

Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich – Ungarn			A 20 éves magyar-osztrák földtani együttműködés jubileumi kötete		
Redaktion: Harald Lobitzer & Géza Császár			Szerkesztette: Harald Lobitzer & Géza Császár		
Teil 1	S. 369–378	Wien, September 1991	1. rész	pp. 369–378	Bécs, 1991. szeptember
ISBN 3-900312-76-1					

## Isotopenhydrogeologische Untersuchungen in der Großen Ungarischen Tiefebene

Von LAJOS MARTON, LAJOS MIKÓ, DIETER RANK & EDE HERTELENDI\*)

Mit 8 Abbildungen

*Ungarn  
Große Ungarische Tiefebene  
Hydrogeologie  
Isotopendatierung*

### Inhalt

Zusammenfassung .....	369
Összefoglalás .....	369
Abstract .....	369
1. Einleitung .....	370
2. Das isotopenhydrogeologische Forschungsprojekt des MÁFI .....	370
3. Bemerkungen zur Interpretation von Isotopendaten von Wässern der Großen Ungarischen Tiefebene .....	370
3.1. Der Zusammenhang zwischen $\delta D$ - und $\delta^{18}O$ -Werten .....	370
3.2. Isotopenfraktionierung bei der Probenahme von Thermalwässern .....	373
3.3. Zur Altersdatierung der Wässer .....	374
4. Zusammenfassung der bisher vorliegenden Meßergebnisse .....	375
4.1. Abhängigkeit des Deuteriumgehaltes von der Tiefe .....	375
4.2. Der Zusammenhang zwischen $\delta D$ - und $\delta^{18}O$ -Werten von Thermalwässern und die Verschiebung des Sauerstoffisotopenverhältnisses .....	375
4.3. Abweichung der $\delta D$ - $\delta^{18}O$ -Beziehung von der Niederschlagsgeraden .....	376
5. Ausblick .....	377
Literatur .....	377

### Zusammenfassung

Die Arbeit gibt einen Überblick über die Ergebnisse von isotopenhydrologischen Voruntersuchungen in der Großen Ungarischen Tiefebene. Die bisher vorliegenden Meßdaten der von der Ungarischen Geologischen Anstalt (MÁFI) initiierten Untersuchungen geben Hinweise auf Herkunft und Alter der Grundwässer in den quartären und tertiären Beckensedimenten sowie über Infiltrationsgebiete und Grundwasserströmungssysteme. Von einer Weiterführung der Arbeiten werden genauere Aufschlüsse über die Wasserressourcen und die Beckenstruktur der Großen Ungarischen Tiefebene erwartet.

### Izotóphidrogológiai vizsgálatok a Magyar Alföldön

#### Összefoglalás

A tanulmány áttekintést ad az Alföldön végzett előzetes izotóphidrogológiai kutatások eredményeiről. A Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) által kezdeményezett kutatások eddig rendelkezésre álló mérési adatai tájékoztatást adnak a negyed- és harmadidőszakú medenceüledékekben található vizek eredetéről és koráról, valamint a felszín alatti vizek beszivárgási területeiről és áramlási rendszereiről. A munka tovább folytatásától az Alföld vízkészleteinek és a medence szerkezetének pontosabb megismerése várható.

### Isotope Hydrogeological Investigations in the Great Hungarian Plain

#### Abstract

This study provides a survey of the results from preliminary isotope-hydrological investigations in the Great Hungarian Plain. Data previously collected during investigations initiated by the Hungarian Geological Institute (MÁFI) give reference to the ori-

\*) Dipl.-Ing. Dr. LAJOS MARTON, Dipl.-Ing. LAJOS MIKÓ, Ostungarischer Geologischer Dienst der Ungarischen Geologischen Anstalt, Csapó u. 78–80, H-4026 Debrecen, Ungarn; Dipl.-Ing. Dr. DIETER RANK, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Postfach 8, A-1031 Wien; Dr. EDE HERTELENDI, Institut für Kernforschung der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Postfach 51, H-4001 Debrecen, Ungarn.

gin and age of the groundwater in the Quaternary and Tertiary basin sediments, as well as to areas of infiltration and groundwater flow systems. The continuation of these studies is expected to provide more exact information concerning the water resources and basin structure in the Great Hungarian Plain.

## 1. Einleitung

Isotopenmethoden haben sich seit Jahren einen festen Platz bei der Lösung hydrogeologischer Fragen gesichert. Die Entwicklung der Isotopenmeßtechnik im letzten Jahrzehnt hat es ermöglicht, daß Isotopenmessungen heute in großem Maßstab für hydrogeologische Untersuchungen eingesetzt werden können. Stand zunächst der Einsatz künstlicher Markierungsstoffe im Vordergrund, so hat sich der Schwerpunkt in der Folge immer mehr zur Interpretation der natürlichen Isotopenverhältnisse im Wasserkreislauf hin verlagert. Bei alten Grundwässern lassen sich zusätzlich aus dem Isotopenaustausch zwischen Wasser und Gestein Aussagen über das hydrogeologische System ableiten.

Die Anfänge der Isotopenuntersuchungen in der Großen Ungarischen Tiefebene reichen in die siebziger Jahre zurück. Nach ersten Untersuchungen (J. DEÁK, 1978) beauftragte das MÁFI VITUKI mit Isotopenmessungen an Wasserproben aus Beobachtungsbrunnen. Die Ergebnisse – 45 Altersdatierungen mit  $^3\text{H}$  und  $^{14}\text{C}$  sowie 150 Messungen von Verhältnissen der stabilen Isotope – sind im Bericht „Die Wasseraltersbestimmung in den Beobachtungsbrunnen des MÁFI, ein zusammenfassender Bericht für MÁFI über die Analysen von Umweltsotopen im Zeitraum 1978–83“ enthalten (VITUKI, 1983). Die Verhältnisse der stabilen Isotope wurden im Zentralinstitut für Werkbau (KBFI) untersucht, die  $^3\text{H}$ - und  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen bei VITUKI. Obwohl diese Untersuchungen einige Mängel aufwiesen – Probenahme, Probenlagerung –, brachten sie doch bedeutende neue Erkenntnisse über die Grundwasserströmung in der Großen Ungarischen Tiefebene und die K-Werte der wasserführenden Schichten, abgeleitet aus den  $^{14}\text{C}$ -Daten. Es wurde festgestellt, daß

„... in den beiden hydrogeologischen Profilen Gyöngyös-Kisköre und Kunszentmiklós-Csongrád das Wasseralter in horizontaler und in vertikaler Richtung zunimmt und daß die aus  $^{14}\text{C}$ -Werten ermittelten Filtergeschwindigkeiten und K-Werte geringer als die aus den hydraulischen Daten erhaltenen Werte sind ...“

Eine weitere Feststellung ist, daß

„... die niedrigeren D-Gehalte in Wässern, die älter als 10.000 Jahre sind, eine Veränderung des Paläoklimas anzeigen ...“

Parallel zu diesen Untersuchungen liefen durch eineinhalb Jahrzehnte isotopenhydrologische Arbeiten des Ostungarischen Planungsbüros, Debrecen, die sich in erster Linie mit der Herkunft, dem Alter und den Strömungsverhältnissen der Wässer in den pleistozänen Schichten der Nyírség befaßten (L. MARTON et al., 1980). Die Isotopenuntersuchungen wurden seit 1973 an der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, ausgeführt. Weiters wirkten an diesen Arbeiten Mitarbeiter der Ostungarischen Wasserwirtschaftsdirektion und später des MÁFI/Ostungarischer Geologischer Dienst mit.

