungarn) entspricht in einem mit Pflanzen bewachsenen, verkarsteten Einzugsgebiet 5 bis 12% der Gesamtmenge des Jahresniederschlages (in Aggtelek beträgt dieser Wert 7,5% im massgebenden mehrjährigen Durchschnitt). Die Grössenordnung dieses Wertes wird durch die Unterschiede in den Durchschnitten der Jahresniederschlagsmengen kaum beeinflusst. Die Menge des dem Aggteleker Einzugsgebietkessel und analogen Karstquelltlöpfen dauerhaft entnommenen Wassers darf also 7—8% des Durchschnittes der Gesamtmenge des auf die betreffende Sammelfläche herabgefallenen Niederschlages nicht übersteigen, ohne die Wasservorräte zu schädigen.
3. Das Mass der Jahresverdunstung in Karstgebieten, deren Natur und Klima denjenigen des Aggteleker Karstes ähnlich sind, schwankt in Extremfällen zwischen 70 bis 95% der Gesamtmenge des Niederschlages und seine Regelmässigkeit hängt vor allem vom Anteil der an der Oberfläche abfliessenden Wassermengen Typus B ab.

Es sollte betont werden, dass der Anteil der an der Oberfläche abfliessenden Niederschläge (exogene Wässer oder Wässer Typus B) zwar durch die in den verschiedenen Jahreszeiten oder Monaten auftretenden Veränderungen in der Niederschlagsintensität entscheidend beeinflusst werden kann, betrifft dieser Umstand die Stärke der dauerhaften Karstversickerung bloss in untergeordnetem Masse. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die gegenseitige Verhältnisse der Verdunstung, des oberirdischen Abflusses und der Versickerung auch durch die Pflanzendecke und im allgemeinen durch die Abart des das Karstgestein bedeckenden Bodens entscheidend beeinflusst wird. Vom Gesichtspunkt des Jahresdurchschnittes der Schüttung des für Karstwassergewinnung massgebenden Karstwassers A aus sind jedoch diese sich von Jahr zu Jahr, bzw. von Jahreszeit zu Jahreszeit periodisch ändernden Verhältnisse — innerhalb einer

und derselben karsthydrologischen Einheit — nicht bedeutend, da sie bloss innerhalb der Jahresperiode auftretende, *kleinere Schüttungsschwankungen* verursachen.

Ganz anders kann aber der Anteil des dauerhaft einsickernden Niederschlages in wüsten Karstgebieten — wo die Pflanzendecke und die das Karstgestein bedeckende Bodenschicht fehlen — sich gestalten, da in solchen Gebieten der wichtigste, wasserverdunstende Faktor, die Vegetation fehlt. Deshalb lohnt es sich vergleichsweise den dauerhaft versickernden Niederschlagsanteil auch innerhalb einer karsthydrologischen Einheit mit vollkommen verödeter Sammelfläche zu bestimmen. Ebenso, wie bei der Methode, die in der karsthydrologischen Einheit der Komlós-Quelle angewandt wurde, wäre es natürlich auch hier am zweckmässigsten, wenn man allgemeine Schlussfolgerungen erst nach mehrere Jahre langen Beobachtungen zu machen versuchte. Wenn wir dann die in dieser Weise erhaltenen Werte mit den Ergebnissen der von uns bis jetzt durchgeführten Untersuchungen — die im wesentlichen für durch Vegetation gedeckte karsthydrologische Einheiten gültig sind — verglichen, so würde auch die Grössenordnung der offenbar bedeutenden versickerungshemmenden Rolle der Vegetation und der dünnen, humösen Oberflächensbodenschicht geklärt.

Leider ist es unmöglich, Untersuchungen solcher Natur in Ungarn durchzuführen, da es in unserem Land keinen karstischen Einzugsgebietessel mit vollkommen wüster Oberfläche gibt. Gerade deswegen haben wir feste Gründe dafür, um die in dieser Arbeit dargelegten Ergebnisse als allgemein gültig für die ungarischen Karstgebiete anzunehmen.

### **Berechnung des Anteiles der Versickerung im Falle einer künstlich beschränkten Wassersammelfläche**

Die von uns im Einzugsgebiet der Komlós-Quelle (Béke-Höhle) vorgenommenen Karstversickerungs-Messungen und -Berechnungen lieferten so überraschend kleine Werte, dass wir sie mit den in der Literatur veröffentlichten [1—7], viel grösseren Werten des Versickerungsanteiles (30 bis 70%) keineswegs in Einklang bringen konnten. Deshalb versuchten wir, die karstische Wassersammelfläche der Komlós-Quelle auf einen schmaleren Raum zu beschränken, als das früher bestimmt worden war. (Das unverkarstete Einzugsgebiet darf man auf keiner Weise schmälern, weil dessen Grenzen die Wasserscheidenlinien ganz eindeutig bestimmen.)