Mit Hilfe der Isotopendaten aus der Nyírség ließ sich die Niederschlagsinfiltration bestimmen und über Modellrechnungen auch andere hydrologische Parameter. In der Mitte der Nyírség beträgt die durch die gering durchlässigen mittelpleistozänen Schichten in die unterpleistozänen Schichten sickernde Niederschlags-

wassermenge ungefähr  $W = 20 \pm 2$  mm/a. Gegen die Randbereiche zu nimmt dieser Wert allmählich ab. Der Mittelwert über die ganze Nyírség beträgt  $7 \pm 1$  mm/a. Mit herkömmlichen Methoden können so geringe Grundwassererneuerungsraten nicht nachgewiesen werden. Die Einsickerung in die oberpleistozänen Schichten ist naturgemäß größer. Die Filtergeschwindigkeiten in den unterpleistozänen Schichten betragen  $v_f = 1-2$  m/a, die K-Werte bewegen sich zwischen 1700 und 7000 m/a. Die  $^{14}\text{C}$ -Alter der Wässer liegen in der Mitte der Nyírség bei 7000–9000 Jahren, gegen die Ränder steigen die Alter auf 20.000–27.000 Jahre an (Abb. 1). Dies entspricht dem hydraulischen Strömungsbild. Abb. 2 zeigt die Potentialverteilung und das Strömungsbild im Längsprofil N–S durch die Nyírség. In Abb. 3 sind für die oberen 70 km eines idealisierten 100 km langen Längsprofils durch die Nyírség – von der Wasserscheide der Nyírség in Richtung Nyíradony–Ujléta–Pocsaj – die aus dem isotopenhydrologischen Modell ermittelten Filtergeschwindigkeiten und Zu- bzw. Abflußraten (W) eingetragen.

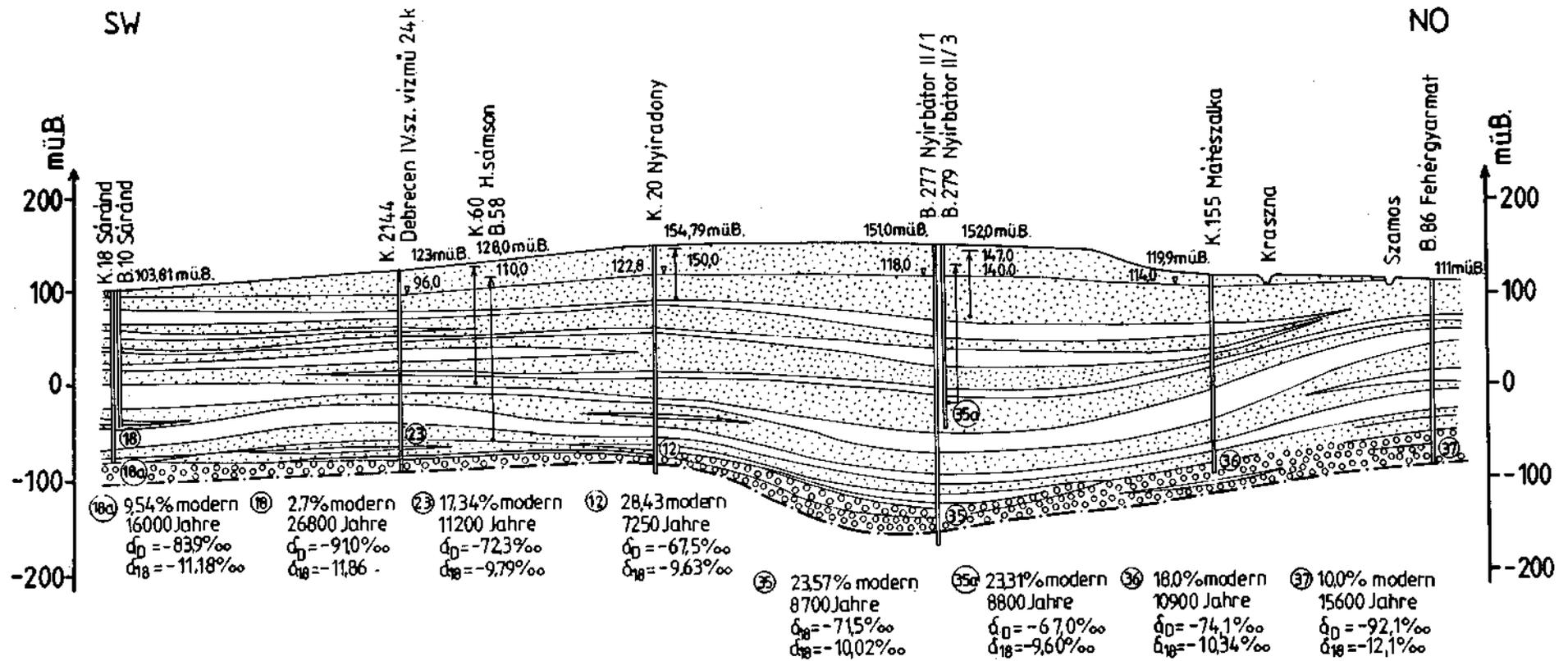
## 2. Das isotopenhydrogeologische Forschungsprojekt des MÁFI

1985 startete der Ostungarische Geologische Dienst (MÁFI, Debrecen) ein Forschungsprojekt unter dem Titel „Isotopenhydrogeologische Untersuchungen der ostungarischen Untergrundwässer“. Ziel der Arbeiten ist die Ermittlung der Wasserressourcen der Großen Ungarischen Tiefebene und die Untersuchung des Mechanismus der Grundwassererneuerung mit Hilfe von Isotopenmessungen (L. MARTON und L. MIKÓ, 1989).

Unter der Großen Ungarischen Tiefebene – der zentralen Einsenkung des Karpatenbeckens, des größten Sedimentbeckens Europas – lagern riesige Süßwasservorräte, die einen wertvollen Bodenschatz darstellen. Die in den pleistozänen und pannonen Schichten enthaltenen Wässer sind bis heute nicht durch anthropogene Schadstoffe kontaminiert, erhöhte Schadstoffkonzentrationen (z. B. Eisen, Mangan, Arsen) in einzelnen Bereichen sind natürlichen Ursprungs. Für Maßnahmen zum Schutze der für Trinkwasserzwecke genutzten Wasservorkommen vor natürlichen und anthropogenen Kontaminationen ist eine genauere Erforschung der hydrogeologischen Verhältnisse der Großen Ungarischen Tiefebene notwendig.

## 3. Bemerkungen zur Interpretation der Isotopendaten von Wässern der Großen Ungarischen Tiefebene

Die Grundlagen zur Interpretation von Isotopendaten werden im folgenden als bekannt vorausgesetzt, hierfür wird auf die allgemeine Fachliteratur verwiesen. Wichtig ist, daß Isotopendaten nicht für sich allein, sondern



Die Wasseralter wurden mit  $C_0 = 70\%$  modern berechnet

0 5 10 km

- Lehm, Schluff, Ton
- Sand
- Kies, Grobsand

Abb. 1.  
Allgemeines hydrogeologisches Profil durch das Nyirgebiet (Nyírség).

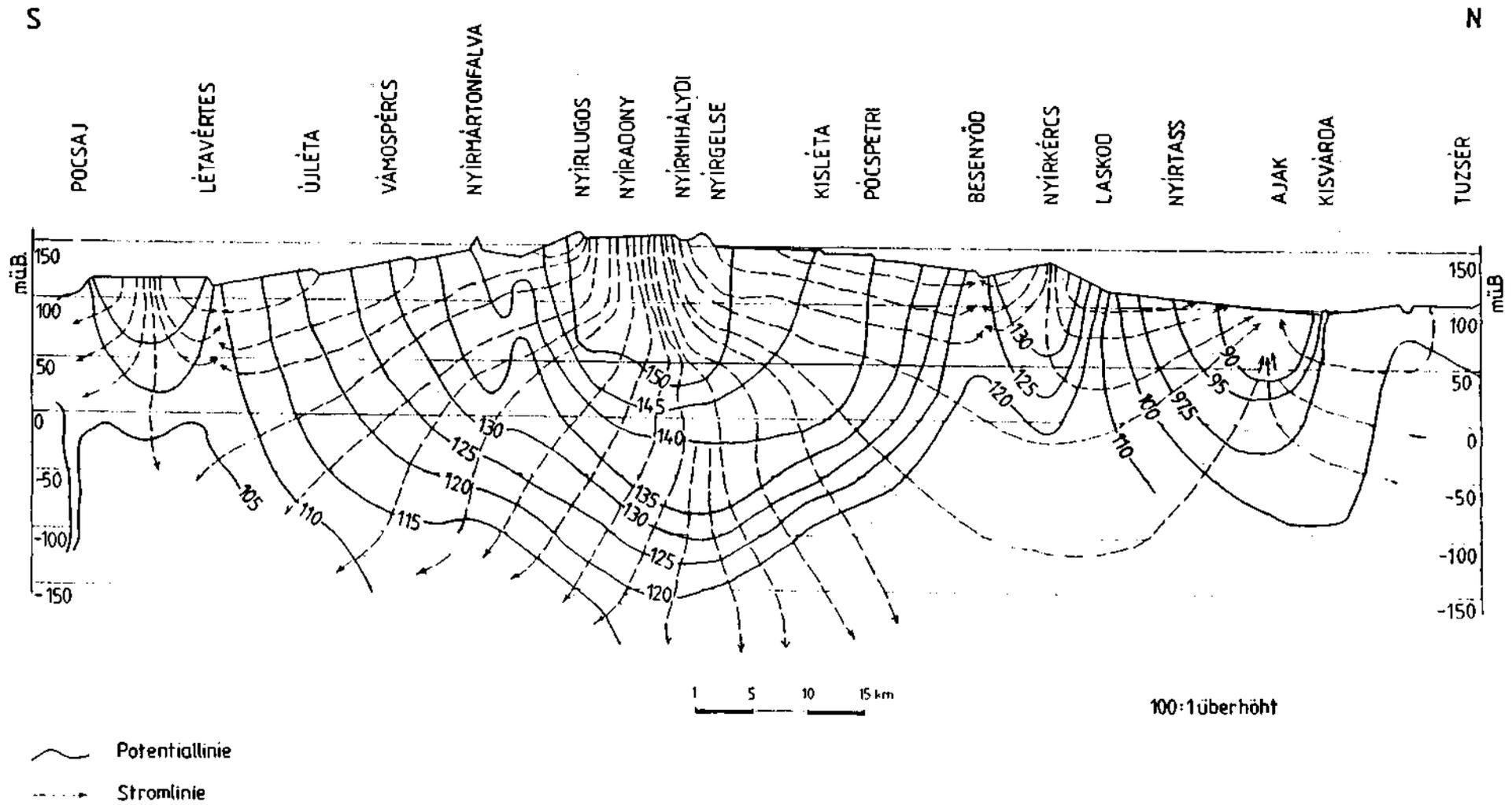


Abb. 2.  
Potentialverteilung in einem Längsprofil durch die Nyírség.