Die in *Abb. 1* dargestellte verkarstete Wassersammelfläche der Béke-Quelle wurde also theoretisch — im Gegensatz zu unseren Grundsätzen: bloss für die Verbesserung der Ergebnisse — vom früher bestimmten 3,83 km<sup>2</sup> auf 2,16 km<sup>2</sup> beschränkt, so dass nunmehr lediglich der den Höhlengang umgebende, etwa Halbkilometer breite Gesteinsstreifen (mitteltriasischer Kalkstein) als karstischer Einzugsessel aufgefasst wurde. Nach dieser irrealen Voraussetzung beschränkte sich die Gesamtfläche der endo- und exogener Einzugsgebiete der Quelle auf 4 km<sup>2</sup>. (*Siehe Kartenskizze 2.*)

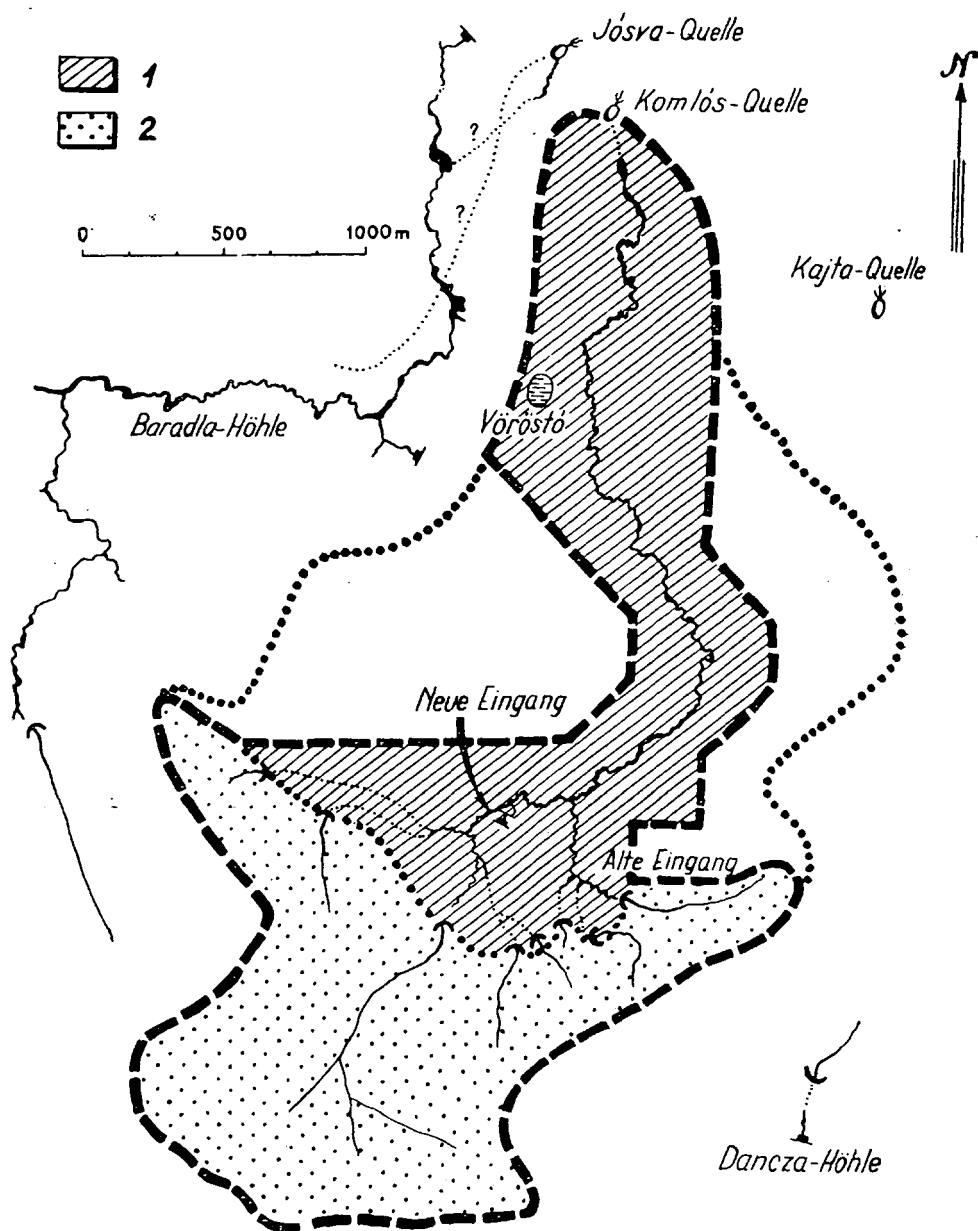


Abb. 2. Das auf 4 km<sup>2</sup> beschränkte, verkarstete und unverkarstete Einzugsgebiet der Komlós-Quelle (Béke-Höhle) bei Jósvalfő.  
 Zeichenerklärung: 1 — verkarstete Wassersammelfläche, 2 — unverkarstete (exogene) Wassersammelfläche.