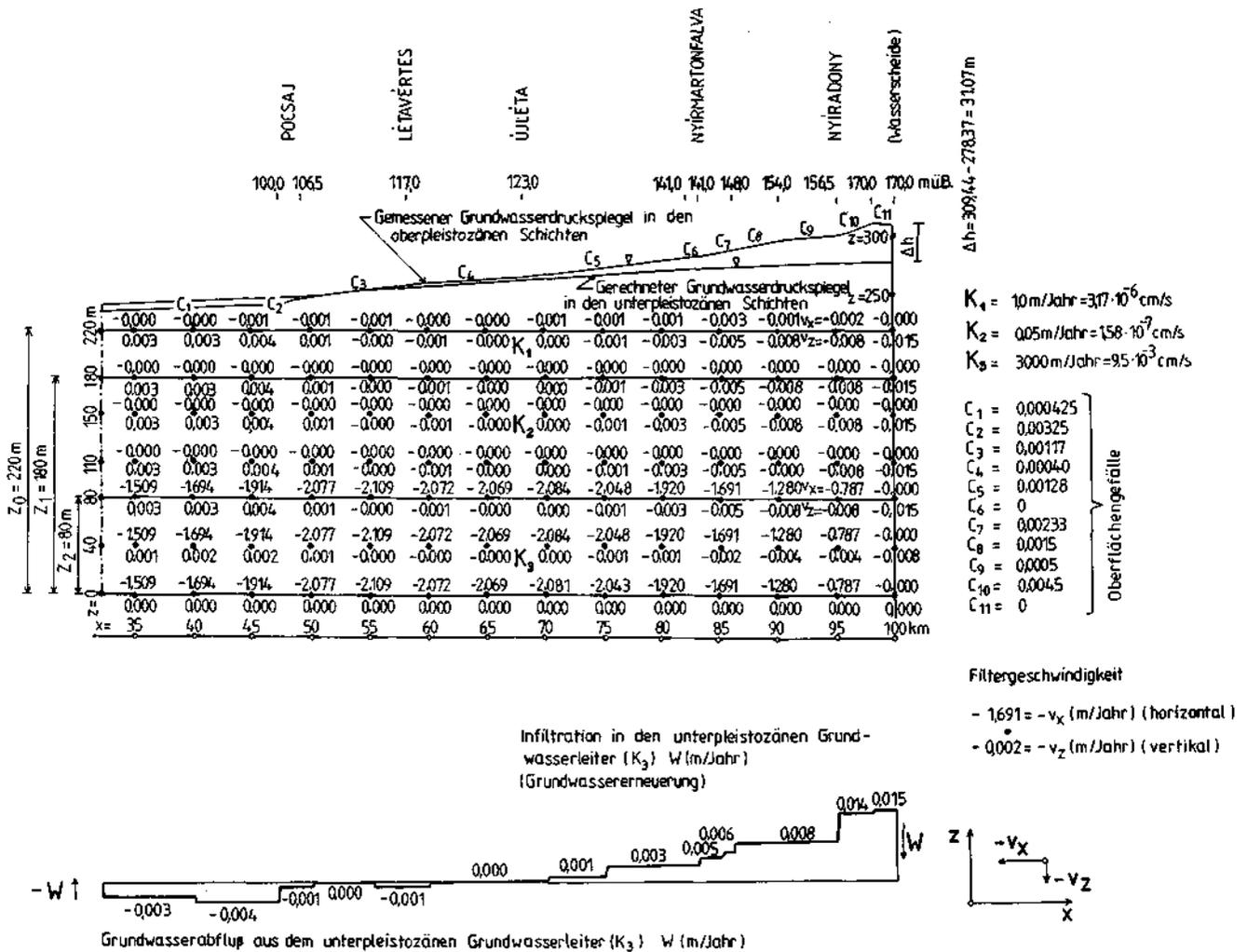


Abb. 3. Filtergeschwindigkeitskomponenten des Grundwassers in den pleistozänen Formationen.

in einer Zusammenschau mit hydrologischen und geologischen Ergebnissen interpretiert werden.

### 3.1. Der Zusammenhang zwischen $\delta D$ - und $\delta^{18}O$ -Werten

Die Verhältnisse der stabilen Isotope von Wasserstoff und Sauerstoff geben Hinweise auf die Herkunft von Wässern. Während bei jungen Wässern im allgemeinen die Messung eines der beiden Isotopenverhältnisse genügt – feste Beziehung zwischen  $\delta D$  und  $\delta^{18}O$  – ist für dieses Projekt die Messung beider notwendig. Ein Grund dafür ist, daß es bei Thermalwässern mit steigender Temperatur durch Isotopenaustausch mit dem Gestein zu einer Verschiebung des  $^{18}O$ -Gehaltes kommt. Dieser Austausch ist unter  $100^\circ C$  nicht groß, kann darüber aber bedeutend sein. Ein anderer Grund ist, daß sich die  $\delta D$ - $\delta^{18}O$ -Beziehung im Lauf der Erdgeschichte geändert hat. Während für den modernen Niederschlag die Beziehung  $\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 10$  gilt, war während der letzten Eiszeit wegen der stärkeren Anreicherung von  $^{18}O$  in den Ozeanen die Beziehung  $\delta D = 7,9 \cdot \delta^{18}O$  charakteristisch (R. S. HARMON und H. P. SCHWARZ, 1981).

In Abb. 4 wird an Hand einiger Daten von unterschiedlich alten Wässern aus der Nyírség diese Änderung

illustriert. Faßt man diese Daten als homogene Menge auf, so erhält man die unrealistische Beziehung  $\delta D = 10 \cdot \delta^{18}O + 29$ . Durch Aufspalten in Altersgruppen erhält man wieder Beziehungen mit der Steigung 8.

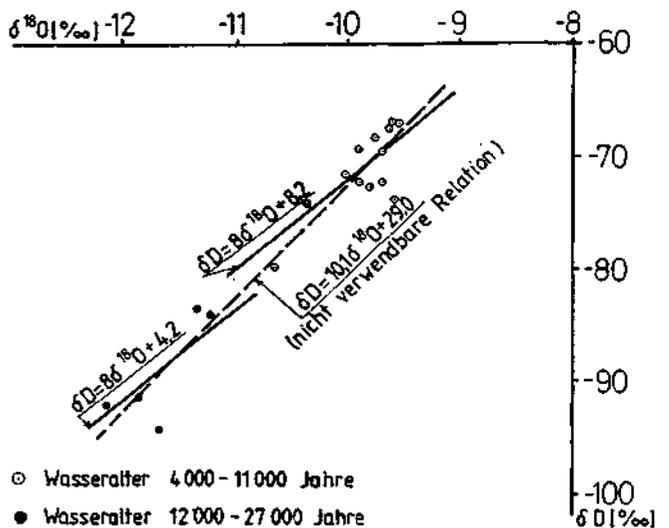


Abb. 4.  $\delta D$ - $\delta^{18}O$ -Beziehung von Grundwässern der Nyírség.

### 3.2. Isotopenfraktionierung bei der Probenahme von Thermalwässern

Bei der Probenahme von Thermalwässern kann es zu Isotopenfraktionierungen kommen. Beträgt die Wassertemperatur im Untergrund mehr als 100°C, so kommt ein Gemisch aus Wasser und Dampf an die Erdoberfläche, wobei in der Wasserphase D und <sup>18</sup>O angereichert sind. Nach B. ARNASON (1977) lassen sich die ursprünglichen Isotopenverhältnisse aus folgenden Beziehungen errechnen:

$$\delta D_o = \delta D_L - 4,63 \left( \frac{t_o}{100} - 1 \right)$$

$$\delta^{18}O_o = \delta^{18}O_L - 0,975 \left( \frac{t_o}{100} - 1 \right)$$

$\delta D_L$  und  $\delta^{18}O_L$  bezeichnen den D- und <sup>18</sup>O-Gehalt des austretenden Wassers,  $t_o$  (°C) ist die Sohlentemperatur im Speicher. Beispielsweise betrug bei der Bohrung Dévaványa-12 die Schichttemperatur in 2400 m Tiefe 142°C. Die gemessenen Isotopengehalte des ausfließenden Wassers betragen

$$\begin{aligned} \delta^{18}O_L &= -0,1 \text{ ‰;} \\ \delta D_L &= -22,3 \text{ ‰.} \end{aligned}$$

Die korrigierten Werte sind

$$\begin{aligned} \delta^{18}O_o &= -0,51 \text{ ‰;} \\ \delta D_o &= -24,24 \text{ ‰.} \end{aligned}$$

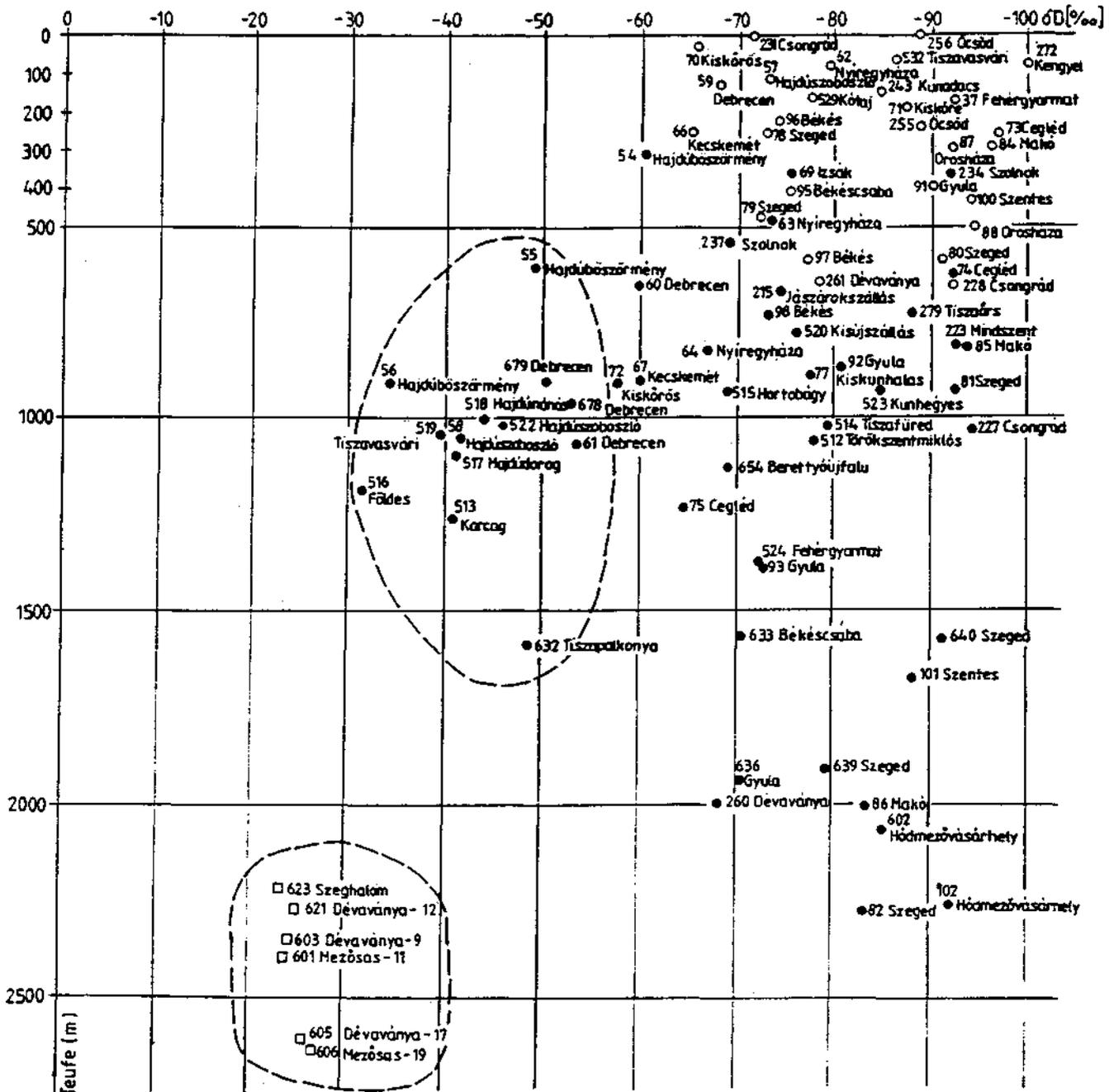


Abb. 5. Abhängigkeit des Deuteriumgehaltes von Grundwässern der Großen Ungarischen Tiefebene von der Teufe. ○ = Holozän und Pleistozän; ● = Pannon; □ = älter als Pannon.

### 3.3. Zur Altersdatierung der Wässer

Als Wasseralter wird jene Zeitspanne bezeichnet, die seit dem Auftreffen des Niederschlages auf die Erdoberfläche bzw. seit dem Einsickern in den Untergrund vergangen ist. Für die Datierung älterer Wässer kommt in erster Linie die  $^{14}\text{C}$ -Methode in Betracht. Der Datierungsbereich beträgt maximal 40.000 Jahre, mit Beschleunigern kann dieser Bereich noch erweitert werden. Dies reicht für die sich in tiefen, regionalen Strömungssystemen bewegendes Wasser der Großen Ungarischen Tiefebene nicht aus. Ein Problem bei der  $^{14}\text{C}$ -Datierung ist die chemische Reaktivität des Hydrogenkarbonat-Ions. Durch die Lösung von fossilem Kohlenstoff aus dem Bodenkalk wird so der  $^{14}\text{C}$ -Anfangsgehalt des Grundwassers verändert und damit die Interpretation erschwert bzw. ungenauer. Je nach den Oberflächenverhältnissen des Untersuchungsgebiets wird mit  $^{14}\text{C}$ -Anfangsaktivitäten von 60 bis 85 % modern gerechnet, für diese Arbeit wurde von 70 % modern ausgegangen. Für hydraulische Berechnungen spielt die Anfangsaktivität keine Rolle, da hierfür Altersunterschiede zwischen einzelnen Probenahmestellen verwendet werden. Sie hängen nicht von der eingesetzten Anfangsaktivität ab.

Für höhere Wasseralter kommt die  $^{36}\text{Cl}$ -Datierungsmethode in Frage. Bei einer Halbwertszeit von 310.000 Jahren beträgt der Datierungszeitraum ungefähr 2 Millionen Jahre (H. W. BENTLEY et al., 1986; F. M. PHILLIPS et al., 1986). Allerdings ist der notwendige analytische Aufwand beträchtlich.

### 4. Zusammenfassung der bisher vorliegenden Meßergebnisse

Mit Rücksicht auf die Größe des Untersuchungsgebietes läßt das bisher vorliegende Datenmaterial keine endgültigen Schlußfolgerungen zu, einige wichtige Feststellungen können aber getroffen werden.

#### 4.1. Abhängigkeit des Deuteriumgehaltes von der Tiefe

Eine gut abgegrenzte – allerdings nur aus wenigen Daten bestehende – Gruppe bilden die Wässer aus der Kohlenwasserstoff-Prospektion mit  $\delta\text{D}$ -Werten von  $-22$  bis  $-25$  ‰ (Abb. 5). Eine weitere Gruppe bilden die Thermalwässer des Gebiets Hajduság mit Werten von  $-30$  bis  $-60$  ‰. Der größte Teil der untersuchten Wässer weist Werte zwischen  $-60$  und  $-95$  ‰ auf. Solche Wässer sind in den pleistozänen und pannonen Schichten bis zu einer Tiefe von 2500 m anzutreffen. Dies weist auf die Existenz von regionalen Strömungssystemen in großer Tiefe hin.