TABELLE II

Jahr	Jahresniederschlag (mm)	Gesamtmenge des Jahresniederschlags im Einzugsgebiet (m <sup>3</sup> )	Jahresschüttung der Komlós-Quelle + Unterwasserquellen (m <sup>3</sup> )	Verdunstung		Versickerung und Abfluss insgesamt		Schüttung Typus B der Komlós-Quelle		Schüttung Typus B in % der Gesamt- niederschlagsmenge	Schüttung Typus A der Komlós-Quelle		Schüttung Typus A der Quelle in % der Gesamt-niederschlags- menge (Werte der dauerhaften Karstversickerung)
				(mm)	(%)	(mm)	(%)	(m <sup>3</sup> )	In % der Gesamt- schüttung		(m <sup>3</sup> )	In % der Gesamt- schüt- tung	
	1	2	3	4		5		6		7	8		9
1954.	709,2	2 836 800	517 311	580,2	81,8	129,0	18,2	269,568	52,1	9,4	247 743	47,9	8,6
1955.	867,2	3 468 800	1 441 195	507,4	58,5	359,8	41,5	1 079 481	75,5	31,1	361 714	24,5	10,4
1956.	558,2	2 232 800	535 991	424,2	76,0	134,0	24,0	160 953	30,0	7,2	375 038	70,0	16,8
1957.	567,6	2 270 400	192 369	519,9	91,6	47,7	8,4	25 920	13,4	1,14	166 449	86,6	7,2
1958.	669,6	2 678 400	473 990	557,8	82,1	111,8	17,9	227 750	48,0	8,5	246 240	52,0	9,4
Durchschnitt für 5 Jahre	674,3	2 697 440	632 171	517,9	80,0	156,4	22,0	352 734	43,8	13,5	279 437	56,2	10,5

Auch bei der Voraussetzung einer in so irrealen Masse beschränkten Wassersammelfläche berechneten wir den Versickerungsanteil, der sich somit zwar den in der Literatur bis jetzt angenommenen Werten (*siehe Tabelle II*) annäherte, doch wichen die in diesem Falle gewonnenen Werte noch immer sehr stark von ihnen ab. Der Anteil der in den Karst eingesickerten Niederschlagsmenge erhöhte sich nämlich von 7,5%, dem früheren mehrjährigen Durchschnittswert, bis auf 10,5%.

Die Ergebnisse unserer Berechnungen weisen also selbst in diesem Falle darauf hin, dass nicht die originalen Grenzen unseres Einzugsgebietes unrichtig bestimmt worden sind, sondern die in der Literatur festgelegten früheren Standpunkte in der Frage der dauerhaften Karstversickerung weiterentwickelt werden müssen. Wieweit die Klärung dieser Fragen für die Volkswirtschaftsplanung wichtig sind, sollte vielleicht wiederholt nicht betont werden.

### Literatur

1. Böck J.: Pécs városa környékének földtani és vízi viszonyai, Földtani Intézet Évkönyve, 1876. IV. k.
2. Vadász E.: A Mecsek-hegység, Magyar Tájak Földtani Leírása I. Budapest, 1935.
3. Pálffy M.: Adatok Pécs környékének hidrológiájához, Hidrológiai Közöny, 1929. IX.
4. Kessler H.: A beszivárgási százalék és a tartósan kitermelhető vízmennyiség megállapítása karsztvidéken, Vízügyi Közlemények, 1954. 2.
5. — — Újabb adat a beszivárgási görbéhez, Hidrológiai Közöny, 1955. 5—6.
6. — — A karsztvidékek lefolyására és beszivárgására vonatkozó újabb vizsgálatok, VITUKI beszámolója 1956.
7. — — Az országos forrásnyilvántartás, VITUKI Tanulmányok és Kutatási Eredmények, 7. Budapest 1959.
8. Jakucs L.: Aggteleki Cseppkőbarlang, Budapest 1952.
9. — — A Békebarlang felfedezése, Budapest 1953.
10. — — Jelentés az 1953. évi tavaszi karsztvízfestési vizsgálatokról, Földtani Intézet Évi Jelentése 1953.
11. — — Szempontok a Baradla és a Békebarlang összefüggésének kérdéséhez, Természet és Társadalom 1954.
12. — — Az aggteleki barlangok genetikája a komplex forrásvizsgálatok tükrében, Karszt és Barlangkutatás (Évkönyv) 1959. I.