#### 4.2. Der Zusammenhang zwischen $\delta\text{D}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von Thermalwässern und die Verschiebung des Sauerstoffisotopenverhältnisses

Wie zuvor lassen sich auch hier drei Gruppen unterscheiden (Abb. 6). Dem Meereswasser am nächsten lie-

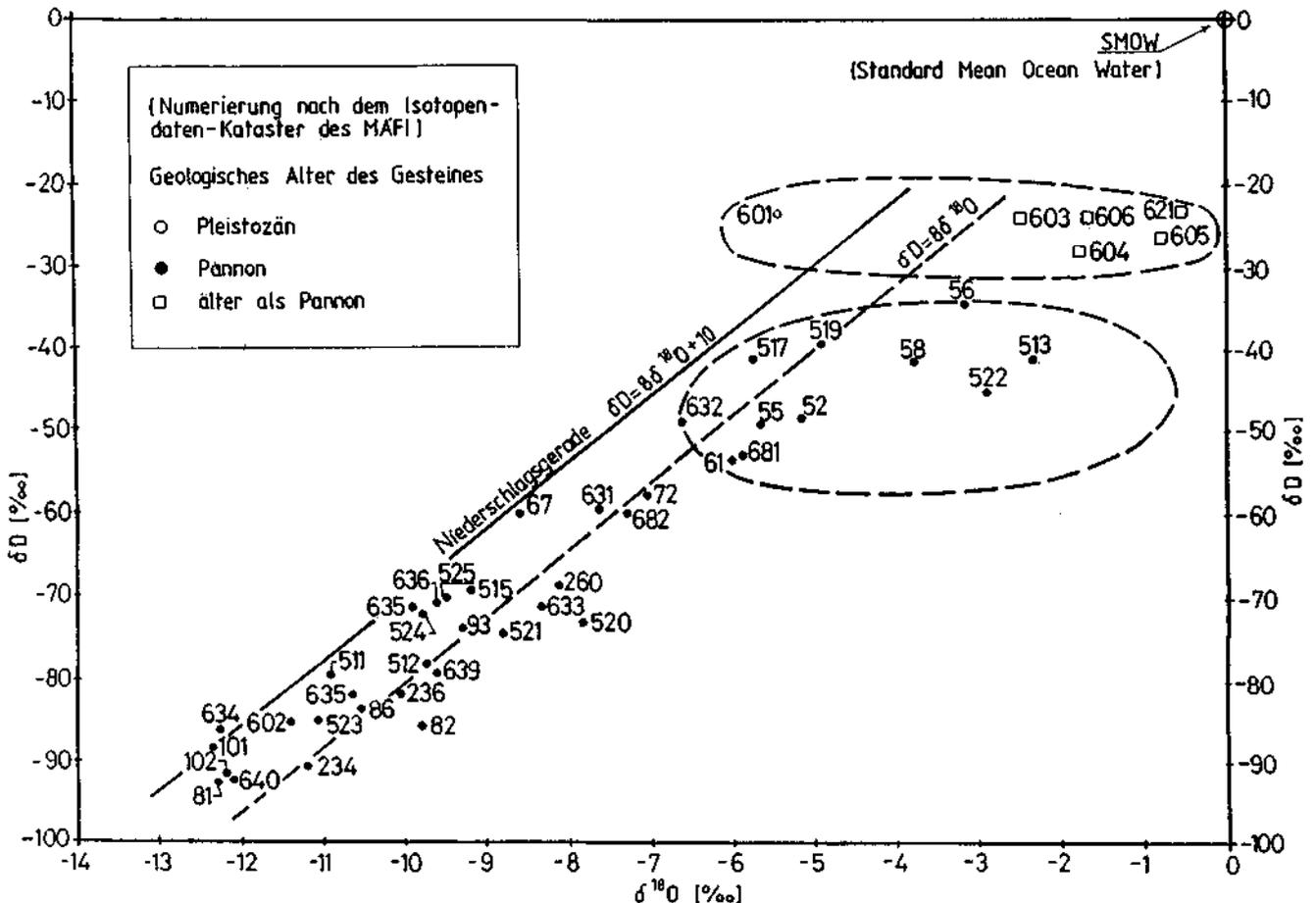


Abb. 6.  $\delta\text{D}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Beziehung von Thermalwässern der Großen Ungarischen Tiefebene.

gen die Wässer aus der Kohlenwasserstoff-Prospektion (Probe 601 etc.). An sie schließt die Gruppe der Thermalwässer des Gebietes Hajdúság unmittelbar an. Ihre Isotopenzusammensetzung deutet auf verdünntes Meereswasser hin. Die dritte Gruppe umfaßt die übrigen Thermalwässer der Ungarischen Tiefebene, die in den tieferen Sedimentbecken anzutreffen sind.

Bei den Wässern aus der Kohlenwasserstoff-Prospektion weicht die Probe von Mezösas-11 (601) deutlich in ihrem  $^{18}\text{O}$ -Gehalt von den anderen ab (Abb. 6). Theoretisch war bei den Wässern von Dévaványa (603, 621, geologische Herkunft: Miozänmergel, biogener Kalkstein, kalkiger Sandstein, Kalkmergel, Sandsteinkonglomerat) mit einer verhältnismäßig starken Verschiebung des Sauerstoffisotopenverhältnisses zu rechnen, hingegen nicht bei der Probe von Mezösas (geologische Herkunft: Altpaläozoikum, Granit, Gneis, verwitterter Metamorphit, Amphibolit). Der hohe Karbonatgesteinsanteil bei Dévaványa erklärt das Auftreten der Sauerstoffisotopenfraktionierung. Geht man davon aus, daß bei Mezösas-11 im wesentlichen keine Verschiebung des Sauerstoffisotopenverhältnisses vorliegt, so gilt für dieses Wasser die Beziehung  $\delta D = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 20$ . Dies entspricht der Isotopenzusammensetzung in den heutigen Niederschlägen im mediterranen und nahöstlichen Bereich. Für die Verschiebung des Sauerstoffisotopenverhältnisses der Wässer von Dévaványa-9 (603) und -12 (621) folgen daraus als Mindestwerte 3,7 bzw. 5,0 ‰.

### 4.3. Abweichung der $\delta D$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Beziehung von der Niederschlagsgeraden

Nach Abschnitt 3.1. ist für die spätglazialen Niederschläge die Beziehung  $\delta D = 7,9 \cdot \delta^{18}\text{O}$  charakteristisch. Trägt man die gemessenen Isotopenverhältnisse in ein Diagramm mit einer dieser Beziehung entsprechenden Doppelskala für  $\delta D$  und  $\delta^{18}\text{O}$  ein (Abb. 7), so fallen Wertepaare von Wässern, für die diese Beziehung gilt, in einem Punkt zusammen. Nach dem Ausmaß und der Richtung der Abweichung von dieser Niederschlagsbeziehung lassen sich dabei drei Fälle unterscheiden:

- die zwei Werte fallen zusammen
- $\delta D \square \rightarrow \circ \delta^{18}\text{O}$
- $\delta^{18}\text{O} \circ \leftarrow \square \delta D$

Nach Abb. 7 weichen die Wässer aus der Kohlenwasserstoff-Prospektion (601, 603, 621) und die Thermalwässer von Földes, Karcag, Debrecen, Hajdúszoboszló etc. am stärksten davon ab. Die chemische Zusammensetzung schließt dabei von vorneherein aus, daß es sich bei diesen Wässern um glaziale Niederschlagswässer handelt. Hingegen weisen die Werte von Makó (86, 1972-2096 m), Gyula (93, 1108-1646 m), Debrecen (60, 508-785 m) auf glazialen Ursprung hin. Nahe der glazialen Niederschlagsbeziehung stehen auch die Thermalwässer von Hódmezővásárhely, Gyula, Szentes und Szeged.

Analog zu Abb. 7 enthält Abb. 8 die Darstellung für die  $\delta D$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Beziehung von postglazialen Nieder-

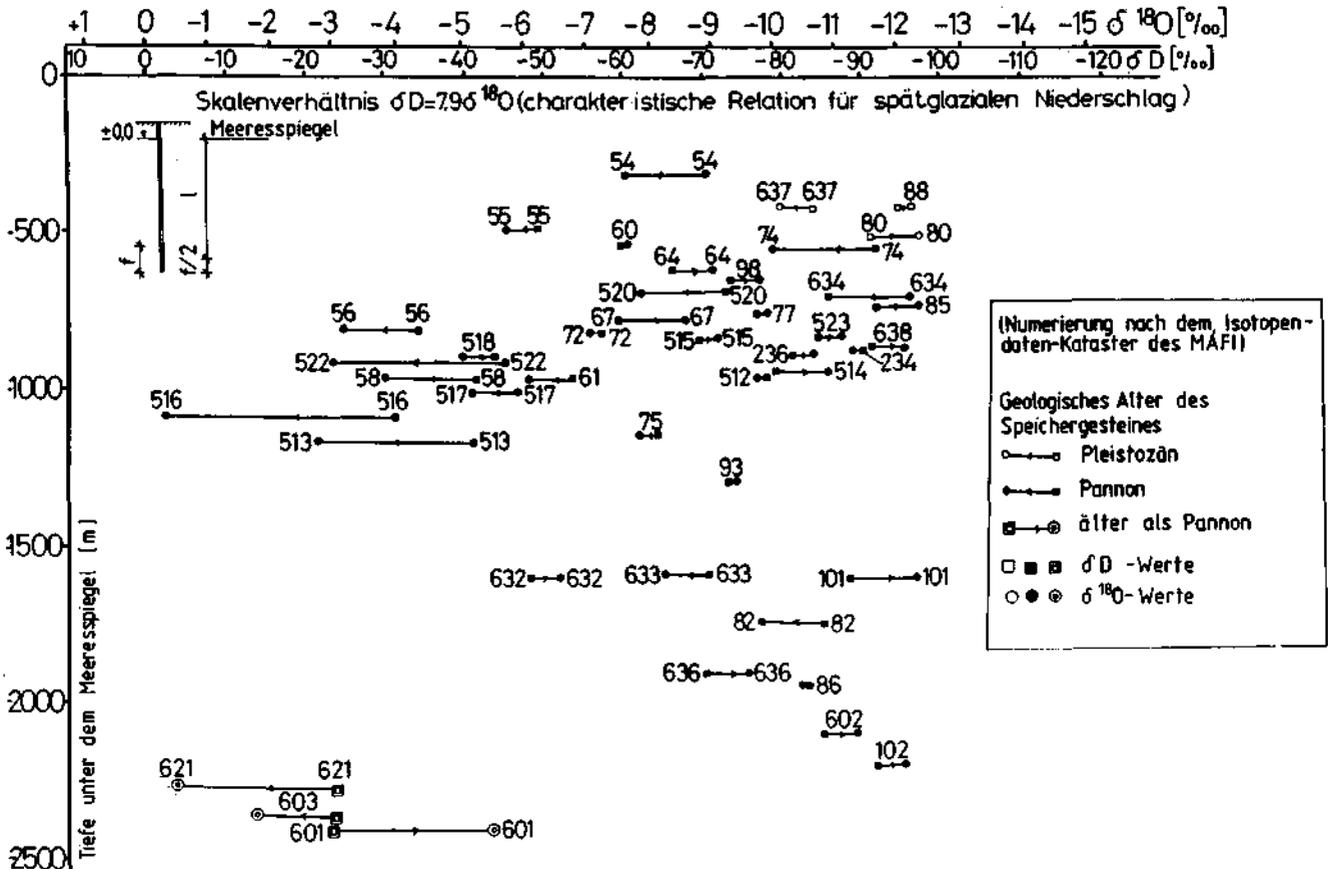


Abb. 7. Abweichung der  $\delta D$ - bzw.  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Thermalwässer der Großen Ungarischen Tiefebene von der spätglazialen Niederschlagsbeziehung  $\delta D = 7,9 \cdot \delta^{18}\text{O}$ . f = Filterstrecke.

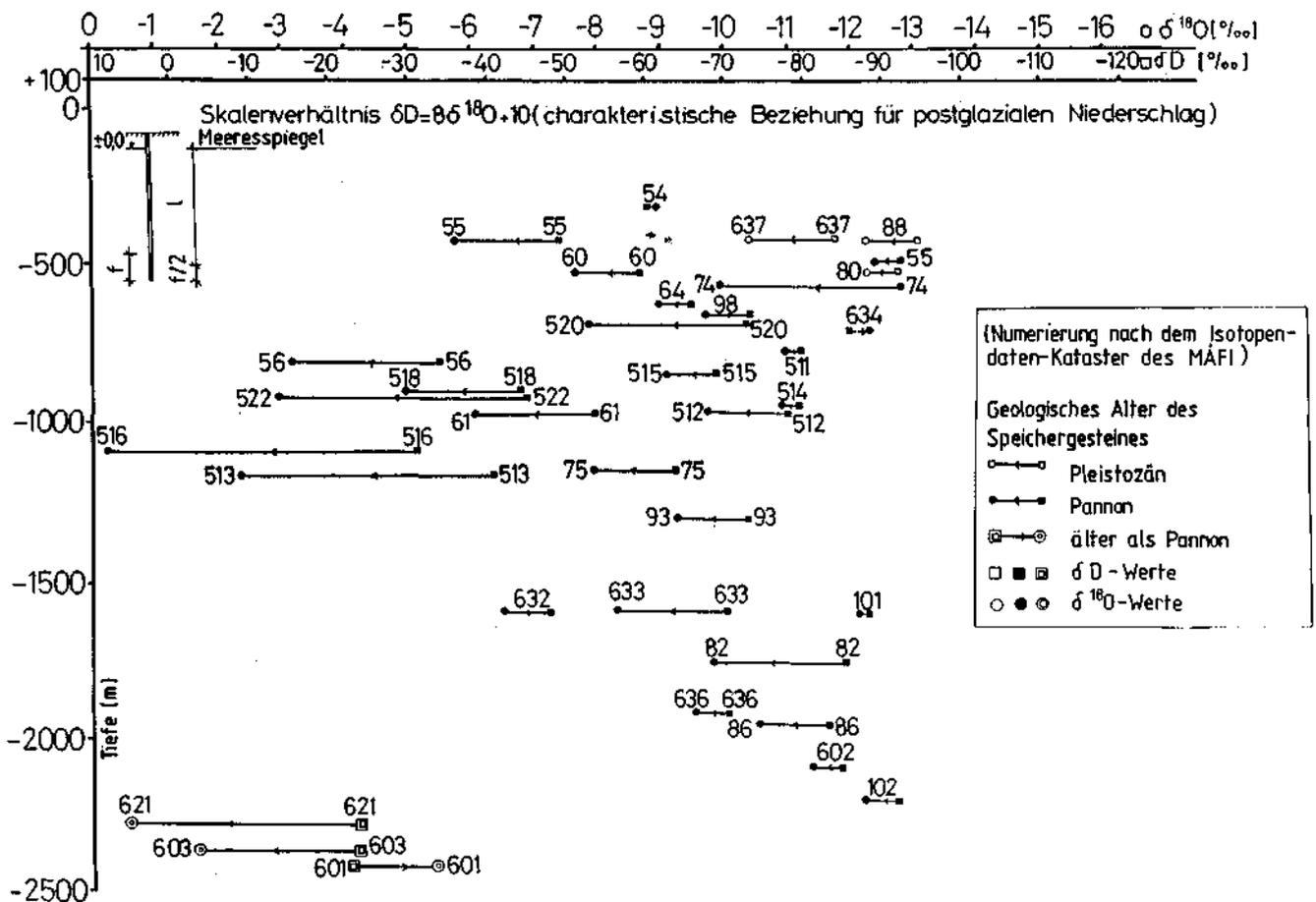


Abb. 8. Abweichung der  $\delta D$ - bzw.  $\delta^{18}O$ -Werte der Thermalwässer der Großen Ungarischen Tiefebene von der postglazialen Niederschlagsbeziehung  $\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 10$ . f = Filterstrecke.

schlagswasser,  $\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 10$ . Das Wasser des Brunnens Szentes (101) entspricht genau diesem Zusammenhang, auch die Isotopenverhältnisse von Hódmezővásárhely (102, 602), Tiszafüred (514) und Szolnok (511) liegen in der Nähe. Bei den beiden letzten Probenahmestellen und bei Gyula (636), Nyiregyháza (64), Szeged (80) etc. ändert sich das Vorzeichen der Abweichung im Vergleich zu Abb. 7, für diese Wässer ist eine Niederschlagsbeziehung charakteristisch, die zwischen den beiden liegt (Übergang), oder es liegen Mischwässer vor.

## 5. Ausblick

Die bisher vorliegenden Ergebnisse der isotopehydrologischen Untersuchungen in der Großen Ungarischen Tiefebene haben wesentliche Erkenntnisse über die Wasserbewegung in den quartären und tertiären Beckensedimenten gebracht. Für eine Weiterführung dieser Arbeiten spricht einerseits, daß für eine sachgerechte Bewirtschaftung der Wasservorräte der Großen Ungarischen Tiefebene eine genauere Kenntnis der regionalen Grundwasserströmungssysteme notwendig ist, und andererseits, daß eine eingehende isotopehydrologische Bearbeitung solch sowohl lateral als vertikal ausgedehnter hydrogeologischer Systeme fachliches Neuland darstellt. Für die nächsten Jahre ist eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Ostungarischen

Geologischen Dienst (MÁFI, Debrecen), dem Institut für Kernforschung der Ungarischen Akademie der Wissenschaften (Debrecen) und der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal (Wien) im Rahmen dieses Projektes vereinbart.

## Literatur

- ARNASON, B.: The application of nuclear techniques to geothermal studies. — *Geothermics*, 5, 125–155, 1977.
- BENTLEY, H.W., PHILLIPS, F.M., DAVIS, S.N., HABERMEHL, M.A., AIREY, P.L., CALF, G.E., ELMORE, D., GOVE, H.E. & TORGERSEN, T.: Chlorine 36 dating of very old ground water. 1. The Great Artesian Basin, Australia. — *Water Resources Research*, 22, 1991–2001, 1986.
- DEÁK, J.: Environmental isotopes and water chemical studies for groundwater research in Hungary. — In: "Isotope Hydrology 1978", Vol. I, 221–249, Wien (IAEA) 1978.
- HARMON, R. S. & SCHWARZ, H. P.: Changes of  $^2H$  and  $^{18}O$  enrichment of meteoric water and Pleistocene glaciation. — *Nature*, 290, 125–128, London 1981.
- MARTON, L., ERDÉLYZSKY, Zs. & RAJNER, V.: A környezeti izotópok vizsgálata Debrecen és a Nyírség rétegvizeiben (Die Anwendung von Umweltnukliden bei der Untersuchung von Grundwässern im Nordosten Ungarns). — *Hidrológiai Közlöny*, 2, 85–94, Budapest 1980.
- MARTON, L. & MIKÓ, L.: Izotóp-adatok interpretálása az Alföld hidrogeológiai kutatásában (Interpretation der Isotopenda-

ten bei hydrogeologischen Untersuchungen in der Großen Ungarischen Tiefebene). – Hidrológiai Közlemény, 1, 50–58, Budapest 1989.

PHILLIPS, F. M., BENTLEY, H. W., DAVIS, S. N., ELMORE, D. & SWANICH, G. B.: Chlorine 36 dating of very old groundwater. 2. Milk River Aquifer, Alberta, Canada. – Water Resources Research, 22, 2003–2016, 1986.

VITUKI: Beszámoló. Rétegvizek korának meghatározása (Jelentés a MÁFI részére 1978–83 között végzett környezeti izotóp elemzésekről) (Bericht über Isotopenanalysen für MÁFI). – Manuskript, Budapest (VITUKI) 1983.